

ผลของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมัน
ปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน



นางสาวนิจวรรณ อนันตรกิตติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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.

EFFECT OF NONIONIC SURFACTANT STRUCTURE ON FUEL PROPERTIES OF
MICROEMULSION-BASED BIOFUEL FROM PALM OIL

Miss Nitchawan Anantarakitti



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน
โดย	นางสาวนิจวรรณ อนันตรกิตติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาปนิจ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล)

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

นิจวรรณ อนันตรกิตติ : ผลของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. (EFFECT OF NONIONIC SURFACTANT STRUCTURE ON FUEL PROPERTIES OF MICROEMULSION-BASED BIOFUEL FROM PALM OIL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
 หลัก: รศ. ดร.สุธา ขาวเขียว, 167 หน้า.

วิธีไมโครอิมัลชันเป็นเทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ลดความหนืดของน้ำมันพืชได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชันซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ สารลดแรงตึงผิวผสม ส่วนที่ไม่มีหัวหรือเฟสน้ำมัน และส่วนที่มีหัวหรือเอทานอล โดยทำการศึกษาผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มเอทิลีนออกไซด์ EOn ($n = 1, 2, 3, 5, 7, 9$ and 12) ศึกษาผลของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบสายโซ่ตรง (octanol) และแบบกิ่งก้าน (2-ethyl-1-hexanol) ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตาม ASTM (American Society for Testing and Materials) และใช้แพลนทาแคร์ 1200 ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ได้มาจากธรรมชาติ เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลหรือไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มเอทิลีนออกไซด์ สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้เป็นเอทานอลและสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และเอทานอลหรือไบโอเอทานอล ส่วนผสมเหล่านี้ทำให้เกิดเชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous solution) ในขณะที่ใช้แพลนทาแคร์ 1200 เป็นสารลดแรงตึงผิวทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันในทุกระบบ ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีเอทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวจะเข้ากันได้ดีกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวจะเข้ากันได้กับเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากเอทานอลจะมีความหนืดสูงกว่าเมื่อเทียบกับไบโอเอทานอล จากการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพประกอบด้วย จุดชุน จุดไหลเท จุดวาบไฟ ปริมาณน้ำ ปริมาณเถ้า ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ขนาดอนุภาค และค่าความร้อน พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล การปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม เอทานอล อีโอดีเซล และเอทานอลจะมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ต่ำที่สุด ส่วนเชื้อเพลิงที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล อีโอดีเซล และเอทานอลมีปริมาณการปล่อยก๊าซทั้ง 3 ชนิดสูงที่สุด

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5470248621 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: BIOFUEL / MICROEMULSION / REVERSE MICELLES / PALM OIL / SURFACTANT / COSURFACTANT

NITCHAWAN ANANTARAKITTI: EFFECT OF NONIONIC SURFACTANT STRUCTURE ON FUEL PROPERTIES OF MICROEMULSION-BASED BIOFUEL FROM PALM OIL. ADVISOR: ASSOC. PROF. SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., 167 pp.

Microemulsion is the promising techniques that can be used to reduce vegetable oil viscosity. In this study, microemulsion-based biofuel consisting of vegetable oil/diesel blends, ethanol and surfactant/ cosurfactant mixture were formulated. The goal of this work focuses on the effects of a numbers of ethylene oxide group, EOn (n =1, 2, 3, 5, 7, 9 and 12) in nonionic alcohol ethoxylate surfactant and the effect of cosurfactant structures, straight chain (1-octanol) and branch chain alcohols (2-ethyl-1-hexanol) to reverse micelle microemulsion fuel on the properties of biofuels compared to standard ASTM (American Society for Testing and Materials). In addition, plantacare 1200 were used as surfactant from nature which the aim to formulated microemulsion fuels with bio-based product. The results shown that the biofuels were prepared from palm oil/ diesel or biodiesel blends, alcohol ethoxylate in nonionic surfactant, octanol or 2-ethyl-1-hexanol and ethanol or bioethanol. These compounds can cause biofuels as a homogeneous solution while plantacare1200 were separate-phase solutions. The kinematic viscosity of palm oil-diesel blends were reduced when octanol is used as cosurfactant while palm oil- biodiesel blends is compatible with 2-ethyl-1-hexanol system. All microemulsion fuels formed with bioethanol, performed lower in viscosity than those of petro-ethanol systems. The results of the properties of biofuels consists cloud point, pour point, flash point, water content, ash content, specific gravity, density, droplet size and heating value of the biofuel were properties similar to diesel and biodiesel. CO, CO2 and NOx emissions are much higher in microemulsion fuels as the palm oil/ diesel blends, octanol, EO 1 and ethanol while biofuels prepared from the palm oil/ diesel blends, 2-ethyl-1-hexanol, EO 9 and ethanol are the highest CO, CO2 and NOx emissions.

Department: Environmental
Engineering

Student's Signature

Advisor's Signature

Field of Study: Environmental
Engineering

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาปนัง รองศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ เพียรมนกุล และดร. เขาวลิต เสนานุรักษ์วรกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้ข้อเสนอแนะ แก้ไข และแนวคิดต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ให้เป็นไปในแนวทางที่ดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ในทุกรายวิชาตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอขอบคุณ คุณสัญญา บุญญาสุวัฒน์ บริษัทวีระสุวรรณ จำกัด สำหรับน้ำมันไบโอดีเซล บริษัท Thai Ethoxylate สำหรับสารลดแรงตึงผิวชนิดแพตต์แอลกอฮอล์อีทอกซิเลท และคุณธรรักษ์และคุณพัชราภรณ์สำหรับไบโอเอทานอลที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ พี่นวลกมล อภรณ์ พงษ์ ฟ้ารามนรี เนตรวิเชียร และอาจารย์ดร.อัมพิรา เจริญแสง สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณศิริณี เพ็งปรีชา คุณศศิวิมล วิชาติ ร้อยตรีนพดล บู่เตียว และเพื่อนๆทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือข้าพเจ้าทุกอย่างในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณอวิชชากร จารุศิริ และคุณอานพรัตน์ จารุศิริ ที่ช่วยให้คำแนะนำและที่พักอาศัยแก่ข้าพเจ้า

และสุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัวที่ช่วยเหลือ ให้กำลังใจและให้คำแนะนำข้าพเจ้า รวมทั้งสนับสนุนและเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียนเป็นอย่างดี

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	1
บทที่ 1 บทนำ	3
1.1 ที่และความสำคัญของปัญหา	3
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3 สมมติฐาน.....	4
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel).....	6
2.2 น้ำมันพืช (Vegetable oil).....	6
2.2.1 น้ำมันปาล์ม (palm oil)	10
2.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)	11
2.4 เอทานอลและไบโอเอทานอล.....	15
2.4.1 การผลิตเอทานอลทางเคมี.....	16
2.4.2 การผลิตเอทานอลทางชีวภาพ	17
2.4.3 ประโยชน์ของเอทานอล.....	18
2.5 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ	18
2.5.1 การใช้ไขมันพืชโดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล (direct use and blending)....	18
2.5.2 ไพโรไลซิส (Pyrolysis).....	19
2.5.3 ไมโครอิมัลซิฟิเคชัน (Micro-emulsification)	20
2.5.4 ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification).....	20
2.6 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion).....	20

2.6.1 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary phase diagram).....	21
2.7 เอทิลีนออกไซด์ (Ethylene Oxide, EO).....	22
2.8 Plantacare 1200.....	24
2.9 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel).....	24
2.10 น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel oil).....	26
2.11 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	27
2.11.1 ความหนืด (Kinematic viscosity).....	27
2.11.2 จุดขุ่น (Cloud point).....	27
2.11.3 จุดไหลเท (Pour point).....	27
2.11.4 จุดวาบไฟ (Flash point).....	28
2.11.5 ค่าซีเทน (Cetane number).....	28
2.11.6 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity).....	28
2.11.7 ความหนาแน่น (Density).....	28
2.11.8 กากคาร์บอน (Carbon Residue).....	29
2.11.9 ปริมาณน้ำ (Water content).....	29
2.11.10 ปริมาณเถ้า (Ash content).....	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	37
3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	37
3.1.2 สารเคมี.....	39
3.3.1 การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชัน.....	44
3.3.2 การศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน.....	49
3.3.3 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary phase diagram).....	51
3.3.4 ศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	52
3.3.5 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	55
3.3.6 ศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน.....	57
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	60
4.2.1 ผลของความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆ.....	63

4.3.1 จุดวาบไฟ (flash point)	69
4.3.2 จุดขุ่น (cloud point)	69
4.3.3 จุดไหลเท (pour point).....	70
4.3.4 ค่าความเป็นกรด (acid value)	70
4.3.5 ปริมาณน้ำ (water content).....	72
4.3.6 ปริมาณเถ้า (ash content).....	74
4.3.7 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)	75
4.3.8 ความหนาแน่น (density).....	77
4.3.9 ขนาดอนุภาค (droplet size).....	78
4.3.10 ค่าความร้อน (heating value).....	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	86
รายการอ้างอิง	89
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก.....	94
ภาคผนวก ข.....	100
ภาคผนวก ค.....	121
ภาคผนวก ง	138
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	167

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 สมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่างๆที่ใช้เพื่อการบริโภค.....	8
ตารางที่ 2-2 จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ.....	9
ตารางที่ 2-3 ลักษณะทางเคมีและกายภาพของน้ำมันพืชชนิดต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล.....	10
ตารางที่ 2-4 ปริมาณผลผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย.....	11
ตารางที่ 2-5 คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเอทิลีนออกไซด์.....	23
ตารางที่ 2-6 คุณสมบัติของแพลนทาแคร์ 1200.....	24
ตารางที่ 2-7 คุณสมบัติน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM (American Standard Testing Method)	25
ตารางที่ 2-8 คุณสมบัติมาตรฐานของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM.....	30
ตารางที่ 3-1 ข้อมูลของหลอดไฟ.....	38
ตารางที่ 3-2 ข้อมูลของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบก๊าซไอเสีย.....	39
ตารางที่ 3-3 ลักษณะคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ.....	40
ตารางที่ 3-4 ลักษณะคุณสมบัติของแพลนทาแคร์ 1200.....	40
ตารางที่ 3-5 ลักษณะคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	41
ตารางที่ 3-6 ลักษณะคุณสมบัติของเอทานอล.....	41
ตารางที่ 3-7 ลักษณะคุณสมบัติของไดเอทิลอีเทอร์.....	42
ตารางที่ 3-8 ตัวอย่างการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	45
ตารางที่ 3-9 ตัวแปรที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชัน.....	48
ตารางที่ 3-10 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน.....	50
ตารางที่ 3-11 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาแผนภาพสามเหลี่ยม.....	51
ตารางที่ 3-12 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	54
ตารางที่ 3-13 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ทำการศึกษา.....	55
ตารางที่ 3-14 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	56
ตารางที่ 3-15 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	59
ตารางที่ 4-1 ผลการศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน.....	61
ตารางที่ 4 - 2 คุณสมบัติขององค์ประกอบหลักในเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	63

ตารางที่ 4 - 3 ขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพ 79

ตารางที่ 4 - 4 เปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวภาพกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำดีเซลและไบโอดีเซลของ ASTM 84

ตารางที่ 4 - 5 เปรียบเทียบก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพกับน้ำมันดีเซล 85



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2- 1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช	7
ภาพที่ 2- 2 ปาล์มน้ำมัน.....	10
ภาพที่ 2-3 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว	11
ภาพที่ 2-4 โครงสร้างของ Anionic surfactant.....	12
ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของ Cationic surfactant	12
ภาพที่ 2-6 โครงสร้างของ Nonionic surfactant.....	13
ภาพที่ 2-7 โครงสร้างของ Amphoteric surfactant.....	13
ภาพที่ 2- 8 การเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว	14
ภาพที่ 2-9 Critical micelle concentration (CMC).....	14
ภาพที่ 2-10 กลไกการสลายตัวด้วยความร้อนของไตรกลีเซอไรด์.....	19
ภาพที่ 2-11 แผนภาพ Winsor ของการเกิดไมโครอิมัลชัน	21
ภาพที่ 2-12 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary phase diagram)	22
ภาพที่ 2-13 เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ.....	31
ภาพที่ 3-1 แผงหลอดไฟ	38
ภาพที่ 3-2 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบก๊าซไอเสีย	38
ภาพที่ 3-3 แผนภาพขั้นวิธีดำเนินงานวิจัย.....	43
ภาพที่ 3-4 เครื่องเขย่า (vortex shaker).....	45
ภาพที่ 3-5 แผนภาพขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชัน	47
ภาพที่ 3-6 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน	49
ภาพที่ 3-7 Viscometer ชนิด Canon– Fenske.....	52
ภาพที่ 3-8 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ	53
ภาพที่ 3-9 เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ.....	57
ภาพที่ 3-10 เครื่อง Gas Analyzer Testo 350-XL.....	57
ภาพที่ 3-11 แผนภาพขั้นตอนการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน.....	58
ภาพที่ 4-1 ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	64

ภาพที่ 4-2 ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	65
ภาพที่ 4-3 ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	65
ภาพที่ 4-4 ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	66
ภาพที่ 4-5 ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	67
ภาพที่ 4-6 ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	67
ภาพที่ 4-7 ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	68
ภาพที่ 4-8 ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	68
ภาพที่ 4-9 ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยออกทานอล	71
ภาพที่ 4-10 ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล	71
ภาพที่ 4-11 ปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยออกทานอล	72
ภาพที่ 4-12 ปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล	73
ภาพที่ 4-13 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอล	74
ภาพที่ 4-14 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล	75
ภาพที่ 4-15 ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยออกทานอล	76
ภาพที่ 4-16 ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล	76
ภาพที่ 4-17 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยออกทานอล	77
ภาพที่ 4-18 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล	78
ภาพที่ 4-19 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอล	80
ภาพที่ 4-20 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล	80
ภาพที่ 4-21 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ	82
ภาพที่ 4-22 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ	82
ภาพที่ 4-23 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ	83

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่และความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานและการเติบโตของจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ประเทศไทยต้องเผชิญกับวิกฤตการณ์พลังงาน ทำให้หลายประเทศเริ่มเจอปัญหาการขาดแคลนแหล่งพลังงานเป็นจำนวนมาก เนื่องจากพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้อยู่ในทุกวันนี้เป็นพลังงานจากทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือหามาทดแทนโดยธรรมชาติได้ทันความต้องการในเวลาอันรวดเร็ว เรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ทำให้ต้องมีการพัฒนาเชื้อเพลิงต่างๆ ขึ้นมาทดแทนพลังงานจากปิโตรเลียมที่กำลังจะหมดไปเพื่อที่จะลดปัญหาด้านพลังงาน จึงทำให้เกิดพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่หามาใช้ได้ไม่มีวันหมดสามารถสร้างทดแทนได้ในเวลาสั้นๆโดยธรรมชาติหลังจากการใช้

พลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจ พลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวลหรือสารที่ได้มาจากพืชหลากหลายชนิดและไขมันสัตว์ โดยพืชสร้างพลังงานจากกระบวนการสังเคราะห์แสงและเก็บรวบรวมพลังงานจากดวงอาทิตย์เอาไว้ในรูปของสารอินทรีย์ เมื่อนำสารอินทรีย์มาผ่านกระบวนการที่เหมาะสมจะเปลี่ยนชีวมวลเป็นพลังงานที่เป็นประโยชน์ได้ น้ำมันปาล์มเป็นหนึ่งในน้ำมันพืชที่มีความสำคัญและแหล่งเชื้อเพลิงชีวภาพที่กำลังได้รับความสนใจอยู่ในขณะนี้ สืบเนื่องมาจากประเทศไทยมีปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มเป็นอันดับ 3 ของโลก คือ ผลิตได้จำนวน 1.30 ล้านตันในปี พ.ศ. 2552-2553 รองมาจากอินโดนีเซียและมาเลเซีย (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน), 2557: ออนไลน์) ซึ่งมีปริมาณเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพ

อย่างไรก็ตามการใช้น้ำมันพืชโดยตรงในเครื่องยนต์ก่อให้เกิดปัญหาด้านต่างๆ เช่น ความหนืดสูง การระเหยตัวต่ำ และเมื่ออุณหภูมิต่ำลงจะเกิดเป็นไข ความหนืดที่สูงจะทำให้ฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยากซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้และเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จากปัญหาดังกล่าวทำให้ต้องทำการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืชเพื่อลดปัญหาที่จะเกิดขึ้น วิธีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันพืชมี 4 วิธีดังนี้ คือ การผสมน้ำมันพืชกับน้ำดีเซลโดยตรง (Vegetable oil/diesel blending) การสลายตัวน้ำมันด้วยความร้อน (Pyrolysis) ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) และสุดท้ายคือ วิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้

วิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) เป็นวิธีการผสมของเหลวสองชนิดที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันให้สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยใช้สารลดแรงตึงผิว (surfactant) และสารลดแรงตึงร่วม (cosurfactant) เป็นตัวประสาน ทำให้เกิดอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดเล็ก (10-100 นาโนเมตร) และได้สารที่เป็นเนื้อเดียวกันมีลักษณะใส (Do และคณะ, 2011) การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (biofuel) ด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน (microemulsion) เป็นการผลิตที่ง่ายไม่ซับซ้อน ไม่ต้องใช้พลังงานมากในการผลิต ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและไม่ก่อให้เกิดผลพลอยได้จากกระบวนการผลิต (เพทาย ต้นธนวัฒน์ และคณะ, 2551)

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ (nonionic surfactant) ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีทอกซิเลทแพตตีแอลกอฮอล์ (ethoxylated fatty alcohol) ที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1, 2, 3, 5, 7, 9 และ 12 และแพลนทาแคร์ 1200 ซึ่งสารลดแรงตึงผิวจะช่วยให้สารรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น จากนั้นผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างต่างกันเป็นสายโซ่คาร์บอนแบบสายตรงและกึ่งก้าน โดยสารลดแรงตึงผิวร่วมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากน้ำมันพืชมีปัญหาด้านความหนืดสูงจึงต้องใช้เอทานอลหรือไบโอเอทานอลช่วยลดความหนืด จากนั้นศึกษาค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิแตกต่างกัน จากนั้นศึกษาคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ จุดไหลเท จุดขุ่น จุดวาบไฟ ปริมาณเถ้า ปริมาณน้ำ และความหนาแน่น ตามเกณฑ์มาตรฐานเอเอสทีเอ็ม (American Society for Testing and Materials, ASTM) ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 และมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล และนำไปวัดค่าการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มอีทอกซิเลทออกไซด์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบสายโซ่ตรงและแบบกึ่งก้านต่อคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของเอทานอลและไบโอเอทานอลต่อคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

1.2.4 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 และมาตรฐานไบโอดีเซล

1.3 สมมติฐาน

สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่ศึกษา ได้แก่ Dehydol LS1 TH (EO₁), Dehydol LS2 TH (EO₂), Dehydol LS3 TH (EO₃), Dehydol LS5 TH (EO₅), Dehydol LS7 TH (EO₇), Dehydol LS9 TH (EO₉), Dehydol LS12 TH (EO₁₂) ซึ่งมีความสมดุลของระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophile-lipophile balance, HLB) เพิ่มขึ้นตามโมเลกุลเอทิลีนออกไซด์ เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีค่า HLB อยู่ในช่วง 3-6 จะมีลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชันแบบรีเวิร์สไมเซลล์ ถ้า HLB เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อความหนืดและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมได้ การเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติ คือ แพลนทาแคร์ 1200 เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มาจากธรรมชาติ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะดำเนินการทดลองในระดับปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิตั้ง ณ ห้องปฏิบัติชั้น 4 ตึกปฏิบัติการรวมวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีการกำหนดขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

1.4.1 สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ได้แก่ Dehydol LS1 TH (EO₁), Dehydol LS2 TH (EO₂), Dehydol LS3 TH (EO₃), Dehydol LS5 TH (EO₅), Dehydol LS7 TH (EO₇), Dehydol LS9 TH (EO₉), Dehydol LS12 TH (EO₁₂) และ Plantacare 1200 ส่วนสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ศึกษา ได้แก่ 1-Octanol และ 2-ethylene-1-hexanol อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C ratio) คือ 1:8 โดยมวล

1.4.2 น้ำมันพืชที่ใช้ศึกษา คือ น้ำมันปาล์ม ซึ่งจะผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซล อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร

1.4.3 ใช้เอทานอลและไบโเอทานอลในการศึกษา

1.4.4 ทดสอบปริมาณก๊าซไอเสียโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซล

1.4.5 ศึกษาคุณสมบัติต่างๆ เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 ของ ASTM (American Society for Testing and Materials) และไบโอดีเซลซึ่งจะทำการวิเคราะห์หัวตัวแปรดังต่อไปนี้ จุดไหลเท (pour point) จุดขุ่น (cloud point) จุดวาบไฟ (flash point) ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ความหนาแน่น (density) ปริมาณน้ำ (water content) ปริมาณเถ้า (ash content) ความหนืด (kinematic viscosity) ค่าความร้อน (heating value) และการปล่อยก๊าซไอเสีย (คาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีศักยภาพใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 ของ ASTM (American Society for Testing and Materials) และมาตรฐานไบโอดีเซล

1.5.2 เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวล (Biomass) หรือสสารที่ได้จากพืชและสัตว์ โดยมีพื้นฐานจากการสังเคราะห์แสงแล้วเก็บรวบรวมพลังงานจากดวงอาทิตย์เอาไว้ในรูปของพลังงานเคมี พืชก็เป็นพลังงานชีวมวลอีกรูปแบบหนึ่งเพราะเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นเองโดยกลไกธรรมชาติที่เรียกว่า “กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง” (Photosynthesis Process) ซึ่งพืชจะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานสะสมในรูปสารอินทรีย์ เมื่อนำสารอินทรีย์เหล่านั้นมาผ่านกระบวนการที่เหมาะสมจะสามารถเปลี่ยนชีวมวลเหล่านั้นให้เป็นพลังงานที่เป็นประโยชน์ได้ เชื้อเพลิงชีวภาพนั้นมีความแตกต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงสิ้นเปลืองตรงที่เชื้อเพลิงชีวภาพจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สร้างขึ้นใหม่ได้ นอกจากนี้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถนำไปใช้ในยานพาหนะเครื่องทำความร้อนในบ้าน และเตาทำอาหาร เป็นต้น ข้อดีของเชื้อเพลิงชีวภาพ คือ สถานะที่หลากหลายของเชื้อเพลิง (ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ) จึงสะดวกต่อการนำไปใช้งาน การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพจึงเป็นการช่วยรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมด้วย เชื้อเพลิงชีวภาพจะมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ

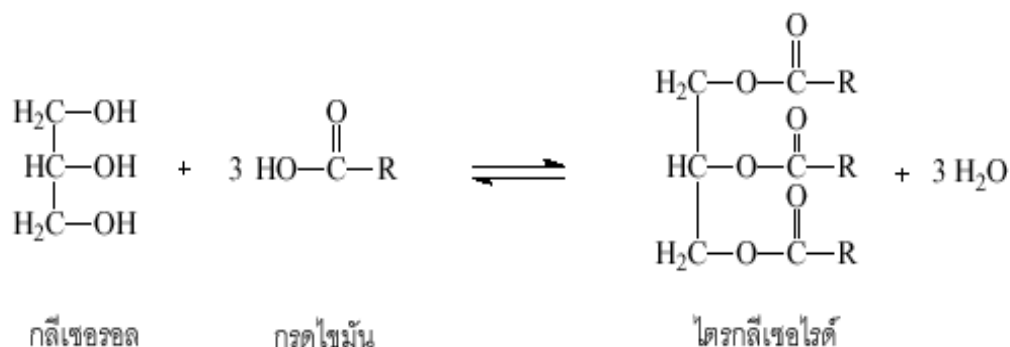
1. ของแข็ง ได้แก่ ไม้ ชี้เลื่อย ฟางข้าว มูลสัตว์ เปลือกพืช อาทิ แกลบข้าว ถั่วลิสง เป็นต้น
2. ของเหลว แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- แอลกอฮอล์ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ มีสถานะเป็นของเหลวระเหยง่าย
- น้ำมันจากพืชและสัตว์ได้แก่ น้ำมันพืชบริสุทธิ์ น้ำมันพืชใช้แล้ว ไชสัตว์ และไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืช ไชสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยกรรมวิธีทางเคมี
- น้ำมันจากขยะน้ำมันมีคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพคล้ายคลึงกับปิโตรเลียมสามารถสกัดจากขยะชีวมวลมาใช้แทนได้

3. ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซมีเทนที่ได้จากการหมักมูลสัตว์หรือของเสียจากโรงเลี้ยงสัตว์ เช่น สุกร โค กระบือ เป็นต้น โดยเชื้อเพลิงแบบนี้สามารถผลิตขึ้นใช้เองได้

2.2 น้ำมันพืช (Vegetable oil)

น้ำมันพืช (vegetable oil) คือ น้ำมันที่ผลิตได้จากพืชต่างๆ เช่น ถั่วลิสง ถั่วเหลือง เมล็ดดอกทานตะวัน ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ละหุ่ง และสบู่ดำ ฯลฯ โดยทั่วไปน้ำมันพืชจะประกอบด้วยกลีเซอรอล (glycerol) 1 โมเลกุล และกรดไขมัน (fatty acid) 3 โมเลกุล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) (Goering และคณะ, 1982) มีโครงสร้างเป็น C_3H_5 ซึ่งเชื่อมต่อกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว จะแสดงโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืชดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2- 1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช

(Ali และ Hanna, 1994)

น้ำมันพืชนั้นมองค้ประกอบเป็นของกรดไขมัน อัตราส่วนมากหรือน้อยแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับ ชนิดน้ำมันพืชที่นำมาสกัดน้ำมัน กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันมีอยู่ 2 ชนิด ดังนี้

1. กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีสูตรโครงสร้างของการจับกันของธาตุ คาร์บอนในลักษณะแชนเดี่ยว (single bond) ทำให้กรดไขมันนั้นอิ่มตัวด้วยไฮโดรเจน กรดไขมันอิ่มตัวที่พบมาก ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (palmitic acid) และ กรดสเตียริก (stearic acid) จะพบในน้ำมันมะพร้าว และน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม
2. กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นกรดไขมันที่มีพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนยึดเหนี่ยวด้วยพันธะคู่อย่างน้อย 1 พันธะ ซึ่งมีจำนวนอะตอมคาร์บอนน้อยกว่ากรดไขมันอิ่มตัว 2 อะตอม กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่พบมากที่สุด ได้แก่ กรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดไลโนเลอิก (linoleic acid) จะพบมากในน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว น้ำมันเมล็ดงา น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันเมล็ดฝ้าย

น้ำมันพืชส่วนใหญ่จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมันระหว่าง 12 ถึง 18 อะตอม และมีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุลเป็นเลขคู่เสมอ โดยจะมีกรดไขมันทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในปริมาณที่แตกต่างกัน องค์ประกอบของกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2- 1 สมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่างๆที่ใช้เพื่อการบริโภค

(Hui และคณะ, 1996 อ้างถึงใน วิชาการ จารุศิริ, 2550)

องค์ประกอบ กรดไขมัน	น้ำมันพืช								
	มะพร้าว	เมล็ดใน ปาล์ม	ปาล์ม	ถั่วลิสง	เมล็ด เรพ	ถั่วเหลือง	ทานตะวัน	ข้าวโพด	รำข้าว
C<12:0	15.0	8.1	-	-	-	-	-	-	-
C12:0	47.5	50.4	0.2	-	-	0.1	-	-	-
C14:0	18.1	17.3	1.1	-	0.1	0.2	0.1	-	0.3
C16:0	8.8	7.9	44.0	8.1	3.5	10.7	6.0	12.9	15.0
C18:0	2.6	2.3	4.5	1.5	1.5	3.9	4.0	2.5	1.7
อื่นๆ (เช่น C20:0, C22:0, C24:0)	0.1	-	0.4	4.2	0.9	0.2	1.1	-	0.6
ปริมาณกรด ไขมันอิ่มตัว ทั้งหมด	92.1	86	50.2	13.8	6.0	15.0	11.2	15.4	17.6
C16:1	-	-	0.1	-	0.2	0.3	<1.0	-	-
C18:1	6.2	11.8	39.2	49.9	60.1	22.8	16.5	33.1	43.0
C18:2	1.6	2.1	10.1	35.4	20.1	50.8	71.7	48.8	37.4
อื่นๆ (เช่น C18:3, C20:1, C22:1, C24:0)	Trace	Trace	0.4	Trace	11.2	6.8	0.6	2.6	1.5
ปริมาณกรด ไขมันไม่อิ่มตัว ทั้งหมด	7.8	13.9	49.7	85.3	91.6	80.7	88.8	84.5	81.9

น้ำมันพืชจะมีกรดไขมันชนิดต่างๆเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ทำให้คุณสมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ (นคร ทิพยาวงศ์, 2553) สมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ชนิดต่างๆที่ประกอบเป็นไขมันและน้ำมันนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2- 2 จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ

(วิชากร จารุศิริ, 2550)

กรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
กรดไขมันชนิดอิ่มตัว		
กรดบิวทีริก	-5.3	164
กรดคาโปรอิก	-3.2	206
กรดคาไพโรลิก	16.5	240
กรดคาพริก	31.6	271
กรดลอริก	44.8	130
กรดไมริสติก	54.4	149
กรดปาล์มิติก	62.9	67
กรดสเตียริก	70.1	184
กรดอะราคิติก	76.1	204
กรดปีฮีนิก	79.9	-
กรดลิกโนเซริก	84.2	-
กรดไขมันไม่อิ่มตัว		
กรดปาล์มิโตเลอิก	0.5	-
กรดโอเลอิก	16.3	-
กรดอีรูซิก	33.7	-
กรดลิโนเลอิก	-5.0	-
กรดลิโนเลนิก	-11.0	-
กรดอะราคิโนไดอิก	-49.5	-

คุณสมบัติของน้ำมันพืชโดยรวมใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าน้ำมันเบนซินจึงเหมาะที่จะนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยมักใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบต่ำ เช่น เครื่องยนต์สำหรับเกษตรกรรมและการประมง ซึ่งน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2-3

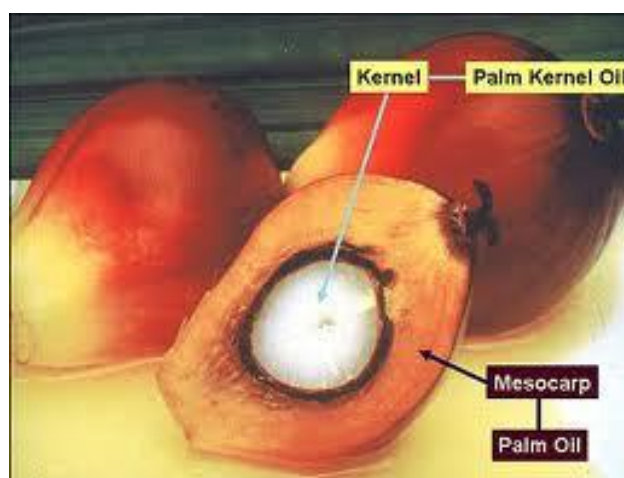
ตารางที่ 2-3 ลักษณะทางเคมีและกายภาพของน้ำมันพืชชนิดต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล
(พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล, 2544)

ชนิดของน้ำมัน	ค่าความหนาแน่น, 21 °C (g/ml)	ความหนืด, 21 °C (cP)	ค่าความร้อน (kJ/kg)
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 ^{ที่ 36.9 °C}	39,000
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

2.2.1 น้ำมันปาล์ม (palm oil)

น้ำมันปาล์ม (palm oil) เป็นน้ำมันพืชที่ใช้วัตถุดิบคือ ผลของต้นปาล์มที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อีเลอซิส กินีเอ็นซิส (*Elaeisguineensis*) ผลปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมัน (oil corp) ซึ่งมีน้ำมันร้อยละ 56 น้ำมันปาล์ม (palm oil) ได้จากผลปาล์ม 2 ส่วนคือ

1. จากเปลือกหุ้มภายนอก (mesocarp) น้ำมันที่ได้เรียกว่า น้ำมันจากเนื้อปาล์ม (palm oil)
2. จากเนื้อในของเมล็ด (palm Kernel) น้ำมันที่ได้เรียกว่า น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) ซึ่งมีน้ำมันร้อยละ 44-48 ซึ่งจะแสดงดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ปาล์มน้ำมัน
(น้ำมันปาล์ม, 2550 : ออนไลน์)

โดยทั่วไป แหล่งน้ำมันพืชของประเทศไทยมีการเพาะปลูกพืชน้ำมันหลัก 6 ชนิด คือ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ทานตะวัน และละหุ่ง ในจำนวนพืช 6 ชนิดนี้ ปาล์มน้ำมัน เป็นน้ำมันพืชที่มีปริมาณผลผลิตในแต่ละปีสูงสุด ในปี 2550 มีปริมาณผลผลิตสูงถึง 6,390 พันตัน รองลงมาคือ มะพร้าว ถั่วเหลือง ทานตะวัน ละหุ่ง และถั่วลิสง ตามลำดับ ซึ่งจะแสดงปริมาณผลผลิต พืชน้ำมันทั้ง 6 ชนิด ดังในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2- 4 ปริมาณผลผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย

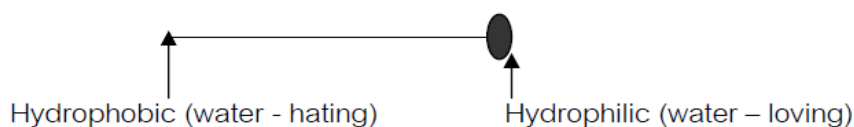
(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552 : ออนไลน์)

พืชน้ำมัน	2547	2548	2549	2550	2551	2552
	ผลผลิต (พันตัน)	ผลผลิต (พันตัน)	ผลผลิต (พันตัน)	ผลผลิต (พันตัน)	ผลผลิต (พันตัน)	ผลผลิต (พันตัน)
ปาล์มน้ำมัน	5,182	5,003	6,715	6,390	9265	8318
มะพร้าว	2,126	1,940	1,614	1,722	ND	ND
ถั่วเหลือง	218	901	215	204	187	190
ทานตะวัน	22	263	24	23	ND	ND
ละหุ่ง	10	84	10	10	0.4	ND
ถั่วลิสง	65	67	65	54	53	52

จะเห็นว่า ปาล์มน้ำมันมีปริมาณผลผลิตมากที่สุดในประเทศ ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพืชน้ำมันหลัก เพื่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในประเทศไทยได้ อย่างไรก็ตามการนำ ปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์จะก่อให้เกิดปัญหาด้านความหนืด การระเหยต่ำ และความไม่อึดตัวของ น้ำมันพืช ดังนั้นจึงต้องแก้ปัญหที่เกิดขึ้นโดยการปรับปรุงคุณภาพของปาล์มน้ำมันก่อนนำมาใช้เป็น น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ

2.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ คำว่า Surfactant มาจากคำว่า Surface active agent มีคุณลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนหัวเป็นส่วนที่ชอบน้ำ(Hydrophilic) และส่วนหางเป็นไม่ชอบน้ำแต่ชอบน้ำมัน (Hydrophobic) แสดงดัง ภาพที่ 2-3 (จิสสา กรงกรด, 2548)

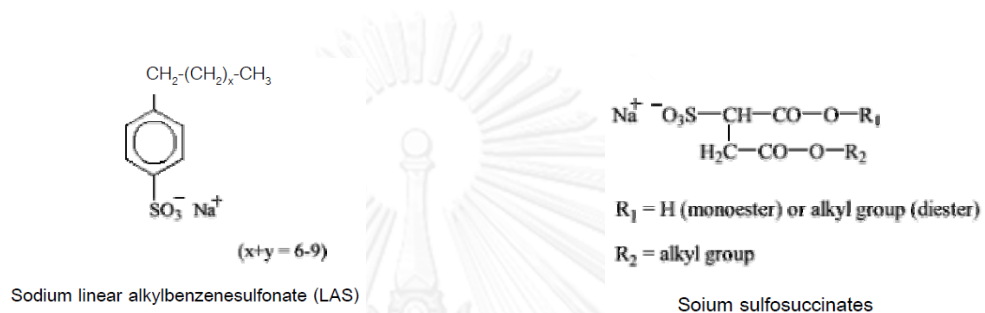


ภาพที่ 2-3 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว

(จิสสา กรงกรด, 2548 : ออนไลน์)

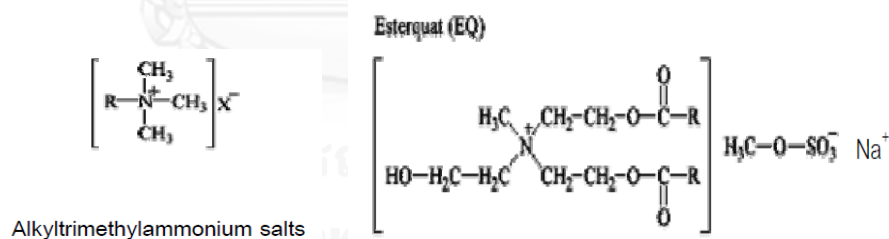
สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ (Hydrophilic) โดยสามารถแยกได้เป็น 4 ประเภทได้แก่

1. สารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Anionic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนหัว (hydrophilic) ให้ประจุลบส่วนมากแสดงอยู่ในรูป carboxylate, sulfate และ sulfonate สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภทผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและน้ำยาล้างขาม เป็นต้นโดยใช้มากถึง 49% ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวประจุลบดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 โครงสร้างของ Anionic surfactant

2. สารลดแรงตึงผิวประจุบวก (Cationic surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนหัว (hydrophilic) ให้ประจุบวกส่วนมากมักจะเป็นพวก quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10-11) เนื่องจากเกลือแอมโมเนียม (ammonium salt) จะมีการสูญเสียประจุบวกทำให้เกิดการตกตะกอนได้นิยมใช้พวกน้ำยาปรับผ้านุ่ม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับการจัดแต่งทรงผม เป็นต้น



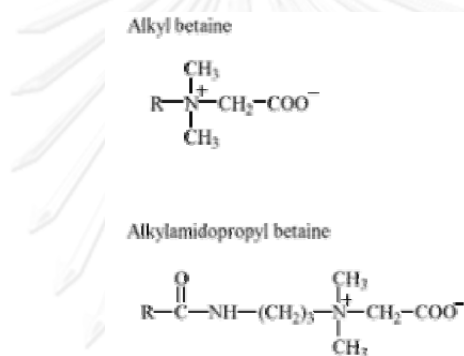
ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของ Cationic surfactant

3. สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะต่างจากสารลดแรงตึงผิวประจุลบ (anionic) และประจุบวก (cationic) ตรงที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุโดยมีพวกโพลีเอสเตอร์ (polyether) หรือโพลีไฮดรอกซิล (polyhydroxyl) เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ใช้มากในผงซักฟอก น้ำยาล้างถ้วยขาม และผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดพื้นผิว เป็นต้น



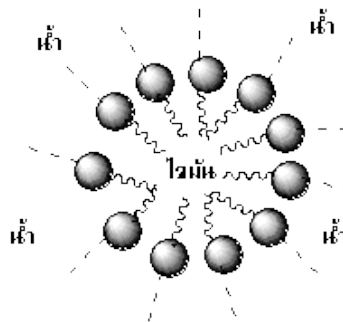
ภาพที่ 2-6 โครงสร้างของ Nonionic surfactant

4. สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุและไม่มีประจุ (Amphoteric surfactant หรือ Zwitterions) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนหัว (hydrophilic) สามารถให้ได้ทั้งประจุบวกและลบโดยจะแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสภาวะแวดล้อมถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่าง ($\text{pH} > 7$) ประจุไฟฟ้าบนส่วนหัว (hydrophilic) จะให้ประจุลบถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นกรด ($\text{pH} < 7$) ประจุไฟฟ้าบนส่วนหัวจะให้ประจุบวกและในสภาวะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุไฟฟ้าบนส่วนหัว) สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิวหรือผม ในปัจจุบันยังใช้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น



ภาพที่ 2-7 โครงสร้างของ Amphoteric surfactant

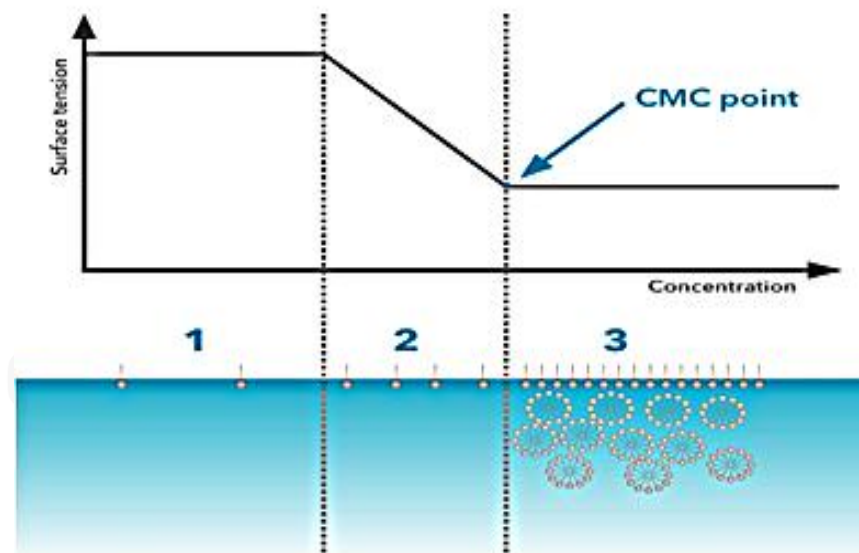
จากสมบัติของสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างเป็นแอมฟิพาติก (amphipathic) ทำให้เมื่ออยู่ในตัวทำละลาย สารลดแรงตึงผิวจะมาสะสมกันอยู่บริเวณผิว (surface) ของตัวทำละลายและทำให้ลดค่าแรงตึงผิวของตัวทำละลาย เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นสูงในตัวทำละลายโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนละลายน้ำออกสู่ด้านนอก และส่วนที่ไม่ละลายน้ำหันเข้าหากันด้วยแรงจับกันของสารลดแรงตึงผิว (surfactant self-association) เกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า ไมเซลล์ (micelle) ขึ้น ลักษณะการเกิดไมเซลล์จะแสดงดังภาพที่ 2-8 ความเข้มข้นที่ทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวมารวมตัวกันนี้ เป็นคุณสมบัติเฉพาะสำหรับสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดเรียกความเข้มข้น ณ จุดนี้ว่า ค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ หรือ Critical micelle concentration (CMC) เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลายเพิ่มขึ้น ค่าแรงตึงผิวของสารละลายจะมีค่าลดลงจนถึงจุด CMC คือ ค่าแรงตึงผิวของสารละลายจะไม่ลดลงอีก ถึงแม้ว่าความเข้มข้นในสารละลายจะเพิ่มขึ้นอีกก็ตาม



ภาพที่ 2- 8 การเกิดไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว

(จิสรา กรงกรด, 2548 : ออนไลน์)

ค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ หรือ Critical micelle concentration (CMC) คือค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดที่ทำให้เกิดไมเซลล์หรือจุดที่มีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดและทำให้มีค่าแรงผิวดำที่สุดด้วย ดังภาพที่ 2-9 ค่าความเข้มข้นวิกฤตในการเกิดไมเซลล์ (CMC) สามารถบอกถึงประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวได้ ถ้าสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า CMC สูง แสดงว่าต้องใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวปริมาณมากในการลดแรงตึงผิว แต่ถ้าใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า CMC ต่ำ แสดงว่าต้องใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวน้อยในการลดแรงตึงผิว



ภาพที่ 2-9 Critical micelle concentration (CMC)

(Biolin Scientific, 2009 : ออนไลน์)

สารลดแรงตึงผิวมีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันมนุษย์เป็นอย่างมาก ในแต่ละวันมนุษย์ใช้สารลดแรงตึงผิวแทบทุกกิจกรรม เช่น ทำความสะอาดร่างกายและของใช้ ใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นจึงมีการนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้ประโยชน์ดังนี้

สารลดแรงตึงผิวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ดังนี้

1. อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด จะใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เช่น ผงซักฟอก สบู่ ยาสีฟัน ยาสระผม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์ที่มีฟอง เป็นต้น
2. อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอางและครีมกันแดดทำหน้าที่ในการก่ออิมัลชัน ซึ่งอิมัลชันจะช่วยให้เกิดการผสมเข้ากันได้ดีและทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่ดี
3. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์ ผลิตยา
4. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น บำบัดน้ำเสีย กำจัดมลพิษทางดิน ดูดซับของเสีย เป็นต้น
5. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในกระบวนการสกัดแยก เช่น การสกัดแยกแร่ การแยกน้ำมันออกจากน้ำ เป็นต้น
6. สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น กระบวนการย้อมผ้า การเคลือบสีไม้หรือโลหะ การผลิตพลาสติก การทำหนังสือ การผลิตเนยเทียม เค้กและไอศกรีม เป็นต้น

2.4 เอทานอลและไบโอเอทานอล

เอทานอล (Ethanol) หรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethylalcohol) เป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุล C_2H_5OH มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 46.07 จุดเดือดประมาณ 78 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟง่าย ให้เปลวไฟสีน้ำเงินไม่มีควัน และมีความไวไฟ โดยปกติเอทานอลสามารถรวมตัวกับน้ำ อีเทอร์หรือคลอโรฟอร์มได้ทุกส่วน การผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมสามารถทำได้ 2 วิธีการด้วยกัน คือ การผลิตเอทานอลทางเคมี และการผลิตเอทานอลทางชีวภาพ

1. การใช้กระบวนการทางเคมีในการสังเคราะห์เอทานอล เป็นวิธีการผลิตหรือสังเคราะห์เอทานอลโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งมีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น ปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็วและให้ความถูกต้องซึ่งสามารถคำนวณได้อย่างใกล้เคียงหรือแน่นอน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง ปฏิกิริยาในการสังเคราะห์เอทานอลมีหลากหลายวิธี และการดูแลเอาใจใส่ไม่ยาวนานเหมือนกระบวนการหมักเอทานอลด้วยวิธีการทางชีวภาพ ส่วนข้อเสียของวิธีการผลิตหรือสังเคราะห์เอทานอลทางเคมี ได้แก่ ต้องใช้สารเคมีที่จำเพาะมากเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์เอทานอล ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ส่วนใหญ่มีราคาสูง เมื่อเทียบกับวัตถุดิบหรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สำหรับตัวอย่าง

ปฏิกิริยาทางเคมีที่ใช้ในการผลิตหรือสังเคราะห์เอทานอลทางเคมี (คณะกรรมการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร, 2545) ได้แก่

- 1) การสังเคราะห์เอทานอลจากปฏิกิริยาการเติมน้ำให้กับเอทิลีน (ethylene) เป็นการเปลี่ยนเอทิลีนให้กลายเป็นเอทานอลโดยการเติมกรดซัลฟูริกให้กับเอทิลีน ได้ผลผลิตเป็นเอทิลไฮโดรเจนซัลเฟต (ethyl hydrogen sulfate) ซึ่งเมื่อนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยน้ำที่ อุณหภูมิสูง จะได้เอทานอลเป็นสารผลิตภัณฑ์
- 2) ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอทานอลโดยการเติมไฮโดรเจนให้กับอัลดีไฮด์ การสังเคราะห์ เอทานอลโดยวิธีนี้ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ดีภายใต้สภาวะที่มีความร้อนและความดันสูง โดยมีนิกเกิล (nikel) และแพลตตินัม (platinum) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)
- 3) การสังเคราะห์เอทานอลจากปฏิกิริยาไฮโดรโบเรชันของเอทิลีน (ethylene) เป็นปฏิกิริยาระหว่างเอทิลีนกับไฮโดรด์ของโบรอน ที่เรียกว่า โบเรน BH_3 (ไดเมอร์ของโบเรน คือ B_2H_6 ซึ่งเรียกว่า ไดโบเรน) จะให้สารประกอบไตรอัลคิลโบรอน ซึ่งเมื่อนำไปออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะให้แอลกอฮอล์หรือเอทานอล
- 4) การสังเคราะห์เอทานอลจากการไฮโดรไลซิสของเอทิลเฮไลด์ (ethyl helide; CH_3CH_2X) เป็นการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อเปลี่ยนเอทิลเฮไลด์ไปเป็นเอทานอล ภายใต้สภาวะเป็นต่าง

2. การใช้วิธีทางชีวเคมี เพื่อผลิตเอทานอล โดยใช้พืชผลหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีแป้ง และน้ำตาลสูงเป็นวัตถุดิบ ในกระบวนการที่ได้รับความนิยมและมีวัตถุดิบที่สามารถเลือกใช้ได้หลากหลายชนิดตามความเหมาะสมของแต่ละประเทศ เอทานอลที่ได้เรียกว่า ไบโอเอทานอล (bio-ethanol) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอเอทานอล แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ คือ

1. วัตถุดิบประเภทแป้ง ได้แก่ ธัญพืช ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และพวกพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ เป็นต้น
2. วัตถุดิบประเภทน้ำตาล ได้แก่ อ้อย กากน้ำตาล ปีทนต์ ข้าวฟ่างหวาน
3. วัตถุดิบประเภทเส้นใย ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด รำข้าว เศษไม้ เศษกระดาษ ขี้เลื่อย เป็นต้น

2.4.1 การผลิตเอทานอลทางเคมี

การผลิตเอทานอลทางเคมีเป็นวิธีการผลิตหรือสังเคราะห์เอทานอลโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี เอทานอลที่ได้มีสารเคมีตัวอื่นๆ ปนมาในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ ซึ่งสารเหล่านั้นเป็นอันตรายทั้งต่อผู้ผลิตและสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้กฎหมายจึงไม่อนุญาตให้นำเอทานอลจากการ

สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีไปใช้รับประทานหรือใช้กับสิ่งมีชีวิตภายในร่างกาย และการสังเคราะห์เอทานอลในทางเคมี สภาวะในการเกิดปฏิกิริยาก่อนข้างสูงหรือจำเพาะ และของเสียจากกระบวนการผลิตยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ดังนั้นในปัจจุบันการผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมจึงไม่นิยมใช้วิธีการผลิตโดยทางเคมี สำหรับตัวอย่างปฏิกิริยาทางเคมีที่ใช้ในการผลิตหรือสังเคราะห์เอทานอลทางเคมีที่สำคัญได้แก่

- 1) การสังเคราะห์เอทานอลจากปฏิกิริยาการเติมน้ำให้กับเอทิลีน (ethylene) เป็นการเปลี่ยนเอทิลีนให้กลายเป็นเอทานอลโดยการเติมกรดซัลฟูริกให้กับเอทิลีนได้ผลผลิตเป็นเอทิลไฮโดรเจนซัลเฟต (ethyl hydrogen sulfate) ซึ่งเมื่อนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยน้ำที่ อุณหภูมิสูง จะได้เอทานอลเป็นสารผลิตภัณฑ์
- 2) ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอทานอลโดยการเติมไฮโดรเจนให้กับอัลดีไฮด์ การสังเคราะห์เอทานอลโดยวิธีนี้ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้ดีภายใต้สภาวะที่มีความร้อนและความดันสูง โดยมีนิกเกิล (nikel) และแพลตตินัม (platinum) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)
- 3) การสังเคราะห์เอทานอลจากปฏิกิริยาไฮโดรโบเรชันของเอทิลีน (ethylene) เป็นปฏิกิริยาระหว่างเอทิลีนกับไฮโดรด์ของโบรอน ที่เรียกว่า โบรอน BH_3 (ไดเมอร์ของโบรอน คือ B_2H_6 ซึ่งเรียกว่า ไดโบรอน) จะให้สารประกอบไตรอัลคิลโบรอน ซึ่งเมื่อนำไปออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์จะให้แอลกอฮอล์หรือเอทานอล
- 4) การสังเคราะห์เอทานอลจากการไฮโดรไลซิสของเอทิลเฮไลด์ (ethyl helide; CH_3CH_2X) เป็นการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเพื่อเปลี่ยนเอทิลเฮไลด์ไปเป็นเอทานอลภายใต้สภาวะเป็นต่าง

2.4.2 การผลิตเอทานอลทางชีวภาพ

การผลิตเอทานอลทางชีวภาพเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารตั้งต้นซึ่งส่วนใหญ่จะหมายถึงสารละลายน้ำตาล (หากเป็นวัตถุดิบที่ไม่ใช่น้ำตาล เช่น แป้งหรือเซลลูโลส จำเป็นต้องเปลี่ยนวัตถุดิบเหล่านั้นให้กลายเป็นน้ำตาลที่สามารถหมักได้ก่อนซึ่งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า pretreatment ให้กลายเป็นเอทานอลโดยอาศัยกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตที่สำคัญคือ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Zymomonas mobilis* ข้อดีของการผลิตเอทานอลทางชีวภาพคือ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่รุนแรงเมื่อเทียบกับวิธีการสังเคราะห์ทางเคมี ต้นทุนในการผลิตต่ำเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เป็นผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งมีราคาถูกเมื่อเทียบกับวิธีการสังเคราะห์เอทานอลด้วยวิธีทางเคมี นอกจากนี้ปริมาณของวัตถุดิบยังมีมาก และหาได้ง่าย โดยเฉพาะของเหลือทิ้งทางการเกษตร ข้อดีทางอ้อมคือ ช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้แก่พืชผลทางการเกษตร สร้างรายได้ให้แก่

เกษตรกร ช่วยลดขยะและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม และผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้ตัวอื่นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใช้ทำน้ำแข็งแห้ง น้ำโซดา หรือสารตั้งต้นในปฏิกิริยาเคมี เอนไซม์อินเวอร์เทสซึ่งผลิตได้จากยีสต์สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ ตัวยีสต์อาจใช้เป็นอาหารเสริมเป็นแหล่งของวิตามินบี ใช้เป็นสารปรุงแต่งอาหารที่ให้อร่อย หรือใช้เป็นอาหารสัตว์ ส่วนข้อเสียของการผลิตเอทานอลทางชีวภาพคือ กระบวนการผลิตเอทานอลเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้ต้องใช้แรงงาน และการดูแลเอาใจใส่มากกว่าวิธีการทางเคมี นอกจากนี้หากต้องการปริมาณผลผลิตที่มากจำเป็นต้องใช้ระบบการผลิตที่ใหญ่ขึ้น ทำให้ต้นทุนของการผลิตโดยเฉพาะต้นทุนเกี่ยวกับเครื่องมืออุปกรณ์สูงขึ้นด้วย และในบางครั้งหากใช้วัตถุดิบที่จุลินทรีย์ไม่สามารถใช้ได้โดยตรง จำเป็นที่จะต้องปรับสภาพหรือเปลี่ยนไปเป็นสารตั้งต้นที่จุลินทรีย์สามารถใช้ได้ก่อน ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากซับซ้อนและเสียค่าใช้จ่ายมากขึ้น

