

ผลของลักษณะสมบัติของน้ำมันพืชต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วย  
วิธีการไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ



นางสาวศิริณี เพ็งปรีชา

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.

THE EFFECT OF VEGETABLE OIL PROPERTIES OF THE BIOFUEL, PREPARED BY  
MICROEMULSION BASE USING NONIONIC SURFACTANTS

Miss Sirinee Pengpreecha



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

ผลของลักษณะสมบัติของน้ำมันพืชต่อลักษณะสมบัติของ  
เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันโดยใช้  
สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ

โดย

นางสาวศิริณี เฟื่องปรีชา

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเอียร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเอียร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.เชาวลิต เสนานุรักษ์วรกุล)

ศิริณี เพ็งปรีชา : ผลของลักษณะสมบัติของน้ำมันพืชต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ. (THE EFFECT OF VEGETABLE OIL PROPERTIES OF THE BIOFUEL, PREPARED BY MICROEMULSION BASE USING NONIONIC SURFACTANTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.สุธา ขาวเขียว, 198 หน้า.

ปัจจุบันน้ำมันพืชได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการทดแทนพลังงานเดิมที่มีอยู่เรียกว่า พลังงานทางเลือก เนื่องจากน้ำมันพืชส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย และในอนาคตการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเนื่องจากสามารถลดการพึ่งพาน้ำมันจากต่างประเทศ ส่งเสริมพลังงานสะอาด และนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน แต่เนื่องด้วยน้ำมันพืชมีความหนืดสูงจึงจำเป็นต้องลดความหนืดก่อนนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน ซึ่งกระบวนการไมโครอิมัลชันเป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืช สารลดแรงตึงผิว และเอทานอล เพื่อให้เกิดความมีเสถียรภาพเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นการศึกษางานวิจัยนี้นำกระบวนการไมโครอิมัลชันมาใช้เพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยใช้ชนิดน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมดีเซลหรือไบโอดีเซล ที่อัตราส่วน 50:50 ที่ปริมาตร 75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สารลดแรงตึงผิว (ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 โอเลิลแอลกอฮอล์ และเมทิลโอเลเตต) ผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม (ออกทานอล และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์) ที่อัตราส่วน 1:8 ที่ปริมาตร 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเอทานอลเกรดการค้าความบริสุทธิ์ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาตร 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เกิดเป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะได้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่นำมาศึกษาคุณสมบัติและเปรียบเทียบตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM (American Standard Testing Method) ของเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และจากการทดสอบการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ พบว่า ชนิดของน้ำมันพืช คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพมีการปล่อยก๊าซไอเสียน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง เพราะฉะนั้นการนำน้ำมันพืชมาผ่านกระบวนการไมโครอิมัลชันถือเป็นเทคนิคหนึ่งเพื่อใช้ในการผลิตน้ำมันทางเลือก

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

# # 5470391621 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: BIOFUEL / MICROEMULSION FUEL / VEGETABLE OIL / NONIONIC SURFACTANT

SIRINEE PENGPREECHA: THE EFFECT OF VEGETABLE OIL PROPERTIES OF THE BIOFUEL, PREPARED BY MICROEMULSION BASE USING NONIONIC SURFACTANTS. ADVISOR: ASSOC. PROF. SUTHA KHAODHIAR, PH.D, 198 pp.

Currently, vegetable oils are of interest as a bio-based feedstock in the production of environmentally friendly alternative fuel due to vegetable oil has less effects on the environment and the future use of biofuels has been increasing in popularity. The high viscosity of vegetable oils and that its viscosity is necessary to be reduced before using in engines. Microemulsification is an emerging technology to formulate mixtures of vegetable oil, surfactant and ethanol to thermodynamically stable and homogeneous. Thus, this research studied the microemulsification used to produce biofuels. Three components are vegetable oil (used palm oil, palm oil and soybean oil) blend with diesel or biodiesel at a ratio of 50:50% (v/v) with 75 percent by weight, surfactant (dehydol LS1, dehydol LS5, oleyl alcohol and methyl oleate) mixed with cosurfactant (octanol and ethylene glycol butyl ether) at a ratio of 1:8 with 5 percent by weight, and ethanol purity commercial grade volume of 20 percent by weight. Microemulsion biofuels used to study for their properties and analyzed by standard ASTM of diesel no.2 and biodiesel. The results show that the microemulsion biofuels properties were met the biodiesel fuel standard. For engine exhaust emission test, found that used palm oil with less exhaust emissions compared to palm oil and soybean oil. Therefore, vegetable oil by microemulsion process can be a promising technique for producing an alternative fuel.

Department: Environmental  
Engineering

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Field of Study: Environmental  
Engineering

Academic Year: 2013

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเอียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ คำปรึกษา คำแนะนำ แนวทาง ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาโดยตลอด

รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ อาจารย์ ดร.อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ และดร.เขาวลิต เสนานุรักษ์วรกุล ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำแนะนำ ทิชม แก่ในงานวิจัยนี้ให้เป็นไปในแนวทางที่ดี

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกๆท่าน ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

พี่รามนรี เนตรวิเชียร พี่นวลกมล อาภรณ์พงษ์ และอาจารย์ ดร.อัมพิรา เจริญแสง สำหรับการช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทดลอง

นายประภาส ประสงค์ดี สำหรับข้อมูลเรื่องการใช้เครื่องยนต์ดีเซล

ขอขอบคุณบริษัท วีระสุวรรณ จำกัด สำหรับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด สำหรับสารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 และดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณร้านข้าวเหนียวไก่ทอดอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับน้ำมันปาล์มใช้แล้ว ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือข้าพเจ้าทุกอย่าง

และสุดท้ายที่ขาดไม่ได้เลย ต้องขอบคุณครอบครัวที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจและให้คำแนะนำข้าพเจ้า รวมทั้งสนับสนุนและให้โอกาสทางการศึกษาเป็นอย่างดี

CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 .....	1
บทนำ.....	1
1. 1      ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1. 2      วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3      สมมติฐาน.....	2
1. 4      ขอบเขตของการวิจัย .....	3
1. 5      ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1      น้ำมันพืช (Vegetable oil).....	4
2.2      น้ำมันปาล์ม (Palm oil) .....	7
2.2.1      ปาล์มน้ำมันเกิดจากผลปาล์ม 2 ส่วน.....	7
2.2.2      พันธุ์ปาล์มน้ำมันแบ่งเป็น 3 พันธุ์.....	7
2.3      น้ำมันพืชใช้แล้ว (Used vegetable oil).....	8
2.3.1      ไดออกซิน (Dioxin) .....	8
2.4      น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil).....	10
2.5      กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	10
2.5.1      การใช้โดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล (Direct use or blending).....	10
2.5.2      ไพโรไลซิส (Pyrolysis) .....	10
2.5.3      ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification).....	11
2.5.4      ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion).....	11
2.6      สารลดแรงตึงผิว (Surfactant).....	12

2.6.1	สารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Anionic surfactant) .....	13
2.6.2	สารลดแรงตึงผิวประจุบวก (Cationic surfactant).....	13
2.6.3	สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) .....	13
2.6.4	สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Amphoteric surfactant, Zwitterionic surfactant).....	13
2.7	ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion).....	13
2.7.1	ชนิดของอิมัลชัน .....	14
2.7.2	ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชัน .....	16
2.8	แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary phase diagram).....	17
2.9	น้ำมันดีเซล (Diesel fuel).....	18
2.9.1	ชนิดของน้ำมันดีเซล .....	18
2.10	ไบโอดีเซล (Biodiesel).....	19
2.10.1	ประเภทของไบโอดีเซล .....	19
2.11	เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel).....	19
2.11.1	ประเภทของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	20
2.12	คุณสมบัติเชื้อเพลิง (Fuel property).....	20
2.12.1	ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (Kinematic viscosity) .....	20
2.12.2	เลขซีเทน (Cetane number).....	21
2.12.3	จุดวาบไฟ (Flash point) .....	21
2.12.4	จุดขุ่น (Cloud point).....	21
2.12.5	จุดไหลเท (Pour point).....	21
2.12.6	คาร์บอนตกค้าง (Carbon residue).....	21
2.12.7	ปริมาณของน้ำ (Water content).....	21
2.12.8	ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) .....	22
2.12.9	ค่าความเป็นกรด (Acid number).....	22
2.12.10	ค่าความร้อน (Gross heat of combustion) .....	22
2.13	เครื่องยนต์ดีเซล.....	23
2.13.1	วงจรการทำงาน of เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ.....	23



2.13.2	วงจรการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ.....	24
2.14	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	25
บทที่ 3	แผนการทดลอง และการดำเนินงานวิจัย .....	32
3.1	แผนการทดลอง.....	32
3.2	เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี.....	33
3.2.1	เครื่องมือและอุปกรณ์.....	34
3.2.2	สารเคมี 34	
3.3	วิธีดำเนินงานวิจัย .....	36
3.3.1	การทดลองช่วงที่ 1 ศึกษาวิธีการบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้ว .....	36
3.3.1.1	การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางกายภาพโดยกลไกการกรองด้วยผ้าขาวบาง.	36
3.3.1.2	การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางเคมีโดยกลไกการนำน้ำมันปาล์มใช้แล้วเข้าไกล์	37
	ปฏิบัติกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน .....	37
3.3.2	การทดลองช่วงที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	39
3.3.2.1	การทดลองช่วงที่ 2.1 ศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน .....	45
3.3.2.2	การทดลองช่วงที่ 2.2 ศึกษาวัฏภาคแผนภูมิสามเหลี่ยม.....	46
3.3.2.3	การทดลองช่วงที่ 2.3 ศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ .....	47
3.3.3	การทดลองช่วงที่ 3 ศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	51
3.3.4	การทดลองช่วงที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพ และการปล่อยก๊าซไอเสียสู่บรรยากาศของ	
	เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	54
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	56
4.1	การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้ว .....	56
4.1.1	การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางกายภาพโดยกลไกการกรองด้วยผ้าขาวบาง .....	56
4.1.2	การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางเคมีโดยกลไกการนำน้ำมันปาล์มใช้แล้วเข้าไกล์	
	ปฏิบัติกริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน .....	57
4.2	กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน .....	57
4.2.1	ศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน.....	57
4.2.2	ศึกษาวัฏภาคของสารโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม.....	61
4.2.3	ศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์.....	67

4.3	ศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	78
4.3.1	ศึกษาขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	78
4.3.2	ศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	79
4.3.3	ศึกษาจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	82
4.3.4	ศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	86
4.3.5	ศึกษาค่าจุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	90
4.3.6	ศึกษาปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	90
4.3.7	ศึกษาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	93
4.3.8	ศึกษาค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	95
4.4	ศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียสู่บรรยากาศของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	99
4.5	ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการเตรียมไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืช.....	103
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และความสัมพันธ์กับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม .....	106
5. 1	สรุปผลการวิจัย .....	106
5. 2	ข้อเสนอแนะ.....	108
5. 3	ความสัมพันธ์กับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม .....	108
	รายการอ้างอิง .....	109
	ภาคผนวก.....	114
	ภาคผนวก ก.....	115
	ภาคผนวก ข.....	118
	ภาคผนวก ค.....	164
	ภาคผนวก ง .....	194
	ภาคผนวก จ.....	196
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	198

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2 - 1	จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ..... 5
ตารางที่ 2 - 2	ปริมาณผลผลิตพืชไขมันของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2548 – พ.ศ. 2552 .....6
ตารางที่ 2 - 3	คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล ..... 6
ตารางที่ 2 - 4	คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของสารไดออกซิน ..... 9
ตารางที่ 2 - 5	ปริมาณของสารไดออกซินที่มีโอกาสเกิดขึ้นในการเผาไหม้วัสดุ..... 9
ตารางที่ 2 - 6	ความแตกต่างระหว่างอิมัลชันและไมโครอิมัลชัน ..... 14
ตารางที่ 2 - 7	คุณสมบัติมาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ..... 23
ตารางที่ 3 - 1	คุณสมบัติสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุและสารลดแรงตึงผิวร่วม..... 36
ตารางที่ 3 - 2	ตัวแปรการทดลองช่วงที่ 1 ..... 39
ตารางที่ 3 - 3	จำนวนสารที่ใช้ในการทดลอง 64 หลอดทดลอง..... 42
ตารางที่ 3 - 4	ตัวแปรการทดลองช่วงที่ 2.1 ..... 46
ตารางที่ 3 - 5	ตัวแปรการทดลองช่วงที่ 2.2 ..... 48
ตารางที่ 3 - 6	ตัวแปรการทดลองช่วงที่ 2.3 ..... 50
ตารางที่ 3 - 7	พารามิเตอร์และวิธีการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพ..... 53
ตารางที่ 4 - 1	เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันและไม่รวมตัวกัน .. 59
ตารางที่ 4 - 2	ขนาดอนุภาคเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันบนความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ที่ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ..... 80
ตารางที่ 4 - 3	การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1, 2, 7 และ 30 วัน ..... 84
ตารางที่ 4 - 4	การเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อุณหภูมิ 0, -3 และ -6 องศาเซลเซียส ..... 88
ตารางที่ 4 - 5	เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซล ประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ..... 99

ตารางที่ 4 - 6	องค์ประกอบของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (จุฑาธิป พลอยศรีมงคล, 2550).....	102
ตารางที่ 4 - 7	เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน 1 ลิตร ประกอบด้วย.....	106



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2 - 1	โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช.....	4
ภาพที่ 2 - 2	ลักษณะของผลปาล์ม.....	7
ภาพที่ 2 - 3	โครงสร้างไดออกซิน.....	9
ภาพที่ 2 - 4	ลักษณะของถั่วเหลือง.....	10
ภาพที่ 2 - 5	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์.....	11
ภาพที่ 2 - 6	โครงสร้างสารลดแรงตึงผิว.....	12
ภาพที่ 2 - 7	การจัดเรียงไมโครอิมัลชัน.....	16
ภาพที่ 2 - 8	วินเซอร์ของไมโครอิมัลชันแต่ละชนิด.....	17
ภาพที่ 2 - 9	แผนภาพสามเหลี่ยม.....	18
ภาพที่ 2 - 10	การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ.....	24
ภาพที่ 2 - 11	การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ.....	24
ภาพที่ 3 - 1	ขั้นตอนการทดลอง.....	33
ภาพที่ 3 - 2	ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 1.....	39
ภาพที่ 3 - 3	ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 2.....	41
ภาพที่ 3 - 4	ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 2.1.....	46
ภาพที่ 3 - 5	ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 2.2.....	48
ภาพที่ 3 - 6	เครื่องมือวัดความหนืด (Viscometer).....	49
ภาพที่ 3 - 7	ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 2.3.....	50
ภาพที่ 3 - 8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและชนิดน้ำมันพืช ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	51
ภาพที่ 3 - 9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	52
ภาพที่ 3 - 10	ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 3.....	54
ภาพที่ 3 - 11	ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 4.....	56
ภาพที่ 4 - 1	(ก) น้ำมันปาล์มใช้แล้ว (ข) น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ.....	57
ภาพที่ 4 - 2	น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ และน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางเคมี.....	58

ภาพที่ 4 - 3 (ก) เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Separate phase) และ (ข) เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) .....	62
ภาพที่ 4 - 4 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนประกอบของน้ำมันถั่วเหลือง (ก) เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Separate phase) และ (ข) เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase).....	62
ภาพที่ 4 - 5 แผนภูมิสามเหลี่ยม โดยเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มผสมดีเซลและน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร.....	63
ภาพที่ 4 - 6 แผนภูมิสามเหลี่ยม โดยเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอลเอทิลีนออกไซด์1 สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล อัตราส่วน 1:8 โดยโมล น้ำมันพืชผสมดีเซลและน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล 50:50 โดยปริมาตร .....	64
ภาพที่ 4 - 7 แผนภูมิสามเหลี่ยม โดยเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอลเอทิลีนออกไซด์1 สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ อัตราส่วน 1:8 โดยโมล น้ำมันพืชผสมดีเซล และน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล 50:50 โดยปริมาตร.....	65
ภาพที่ 4 - 8 แผนภูมิสามเหลี่ยม โดยเปรียบเทียบเอทานอลความบริสุทธิ์ 95% และเอทานอลความบริสุทธิ์ 99% สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอลเอทิลีนออกไซด์1 สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล อัตราส่วน 1:8 โดยโมล น้ำมันปาล์มผสมดีเซล 50:50 โดยปริมาตร.....	67
ภาพที่ 4 - 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส.....	69
ภาพที่ 4 - 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส .....	70
ภาพที่ 4 - 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	71
ภาพที่ 4 - 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส .....	72
ภาพที่ 4 - 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส .....	73
ภาพที่ 4 - 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส .....	74
ภาพที่ 4 - 15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	76

ภาพที่ 4 - 16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส .....	77
ภาพที่ 4 - 17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส .....	81
ภาพที่ 4 - 18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส .....	82
ภาพที่ 4 - 19	การเกิดจุดขุ่น (เกิดผลึก) และไม่เกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เวลา 30 วัน .....	83
ภาพที่ 4 - 20	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล .....	93
ภาพที่ 4 - 21	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ .....	94
ภาพที่ 4 - 22	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล .....	95
ภาพที่ 4 - 23	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล .....	96
ภาพที่ 4 - 24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล .....	97
ภาพที่ 4 - 25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ .....	98
ภาพที่ 4 - 26	ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อเพลิงชีวภาพและคาร์บอนมอนนอกไซด์ .....	103
ภาพที่ 4 - 27	ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อเพลิงชีวภาพและไนโตรเจนออกไซด์ .....	104

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1. 1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานเชื้อเพลิงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน พลังงานในรูปเชื้อเพลิงฟอสซิลถูกนำมาใช้อย่างยาวนาน มีแนวโน้มหมดลงในไม่ช้า (Do และคณะ, 2011) เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นที่สนใจไปทั่วโลกเนื่องจากสถานการณ์ปัจจุบันมีราคาน้ำมันดิบเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยความตระหนักถึงความสำคัญของพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีการหาพลังงานเพื่อทดแทนพลังงานเดิมที่มีอยู่เรียกว่า “พลังงานทางเลือก” โดยการใช้ไขมันพืชแทนการใช้ถ่านหินเนื่องจากน้ำมันพืชส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย และในอนาคตการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพจะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเนื่องจากสามารถลดการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ ส่งเสริมพลังงานสะอาด และนำไปสู่การพัฒนาแบบยั่งยืน (กาญจนา แสงล้อมสุวรรณ, 2554) ซึ่งลักษณะสมบัติของน้ำมันพืชมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ คือ ความหนืดสูง การระเหยต่ำ และน้ำมันพืชแข็งตัวเมื่อมีอุณหภูมิต่ำ คุณสมบัติด้านความหนืดทำให้หัวฉีดเกิดการอุดตัน เกิดเส้นใยรอบวงแหวนลูกสูบ และมีการปนเปื้อนน้ำมันหล่อลื่น การแก้ไขปัญหาคความหนืดมี 4 วิธี คือ การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล วิธีไพโรไลซิส วิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และวิธีไมโครอิมัลชัน

กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเป็นที่น่าสนใจเนื่องจากมีวิธีที่ง่าย คือ การผสมสารสองชนิดที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันให้สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยใช้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ส่งผลให้อนุภาคของสารแขวนลอยมีอนุภาคเล็กลงจนมีขนาดประมาณ 1 - 100 นาโนเมตร มองด้วยตาเปล่าเห็นมีลักษณะรวมตัวกัน ซึ่งมีความเสถียรทางเทอร์โมไดนามิกส์ (เพทาย ตันธนวัฒน์ และคณะ, 2551) กระบวนการไมโครอิมัลชันมีข้อดี คือ เชื้อเพลิงที่ได้มีการเผาไหม้สมบูรณ์และเมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้ลดลงส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOX) และปริมาณฝุ่นละอองลดลง แต่มีข้อเสีย คือ มีค่าซีเทนต่ำทำให้เกิดการจุดติดไฟที่เครื่องยนต์ช้า (Do และคณะ, 2011)

น้ำมันพืชที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางเคมี น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง เป็นที่น่าสนใจในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพเนื่องจากน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีโครงสร้างและลักษณะคุณสมบัติแตกต่างกัน รวมทั้งสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน ซึ่งสารลดแรงตึงผิวเป็นตัวช่วยในการลดค่าความหนืดของน้ำมัน อย่างไรก็ตาม การใช้ไขมันปาล์มใช้แล้วเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม เนื่องจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีสารไดออกซินซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง และเป็นการเพิ่มมูลค่าน้ำมันปาล์มใช้แล้วได้เป็นอย่างดี ถึงแม้ว่าน้ำมันปาล์มจะหาได้ง่ายแต่มีข้อเสียในเรื่องความหนืด น้ำมันถั่วเหลืองจึงเป็นน้ำมันพืชอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจในการทำเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าความหนืด 57.2 เซนติพอยส์ ซึ่งมีค่า



ต่ำกว่าค่าความหนืดของน้ำมันปาล์ม คือ 88.6 เซนติพอยส์ (พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล, 2544) งานวิจัยนี้สนใจทำการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน เลือกใช้น้ำมันปาล์มใช้แล้ว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (Dehydol LS1 TH) ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 (Dehydol LS5 TH) โอลีลแอลกอฮอล์ (Oleyl alcohol) และเมทิลโอเลต (Methyl oleate) เป็นตัวช่วยประสานให้สาร 2 ชนิดรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันเนื่องจากน้ำมันพืชมีปัญหาด้านความหนืดมากส่งผลต่อการใช้งานของเครื่องยนต์ คือ เกิดคราบเขม่าเกาะบริเวณหัวฉีด ลูกสูบ แหวน และวาล์ว ทำให้เกิดการอุดตันส่งผลต่อการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำการเพิ่มสารลดแรงตึงผิวร่วม คือ ออกทานอล (1-Octanol) และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (Ethylene glycol butyl ether, EGBE) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิว โดยศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำมันพืชต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหมาะสมในกระบวนการไมโครอิมัลชัน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของชนิดและลักษณะของน้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางเคมี น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากวิธีการไมโครอิมัลชัน โดยสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของคุณสมบัติสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ และสารลดแรงตึงผิวร่วมที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันประเภทต่างๆ และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ เปรียบเทียบโดยเกณฑ์มาตรฐาน ASTM (American Standard Testing Method) ของเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล
- 1.2.4 ประเมินการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืช

## 1.3 สมมติฐาน

น้ำมันพืชที่ทำการศึกษานี้ ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางเคมี น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งมีค่าความหนืดมากที่สุดไปน้อยที่สุด ทำการลดความหนืดด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยนำน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร (Attaphong และคณะ, 2012) ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม สารลดแรงตึงผิวร่วมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมในอัตราส่วน 1:8 โดยโมล (Attaphong และคณะ, 2012) ส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM เชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และ

เชื้อเพลิงไบโอดีเซล ส่งผลด้านการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งสามารถใช้งานได้จริงกับเครื่องยนต์

#### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิตั้ง ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

- 1.4.1 น้ำมันพืชที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่
  - น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพ จากร้านข้าวเหนียวไก่ทอดอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
  - น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางเคมี จากร้านข้าวเหนียวไก่ทอดอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
  - น้ำมันปาล์ม จากบริษัท มรกตอินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
  - น้ำมันถั่วเหลือง จากบริษัท มรกตอินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
- 1.4.2 อัตราส่วนของน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซล (จากบริษัท เชลล์แห่งประเทศไทย จำกัด) และไบโอดีเซล (จากบริษัทวิรสสุวรรณ จำกัด) คือ 50:50 โดยปริมาตร (Noukamol, 2011)
- 1.4.3 สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ได้แก่ ดีไฮโดลเอทิลีนออกไซด์ 1 (Dehydol LS1 TH) ดีไฮโดลเอทิลีนออกไซด์ 5 (Dehydol LS5 TH) โอลีแอลกอฮอล์ (Oleyl alcohol) และเมทิลโอเลต (Methyl oleate) และสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ ออกทานอล (Octanol) และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (Ethylene glycol butyl ether, EGBE) ในอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล (Noukamol, 2011)
- 1.4.4 วิเคราะห์คุณสมบัติ ได้แก่ ความหนืด ขนาดอนุภาค ความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเท จุดวาบไฟ ปริมาณน้ำ ปริมาณเถ้า และค่าความเป็นกรด เปรียบเทียบคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM (American Standard Testing Method) ของเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล
- 1.4.5 วิเคราะห์การปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>)
- 1.4.6 ประเมินการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชแต่ละชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางเคมี น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถนำน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ จากน้ำมันพืชเก่ามาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดส่งผลให้เกิดความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

- 1.5.2 เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM เชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

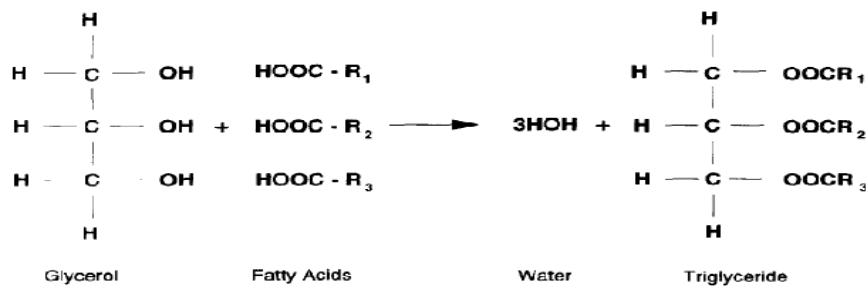
## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำมันพืช (Vegetable oil)

น้ำมันพืช (Vegetable oil) คือ น้ำมันที่ผลิตได้จากพืชชนิดต่างๆ เช่น ถั่วลิสง ถั่วเหลือง เมล็ดดอกทานตะวัน ดอกคำฝอย ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ละหุ่ง สบู่ดำ เป็นต้น น้ำมันพืชเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ น้ำมันและไขมัน 1 โมล ประกอบด้วย กลีเซอรอล 1 โมล และกรดไขมัน 3 โมล เรียกว่า “ไตรกลีเซอไรต์” มีสูตรโครงสร้างคือ  $C_3H_5$  เชื่อมต่อกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 – 30 ตัว มีปริมาณกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างร้อยละ 94 - 96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรต์ (Ali และ Hanna, 1994) ดังภาพที่ 2 - 1 น้ำมันพืชมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันที่มีคาร์บอนระหว่าง 12 – 18 ตัว น้ำมันพืชมีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงจึงมีค่าไอโอดีนต่ำ และเมื่อปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลงหรือมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงทำให้ค่าไอโอดีนสูงตาม

น้ำมันพืชเมื่อสัมผัสอากาศจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่อุณหภูมิสูง ทำให้น้ำมันมีสภาพเป็นสารเหนียวขึ้น ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันเช่นน้ำมันมีค่าไอโอดีนสูงจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเพราะฉะนั้นควรเลือกใช้ น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำเป็นเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันในเครื่องยนต์ กรดไขมันที่พบในน้ำมันพืช คือ กรดลอริก (lauric acid) กรดไมริสติก (myristic acid) กรดปาล์มติก (palmitic acid) และกรดสเตียริก (stearic acid) เป็นกรดไขมันอิ่มตัว ส่วนกรดโอเลอิก (oleic acid) กรดไลโนเลอิก (linoleic acid) และกรดไลโนเลนิก (linolenic acid) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Ali และ Hanna, 1994) แสดงจุดหลอมเหลวและจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2.1



ภาพที่ 2 - 1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช  
(Ali และ Hanna, 1994)

ตารางที่ 2 - 1 จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ

กรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)
<b>กรดไขมันชนิดอิ่มตัว</b>		
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	-
กรดลิโนเซริก	84.2	-
<b>กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว</b>		
กรดปาล์มิโตเลอิก	0.5	-
กรดโอเลอิก	16.3	-
กรดอีรูซิก	33.7	-
กรดลิโนเลอิก	-5.0	-
กรดลิโนเลนิก	-11.0	-
กรดอะราคิโดนิก	-49.5	-

ที่มา : วิชชากร จารุศิริ, 2549

(-) หมายถึง : ไม่พบข้อมูล

แหล่งน้ำมันพืชของประเทศไทยมาจากพืชน้ำมันหลักที่ทำการเพาะปลูกในประเทศไทยมี 6 ชนิด คือ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วเหลือง ทานตะวัน ละหุ่ง และถั่วลิสง ซึ่งปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีปริมาณผลผลิตในแต่ละปีสูงที่สุด รองลงมา คือ น้ำมันมะพร้าว แสดงปริมาณผลผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2548 - พ.ศ. 2552 ดังตารางที่ 2 - 2

ตารางที่ 2 - 2 ปริมาณผลผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2548 – พ.ศ. 2552 (พันตัน)

ปี พ.ศ.	ปาล์มน้ำมัน	มะพร้าว	ถั่วเหลือง	ทานตะวัน	ละหุ่ง	ถั่วลิสง
2548	5,003	1,940	226	38	10	67
2549	6,715	1,815	215	24	10	65
2550	6,390	1,722	204	23	10	54
2551	9,265	Nd	187	Nd	0.4	53
2552	8,313	Nd	190	Nd	Nd	52

\*Nd หมายถึง ไม่พบข้อมูล

ที่มา : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552

#### การใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง

น้ำมันพืชมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจึงเหมาะกับการนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลมากกว่าเครื่องยนต์เบนซิน แต่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลทำให้หัวฉีดฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยากจึงเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ น้ำมันพืชมีคุณสมบัติระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้าและน้อยมากทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยาก ทำให้เกิดคราบเขม่าเกาะบริเวณหัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวน และวาล์ว (นคร ทิพย์าวงศ์, 2553)

การใช้น้ำมันพืชควรพิจารณาจากปริมาณการเพาะปลูกที่เพียงพอ และเหมาะสมในแต่ละท้องถิ่น เช่น ยุโรปใช้เมล็ดเรพ เมล็ดดอกทานตะวัน สหรัฐอเมริกาใช้ถั่วเหลือง และเอเชียใช้ปาล์ม น้ำมัน มะพร้าว งา ละหุ่ง สบู่ดำ เป็นต้น ตารางที่ 2 - 3 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 2 - 3 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล

ชนิดของน้ำมัน	ค่าความหนาแน่น ที่ 21 องศาเซลเซียส (กรัม/มล.)	ความหนืด ที่ 21 องศาเซลเซียส (เซนติพอยล์)	ค่าความร้อน (กิโลจูล์/กก.)
ถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
มะพร้าว	0.915	51.9	37,540
ปาล์ม	0.898	88.6	39,550
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
เมล็ดสบู่ดำ	0.915	36.9	39,000
ดีเซล	0.845	3.8	46,800

ที่มา : พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล, 2544

## 2.2 น้ำมันปาล์ม (Palm oil)

(อาวุธ ณ ลำปาง, 2556: ออนไลน์)

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชตระกูล Palmae มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ คือ *Elaeis guinenis* มีต้นกำเนิดจากทวีปแอฟริกา ปาล์มน้ำมันถูกนำเข้ามาปลูกที่ไทยโดยผ่านประเทศมาเลเซีย และอินโดนีเซีย เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว มีอายุ 100 ปี แต่ที่ปลูกเป็นการค้ามีอายุประมาณ 25 – 30 ปี

### 2.2.1 ปาล์มน้ำมันเกิดจากผลปาล์ม 2 ส่วน

2.2.1.1 น้ำมันจากเปลือกหุ้มภายนอกปาล์ม (*Mesocarp*) น้ำมันปาล์มที่ได้เรียกว่า “น้ำมันจากเนื้อปาล์ม” (*Palm oil*) ประกอบด้วย กรดไขมันอิ่มตัวส่วนใหญ่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมสบู่ ผงซักฟอก และกรดไขมันไม่อิ่มตัว ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น เนยเทียม เป็นต้น

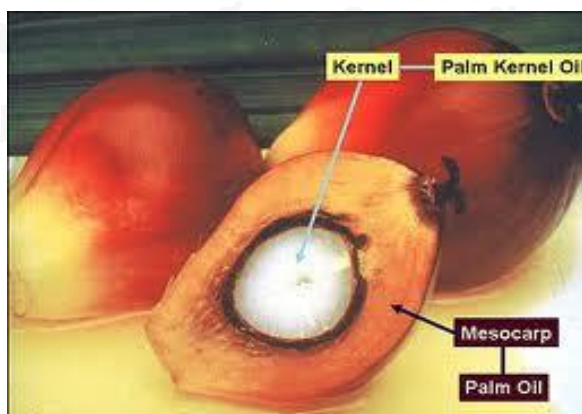
2.2.1.2 น้ำมันจากเนื้อในของเมล็ดปาล์ม (*Palm Kernel*) น้ำมันปาล์มที่ได้เรียกว่า “น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม” (*Palm kernel oil*) ประกอบด้วย กรดไขมันอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 85 – 90 จึงไม่เหมาะต่อการบริโภค ส่วนใหญ่นำไปใช้ในอุตสาหกรรมสบู่ และเครื่องสำอาง

### 2.2.2 พันธุ์ปาล์มน้ำมันแบ่งเป็น 3 พันธุ์

2.2.2.1 พันธุ์ดูรา (*Dura*) มีกะลาหนา 2 – 8 มิลลิเมตร มีชั้นเปลือกนอกค่อนข้างบาง ร้อยละ 35 – 60 ของน้ำหนักผล

2.2.2.2 พันธุ์ฟิสเฟอรา (*Pisifera*) มีชั้นเปลือกนอกค่อนข้างบาง ให้ผลขนาดเล็ก

2.2.2.3 พันธุ์เทนเนอรา (*Tenera*) มีกะลาบาง 0.5 - 4 มิลลิเมตร มีชั้นเปลือกนอกมากร้อยละ 60 – 90 ของน้ำหนักผล เป็นพันธุ์ผสมระหว่างพันธุ์ดูราและพันธุ์ฟิสเฟอรา นิยมปลูกอย่างแพร่หลาย เนื่องจากผลปาล์มมีเนื้อหนา และกะลาบาง



ภาพที่ 2 - 2 ลักษณะของผลปาล์ม

(นิธิยา รัตนาปนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2550: ออนไลน์)

น้ำมันปาล์มให้ผลผลิตต่อพื้นที่ต่อปีสูง และมีราคาปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่น น้ำมันปาล์มจึงมีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ถึงแม้ว่าน้ำมันปาล์มมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวสูง ส่งผลให้ไส้กรองอุดตันเมื่ออุณหภูมิต่ำ และเกิดจุดขุ่น จึงควรปรับปรุงให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องยนต์

### 2.3 น้ำมันพืชใช้แล้ว (Used vegetable oil)

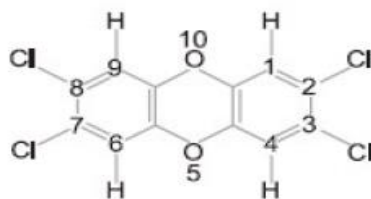
น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้วจัดเป็นของเสียประเภทหนึ่ง และปัจจุบันยังไม่มีวิธีรวบรวมของเสียเหล่านี้เพื่อกำจัดหรือทำลายอย่างเหมาะสม โรงงานอุตสาหกรรมทอดกรอบบางแห่งมีการเก็บรวบรวมน้ำมันพืชใช้แล้วมาผ่านกระบวนการกรอง และฟอกสี เพื่อนำมาบรรจุขายใหม่ในราคาที่ถูกให้กับร้านขายอาหารจำพวกทอด เช่น ไข่ทอด ปาท่องโก๋ กลัวยแขก เป็นต้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคและเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง

น้ำมันพืชประกอบด้วยกรดไขมันประเภทไตรกลีเซอไรด์ เมื่อได้รับความร้อนจากการใช้งานหรือทอดซ้ำหลายๆครั้ง กรดไขมันจะแตกตัวทำให้น้ำมันมีกรดไขมันอิสระเพิ่ม มีโมโนกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น รวมถึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดสารที่เกิดออกซิเดชันหลายตัวรวมเรียกว่า “สารโพลาร์” ดังนั้นน้ำมันพืชใช้แล้วจึงมีความเป็นโพลาร์มากขึ้น มาตรฐานนานาชาติกำหนดให้ความเป็นโพลาร์ไม่ควรเกิน 25 เปอร์เซ็นต์ สารโพลาร์เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำมันที่ใช้ซ้ำ นอกจากนี้เมื่อน้ำมันพืชใช้แล้วได้รับความร้อน กรดไขมันต่างๆนอกจากจะแตกตัวแล้วอาจเกิดการรวมตัวกันเป็นโพลีเมอร์หรือเกิดปฏิกิริยาสังเคราะห์บางชนิดทำให้คุณภาพเสื่อมลง ทั้งสี กลิ่น รสชาติ เปลี่ยนไป เกิดควันลดลง ความหนืดเพิ่มขึ้น และมีสารกลุ่มไดออกซินและสารพีเอเอชซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง สารไดออกซินเกิดขึ้นได้โดยการใช้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน สารพีเอเอชเกิดจากน้ำมันหรือไขมันที่สัมผัสกับความร้อนสูง (วิชชากร จารุศิริ, 2549)

#### 2.3.1 ไดออกซิน (Dioxin)

เป็นผลิตภัณฑ์ทางเคมีจากกระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ที่มีของออกซิเจน และคลอรีน เป็นองค์ประกอบ 1 – 8 อะตอม ไดออกซินมีชื่อเรียกเต็ม คือ โพลีคลอรีเนตเตทไดเบนโซ พารา – ไดออกซิน (polychlorinated dibenzo – para – dioxins: PCDDs) โครงสร้างของสารไดออกซินประกอบด้วยคลอรีนอะตอมเกาะด้วยพันธะทางเคมีกับวงแหวนเบนซีน ดังภาพที่ 2 - 3 (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553) ซึ่งละลายได้ดีในไขมัน ทำให้สารกลุ่มนี้มีความคงทนสูงในสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต สามารถถ่ายทอดและสะสมได้ในห่วงโซ่อาหาร ซึ่งสารไดออกซินมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ ดังตารางที่ 2 - 4





ภาพที่ 2 - 3 โครงสร้างไดออกซิน  
(กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

ตารางที่ 2 - 4 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของสารไดออกซิน

คุณสมบัติ	ไดออกซิน
จุดหลอมเหลว (°C)	89 – 322
จุดเดือด (°C)	284 – 510
ค่าครึ่งชีวิต (อากาศ)	2 วัน – 3 สัปดาห์
ค่าครึ่งชีวิต (น้ำ)	2 เดือน – 6 ปี
ค่าครึ่งชีวิต (ดิน)	2 เดือน – 6 ปี
ค่าครึ่งชีวิต (ตะกอนดิน)	8 เดือน – 6 ปี

ที่มา: Olie และคณะ, 1998

การแพร่กระจายของไดออกซินจากการเผาไหม้วัสดุที่มีคลอรีน เมื่อนำมาเผาไหม้จะมีโอกาสเกิดสารไดออกซินขึ้นในปริมาณที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2 - 5

ตารางที่ 2 - 5 ปริมาณของสารไดออกซินที่มีโอกาสเกิดขึ้นในการเผาไหม้วัสดุ

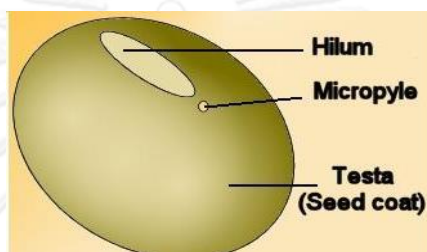
วัสดุ	ไดออกซิน (µg/kg emission)
ของเสียจากโรงพยาบาล	20
ของเสียอันตราย	1
ของเสียชุมชน	10
องค์ประกอบของไม้	1
การเผาไหม้ถ่านหิน	1
เครื่องยนต์เรือ (ดีเซล)	0.1

ที่มา: พล สาเททอง, 2549

## 2.4 น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil)

น้ำมันถั่วเหลือง คือ น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการสกัดจากเมล็ดถั่วเหลืองแล้วเข้าสู่กระบวนการกลั่น น้ำมันถั่วเหลืองมีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว 16% กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว 23% และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน 58% กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่สำคัญของน้ำมันถั่วเหลืองคือ กรดลิโนเลอิก (C18:2) (วิชชากร จารุศิริ, 2549)

น้ำมันถั่วเหลือง มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่น มีจุดเกิดควันสูง แต่เกิดไขที่อุณหภูมิต่ำ มีเสถียรภาพทางออกซิเดชันที่ดีเนื่องจากมีองค์ประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งช่วยในการป้องกันการเกิดกลิ่นหืน



ภาพที่ 2 - 4 ลักษณะของถั่วเหลือง

(นิธิยา รัตนูปนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2550: ออนไลน์)

## 2.5 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

### 2.5.1 การใช้โดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล (Direct use or blending)

การใช้โดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล คือ การนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงแทนน้ำมันดีเซล เป็นวิธีการลดความหนืดที่ง่ายที่สุดแต่การใช้แทนดีเซลโดยตรงทำให้เกิดการอุดตันที่หัวฉีด วงแหวน และช่องว่างการหล่อลื่นของน้ำมัน (Do และคณะ, 2011) แต่ถ้าผสมกับดีเซลในอัตราส่วน 10 – 20% พบว่าเครื่องยนต์ไม่มีปัญหาเมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันผสมก่อนเข้าเครื่องยนต์ แต่มีน้ำมันบางส่วนไม่ถูกเผาไหม้และเข้าไปปะปนกับน้ำมันหล่อลื่น ส่งผลให้หล่อลื่นได้ไม่ดีเนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัว และความหนืดของน้ำมันผสมไม่ผ่านมาตรฐานน้ำมันดีเซล ความหนืดของน้ำมันพืชมีค่ามากกว่าความหนืดของน้ำมันดีเซล 40 เท่า การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 โดยปริมาตร ยังทำให้ความหนืดน้ำมันพืชสูงกว่าความหนืดน้ำมันดีเซล 18 เท่า (Ma และ Hanna, 1999)

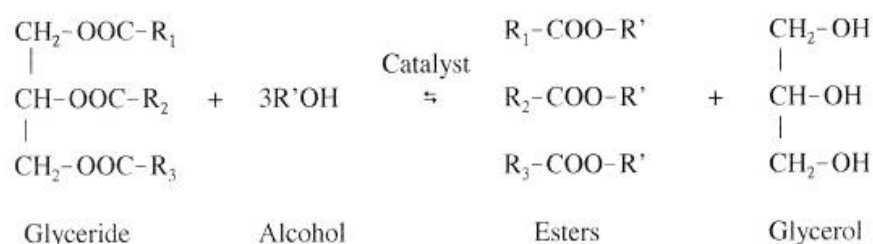
### 2.5.2 ไพโรไลซิส (Pyrolysis)

ไพโรไลซิส คือ ปฏิกิริยาการสลายโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงด้วยความร้อนในสภาวะที่ไม่มีอากาศ โดยการใช้อุณหภูมิสูงสลายไตรกลีเซอไรด์ทำให้เกิดสารประกอบหลายชนิด ได้แก่ อัลเคน อัลคีน อัลคาไดอิน รวมถึงสารประกอบอะโรมาติก และกรดคาร์บอกซิลิก เมื่อใช้วิธีไพโรไลซิสกับ

น้ำมันพืชพบว่า ปริมาณซัลเฟอร์ ปริมาณน้ำ และปริมาณตะกอนเป็นที่ยอมรับได้ แต่ปริมาณเถ้า กากคาร์บอนและจุดไหลเทไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อเทียบกับดีเซล กระบวนการไพโรไลซิสทำให้สูญเสียออกซิเจนไปกับการใช้อุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำซึ่งยากต่อการควบคุมปฏิกิริยา เช่น ตะกอน เอสเทอร์ไม่อิ่มตัว จึงต้องมีกระบวนการแยกให้บริสุทธิ์ ทำให้กระบวนการนี้ไม่เป็นที่นิยมในการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพ

### 2.5.3 ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันหรือแอลกอฮอล์ไลซิส (alcoholysis) เป็นปฏิกิริยาที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อลดความหนืดของไตรกลีเซอไรด์ เป็นการเปลี่ยนน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ซึ่งเป็นสารประเภทไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นสารประกอบเอสเทอร์ โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ซึ่งแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมนำมาใช้ในการแทนที่ ได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และบิวทานอล แต่แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ เมทานอลหรือเอทานอล โดยเฉพาะเมทานอลซึ่งมีราคาถูก และมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดี เรียกว่า ปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส และมีผลิตภัณฑ์อื่นที่ได้ คือ กลีเซอรอล แสดงได้ดังรูปที่ 2 - 5



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

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับจึงต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าได้เร็วขึ้น ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้หลายแบบ โดยทั่วไปใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่าการใช้กรด เนื่องจากเทคนิคการใช้เบสเป็นตัวเร่งสามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำ ความดันต่ำ และลดต้นทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ แต่บางกรณีเมื่อวัตถุดิบมีความเป็นกรดมากทำให้ต้องใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าช้า

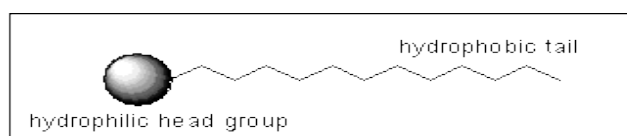
### 2.5.4 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

ไมโครอิมัลชันเป็นวิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืชที่นำมาใช้กับเครื่องยนต์ โดยการทำให้สารประเภทอิมัลชันเป็นสารแขวนลอยอนุภาคเล็กกระจายทั่วของเหลวซึ่งไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ให้ได้ขนาดอนุภาค 1 - 50 นาโนเมตร โดยใช้ตัวทำละลายพวกแอลกอฮอล์ และสารลดแรงตึงผิวช่วยกระบวนการไมโครอิมัลชันเป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืช สารลดแรงตึงผิว และเอทานอลเพื่อให้เกิด

ความเสถียรเป็นเนื้อเดียวกัน กระบวนการนี้สามารถแก้ปัญหาความหนืดของน้ำมันพืชที่สูงได้ (Ma และ Hanna, 1999) ข้อดีของกระบวนการไมโครอิมัลชัน คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ ง่ายต่อการดำเนินการ เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันเมื่อผสมเอทานอลให้ความร้อนในการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า ส่งผลให้การแพร่กระจายของไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ลดลงไป 70% – 75% ปริมาณควันต่ำลดลงไป 40% – 77% และลดการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงไป 5% – 10% (Zhao และคณะ, 2006) แต่ปัญหาที่พบ คือ ไตรกลีเซอไรด์ซึ่งมีคาร์บอนอะตอมมากจึงมีปัญหาด้านการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดเป็นเศษกากถ่านติดบริเวณหัวฉีด และเครื่องยนต์ (นคร ทิพย์วงศ์, 2553)

## 2.6 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) มาจากคำว่า “Surface active agent” สารลดแรงตึงผิวเดิมมาจากภาษาเยอรมันว่า Tensid ตั้งโดยนักเคมีชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1960 สารลดแรงตึงผิวมีลักษณะโมเลกุลประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำหรือส่วนที่มีขั้ว (hydrophilic, water-loving) และส่วนที่ชอบน้ำมันหรือส่วนไม่มีขั้ว (hydrophobic, water-hating) ส่วนที่ชอบน้ำมันมักเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนใหญ่มาจากไขมันและน้ำมันตามธรรมชาติรวมทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และโพลิเมอร์สังเคราะห์ (สุวิมล ทรัพย์ทวีวุฒิ, 2550) ลักษณะสำคัญของสารลดแรงตึงผิว คือ เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวเพียงเล็กน้อยลงในน้ำ สารลดแรงตึงผิวจะไปลดแรงตึงระหว่างผิว แสดงดังภาพที่ 2 - 6



ภาพที่ 2 - 6 โครงสร้างสารลดแรงตึงผิว

(จุฑาธิป พลอยศรีมงคล, 2550)

คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว คือ ทำให้ภูมิภาค 2 ภูมิภาคที่ไม่รวมตัวกันมารวมตัวกัน โดยสารลดแรงตึงผิวสะสมกันบริเวณผิวของตัวทำละลาย และลดค่าแรงตึงระหว่างผิวของตัวทำละลาย เช่น น้ำและน้ำมันไม่ละลายซึ่งกันและกันเพราะมีคุณสมบัติที่ต่างกันโดยที่น้ำเป็นสารประกอบที่มีขั้ว ส่วนน้ำมันเป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้ว เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวเข้าไปเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้ภูมิภาคทั้งสองรวมกันเป็นเนื้อเดียว

สารลดแรงตึงผิวแบ่งเป็น 4 ประเภท แบ่งตามลักษณะส่วนที่มีขั้วหรือส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ได้แก่ (สุวิมล ทรัพย์ทวีวุฒิ, 2550)

**2.6.1 สารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Anionic surfactant)** เมื่อละลายน้ำเกิดการแตกตัวโดยส่วนที่มีขั้วให้ประจุลบ ส่วนมากอยู่ในรูป carboxylate, sulfate, sulfonate และ phosphate สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภทผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด ครีมอาบน้ำ แชมพู เป็นต้น เนื่องจากมีคุณสมบัติในการขจัดคราบสกปรกดี