2.4.3 ประโยชน์ของเอทานอล

เอทานอลที่ผลิตอยู่ในปัจจุบันมีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย อาทิเช่น

- 1) ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้พลังงานและความร้อน
- 2) ใช้เป็นตัวทำละลายทางเคมีในทางอุตสาหกรรม
- 3) ในทางการแพทย์ใช้เป็นตัวทำละลายยาและเป็นสารเสริมช่วยออกฤทธิ์ในยา นอกจากนี้ยังใช้เป็นน้ำยาฆ่าเชื้อเพื่อทำความสะอาดแผล
- 4) ใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาทางเคมีเพื่อการผลิตสารบางชนิดในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง เช่น น้ำหอม สบู่ เป็นต้น

2.5 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

น้ำมันพืชมีสมบัติโดยรวมใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าน้ำมันเบนซินจึงเหมาะที่จะนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยมักใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบต่ำ เช่น เครื่องยนต์สำหรับเกษตรกรรม และการประมง เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูง ระเหยได้ช้า และเมื่ออุณหภูมิต่ำก็อาจเป็นไขได้ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืชก่อนโดยกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพหลักที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชให้มีความเหมาะสมที่จะใช้กับเครื่องยนต์ได้มีอยู่หลายวิธี ดังนี้

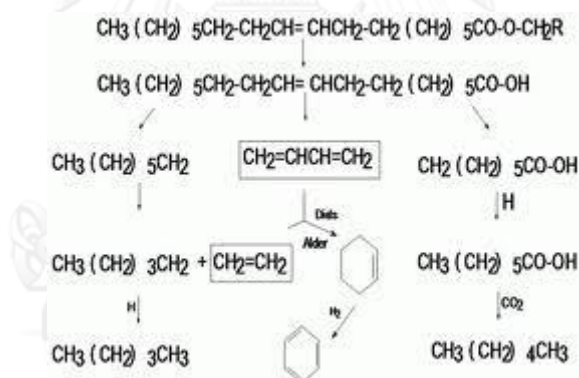
2.5.1 การใช้น้ำมันพืชโดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล (direct use and blending)

ในอดีตมีการนำน้ำมันพืชมาใช้แทนน้ำมันดีเซล (Tippayawong และคณะ, 2002) แต่การใช้แทนดีเซลโดยตรงในเครื่องยนต์ไม่สะดวก แต่ถ้าเป็นการผสมกับดีเซลในอัตราส่วน 10-20% พบว่า เครื่องยนต์ไม่มีปัญหาเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันผสมก่อนจะปั๊มเข้าเครื่องยนต์ แต่อาจมีน้ำมัน

บางส่วนที่ไม่ถูกเผาไหม้และเข้าไปปนกับน้ำมันหล่อลื่น ส่งผลให้หล่อลื่นไม่ดีเพราะความหนืดขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว นอกจากนี้ความหนืดของน้ำมันผสมก็ไม่เป็นไปตามมาตรฐานของน้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันพืชส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอนในส่วนของกรดไขมันอยู่ในช่วง 14-18 ความหนืดของน้ำมันพืชมีค่ามากกว่าความหนืดของน้ำมันพืชมีค่ามากกว่าความหนืดของน้ำมันดีเซลประมาณ 40 เท่า การผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันพืชในอัตราส่วน 50/50 โดยปริมาตร จึงทำให้ความหนืดยังคงสูงกว่าน้ำมันดีเซลถึง 18 เท่า (นคร ทิพยาวงศ์, 2553) สำหรับข้อเสียในการใช้น้ำมันพืชในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงคือ เชื้อเพลิงที่ได้มีความหนืดสูง (High viscosity) ทำให้ระบบปั๊มหัวฉีดตลอดจนระบบส่งน้ำมัน สึกหรือและอุดตันได้ง่าย เกิดเขม่าในห้องเผาไหม้ และเกิดการอุดตันระบบท่อและปั๊ม ตลอดจนหัวฉีดจากยางเหนียวที่เกิดขึ้น

2.5.2 ไพโรไลซิส (Pyrolysis)

วิธีนี้เป็นปฏิกิริยาการสลายโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงด้วยความร้อนภายใต้สภาวะที่ดันซึ่งนิยมทำกับไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ให้เป็นผลิตภัณฑ์เล็กลง ภาพที่ 2-10 แสดงกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนของไตรกลีเซอไรด์



ภาพที่ 2-10 กลไกการสลายตัวด้วยความร้อนของไตรกลีเซอไรด์

ส่วนประกอบของน้ำมันสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการความร้อน (pyrolyzed oil) ส่วนประกอบหลักที่ได้ คือ ไฮโดรคาร์บอนกลุ่มแอลเคนและแอลคีน คิดเป็นประมาณ 60% โดยมวล ตั้งต้น (นคร ทิพยาวงศ์, 2553) รวมไปถึงสารประกอบอะโรมาติก (aromatic) และกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) เมื่อศึกษาผลของการสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิสูงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กเพิ่มมากขึ้น ปัญหาที่พบบ่อยในการเกิดปฏิกิริยาการสลายโมเลกุลด้วยความร้อน คือการเกิดปฏิกิริยาหลากหลายปฏิกิริยาจึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายยากต่อการควบคุมคุณภาพ (Do และคณะ, 2011) และต้องใช้พลังงานในกระบวนการสูง

2.5.3 ไมโครอิมัลซิฟิเคชัน (Micro-emulsification)

ไมโครอิมัลซิฟิเคชันเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมากในงานวิจัยนี้ วิธีไมโครอิมัลซิฟิเคชันเป็นการนำของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถรวมตัวกันได้ระหว่างแอลกอฮอล์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำกับน้ำมันพืชที่ผสมกับน้ำมันดีเซล โดยอาศัยแรงกลและสารลดแรงตึง (Dunn, 2004) โดยให้ได้ขนาดอนุภาคประมาณ 1-50 นาโนเมตร ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจะใช้ตัวทำละลายหรือสารลดแรงตึงผิวพวกแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล (methanol) เอทานอล (ethanol) และ 1-บิวทานอล (1-butanol) การผสมดังกล่าวช่วยทำให้ความหนืดของน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ตามธรรมชาติลดลง แต่ยังคงก่อให้เกิดปัญหาด้านการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นเศษกากถ่านติดหัวฉีดและเครื่องยนต์ (นคร ทิพยาววงศ์, 2553)

2.5.4 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือเรียกว่า ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ เพื่อให้เกิดเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือทำในภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูงเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตด้วย เนื่องจากปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์มากเกินไปพอจะช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดไปในทางผลิตภัณฑ์ที่ดี ซึ่งเอสเทอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาจะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลโดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะทำให้จุดไหลเทและจุดขุ่นมีค่าสูงกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ

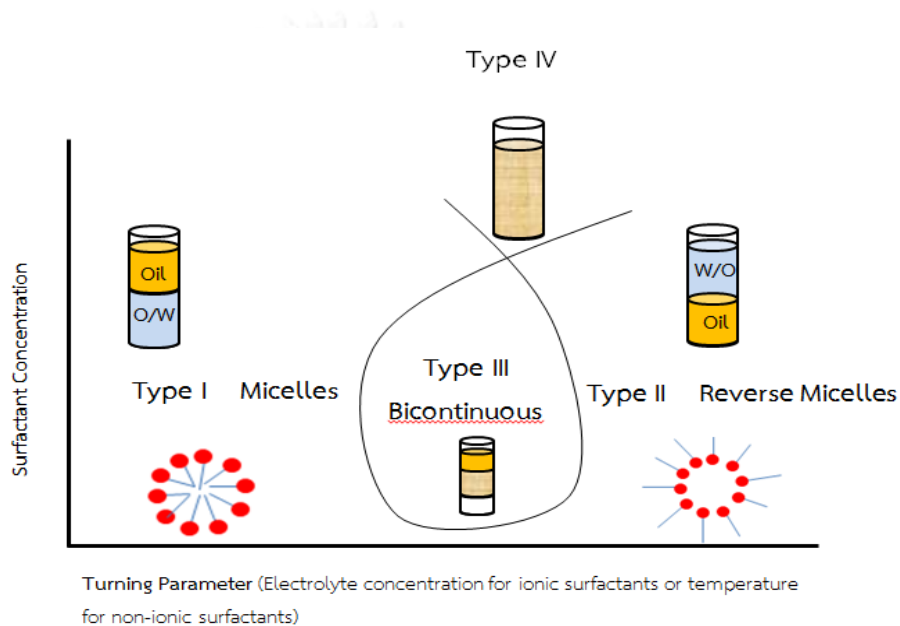
2.6 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

การเกิดไมโครอิมัลชันสามารถเกิดได้ 4 ชนิดซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่า HLB (Hydrophilic lipophile balance) ของสารลดแรงตึงผิว การเกิดไมโครอิมัลชันจะแสดงดังแผนภาพของ Winsor ดังภาพที่ 2-11

ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชัน (microemulsion) 4 ชนิด ดังนี้

1. Winsor type I (oil in water, O/W) คือ การใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB สูง ($HLB > 7$) ละลายอยู่ในชั้นน้ำ และมีโมเลกุลบางส่วนของน้ำมันเข้าไปอยู่ในชั้นน้ำ โดยทั่วไปเรียกว่า ไมเซลล์ (micelle)
2. Winsor type II (water in oil, W/O) หรือเรียกว่า รีเวิร์สไมเซลล์ (reverse micelle) คือ เมื่อสารลดแรงตึงมีค่า HLB ต่ำ ($HLB < 7$) การเกิดไมโครอิมัลชันแบบนี้จะเกิดจากสารลดแรงตึงผิวที่มี HLB ต่ำละลายอยู่ในชั้นน้ำมัน และมีโมเลกุลบางส่วนของน้ำเข้าไปอยู่ในชั้นน้ำมันจะเกิดไมโครอิมัลชันในทิศทางตรงข้ามกับไมเซลล์

3. Winsor type III หรือ middle phase เกิดจากในระบบค่า HLB เริ่มลดลง จะเกิดชั้นกลางขึ้นระหว่างชั้นน้ำและชั้นน้ำมัน เนื่องจากโมเลกุลของน้ำกับน้ำมันต่างมีแรงตึงผิวน้อยจึงต่างเข้าไปอยู่ในชั้นกลาง
4. Winsor type VI เกิดจากสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นสูงมาก ทำให้ในระบบไม่มีการแยกเป็นชั้นเกิดชั้นระหว่างชั้นน้ำ ชั้นน้ำมัน และสารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะเกิดบริเวณด้านบนของภาพที่ 2-11



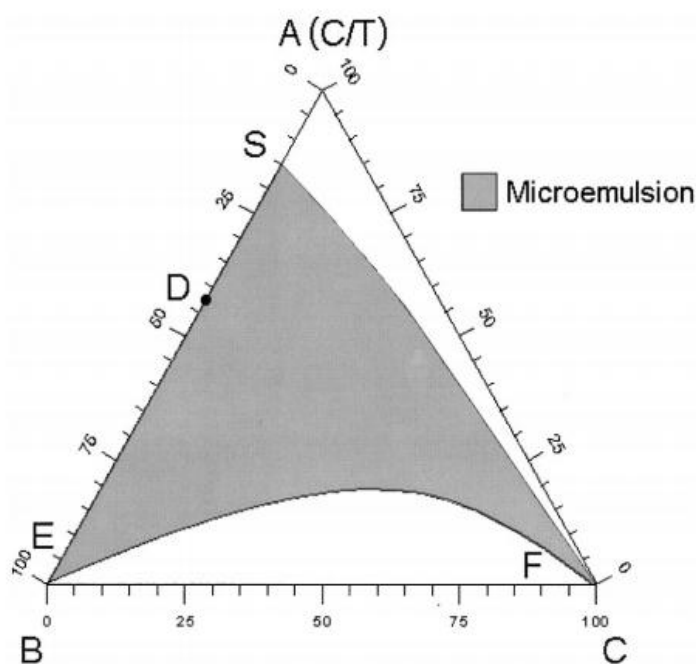
ภาพที่ 2-11 แผนภาพ Winsor ของการเกิดไมโครอิมัลชัน

ข้อดีของวิธีไมโครอิมัลชัน คือ ต้นทุนในการผลิตต่ำ การดำเนินงานที่ง่ายและสะดวก และไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี ถึงแม้ว่าจะเกิดค่าความร้อนสูญเสียปริมาณเล็กน้อย สำหรับเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่มีส่วนผสมของเอทานอลจะทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ต่ำ ส่งผลให้ไม่เกิดควันดำและอนุภาค

2.6.1 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary phase diagram)

แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary phase diagram) คือ เฟสไดอะแกรมที่ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ชนิด สร้างเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า โดยที่สารประกอบของแต่ละองค์ประกอบจะอยู่ที่มุมของสามเหลี่ยม ในงานวิจัยนี้ใช้ในศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยจะใช้แผนภาพสามเหลี่ยมซึ่งประกอบด้วย 3 จุด จากสามองค์ประกอบโดยใช้วิธีการคำนวณหาปริมาณจุดด้านบนของรูปสามเหลี่ยมเป็นตัวแทนของอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวรวม (S/C

ratio) ส่วนด้านล่าง 2 จุด แทนด้วยน้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลและเอทานอล ตามลำดับ สุดท้าย ปริมาตรรวมของอัตราส่วน S/C ratio น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล และเอทานอล จะมีปริมาตร 100% ของปริมาตรทั้งหมด จากนั้นทำการพลอตกราฟตามปริมาตรที่คำนวณได้ ทั้งนี้แผนภาพ สามเหลี่ยมจะแบ่งออกเป็นส่วนที่เป็นสองเฟสและเฟสเดียว เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีไมโคร-อิมัลชันจะเป็นเฟสเดียว แสดงดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary phase diagram)

2.7 เอทิลีนออกไซด์ (Ethylene Oxide, EO)

ชื่อสามัญ	เอทิลีนออกไซด์ (Ethylene Oxide, EO)
ชื่อทางเคมี	1, 2-epoxyethane
สูตรโมเลกุล	C_2H_4O
สูตรโครงสร้างโมเลกุล	
น้ำหนักโมเลกุล	44.05

เอทิลีนออกไซด์ (Ethylene Oxide, EO) เป็นสารไม่มีสีมีกลิ่นเฉพาะตัว ติดไฟได้คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ ethylene oxide แสดงในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2- 5 คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเอทิลีนออกไซด์

(กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

จุดหลอมเหลว (°C)	-111
จุดเดือด (°C)	10.7
ความถ่วงจำเพาะ	0.897
ดัชนีหักเหแสง (n_D^{20})	1.3597
ความหนาแน่นไอ (อากาศ =1)	1.49
ความดันไอ (mmHg)	1,314 ที่อุณหภูมิ 25 °C
ความเข้มข้นติดไฟได้ (ร้อยละในอากาศ)	3.6-100
อุณหภูมิติดไฟได้เอง (°C)	428.9
n-octanol-water partition coefficient, K_{ow} log K_{ow}	-0.30

ประโยชน์ของเอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) มีดังนี้

- ใช้ซ่อมแซมเชื้อโรคเครื่องมือแพทย์ที่ไม่สามารถใช้ความร้อนได้
- ใช้เป็นสารรมควันสำหรับผ้า ขนสัตว์ อาหาร
- ใช้บ่มผลไม้ให้สุก
- ใช้เป็นสารขับเคลื่อนสำหรับจรวด
- ใช้ผลิตสารเคมีหลายชนิด เช่น acrylonitrile, nonionic surfactant

เอทิลีนออกไซด์จะถูกนำไปเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ซึ่งสามารถจะผลิตจากวัตถุดิบจากกระบวนการปิโตรเคมี หรือมาจากแอลกอฮอล์ไขมันที่มาจากธรรมชาติ โดยการเติมกลุ่มเอทิลีนออกไซด์เข้าจะเกิดเป็น fatty alcohol ethoxylate สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุจะไม่แตกตัวเมื่อละลายอยู่ในน้ำและมีความเป็นกลางไฟฟ้า โดยสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายผลิตภัณฑ์ ได้แก่ น้ำยาทำความสะอาด น้ำยาล้างจาน น้ำยาซักผ้าหรือแชมพู ตัวอย่างเช่น alcohol alkylphenol ethoxylate และ alkyl ethoxylate

2.8 Plantacare 1200

Plantacare 1200 หรือ Lauryl Glucoside เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่มีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ ผลิตมาจากน้ำมันมะพร้าว หรือน้ำมันปาล์ม และนำไปทำปฏิกิริยากับน้ำตาลกลูโคส มีลักษณะเหลวข้น ประกอบด้วย C12-C16 fatty alcohol polyglycoside ทำงานได้ดีในน้ำกระด้าง และถูกย่อยสลายทางธรรมชาติได้ง่าย เหมาะสำหรับใช้ผสมในแชมพู สบู่หรือสบู่ล้างหน้า เนื่องจากมีความอ่อนโยนมากพิเศษ ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2- 6 คุณสมบัติของแพลนทาแคร์ 1200

(Carechemicals, 2004)

คุณสมบัติ	หน่วย		อัตราสูงสุด
Free fatty alcohol		ไม่สูงกว่า	1.0
Viscosity (40° C)	mPas	ไม่ต่ำกว่า และไม่สูงกว่า	2,000 4,000
เถ้า	%Wt	ไม่สูงกว่า	2.0
ความหนาแน่น (40° C)	g/cm ³	ไม่ต่ำกว่า และไม่สูงกว่า	1.07 1.08

2.9 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel)

น้ำมันดีเซล (Diesel fuel) คือ น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบที่ได้จากโรงกลั่นเช่นเดียวกับน้ำมันเบนซิน ซึ่งเป็นน้ำมันที่เรียกว่า น้ำมันใส หรือ Distillate Fuel มีช่วงจุดเดือดประมาณ 180-370 องศาเซลเซียส น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเป็นเครื่องยนต์แรงอัดสูง (High Compression) และจุดระเบิดเอง (Self ignition Engine) ซึ่งการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นจากความร้อนจากแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบ โดยไม่ต้องใช้หัวเทียน น้ำมันดีเซลที่มีจำหน่ายในปัจจุบันนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนเร็วที่ใช้กับยานยนต์ (Automotive Diesel Oil หรือ Gas Oil) เช่น รถยนต์, รถบรรทุก, เรือประมง, เรือโดยสาร, รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรกลหนักทุกชนิดที่มีรอบหมุนเร็วเกิน 1,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ประเภทนี้จำเป็นต้องใช้น้ำมันที่มีค่าซีเทนสูงเพราะจำทำให้เครื่องยนต์จุดติดได้เร็วหรือมีระยะเวลาในการจุดติดที่สั้น และมีการระเหยเร็ว มิฉะนั้นเครื่องยนต์จะเดินไม่สะดวก น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทนี้เรียกว่า น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (HSD; High Speed Diesel Oil) แต่ในตลาดเป็นที่รู้จักกันในชื่อของน้ำมันโซล่า ถ้าใช้กับเรือเดินสมุทรมักเรียกว่า Marine Gas Oil สะดวก โดยทางรัฐบาลได้มีการกำหนดค่าซีเทนอย่างต่ำ 47

2. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนปานกลางหรือหมุนช้า (Industrial Diesel Oil) เช่น เครื่องยนต์ดีเซลขับเคลื่อนกำลัง ติดตั้งอยู่กับที่ตามโรงงานต่างๆ ซึ่งมีรอบการทำงานต่ำ ประมาณ 500-1,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ประเภทนี้ไม่ต้องการน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงมากนัก และการระเหยอาจช้ากว่าได้ น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทนี้เรียกว่า น้ำมันดีเซลหมุนช้า (LSD; Low Speed Diesel Oil) ซึ่งในตลาดเป็นที่รู้จักกันว่า น้ำมันซีโล่ ถ้าใช้กับเรือเดินสมุทรมักเรียกว่า Marine Diesel Oil เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (Distillate Fuel) และน้ำมันเตา (Fuel Oil, FO หรือ Heavy Fuel Oil, HFO) ในอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์

การนำน้ำมันดีเซลไปใช้งานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- แยกตัวเป็นละอองขนาดเล็กได้
- มีการจุดติดไฟด้วยตัวเองต่ำ
- เผาไหม้ได้หมด
- ให้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูง
- ไม่แข็งตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำ
- ปริมาณกำมะถันน้อย

จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงต้องมีการกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลก่อนที่จะนำมาใช้งาน ดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2- 7 คุณสมบัติน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM (American Standard Testing Method)

คุณสมบัติน้ำมันดีเซล	หน่วย	วิธีทดสอบ	ค่ามาตรฐานน้ำมันดีเซล
จุดวาบไฟ (flash point)	°C	ASTM D 93	52
จุดขุ่น (pour point)	°C	ASTM D 2500	-
ค่าความหนืด (kinematic viscosity) ที่ 40 °C	mm ² /s	ASTM D 445	1.9-4.1
เถ้า (ash)	% mass	ASTM D 482	0.01
กากถ่าน (carbon residue)	% mass	ASTM D 4530	0.05
ค่าของกรด (acid number)	mg KOH/g oil	ASTM D 664	0.08

ที่มา : ASTM American Society for Testing and Materials, 2008

2.10 น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel oil)

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เช่น ปาล์ม มะพร้าว ถั่ว-เหลือง ทานตะวัน เมล็ดเรพ (rape seed) สบู่ดำ น้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำมาทำปฏิกิริยาทางเคมีด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (transesterification) ร่วมกับเมทานอลหรือเอทานอลจนเกิดเป็นสารเอสเทอร์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เรียกว่า ไบโอดีเซล (B100) ซึ่งเมื่อนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเกรดที่ใช้กันในปัจจุบันในสัดส่วนร้อยละ 5- 10 (B5-B10) จะสามารถนำมาใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลได้เป็นอย่างดี โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังได้กลีเซอรอลและกรดไขมันเป็นผลพลอยได้

กระบวนการผลิตไบโอดีเซล หรือการสังเคราะห์สารเอสเทอร์จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ทำได้ 3 วิธี (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย [วว.], 2550) คือ

1. การทำปฏิกิริยาของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ โดยใช้กรดหรือเบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยา หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification)
2. การทำปฏิกิริยาของน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง โดยไม่ต้องใช้สารเร่งปฏิกิริยา หรือที่เรียกว่า Super critical
3. ปฏิกิริยาการเปลี่ยนของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ให้เป็นกรดไขมัน และให้กรดไขมันทำปฏิกิริยาต่อกับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นเอสเทอร์ หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาเอสเทอร์ิฟิเคชัน (Esterification)

จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล หรือการสังเคราะห์สารเอสเทอร์จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ดังกล่าว ทำให้ได้ผลผลิตเป็นไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลมีองค์ประกอบและโครงสร้างที่แตกต่างกัน ทำให้ไบโอดีเซลยังคงมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซล โดยทั่วไปแล้วสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลได้ ดังนี้

1. ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสะอาดที่ไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ทำให้ไอเสียที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ไม่ก่อให้เกิดฝนกรด ส่วนน้ำมันดีเซลนั้นมีกำมะถันองค์ประกอบ เมื่อเผาไหม้แล้วจะเกิดเป็นกรดซัลเฟอร์ไดออกไซด์และกรดซัลฟูริก เมื่อฝนตกจะเกิดฝนกรดได้
2. น้ำมันดีเซลจะไม่มีออกซิเจนในโครงสร้างโมเลกุล แต่จะมีสาร Aromatic compound เป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 20-40 ในขณะที่ไบโอดีเซลไม่มีสาร Aromatic compound เป็นองค์ประกอบ แต่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลถึงร้อยละ 10-12 เมื่อนำมาใช้งาน ไอเสียที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก และมีควันดำต่ำกว่าน้ำมันดีเซล
3. ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีจุดระเบิดได้ช้ากว่าน้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซลไม่มีพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุล ขณะที่ไบโอดีเซลมีพันธะคู่ในโมเลกุลของน้ำมันพืช ทำให้ไบโอดีเซลไม่เสถียรตัว เกิดออกซิเดชันได้เร็วกว่าน้ำมันดีเซล และมีระยะการเก็บรักษาหลังการผลิตสั้นกว่าน้ำมันดีเซล

4. ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้

2.11 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในเครื่องยนต์ต้องมีคุณภาพที่เหมาะสมคุณสมบัติที่ควรคำนึงถึง คือ

2.11.1 ความหนืด (Kinematic viscosity)

ความหนืด (Kinematic viscosity) หรือความข้นใสของน้ำมันในทางปฏิบัติขณะที่น้ำมันไหลออกจากช่องขนาดเล็กภายใต้แรงดึงดูดของโลก อุณหภูมิมีผลกระทบต่อความหนืดอย่างมาก การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยจะทำให้ความหนืดเปลี่ยนแปลงไปได้มาก ดังนั้นการวัดความหนืดจะต้องระบุอุณหภูมิที่วัดด้วย และขณะที่วัดต้องไม่ให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ความหนืดมีอิทธิพลต่อรูปร่างลักษณะของละอองฝอยน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้อย่างมาก

2.11.2 จุดขุ่น (Cloud point)

จุดขุ่น (Cloud point) คือ อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงเริ่มเกิดความขุ่น เมื่อเชื้อเพลิงถูกทำให้เย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิที่เป็นไขหรือของแข็งเริ่มตกผลึกแยกตัวออกจากเชื้อเพลิง จุดขุ่นจะบอกให้ทราบถึงอุณหภูมิต่ำที่สุดที่สามารถจะนำผลิตรถยนต์ไปใช้งานได้ (นคร ทิพย์าวงศ์, 2553) โดยมาตรฐานของจุดขุ่น ในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์) คือ ช่วงอุณหภูมิมากที่สุด -10 องศาเซลเซียส และช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – ตุลาคม) คือ ช่วงอุณหภูมิมากที่สุด -4 องศาเซลเซียส (Do และคณะ, 2011)

2.11.3 จุดไหลเท (Pour point)

จุดไหลเท คือ อุณหภูมิต่ำที่สุดที่น้ำมันยังคงไหลตัวได้ จุดไหลเทของน้ำมันจะเป็นดัชนีบ่งบอกถึงอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยังคงสามารถนำไปใช้งานได้ (นคร ทิพย์าวงศ์, 2553) มาตรฐานของจุดไหลเท ในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์) คือ ช่วงอุณหภูมิมากที่สุด -17.8 องศาเซลเซียส และช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – ตุลาคม) คือ ช่วงอุณหภูมิมากที่สุด -9.4 องศาเซลเซียส (Do และคณะ, 2011) เช่น ในประเทศที่หนาวจะต้องเลือกใช้น้ำมันที่จุดไหลเทต่ำเพื่อให้สามารถไหลได้ ถึงแม้อุณหภูมิของอากาศโดยรอบจะต่ำ

2.11.4 จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟ (Flash point) คือ อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของน้ำมันเมื่อได้รับความร้อนแล้ว ให้ไอระเหยออกมาอย่างได้สัดส่วนพอเหมาะ และเมื่อสัมผัสกับเปลวไฟจะลุกติดไฟในขณะหนึ่งแล้วดับไป ผลผลิตก้นน้ำมันเบาจะมีจุดวาบไฟต่ำ ผลผลิตก้นน้ำมันหนักจะมีจุดวาบไฟสูงขึ้น จุดวาบไฟจะแสดงให้ทราบว่าน้ำมันชนิดนั้นมีคุณสมบัติให้ไอระเหยไวไฟและระเบิดได้มากน้อยเพียงใด นอกจากนี้ยังใช้จุดวาบไฟสำหรับตรวจสอบหากมีน้ำมันชนิดเบาเจือปน

2.11.5 ค่าซีเทน (Cetane number)

ค่าซีเทน (Cetane number) คือ ค่าบ่งบอกคุณภาพของการจุดระเบิดของเชื้อเพลิง โดยจะใช้อุณหภูมิติดไฟตัวเอง (Auto-ignition temperature, AIT) ของน้ำมันเป็นตัววัด ซึ่งอุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงสามารถลุกไหม้ได้เองในบรรยากาศที่ปราศจากประกายไฟ เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้หลักการ การจุดระเบิดด้วยการอัดอากาศให้มีอุณหภูมิสูงจนเชื้อเพลิงสามารถจุดระเบิดได้เองแทนการจุดระเบิดด้วยหัวเทียน สำหรับสารที่มีค่าซีเทนต่ำทำให้การจุดระเบิดล่าช้า เนื่องจากเชื้อเพลิงต้องดูดความร้อนในปริมาณมากสามารถจุดระเบิดได้เอง ทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่ถูกเผาไหม้ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสะสม และจุดระเบิดพร้อมกันทีเดียว ส่งผลให้ความดันภายในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเครื่องยนต์หยุดชะงักเนื่องจากเสียดังหวะ ในทางตรงกันข้าม น้ำมันดีเซลมีเลขซีเทนสูงมากทำให้เครื่องยนต์มีกำลังต่ำเกินไป และยังสามารถทำได้ยากอีกด้วย

2.11.6 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เป็นตัวชี้บ่งประเภทของน้ำมันหยาบๆ นอกจากนั้นยังบอกถึงปริมาณความร้อนที่ได้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของเชื้อเพลิง หากน้ำมันมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงแสดงว่า มีพวกออะโรเมติกมาก ทำให้เผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลไม่ดีนัก เชื้อเพลิงให้ความร้อนได้ดี และทำให้ใช้น้ำมันน้อยลง เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของของเหลวจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ นิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

2.11.7 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น (Density) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงน้ำหนักของเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์โดยตรง กล่าวคือ การฉีดเชื้อเพลิงในแต่ละครั้งเครื่องจะวัดค่าในรูปของปริมาตร ดังนั้นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันที่มีความหนาแน่นมากจะให้กำลังและโอกาสที่จะเกิดควันได้มากกว่า เนื่องจากมีมวลของเชื้อเพลิงที่จะเผาไหม้ได้มากกว่า โดยทั่วไปความ หนาแน่นที่ยอมรับจะอยู่ระหว่าง 0.80-0.86 กรัมต่อมิลลิลิตร

2.11.8 กากคาร์บอน (Carbon Residue)

กากคาร์บอน (Carbon Residue) คือ ปริมาณของสารที่เหลือตกค้างอยู่หลังจาก น้ำมันดีเซลได้ระเหยออกไปหมดแล้วเมื่ออุณหภูมิสูง ๆ ถ้าน้ำมันมีค่าของกากคาร์บอนสูงเกินไปจะส่งผลให้เกิดคราบเขม่าสะสมในห้องเผาไหม้ได้มาก และไอเสียมีควันดำมากด้วย

2.11.9 ปริมาณน้ำ (Water content)

ปริมาณน้ำ (Water content) คือ ปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง วิเคราะห์โดยการไทเทรตด้วยวิธี Karl-Fischer ถ้ามีปริมาณน้ำมากทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลง ส่งผลให้ไนโตรเจนออกไซด์และอนุภาคขนาดเล็กลดลง แต่ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น

2.11.10 ปริมาณเถ้า (Ash content)

ในน้ำมันดีเซล จะประกอบด้วยสารพวกที่ไม่สามารถเผาไหม้หมดได้ ซึ่งอยู่ในรูปของแข็ง สารอนินทรีย์ต่างๆ และในรูปของสารสบู่จำพวกโลหะที่ละลายในน้ำมันได้ สารพวกที่เป็นของแข็งจะขีดข่วนผิวโลหะของเครื่องยนต์ให้เป็นรอยได้ ทำความสึกหรอให้กับปั๊มหัวฉีด และหัวฉีด ส่วนสารประเภทสบู่ของโลหะที่ละลายได้ จะทำให้เกิดคราบตะกอนเกาะติดในเครื่องยนต์เพิ่มการสึกหรอได้

2.11.11 ค่าของกรด (Acid number)

ค่าของกรด (Acid number) เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรดในน้ำมัน เป็นผลมาจากกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืช และปริมาณกรดที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลซึ่งมีผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ ทำให้อายุการใช้งานของปั๊มและไส้กรองน้ำมันลดลง

คุณสมบัติมาตรฐานของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งจะแสดงดังตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2- 8 คุณสมบัติมาตรฐานของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM

Property	unit	Diesel ASTM D975		Biodiesel ASTM D6751		คุณสมบัติที่ศึกษาในงานวิจัยนี้
		Test Method	Limits	Test Method	Limits	
Flash point	°C	D 93	>52	D 93	93	✓
Cloud point	°C	D 2500	-15 to 5	D 2500	-3 to 12	✓
Pour point	°C	D 97	-35 to 15	D 97	-15 to 10	✓
Density	kg/m ³	D 1298	860-900	-	-	✓
Specific Gravity	kg/l	D 1298	0.85	-	-	✓
Kinematic viscosity	mm ² /s	D 445	1.9-4.1	D 445	1.9-6.0	✓
Heating value	J/g	D 240	45,800	-	-	✓
Water	%vol	D 2709	0.05	D 2709	0.050	✓
Ash content	%wt	D 482	0.01		0.050 max	✓
Acid number	mgKOH/g	-	-	D 664	0.50 max	✓
Cetane number	min	D 613	40-50	D 613	47-65	-
Carbon residue	%wt	D 524	0.35%	D 4530	0.050	-
Sulphur	mg/kg	D 5453	15	D 5453	15 ppm	-
Copper strip corrosion	-	D 130	No 3	D 130	No 3	-

ที่มา : ASTM (American Society for Testing and Materials), 2008

2.12 เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel engine)

เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel engine) เป็นเครื่องยนต์ประเภทหนึ่ง คิดค้นโดย นายรูดอล์ฟ ดีเซล (Rudolf Diesel) วิศวกรชาวเยอรมัน ในปี ค.ศ. 1897 เครื่องยนต์ชนิดนี้ ไม่มีหัวเทียน การจุดระเบิดอาศัยหลักการอัดอากาศและเชื้อเพลิงให้มีความดันสูงจนเชื้อเพลิงสามารถติดไฟได้ เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง หรือที่เรียกว่า น้ำมันโซล่า ส่วนมากเครื่องยนต์ดีเซลจะใช้เป็นต้นกำลังของรถบรรทุก รถบัส รถโดยสาร รถกระบะ รถแทรกเตอร์ รถไถนา เรือหางยาวขนาดใหญ่ เรือดำน้ำ และเครื่องผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่

หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล คือ อากาศเมื่อถูกอัดตัวจะมีความร้อนสูงขึ้น แต่ถ้าอากาศถูกอัดอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการสูญเสียความร้อน ทั้งแรงดันและความร้อนจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อฉีดละอองน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในอากาศที่ร้อนจัดจากการอัดตัว ก็จะเกิดการเผาไหม้ขึ้นอย่างทันทีทันใด ทำให้เกิดกำลังงานขึ้น กำลังงานที่เกิดขึ้นจะนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของแรงขับหรือแรงผลักดันผ่านลูกสูบและก้านสูบทำให้เพลาค้อเหวี่ยงหมุน ณ กำลังอัดเดียวกัน อากาศที่อุณหภูมิเริ่มต้นสูงกว่า เมื่อถูกอัดย่อมมีอุณหภูมิสูงกว่าหรือร้อนกว่า

เครื่องยนต์ดีเซลแบ่งออกเป็นแบบใหญ่ๆ ได้เป็น 2 แบบคือ

1. เครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะ (The 4-cycle Engine)
2. เครื่องยนต์แบบ 2 จังหวะ (The 2-cycle Engine)

เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก โดยทั่วไปจะเป็นเครื่องยนต์ 4 จังหวะ เช่น เครื่องปั่นไฟ เครื่องสูบน้ำ รถยนต์ ซึ่งจะแสดงดังภาพที่ 2-13 สำหรับเครื่องยนต์ 2 จังหวะ มักใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่



ภาพที่ 2-13 เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรางคณา ประภาตกุล (2551) ศึกษาการผลิตไบโอดีโซฮอล์จากน้ำมันสบู่ดำโดยใช้เทคนิคไมโครอิมัลชัน จากชุดเทอนารีไดอะแกรม พบว่า องค์ประกอบที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันคือ น้ำมันสบู่ดำ 95% สารลดแรงตึงผิวร่วมกับสารลดแรงตึงผิว 5% ซึ่งอัตราส่วนคือ 0.5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวนิดเดียวกัน จากนั้นจะทดสอบคุณสมบัติของน้ำมัน ได้แก่ ค่าความหนืด ค่าความเป็นกรด และค่าความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน น้ำมันไมโครอิมัลชันมีความหนืดสูงจึงต้องมีการผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วน 5:95, 10:90 และ 20:80 โดยปริมาตร ซึ่งเรียกว่า เอ็มบี 5 เอ็มบี 10 และเอ็มบี 20 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า น้ำมันเอ็มบีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์และปริมาณไอเสีย พบว่า น้ำมันเอ็มบี 20 และเอ็มบี 10 มีศักยภาพใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล

Ali and Hanna (1994) พบว่า ในการนำน้ำมันพืชและไขมันสัตว์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงดีเซล ต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติซึ่งมี 4 วิธี ดังนี้ ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) ไพโรไลซิส (pyrolysis) การเจือจาง (dilution) และไมโครอิมัลชัน (microemulsion) พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเทคนิคไมโครอิมัลชันนั้นมีเสถียรภาพ ซึ่งดูจากพลังงานที่ใช้ ประสิทธิภาพ และปริมาณของอิมัลชัน วิธีไมโครอิมัลชันแสดงให้เห็นว่า เชื้อเพลิงที่ได้มีความหนืดต่ำ แต่วิธีนี้ทำให้มีค่าความร้อนและค่าซีเทนต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2

Attaphong และคณะ (2012) ศึกษาพฤติกรรมเฟสของสารลดแรงตึงผิวคาร์บอกซิเลทในระบบรีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชันโดยการผสมสารลดแรงตึงและสารลดแรงตึงร่วมกับเอทานอล และน้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลโดยตรง ทำการศึกษาอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวรวม (S/C ratio) ในอัตราส่วน 1:8, 1:16 และ 1:32 พบว่า อัตราส่วน S/C ให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อัตราส่วน S/C 1:16 เพราะจะช่วยลดความหนืด 1-2% ของปริมาตรทั้งหมด ส่วนอัตราส่วน S/C 1:32 นั้นยากต่อการเตรียม เนื่องจากใช้ปริมาณน้อย การศึกษาสารลดแรงตึงผิวคาร์บอกซิเลทแบบโซ่สายตรงและแบบกิ่งก้าน พบว่า สารลดแรงตึงผิวแบบสายโซ่ตรงจะใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยกว่าแบบกิ่งก้านประมาณ 3-5 % และทำให้เกิดไมโครอิมัลชันแบบเฟสเดียวขึ้น ในอีกทางหนึ่ง ถ้ามีการลดจำนวนกลุ่มของเอทิลีนออกไซด์จาก 5 เป็น 3 จะช่วยลดการใช้สารลดแรงตึงผิวประมาณ 3-4 % ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า สารลดแรงตึงผิวแบบกิ่งและจำนวนกลุ่มเอทิลีนออกไซด์ส่งผลต่อให้ในระบบไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เพราะสารลดแรงตึงผิวแบบกิ่งจะเพิ่มการละลายน้ำและกลุ่มของเอทิลีนออกไซด์จะเพิ่มความมีขี้ ดังนั้นจึงเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวแบบสายตรง คือ C16-18 4PO-2EO-carboxylate ซึ่งมีจำนวนกลุ่มของเอทิลีนออกไซด์น้อยจึงเป็นผลให้มีการใช้สารลดแรงตึงผิวน้อยในการเกิดไมโครอิมัลชันแบบเฟสเดียว ในขณะที่ความหนืดอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

ตามมาตรฐานความหนืดดีเซลประเภทที่ 2 (1.9-4.1 cSt) จากนั้นศึกษาอัตราส่วนของน้ำมันคาโนลา กับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0 เมื่อมีการเพิ่มสัดส่วนของ น้ำมันดีเซลมากกว่า 50 % จะทำให้ค่าความหนืดลดลงเป็นไปตามตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของ น้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 ทั้งนี้ถ้าเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันคาโนลาในน้ำมันดีเซลจะทำให้มีความต้องการใช้ สารลดแรงตึงผิวมากขึ้น เพราะน้ำมันคาโนลาไม่สามารถผสมกับเอทานอลได้ เนื่องจากน้ำมันพืชมีสาร ไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบซึ่งมีความไม่ชอบน้ำสูง ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมัน คาโนลากับน้ำมันดีเซล คือ 50:50

Bidyut และ Satya (2001) พบว่า ในงานนี้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน คุณสมบัติไมโครอิมัลชันจะช่วยลดเขม่าของน้ำในน้ำมันระหว่างการเผาไหม้ เมื่อมีน้ำระเหยระหว่างการเผาไหม้ ทำให้ความร้อนถูกปล่อยออกมาและอุณหภูมิในการเผาไหม้ต่ำลงซึ่งส่งผลให้มีการปล่อย ก๊าซไนโตรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงตามไปด้วย

Crookes และคณะ (1997) ศึกษาการวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง ชีวภาพผสมกับน้ำมันดีเซลเกิดเป็นอิมัลชันกับน้ำ จะพบว่า การเผาไหม้ของน้ำมันจากเมล็ดมี ประสิทธิภาพไม่ค่อยดีที่ความดันบรรยากาศเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล ได้มีการทดสอบ เครื่องยนต์ลูกสูบเดี่ยวซึ่งพบว่า มีกำลังและความเร็วค่อนข้างต่ำ จุดระเบิดได้ช้า สำหรับเชื้อเพลิง ชีวภาพ เครื่องยนต์หลายลูกสูบในสภาวะปกติจะมีระดับเขม่าสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลและออกไซด์ของ ไนโตรเจนต่ำ เมื่อเชื้อเพลิงชีวภาพเกิดอิมัลชันกับน้ำจะทำให้ลดระดับเขม่าและออกไซด์ของ ไนโตรเจนลงด้วย

Dantas และ Neto (2001) ศึกษาแบบไมโครอิมัลชันใหม่ เพื่อให้เกิดการพัฒนาแบบไม-โครอิมัลชันสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือก และช่วยเพิ่มพูนความรู้เรื่องไมโครอิมัลชันผ่าน พารามิเตอร์ต่างๆ ไมโครอิมัลชันนั้นจะประกอบไปด้วยน้ำ น้ำมัน สารลดแรงตึงผิวร่วม และสารลด-แรงตึงผิว ตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อไมโครอิมัลชันคือ ธรรมชาติของสารลดแรงตึงผิวและสารลด-แรงตึงผิวร่วม อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวร่วม และองค์ประกอบของเฟสน้ำมัน ใน งานนี้สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ประกอบด้วย Texapon HBN, Comperlan SCD และ soapofthesoyoil ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุมีลักษณะชอบน้ำมาก Ethylene, Propyl และ isoamyl alcohol ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมชนิดที่ไม่มีประจุ จากผลการศึกษาระบบที่ 1 (diesel-soy oil, water, isoamyl alcohol/comperlan SCD = 0.5) เป็นไมโครอิมัลชันที่ดีที่สุดในเรื่องของพื้นที่และ สมบัติทางกายภาพ-เคมี เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ดังนั้นจะเห็นได้ว่าไมโครอิมัลชันมีความ เป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

Do และคณะ (2011) ในงานนี้ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีรีเวิร์สไมเซลล์ไมโคร-อิมัลชันของน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลผสมกับเอทานอล และผสมกับสารลดแรงตึงผิว, S (oleyl alcohol, OA และ oleyl amine, OAM) และสารลดแรงตึงผิวร่วม, C ได้แก่ 2-ethylhexanol

(EHL), 1-octanol (OCT), 2-ethylhexylnitrate (EHN) และ ethylene glycol butyl ether (EGBE) เพื่อช่วยให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น น้ำมันพืชที่ใช้ในงานนี้คือ น้ำมันสาหร่าย น้ำมันคาโนล่า และน้ำมันปาล์ม โดยจะศึกษาพฤติกรรมของเฟส อุณหภูมิ ความหนืดและคุณสมบัติในการเผาไหม้ เพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลประเภทที่ 2 จากผลการทดลองพบว่า สารลดแรงตึงผิวในเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันของสาหร่ายและคาโนล่าผสมกับน้ำมันดีเซลชนิด oleyl alcohol สามารถทนต่ออุณหภูมิได้ดีกว่าชนิด oleyl amine โดยจะใช้ อัตราส่วนโมลสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม S: C1: C2 (OA: EHL: EGBE) ที่อัตราส่วน 1:2:2 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ใช้จำนวนสารลดแรงตึงผิวน้อยและทนต่ออุณหภูมิได้ดี วิธีไมโครอิมัลชันจะทำให้ค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 ประมาณ 10% เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีการปลดปล่อย CO ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ส่วนปลดปล่อย NO_x นั้นมีการปลดปล่อยในปริมาณสูง เนื่องจากมีการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวมที่มีสารประกอบของไนโตรเจน

Kerihuel และคณะ (2006) ในงานนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของไขมันสัตว์ที่คุณภาพต่ำ โดยจะเตรียมอิมัลชันไขมันสัตว์จากการผสมไขมันกับน้ำ สารลดแรงตึงผิว (SPAN83) และ สารลดแรงตึงผิวรวม (เอทานอล) อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวรวม (C/S ratio) คือ C/S=1, C/S=5 และ C/S=10 พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวรวม (C/S ratio) คือ C/S=10 ซึ่งจะประกอบไปด้วย เอทานอล 36.4% SPAN 83 3.6% น้ำ 10% และไขมันสัตว์ 50% โดยปริมาตรจากนั้นศึกษาหาความเร็วรอบระหว่าง 500-1,500 รอบต่อนาที พบว่า เมื่อความเร็วรอบสูงจะก่อตัวเป็นฟองอากาศแล้วเกิดเป็นอิมัลชัน ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้เลือกความเร็วรอบที่เหมาะสม คือ 500 รอบต่อนาที

Kwancharon และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาไบโอดีเซลผสมกับเอทานอลที่ระดับบริสุทธิ์ เอทานอล (95%, 99.5%, 99.9) และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงกับน้ำมันดีเซล พบว่า มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนน้อยลง ส่วนออกไซด์ของไนโตรเจนจะมีการปล่อยสูงกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต ก๊าซโซฮอล์ คือ ผสมดีเซลร้อยละ 80 ไบโอดีเซลร้อยละ 15 และเอทานอลร้อยละ 5

Lin และ Wang (2003) ศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงของอิมัลชันใน 3 เฟส คือ oil-in-water-in-oil (O/W/O), water-in-oil-in-water (W/O/W) ซึ่งจะใช้ Span80 (HLB=4.3) และ Tween80 (HLB=15) เป็นสารลดแรงตึงผิว พบว่า ขนาดเฉลี่ยของอิมัลชันชนิด O/W/O เล็กลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อมีการเพิ่มความเร็วยกเครื่อง ค่าความหนืดของ O/W/O จะดีกว่า W/O ค่า HLB= 6-8 จะเกิดเป็นอิมัลชันที่เสถียร เมื่อมีค่า HLB เพิ่มขึ้น สารลดแรงตึงผิวชนิด Tween80 จะต้องการใช้เพิ่ม ส่วน Span80 ต้องการใช้น้อยลง วิธีอิมัลชันนี้จะช่วยให้มีการปล่อยก๊าซไนโตรเจนน้อยลง ส่วนวิธีทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน จะพบว่า เมื่อมีการผสมสารลดแรงตึงผิวค่า HLB ของอิมัลฟิเคชันที่เสถียรคือ 13 ในอีก

ทางหนึ่งไบโอดีเซลนั้นมีปริมาณคาร์บอนตกค้างเกิดขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารลดแรงตึงผิวซึ่งมีองค์ประกอบของคาร์บอนและไฮโดรเจน

Lin และ Wang (2004) จะทำการศึกษาลักษณะการปล่อยสารมลพิษจากเชื้อเพลิงอิมัลชันที่มี 3 เฟส จะพบว่าเมื่อเปรียบเทียบอิมัลชันกับน้ำมันดีเซลปกติ เมื่ออุณหภูมิทำอิมัลชันมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และคาร์บอนออกไซด์ (CO) สูงกว่าน้ำมันดีเซลปกติ และปล่อยก๊าซออกซิเจน (O_2) กับออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ในปริมาณน้อยกว่า เมื่ออุณหภูมิสูงเปรียบเทียบระหว่างอิมัลชัน 2 เฟส (W/O) กับอิมัลชัน 3 เฟส (O/W/O) ในเฟส O/W/O มีการปล่อยคาร์บอนออกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ต่ำกว่า ส่วนก๊าซออกซิเจน (O_2) กับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่างกันน้อย

Noulkamol (2011) เป็นการศึกษาพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืช-น้ำมันดีเซล โดยใช้เวียร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชัน ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีเวียร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชันเตรียมโดยการผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 50 : 50 สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม (S/C ratio) ในอัตราส่วน 1:8, 1:4, 1:1 และ 4:1 ซึ่งพบว่า อัตราส่วน 1:8 ทำให้ค่าความหนืดลดลงและใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณน้อย ในการศึกษาแผนภาพสามเหลี่ยม (ternary phase diagram) พบว่า อัตราส่วนที่ทำให้เกิดไมโครอิมัลชันแบบเฟสเดียว คือ น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซล 75% สารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวรวม 5% และเอทานอล 20%

Paul และ Panda (2011) จะทำการศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวรวมบนพฤติกรรมเฟสและความหนืดในเฟสน้ำในน้ำมันโดยใช้แผนภาพชิวโดเทอเนรี (pseudo ternary phase) พบว่า เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวรวมที่มีสายโซ่ยาวจะทำให้ความหนืดลดลง ส่งผลให้ระบบไม่เสถียรเพราะไม่สามารถผสมกับน้ำได้ ดังนั้นขนาดหยดไมโครอิมัลชันและความหนืดของระบบเพิ่มขึ้นพร้อมกับความยาวโซ่ของสารลดแรงตึงผิวรวม

Qi และคณะ (2010) ศึกษาประสิทธิภาพการใช้เอทานอลไบโอดีเซล-น้ำ ด้วยวิธีไมโครอิมัลชันในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีลูกสูบเดียวโดยเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ในขณะที่เบรกจะช่วยลดการใช้พลังงานเมื่อเครื่องยนต์มีภาระโหลดสูงจะลดการเกิดควัน การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ลดลงเล็กน้อย ส่วนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และการปล่อยสารไฮโดรคาร์บอนจะสูงขึ้นเล็กน้อย

2.14 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ ศึกษาผลของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชันแบบวีร์สไมเซลล์ (Winsor type II) ไมโครอิมัลชันเป็นวิธีในการลดความหนืดของน้ำมันพืชที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเสถียรภาพ เชื้อเพลิงที่ได้มีความหนืดต่ำ ไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์พลอยได้ และช่วยลดเขม่าจากน้ำในน้ำมันทำให้มีการปล่อยไนโตรเจน

และคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง แต่วิธีจะทำให้ค่าความร้อนลดลง ดังนั้นวิธีไมโครอิมัลชันจึงได้รับความสนใจในงานวิจัยนี้ ไมโครอิมัลชันเป็นการผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 50 : 50 เพราะถ้าเพิ่มสัดส่วนของน้ำมันดีเซลมากกว่า 50 % จะทำให้ค่าความหนืดลดลงเป็นไปตามตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 ทั้งนี้ถ้าเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันพืชในน้ำมันดีเซลจะทำให้มีความต้องการใช้สารลดแรงตึงผิวมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล คือ 50:50 จากนั้นใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ได้แก่ Dehydol LS1 TH (EO₁), Dehydol LS2 TH (EO₂), Dehydol LS3 TH (EO₃), Dehydol LS5 TH (EO₅), Dehydol LS7 TH (EO₇), Dehydol LS9 TH (EO₉), Dehydol LS12 TH (EO₁₂) และ Plantacare 1200 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวได้แก่ 1-Octanol และ 2-ethylene-1-hexanol ในอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวรวม (S/C ratio) 1 : 8 อัตราส่วนนี้จะช่วยให้ใช้สารลดแรงตึงผิวน้อยและการเพิ่มสารลดแรงตึงผิวรวมจะทำให้ค่าความหนืดลดลง และผสมกับเอทานอลหรือไอโอเอทานอล จากนั้นการศึกษาแผนภาพสามเหลี่ยม (ternary phase diagram) พบว่า อัตราส่วนที่ทำให้เกิดไมโครอิมัลชันแบบเฟสเดียว คือ น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซล 75% สารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวรวม 5% และเอทานอล 20%

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะดำเนินการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการจะดำเนินการทดลองภายใต้สภาวะในห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดลองที่ชั้น 4 ตึกปฏิบัติการรวม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. 1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 3.1.1.1 หลอดทดลอง
- 3.1.1.2 ขวดเก็บตัวอย่างฝาเกลียว
- 3.1.1.3 ปีกเกอร์
- 3.1.1.4 ตะแกรงใส่หลอดทดลอง
- 3.1.1.5 ขวดวัดปริมาตร
- 3.1.1.6 ขวดแก้วก้นกลม
- 3.1.1.7 กระจกตวง
- 3.1.1.8 ขวดรูปชมพู่
- 3.1.1.9 ปีเปต
- 3.1.1.10 บิวเรต
- 3.1.1.11 ไมโครปีเปต
- 3.1.1.12 ไมโครปีเปตทึบ
- 3.1.1.13 เครื่องเขย่า (vortex shaker)
- 3.1.1.14 อ่างน้ำควบคุมความเย็น (cooling bath)
- 3.1.1.15 อ่างน้ำควบคุมความร้อน (heating bath)
- 3.1.1.16 เครื่องวัดปริมาณไอเสีย (Gas Analyzer Testo 350-XL)
- 3.1.1.17 นาฬิกาจับเวลา
- 3.1.1.18 เครื่องวัดความเร็วรอบ
- 3.1.1.19 เครื่องมัลติมิเตอร์
- 3.1.1.20 เครื่องชั่งดิจิทัลแบบละเอียด
- 3.1.1.21 แผงหลอดไฟและหลอดไฟ ในงานนี้จะเรียงหลอดไฟเป็นแผงจะแสดงดังภาพที่ 3-1 ซึ่งจะแสดงข้อมูลของหลอดไฟดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลของหลอดไฟ

ชนิดหลอดไฟ	หลอดไส้ขั้วเกลียว
แรงดันไฟ	220-230 โวลต์
ขนาด	40, 60, 100 และ 200 โวลต์



ภาพที่ 3-1 แผงหลอดไฟ

3.1.1.22 เครื่องยนต์ดีเซลที่ถูกดัดแปลงให้เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบก๊าซไอเสียยี่ห้อ MITSUKI รุ่น 100KB-4 ดังภาพที่ 3-2 โดยจะแสดงข้อมูลของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ทดสอบในตารางที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบก๊าซไอเสีย

ตารางที่ 3- 2 ข้อมูลของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบก๊าซไอเสีย

เครื่องยนต์	MITSUKI
รุ่น	100KB-4
กำลังสูงสุด	10 แรงม้า
รอบเครื่อง	4 จังหวะ / 3,000 รอบต่อนาที
ระบบสตาร์ท	ระบบกุญแจสตาร์ท / เชือกดึงสตาร์ท
แบบเครื่องยนต์	ระบายความร้อนด้วยอากาศ
ขนาดท่อเข้า-ออก	4 นิ้ว
น้ำหนัก	65 กิโลกรัม

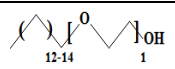
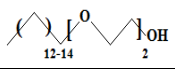
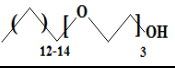
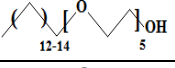
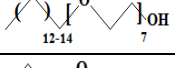
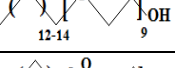
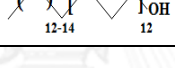
3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (nonionic surfactant)

1. Dehydol LS 1 TH (EO1)
2. Dehydol LS2 TH (EO2)
3. Dehydol LS 3 TH (EO3)
4. Dehydol LS 5 TH (EO5)
5. Dehydol LS 7 TH (EO7)
6. Dehydol LS 9 TH (EO9)
7. Dehydol LS 12 TH (EO12)

สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่ใช้ในงานวิจัยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทไทย อีทอกซีเลท จำกัด ความบริสุทธิ์ (purity, %) ของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุเป็น >99.7 % ลักษณะคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุจะแสดงในตารางที่ 3-3

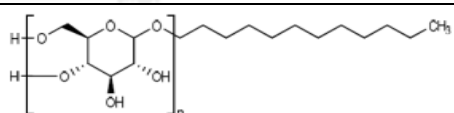
ตารางที่ 3-3 ลักษณะคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

สารตัวอย่าง	สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง	มวลโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลบ.ซม.) @ 70 °C	HLB
Dehydol LS 1 TH	$C_{12-14}(EO)_1OH$		217.15	0.837	3.6
Dehydol LS 2 TH	$C_{12-14}(EO)_2OH$		261.17	0.869	6.1
Dehydol LS 3 TH	$C_{12-14}(EO)_3OH$		305.19	0.890	7.9
Dehydol LS 5 TH	$C_{12-14}(EO)_5OH$		393.23	0.924	10.3
Dehydol LS 7 TH	$C_{12-14}(EO)_7OH$		481.27	0.949	12.1
Dehydol LS 9 TH	$C_{12-14}(EO)_9OH$		569.31	0.966	13.4
Dehydol LS 12 TH	$C_{12-14}(EO)_{12}OH$		701.37	0.988	14.6

หมายเหตุ EO : เอทิลีนออกไซด์ (C_2H_4O)

3.1.2.2 แพลนทาแคร์ 1200 จากบริษัท ฮงฮวด จำกัด ลักษณะคุณสมบัติของ
แพลนทาแคร์ 1200 จะแสดงในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ลักษณะคุณสมบัติของแพลนทาแคร์ 1200


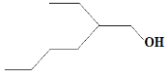
INCEN name	Lauryl Glucoside
CAS number	110615-47-9
Structure formula	
Molecular weight	420 g/ mol
Purity	50-53 %
Density @ 40 °C	1.07-1.09 g /cm ³
Viscosity @ 40 °C	1,000-3,000 mPa

3.1.2.3 สารลดแรงตึงผิวร่วม (Cosurfactant)

1. 1-Octanol ของบริษัทอะครอส ออร์แกนิก จำกัด
2. 2-ethyl-1-hexanol ของบริษัทฟูโก้

สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ในงานวิจัย จะแสดงลักษณะคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวร่วมในตารางที่ 3-5

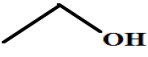
ตารางที่ 3- 5 ลักษณะคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวร่วม

สารตัวอย่าง	สัญลักษณ์	สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง	ความบริสุทธิ์ (%)	มวลโมเลกุล (g/mol)	ความหนาแน่น (g/m ³) @ 70 °C
1-Octanol	Oct	C ₈ H ₁₇ OH		99	130.23	0.812
2-ethyl-1-hexanol	2-ethyl	C ₈ H ₁₇ OH		≥ 99	130.23	0.833

3.1.2.4 เอทานอล 99.9% ของบริษัทคาร์โล อีอาร์บีเอ ลักษณะคุณสมบัติของเอทานอล 99.9 % จะแสดงในตารางที่ 3-6

3.1.2.5 เอทานอล 95 % จากบริษัทอิตัลมาร์มีลักษณะคุณสมบัติของเอทานอล 95% จะแสดงในตารางที่ 3-6

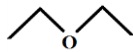
ตารางที่ 3- 6 ลักษณะคุณสมบัติของเอทานอล

INCEN name	Ethyl alcohol
CAS number	64-17-5
Structure formula	
Molecular weight	46.07 g/ mol
Purity	95%, 99.9%

3.1.2.6 ไบโเอทานอล 95% (Bioethanol) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทดับเบิลเอ เอทานอล จำกัด

3.1.2.7 ไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether) จากบริษัทอนารา จำกัดซึ่งมีลักษณะคุณสมบัติของไดเอทิลอีเทอร์จากตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3- 7 ลักษณะคุณสมบัติของไดเอทิลอีเทอร์

INCEN name	Diethyl ether
CAS number	60-29-7
Structure formula	
Molecular weight	74.12 g/ mol
Purity	95 %

3.1.2.8 ฟีนอลฟทาลิน จากบริษัท Ajax Firechem Pty Ltd.