**2.6.2 สารลดแรงตึงผิวประจุบวก (Cationic surfactant)** เมื่อละลายน้ำเกิดการแตกตัวโดยส่วนที่มีขั้วจะให้ประจุบวก ส่วนมากเป็นพวก quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ไม่สามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่มีความเป็นด่างสูง (พีเอช 10 – 11) เนื่องจาก ammonium salt มีการสูญเสียประจุบวกทำให้เกิดการตกตะกอน สารลดแรงตึงผิวประจุบวกทำให้เกิดการระคายเคืองมากกว่าสารลดแรงตึงผิวประจุลบ นิยมใช้น้ำยาปรับผ้านุ่ม และครีมนวดผม เป็นต้น

**2.6.3 สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ (Nonionic surfactant)** มีความต่างจากสารลดแรงตึงผิวประจุบวกและสารลดแรงตึงผิวประจุลบเนื่องจากเมื่อละลายน้ำจะไม่เกิดการแตกตัวจึงไม่มีประจุ โดยมีพวก polyether หรือ polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่มีคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ซึ่งสารที่ไม่ละลายน้ำมักใช้เป็นตัวอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) ส่วนสารที่ละลายน้ำใช้เป็นสารทำความสะอาด

**2.6.4 สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Amphoteric surfactant, Zwitterionic surfactant)** เป็นสารที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน โดยแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรดต่าง ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นกรด (พีเอช < 7) ส่วนหัวจะแสดงประจุบวก แต่ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นด่าง (พีเอช > 7) ส่วนหัวจะแสดงประจุลบ และในสภาพแวดล้อมที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุ คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวประเภทนี้เหมาะกับการใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิวหรือผม แต่ในปัจจุบันสารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น

## 2.7 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) คือ ของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันหรือรวมกันได้ เช่น น้ำและน้ำมัน ถูกนำมาผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยอาศัยตัวทำอิมัลชัน (emulsifier) อิมัลชันที่เกิดขึ้นถ้ามองด้วยตาเปล่าเห็นเป็นลักษณะเดียวกัน แต่ถ้าส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เห็นเป็น 2 วัฏภาค คือ วัฏภาคภายในหรือส่วนที่กระจายตัว (internal or dispersed phase) ซึ่งกระจายตัวแยกอยู่ในของเหลวชนิดหนึ่ง และวัฏภาคภายนอกหรือส่วนต่อเนื่อง (external

or continuous phase) ไมโครอิมัลชันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 – 100 นาโนเมตร (0.01 – 0.1 ไมโครเมตร)

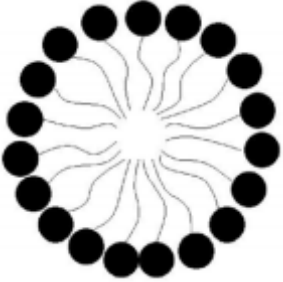
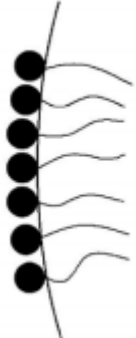
## 2.7.1 ชนิดของอิมัลชัน

### 2.7.1.1 แบ่งตามลักษณะภายนอกที่มองเห็น

ก) แมโครอิมัลชัน (Macroemulsion) คือ อิมัลชันขุ่นขาวที่พบทั่วไป อนุภาคของวัฏภาคภายในมีขนาด 0.25 – 10 ไมครอน (ขนาดทั่วไปใหญ่กว่า 1 ไมครอน) ทำให้เกิดความแตกต่าง ค่าดัชนีหักเหแสงของ 2 วัฏภาค เกิดการกระจายแสงทำให้มองดูขุ่นขาว แมโครอิมัลชันเป็นอิมัลชันที่พบมากที่สุดในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอาง

ข) ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) มีลักษณะโปร่งใสเนื่องจากอนุภาคของวัฏภาคภายในมีขนาดเล็กประมาณ 10 – 100 นาโนเมตร มีค่าน้อยกว่าหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นแสงที่มองเห็นจึงไม่เกิดการหักเหหรือกระจายแสง

ตารางที่ 2 - 6 ความแตกต่างระหว่างอิมัลชันและไมโครอิมัลชัน

ไมโครอิมัลชัน	อิมัลชัน
<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีความเสถียรตามกฎเทอร์โมไดนามิกส์</li> <li>- ขนาดเล็กประมาณ 10 นาโนเมตร</li> <li>- ระบบมีการใช้พลังงานสูง</li> <li>- มีพื้นผิวภายในสูง และมีความต้องการสารลดแรงตึงผิวจำนวนมาก</li> <li>- แรงตึงระหว่างน้ำมันและน้ำสามารถทำให้สารลดแรงตึงผิวเกิดความเคັงได้มาก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่มีความเสถียร เมื่อทิ้งไว้ระยะเวลาเวลานานจะเกิดการแยกตัว</li> <li>- มีขนาดใหญ่ 1 – 10 มิลลิเมตร</li> <li>- ระบบคงที่</li> <li>- พื้นผิวภายในขนาดใหญ่พอควร และมีความต้องการสารลดแรงตึงผิวพอควร</li> <li>- น้ำมันและน้ำเกิดการเคັงได้น้อย</li> </ul>
	

ที่มา : Lif และ Holmberg, 2006

เมื่อโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้นหรือสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นขึ้น ทำให้แรงตึงระหว่างผิวสัมผัสลดลงจนบริเวณผิวสัมผัสอิมิตัวด้วยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว และโมเลกุลที่ไม่สามารถแทรกเข้าไปอยู่บริเวณผิวสัมผัสกระจายตัวในน้ำมากขึ้นจนเกิดเป็นโครงสร้าง เรียกว่า “ไมเซลล์” (micelle) ส่วนจุดที่เกิดการรวมตัวเป็นไมเซลล์เรียกว่า “ค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์” หรือ “ซีเอ็มซี” (Critical Micelle Concentration, CMC) คือ จุดที่มีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดซึ่งทำให้ค่าแรงตึงผิวต่ำสุด จุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์นี้แม้จะมีการเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวแต่ไม่ทำให้แรงตึงระหว่างผิวสัมผัสลดลงเพราะโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวที่รวมตัวเป็นไมเซลล์ไม่มีบทบาทการลดแรงตึงระหว่างผิว (พรชนก รัตนะรัตน์, 2550)

ค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์หรือค่าซีเอ็มซีเป็นค่าที่บ่งบอกประสิทธิภาพสารลดแรงตึงผิว เช่น สารลดแรงตึงผิวมีค่าซีเอ็มซีต่ำแสดงว่าใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อย แต่ถ้าสารลดแรงตึงผิวมีค่าซีเอ็มซีสูงแสดงว่าใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวมาก และสามารถพิจารณาการทำงานสารลดแรงตึงผิวได้จาก “ค่าเอชแอลบี” (Hydrophile-Lipophile Balance, HLB) ค่าเอชแอลบี คือ ค่าสมดุลระหว่างกลุ่มชอบน้ำและกลุ่มชอบน้ำมัน โดยทั่วไปสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าเอชแอลบีสูง คือ 8 – 18 ( $HLB > 7$ ) ละลายน้ำได้เหมาะสมกับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ส่วนสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าเอชแอลบีต่ำ คือ 4 – 6 ( $HLB < 7$ ) ละลายน้ำได้ไม่ดี จึงเหมาะสมกับอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (ปิยธร และปรีชา, 2540) ส่วนค่าเอชแอลบีระหว่าง 6 – 8 มักใช้เป็นสารลดความขุ่นจึงไม่แนะนำให้ใช้ และค่าเอชแอลบีต่ำกว่า 4 และมากกว่า 18 จะมีค่าแรงตึงผิวต่ำจึงไม่นิยมใช้

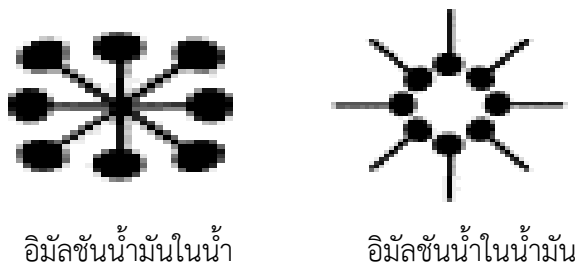
#### 2.7.1.2 แบ่งตามชนิดของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในและวัฏภาคภายนอก

ก) อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion, O/W emulsion) สารลดแรงตึงผิวส่วนหัวที่มีขั้วซึ่งชอบน้ำจะอยู่ด้านนอก คือ วัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำ นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเพราะมีความเหนอะน้อย ล้างออกง่าย เช่น ครีม โลชันทาผิว ครีมทาหน้า ครีมกันแดด และครีมรองพื้น เป็นต้น แต่เมื่อสารลดแรงตึงผิวรวมตัวกับน้ำมันหรือส่วนที่ไม่มีขั้ว นำมาจัดเรียงกันเรียกว่า “รีเวอร์สไมเซลล์” (reverse micelle) คือ ส่วนหัวหรือส่วนที่มีขั้วเป็นแกนสำคัญ และส่วนหางหรือส่วนที่ชอบน้ำมันเป็นพวกไฮโดรคาร์บอน

ข) อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in oil emulsion, W/O emulsion) คือ วัฏภาคภายในเป็นน้ำ วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำมัน พบอิมัลชันชนิดนี้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางแต่ไม่นิยมใช้ เนื่องจากอิมัลชันประเภทนี้มีความเหนอะหนะ และล้างออกยาก

ค) อิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple emulsion) คือ อิมัลชันที่มีวัฏภาคภายในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน เช่น W/O/W (Water/Oil/Water) หรือ O/W/O (Oil/Water/Oil) อิมัลชันเชิงซ้อนสามารถกลับมาเป็นอิมัลชันธรรมดาได้ เช่น W/O/W ซึ่งวัฏภาคภายนอกเป็นน้ำ และวัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน เมื่อ

กลายเป็นอิมัลชันธรรมชาติจะเป็นชนิด O/W พบอิมัลชันชนิดนี้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางอิมัลชันทั้งชนิดน้ำมันในน้ำ และอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันสามารถเปลี่ยนจากอิมัลชันชนิดหนึ่งเป็นอิมัลชันอีกชนิดหนึ่งได้ โดยการเติมตัวทำอิมัลชันให้มากเกินไปหรือการเปลี่ยนตัวทำอิมัลชัน แสดงดังภาพที่ 2 - 7



อิมัลชันน้ำมันในน้ำ

อิมัลชันน้ำในน้ำมัน

ภาพที่ 2 - 7 การจัดเรียงไมโครอิมัลชัน  
(Sabatini และคณะ, 2000)

## 2.7.2 ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชัน มี 4 แบบ

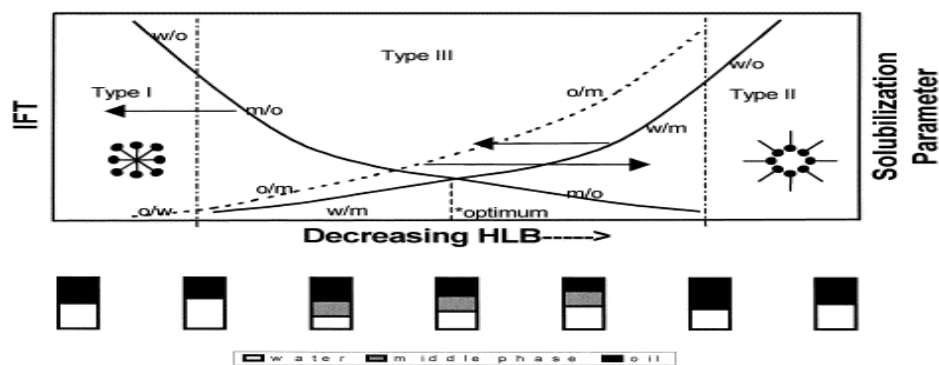
2.7.2.1 Winsor type I ไมโครอิมัลชันลักษณะนี้เกิดจากการที่สารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ในชั้นน้ำ และมีโมเลกุลบางส่วนของน้ำมันเข้าไปอยู่ในชั้นน้ำจึงทำให้ชั้นน้ำเกิดไมโครอิมัลชัน ชั้นน้ำจะแยกออกจากน้ำมันเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน

2.7.2.2 Winsor type II ไมโครอิมัลชันลักษณะนี้เกิดจากการที่สารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ในชั้นน้ำมัน และมีโมเลกุลบางส่วนของน้ำเข้าไปอยู่ในชั้นน้ำมัน ทำให้ชั้นน้ำมันเกิดไมโครอิมัลชัน (Acosta และคณะ, 2007)

2.7.2.3 Winsor type III การเกิดไมโครอิมัลชันลักษณะนี้เกิดขึ้นที่ชั้นกลางระหว่างชั้นน้ำและชั้นน้ำมัน เนื่องจากโมเลกุลของน้ำและน้ำมันต่างมีแรงตึงน้อย ซึ่งการเกิดไมโครอิมัลชันนี้มีสารลดแรงตึงผิวอยู่มากที่สุด

2.7.2.4 Winsor type IV การเกิดไมโครอิมัลชันลักษณะนี้เกิดจากโมเลกุลของน้ำและน้ำมันถูกล้อมรอบด้วยสารลดแรงตึงผิว และอยู่รวมกันในลักษณะที่ไม่มีการแยกเป็นชั้นเกิดขึ้น

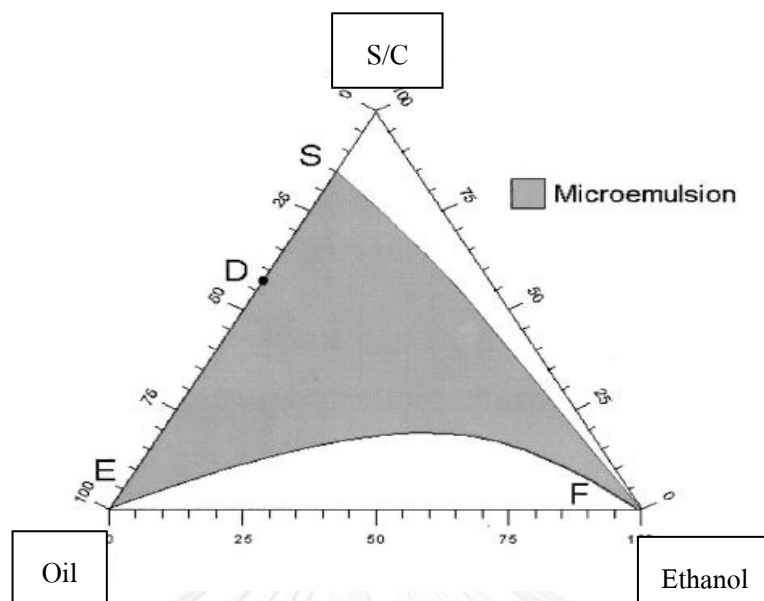




ภาพที่ 2 - 8 วินเซอร์ของไมโครอิมัลชันแต่ละชนิด  
(Sabatini และคณะ, 2000)

## 2.8 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary phase diagram)

แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าประกอบด้วย 3 จุด จาก 4 ส่วนประกอบ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม น้ำมัน (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล) และน้ำ (เอทานอล) (Dunn และ Bagby, 1994) แผนภาพสามเหลี่ยมด้านล่าง 2 จุด ด้านซ้ายแสดงการผสมน้ำมันพืชกับดีเซล และด้านขวาแสดงเอทานอล ส่วนแผนภาพสามเหลี่ยมจุดด้านบนแสดงถึงการผสมสารลดแรงตึงผิว และสารลดแรงตึงผิวร่วมที่อัตราส่วนและอุณหภูมิคงที่ (Dantas และคณะ, 2001) สรุปได้ว่า ปริมาณทั้งหมดเมื่อมีการผสม สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม น้ำมัน และเอทานอล เมื่อคำนวณส่วนประกอบทั้งหมดจะได้ 100% แสดงดังภาพที่ 2 - 9



ภาพที่ 2 - 9 แผนภาพสามเหลี่ยม  
(Dantas และคณะ, 2001)

## 2.9 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel)

น้ำมันดีเซล คือ น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล มีจุดเดือดประมาณ 170 - 370 องศาเซลเซียส น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์แรงอัดสูง (high compression) และจุดระเบิดได้เอง (self ignition) การจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดจากความร้อนจากแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบ วงจรของเครื่องยนต์ประกอบด้วย การส่งอากาศเข้าในห้องเผาไหม้ การอัดอากาศในกระบอกสูบ การฉีดเชื้อเพลิงซึ่งเผาไหม้ทันที ก๊าซจากการเผาไหม้ขยายตัว และปล่อยก๊าซจากการเผาไหม้ออกไป (ธเนศร์ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา, 2545)

### 2.9.1 ชนิดของน้ำมันดีเซล แบ่งเป็น 2 ประเภท

2.9.1.1 น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว (Automotive diesel oil) ทั่วไป นิยมเรียกว่า “น้ำมันโซล่า” หรือเรียกว่า “น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว” (High speed diesel, HSD) สำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่ใช้กับเครื่องยนต์ เช่น รถยนต์ รถบรรทุก เรือประมง รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรกลหนักทุกชนิดที่มีความเร็วรอบมากกว่า 1,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ประเภทนี้ต้องใช้น้ำมันที่มีค่าซีเทนสูง และมีการระเหยเร็ว

2.9.1.2 น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนปานกลางหรือหมุนช้า (Industrial diesel oil) น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทนี้เรียกว่า “น้ำมันดีเซลหมุนช้า” (Low speed diesel, LSD) เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและน้ำมันเตา ซึ่ง

เครื่องยนต์ดีเซลประเภทนี้มีรอบการทำงาน 500 – 1,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ประเภทนี้ไม่ต้องการน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงมาก และการระเหยอาจช้ากว่า

## 2.10 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากน้ำมันพืชและสัตว์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมี เรียกว่า “เมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์” ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซล (ชมพูนุช พรเจริญพ, 2551)

### 2.10.1 ประเภทของไบโอดีเซล แบ่งเป็น 3 ประเภท

2.10.1.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นๆ

2.10.1.2 ไบโอดีเซลแบบผสม เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลงให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำมันดีเซลมากที่สุด

2.10.1.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ มีกระบวนการที่ยุ่งยากต้องผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ การนำน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้เอสเทอร์ ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์มีคุณสมบัติเหมือนกับน้ำมันมากที่สุด ให้การเผาไหม้ที่สะอาดกว่า ออกซิเจนให้การสันดาปสมบูรณ์จึงทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย (CO) และในไบโอดีเซลเอสเทอร์ไม่มีกำมะถัน (S) จึงไม่มีปัญหาเรื่องซัลเฟต

## 2.11 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวล ชีวมวลเป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิตพืช และสัตว์ หรือกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ พืชเป็นพลังงานชีวภาพรูปแบบหนึ่ง เพราะเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติเรียกว่า “การสังเคราะห์แสง” คือ พืชเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะสมในรูปสารอินทรีย์เพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต เมื่อนุษย์หรือสัตว์รับประทานพืชเป็นอาหารจะได้สารอินทรีย์จากสิ่งมีชีวิตเรียกว่า “ชีวมวล” (Biomass)

เชื้อเพลิงชีวภาพแตกต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน และปิโตรเลียม ที่เป็นเชื้อเพลิงสิ้นเปลืองและใช้ระยะเวลาในการทับถมกันหลายล้านปี เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงพลังงานหมุนเวียนที่ฟื้นฟูหรือสร้างขึ้นใหม่ได้ ข้อดีของการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพต่อสิ่งแวดล้อม คือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ทำให้ลดโอกาสการ

เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) การใช้เชื้อเพลิงชีวภาพจึงถือเป็นการช่วยรักษาสภาพแวดล้อม

ราคาน้ำมันที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องประกอบกับความต้องการพลังงานจากเศรษฐกิจที่กำลังเติบโตจึงส่งผลให้เกิดการลงทุนเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ การใช้เชื้อเพลิงอื่นแทนน้ำมัน เช่น การใช้ก๊าซธรรมชาติ (NGV) การใช้ก๊าซโซฮอล์ (Gasohol) และไบโอดีเซล (Biodiesel) ถึงแม้ก๊าซโซฮอล์จะเป็นทางเลือกใหม่ และช่วยประหยัดการนำเข้าน้ำมันแต่การผลิตก๊าซโซฮอล์ในปัจจุบันไม่เพียงพอต่อความต้องการตลาด และมีปัญหาด้านต้นทุนวัตถุดิบเอทานอลสูง เชื้อเพลิงชีวภาพจึงเป็นทางเลือกใหม่ของพลังงานทดแทนที่ใช้ต้นทุนต่ำกว่าและรักษาสิ่งแวดล้อม

### 2.11.1 ประเภทของเชื้อเพลิงชีวภาพ มี 3 ประเภท

2.11.1.1 ของแข็ง ได้แก่ ไม้ ชี้เลื่อย ฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย มูลสัตว์ ถ่าน เปลือกสัตว์หรือเปลือกพืช เช่น แกลบ ข้าว ฝ้าย ถั่วลิสง เป็นต้น พลังงานชีวภาพชนิดแรกที่มีมนุษย์นำมาใช้คือ ไม้ฟืนใช้ในการหุงต้มอาหาร ให้แสงสว่าง และให้ความอบอุ่น ส่วนประกอบหลักของเนื้อไม้ฟืน คือ เซลลูโลส

2.11.1.2 ของเหลว เป็นรูปแบบของพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพมี 3 ประเภท

ก) แอลกอฮอล์เป็นสารประกอบอินทรีย์ แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมี 2 ประเภท คือ เอทานอล และเมทานอล

ข) น้ำมันจากพืชและสัตว์ เช่น น้ำมันพืชบริสุทธิ์ น้ำมันพืชใช้แล้ว ไชสัตว์ ไบโอดีเซล ที่ผลิตจากน้ำมันพืช น้ำมันพืชใช้แล้ว และไชสัตว์

ค) น้ำมันจากขยะ มีคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพคล้ายปิโตรเลียม

2.11.1.3 ก๊าซชีวภาพ ที่พบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทนที่ได้จากการหมักของมูลสัตว์ หรือของเสียจากโรงงานเลี้ยงสัตว์

## 2.12 คุณสมบัติเชื้อเพลิง (Fuel property)

### 2.12.1 ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (Kinematic viscosity)

ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญกับเชื้อเพลิงมาก เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันพืชมีความหนืดสูงส่งผลให้เชื้อเพลิงเป็นละอองยากและไร้ประสิทธิภาพ เมื่อน้ำมันพืชเจอกับอากาศทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ความหนืดของเชื้อเพลิงที่เหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำงานของเครื่องยนต์ และความหนืดมีความสำคัญสำหรับการไหลของน้ำมันผ่านไปยังท่อและหัวฉีด ซึ่งความหนืดแปรผันตรงกับอุณหภูมิ

### 2.12.2 เลขซีเทน (Cetane number)

เลขซีเทนเป็นคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่สำคัญสำหรับดีเซล เนื่องจากเป็นตัวควบคุมการเผาไหม้และสมรรถภาพ (Li และคณะ, 2005) น้ำมันพีซมีเลขซีเทนสูง ซึ่งเลขซีเทนสูงทำให้ง่ายต่อการจุดติดไฟ ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซหรืออนุภาคขนาดเล็กขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ

### 2.12.3 จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิต่ำที่สุดเมื่อเกิดการระเบิดที่แหล่งกำเนิดจุดไฟเนื่องจากการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง จุดวาบไฟเป็นตัวบอกการระเหยและวัสดุที่ไวไฟ ซึ่งใช้ในการประเมินวัสดุไวไฟที่อันตรายทั้งหมด

### 2.12.4 จุดขุ่น (Cloud point)

จุดขุ่น คือ จุดที่อุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงกลายเป็นไอเนื่องจากการรวมตัวเป็นผลึก ทำให้ส่วนที่กรองเชื้อเพลิงและเส้นท่อเกิดการอุดตัน โดยมาตรฐานของจุดขุ่น สำหรับช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์) คือ ช่วงอุณหภูมิมากที่สุด – 10 องศาเซลเซียส และช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – ตุลาคม) คือ ช่วงอุณหภูมิมากที่สุด – 4 องศาเซลเซียส (Do และคณะ, 2011)

### 2.12.5 จุดไหลเท (Pour point)

จุดไหลเท คือ จุดที่อุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงยังไหลได้ เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว ระบบเชื้อเพลิงทั้งหมดรวมถึงสายเชื้อเพลิงและถังเชื้อเพลิงจะต้องมีการให้ความร้อน ซึ่งมาตรฐานของจุดไหลเท สำหรับช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์) คือ ช่วงอุณหภูมิมากที่สุด – 17.8 องศาเซลเซียส และช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – ตุลาคม) คือ ช่วงอุณหภูมิมากที่สุด – 9.4 องศาเซลเซียส (Do และคณะ, 2011)

### 2.12.6 คาร์บอนตกค้าง (Carbon residue)

คาร์บอนตกค้าง คือ ปริมาณของสารที่เหลือตกค้างอยู่หลังจากน้ำมันระเหยหมดแล้วที่อุณหภูมิสูง ปริมาณคาร์บอนตกค้างมีความสำคัญสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงเพราะมีการเผาไหม้โดยตรง (วิชาการ จารุศิริ, 2549) ถ้าน้ำมันมีคาร์บอนตกค้างสูงเกินไปส่งผลให้เกิดคราบเขม่าในห้องเผาไหม้ และท่อไอเสียเกิดควันดำ

### 2.12.7 ปริมาณของน้ำ (Water content)

ปริมาณน้ำเป็นปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง วิเคราะห์โดยการไทเทรตด้วยวิธี Karl Ficher ถ้ามีปริมาณน้ำมากทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลง ส่งผลให้ไนโตรเจนออกไซด์และอนุภาคขนาดเล็กลดลง แต่ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น (Lif และ Holmberg, 2006)

### 2.12.8 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะ คือ ตัวที่ใช้บอกประเภทของน้ำมัน และปริมาณความร้อนที่ได้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของเชื้อเพลิง ถ้าน้ำมันมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงแสดงว่ามีพวอะโรมาติกมากทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในเครื่องยนต์ และเกิดการบวมมาสะสมมาก ค่าซีเทนลดลง ความถ่วงจำเพาะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

ความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของน้ำมันและความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน นิยมกำหนดค่าความถ่วงจำเพาะในรูปของหน่วยองศา API (America Petroleum Institute) จากสมการ

$$\text{API gravity} = \frac{141.5}{\text{Sp. gr. } 15.6/15.6^{\circ}\text{C}} - 131.5$$

องศา API = องศา API ที่ 15.6°C Sp. gr. 15.6/15.6°C = ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันที่ 15.6 องศาเซลเซียส

### 2.12.9 ค่าความเป็นกรด (Acid number)

ค่าความเป็นกรดแสดงถึงปริมาณของกรดทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำมัน หน่วยค่าความเป็นกรด คือ มิลลิกรัมด่าง KOH / กรัม น้ำมัน (mg KOH/g oil) ต้องไม่มีกรดแก๊ในน้ำมันเพราะกรดแก๊ทำให้เกิดการกัดกร่อนโลหะ โดยแสดงค่าเป็น Strong acid number (SAN) น้ำมันที่ผ่านขั้นตอนการผลิตอย่างดีมีค่าความเป็นกรดน้อยมาก ไม่เกิน 0.05 – 0.10 มิลลิกรัมด่าง KOH / กรัม น้ำมัน และกรดอ่อนเกิดจากสารเพิ่มคุณภาพช่วยทำหน้าที่ต่างๆ เช่น สารป้องกันสนิม สารรับแรงกดสูง ดังนั้นน้ำมันคุณภาพดีที่ยังไม่ได้ใช้งานมีความเป็นกรดสูงถึง 5

### 2.12.10 ค่าความร้อน (Gross heat of combustion)

ค่าความร้อนหรือความร้อนจากการเผาไหม้ คือ ปริมาณของพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ หน่วยของเชื้อเพลิง คือ เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) สามารถวัดได้จากเครื่องหาค่าพลังงาน (bomb calorimeter)

ตารางที่ 2 - 7 คุณสมบัติมาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

คุณสมบัติเชื้อเพลิง	ดีเซลประเภท 2	ไบโอดีเซล
มาตรฐานเชื้อเพลิง	ASTM D975	ASTM D6751
ความหนืดที่ 40°C (mm <sup>2</sup> /sec)	1.9-4.1	1.9-6.0
จุดวาบไฟ (°C)	52	93
ปริมาณน้ำ (%vol)	0.05	0.05
ปริมาณเถ้า (%mass)	0.01	0.02
คาร์บอนตกค้าง (%mass)	0.35	0.05
ความเป็นกรด (mg KOH/g)	-	0.5

ที่มา : American Standard Testing Method (ASTM), 2008

## 2.13 เครื่องยนต์ดีเซล

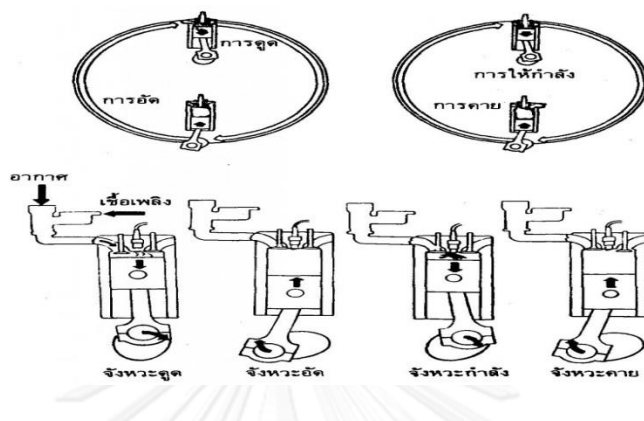
เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (International combustion engines) ซึ่งเป็นเครื่องต้นกำลังที่เปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานความร้อนโดยการเผาไหม้ และพลังงานความร้อนเปลี่ยนเป็นพลังงานกล ซึ่งเครื่องยนต์ดีเซลมีการจุดระเบิดส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเอง เรียกว่า Compression ignition โดยเชื้อเพลิงถูกอัดฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ที่มีอากาศถูกอัดไว้และจะเกิดการลุกไหม้ขึ้น ผลของการเผาไหม้ทำให้เกิดขึ้นมีความดันและอุณหภูมิสูง จึงขยายตัวดันลูกสูบลงมา ซึ่งผลก็ให้ข้อเหวี่ยงหมุนไป วงจรการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลสามารถแบ่งออกเป็น 2 วงจรการทำงาน ได้แก่

### 2.13.1 วงจรการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

วงจรการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ คือ มีวงจรการทำงาน 1 วงจร ประกอบด้วย จังหวะ 4 จังหวะ จังหวะการทำงาน 1 จังหวะ คือ การเคลื่อนที่ของลูกสูบตำแหน่งบนสุดจนถึงตำแหน่งล่างสุด หรือจากตำแหน่งล่างสุดจนถึงตำแหน่งบนสุด ซึ่ง 2 จังหวะการทำงานเท่ากับ 1 รอบการหมุนของข้อเหวี่ยงหรือของเครื่องยนต์ ได้แก่

- จังหวะดูด (Intake stroke) คือ ลูกสูบเคลื่อนที่จากตำแหน่งบนสุดลงล่างสุด ขณะที่วาล์วไอดีเปิดออกจะเกิดแรงดูดอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้
- จังหวะอัด (Compression stroke) คือ ลูกสูบเคลื่อนที่จากตำแหน่งล่างสุดขึ้นสู่ตำแหน่งบนสุด ในระหว่างนี้ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียเปิด และเมื่ออากาศถูกอัดจนลูกสูบเกือบจะถึงตำแหน่งบนสุด เชื้อเพลิงจะถูกฉีดผ่านหัวฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ทำให้เกิดการลุกไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ
- จังหวะระเบิด (Expansion or Power stroke) คือ เมื่อเกิดการเผาไหม้ ก๊าซภายในห้องเผาไหม้ซึ่งมีความดันและอุณหภูมิสูง ทำให้อากาศในห้องเผาไหม้ทั้งห้องอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและขยายตัวดันลูกสูบออกมา ซึ่งเป็นกำลังขับเคลื่อนเครื่องยนต์

- จังหวะคาย (Exhaust stroke) คือ เมื่ออากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ขยายตัวดันลูกสูบจนถึงตำแหน่งล่างสุด ลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นพร้อมกับวาล์วไอเสียเปิด ลูกสูบดันเอาไอเสียหรือก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ออกไปโดยผ่านทางวาล์วไอเสีย

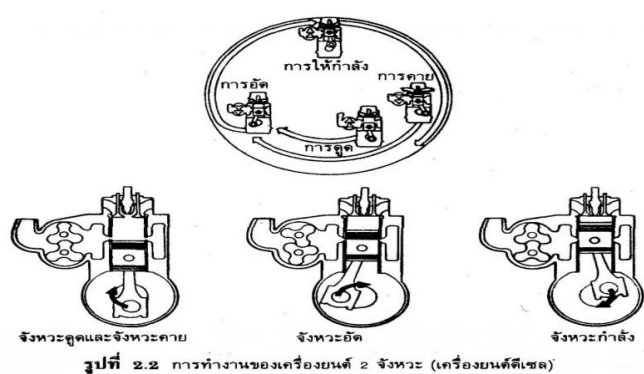


ภาพที่ 2 - 10 การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

### 2.13.2 วงจรการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ

วงจรการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ คือ มีวงจรการทำงาน 1 วงจร ประกอบด้วย การเคลื่อนที่ของลูกสูบ 2 จังหวะ หรือ 1 รอบการหมุนของเครื่องยนต์ ได้แก่

- อากาศเป่าเข้ากระบอกสูบโดยพัดลมผ่านลิ้นไอดี ขณะเดียวกันไอเสียถูกไล่ออกทางลิ้นไอเสีย ซึ่งตำแหน่งนี้ลูกสูบอยู่ในตำแหน่งล่างสุด
- ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ไอดียังคงถูกเป่าเข้าและไอเสียยังคงถูกไล่ออก จนกระทั่งลูกสูบเลื่อนไปปิดลิ้นไอดีและลิ้นไอเสีย ลูกสูบอัดอากาศจนลูกสูบเคลื่อนที่เกือบถึงตำแหน่งบนสุด เชื้อเพลิงถูกฉีดผ่านหัวฉีดจึงเริ่มเกิดการเผาไหม้
- ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้มีความดันและอุณหภูมิสูง ดันลูกสูบเคลื่อนที่ลงไปและข้อเหวี่ยงหมุนไปจนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ลงไปเปิดลิ้นไอดี และลิ้นไอเสียเปิดเริ่มเอาอากาศเข้า และเริ่มการไล่ไอเสียอีกครั้ง



รูปที่ 2.2 การทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ (เครื่องยนต์ดีเซล)

ภาพที่ 2 - 11 การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ



## 2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรางคณา ประภาติกุล (2551) ศึกษาการผลิตไบโอดีโซฮอล์จากน้ำมันสบู่ดำโดยใช้เทคนิคไมโครอิมัลชัน เนื่องจากน้ำมันสบู่ดำมีความหนืดสูงจึงจำเป็นต้องลดความหนืดก่อนที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการเปลี่ยนน้ำมันพืชเป็นน้ำมันไบโอดีเซล แต่พบว่าเมื่อผลิตถึงขั้นผลพลอยได้ คือ กลีเซอรอล และมีน้ำเสียปริมาณมากจากการผลิต จึงทำการศึกษาการลดความหนืดด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันฟิเคชันเนื่องจากไม่ก่อให้เกิดของเสียและผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ โดยเตรียมองค์ประกอบหลัก 3 องค์ประกอบ ได้แก่ น้ำมันสบู่ดำ เอทานอล และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ผลการทดลองจากแผนภูมิสามเหลี่ยม พบว่าองค์ประกอบที่เหมาะสม คือ น้ำมันสบู่ดำ 95% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม 5% และเมื่อทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์และปริมาณไอเสีย พบว่ามีศักยภาพใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซล

Omar และ Amin (2011) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วด้วยกระบวนการเข้าใกล้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา  $\text{Sr/ZrO}_2$  และศึกษาความสัมพันธ์ของเมทานอลต่ออัตราส่วนความเข้มข้นน้ำมัน ตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาการเกิดปฏิกิริยา และอุณหภูมิ การเกิดปฏิกิริยาด้วยเมทิลเอสเทอร์และกรดไขมันอิสระ

Ali และ Hanna (1994) ศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงคล้ายกับดีเซลจากน้ำมันพืช และไขมันสัตว์ มี 4 วิธี คือ การใช้โดยตรงหรือผสมกับน้ำมันดีเซล ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ไพโรไลซิส และไมโครอิมัลชัน ขั้นตอนการเตรียมไมโครอิมัลชัน คือ กำหนดชนิด ประเภทของอิมัลชันหรือสารลดแรงตึงผิว คุณสมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีความหนืดต่ำ และค่าความร้อนต่ำ แต่เลขซีเทน สูง เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2

Dantas และ คณะ (2001) ศึกษาแบบไมโครอิมัลชันที่มีเครื่องยนต์ดีเซลและความแตกต่างร้อยละของน้ำมันพืช เช่น ถั่วเหลือง ปาล์ม และน้ำมันละหุ่ง สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกในการแก้ไขปัญหาเรื่องการเผาไหม้ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อระบบไมโครอิมัลชัน คือ ธรรมชาติของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารลดแรงตึงผิว และองค์ประกอบของเฟสน้ำมัน งานวิจัยนี้เลือกสารลดแรงตึงผิว คือ Texapon HBN (sodium laurylsulfate) และ Comperlan SCD สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ศึกษา คือ Ethyl, Propyl และ Isoamyl alcohol ผลการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ที่ระบบไมโครอิมัลชันมีองค์ประกอบของเฟสน้ำมันที่แตกต่างกัน (ผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืช) เพื่อสร้างพลังงานทดแทน

Lin และ Wang (2003) ศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงอิมัลชันประเภท 3 และตรวจสอบลักษณะอิมัลชันฟิเคชัน ใช้สารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด คือ Span 80 (สารลดแรงตึงผิวแบบชอบน้ำมัน มีค่าเอชแอลบี 4.3) และ Tween 80 (สารลดแรงตึงผิวแบบชอบน้ำ มีค่าเอชแอลบี 15) ใช้ในการเตรียม

อิมัลชันประเภทที่ 3 คือ น้ำมันในน้ำในน้ำมัน หรือ อิมัลชันแบบ O/W/O ผลการศึกษาพบว่าขนาดอิมัลชันแบบ O/W/O ลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วของเครื่องยนต์ มีค่าเอชแอลบี 6 – 8 มีความเสถียรมากขึ้น และมีความเหมาะสมสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิงดีเซล

การศึกษาเทคนิคอิมัลซิฟิเคชันพิจารณาการปล่อยก๊าซไนโตรเจนลดลง ไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลองถูกเตรียมโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับกระบวนการเปอร์ออกไซด์ ในการทดลองใช้สารลดแรงตึงผิว คือ Tween 80 และ Span 80 ผลการทดลองแสดงส่วนผสมสารลดแรงตึงผิวซึ่งมีค่าเอชแอลบี 13 อิมัลซิฟิเคชันมีความเสถียร นอกจากนี้ไบโอดีเซลมีปริมาณคาร์บอนตกค้างน้อย เนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารลดแรงตึงผิว Span 80 และ Tween 80 ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน

Knothe และ Steidley (2005) ศึกษาความหนืดจลนศาสตร์ของสารประกอบไขมันอิ่มตัวและไขมันไม่อิ่มตัว ผลการศึกษาพบว่าค่าความหนืดจลนศาสตร์เพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มความยาวของสายโซ่กรดไขมันหรือแอลกอฮอล์หรือไฮโดรคาร์บอน ที่จำนวนอะตอมคาร์บอนเท่ากันไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวมีความหนืดจลนศาสตร์ต่ำกว่าไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว อย่างไรก็ตามความหนืดจลนศาสตร์ของสารประกอบไขมันไม่อิ่มตัวขึ้นกับจำนวนพันธะคู่

Zhao และคณะ (2006) ศึกษาการเตรียมและการใช้ดีเซลด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ทดสอบการก่อตัวของน้ำในน้ำมันไมโครอิมัลชันเฟสน้ำและเฟสน้ำมัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวประจุบวก คือ กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ คือ แอลกอฮอล์ พิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำที่สามารถละลายในระบบไมโครอิมัลชัน ผลการทดลองแสดงปริมาณของแอมโมเนีย แอลกอฮอล์ และความเข้มข้นของเกลืออนินทรีย์ที่เหมาะสม คือ 0.28 โมลต่อลิตร มีผลต่อไมโครอิมัลชัน พบว่าการศึกษานี้ผสมสารลดแรงตึงผิวดีกว่าใช้สารลดแรงตึงผิวตัวเดียวเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการละลายน้ำเพิ่มขึ้นมากโดยการเพิ่มสารลดแรงตึงผิวประจุบวกเล็กน้อย และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันสามารถดมพิษทางอากาศและปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้

Kerihuel และคณะ (2006) ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของการเผาไหม้ไขมันสัตว์อิมัลชันไขมันสัตว์เตรียมโดยการผสมไขมันกับน้ำ สารลดแรงตึงผิว และสารลดแรงตึงผิวร่วม การศึกษานี้ใช้เอทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และ Span 83 เป็นสารลดแรงตึงผิว อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารลดแรงตึงผิว (C/S) คือ 1, 5 และ 10 ศึกษาความเร็วในการปั่นเหวี่ยงซึ่งส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอิมัลชัน พบว่าจำนวนพารามิเตอร์มีผลต่อลักษณะของอิมัลชัน ความเร็วในการปั่นเหวี่ยงที่เหมาะสม คือ 500 รอบต่อนาที และอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสม คือ 10 อิมัลชันที่เหมาะสมประกอบด้วยเอทานอลร้อยละ 36.4 Span 83 ร้อยละ 3.6 น้ำร้อยละ 10 และกรดไขมันสัตว์ร้อยละ 50 โดยปริมาตร

Paul และ Panda (2011) ศึกษาผลกระทบของสารลดแรงตึงผิวร่วมกับเฟสไมโครอิมัลชันและความหนืดของน้ำมัน โดยการสร้างแผนภาพชุดเทอานารีเฟส (Pseudo ternary phase) ไมโคร

อิมัลชันเฟสเดี่ยวขึ้นกับความยาวของสารลดแรงตึงผิวร่วม สรุปว่าการเพิ่มขึ้นของความยาวของสารลดแรงตึงผิวทำให้ลดความเป็นข้วลง ระบบจึงไม่เสถียรเนื่องจากไม่ผสมผสานกับน้ำ ขนาดของหยดไมโครอิมัลชัน และความหนืดของระบบเพิ่มขึ้นตามความยาวของสารลดแรงตึงผิว

Do และคณะ (2011) ศึกษา น้ำมันพีช 3 ชนิด คือ น้ำมันคาโนลา น้ำมันปาล์ม และน้ำมันจากสาหร่าย พบว่าคาโนลาหลังผสมกับดีเซล ส่งผลให้ Oleyl alcohol มีความคงทนอุณหภูมิสูงกว่า Oleyl amine พบว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมทำให้สารผสมระหว่างสาหร่ายคาโนลา และดีเซลผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM เชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2

Noulkamol (2011) ศึกษาพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพทางเลือกใหม่จากน้ำมันพีช – น้ำมันดีเซล โดยวิธีรีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชัน โดยใช้ น้ำมันปาล์มผสมกับดีเซลในอัตราส่วน 50:50 อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม คือ 1:8 1:4 1:1 และ 4:1 พบว่าอัตราส่วน 1:8 ดีที่สุด เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวทำให้ลดค่าความหนืดลง ศึกษาจากแผนภูมิสามเหลี่ยมพบว่าค่าที่เหมาะสมในการเกิดไมโครอิมัลชันเฟสเดี่ยว คือ สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ 5% น้ำมันปาล์มผสมดีเซลที่ 75% และเอทานอลที่ 20%

Tan และคณะ (2011) ศึกษาการนำน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วมาใช้แทนน้ำมันพีชกลั่นในการผลิตไบโอดีเซลเพื่อเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม น้ำมันปาล์มใช้แล้วจะพบน้ำและกรดไขมันอิสระ จึงนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชัน ดังนั้นกระบวนการเร่งปฏิกิริยาจึงใช้เมทานอลเพื่อตรวจสอบศักยภาพของน้ำมันปาล์มใช้แล้วเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์พบว่ากระบวนการทั้งสองให้ผลผลิตที่เหมาะสมที่ 80%

Attaphong และคณะ (2012) ศึกษาพฤติกรรมเฟสของสารลดแรงตึงผิวคาร์บอกซิเลทในระบบรีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชัน โดยทำการผสมสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมในอัตราส่วน (S/C) 1:8 1:16 และ 1:32 ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกัน ในงานวิจัยนี้เลือกใช้อัตราส่วน 1:16 เนื่องจากให้อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวคงที่ พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ละ 2 เท่า ทำให้ลดค่าความหนืดลงแค่ 1 – 2% มีความยุ่งยากในขั้นตอนการเตรียมที่อัตราส่วน 1:32 เพราะปริมาณของสารลดแรงตึงผิวน้อยมาก และเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมสาร

ทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำมันคาโนลากับดีเซล 0:100 25:75 50:50 75:25 และ 100:2 พบว่าเมื่ออัตราส่วนดีเซลเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 ค่าความหนืดลดลงซึ่งผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของน้ำมันดีเซลประเภท 2 (1.9 - 4.1 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที) แต่การอัตราส่วนคาโนลากับดีเซลที่เพิ่มขึ้นทำให้ต้องใช้สารลดแรงตึงผิวมากเพราะว่าคาโนลาไม่สามารถละลายเข้ากับเอทานอลได้ เนื่องด้วยข้อจำกัดของสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพีช มีลักษณะไม่ชอบน้ำ จึงเลือกใช้อัตราส่วนน้ำมันคาโนลากับดีเซลที่ 50:50

Crookes และคณะ (1997) ศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของการผสมน้ำมันพืชและเชื้อเพลิงดีเซลที่ก่อตัวเป็นอิมัลชัน พบว่าการใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำที่ความดันบรรยากาศเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลทดสอบเครื่องยนต์ลูกสูบเดี่ยวมีกำลังและความเร็วต่ำ การจุดระเบิดช้า ใช้เวลานาน ในห้องเผาไหม้ที่ความดันบรรยากาศสูงสามารถปรับปรุงให้เป็นละออง และช่วยการเผาไหม้โดยการผสมน้ำมันพืชและเชื้อเพลิงดีเซลทำให้การปล่อยอนุภาคต่ำลง ในสภาวะปกติเครื่องยนต์หลายลูกสูบ อิมัลชันซีพีเคชันของน้ำมันพืชผสมกับเชื้อเพลิงดีเซลทำให้เขม่าและก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ลดลง

Bidyut และ Satya (2001) พบว่าคุณสมบัติไมโครอิมัลชันสามารถลดการก่อตัวของเขม่าจากน้ำในน้ำมันระหว่างการเผาไหม้ เมื่อน้ำมันระเหยกลายเป็นไอระหว่างการเผาไหม้ทำให้ความร้อนถูกปล่อยออกมา และอุณหภูมิการเผาไหม้ลดลง ผลที่ได้ คือ ลดปริมาณของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

Lif และ Holmberg (2006) เครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปประกอบด้วยอิมัลชันน้ำในน้ำมันดีเซลเชื้อเพลิงอิมัลชันปล่อยของเสียอันตรายต่อสุขภาพ เช่น การปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และการปล่อยเขม่ากับอนุภาค (PM) ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดี คือ มีน้ำในน้ำมันดีเซลร้อยละ 15 สามารถลดการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ได้ถึงร้อยละ 35 ปริมาณน้ำร้อยละ 15 – 45 สามารถลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และการปล่อยเขม่า แต่การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) เพิ่มขึ้น อุณหภูมิในกระบอกสูบสูงสุดส่งผลให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) น้อยลง

Kwancharon และคณะ (2007) ศึกษาแผนภาพการผสมของดีเซล – ไบโอดีเซล – เอทานอลที่ระดับต่างๆของเอทานอลบริสุทธิ์ และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน คุณสมบัติเชื้อเพลิงมีการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล การศึกษานี้ใช้เอทานอลที่ 95%, 99.5% และ 99.9% ใช้เชื้อเพลิงดีเซล และไบโอดีเซล ก๊าซไอเสียที่ปล่อยจากการเตรียมการเผาไหม้ของดีเซล คือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ลดลง แต่ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) สูงกว่าฟอสซิล ผลที่ได้ คือ มีการผสมดีเซล 80% ไบโอดีเซล 15% และเอทานอล 5% เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตดีเซล

Agarwal (2007) ศึกษาการใช้งานของเชื้อเพลิงชีวภาพ (แอลกอฮอล์และไบโอดีเซล) ผลการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลลดลงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลเพราะไบโอดีเซลประกอบด้วยออกซิเจนจำนวนมากในน้ำมันเชื้อเพลิง เขม่าของไบโอดีเซลในกระบอกสูบ ลูกสูบ และหัวฉีดไม่สามารถสังเกตเห็นได้ เมื่อไบโอดีเซลผสมกับเชื้อเพลิงดีเซลทำให้อุณหภูมิก๊าซไอเสีย และอุณหภูมิ น้ำมันหล่อลื่นต่ำกว่าน้ำมันดีเซล นอกจากนี้การปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ลดลง

Kumar และคณะ (2006) ศึกษาคุณสมบัติและข้อจำกัดของการผสมเอทานอลกับดีเซลและเบนซิน เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่น่าสนใจเพราะเป็นทรัพยากรชีวภาพ มีศักยภาพในการลดการปล่อยอนุภาคในการบีบอัดไฟในเครื่องยนต์ การศึกษานี้เน้นประสิทธิภาพการทำงาน และการปล่อยมลพิษของไบโอดีเซลในการบีบอัดไฟในเครื่องยนต์ ผลที่ได้ คือ มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และปล่อยอนุภาค (PM) ลดลงเมื่อเอทานอลถูกเพิ่มจากน้ำมันเบนซิน 10%

Lin และ Lin (2007) ผลการศึกษาพบว่าไบโอดีเซลลดการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) พิจารณาจากการใช้เชื้อเพลิงอิมัลซิฟิเคชัน และตัวบ่งชี้ไนโตรเจนออกไซด์ในเชื้อเพลิง ศึกษาผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองโดยวิธีเปอร์ออกไซด์ ศึกษาไบโอดีเซลอิมัลชันประเภทที่ 3 คือ น้ำมันในน้ำในน้ำมัน (O/W/O) พบว่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น สาเหตุมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) อัตราส่วนสมมูล อุณหภูมิก๊าซไอเสีย และอัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง

Lin และคณะ (2008) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันรำข้าวเปรียบเทียบกับมาตรฐานไบโอดีเซล ASTM D 6751 - 02 ผลการศึกษาพบว่าการทดสอบกับเครื่องยนต์แสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ส่งออกมาเทียบได้กับดีเซลและการปล่อยก๊าซไอเสียลดลง ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และอนุภาคขนาดเล็ก (PM) แต่ไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (NO<sub>x</sub>)

Lin และคณะ (2009) ศึกษาผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันรำข้าว ซึ่งลดความหนืดด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงไบโอดีเซลของน้ำมันรำข้าวเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซล ASTM D6751-02 และ DIN V51606 ในการนำผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลโดยใช้น้ำมันรำข้าวมาทดสอบเครื่องยนต์เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล พบว่ามีอัตราความสิ้นเปลืองของการใช้น้ำมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และพบว่าก๊าซไอเสีย ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และขนาดอนุภาค (PM) ลดลง แต่ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้น (NO<sub>x</sub>)

Hazar และ Aydin (2010) ศึกษาประสิทธิภาพและก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยเครื่องยนต์ ทำการทดลองโดยใช้น้ำมันเรพซีดดิบผสมกับน้ำมันดีเซล ที่อัตราส่วน 50:50 % โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับน้ำมันเรพซีดดิบผสมกับน้ำมันดีเซล ที่อัตราส่วน 20:80 % โดยปริมาตร ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 1 ลูกสูบ 4 จังหวะ (จังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะระเบิด และจังหวะคาย) จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อมีการให้ความร้อนแก่น้ำมันเรพซีด ความหนืดของน้ำมันเรพซีดลดลง และในการให้ความร้อนทำให้ตัวกรองของเครื่องยนต์ไม่เกิดการอุดตัน สรุปได้ว่าการให้ความร้อนกับเชื้อเพลิงส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ และการปล่อยก๊าซไอเสียเป็นไปในทางที่ดี

Cuenca และคณะ (2011) ศึกษาความเข้มข้นของกลุ่มเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ Monoethylene glycol ethyl ether (EGEE), Dimonoethylene glycol ethyl ether (DEGEE) และ Monoethylene glycol butyl ether (EGBE) ซึ่งส่งผลต่อการปล่อยไอเสีย ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และอนุภาคขนาดเล็ก (PM) การเติมสารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์มีผลทำให้ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น และทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลง นอกจากนี้พบว่าผลของเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ (EGEE, DEGEE และ EGBE) ในเชื้อเพลิงชีวภาพมีผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียเครื่องยนต์ลดลง ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และภาระโหลดของเครื่องยนต์

### บททวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาผลของลักษณะสมบัติน้ำมันพืชต่อลักษณะของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชัน เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใช้มีความหนืดสูงจึงต้องทำการลดความหนืด ในกระบวนการลดความหนืดที่ใช้กันอย่างง่าย คือ วิธีทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันแต่พบว่าไม่มีผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ คือ กลีเซอรอล และมีน้ำเสียปริมาณมากจากการผลิต จึงสนใจศึกษาวิธีไมโครอิมัลชัน เนื่องจากลดการก่อตัวของเขม่าระหว่างการเผาไหม้ ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ตัวแปรที่มีอิทธิพลสำคัญ คือ สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม สารลดแรงตึงผิวแบบชอบน้ำมันจะมีค่าเฮลลบีต่ำ (HLB < 7) ส่วนสารลดแรงตึงผิวแบบชอบน้ำจะมีค่าเฮลลบีสูง (HLB > 7) พบว่าเมื่อมีค่าเฮลลบีต่ำจะมีความเสถียรมากขึ้น และมีความเหมาะสมสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิงดีเซล การผสมสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวร่วมดีกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวตัวเดียวเมื่อเปรียบเทียบกัน คือ ปริมาณการละลายเพิ่มขึ้น

งานวิจัยนี้เลือกใช้น้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางเคมี ซึ่งน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วจะพบน้ำและกรดไขมันอิสระ น้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิ่มตัวสูง และน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง เปรียบเทียบความหนืดจลนศาสตร์ของสารประกอบกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อ น้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลที่ใช้ คือ 50:50 เพราะว่าอัตราส่วนดีเซลเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 ค่าความหนืดลดลงซึ่งผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM เชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 วิธีไมโครอิมัลชันนี้มีตัวแปรที่สำคัญ คือ สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ คือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 5 โอเลิลแอลกอฮอล์ และเมทิลโอเลิเอต โดยเพิ่มการใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิว การเลือกสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีความยาวมากทำให้ลดความเป็นข้วลงส่งผลต่อแผนภาพสามเหลี่ยมไมโครอิมัลชันรวมตัวเป็นเฟสเดียวกัน จึงเลือกใช้เอทานอล และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ในอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ 1:8 เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวร่วมทำให้ค่าความหนืดลดลง และลดค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการเตรียมสาร จากแผนภูมิสามเหลี่ยมเราจึงเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมในปริมาตร 5% โดยปริมาตร น้ำมันพืชผสมกับดีเซลและไบโอดีเซลปริมาตร 75% โดยปริมาตร และเอทานอล ปริมาตร 20% โดยปริมาตร (Noukamol, 2011) และใช้เอทานอล ความบริสุทธิ์ 95% เนื่องจากมีค่า

ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าเอทานอล ความบริสุทธิ์ 99% ถึง 5 เท่า โดยศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน ได้แก่ ค่าความหนืด ขนาดอนุภาค ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเท จุดวาบไฟ ปริมาณน้ำ ปริมาณเถ้า และค่าความเป็นกรด ซึ่งทำการเปรียบเทียบตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล จึงนำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีความเหมาะสมมาใช้ในการวัดปริมาณก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ข้อดีของกระบวนการไมโครอิมัลชัน คือ ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) จึงเลือกการวัดปริมาณก๊าซไอเสียจาก 2 ก๊าซนี้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### บทที่ 3

#### แผนการทดลอง และการดำเนินงานวิจัย

##### 3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิต่ำ ห้อง ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งขั้นตอนการศึกษาเป็น 4 ช่วง ดังนี้

การทดลองช่วงที่ 1 การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วก่อนเข้าสู่กระบวนการไมโครอิมัลชัน

การทดลองช่วงที่ 2 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันชนิดน้ำมันที่ใช้ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางเคมี น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง ผสมดีเซลและไบโอดีเซล

สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ 4 ตัว คือ ดีไฮโดลเอทิลีนออกไซด์ 1 (Dehydol LS1 TH, EO1) ดีไฮโดลเอทิลีนออกไซด์ 5 (Dehydol LS1 TH, EO5) โอลีแอลกอฮอล์ (Oleyl alcohol) และเมทิลโอเลต (Methyl oleate) สารลดแรงตึงผิวรวม 2 ตัว คือ ออกทานอล (Octanol) อลอะเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (Ethylene glycol butyl ether, EGBE)

อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมคงที่ คือ 1:8 โดยโมล (Attaphong และคณะ, 2012)

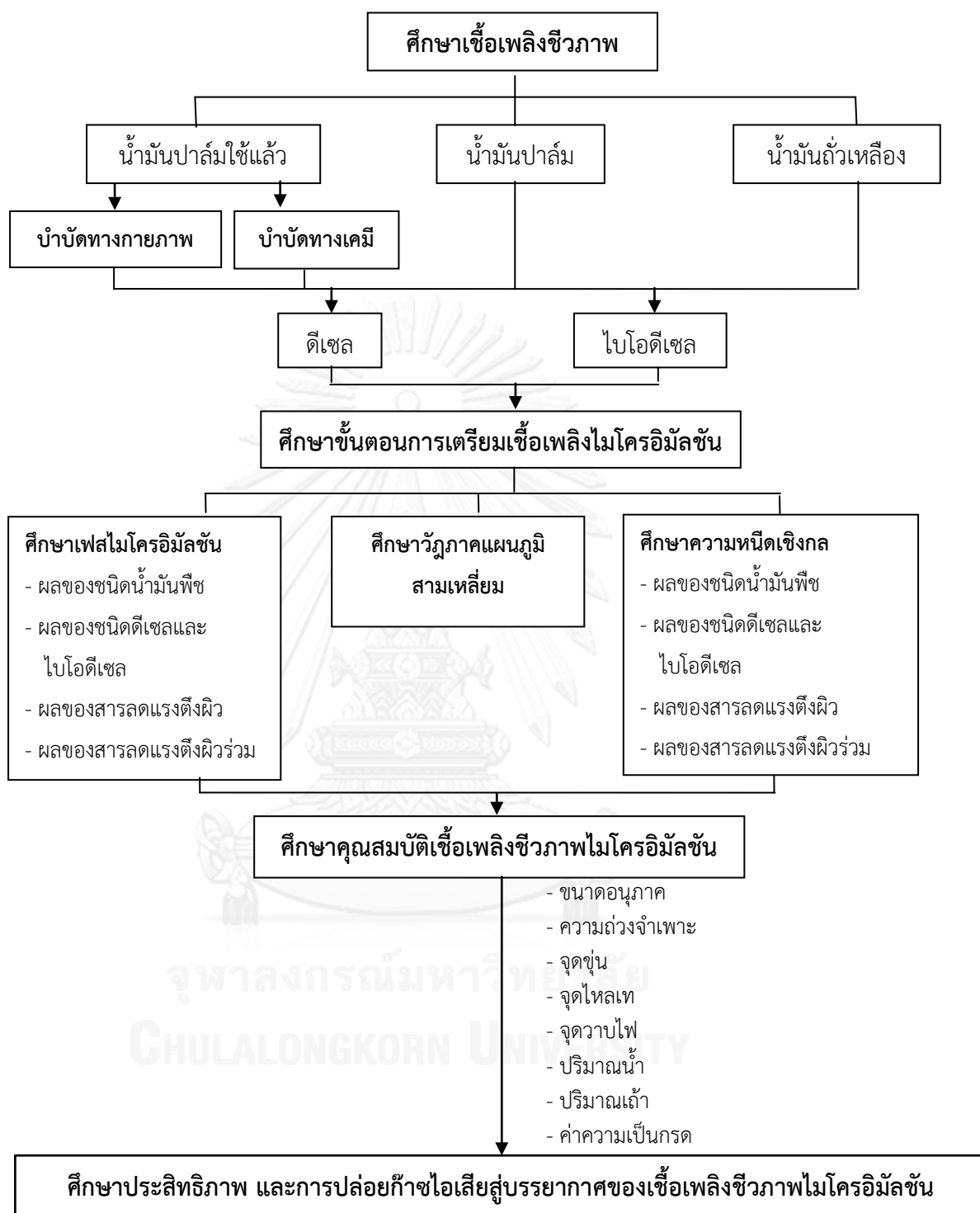
บางการทดลองในช่วงที่ 2 ออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน ศึกษาวัฏภาคแผนภูมิสามเหลี่ยม และศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์

การทดลองช่วงที่ 3 ตรวจสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันประเภทต่างๆ ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางเคมี น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง

การทดลองช่วงที่ 4 ทดสอบประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

แสดงขั้นตอนการทดลองจากแผนภาพที่ 3 – 1 ดังนี้





ภาพที่ 3 - 1      ขั้นตอนการทดลอง

## 3.2 เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี

### 3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

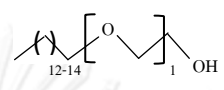
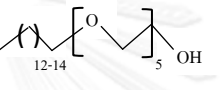



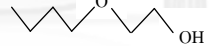
- 3.2.1.1 หลอดทดลอง (Test tube)
- 3.2.1.2 ไมโครปิเปต (Micropipette)
- 3.2.1.3 ไมโครปิเปตทิว (Micropipette tip)
- 3.2.1.4 ปีกเกอร์ (Beaker)
- 3.2.1.5 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- 3.2.1.6 กระจกบอทดวง (Cylinder)
- 3.2.1.7 บิวเรต (Burette)
- 3.2.1.8 ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (Rack)
- 3.2.1.9 ขวดเก็บตัวอย่างฝาเกลียว (Vial)
- 3.2.1.10 ขวดดูแรน (Duran bottle)
- 3.2.1.11 เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ชนิด Canon - Fenske
- 3.2.1.12 อ่างควบคุมความเย็น (Cooling bath)
- 3.2.1.13 อ่างควบคุมความร้อน (Heating bath)
- 3.2.1.14 เครื่องผสมสาร Vortex geniez รุ่น G-560E บริษัท Scientific Industries
- 3.2.1.15 เครื่องวัดปริมาณไอเสีย (Gas analyzer testo 350-XL)
- 3.2.1.16 เครื่องยนต์ ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที ยี่ห้อ MITSUKI รุ่น 100KB - 4

### 3.2.2 สารเคมี

- 3.2.2.1 น้ำมันปาล์มใช้แล้ว จากร้านข้าวเหนียวไก่ทอดอักษรฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 3.2.2.2 น้ำมันปาล์ม จากบริษัท มรกตอินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
- 3.2.2.3 น้ำมันถั่วเหลือง จากบริษัท มรกตอินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
- 3.2.2.4 น้ำมันดีเซล จากบริษัท เซลล์แห่งประเทศไทย จำกัด
- 3.2.2.5 น้ำมันไบโอดีเซล จากบริษัท วีระสุวรรณ จำกัด
- 3.2.2.6 เอทานอลเกรดการค้า ค่าความบริสุทธิ์ 95% จากบริษัท อิตาลีมาร์ จำกัด
- 3.2.2.7 เอทานอล ACS reagent ค่าความบริสุทธิ์ 99.9% จากบริษัท คาร์โล เออร์บา จำกัด
- 3.2.2.8 ดีไฮดรอเอทีลินออกไซด์1 (Dehydrol LS1 TH, EO1) ค่าความบริสุทธิ์ 99.7% จากบริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด
- 3.2.2.9 ดีไฮดรอเอทีลินออกไซด์5 (Dehydrol LS5 TH, EO5) ค่าความบริสุทธิ์ 99.7% จากบริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด
- 3.2.2.10 โอเลอิลแอลกอฮอล์ (Oleyl alcohol) ค่าความบริสุทธิ์ 85% จากบริษัท ซิกม่าอัลดริช จำกัด

- 3.2.2.11 เมทิลโอเลต (Methyl oleate) ค่าความบริสุทธิ์ 70% จากบริษัท ซิกม่าอัลดริช จำกัด
- 3.2.2.12 ออกทานอล (Octanol) ค่าความบริสุทธิ์ 99% จากบริษัท อะครอส ออร์แกนิก จำกัด
- 3.2.2.13 เอทิลีนกลูคอลอบิวทิลอีเทอร์ (Ethylene glycol butyl ether, EGBE) ค่าความบริสุทธิ์ 99.5% จากบริษัท คาร์โลเออร์บา จำกัด
- 3.2.2.14 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ค่าความบริสุทธิ์ 98% จากบริษัท คาร์โลเออร์บา จำกัด
- 3.2.2.15 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ค่าความบริสุทธิ์ 85% จากบริษัท เอเจ็ค ฟายเคม จำกัด
- 3.2.2.16 เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol) ค่าความบริสุทธิ์ 99.9% จากบริษัท ฟิชเชอร์ซายน์ทีฟิก จำกัด
- 3.2.2.17 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) ค่าความบริสุทธิ์ 98% จากบริษัท เอเจ็ค ฟายเคม จำกัด
- 3.2.2.18 ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether) ค่าความบริสุทธิ์ 99.5% จากบริษัท อนารา จำกัด

ตารางที่ 3 - 1 คุณสมบัติสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุและสารลดแรงตึงผิวร่วม

สารเคมี	% ความ บริสุทธิ์	สูตร	สูตรโครงสร้าง	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	ค่าความ หนาแน่น (กรัม/ มิลลิลิตร)
<b>สารลดแรงตึงผิว</b>					
ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์ 1 (Dehydol LS1TH, EO1)	99	$C_{12-14}(EO)_1OH$		217.15	0.837
ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์ 5 (Dehydol LS5TH, EO5)	99	$C_{12-14}(EO)_5OH$		393.23	0.924
โอเลอิล แอลกอฮอล์ (Oleyl alcohol)	85*	$C_{18}H_{36}O$		268.48	0.849
เมทิลโอเลเอต (Methyl oleate)	70*	$C_{19}H_{36}O_2$		296.49	0.874
<b>สารลดแรงตึงผิวร่วม</b>					
ออกทานอล (Octanol)	99	$C_8H_{17}OH$		130.20	0.833
เอทิลีนไกลคอล บิวทิลอีเทอร์ (Ethylene glycol butyl ether, EGBE)	99	$C_6H_{14}O_2$		118.17	0.902

\* หมายเหตุ : องค์ประกอบหลักของ % ความบริสุทธิ์ ที่เหลือ คือ น้ำ ส่งผลด้านการทดสอบคุณสมบัติปริมาณน้ำ เนื่องจากปริมาณน้ำมากทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ลดลง

### 3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 การทดลองช่วงที่ 1 ศึกษาวิธีการบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

##### 3.3.1.1 การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางกายภาพโดยกลไกการกรองด้วยผ้าขาวบาง

1. เก็บตัวอย่างน้ำมันปาล์มใช้แล้ว จากร้านอาหารข้าวเหนียวไก่ทอดอักษรฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. นำมาพักทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้สารแขวนลอยน้ำมันปาล์มใช้แล้วตกตะกอน
3. นำน้ำมันส่วนบนทำการกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อเอาตะกอนออก (อิศม คำดี, 2548)
4. ให้ความร้อนโดยการต้มน้ำมันที่ผ่านการกรองด้วยเตาไฟฟ้า (Hot plate) ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้น้ำแยกตัวออกจากน้ำมัน เป็นเวลา 10 นาที เนื่องจากน้ำมันเบากว่าน้ำ ดังนั้นด้านล่างจึงมีน้ำอยู่ น้ำจึงเดือดจากด้านล่างผุดเป็นฟองขึ้นด้านบนซึ่งเป็นชั้นของน้ำมัน (ถาปนาศักดิ์ ธงศ์สุวรรณ, 2554)
5. นำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการบำบัด พักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
6. วัดความหนืดของน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscometer)
7. เก็บตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพไว้ในขวดเก็บตัวอย่าง

##### 3.3.1.2 การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางเคมีโดยกลไกการนำน้ำมันปาล์มใช้แล้วเข้าใกล้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

1. ทำการทดลองเหมือนการบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางกายภาพ โดยทำตามข้อ 1 – 5
2. นำ 0.1% สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.1% NaOH) ใส่บิวเรต ปริมาตร 20 มิลลิลิตร การใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีกรดไขมันอิสระเมื่อทำปฏิกิริยากับต่างทำให้ปฏิกิริยาเข้าใกล้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน แต่ถ้าน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีจำนวนกรดไขมันอิสระมากต้องมีการเพิ่มต่างมากขึ้นเพื่อให้กรดในน้ำมันปาล์มใช้แล้วกลายเป็นกลาง ถึงแม้เติมต่างเพิ่มมากขึ้นก็ไม่ทำให้การเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันเพิ่มขึ้น (Sharma, 2012) จึงทำการไทเทรตเพื่อหาปริมาณการใช้ต่างที่เหมาะสม
3. นำเมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. เติมอินดิเคเตอร์ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) 2 – 3 หยด ลงใน

เมทิลแอลกอฮอล์ และทำการผสมให้เข้ากัน

5. เติมน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ในขวดวัดปริมาตร

6. ทำการไทเทรต สารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ เมื่อถึงจุดยุติจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู และสีชมพูจะคงอยู่ประมาณ 30 วินาที

7. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

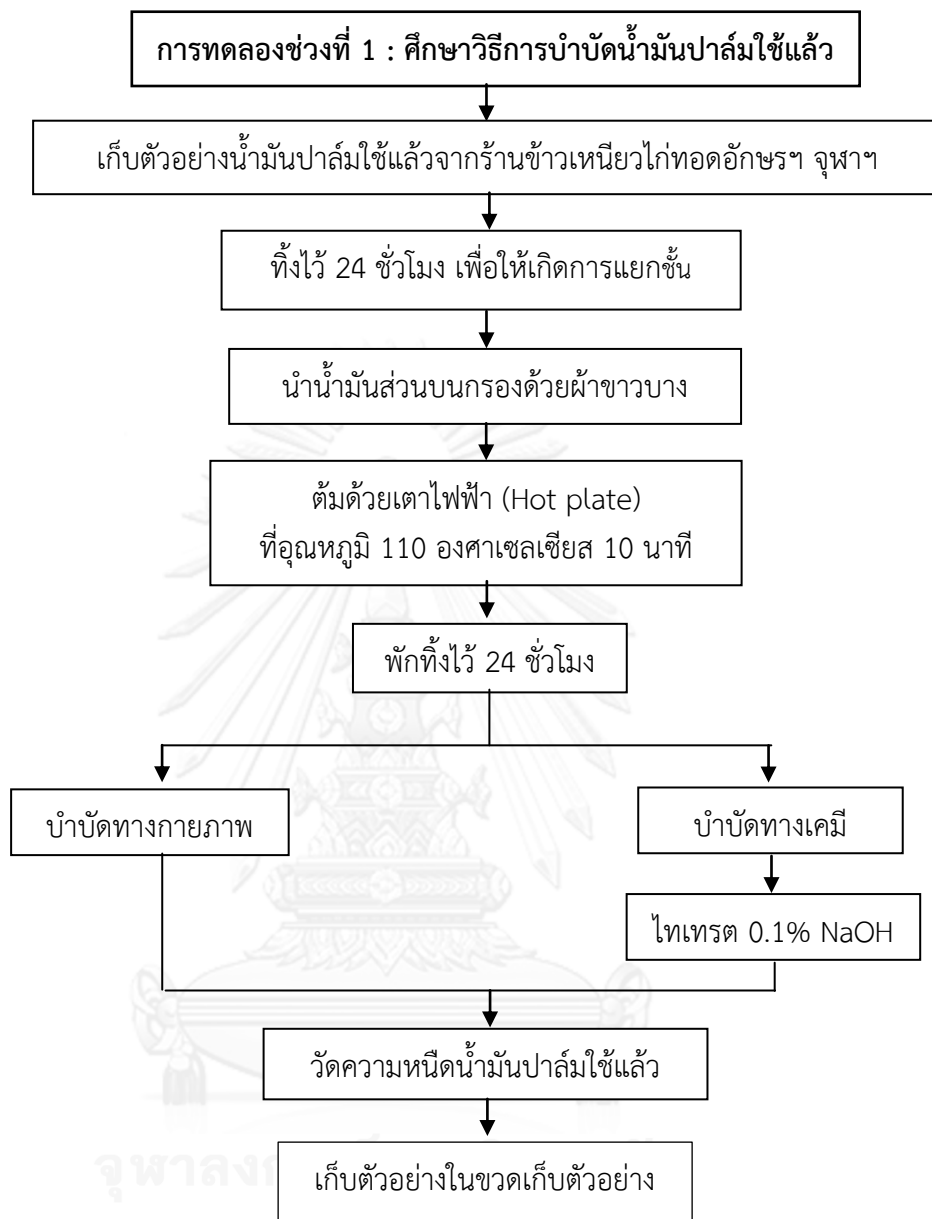
8. บันทึกปริมาตรเริ่มต้น และปริมาตรสุดท้ายของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไป

9. คำนวณหาปริมาตรทั้งหมดของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

10. นำน้ำมันที่ผ่านกระบวนการบำบัด พักทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

11. วัดความหนืดของน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscometer)

12. เก็บตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางเคมีไว้ในขวดเก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 3 - 2 ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 1

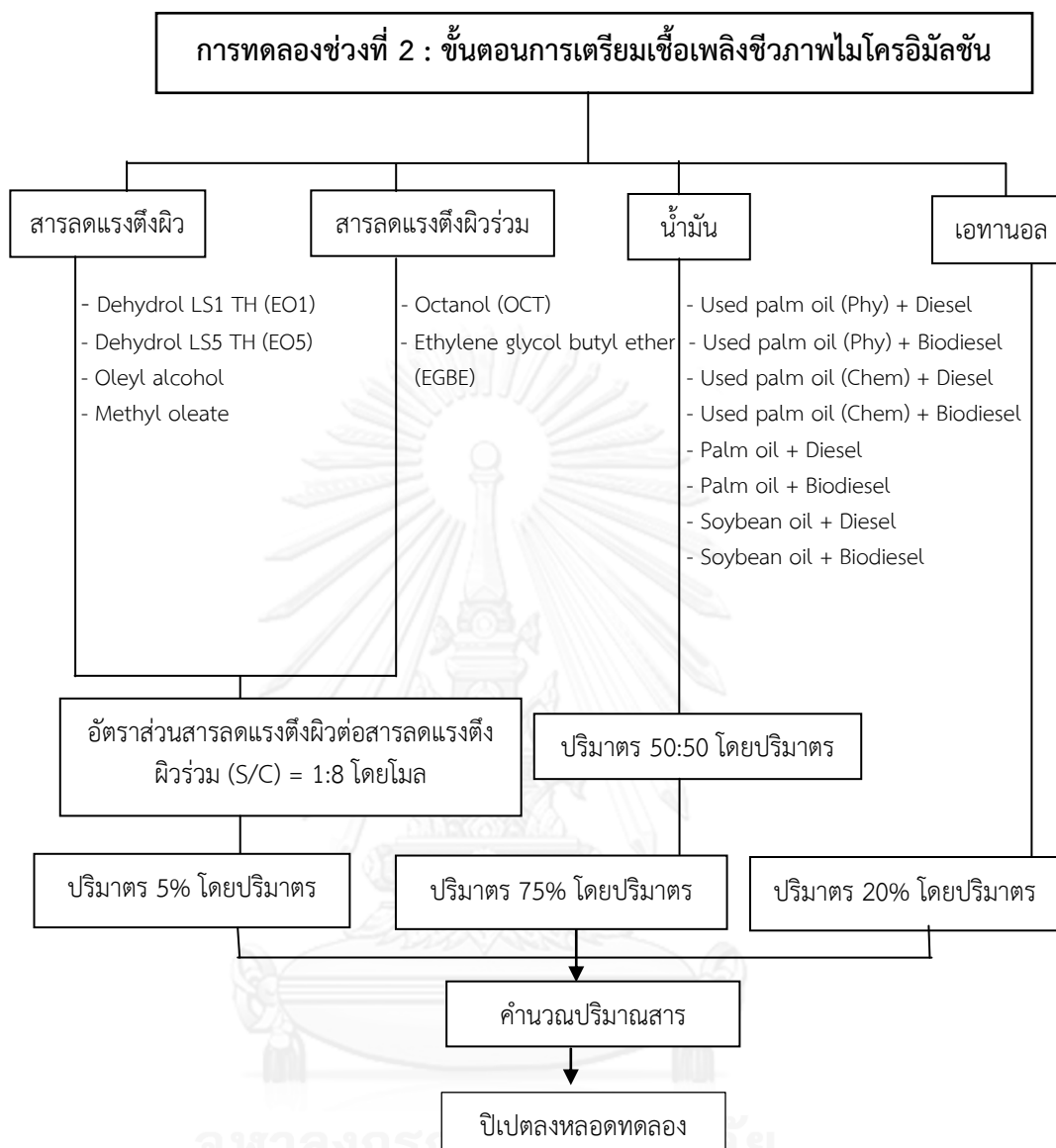
ตารางที่ 3 - 2 ตัวแปรการทดลองช่วงที่ 1

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรอิสระ	- น้ำมันปาล์มใช้แล้วจากร้านข้าวเหนียวไก่ทอดอักษรฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตัวแปรตาม	- ค่าความหนืด
ตัวแปรคงที่	- อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส - เวลา 10 นาที - เมทิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร - ฟีนอล์ฟทาลีน 2 หยด - พักน้ำมันปาล์มใช้แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

### 3.3.2 การทดลองช่วงที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. เตรียมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ 4 ตัว ได้แก่ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1, ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 5, โอลีลแอลกอฮอล์ และเมทิลโอเลต
2. เตรียมสารลดแรงตึงผิวร่วม คือ ออกทานอล และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลแอลกอฮอล์
3. ผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุและสารลดแรงตึงผิวร่วม ในอัตราส่วนคงที่ 1:8 โดยโมล (Attaphong และคณะ, 2012)
4. ผสมน้ำมันพืชกับดีเซลและไบโอดีเซล ในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร (Attaphong และคณะ, 2012)
5. เตรียมปริมาณสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารลดแรงตึงผิว 5% โดยปริมาตร (Noukamol, 2011)
6. เตรียมปริมาณน้ำมัน 75% โดยปริมาตร (Noukamol, 2011)
7. เตรียมปริมาณเอทานอล 20% โดยปริมาตร (Noukamol, 2011)
8. คำนวณปริมาณสาร และปิเปตลงหลอดทดลอง





ภาพที่ 3 - 3 ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 2

ตารางที่ 3 - 3 จำนวนสารที่ใช้ในการทดลอง 64 หลอดทดลอง

ตัวอย่าง	น้ำมันพืช	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล
1	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว (ทางกายภาพ)	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	ออกทานอล	เอทานอล 95%
2	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
3	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„
4	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„
5	„	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„
6	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
7	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„
8	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„
9	„	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	เอทิลีนไกลคอลบิวทิล อีเทอร์	„
10	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
11	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„
12	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„
13	„	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„
14	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
15	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„
16	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„
17	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว (ทางเคมี)	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	ออกทานอล	„
18	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„

ตารางที่ 3 – 3 จำนวนสารที่ใช้ในการทดลอง 64 หลอดทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมันพืช	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	เอทานอล
19	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว (ทางเคมี)	ดีเซล	โอเลิลแอลกอฮอล์	ออกทานอล	เอทานอล 95%
20	„	„	เมทิลโอเลิเอต	„	„
21	„	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„
22	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
23	„	„	โอเลิลแอลกอฮอล์	„	„
24	„	„	เมทิลโอเลิเอต	„	„
25	„	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	เอทิลีนไกลคอลบิวทิล อีเทอร์	„
26	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
27	„	„	โอเลิลแอลกอฮอล์	„	„
28	„	„	เมทิลโอเลิเอต	„	„
29	„	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„
30	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
31	„	„	โอเลิลแอลกอฮอล์	„	„
32	„	„	เมทิลโอเลิเอต	„	„
33	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	ออกทานอล	„
34	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
35	„	„	โอเลิลแอลกอฮอล์	„	„

ตารางที่ 3 – 3 จำนวนสารที่ใช้ในการทดลอง 64 หลอดทดลอง (ต่อ)

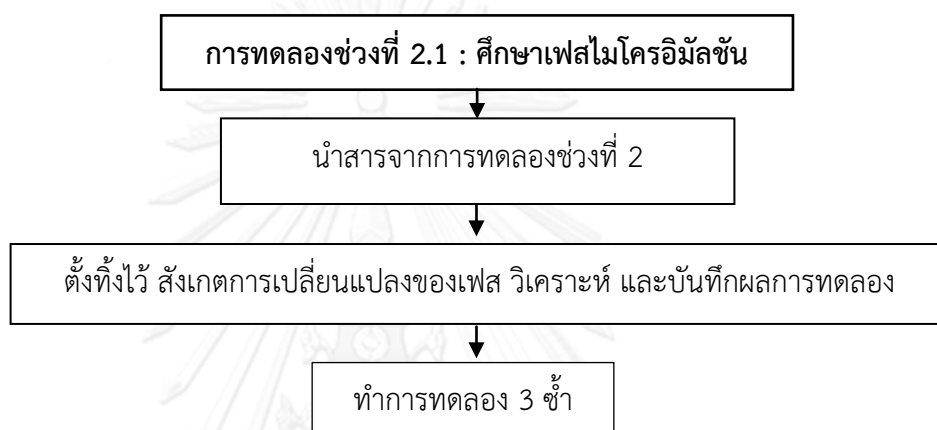
ตัวอย่าง	น้ำมันพืช	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล
36	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	เมทิลโอเลเอต	ออกทานอล	เอทานอล 95%
37	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„
38	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
39	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„
40	„	„	เมทิลโอเลเอต	„	„
41	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	เอทิลีนไกลคอลบิวทิล อีเทอร์	„
42	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
43	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„
44	„	„	เมทิลโอเลเอต	„	„
45	„	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„
46	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
47	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„
48	„	„	เมทิลโอเลเอต	„	„
49	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	ออกทานอล	„
50	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
51	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„

ตารางที่ 3 – 3 จำนวนสารที่ใช้ในการทดลอง 64 หลอดทดลอง (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมันพืช	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล
52	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	เมทิลโอลลีเอต	ออกทานอล	เอทานอล 95%
53	„	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„
54	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
55	„	„	โอเลิลแอลกอฮอล์	„	„
56	„	„	เมทิลโอลลีเอต	„	„
57	„	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	เอทิลีนไกลคอลบิวทิล อีเทอร์	„
58	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
59	„	„	โอเลิลแอลกอฮอล์	„	„
60	„	„	เมทิลโอลลีเอต	„	„
61	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„
62	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„
63	„	„	โอเลิลแอลกอฮอล์	„	„
64	„	„	เมทิลโอลลีเอต	„	„

### 3.3.2.1 การทดลองช่วงที่ 2.1 ศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน

1. นำสารจากการทดลองช่วงที่ 2 ทำการผสมสารลงในหลอดทดลอง ด้วยเครื่องวอร์เท็กซ์ (Vortex geniez)
2. ตั้งทิ้งไว้ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของเฟส วิเคราะห์ และบันทึกผลการทดลอง
3. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ



ภาพที่ 3 - 4 ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 2.1

ตารางที่ 3 - 4 ตัวแปรการทดลองช่วงที่ 2.1

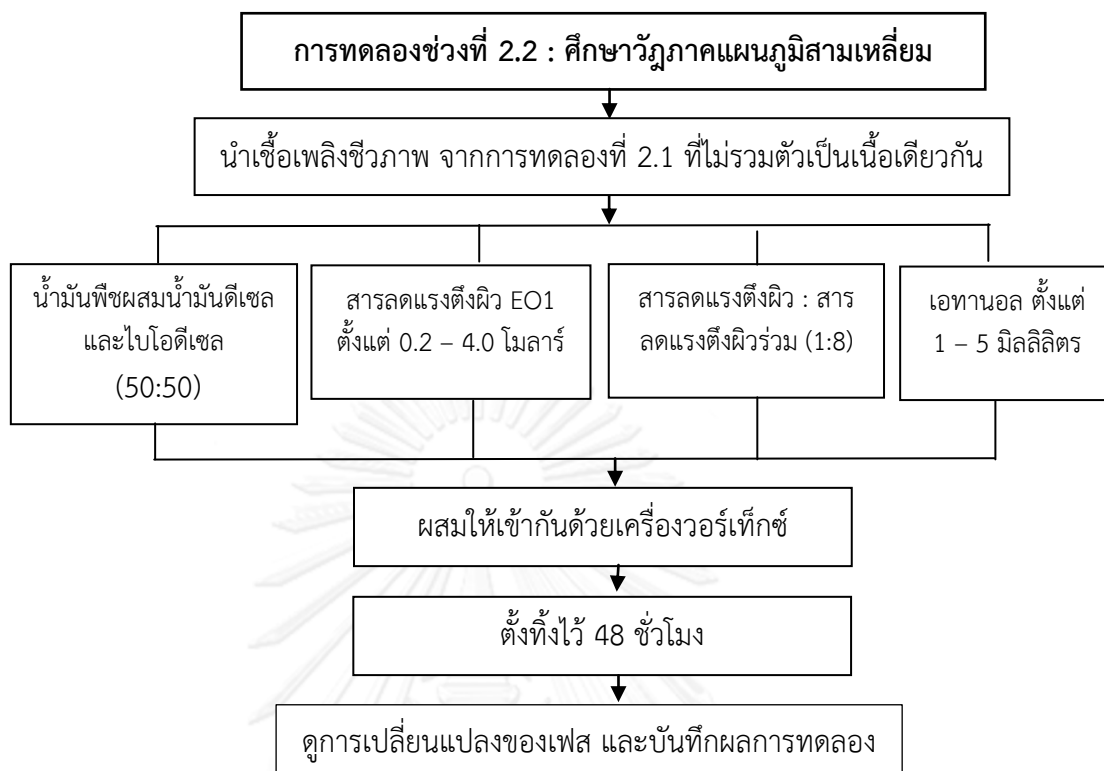
ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	<ul style="list-style-type: none"> <li>- น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพผสมดีเซลและไบโอดีเซล</li> <li>- น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางเคมีผสมดีเซลและไบโอดีเซล</li> <li>- น้ำมันปาล์มผสมดีเซลและไบโอดีเซล</li> <li>- น้ำมันถั่วเหลืองผสมดีเซลและไบโอดีเซล</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1, ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5, โอลิซิลแอลกอฮอล์ และเมทิลโอลิเอต</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวรวม คือ ออกทานอล และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์</li> </ul>
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเฟสไมโครอิมัลชัน</li> <li>- การไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเฟสไมโครอิมัลชัน</li> </ul>
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันพืชต่อดีเซลและไบโอดีเซล 50:50 โดยปริมาตร</li> <li>- อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:8 โดยโมล</li> <li>- ปริมาณเอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร</li> <li>- ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมร้อยละ 5 โดยปริมาตร</li> <li>- ปริมาณน้ำมันร้อยละ 75 โดยปริมาตร</li> </ul>

### 3.3.2.2 การทดลองช่วงที่ 2.2 ศึกษาวิฤภาคแผนภูมิสามเหลี่ยม

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพ จากการทดลองที่ 2.1 ที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน โดยคำนวณปริมาณสารต่างๆ โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวตั้งแต่ 0.2 – 4.0 โมลาร์ และเปลี่ยนปริมาณเอทานอลกับน้ำมันตั้งแต่ 1 – 5 มิลลิลิตร ให้อัตราส่วนปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมเป็น 1:8 โดยโมล

2. ผสมสารแต่ละชนิดลงในหลอดทดลอง ได้แก่ น้ำมัน สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวรวม เอทานอล และนำไปผสมด้วยเครื่องวอร์เท็กซ์

3. ตั้งหลอดทดลองทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของเฟส และบันทึกผลการทดลอง



ภาพที่ 3 - 5 ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 2.2

ตารางที่ 3 - 5 ตัวแปรการทดลองช่วงที่ 2.2

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	- น้ำมันพืชผสมดีเซลและไบโอดีเซล
ตัวแปรตาม	- ปริมาณสารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
ตัวแปรคงที่	- น้ำมันพืชผสมดีเซลและไบโอดีเซล อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร - สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:8 โดยโมล



### 3.3.2.3 การทดลองช่วงที่ 2.3 ศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ได้จากการทดลองช่วงที่ 2.1 วัดความหนืดด้วยเครื่องมือวัดความหนืด (Viscometer) ชนิด Canon – Fenske
2. นำเชื้อเพลิงชีวภาพใส่ในเครื่องมือวัดความหนืด ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทำการจับเวลา ดูอัตราการไหลของน้ำมันในเครื่องมือวัดความหนืด ที่อุณหภูมิ 15, 25, 30 และ 40 องศาเซลเซียส ปรับอุณหภูมิโดยใช้อ่างควบคุมความเย็น และอ่างควบคุมความร้อน
3. ดูการเคลื่อนที่ของสารระหว่างขีดบนและขีดล่างของหลอด Canon – Fenske
4. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
5. นำค่าที่ได้จากการทดลองคำนวณความหนืดเชิงจลนศาสตร์ จากสูตร

$$\mu = Kt \quad (3 - 1)$$

เมื่อ  $\mu$  คือ ค่าความหนืดเชิงจลน์ (cst)

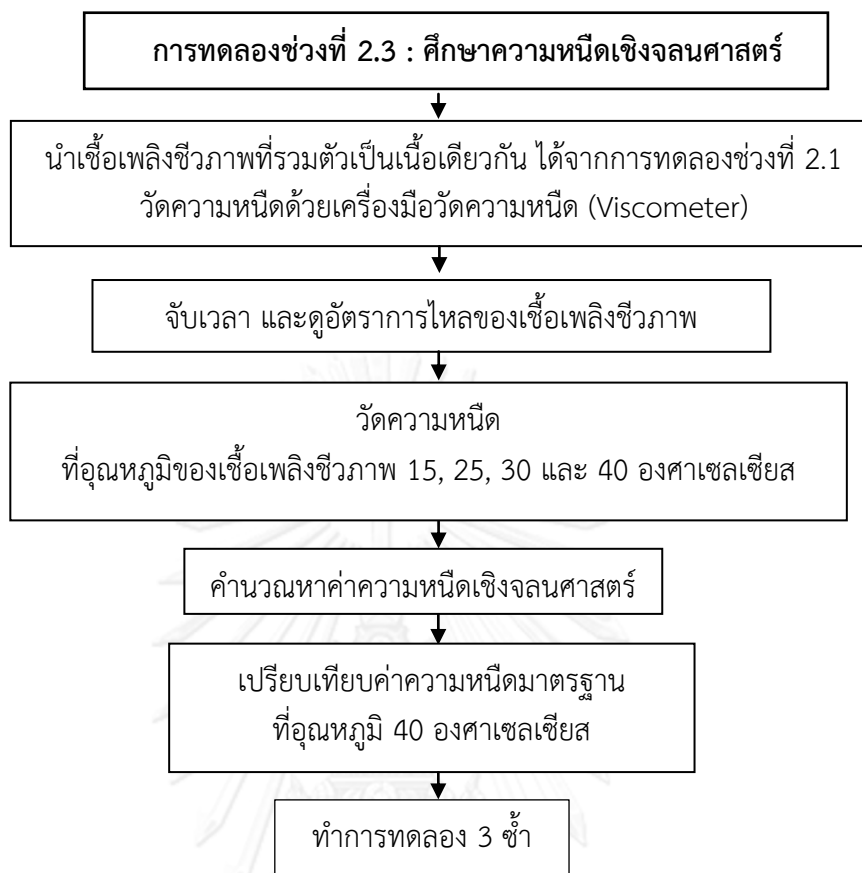
K คือ ค่าความหนืดคงที่ (0.01606 cst/s)

t คือ เวลาที่ตัวอย่างเคลื่อนที่ในหลอดทดลอง

6. เปรียบเทียบค่าความหนืดมาตรฐานที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



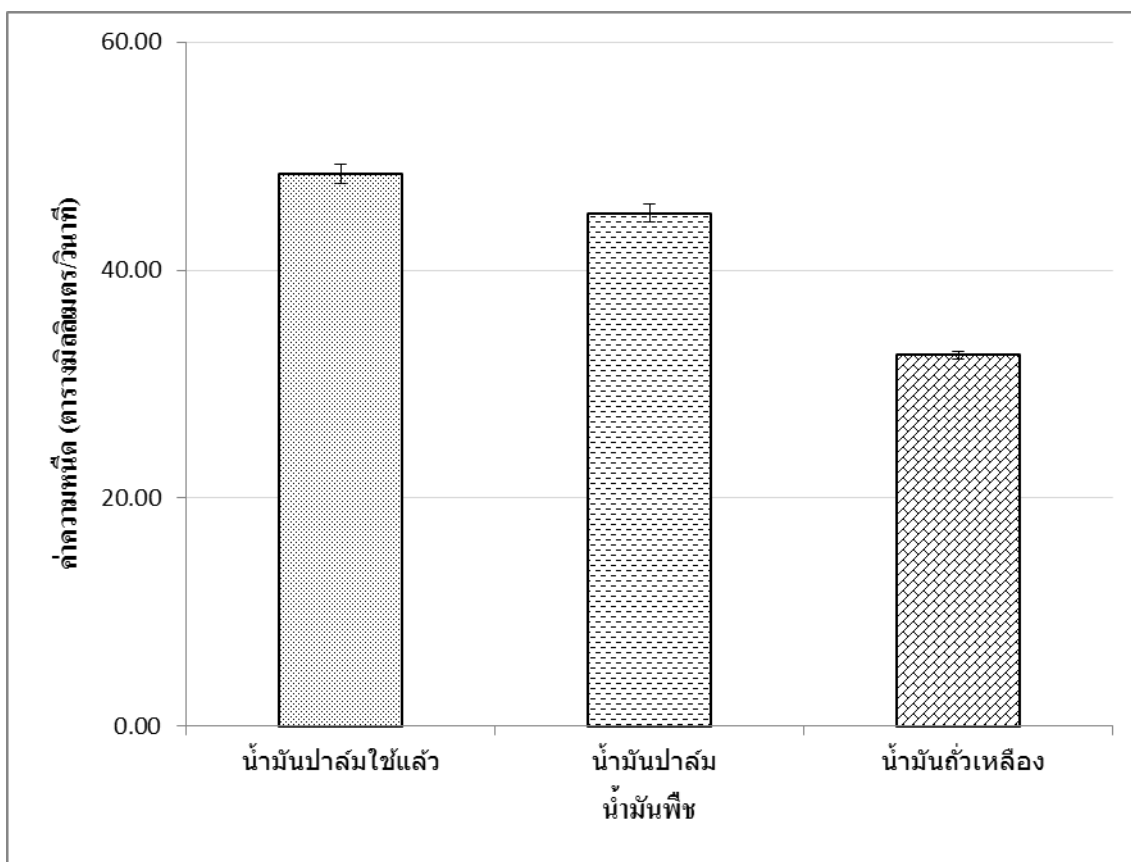
ภาพที่ 3 - 6 เครื่องมือวัดความหนืด (Viscometer)



ภาพที่ 3 - 7 ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 2.3

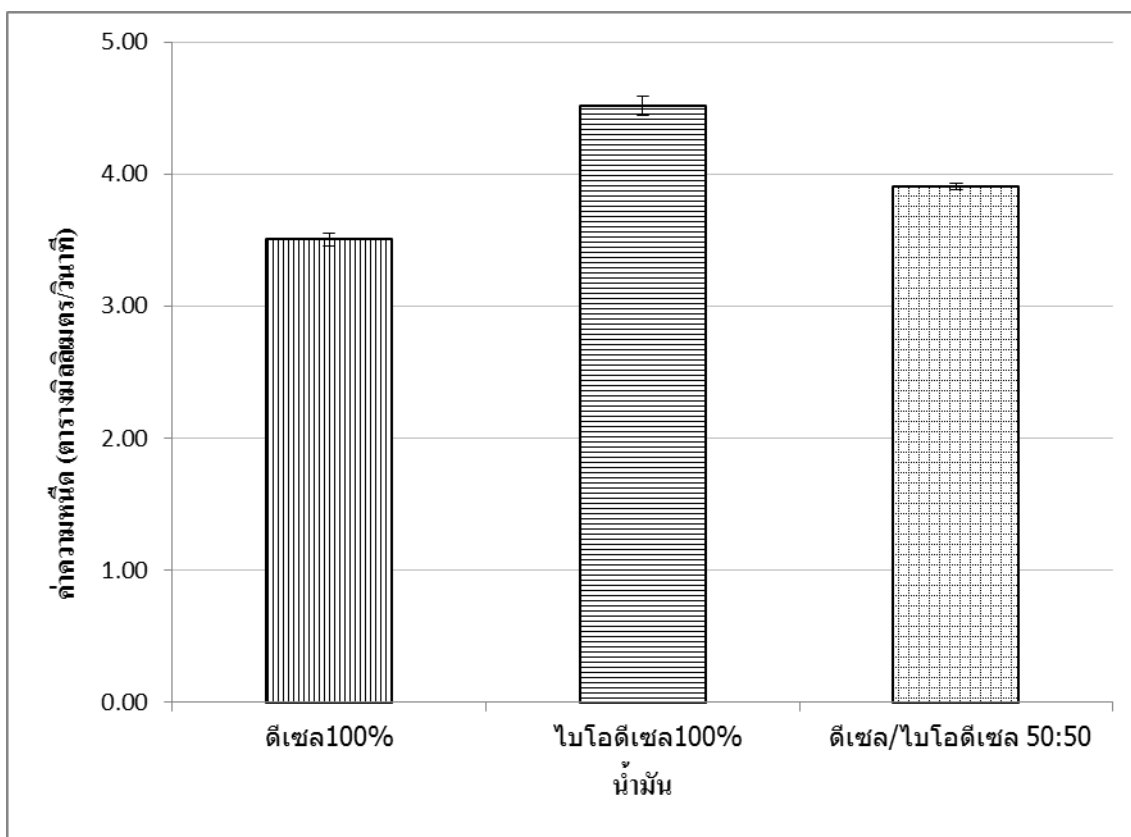
ตารางที่ 3 - 6 ตัวแปรการทดลองช่วงที่ 2.3