3.1.2.9 โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ จากบริษัท Ajax Firechem Pty Ltd.

3.1.2.10 น้ำมันดีเซลจากบริษัทเชลล์ไทยแลนด์จำกัด (มหาชน)

3.1.2.11 น้ำมันปาล์มจากบริษัททรกตอินดัสตรีส์จำกัด (มหาชน)

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน (microemulsion) โดยใช้ น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล หรือไบโอเอทานอล สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ ได้แก่ Dehydol LS1 TH (EO₁), Dehydol LS2 TH (EO₂), Dehydol LS3 TH (EO₃), Dehydol LS5 TH (EO₅), Dehydol LS7 TH (EO₇), Dehydol LS9 TH (EO₉), Dehydol LS12 TH (EO₁₂) และ Plantacare 1200 ซึ่งสารลดแรงตึงผิวจะตัวประสานทำให้ รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ ส่วนสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ได้แก่ 1-Octanol และ 2-ethyl-1-hexanol ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิว จากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง สามารถแบ่งการทดลอง ออกเป็น 5 ช่วงการทดลอง ดังภาพที่ 3-3 ซึ่งมีแผนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

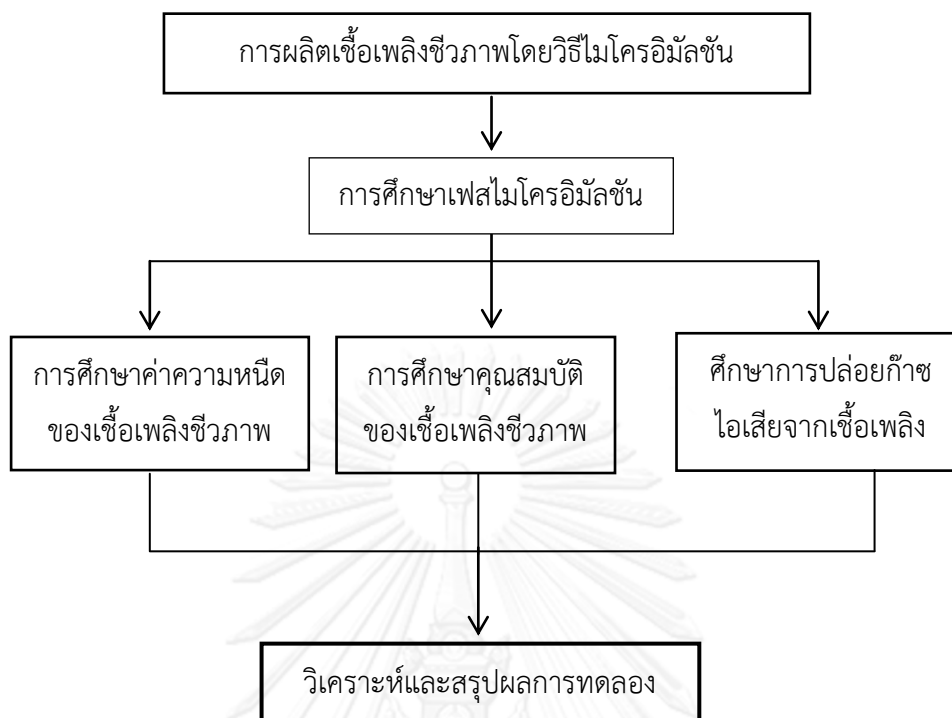
การทดลองช่วงที่ 1 การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชัน

การทดลองช่วงที่ 2 การศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน เพื่อให้ทราบถึงความมีเสถียรภาพ ของเชื้อเพลิงชีวภาพเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนไป เชื้อเพลิงชีวภาพจะต้องรวมตัวเนื้อเดียวกัน

การทดลองช่วงที่ 3 การศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อศึกษาอุณหภูมิ ต่างๆที่มีผลต่อความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ อุณหภูมิที่ 15, 25, 30 และ 40 องศาเซลเซียส

การทดลองช่วงที่ 4 ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ส่งผลต่อคุณภาพของ เชื้อเพลิง ได้แก่ จุดชุ่น จุดไหลเท ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ปริมาณน้ำ ปริมาณเถ้า ค่าความ เป็นกรด ขนอนุภาค และค่าความร้อนเป็นต้น

การทดลองช่วงที่ 5 ศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อหาชนิดและ ปริมาณของก๊าซไอเสียในเชื้อเพลิงชีวภาพแต่ละชนิด



ภาพที่ 3-3 แผนภาพขั้นวิธีดำเนินงานวิจัย

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชัน

3.3.1.1 เตรียมน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร (Attaphong และคณะ, 2012) จากนั้นเตรียมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (nonionic surfactant) ได้แก่ Dehydol LS 1 TH, Dehydol LS 2 TH, Dehydol LS 3 TH, Dehydol LS 5 TH, Dehydol LS 7 TH, Dehydol LS 9 TH, Dehydol LS 12 TH และ Plantacare 1200 และสารลดแรงตึงผิวร่วม (cosurfactant) ได้แก่ 1- octanol และ 2-ethyl-1-hexanol ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกับสารลดแรงตึงผิวร่วมในอัตราส่วน 1:8 โดยมวล (Noulkamol, 2011) และเอทานอลหรือไบโอเอทานอล โดยใช้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล : สารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวร่วม : เอทานอล คือ 75% : 5% : 20% จากนั้นทำการผสมสารทั้ง 3 ชนิด แบบทีละเท (batch) โดยใช้ไมโครปิเปตตูดน้ำมันที่ผสมแล้วใส่หลอดทดลองก่อนตามมาด้วยสารลดแรงตึงผิวร่วมกับสารลดแรงตึงผิวและเอทานอลหรือไบโอเอทานอล ตามลำดับ

3.3.1.2 นำหลอดทดลองที่มีสาร 3 ชนิด มาผสมด้วยเครื่องเขย่า (vortex shaker) ดังภาพที่ 3-4 เพื่อให้สารรวมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีความเร็วรอบอยู่ระหว่าง 500 รอบต่อนาที (Kerihuel และคณะ (2006))

3.3.1.3 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

แผนภาพขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชันแสดงในภาพที่ 3-5 และตัวแปรที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพดังตารางที่ 3-9



ภาพที่ 3-4 เครื่องเขย่า (vortex shaker)

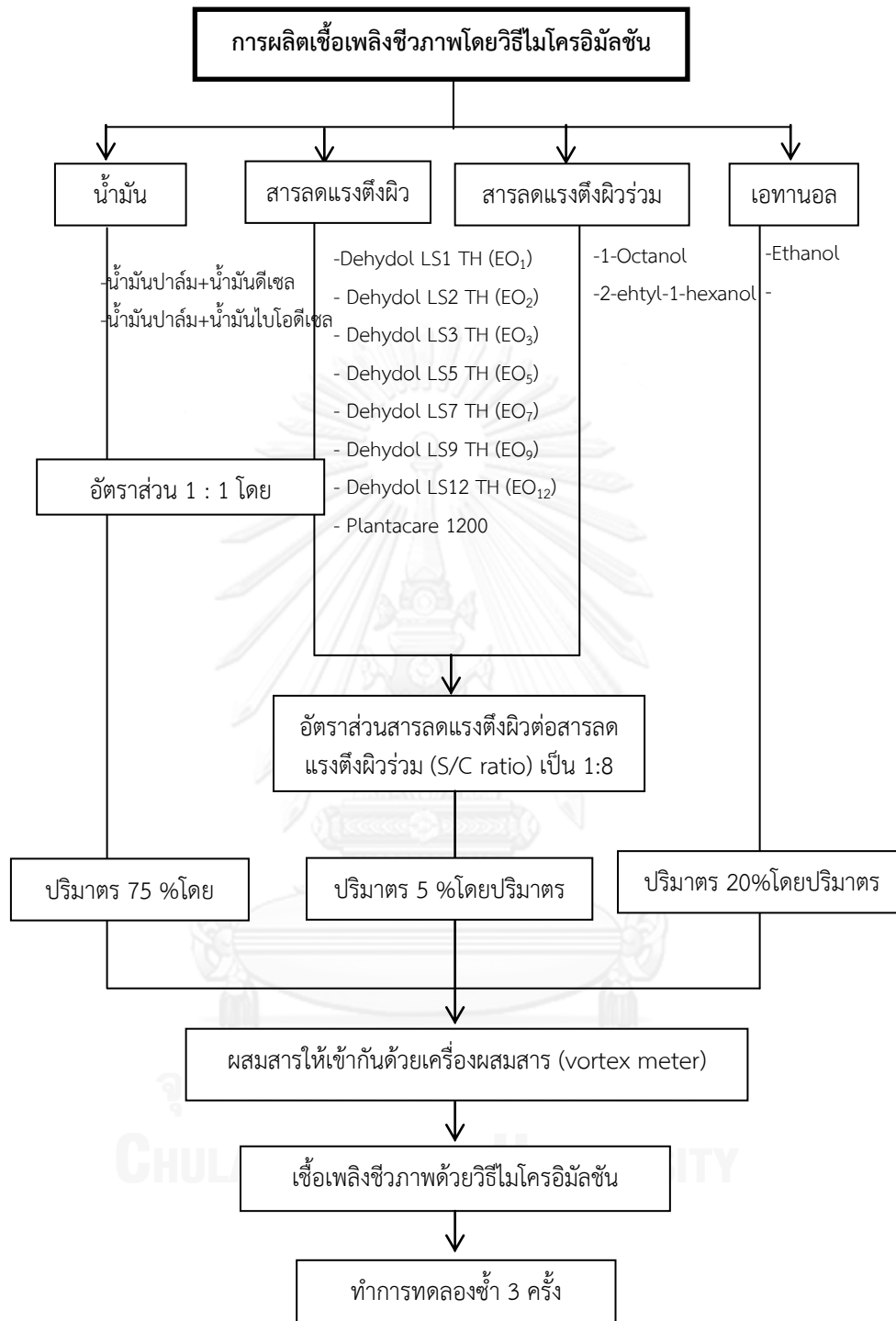
การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชันจะมีตัวอย่างทั้งหมด 64 ตัวอย่าง ซึ่งจะแสดงตัวอย่างการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3- 8 ตัวอย่างการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวอย่าง	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เฟสที่มีเชื้อ
1	น้ำมันปาล์ม+ดีเซล/ไบโอดีเซล	Oct	EO1	ETOH
2	”	”	EO2	”
3	”	”	EO3	”
4	”	”	EO5	”
5	”	”	EO7	”
6	”	”	EO9	”
7	”	”	EO12	”
8	”	”	Plantacare	”
9	น้ำมันปาล์ม+ดีเซล/ไบโอดีเซล	2-ethyl	EO1	ETOH
10	”	”	EO2	”
11	”	”	EO3	”
12	”	”	EO5	”
13	”	”	EO7	”
14	”	”	EO9	”
15	”	”	EO12	”
16	”	”	Plantacare	”
17	น้ำมันปาล์ม+ดีเซล/ไบโอดีเซล	Oct	EO1	BioETOH
18	”	”	EO2	” ”

ตารางที่ 3-8 ตัวอย่างการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน	สารลดแรง ตึงผิว	สารลดแรง ตึงผิวร่วม	เฟสที่มีชีว
19	น้ำมันปาล์ม+ดีเซล/ไบโอดีเซล	Oct	EO3	BioETOH
20	”	”	EO5	”
21	”	”	EO7	”
22	”	”	EO9	”
23	”	”	EO12	”
24			Plantacare	
25	น้ำมันปาล์ม+ดีเซล/ไบโอดีเซล	2-ethyl	EO1	BioETOH
26	”	”	EO2	”
27	”	”	EO3	”
28	”	”	EO5	”
29	”	”	EO7	”
30	”	”	EO9	”
31	”	”	EO12	”
32	”	”	Plantacare	”



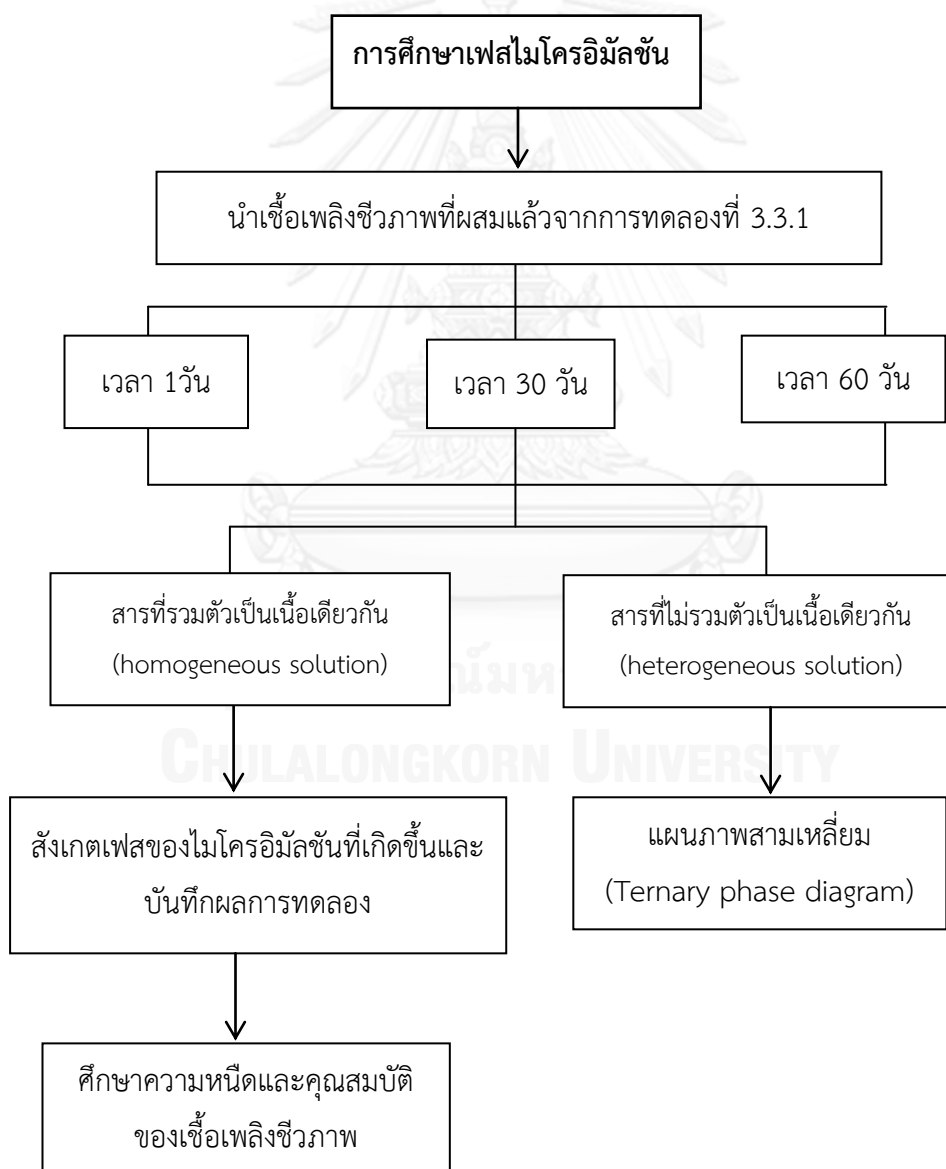
ภาพที่ 3-5 แผนภาพขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชัน

ตารางที่ 3- 9 ตัวแปรที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชัน

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	<ul style="list-style-type: none"> - สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ Dehydol LS 1 TH, Dehydol LS 2 TH, Dehydol LS 3 TH, Dehydol LS 5 TH, Dehydol LS 7 TH, Dehydol LS 9 TH, Dehydol LS 12 TH และ Plantacare 1200 - สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ 1- octanol, 2-ethylene-1-hexanol - เอทานอลและไบโอเอทานอล
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C ratio) 1:8 โดยมวล - อัตราส่วนดีเซลกับน้ำมันปาล์ม ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร - อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล เอทานอล และ S/C ratio คือ 75%, 20% และ 5% ตามลำดับ
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> - คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ได้แก่ จุดไหลเท (pour point) จุดขุ่น (cloud point) จุดวาบไฟ (flash point) ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ความหนาแน่น (density) ปริมาณน้ำ (water content) ปริมาณเถ้า (ash content) ความหนืด (kinematic viscosity) ค่าความร้อน (heating value) และการปล่อยก๊าซไอเสีย (คาร์บอนมอนออกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์)

3.3.2 การศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน

นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผสมแล้วจากการทดลองที่ 3.3.1 มาศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน โดยนำมาตั้งทิ้งไว้อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1, 30 และ 60 วัน สังเกตเฟสไมโครอิมัลชันด้วยตาเปล่า จากนั้นนำเชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous solution) ไปศึกษาค่าความหนืดและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพต่อไป ในกรณีที่เชื้อเพลิงชีวภาพไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียว (heterogeneous solution) จะนำไปศึกษาแผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary phase diagram) เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม และบันทึกผลการทดลอง ขั้นตอนการศึกษาเฟสไมโครอิมัลชันแสดงดังภาพที่ 3-6 และตารางที่ 3-10 จะแสดงตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน



ภาพที่ 3-6 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน

ตารางที่ 3- 10 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	<ul style="list-style-type: none"> - สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ Dehydol LS 1 TH, Dehydol LS 2 TH, Dehydol LS 3 TH, Dehydol LS 5 TH, Dehydol LS 7 TH, Dehydol LS 9 TH, Dehydol LS 12 TH และ Plantacare 1200 - สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ 1- octanol, 2-ethylene-1-hexanol - เอทานอลและไบโอเอทานอล
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C ratio) 1:8 โดยมวล - อัตราส่วนน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืช ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร - น้ำมันพาล์มผสมกับดีเซล เอทานอล และ S/C ratio ในปริมาณ 75%, 20% และ 5% ตามลำดับ
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> - การเปลี่ยนแปลงเฟสของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

3.3.3 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary phase diagram)

แผนภาพสามเหลี่ยมเป็นสามเหลี่ยมด้านเท่าที่ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ น้ำมัน สารลดแรงตึงผิวร่วมผสมกับสารลดแรงตึงผิว และเฟสที่มีขี้ (ethanol) ซึ่งจะมีวิธีการศึกษาดังนี้

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันมาคำนวณหาปริมาณสาร ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 0.2-6 โมลาร์ ปริมาณเอทานอลที่ใช้ 1-5 มิลลิลิตร และใช้อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงร่วมผิว 1:8 โดยมวล
2. ปิเปิดน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิว และเอทานอล ลงในหลอดทดลองผสมกันด้วยเครื่องเครื่องวอร์เท็กซ์ตามอัตราส่วนที่ได้คำนวณไว้
3. ทิ้งหลอดทดลองที่ผสมสารครบองค์ประกอบแล้ว ไว้ 48 ชั่วโมง แล้วบันทึกผล
4. เมื่อได้ผลการทดลองแล้วจึงนำไปวิเคราะห์ละเอียด เพื่อหาจุดเปลี่ยนเฟส อาศัยการเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของตัวช่วยลดแรงตึงผิวที่ละ 0.01 โมลาร์

ตารางที่ 3-11 จะแสดงตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาแผนภาพสามเหลี่ยมจากการทดลองที่

3.3.3 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary phase diagram)

ตารางที่ 3-11 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาแผนภาพสามเหลี่ยม

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	<ul style="list-style-type: none"> - สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ Dehydol LS 1 TH, Dehydol LS 2 TH, Dehydol LS 3 TH, Dehydol LS 5 TH, Dehydol LS 7 TH, Dehydol LS 9 TH, Dehydol LS 12 TH และ Plantacare 2000 - สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ 1-octanol, 2-ethylene-1-hexanol - เอทานอลและไบโอเอทานอล - น้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C ratio) 1:8 โดยมวล - อัตราส่วนน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืช ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนของน้ำมัน สารลดแรงตึงผิวผสม และเอทานอล

3.3.4 ศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ

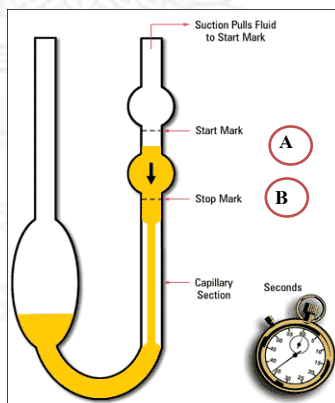
1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพจากการทดลองที่ 3.3.1 จุ่มลงในอ่างน้ำควบคุมความเย็นที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
2. เทเชื้อเพลิงชีวภาพใส่หลอดวัดความหนืด (viscometer) ชนิด Canon– Fenske ขนาด 75 สามารถวัดค่าความหนืดในช่วง 1.6-8 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที
3. ดูดเชื้อเพลิงชีวภาพให้สูงเหนือจุด A เล็กน้อยแล้วบันทึกเวลาที่เชื้อเพลิงชีวภาพไหลผ่านจากจุด A ไปยังจุด B จากภาพที่ 3-7 บันทึกผลการทดลอง
4. ศึกษาที่อุณหภูมิ 25, 30, 40 องศาเซลเซียส โดยใช้อ่างน้ำควบคุมความร้อนช่วยในการปรับอุณหภูมิ
5. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
6. นำค่าความหนืดที่ได้ไปคำนวณหาความหนืด (kinematic viscosity) จากสมการที่ 1

$$\nu = Kt \quad (1)$$

เมื่อ ν คือ ค่าความหนืดเชิงจลน์ (mm^2/s)

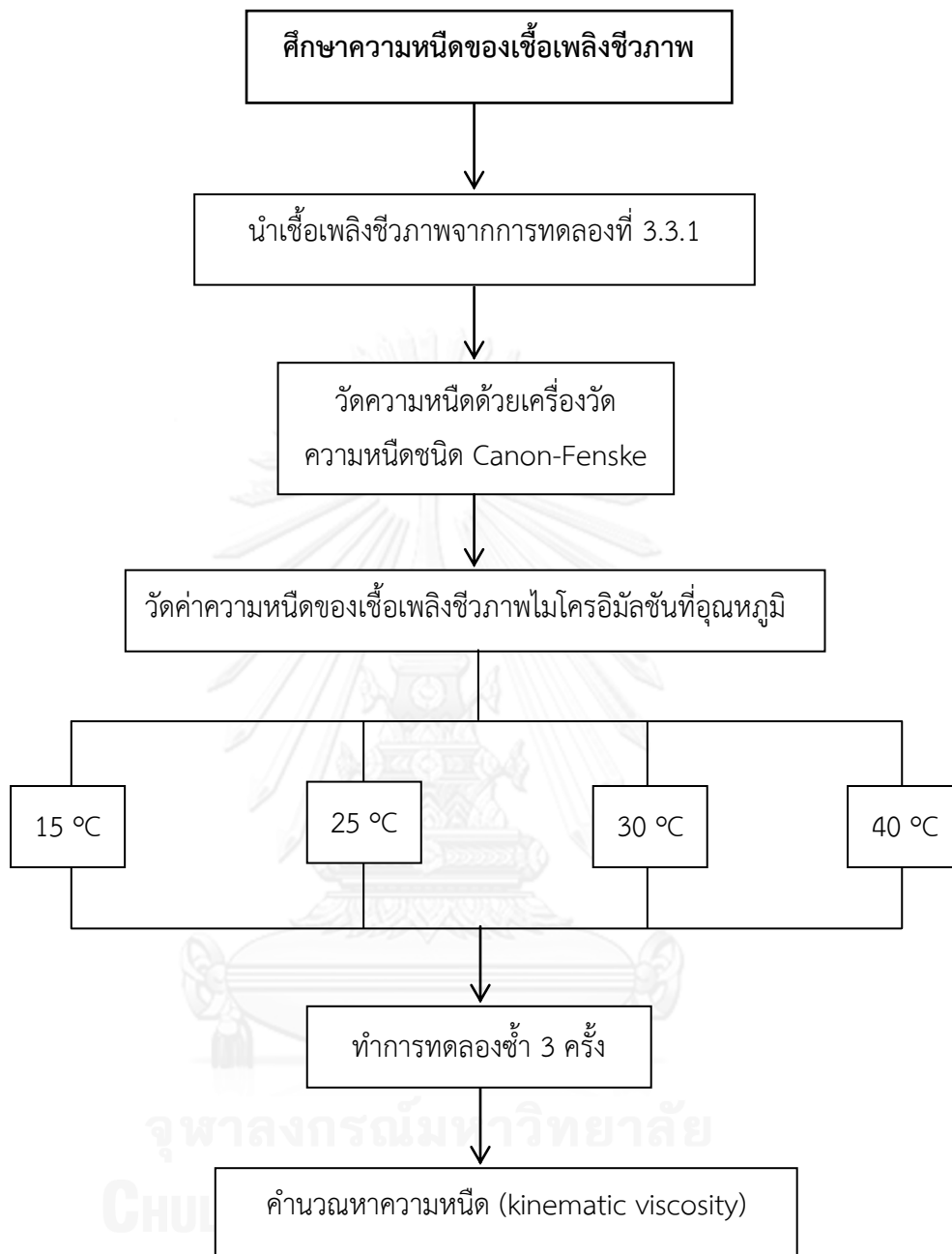
K คือ ค่าความหนืดคงที่ ($0.01606 \text{ mm}^2/\text{s}$)

T คือ เวลาที่สารเคลื่อนที่ในหลอดวัดความหนืด (s)



ภาพที่ 3-7 Viscometer ชนิด Canon– Fenske

ในภาพที่ 3-1 จะแสดงรายละเอียดของขั้นตอนการศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ และตารางที่ 3-12 จะแสดงตัวแปรต่างๆที่ใช้การศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพดังการทดลองที่ 3.3.4



ภาพที่ 3-8 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตารางที่ 3- 12 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	- อุณหภูมิ 15, 25, 30, 40 องศาเซลเซียส
ตัวแปรคงที่	- อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม (S/C ratio) 1:8 โดยมวล - อัตราส่วนน้ำมันดีเซลและน้ำมันพีช ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร - น้ำมันปาล์มผสมกับดีเซล เอทานอล และ S/C ratio ในปริมาณ 75%, 20% และ 5% ตามลำดับ
ตัวแปรตาม	- ค่าความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

3.3.5 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ

นำเชื้อเพลิงชีวภาพมาศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพดังตารางที่ 3-13 ตามวิธีมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล ดังตารางที่ 3-13 ส่วนในตารางที่ 3-14 จะแสดงตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตารางที่ 3-13 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ทำการศึกษา

คุณสมบัติ	เครื่องมือ	วิธีมาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
Cloud point (°C)	ISL CPP 5Gs Cloud & pour Point Tester	ASTM D 2500	ประยุกต์โดยใช้ ASTM D 2500
Pour point (°C)	ISL CPP 5Gs Cloud & pour Point Tester	ASTM D 97	ประยุกต์โดยใช้ ASTM D 2500
Flash point (°C)	APM-7 Pensky-Martens Closed Cup Tester	ASTM D 93	ค่าจาก (Noulkamol, 2011)
Ash content (%wt)	AAF7 Ashing Furnance	ASTM D482	ประยุกต์โดยใช้ EN 14775
Water content (%vol)	Karl fischer tritration	ASTM D6304	ประยุกต์โดยใช้วิธีหาความชื้น
Density and gravity	Hydrometer	ASTM 1298	-
Acid number (mgKOH/g)	Tiranto Automatic Potentionmetric Titration	ASTM D664	ประยุกต์โดยใช้ ASTM D664
Gross heat of combustion (MJ/kg)	AC-350 Automatic Calorimeter	ASTM D 240	ส่งวิเคราะห์
Droplet size	Dynamic light scattering (DSL)	-	ส่งวิเคราะห์

ที่มา : มาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials), 2008

ตารางที่ 3- 14 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	- เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน
ตัวแปรคงที่	- อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม (S/C ratio) 1:8 โดยมวล - อัตราส่วนน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืช ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร - น้ำมันปาล์มผสมกับดีเซล เอทานอล และ S/C ratio ในปริมาณ 75%, 20% และ 5% ตามลำดับ
ตัวแปรตาม	- จุดวาบไฟ (flash point) - จุดขุ่น (cloud point) - จุดไหลเท (pour point) - ปริมาณน้ำ (water content) - ปริมาณเถ้า (ash content) - ค่าความเป็นกรด (acid content) - ความหนาแน่น (density) - ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) - ขนาดอนุภาค (droplet size) - ค่าความร้อน (heating value)

ในส่วนขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพโดยละเอียดได้แสดงในภาคผนวก ก

3.3.6 ศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

- นำเชื้อเพลิงชีวภาพมาจากการทดลองที่ 3.3.1 ปริมาตร 0.5 ลิตร เทใส่เครื่องยนต์ดีเซลทดสอบคุณสมบัติการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงจะใช้เครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะ ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที แสดงลักษณะเครื่องยนต์ ดังภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

- วัดก๊าซไอเสียโดยใช้เครื่องวัดปริมาณก๊าซไอเสีย (Gas Analyzer Testo 350-XL) ดังภาพที่ 3-10 ทำการวัดที่ท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ทำการศึกษา โดยจะศึกษาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

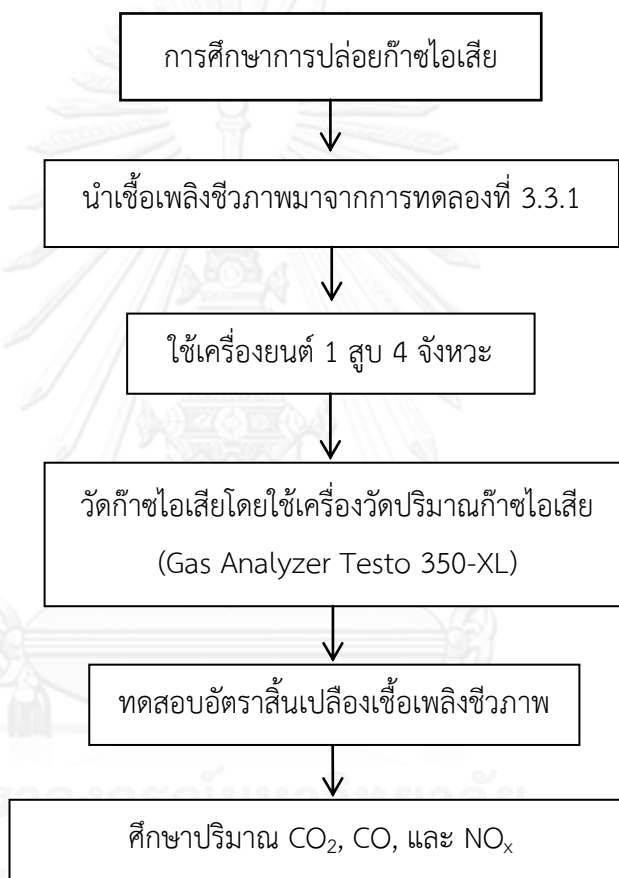


ภาพที่ 3-10 เครื่อง Gas Analyzer Testo 350-XL

(vega automation, 2000)

3. นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหลือจากการใช้ทดสอบก๊าซไอเสียจากถังน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลมาชั่งน้ำหนักหาปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหลือ คำนวณหาอัตราสิ้นเปลืองเชิงมวลของน้ำมันดีเซล

ขั้นตอนการการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันแสดงด้วยแผนภาพที่ 3-11 ส่วนในตารางที่ 3-15 จะแสดงตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพ



ภาพที่ 3-11 แผนภาพขั้นตอนการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

ตารางที่ 3-15 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	- เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน
ตัวแปรตาม	- ปริมาณก๊าซไอเสีย ได้แก่ CO ₂ , CO, และ NO _x
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม (S/C ratio) 1:8 โดยมวล - อัตราส่วนน้ำมันดีเซลและน้ำมันพีช ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร - น้ำมันปาล์มผสมกับดีเซล เอทานอล และ S/C ratio ในปริมาณ 75%, 20% และ 5% ตามลำดับ - เชื้อเพลิงชีวภาพ 500 ml

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชันซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ สารลดแรงตึงผิวผสม ส่วนที่ไม่มีหัวหรือเฟสน้ำมัน และส่วนที่มีหัวหรือเอทานอล ทำการศึกษาผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มอีทอกซิเลทออกไซด์ ผลของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบสายโซ่ตรง (octanol) และแบบกิ่งก้าน (2-ethyl-1-hexanol) และชนิดของเอทานอล (เอทานอลหรือไปโอเอทานอล) ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 และมาตรฐานไบโอดีเซล สารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีทอกซิเลทแพตตีแอลกอฮอล์ (ethoxylate fatty alcohol) ที่มีเอทิลีนออกไซด์ (EO n, n = 1, 2, 3, 5, 7, 9 และ 12) และแพลนทาแคร์ 1200 เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติ สารลดแรงตึงผิวร่วมซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสารลดแรงตึงผิว คือ ออกทานอล (octanol) และสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล (2-ethyl-1-hexanol) ส่วนเฟสน้ำมันเป็นการผสมกันของน้ำมันปาล์มผสมกับดีเซลหรือไบโอดีเซล และใช้เอทานอลหรือไปโอเอทานอลเป็นส่วนที่มีหัว จากนั้นนำไปศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ

4.1 การศึกษาผลของเฟสไมโครอิมัลชัน

ตารางที่ 4.1 การศึกษาผลของเฟสไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ประกอบด้วยเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของน้ำมันปาล์มผสมกับดีเซลหรือไบโอดีเซลในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร (Attaphong และคณะ, 2012) อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม (s/c ratio) เป็น 1:8 โดยมวล (Noukamol, 2011) สารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีทอกซิเลทแพตตีแอลกอฮอล์ที่มีค่าอีโอ (EO n, n = 1, 2, 3, 5, 7, 9 และ 12) สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้คือ ออกทานอล (Octanol) และสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล (2-ethyl-1-hexanol) และเฟสที่มีขั้วบวก (polar phase) จะใช้เอทานอลหรือไปโอเอทานอลเป็นส่วนผสม โดยจะใช้ปริมาตรของน้ำมัน สารลดแรงตึงผิว และเอทานอลในอัตราส่วน 75% : 5% : 20 % ซึ่งส่วนผสมเหล่านี้ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous solution) เมื่อใช้แพลนทาแคร์ 1200 เป็นสารลดแรงตึงผิวทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันในทุกะบบ เนื่องจากลักษณะคุณสมบัติของแพลนทาแคร์ 1200 ตารางที่ 3-4 จะเห็นว่า แพลนทาแคร์ 1200 มีความบริสุทธิ์ต่ำทำให้มีปริมาณน้ำปนเปื้อนสูง และความหนืดที่สูง (2,000-4,000 mPas) (Carechemicals, 2004) ทำให้การรวมเป็นเนื้อเดียวกันยาก เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันนั้นจะนำไปศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม (ternary phase diagram)

ตารางที่ 4-1 ผลการศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิว รวม	เฟสที่มีขั้ว	การเกิด เฟส
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO1	Octanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO2	Octanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO3	Octanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO5	Octanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO7	Octanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO9	Octanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO12	Octanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	Plantacare 1200	Octanol	เอทานอล	✗
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO1	Octanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO2	Octanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO3	Octanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO5	Octanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO7	Octanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO9	Octanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO12	Octanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	Plantacare 1200	Octanol	เอทานอล	✗
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO1	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO2	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO3	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO5	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO7	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO9	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO12	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	Plantacare 1200	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO1	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO2	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO3	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO5	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO7	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO9	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO12	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	Plantacare 1200	2-ethyl-1hexanol	เอทานอล	✗
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO1	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO2	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO3	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓

ตารางที่ 4-1 ผลการศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน (ต่อ)

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เฟสที่มีขี้	การเกิดเฟส
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO5	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO7	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO9	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO12	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	Plantacare 1200	Octanol	ไบโอเอทานอล	✗
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO1	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO2	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO3	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO5	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO7	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO9	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO12	Octanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	Plantacare 1200	Octanol	ไบโอเอทานอล	✗
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO1	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO2	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO3	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO5	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO7	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO9	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO12	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	Plantacare 1200	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✗
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO1	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO2	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO3	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO5	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO7	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO9	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO12	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✓
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	Plantacare 1200	2-ethyl-1hexanol	ไบโอเอทานอล	✗

4.2 ผลการศึกษาความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

การศึกษาความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพจะใช้วิธีตามมาตรฐาน ASTM 446 ซึ่งใช้เครื่องวัดความหนืดแบบ capillary viscometer ของ Canon-fenske อุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาคือ 15, 25, 30 และ 40 องศาเซลเซียส

4.2.1 ผลของความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆ

ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิต่างๆ ในระบบของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มซึ่งมีความแตกต่างของเฟสที่มีขั้วระหว่างเอทานอลและไบโอเอทานอลเป็นส่วนผสม โดยจะเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างต่างกันคือ ออกทานอล (โซ่ตรง) และสองเอทิลหนึ่ง-เฮกซานอล (โซ่กึ่ง) คุณสมบัติขององค์ประกอบเชื้อเพลิงชีวภาพจะแสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4 - 2 คุณสมบัติขององค์ประกอบหลักในเชื้อเพลิงชีวภาพ

คุณสมบัติ	ดีเซล	ไบโอดีเซล	น้ำมันปาล์ม	เอทานอล	ไบโอเอทานอล
ความหนืด @ 40 °C (mm ² /s)	2.95	4.69	40.88	1.17	1.04
ความหนาแน่น @ 25 °C (g/ml)	0.84	0.89	0.92	0.82	0.80

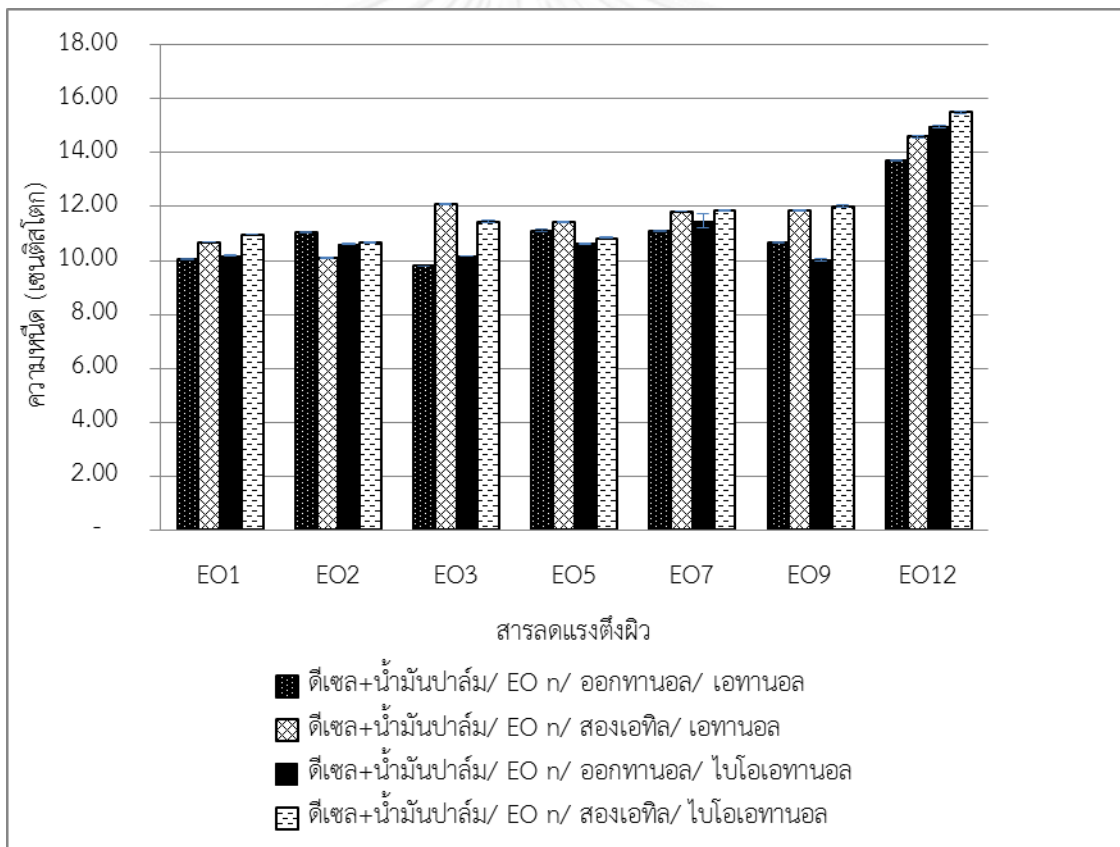
ภาพที่ 4-1 ถึง ภาพที่ 4-4 แสดงความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่มีความแตกต่างของเฟสที่มีขั้วระหว่างเอทานอลและไบโอเอทานอลเป็นส่วนผสมที่อุณหภูมิ 15, 25, 30 และ 40 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่า เมื่อจำนวนกลุ่มอีโอในสารลดแรงตึงผิวชนิดแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในกรณีที่ใช้เอทานอล (โซ่ตรง) เป็นสารลดแรงตึงผิว ในขณะที่ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลไม่สามารถสังเกตแนวโน้มของความหนืดกับผลของจำนวนกลุ่มอีโอในสารลดแรงตึงผิวชนิดแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นได้ ในทุกระบบของเชื้อเพลิงชีวภาพจะเห็นว่า เชื้อเพลิงชีวภาพจะมีความหนืดสูงที่สุด เมื่อใช้จำนวนอีโอ 12 (EO 12) เป็นสารลดแรงตึงผิวในทุกระบบ เพราะ EO 12 มีค่า HLB (Hydrophilic Lipophilic Balance) สูง ทำให้มีความชอบน้ำมาก (Hydrophilic) ดังนั้นจึงรวมตัวกับน้ำได้ดีกว่าและทำให้แรงตึงผิว (Surface tension) ระหว่างน้ำมันกับน้ำ (เอทานอล) เพิ่มขึ้น เชื้อเพลิงจึงมีความหนืดสูง

สารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีความแตกต่างทางโครงสร้างซึ่งเอทานอล (โซ่ตรง) มีความหนืดต่ำกว่าสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล (โซ่กึ่ง) เนื่องจากเอทานอลมีโครงสร้างสายโซ่ตรงซึ่งจะเข้ากันได้ดีกับระบบของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มมากกว่าสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแบบกึ่งก้าน รวมถึงระบบของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่มีไบโอเอทานอลเป็นส่วนผสมด้วย

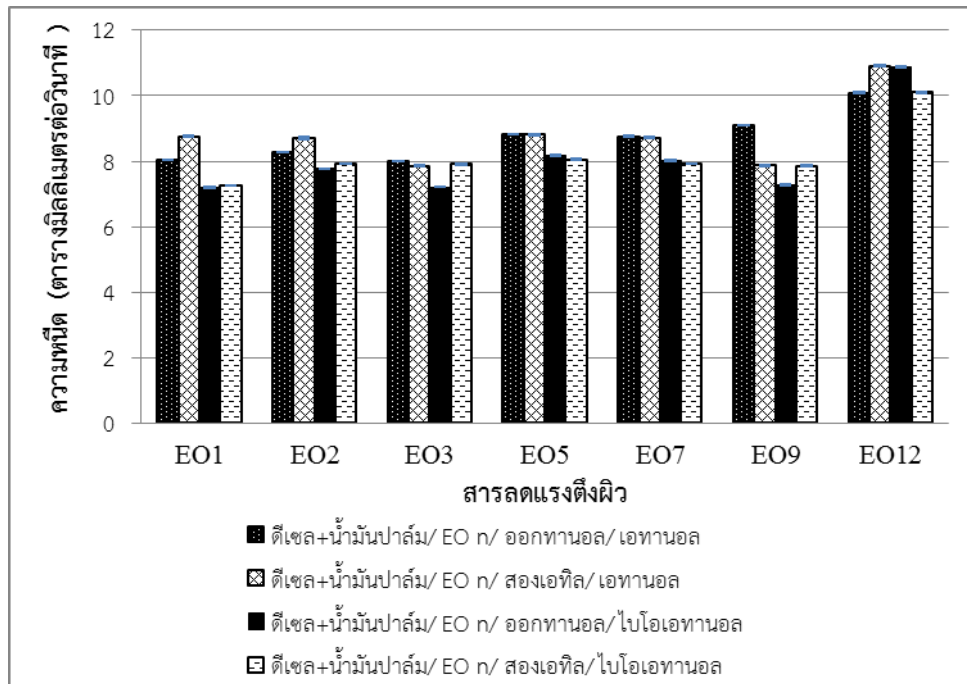
ในระบบของเฟสที่มีขั้วโดยเปรียบเทียบระหว่างเอทานอลและไบโอเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 95% จะเห็นได้ว่า ส่วนผสมที่มีเอทานอลเป็นส่วนประกอบจะมีความหนืดสูงกว่าเมื่อเทียบกับไบโอเอทานอล เนื่องจากคุณสมบัติของไบโอเอทานอล ($1.04 \text{ mm}^2/\text{s}$ และ 0.80 g/ml) มีความหนืดและความหนาแน่นต่ำกว่าเอทานอล ($1.17 \text{ mm}^2/\text{s}$ และ 0.82 g/ml) (ตารางที่ 4-2)

เมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้ความหนืดของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลงทำให้แรงที่ยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้นเป็นผลให้โมเลกุลของเหลวยึดเกาะกันเป็นแพ็คจึงทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งไปตามงานวิจัยของ Do และคณะ (2011)

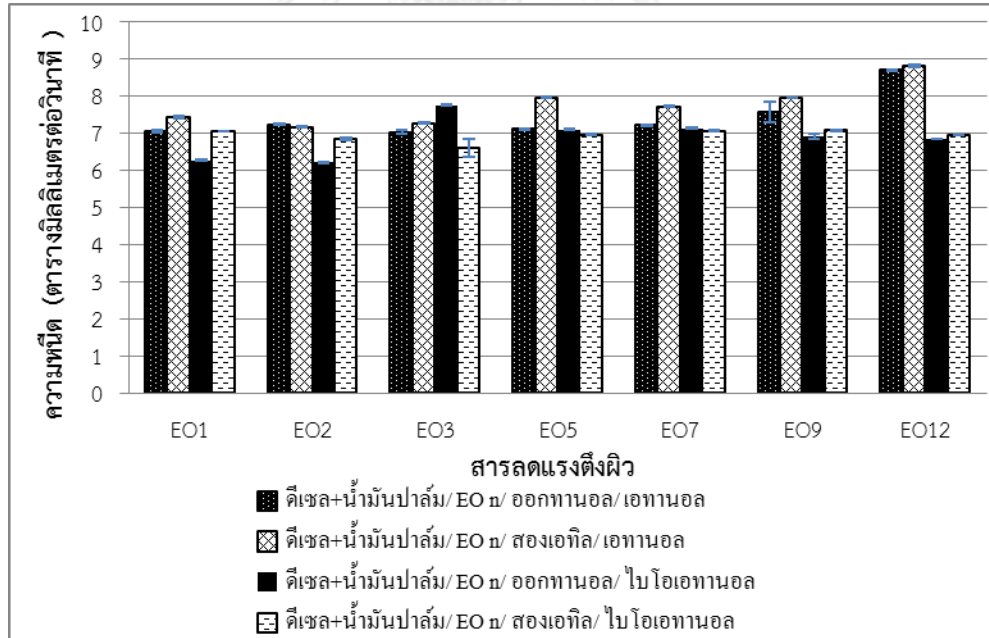
จากการศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานความหนืด ของน้ำมันดีเซล ณ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.9-4.1 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ส่วนความหนืดตามมาตรฐานของไบโอดีเซล ณ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.9-6.0 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที พบว่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของดีเซลและไบโอดีเซล



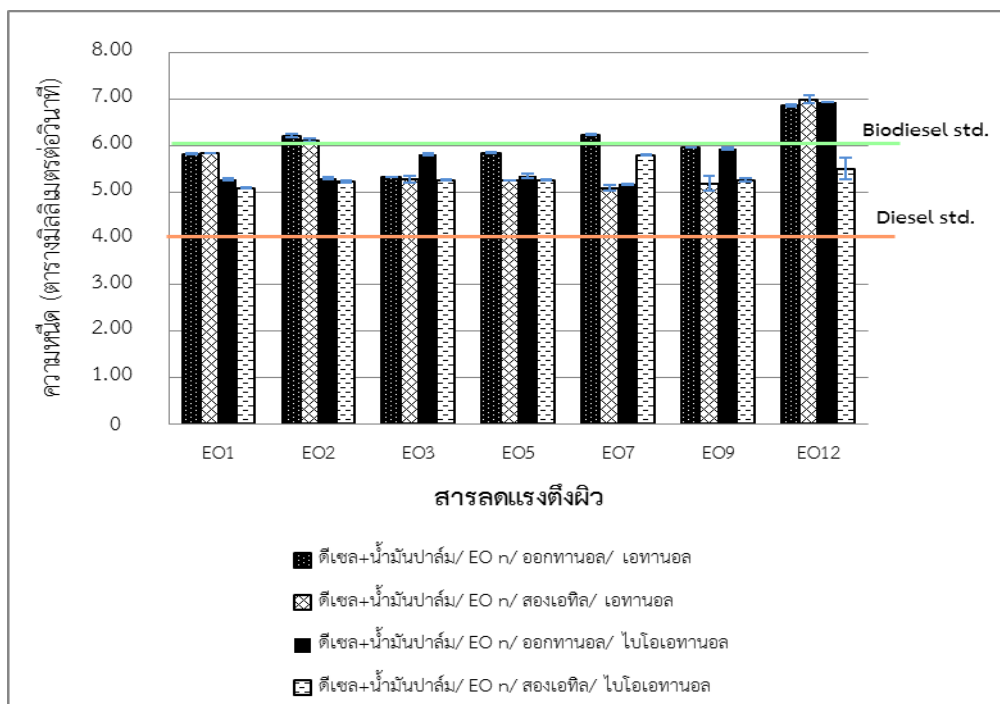
ภาพที่ 4- 1 ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4-2 ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4- 3 ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4- 4 ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

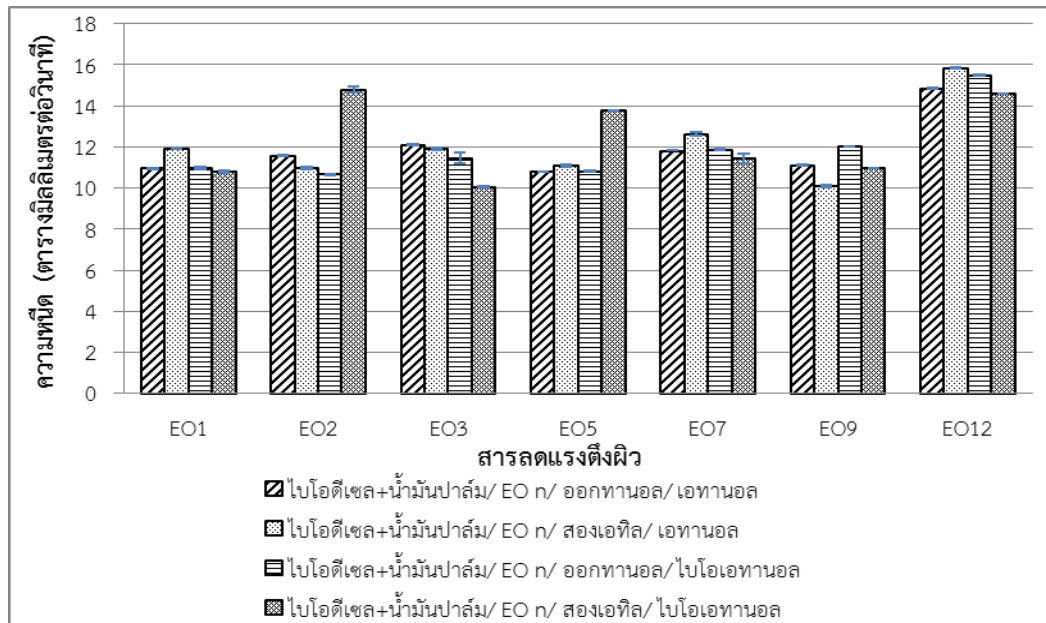
ภาพที่ 4-5 ถึง ภาพที่ 4-8 การศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 15, 25, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์ม พบว่าเมื่อจำนวนกลุ่มของอีโอเพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งใช้ออกทานอล (โซ่ตรง) เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ส่วนความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลไม่สามารถสังเกตแนวโน้มของความหนืดกับผลของจำนวนกลุ่มอีโอในสารลดแรงตึงผิวชนิดอโทกซิเลทแพตตีแอลกอฮอล์ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้อีโอ 12 (EO 12) เป็นสารลดแรงตึงผิวจะมีความหนืดสูงที่สุด

ความหนืดของสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล (โซ่กึ่ง) ต่ำกว่าออกทานอล (โซ่ตรง) เพราะสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลมีโครงสร้างสายโซ่กึ่งซึ่งเข้ากันได้ดีกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์ม

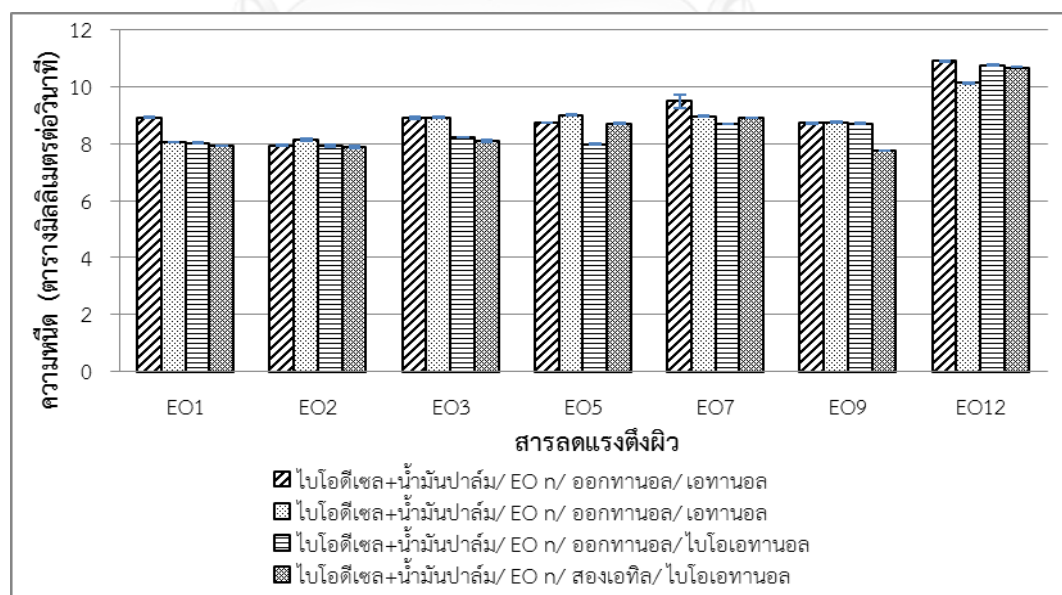
เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากเอทานอล 95% จะมีความหนืดสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอเอทานอล เพราะความหนืดของเอทานอล ($1.17 \text{ mm}^2/\text{s}$) สูงกว่าไบโอเอทานอล ($1.04 \text{ mm}^2/\text{s}$) ดังตารางที่ 4-2

ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง อุณหภูมิของเหลวลดลงเกิดจากแรงที่ยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้นเป็นผลให้โมเลกุลของเหลวยึดเกาะกันเป็นแพ็คจึงทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Do และคณะ (2011)

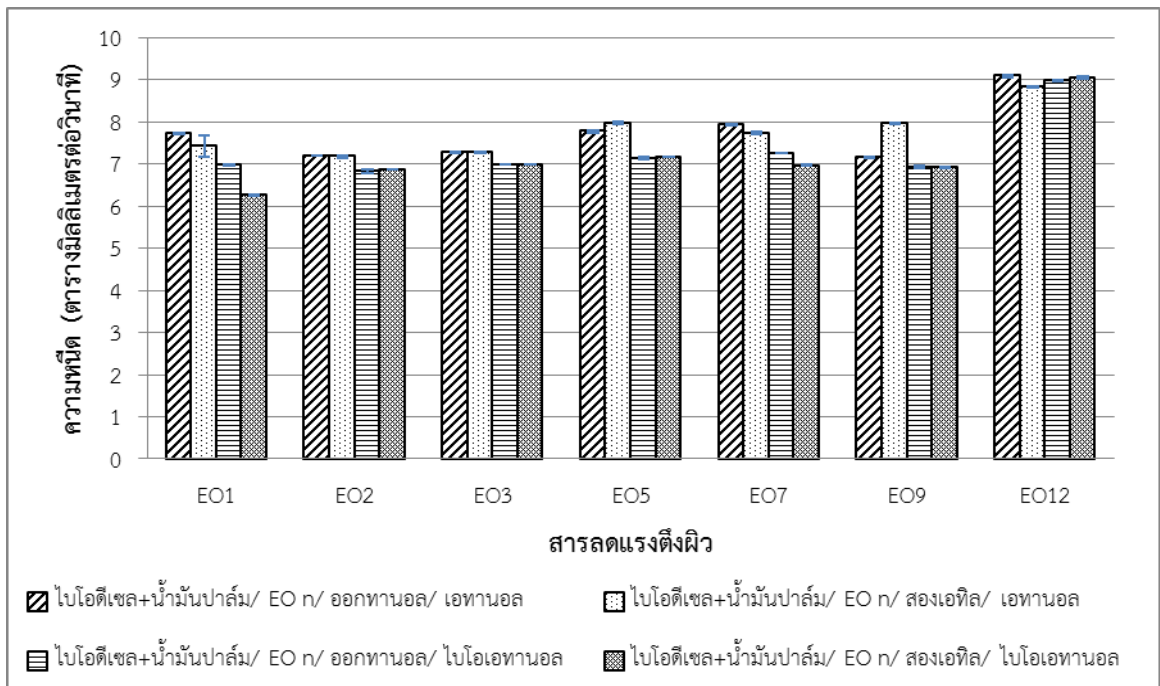
ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมขึ้นสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของดีเซลและไบโอดีเซล เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานความหนืดของน้ำมันดีเซล ณ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1.8-4.1 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ส่วนความหนืดตามมาตรฐานของไบโอดีเซล ณ 40 องศาเซลเซียส เท่ากับ 3.5-5.0 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที



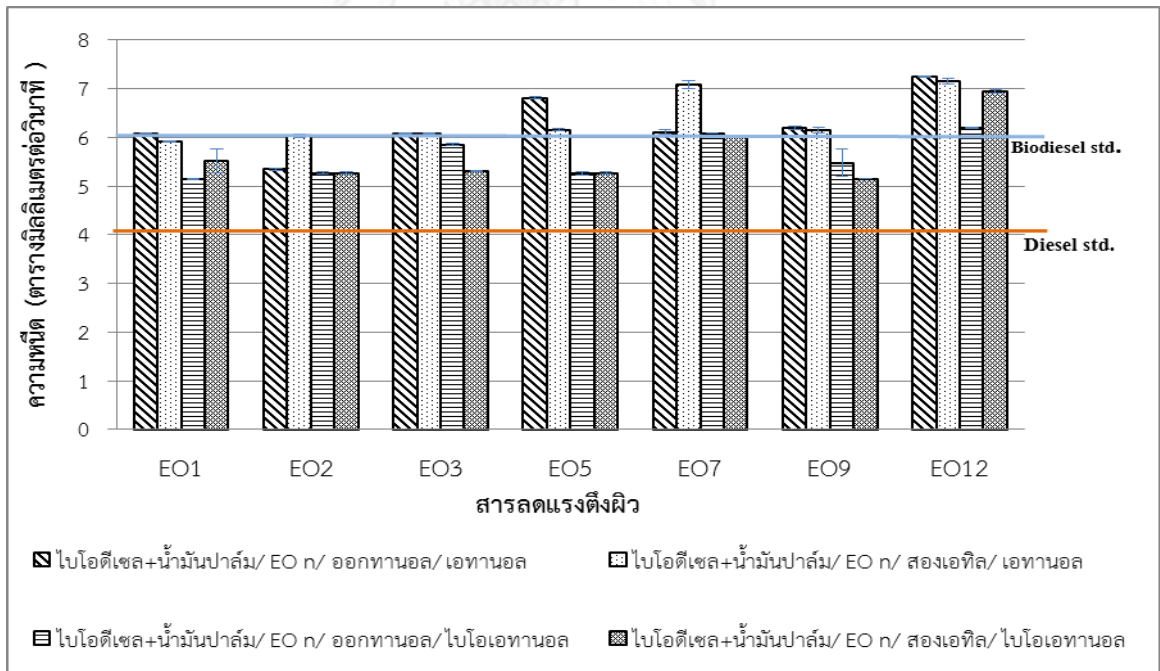
ภาพที่ 4- 5 ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4- 6 ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4- 7 ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่
 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4- 8 ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มที่
 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีความหนืดสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันพืชโดยผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันซึ่งจะมีกรดไขมันเป็นส่วนประกอบ เชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันจะมีค่าความหนืดสูงดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลจึงมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวจะเข้ากันได้กับเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวจะเข้ากันได้กับเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารลดแรงตึงผิวร่วม จะพบว่า เชื้อเพลิงที่ใช้ออกทานอลซึ่งมีโครงสร้างแบบโซ่ตรงมีความหนืดสูงกว่าสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลที่เป็นโซ่กิ่ง เนื่องจากออกทานอลมีโครงสร้างแบบสายโซ่ตรงยาวทำให้ในระบบความมีขั้วลดลงและเชื้อเพลิงไม่เสถียรจึงไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ ดังนั้นขนาดอนุภาคจึงมีขนาดใหญ่ เชื้อเพลิงที่เตรียมจากออกทานอล (โซ่ตรง) จึงมีความหนืดสูงกว่าสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลที่เป็นโซ่กิ่ง

4.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ

การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยจะเปรียบเทียบกับมาตรฐานดีเซลประเภทที่ 2 และไบโอดีเซล

4.3.1 จุดวาบไฟ (flash point)

จุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากเอทานอล 99% มีค่า 15 องศาเซลเซียส (Noukamol, 2012) ซึ่งคาดว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากเอทานอล 95% น่าจะมีจุดวาบไฟใกล้เคียงกัน (ไม่สามารถวัดค่าได้) จุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตาม ASTM มีค่า 52 และ 93 องศาเซลเซียส จะเห็นว่า เชื้อเพลิงชีวภาพมีจุดวาบไฟต่ำไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพจะไวไฟได้ง่าย

4.3.2 จุดขุ่น (cloud point)

จุดขุ่นเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดเชื้อเพลิงสามารถนำไปใช้งานได้ โดยในงานวิจัยได้นำเชื้อเพลิงชีวภาพไปแช่ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพไม่เกิดเป็นไขสามารถนำไปใช้งานได้ เมื่อระยะเพิ่มขึ้นเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มเริ่มเกิดเป็นไขก่อนเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์ม สารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีโอ (n= 3, 5 และ 12) จะเกิดเป็นไขหรือของแข็งเริ่มตกผลึกแยกตัวออกจากเชื้อเพลิงก่อนสารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีโอ (n= 1, 2, 7 และ 9) เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยออกทานอล (สายตรง) จะเกิดเป็นไขก่อนเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล (สายกิ่ง) เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากเอทานอล 95% เกิดเป็นไขในเวลาใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซล

เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดความขุ่น ระยะเวลา 1 วันทุกระบบของเชื้อเพลิงชีวภาพจะไม่เกิดจุดขุ่น และเมื่อทิ้งไว้ระยะ 1 เดือน เชื้อเพลิงชีวภาพจะเป็นของแข็งเริ่มตกผลึกแยกตัวออกจากเชื้อเพลิงในทุกระบบ

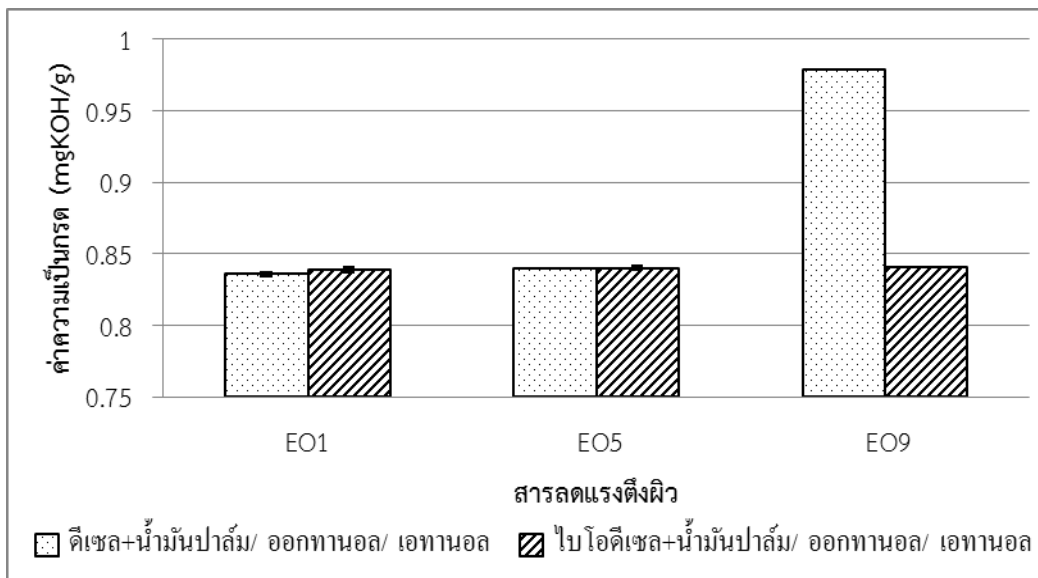
ถ้าเชื้อเพลิงที่มีจุดขุ่นสูงจะทำให้เชื้อเพลิงเกิดเป็นไขที่อุณหภูมิสูง ไขที่เกิดขึ้นจะไปขัดขวางการไหลของน้ำมัน ทำให้เกิดการอุดตันไส้กรองน้ำมันได้ จากมาตรฐานจุดขุ่นของไบโอดีเซล และดีเซลมีค่าเท่ากับ -5 และ -15 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยในช่วงฤดูหนาว (พ.ศ. 2514–2543) 23.1-26.8 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูง ดังนั้นหากมีการนำเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่เกิดเป็นไขที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียสมาใช้งานจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ดีเซล

4.3.3 จุดไหลเท (pour point)

จุดไหลเทของเชื้อเพลิงที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มต่ำกว่าจากเชื้อเพลิงที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม อุณหภูมิ -6 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่เชื้อเพลิงยังคงไหลตัวได้เมื่อใช้ดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากจำนวนกลุ่มอีโอ ($n = 1, 2, 9$ และ 12) มีอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่น้ำมันยังคงไหลตัวที่อุณหภูมิ -3 องศาเซลเซียส ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์มอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่น้ำมันยังคงไหลตัวได้ คือ 0 องศาเซลเซียส ในกรณีที่ใช้จำนวนกลุ่มอีโอเป็นสารลดแรงตึงผิวไม่สามารถสังเกตแนวโน้มของจุดไหลเทกับผลของจำนวนกลุ่มอีโอได้ เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยออกทานอลและสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลน้ำมันจะไหลตัวได้ที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเอทานอลและไบโอเอทานอลมีจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิเดียวกัน มาตรฐานของจุดไหลเทในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์) คือ ช่วงอุณหภูมิ - 17.8 องศาเซลเซียส และช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – ตุลาคม) คือ ช่วงอุณหภูมิ - 9.4 องศาเซลเซียส (Do และคณะ, 2011) ในประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูหนาว (พ.ศ. 2514 – 2543) 23.1-26.8 องศาเซลเซียสสูงกว่ามาตรฐานข้างต้น ดังนั้นจึงสามารถใช้เชื้อเพลิงชีวภาพนี้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ ในกรณีประเทศที่หนาวจะต้องเลือกใช้ใช้น้ำมันที่จุดไหลเทต่ำเพื่อให้ น้ำมันสามารถไหลได้

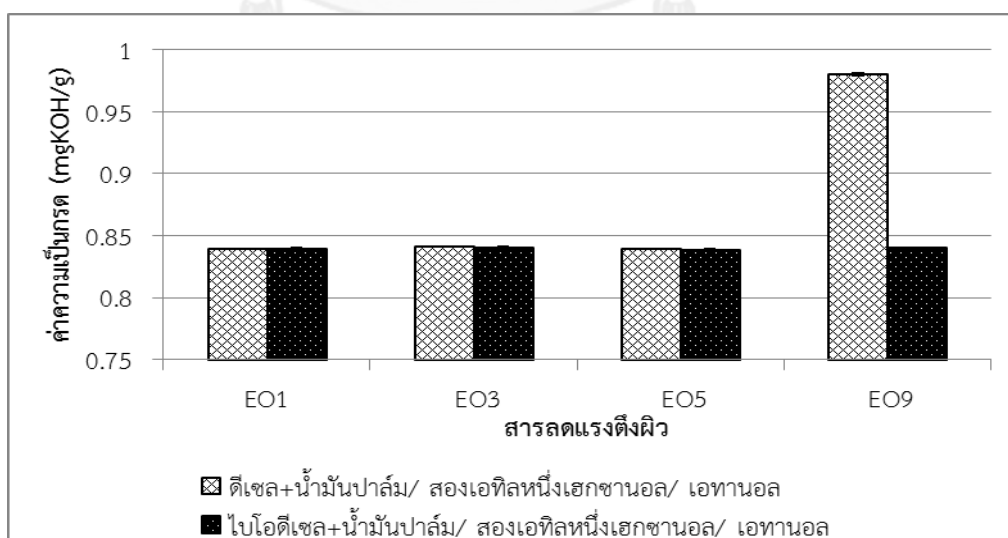
4.3.4 ค่าความเป็นกรด (acid value)

จากภาพที่ 4-9 ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอล เมื่อเปรียบเทียบระหว่างดีเซลผสมน้ำมันปาล์มและไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีค่าความเป็นกรดใกล้เคียงกัน (0.83-0.98 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม) ในระบบของดีเซลผสมน้ำมันปาล์มที่มีกลุ่มอีโอ 9 (EO9) จะมีค่าความเป็นกรดสูงที่สุด (0.98 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม)



ภาพที่ 4- 9 ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยออกทานอล

ในระบบของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลมีค่าความเป็นกรดใกล้เคียงกัน (0.83-0.98 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม) ในทางตรงกันข้ามเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากติเซลผสมน้ำมันปาล์ม เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีโอ 9 (EO9) จะพบว่า มีค่าความเป็นกรดสูง (0.98 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม) เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้เกิดจากเชื้อเพลิงมีปริมาณกรดไขมันอิสระในปริมาณมากอยู่ในน้ำมันและอาจเก็บไว้นานทำให้น้ำมันเริ่มเสื่อมคุณภาพ ดังภาพที่ 4-10 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารลดแรงตึงผิวร่วมจะเห็นว่า ค่าความเป็นกรดมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการใช้ปริมาณสารที่เท่ากันจึงทำให้ค่าความเป็นกรดไม่แตกต่างกัน

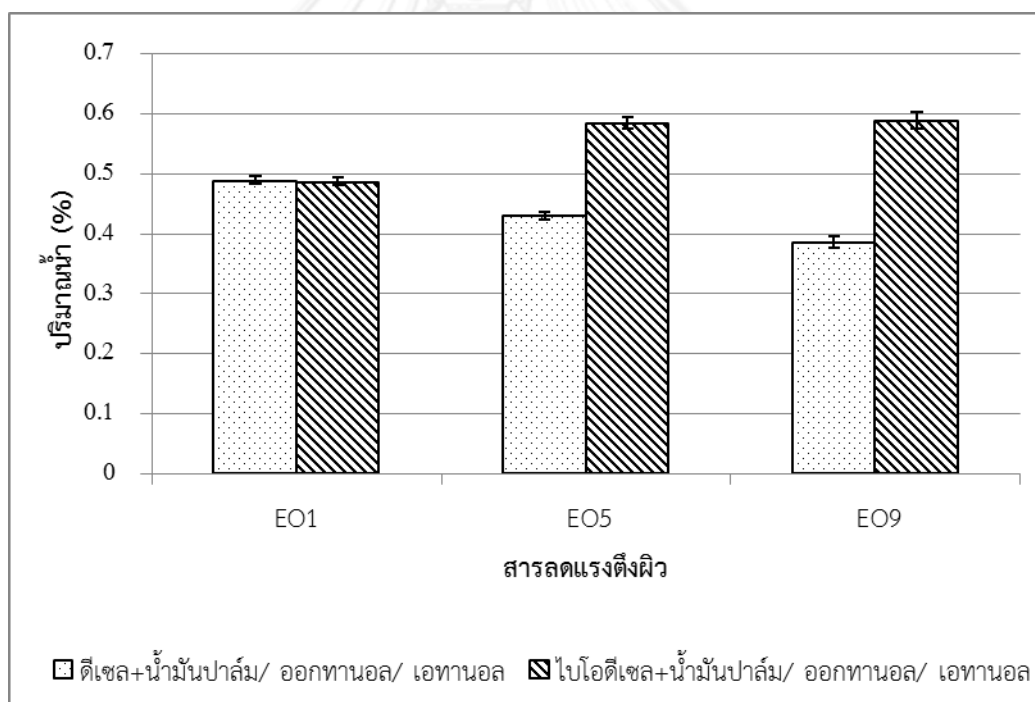


ภาพที่ 4- 10 ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล

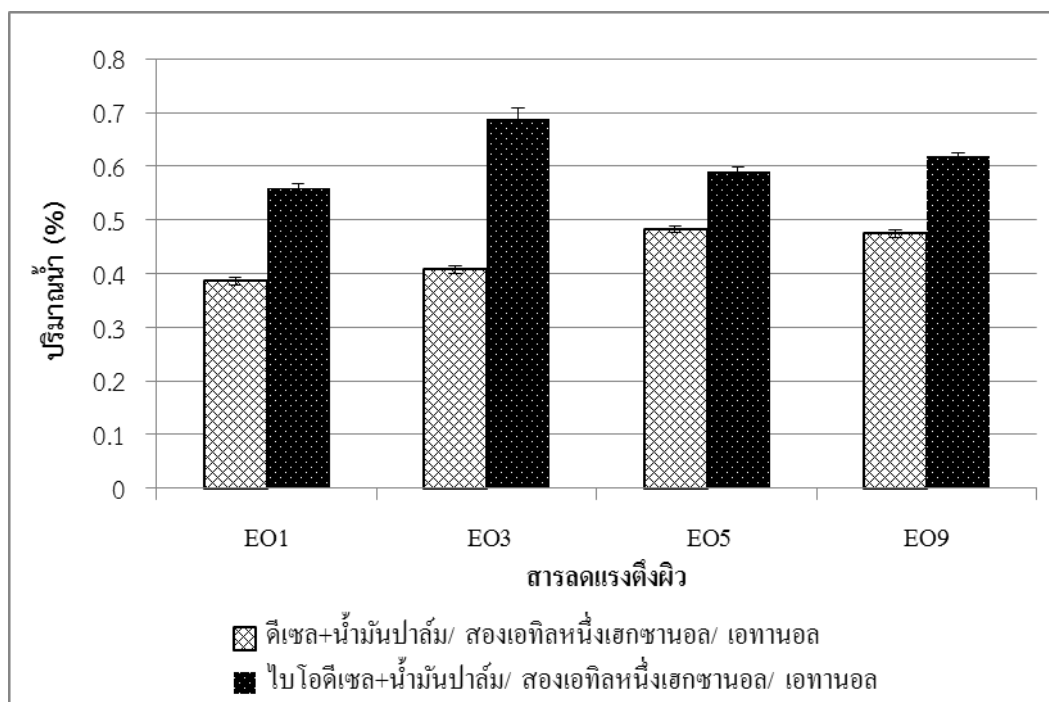
ค่าความเป็นกรดสามารถบ่งชี้ว่าเชื้อเพลิงมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชเป็นองค์ประกอบตามมาตรฐานไบโอดีเซลและดีเซลของ ASTM ค่าความเป็นกรดต้องไม่เกิน 0.50 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความเป็นกรดสูงกว่ามาตรฐานเกิดจากเชื้อเพลิงมีกรดไขมันอิสระในปริมาณมากและยังแสดงว่าน้ำมันเริ่มเสื่อมคุณภาพ ซึ่งมีผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ ทำให้อายุการใช้งานของปั๊มและไส้กรองน้ำมันลดลงไม่เหมาะในการนำไปใช้งาน

4.3.5 ปริมาณน้ำ (water content)

เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มโดยมีออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมจะมีปริมาณน้ำน้อยกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มจะมีปริมาณน้ำลดลงเมื่อจำนวนกลุ่มอีโอเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามเมื่อจำนวนกลุ่มอีโอของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นจะทำให้มีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นด้วย ภาพที่ 4-11



ภาพที่ 4- 11 ปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยออกทานอล



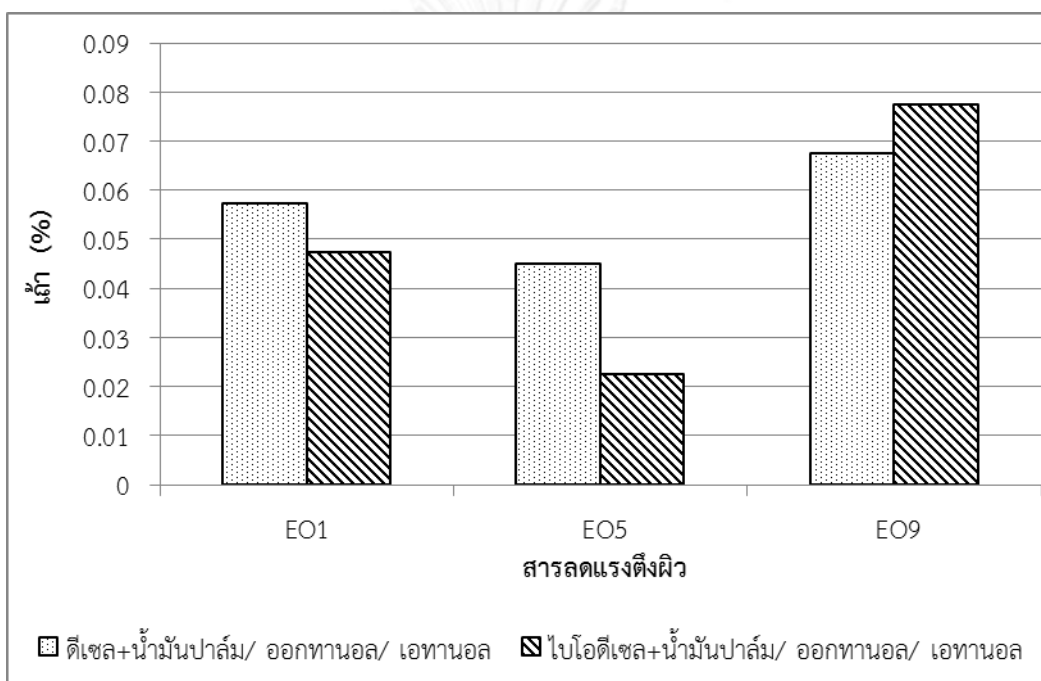
ภาพที่ 4- 12 ปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล

ภาพที่ 4-12 เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวมจะมีปริมาณน้ำต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม เนื่องจากในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีการใช้น้ำในกระบวนการล้างเอากลีเซอรอลทำให้มีปริมาณน้ำในไบโอดีเซลสูงกว่าดีเซล ในระบบเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยดีเซลผสมน้ำมันปาล์มพบว่า เมื่อจำนวนโมเลกุลอีโอเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำของสารลดแรงตึงผิวโดย EO1 จะมีน้ำปนเปื้อนต่ำและ EO 9 มีน้ำปนเปื้อนมากที่สุด เชื้อเพลิงที่มีปริมาณน้ำมากที่สุดคือเชื้อเพลิงที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม อีโอ 5 (EO5) และสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มีน้ำเจือปนอยู่จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้น้ำในการล้างกลีเซอรอล เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 95% และสารลดแรงตึงผิว อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์มไม่สามารถสังเกตแนวโน้มของจำนวนกลุ่มอีโอที่เพิ่มขึ้นได้

เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยวิธีไมโครอิมัลชันจะมีปริมาณน้ำสูงกว่ามาตรฐานไบโอดีเซลและดีเซลประเภทที่ 2 ตามมาตรฐาน ASTM (0.05 %โดยปริมาตร) เนื่องจากเอทานอลและที่ใช้มีความบริสุทธิ์ 95% ซึ่งมีปริมาณน้ำปนเปื้อนสูงจึงทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีปริมาณน้ำสูง เชื้อเพลิงชีวภาพมีปริมาณน้ำมากจะทำให้อุณหภูมิจนในการเผาไหม้ลดลง ส่งผลให้ไนโตรเจนออกไซด์และอนุภาคขนาดเล็กลดลง แต่ปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นด้วย

4.3.6 ปริมาณเถ้า (ash content)

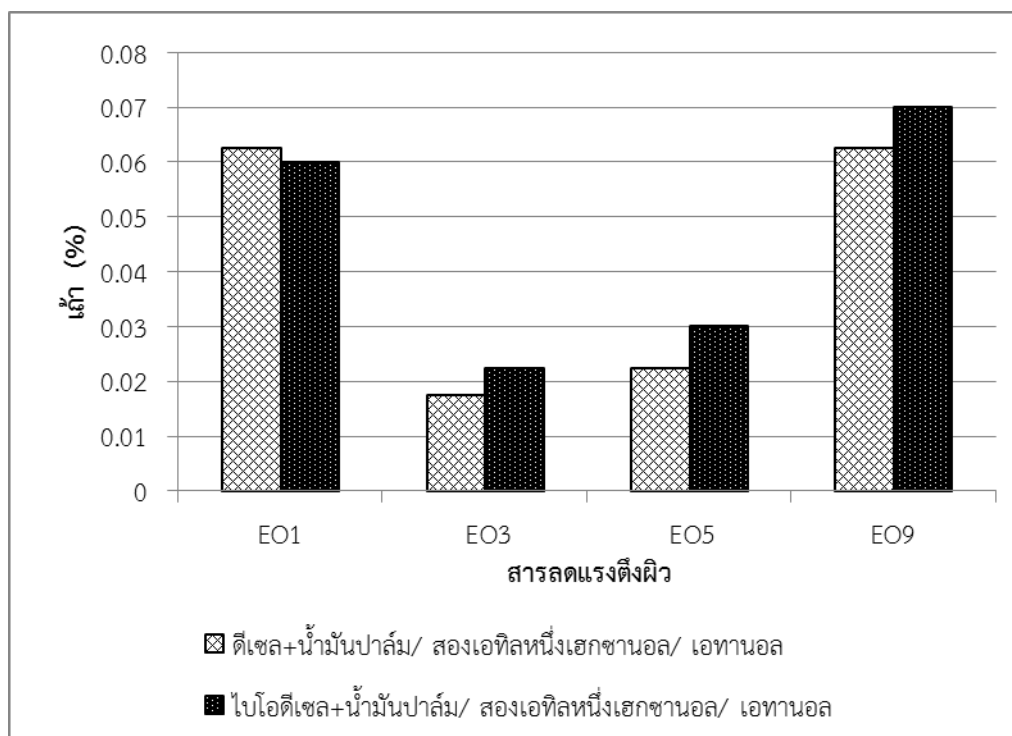
ในการหาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพได้ประยุกต์ใช้วิธีวิเคราะห์จาก EN 14775 โดยการนำเชื้อเพลิงชีวภาพไปประเหยให้แห้งจนไม่มีควันด้วยเตาไฟฟ้า เพื่อป้องกันการลุกติดไฟเมื่อนำเชื้อเพลิงไปเผาที่ 550 องศาเซลเซียส ภาพที่ 4-13 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลมีค่า 0.022-0.077 % พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีปริมาณเถ้ามากกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีปริมาณเถ้าสูงสุดเมื่อใช้อีโอ 9 (EO9) เป็นสารลดแรงตึงผิว รองลงมาคือ อีโอ 1 และ อีโอ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 4- 13 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอล

ภาพที่ 4-14 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล มีค่าเท่ากับ 0.017- 0.069 % ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีค่าต่ำกว่าเชื้อเพลิงที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม สารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีโอที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุดคือ อีโอ 9 รองลงมาคือ อีโอ 1 อีโอ 5 และอีโอ 3 ตามลำดับ อาจเกิดจากเชื้อเพลิงที่ใช้ EO9 มีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ซึ่งอยู่ในรูปของแข็งหรือสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันมากและอาจเกิดจากขั้นตอนการระเหยเชื้อเพลิงชีวภาพจนไม่มีควันด้วยเตาไฟฟ้าก่อนนำไปเผา เชื้อเพลิงที่เตรียมจาก EO9 จะเหลือปริมาณเถ้ามากกว่าสารลดแรงตึงผิวกลุ่มที่มีโมเลกุลเอทิลออกไซด์อื่นๆ ทำให้ปริมาณเถ้าที่ได้มีปริมาณ ส่วน EO3 และEO5 มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า EO9 ทำให้มีปริมาณเถ้าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างออกทานอลและสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลมีปริมาณเถ้าสูงกว่าเชื้อเพลิงที่เตรียมจากออกทานอล ปริมาณเถ้าของ

เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่ามากกว่ามาตรฐานไบโอดีเซลของ ASTM (0.01%) เชื้อเพลิงที่มีปริมาณเถ้าสูงจะทำให้เกิดการอุดตันระบบไส้กรองและหัวฉีด เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นมีส่วนประกอบของสารพวกที่ไม่สามารถเผาไหม้หมดได้ซึ่งอยู่ในรูปของแข็ง และสารอนินทรีย์ต่างๆ

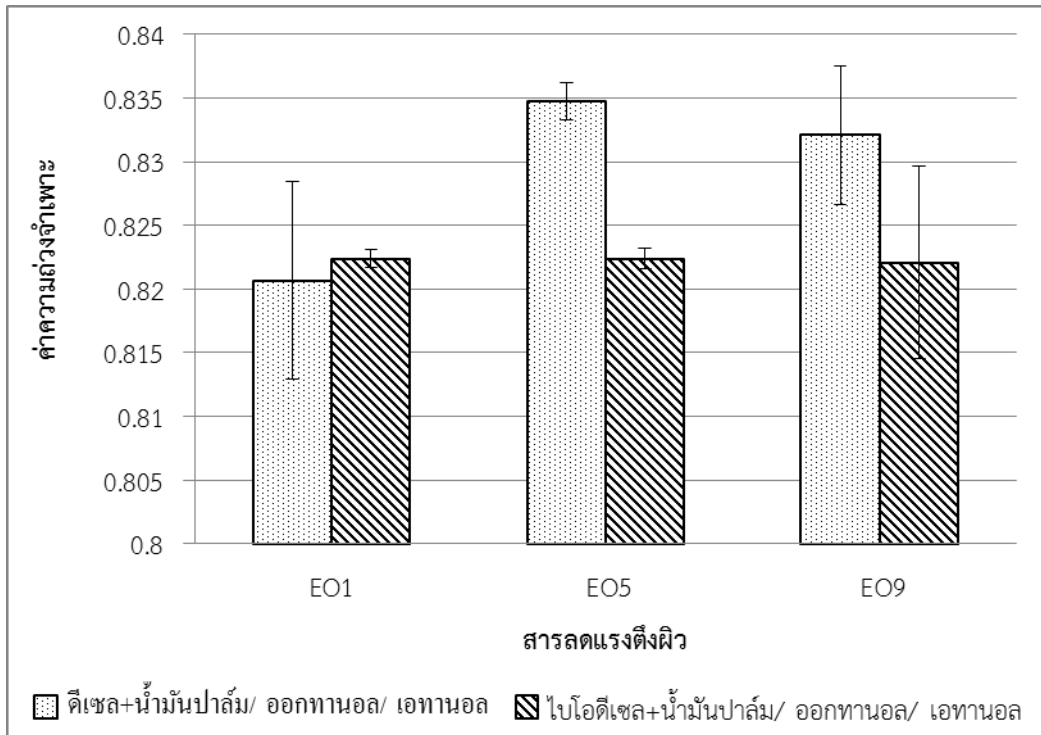


ภาพที่ 4- 14 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล

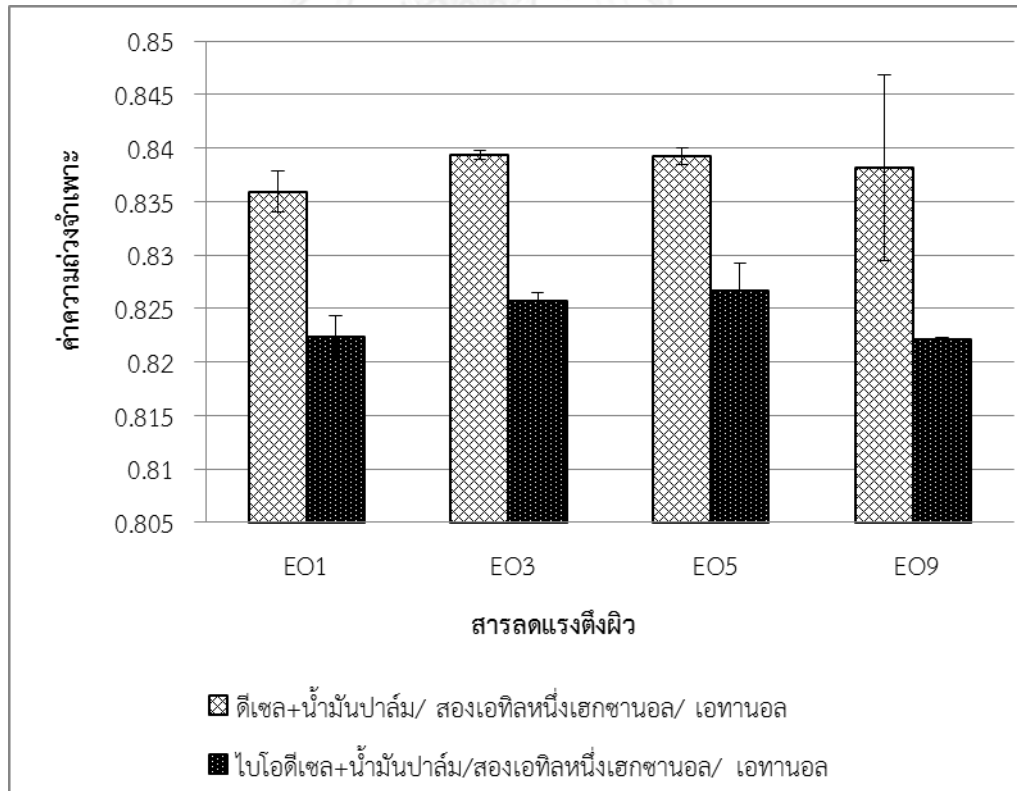
4.3.7 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพเท่ากับ 0.821-0.835 โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าระบบไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์มเพียงเล็กน้อย สารลดแรงตึงผิวของจำนวนกลุ่มอีโอ 5 (EO5) จะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดของเชื้อเพลิงเตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม ดังภาพที่ 4-15

มาตรฐานน้ำมันดีเซลของความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส ไม่ต่ำกว่า 0.81 และไม่สูงกว่า 0.87 ภาพที่ 4-17 เชื้อเพลิงชีวภาพเตรียมจากน้ำมันปาล์มผสมดีเซล อีโอ5 ออกทานอล และเอทานอลมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.835 เชื้อเพลิงที่มีความถ่วงจำเพาะจะแสดงว่ามีพวอะโรมาติกมาก ทำให้เกิดการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ไม่ดี แต่ความถ่วงจำเพาะที่สูงจะให้ความร้อนได้ดีและไม่สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4- 15 ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยออกทานอล

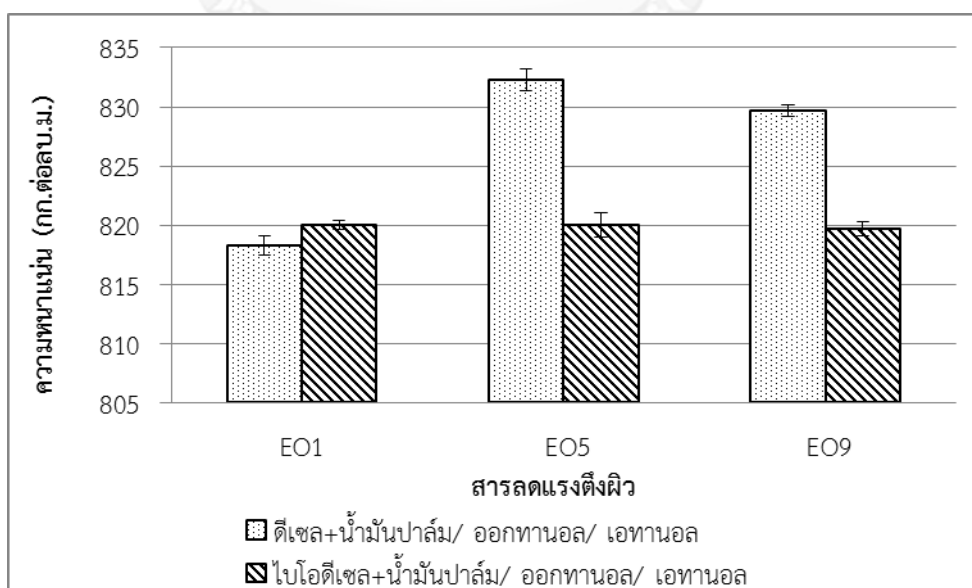


ภาพที่ 4- 16 ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล

ภาพที่ 4-16 ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพเท่ากับ 0.822-0.840 ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม สารลดแรงตึงผิวที่มีจำนวนกลุ่มอีโอ ($n = 1, 3, 5$ และ 9) จะมีค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพใกล้เคียงกัน เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยดีเซลหรือไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์มซึ่งมีสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวมจะมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าออกทานอล เนื่องจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลมีสารประกอบพวกอะโรมาติกน้อยจึงทำให้มีความถ่วงจำเพาะต่ำ เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลและสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลไม่สามารถสังเกตแนวโน้มของความถ่วงจำเพาะกับผลของจำนวนกลุ่มอีโอได้ มาตรฐานน้ำมันดีเซลมีความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.81- 0.87

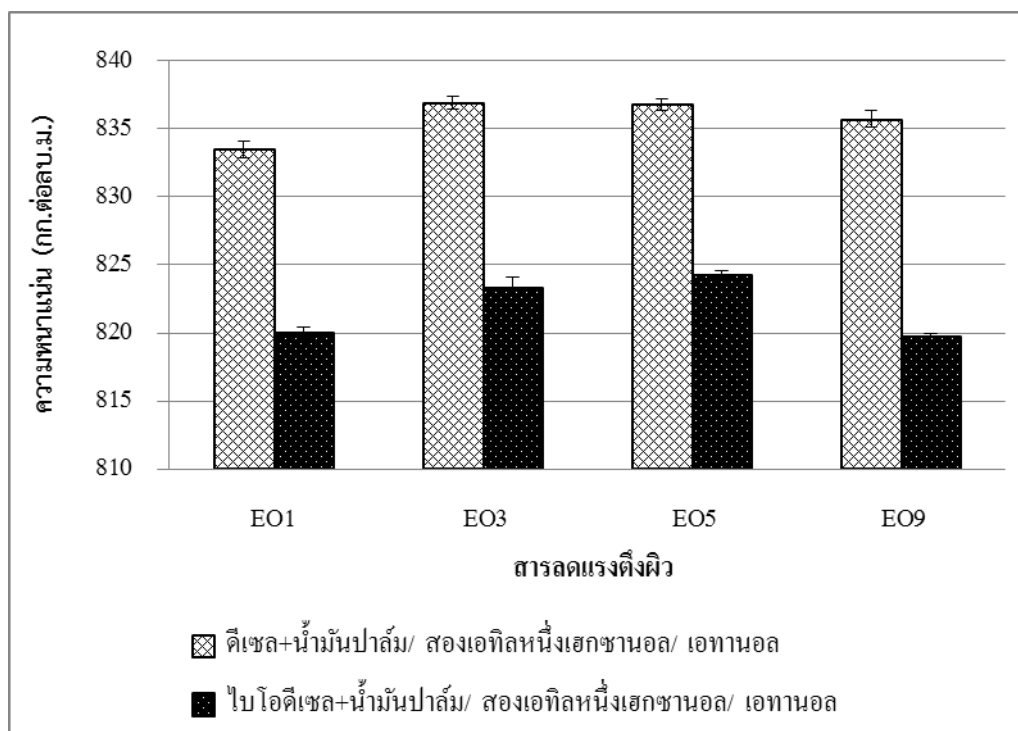
4.3.8 ความหนาแน่น (density)

ภาพที่ 4-17 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวมีค่า 818.3-832.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม ในกรณีของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพใกล้เคียงกัน เชื้อเพลิงที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มเมื่อใช้ EO5 เป็นสารลดแรงตึงผิวมีความหนาแน่นมากที่สุด เนื่องจากเชื้อเพลิงมีมวลของสารมากและความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากส่วนประกอบเดียวกันมีค่าสูงด้วย มาตรฐานความหนาแน่นของไบโอดีเซลมีค่า 860-900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4- 17 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยออกทานอล

ภาพที่ 4-18 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล พบว่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 819.7-836.9 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มผสมกับดีเซลมีค่ามากกว่าน้ำมันปาล์มผสมกับไบโอดีเซล เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลและสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลไม่สามารถสังเกตแนวโน้มของความหนาแน่นกับผลของจำนวนกลุ่มอีโอได้



ภาพที่ 4- 18 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล

เชื้อเพลิงชีวภาพจะมีความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากความหนาแน่นหมายถึง มวลของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนด ส่วนความถ่วงจำเพาะหมายถึง อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของน้ำมันต่อความหนาแน่นน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน จะเห็นว่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นมีความสัมพันธ์กัน ทำให้คุณสมบัติทั้ง 2 ชนิด มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน

4.3.9 ขนาดอนุภาค (droplet size)

ขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพมีขนาดอยู่ระหว่าง 10-66 นาโนเมตร เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม โดยมีออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิว พบว่า เมื่อจำนวนกลุ่มอีโอเพิ่มขึ้นขนาดอนุภาคจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนกลุ่มอีโอจะช่วยเพิ่มขนาดส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิว (มีขี้) อาจทำให้เกิดขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น

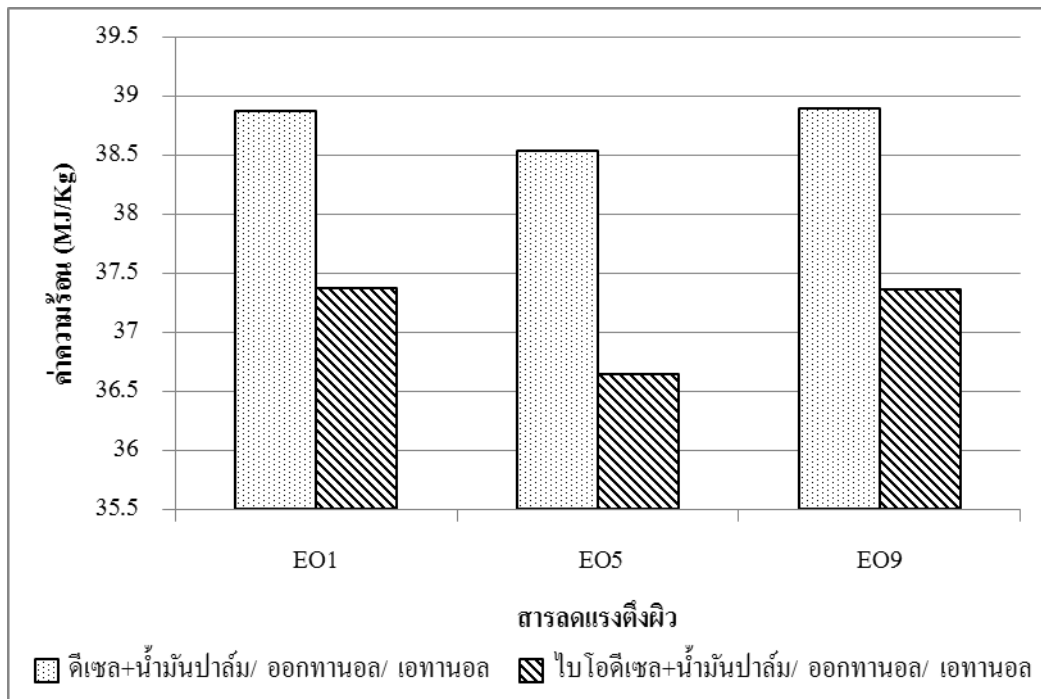
ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม เมื่อใช้อีโอดี 5 (EO5) เป็นสารลดแรงตึงผิว และสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล (โซ่กิ่ง) มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด (66.3 นาโนเมตร) เนื่องจากโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่เป็นโซ่กิ่งเมื่ออยู่ใกล้กับส่วนหางของสารลดแรงตึงผิว (ไม่มีขั้ว) ทำให้ส่วนหางเกิดการขยายใหญ่ขึ้น ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพจึงมีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างมากและมีค่าความหนืดสูงด้วย ในกรณีที่ใช้สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมจะมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าเชื้อเพลิงที่เตรียมจากออกทานอล ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4 - 3 ขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพ

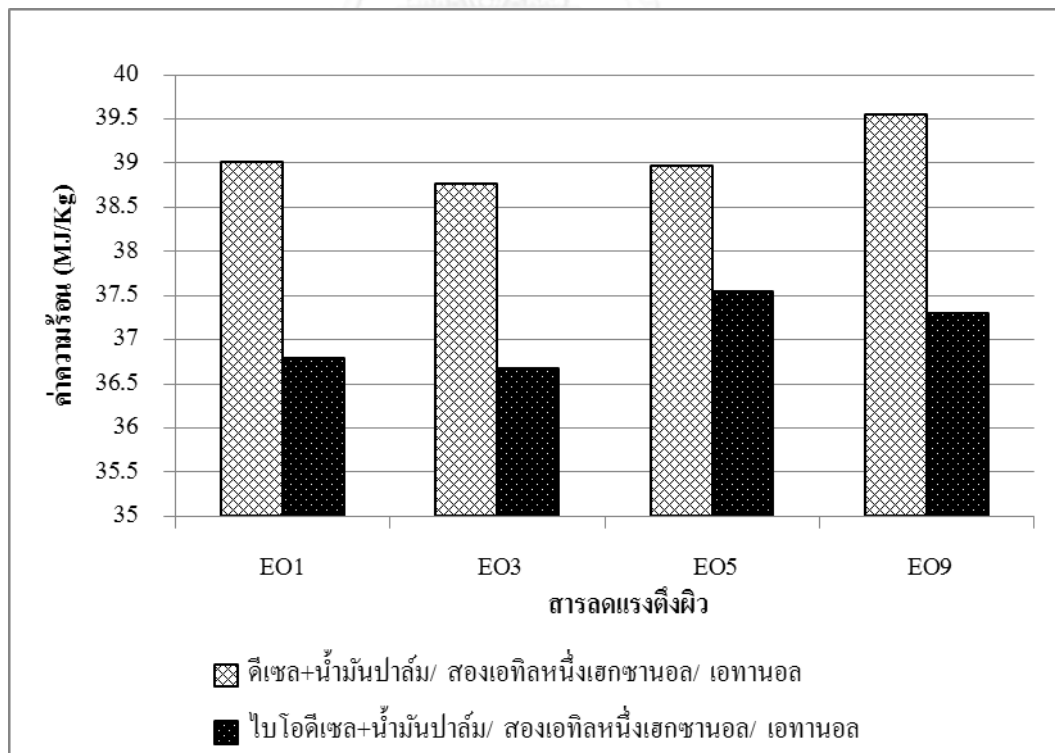
น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิวผสม	ส่วนที่มีขั้ว	Hydrodynamics diameter (d.nm)
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1 / Oct	ETOH	12
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5 / Oct	ETOH	13
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9 / Oct	ETOH	15
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1 / Oct	ETOH	11.3
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5 / Oct	ETOH	31.3
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9 / Oct	ETOH	18
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1 / 2-ethyl	ETOH	12.3
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3 / 2-ethyl	ETOH	14.7
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5 / 2-ethyl	ETOH	16.7
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9 / 2-ethyl	ETOH	34
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1 / 2-ethyl	ETOH	10.3
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3 / 2-ethyl	ETOH	28.3
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5 / 2-ethyl	ETOH	66.3
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9 / 2-ethyl	ETOH	12.3

4.3.10 ค่าความร้อน (heating value)

เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 36.6-39.6 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ส่วนน้ำมันดีเซลค่าความร้อนเท่ากับ 42 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (Do และคณะ, 2011) เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเพียงเล็กน้อย ภาพที่ 4-19 พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มโดยมีออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมมีค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม เมื่อเปรียบเทียบจำนวนกลุ่มอีโอดีในสารลดแรงตึงผิว ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพสูงที่สุดคือ อีโอดี 9 รองลงมา คือ อีโอดี 1 และอีโอดี 5 ตามลำดับ



ภาพที่ 4- 19 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอล



ภาพที่ 4- 20 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีค่าความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงชีวภาพจะมีค่าความร้อนสูงที่สุด เมื่อใช้ อีโอดีไอ 9 เป็นสารลดแรงตึงผิว และค่าความร้อนต่ำที่สุดเมื่อใช้ อีโอดีไอ 3 เป็นสารลดแรงตึงผิว ภาพที่ 4-20

เมื่อเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวระหว่างออกทานอลและสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลมีค่าความร้อนสูงกว่าออกทานอล

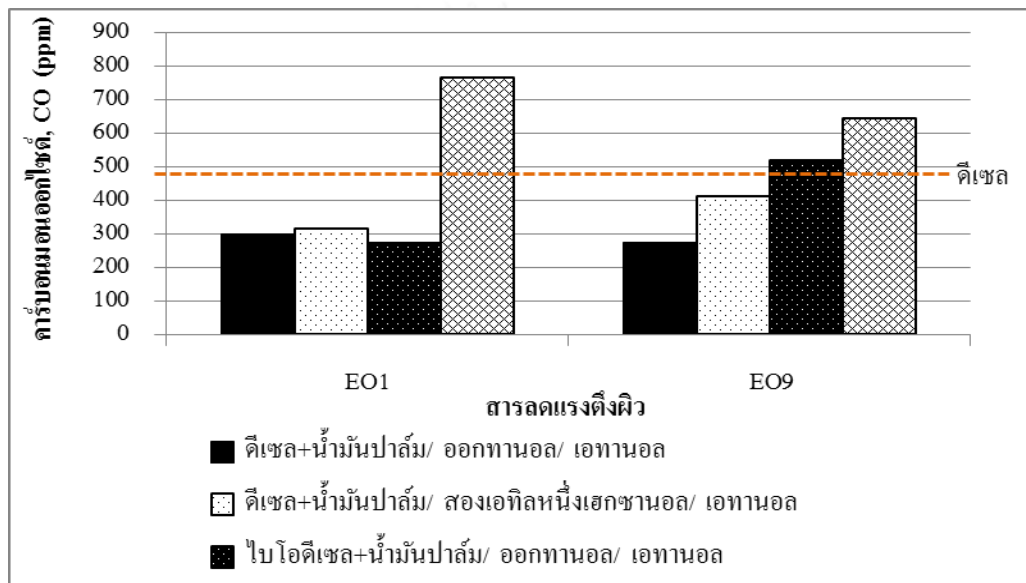
4.5 การปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

ภาพที่ 4-21 ถึงภาพที่ 4-23 การปล่อยก๊าซไอเสียของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ภาพที่ 4-21 เมื่อใช้อีโอดีไอ 1 เป็นสารลดแรงตึงผิว ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงที่สุดจำนวน 767 พีพีเอ็ม ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าน้ำมันดีเซล (485 พีพีเอ็ม) เมื่อใช้สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม ในกรณีที่ใช้อีโอดีไอ 9 เป็นสารลดแรงตึงผิว พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าเชื้อเพลิงที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลจะมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์สูงกว่าออกทานอล เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างอีโอดีไอ 1 และอีโอดีไอ 9 จะเห็นว่า เชื้อเพลิงที่เตรียมจากอีโอดีไอ 9 มีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์สูงกว่า ปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ใช้ดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของ Do และคณะ, 2011

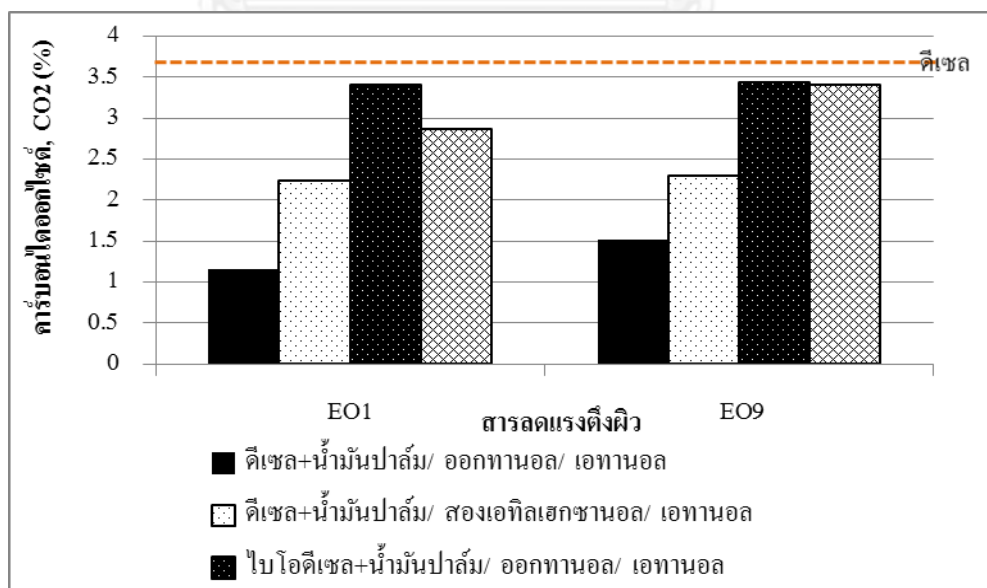
ภาพที่ 4-22 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ จะเห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงชีวภาพต่ำกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบซึ่งจะเป็นตัวช่วยในการสันดาปที่สมบูรณ์ทำให้มีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าดีเซล เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม อีโอดีไอ 1 และออกทานอล มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณต่ำ (1.16%) เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม ในกรณีที่ใช้อีโอดีไอ 9 เป็นสารลดแรงตึงผิวจะมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าอีโอดีไอ 1 เพราะเชื้อเพลิงที่เตรียมจาก EO9 มีปริมาณจำนวนคาร์บอนอะตอมมากกว่า EO1 เมื่อมีการสันดาปจึงทำให้เกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่า

การปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของน้ำมันดีเซลมีค่า 637 พีพีเอ็ม ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของ Crookes และคณะ, 1997 และ Lin และ Wang, 2004

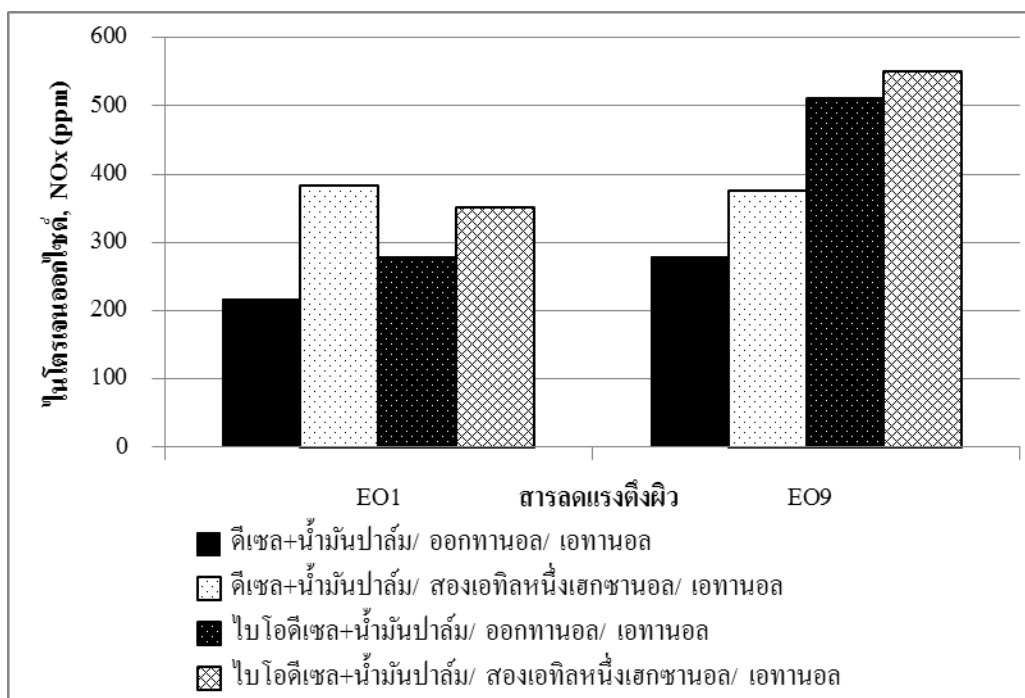
เมื่อใช้ไอโอ 1 เป็นสารลดแรงตึงผิว พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลมีปริมาณการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์มากกว่าออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ในกรณีที่ใช้อิโอ 9 เป็นสารลดแรงตึงผิว เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ต่ำกว่าเชื้อเพลิงที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงชีวภาพจะมีปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ต่ำที่สุด เมื่อใช้เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม ออกทานอล อีไอโอ 1 และเอทานอล ดังภาพที่ 4-23



ภาพที่ 4- 21 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ



ภาพที่ 4- 22 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ



ภาพที่ 4- 23 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

การปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม ออกทานอล อีโอดีเซล 1 และเอทานอลจะมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ต่ำที่สุด เพราะเชื้อเพลิงที่เตรียมจาก EO1 มีจำนวนคาร์บอนอะตอมน้อย เมื่อมีการสันดาปจึงทำให้เกิดปริมาณก๊าซทั้ง 3 ชนิดน้อย และไม่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนในเชื้อเพลิง ส่วนเชื้อเพลิงที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล อีโอดีเซล 9 และเอทานอลมีปริมาณการปล่อยก๊าซทั้ง 3 ชนิดสูงที่สุดเพราะเชื้อเพลิงที่เตรียมจาก EO9 มีปริมาณจำนวนคาร์บอนอะตอมมาก เมื่อมีการสันดาปจึงทำให้เกิดปริมาณก๊าซทั้ง 3 ชนิดสูง

เมื่อนำเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้นำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐานของ ASTM ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4 - 4 เปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวภาพกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำดีเซลและไบโอดีเซลของ ASTM

ตัวอย่าง	ตัวอย่าง		ความหนืด	ค่าความร้อน	ปริมาณน้ำ	ปริมาณเถ้า	ค่าความเป็นกรด	จุดไหลเท
	สารลดแรงตึงผิวผสม	เฟสที่มีชีว						
ดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO1 /Oct	เอทานอล	✓	✗	✓	✗	✗	-6
ดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO5 /Oct	เอทานอล	✓	✗	✓	✗	✗	-6
ดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO9 /Oct	เอทานอล	✓	✗	✓	✗	✗	-3
ไบโอดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO1 /Oct	เอทานอล	✗	✗	✓	✗	✗	0
ไบโอดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO5 /Oct	เอทานอล	✗	✗	✗	✗	✗	0
ไบโอดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO9 /Oct	เอทานอล	✗	✗	✗	✗	✗	0
ดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO1/ 2-ethyl	เอทานอล	✓	✗	✓	✗	✗	-6
ดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO3/ 2-ethyl	เอทานอล	✓	✗	✓	✗	✗	-6
ดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO5/ 2-ethyl	เอทานอล	✓	✗	✓	✗	✗	-6
ดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO9/ 2-ethyl	เอทานอล	✓	✗	✓	✗	✗	-3
ไบโอดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO1/ 2-ethyl	เอทานอล	✓	✗	✗	✗	✗	0
ไบโอดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO3/ 2-ethyl	เอทานอล	✗	✗	✗	✗	✗	0
ไบโอดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO5/ 2-ethyl	เอทานอล	✗	✗	✗	✗	✗	0
ไบโอดีเซล+ น้ำมันปาล์ม	EO9/ 2-ethyl	เอทานอล	✗	✗	✗	✗	✗	0

หมายเหตุ : ✓ แสดงว่า เชื้อเพลิงชีวภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

✗ แสดงว่า เชื้อเพลิงชีวภาพไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้ทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานได้แก่ จุดชุน ความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่น เนื่องจากศึกษาคนละอุณหภูมิกับมาตรฐาน

ตารางที่ 4-4 เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีค่าความหนืดผ่านเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล (1.9-6.0 mm²/s) และปริมาณน้ำตามมาตรฐานดีเซลและไบโอดีเซล (0.5%) ส่วนเชื้อเพลิงที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ความหนืด ค่าความร้อน ปริมาณน้ำ

ปริมาณแล้ว และค่าความเป็นกรดมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน จุดไหลเทตามกรมธุรกิจพลังงานของน้ำมันดีเซลมีค่าไม่สูงกว่า 16 องศาเซลเซียส จะเห็นว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีอุณหภูมิต่ำสุดที่สุดที่น้ำมันยังคงไหลตัวได้มีอุณหภูมิต่ำกว่ามาตรฐานดีเซล จากนั้นเชื้อเพลิงที่นำไปศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลจะเลือกจากค่าความหนืดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เชื้อเพลิงที่เลือกไปศึกษาจะใช้สารลดแรงตึงผิวที่มี EO1 และ EO9 ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4 - 5 เปรียบเทียบก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพกับน้ำมันดีเซล

ตัวอย่าง			CO (ppm)	CO ₂ (%)	NO _x (ppm)
น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิวผสม	เพลที่มีขี้			
ดีเซล	-	-	485	3.53	637
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO1 / Oct	เอทานอล	300	1.16	217
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO9 / Oct	เอทานอล	275	1.52	279
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO1 / Oct	เอทานอล	521	3.41	3.45
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO9 / Oct	เอทานอล	492	3.45	536
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO1/ 2-ethyl	เอทานอล	316	2.24	383
ดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO9/ 2-ethyl	เอทานอล	415	2.30	377
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO1/ 2-ethyl	เอทานอล	767	2.87	352
ไบโอดีเซล+น้ำมันปาล์ม	EO9/ 2-ethyl	เอทานอล	647	3.42	551

เชื้อเพลิงชีวภาพมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 100% ในขณะที่เชื้อเพลิงที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงกว่าดีเซล 100%

เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้มีศักยภาพเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซล สามารถเอาน้ำมันไปในกรณีที่อยู่ในถังกักเก็บหรือในกรณีที่ขาดแคลนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล โดยจะใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ราคาถูก เนื่องจากวิธีนี้มีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ไม่ต้องใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือขนาดใหญ่ และไม่ต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ก่อนนำมาใช้งาน แต่อาจจะต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติบางประการก่อน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชันซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ สารลดแรงตึงผิวผสม ส่วนที่ไม่มีหัวหรือเฟสน้ำมัน และส่วนที่มีหัวหรือเอทานอล โดยจะทำการศึกษาผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มอีทอกซิลเลทออกไซด์ผลของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบสายโซ่ตรง (octanol) และแบบกิ่งก้าน (2-ethyl-1-hexanol) และชนิดของเอทานอล (เอทานอล หรือไอโอเอทานอล) ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 และมาตรฐานไบโอดีเซล สารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีทอกซิลเลทแพตตีแอลกอฮอล์ (ethoxylate fatty alcohol) ที่มีเอทิลีนออกไซด์ (EO n, n = 1, 2, 3, 5, 7, 9 และ 12) และแพลนทาแคร์ 1200 เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติ จากนั้นนำไปศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 และมาตรฐานไบโอดีเซล

เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลหรือไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม (s/c ratio) เป็น 1:8 โดยมีผลสารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีทอกซิลเลทแพตตีแอลกอฮอล์ที่มีค่าอีโอ (EO n, n = 1, 2, 3, 5, 7, 9 และ 12) และใช้เอทานอลหรือไอโอเอทานอลที่ความบริสุทธิ์ 95% เป็นเฟสที่มีหัว โดยจะใช้ปริมาตรของน้ำมัน สารลดแรงตึงผิว และเอทานอล ในอัตราส่วน 75% : 5% : 20 % พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous solution เนื่องจากแพลนทาแคร์ 1200 มีความบริสุทธิ์ต่ำ (50-53%) ทำให้มีปริมาณน้ำปนเปื้อนอยู่มาก และความหนืดสูง (1,000-3,000 mPa)

การศึกษาความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพใช้วิธีตามมาตรฐาน ASTM 446 อุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษาคือ 15, 25, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์มมีความหนืดต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันพืชโดยผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งจะมีกรดไขมันเป็นส่วนประกอบ เชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันจะมีค่าความหนืดสูงและความหนาแน่นของดีเซล 100% ต่ำกว่าไบโอดีเซล 100% ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวจะเข้ากันได้ดีกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวจะเข้ากันได้กับเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม เมื่อเปรียบระหว่างสารลดแรงตึงผิวร่วมจะเห็นว่า เชื้อเพลิงที่ใช้ออกทานอลซึ่งมีโครงสร้างแบบโซ่ตรงมีความหนืดสูงกว่าสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลที่เป็นโซ่กิ่ง เนื่องจากออกทานอลมีโครงสร้างแบบสายโซ่ตรงยาวทำให้ในระบบความมีขั้วลดลงและเชื้อเพลิงไม่

เสถียรจึงไม่สามารถรวมตัวกับน้ำได้ ดังนั้นขนาดอนุภาคจึงมีขนาดใหญ่ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เอทานอลใช้เพื่อลดความหนืดของน้ำมันโดยจะเห็นว่าไบโอเอทานอลจะช่วยลดความหนืดได้ต่ำกว่าเอทานอล การศึกษาผลของอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิตกลงจะทำให้ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงที่ยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้นเป็นผลให้โมเลกุลของเหลวยึดเกาะกันเป็นแพ็คทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น

เชื้อเพลิงที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มอีทอกซิลเอทออกไซด์ที่มีเอทิลีนออกไซด์ (EO n, n = 1, 2, 3, 5, 7, 9 และ 12) กับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพประกอบด้วย จุดชุน จุดไหลเท จุดวาบไฟ ปริมาณน้ำ ปริมาณเถ้า ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ขนาดอนุภาค และค่าความร้อน ไม่สามารถสังเกตแนวโน้มของโมเลกุลเอทิลีนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นได้ เชื้อเพลิงที่เตรียมโดยโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบสายโซ่ตรง (octanol) และแบบกิ่งก้าน (2-ethyl-1-hexanol) พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบกิ่งก้าน (2-ethyl-1-hexanol) มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล การปล่อยก๊าซไอเสียของคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม ออกทานอล อีโอดีเซล 1 และเอทานอลจะมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ต่ำที่สุด ส่วนเชื้อเพลิงที่เตรียมจากไบโอดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล อีโอดีเซล 9 และเอทานอลมีปริมาณการปล่อยก๊าซทั้ง 3 ชนิดสูงที่สุด จะเห็นว่าเชื้อเพลิงที่ใช้ไขมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์มจะมีปริมาณการปล่อยก๊าซต่ำกว่าไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์ม

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลอง มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

- สารลดแรงตึงผิวที่ใช้กันอยู่ในขณะนี้ เป็นสารลดแรงตึงผิวที่สังเคราะห์จากสารเคมี จึงควรเลือกหันมาใช้ส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มาจากธรรมชาติ เช่น สารลดแรงตึงผิว เนื่องจากในปัจจุบันมีสารลดแรงตึงผิวที่เป็นผลผลิตจากเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย รา และยีสต์บางชนิด เรียกว่า สารลดแรงตึงผิวชีวภาพ (Biosurfactant) โดยเป็นสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม มีความเป็นพิษต่ำ และสามารถผลิตได้จากสารตั้งต้นที่ทำมาจากทรัพยากรที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

- ในประเทศไทยน้ำมันปาล์มมีปริมาณการผลิตสูงที่สุดเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ แต่เนื่องจากน้ำมันปาล์มมีความหนืดสูง (88.6 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที) ซึ่งต้องใช้เอทานอลจำนวนมากในการลดความหนืด ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและพัฒนาพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ น้ำมันสบู่ดำเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากน้ำมันสบู่ดำจะผลิตจากพืชที่ไม่ใช่อาหารจึงไม่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารและมีความหนืดต่ำ (36.9 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที) ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ซึ่งจะใช้ปริมาณเอทานอลน้อยกว่าในการลดความหนืด

- ปัจจุบันได้มีการนำน้ำมันพืชใช้แล้วกลับมาประกอบอาหารซ้ำซึ่งมีความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ เนื่องจากในน้ำมันพืชใช้แล้วที่นำกลับมาใช้ซ้ำมีสารพิษก่อมะเร็ง (carcinogen) อยู่ 2 กลุ่ม คือ อนุมูลอิสระ (free radicals) และไดออกซิน ดังนั้นจึงควรนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาแปรรูปเป็นพลังงานเชื้อเพลิงแทนการนำกลับไปบริโภค โดยการนำน้ำมันพืชใช้แล้วนำมาพักทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้สารแขวนลอยในน้ำมันพืชใช้แล้วตกตะกอน จากนั้นนำน้ำมันส่วนบนมาทำการกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอาตะกอนออก ให้ความร้อนโดยการต้มน้ำมันที่ผ่านการกรองด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เพื่อให้น้ำแยกตัวออกจากน้ำมัน เป็นเวลา 10 นาที นำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการบำบัด พักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง การนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาศึกษาจะลดการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาใช้ซ้ำซึ่งเป็นการลดของเสีย ลดมลพิษ และยังช่วยลดการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมได้

5.3 ความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจะเตรียมโดยใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีทอกซิลเอทเพตตีแอลกอฮอล์ซึ่งสารลดแรงตึงผิวจะช่วยให้สารรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น จากนั้นผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างต่างกันโดยสารลดแรงตึงผิวร่วมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิว และใช้เอทานอลหรือไบโอเอทานอลช่วยลดความหนืดของน้ำมันปาล์ม จะเห็นว่าในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ (biofuel) ด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน (microemulsion) จะก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณน้อยมากเนื่องจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไม่ต้องใช้น้ำในกระบวนการผลิต ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นวิธีที่ง่าย จึงไม่มีการใช้อุปกรณ์และเครื่องจักรที่ยุ่งยากดังนั้นวิธีนี้จึงมีการใช้พลังงานน้อยในการผลิต วิธีไมโครอิมัลชันยังช่วยลดการเกิดของเสียและไม่ก่อให้เกิดผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตอีกด้วย สำหรับข้อเสียของวิธีไมโครอิมัลชันจะทำค่าซีเทนและค่าความร้อนต่ำ

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

- Acosta, E.A., Harwell, J.H., Scamehorn, J.F. and Sabatini, D.A. Coalescence and solubilization kinetics in linker-modified micromulsions and related systems. *Langmuir* 19: 831-884, 2003.
- Ali, Y. and Hanna M.A. Alternative diesel fuels from vegetable oils. Bioresource Technology 50: 153-163, 1994.
- ASTM International. American Standard Testing Method. Flash point [Online]. Available from:
<http://www.astm.org> [2013, March 15].
- ASTM International. American Standard Testing Method. Specific gravity [Online]. Available
from: <http://www.astm.org> [2013, March 15].
- ASTM International. American Standard Testing Method. Pour point [Online]. Available from:
<http://www.astm.org>. [2013, March 15]
- ASTM International. American Standard Testing Method. Water content [Online]. 2008. Available
from: <http://www.astm.org> [2013, March 15].
- Attaphong C., Do, L. and Sabatini, A.D. Vegetable oil-based microemulsions using carboxylate-based extended surfactants and their potential as an alternative renewable biofuel. Fuel 94: 606-613, 2012.
- BiolinScientific, Critical micelle concentration (CMC). [Online]. 2009. Available from:
<http://www.attension.com/critical-micelle-concentration> [2013, March 13]
- Carechemicals, Plantacare 1200. [Online]. 2004. Available from:
<http://www.cognis.com> [2013, March 3].
- Crookes, R.J., Kiannejad, F. and Marouan, A. Systematic assessment of combustion characteristics of biofuels and emulsions with water for use as diesel engine fuels. Energy Concers. Mgmt 38: 1785-1795, 1997.
- Dantas, T., Silva A.C. and Neto A.A.D., New microemulsion system using diesel and vegetable oils. Fuel 80: 75-81, 2001.

- Do, L.D., Singh, V., Chen, L., Kibbey, T., Gollahalli, S.R. and Sabatini, D.A. Algae, canola, or palm oils-diesel microemulsion fuels: phase behaviors, viscosity, and combustion properties. Journal of Green Energy 8: 748-767, 2011.
- Dunn, R.O. and Bagby, M.O. Aggregation of unsaturated long-chain fatty alcohols in nonaqueous systems. J.Am. Oil Chem. Soc. 77: 123-130, 1995.
- Goodwin, J.W. Colloids and interfaces with surfactants and polymers-An Introduction. USA. John Wiley and Sons Ltd., 2004.
- Kwancharon, P., Luengnaruemitchai, A. and Jai-In, S. Solubility of a diesel-biodiesel-ethanol blend, its emission characteristics from diesel engine. Fuel 86: 1053-1061, 2007.
- Lif, A. and Holmberg, K. Water-in-diesel emulsions and related systems. Advances in Colloid and Interface Science 123-126: 231-239, 2006.
- Lin, Y.C. and Wang H.K. The fuel properties of three-phase emulsions as an alternative fuel for diesel engines. Fuel 82: 1367-1375, 2003a.
- Lin, C.Y. and Wang, H.K. Diesel engine performance and emission characteristics using three-phase emulsions as fuel. Fuel 83: 537-545, 2004b.
- Ma, F. and Hanna, M.A. Biodiesel production: review. Bioresource Technology 70: 1-15, 1999.
- Naksuk, A., Sabatini, D.A. and Tongcumpou, C. Microemulsion-based palm kernel oil mixed surfactant solution. Industrial Crops and products 30: 194-198, 2009.
- Noukamol Arpornpong. Alternative renewable biofuel from palm oil-diesel based reverse micelle microemulsion. Doctoral dissertation, Department of Environmental management Faculty Environmental and hazardous waste management Chulalongkorn University, 2011.
- Nyuyen, T., Do, L. and Sabatini, D.A. Biodiesel production via peanut oil extraction using diesel-based reverse-micellar microemulsions. Fuel 89: 2285-2291, 2010.
- Sabatini, D.A., Knox, R.C., Harwell, J.H. and Wu, B. Integrated design of surfactant enhanced DNAPL remediation: efficient supersolubilization and gradient systems. Contam Hydrol 45: 99-121, 2000.
- Schwad, A.W., Bagby, M.O. and Freedman, B. Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils. Fuel 66: 1372-1378, 1987.
- Solans, c. and Cemat, M.J., Surfactants for microemulsions. Colloid & Interface Science. pp. 464-471. Barcelona., 1997

Wang, F., Fang, B., Zhang, Z., Zhang, S. and Chen Y. The effect of alkanol chain on the interfacial composition and thermodynamic properties of diesel oil microemulsion. Fuel 87: 2517-2533, 2008.

West, C.C. and Harwell J.H. Surfactants and subsurface remediation. Environ Sci Technol 26: 2324-2330, 1992.

Qi, D.H., Chen, H., Matthews, R.D. and Bian, Y.Zh. Combustion and emission characteristics of ethanol-biodiesel-water micro-emulsions used in a direct injection compression ignition engine. Fuel 89: 958-964, 2010.

ภาษาไทย

กาญจนา แสงลิ้มสุวรรณ. เชื้อเพลิงชีวภาพพลังงานทางเลือก. วารสารมหาวิทยาลัยกรุงเทพ (ตุลาคม-ธันวาคม): 3-7, 2554

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการกำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมเอทานอล. กรุงเทพมหานคร. กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551. พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล.

คณะกรรมการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร. พลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ แพลน พรินต์ติ้ง จำกัด, 2545.

จิสสา กรงกรด. สารลดแรงตึงผิว. [ออนไลน์]. 2548. แหล่งที่มา:

http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_7_2548_surfactant.pdf

จุฑาธิป พลอยศรีมงคล. การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้เทคนิคไมโครอิมัลชัน,

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. น้ำมันปาล์ม. [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา:

<http://www.foodnetworksolution.com> [2556, มีนาคม 1]

นคร ทิพย์วงศ์. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงสภาพชีวมวล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร:

สำนักพิมพ์ส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2553.

บริษัท ปตท. จำกัด(มหาชน). สารานุกรมเปิดโลกปิโตรเลียมและพลังงานทดแทน. พิมพ์ครั้งที่ 1.

กรุงเทพมหานคร: บริษัท มีเดีย เอกซ์เพอร์ทีส อินเตอร์เนชันแนล (ประเทศไทย) จำกัด, 2553.

พิสมัย เจนวนิชชัยกุล. ไบโอดีเซลพลังงานทางเลือก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 16.

(กันยายน - ธันวาคม).


เพทาย ต้นธวัชฉัตร, เอกลักษณ์ สมรูป และธิดารัฐ พงศ์ประยูร. การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้วิธีไมโครอิมัลชัน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 18 (กันยายน-ธันวาคม 2551): 62-69

- วรางคณา ประภาติกุล. การผลิตไบโอดีโซฮอล์จากน้ำมันสุปุดำโดยใช้เทคนิคไมโครอิมัลชัน,
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
คณะการจัดการของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551
- วิชชากร จารุศิริ. การแปรรูปน้ำมันพืช น้ำมันเครื่อง และพลาสติกใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบน
เครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง. กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช, สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2549
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. การผลิตและการตรวจสอบมาตรฐานไบโอดี
เซลเบื้องต้น[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.tistr.or.th [2556, มีนาคม 5]
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน). สถานการณ์ในปัจจุบันและอนาคตของปาล์ม
น้ำมัน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.arda.or.th> [2557, มีนาคม 1]



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก
รายการคำนวณและวิธีการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวอย่างที่ ก-1 การคำนวณหาสามเหลี่ยมไดอะแกรม

Octanol 0.1 Molar (mole/l) , Ethanol 1 ml , Palm&Oil 5 ml

$$\begin{aligned} \text{Octanol} &= \text{Molar} * \text{MW} * \text{volume} / (\% \text{active} * \text{density}) \\ &= 0.1 * 74.12 * 0.006 / (0.99 * 0.812) \\ &= 0.0729 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Plantacare 1200} &= (\text{Molar}/8) * \text{MW} * \text{volume} / (\% \text{active} * \text{density}) \\ &= (0.2/8) * 420 * 0.006 / (0.51 * 1.08) \\ &= 0.0347 \text{ ml ; (Plantacare 1200: Octanol 1:8 by Molar)} \end{aligned}$$

$$\text{Plantacare 1200+ Octanol} = 0.0347 + 0.0729 = 0.1076 \text{ ml}$$

$$\text{Total} = 6 + 0.1076 = 6.1076 \text{ ml}$$

$$\text{Ethanol (\%)} = 1 * 100 / 6.1076 = 16.37 \%$$

$$\text{Palm/Diesel (\%)} = 5 * 100 / 6.1076 = 81.87 \%$$

$$\text{Plantacare 1200+ Octanol (\%)} = 0.1076 * 100 / 6.1076 = 1.76 \%$$

$$\text{Total (\%)} = 16.37 + 81.87 + 1.76 = 100 \%$$

ตารางที่ ก-1 การคำนวณหาสามเหลี่ยมไดอะแกรม

[Oct] (mol/l)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)
0.2	0.1895	0.1421	0.3316	6.3316	15.7939	78.9696	15.79	78.97	5.24	100
0.4	0.3789	0.2842	0.6631	6.6631	15.0080	75.0401	15.01	75.04	9.95	100
0.6	0.5684	0.4263	0.9947	6.9947	14.2966	71.4832	14.30	71.48	14.22	100
0.8	0.7578	0.5684	1.3262	7.3262	13.6496	68.2482	13.65	68.25	18.10	100
1.0	0.9473	0.7105	1.6578	7.6578	13.0587	65.2933	13.06	65.29	21.65	100
1.2	1.1367	0.8526	1.9893	7.9893	12.5167	62.5837	12.52	62.58	24.90	100
1.4	1.3262	0.9947	2.3209	8.3209	12.0180	60.0900	12.02	60.09	27.89	100
1.6	1.5157	1.1367	2.6524	8.6524	11.5575	57.7874	11.56	57.79	30.66	100

วิธีการทดลอง ก-1 จุดขุ่น (cloud point)

วิธีการ

1. นำเชื้อเพลิงในหลอดทดลองมาทำให้เย็นลง โดยการแช่ในตู้เย็น
2. อุณหภูมิภายในตู้เย็นมีอุณหภูมิ 6°C
3. นำหลอดทดลองออกมาสังเกต อ่านค่าอุณหภูมิที่ตัวอย่างเกิดจุดขุ่น (cloud point)

วิธีการทดลอง ก-2 จุดไหลเท (pour point)

วิธีการ

1. นำเชื้อเพลิงในหลอดทดลองมาทำให้เย็นลง
2. ลดอุณหภูมิภายในหลอดทดลองลดลงทุกๆ 3°C
3. นำหลอดทดลองออกมาสังเกต อ่านค่าอุณหภูมิที่ตัวอย่างเกิดจุดไหลเท (pour point)

วิธีการทดลอง ก-3 ปริมาณน้ำ (water content)

วิธีการ

1. นำถ้วยเปล่าอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เอาออกใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างใส่ลงถ้วยที่ทราบน้ำหนักแล้วประมาณ 2 กรัม จากนั้นนำตัวอย่างที่มีส่วนผสมของดีเซลไปอบที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส และตัวอย่างที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลอุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. นำถ้วยออกมาใส่โถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\% \text{ ้ถ้า} = \frac{(W1 - W2)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

เมื่อ $W1 =$ น้ำหนักถ้วย

$W2 =$ น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

วิธีการทดลอง ก-4 ปริมาณเถ้า (ash content)

วิธีการ

1. นำถ้วยเปล่าอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง เอาออกใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างใส่ลงถ้วยที่ทราบน้ำหนักแล้วประมาณ 2 กรัม นำไปทำการเผาบนเตาไฟฟ้าจนหมดควัน
3. นำตัวอย่างที่เผาไล่ควัน แล้วไปเผาต่อในเตาเผา (furnace) อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วปิดสวิตซ์เตาเผา จนอุณหภูมิภายในเตาลดลงประมาณ 100 องศาเซลเซียส
4. นำถ้วยออกมาใส่โถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{(W1 - W2)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

เมื่อ $W1 =$ น้ำหนักถ้วย

$W2 =$ น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

วิธีการทดลอง ก-5 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

สารเคมี

- สารละลายผสมระหว่างไตรเอทิลอีเทอร์ และเอทิลแอลกอฮอล์ (1:1)
- สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5.610 กรัม ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง ใส่ในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น ประมาณ 60 มิลลิลิตร คนจนสารละลายใสขุ่นปรับปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ครบด้วยน้ำกลั่น
- สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ความเข้มข้นร้อยละ 1

วิธีการ

1. ผสมไดเอทิลอีเทอร์ 25 มิลลิลิตร ร่วมกับเอทิลแอลกอฮอล์ 25 มิลลิลิตร ให้เป็นตัวทำละลายผสม
2. เติมสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 0.5 มิลลิลิตร
3. ค่อยๆไตเตรทตัวทำละลายผสมให้เป็นกลางด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์
4. ชั่งน้ำมันตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม
5. ละลายน้ำมันตัวอย่างในตัวทำละลายผสมที่เป็นกลาง
6. ไตเตรทด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์
7. เขย่าพร้อมกับไตเตรทจนได้สารละลายสีชมพูมีความคงตัว

การคำนวณ

$$\text{ค่าความเป็นกรด} = \frac{V \times 5.61}{W}$$

เมื่อ V = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

W = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

วิธีการทดลอง ก-6 ความหนาแน่น (density)

ความหนาแน่นของสารใดๆ คือ มวล (น้ำหนัก) ของสารนั้นต่อหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

การคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่นของสารใดๆ ที่ 25 องศาเซลเซียส} = \frac{\text{น้ำหนักของสารนั้น (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของสารนั้น (มิลลิลิตร)}}$$

วิธีการทดลอง ก-7 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะ คือตัวเลขแสดงค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้เทียบกับความถ่วงจำเพาะของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน

การคำนวณ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของสารใดๆ} = \frac{\text{น้ำหนักของสารนั้นที่ } 25^{\circ}\text{C}}{\text{น้ำหนักของน้ำบริสุทธิ์ที่ } 25^{\circ}\text{C}}$$



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



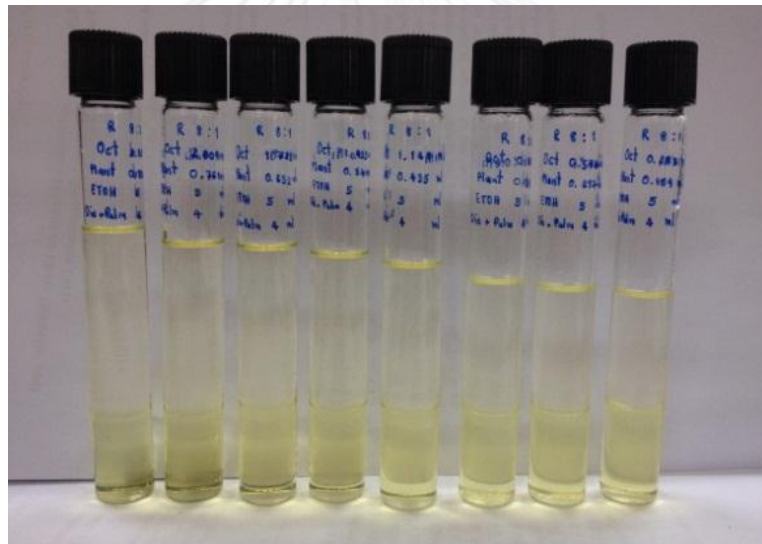
ภาคผนวก ข

การศึกษาผลของเฟสไมโครอิมัลชัน

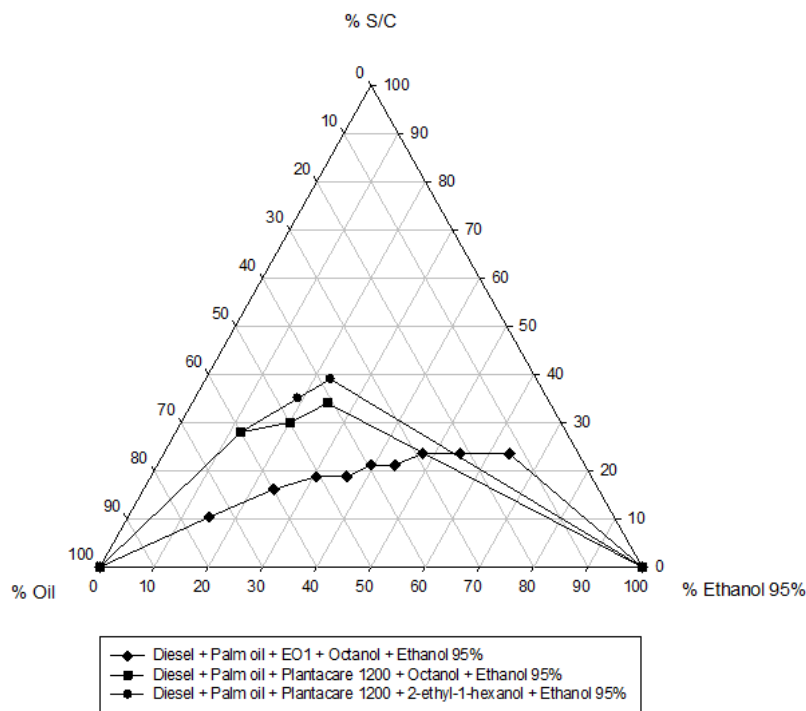
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การทดลอง ข-1 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยแผนภาพสามเหลี่ยม (ternary phase diagram)

แผนภาพสามเหลี่ยมเป็นการอธิบายวัฏภาคของเฟสและการรวมเป็นเนื้อเดียวของส่วนประกอบ 3 ชนิด คือ น้ำมัน สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล พบว่า เชื้อเพลิงที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า 40 % ทำให้เชื้อเพลิงที่มีแพลนทาแคร์เป็นสารลดแรงตึงผิวไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ดังภาพที่ ข-2 เมื่อใช้แพลนทาแคร์เป็นสารลดแรงตึงผิวจะเกิดรวมตัวเป็นเนื้อเดียวได้ยากกว่าสารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีทอกซิเลทแพตตี้แอลกอฮอล์ (ethoxylate fatty alcohol) ที่มีโมเลกุลเอทิลีนออกไซด์ซึ่งมีปริมาณการใช้ % S/C และ% เอทานอลที่มากขึ้น เนื่องจากแพลนทาแคร์เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ (50-53%) ทำให้มีปริมาณน้ำเจือปนมากจึงรวมตัวเข้ากับน้ำมันได้ยาก และมีความหนืดสูง ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากแพลนทาแคร์ 1200 ต้องการสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล 95% ในปริมาณสูง



ภาพที่ ข-1 เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียว



ภาพที่ ข-2 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม แพลนทาแคร์ 1200 สารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล

ภาพที่ ข-1 จากแผนภาพสามเหลี่ยม พบว่า เมื่อใช้แพลนทาแคร์ 1200 เป็นสารลดแรงตึงผิวทำให้เกิดเชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันหรือ single phase ได้ยากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีทอกซิลเอทแอลกอฮอล์ (ethoxylate fatty alcohol) ที่มีโมเลกุลเอทิลีนออกไซด์ เนื่องจากแพลนทาแคร์เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ (50-53%) ทำให้มีปริมาณน้ำเจือปนมากจึงรวมตัวเข้ากับน้ำมันได้ยาก และมีความหนืดสูง ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากแพลนทาแคร์ 1200 ต้องการสารลดแรงตึงต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล 95% ในปริมาณสูง

ตารางที่ ข-1 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นออกทานอล 0.2-1.6 โมลต่อลิตร (สแกนหยาบ)

[Oct] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
0.2	1	5	0.1913	0.1435	0.3348	6.3348	15.79	78.93	5.29	100	x
0.4	1	5	0.3827	0.2870	0.6697	6.6697	14.99	74.97	10.04	100	x
0.6	1	5	0.5740	0.4305	1.0045	7.0045	14.28	71.38	14.34	100	x
0.8	1	5	0.7654	0.5740	1.3394	7.3394	13.63	68.13	18.25	100	x
1	1	5	0.9567	0.7175	1.6742	7.6742	13.03	65.15	21.82	100	x
1.2	1	5	1.1480	0.8610	2.0091	8.0091	12.49	62.43	25.08	100	x
1.4	1	5	1.3394	1.0045	2.3439	8.3439	11.98	59.92	28.09	100	x
1.6	1	5	1.5307	1.1480	2.6787	8.6787	11.52	57.61	30.87	100	x
0.2	2	5	0.2232	0.1674	0.3907	7.3907	27.06	67.65	5.29	100	x
0.4	2	5	0.4465	0.3348	0.7813	7.7813	25.70	64.26	10.04	100	x
0.6	2	5	0.6697	0.5023	1.1720	8.1720	24.47	61.18	14.34	100	x
0.8	2	5	0.8929	0.6697	1.5626	8.5626	23.36	58.39	18.25	100	x
1	2	5	1.1161	0.8371	1.9533	8.9533	22.34	55.85	21.82	100	x
1.2	2	5	1.3394	1.0045	2.3439	9.3439	21.40	53.51	25.08	100	x
1.4	2	5	1.5626	1.1720	2.7346	9.7346	20.55	51.36	28.09	100	x
1.6	2	5	1.7858	1.3394	3.1252	10.1252	19.75	49.38	30.87	100	x
0.2	3	5	0.2551	0.1913	0.4465	8.4465	35.52	59.20	5.29	100	x
0.4	3	5	0.5102	0.3827	0.8929	8.8929	33.73	56.22	10.04	100	x
0.6	3	5	0.7654	0.5740	1.3394	9.3394	32.12	53.54	14.34	100	x
0.8	3	5	1.0205	0.7654	1.7858	9.7858	30.66	51.09	18.25	100	x
1	3	5	1.2756	0.9567	2.2323	10.2323	29.32	48.86	21.82	100	x
1.2	3	5	1.5307	1.1480	2.6787	10.6787	28.09	46.82	25.08	100	x
1.4	3	5	1.7858	1.3394	3.1252	11.1252	26.97	44.94	28.09	100	x
1.6	3	5	2.0409	1.5307	3.5717	11.5717	25.93	43.21	30.87	100	x
0.2	4	5	0.2870	0.2153	0.5023	9.5023	42.10	52.62	5.29	100	x
0.4	4	5	0.5740	0.4305	1.0045	10.0045	39.98	49.98	10.04	100	x
0.6	4	5	0.8610	0.6458	1.5068	10.5068	38.07	47.59	14.34	100	x
0.8	4	5	1.1480	0.8610	2.0091	11.0091	36.33	45.42	18.25	100	x
1	4	5	1.4350	1.0763	2.5113	11.5113	34.75	43.44	21.82	100	x
1.2	4	5	1.7220	1.2915	3.0136	12.0136	33.30	41.62	25.08	100	x
1.4	4	5	2.0091	1.5068	3.5159	12.5159	31.96	39.95	28.09	100	x
1.6	4	5	2.2961	1.7220	4.0181	13.0181	30.73	38.41	30.87	100	x
0.2	5	5	0.3189	0.2392	0.5581	10.5581	47.36	47.36	5.29	100	x
0.4	5	5	0.6378	0.4783	1.1161	11.1161	44.98	44.98	10.04	100	x
0.6	5	5	0.9567	0.7175	1.6742	11.6742	42.83	42.83	14.34	100	x
0.8	5	5	1.2756	0.9567	2.2323	12.2323	40.88	40.88	18.25	100	x
1	5	5	1.5945	1.1959	2.7904	12.7904	39.09	39.09	21.82	100	x
1.2	5	5	1.9134	1.4350	3.3484	13.3484	37.46	37.46	25.08	100	x
1.4	5	5	2.2323	1.6742	3.9065	13.9065	35.95	35.95	28.09	100	x

ตารางที่ ข-1 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นออกทานอล
0.2-1.6 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ) (ต่อ)

[Oct] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
1.6	5	5	2.5512	1.9134	4.4646	14.4646	34.57	34.57	30.87	100	×
0.2	5	4	0.2870	0.2153	0.5023	9.5023	52.62	42.10	5.29	100	×
0.4	5	4	0.5740	0.4305	1.0045	10.0045	49.98	39.98	10.04	100	×
0.6	5	4	0.8610	0.6458	1.5068	10.5068	47.59	38.07	14.34	100	×
0.8	5	4	1.1480	0.8610	2.0091	11.0091	45.42	36.33	18.25	100	×
1	5	4	1.4350	1.0763	2.5113	11.5113	43.44	34.75	21.82	100	×
1.2	5	4	1.7220	1.2915	3.0136	12.0136	41.62	33.30	25.08	100	×
1.4	5	4	2.0091	1.5068	3.5159	12.5159	39.95	31.96	28.09	100	×
1.6	5	4	2.2961	1.7220	4.0181	13.0181	38.41	30.73	30.87	100	×
0.2	5	3	0.2551	0.1913	0.4465	8.4465	59.20	35.52	5.29	100	×
0.4	5	3	0.5102	0.3827	0.8929	8.8929	56.22	33.73	10.04	100	×
0.6	5	3	0.7654	0.5740	1.3394	9.3394	53.54	32.12	14.34	100	×
0.8	5	3	1.0205	0.7654	1.7858	9.7858	51.09	30.66	18.25	100	×
1	5	3	1.2756	0.9567	2.2323	10.2323	48.86	29.32	21.82	100	×
1.2	5	3	1.5307	1.1480	2.6787	10.6787	46.82	28.09	25.08	100	×
1.4	5	3	1.7858	1.3394	3.1252	11.1252	44.94	26.97	28.09	100	×
1.6	5	3	2.0409	1.5307	3.5717	11.5717	43.21	25.93	30.87	100	×
0.2	5	2	0.2232	0.1674	0.3907	7.3907	67.65	27.06	5.29	100	×
0.4	5	2	0.4465	0.3348	0.7813	7.7813	64.26	25.70	10.04	100	×
0.6	5	2	0.6697	0.5023	1.1720	8.1720	61.18	24.47	14.34	100	×
0.8	5	2	0.8929	0.6697	1.5626	8.5626	58.39	23.36	18.25	100	×
1	5	2	1.1161	0.8371	1.9533	8.9533	55.85	22.34	21.82	100	×
1.2	5	2	1.3394	1.0045	2.3439	9.3439	53.51	21.40	25.08	100	×
1.4	5	2	1.5626	1.1720	2.7346	9.7346	51.36	20.55	28.09	100	×
1.6	5	2	1.7858	1.3394	3.1252	10.1252	49.38	19.75	30.87	100	×
0.2	5	1	0.1913	0.1435	0.3348	6.3348	78.93	15.79	5.29	100	×
0.4	5	1	0.3827	0.2870	0.6697	6.6697	74.97	14.99	10.04	100	×
0.6	5	1	0.5740	0.4305	1.0045	7.0045	71.38	14.28	14.34	100	×
0.8	5	1	0.7654	0.5740	1.3394	7.3394	68.13	13.63	18.25	100	×
1	5	1	0.9567	0.7175	1.6742	7.6742	65.15	13.03	21.82	100	×
1.2	5	1	1.1480	0.8610	2.0091	8.0091	62.43	12.49	25.08	100	×
1.4	5	1	1.3394	1.0045	2.3439	8.3439	59.92	11.98	28.09	100	×
1.6	5	1	1.5307	1.1480	2.6787	8.6787	57.61	11.52	30.87	100	×

ตารางที่ ข-2 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นออกทานอล
1.8-3.2 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ)

[Oct] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
1.8	1	5	1.7220	0.6523	2.3743	8.3743	11.94	59.71	28.35	100	×
2	1	5	1.9134	0.7248	2.6382	8.6382	11.58	57.88	30.54	100	×
2.2	1	5	2.1047	0.7972	2.9020	8.9020	11.23	56.17	32.60	100	✓
2.4	1	5	2.2961	0.8697	3.1658	9.1658	10.91	54.55	34.54	100	✓
2.6	1	5	2.4874	0.9422	3.4296	9.4296	10.60	53.02	36.37	100	✓
2.8	1	5	2.6787	1.0147	3.6934	9.6934	10.32	51.58	38.10	100	✓
3	1	5	2.8701	1.0872	3.9572	9.9572	10.04	50.21	39.74	100	✓
3.2	1	5	3.0614	1.1596	4.2211	10.2211	9.78	48.92	41.30	100	✓
1.8	2	5	2.0091	0.7610	2.7701	9.7701	20.47	51.18	28.35	100	×
2	2	5	2.2323	0.8456	3.0778	10.0778	19.85	49.61	30.54	100	✓
2.2	2	5	2.4555	0.9301	3.3856	10.3856	19.26	48.14	32.60	100	✓
2.4	2	5	2.6787	1.0147	3.6934	10.6934	18.70	46.76	34.54	100	✓
2.6	2	5	2.9020	1.0992	4.0012	11.0012	18.18	45.45	36.37	100	✓
2.8	2	5	3.1252	1.1838	4.3090	11.3090	17.69	44.21	38.10	100	✓
3	2	5	3.3484	1.2683	4.6168	11.6168	17.22	43.04	39.74	100	✓
3.2	2	5	3.5717	1.3529	4.9246	11.9246	16.77	41.93	41.30	100	✓
1.8	3	5	2.2961	0.8697	3.1658	11.1658	26.87	44.78	28.35	100	×
2	3	5	2.5512	0.9664	3.5175	11.5175	26.05	43.41	30.54	100	×
2.2	3	5	2.8063	1.0630	3.8693	11.8693	25.28	42.13	32.60	100	×
2.4	3	5	3.0614	1.1596	4.2211	12.2211	24.55	40.91	34.54	100	✓
2.6	3	5	3.3165	1.2563	4.5728	12.5728	23.86	39.77	36.37	100	✓
2.8	3	5	3.5717	1.3529	4.9246	12.9246	23.21	38.69	38.10	100	✓
3	3	5	3.8268	1.4495	5.2763	13.2763	22.60	37.66	39.74	100	✓
3.2	3	5	4.0819	1.5462	5.6281	13.6281	22.01	36.69	41.30	100	✓
1.8	4	5	2.5577	1.9183	4.4759	13.4759	29.68	37.10	33.21	100	×
2	4	5	2.8419	2.1314	4.9733	13.9733	28.63	35.78	35.59	100	×
2.2	4	5	3.1261	2.3445	5.4706	14.4706	27.64	34.55	37.80	100	×
2.4	4	5	3.4102	2.5577	5.9679	14.9679	26.72	33.40	39.87	100	×
2.6	4	5	3.6944	2.7708	6.4652	15.4652	25.86	32.33	41.80	100	×
2.8	4	5	3.9786	2.9840	6.9626	15.9626	25.06	31.32	43.62	100	×
3	4	5	4.2628	3.1971	7.4599	16.4599	24.30	30.38	45.32	100	×
3.2	4	5	4.5470	3.4102	7.9572	16.9572	23.59	29.49	46.93	100	×
1.8	5	5	2.8419	2.1314	4.9733	14.9733	33.39	33.39	33.21	100	×
2	5	5	3.1576	2.3682	5.5258	15.5258	32.20	32.20	35.59	100	×
2.2	5	5	3.4734	2.6050	6.0784	16.0784	31.10	31.10	37.80	100	×
2.4	5	5	3.7892	2.8419	6.6310	16.6310	30.06	30.06	39.87	100	×
2.6	5	5	4.1049	3.0787	7.1836	17.1836	29.10	29.10	41.80	100	×
2.8	5	5	4.4207	3.3155	7.7362	17.7362	28.19	28.19	43.62	100	×
3.0	5	5	4.7364	3.5523	8.2888	18.2888	27.34	27.34	45.32	100	5
3.2	5	5	5.0522	3.7892	8.8414	18.8414	26.54	26.54	46.93	100	5
1.8	5	4	2.5577	1.9183	4.4759	13.4759	37.10	29.68	33.21	100	5