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	<ul style="list-style-type: none"> <li>- น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพผสมดีเซลและไบโอดีเซล</li> <li>- น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางเคมีผสมดีเซลและไบโอดีเซล</li> <li>- น้ำมันปาล์มผสมดีเซลและไบโอดีเซล</li> <li>- น้ำมันถั่วเหลืองผสมดีเซลและไบโอดีเซล</li> </ul>
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ค่าความหนืด</li> </ul>
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ปริมาตรเชื้อเพลิงชีวภาพ 10 มิลลิลิตร ที่ใส่ลงในเครื่องมือวัดความหนืดชนิด Canon – Fenske</li> <li>- อุณหภูมิที่ 15, 25, 30 และ 40 องศาเซลเซียส</li> </ul>



ภาพที่ 3 - 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและชนิดน้ำมันพืช ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 3 - 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและชนิดน้ำมันพืช ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากมาตรฐานค่าความชื้น ASTM ของเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 (1.9 - 4.1 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที) และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (1.9 - 6.0 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที) พบว่า น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง มีค่าความชื้นจากมากที่สุดไปน้อยสุด



ภาพที่ 3 - 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

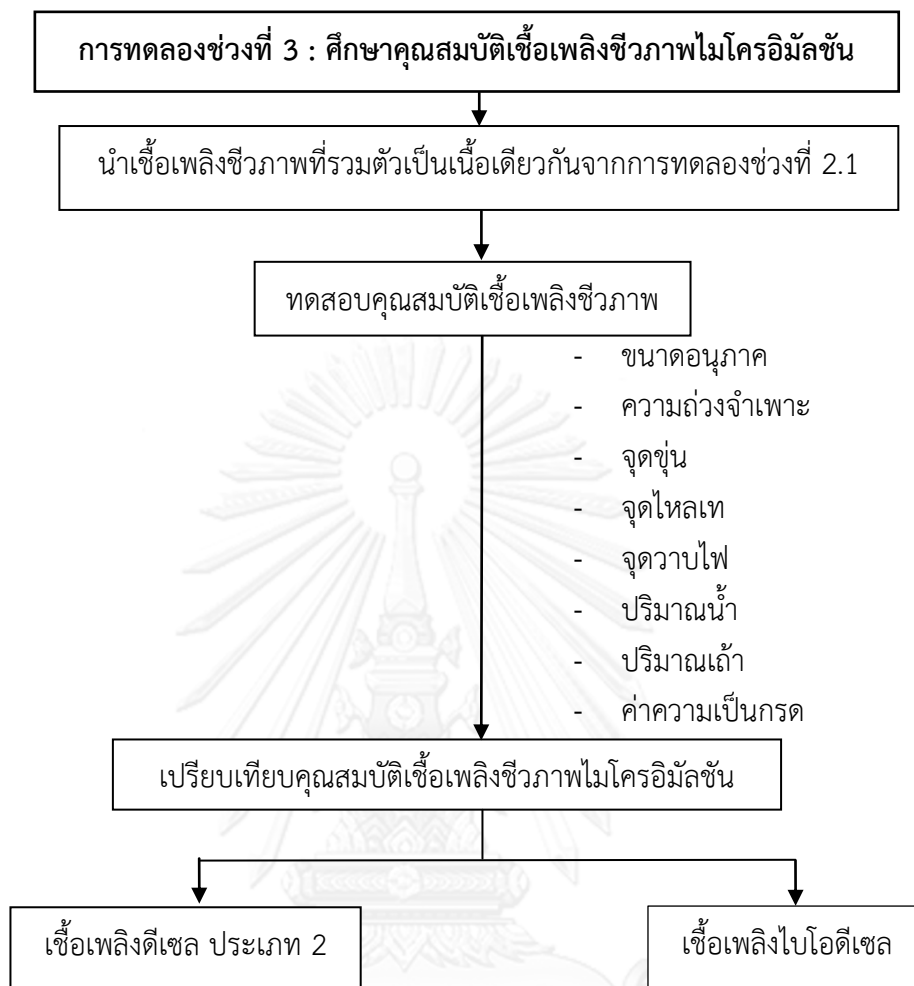
ภาพที่ 3 - 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าดีเซล 100% ไบโอดีเซล 100% และดีเซลผสมไบโอดีเซล 50:50 มีค่าความแข็ง 3.51, 4.51 และ 3.91 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานค่าความแข็ง ASTM ของเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 (1.9 - 4.0 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที) และมาตรฐานค่าความแข็งเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (1.9 - 6.0 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)

### 3.3.3 การทดลองช่วงที่ 3 ศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน จากการทดลองช่วงที่ 2.1
2. ทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ และตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ ขนาดอนุภาค (droplet size) ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) จุดขุ่น (cloud point) จุดไหลเท (pour point) จุดวาบไฟ (flash point) ปริมาณน้ำ (water content) ปริมาณเถ้า (ash content) และค่าความเป็นกรด (acid number)
3. วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM (American Standard Testing Methods) ดังตารางที่ 3 - 7
4. เปรียบเทียบคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันกับคุณสมบัติเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ตารางที่ 3 - 7 พารามิเตอร์และวิธีการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพ

พารามิเตอร์	หน่วย	เครื่องมือ	วิธีทดสอบตามมาตรฐาน
ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)	-	Hydrometer	ASTM D1298
จุดขุ่น (cloud point)	องศาเซลเซียส	ISL CPP 5Gs Cloud & Pour Point Tester	ASTM D2500
จุดไหลเท (pour point)	องศาเซลเซียส	ISL CPP 5Gs Cloud & Pour Point Tester	ASTM D2500
จุดวาบไฟ (flash point)	องศาเซลเซียส	APM-7 Pensky-Martens Closed Cup Tester	ASTM D93
ปริมาณน้ำ (water content)	% โดยปริมาตร	Karl fischer titration	ASTM D6304
ปริมาณเถ้า (ash content)	% โดยมวล	AAF7 Ashing Furnace	ASTM D482
ค่าความเป็นกรด (acid number)	มิลลิกรัม โฟสเฟสเทียมไฮดรอกไซด์/กรัมน้ำมัน	Tirando Automatic Potentiometric Titration	ASTM D664



ภาพที่ 3 - 10 ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 3

### คุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพที่เลือกทดสอบ

การตรวจวัดความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เพื่อบอกคุณสมบัติการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ถ้าค่าความถ่วงจำเพาะสูงแสดงว่ามีพวงสารอะโรมาติกมากทำให้การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ไม่ดี ซึ่งความถ่วงจำเพาะจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

การตรวจวัดจุดขุ่น (Cloud point) เพื่อบอกจุดที่อุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงกลายเป็นไอเนื่องจากการรวมตัวเป็นผลึก ซึ่งจุดขุ่นนี้เป็นตัวบอกว่าส่วนที่กรองเชื้อเพลิงและเส้นท่อเกิดการอุดตัน

การตรวจวัดจุดไหลเท (Pour point) เพื่อบอกจุดที่อุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงยังสามารถไหลได้ และเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดไหลเทแล้วระบบเชื้อเพลิงรวมถึงสายเชื้อเพลิงและถังเชื้อเพลิงทั้งหมดต้องมีการให้ความร้อน

การตรวจวัดจุดวาบไฟ (Flash point) เพื่อบอกจุดที่อุณหภูมิต่ำที่สุดเมื่อเกิดการระเบิดที่แหล่งกำเนิดจุดไฟเนื่องจากการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง ถ้าจุดวาบไฟต่ำแสดงว่าติดไฟง่าย

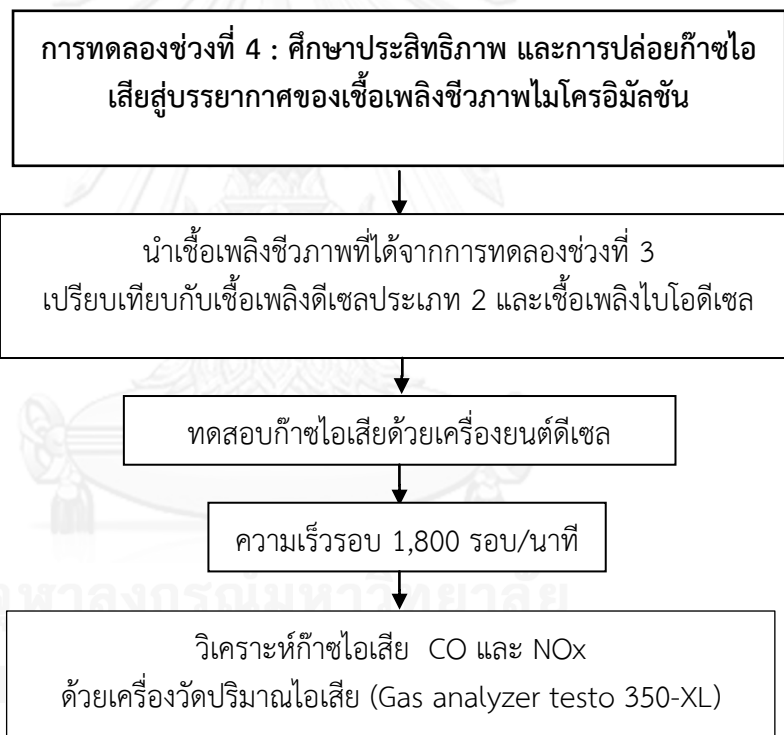
การตรวจวัดปริมาณน้ำ (Water content) เพื่อบอกการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เนื่องจากปริมาณน้ำมากทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลง ส่งผลให้ไนโตรเจนออกไซด์ และอนุภาคขนาดเล็กลดลง

การตรวจวัดปริมาณเถ้า (Ash content) เพื่อบอกการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เนื่องจากปริมาณเถ้ามากส่งผลให้ระบบหัวฉีด ลูกสูบ แหวน และวาล์ว เกิดการอุดตัน ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

การตรวจวัดค่าความเป็นกรด (Acid number) เพื่อบอกปริมาณของกรดทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำมัน ต้องไม่มีกรดแก่อยู่ในน้ำมันเพราะกรดแก่ทำให้เกิดการกัดกร่อนโลหะ ซึ่งน้ำมันที่ผ่านขั้นตอนการผลิตอย่างดีจะมีค่าความเป็นกรดน้อยมาก ไม่เกิน 0.05 - 0.10 มิลลิกรัมด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัมไขมัน (mg KOH/g oil)

### 3.3.4 การทดลองช่วงที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพ และการปล่อยก๊าซไอเสียสู่บรรยากาศของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 3 เปรียบเทียบเชื้อเพลิงดีเซล ประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล
2. ทดสอบพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพของเครื่องยนต์ โดยทดสอบความเร็วรอบคงที่ที่ 1,800 รอบต่อนาที
3. นำเครื่องยนต์ดีเซลทดสอบก๊าซไอเสียที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ โดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา คือ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>)
4. ทำการวัดก๊าซไอเสียที่ท่อไอเสียของเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องวัดปริมาณไอเสีย (Gas analyzer testo 350-XL)



ภาพที่ 3 - 11 ขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 4



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาผลของลักษณะสมบัติของน้ำมันพืชต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ โดยเริ่มต้นจากการศึกษาผลของชนิดและลักษณะของน้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางเคมี น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากวิธีการไมโครอิมัลชันโดยสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ศึกษาผลของคุณสมบัติสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ และสารลดแรงตึงผิวร่วมที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ศึกษาลักษณะสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันประเภทต่างๆ และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุเปรียบเทียบกับโดยเกณฑ์มาตรฐาน ASTM (American Standard Testing Method) ของเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืช

#### 4.1 การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

##### 4.1.1 การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางกายภาพโดยกลไกการกรองด้วยผ้าขาวบาง

น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดด้วยกลไกการกรองด้วยผ้าขาวบาง การให้ความร้อน และตั้งน้ำมันทิ้งไว้ พบว่าสารแขวนลอยตกตะกอนจึงนำน้ำมันส่วนใส ซึ่งเป็นน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน แสดงดังภาพที่ 4 - 1 ซึ่งในเชิงอุตสาหกรรมการบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางกายภาพใช้วิธีการปั่นเหวี่ยงเพื่อให้สารแขวนลอยตกตะกอนลงมา และทำการกรองเกลือเนื่องจากเกลือสามารถจับความชื้นที่ปนอยู่ในน้ำมัน และจะละลายน้ำกลายเป็นน้ำเกลือทำให้น้ำเกลือตกลงสู่ด้านล่างเพราะน้ำเกลือหนักกว่าน้ำมัน จึงนำน้ำมันส่วนบนไปใช้ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ซึ่งในการบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วด้วยการกรองผ่านผ้าขาวบางสามารถใช้ได้กับการทดลองขนาดเล็ก



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 - 1 (ก) น้ำมันปาล์มใช้แล้ว (ข) น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ

#### 4.1.2 การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางเคมีโดยกลไกการนำน้ำมันปาล์มใช้แล้วเข้าใกล้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดด้วยกลไกการเข้าใกล้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยนำน้ำมันปาล์มที่บำบัดทางกายภาพมาไทเทรตด้วย 0.1% สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.1% NaOH) เพื่อหาจุดยุติ การใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีกรดไขมันอิสระเมื่อทำปฏิกิริยากับต่างทำให้เข้าใกล้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Sharma, 2012) พบว่าน้ำมันปาล์มที่บำบัดทางเคมีไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับสารละลาย การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางเคมีจึงไม่เหมาะสมกับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน แสดงดังภาพที่ 4 - 2



ภาพที่ 4 - 2 น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ และน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางเคมี

### 4.2 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

ผลการทดลองกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน รายละเอียดภาคผนวก ข

#### 4.2.1 ศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน

ศึกษาเฟสเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยการผสมน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 75% อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมคงที่ (S/C) 1:8 โดยโมล ที่ปริมาตร 5% และเอทานอลเกรดทางการค้า ความบริสุทธิ์ 95% ที่ปริมาตร 20% เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำการศึกษามีทั้งหมด 48 หลอดการทดลอง เนื่องจากการบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางเคมีโดยกลไกการเข้าใกล้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันไม่เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับสารละลาย จึงไม่สามารถนำมาศึกษาทั้งหมด 16 ตัว คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางเคมี ผสม ดีเซลและไบโอดีเซล สารลดแรงตึงผิว (ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1, ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 5, โอลิซิลแอลกอฮอล์ และเมทิลโอเลต) สารลดแรงตึงผิวร่วม (ออกทานอล และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์) พบว่าน้ำมันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) และไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Separate phase) แสดงดังตารางที่ 4 - 1

ตารางที่ 4 - 1 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันและไม่รวมตัวกัน

ตัวอย่าง	น้ำมันพืช/น้ำมัน 75% โดยปริมาตร		สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิว รวม 5% โดยปริมาตร		เอทานอล 20% โดย ปริมาตร	น้ำมัน รวมตัว (Single phase)
1	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	ออกทานอล	เอทานอล	/
2	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„	/
3	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„	/
4	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„	/
5	„	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	/
6	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„	/
7	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„	/
8	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„	/
9	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	/
10	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„	/
11	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„	/
12	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„	/
13	„	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	/
14	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„	/
15	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„	/
16	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„	/
17	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	/
18	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„	/
19	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„	/
20	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„	/

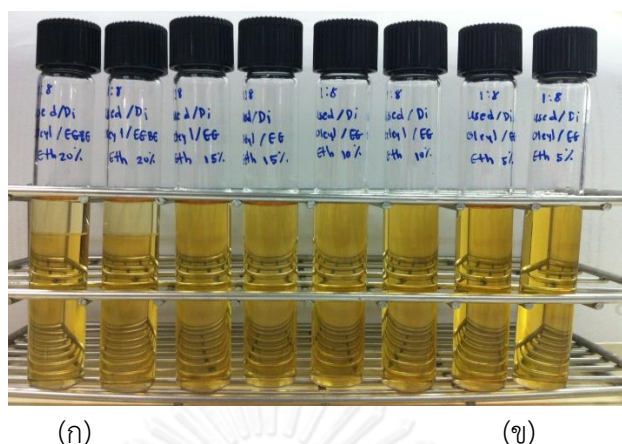
ตารางที่ 4 -1 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันและไม่รวมตัวกัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมันพืช/น้ำมัน 75% โดยปริมาตร		สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิว รวม 5% โดยปริมาตร		เอทานอล 20% โดย ปริมาตร	น้ำมัน รวมตัว (Single phase)
21	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	ออกทานอล	เอทานอล	/
22	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„	/
23	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„	/
24	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„	/
25	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	อีจีบีอี	„	X
26	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„	X
27	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„	X
28	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„	X
29	„	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	X
30	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„	/
31	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„	/
32	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„	/
33	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	X
34	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„	X
35	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„	X
36	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„	X
37	„	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	X
38	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„	/
39	„	„	โอเลอิลแอลกอฮอล์	„	„	/
40	„	„	เมทิลโอลิเอต	„	„	/

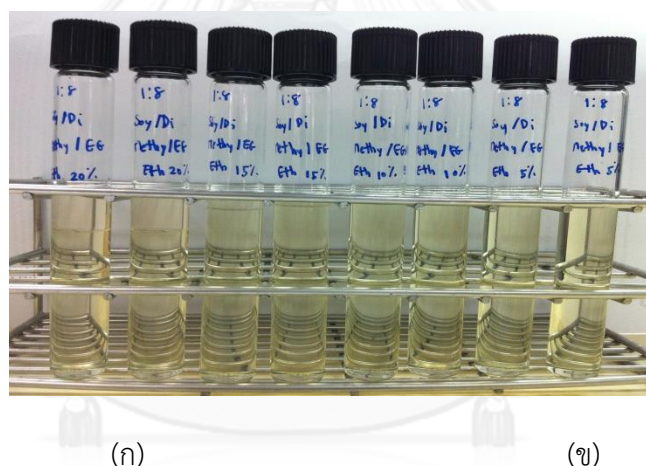
ตารางที่ 4 -1 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันและไม่รวมตัวกัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมันพืช/น้ำมัน 75% โดยปริมาตร		สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิว รวม 5% โดยปริมาตร		เอทานอล 20% โดย ปริมาตร	น้ำมัน รวมตัว (Single phase)
41	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	อีจีบีอี	เอทานอล	X
42	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„	X
43	„	„	โอเลิลแอลกอฮอล์	„	„	X
44	„	„	เมทิลโอเลเอต	„	„	X
45	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	X
46	„	„	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5	„	„	/
47	„	„	โอเลิลแอลกอฮอล์	„	„	/
48	„	„	เมทิลโอเลเอต	„	„	/

จากตารางที่ 4 -1 พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง ผสมกับดีเซล สารลดแรงตึงผิวทั้ง 4 ชนิด คือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 โอเลิลแอลกอฮอล์ และเมทิลโอเลเอต โดยใช้สารลดแรงตึงผิวรวม คือ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และน้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง ผสมกับไบโอดีเซล สารลดแรงตึงผิว คือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 สารลดแรงตึงผิวรวม คือ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ แสดงตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Separate phase) และเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) ดังภาพที่ 4 - 3 ซึ่งจากการศึกษาเฟสไมโครอิมัลชันพบว่าชนิดของน้ำมันพืช คือ น้ำมันถั่วเหลืองมีการดูลักษณะของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่รวมตัวกันยากที่สุดเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ และน้ำมันถั่วเหลือง เนื่องจากสีของน้ำมันถั่วเหลืองค่อนข้างขาวและใส ดังภาพที่ 4 - 4



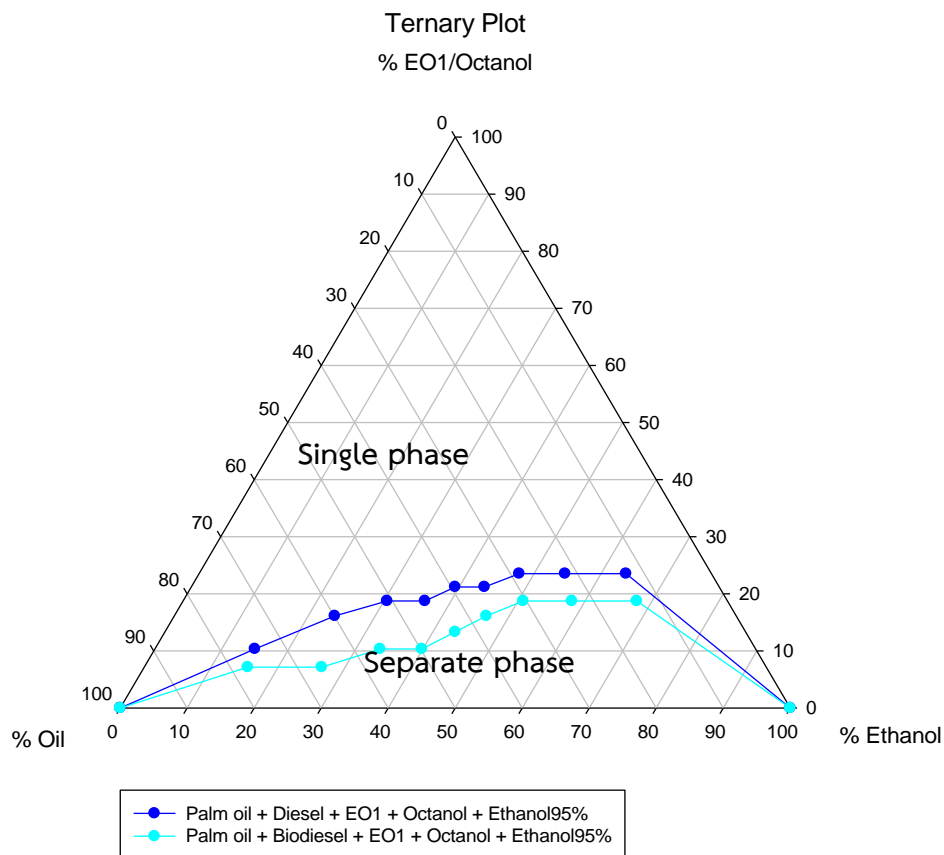
ภาพที่ 4 - 3 (ก) เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Separate phase) และ (ข) เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase)



ภาพที่ 4 - 4 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนประกอบของน้ำมันถั่วเหลือง (ก) เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Separate phase) และ (ข) เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase)

#### 4.2.2 ศึกษาวัฏภาคของสารโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม

จากผลการทดลองศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน พบว่าน้ำมันพืชที่ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นจึงทำการศึกษาวัฏภาคของสารโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม โดยเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ ออกทานอล และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ แสดงดังภาพที่ 4 - 5, 6 และ 7



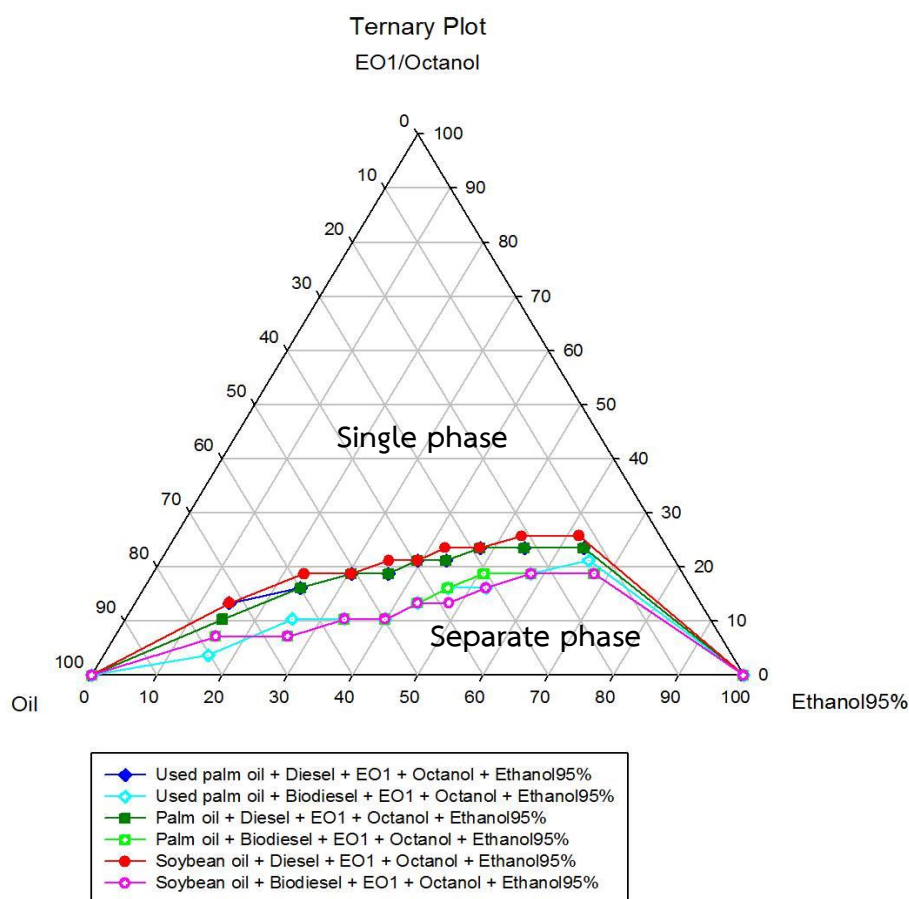
ภาพที่ 4 - 5      แผนภูมิสามเหลี่ยม โดยเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มผสมดีเซลและน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร

ภาพที่ 4 - 5 แสดงแผนภูมิสามเหลี่ยมโดยเปรียบเทียบน้ำมันปาล์มผสมดีเซล

และน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล โดยเส้นกราฟแผนภูมิสามเหลี่ยมเกิดจากการรวมตัวกันของส่วนประกอบ 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมัน (น้ำมันพืชผสมดีเซล และน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล) สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล ด้านบนเส้นกราฟจากแผนภูมิสามเหลี่ยม คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) ส่วนด้านล่างเส้นกราฟจากแผนภูมิสามเหลี่ยม คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Separate phase) เส้นกราฟที่แสดงในแผนภูมิสามเหลี่ยม คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเกิดการรวมตัวกัน (Single phase) ในอัตราส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารลดแรงตึงผิวร่วม

ในการเลือกเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เหมาะสม เลือกจุดที่สองจากกราฟ เนื่องจากเส้นกราฟเข้าใกล้น้ำมันมากที่สุด ในการศึกษาที่มีความต้องการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยใช้ปริมาณน้ำมันน้อยกว่าการใช้สารเคมี เพราะการใช้สารเคมีจำนวนมากทำให้ไม่เหมาะสมกับค่าความทุนทางเศรษฐศาสตร์ และไม่ควรเลือกใช้ปริมาณจุดแรกของกราฟเพราะมีการใช้น้ำมัน 100% ซึ่งทำ

ให้เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันแต่เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่ผ่านคุณสมบัติด้านความหนืด จึงต้องมีการเติมสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล



ภาพที่ 4 - 6 แผนภูมิสามเหลี่ยม โดยเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล อัตราส่วน 1:8 โดยโมล น้ำมันพืชผสมดีเซลและน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล 50:50 โดยปริมาตร

ภาพที่ 4 - 6 แสดงถึงการศึกษาวัฏภาคโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม โดยการเปรียบเทียบน้ำมันทั้ง 6 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง โดยทำการผสมดีเซลและไบโอดีเซล ใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล และเอทานอล 95% พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) ในปริมาณที่เหมาะสม ได้แก่

น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพผสมดีเซล ประกอบด้วย เอทานอล 15% น้ำมัน 72% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม 13%



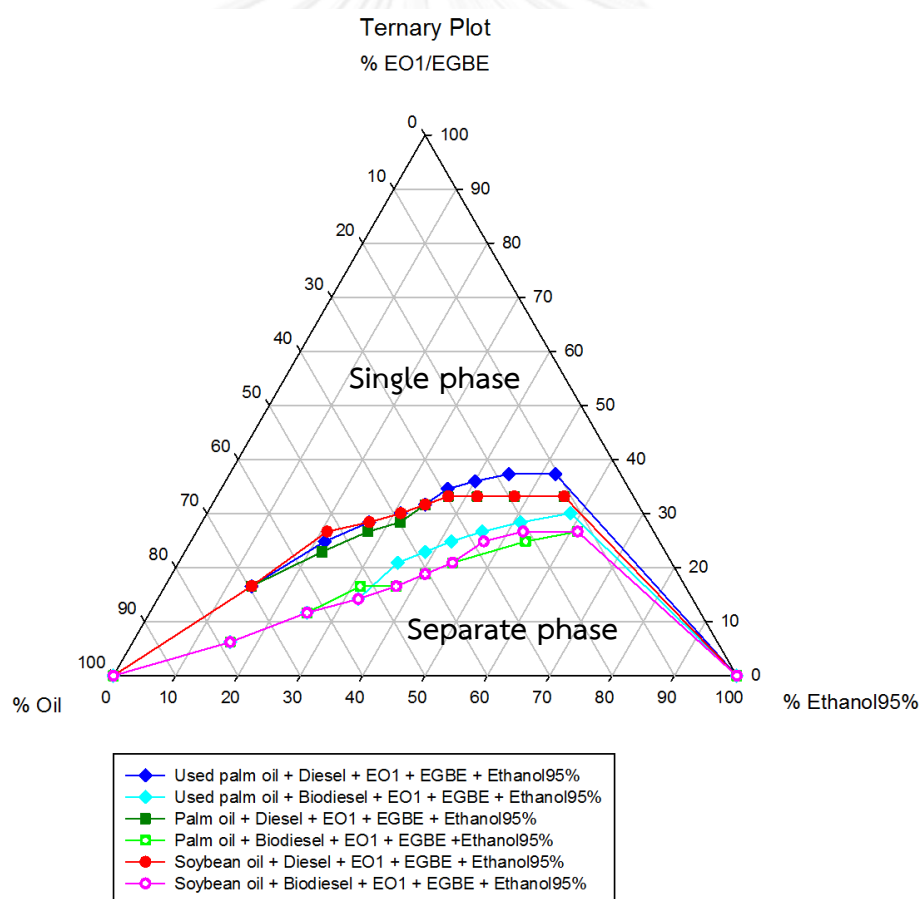
น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพผสมไบโอดีเซล ประกอบด้วย เอทานอล 16% น้ำมัน 81% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวม 3%

น้ำมันปาล์มผสมดีเซล ประกอบด้วย เอทานอล 15% น้ำมัน 75% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวม 10%

น้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล ประกอบด้วย เอทานอล 16% น้ำมัน 77% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวม 7%

น้ำมันถั่วเหลืองผสมดีเซล ประกอบด้วย เอทานอล 16% น้ำมัน 77% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวม 7%

น้ำมันถั่วเหลืองผสมไบโอดีเซล ประกอบด้วย เอทานอล 15% น้ำมัน 72% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวม 13%



ภาพที่ 4 - 7    แผนภูมิสามเหลี่ยม โดยเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอลเอทิลีนออกไซด์ 1 สารลดแรงตึงผิวรวมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ อัตราส่วน 1:8 โดยโมล น้ำมันพืชผสมดีเซล และ น้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล 50:50 โดยปริมาตร

ภาพที่ 4 – 7 แสดงการศึกษาวัฏภาคโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม โดยการเปรียบเทียบ น้ำมันทั้ง 6 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง โดยทำการผสมดีเซลและไบโอดีเซล ใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 ใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95% พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) ในปริมาตรที่เหมาะสม ได้แก่

น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพผสมดีเซล ประกอบด้วย เอทานอล 14% น้ำมัน 71% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม 15%

น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพผสมไบโอดีเซล ประกอบด้วย เอทานอล 16% น้ำมัน 79% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม 5%

น้ำมันปาล์มผสมดีเซล ประกอบด้วย เอทานอล 14% น้ำมัน 70% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม 16%

น้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล ประกอบด้วย เอทานอล 16% น้ำมัน 79% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม 5%

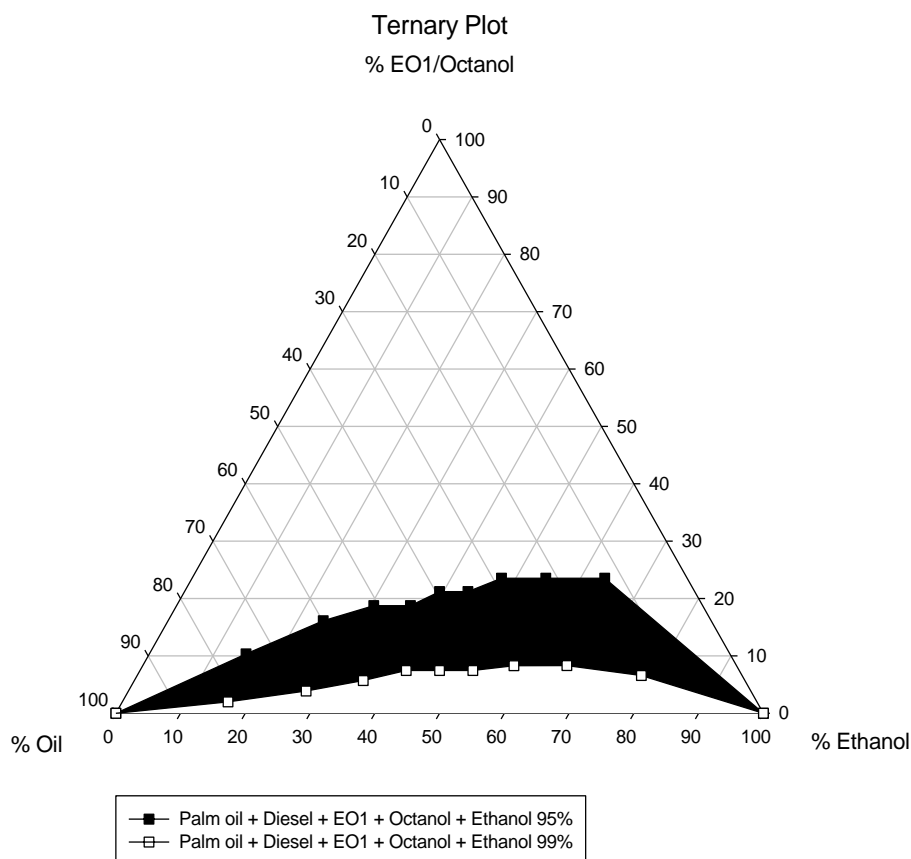
น้ำมันถั่วเหลืองผสมดีเซล ประกอบด้วย เอทานอล 14% น้ำมัน 69% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม 17%

น้ำมันถั่วเหลืองผสมไบโอดีเซล ประกอบด้วย เอทานอล 16% น้ำมัน 79% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม 5%

จากภาพที่ 4 – 6 และ 4 – 7 ผลของชนิดน้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง จากวัฏภาคของแผนภูมิสามเหลี่ยมไม่พบการเปลี่ยนแปลงของน้ำมันทั้ง 3 ชนิด เนื่องจากองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันปาล์มมีกรดปาล์มิติก (C16) 32 – 45 % และกรดโอเลอิก (C18:1) 38 – 52 % องค์ประกอบไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดโอเลอิก (C18:1) 22 – 34 % และกรดลิโนเลนิก (C18:2) 43 – 56 % (Balat และคณะ, 2008) เพราะจำนวนอะตอมคาร์บอนในกรดไขมันของน้ำมันพืชแตกต่างกันเล็กน้อย และน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซลมีการรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าน้ำมันพืชผสมดีเซล เพราะใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมน้อยกว่า

ผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวร่วม คือ ออกทานอล และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์บนวัฏภาคแผนภูมิสามเหลี่ยม พบว่าน้ำมันปาล์มผสมดีเซล โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล มีการละลายและรวมตัวกันได้ดีกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ เพราะว่าการใช้ออกทานอลลดปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวลง ค่าความมีขี้ของออกทานอล  $16.1 \pm 0.5 \times 10^{-24}$  ลูกบาศก์เซนติเมตร ต่ำกว่าค่าความมีขี้ของเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์  $13.1 \pm 0.5 \times 10^{-24}$  ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำให้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลเข้าใกล้น้ำมันมากกว่าเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์

ผลของการศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน คือ เปรียบเทียบเอทานอลความบริสุทธิ์ 95% และเอทานอลความบริสุทธิ์ 99% เป็นส่วนผสมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ดีเซล สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 และสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล (Octanol) แสดงดังภาพที่ 4 - 5



ภาพที่ 4 - 8 แผนภูมิสามเหลี่ยม โดยเปรียบเทียบเอทานอลความบริสุทธิ์ 95% และเอทานอลความบริสุทธิ์ 99% สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล อัตราส่วน 1:8 โดยโมล น้ำมันปาล์มผสมดีเซล 50:50 โดยปริมาตร

ภาพที่ 4 - 8 แสดงถึงการศึกษาวัฏภาคโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม โดยการเปรียบเทียบเอทานอลที่ความบริสุทธิ์ 95% และความบริสุทธิ์ 99% โดยใช้ น้ำมันปาล์มผสมดีเซล สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) ในปริมาตรที่เหมาะสม ได้แก่

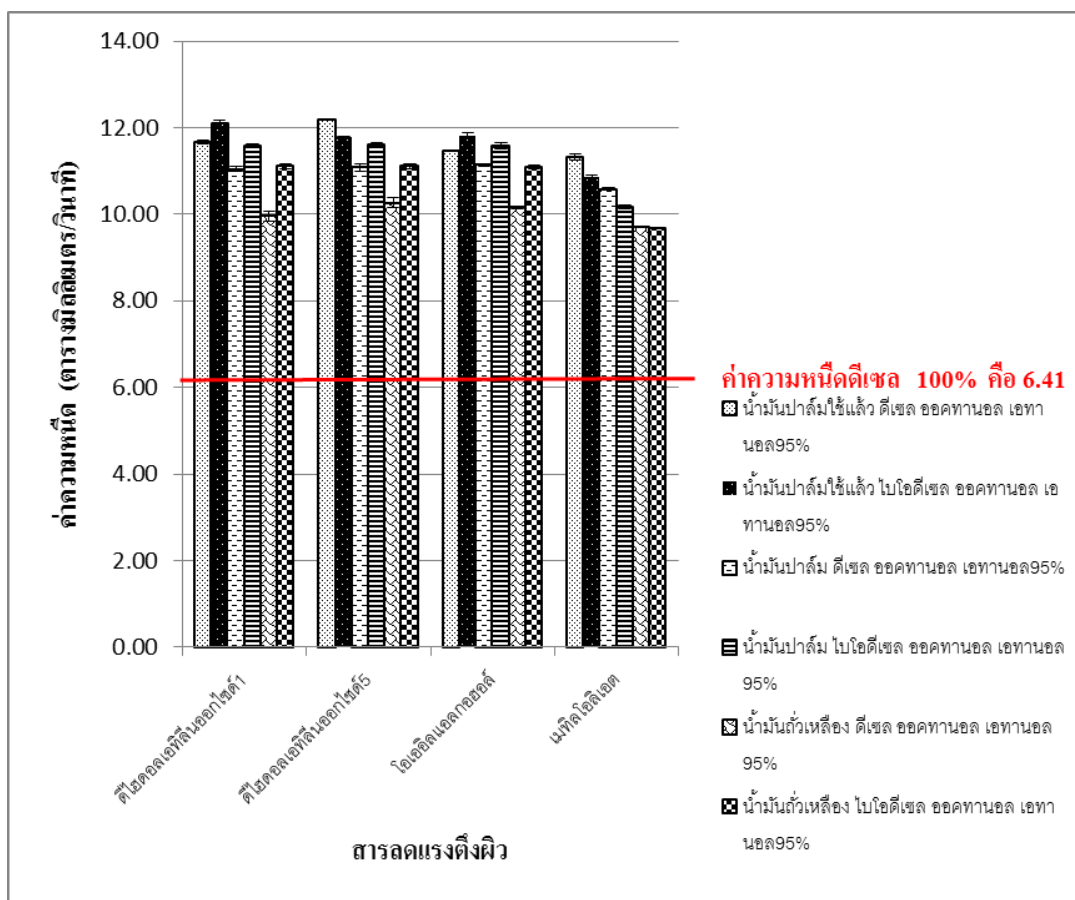
น้ำมันปาล์มผสมดีเซล เอทานอลมีความบริสุทธิ์ 95% ประกอบด้วย เอทานอล 15% น้ำมัน 75% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม 10%

น้ำมันปาล์มผสมดีเซล เอทานอลมีความบริสุทธิ์ 99% ประกอบด้วย เอทานอล 16% น้ำมัน 82% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวม 2%

เอทานอลความบริสุทธิ์ 99% ใช้สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวมในปริมาณ น้อย แต่ต้นทุนเอทานอลความบริสุทธิ์ 99% สูงกว่า เอทานอลความบริสุทธิ์ 95% ถึง 5 เท่า เนื่องจากเอทานอลความบริสุทธิ์ 99% มีราคา 312 บาทต่อ 1 ลิตร เอทานอลความบริสุทธิ์ 95% มีราคา 70 บาทต่อ 1 ลิตร และจากกราฟพบว่าปริมาตรการใช้เอทานอลไม่ต่างกัน การศึกษานี้จึงเลือกการใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 95% เพราะเหมาะสมกับค่าความคุ้มทุน

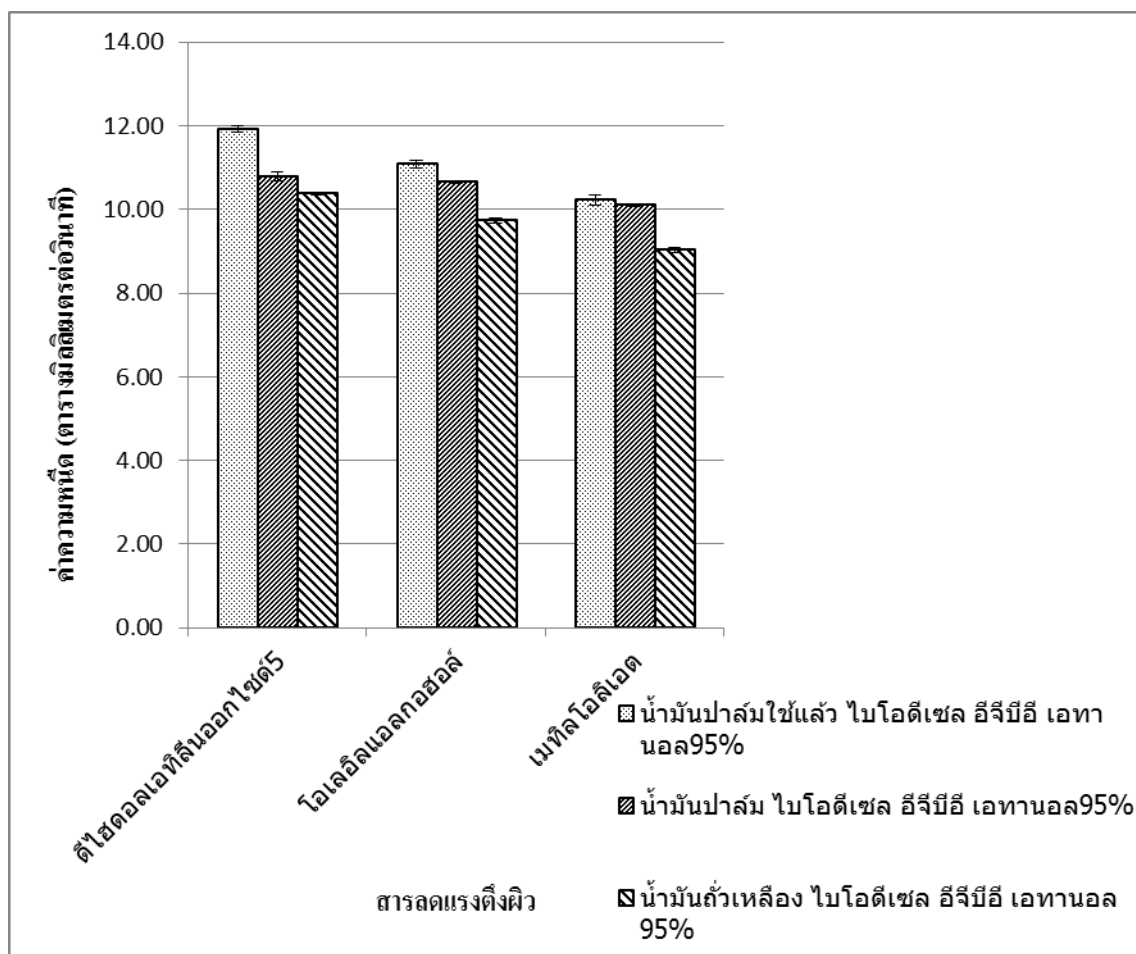
#### 4.2.3 ศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์

ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน มีผลโดยตรงต่อเครื่องยนต์ เนื่องจากความหนืดของเชื้อเพลิงส่งผลทำให้หัวฉีดเครื่องยนต์เกิดการอุดตัน เกิดเส้นใยรอบวงแหวนลูกสูบ และมีการปนเปื้อนน้ำมันหล่อลื่น ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้ น้ำมัน (เช่น น้ำมันปาล์ม:ดีเซล) อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 75% สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:8 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 5% และเอทานอลที่ปริมาตร 20 ที่อุณหภูมิ 15, 25, 30 และ 40 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4 – 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 และ 16



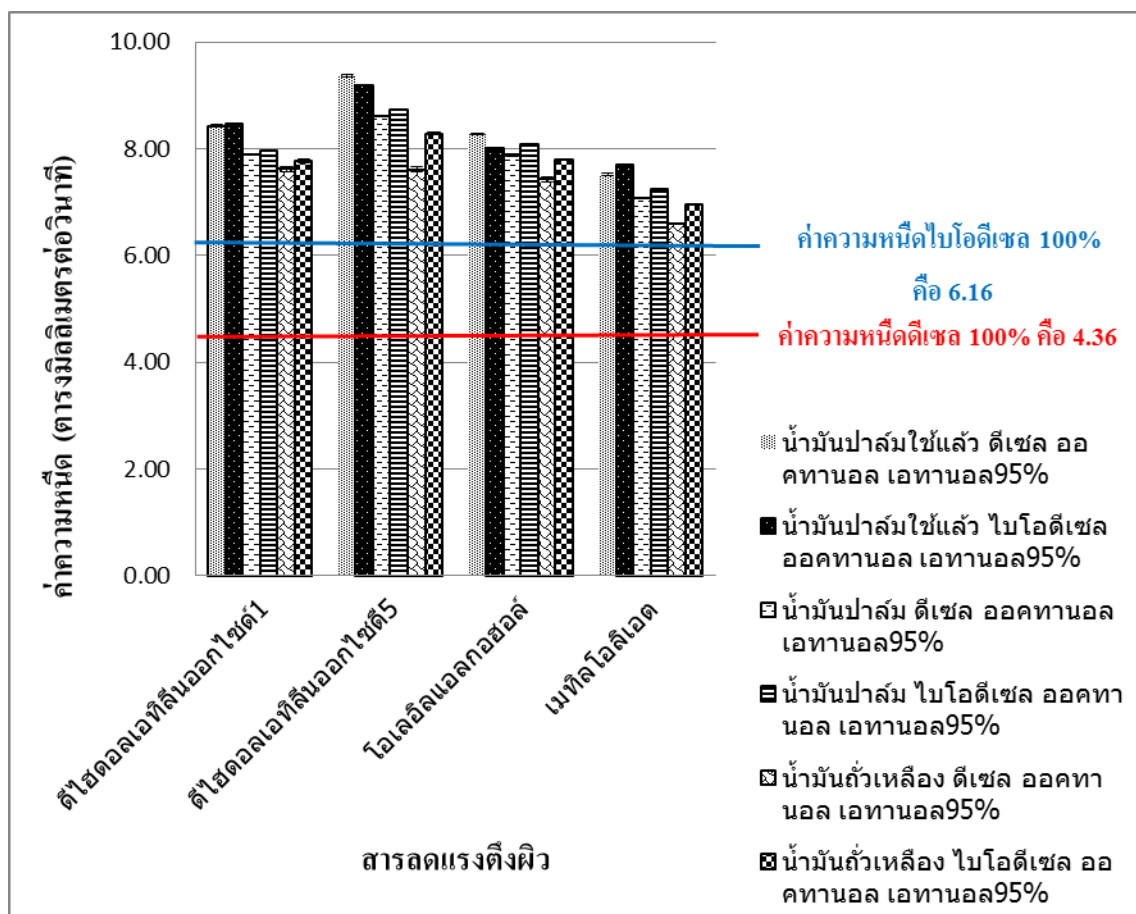
ภาพที่ 4 - 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4 - 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง) ผสมดีเซล มีค่าความหนืดต่ำกว่า น้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล ในการใช้สารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด คือ ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 1 ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 5 และโอลีอีลแอลกอฮอล์ มีค่าความหนืดใกล้เคียงกัน ค่าความหนืดน้ำมันพืชผสมดีเซล 9.95 – 11.81 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ค่าความหนืดน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล 11.08 – 12.11 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที แต่เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวเมทิลโอลิเอต พบว่าน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล มีค่าความหนืดต่ำกว่า น้ำมันพืชผสมดีเซล และเปรียบเทียบกับค่าความหนืดดีเซล 100% ที่วัดได้ คือ 6.41 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที



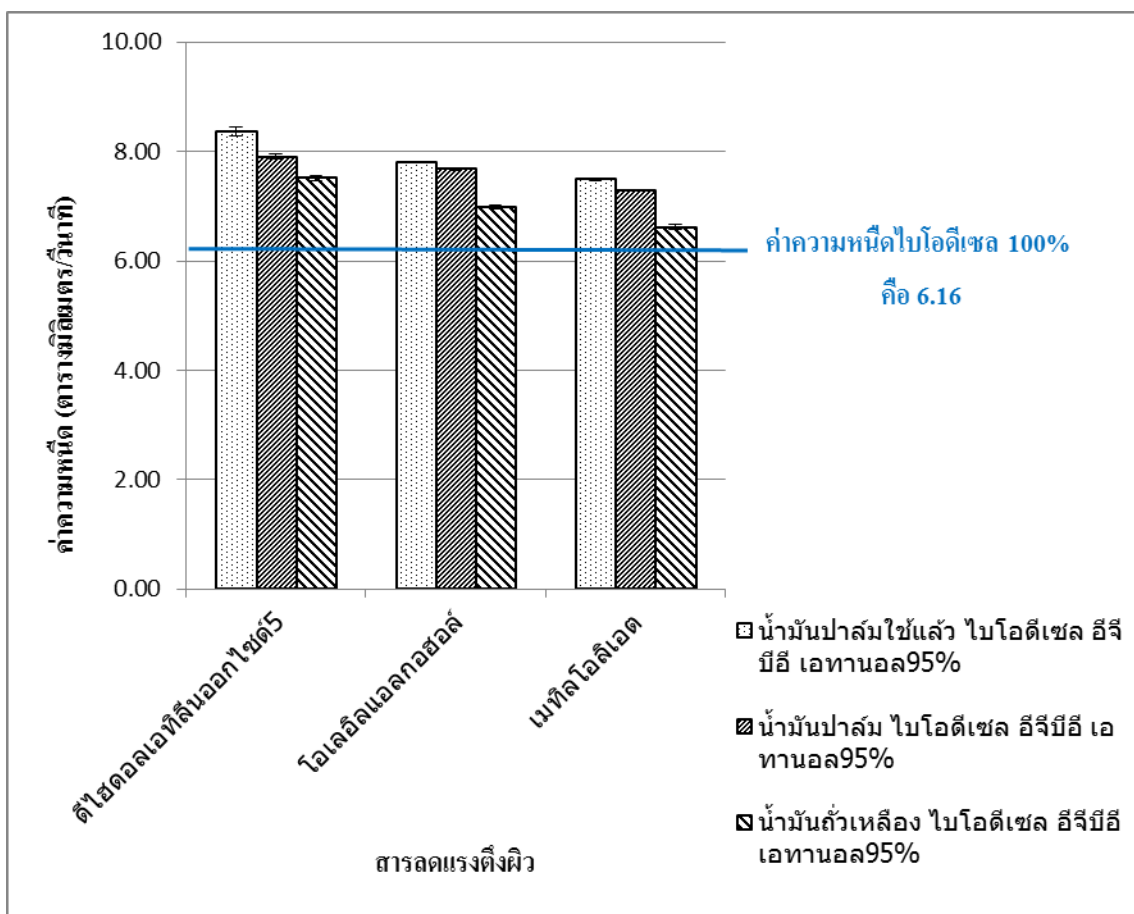
ภาพที่ 4 - 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4 - 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง มีค่าความหนืดมากที่สุดไปน้อยสุด การใช้สารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด มีค่าความหนืดใกล้เคียงกัน 9.04 - 11.92 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของชนิดน้ำมันแต่ละชนิด และที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ไม่สามารถเปรียบเทียบค่าความหนืดของไบโอดีเซล 100% ได้ เนื่องจากไบโอดีเซลเกิดสภาพผลึก



ภาพที่ 4 - 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิว ร่วมออคทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4 - 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออคทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวทั้ง 3 ชนิด (ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 และโอลีลแอลกอฮอล์) พบว่าน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมดีเซล มีค่าความหนืดต่ำกว่าน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล แต่เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวเมทิลโอลลีเอต พบว่าน้ำมันพืชผสมดีเซลมีค่าความหนืดต่ำกว่าน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล ซึ่งเปรียบเทียบค่าความหนืดดีเซล 100% และค่าความหนืดไบโอดีเซล 100% ที่วัดได้ คือ 4.36 และ 6.16 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ



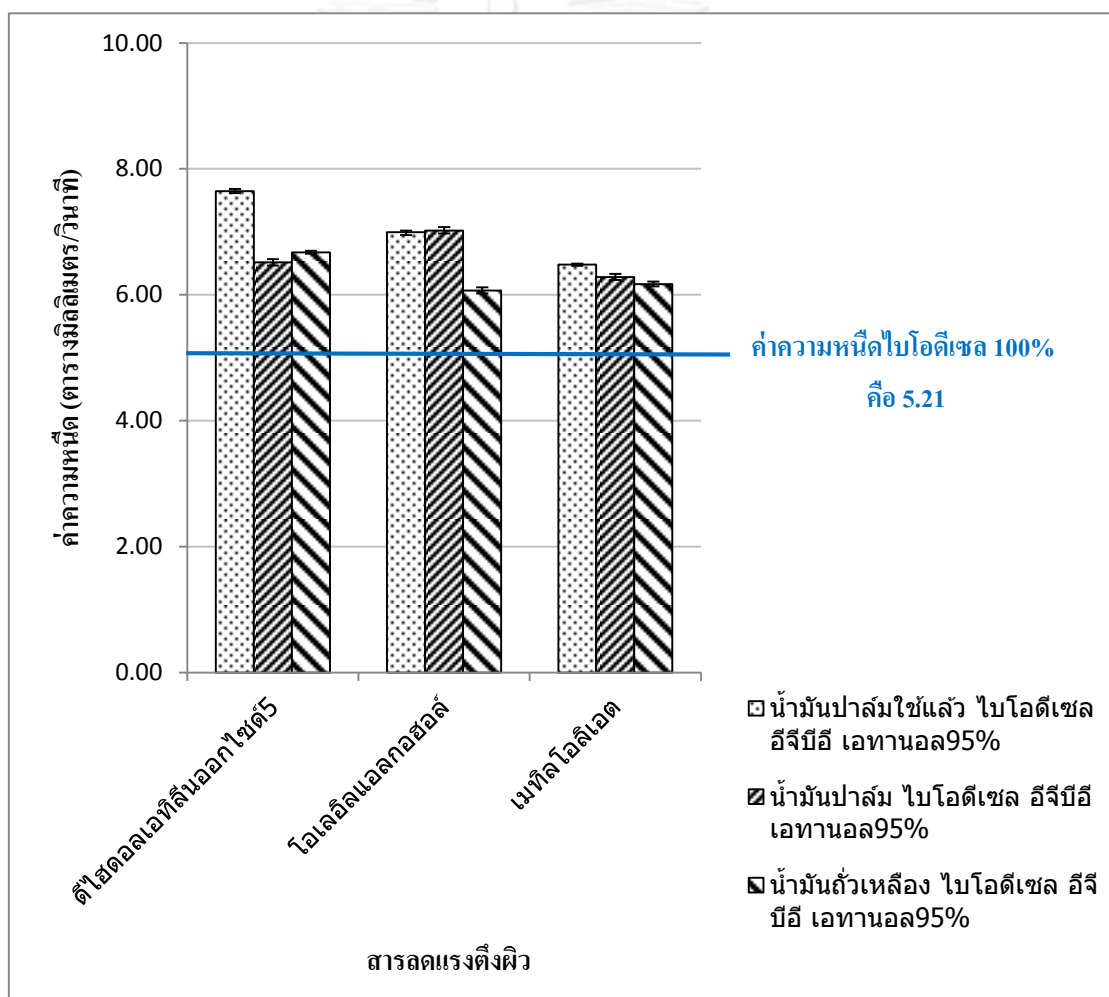
ภาพที่ 4 - 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4 - 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าชนิดของน้ำมันพืชยังคงมีค่าความหนืดจากมากที่สุดไปน้อยสุด คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง การใช้สารลดแรงตึงผิวเมทิลโอเลตในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน มีค่าความหนืดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 5 และโอเลิลแอลกอฮอล์ ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนประกอบของน้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/เมทิลโอเลต/เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ มีค่าความหนืด 6.62 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที เปรียบเทียบกับค่าความหนืดไบโอดีเซล 100% คือ 6.16 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที





ภาพที่ 4 - 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมดีเซล มีค่าความหนืดต่ำกว่า น้ำมันพืช ผสมไบโอดีเซล แต่พบว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวเมทิลโอลิเอตมีค่าความหนืดสูงกว่าสารลดแรงตึงผิวอีก 3 ชนิด (ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 และโอเลิลแอลกอฮอล์) โดยเฉพาะน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพผสมไบโอดีเซล มีค่าความหนืดสูงถึง 11.27 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที รองลงมาเป็นน้ำมันถั่วเหลืองผสมไบโอดีเซล มีค่าความหนืด 9.31 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที เปรียบเทียบค่าความหนืดกับเชื้อเพลิงดีเซล 100% และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล 100% คือ 3.66 และ 5.21 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

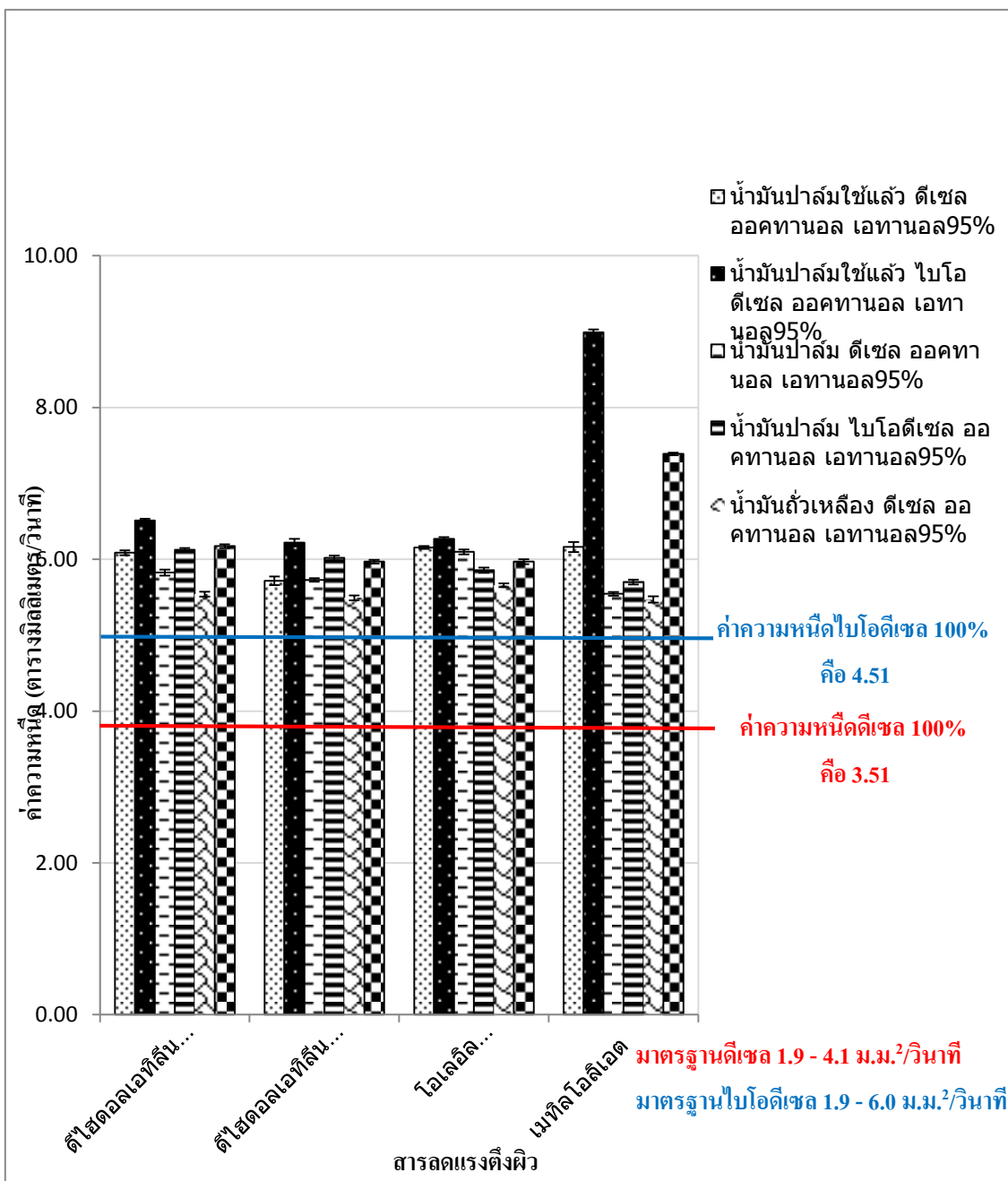


ภาพที่ 4 - 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4 – 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าชนิดของน้ำมันพืชยังคงมีค่าความหนืดจากมากที่สุดไปน้อยสุด คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง และสารลดแรงตึงผิวเมทิลโพลิเอทมีค่าความหนืดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดของน้ำมันพืชแต่ละชนิด โดยเปรียบเทียบค่าความหนืดเชื้อเพลิงไบโอดีเซล 100% คือ 5.21 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที



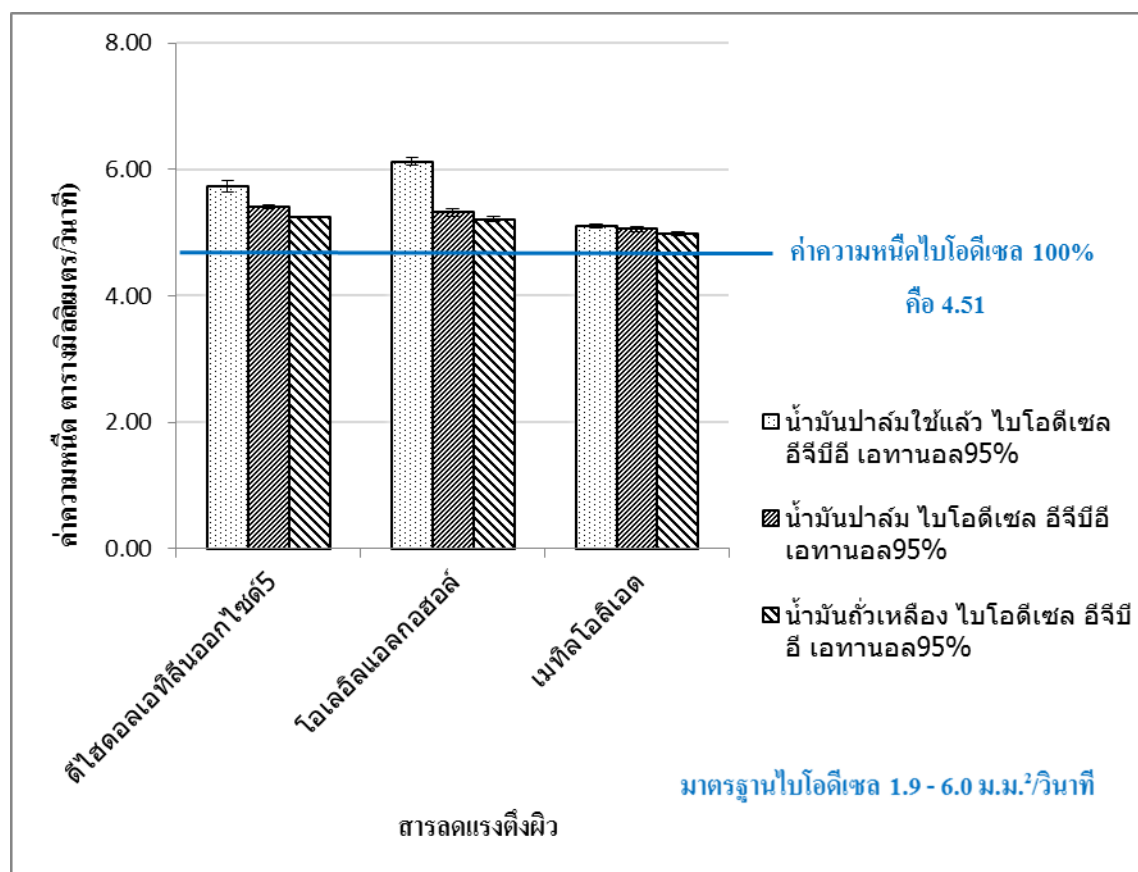
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4 - 15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิว ร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4 - 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าชนิดของน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมดีเซล มีค่าความหนืดต่ำกว่าน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล และสารลดแรงตึงผิวเมทิลโอลิเอตมีค่าความหนืดสูงกว่าสารลดแรงตึงผิวอื่น

3 ชนิด (ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5 และโอเลิลแอลกอฮอล์) โดยเฉพาะน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพผสมไบโอดีเซล มีค่าความหนืดสูงถึง 8.99 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที รองลงมาเป็นน้ำมันถั่วเหลืองผสมไบโอดีเซล มีค่าความหนืด 7.39 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที เปรียบเทียบค่าความหนืดกับเชื้อเพลิงดีเซล 100% และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล 100% คือ 3.51 และ 4.51 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ



ภาพที่ 4 - 16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4 - 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าชนิดน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) มีค่าความหนืดมากที่สุดไปน้อยสุด ตามลำดับ และสารลดแรงตึงผิวเมทิลโอเลียดมีค่าความหนืดใกล้เคียงกับค่าความหนืดไบโอดีเซล 100% คือ 4.51 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที โดยเฉพาะเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลืองผสมไบโอดีเซล มีค่าความหนืด 4.98 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที

จากการศึกษาผลของค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่ อุณหภูมิ 15, 25, 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมดีเซล มีค่าความหนืดต่ำกว่า น้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล เนื่องจากเชื้อเพลิงดีเซลเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน แต่เชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นการแปรสภาพโดยผ่านกระบวนการทางเคมีและสารเติมแต่งจึงทำให้มีค่าความหนืดสูงกว่า

เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 มีค่าความหนืดต่ำกว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 5 เนื่องจากจำนวนดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากค่าเอชแอลบี (ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 และดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 5 มีค่าเอชแอลบี 3.6 และ 10.3) ค่าเอชแอลบีที่เหมาะสมกับอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (W/O emulsifier) คือสามารถละลายน้ำมันได้ดีกว่าน้ำ (John และ Sons, 2004) และสารลดแรงตึงผิวโอเลิลแอลกอฮอล์ มีค่าความหนืดต่ำกว่า เมทิลโอเลเอต เนื่องจากเมทิลโอเลเอตมีสูตรโครงสร้างเป็นพันธะคู่ ซึ่งพันธะคู่เป็นส่วนว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี

เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์มีค่าความหนืดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานมากกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล เนื่องจากอีเทอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่แอลคอกซี (R-O-R) มีลักษณะสมบัติเป็นโมเลกุลไม่มีขั้วจึงไม่ละลายน้ำ ทำให้ละลายได้ดีในน้ำมัน (อารยัน จันศรี, 2552)

ค่าความหนืดตามเกณฑ์มาตรฐาน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงดีเซล ประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล คือ 1.9 – 4.0 และ 1.9 – 6.0 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานค่าความหนืด เป็นการผ่านมาตรฐานความหนืดเชื้อเพลิงไบโอดีเซลทั้งหมด ได้แก่

#### เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากการใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลและเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์

- น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/โอเลิลแอลกอฮอล์/ออกทานอล/เอทานอล (5.86 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)
- น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/เมทิลโอเลเอต/ออกทานอล/เอทานอล (5.70 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)
- น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 5/ออกทานอล/เอทานอล (5.97 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)
- น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/โอเลิลแอลกอฮอล์/ออกทานอล/เอทานอล (5.97 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)
- น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ/ไบโอดีเซล/เมทิลโอเลเอต/เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์/เอทานอล (5.25 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)
- น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/โอเลิลแอลกอฮอล์/เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์/เอทานอล (5.32 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)

- น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/เมทิลโอเลต/เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์/เอทานอล (5.21 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)
- น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/โอเลิลแอลกอฮอล์/เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์/เอทานอล (5.05 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)
- น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/เมทิลโอเลต/เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์/เอทานอล (4.98 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)

#### 4.3 ศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

คุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน รายละเอียด ภาคผนวก ค

##### 4.3.1 ศึกษาขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ผลของขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เป็นการวัดผ่านเทคนิคการกระจายแสง (Dynamic light scattering, DLS) โดยการใช้เครื่องมือ Zetasizer Nanoseries 4700 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งจะใช้ในการวัดขนาดอนุภาคในช่วง 0.6 นาโนเมตร – 6 ไมโครเมตร แสดงดังตารางที่ 4 - 2

ตารางที่ 4 - 2 ขนาดอนุภาคเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันบนความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

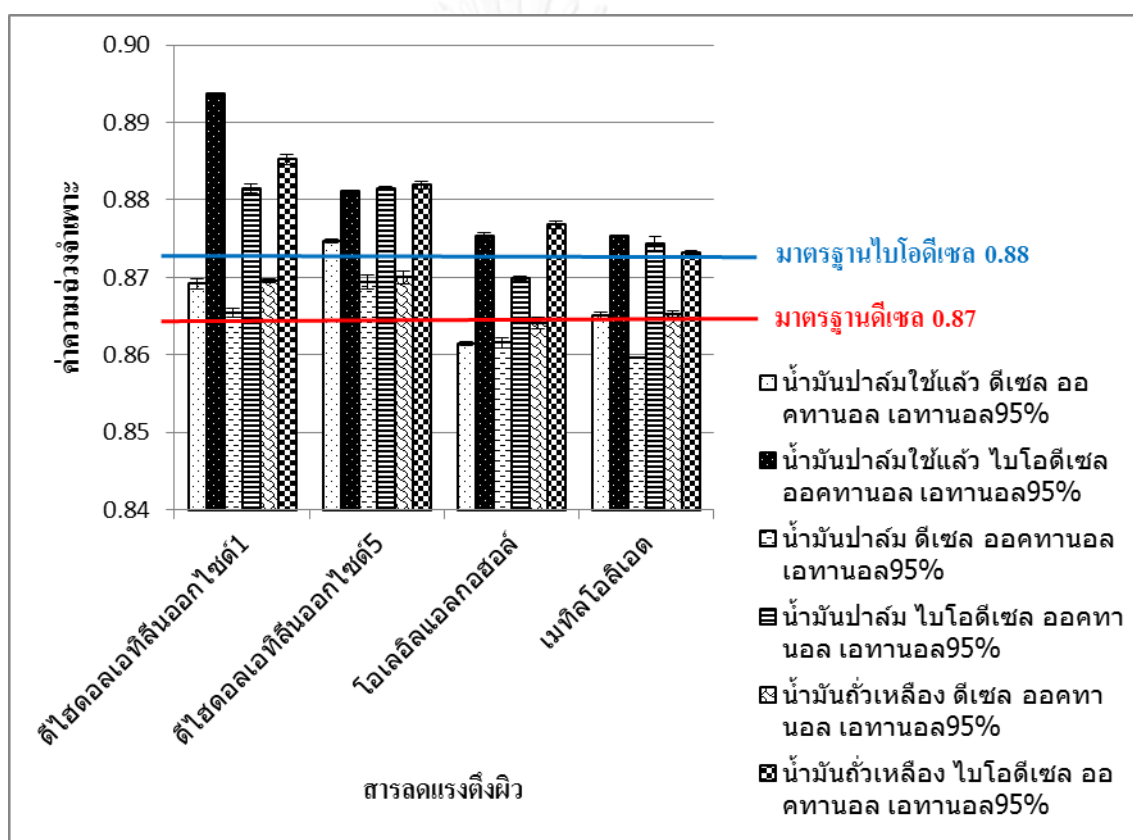
ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	เอทานอล	ขนาดอนุภาค (นาโนเมตร)	ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)
1	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	ออกทานอล	เอทานอล	14	6.09
2	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	„	„	8	6.51
3	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	„	„	14	5.82
4	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	„	„	9	6.12
5	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	„	„	15	5.54
6	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	„	„	9	6.17
7	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	„	„	17	5.73
8	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	„	„	11	6.02

จากตารางที่ 4 - 2 เปรียบเทียบขนาดอนุภาคเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าขนาดอนุภาคและค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันแปรผกผันกัน คือ น้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้ว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมดีเซล มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า แต่มีค่าความหนืดต่ำกว่า น้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล เมื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคชนิดของน้ำมันพืช พบว่าน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง ขนาดอนุภาคไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีการใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนประกอบของสารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 เกิดการเคลื่อนที่และมีเสถียรภาพมากขึ้น การวัดขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเป็นการวัดขนาดของการเกิดไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันหรือวินเซอร์ชนิดที่ 2 (Water in oil, W/O) ซึ่งในการวัดเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจะมีขนาดอยู่ในช่วง 10 - 100 นาโนเมตร (Lif และ Holmberg, 2006)



#### 4.3.2 ศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

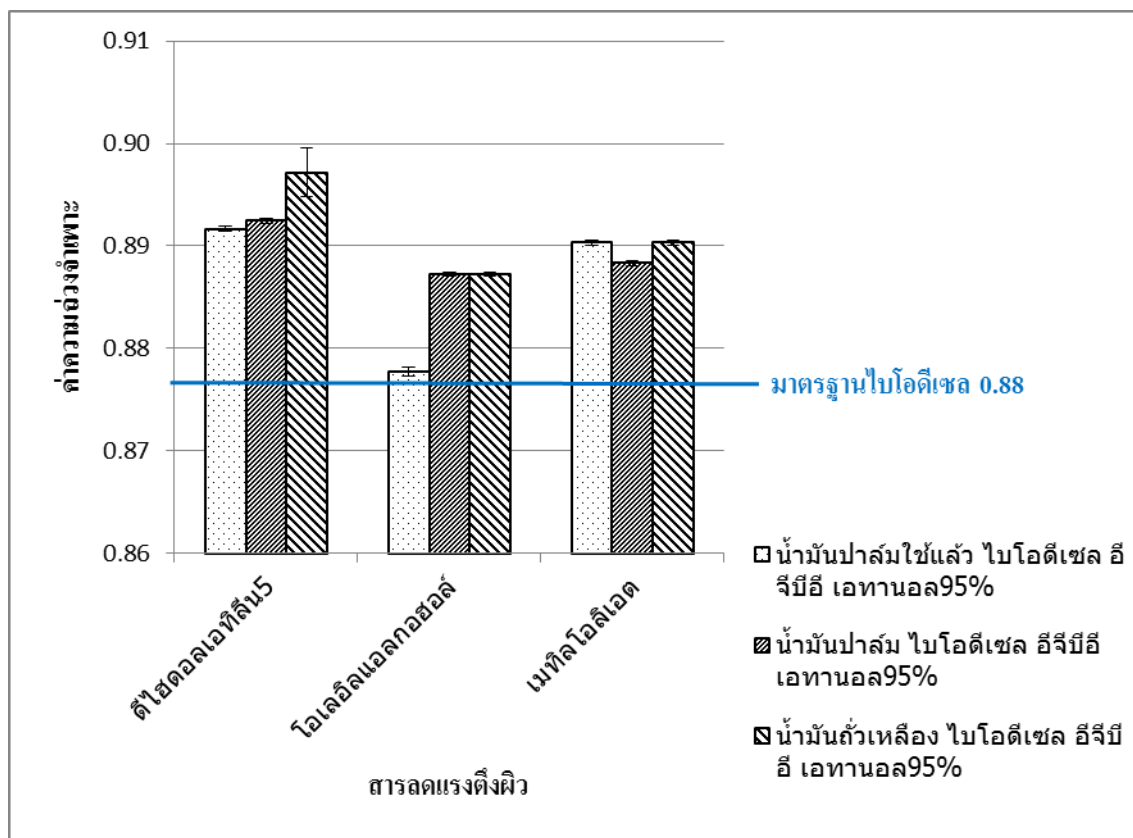
ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันส่งผลต่อเครื่องยนต์ ด้านคุณสมบัติการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ถ้าค่าความถ่วงจำเพาะสูงแสดงว่ามีพวกละอองโรมาติกมากทำให้เครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ ซึ่งผลการทดลองศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยค่าความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของน้ำมันและความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน แสดงดังภาพที่ 4 – 17 และ 4 - 18



ภาพที่ 4 - 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4 – 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมดีเซล มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า น้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล ชนิดของน้ำมันพืช คือ น้ำมันปาล์มมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำมันปาล์มที่บำบัดทางกายภาพและน้ำมันถั่วเหลือง ทั้งน้ำมันพืชที่ผสมดีเซลและไบโอดีเซล สารลดแรงตึงผิวประเภทแอลกอฮอล์อีทอกซีเลต คือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า ดีไฮดอล

เอทิลีนออกไซด์5 และสารลดแรงตึงผิวประเภทแอลกอฮอล์ไขมัน โอลีลแอลกอฮอล์ มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า เมทิลโอลลีเอต



ภาพที่ 4 - 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4 - 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าชนิดของน้ำมันพืช คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพ มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวไดเอทิลเอทิลีนออกไซด์5 และโอลลีลแอลกอฮอล์ แต่พบว่าน้ำมันปาล์มผสมสารลดแรงตึงผิวเมทิลโอลลีเอต มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า น้ำมันปาล์มที่บำบัดแล้วทางกายภาพและน้ำมันถั่วเหลือง

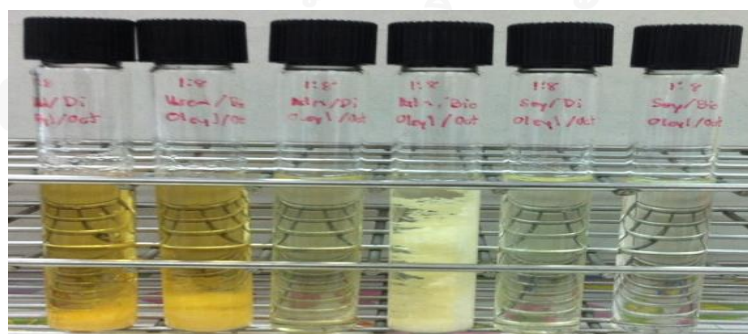
จากการศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า น้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล ชนิดของน้ำมันพบว่าน้ำมันปาล์มมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล เนื่องจากองค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์มมีกรดปาล์มิติก (Palmitic-C16) 32.0 - 45.0% และกรดลินโนเลนิก (Linolenic-C18:2) 5.0 - 11.0% ขณะที่น้ำมันถั่วเหลืองมีกรดปาล์มิติก (Palmitic-C16) 7.0 - 11.0% และกรดลินโนเลนิก (Linolenic-

C18:2) 43.0 – 56.0% ซึ่งมีความแตกต่างกันของจำนวนคาร์บอนอะตอมในกรดไขมัน (วิชากรจารย์ศิริ, 2549) แต่น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าความหนืดต่ำกว่า คือ สารลดแรงตึงผิวประเภทแอลกอฮอล์อีทอกซีเลต (ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1) และสารลดแรงตึงผิวประเภทแอลกอฮอล์ไขมัน (โอเลิลแอลกอฮอล์) ค่ามาตรฐานความถ่วงจำเพาะเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล คือ 0.87 และ 0.88 ตามลำดับ พบว่าจากผลการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานค่าความถ่วงจำเพาะ ได้แก่

- น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ และน้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1/ออกทานอล/เอทานอล
- น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 5/เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์/เอทานอล
- น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/โอเลิลแอลกอฮอล์/เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์/เอทานอล
- น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/เมทิลโอเลิเอต/เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์/เอทานอล

#### 4.3.3 ศึกษาจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จุดขุ่น (Cloud point) ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน คือ จุดที่อุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงกลายเป็นไอเนื่องจากมีการรวมตัวกันเป็นผลึก ซึ่งจุดขุ่นเป็นคุณสมบัติที่บ่งชี้ที่กรองเชื้อเพลิงและเส้นท่อเกิดการอุดตัน ทำการศึกษาการเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยหาจุดขุ่นด้วยการนำใส่ตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 2, 7 และ 30 วัน แสดงดังตารางที่ 4 – 3



ภาพที่ 4 - 19 การเกิดจุดขุ่น (เกิดผลึก) และไม่เกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เวลา 30 วัน

ตารางที่ 4 - 3 การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1, 2, 7 และ 30 วัน

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	เกิดผลึกอุณหภูมิ 6°C เวลา 1 วัน	เกิดผลึกอุณหภูมิ 6°C เวลา 2 วัน	เกิดผลึกอุณหภูมิ 6°C เวลา 7 วัน	เกิดผลึกอุณหภูมิ 6°C เวลา 30 วัน
1	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	ออกทานอล	เอทานอล	X	X	X	X
2	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	”	”	X	X	X	X
3	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	”	”	/	/	/	/
4	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	”	”	X	X	X	X
5	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	”	”	/	/	/	/
6	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	”	”	/	/	/	/
7	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	”	”	X	X	X	X

ตารางที่ 4 – 3 การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1, 2, 7 และ 30 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	เกิดผลึกอุณหภูมิต่ำ 6°C เวลา 1 วัน	เกิดผลึกอุณหภูมิต่ำ 6°C เวลา 2 วัน	เกิดผลึกอุณหภูมิต่ำ 6°C เวลา 7 วัน	เกิดผลึกอุณหภูมิต่ำ 6°C เวลา 30 วัน
8	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	ออกทานอล	เอทานอล	X	X	X	X
9	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	”	”	/	/	/	/
10	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	”	”	/	X	X	X
11	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	”	”	/	/	/	/
12	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	”	”	/	/	/	/
13	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	X	X	X	X
14	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	X	X	X	X
15	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	/	/	X
16	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	X	X	X
17	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	/	/	/
18	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	/	/	/

ตารางที่ 4 – 3 การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1, 2, 7 และ 30 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	เกิดผลึกอุณหภูมิ 6°C เวลา 1 วัน	เกิดผลึกอุณหภูมิ 6°C เวลา 2 วัน	เกิดผลึกอุณหภูมิ 6°C เวลา 7 วัน	เกิดผลึกอุณหภูมิ 6°C เวลา 30 วัน
19	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	เมทิลโอเลียด	ออกทานอล	เอทานอล	X	X	X	X
20	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลียด	”	”	X	X	X	X
21	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	เมทิลโอเลียด	”	”	/	/	/	X
22	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลียด	”	”	/	/	X	X
23	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	เมทิลโอเลียด	”	”	/	/	/	/
24	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลียด	”	”	/	/	/	/
25	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเลตินออกไซด์5	อีจีบีอี	เอทานอล	X	X	X	X
26	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเลตินออกไซด์5	”	”	/	X	X	X
27	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเลตินออกไซด์5	”	”	/	/	/	/
28	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	X	X	X	X
29	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	/	X	X

ตารางที่ 4 – 3 การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1, 2, 7 และ 30 วัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	เกิดผลึกอุณหภูมิ 6°C เวลา 1 วัน	เกิดผลึกอุณหภูมิ 6°C เวลา 2 วัน	เกิดผลึกอุณหภูมิ 6°C เวลา 7 วัน	เกิดผลึกอุณหภูมิ 6°C เวลา 30 วัน
30	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลอิล แอลกอฮอล์	อีซีบีอี	เอทานอล	/	/	/	/
31	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลเอต	”	”	X	X	X	X
32	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลเอต	”	”	/	/	X	X
33	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลเอต	”	”	/	/	/	/

#### ข้อสังเกต

- X คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเกิดผลึก  
/ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่เกิดผลึก

จากตารางที่ 4 – 3 การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1, 2, 7 และ 30 วัน มาตรฐานจุดขุ่นในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์) คือ -10 องศาเซลเซียส และมาตรฐานจุดขุ่นในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – ตุลาคม) คือ -4 องศาเซลเซียส (Do และคณะ, 2011) พบว่าการเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิที่แต่เวลาผ่านไปทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเกิดจุดขุ่น ชนิดของน้ำมันพืชที่ไม่เกิดจุดขุ่นไม่ว่าเวลาจะผ่านไปถึง 30 วัน คือ น้ำมันถั่วเหลือง เนื่องจากความแตกต่างของจำนวนคาร์บอนอะตอมของกรดไขมัน ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง คือ กรดลิโนเลนิก (C18:2) จุดหลอมเหลวเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ -11 องศาเซลเซียส (วิชากร จารุศิริ, 2549) ส่วนชนิดของน้ำมันพืชที่เกิดจุดขุ่นทั้งที่ผสมกับดีเซลหรือไบโอดีเซล คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เมื่ออุณหภูมิต่ำลงทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น และชนิดของน้ำมันพืชมีค่าความหนืดจากสูงสุดไปต่ำสุด คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง จึงทำให้น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพเกิดเป็นผลึกตั้งแต่ใช้เวลาเพียงแค่ 1 วัน และพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผสมไบโอดีเซลมีการเกิดผลึกมากกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผสมดีเซล เนื่องจากผลของห่วงโซ่ไฮโดรคาร์บอนในโครงสร้าง (Benjumea, 2007) และมีผลสอดคล้องกับ

คุณสมบัติค่าความถ่วงจำเพาะ คือ น้ำมันพืชผสมดีเซล มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า น้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล

#### 4.3.4 ศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จุดไหลเท (Pour point) ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เพื่อบอกจุดที่อุณหภูมิต่ำที่สุดที่เชื้อเพลิงยังสามารถไหลได้ และเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลว ระบบเชื้อเพลิง สายเชื้อเพลิง และถังเชื้อเพลิงทั้งหมดต้องมีการให้ความร้อน ทำการศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 0, -3 และ -6 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4 - 4

ตารางที่ 4 - 4 การเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อุณหภูมิ 0, -3 และ -6 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	จุดไหลเท อุณหภูมิ 0 °ซ	จุดไหลเท อุณหภูมิ -3 °ซ	จุดไหลเท อุณหภูมิ -6 °ซ
	1	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	ออกทานอล	เอทานอล	/	/
2	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	/	X	X
3	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	/	/	/
4	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	/	X	X
5	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	/	/	/
6	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	„	„	/	/	X



ตารางที่ 4 – 4 การเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อุณหภูมิ 0, -3 และ -6 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	จุดไหลเทอุณหภูมิ 0 °ซ	จุดไหลเทอุณหภูมิ -3 °ซ	จุดไหลเทอุณหภูมิ -6 °ซ
7	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	”	”	/	/	/
8	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	ออกทานอล	เอทานอล	/	X	X
9	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	”	”	/	/	/
10	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	”	”	/	X	X
11	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	”	”	/	/	/
12	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5	”	”	/	/	X
13	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	/	/
14	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	X	X
15	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	/	/
16	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	X	X
17	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	/	/
18	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	/	X

ตารางที่ 4 – 4 การเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อุณหภูมิ 0, -3 และ -6 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	จุดไหลเทอุณหภูมิ 0 °ซ	จุดไหลเทอุณหภูมิ -3 °ซ	จุดไหลเทอุณหภูมิ -6 °ซ
19	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	เมทิลโอเลเอต	”	”	/	/	/
20	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลเอต	ออกทานอล	เอทานอล	/	X	X
21	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	เมทิลโอเลเอต	”	”	/	/	/
22	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลเอต	”	”	/	X	X
23	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	เมทิลโอเลเอต	”	”	/	/	/
24	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลเอต	”	”	/	/	X
25	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5	อีจีบีอี	”	/	X	X
26	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5	”	”	/	X	X
27	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5	”	”	/	/	X
28	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	X	X
29	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	X	X
30	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	”	”	/	/	X

ตารางที่ 4 – 4 การเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อุณหภูมิ 0, -3 และ -6 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	จุดไหลเทอุณหภูมิ 0 °ซ	จุดไหลเทอุณหภูมิ -3 °ซ	จุดไหลเทอุณหภูมิ -6 °ซ
31	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลเอต	”	”	/	X	X
32	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลเอต	”	”	/	X	X
33	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลเอต	”	”	/	/	X

#### ข้อสังเกต

- X คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่สามารถไหลเทได้  
/ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่สามารถไหลเทได้

จากตารางที่ 4 – 4 การเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 0, -3 และ -6 องศาเซลเซียส มาตรฐานจุดไหลเทในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์) ช่วงที่อุณหภูมิมากที่สุด -17.8 องศาเซลเซียส และมาตรฐานจุดไหลเทในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม – ตุลาคม) คือ -9.4 องศาเซลเซียส (Do และคณะ, 2011) พบว่าอุณหภูมิที่ 0 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันทุกตัวยังคงไหลเท แต่เมื่อปรับอุณหภูมิลดลงมาที่ละ 3 องศาเซลเซียส เป็น -3 องศาเซลเซียส พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันทุกตัวที่ผสมกับไบโอดีเซลไม่สามารถไหลเทเชื้อเพลิงชีวภาพได้ และเมื่อลดอุณหภูมิลงเป็น -6 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมไบโอดีเซล โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลและเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ไม่สามารถไหลเทเชื้อเพลิงชีวภาพได้ ซึ่งการศึกษาจุดไหลเทนี้สอดคล้องกับค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์และการเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน และเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ มีการไหลเทได้ไม่ดีเท่ากับการใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล เนื่องจากแอลกอฮอล์ประเภทอีเทอร์มีจุดหลอมเหลวต่ำ และความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ (อารยัน จันศรี, 2555)

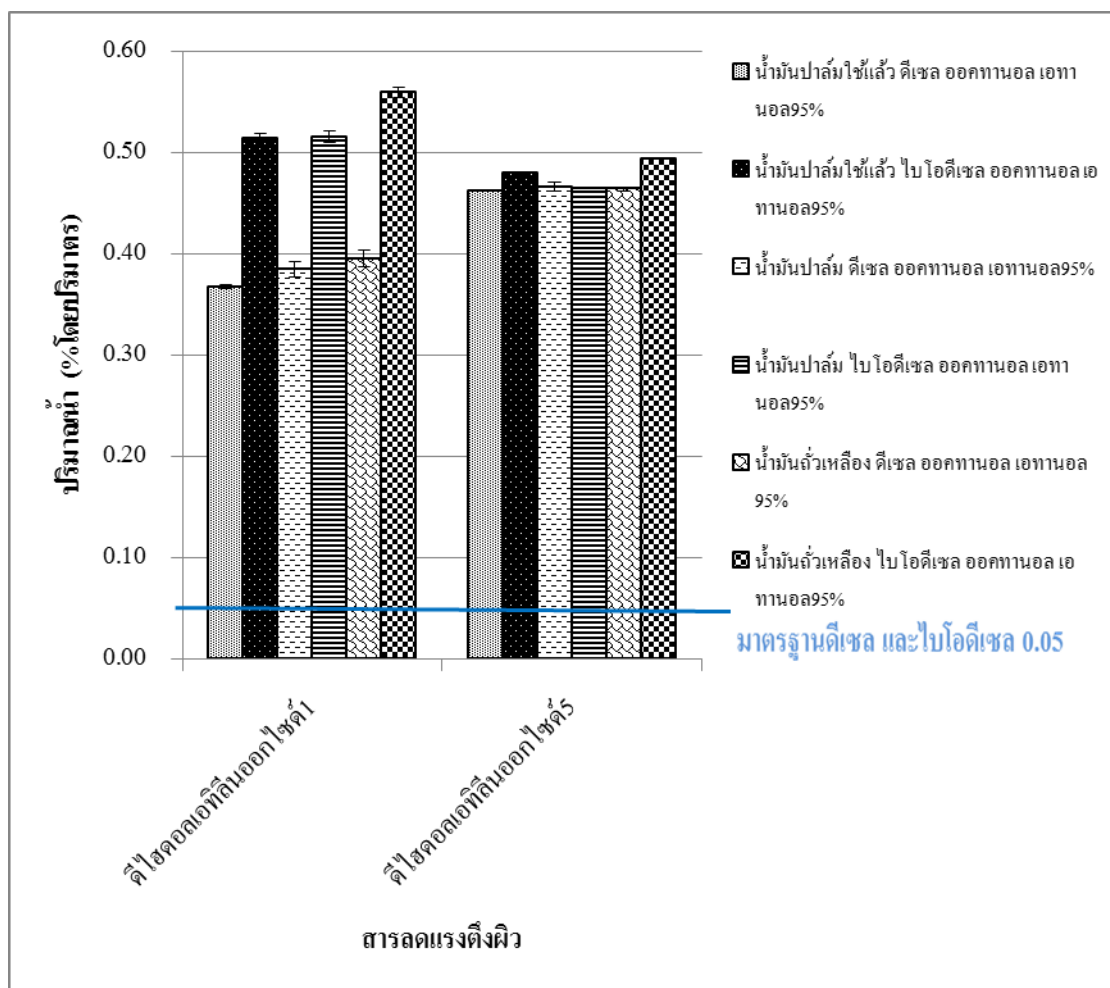
#### 4.3.5 ศึกษาค่าจุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จุดวาบไฟ (Flash point) ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เพื่อบอกจุดที่อุณหภูมิต่ำที่สุดเมื่อเกิดการระเบิดที่แหล่งกำเนิดจุดไฟเนื่องจากการผสมกันระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง โดยผลการทดลองของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนประกอบ (น้ำมันพืชผสมดีเซลและไบโอดีเซล อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 75% โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิว

รวม ที่อัตราส่วน 1:8 โดยโมล ที่ปริมาตร 5% โดยปริมาตร และเอทานอล ความบริสุทธิ์ 99% ปริมาตร 20% โดยปริมาตร) มีค่าจุดวาบไฟที่ 15 องศาเซลเซียส (Noukamol, 2011) แต่เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนประกอบ (น้ำมันพืชผสมดีเซลและไบโอดีเซล อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 75% โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ที่อัตราส่วน 1:8 โดยโมล ที่ปริมาตร 5% โดยปริมาตร และเอทานอล ความบริสุทธิ์ 95% ปริมาตร 20% โดยปริมาตร) ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ค่าจุดวาบไฟ เนื่องจากเอทานอล ความบริสุทธิ์ 95% มาจากการหมักเศษซากพืชเพื่อเปลี่ยนจากแป้งพืชไปเป็นน้ำตาลแล้วเปลี่ยนจากน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์ (กัญติกา เวชกลาง และไพลิน แผนวิจิต, 2555) ซึ่งองค์ประกอบหลักของค่าความบริสุทธิ์ที่เหลือ คือ น้ำ ส่งผลต่อการระเหยกลายเป็นไอและเกิดการจุดติดไฟได้ง่าย จึงคาดว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนประกอบของเอทานอล ความบริสุทธิ์ 95% มีค่าจุดวาบไฟที่อุณหภูมิใกล้เคียงหรืออาจต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนประกอบของเอทานอล ความบริสุทธิ์ 99%

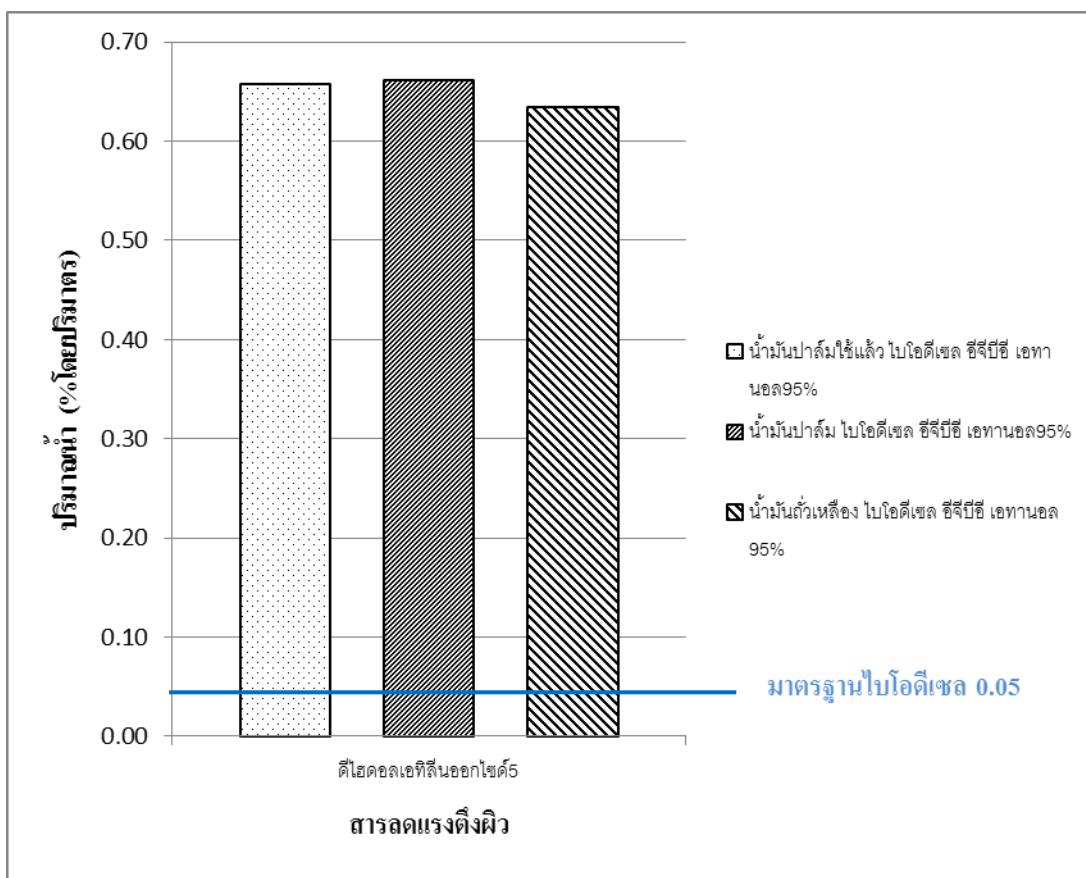
#### 4.3.6 ศึกษาปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ปริมาณน้ำ (Water content) ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เพื่อบอกการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เนื่องจากปริมาณน้ำมากทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลง แสดงดังภาพที่ 4 - 20 และ 4 - 21