ตารางที่ ข-2 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นออกทานอล
1.8-3.2 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ) (ต่อ)

[Oct] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
2.0	5	4	2.8419	2.1314	4.9733	13.9733	35.78	28.63	35.59	100	5
2.2	5	4	3.1261	2.3445	5.4706	14.4706	34.55	27.64	37.80	100	×
2.4	5	4	3.4102	2.5577	5.9679	14.9679	33.40	26.72	39.87	100	×
2.6	5	4	3.6944	2.7708	6.4652	15.4652	32.33	25.86	41.80	100	×
2.8	5	4	3.9786	2.9840	6.9626	15.9626	31.32	25.06	43.62	100	×
3	5	4	4.2628	3.1971	7.4599	16.4599	30.38	24.30	45.32	100	×
3.2	5	4	4.5470	3.4102	7.9572	16.9572	29.49	23.59	46.93	100	×
2.2	5	3	2.2735	1.7051	3.9786	11.9786	41.74	25.04	33.21	100	×
2.4	5	3	2.5261	1.8946	4.4207	12.4207	40.26	24.15	35.59	100	×
2.6	5	3	2.7787	2.0840	4.8627	12.8627	38.87	23.32	37.80	100	×
2.8	5	3	3.0313	2.2735	5.3048	13.3048	37.58	22.55	39.87	100	×
3	5	3	3.2839	2.4629	5.7469	13.7469	36.37	21.82	41.80	100	×
3.2	5	3	3.5365	2.6524	6.1889	14.1889	35.24	21.14	43.62	100	×
2.2	5	3	3.7892	2.8419	6.6310	14.6310	34.17	20.50	45.32	100	×
2.4	5	3	4.0418	3.0313	7.0731	15.0731	33.17	19.90	46.93	100	×
2.6	5	2	1.9893	1.4920	3.4813	10.4813	47.70	19.08	33.21	100	×
2.8	5	2	2.2103	1.6578	3.8681	10.8681	46.01	18.40	35.59	100	×
3	5	2	2.4314	1.8235	4.2549	11.2549	44.43	17.77	37.80	100	×
3.2	5	2	2.6524	1.9893	4.6417	11.6417	42.95	17.18	39.87	100	×
2.2	5	2	2.8734	2.1551	5.0285	12.0285	41.57	16.63	41.80	100	×
2.4	5	2	3.0945	2.3209	5.4153	12.4153	40.27	16.11	43.62	100	×
2.6	5	2	3.3155	2.4866	5.8021	12.8021	39.06	15.62	45.32	100	×
2.8	5	2	3.5365	2.6524	6.1889	13.1889	37.91	15.16	46.93	100	×
3	5	1	1.7051	1.2788	2.9840	8.9840	55.65	11.13	33.21	100	×
3.2	5	1	1.8946	1.4209	3.3155	9.3155	53.67	10.73	35.59	100	×
2.2	5	1	2.0840	1.5630	3.6471	9.6471	51.83	10.37	37.80	100	×
2.4	5	1	2.2735	1.7051	3.9786	9.9786	50.11	10.02	39.87	100	×
2.6	5	1	2.4629	1.8472	4.3102	10.3102	48.50	9.70	41.80	100	×
2.8	5	1	2.6524	1.9893	4.6417	10.6417	46.98	9.40	43.62	100	×
3	5	1	2.8419	2.1314	4.9733	10.9733	45.57	9.11	45.32	100	×
3.2	5	1	3.0313	2.2735	5.3048	11.3048	44.23	8.85	46.93	100	×

ตารางที่ ข-3 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นออกทานอล
3.4-4.8 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ)

[Oct] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
3.4	4	5	4.8791	1.8482	6.7273	15.7273	25.43	31.79	42.77	100	×
3.6	4	5	5.1661	1.9569	7.1230	16.1230	24.81	31.01	44.18	100	×
3.8	4	5	5.4532	2.0656	7.5187	16.5187	24.21	30.27	45.52	100	×
4	4	5	5.7402	2.1743	7.9145	16.9145	23.65	29.56	46.79	100	×
4.2	4	5	6.0272	2.2830	8.3102	17.3102	23.11	28.88	48.01	100	×
4.4	4	5	6.3142	2.3917	8.7059	17.7059	22.59	28.24	49.17	100	×
4.6	4	5	6.6012	2.5005	9.1016	18.1016	22.10	27.62	50.28	100	×
4.8	4	5	6.8882	2.6092	9.4974	18.4974	21.62	27.03	51.34	100	×
3.4	5	5	5.4213	2.0535	7.4748	17.4748	28.61	28.61	42.77	100	×
3.6	5	5	5.7402	2.1743	7.9145	17.9145	27.91	27.91	44.18	100	×
3.8	5	5	6.0591	2.2951	8.3542	18.3542	27.24	27.24	45.52	100	×
4	5	5	6.3780	2.4159	8.7939	18.7939	26.60	26.60	46.79	100	×
4.2	5	5	6.6969	2.5367	9.2335	19.2335	26.00	26.00	48.01	100	×
4.4	5	5	7.0158	2.6575	9.6732	19.6732	25.42	25.42	49.17	100	×
4.6	5	5	7.3347	2.7783	10.1129	20.1129	24.86	24.86	50.28	100	×
4.8	5	5	7.6536	2.8991	10.5526	20.5526	24.33	24.33	51.34	100	×
3.4	5	4	4.8791	1.8482	6.7273	15.7273	31.79	25.43	42.77	100	×
3.6	5	4	5.1661	1.9569	7.1230	16.1230	31.01	24.81	44.18	100	×
3.8	5	4	5.4532	2.0656	7.5187	16.5187	30.27	24.21	45.52	100	×
4	5	4	5.7402	2.1743	7.9145	16.9145	29.56	23.65	46.79	100	×
4.2	5	4	6.0272	2.2830	8.3102	17.3102	28.88	23.11	48.01	100	×
4.4	5	4	6.3142	2.3917	8.7059	17.7059	28.24	22.59	49.17	100	×
4.6	5	4	6.6012	2.5005	9.1016	18.1016	27.62	22.10	50.28	100	×
4.8	5	4	6.8882	2.6092	9.4974	18.4974	27.03	21.62	51.34	100	×
3.4	5	3	4.3370	1.6428	5.9798	13.9798	35.77	21.46	42.77	100	×
3.6	5	3	4.5921	1.7394	6.3316	14.3316	34.89	20.93	44.18	100	×
3.8	5	3	4.8473	1.8361	6.6833	14.6833	34.05	20.43	45.52	100	×
4	5	3	5.1024	1.9327	7.0351	15.0351	33.26	19.95	46.79	100	×
4.2	5	3	5.3575	2.0294	7.3868	15.3868	32.50	19.50	48.01	100	×
4.4	5	3	5.6126	2.1260	7.7386	15.7386	31.77	19.06	49.17	100	×
4.6	5	3	5.8677	2.2226	8.0903	16.0903	31.07	18.64	50.28	100	×
4.8	5	3	6.1228	2.3193	8.4421	16.4421	30.41	18.25	51.34	100	×
3.4	5	2	3.7949	1.4375	5.2323	12.2323	40.88	16.35	42.77	100	×
3.6	5	2	4.0181	1.5220	5.5401	12.5401	39.87	15.95	44.18	100	×
3.8	5	2	4.2413	1.6066	5.8479	12.8479	38.92	15.57	45.52	100	×
4	5	2	4.4646	1.6911	6.1557	13.1557	38.01	15.20	46.79	100	×
4.2	5	2	4.6878	1.7757	6.4635	13.4635	37.14	14.85	48.01	100	×
4.6	5	2	5.1343	1.9448	7.0791	14.0791	35.51	14.21	50.28	100	×
4.8	5	2	5.3575	2.0294	7.3868	14.3868	34.75	13.90	51.34	100	×

ตารางที่ ข-3 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นออกทานอล
3.4-4.8 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ) (ต่อ)

[Oct] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
3.4	5	1	3.2528	1.2321	4.4849	10.4849	47.69	9.54	42.77	100	×
3.6	5	1	3.4441	1.3046	4.7487	10.7487	46.52	9.30	44.18	100	×
3.8	5	1	3.6354	1.3771	5.0125	11.0125	45.40	9.08	45.52	100	×
4	5	1	3.8268	1.4495	5.2763	11.2763	44.34	8.87	46.79	100	×
4.2	5	1	4.0181	1.5220	5.5401	11.5401	43.33	8.67	48.01	100	×
4.4	5	1	4.2095	1.5945	5.8039	11.8039	42.36	8.47	49.17	100	×
4.6	5	1	4.4008	1.6670	6.0678	12.0678	41.43	8.29	50.28	100	×
4.8	5	1	4.5921	1.7394	6.3316	12.3316	40.55	8.11	51.34	100	×



ตารางที่ ข-4 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นออกทานอล
5.0-6.4 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ)

[Oct] (mol/L)	ETOH (ml)	oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
5.0	4	5	7.1752	2.7178	9.8930	18.8930	21.1717	26.4647	52.3635	100	x
5.2	4	5	7.4622	2.8265	10.2888	19.2888	20.7374	25.9217	53.3408	100	x
5.4	4	5	7.7492	2.9353	10.6845	19.6845	20.3205	25.4006	54.2788	100	x
5.6	4	5	8.0362	3.0440	11.0802	20.0802	19.9200	24.9000	55.1798	100	x
5.8	4	5	8.3232	3.1527	11.4759	20.4759	19.5350	24.4188	56.0460	100	x
6.0	4	5	8.6102	3.2614	11.8717	20.8717	19.1647	23.9558	56.8794	100	x
6.2	4	5	8.8972	3.3701	12.2674	21.2674	18.8081	23.5101	57.6817	100	x
6.4	4	5	9.1842	3.4788	12.6631	21.6631	18.4645	23.0806	58.4548	100	x
5.0	5	5	7.9724	3.0198	10.9923	20.9923	23.8182	23.8182	52.3635	100	x
5.2	5	5	8.2913	3.1406	11.4320	21.4320	23.3295	23.3295	53.3408	100	x
5.4	5	5	8.6102	3.2614	11.8717	21.8717	22.8605	22.8605	54.2788	100	x
5.6	5	5	8.9291	3.3822	12.3113	22.3113	22.4100	22.4100	55.1798	100	x
5.8	5	5	9.2480	3.5030	12.7510	22.7510	21.9769	21.9769	56.0460	100	x
6.0	5	5	9.5669	3.6238	13.1907	23.1907	21.5602	21.5602	56.8794	100	x
6.2	5	5	9.8858	3.7446	13.6304	23.6304	21.1591	21.1591	57.6817	100	x
6.4	5	5	10.2047	3.8654	14.0701	24.0701	20.7725	20.7725	58.4548	100	x
5.0	5	4	7.1752	2.7178	9.8930	18.8930	26.4647	21.1717	52.3635	100	x
5.2	5	4	7.4622	2.8265	10.2888	19.2888	25.9217	20.7374	53.3408	100	x
5.4	5	4	7.7492	2.9353	10.6845	19.6845	25.4006	20.3205	54.2788	100	x
5.6	5	4	8.0362	3.0440	11.0802	20.0802	24.9000	19.9200	55.1798	100	x
5.8	5	4	8.3232	3.1527	11.4759	20.4759	24.4188	19.5350	56.0460	100	x
6.0	5	4	8.6102	3.2614	11.8717	20.8717	23.9558	19.1647	56.8794	100	x
6.2	5	4	8.8972	3.3701	12.2674	21.2674	23.5101	18.8081	57.6817	100	x
6.4	5	4	9.1842	3.4788	12.6631	21.6631	23.0806	18.4645	58.4548	100	x
5.0	5	3	6.3779	2.4158	8.7938	16.7938	29.7727	17.8636	52.3635	100	x
5.2	5	3	6.6330	2.5125	9.1456	17.1456	29.1619	17.4971	53.3408	100	x
5.4	5	3	6.8881	2.6091	9.4973	17.4973	28.5757	17.1454	54.2788	100	x
5.6	5	3	7.1433	2.7058	9.8491	17.8491	28.0125	16.8075	55.1798	100	x
5.8	5	3	7.3984	2.8024	10.2008	18.2008	27.4712	16.4827	56.0460	100	x
6.0	5	3	7.6535	2.8990	10.5526	18.5526	26.9503	16.1702	56.8794	100	x
6.2	5	3	7.9086	2.9957	10.9043	18.9043	26.4488	15.8693	57.6817	100	x
6.4	5	3	8.1637	3.0923	11.2561	19.2561	25.9657	15.5794	58.4548	100	x
5.0	5	2	5.5807	2.1139	7.6946	14.6946	34.0260	13.6104	52.3635	100	x
5.2	5	2	5.8039	2.1984	8.0024	15.0024	33.3279	13.3311	53.3408	100	x
5.4	5	2	6.0271	2.2830	8.3101	15.3101	32.6579	13.0631	54.2788	100	x
5.6	5	2	6.2504	2.3675	8.6179	15.6179	32.0143	12.8057	55.1798	100	x
5.8	5	2	6.4736	2.4521	8.9257	15.9257	31.3956	12.5582	56.0460	100	x
6.0	5	2	6.6968	2.5366	9.2335	16.2335	30.8004	12.3201	56.8794	100	x
6.2	5	2	6.9201	2.6212	9.5413	16.5413	30.23	12.09	57.68	100	x
6.4	5	2	7.1433	2.7058	9.8491	16.8491	29.68	11.87	58.45	100	x

ตารางที่ ข-4 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นออกทานอล
5.0-6.4 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ) (ต่อ)

[Oct] (mol/l)	ETOH (ml)	oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
5.0	4	5	7.1752	2.7178	9.8930	18.8930	21.1717	26.4647	52.3635	100	x
5.2	4	5	7.4622	2.8265	10.2888	19.2888	20.7374	25.9217	53.3408	100	x
5.4	4	5	7.7492	2.9353	10.6845	19.6845	20.3205	25.4006	54.2788	100	x
5.6	4	5	8.0362	3.0440	11.0802	20.0802	19.9200	24.9000	55.1798	100	x
5.8	4	5	8.3232	3.1527	11.4759	20.4759	19.5350	24.4188	56.0460	100	x
6.0	4	5	8.6102	3.2614	11.8717	20.8717	19.1647	23.9558	56.8794	100	x
6.2	4	5	8.8972	3.3701	12.2674	21.2674	18.8081	23.5101	57.6817	100	x
6.4	4	5	9.1842	3.4788	12.6631	21.6631	18.4645	23.0806	58.4548	100	x



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข-5 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นออกทานอล 2.12-2.19 โมลต่อลิตร (สแกนละเอียด)

[Oct] (mol/L)	ETOH (ml)	oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
2.12	1	5	2.0282	0.7683	2.7964	8.7964	11.37	56.84	31.79	100	x
2.13	1	5	2.0378	0.7719	2.8096	8.8096	11.35	56.76	31.89	100	x
2.14	1	5	2.0473	0.7755	2.8228	8.8228	11.33	56.67	31.99	100	x
2.15	1	5	2.0569	0.7791	2.8360	8.8360	11.32	56.59	32.10	100	x
2.16	1	5	2.0665	0.7827	2.8492	8.8492	11.30	56.50	32.20	100	x
2.17	1	5	2.0760	0.7864	2.8624	8.8624	11.28	56.42	32.30	100	x
2.18	1	5	2.0856	0.7900	2.8756	8.8756	11.27	56.33	32.40	100	x
2.19	1	5	2.0952	0.7936	2.8888	8.8888	11.25	56.25	32.50	100	x

ตารางที่ ข-6 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นออกทานอล 1.92-1.99 โมลต่อลิตร (สแกนละเอียด)

[Oct] (mol/L)	ETOH (ml)	oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
1.92	2	5	2.1430	0.8117	2.9547	9.9547	20.09	50.23	29.68	100	x
1.93	2	5	2.1542	0.8160	2.9701	9.9701	20.06	50.15	29.79	100	x
1.94	2	5	2.1653	0.8202	2.9855	9.9855	20.03	50.07	29.90	100	x
1.95	2	5	2.1765	0.8244	3.0009	10.0009	20.00	50.00	30.01	100	x
1.96	2	5	2.1876	0.8287	3.0163	10.0163	19.97	49.92	30.11	100	x
1.97	2	5	2.1988	0.8329	3.0317	10.0317	19.94	49.84	30.22	100	x
1.98	2	5	2.2100	0.8371	3.0471	10.0471	19.91	49.77	30.33	100	x
1.99	2	5	2.2211	0.8413	3.0625	10.0625	19.88	49.69	30.43	100	x

ตารางที่ ข-7 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นสองเอทิลหนึ่ง
เฮกซานอล 0.2-1.6 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ)

[2-ethyl] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
0.2	1	5	0.1895	0.0718	0.2612	6.2612	15.97	79.86	4.17	100	×
0.4	1	5	0.3789	0.1435	0.5224	6.5224	15.33	76.66	8.01	100	×
0.6	1	5	0.5684	0.2153	0.7837	6.7837	14.74	73.71	11.55	100	×
0.8	1	5	0.7578	0.2871	1.0449	7.0449	14.19	70.97	14.83	100	×
1	1	5	0.9473	0.3588	1.3061	7.3061	13.69	68.44	17.88	100	×
1.2	1	5	1.1367	0.4306	1.5673	7.5673	13.21	66.07	20.71	100	×
1.4	1	5	1.3262	0.5023	1.8286	7.8286	12.77	63.87	23.36	100	×
1.6	1	5	1.5157	0.5741	2.0898	8.0898	12.36	61.81	25.83	100	×
0.2	2	5	0.2210	0.0837	0.3048	7.3048	27.38	68.45	4.17	100	×
0.4	2	5	0.4421	0.1674	0.6095	7.6095	26.28	65.71	8.01	100	×
0.6	2	5	0.6631	0.2512	0.9143	7.9143	25.27	63.18	11.55	100	×
0.8	2	5	0.8841	0.3349	1.2190	8.2190	24.33	60.83	14.83	100	×
1	2	5	1.1052	0.4186	1.5238	8.5238	23.46	58.66	17.88	100	×
1.2	2	5	1.3262	0.5023	1.8286	8.8286	22.65	56.63	20.71	100	×
1.4	2	5	1.5472	0.5861	2.1333	9.1333	21.90	54.74	23.36	100	×
1.6	2	5	1.7683	0.6698	2.4381	9.4381	21.19	52.98	25.83	100	×
0.2	3	5	0.2526	0.0957	0.3483	8.3483	35.94	59.89	4.17	100	×
0.4	3	5	0.5052	0.1914	0.6966	8.6966	34.50	57.49	8.01	100	×
0.6	3	5	0.7578	0.2871	1.0449	9.0449	33.17	55.28	11.55	100	×
0.8	3	5	1.0104	0.3827	1.3932	9.3932	31.94	53.23	14.83	100	×
1	3	5	1.2631	0.4784	1.7415	9.7415	30.80	51.33	17.88	100	×
1.2	3	5	1.5157	0.5741	2.0898	10.0898	29.73	49.56	20.71	100	×
1.4	3	5	1.7683	0.6698	2.4381	10.4381	28.74	47.90	23.36	100	×
1.6	3	5	2.0209	0.7655	2.7864	10.7864	27.81	46.35	25.83	100	×
0.2	4	5	0.2842	0.1076	0.3918	9.3918	42.59	53.24	4.17	100	×
0.4	4	5	0.5684	0.2153	0.7837	9.7837	40.88	51.11	8.01	100	×
0.6	4	5	0.8526	0.3229	1.1755	10.1755	39.31	49.14	11.55	100	×
0.8	4	5	1.1367	0.4306	1.5673	10.5673	37.85	47.32	14.83	100	×
1	4	5	1.4209	0.5382	1.9592	10.9592	36.50	45.62	17.88	100	×
1.2	4	5	1.7051	0.6459	2.3510	11.3510	35.24	44.05	20.71	100	×
1.4	4	5	1.9893	0.7535	2.7428	11.7428	34.06	42.58	23.36	100	×
1.6	4	5	2.2735	0.8612	3.1347	12.1347	32.96	41.20	25.83	100	×
0.2	5	5	0.3158	0.1196	0.4354	10.4354	47.91	47.91	4.17	100	×
0.4	5	5	0.6315	0.2392	0.8707	10.8707	46.00	46.00	8.01	100	×
0.6	5	5	0.9473	0.3588	1.3061	11.3061	44.22	44.22	11.55	100	×
0.8	5	5	1.2631	0.4784	1.7415	11.7415	42.58	42.58	14.83	100	×
1	5	5	1.5788	0.5980	2.1768	12.1768	41.06	41.06	17.88	100	×
1.2	5	5	1.8946	0.7176	2.6122	12.6122	39.64	39.64	20.71	100	×
1.4	5	5	2.2103	0.8372	3.0476	13.0476	38.32	38.32	23.36	100	×
1.6	5	5	2.5261	0.9569	3.4830	13.4830	37.08	37.08	25.83	100	×

ตารางที่ ข-7 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นสองเอทิลหนึ่ง เฮกซานอล 0.2-1.6 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ) (ต่อ)

[2-ethyl] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต
0.2	5	4	0.2842	0.1076	0.3918	9.3918	53.24	42.59	4.17	100	×
0.4	5	4	0.5684	0.2153	0.7837	9.7837	51.11	40.88	8.01	100	×
0.6	5	4	0.8526	0.3229	1.1755	10.1755	49.14	39.31	11.55	100	×
0.8	5	4	1.1367	0.4306	1.5673	10.5673	47.32	37.85	14.83	100	×
1	5	4	1.4209	0.5382	1.9592	10.9592	45.62	36.50	17.88	100	×
1.2	5	4	1.7051	0.6459	2.3510	11.3510	44.05	35.24	20.71	100	×
1.4	5	4	1.9893	0.7535	2.7428	11.7428	42.58	34.06	23.36	100	×
1.6	5	4	2.2735	0.8612	3.1347	12.1347	41.20	32.96	25.83	100	×
0.2	5	3	0.2526	0.0957	0.3483	8.3483	59.89	35.94	4.17	100	×
0.4	5	3	0.5052	0.1914	0.6966	8.6966	57.49	34.50	8.01	100	×
0.6	5	3	0.7578	0.2871	1.0449	9.0449	55.28	33.17	11.55	100	×
0.8	5	3	1.0104	0.3827	1.3932	9.3932	53.23	31.94	14.83	100	×
1	5	3	1.2631	0.4784	1.7415	9.7415	51.33	30.80	17.88	100	×
1.2	5	3	1.5157	0.5741	2.0898	10.0898	49.56	29.73	20.71	100	×
1.4	5	3	1.7683	0.6698	2.4381	10.4381	47.90	28.74	23.36	100	×
1.6	5	3	2.0209	0.7655	2.7864	10.7864	46.35	27.81	25.83	100	×
0.2	5	2	0.2210	0.0837	0.3048	7.3048	68.45	27.38	4.17	100	×
0.4	5	2	0.4421	0.1674	0.6095	7.6095	65.71	26.28	8.01	100	×
0.6	5	2	0.6631	0.2512	0.9143	7.9143	63.18	25.27	11.55	100	×
0.8	5	2	0.8841	0.3349	1.2190	8.2190	60.83	24.33	14.83	100	×
1	5	2	1.1052	0.4186	1.5238	8.5238	58.66	23.46	17.88	100	×
1.2	5	2	1.3262	0.5023	1.8286	8.8286	56.63	22.65	20.71	100	×
1.4	5	2	1.5472	0.5861	2.1333	9.1333	54.74	21.90	23.36	100	×
1.6	5	2	1.7683	0.6698	2.4381	9.4381	52.98	21.19	25.83	100	×
0.2	5	1	0.1895	0.0718	0.2612	6.2612	79.86	15.97	4.17	100	×
0.4	5	1	0.3789	0.1435	0.5224	6.5224	76.66	15.33	8.01	100	×
0.6	5	1	0.5684	0.2153	0.7837	6.7837	73.71	14.74	11.55	100	×
0.8	5	1	0.7578	0.2871	1.0449	7.0449	70.97	14.19	14.83	100	×
1	5	1	0.9473	0.3588	1.3061	7.3061	68.44	13.69	17.88	100	×
1.2	5	1	1.1367	0.4306	1.5673	7.5673	66.07	13.21	20.71	100	×
1.4	5	1	1.3262	0.5023	1.8286	7.8286	63.87	12.77	23.36	100	×
1.6	5	1	1.5157	0.5741	2.0898	8.0898	61.81	12.36	25.83	100	×

ตารางที่ ข-8 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นสองเอทิลหนึ่ง
เฮกซานอล 1.8-3.2 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ)

[2-ethyl] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
1.8	1	5	1.7051	0.6459	2.3510	8.3510	11.97	59.87	28.15	100	✓
2	1	5	1.8946	0.7176	2.6122	8.6122	11.61	58.06	30.33	100	✓
2.2	1	5	2.0840	0.7894	2.8734	8.8734	11.27	56.35	32.38	100	✓
2.4	1	5	2.2735	0.8612	3.1347	9.1347	10.95	54.74	34.32	100	✓
2.6	1	5	2.4629	0.9329	3.3959	9.3959	10.64	53.21	36.14	100	✓
2.8	1	5	2.6524	1.0047	3.6571	9.6571	10.36	51.78	37.87	100	✓
3	1	5	2.8419	1.0765	3.9183	9.9183	10.08	50.41	39.51	100	✓
3.2	1	5	3.0313	1.1482	4.1795	10.1795	9.82	49.12	41.06	100	✓
1.8	2	5	1.9893	0.7535	2.7428	9.7428	20.53	51.32	28.15	100	x
2	2	5	2.2103	0.8372	3.0476	10.0476	19.91	49.76	30.33	100	x
2.2	2	5	2.4314	0.9210	3.3523	10.3523	19.32	48.30	32.38	100	x
2.4	2	5	2.6524	1.0047	3.6571	10.6571	18.77	46.92	34.32	100	✓
2.6	2	5	2.8734	1.0884	3.9619	10.9619	18.25	45.61	36.14	100	✓
2.8	2	5	3.0945	1.1721	4.2666	11.2666	17.75	44.38	37.87	100	✓
3	2	5	3.3155	1.2559	4.5714	11.5714	17.28	43.21	39.51	100	✓
3.2	2	5	3.5365	1.3396	4.8761	11.8761	16.84	42.10	41.06	100	✓
1.8	3	5	2.2735	0.8612	3.1347	11.1347	26.94	44.90	28.15	100	x
2	3	5	2.5261	0.9569	3.4830	11.4830	26.13	43.54	30.33	100	x
2.2	3	5	2.7787	1.0525	3.8313	11.8313	25.36	42.26	32.38	100	x
2.4	3	5	3.0313	1.1482	4.1795	12.1795	24.63	41.05	34.32	100	x
2.6	3	5	3.2839	1.2439	4.5278	12.5278	23.95	39.91	36.14	100	x
2.8	3	5	3.5365	1.3396	4.8761	12.8761	23.30	38.83	37.87	100	x
3	3	5	3.7892	1.4353	5.2244	13.2244	22.69	37.81	39.51	100	✓
3.2	3	5	4.0418	1.5310	5.5727	13.5727	22.10	36.84	41.06	100	✓
1.8	4	5	2.5577	0.9688	3.5265	12.5265	31.93	39.92	28.15	100	x
2	4	5	2.8419	1.0765	3.9183	12.9183	30.96	38.70	30.33	100	x
2.2	4	5	3.1261	1.1841	4.3102	13.3102	30.05	37.57	32.38	100	x
2.4	4	5	3.4102	1.2918	4.7020	13.7020	29.19	36.49	34.32	100	x
2.6	4	5	3.6944	1.3994	5.0938	14.0938	28.38	35.48	36.14	100	x
2.8	4	5	3.9786	1.5070	5.4857	14.4857	27.61	34.52	37.87	100	x
3	4	5	4.2628	1.6147	5.8775	14.8775	26.89	33.61	39.51	100	x
3.2	4	5	4.5470	1.7223	6.2693	15.2693	26.20	32.75	41.06	100	x
1.8	5	5	2.8419	1.0765	3.9183	13.9183	35.92	35.92	28.15	100	x
2	5	5	3.1576	1.1961	4.3537	14.3537	34.83	34.83	30.33	100	x
2.2	5	5	3.4734	1.3157	4.7891	14.7891	33.81	33.81	32.38	100	x
2.4	5	5	3.7892	1.4353	5.2244	15.2244	32.84	32.84	34.32	100	x
2.6	5	5	4.1049	1.5549	5.6598	15.6598	31.93	31.93	36.14	100	x
2.8	5	5	4.4207	1.6745	6.0952	16.0952	31.07	31.07	37.87	100	x
3	5	5	4.7364	1.7941	6.5305	16.5305	30.25	30.25	39.51	100	x
3.2	5	5	5.0522	1.9137	6.9659	16.9659	29.47	29.47	41.06	100	x

ตารางที่ ข-8 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นสองเอทิลหนึ่ง
เฮกซานอล 1.8-3.2 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ) (ต่อ)

[2-ethyl] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
1.8	5	4	2.5577	0.9688	3.5265	12.5265	39.92	31.93	28.15	100	x
2	5	4	2.8419	1.0765	3.9183	12.9183	38.70	30.96	30.33	100	x
2.2	5	4	3.1261	1.1841	4.3102	13.3102	37.57	30.05	32.38	100	x
2.4	5	4	3.4102	1.2918	4.7020	13.7020	36.49	29.19	34.32	100	x
2.6	5	4	3.6944	1.3994	5.0938	14.0938	35.48	28.38	36.14	100	x
2.8	5	4	3.9786	1.5070	5.4857	14.4857	34.52	27.61	37.87	100	x
3	5	4	4.2628	1.6147	5.8775	14.8775	33.61	26.89	39.51	100	x
3.2	5	4	4.5470	1.7223	6.2693	15.2693	32.75	26.20	41.06	100	x
1.8	5	3	2.2735	0.8612	3.1347	11.1347	44.90	26.94	28.15	100	x
2	5	3	2.5261	0.9569	3.4830	11.4830	43.54	26.13	30.33	100	x
2.2	5	3	2.7787	1.0525	3.8313	11.8313	42.26	25.36	32.38	100	x
2.4	5	3	3.0313	1.1482	4.1795	12.1795	41.05	24.63	34.32	100	x
2.6	5	3	3.2839	1.2439	4.5278	12.5278	39.91	23.95	36.14	100	x
2.8	5	3	3.5365	1.3396	4.8761	12.8761	38.83	23.30	37.87	100	x
3	5	3	3.7892	1.4353	5.2244	13.2244	37.81	22.69	39.51	100	x
3.2	5	3	4.0418	1.5310	5.5727	13.5727	36.84	22.10	41.06	100	x
1.8	5	2	1.9893	0.7535	2.7428	9.7428	51.32	20.53	28.15	100	x
2	5	2	2.2103	0.8372	3.0476	10.0476	49.76	19.91	30.33	100	x
2.2	5	2	2.4314	0.9210	3.3523	10.3523	48.30	19.32	32.38	100	x
2.4	5	2	2.6524	1.0047	3.6571	10.6571	46.92	18.77	34.32	100	x
2.6	5	2	2.8734	1.0884	3.9619	10.9619	45.61	18.25	36.14	100	x
2.8	5	2	3.0945	1.1721	4.2666	11.2666	44.38	17.75	37.87	100	x
3	5	2	3.3155	1.2559	4.5714	11.5714	43.21	17.28	39.51	100	x
3.2	5	2	3.5365	1.3396	4.8761	11.8761	42.10	16.84	41.06	100	x
1.8	5	1	1.7051	0.6459	2.3510	8.3510	59.87	11.97	28.15	100	x
2	5	1	1.8946	0.7176	2.6122	8.6122	58.06	11.61	30.33	100	x
2.2	5	1	2.0840	0.7894	2.8734	8.8734	56.35	11.27	32.38	100	x
2.4	5	1	2.2735	0.8612	3.1347	9.1347	54.74	10.95	34.32	100	x
2.6	5	1	2.4629	0.9329	3.3959	9.3959	53.21	10.64	36.14	100	x
2.8	5	1	2.6524	1.0047	3.6571	9.6571	51.78	10.36	37.87	100	x
3	5	1	2.8419	1.0765	3.9183	9.9183	50.41	10.08	39.51	100	x
3.2	5	1	3.0313	1.1482	4.1795	10.1795	49.12	9.82	41.06	100	x

ตารางที่ ข-9 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นสองเอทิลหนึ่ง
เฮกซานอล 3.4-4.8 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ)

[2-ethyl] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
3.4	1	5	3.2208	1.2200	4.4408	10.4408	9.58	47.89	42.53	100	x
3.6	1	5	3.4102	1.2918	4.7020	10.7020	9.34	46.72	43.94	100	x
3.8	1	5	3.5997	1.3635	4.9632	10.9632	9.12	45.61	45.27	100	x
4	1	5	3.7892	1.4353	5.2244	11.2244	8.91	44.55	46.55	100	x
4.2	1	5	3.9786	1.5070	5.4857	11.4857	8.71	43.53	47.76	100	x
4.4	1	5	4.1681	1.5788	5.7469	11.7469	8.51	42.56	48.92	100	x
4.6	1	5	4.3575	1.6506	6.0081	12.0081	8.33	41.64	50.03	100	x
4.8	1	5	4.5470	1.7223	6.2693	12.2693	8.15	40.75	51.10	100	x
3.4	2	5	3.7576	1.4233	5.1809	12.1809	16.42	41.05	42.53	100	x
3.6	2	5	3.9786	1.5070	5.4857	12.4857	16.02	40.05	43.94	100	x
3.8	2	5	4.1996	1.5908	5.7904	12.7904	15.64	39.09	45.27	100	x
4	2	5	4.4207	1.6745	6.0952	13.0952	15.27	38.18	46.55	100	x
4.2	2	5	4.6417	1.7582	6.3999	13.3999	14.93	37.31	47.76	100	x
4.4	2	5	4.8627	1.8419	6.7047	13.7047	14.59	36.48	48.92	100	x
4.6	2	5	5.0838	1.9257	7.0095	14.0095	14.28	35.69	50.03	100	x
4.8	2	5	5.3048	2.0094	7.3142	14.3142	13.97	34.93	51.10	100	x
3.4	3	5	4.2944	1.6267	5.9210	13.9210	21.55	35.92	42.53	100	x
3.6	3	5	4.5470	1.7223	6.2693	14.2693	21.02	35.04	43.94	100	x
3.8	3	5	4.7996	1.8180	6.6176	14.6176	20.52	34.21	45.27	100	x
4	3	5	5.0522	1.9137	6.9659	14.9659	20.05	33.41	46.55	100	x
4.2	3	5	5.3048	2.0094	7.3142	15.3142	19.59	32.65	47.76	100	x
4.4	3	5	5.5574	2.1051	7.6625	15.6625	19.15	31.92	48.92	100	x
4.6	3	5	5.8100	2.2008	8.0108	16.0108	18.74	31.23	50.03	100	x
4.8	3	5	6.0626	2.2965	8.3591	16.3591	18.34	30.56	51.10	100	x
3.4	4	5	4.8312	1.8300	6.6612	15.6612	25.54	31.93	42.53	100	x
3.6	4	5	5.1154	1.9376	7.0530	16.0530	24.92	31.15	43.94	100	x
3.8	4	5	5.3995	2.0453	7.4448	16.4448	24.32	30.40	45.27	100	x
4	4	5	5.6837	2.1529	7.8367	16.8367	23.76	29.70	46.55	100	x
4.2	4	5	5.9679	2.2606	8.2285	17.2285	23.22	29.02	47.76	100	x
4.4	4	5	6.2521	2.3682	8.6203	17.6203	22.70	28.38	48.92	100	x
4.6	4	5	6.5363	2.4759	9.0122	18.0122	22.21	27.76	50.03	100	x
4.8	4	5	6.8205	2.5835	9.4040	18.4040	21.73	27.17	51.10	100	x
3.4	5	5	5.3680	2.0333	7.4013	17.4013	28.73	28.73	42.53	100	x
3.6	5	5	5.6837	2.1529	7.8367	17.8367	28.03	28.03	43.94	100	x
3.8	5	5	5.9995	2.2725	8.2720	18.2720	27.36	27.36	45.27	100	x
4	5	5	6.3153	2.3921	8.7074	18.7074	26.73	26.73	46.55	100	x
4.2	5	5	6.6310	2.5117	9.1428	19.1428	26.12	26.12	47.76	100	x
4.4	5	5	6.9468	2.6314	9.5781	19.5781	25.54	25.54	48.92	100	x
4.6	5	5	7.2625	2.7510	10.0135	20.0135	24.98	24.98	50.03	100	x
4.8	5	5	7.5783	2.8706	10.4489	20.4489	24.45	24.45	51.10	100	x

ตารางที่ ข-9 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นสองเอทิลหนึ่ง
เฮกซานอล 3.4-4.8 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ) (ต่อ)

[2-ethyl] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
3.4	5	3	4.2944	1.6267	5.9210	13.9210	35.92	21.55	42.53	100	x
3.6	5	3	4.5470	1.7223	6.2693	14.2693	35.04	21.02	43.94	100	x
3.8	5	3	4.7996	1.8180	6.6176	14.6176	34.21	20.52	45.27	100	x
4	5	3	5.0522	1.9137	6.9659	14.9659	33.41	20.05	46.55	100	x
4.2	5	3	5.3048	2.0094	7.3142	15.3142	32.65	19.59	47.76	100	x
4.4	5	3	5.5574	2.1051	7.6625	15.6625	31.92	19.15	48.92	100	x
4.6	5	3	5.8100	2.2008	8.0108	16.0108	31.23	18.74	50.03	100	x
4.8	5	3	6.0626	2.2965	8.3591	16.3591	30.56	18.34	51.10	100	x
3.4	5	2	3.7576	1.4233	5.1809	12.1809	41.05	16.42	42.53	100	x
3.6	5	2	3.9786	1.5070	5.4857	12.4857	40.05	16.02	43.94	100	x
3.8	5	2	4.1996	1.5908	5.7904	12.7904	39.09	15.64	45.27	100	x
4	5	2	4.4207	1.6745	6.0952	13.0952	38.18	15.27	46.55	100	x
4.2	5	2	4.6417	1.7582	6.3999	13.3999	37.31	14.93	47.76	100	x
4.4	5	2	4.8627	1.8419	6.7047	13.7047	36.48	14.59	48.92	100	x
4.6	5	2	5.0838	1.9257	7.0095	14.0095	35.69	14.28	50.03	100	x
4.8	5	2	5.3048	2.0094	7.3142	14.3142	34.93	13.97	51.10	100	x
3.4	5	1	3.2208	1.2200	4.4408	10.4408	47.89	9.58	42.53	100	x
3.6	5	1	3.4102	1.2918	4.7020	10.7020	46.72	9.34	43.94	100	x
3.8	5	1	3.5997	1.3635	4.9632	10.9632	45.61	9.12	45.27	100	x
4	5	1	3.7892	1.4353	5.2244	11.2244	44.55	8.91	46.55	100	x
4.2	5	1	3.9786	1.5070	5.4857	11.4857	43.53	8.71	47.76	100	x
4.4	5	1	4.1681	1.5788	5.7469	11.7469	42.56	8.51	48.92	100	x
4.6	5	1	4.3575	1.6506	6.0081	12.0081	41.64	8.33	50.03	100	x
4.8	5	1	4.5470	1.7223	6.2693	12.2693	40.75	8.15	51.10	100	x

ตารางที่ ข-10 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นสองเอทิลหนึ่ง
เฮกซานอล 5.0-6.4 โมลต่อลิตร (สแกนหายาบ)

[2-ethyl] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
5	1	5	4.7364	1.7941	6.5305	12.5305	7.98	39.90	52.12	100	×
5.2	1	5	4.9259	1.8659	6.7918	12.7918	7.82	39.09	53.09	100	×
5.4	1	5	5.1154	1.9376	7.0530	13.0530	7.66	38.31	54.03	100	×
5.6	1	5	5.3048	2.0094	7.3142	13.3142	7.51	37.55	54.94	100	×
5.8	1	5	5.4943	2.0812	7.5754	13.5754	7.37	36.83	55.80	100	×
6	1	5	5.6837	2.1529	7.8367	13.8367	7.23	36.14	56.64	100	×
6.2	1	5	5.8732	2.2247	8.0979	14.0979	7.09	35.47	57.44	100	×
6.4	1	5	6.0626	2.2965	8.3591	14.3591	6.96	34.82	58.21	100	×
5	2	5	5.5258	2.0931	7.6190	14.6190	13.68	34.20	52.12	100	×
5.2	2	5	5.7469	2.1768	7.9237	14.9237	13.40	33.50	53.09	100	×
5.4	2	5	5.9679	2.2606	8.2285	15.2285	13.13	32.83	54.03	100	×
5.6	2	5	6.1889	2.3443	8.5332	15.5332	12.88	32.19	54.94	100	×
5.8	2	5	6.4100	2.4280	8.8380	15.8380	12.63	31.57	55.80	100	×
6	2	5	6.6310	2.5117	9.1428	16.1428	12.39	30.97	56.64	100	×
6.2	2	5	6.8520	2.5955	9.4475	16.4475	12.16	30.40	57.44	100	×
6.4	2	5	7.0731	2.6792	9.7523	16.7523	11.94	29.85	58.21	100	×
5	3	5	6.3153	2.3921	8.7074	16.7074	17.96	29.93	52.12	100	×
5.2	3	5	6.5679	2.4878	9.0557	17.0557	17.59	29.32	53.09	100	×
5.4	3	5	6.8205	2.5835	9.4040	17.4040	17.24	28.73	54.03	100	×
5.6	3	5	7.0731	2.6792	9.7523	17.7523	16.90	28.17	54.94	100	×
5.8	3	5	7.3257	2.7749	10.1006	18.1006	16.57	27.62	55.80	100	×
6	3	5	7.5783	2.8706	10.4489	18.4489	16.26	27.10	56.64	100	×
6.2	3	5	7.8309	2.9663	10.7972	18.7972	15.96	26.60	57.44	100	×
6.4	3	5	8.0835	3.0619	11.1455	19.1455	15.67	26.12	58.21	100	×
5	4	5	7.1047	2.6912	9.7958	18.7958	21.28	26.60	52.12	100	×
5.2	4	5	7.3888	2.7988	10.1877	19.1877	20.85	26.06	53.09	100	×
5.4	4	5	7.6730	2.9065	10.5795	19.5795	20.43	25.54	54.03	100	×
5.6	4	5	7.9572	3.0141	10.9713	19.9713	20.03	25.04	54.94	100	×
5.8	4	5	8.2414	3.1217	11.3632	20.3632	19.64	24.55	55.80	100	×
6	4	5	8.5256	3.2294	11.7550	20.7550	19.27	24.09	56.64	100	×
6.2	4	5	8.8098	3.3370	12.1468	21.1468	18.92	23.64	57.44	100	×
6.4	4	5	9.0940	3.4447	12.5386	21.5386	18.57	23.21	58.21	100	×
5	5	5	7.8941	2.9902	10.8842	20.8842	23.94	23.94	52.12	100	×
5.2	5	5	8.2098	3.1098	11.3196	21.3196	23.45	23.45	53.09	100	×
5.4	5	5	8.5256	3.2294	11.7550	21.7550	22.98	22.98	54.03	100	×
5.6	5	5	8.8414	3.3490	12.1904	22.1904	22.53	22.53	54.94	100	×
5.8	5	5	9.1571	3.4686	12.6257	22.6257	22.10	22.10	55.80	100	×
6	5	5	9.4729	3.5882	13.0611	23.0611	21.68	21.68	56.64	100	×
6.2	5	5	9.7886	3.7078	13.4965	23.4965	21.28	21.28	57.44	100	×
6.4	5	5	10.1044	3.8274	13.9318	23.9318	20.89	20.89	58.21	100	×

ตารางที่ ข-10 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นสองเอทิลหนึ่ง
เฮกซานอล 5.0-6.4 โมลต่อลิตร (สแกนหยาบ) (ต่อ)

[2-ethyl] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
5	5	3	6.3153	2.3921	8.7074	16.7074	29.93	17.96	52.12	100	x
5.2	5	3	6.5679	2.4878	9.0557	17.0557	29.32	17.59	53.09	100	x
5.4	5	3	6.8205	2.5835	9.4040	17.4040	28.73	17.24	54.03	100	x
5.6	5	3	7.0731	2.6792	9.7523	17.7523	28.17	16.90	54.94	100	x
5.8	5	3	7.3257	2.7749	10.1006	18.1006	27.62	16.57	55.80	100	x
6	5	3	7.5783	2.8706	10.4489	18.4489	27.10	16.26	56.64	100	x
6.2	5	3	7.8309	2.9663	10.7972	18.7972	26.60	15.96	57.44	100	x
6.4	5	3	8.0835	3.0619	11.1455	19.1455	26.12	15.67	58.21	100	x
5	5	2	5.5258	2.0931	7.6190	14.6190	34.20	13.68	52.12	100	x
5.2	5	2	5.7469	2.1768	7.9237	14.9237	33.50	13.40	53.09	100	x
5.4	5	2	5.9679	2.2606	8.2285	15.2285	32.83	13.13	54.03	100	x
5.6	5	2	6.1889	2.3443	8.5332	15.5332	32.19	12.88	54.94	100	x
5.8	5	2	6.4100	2.4280	8.8380	15.8380	31.57	12.63	55.80	100	x
6	5	2	6.6310	2.5117	9.1428	16.1428	30.97	12.39	56.64	100	x
6.2	5	2	6.8520	2.5955	9.4475	16.4475	30.40	12.16	57.44	100	x
6.4	5	2	7.0731	2.6792	9.7523	16.7523	29.85	11.94	58.21	100	x
5	5	1	4.7364	1.7941	6.5305	12.5305	39.90	7.98	52.12	100	x
5.2	5	1	4.9259	1.8659	6.7918	12.7918	39.09	7.82	53.09	100	x
5.4	5	1	5.1154	1.9376	7.0530	13.0530	38.31	7.66	54.03	100	x
5.6	5	1	5.3048	2.0094	7.3142	13.3142	37.55	7.51	54.94	100	x
5.8	5	1	5.4943	2.0812	7.5754	13.5754	36.83	7.37	55.80	100	x
6	5	1	5.6837	2.1529	7.8367	13.8367	36.14	7.23	56.64	100	x
6.2	5	1	5.8732	2.2247	8.0979	14.0979	35.47	7.09	57.44	100	x
6.4	5	1	6.0626	2.2965	8.3591	14.3591	34.82	6.96	58.21	100	x

ตารางที่ ข-11 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นสองเอทิลหนึ่ง
เฮกซานอล 1.72-1.79 โมลต่อลิตร (สแกนละเอียด)

[2-ethyl] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
1.72	1	5	1.6293	0.6172	2.2465	8.2465	12.13	60.63	27.24	100	×
1.73	1	5	1.6388	0.6208	2.2596	8.2596	12.11	60.54	27.36	100	×
1.74	1	5	1.6483	0.6243	2.2726	8.2726	12.09	60.44	27.47	100	×
1.75	1	5	1.6578	0.6279	2.2857	8.2857	12.07	60.34	27.59	100	×
1.76	1	5	1.6672	0.6315	2.2988	8.2988	12.05	60.25	27.70	100	×
1.77	1	5	1.6767	0.6351	2.3118	8.3118	12.03	60.16	27.81	100	×
1.78	1	5	1.6862	0.6387	2.3249	8.3249	12.01	60.06	27.93	100	×
1.79	1	5	1.6956	0.6423	2.3379	8.3379	11.99	59.97	28.04	100	×

ตารางที่ ข-11 การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยใช้สามเหลี่ยมไดอะแกรมที่ความเข้มข้นสองเอทิลหนึ่ง
เฮกซานอล 5-6.4 โมลต่อลิตร (สแกนละเอียด)

[2-ethyl] (M)	ETOH (ml)	V oil (ml)	Oct (ml)	Plant (ml)	S/C ratio (ml)	V total (ml)	ETOH (%)	oil (%)	S/C ratio (%)	V total (%)	สังเกต เฟส
5	1	5	1.6293	0.6172	2.2465	8.2465	12.13	60.63	27.24	100	×
5.2	1	5	1.6388	0.6208	2.2596	8.2596	12.11	60.54	27.36	100	×
5.4	1	5	1.6483	0.6243	2.2726	8.2726	12.09	60.44	27.47	100	×
5.6	1	5	1.6578	0.6279	2.2857	8.2857	12.07	60.34	27.59	100	×
5.8	1	5	1.6672	0.6315	2.2988	8.2988	12.05	60.25	27.70	100	×
6	1	5	1.6767	0.6351	2.3118	8.3118	12.03	60.16	27.81	100	×
6.2	1	5	1.6862	0.6387	2.3249	8.3249	12.01	60.06	27.93	100	×
6.4	1	5	1.6956	0.6423	2.3379	8.3379	11.99	59.97	28.04	100	×



ภาคผนวก ค

การศึกษาความหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค-1 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลและเอทานอลที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้ผึ้ง	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm ² /s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1/Oct	ETOH	10.42	10.41	10.45	10.04	10.03	10.07	10.05
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2/Oct	ETOH	11.44	11.48	11.47	11.02	11.06	11.05	11.05
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3/Oct	ETOH	10.18	10.17	10.17	9.81	9.80	9.80	9.80
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5/Oct	ETOH	11.46	11.54	11.55	11.04	11.12	11.13	11.10
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7/Oct	ETOH	11.56	11.54	11.51	11.14	11.12	11.09	11.12
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9/Oct	ETOH	11.05	11.11	11.1	10.65	10.71	10.70	10.68
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12/Oct	ETOH	14.27	14.21	14.24	13.75	13.69	13.72	13.72
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1/Oct	ETOH	11.36	11.37	11.41	10.95	10.96	10.99	10.97
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2/Oct	ETOH	12	12.03	12.05	11.56	11.59	11.61	11.59
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3/Oct	ETOH	12.58	12.54	12.53	12.12	12.08	12.07	12.09
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5/Oct	ETOH	11.21	11.22	11.19	10.80	10.81	10.78	10.80
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7/Oct	ETOH	12.28	12.27	12.28	11.83	11.82	11.83	11.83
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9/Oct	ETOH	11.57	11.53	11.54	11.15	11.11	11.12	11.13
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12/Oct	ETOH	15.43	15.42	15.45	14.87	14.86	14.89	14.87

ตารางที่ ค-2 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลและเอทานอลที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm ² /s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1/2-ethyl	ETOH	11.06	11.11	11.13	10.66	10.71	10.72	10.70
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2/2-ethyl	ETOH	10.47	10.47	10.46	10.09	10.09	10.08	10.09
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3/2-ethyl	ETOH	12.57	12.52	12.55	12.11	12.06	12.09	12.09
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5/2-ethyl	ETOH	11.56	12.00	12.05	11.14	11.56	11.618	11.44
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7/2-ethyl	ETOH	12.25	12.27	12.31	11.80	11.82	11.86	11.83
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9/2-ethyl	ETOH	12.28	12.34	12.34	11.83	11.89	11.89	11.87
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12/2-ethyl	ETOH	15.18	15.15	15.13	14.64	14.60	14.58	14.60
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1/2-ethyl	ETOH	12.34	12.38	12.35	11.89	11.93	11.90	11.91
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2/2-ethyl	ETOH	11.36	11.33	11.44	10.95	10.92	11.02	10.96
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3/2-ethyl	ETOH	12.40	12.33	12.33	11.95	11.88	11.88	11.90
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5/2-ethyl	ETOH	11.46	11.58	11.49	11.04	11.16	11.07	11.09
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7/2-ethyl	ETOH	13.00	13.19	13.10	12.53	12.71	12.62	12.62
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9/2-ethyl	ETOH	10.52	10.44	10.46	10.14	10.0684	10.08	10.09
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12/2-ethyl	ETOH	16.4	16.47	16.43	15.80	15.87	15.83	15.84

ตารางที่ ค-3 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลและไบโอเอทานอล ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีชีว	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm ² /s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO1/Oct	BioETOH	10.58	10.53	10.57	10.19	10.15	10.19	10.18
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO2/Oct	BioETOH	11.02	11.00	11.04	10.62	10.60	10.64	10.62
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO3/Oct	BioETOH	10.55	10.54	10.57	10.17	10.16	10.19	10.17
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO5/Oct	BioETOH	11.05	11.05	11.01	10.65	10.65	10.61	10.63
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO7/Oct	BioETOH	11.58	12.04	12.06	11.16	11.60	11.62	11.46
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO9/Oct	BioETOH	10.42	10.35	10.41	10.04	9.97	10.03	10.02
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO12/Oct	BioETOH	15.57	15.5	15.56	15.00	14.94	14.99	14.98
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1/Oct	BioETOH	11.43	11.38	11.36	11.01	10.97	10.95	10.98
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO2/Oct	BioETOH	11.09	11.07	11.05	10.69	10.67	10.65	10.67
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO3/Oct	BioETOH	11.58	12.04	12.03	11.16	11.60	11.59	11.45
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5/Oct	BioETOH	11.25	11.27	11.23	10.84	10.86	10.82	10.84
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO7/Oct	BioETOH	12.31	12.34	12.32	11.86	11.89	11.87	11.87
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9/Oct	BioETOH	12.49	12.47	12.47	12.04	12.02	12.02	12.02
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO12/Oct	BioETOH	16.12	16.11	16.04	15.53	15.52	15.46	15.50