ภาพที่ 4 - 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

ภาพที่ 4 - 20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล พบว่าน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง) มีปริมาณน้ำไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อนำน้ำมันพืชผสมกับดีเซลในการใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอลเอทิลีนออกไซด์1 มีปริมาณน้ำน้อยกว่า น้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล และพบว่าน้ำมันพืชผสมดีเซลและไบโอดีเซลโดยการ ใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอลเอทิลีนออกไซด์5 มีค่าปริมาณน้ำไม่แตกต่างกัน



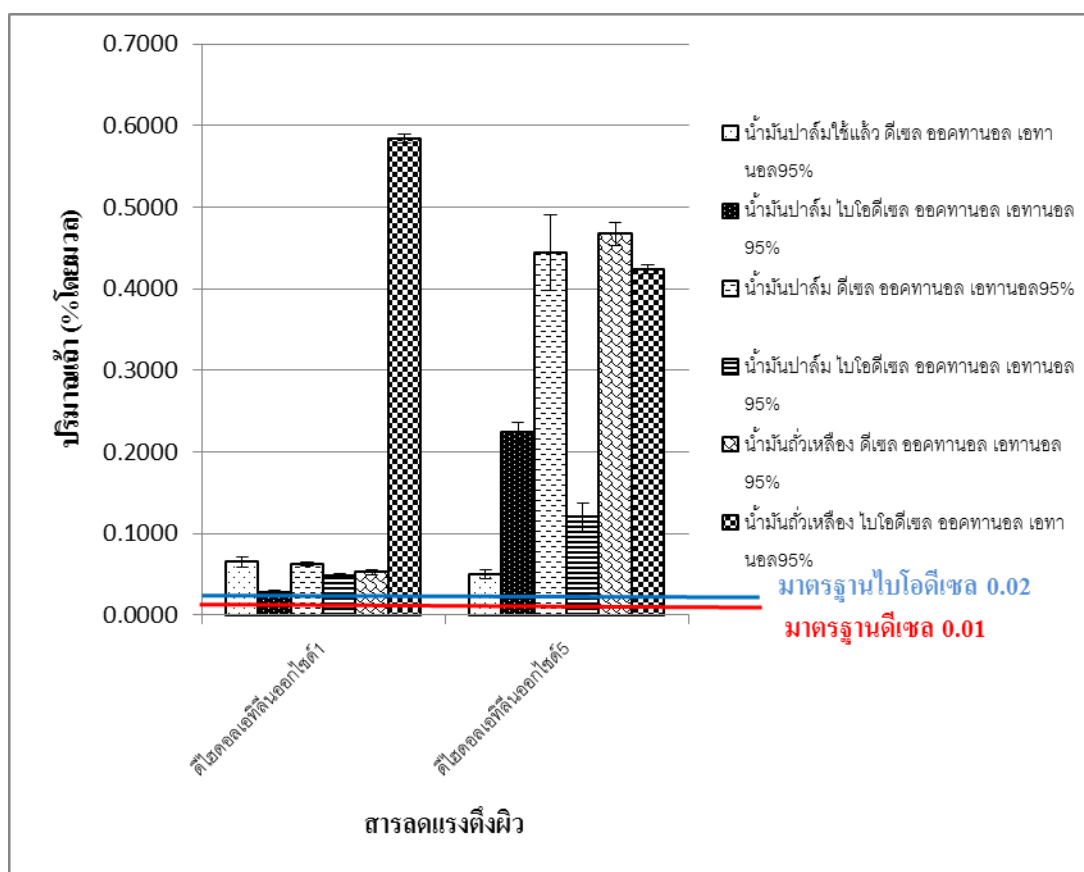
ภาพที่ 4 - 21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์

ภาพที่ 4 - 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ซึ่งมีการใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 5 พบว่าน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง มีปริมาณน้ำจากมากไปน้อย

จากการศึกษาปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ที่ผสมไบโอดีเซล มีค่าปริมาณน้ำมากกว่า น้ำมันพืชผสมดีเซล ส่วนสารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 1 มีปริมาณน้ำมากกว่าสารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 5 และสารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ มีปริมาณน้ำมากกว่า สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล เนื่องจากปริมาณน้ำมากทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ลดลง ส่งผลให้ไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และขนาดอนุภาค (PM) ลดลง (Lif และ Homberge, 2006) แต่จากผลการศึกษาไม่พบเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล คือ 0.05 % โดยปริมาตร

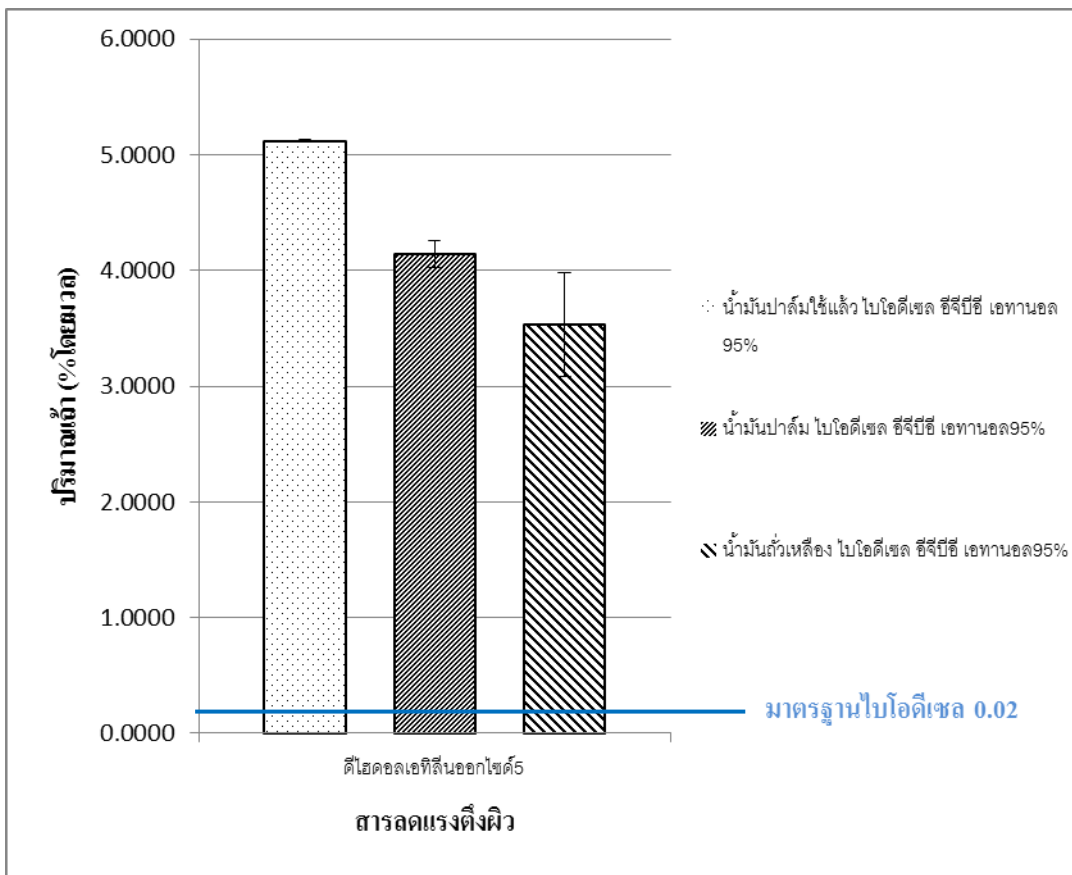
#### 4.3.7 ศึกษาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ปริมาณเถ้า (Ash content) ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เพื่อบอกการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เนื่องจากปริมาณเถ้ามากส่งผลให้ระบบหัวฉีด ลูกสูบ แหวน และวาล์ว เกิดการอุดตัน ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ แสดงดังภาพที่ 4 – 22 และ 4 - 23



ภาพที่ 4 - 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

ภาพที่ 4 - 22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล พบว่าน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม) ผสมไบโอดีเซล โดยใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเจนเอทีเอสออกไซด์1 มีปริมาณเถ้าต่ำกว่า น้ำมันพืชผสมดีเซล และเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเจนเอทีเอสออกไซด์5 มีปริมาณเถ้าสูงมาก



ภาพที่ 4 - 23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเส้นและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

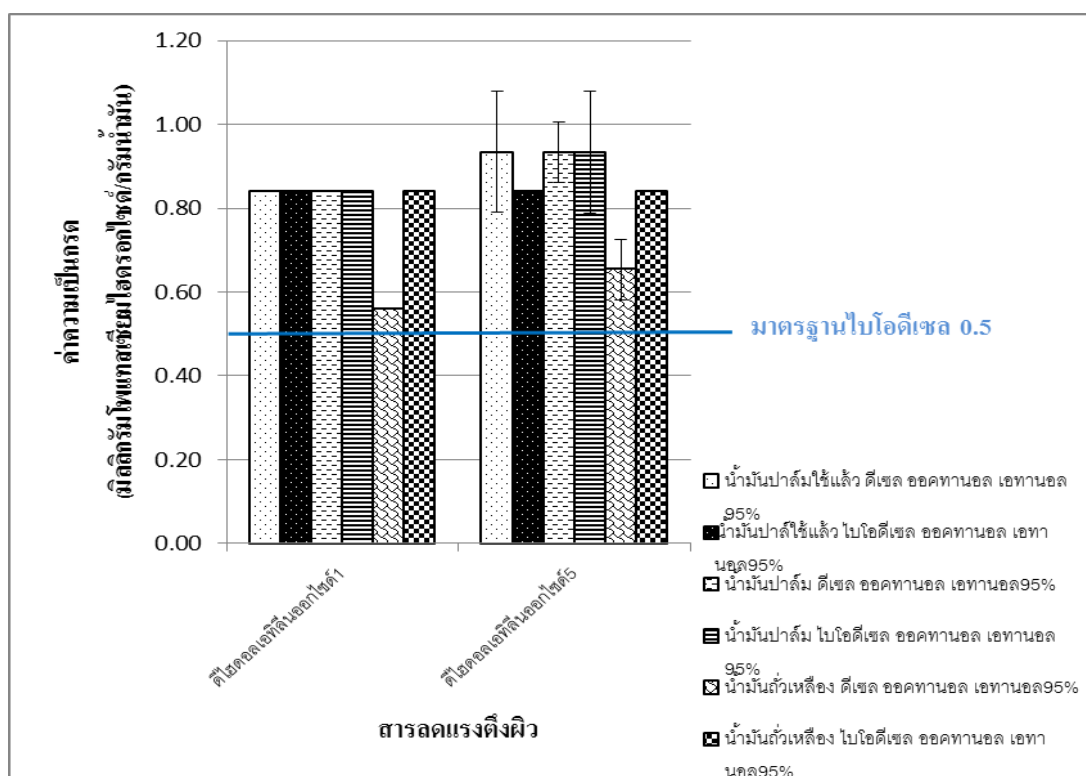
ภาพที่ 4 - 23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเส้นและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ซึ่งมีการใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 5 พบว่าน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง มีปริมาณเส้นจากมากไปน้อย ตามลำดับ

การศึกษาปริมาณเส้นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนประกอบของน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลมีปริมาณเส้นต่ำที่สุด แต่เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์พบว่า น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง มีปริมาณเส้นจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด และสารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 1 มีปริมาณเส้นต่ำกว่า สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 5 จากผลการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานปริมาณเส้น คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ/ไบโอดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 1/ออกทานอล/เอทานอล 95% มีค่าปริมาณเส้น 0.02 % โดยมวล



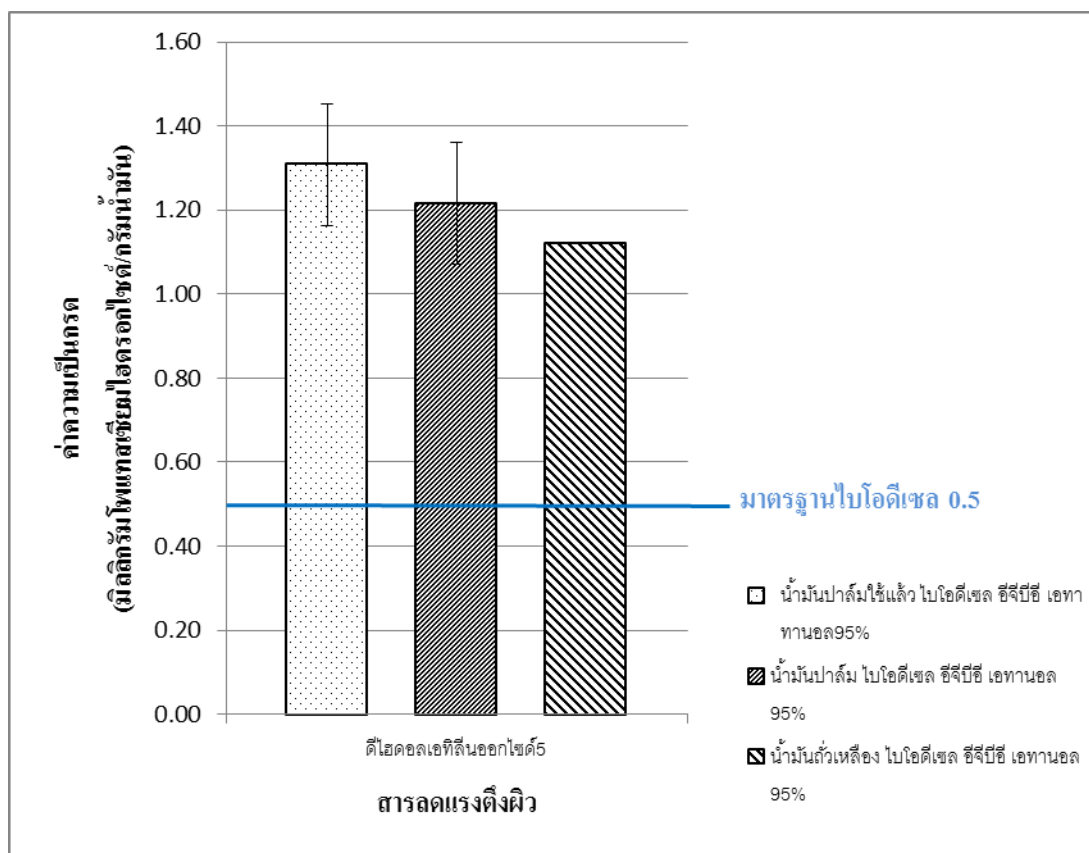
#### 4.3.8 ศึกษาค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ค่าความเป็นกรด (Acid number) บอกรายละเอียดของกรดที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เนื่องจากรดทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะ และทำให้เกิดการอุดตันทางเดินของน้ำมัน แสดงดังภาพที่ 4 – 24 และ 4 - 25



ภาพที่ 4 - 24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

ภาพที่ 4 – 24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล พบว่าน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ที่ผสมไบโอดีเซล โดยใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 1 มีค่าความเป็นกรดไม่แตกต่างกัน ส่วนน้ำมันถั่วเหลืองที่ผสมดีเซลมีค่าความเป็นกรดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันชนิดอื่น และสารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 1 มีค่าความเป็นกรดต่ำกว่า สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 5



ภาพที่ 4 - 25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดและสารลดแรงตึงผิว โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์

ภาพที่ 4 - 25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดและสารลดแรงตึงผิวโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ พบว่าน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง มีค่าความเป็นกรดจากสูงลงไปต่ำ

จากการศึกษาค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมโบฮีตเซล มีค่าความเป็นกรดไม่แตกต่างกัน ส่วนน้ำมันถั่วเหลืองผสมดีเซล มีค่าความเป็นกรดต่ำสุด แต่ค่าความเป็นกรดไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และสารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอลเอทิลีนออกไซด์ 1 มีค่าความเป็นกรดต่ำกว่า สารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอลเอทิลีนออกไซด์ 5 และพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล มีค่าความเป็นกรดต่ำกว่า สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ซึ่งผลการทดลองค่าความเป็นกรดสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณน้ำและปริมาณถั่ว เมื่อเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าความเป็นกรดสูงทำให้เกิดการกัดกร่อนผิวโลหะ เกิดเป็นกรดเกลือโลหะสามารถเร่งน้ำมันกับออกซิเจนทำให้น้ำมันเสื่อมสภาพ เกิดเป็นตะกอนเหนียวและเกาะตามทางเดินของน้ำมันเครื่องยนต์ ส่งผลให้เกิดการอุดตันของทางเดินน้ำมัน (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2552)

จากผลการศึกษาไม่พบเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล คือ 0.5 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัมน้ำมัน

จากการศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ได้แก่ ความหนืด ขนาดอนุภาค ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเท จุดวาบไฟ ปริมาณน้ำ ปริมาณเถ้า และค่าความเป็นกรด พบว่าคุณสมบัติที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซล คือ ค่าความหนืด และปริมาณเถ้า และคุณสมบัติที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ โดยเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ดังตารางที่ 4 - 5

ตารางที่ 4 - 5 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	ความหนืด อุณหภูมิต่ำ 40 °ซ ที่ผ่าน ตามเกณฑ์ มาตรฐาน	ความ ถ่วงจำเพาะ ที่ผ่านตาม เกณฑ์ มาตรฐาน
1	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	/
2	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ไบโอดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	X
3	น้ำมันปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	/
4	น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	X
5	น้ำมันถั่วเหลือง/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	/
6	น้ำมันปาล์มถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	X
7	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	X
8	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ไบโอดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	X
9	น้ำมันปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	/
10	น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	X
11	น้ำมันถั่วเหลือง/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	/
12	น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5/ออกทานอล/เอทานอล95%	/	X
13	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ดีเซล/โอเลอิลแอลกอฮอล์/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	/
14	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ไบโอดีเซล/โอเลอิลแอลกอฮอล์/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	X
15	น้ำมันปาล์ม/ดีเซล/โอเลอิลแอลกอฮอล์/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	/
16	น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/โอเลอิลแอลกอฮอล์/ออกทานอล/เอทานอล95%	/	/
17	น้ำมันถั่วเหลือง/ดีเซล/โอเลอิลแอลกอฮอล์/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	/
18	น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/โอเลอิลแอลกอฮอล์/ออกทานอล/เอทานอล95%	/	/
19	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ดีเซล/เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	/
20	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ไบโอดีเซล/เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	X
21	น้ำมันปาล์ม/ดีเซล/เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	/
22	น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล/เอทานอล95%	/	/
23	น้ำมันถั่วเหลือง/ดีเซล/เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	/
24	น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/เมทิลโอลิเอต/ออกทานอล/เอทานอล95%	X	/
25	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ไบโอดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5/อีจีบีอี/เอทานอล95%	X	X
26	น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5/อีจีบีอี/เอทานอล95%	X	X

ตารางที่ 4 – 5 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	ความหนืด อุณหภูมิตั้งที่ 40 °ซ ที่ผ่าน ตามเกณฑ์ มาตรฐาน	ความ ถ่วงจำเพาะ ที่ผ่านตาม เกณฑ์ มาตรฐาน
27	น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5/อีจีบีอี/เอทานอล95%	X	X
28	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ไบโอดีเซล/โอเลิลแอลกอฮอล์/อีจีบีอี/เอทานอล95%	X	X
29	น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/โอเลิลแอลกอฮอล์/อีจีบีอี/เอทานอล95%	/	/
30	น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/โอเลิลแอลกอฮอล์/อีจีบีอี/เอทานอล95%	/	X
31	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ไบโอดีเซล/เมทิลโอเลิลเอต/อีจีบีอี/เอทานอล95%	/	X
32	น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/เมทิลโอเลิลเอต/อีจีบีอี/เอทานอล95%	/	X
33	น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/เมทิลโอเลิลเอต/อีจีบีอี/เอทานอล95%	/	X

หมายเหตุ : / คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน

X คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน

ค่ามาตรฐานความหนืดของเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล คือ 1.9 – 4.0 และ 1.9 – 6.0 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

ค่ามาตรฐานความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล คือ 0.87 และ 0.88 ตามลำดับ ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบของดีเซลผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานมากกว่าเชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบของไบโอดีเซล เนื่องจากเชื้อเพลิงดีเซลมีสารอะโรมาติกน้อยกว่าจึงทำให้เครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์

ค่ามาตรฐานปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล คือ 0.02 % โดยมวล ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ/ไบโอดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/เอทานอล/เอทานอล95% มีปริมาณเถ้า 0.02 % โดยมวล

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการลดความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันบางชนิดที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานค่าความหนืด แต่จากการศึกษา พบว่าชนิดของน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ไม่มีความแตกต่างกันเนื่องจากองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช คือ กรดไขมันในน้ำมันปาล์มมีกรดปาล์มติก (C16) 32 – 45% และกรดโอเลอิก (C18:1) 38 – 52% กรดไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดโอเลอิก (C18:1) 22 – 34% และกรดลิโนเลนิก (C18:2) 43 – 56% (Balat และคณะ, 2008) สารลดแรงตึงผิวประเภทแอลกอฮอล์อีทอกซิลเอต (ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 และดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์5) พบว่าสารลดแรงตึงผิวดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 เหมาะแก่การใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมากกว่า ส่วนสารลดแรงตึงผิวประเภทแอลกอฮอล์ไขมัน (โอเลิลแอลกอฮอล์ และเมทิลโอเลิลเอต) พบว่าโอเลิลแอลกอฮอล์เหมาะแก่การใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมากกว่าเมทิลแอลกอฮอล์ แต่สารลดแรงตึงผิวโอเลิลแอลกอฮอล์มีราคาต้นทุนค่อนข้างสูงจึง

ไม่เหมาะในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน และสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลเหมาะสมกับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมากกว่าสารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ไม่สามารถรวมตัวกับดีเซล ที่อัตราส่วนของน้ำมันที่ 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 75% อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) 1:8 โดยโมล ที่ปริมาตร 5% และเอทานอลเกรดทางการค้าความบริสุทธิ์ 95% ที่ปริมาตร 20% จึงเลือกน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) สารลดแรงตึงผิว (ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1) สารลดแรงตึงผิวร่วม (ออกทานอล) และเอทานอลความบริสุทธิ์ 95% ที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียสู่บรรยากาศของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันด้วยเครื่องยนต์ดีเซล

#### 4.4 ศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียสู่บรรยากาศของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จากการศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหมาะสมกับการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล มี 6 ชนิด ได้แก่

- น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%
- น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%
- น้ำมันปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%
- น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%
- น้ำมันถั่วเหลือง/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%
- น้ำมันปาล์มถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%

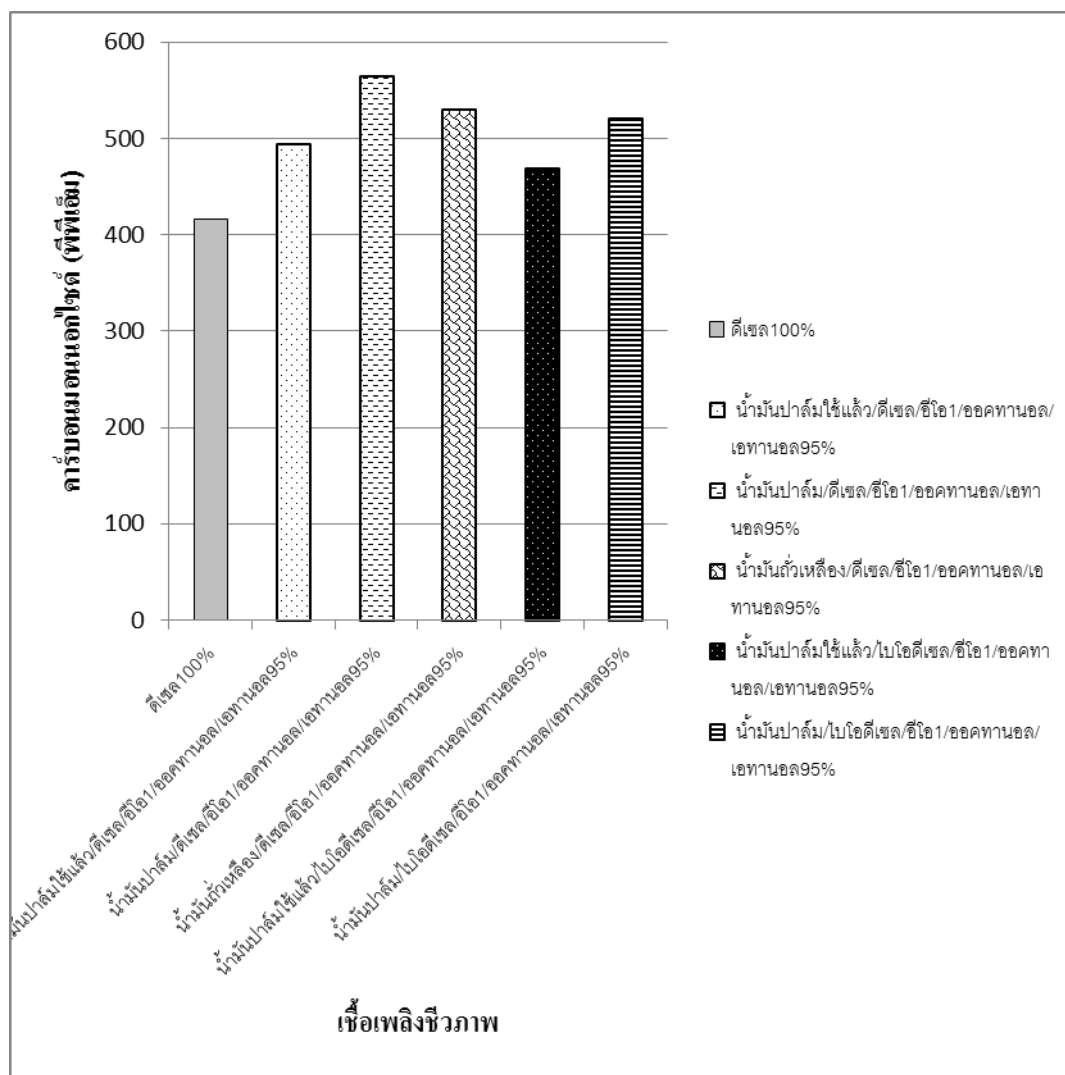
อัตราส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้ในการทดสอบการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล คือ น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 75% สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม อัตราส่วน 1:8 โดยโมล ที่ปริมาตร 5% และเอทานอล ความบริสุทธิ์ 95% ที่ปริมาตร 20% โดยผสมสารทั้ง 4 ชนิด ด้วยปริมาตรรวม 500 มิลลิลิตร

นำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันทดสอบเครื่องยนต์ความเร็วรอบคงที่ที่ 1,800 รอบต่อนาที ดังแสดงในตารางที่ 4 - 19 ซึ่งทดสอบก๊าซไอเสียที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) แสดงดังภาพที่ 4 - 26 และ 4 - 27

ผลการทดลองประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน รายละเอียดภาคผนวก ง

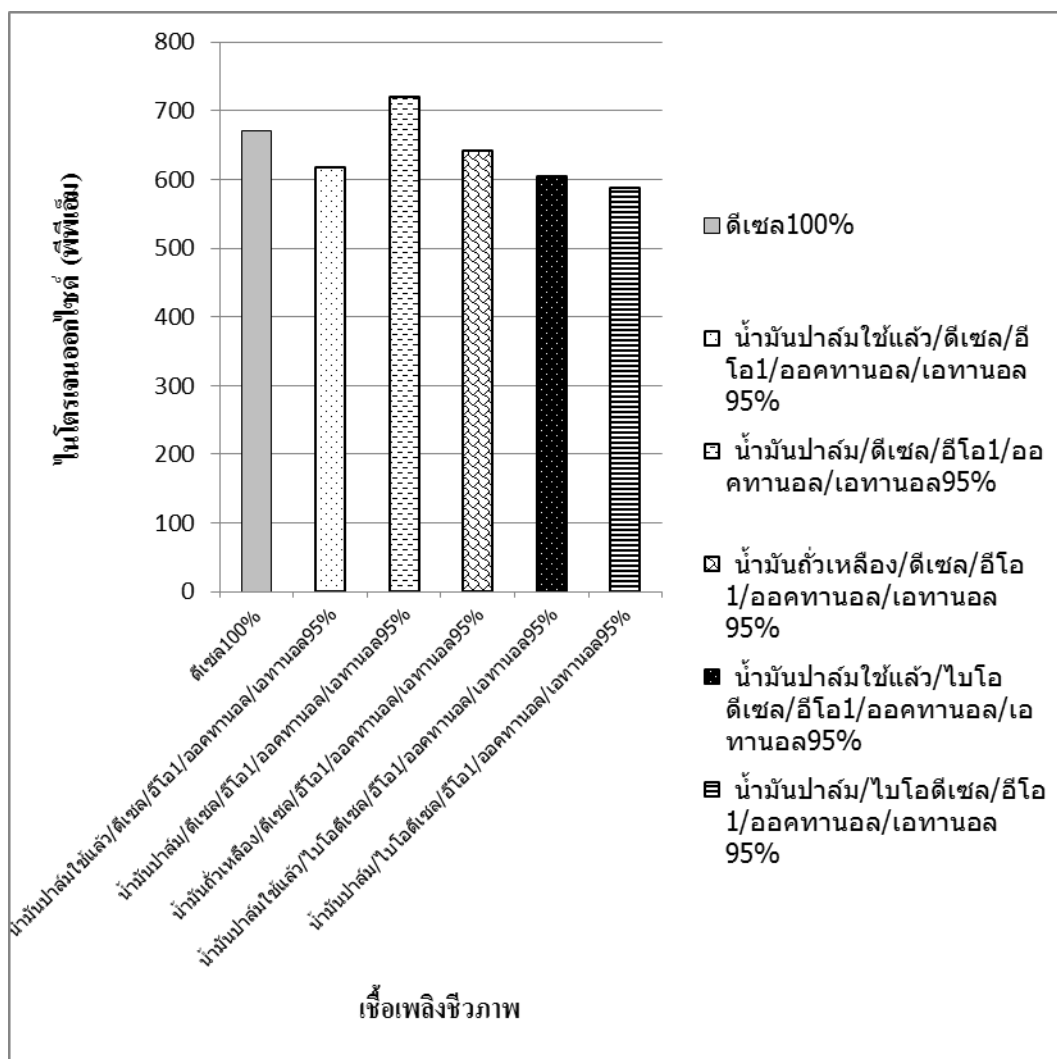
ตารางที่ 4 - 6 องค์ประกอบของเครื่องดนตรีที่ใช้ในการทดสอบก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพ  
ไมโครอิมัลชัน (จุฑาธิป พลอยศรีมงคล, 2550)

เครื่องดนตรี (รอบ/นาที)	1,800
ไดนาโม (รอบ/นาที)	1,500
ภาระโหลด (วัตต์)	1,500
กำลัง (แรงม้า)	10
ระยะเวลาในการสตาร์ทเครื่องดนตรี (นาที)	15



ภาพที่ 4 - 26 ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อเพลิงชีวภาพและคาร์บอนมอนนอกไซด์

ภาพที่ 4 - 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อเพลิงชีวภาพและก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์มากกว่าดีเซล 100% คือ 416 พีพีเอ็ม และชนิดของน้ำมันพืช คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพมีค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซลมีค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันพืชผสมดีเซล



ภาพที่ 4 - 27 ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อเพลิงชีวภาพและไนโตรเจนออกไซด์

ภาพที่ 4 - 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อเพลิงชีวภาพและก๊าซไนโตรเจนออกไซด์พบว่าน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซลมีค่าค่าไนโตรเจนออกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันพืชผสมดีเซล

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียสู่บรรยากาศของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที และภาระโหลดที่ 1,500 รอบต่อนาที โดยการปล่อยก๊าซไอเสียคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันและดีเซล 100% พบว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ของเชื้อเพลิงดีเซล 100% มีการเผาไหม้สะอาดกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน แต่การปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ/ดีเซล/ดีไฮโดรเอทิลีนออกไซด์1/ออคทานอล/เอทานอล95%, น้ำมันถั่วเหลือง/ดีเซล/ดีไฮโดรเอทิลีนออกไซด์1/ออคทานอล/เอทานอล95%, น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ/ไบโอดีเซล/ดีไฮโดรเอทิลีน



เอทิลีนออกไซด์ 1/ออกทานอล/เอทานอล 95% และน้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1/ออกทานอล/เอทานอล 95%) มีการปล่อยก๊าซต่ำกว่า เชื้อเพลิงดีเซล 100% และเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1/ออกทานอล/เอทานอล 95%) ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซไอเสียได้ เนื่องจากเครื่องยนต์เบาและดับลงทำให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ไม่ถึง 1,800 รอบต่อนาที และจากการศึกษาคุณสมบัติปริมาณเก่า พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนประกอบของน้ำมันถั่วเหลืองผสมไบโอดีเซล มีปริมาณเก่ามากส่งผลกระทบต่อระบบเครื่องยนต์ คือ ระบบหัวฉีด ลูกสูบ แหวน วาล์ว เกิดการอุดตัน ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

ชนิดของน้ำมันพืชที่มีการปล่อยก๊าซไอเสียต่ำที่สุด คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพ เนื่องจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วได้ทำการบำบัดให้สะอาดและบริสุทธิ์ด้วยการทิ้งให้ตกตะกอนและให้ความร้อนเพื่อให้ น้ำแยกตัวออกจากชั้นน้ำมัน (ถาปนาศักดิ์ ธงศ์สุวรรณ, 2554) และพบว่าน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซลมีการปล่อยก๊าซไอเสียต่ำกว่าน้ำมันพืชผสมดีเซล ซึ่งมีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์คุณสมบัติปริมาณน้ำ คือ ปริมาณน้ำมากทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลงจึงทำให้การปล่อยก๊าซไอเสียสู่บรรยากาศลดลงตาม

ปริมาณก๊าซไอเสียคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ปล่อยสู่บรรยากาศ มีผลไปในทางเดียวกันกับปริมาณก๊าซไอเสียคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และ ไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียมากกว่าเชื้อเพลิงดีเซล 100% เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนผสมของน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพมีการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซลมีการปล่อยก๊าซไอเสียน้อยกว่าน้ำมันพืชผสมดีเซล

#### 4.5 ประเมินการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการเตรียมไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืช

จากผลการทดลองการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืช พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่นำมาทดสอบการปล่อยก๊าซไอเสียสู่บรรยากาศ มีค่าใช้จ่ายในการผลิตค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชมีการใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลในปริมาณมาก ซึ่งการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมเพื่อเป็นการผสมกันระหว่างวัฏภาคแอลกอฮอล์ (มีขั้ว) และวัฏภาคน้ำมัน (ไม่มีขั้ว) ให้รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน 1 ลิตร รายละเอียดตามตารางที่ 4 - 7

ตารางที่ 4 - 7 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน 1 ลิตร ประกอบด้วย

น้ำมันและสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ในการทดลอง (ลิตร)	ราคา (บาท) / 1 ลิตร	หมายเหตุ
น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	0.3040	12.00	ขอความอนุเคราะห์จากร้านข้าวเหนียวไก่ทอดอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
น้ำมันปาล์ม	0.3040	42.00	บริษัท มรกตอินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
น้ำมันถั่วเหลือง	0.3040	55.00	บริษัท มรกตอินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
น้ำมันดีเซล	0.3040	30.00	บริษัท เซลล์แห่งประเทศไทย จำกัด
น้ำมันไบโอดีเซล	0.3040	28.00	ขอความอนุเคราะห์จาก บริษัท วีระสุวรรณ จำกัด
สารลดแรงตึงผิว (ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1)	0.0320	80.00	ขอความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด
สารลดแรงตึงผิวร่วม (ออกทานอล)	0.1600	2,050.00	บริษัท อะครอส ออร์แกนิก จำกัด
เอทานอล ความบริสุทธิ์ 95%	0.2000	70.00	บริษัท คาร์โลเออร์บา จำกัด

พบว่าสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลมีการใช้ในปริมาณมากและมีราคาค่อนข้างสูง คือ 2,050 บาท ต่อ 1 ลิตร จากการประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชต่อ 1 ลิตร มีราคาอยู่ระหว่าง 357 – 370 บาท รายละเอียดดังนี้

- น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล 95% (ราคา 1 ลิตร คือ 357.33 บาท)
- น้ำมันปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล 95% (ราคา 1 ลิตร คือ 356.72 บาท)
- น้ำมันถั่วเหลือง/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล 95% (ราคา 1 ลิตร คือ 366.45 บาท)
- น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล 95% (ราคา 1 ลิตร คือ 365.84 บาท)
- น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล 95% (ราคา 1 ลิตร คือ 370.40 บาท)
- น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล 95% (ราคา 1 ลิตร คือ 369.79 บาท)

งานวิจัยนี้ สามารถนำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกทดแทนพลังงานในรูปของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังจะหมดลงในไม่ช้า ปัจจัยสำคัญที่นำมาพิจารณาในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน คือ คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ความหนืด จุดขุ่น จุดไหลเท จุดวาบไฟ ปริมาณน้ำ และค่าความเป็นกรด ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งสามารถนำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันนี้ไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรหรือเครื่องยนต์ดีเซล ประเภท 1 ลูกสูบ 4 จังหวะ ได้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของลักษณะสมบัติของน้ำมันพืชต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ โดยศึกษาผลของชนิดและลักษณะของน้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางเคมี น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง โดยน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพโดยกลไกการกรองด้วยผ้าขาวบางสามารถนำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันได้ดีกว่าการบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางเคมีโดยกลไกการเข้าใกล้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

จากการศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน โดยอัตราส่วนการผสมน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 75% อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม (S/C) 1:8 โดยโมล ที่ปริมาตร 5% และเอทานอลเกรดทางการค้า ความบริสุทธิ์ 95% ที่ปริมาตร 20% พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันบางชนิดไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Separate phase) จะทำการศึกษาวงจรภาคโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยมเพื่อบอกสัดส่วนที่องค์ประกอบดังกล่าวจะสามารถทำให้เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) เปรียบเทียบชนิดน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมไบโอดีเซลดีกว่าน้ำมันพืชผสมดีเซล และเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลมีการละลายและรวมตัวได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลเอเทอร์ ในการใช้เอทานอลที่ความบริสุทธิ์ 95% ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) ได้ยาก แต่เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการผลิตจึงเลือกใช้เอทานอลที่ความบริสุทธิ์ 99% เพราะมีราคา 70 บาท ต่อ 1 ลิตร ซึ่งมีค่าความคุ้มค่ามากกว่าการใช้เอทานอลที่ความบริสุทธิ์ 99% ที่มีราคา 312 บาท ต่อ 1 ลิตร

จากการศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ได้แก่ ค่าความหนืด ขนาดอนุภาค ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเท จุดวาบไฟ ปริมาณน้ำ ปริมาณเถ้า และค่าความเป็นกรด เปรียบเทียบตามมาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซลประเภท 2 และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันส่วนใหญ่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซล โดยเฉพาะคุณสมบัติความหนืดเชิงจลนศาสตร์เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีขั้นตอนการผลิตและคุณสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล คือ ไขมันจากพืชและสัตว์ต่างประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้ และมีโครงสร้างเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนถึงแม้ว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจะผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานความหนืดแต่ก็ไม่สามารถนำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียสู่บรรยากาศของเครื่องยนต์ดีเซลได้ เนื่องจากคุณสมบัติที่แตกต่างกันและการประหยัดของค่าใช้จ่ายในการทดลองของสารลดแรงตึงผิวประเภทแอลกอฮอล์โทกซีเลต สารลดแรงตึงผิวประเภทแอลกอฮอล์ไขมัน และสารลดแรงตึงผิวร่วม

จึงพบว่าชนิดของน้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ไม่แตกต่างกันเนื่องจากจำนวนอะตอมคาร์บอนในกรดไขมันของน้ำมันพืชแตกต่างกัน

เล็กน้อย คือ น้ำมันปาล์มมีกรดปาล์มมิติก (C16) 32 – 45% และกรดโอเลอิก (C18:1) 38 – 52% ส่วนน้ำมันถั่วเหลืองมีกรดโอเลอิก (C18:1) 22 – 34% และกรดลิโนเลนิก (C18:2) 43 – 56%

สารลดแรงตึงผิวประเภทแอลกอฮอล์โทกซีเลต คือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 มีค่าเอชแอลบี 3.6 ซึ่งค่าเอชแอลบีต่ำ (HLB < 7) เหมาะกับอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันหรือวินเซอร์ชนิดที่ 2 (Winsor type II, W/O) คือ สามารถละลายน้ำมันได้ดีกว่าน้ำทำให้ชั้นน้ำมันเกิดไมโครอิมัลชัน ซึ่งมีการฟอร์มตัวในรูปของรีเวอร์สไมเซลล์ (Reverse micelle) ส่วนที่มีขี้ (เอทานอล) จะอยู่ด้านใน ส่วนที่ไม่มีขี้ (น้ำมัน) จะอยู่ด้านนอก แต่ถ้าสารลดแรงตึงผิวมีค่าเอชแอลบีสูง (HLB > 7) จะเหมาะกับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำหรือวินเซอร์ชนิดที่ 1 (Winsor type I, O/W)

สารลดแรงตึงผิวรวมออกทานอลละลายในน้ำมันได้ดีเนื่องจากแอลกอฮอล์มีโมเลกุลอะตอมคาร์บอนเพิ่มขึ้น และค่าความมีขี้ต่ำจึงทำให้การใช้สารลดแรงตึงผิวรวมออกทานอลเข้าใกล้น้ำมัน (ไม่มีขี้) มากกว่าเอทานอล (มีขี้) โดยค่าความมีขี้ของออกทานอล คือ  $16.1 \pm 0.5 \times 10^{-24}$  ลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความมีขี้ของเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ คือ  $13.1 \pm 0.5 \times 10^{-24}$  ลูกบาศก์เซนติเมตร

จากการเลือกสารที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีราคาต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูงถึง 357 – 370 บาท ต่อ 1 ลิตร ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันนี้ไม่เหมาะสมในการใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไป แต่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีขนาดเล็กประเภท 1 ลูกสูบ หรือสามารถใช้กับเครื่องยนต์ทางการเกษตรได้ โดยทดสอบเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันด้วยเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบคงที่ที่ 1,800 รอบต่อนาที ภาวะโหลด 1,500 รอบต่อนาที พบว่าการปล่อยก๊าซไอเสียสู่บรรยากาศของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) พบว่าน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพมีการปล่อยก๊าซไอเสียต่ำที่สุดเนื่องจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วได้ทำการบำบัดให้สะอาดและบริสุทธิ์ด้วยการทิ้งให้ตกตะกอนและให้ความร้อนเพื่อให้น้ำแยกตัวออกจากชั้นน้ำมัน

จากงานวิจัย เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ควรนำไปพัฒนาต่อ คือ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพผสมไปโอติเซล ที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 75% โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 ผสม สารลดแรงตึงผิวรวมออกทานอล ที่อัตราส่วน 1:8 โดยโมล ที่ปริมาตร 20% โดยปริมาตร และเอทานอลความบริสุทธิ์ 95% ที่ปริมาตร 5% โดยปริมาตร โดยปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันให้ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานคุณสมบัติด้านความหนืดของเชื้อเพลิงไปโอติเซล และจุดวาบไฟ ควรเพิ่มปริมาณการใช้เอทานอลมากขึ้นซึ่งเอทานอลเป็นตัวช่วยในการลดความหนืด แต่เอทานอลเป็นสารละลายที่มีขี้ซึ่งทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่ฟอร์มตัวอยู่ในรูปรีเวอร์สไมเซลล์ จึงเพิ่มปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวมากขึ้นด้วยเพราะสารลดแรงตึงผิวทำให้เฟสน้ำและเฟสน้ำมันเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน และทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ในวินเซอร์ชนิดที่ 2 คือ น้ำอยู่ในน้ำมัน (W/O) และปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) ของเครื่องยนต์ดีเซล จากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันชนิดนี้มีประสิทธิภาพการเผาไหม้สมบูรณ์กว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันชนิดอื่น จึงช่วยลดมลพิษทางอากาศ และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Green House Effect) อีกทั้งการใช้ น้ำมันปาล์มใช้แล้วยัง

ช่วยลดการนำไปประกอบอาหารซ้ำเพราะน้ำมันปาล์มใช้แล้วมีสารก่อมะเร็ง คือ สารไดออกซิน ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง และก่อมลพิษทางน้ำ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลอง มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

- การบำบัดน้ำมันปาล์มใช้แล้วทางเคมีโดยเข้าใกล้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ควรเปลี่ยนสารละลายจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เนื่องจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เกิดการรวมตัวกันของตัวทำละลายได้ดีกว่า
- ขั้นตอนการศึกษาวัฏภาคของสารโดยใช้แผนภูมิสามเหลี่ยม ควรเลือกจุดที่เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืด
- คุณสมบัติปริมาณเก่า ควรกำหนดเวลาในการให้ความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เนื่องจากการเผาไหม้หมดควันโดยไม่กำหนดเวลาทำให้ปริมาณก่อนการนำเข้าเตาเผามีค่าไม่เท่ากัน
- การทดสอบก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล อาจเพิ่มความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ และกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ปริมาณก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล
- ควรทดสอบหาก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเพื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล

## 5.3 ความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้ มีความตระหนักถึงความสำคัญของพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีการหาพลังงานทดแทนพลังงานเดิมที่มีอยู่ คือ พลังงานทางเลือก โดยการใช้ไขมันพืชแทนการใช้ไขมันดีเซลเนื่องจากน้ำมันพืชส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในเรื่องการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Green House Gas) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดภาวะโลกร้อน การเกิดก๊าซเรือนกระจกเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) เป็นก๊าซที่สำคัญของการเผาไหม้เชื้อเพลิง จากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านกระบวนการไมโครอิมัลชัน องค์ประกอบของเอทานอลมีการก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด อาจลดปริมาณการใช้เอทานอลลงและเพิ่มปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิว ซึ่งงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการลดความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน เป็นกระบวนการที่ง่าย ใช้พลังงานน้อย ไม่เกิดผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ และไม่ก่อให้เกิดน้ำเสีย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาอังกฤษ

- Acosta, E.J., Harwell, J.H., Scamehorn, J.F. and Sabatini, D.A. 2007. Application of microemulsions in cleaning technologies and environmental remediation. School of Civil Engineering and Environmental Science. The University of Oklahoma.
- Agarwal, A.K. 2007. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science 33: 233-271.
- Ali, Y. and Hanna, M. 1994. Alternative diesel fuels from vegetable oils. Bioresour Technol 50: 153-163.
- ASTM International. American Standard Testing Method. Acid number [Online]. Available from: <http://www.astm.org>[2008].
- ASTM International. American Standard Testing Method. Ash content [Online]. Available from: <http://www.astm.org>[2008].
- ASTM International. American Standard Testing Method. Cloud point [Online]. Available from: <http://www.astm.org>[2008].
- ASTM International. American Standard Testing Method. Flash point [Online]. Available from: <http://www.astm.org>[2008].
- ASTM International. American Standard Testing Method. Specific gravity [Online]. Available from: <http://www.astm.org>[2008].
- ASTM International. American Standard Testing Method. Pour point [Online]. Available from: <http://www.astm.org>[2008].
- ASTM International. American Standard Testing Method. Water content [Online]. Available from: <http://www.astm.org>[2008].
- Attaphong, C., Do, L. and Sabatini, D.A. 2012. Vegetable oil-based microemulsions using carboxylate-based extended surfactants and their potential as an alternative renewable biofuel. Fuel 94: 606-613.
- Balat, M. 2008. Modeling vegetable oil viscosity. Energy resources 30: 1856-1869.
- Bidyut, K.P. and Satya, P.M. 2001. Uses and applications of microemulsions. Curr Sci 80: 990-1001.