ตารางที่ ค-4 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และไบโอเอทานอลที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm ² /s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO1/2-ethyl	BioETOH	10.52	10.52	10.53	10.14	10.14	10.15	10.14
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO2/2-ethyl	BioETOH	11.16	11.12	11.11	10.75	10.72	10.71	10.72
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO3/2-ethyl	BioETOH	11.31	11.25	11.32	10.90	10.84	10.91	10.88
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO5/2-ethyl	BioETOH	11.41	11.45	11.45	10.99	11.03	11.03	11.02
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO7/2-ethyl	BioETOH	12.32	12.36	12.34	11.87	11.91	11.89	11.89
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO9/2-ethyl	BioETOH	10.47	10.43	10.42	10.09	10.05	10.04	10.06
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO12/2-ethyl	BioETOH	15.37	15.35	15.45	14.81	14.79	14.89	14.83
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1/2-ethyl	BioETOH	11.21	11.15	11.23	10.80	10.74	10.82	10.79
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO2/2-ethyl	BioETOH	15.27	15.52	15.28	14.71	14.96	14.72	14.80
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO3/2-ethyl	BioETOH	10.42	10.45	10.45	10.04	10.07	10.07	10.06
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5/2-ethyl	BioETOH	14.3	14.31	14.32	13.78	13.79	13.80	13.79
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO7/2-ethyl	BioETOH	12	11.56	12.05	11.56	11.14	11.61	11.44
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9/2-ethyl	BioETOH	11.37	11.4	11.37	10.96	10.99	10.96	10.97
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO12/2-ethyl	BioETOH	15.14	15.16	15.16	14.59	14.61	14.61	14.60

ตารางที่ ค-5 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลและเอทานอลที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm^2/s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO1/Oct	ETOH	8.35	8.34	8.35	8.05	8.04	8.05	8.04
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO2/Oct	ETOH	8.58	8.59	8.58	8.27	8.28	8.27	8.27
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO3/Oct	ETOH	8.29	8.29	8.3	7.99	7.99	8.00	7.99
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO5/Oct	ETOH	9.16	9.15	9.16	8.83	8.82	8.83	8.82
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO7/Oct	ETOH	9.08	9.13	9.07	8.75	8.80	8.74	8.76
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO9/Oct	ETOH	9.46	9.44	9.44	9.12	9.10	9.10	9.10
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO12/Oct	ETOH	10.44	10.46	10.5	10.06	10.08	10.12	10.09
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1/Oct	ETOH	9.24	9.27	9.28	8.90	8.93	8.94	8.93
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO2/Oct	ETOH	8.23	8.23	8.29	7.93	7.93	7.99	7.95
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO3/Oct	ETOH	9.22	9.25	9.27	8.88	8.91	8.93	8.91
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5/Oct	ETOH	9.09	9.09	9.08	8.76	8.76	8.75	8.76
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO7/Oct	ETOH	10.00	10.01	9.58	9.64	9.65	9.23	9.50
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9/Oct	ETOH	9.06	9.08	9.05	8.73	8.75	8.72	8.73
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO12/Oct	ETOH	11.35	11.3	11.32	10.94	10.89	10.91	10.91

ตารางที่ ค-6 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลและเอทานอลที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm ² /s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1/2-ethyl	ETOH	9.07	9.09	9.1	8.74	8.76	8.77	8.76
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2/2-ethyl	ETOH	9.06	9.01	9	8.73	8.68	8.67	8.69
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3/2-ethyl	ETOH	8.17	8.15	8.18	7.87	7.85	7.88	7.87
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5/2-ethyl	ETOH	9.12	9.15	9.16	8.79	8.82	8.83	8.81
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7/2-ethyl	ETOH	9.06	9.03	9.03	8.73	8.70	8.70	8.71
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9/2-ethyl	ETOH	8.16	8.17	8.18	7.86	7.87	7.88	7.87
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12/2-ethyl	ETOH	11.34	11.32	11.31	10.93	10.91	10.90	10.91
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1/2-ethyl	ETOH	8.34	8.37	8.36	8.04	8.07	8.06	8.05
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2/2-ethyl	ETOH	8.41	8.45	8.48	8.10	8.14	8.17	8.14
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3/2-ethyl	ETOH	9.25	9.24	9.29	8.91	8.90	8.95	8.92
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5/2-ethyl	ETOH	9.36	9.36	9.38	9.02	9.02	9.04	9.03
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7/2-ethyl	ETOH	9.29	9.3	9.32	8.95	8.96	8.98	8.96
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9/2-ethyl	ETOH	9.09	9.11	9.11	8.76	8.78	8.78	8.77
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12/2-ethyl	ETOH	10.5	10.52	10.56	10.12	10.14	10.18	10.14

ตารางที่ ค-7 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลและไบโอเอทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm ² /s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO1/Oct	BioETOH	7.47	7.47	7.48	7.20	7.20	7.21	7.20
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO2/Oct	BioETOH	8.05	8.07	8.07	7.76	7.78	7.78	7.77
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO3/Oct	BioETOH	7.48	7.47	7.48	7.21	7.20	7.21	7.20
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO5/Oct	BioETOH	8.45	8.51	8.47	8.14	8.20	8.16	8.17
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO7/Oct	BioETOH	8.31	8.34	8.33	8.01	8.04	8.03	8.02
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO9/Oct	BioETOH	7.55	7.57	7.53	7.28	7.29	7.26	7.28
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO12/Oct	BioETOH	11.29	11.3	11.27	10.88	10.89	10.86	10.88
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1/Oct	BioETOH	8.32	8.35	8.31	8.02	8.05	8.01	8.02
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO2/Oct	BioETOH	8.25	8.2	8.24	7.95	7.90	7.94	7.93
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO3/Oct	BioETOH	8.54	8.53	8.52	8.23	8.22	8.21	8.22
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5/Oct	BioETOH	8.28	8.28	8.3	7.98	7.98	8.00	7.99
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO7/Oct	BioETOH	9.04	9.03	9.03	8.71	8.70	8.70	8.70
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9/Oct	BioETOH	9.03	9.06	9.04	8.70	8.73	8.71	8.71
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO12/Oct	BioETOH	11.19	11.18	11.18	10.78	10.77	10.77	10.78

ตารางที่ ค-8 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และไบโอเอทานอลที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm^2/s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO1/2-ethyl	BioETOH	7.54	7.54	7.52	7.27	7.27	7.25	7.26
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO2/2-ethyl	BioETOH	8.23	8.22	8.22	7.93	7.92	7.92	7.92
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO3/2-ethyl	BioETOH	8.2	8.21	8.22	7.90	7.91	7.92	7.91
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO5/2-ethyl	BioETOH	8.37	8.37	8.36	8.07	8.07	8.06	8.06
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO7/2-ethyl	BioETOH	8.21	8.21	8.21	7.91	7.91	7.91	7.91
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO9/2-ethyl	BioETOH	8.15	8.16	8.18	7.85	7.86	7.88	7.87
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO12/2-ethyl	BioETOH	10.49	10.5	10.47	10.11	10.12	10.09	10.10
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1/2-ethyl	BioETOH	8.22	8.22	8.22	7.92	7.92	7.92	7.92
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO2/2-ethyl	BioETOH	8.15	8.15	8.23	7.85	7.85	7.93	7.88
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO3/2-ethyl	BioETOH	8.37	8.41	8.43	8.07	8.10	8.12	8.10
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5/2-ethyl	BioETOH	9.05	9.04	9.05	8.72	8.71	8.72	8.72
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO7/2-ethyl	BioETOH	9.24	9.27	9.25	8.90	8.93	8.91	8.92
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9/2-ethyl	BioETOH	8.06	8.07	8.07	7.77	7.78	7.78	7.77
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO12/2-ethyl	BioETOH	11.09	11.09	11.09	10.69	10.69	10.69	10.69

ตารางที่ ค-9 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลและเอทานอลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่ผสม	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm^2/s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
			น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1/Oct	ETOH	7.30	7.34	7.35	
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2/Oct	ETOH	7.53	7.51	7.51	7.26	7.24	7.24	7.24
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3/Oct	ETOH	7.25	7.31	7.34	6.99	7.04	7.07	7.03
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5/Oct	ETOH	7.38	7.4	7.38	7.11	7.13	7.11	7.12
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7/Oct	ETOH	7.52	7.47	7.5	7.25	7.20	7.23	7.22
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9/Oct	ETOH	8.05	7.55	8.02	7.76	7.28	7.73	7.59
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12/Oct	ETOH	9.03	9.05	9.02	8.70	8.72	8.69	8.70
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1/Oct	ETOH	8.00	8.02	8.04	7.71	7.73	7.75	7.73
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2/Oct	ETOH	7.46	7.48	7.46	7.19	7.21	7.19	7.19
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3/Oct	ETOH	7.56	7.56	7.52	7.28	7.28	7.25	7.27
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5/Oct	ETOH	8.09	8.04	8.08	7.80	7.75	7.79	7.78
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7/Oct	ETOH	8.20	8.23	8.25	7.90	7.93	7.95	7.93
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9/Oct	ETOH	7.40	7.43	7.45	7.13	7.16	7.18	7.16
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12/Oct	ETOH	9.40	9.44	9.46	9.06	9.10	9.12	9.09

ตารางที่ ค-10 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และเอทานอลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm^2/s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1/2-ethyl	ETOH	7.41	7.43	7.46	7.14	7.16	7.19	7.16
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2/2-ethyl	ETOH	7.37	7.39	7.37	7.10	7.12	7.10	7.11
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3/2-ethyl	ETOH	7.45	7.47	7.5	7.18	7.20	7.23	7.20
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5/2-ethyl	ETOH	9.03	9.02	9.05	8.70	8.69	8.72	8.70
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7/2-ethyl	ETOH	7.5	7.47	7.47	7.23	7.20	7.20	7.21
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9/2-ethyl	ETOH	7.3	7.28	7.28	7.03	7.02	7.02	7.02
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12/2-ethyl	ETOH	9.21	9.28	9.28	8.87	8.94	8.94	8.92
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1/2-ethyl	ETOH	7.54	7.58	8.02	7.27	7.30	7.73	7.43
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2/2-ethyl	ETOH	7.43	7.43	7.49	7.16	7.16	7.22	7.18
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3/2-ethyl	ETOH	7.55	7.54	7.56	7.28	7.27	7.28	7.28
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5/2-ethyl	ETOH	8.24	8.27	8.31	7.94	7.97	8.01	7.97
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7/2-ethyl	ETOH	8.06	8.01	8.01	7.77	7.72	7.72	7.73
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9/2-ethyl	ETOH	8.28	8.25	8.25	7.98	7.95	7.95	7.96
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12/2-ethyl	ETOH	9.15	9.19	9.15	8.82	8.86	8.82	8.83

ตารางที่ ค-11 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลและไบโอเอทานอลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้ขั้ว	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm^2/s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1/Oct	BioETOH	6.51	6.51	6.53	6.27	6.27	6.29	6.28
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2/Oct	BioETOH	6.44	6.44	6.46	6.21	6.21	6.22	6.21
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3/Oct	BioETOH	8.05	8.05	8.07	7.76	7.76	7.78	7.76
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5/Oct	BioETOH	7.36	7.37	7.38	7.09	7.10	7.11	7.10
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7/Oct	BioETOH	7.4	7.41	7.43	7.13	7.14	7.16	7.14
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9/Oct	BioETOH	7.23	7.2	7.11	6.97	6.94	6.85	6.92
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12/Oct	BioETOH	7.11	7.12	7.11	6.85	6.86	6.85	6.85
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1/Oct	BioETOH	7.22	7.23	7.25	6.96	6.97	6.99	6.97
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2/Oct	BioETOH	7.05	7.06	7.13	6.79	6.80	6.87	6.82
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3/Oct	BioETOH	7.26	7.24	7.25	7.00	6.98	6.99	6.99
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5/Oct	BioETOH	7.41	7.42	7.37	7.14	7.15	7.10	7.13
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7/Oct	BioETOH	7.53	7.54	7.52	7.26	7.27	7.25	7.26
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9/Oct	BioETOH	7.16	7.22	7.22	6.90	6.96	6.96	6.94
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12/Oct	BioETOH	9.3	9.31	9.34	8.96	8.97	9.00	8.98

ตารางที่ ค-12 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และไบโอเอทานอลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm^2/s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO1/2-ethyl	BioETOH	7.33	7.33	7.34	7.06	7.06	7.07	7.07
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO2/2-ethyl	BioETOH	7.09	7.11	7.13	6.83	6.85	6.87	6.85
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO3/2-ethyl	BioETOH	6.56	7	7	6.32	6.75	6.75	6.60
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO5/2-ethyl	BioETOH	7.23	7.23	7.24	6.97	6.97	6.98	6.97
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO7/2-ethyl	BioETOH	7.32	7.34	7.37	7.05	7.07	7.10	7.08
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO9/2-ethyl	BioETOH	7.36	7.34	7.34	7.09	7.07	7.07	7.08
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO12/2-ethyl	BioETOH	7.2	7.22	7.23	6.94	6.96	6.97	6.95
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1/2-ethyl	BioETOH	6.5	6.51	6.49	6.26	6.26	6.27	6.25
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO2/2-ethyl	BioETOH	7.11	7.12	7.13	6.85	6.85	6.86	6.87
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO3/2-ethyl	BioETOH	7.24	7.24	7.24	6.98	6.98	6.98	6.98
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5/2-ethyl	BioETOH	7.43	7.43	7.44	7.16	7.16	7.16	7.17
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO7/2-ethyl	BioETOH	7.24	7.22	7.23	6.98	6.98	6.96	6.97
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9/2-ethyl	BioETOH	7.15	7.16	7.17	6.89	6.89	6.90	6.91
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO12/2-ethyl	BioETOH	9.33	9.35	9.39	8.99	8.99	9.01	9.05

ตารางที่ ค-13 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลและเอทานอลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm^2/s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1/Oct	ETOH	6.02	6.04	6.04	5.80	5.82	5.82	5.81
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2/Oct	ETOH	6.44	6.42	6.48	6.21	6.19	6.24	6.21
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3/Oct	ETOH	5.53	5.52	5.51	5.33	5.32	5.31	5.32
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5/Oct	ETOH	6.08	6.06	6.09	5.86	5.84	5.87	5.86
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7/Oct	ETOH	6.46	6.5	6.47	6.22	6.26	6.23	6.24
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9/Oct	ETOH	6.19	6.18	6.18	5.96	5.96	5.96	5.96
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12/Oct	ETOH	7.14	7.13	7.1	6.88	6.87	6.84	6.86
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1/Oct	ETOH	6.31	6.33	6.32	6.08	6.10	6.09	6.09
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2/Oct	ETOH	5.53	5.58	5.55	5.33	5.38	5.35	5.35
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3/Oct	ETOH	6.29	6.32	6.3	6.06	6.09	6.07	6.07
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5/Oct	ETOH	7.09	7.07	7.05	6.83	6.81	6.79	6.81
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7/Oct	ETOH	6.28	6.35	6.39	6.05	6.12	6.16	6.11
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9/Oct	ETOH	6.39	6.46	6.43	6.16	6.22	6.20	6.19
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12/Oct	ETOH	7.52	7.5	7.52	7.25	7.23	7.25	7.24

ตารางที่ ค-14 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลและเอทานอลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm^2/s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1/2-ethyl	ETOH	6.05	6.05	6.06	5.83	5.83	5.84	5.83
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2/2-ethyl	ETOH	6.31	6.39	6.35	6.08	6.16	6.12	6.12
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3/2-ethyl	ETOH	5.55	5.4	5.47	5.35	5.20	5.27	5.27
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5/2-ethyl	ETOH	5.45	5.44	5.44	5.25	5.24	5.24	5.25
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7/2-ethyl	ETOH	5.33	5.21	5.3	5.14	5.02	5.11	5.09
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9/2-ethyl	ETOH	5.58	5.29	5.3	5.38	5.10	5.11	5.19
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12/2-ethyl	ETOH	7.33	7.16	7.3	7.06	6.90	7.03	7.00
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1/2-ethyl	ETOH	6.12	6.13	6.14	5.90	5.91	5.92	5.91
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2/2-ethyl	ETOH	6.21	6.27	6.28	5.98	6.04	6.05	6.03
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3/2-ethyl	ETOH	6.31	6.3	6.33	6.08	6.07	6.10	6.08
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5/2-ethyl	ETOH	6.36	6.41	6.39	6.13	6.18	6.16	6.15
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7/2-ethyl	ETOH	7.43	7.25	7.36	7.16	6.99	7.09	7.08
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9/2-ethyl	ETOH	6.41	6.31	6.4	6.18	6.08	6.17	6.14
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12/2-ethyl	ETOH	7.36	7.47	7.43	7.09	7.20	7.16	7.15

ตารางที่ ค-15 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลและเอทานอลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm^2/s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO1/Oct	BioETOH	5.45	5.48	5.49	5.25	5.28	5.29	5.27
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO2/Oct	BioETOH	5.48	5.46	5.51	5.28	5.26	5.31	5.28
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO3/Oct	BioETOH	6	6.01	6.05	5.78	5.79	5.83	5.80
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO5/Oct	BioETOH	5.51	5.59	5.54	5.31	5.39	5.34	5.34
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO7/Oct	BioETOH	5.36	5.35	5.36	5.16	5.16	5.16	5.16
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO9/Oct	BioETOH	6.15	6.14	6.17	5.93	5.92	5.95	5.93
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO12/Oct	BioETOH	7.19	7.2	7.19	6.93	6.94	6.93	6.93
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1/Oct	BioETOH	5.53	5.54	5.56	5.33	5.34	5.36	5.13
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO2/Oct	BioETOH	5.45	5.49	5.47	5.25	5.29	5.27	5.27
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO3/Oct	BioETOH	6.1	6.08	6.04	5.88	5.86	5.82	5.85
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5/Oct	BioETOH	5.41	5.49	5.46	5.21	5.29	5.26	5.25
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO7/Oct	BioETOH	6.32	6.32	6.31	6.09	6.09	6.08	6.09
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9/Oct	BioETOH	6.02	5.53	5.52	5.80	5.33	5.32	5.48
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO12/Oct	BioETOH	6.42	6.42	6.45	6.19	6.19	6.22	6.20

ตารางที่ ค-16 ความหนืด (viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลและเอทานอลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	เวลาที่สารใช้ในการเคลื่อนที่, t (นาที, min)			ค่าความหนืด, μ (mm^2/s)			ค่าเฉลี่ย
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1/2-ethyl	BioETOH	5.27	5.28	5.3	5.08	5.09	5.11	5.09
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2/2-ethyl	BioETOH	5.44	5.45	5.4	5.24	5.25	5.20	5.23
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3/2-ethyl	BioETOH	5.47	5.46	5.45	5.27	5.26	5.25	5.26
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5/2-ethyl	BioETOH	5.46	5.45	5.46	5.26	5.25	5.26	5.26
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7/2-ethyl	BioETOH	6.02	6.01	6.01	5.80	5.79	5.79	5.79
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9/2-ethyl	BioETOH	5.5	5.44	5.43	5.30	5.24	5.23	5.26
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12/2-ethyl	BioETOH	5.57	5.57	6	5.37	5.37	5.78	5.51
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1/2-ethyl	BioETOH	6.01	5.58	5.58	5.79	5.38	5.38	5.52
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2/2-ethyl	BioETOH	5.44	5.48	5.5	5.24	5.28	5.30	5.27
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3/2-ethyl	BioETOH	5.5	5.51	5.5	5.30	5.31	5.30	5.30
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5/2-ethyl	BioETOH	5.45	5.47	5.49	5.25	5.27	5.29	5.27
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7/2-ethyl	BioETOH	6.23	6.24	6.28	6.00	6.01	6.05	6.02
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9/2-ethyl	BioETOH	5.34	5.35	5.36	5.15	5.16	5.16	5.16
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12/2-ethyl	BioETOH	7.17	7.2	7.24	6.91	6.94	6.98	6.94



ภาคผนวก ง

การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ง-1 จุดขุ่น (cloud point) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอล

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	ส่วนที่เข้มข้น	จุดขุ่น (cloud point)				
				จำนวนวัน (วัน), 6 °C				
				1	3	7	12	30
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1	Oct	ETOH	-	-	-	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2	Oct	ETOH	-	-	-	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3	Oct	ETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5	Oct	ETOH	-	✓	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7	Oct	ETOH	-	-	-	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9	Oct	ETOH	-	-	-	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12	Oct	ETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1	Oct	ETOH	-	✓	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2	Oct	ETOH	-	✓	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3	Oct	ETOH	-	✓	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5	Oct	ETOH	-	✓	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7	Oct	ETOH	-	✓	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9	Oct	ETOH	-	✓	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12	Oct	ETOH	-	✓	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1	Oct	BioETOH	-	-	-	-	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2	Oct	BioETOH	-	-	-	-	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3	Oct	BioETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5	Oct	BioETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7	Oct	BioETOH	-	-	-	-	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9	Oct	BioETOH	-	-	-	-	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12	Oct	BioETOH	-	-	-	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1	Oct	BioETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2	Oct	BioETOH	-	-	-	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3	Oct	BioETOH	-	-	-	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5	Oct	BioETOH	-	✓	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7	Oct	BioETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9	Oct	BioETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12	Oct	BioETOH	-	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ - แสดงว่า ไม่เกิดจุดขุ่น

✓ แสดงว่า เกิดจุดขุ่น

ตารางที่ ง-2 จุดขุ่น (cloud point) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	ส่วนที่มีขี้	จุดขุ่น (cloud point)				
				จำนวนวัน (วัน), 6 °C				
				1	3	7	12	30
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1	2-ethyl	ETOH	-	-	-	-	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2	2-ethyl	ETOH	-	-	-	-	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3	2-ethyl	ETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5	2-ethyl	ETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7	2-ethyl	ETOH	-	-	-	-	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9	2-ethyl	ETOH	-	-	-	-	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12	2-ethyl	ETOH	-	-	-	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1	2-ethyl	ETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2	2-ethyl	ETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3	2-ethyl	ETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5	2-ethyl	ETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7	2-ethyl	ETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9	2-ethyl	ETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12	2-ethyl	ETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	-	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	-	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3	2-ethyl	BioETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5	2-ethyl	BioETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	-	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	-	✓
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1	2-ethyl	BioETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5	2-ethyl	BioETOH	-	✓	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7	2-ethyl	BioETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9	2-ethyl	BioETOH	-	-	✓	✓	✓
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12	2-ethyl	BioETOH	-	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ - แสดงว่า ไม่เกิดจุดขุ่น
 ✓ แสดงว่า เกิดจุดขุ่น

ตารางที่ ง-3 จุดไหลเท (pour point) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอล

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	ส่วนที่มีขี้	จุดไหลเท (pour point)			
				อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส (°C)			
				3	0	-3	-6
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO1	octanol	ETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO2	octanol	ETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO3	octanol	ETOH	-	-	-	×
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO5	octanol	ETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO7	octanol	ETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO9	octanol	ETOH	-	-	-	×
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO12	octanol	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1	octanol	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2	octanol	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3	octanol	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5	octanol	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7	octanol	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9	octanol	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12	octanol	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO1	octanol	BioETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO2	octanol	BioETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO3	octanol	BioETOH	-	-	-	×
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO5	octanol	BioETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO7	octanol	BioETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO9	octanol	BioETOH	-	-	-	×
น้ำมันปาล์ม+ติเซล	EO12	octanol	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1	octanol	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2	octanol	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3	octanol	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5	octanol	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7	octanol	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9	octanol	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12	octanol	BioETOH	-	-	×	×

หมายเหตุ - แสดงว่า เกิดการไหลเท

× แสดงว่า ไม่เกิดการไหลเท

ตารางที่ ง-4 จุดไหลเท (pour point) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	ส่วนที่มีขี้	จุดไหลเท (pour point)			
				อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส (°C)			
				3	0	-3	-6
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1	2-ethyl	ETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2	2-ethyl	ETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3	2-ethyl	ETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5	2-ethyl	ETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7	2-ethyl	ETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9	2-ethyl	ETOH	-	-	-	×
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12	2-ethyl	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1	2-ethyl	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2	2-ethyl	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3	2-ethyl	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5	2-ethyl	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7	2-ethyl	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9	2-ethyl	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12	2-ethyl	ETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO2	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO7	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	-
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9	2-ethyl	BioETOH	-	-	-	×
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO12	2-ethyl	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1	2-ethyl	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO2	2-ethyl	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3	2-ethyl	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5	2-ethyl	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO7	2-ethyl	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9	2-ethyl	BioETOH	-	-	×	×
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO12	2-ethyl	BioETOH	-	-	×	×

หมายเหตุ - แสดงว่า เกิดการไหลเท

× แสดงว่า ไม่เกิดการไหลเท

ตารางที่ ง-5 ค่าความเป็นกรด (acid value) ของเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดต่างๆ

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิวผสม (S/C)	ส่วนที่มีขี้	น้ำหนักน้ำมัน (g)			ปริมาตรโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต (ml)			ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO1/ Oct	ETOH	2.0165	2.0106	2.0112	0.3	0.3	0.3	0.8346	0.8370	0.8368
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO5/ Oct	ETOH	2.0041	2.0037	2.0032	0.3	0.3	0.3	0.8398	0.8399	0.8402
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO9/ Oct	ETOH	2.0065	2.0056	2.0060	0.35	0.35	0.35	0.9786	0.9790	0.9788
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1/ Oct	ETOH	2.0102	2.0027	2.0057	0.3	0.3	0.3	0.8372	0.8404	0.8391
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5/ Oct	ETOH	2.0001	2.0062	2.0035	0.3	0.3	0.3	0.8415	0.8389	0.8400
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9/ Oct	ETOH	2.0025	2.0021	2.0024	0.3	0.3	0.3	0.8404	0.8406	0.8405
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO1/ 2-ethyl	ETOH	2.0062	2.0058	2.0051	0.3	0.3	0.3	0.8389	0.8391	0.8394
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO3/ 2-ethyl	ETOH	2.0011	2.0013	2.0005	0.3	0.3	0.3	0.8410	0.8410	0.8413
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO5/ 2-ethyl	ETOH	2.0046	2.0053	2.0045	0.3	0.3	0.3	0.8396	0.8393	0.8396
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO9/ 2-ethyl	ETOH	2.0051	2.0027	2.0024	0.35	0.35	0.35	0.9793	0.9804	0.9806
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1/ 2-ethyl	ETOH	2.0024	2.0052	2.0028	0.3	0.3	0.3	0.8405	0.8393	0.8403
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO3/ 2-ethyl	ETOH	2.0025	2.0013	2.0043	0.3	0.3	0.3	0.8404	0.8410	0.8397
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5/ 2-ethyl	ETOH	2.0076	2.0090	2.0056	0.3	0.3	0.3	0.8383	0.8377	0.8392
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9/ 2-ethyl	ETOH	2.0027	2.0029	2.0021	0.3	0.3	0.3	0.8404	0.8403	0.8406

ตารางที่ ง-6 ปริมาณน้ำ (water content) ของเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดต่างๆ

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิวผสม (S/C)	ส่วนที่มีขี้	น.ถัวยกระเบื้องก่อน+น.สารตัวอย่าง, W (กรัม)			น.ถัวยกระเบื้องหลัง+น.สารตัวอย่าง, W1 (กรัม)			ปริมาณน้ำ (%)			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	เฉลี่ย
ดีเซล 100	-	-	115.6537	101.6395	101.6452	115.4998	101.4876	101.4952	0.1331	0.1494	0.1476	0.1413
ไบโอดีเซล 100	-	-	110.8530	117.6397	98.6834	110.8473	117.6337	98.6783	0.0051	0.0051	0.0052	0.0051
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	-	-	110.8661	117.6395	98.693	110.7898	117.5744	98.6373	0.0688	0.0553	0.0564	0.0602
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	-	-	115.6662	121.5815	110.8347	115.6602	121.5760	110.8275	0.0052	0.0045	0.0065	0.0054
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1/Oct	ETOH	110.8347	115.6613	110.8619	110.2888	115.1036	110.3154	0.4930	0.4822	0.4930	0.4894
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5/Oct	ETOH	98.69	121.5813	99.8408	98.2681	121.0657	99.4033	0.4275	0.4241	0.4382	0.4299
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9/Oct	ETOH	117.6433	121.5847	117.6403	117.1931	121.1006	117.195	0.3827	0.3982	0.3785	0.3865
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1/Oct	ETOH	117.6549	110.8564	121.5852	117.0813	110.3098	121.0011	0.4875	0.4931	0.4804	0.4870
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5/Oct	ETOH	110.8567	101.6471	101.6455	110.2096	101.0411	101.0589	0.5837	0.5962	0.5771	0.5857
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9/Oct	ETOH	99.8607	98.6904	117.6386	99.2762	98.0947	116.9601	0.5853	0.6036	0.5768	0.5886
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1/2-ethyl	ETOH	117.6479	110.8582	117.6511	117.2035	110.4237	117.1968	0.3777	0.3919	0.3861	0.3853
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3/2-ethyl	ETOH	121.5534	98.6973	101.6522	121.0606	98.2876	101.2447	0.4054	0.4151	0.4009	0.4071
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5/2-ethyl	ETOH	98.7018	101.6431	115.6669	98.2192	101.1538	115.114	0.4889	0.4814	0.4780	0.4828
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9/2-ethyl	ETOH	99.8437	98.6902	115.659	99.3784	98.2181	115.1063	0.4660	0.4784	0.4779	0.4741
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1/2-ethyl	ETOH	115.6749	101.6358	121.5237	115.0197	101.0782	120.8416	0.5664	0.5486	0.5613	0.5588
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3/2-ethyl	ETOH	101.6479	99.8393	115.626	100.973	99.1473	114.81	0.6639	0.6931	0.7057	0.6876
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5/2-ethyl	ETOH	110.8699	121.5876	121.5561	110.2083	120.8837	120.8362	0.5967	0.5789	0.5922	0.5893
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9/2-ethyl	ETOH	110.8532	115.6687	98.6526	110.1609	114.9653	98.0412	0.6245	0.6081	0.6198	0.6175

ตารางที่ ง-7 ปริมาณเถ้า (ash content) ของเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดต่างๆ

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีชีว	น้ำหนักด้วยกระเบื้องก่อนเผา, W (กรัม)		น้ำหนักสารตัวอย่าง, W ₁ (กรัม)		น้ำหนักด้วยกระเบื้องหลังเผา, W ₂ (กรัม)		% Ash content		
			1	2	1	2	1	2	1	2	เฉลี่ย
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1 / Oct	ETOH	36.3447	38.4577	2.0004	2.0003	36.3459	36.4585	0.0599	0.0549	0.0574
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5 / Oct	ETOH	42.7891	42.1484	2.0003	2.0001	42.7899	42.1494	0.0399	0.0499	0.0449
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9 / Oct	ETOH	41.3774	44.2946	2.0009	2.0011	41.3787	44.2960	0.0649	0.0699	0.0674
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1 / Oct	ETOH	30.8446	42.9353	2.0015	2.0004	30.8458	42.9364	0.0599	0.0549	0.0474
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5 / Oct	ETOH	32.0659	41.4950	2.0006	2.0008	32.0663	41.4955	0.0199	0.0249	0.0224
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9 / Oct	ETOH	32.2039	30.8444	2.0000	2.0003	32.2055	30.8459	0.0800	0.0749	0.0774
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1 / 2-ethyl	ETOH	40.8542	43.0840	2.0004	2.0006	40.8553	43.0854	0.0549	0.0699	0.0624
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3 / 2-ethyl	ETOH	33.6768	32.1813	2.0007	2.0007	33.6772	30.1809	0.0199	0.0149	0.0174
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5 / 2-ethyl	ETOH	42.0520	42.8197	2.0004	2.0008	42.0525	40.8193	0.0249	0.0199	0.0224
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9 / 2-ethyl	ETOH	44.1462	32.7575	2.0004	2.0007	44.1473	30.7582	0.0549	0.0699	0.0624
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1 / 2-ethyl	ETOH	42.8893	47.4934	2.0009	2.0003	42.8906	45.4942	0.0649	0.0549	0.0599
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3 / 2-ethyl	ETOH	29.8810	34.2305	2.0003	2.0011	29.8814	32.2299	0.0199	0.0249	0.0224
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5 / 2-ethyl	ETOH	40.8183	34.3173	2.0000	2.0005	40.8188	32.3175	0.0250	0.0349	0.0299
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9 / 2-ethyl	ETOH	30.5762	43.0459	2.0001	2.0009	30.5777	41.0463	0.0749	0.0649	0.0699

ตารางที่ ง-8 ค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดต่างๆ

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มี ซั้ว	ค่าความถ่วงจำเพาะ @ 25 °C			ค่าความถ่วงจำเพาะ เฉลี่ย @ 25 °C
			1	2	3	
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1 / Oct	ETOH	0.8216	0.8204	0.8200	0.8207
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5 / Oct	ETOH	0.8336	0.8352	0.8352	0.8347
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9 / Oct	ETOH	0.8320	0.8328	0.8320	0.8321
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1 / Oct	ETOH	0.8224	0.8228	0.8220	0.8224
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5 / Oct	ETOH	0.8216	0.8220	0.8236	0.8224
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9 / Oct	ETOH	0.8220	0.8227	0.8215	0.8221
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1 / 2-ethyl	ETOH	0.8352	0.8360	0.8364	0.8359
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3 / 2-ethyl	ETOH	0.8396	0.8388	0.8396	0.8393
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5 / 2-ethyl	ETOH	0.8392	0.8396	0.8388	0.8392
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9 / 2-ethyl	ETOH	0.8388	0.8376	0.8380	0.8381
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1 / 2-ethyl	ETOH	0.8228	0.8220	0.8224	0.8224
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO3 / 2-ethyl	ETOH	0.8264	0.8248	0.8260	0.8257
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5 / 2-ethyl	ETOH	0.8268	0.8268	0.8264	0.8267
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9 / 2-ethyl	ETOH	0.8224	0.8220	0.8220	0.8221

ตารางที่ ง-9 ความหนาแน่น (density) ขององค์ประกอบหลักเชื้อเพลิงชีวภาพ

น้ำมัน	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)			ความหนาแน่น @ 25 °C (กก.ต่อลบ.ม.)			ความหนาแน่น เฉลี่ย @ 25 °C (กก.ต่อลบ.ม.)
	1	2	3	1	2	3	
ดีเซล 100	0.2107	0.2107	0.2105	842.8	842.8	842	842.53
ไบโอดีเซล 100	0.2217	0.2218	0.2219	886.8	887.2	887.6	887.20
น้ำมันปาล์ม	0.2305	0.2297	0.2299	922	918.8	919.6	920.13
เอทานอล	0.2047	0.2048	0.2048	818.8	819.2	819.2	819.07
ไบโอเอทานอล	0.1992	0.1997	0.1996	796.8	798.8	798.4	798.00
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	0.2190	0.2189	0.2191	876	875.6	876.4	876.00
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	0.2272	0.2269	0.2272	908.8	907.6	908.8	908.40

ตารางที่ ง-10 ความหนาแน่น (density) ของเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดต่างๆ

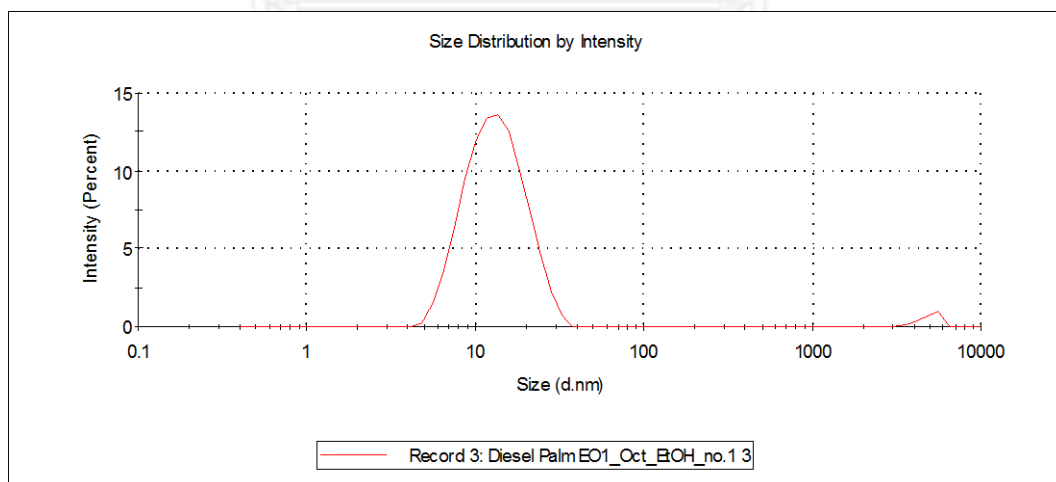
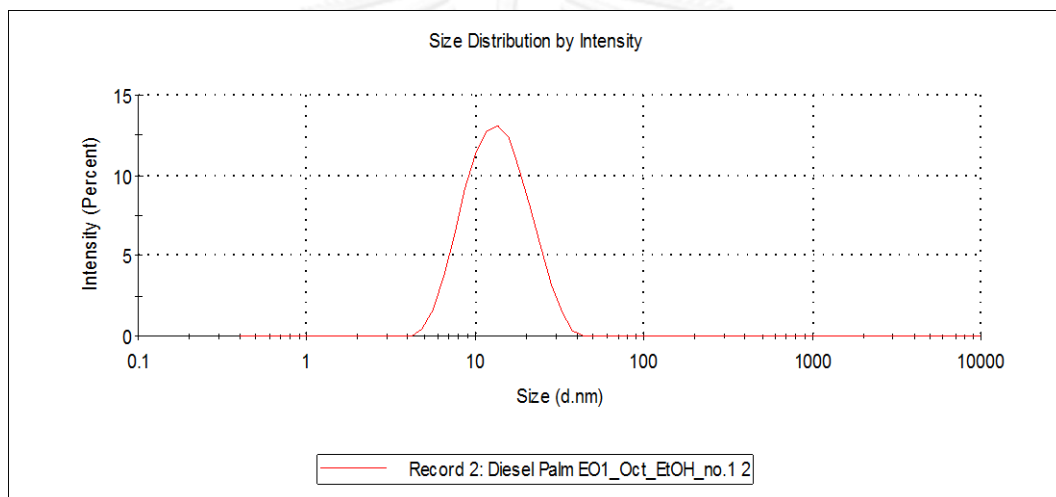
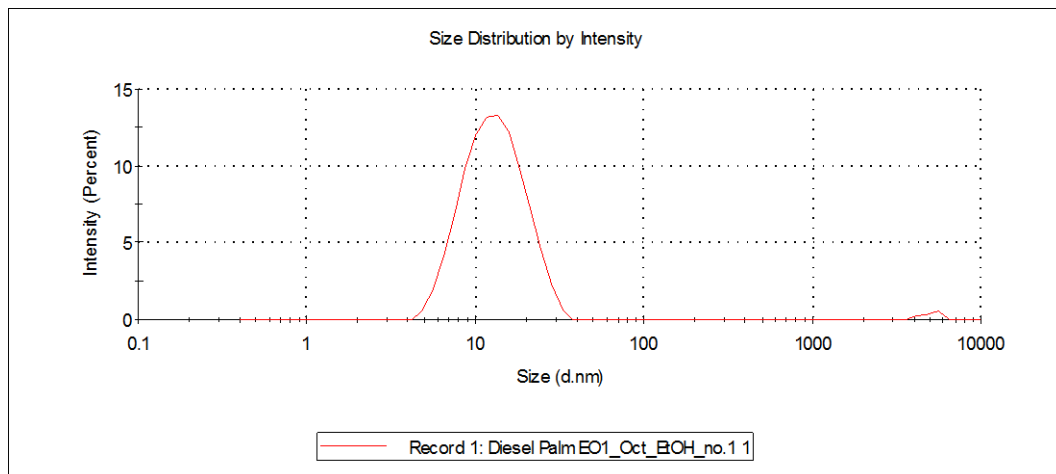
น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)			ความหนาแน่น @ 25 °C (กก.ต่อลบ.ม.)			ความหนาแน่นเฉลี่ย @ 25 °C (กก.ต่อลบ.ม.)
			1	2	3	1	2	3	
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO1 / Oct	ETOH	0.2048	0.2045	0.2044	819.2	818.0	817.6	818.3
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO5 / Oct	ETOH	0.2078	0.2082	0.2082	831.2	832.8	832.8	832.3
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO9 / Oct	ETOH	0.2074	0.2076	0.2074	829.6	830.4	829.6	829.7
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1 / Oct	ETOH	0.2050	0.2051	0.2049	820.0	820.4	819.6	820.0
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5 / Oct	ETOH	0.2051	0.2050	0.2053	819.2	819.6	821.2	820.0
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9 / Oct	ETOH	0.2048	0.2051	0.2048	819.6	820.4	819.2	819.7
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO1 / 2-ethyl	ETOH	0.2082	0.2084	0.2085	832.8	833.6	834.0	833.5
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO3 / 2-ethyl	ETOH	0.2093	0.2091	0.2093	837.2	836.4	837.2	836.9
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO5 / 2-ethyl	ETOH	0.2092	0.2093	0.2091	836.8	837.2	836.4	836.8
น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	EO9 / 2-ethyl	ETOH	0.2091	0.2088	0.2089	836.4	835.2	835.6	835.7
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO1 / 2-ethyl	ETOH	0.2051	0.2049	0.2050	820.4	819.6	820.0	820.0
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO3 / 2-ethyl	ETOH	0.2060	0.2056	0.2059	824.0	822.4	823.6	823.3
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO5 / 2-ethyl	ETOH	0.2061	0.2061	0.2060	824.4	824.4	824.0	824.3
น้ำมันปาล์ม+ ไบโอดีเซล	EO9 / 2-ethyl	ETOH	0.2050	0.2049	0.2049	820.0	819.6	819.6	819.7

ตารางที่ ง-11 ขนาดอนุภาค (droplet size) ของเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดต่างๆ

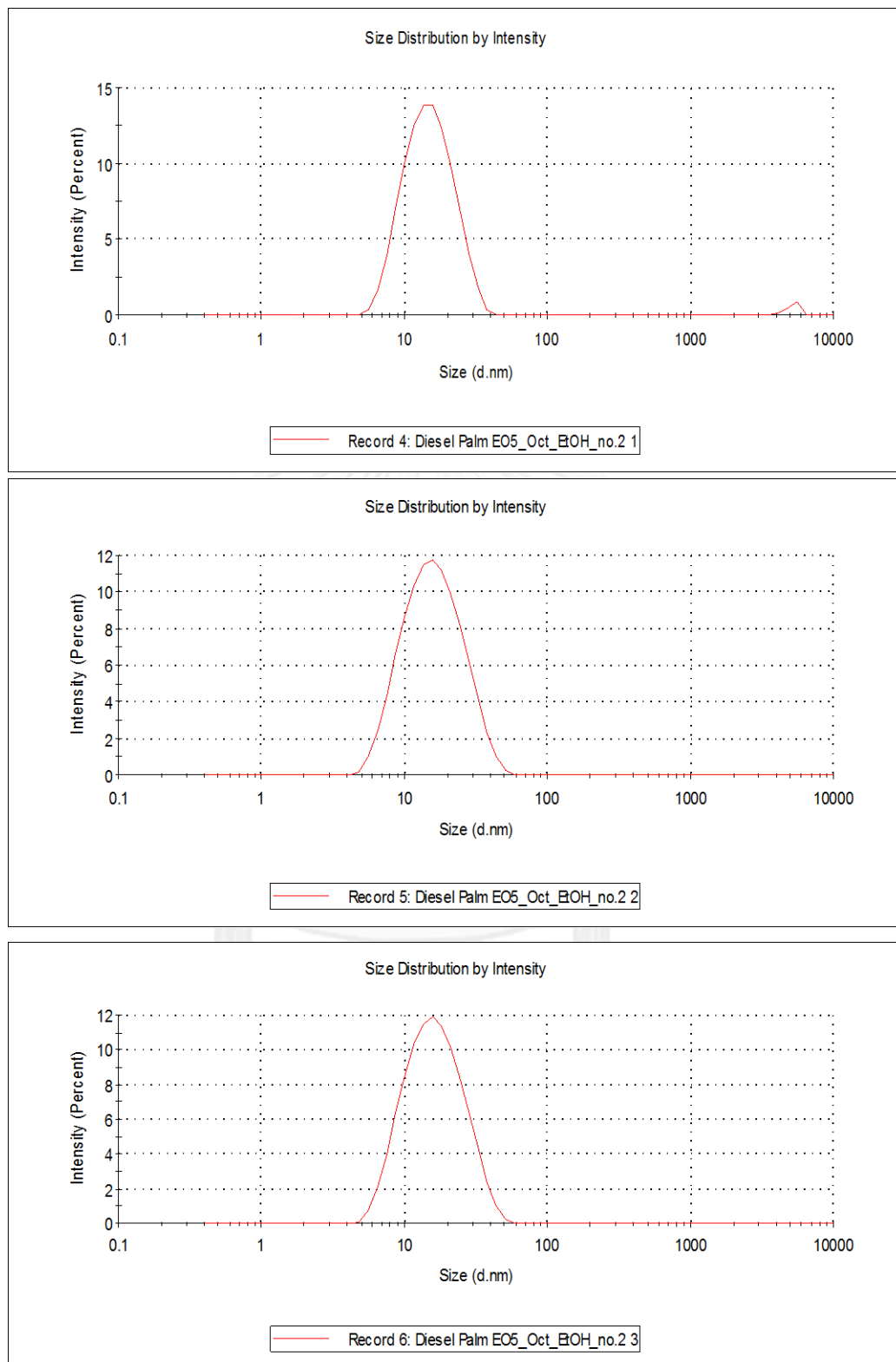
Sample Name	Hydrodynamic Diameter (d.nm)	Polydispersity Index	Mean Count Rate (kcps)	Pk 1 Mean Int (d.nm)	Pk 2 Mean Int (d.nm)	Pk 3 Mean Int (d.nm)	Pk 1 Area Int (%)	Pk 2 Area Int (%)	Pk 3 Area Int (%)
Die+Palm / EO1 / Oct / ETOH	12	0.195	318	14	5009	0	98.8	1.2	0
Die+Palm / EO1 / Oct / ETOH	12	0.189	321	14	0	0	100	0	0
Die+Palm / EO1 / Oct / ETOH	12	0.227	325	14	4996	0	97.9	2.1	0
Die+Palm / EO5 / Oct / ETOH	13	0.248	313	16	5183	0	98.5	1.5	0
Die+Palm / EO5 / Oct / ETOH	13	0.215	312	17	0	0	100	0	0
Die+Palm / EO5 / Oct / ETOH	13	0.226	313	18	0	0	100	0	0
Die+Palm / EO9 / Oct / ETOH	15	0.166	436	18	0	0	100	0	0
Die+Palm / EO9 / Oct / ETOH	15	0.173	442	19	0	0	100	0	0
Die+Palm / EO9 / Oct / ETOH	15	0.162	437	19	0	0	100	0	0
Biodie+Palm/ EO1 / Oct / ETOH	12	0.442	177	9	1114	0	69.8	30.2	0
Biodie+Palm / EO1 / Oct / ETOH	11	0.422	179	9	1214	0	72.5	27.5	0
Biodie+Palm / EO1 / Oct / ETOH	11	0.473	182	9	1053	0	69.5	30.5	0
Biodie+Palm / EO5 / Oct / ETOH	32	0.420	222	11	1477	0	56.5	43.5	0
Biodie+Palm / EO5 / Oct / ETOH	32	0.423	212	11	1438	0	56.2	43.8	0
Biodie+Palm / EO5 / Oct / ETOH	30	0.396	203	11	1611	0	58.2	41.8	0
Biodie+Palm / EO9 / Oct / ETOH	18	0.564	366	10	1356	0	58.7	41.3	0
Biodie+Palm / EO9 / Oct / ETOH	18	0.534	390	11	1554	0	61.6	38.4	0
Biodie+Palm / EO9 / Oct / ETOH	18	0.530	363	11	1611	0	61.6	38.4	0

ตารางที่ ง-11 ขนาดอนุภาค (droplet size) ของเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดต่างๆ (ต่อ)

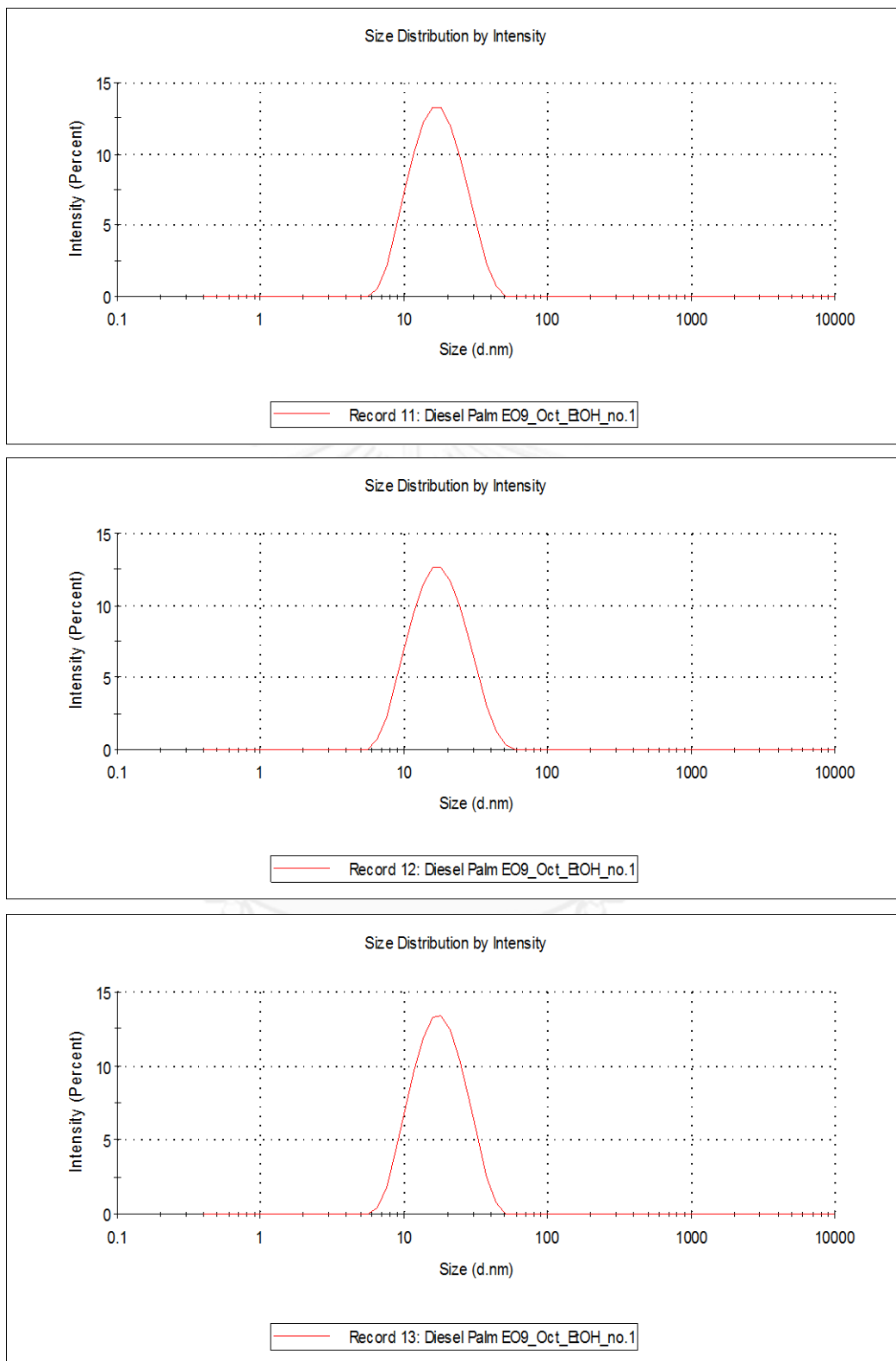
Sample Name	Hydrodynamic Diameter (d.nm)	Polydispersity Index	Mean Count Rate (kcps)	Pk 1 Mean Int (d.nm)	Pk 2 Mean Int (d.nm)	Pk 3 Mean Int (d.nm)	Pk 1 Area Int (%)	Pk 2 Area Int (%)	Pk 3 Area Int (%)
Die+Palm / EO1 / 2-ethyl / ETOH	13	0.260	299	14	4599	0	95.5	4.5	0
Die+Palm / EO1 / 2-ethyl / ETOH	12	0.189	285	15	0	0	100	0	0
Die+Palm / EO1 / 2-ethyl / ETOH	12	0.203	284	14	4785	0	98.1	1.9	0
Die+Palm / EO3 / 2-ethyl / ETOH	14	0.232	248	18	4995	0	98.7	1.3	0
Die+Palm / EO3 / 2-ethyl / ETOH	15	0.217	252	17	4590	0	97.9	2.1	0
Die+Palm / EO3 / 2-ethyl / ETOH	15	0.284	262	18	4585	0	95.9	4.1	0
Die+Palm / EO5 / 2-ethyl / ETOH	18	0.231	393	17	4742	0	91.8	8.2	0
Die+Palm / EO5 / 2-ethyl / ETOH	16	0.245	370	18	5043	0	97.5	2.5	0
Die+Palm / EO5 / 2-ethyl / ETOH	16	0.224	355	19	0	0	100	0	0
Die+Palm / EO9 / 2-ethyl / ETOH	35	0.164	265	36	0	0	100	0	0
Die+Palm / EO9 / 2-ethyl / ETOH	34	0.112	251	38	0	0	100	0	0
Die+Palm / EO9 / 2-ethyl / ETOH	33	0.105	251	37	0	0	100	0	0
Biodie+Palm / EO1 / 2-ethyl / ETOH	11	0.277	159	9	1063	4584	80.2	16.1	3.7
Biodie+Palm / EO1 / 2-ethyl / ETOH	10	0.317	157	9	1417	0	80.5	19.5	0
Biodie+Palm / EO1 / 2-ethyl / ETOH	10	0.336	156	9	1295	2	76.7	21.7	1.6
Biodie+Palm / EO3 / 2-ethyl / ETOH	30	0.495	747	9	1905	0	53.2	46.8	0
Biodie+Palm / EO3 / 2-ethyl / ETOH	25	0.422	624	10	1693	0	58.2	41.8	0
Biodie+Palm / EO3 / 2-ethyl / ETOH	30	0.279	102	8	1342	0	66.4	33.6	0
Biodie+Palm / EO5 / 2-ethyl / ETOH	70	0.322	176	10	692	2	68.5	19.9	6.1
Biodie+Palm / EO5 / 2-ethyl / ETOH	67	0.317	190	10	600	1	63.3	31.3	5.3
Biodie+Palm / EO9 / 2-ethyl / ETOH	12	0.347	161	8	1427	0	72.8	27.2	0
Biodie+Palm / EO9 / 2-ethyl / ETOH	11	0.310	156	8	1677	0	77.8	22.2	0
Biodie+Palm / EO9 / 2-ethyl / ETOH	14	0.354	182	8	1557	0	68.3	31.7	0