- Crookes, R.J., Kiannejad, F. and Marouan, A. 1997. Systematic assessment of combustion characteristics of biofuels and emulsions with water for use as diesel engine fuels. Energy Concers. Mgmt 38: 1785-1795.
- Cuenca, F. and Marin M, 2011. Effects of ethylene glycol ethers on diesel fuel properties and emissions in a diesel engine. Energy Conversion and Management 52: 3027–3033.
- Dantas, T., Sliva, A.C. and Neto, A.D. 2001. New microemulsion systems using diesel and vegetable oils. Fuel 80: 75-81.
- Do, L.D., Singh, V., Chen, L., Kibbey, T. C.G., Gollahalli, S.R. and Sabatini, D.A. 2011. Algae, canola, or palm oils-diesel microemulsion fuels: phase behaviors, viscosity, and combustion properties. Journal of Green Energy 8: 748-767.
- Dunn, R.O. and Bagby, M.O. 1994. Solubilization of methanol and triglycerides: Unsaturated Longchain fatty alcohol/mediumchain alkanol mixed amphiphile systems. J Am Oil Chem Soc 71: 101-108.
- Hazar, H. and Aydin, H. 2010. Performance and emission evaluation of a CI engine fueled with preheated raw rapeseed oil (RRO) – diesel blends. Applied Energy 87: 786-790.
- Kerihuel, A., Kumar, M.S., Bellettre, J. and Tazerout, M. 2006. Ethanol animal fat emulsions as a diesel engine fuel – part1: Formulations and influential parameters. Fuel 85: 2640-2645.
- Knothe, G. and Steidley, K.R. 2005. Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuel components. Fuel 84: 1059-1065.
- Kumar, M.S., Kerihuel, A., Bellettre, J. and Tazerout, M. 2006. Ethanol animal fat emulsion as a diesel engine fuel – Part 2: Engine test analysis. Fuel 85: 2646-2652.
- Kwancharon, P., Luengnaruemitchai, A. and Jai-In, S. 2007. Solubility of a diesel biodiesel-ethanol blend, its emission characteristics from diesel engine. Fuel 86: 1053-1061.
- Li, D.G., Zhen, H., Xingcai, L., Zhang, W. and Yang, J. 2005. Physico-chemical properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engine. Renewable Energy 30: 967-976.
- Lif, A. and Holmberg, K. 2006. Water-in-diesel emulsions and related systems. Advances in Colloid and Interface Science 123-126: 231-239.
- Lin, C. and Lin, H. 2007. Engine performance and emission characteristics of a three-phase emulsion of biodiesel produced by peroxidation. Fuel Processing Technology 88: 35-41.



- Lin, C.Y. and Wang, K.H. 2003. The fuel properties of three-phase emulsions as an alternative fuel for diesel engines. Fuel 82: 1367-1375.
- Lin, L., Ying, D., Chaitep, S. and Vittayapadung, S. 2009. Biodiesel production from crude rice bran oil and properties as fuel. Applied Energy 86: 681-688.
- Ma, F. and Hanna, M.A. 1999. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology 70: 1-15.
- Noukamon, A. 2011. Alternative renewable biofuel from palm oil – diesel based reverse micelle microemulsions. Thesis proposal, Faculty of Hazardous waste, Chulalongkorn University.
- Olie, K., Adsdink, R. and Schoonenboom, M. 1998. Metals as catalysts during the formation and decomposition of chlorinated dioxins and furans in incineration processes. Air and Waste Management 48: 101-105.
- Omar, W.N.N.W. and Amin, N.A.S. 2011. Optimization of heterogeneous biodiesel production from waste cooking palm oil via response surface methodology. Biomass and Bioenergy 35: 1329-1338.
- Paul, S. and Panda, A.K. 2011. Physico-chemical studies on microemulsion: effect of cosurfactant chain length on the phase behavior, formation dynamics, structure parameters and viscosity of water/(polysorbate-20 + n-alkanol)/n-heptane water-in-oil microemulsion. J Surfact Deterg. DOI 10.1007/s11743-011-1256-5.
- Rosen, M.J. 2004. Surfactants and interfacial phenomena. Surfactant research institute, Brooklyn College.
- Sabatini, D.A., Knox, R.C., Harwell, J.H. and Wu, B. 2000. Integrated design of surfactant enhanced DNAPL remediation: efficient supersolubilization and gradient systems. Contam Hydrol 45: 99-121.
- Sharma, M. 2012. Biodiesel generation from waste cooking oil using transesterification. Department of Petrochemical, Sithouli – ITM University.
- Tan, K.T., Lee K.T. and Mohamed, A.R. 2011. Potential of waste palm cooking oil for catalyst – free biodiesel production. Energy 36: 2085-2088.
- Zhao, D.Z., Wang, Y.P. and Liu, J.H. 2006. Preparation and application of diesel microemulsion. Petrol Sci Technol 24: 1017-1025.

## ภาษาไทย

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. ปริมาณผลผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th>.
- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2553. เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับไดออกซิน. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ (มีนาคม).
- กฤษฏีกา เวชกลาง และไพลิน แผนวิซิต. 2555. การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- กาญจนา แสงล้อมสุวรรณ. 2554. เชื้อเพลิงชีวภาพพลังงานทางเลือก. วารสารมหาวิทยาลัยกรุงเทพ (ตุลาคม-ธันวาคม): 3-7.
- จุฑาธิป พลอยศรีมงคล. 2550. การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้เทคนิคไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชมพูนุท พรเจริญนพ. 2551. ไบโอดีเซลพลังงานทางเลือกใหม่ในยุคน้ำมันแพง. ข่าวรวมคำแห่ง ปี 38 ฉบับที่ 14. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. (กรกฎาคม).
- ถาปนาศักดิ์ ธงศ์สุวรรณ. 2554. ขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มใช้แล้วให้เป็นไบโอดีเซล. โอเคเนชั่น. (30 ตุลาคม 2554).
- ธนศรี เสนิงวงศ์ ณ อยุธยา. 2545. ดีเซลเบนซินเรื่องหมูหมู. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: มติชน. 368 หน้า.
- นคร ทิพยาวงศ์. 2553. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงสภาพชีวมวล. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 240 หน้า.
- นิตยา รัตนานนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2550. ถั่วเหลือง. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com>.
- นิตยา รัตนานนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2550. ปาล์มน้ำมัน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com>.
- บุญลาภ ภูสุวรรณ. 2555. พลังงานไทย พลังงานเพื่อใคร. ข่าวไทยพับลิก้า ปี 55. (ตุลาคม).
- พรชนก รัตนะรัต. 2550. อัตราการป้อนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจากน้ำมันปาล์มดิบโดย Pseudomonas sp.A41 ในกระบวนการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พล สาเททอง. 2549. แนวทางการจัดการมูลฝอยของประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.pcd.go.th>.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิตยา รัตนานนท์. ค่าความเป็นกรด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com>.

- พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล. 2544. ไบโอดีเซลพลังงานทางเลือก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 16. (กันยายน – ธันวาคม).
- เพทาย ตันธนวัฒน์, เอกลักษณ์ สมรูป และธิดารุจ พงศ์ประยูร. 2551. การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจาก น้ำมันปาล์มโดยใช้วิธีไมโครอิมัลชัน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือฉบับที่ 3. (กันยายน – ธันวาคม): 62-69.
- วิซชกร จารุศิริ. 2549. การแปรรูปน้ำมันพืช น้ำมันเครื่อง และพลาสติกใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิง เหลวบนเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง. กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช, สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรางคณา ประภาตกุล. 2551. การผลิตไบโอดีโซฮอล์จากน้ำมันสุปุดำโดยใช้เทคนิคไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิต วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุวิมล ทรัพย์ทวีวุฒิ. 2550. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่เร่งปฏิกิริยาด้วยไลเพสตรังรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
- อริคม คำดี. 2548. กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว. วารสารเทคโนโลยีชาวบ้านฉบับที่ 365. (สิงหาคม).
- อารยัน จันศรี. 2555. สารประกอบอีเทอร์. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://chemsci.kku.ac.th>.
- อาวุธ ณ ลำปาง. 2556. ชนิดของพืชน้ำมันที่เพาะปลูกในประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.guru.sanook.com>.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก  
การติดตั้งอุปกรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ ก - 1 การติดตั้งอุปกรณ์การวัดความหนืด ที่อุณหภูมิ 15 และ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ก - 2 การติดตั้งอุปกรณ์การวัดความหนืด ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ก - 3 การติดตั้งอุปกรณ์การวัดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน



ภาพที่ ก - 4 การติดตั้งอุปกรณ์การวัดประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน



ภาคผนวก ข  
กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ตัวอย่างที่ ข – 1 การคำนวณเฟสไมโครอิมัลชัน

น้ำมันพืชผสมดีเซลและไบโอดีเซล 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 75%

อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมคงที่ (C/S) 1:8 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 5%

เอทานอลเกรดการค้า ความบริสุทธิ์ 95% ที่ปริมาตร 20%

สารลดแรงตึงผิวร่วม ออกทานอล (Octanol) 1 โมล

สารลดแรงตึงผิว ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 (Dehydrol LS1 TH)

ปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned}
 \text{ออกทานอล} &= \frac{\text{โมลาร์} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{(\% \text{ความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น})} \\
 &= \frac{1 \times 130.23 \times 0.01}{(0.99 \times 0.824)} \\
 &= 1.5964 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1} &= \frac{\text{โมลาร์} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{(\% \text{ความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น})} \\
 &= \frac{(1/8) \times 217.15 \times 0.01}{(0.99 \times 0.837)} \\
 &= 0.3276 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{ออกทานอล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 5\%} &= 1.5964 + 0.3276 \\
 &= 1.924 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{เอทานอล 2\%} &= 2 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{น้ำมัน 75\%} &= 10 - (2 + 1.924) \\
 &= 6.0760 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ ข – 2 การคำนวณวัฏภาคสามเหลี่ยม โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล  
 สารลดแรงตึงผิวร่วม ออกทานอล (Octanol) 1 โมล  
 สารลดแรงตึงผิว ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (Dehydrol LS1 TH, EO1)  
 น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล (Palm oil/Diesel) 5 มิลลิลิตร  
 เอทานอล (Ethanol) 1 มิลลิลิตร

ออกทานอล	=	โมลาร์ × มวลโมเลกุล × ปริมาตร /	
		(%ความบริสุทธิ์ × ความหนาแน่น)	
	=	$0.1 \times 130.23 \times 0.006 / (0.99 \times 0.824)$	
	=	0.0958 มิลลิลิตร	
ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	=	โมลาร์ × มวลโมเลกุล × ปริมาตร /	
		(%ความบริสุทธิ์ × ความหนาแน่น)	
	=	$(0.1/8) \times 217.15 \times 0.006 / (0.99 \times 0.837)$	
	=	0.0197 มิลลิลิตร	
ออกทานอล + ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	=	$0.0958 + 0.0197$	
	=	0.1155 มิลลิลิตร	
ผลรวม	=	$6 + 0.1155$	
	=	6.1155 มิลลิลิตร	
% เอทานอล	=	$(1 \times 100) / 6.1155$	= 16.35 %
% น้ำมันปาล์ม/ดีเซล	=	$(5 \times 100) / 6.1155$	= 81.76 %
% ออกทานอล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	=	$(0.1155 \times 100) / 6.1155$	= 1.89 %
% ผลรวมทั้งหมด	=	$16.35 + 81.76 + 1.89$	= 100 %

ตารางที่ ข - 1 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

ออกทานอล (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิเมตร)	น้ำมัน (มิลลิเมตร)	ออกทานอล (มิลลิเมตร)	ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 (มิลลิเมตร)	ผลรวม (มิลลิเมตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ ออกทานอล (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
0.2	1	5	0.1913	0.0393	6.2306	16.05	80.25	3.70	x
0.4	1	5	0.3827	0.0786	6.4623	15.48	77.38	7.14	x
0.6	1	5	0.5740	0.1179	6.6919	14.94	74.72	10.34	x
0.8	1	5	0.7654	0.1572	6.9226	14.45	72.23	13.32	/
1.0	1	5	0.9567	0.1965	7.1532	13.98	69.90	16.12	/
1.2	1	5	1.1480	0.2359	7.3839	13.54	67.72	18.74	/
0.2	2	5	0.2232	0.0459	7.2691	27.51	68.78	3.71	x
0.4	2	5	0.4465	0.0917	7.5382	26.53	66.33	7.14	x
0.6	2	5	0.6697	0.1376	7.8073	25.62	64.04	10.34	x
0.8	2	5	0.8929	0.1834	8.0764	24.76	61.91	13.33	x
1.0	2	5	1.1161	0.2293	8.3454	23.97	59.91	16.12	/
1.2	2	5	1.3394	0.2752	8.6145	23.22	58.04	18.74	/
0.4	3	5	0.5102	0.1048	8.6151	34.82	58.04	7.14	x
0.6	3	5	0.7654	0.1572	8.9226	33.62	56.04	10.34	x
0.8	3	5	1.0205	0.2096	9.2301	32.50	54.17	13.33	x
1.0	3	5	1.2756	0.2621	9.5377	31.45	52.42	16.13	x
1.2	3	5	1.5307	0.3145	9.8452	30.47	50.79	18.74	/
1.4	3	5	1.7858	0.3669	10.1527	29.55	49.25	21.20	/
0.4	4	5	0.5740	0.1179	9.6919	41.27	51.59	7.14	x
0.6	4	5	0.8610	0.1769	10.0379	39.85	49.81	10.34	x
0.8	4	5	1.1480	0.2359	10.3839	38.52	48.15	13.33	x
1.0	4	5	1.4350	0.2948	10.7299	37.28	46.60	16.12	x
1.2	4	5	1.7221	0.3538	11.0758	36.11	45.14	18.75	/
1.4	4	5	2.0091	0.4127	11.4218	35.02	43.78	21.20	/
0.4	5	5	0.6378	0.1310	10.7688	46.43	46.43	7.14	x
0.6	5	5	0.9567	0.1965	11.1532	44.83	44.83	10.34	x
0.8	5	5	1.2756	0.2621	11.5377	43.34	43.34	13.32	x
1.0	5	5	1.5945	0.3276	11.9221	41.94	41.94	16.12	x
1.2	5	5	1.9134	0.3931	12.3065	40.63	40.63	18.74	x
1.4	5	5	2.2323	0.4586	12.6909	39.40	39.40	21.20	/

ตารางที่ ข - 1 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95% (ต่อ)

ออกทานอล (โมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	ออกทานอล (มิลลิลิตร)	ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ ออกทานอล (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
0.4	5	4	0.5740	0.1179	9.6919	51.59	41.27	7.14	x
0.6	5	4	0.8610	0.1769	10.0379	49.81	39.85	10.34	x
0.8	5	4	1.1480	0.2359	10.3839	48.15	38.52	13.33	x
1.0	5	4	1.4350	0.2948	10.7299	46.60	37.28	16.12	x
1.2	5	4	1.7221	0.3538	11.0758	45.14	36.11	18.75	x
1.4	5	4	2.0091	0.4127	11.4218	43.78	35.02	21.20	/
0.6	5	3	0.7654	0.1572	8.9226	56.04	33.62	10.34	x
0.8	5	3	1.0205	0.2096	9.2301	54.17	32.50	13.33	x
1.0	5	3	1.2756	0.2621	9.5377	52.42	31.45	16.13	x
1.2	5	3	1.5307	0.3145	9.8452	50.79	30.47	18.74	x
1.4	5	3	1.7858	0.3669	10.1527	49.25	29.55	21.20	x
1.6	5	3	2.0409	0.4193	10.4602	47.80	28.68	23.52	/
0.6	5	2	0.6697	0.1376	7.8073	64.04	25.62	10.34	x
0.8	5	2	0.8929	0.1834	8.0764	61.91	24.76	13.33	x
1.0	5	2	1.1161	0.2293	8.3454	59.91	23.97	16.12	x
1.2	5	2	1.3394	0.2752	8.6145	58.04	23.22	18.74	x
1.4	5	2	1.5626	0.3210	8.8836	56.28	22.51	21.21	x
1.6	5	2	1.7858	0.3669	9.1527	54.63	21.85	23.52	/
0.6	5	1	0.5740	0.1179	6.6919	74.72	14.94	10.34	x
0.8	5	1	0.7654	0.1572	6.9226	72.23	14.45	13.32	x
1.0	5	1	0.9567	0.1965	7.1532	69.90	13.98	16.12	x
1.2	5	1	1.1480	0.2359	7.3839	67.72	13.54	18.74	x
1.4	5	1	1.3394	0.2752	7.6145	65.66	13.13	21.21	x
1.6	5	1	1.5307	0.3145	7.8452	63.73	12.75	23.52	/

ตารางที่ ข - 2 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัด  
ทางกายภาพ ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวร่วม/ สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
14.45	72.23	13.32
23.97	59.91	16.12
30.47	50.79	18.74
36.11	45.14	18.75
39.40	39.40	21.20
43.78	35.02	21.20
47.80	28.68	23.52
54.63	21.85	23.52
63.73	12.75	23.52
100.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข – 3 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ ไบโอดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

ออกทานอล (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	ออกทานอล (มิลลิลิตร)	ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ ออกทานอล (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
0.2	1	5	0.1913	0.0393	6.2306	16.05	80.25	3.70	/
0.4	1	5	0.3827	0.0786	6.4623	15.48	77.38	7.14	/
0.6	1	5	0.5740	0.1179	6.6919	14.94	74.72	10.34	/
0.8	1	5	0.7654	0.1572	6.9226	14.45	72.23	13.32	/
1.0	1	5	0.9567	0.1965	7.1532	13.98	69.90	16.12	/
1.2	1	5	1.1480	0.2359	7.3839	13.54	67.72	18.74	/
0.2	2	5	0.2232	0.0459	7.2691	27.51	68.78	3.71	x
0.4	2	5	0.4465	0.0917	7.5382	26.53	66.33	7.14	x
0.6	2	5	0.6697	0.1376	7.8073	25.62	64.04	10.34	/
0.8	2	5	0.8929	0.1834	8.0764	24.76	61.91	13.33	/
1.0	2	5	1.1161	0.2293	8.3454	23.97	59.91	16.12	/
1.2	2	5	1.3394	0.2752	8.6145	23.22	58.04	18.74	/
0.2	3	5	0.25512	0.0524	8.3075	36.11	60.19	3.70	x
0.4	3	5	0.5102	0.1048	8.6151	34.82	58.04	7.14	x
0.6	3	5	0.7654	0.1572	8.9226	33.62	56.04	10.34	/
0.8	3	5	1.0205	0.2096	9.2301	32.50	54.17	13.33	/
1.0	3	5	1.2756	0.2621	9.5377	31.45	52.42	16.13	/
1.2	3	5	1.5307	0.3145	9.8452	30.47	50.79	18.74	/
0.2	4	5	0.2870	0.0590	9.3460	42.80	53.50	3.70	x
0.4	4	5	0.5740	0.1179	9.6919	41.27	51.59	7.14	x
0.6	4	5	0.8610	0.1769	10.0379	39.85	49.81	10.34	/
0.8	4	5	1.1480	0.2359	10.3839	38.52	48.15	13.33	/
1.0	4	5	1.4350	0.2948	10.7299	37.28	46.60	16.12	/
1.2	4	5	1.7221	0.3538	11.0758	36.11	45.14	18.75	/
0.4	5	5	0.6378	0.1310	10.7688	46.43	46.43	7.14	x
0.6	5	5	0.9567	0.1965	11.1532	44.83	44.83	10.34	x
0.8	5	5	1.2756	0.2621	11.5377	43.34	43.34	13.32	/
1.0	5	5	1.5945	0.3276	11.9221	41.94	41.94	16.12	/
1.2	5	5	1.9134	0.3931	12.3065	40.63	40.63	18.74	/
1.4	5	5	2.2323	0.4586	12.6909	39.40	39.40	21.20	/

ตารางที่ ข – 3 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ ไบโอดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95% (ต่อ)

ออกทานอล (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิเมตร)	น้ำมัน (มิลลิเมตร)	ออกทานอล (มิลลิเมตร)	ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 (มิลลิเมตร)	ผลรวม (มิลลิเมตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ ออกทานอล (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
0.4	5	4	0.5740	0.1179	9.6919	51.59	41.27	7.14	x
0.6	5	4	0.8610	0.1769	10.0379	49.81	39.85	10.34	x
0.8	5	4	1.1480	0.2359	10.3839	48.15	38.52	13.33	x
1.0	5	4	1.4350	0.2948	10.7299	46.60	37.28	16.12	/
1.2	5	4	1.7221	0.3538	11.0758	45.14	36.11	18.75	/
1.4	5	4	2.0091	0.4127	11.4218	43.78	35.02	21.20	/
0.6	5	3	0.7654	0.1572	8.9226	56.04	33.62	10.34	x
0.8	5	3	1.0205	0.2096	9.2301	54.17	32.50	13.33	x
1.0	5	3	1.2756	0.2621	9.5377	52.42	31.45	16.13	/
1.2	5	3	1.5307	0.3145	9.8452	50.79	30.47	18.74	/
1.4	5	3	1.7858	0.3669	10.1527	49.25	29.55	21.20	/
1.6	5	3	2.0409	0.4193	10.4602	47.80	28.68	23.52	/
0.6	5	2	0.6697	0.1376	7.8073	64.04	25.62	10.34	x
0.8	5	2	0.8929	0.1834	8.0764	61.91	24.76	13.33	x
1.0	5	2	1.1161	0.2293	8.3454	59.91	23.97	16.12	x
1.2	5	2	1.3394	0.2752	8.6145	58.04	23.22	18.74	/
1.4	5	2	1.5626	0.3210	8.8836	56.28	22.51	21.21	/
1.6	5	2	1.7858	0.3669	9.1527	54.63	21.85	23.52	/
0.6	5	1	0.5740	0.1179	6.6919	74.72	14.94	10.34	x
0.8	5	1	0.7654	0.1572	6.9226	72.23	14.45	13.32	x
1.0	5	1	0.9567	0.1965	7.1532	69.90	13.98	16.12	x
1.2	5	1	1.1480	0.2359	7.3839	67.72	13.54	18.74	x
1.4	5	1	1.3394	0.2752	7.6145	65.66	13.13	21.21	/
1.6	5	1	1.5307	0.3145	7.8452	63.73	12.75	23.52	/

ตารางที่ ข - 4 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัด  
ทางกายภาพ ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวร่วม/ สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
16.05	80.25	3.70
25.62	64.04	10.34
33.62	56.04	10.34
39.85	49.81	10.34
43.34	43.34	13.32
46.60	37.28	16.12
52.42	31.45	16.13
58.04	23.22	18.74
65.66	13.13	21.21
100.00	0.00	0.00



ตารางที่ ข – 5 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮดอลเอทีเอส ออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

ออกทานอล (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	ออกทานอล (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทีเอส ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอทีเอสออกไซด์1/ ออกทานอล (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
0.2	1	5	0.1913	0.0393	6.2306	16.05	80.25	3.70	x
0.4	1	5	0.3827	0.0786	6.4623	15.48	77.38	7.14	x
0.6	1	5	0.5740	0.1179	6.6919	14.94	74.72	10.34	/
0.8	1	5	0.7654	0.1572	6.9226	14.45	72.23	13.32	/
1.0	1	5	0.9567	0.1965	7.1532	13.98	69.90	16.12	/
1.2	1	5	1.1480	0.2359	7.3839	13.54	67.72	18.74	/
0.2	2	5	0.2232	0.0459	7.2691	27.51	68.78	3.71	x
0.4	2	5	0.4465	0.0917	7.5382	26.53	66.33	7.14	x
0.6	2	5	0.6697	0.1376	7.8073	25.62	64.04	10.34	x
0.8	2	5	0.8929	0.1834	8.0764	24.76	61.91	13.33	x
1.0	2	5	1.1161	0.2293	8.3454	23.97	59.91	16.12	/
1.2	2	5	1.3394	0.2752	8.6145	23.22	58.04	18.74	/
0.4	3	5	0.5102	0.1048	8.6151	34.82	58.04	7.14	x
0.6	3	5	0.7654	0.1572	8.9226	33.62	56.04	10.34	x
0.8	3	5	1.0205	0.2096	9.2301	32.50	54.17	13.33	x
1.0	3	5	1.2756	0.2621	9.5377	31.45	52.42	16.13	x
1.2	3	5	1.5307	0.3145	9.8452	30.47	50.79	18.74	/
1.4	3	5	1.7858	0.3669	10.1527	29.55	49.25	21.20	/
0.4	4	5	0.5740	0.1179	9.6919	41.27	51.59	7.14	x
0.6	4	5	0.8610	0.1769	10.0379	39.85	49.81	10.34	x
0.8	4	5	1.1480	0.2359	10.3839	38.52	48.15	13.33	x
1.0	4	5	1.4350	0.2948	10.7299	37.28	46.60	16.12	x
1.2	4	5	1.7221	0.3538	11.0758	36.11	45.14	18.75	/
1.4	4	5	2.0091	0.4127	11.4218	35.02	43.78	21.20	/
0.4	5	5	0.6378	0.1310	10.7688	46.43	46.43	7.14	x
0.6	5	5	0.9567	0.1965	11.1532	44.83	44.83	10.34	x
0.8	5	5	1.2756	0.2621	11.5377	43.34	43.34	13.32	x
1.0	5	5	1.5945	0.3276	11.9221	41.94	41.94	16.12	x
1.2	5	5	1.9134	0.3931	12.3065	40.63	40.63	18.74	x
1.4	5	5	2.2323	0.4586	12.6909	39.40	39.40	21.20	/

ตารางที่ ข – 5 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95% (ต่อ)

ออกทานอล (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	ออกทานอล (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/ ออกทานอล (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
0.4	5	4	0.5740	0.1179	9.6919	51.59	41.27	7.14	x
0.6	5	4	0.8610	0.1769	10.0379	49.81	39.85	10.34	x
0.8	5	4	1.1480	0.2359	10.3839	48.15	38.52	13.33	x
1.0	5	4	1.4350	0.2948	10.7299	46.60	37.28	16.12	x
1.2	5	4	1.7221	0.3538	11.0758	45.14	36.11	18.75	x
1.4	5	4	2.0091	0.4127	11.4218	43.78	35.02	21.20	/
0.6	5	3	0.7654	0.1572	8.9226	56.04	33.62	10.34	x
0.8	5	3	1.0205	0.2096	9.2301	54.17	32.50	13.33	x
1.0	5	3	1.2756	0.2621	9.5377	52.42	31.45	16.13	x
1.2	5	3	1.5307	0.3145	9.8452	50.79	30.47	18.74	x
1.4	5	3	1.7858	0.3669	10.1527	49.25	29.55	21.20	x
1.6	5	3	2.0409	0.4193	10.4602	47.80	28.68	23.52	/
0.6	5	2	0.6697	0.1376	7.8073	64.04	25.62	10.34	x
0.8	5	2	0.8929	0.1834	8.0764	61.91	24.76	13.33	x
1.0	5	2	1.1161	0.2293	8.3454	59.91	23.97	16.12	x
1.2	5	2	1.3394	0.2752	8.6145	58.04	23.22	18.74	x
1.4	5	2	1.5626	0.3210	8.8836	56.28	22.51	21.21	x
1.6	5	2	1.7858	0.3669	9.1527	54.63	21.85	23.52	/
0.6	5	1	0.5740	0.1179	6.6919	74.72	14.94	10.34	x
0.8	5	1	0.7654	0.1572	6.9226	72.23	14.45	13.32	x
1.0	5	1	0.9567	0.1965	7.1532	69.90	13.98	16.12	x
1.2	5	1	1.1480	0.2359	7.3839	67.72	13.54	18.74	x
1.4	5	1	1.3394	0.2752	7.6145	65.66	13.13	21.21	x
1.6	5	1	1.5307	0.3145	7.8452	63.73	12.75	23.52	/

ตารางที่ ข - 6 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวร่วม/ สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
14.94	74.72	10.34
23.97	59.91	16.12
30.47	50.79	18.74
36.11	45.14	18.75
39.40	39.40	21.20
43.78	35.02	21.20
47.80	28.68	23.52
54.63	21.85	23.52
63.73	12.75	23.52
100.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข - 7 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอ ทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

ออกทานอล (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	ออกทานอล (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ ออกทานอล (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
0.2	1	5	0.1913	0.0393	6.2306	16.05	80.25	3.70	x
0.4	1	5	0.3827	0.0786	6.4623	15.48	77.38	7.14	/
0.6	1	5	0.5740	0.1179	6.6919	14.94	74.72	10.34	/
0.8	1	5	0.7654	0.1572	6.9226	14.45	72.23	13.32	/
1.0	1	5	0.9567	0.1965	7.1532	13.98	69.90	16.12	/
1.2	1	5	1.1480	0.2359	7.3839	13.54	67.72	18.74	/
0.2	2	5	0.2232	0.0459	7.2691	27.51	68.78	3.71	x
0.4	2	5	0.4465	0.0917	7.5382	26.53	66.33	7.14	/
0.6	2	5	0.6697	0.1376	7.8073	25.62	64.04	10.34	/
0.8	2	5	0.8929	0.1834	8.0764	24.76	61.91	13.33	/
1.0	2	5	1.1161	0.2293	8.3454	23.97	59.91	16.12	/
1.2	2	5	1.3394	0.2752	8.6145	23.22	58.04	18.74	/
0.2	3	5	0.2551	0.0524	8.3075	36.11	60.19	3.70	x
0.4	3	5	0.5102	0.1048	8.6151	34.82	58.04	7.14	x
0.6	3	5	0.7654	0.1572	8.9226	33.62	56.04	10.34	/
0.8	3	5	1.0205	0.2096	9.2301	32.50	54.17	13.33	/
1.0	3	5	1.2756	0.2621	9.5377	31.45	52.42	16.13	/
1.2	3	5	1.5307	0.3145	9.8452	30.47	50.79	18.74	/
0.2	4	5	0.2870	0.0590	9.3460	42.80	53.50	3.70	x
0.4	4	5	0.5740	0.1179	9.6919	41.27	51.59	7.14	x
0.6	4	5	0.8610	0.1769	10.0379	39.85	49.81	10.34	/
0.8	4	5	1.1480	0.2359	10.3839	38.52	48.15	13.33	/
1.0	4	5	1.4350	0.2948	10.7299	37.28	46.60	16.12	/
1.2	4	5	1.7221	0.3538	11.0758	36.11	45.14	18.75	/
0.4	5	5	0.6378	0.1310	10.7688	46.43	46.43	7.14	x
0.6	5	5	0.9567	0.1965	11.1532	44.83	44.83	10.34	x
0.8	5	5	1.2756	0.2621	11.5377	43.34	43.34	13.32	/
1.0	5	5	1.5945	0.3276	11.9221	41.94	41.94	16.12	/
1.2	5	5	1.9134	0.3931	12.3065	40.63	40.63	18.74	/
1.4	5	5	2.2323	0.4586	12.6909	39.40	39.40	21.20	/

ตารางที่ ข - 7 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95% (ต่อ)

ออกทานอล (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	ออกทานอล (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ ออกทานอล (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
0.4	5	4	0.5740	0.1179	9.6919	51.59	41.27	7.14	x
0.6	5	4	0.8610	0.1769	10.0379	49.81	39.85	10.34	x
0.8	5	4	1.1480	0.2359	10.3839	48.15	38.52	13.33	x
1.0	5	4	1.4350	0.2948	10.7299	46.60	37.28	16.12	/
1.2	5	4	1.7221	0.3538	11.0758	45.14	36.11	18.75	/
1.4	5	4	2.0091	0.4127	11.4218	43.78	35.02	21.20	/
0.6	5	3	0.7654	0.1572	8.9226	56.04	33.62	10.34	x
0.8	5	3	1.0205	0.2096	9.2301	54.17	32.50	13.33	x
1.0	5	3	1.2756	0.2621	9.5377	52.42	31.45	16.13	x
1.2	5	3	1.5307	0.3145	9.8452	50.79	30.47	18.74	/
1.4	5	3	1.7858	0.3669	10.1527	49.25	29.55	21.20	/
1.6	5	3	2.0409	0.4193	10.4602	47.80	28.68	23.52	/
0.6	5	2	0.6697	0.1376	7.8073	64.04	25.62	10.34	x
0.8	5	2	0.8929	0.1834	8.0764	61.91	24.76	13.33	x
1.0	5	2	1.1161	0.2293	8.3454	59.91	23.97	16.12	x
1.2	5	2	1.3394	0.2752	8.6145	58.04	23.22	18.74	/
1.4	5	2	1.5626	0.3210	8.8836	56.28	22.51	21.21	/
1.6	5	2	1.7858	0.3669	9.1527	54.63	21.85	23.52	/
0.6	5	1	0.5740	0.1179	6.6919	74.72	14.94	10.34	x
0.8	5	1	0.7654	0.1572	6.9226	72.23	14.45	13.32	x
1.0	5	1	0.9567	0.1965	7.1532	69.90	13.98	16.12	x
1.2	5	1	1.1480	0.2359	7.3839	67.72	13.54	18.74	/
1.4	5	1	1.3394	0.2752	7.6145	65.66	13.13	21.21	/
1.6	5	1	1.5307	0.3145	7.8452	63.73	12.75	23.52	/

ตารางที่ ข - 8 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ไบโอดีเซล ดี ไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวร่วม/ สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.0000	0.00
15.48	77.38	7.14
26.53	66.33	7.14
33.62	56.04	10.34
39.85	49.81	10.34
43.34	43.34	13.32
46.60	37.28	16.12
50.79	30.47	18.74
58.04	23.22	18.74
67.72	13.54	18.74
100.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข – 9 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

ออกทานอล (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	ออกทานอล (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ ออกทานอล (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
0.2	1	5	0.1913	0.0393	6.2306	16.05	80.25	3.70	x
0.4	1	5	0.3827	0.0786	6.4623	15.48	77.38	7.14	x
0.6	1	5	0.5740	0.1179	6.6919	14.94	74.72	10.34	x
0.8	1	5	0.7654	0.1572	6.9226	14.45	72.23	13.32	/
1.0	1	5	0.9567	0.1965	7.1532	13.98	69.90	16.12	/
1.2	1	5	1.1480	0.2359	7.3839	13.54	67.72	18.74	/
0.2	2	5	0.2232	0.0459	7.2691	27.51	68.78	3.71	x
0.4	2	5	0.4465	0.0917	7.5382	26.53	66.33	7.14	x
0.6	2	5	0.6697	0.1376	7.8073	25.62	64.04	10.34	x
0.8	2	5	0.8929	0.1834	8.0764	24.76	61.91	13.33	x
1.0	2	5	1.1161	0.2293	8.3454	23.97	59.91	16.12	x
1.2	2	5	1.3394	0.2752	8.6145	23.22	58.04	18.74	/
0.4	3	5	0.5102	0.1048	8.6151	34.82	58.04	7.14	x
0.6	3	5	0.7654	0.1572	8.9226	33.62	56.04	10.34	x
0.8	3	5	1.0205	0.2096	9.2301	32.50	54.17	13.33	x
1.0	3	5	1.2756	0.2621	9.5377	31.45	52.42	16.13	x
1.2	3	5	1.5307	0.3145	9.8452	30.47	50.79	18.74	/
1.4	3	5	1.7858	0.3669	10.1527	29.55	49.25	21.20	/
0.4	4	5	0.5740	0.1179	9.6919	41.27	51.59	7.14	x
0.6	4	5	0.8610	0.1769	10.0379	39.85	49.81	10.34	x
0.8	4	5	1.1480	0.2359	10.3839	38.52	48.15	13.33	x
1.0	4	5	1.4350	0.2948	10.7299	37.28	46.60	16.12	x
1.2	4	5	1.7221	0.3538	11.0758	36.11	45.14	18.75	x
1.4	4	5	2.0091	0.4127	11.4218	35.02	43.78	21.20	/
0.4	5	5	0.6378	0.1310	10.7688	46.43	46.43	7.14	x
0.6	5	5	0.9567	0.1965	11.1532	44.83	44.83	10.34	x
0.8	5	5	1.2756	0.2621	11.5377	43.34	43.34	13.32	x
1.0	5	5	1.5945	0.3276	11.9221	41.94	41.94	16.12	x
1.2	5	5	1.9134	0.3931	12.3065	40.63	40.63	18.74	x
1.4	5	5	2.2323	0.4586	12.6909	39.40	39.40	21.20	/

ตารางที่ ข – 9 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95% (ต่อ)

ออกทานอล (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	ออกทานอล (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ ออกทานอล (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
0.6	5	4	0.8610	0.1769	10.0379	49.81	39.85	10.34	x
0.8	5	4	1.1480	0.2359	10.3839	48.15	38.52	13.33	x
1.0	5	4	1.4350	0.2948	10.7299	46.60	37.28	16.12	x
1.2	5	4	1.7221	0.3538	11.0758	45.14	36.11	18.75	x
1.4	5	4	2.0091	0.4127	11.4218	43.78	35.02	21.20	x
1.6	5	4	2.2961	0.4717	11.77	42.49	33.99	23.52	/
0.6	5	3	0.7654	0.1572	8.9226	56.04	33.62	10.34	x
0.8	5	3	1.0205	0.2096	9.2301	54.17	32.50	13.33	x
1.0	5	3	1.2756	0.2621	9.5377	52.42	31.45	16.13	x
1.2	5	3	1.5307	0.3145	9.8452	50.79	30.47	18.74	x
1.4	5	3	1.7858	0.3669	10.1527	49.25	29.55	21.20	x
1.6	5	3	2.0409	0.4193	10.4602	47.80	28.68	23.52	/
0.8	5	2	0.8929	0.1834	8.0764	61.91	24.76	13.33	x
1.0	5	2	1.1161	0.2293	8.3454	59.91	23.97	16.12	x
1.2	5	2	1.3394	0.2752	8.6145	58.04	23.22	18.74	x
1.4	5	2	1.5626	0.3210	8.8836	56.28	22.51	21.21	x
1.6	5	2	1.7858	0.3669	9.1527	54.63	21.85	23.52	x
1.8	5	2	2.0091	0.4127	9.4218	53.07	21.23	25.70	/
0.8	5	1	0.7654	0.1572	6.9226	72.23	14.45	13.32	x
1.0	5	1	0.9567	0.1965	7.1532	69.90	13.98	16.12	x
1.2	5	1	1.1480	0.2359	7.3839	67.72	13.54	18.74	x
1.4	5	1	1.3394	0.2752	7.6145	65.66	13.13	21.21	x
1.6	5	1	1.5307	0.3145	7.8452	63.73	12.75	23.52	x
1.8	5	1	1.7221	0.3538	8.0758	61.91	12.38	25.71	/



ตารางที่ ข - 10 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ดีเซล ดีไฮโดลเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวร่วม/ สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
14.45	72.23	13.32
23.22	58.04	18.74
30.47	50.79	18.74
35.02	43.78	21.20
39.40	39.40	21.20
42.49	33.99	23.52
47.80	28.68	23.52
53.07	21.23	25.70
61.91	12.38	25.71
100.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข - 11 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

ออกทานอล (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	ออกทานอล (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ ออกทานอล (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
0.2	1	5	0.1913	0.0393	6.2306	16.05	80.25	3.70	x
0.4	1	5	0.3827	0.0786	6.4623	15.48	77.38	7.14	/
0.6	1	5	0.5740	0.1179	6.6919	14.94	74.72	10.34	/
0.8	1	5	0.7654	0.1572	6.9226	14.45	72.23	13.32	/
1.0	1	5	0.9567	0.1965	7.1532	13.98	69.90	16.12	/
1.2	1	5	1.1480	0.2359	7.3839	13.54	67.72	18.74	/
0.2	2	5	0.2232	0.0459	7.2691	27.51	68.78	3.71	x
0.4	2	5	0.4465	0.0917	7.5382	26.53	66.33	7.14	/
0.6	2	5	0.6697	0.1376	7.8073	25.62	64.04	10.34	/
0.8	2	5	0.8929	0.1834	8.0764	24.76	61.91	13.33	/
1.0	2	5	1.1161	0.2293	8.3454	23.97	59.91	16.12	/
1.2	2	5	1.3394	0.2752	8.6145	23.22	58.04	18.74	/
0.2	3	5	0.25512	0.0524	8.3075	36.11	60.19	3.70	x
0.4	3	5	0.5102	0.1048	8.6151	34.82	58.04	7.14	x
0.6	3	5	0.7654	0.1572	8.9226	33.62	56.04	10.34	/
0.8	3	5	1.0205	0.2096	9.2301	32.50	54.17	13.33	/
1.0	3	5	1.2756	0.2621	9.5377	31.45	52.42	16.13	/
1.2	3	5	1.5307	0.3145	9.8452	30.47	50.79	18.74	/
0.2	4	5	0.2870	0.0590	9.3460	42.80	53.50	3.70	x
0.4	4	5	0.5740	0.1179	9.6919	41.27	51.59	7.14	x
0.6	4	5	0.8610	0.1769	10.0379	39.85	49.81	10.34	/
0.8	4	5	1.1480	0.2359	10.3839	38.52	48.15	13.33	/
1.0	4	5	1.4350	0.2948	10.7299	37.28	46.60	16.12	/
1.2	4	5	1.7221	0.3538	11.0758	36.11	45.14	18.75	/
0.4	5	5	0.6378	0.1310	10.7688	46.43	46.43	7.14	x
0.6	5	5	0.9567	0.1965	11.1532	44.83	44.83	10.34	x
0.8	5	5	1.2756	0.2621	11.5377	43.34	43.34	13.32	/
1.0	5	5	1.5945	0.3276	11.9221	41.94	41.94	16.12	/
1.2	5	5	1.9134	0.3931	12.3065	40.63	40.63	18.74	/
1.4	5	5	2.2323	0.4586	12.6909	39.40	39.40	21.20	/

ตารางที่ ข - 11 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95% (ต่อ)

ออกทานอล (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	ออกทานอล (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ ออกทานอล (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
0.4	5	4	0.5740	0.1179	9.6919	51.59	41.27	7.14	x
0.6	5	4	0.8610	0.1769	10.0379	49.81	39.85	10.34	x
0.8	5	4	1.1480	0.2359	10.3839	48.15	38.52	13.33	/
1.0	5	4	1.4350	0.2948	10.7299	46.60	37.28	16.12	/
1.2	5	4	1.7221	0.3538	11.0758	45.14	36.11	18.75	/
1.4	5	4	2.0091	0.4127	11.4218	43.78	35.02	21.20	/
0.6	5	3	0.7654	0.1572	8.9226	56.04	33.62	10.34	x
0.8	5	3	1.0205	0.2096	9.2301	54.17	32.50	13.33	x
1.0	5	3	1.2756	0.2621	9.5377	52.42	31.45	16.13	/
1.2	5	3	1.5307	0.3145	9.8452	50.79	30.47	18.74	/
1.4	5	3	1.7858	0.3669	10.1527	49.25	29.55	21.20	/
1.6	5	3	2.0409	0.4193	10.4602	47.80	28.68	23.52	/
0.6	5	2	0.6697	0.1376	7.8073	64.04	25.62	10.34	x
0.8	5	2	0.8929	0.1834	8.0764	61.91	24.76	13.33	x
1.0	5	2	1.1161	0.2293	8.3454	59.91	23.97	16.12	x
1.2	5	2	1.3394	0.2752	8.6145	58.04	23.22	18.74	/
1.4	5	2	1.5626	0.3210	8.8836	56.28	22.51	21.21	/
1.6	5	2	1.7858	0.3669	9.1527	54.63	21.85	23.52	/
0.6	5	1	0.5740	0.1179	6.6919	74.72	14.94	10.34	x
0.8	5	1	0.7654	0.1572	6.9226	72.23	14.45	13.32	x
1.0	5	1	0.9567	0.1965	7.1532	69.90	13.98	16.12	x
1.2	5	1	1.1480	0.2359	7.3839	67.72	13.54	18.74	/
1.4	5	1	1.3394	0.2752	7.6145	65.66	13.13	21.21	/
1.6	5	1	1.5307	0.3145	7.8452	63.73	12.75	23.52	/

ตารางที่ ข - 12 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวร่วม/ สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
15.48	77.38	7.14
26.53	66.33	7.14
33.62	56.04	10.34
39.85	49.81	10.34
43.34	43.34	13.32
48.15	38.52	13.33
52.42	31.45	16.13
58.04	23.22	18.74
67.72	13.54	18.74
100.00	0.00	0.00

ตัวอย่างที่ ข – 2 การคำนวณวัฏภาคสามเหลี่ยม โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์

สารลดแรงตึงผิวร่วม เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE)

สารลดแรงตึงผิว ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 (Dehydrol LS1 TH, EO1)

น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล (Palm oil/Diesel) 5 มิลลิลิตร

เอทานอล (Ethanol) 1 มิลลิลิตร

อีจีบีอี	=	โมลาร์ × มวลโมเลกุล × ปริมาตร / (%ความบริสุทธิ์ × ความหนาแน่น)	
	=	0.2 × 118.17 × 0.006 / (0.99 × 0.902)	
	=	0.1588 มิลลิลิตร	
ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1	=	โมลาร์ × มวลโมเลกุล × ปริมาตร / (%ความบริสุทธิ์ × ความหนาแน่น)	
	=	(0.2/8) × 217.15 * 0.006 / (0.99 × 0.837)	
	=	0.0393 มิลลิลิตร	
อีจีบีอี + ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1	=	0.1588 + 0.0393	
	=	0.1981 มิลลิลิตร	
ผลรวม	=	6 + 0.1981	
	=	6.1981 มิลลิลิตร	
% เอทานอล	=	(1 × 100) / 6.1981	= 16.13 %
% น้ำมันปาล์ม/ดีเซล	=	(5 × 100) / 6.1981	= 80.67 %
% อีจีบีอี/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1	=	(0.1981 × 100) / 6.1981	= 3.20 %
% ผลรวมทั้งหมด	=	16.13 + 80.67 + 3.20	= 100 %

ตารางที่ ข - 13 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ ดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95%

อีจีบีอี (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอ ทิลีนออกไซด์ 1/ อีจีบีอี (%)	น้ำมัน รวมตัวกัน
0.2	1	5	0.1588	0.0393	6.1981	16.13	80.67	3.20	x
0.4	1	5	0.3172	0.0786	6.3962	15.63	78.17	6.20	x
0.6	1	5	0.4764	0.1179	6.5943	15.16	75.82	9.01	x
0.8	1	5	0.6352	0.1572	6.7924	14.72	73.62	11.67	x
1.0	1	5	0.7940	0.1965	6.9905	14.30	71.53	14.17	x
1.2	1	5	0.9528	0.2359	7.1886	13.91	69.55	16.54	/
1.4	1	5	1.1116	0.2752	7.3868	13.54	67.69	18.77	/
1.6	1	5	1.2704	0.3145	7.5849	13.18	65.92	20.90	/
0.4	2	5	0.3705	0.0917	7.4623	26.80	67.00	6.20	x
0.6	2	5	0.5558	0.1376	7.6934	26.00	64.99	9.01	x
0.8	2	5	0.7411	0.1834	7.9245	25.23	63.10	11.67	x
1.0	2	5	0.9263	0.2293	8.1556	24.52	61.31	14.17	x
1.2	2	5	1.1116	0.2752	8.3868	23.85	59.61	16.54	x
1.4	2	5	1.2968	0.3210	8.6179	23.21	58.02	18.77	x
1.6	2	5	1.4821	0.3669	8.8490	22.60	56.50	20.90	x
1.8	2	5	1.6674	0.4127	9.0801	22.03	55.06	22.91	x
2.0	2	5	1.8527	0.4586	9.3113	21.48	53.70	24.82	/
1.0	3	5	1.0587	0.2621	9.3207	32.19	53.64	14.17	x
1.2	3	5	1.2704	0.3145	9.5849	31.30	52.17	16.53	x
1.4	3	5	1.4821	0.3669	9.8490	30.46	50.77	18.77	x
1.6	3	5	1.6939	0.4193	10.1132	29.66	49.44	20.90	x
1.8	3	5	1.9056	0.4717	10.3773	28.91	48.18	22.91	x
2.0	3	5	2.1173	0.5241	10.6414	28.19	46.99	24.82	x
2.2	3	5	2.3290	0.5765	10.9056	27.51	45.85	26.64	x
2.4	3	5	2.5408	0.6289	11.1697	26.86	44.76	28.38	/
2.6	3	5	2.7525	0.6814	11.4329	26.24	43.73	30.03	/

ตารางที่ ข - 13 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95% (ต่อ)

อีจีบีอี (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดรอเอ ทิลีนออกไซด์ 1/ อีจีบีอี (%)	น้ำมัน รวมตัวกัน
1.0	4	5	1.1910	0.2948	10.4858	38.15	47.68	14.17	x
1.2	4	5	1.4292	0.3538	10.7830	37.09	46.37	16.54	x
1.4	4	5	1.6674	0.4127	11.0801	36.10	45.13	18.77	x
1.6	4	5	1.9056	0.4717	11.3773	35.15	43.95	20.90	x
1.8	4	5	2.1438	0.5307	11.6745	34.26	42.83	22.91	x
2.0	4	5	2.3820	0.5896	11.9716	33.41	41.77	24.82	x
2.2	4	5	2.6202	0.6486	12.2688	32.60	40.75	26.65	x
2.4	4	5	2.8584	0.7076	12.5659	31.83	39.79	28.38	x
2.6	4	5	3.0966	0.7665	12.8631	31.10	38.87	30.03	/
1.2	5	5	1.5880	0.3931	11.9811	41.73	41.73	16.54	x
1.4	5	5	1.8527	0.4586	12.3113	40.61	40.62	18.77	x
1.6	5	5	2.1173	0.5241	12.6414	39.55	39.55	20.90	x
1.8	5	5	2.3820	0.5896	12.9716	38.55	38.55	22.90	x
2.0	5	5	2.6466	0.6551	13.3018	37.59	37.59	24.82	x
2.2	5	5	2.9113	0.7207	13.6320	36.68	36.68	26.64	x
2.4	5	5	3.1760	0.7862	13.9622	35.81	35.81	28.38	x
2.6	5	5	3.4406	0.8517	14.2923	34.98	34.98	30.04	x
2.8	5	5	3.7053	0.9172	14.6225	34.19	34.19	31.62	/
1.8	5	4	2.1438	0.5307	11.6745	42.83	34.26	22.91	x
2.0	5	4	2.3820	0.5896	11.9716	41.77	33.41	24.82	x
2.2	5	4	2.6202	0.6486	12.2688	40.75	32.61	26.64	x
2.4	5	4	2.8584	0.7076	12.5659	39.79	31.83	28.38	x
2.6	5	4	3.0966	0.7665	12.8631	38.87	31.10	30.03	x
2.8	5	4	3.3348	0.8255	13.1603	37.99	30.40	31.61	x
3.0	5	4	3.5730	0.8844	13.4574	37.15	29.72	33.13	x
3.2	5	4	3.8112	0.9434	13.7546	36.35	29.08	34.57	/
3.4	5	4	4.0494	1.0024	14.0517	35.58	28.47	35.95	/

ตารางที่ ข - 13 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 1 เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95% (ต่อ)

อีจีบีอี (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์ 1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดรอเอ ทิลีนออกไซด์ 1/ อีจีบีอี (%)	น้ำมัน รวมตัวกัน
2.0	5	3	2.1173	0.5241	10.6414	46.99	28.19	24.82	x
2.2	5	3	2.3290	0.5765	10.9056	45.85	27.51	26.64	x
2.4	5	3	2.5408	0.6289	11.1697	44.76	26.86	28.38	x
2.6	5	3	2.7525	0.6814	11.4339	43.73	26.24	30.03	x
2.8	5	3	2.9642	0.7338	11.6980	42.74	25.65	31.61	x
3.0	5	3	3.1760	0.7862	11.9622	41.80	25.08	33.12	x
3.2	5	3	3.3877	0.8386	12.2263	40.90	24.54	34.56	x
3.4	5	3	3.5994	0.8910	12.4904	40.03	24.02	35.95	/
3.6	5	3	3.8112	0.9434	12.7546	39.20	23.52	37.28	/
2.2	5	2	2.0379	0.5045	9.5424	52.40	20.96	26.64	x
2.4	5	2	2.2232	0.5503	9.7735	51.16	20.46	28.38	x
2.6	5	2	2.4084	0.5962	10.0046	49.98	19.99	30.03	x
2.8	5	2	2.5937	0.6420	10.2358	48.85	19.54	31.61	x
3.0	5	2	2.7790	0.6879	10.4669	47.77	19.11	33.12	x
3.2	5	2	2.9642	0.7338	10.6980	46.74	18.70	34.57	x
3.4	5	2	3.1495	0.7796	10.9291	45.75	18.30	35.95	x
3.6	5	2	3.3348	0.8255	11.1603	44.80	17.92	37.28	/
3.8	5	2	3.5200	0.8713	11.3914	43.89	17.56	38.55	/
2.4	5	1	1.9056	0.4717	8.3773	59.69	11.94	28.38	x
2.6	5	1	2.0644	0.5110	8.5754	58.31	11.66	30.03	x
2.8	5	1	2.2232	0.5503	8.7735	56.99	11.40	31.61	x
3.0	5	1	2.3820	0.5896	8.9716	55.73	11.15	33.12	x
3.2	5	1	2.5408	0.6289	9.1697	54.53	10.91	34.57	x
3.4	5	1	2.6996	0.6683	9.3678	53.37	10.67	35.95	x
3.6	5	1	2.8584	0.7076	9.5659	52.27	10.45	37.28	/
3.8	5	1	3.0172	0.7469	9.7640	51.21	10.24	38.55	/
4.0	5	1	3.1760	0.7862	9.9622	50.19	10.04	39.77	/



ตารางที่ ข - 14 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัด  
ทางกายภาพ ดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวร่วม/ สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
13.91	69.55	16.54
21.48	53.70	24.82
26.86	44.76	28.38
31.10	38.87	30.03
34.19	34.19	31.62
36.35	29.08	34.57
40.03	24.02	35.95
44.80	17.92	37.28
52.27	10.45	37.28
100.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข - 15 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95%

อีจีบีอี (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอ ทิลีนออกไซด์ 1/ อีจีบีอี (%)	น้ำมัน รวมตัว กัน
0.2	1	5	0.1588	0.0393	6.1981	16.13	80.67	3.20	x
0.4	1	5	0.3172	0.0786	6.3962	15.63	78.18	6.19	/
0.6	1	5	0.4764	0.1179	6.5943	15.16	75.82	9.02	/
0.8	1	5	0.6352	0.1572	6.7924	14.72	73.61	11.67	/
0.6	2	5	0.5558	0.1376	7.6934	26.00	64.99	9.01	x
0.8	2	5	0.7411	0.1834	7.9245	25.24	63.10	11.66	/
1.0	2	5	0.9263	0.2293	8.1556	24.52	61.31	14.17	/
1.2	2	5	1.1116	0.2752	8.3868	23.84	59.62	16.54	/
0.8	3	5	0.8469	0.2096	9.0566	33.13	55.20	11.67	x
1.0	3	5	1.0587	0.2621	9.3207	32.19	53.64	14.17	/
1.2	3	5	1.2704	0.3145	9.5849	31.30	52.16	16.54	/
1.4	3	5	1.4821	0.3669	9.8490	30.46	50.77	18.77	/
1.0	4	5	1.1910	0.2948	10.4858	38.15	47.68	14.17	x
1.2	4	5	1.4292	0.3538	10.7830	37.10	46.36	16.54	x
1.4	4	5	1.6674	0.4127	11.0801	36.10	45.13	18.77	x
1.6	4	5	1.9056	0.4717	11.3773	35.16	43.94	20.90	/
1.2	5	5	1.5880	0.3931	11.9811	41.73	41.73	16.54	x
1.4	5	5	1.8527	0.4586	12.3113	40.61	40.61	18.78	x
1.6	5	5	2.1173	0.5241	12.6414	39.55	39.55	20.90	x
1.8	5	5	2.3820	0.5896	12.9716	38.55	38.55	22.90	/
2.0	5	5	2.6466	0.6551	13.3018	37.59	37.59	24.82	/
1.2	5	4	1.4292	0.3538	10.7830	46.37	37.10	16.53	x
1.4	5	4	1.6674	0.4127	11.0801	45.13	36.10	18.77	x
1.6	5	4	1.9056	0.4717	11.3773	43.95	35.16	20.89	x
1.8	5	4	2.1438	0.5307	11.6745	42.83	34.26	22.91	x
2.0	5	4	2.3820	0.5896	11.9716	41.77	33.41	24.82	/
2.2	5	4	2.6202	0.6486	12.2688	40.75	32.60	26.65	/
1.6	5	3	1.6939	0.4193	10.1132	49.44	29.66	20.90	x
1.8	5	3	1.9056	0.4717	10.3773	48.18	28.91	22.91	x
2.0	5	3	2.1173	0.5241	10.6414	46.99	28.19	24.82	x
2.2	5	3	2.3290	0.5765	10.9056	45.85	27.51	26.64	/
2.4	5	3	2.5408	0.6289	11.1697	44.76	26.86	28.38	/

ตารางที่ ข - 15 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95% (ต่อ)

อีจีบีอี (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอ ทิลีนออกไซด์ 1/ อีจีบีอี (%)	น้ำมัน รวมด้วยกัน
1.8	5	2	1.6674	0.4127	9.0801	55.07	22.03	22.90	x
2.0	5	2	1.8527	0.4586	9.3113	53.70	21.48	24.82	x
2.2	5	2	2.0379	0.5045	9.5424	52.40	20.96	26.64	x
2.4	5	2	2.2232	0.5503	9.7735	51.16	20.46	28.38	/
2.6	5	2	2.4084	0.5962	10.0046	49.98	19.99	30.03	/
2.0	5	1	1.5880	0.3931	7.9811	62.65	12.53	24.82	x
2.2	5	1	1.7468	0.4324	8.1792	61.13	12.23	26.64	x
2.4	5	1	1.9056	0.4717	8.3773	59.69	11.94	28.37	x
2.6	5	1	2.0644	0.5110	8.5754	58.31	11.66	30.03	/
2.8	5	1	2.2232	0.5503	8.7735	56.99	11.40	31.61	/

ตารางที่ ข - 16 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มใช้แล้วบำบัดทางกายภาพ ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวร่วม/ สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
15.63	78.18	6.19
25.24	63.10	11.66
32.19	53.64	14.17
35.16	43.94	20.90
38.55	38.55	22.90
41.77	33.41	24.82
45.85	27.51	26.64
51.16	20.46	28.38
58.31	11.66	30.03
100.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข - 17 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 เอทีลินไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95%

อีจีบีอี (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอ ทีลิน ออกไซด์1/ อีจีบีอี (%)	น้ำมัน รวมตัวกัน
1.0	1	5	0.7940	0.1965	6.9905	14.31	71.53	14.16	x
1.2	1	5	0.9528	0.2359	7.1886	13.91	69.55	16.54	/
1.4	1	5	1.1116	0.2752	7.3868	13.54	67.69	18.77	/
1.6	1	5	1.2704	0.3145	7.5849	13.18	65.92	20.90	/
1.6	2	5	1.4821	0.3669	8.8490	22.60	56.50	20.90	x
1.8	2	5	1.6674	0.4127	9.0801	22.03	55.07	22.90	/
2.0	2	5	1.8527	0.4586	9.3113	21.48	53.70	24.82	/
2.2	2	5	2.0379	0.5045	9.5424	20.96	52.40	26.64	/
1.8	3	5	1.9056	0.4717	10.3773	28.91	48.18	22.91	x
2.0	3	5	2.1173	0.5241	10.6414	28.19	46.99	24.82	x
2.2	3	5	2.3290	0.5765	10.9056	27.51	45.85	26.64	/
2.4	3	5	2.5408	0.6289	11.1697	26.86	44.76	28.38	/
2.0	4	5	2.3820	0.5896	11.9716	33.41	41.77	24.82	x
2.2	4	5	2.6202	0.6486	12.2688	32.60	40.75	26.65	x
2.4	4	5	2.8584	0.7076	12.5659	31.83	39.79	28.38	/
2.6	4	5	3.0966	0.7665	12.8631	31.10	38.87	30.03	/
2.2	5	5	2.9113	0.7207	13.6320	36.68	36.68	26.64	x
2.4	5	5	3.1760	0.7862	13.9622	35.81	35.81	28.38	x
2.6	5	5	3.4406	0.8517	14.2923	34.98	34.98	30.04	x
2.8	5	5	3.7053	0.9172	14.6225	34.19	34.19	31.62	/
2.4	5	4	2.8584	0.7076	12.5659	39.79	31.83	28.38	x
2.6	5	4	3.0966	0.7665	12.8631	38.87	31.10	30.03	x
2.8	5	4	3.3348	0.8255	13.1603	37.99	30.39	31.62	x
3.0	5	4	3.5730	0.8844	13.4574	37.15	29.72	33.13	/
2.4	5	3	2.5408	0.6289	11.1697	44.76	26.86	28.38	x
2.6	5	3	2.7525	0.6814	11.4339	43.73	26.24	30.03	x
2.8	5	3	2.9642	0.7338	11.6980	42.74	25.65	31.61	x
3.0	5	3	3.1760	0.7862	11.9622	41.80	25.08	33.12	/
2.4	5	2	2.2232	0.5503	9.7735	51.16	20.46	28.38	x
2.6	5	2	2.4084	0.5962	10.0046	49.98	19.99	30.03	x
2.8	5	2	2.5937	0.6420	10.2358	48.85	19.54	31.61	x
3.0	5	2	2.7790	0.6879	10.4669	47.77	19.11	33.12	/

ตารางที่ ข - 17 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1 เอทีลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95% (ต่อ)

อีจีพีอี (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีพีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอ ทีลีน ออกไซด์1/ อีจีพีอี (%)	น้ำมัน รวมตัวกัน
2.4	5	1	1.9056	0.4717	8.3773	59.69	11.94	28.37	x
2.6	5	1	2.0644	0.5110	8.5754	58.31	11.66	30.03	x
2.8	5	1	2.2232	0.5503	8.7735	56.99	11.40	31.61	x
3.0	5	1	2.3820	0.5896	8.9716	55.73	11.15	33.12	/

ตารางที่ ข - 18 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1 เอทีลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวร่วม/ สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
13.91	69.55	16.54
22.03	55.07	22.90
27.51	45.85	26.64
31.83	39.79	28.38
34.19	34.19	31.62
37.15	29.72	33.13
41.80	25.08	33.12
47.77	19.11	33.12
55.73	11.15	33.12
100.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข - 19 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอ ทิลีนออกไซด์1 เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95%

อีจีบีอี (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอ ทิลีน ออกไซด์1/ อีจีบีอี (%)	น้ำมัน รวมตัวกัน
0.2	1	5	0.1588	0.0393	6.1981	16.13	80.67	3.20	x
0.4	1	5	0.3172	0.0786	6.3962	15.63	78.17	6.20	/
0.6	1	5	0.4764	0.1179	6.5943	15.16	75.82	9.02	/
0.8	1	5	0.6352	0.1572	6.7924	14.72	73.61	11.67	/
0.6	2	5	0.5558	0.1376	7.6934	26.00	64.99	9.01	x
0.8	2	5	0.7411	0.1834	7.9245	25.24	63.10	11.66	/
1.0	2	5	0.9263	0.2293	8.1556	24.52	61.31	14.17	/
1.2	2	5	1.1116	0.2752	8.3868	23.85	59.62	16.53	/
0.8	3	5	0.8469	0.2096	9.0566	33.13	55.21	11.66	x
1.0	3	5	1.0587	0.2621	9.3207	32.19	53.64	14.17	x
1.2	3	5	1.2704	0.3145	9.5849	31.30	52.17	16.53	/
1.4	3	5	1.4821	0.3669	9.8490	30.46	50.77	18.77	/
0.8	4	5	0.9528	0.2359	10.1886	39.26	49.07	11.67	x
1.0	4	5	1.1910	0.2948	10.4858	38.15	47.68	14.17	x
1.2	4	5	1.4292	0.3538	10.7830	37.10	46.37	16.53	/
1.4	4	5	1.6674	0.4127	11.0801	36.10	45.13	18.77	/
1.0	5	5	1.3233	0.3276	11.6509	42.92	42.92	14.16	x
1.2	5	5	1.5880	0.3931	11.9811	41.73	41.73	16.54	x
1.4	5	5	1.8527	0.4586	12.3113	40.61	40.61	18.78	/
1.6	5	5	2.1173	0.5241	12.6414	39.55	39.55	20.90	/
1.0	5	4	1.1910	0.2948	10.4858	47.68	38.15	14.17	x
1.2	5	4	1.4292	0.3538	10.7830	46.37	37.10	16.53	x
1.4	5	4	1.6674	0.4127	11.0801	45.13	36.10	18.77	x
1.6	5	4	1.9056	0.4717	11.3773	43.95	35.16	20.89	/
1.6	5	3	1.6939	0.4193	10.1132	49.44	29.66	20.90	x
1.8	5	3	1.9056	0.4717	10.3773	48.18	28.91	22.91	/
2.0	5	3	2.1173	0.5241	10.6414	46.99	28.19	24.82	/
2.2	5	3	2.3290	0.5765	10.9056	45.85	27.51	26.64	/
1.8	5	2	1.6674	0.4127	9.0801	55.07	22.03	22.90	x
2.0	5	2	1.8527	0.4586	9.3113	53.70	21.48	24.82	/
2.2	5	2	2.0379	0.5045	9.5424	52.40	20.96	26.64	/
2.4	5	2	2.2232	0.5503	9.7735	51.16	20.46	28.38	/

ตารางที่ ข - 19 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95% (ต่อ)

อีจีบีอี (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/อีจีบีอี (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
2.0	5	1	1.5880	0.3931	7.9811	62.65	12.53	24.82	x
2.2	5	1	1.7468	0.4324	8.1792	61.13	12.23	26.64	/
2.4	5	1	1.9056	0.4717	8.3773	59.69	11.94	28.37	/
2.6	5	1	2.0644	0.5110	8.5754	58.31	11.66	30.03	/

ตารางที่ ข - 20 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวร่วม/สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
15.63	78.17	6.20
25.24	63.10	11.66
31.30	52.17	16.53
37.10	46.37	16.53
40.61	40.61	18.78
43.95	35.16	20.89
43.95	35.16	20.89
53.70	21.48	24.82
61.13	12.23	26.64
100.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข – 21 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ดีเซล ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 เอทีลินไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95%

อีจีบีอี (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอ ทีลิน ออกไซด์1/ อีจีบีอี (%)	น้ำมัน รวมตัวกัน
0.2	1	5	0.1588	0.0393	6.1981	16.13	80.67	3.20	x
0.4	1	5	0.3172	0.0786	6.3962	15.63	78.17	6.20	x
0.6	1	5	0.4764	0.1179	6.5943	15.16	75.82	9.02	x
0.8	1	5	0.6352	0.1572	6.7924	14.72	73.61	11.67	x
1.0	1	5	0.7940	0.1965	6.9905	14.31	71.53	14.16	x
1.2	1	5	0.9528	0.2359	7.1886	13.91	69.55	16.54	/
1.4	1	5	1.1116	0.2752	7.3868	13.54	67.69	18.77	/
1.6	1	5	1.2704	0.3145	7.5849	13.18	65.92	20.90	/
1.0	2	5	0.9263	0.2293	8.1556	24.52	61.31	14.17	x
1.2	2	5	1.1116	0.2752	8.3868	23.85	59.62	16.53	x
1.4	2	5	1.2968	0.3210	8.6179	23.21	58.02	18.77	x
1.6	2	5	1.4821	0.3669	8.8490	22.60	56.50	20.90	x
1.8	2	5	1.6674	0.4127	9.0801	22.03	55.07	22.90	x
2.0	2	5	1.8527	0.4586	9.3113	21.48	53.70	24.82	x
2.2	2	5	2.0379	0.5045	9.5424	20.96	52.40	26.64	/
2.4	2	5	2.2232	0.5503	9.7735	20.46	51.16	28.38	/
1.0	3	5	1.0587	0.2621	9.3207	32.19	53.64	14.17	x
1.2	3	5	1.2704	0.3145	9.5849	31.30	52.17	16.53	x
1.4	3	5	1.4821	0.3669	9.8490	30.46	50.77	18.77	x
1.6	3	5	1.6939	0.4193	10.1132	29.66	49.44	20.90	x
1.8	3	5	1.9056	0.4717	10.3773	28.91	48.18	22.91	x
2.0	3	5	2.1173	0.5241	10.6414	28.19	46.99	24.82	x
2.2	3	5	2.3290	0.5765	10.9056	27.51	45.85	26.64	x
2.4	3	5	2.5408	0.6289	11.1697	26.86	44.76	28.38	/
1.2	4	5	1.4292	0.3538	10.7830	37.10	46.37	16.53	x
1.4	4	5	1.6674	0.4127	11.0801	36.10	45.13	18.77	x
1.6	4	5	1.9056	0.4717	11.3773	35.16	43.95	20.89	x
1.8	4	5	2.1438	0.5307	11.6745	34.26	42.83	22.91	x
2.0	4	5	2.3820	0.5896	11.9716	33.41	41.77	24.82	x
2.2	4	5	2.6202	0.6486	12.2688	32.60	40.75	26.65	x
2.4	4	5	2.8584	0.7076	12.5659	31.83	39.79	28.38	x
2.6	4	5	3.0966	0.7665	12.8631	31.10	38.87	30.03	/



ตารางที่ ข – 21 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ดีเซล ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 เอทีลินไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95% (ต่อ)

อีจีบีอี (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอ ทีลิน ออกไซด์1/ อีจีบีอี (%)	น้ำมัน รวมตัวกัน
1.4	5	5	1.8527	0.4586	12.3113	40.61	40.61	18.78	x
1.6	5	5	2.1173	0.5241	12.6414	39.55	39.55	20.90	x
1.8	5	5	2.3820	0.5896	12.9716	38.55	38.55	22.90	x
2.0	5	5	2.6466	0.6551	13.3018	37.59	37.59	24.82	x
2.2	5	5	2.9113	0.7207	13.6320	36.68	36.68	26.64	x
2.4	5	5	3.1760	0.7862	13.9622	35.81	35.81	28.38	x
2.6	5	5	3.4406	0.8517	14.2923	34.98	34.98	30.04	x
2.8	5	5	3.7053	0.9172	14.6225	34.19	34.19	31.62	/
1.6	5	4	1.9056	0.4717	11.3773	43.95	35.16	20.89	x
1.8	5	4	2.1438	0.5307	11.6745	42.83	34.26	22.91	x
2.0	5	4	2.3820	0.5896	11.9716	41.77	33.41	24.82	x
2.2	5	4	2.6202	0.6486	12.2688	40.75	32.60	26.65	x
2.4	5	4	2.8584	0.7076	12.5659	39.79	31.83	28.38	x
2.6	5	4	3.0966	0.7665	12.8631	38.87	31.10	30.03	x
2.8	5	4	3.3348	0.8255	13.1603	37.99	30.39	31.62	x
3.0	5	4	3.5730	0.8844	13.4574	37.15	29.72	33.13	/
1.6	5	3	1.6939	0.4193	10.1132	49.44	29.66	20.90	x
1.8	5	3	1.9056	0.4717	10.3773	48.18	28.91	22.91	x
2.0	5	3	2.1173	0.5241	10.6414	46.99	28.19	24.82	x
2.2	5	3	2.3290	0.5765	10.9056	45.85	27.51	26.64	x
2.4	5	3	2.5408	0.6289	11.1697	44.76	26.86	28.38	x
2.6	5	3	2.7525	0.6814	11.4339	43.73	26.24	30.03	x
2.8	5	3	2.9642	0.7338	11.6980	42.74	25.65	31.61	x
3.0	5	3	3.1760	0.7862	11.9622	41.80	25.08	33.12	/
1.6	5	2	1.4821	0.3669	8.8490	56.50	22.60	20.90	x
1.8	5	2	1.6674	0.4127	9.0801	55.07	22.03	22.90	x
2.0	5	2	1.8527	0.4586	9.3113	53.70	21.48	24.82	x
2.2	5	2	2.0379	0.5045	9.5424	52.40	20.96	26.64	x
2.4	5	2	2.2232	0.5503	9.7735	51.16	20.46	28.38	x
2.6	5	2	2.4084	0.5962	10.0046	49.98	19.99	30.03	x
2.8	5	2	2.5937	0.6420	10.2358	48.85	19.54	31.61	x
3.0	5	2	2.7790	0.6879	10.4669	47.77	19.11	33.12	/

ตารางที่ ข - 21 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ดีเซล ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1 เอทีลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95% (ต่อ)

อีจีบีอี (ไมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอ ทีลีน ออกไซด์1/ อีจีบีอี (%)	น้ำมัน รวมตัวกัน
1.6	5	1	1.2704	0.3145	7.5849	65.92	13.18	20.90	x
1.8	5	1	1.4292	0.3538	7.7830	64.24	12.85	22.91	x
2.0	5	1	1.5880	0.3931	7.9811	62.65	12.53	24.82	x
2.2	5	1	1.7468	0.4324	8.1792	61.13	12.23	26.64	x
2.4	5	1	1.9056	0.4717	8.3773	59.69	11.94	28.37	x
2.6	5	1	2.0644	0.5110	8.5754	58.31	11.66	30.03	x
2.8	5	1	2.2232	0.5503	8.7735	56.99	11.40	31.61	x
3.0	5	1	2.3820	0.5896	8.9716	55.73	11.15	33.12	/

ตารางที่ ข - 22 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ดีเซล ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1 เอทีลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวรวม/ สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
13.91	69.55	16.54
20.96	52.40	26.64
26.86	44.76	28.38
31.10	38.87	30.03
34.19	34.19	31.62
37.15	29.72	33.13
41.80	25.08	33.12
47.77	19.11	33.12
55.73	11.15	33.12
100.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข - 23 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ไบโอดีเซล ดีไฮดอล เอทิลีนออกไซด์1 เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95%

อีจีบีอี (โมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอ ทิลีนออกไซด์ 1/ อีจีบีอี (%)	น้ำมัน รวมตัวกัน
0.2	1	5	0.1588	0.0393	6.1981	16.13	80.67	3.20	x
0.4	1	5	0.3172	0.0786	6.3962	15.63	78.17	6.20	/
0.6	1	5	0.4764	0.1179	6.5943	15.16	75.82	9.02	/
0.8	1	5	0.6352	0.1572	6.7924	14.72	73.61	11.67	/
1.0	1	5	0.7940	0.1965	6.9905	14.31	71.53	14.16	/
0.4	2	5	0.3705	0.0917	7.4623	26.80	67.00	6.20	x
0.6	2	5	0.5558	0.1376	7.6934	26.00	64.99	9.01	x
0.8	2	5	0.7411	0.1834	7.9245	25.24	63.10	11.66	/
1.0	2	5	0.9263	0.2293	8.1556	24.52	61.31	14.17	/
0.4	3	5	0.4235	0.1048	8.5283	35.18	58.63	6.19	x
0.6	3	5	0.6352	0.1572	8.7924	34.12	56.87	9.01	x
0.8	3	5	0.8469	0.2096	9.0566	33.13	55.21	11.66	x
1.0	3	5	1.0587	0.2621	9.3207	32.19	53.64	14.17	/
0.6	4	5	0.7146	0.1769	9.8915	40.44	50.55	9.01	x
0.8	4	5	0.9528	0.2359	10.1886	39.26	49.07	11.67	x
1.0	4	5	1.1910	0.2948	10.4858	38.15	47.68	14.17	x
1.2	4	5	1.4292	0.3538	10.7830	37.10	46.37	16.53	/
1.0	5	5	1.3233	0.3276	11.6509	42.92	42.92	14.16	x
1.2	5	5	1.5880	0.3931	11.9811	41.73	41.73	16.54	x
1.4	5	5	1.8527	0.4586	12.3113	40.61	40.61	18.78	/
1.6	5	5	2.1173	0.5241	12.6414	39.55	39.55	20.90	/
1.0	5	4	1.1910	0.2948	10.4858	47.68	38.15	14.17	x
1.2	5	4	1.4292	0.3538	10.7830	46.37	37.10	16.53	x
1.4	5	4	1.6674	0.4127	11.0801	45.13	36.10	18.77	x
1.6	5	4	1.9056	0.4717	11.3773	43.95	35.16	20.89	/
1.4	5	3	1.4821	0.3669	9.8490	50.77	30.46	18.77	x
1.6	5	3	1.6939	0.4193	10.1132	49.44	29.66	20.90	x
1.8	5	3	1.9056	0.4717	10.3773	48.18	28.91	22.91	x
2.0	5	3	2.1173	0.5241	10.6414	46.99	28.19	24.82	/
1.6	5	2	1.4821	0.3669	8.8490	56.50	22.60	20.90	x
1.8	5	2	1.6674	0.4127	9.0801	55.07	22.03	22.90	x
2.0	5	2	1.8527	0.4586	9.3113	53.70	21.48	24.82	x
2.2	5	2	2.0379	0.5045	9.5424	52.40	20.96	26.64	/

ตารางที่ ข - 23 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1 เอทีลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95% (ต่อ)

อีจีบีอี (โมลาร์)	เอทานอล (มิลลิลิตร)	น้ำมัน (มิลลิลิตร)	อีจีบีอี (มิลลิลิตร)	ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1 (มิลลิลิตร)	ผลรวม (มิลลิลิตร)	เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/อีจีบีอี (%)	น้ำมันรวมตัวกัน
1.8	5	1	1.4292	0.3538	7.7830	64.24	12.85	22.91	x
2.0	5	1	1.5880	0.3931	7.9811	62.65	12.53	24.82	x
2.2	5	1	1.7468	0.4324	8.1792	61.13	12.23	26.64	/
2.4	5	1	1.9056	0.4717	8.3773	59.69	11.94	28.37	/

ตารางที่ ข - 24 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันถั่วเหลือง ไบโอดีเซล ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1 เอทีลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวรวม/สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
15.63	78.17	6.20
25.24	63.10	11.66
32.19	53.64	14.17
37.10	46.37	16.53
40.61	40.61	18.78
43.95	35.16	20.89
46.99	28.19	24.82
52.40	20.96	26.64
61.13	12.23	26.64
100.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข - 25 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮโดรอลเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 95%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวร่วม/ สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
14.94	74.72	10.34
23.97	59.91	16.12
30.47	50.79	18.74
36.11	45.14	18.75
39.40	39.40	21.20
43.78	35.02	21.20
47.80	28.68	23.52
54.63	21.85	23.52
63.73	12.75	23.52
100.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข - 26 ผลรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮโดรอลเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล และเอทานอล 99%

เอทานอล (%)	น้ำมัน (%)	สารลดแรงตึงผิวร่วม/ สารลดแรงตึงผิว (%)
0.00	100.00	0.00
16.34	81.69	1.97
27.47	68.67	3.86
35.37	58.94	5.69
41.14	51.42	7.44
46.28	46.28	7.44
51.42	41.14	7.44
57.32	34.39	8.29
65.50	26.20	8.30
77.86	15.57	6.57
100.00	0.00	0.00

ตารางที่ ข - 27 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)	ค่าเบี่ยงเบน
						ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	729	724	725	11.71	11.63	11.64	11.66	0.0425
2	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	759	754	750	12.19	12.11	12.05	12.11	0.0724
3	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	683	690	690	10.97	11.08	11.08	11.04	0.0649
4	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	723	719	723	11.61	11.55	11.61	11.59	0.0371
5	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	627	614	618	10.07	9.86	9.93	9.95	0.1069
6	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	688	693	694	11.05	11.13	11.15	11.11	0.0516
7	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	759	758	758	12.19	12.17	12.17	12.18	0.0093
8	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	734	732	735	11.79	11.76	11.80	11.78	0.0245
9	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	688	696	685	11.05	11.18	11.00	11.08	0.0913
10	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	724	725	722	11.63	11.64	11.60	11.62	0.0245
11	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	647	635	635	10.39	10.20	10.20	10.26	0.1113
12	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	694	687	694	11.15	11.03	11.15	11.11	0.0649
13	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	716	713	713	11.50	11.45	11.45	11.47	0.0278
14	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	734	740	732	11.79	11.88	11.76	11.81	0.0669
15	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	691	693	696	11.10	11.13	11.18	11.13	0.0404
16	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	716	721	726	11.50	11.58	11.66	11.58	0.0803
17	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	635	632	630	10.20	10.15	10.12	10.16	0.0404
18	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	691	687	692	11.10	11.03	11.11	11.08	0.0425
19	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	เมทิลโอลี เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	710	704	702	11.40	11.31	11.27	11.33	0.0669
20	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอลี เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	675	676	679	10.84	10.86	10.90	10.87	0.0334

ตารางที่ ข - 27 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)	ค่าเบี่ยงเบน
						ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
21	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	657	661	659	10.55	10.62	10.58	10.58	0.0321
22	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	637	630	633	10.23	10.12	10.17	10.17	0.0564
23	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	606	603	604	9.73	9.68	9.70	9.71	0.0245
24	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	602	601	602	9.67	9.65	9.67	9.66	0.0093
25	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5		เอทานอล 95%	747	741	739	12.00	11.90	11.87	11.92	0.0669
26	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5		เอทานอล 95%	666	672	678	10.70	10.79	10.89	10.79	0.0964
27	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5		เอทานอล 95%	645	649	644	10.36	10.42	10.34	10.37	0.0425
28	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลอิ แอลกอฮอล์		เอทานอล 95%	696	689	684	11.18	11.07	10.99	11.08	0.0968
29	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลอิ แอลกอฮอล์		เอทานอล 95%	662	664	666	10.63	10.66	10.70	10.66	0.0321
30	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลอิ แอลกอฮอล์		เอทานอล 95%	602	608	608	9.67	9.76	9.76	9.73	0.0556
31	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต		เอทานอล 95%	633	631	645	10.17	10.13	10.36	10.22	0.1216
32	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต		เอทานอล 95%	627	631	628	10.07	10.13	10.09	10.10	0.0334
33	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต		เอทานอล 95%	566	564	558	9.09	9.06	8.96	9.04	0.0669
34	ดีเซล 100%					399	399	400	6.41	6.41	6.42	6.41	0.0093
35	ไบโอดีเซล 100%					มีสภาพตกผลึก							
36	ดีเซล/ไบโอดีเซล 50:50					น้ำมันไบโอดีเซลตกผลึก							

ตารางที่ ข - 28 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)	ค่าเบี่ยงเบน
						ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออคทานอล	เอทานอล 95%	526	523	524	8.45	8.40	8.42	8.42	0.0245
2	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออคทานอล	เอทานอล 95%	528	528	526	8.48	8.48	8.45	8.47	0.0185
3	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออคทานอล	เอทานอล 95%	490	492	491	7.87	7.90	7.89	7.89	0.0161
4	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออคทานอล	เอทานอล 95%	496	496	497	7.97	7.97	7.98	7.97	0.0093
5	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออคทานอล	เอทานอล 95%	478	474	472	7.68	7.61	7.58	7.62	0.0491
6	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออคทานอล	เอทานอล 95%	486	483	482	7.81	7.76	7.74	7.77	0.0334
7	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออคทานอล	เอทานอล 95%	585	582	583	9.40	9.35	9.36	9.37	0.0245
8	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออคทานอล	เอทานอล 95%	571	572	572	9.17	9.19	9.19	9.18	0.0093
9	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออคทานอล	เอทานอล 95%	536	536	536	8.61	8.61	8.61	8.61	0.0000
10	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออคทานอล	เอทานอล 95%	543	543	545	8.72	8.72	8.75	8.73	0.0185
11	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออคทานอล	เอทานอล 95%	473	472	477	7.60	7.58	7.66	7.61	0.0425
12	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออคทานอล	เอทานอล 95%	516	514	517	8.29	8.25	8.30	8.28	0.0245
13	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออคทานอล	เอทานอล 95%	515	514	516	8.27	8.25	8.29	8.27	0.0161
14	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออคทานอล	เอทานอล 95%	497	499	499	7.98	8.01	8.01	8.00	0.0185
15	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออคทานอล	เอทานอล 95%	490	491	493	7.87	7.89	7.92	7.89	0.0245
16	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออคทานอล	เอทานอล 95%	501	502	505	8.05	8.06	8.11	8.07	0.0334
17	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออคทานอล	เอทานอล 95%	462	459	466	7.42	7.37	7.48	7.43	0.0564
18	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออคทานอล	เอทานอล 95%	484	485	485	7.77	7.79	7.79	7.78	0.0093
19	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	เมทิลโอดี เอต	ออคทานอล	เอทานอล 95%	469	468	467	7.53	7.52	7.50	7.52	0.0161
20	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอดี เอต	ออคทานอล	เอทานอล 95%	479	479	480	7.69	7.69	7.71	7.70	0.0093



ตารางที่ ข - 28 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)	ค่าเบี่ยงเบน
						ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
21	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	เมทิลโอเลทีนเอต	ออกทานอล	เอทานอล 95%	440	440	440	7.07	7.07	7.07	7.07	0.0000
22	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลทีนเอต	ออกทานอล	เอทานอล 95%	451	452	451	7.24	7.26	7.24	7.25	0.0093
23	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	เมทิลโอเลทีนเอต	ออกทานอล	เอทานอล 95%	411	410	411	6.60	6.58	6.60	6.60	0.0093
24	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลทีนเอต	ออกทานอล	เอทานอล 95%	432	433	432	6.94	6.95	6.94	6.94	0.0093
25	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอทีลีนออกไซด์ 5	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	526	517	518	8.45	8.30	8.32	8.36	0.0792
26	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอทีลีนออกไซด์ 5	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	495	491	490	7.95	7.89	7.87	7.90	0.0425
27	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอทีลีนออกไซด์ 5	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	467	471	466	7.50	7.56	7.48	7.52	0.0425
28	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	485	485	485	7.79	7.79	7.79	7.79	0.0000
29	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	480	477	477	7.71	7.66	7.66	7.68	0.0278
30	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	435	437	433	6.99	7.02	6.95	6.99	0.0321
31	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลทีนเอต	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	468	466	465	7.52	7.48	7.47	7.49	0.0245
32	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลทีนเอต	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	455	453	454	7.31	7.28	7.29	7.29	0.0161
33	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลทีนเอต	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	415	411	410	6.66	6.60	6.58	6.62	0.0425
34	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว					5,120	5,312	5,231	82.23	85.31	84.01	83.85	1.5480
35	น้ำมันปาล์ม					4,817	4,728	4,702	77.36	75.93	75.51	76.27	0.9685
36	น้ำมันถั่วเหลือง					3,470	3,561	3,533	55.73	57.19	56.74	56.55	0.7485
37	ดีเซล 100%					272	272	271	4.37	4.37	4.35	4.36	0.0093
38	ไบโอดีเซล 100%					389	381	381	6.25	6.12	6.12	6.16	0.0742
39	ดีเซล/ไบโอดีเซล 50:50					330	330	330	5.30	5.30	5.30	5.30	0.0000

ตารางที่ ข - 29 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)	ค่าเบี่ยงเบน
						ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	443	445	448	7.11	7.15	7.19	7.15	0.0404
2	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	464	464	467	7.45	7.45	7.50	7.47	0.0278
3	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	427	428	424	6.86	6.87	6.81	6.85	0.0334
4	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	432	435	434	6.94	6.99	6.97	6.96	0.0245
5	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	401	402	399	6.44	6.46	6.41	6.43	0.0245
6	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	424	425	426	6.81	6.83	6.84	6.83	0.0161
7	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	465	465	465	7.47	7.47	7.47	7.47	0.0000
8	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	469	467	470	7.53	7.50	7.55	7.53	0.0245
9	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	452	456	457	7.26	7.32	7.34	7.31	0.0425
10	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	461	461	461	7.40	7.40	7.40	7.40	0.0000
11	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	433	437	434	6.95	7.02	6.97	6.98	0.0334
12	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	458	460	462	7.36	7.39	7.42	7.39	0.0321
13	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	469	470	472	7.53	7.55	7.58	7.55	0.0245
14	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	474	474	476	7.61	7.61	7.64	7.62	0.0185
15	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	427	425	427	6.86	6.83	6.86	6.85	0.0185
16	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	436	436	438	7.00	7.00	7.03	7.01	0.0185
17	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	396	395	396	6.36	6.34	6.36	6.35	0.0093
18	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	436	437	439	7.00	7.02	7.05	7.02	0.0245
19	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	เมทิลโอลี เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	472	473	474	7.58	7.60	7.61	7.60	0.0161
20	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอลี เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	700	704	701	11.24	11.31	11.26	11.27	0.0334

ตารางที่ ข - 29 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)	ค่าเบี่ยงเบน
						ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
21	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	เมทิลโอเลทีเอต	ออกทานอล	เอทานอล 95%	408	409	411	6.55	6.57	6.60	6.57	0.0245
22	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลทีเอต	ออกทานอล	เอทานอล 95%	427	430	432	6.86	6.91	6.94	6.90	0.0404
23	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	เมทิลโอเลทีเอต	ออกทานอล	เอทานอล 95%	415	417	419	6.66	6.70	6.73	6.70	0.0321
24	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลทีเอต	ออกทานอล	เอทานอล 95%	577	580	583	9.27	9.31	9.36	9.31	0.0482
25	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอทีลีนออกไซด์5	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	474	477	478	7.61	7.66	7.68	7.65	0.0334
26	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอทีลีนออกไซด์5	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	409	403	405	6.57	6.47	6.50	6.52	0.0491
27	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอทีลีนออกไซด์5	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	414	416	417	6.65	6.68	6.70	6.68	0.0245
28	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	438	437	432	7.03	7.02	6.94	7.00	0.0516
29	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	440	438	434	7.07	7.03	6.97	7.02	0.0491
30	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	375	381	378	6.02	6.12	6.07	6.07	0.0482
31	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลทีเอต	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	402	404	405	6.46	6.49	6.50	6.48	0.0245
32	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลทีเอต	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	388	394	392	6.23	6.33	6.30	6.28	0.0491
33	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลทีเอต	อีจีบีอี	เอทานอล 95%	387	383	383	6.22	6.15	6.15	6.17	0.0371
34	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว					3,926	4,114	4,002	63.05	66.07	64.27	64.46	1.5188
35	น้ำมันปาล์ม					3,767	3,788	3,705	60.50	60.84	59.50	60.28	0.6931
36	น้ำมันถั่วเหลือง					2,760	2,768	2,703	44.33	44.45	43.41	44.06	0.5692
37	ดีเซล 100%					228	228	228	3.66	3.66	3.66	3.66	0.0000
38	ไบโอดีเซล 100%					325	325	323	5.22	5.22	5.19	5.21	0.0185
39	ดีเซล/ไบโอดีเซล 50:50					299	299	300	4.80	4.80	4.82	4.81	0.0093

ตารางที่ ข - 30 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)	ค่าเบี่ยงเบน
						ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	381	379	377	6.12	6.09	6.05	6.09	0.0321
2	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	404	407	405	6.49	6.54	6.50	6.51	0.0245
3	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	360	363	365	5.78	5.83	5.86	5.82	0.0404
4	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	380	383	381	6.10	6.15	6.12	6.12	0.0245
5	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	343	347	345	5.51	5.57	5.54	5.54	0.0321
6	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์1	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	383	386	384	6.15	6.20	6.17	6.17	0.0245
7	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	360	355	353	5.78	5.70	5.67	5.72	0.0579
8	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	384	388	390	6.17	6.23	6.26	6.22	0.0491
9	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	358	357	355	5.75	5.73	5.70	5.73	0.0245
10	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	374	377	373	6.01	6.05	5.99	6.02	0.0334
11	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	340	342	344	5.46	5.49	5.52	5.49	0.0321
12	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทิสัน ออกไซด์5	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	373	372	370	5.99	5.97	5.94	5.97	0.0245
13	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	382	384	384	6.13	6.17	6.17	6.16	0.0185
14	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	389	390	392	6.25	6.26	6.30	6.27	0.0245
15	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	378	379	382	6.07	6.09	6.13	6.10	0.0334
16	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	364	367	363	5.85	5.89	5.83	5.86	0.0334
17	น้ำมันถั่ว เหลือง	ดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	351	352	354	5.64	5.65	5.69	5.66	0.0245
18	น้ำมันถั่ว เหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลิล แอลกอฮอล์	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	371	370	374	5.96	5.94	6.01	5.97	0.0334
19	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ดีเซล	เมทิลโอดี เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	380	383	388	6.10	6.15	6.23	6.16	0.0649
20	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอดี เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	562	560	557	9.03	8.99	8.95	8.99	0.0404

ตารางที่ ข - 30 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)	ค่าเบี่ยงเบน
						ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
21	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	345	347	344	5.54	5.57	5.52	5.55	0.0245
22	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	357	353	355	5.73	5.67	5.70	5.70	0.0321
23	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	338	341	343	5.43	5.48	5.51	5.47	0.0404
24	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต	ออกทา นอล	เอทานอล 95%	460	459	461	7.39	7.37	7.40	7.39	0.0161
25	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์5		เอทานอล 95%	363	355	352	5.83	5.70	5.65	5.73	0.0913
26	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์5		เอทานอล 95%	337	338	335	5.41	5.43	5.38	5.41	0.0245
27	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโอดอลเอ ทีลิน ออกไซด์5		เอทานอล 95%	326	326	328	5.24	5.24	5.27	5.25	0.0185
28	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลอิ แอลกอฮอล์		เอทานอล 95%	378	381	385	6.07	6.12	6.18	6.12	0.0564
29	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลอิ แอลกอฮอล์		เอทานอล 95%	327	332	335	5.25	5.33	5.38	5.32	0.0649
30	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลอิ แอลกอฮอล์		เอทานอล 95%	327	324	322	5.25	5.20	5.17	5.21	0.0404
31	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต		เอทานอล 95%	315	318	319	5.06	5.11	5.12	5.10	0.0334
32	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต		เอทานอล 95%	317	314	313	5.09	5.04	5.03	5.05	0.0334
33	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลิ เอต		เอทานอล 95%	308	311	311	4.95	4.99	4.99	4.98	0.0278
34	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว					2,959	3,032	3,055	47.52	48.69	49.06	48.43	0.8050
35	น้ำมันปาล์ม					2,855	2,758	2,792	45.85	44.29	44.84	44.99	0.7904
36	น้ำมันถั่วเหลือง					2,051	2,005	2,022	32.94	32.20	32.47	32.54	0.3735
37	ดีเซล 100%					221	219	215	3.55	3.52	3.45	3.51	0.0491
38	ไบโอดีเซล 100%					277	280	286	4.45	4.50	4.59	4.51	0.0736
39	ดีเซล/ไบโอดีเซล 50:50					242	243	245	3.89	3.90	3.93	3.91	0.0245

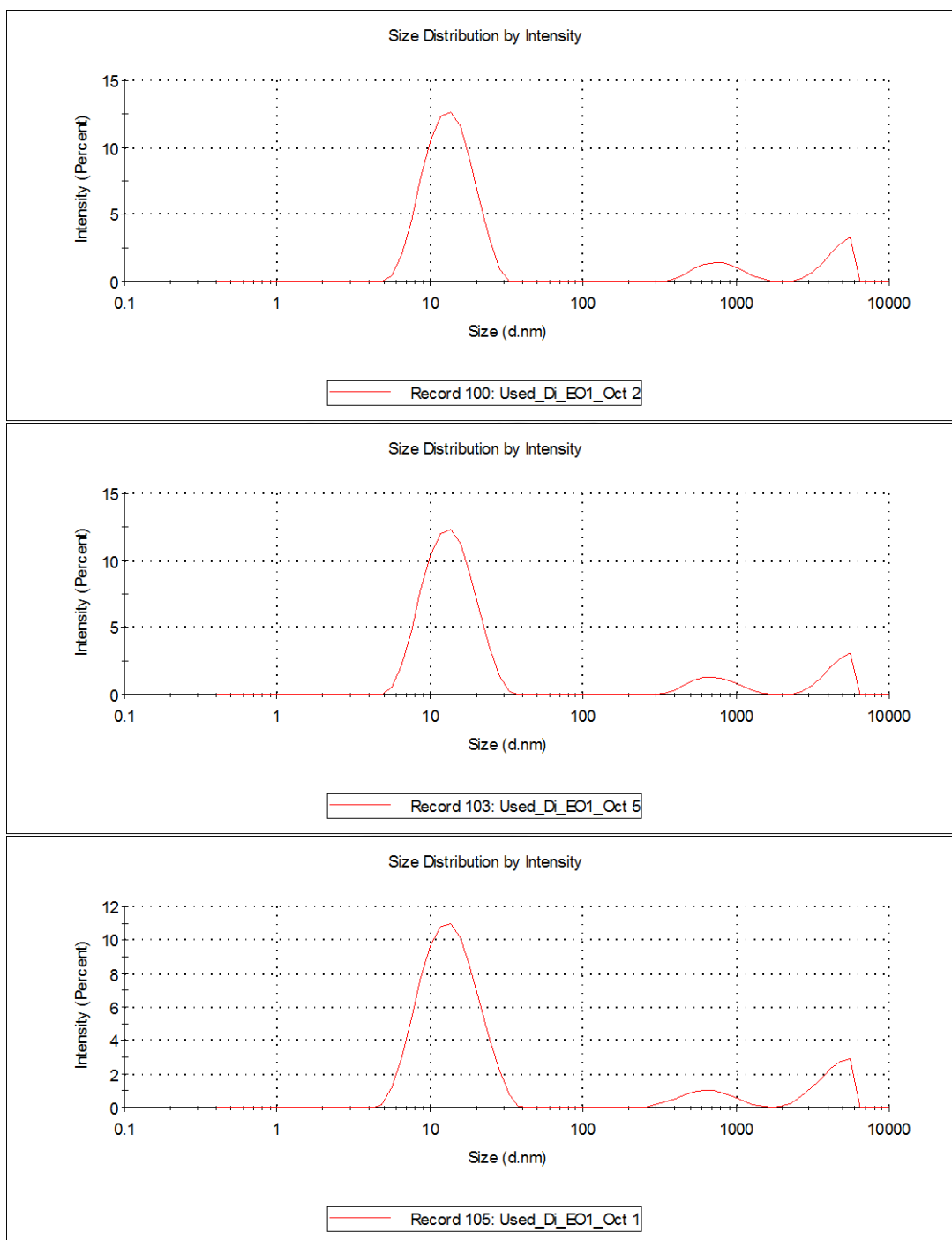


ภาคผนวก ค  
คุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