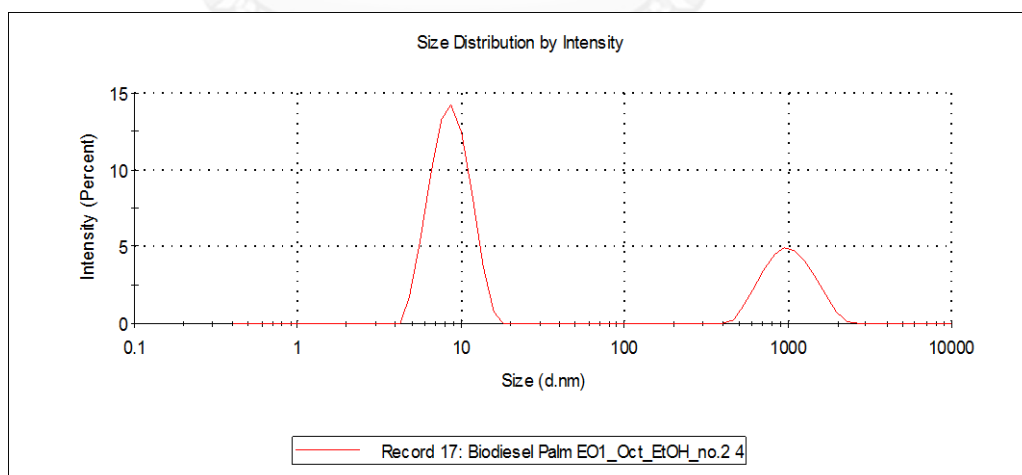
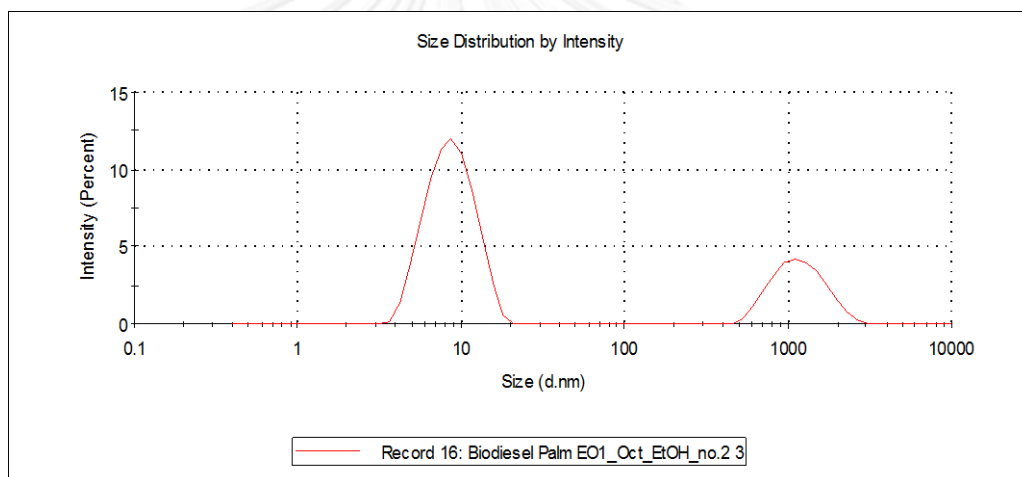
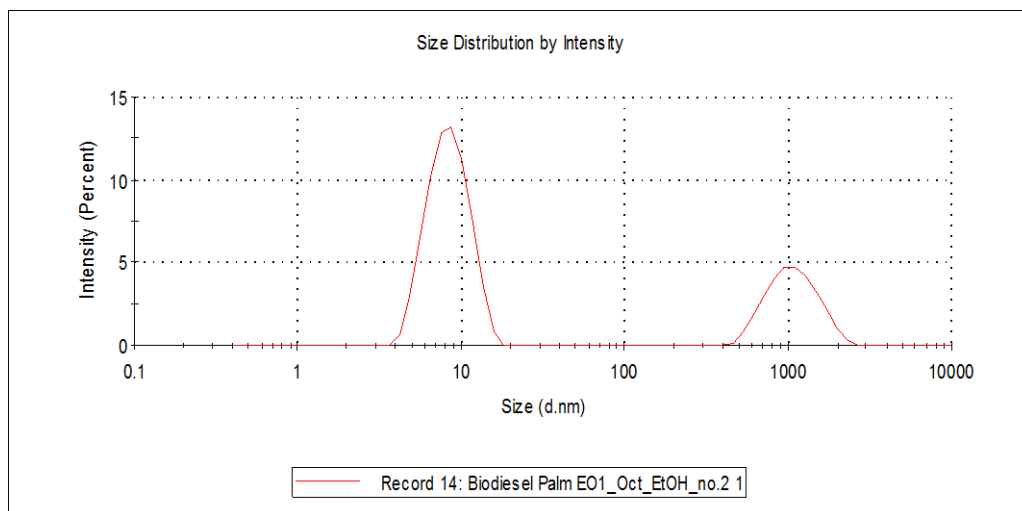
ภาพที่ ง-1 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมดีเซล EO1/ออกทานอล และเอทานอล จำนวน 3 ซ้ำ



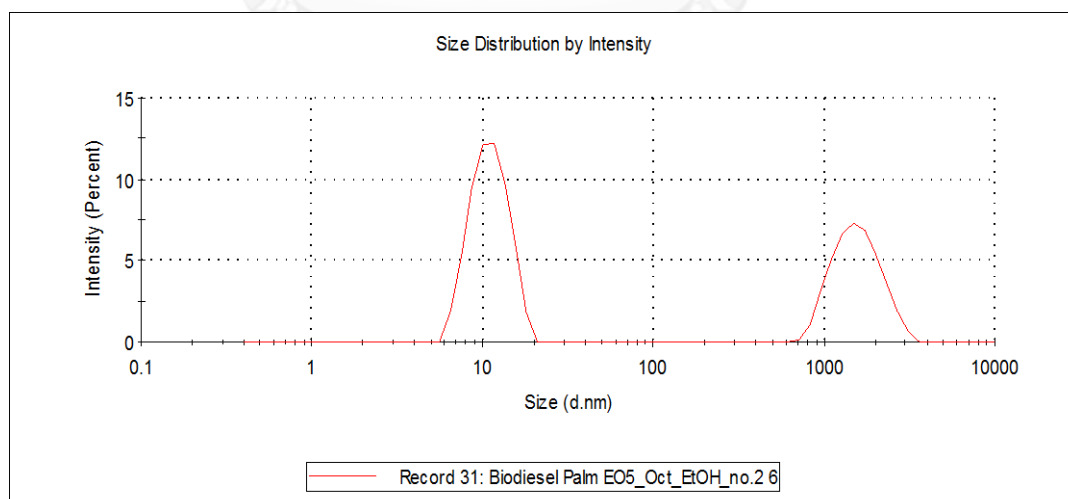
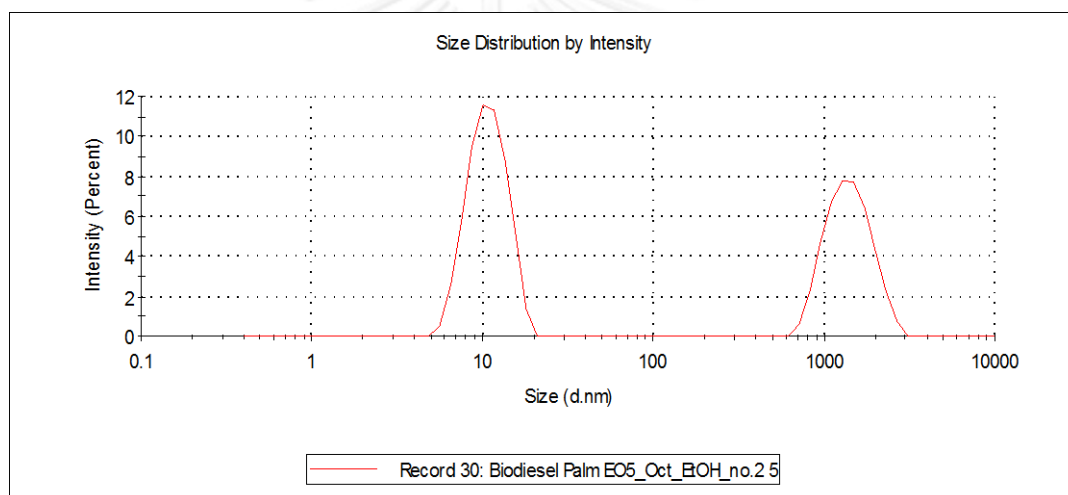
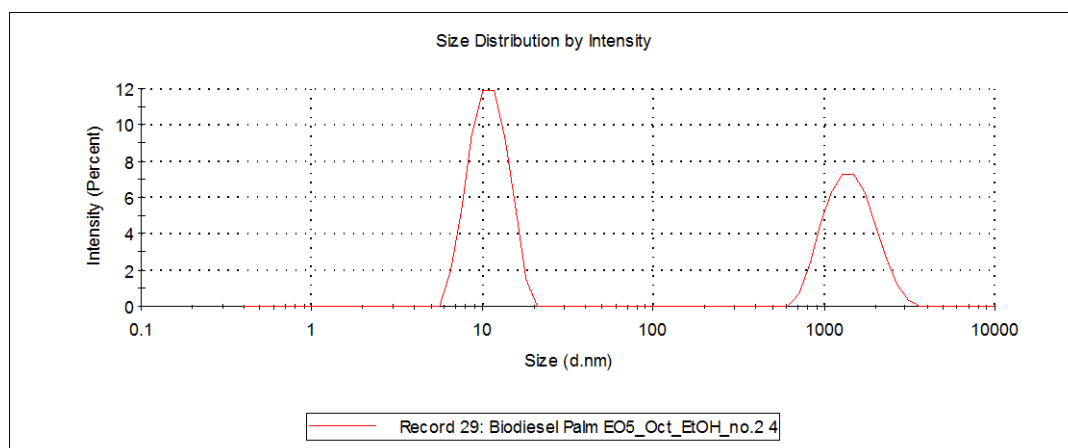
ภาพที่ ง-2 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมดีเซล EO5/ออกทานอล และเอทานอล จำนวน 3 ซ้ำ



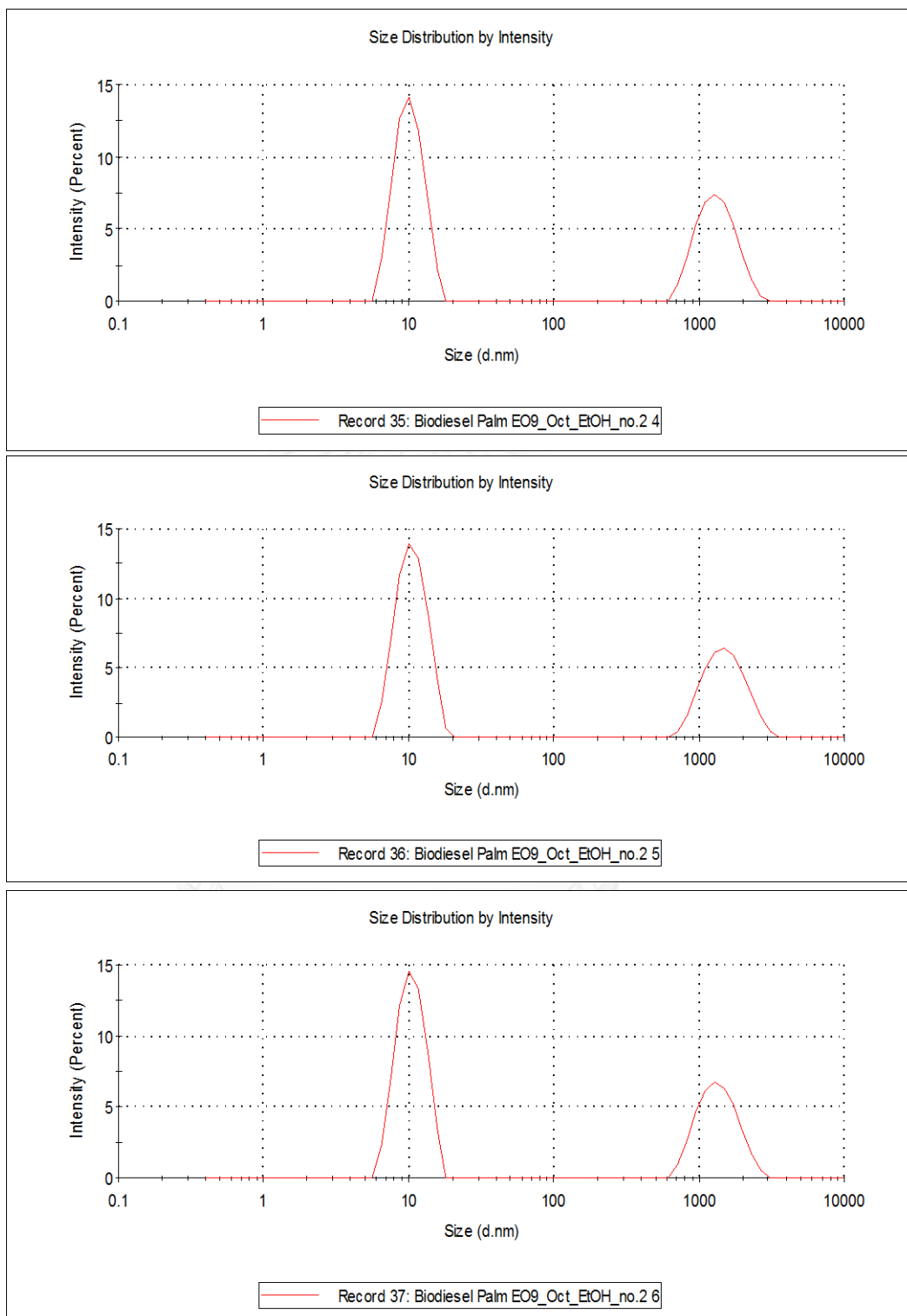
ภาพที่ ง-3 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมดีเซล EO9/ ออกทานอล และเอทานอล จำนวน 3 ซ้ำ



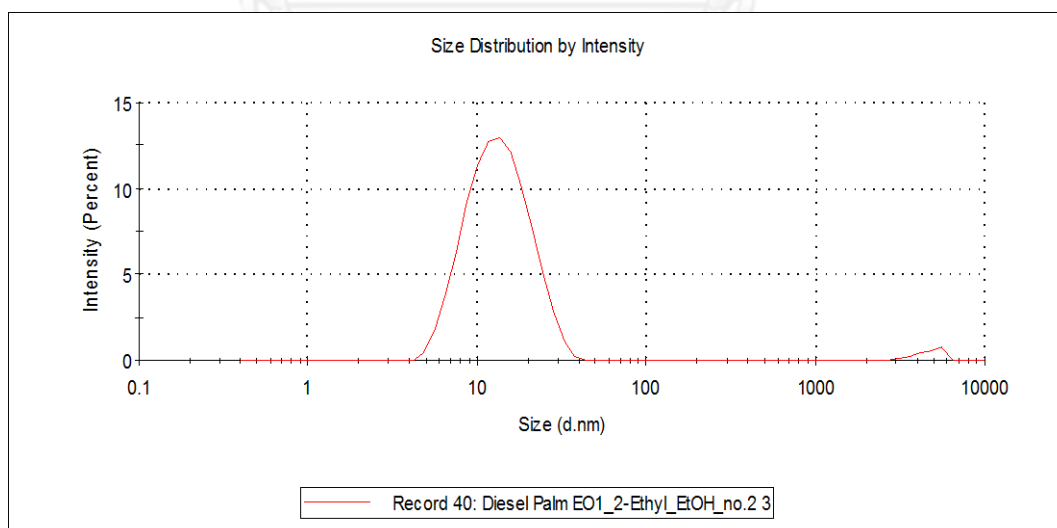
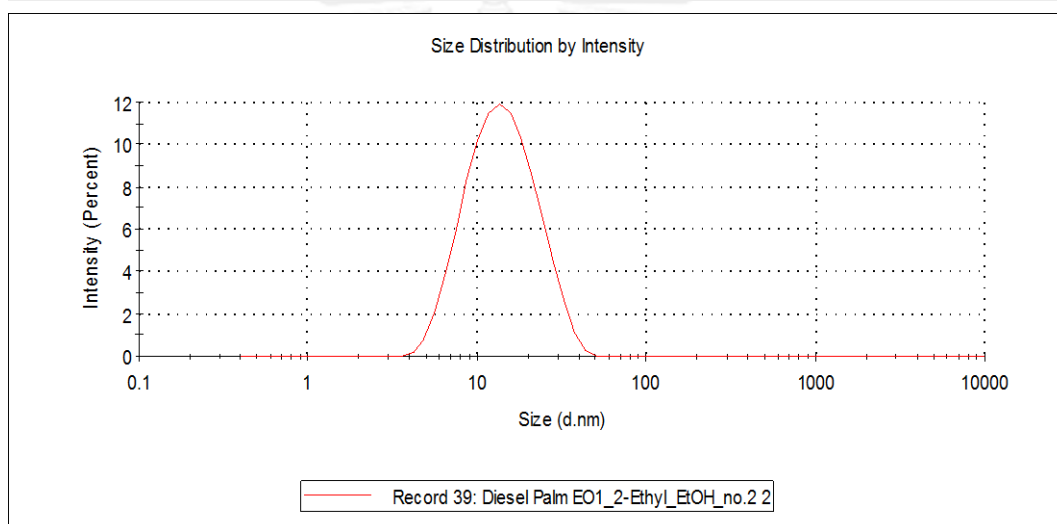
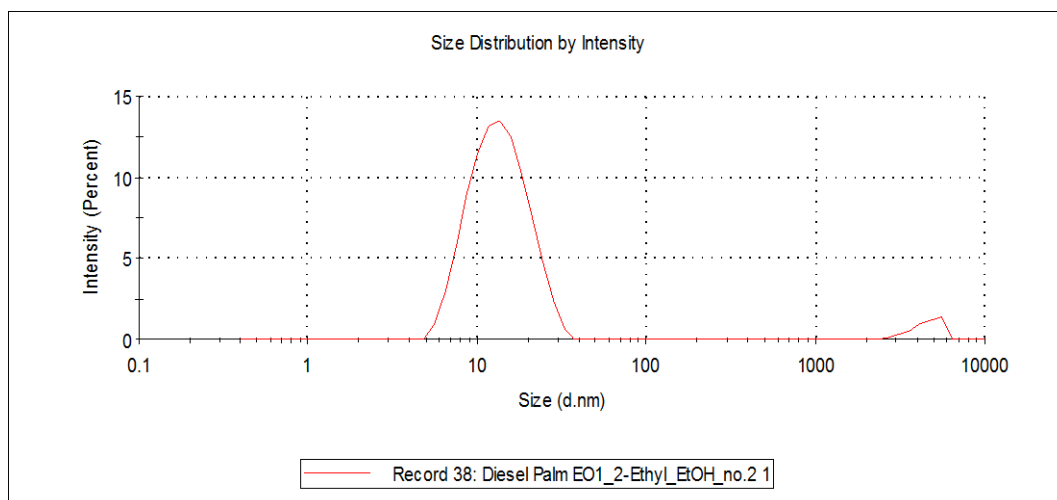
ภาพที่ ง-4 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล EO1/ ออกทานอล และเอทานอล
จำนวน 3 ซ้ำ



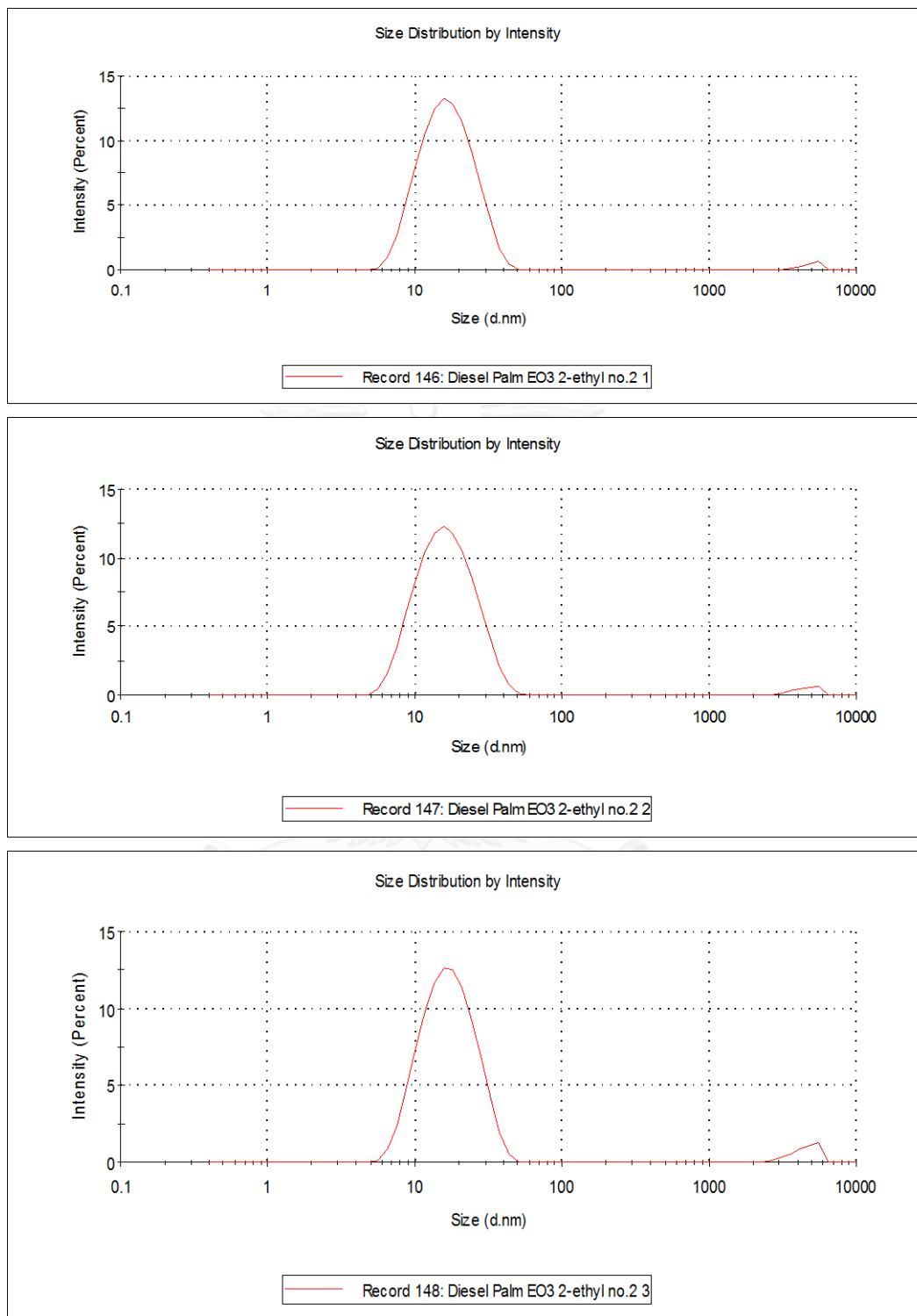
ภาพที่ ง-5 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล EO5/ ออกทานอล และเอทานอล จำนวน 3 ชั้น



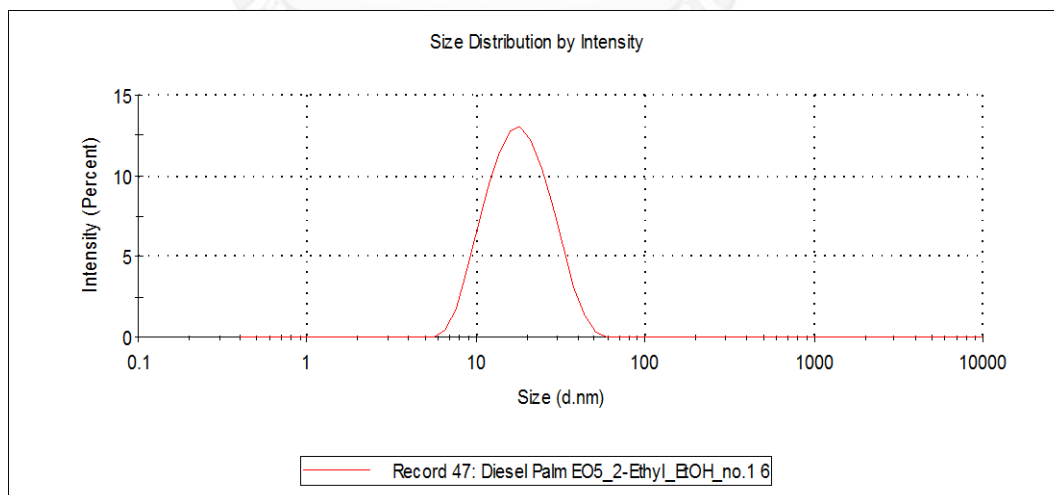
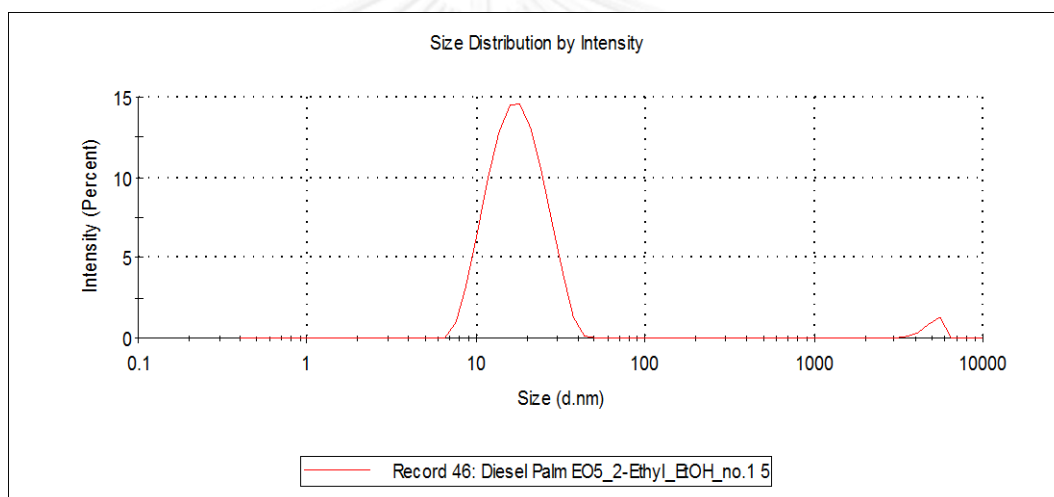
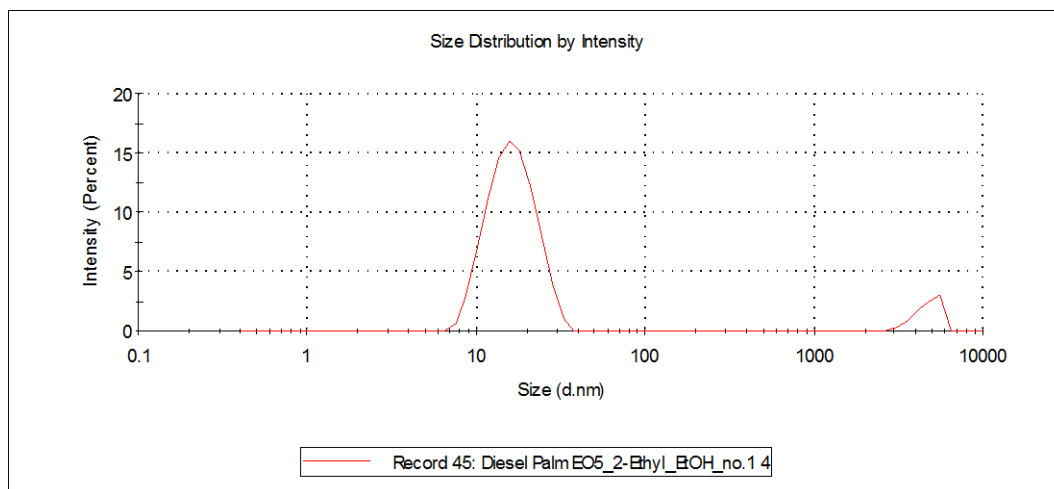
ภาพที่ ง-6 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล EO9/ ออกทานอล และเอทานอล
จำนวน 3 ซ้ำ



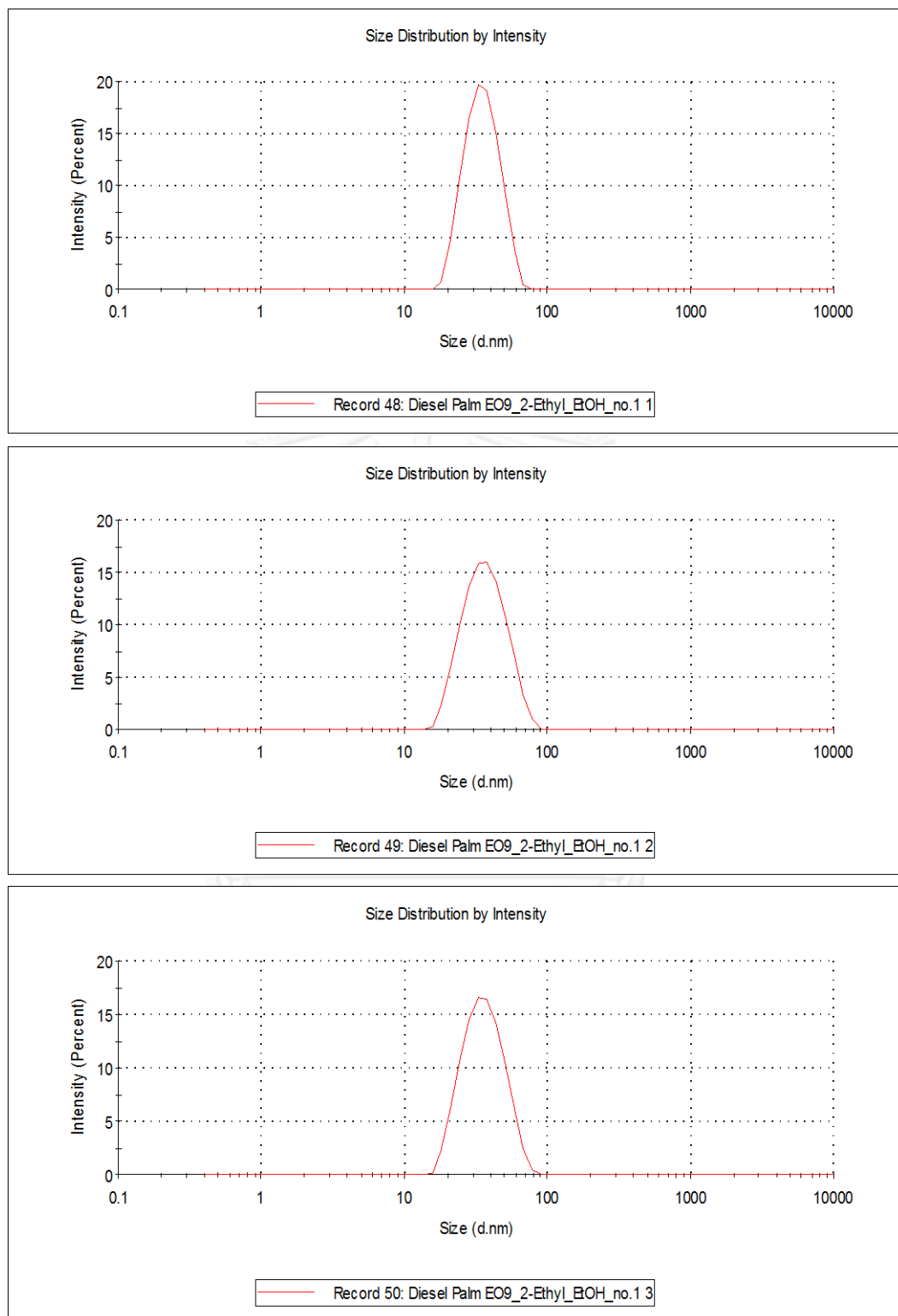
ภาพที่ ง-7 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมดีเซล EO1/ สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และเอทานอล
จำนวน 3 ซ้ำ



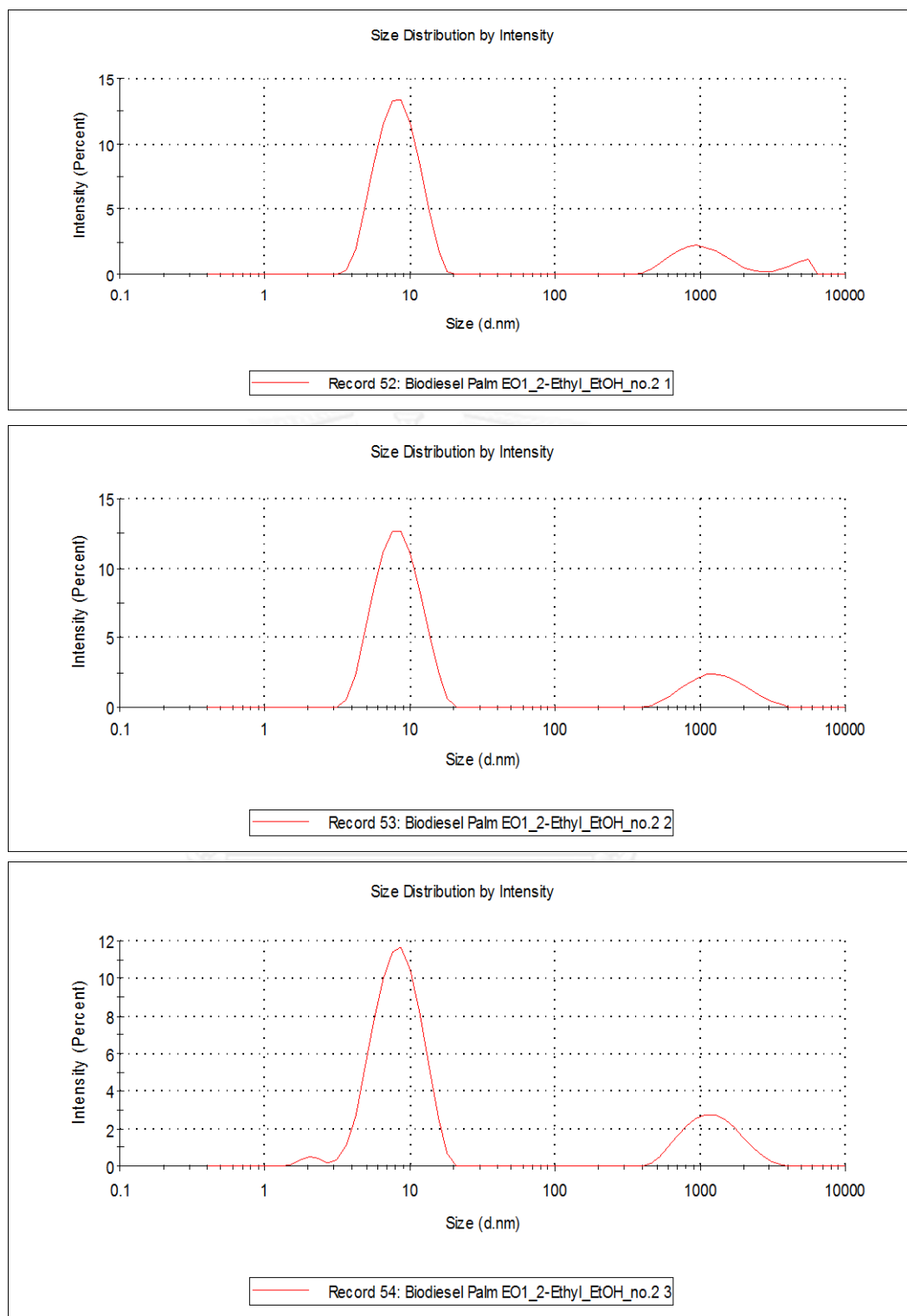
ภาพที่ ง-8 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมดีเซล EO3/ สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และเอทานอล
จำนวน 3 ซ้ำ



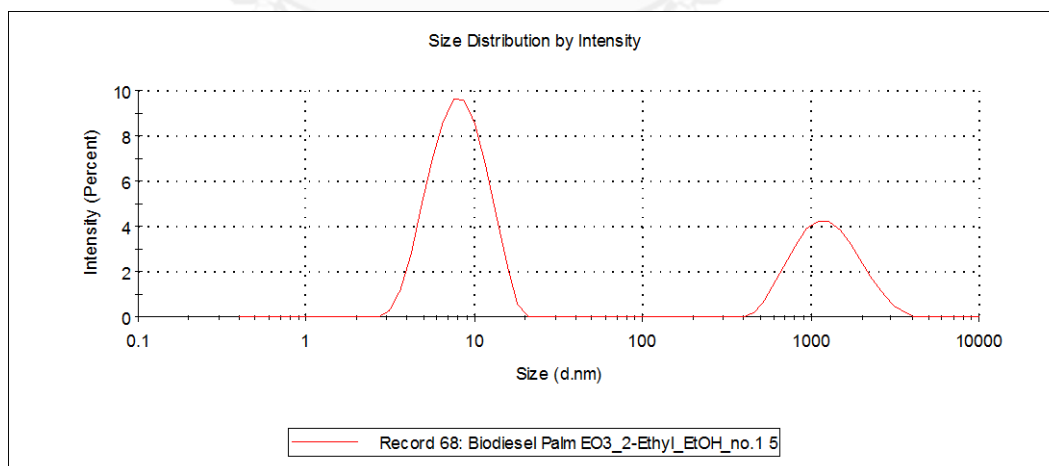
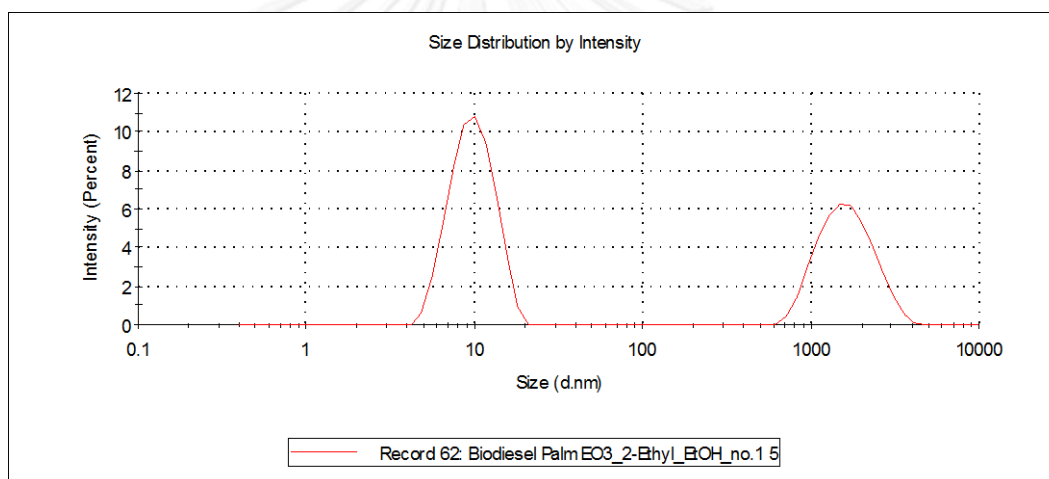
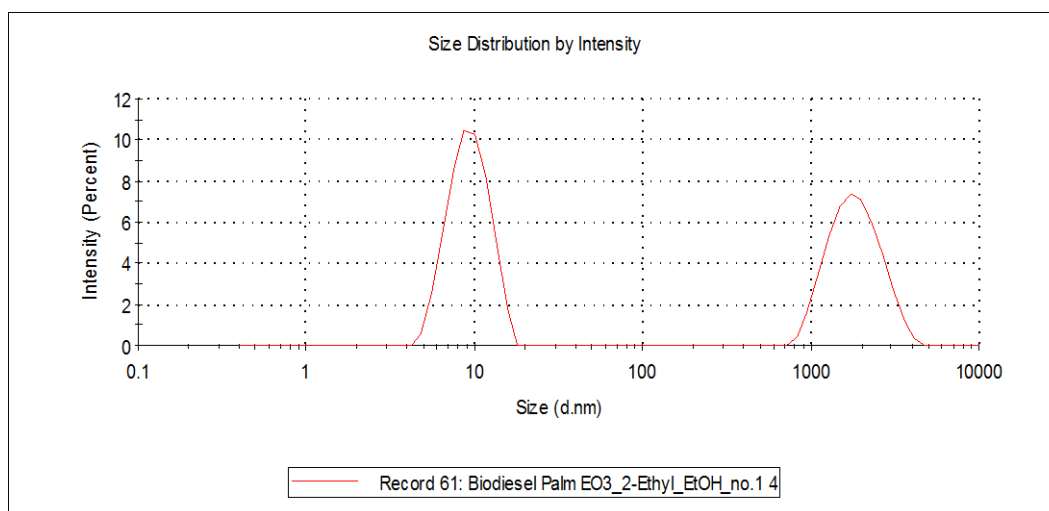
ภาพที่ ง-9 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมดีเซล EO5/ สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และเอทานอล
จำนวน 3 ซ้ำ



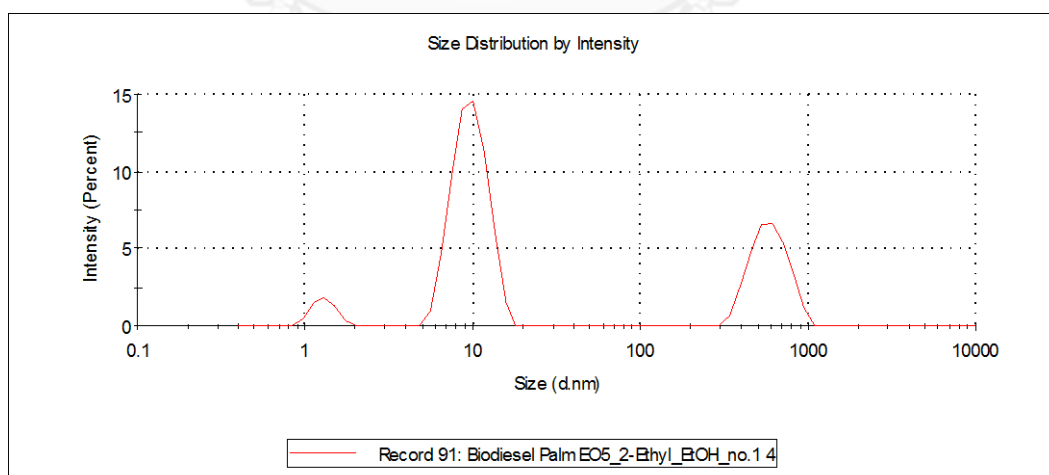
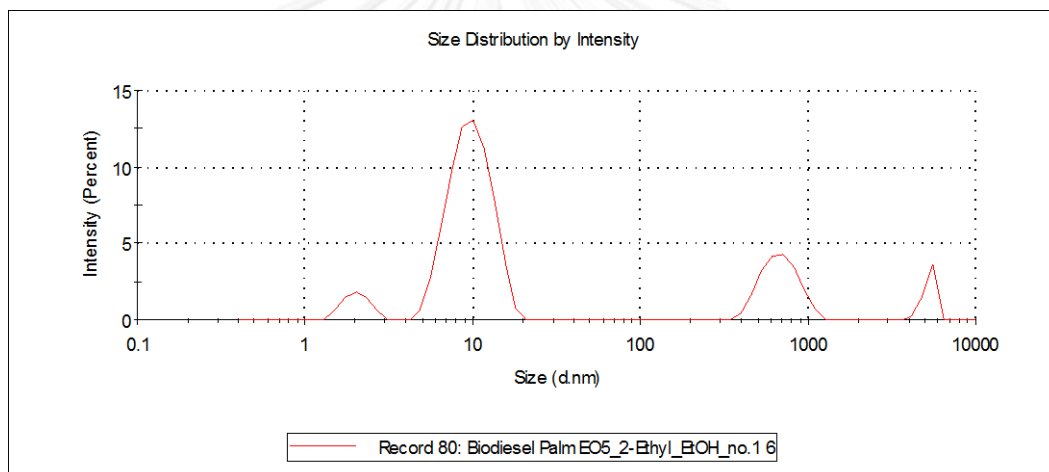
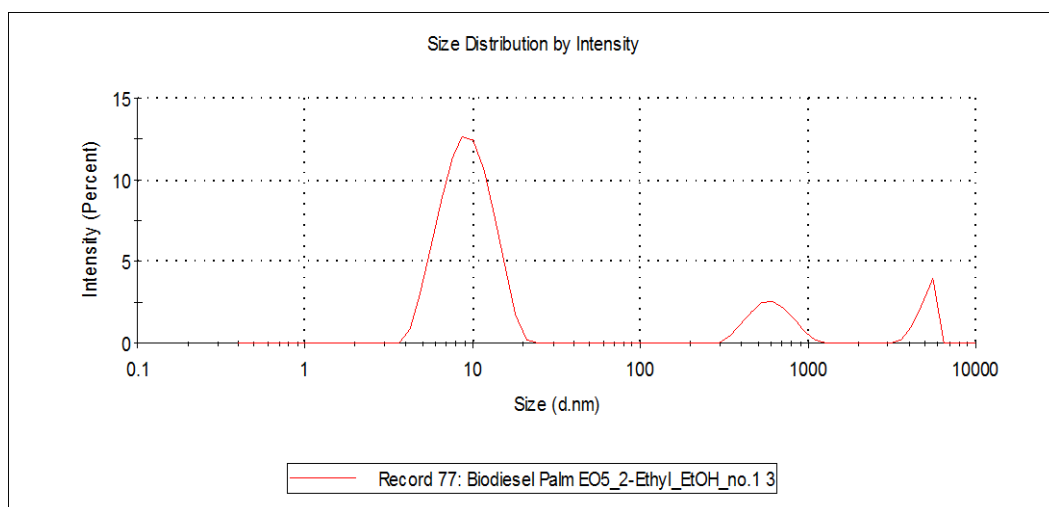
ภาพที่ ง-10 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมดีเซล EO9/ สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และเอทานอล
จำนวน 3 ซ้ำ



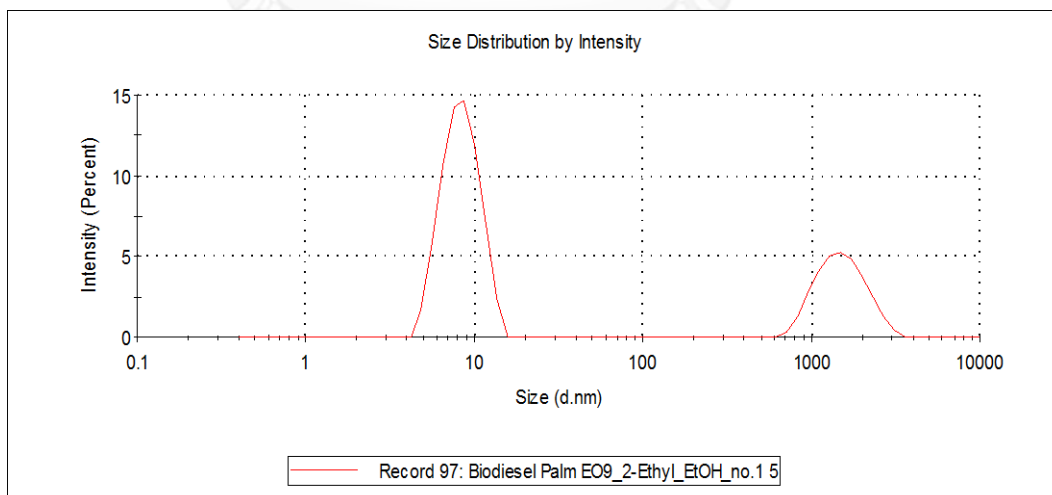
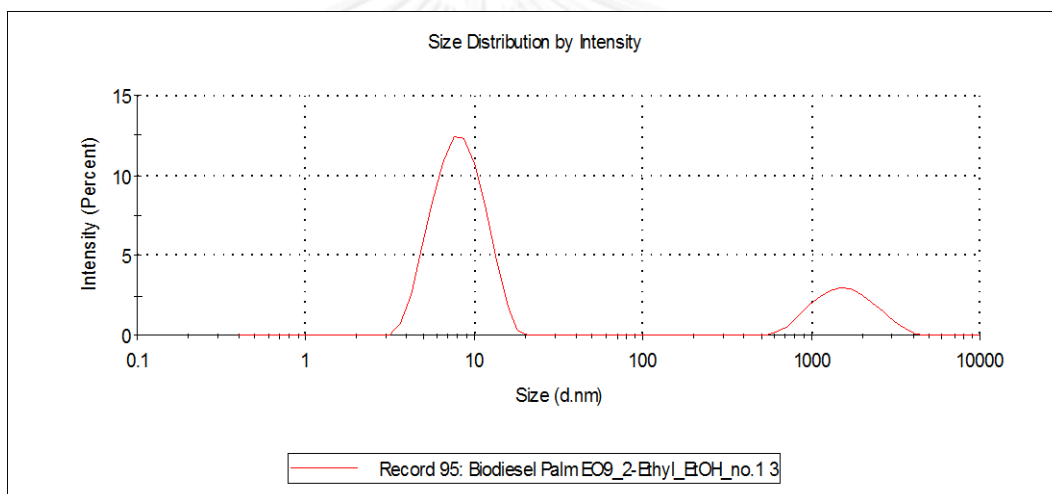
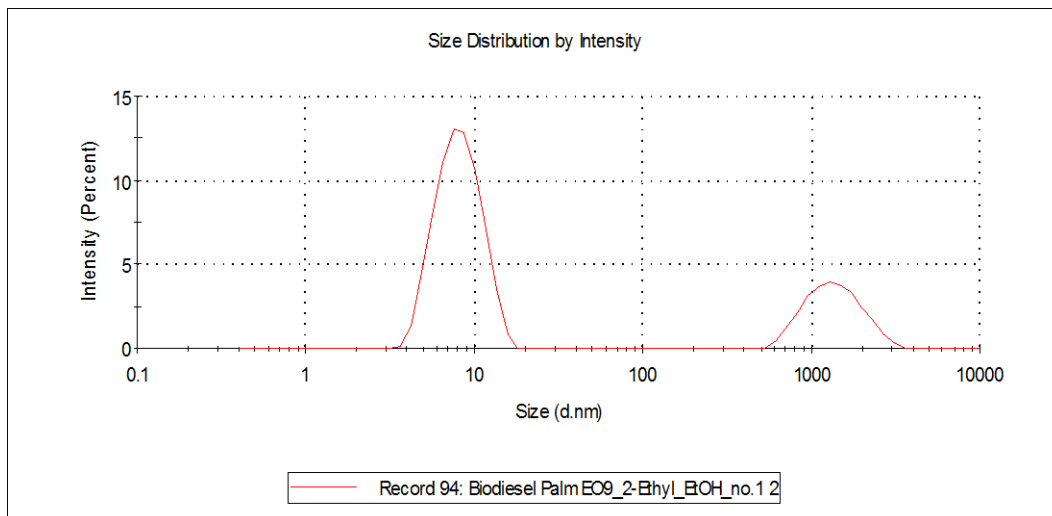
ภาพที่ ง-11 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล EO1/ สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และ เอทานอล จำนวน 3 ซ้ำ



ภาพที่ ง-12 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล EO3/ สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และ เอทานอล จำนวน 3 ซ้ำ



ภาพที่ ง-13 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล EO5/ สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และ เอทานอล จำนวน 3 ชั้น



ภาพที่ ง-14 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล EO9/ สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล และ เอทานอล จำนวน 3 ชั้น

ตารางที่ ง-10 ค่าความร้อน (heating value) ของเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดต่างๆ

น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	ส่วนที่มีขี้	ค่าความร้อน (cal/g)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1 / Oct	ETOH	9,202.0	9,314.3	9,258.2
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5 / Oct	ETOH	9,210.2	9,145.8	9,178.0
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9 / Oct	ETOH	9,265.6	9,257.7	9,261.7
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1 / Oct	ETOH	8,963.9	8,835.3	8,899.6
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5 / Oct	ETOH	8,694.4	8,756.9	8,725.7
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9 / Oct	ETOH	8,846.2	8,948.2	8,897.2
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO1 / 2-ethyl	ETOH	9,243.9	9,331.7	9,287.8
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO3 / 2-ethyl	ETOH	9,229.8	9,231.2	9,230.5
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO5 / 2-ethyl	ETOH	9,302.7	9,254.4	9,278.6
น้ำมันปาล์ม+ดีเซล	EO9 / 2-ethyl	ETOH	9,406.5	9,429.3	9,417.9
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO1 / 2-ethyl	ETOH	8,724.8	8,792.7	8,758.8
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO3 / 2-ethyl	ETOH	8,710.6	8,751.6	8,731.1
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO5 / 2-ethyl	ETOH	8,897.3	8,979.3	8,938.4
น้ำมันปาล์ม+ไบโอดีเซล	EO9 / 2-ethyl	ETOH	8,890.1	8,869.8	8,880.0



ตารางที่ ง-11 ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

Sample	AT (C°)	Pump (l/m)	CO (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (ppm)	NO ₂ (ppm)	FT (C°)	NOx (ppm)	NO (ppm)
Diesel	30.9	1.04	485	3.53	14.77	27.2	230.5	637	610
Diesel+palm/ EO1/ Oct	26.7	1	300	1.16	18.96	26.4	156	217	191
Diesel+palm / EO9/ Oct	33.8	0.97	275	1.52	10.22	26.5	169.6	279	253
Biodiesel+palm / EO1/ Oct	32.5	1.04	521	3.41	14.99	30.4	219.4	512	482
Biodiesel+palm / EO9/ Oct	32.3	1.06	492	3.45	14.91	38.2	223.5	536	498
Diesel+palm / EO1/ 2-ethyl	35.6	1.04	316	2.24	17.05	22.7	179.5	383	368
Diesel+palm / EO9/ 2-ethyl	32.4	0.98	415	2.3	16.94	29.1	173.4	377	340
Biodiesel+palm / EO1/ 2-ethyl	33.0	1.01	767	2.87	15.87	34.1	212.6	352	318
Biodiesel+palm / EO9/ 2-ethyl	34.3	0.98	647	3.42	14.96	47.3	213.3	551	504

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนิจวรรณ อนันตรกิตติ เกิดเมื่อวันที่ 28 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าจอมเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2554

ผลงานวิจัยส่วนหนึ่งจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เผยแพร่ในงานประชุม International Conference on Advances in Civil, Structural, Environmental & Bio-Technology – CSEB 2014 จัดที่โรงแรม G Tower Hotel ในชื่อหัวข้อ Effect of nonionic surfactant structure on fuel properties of microemulsion-based biofuel from palm oil ที่กัวลาลัมเปอร์ มาเลเซีย วันที่ 8 – 9 มีนาคม 2557



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY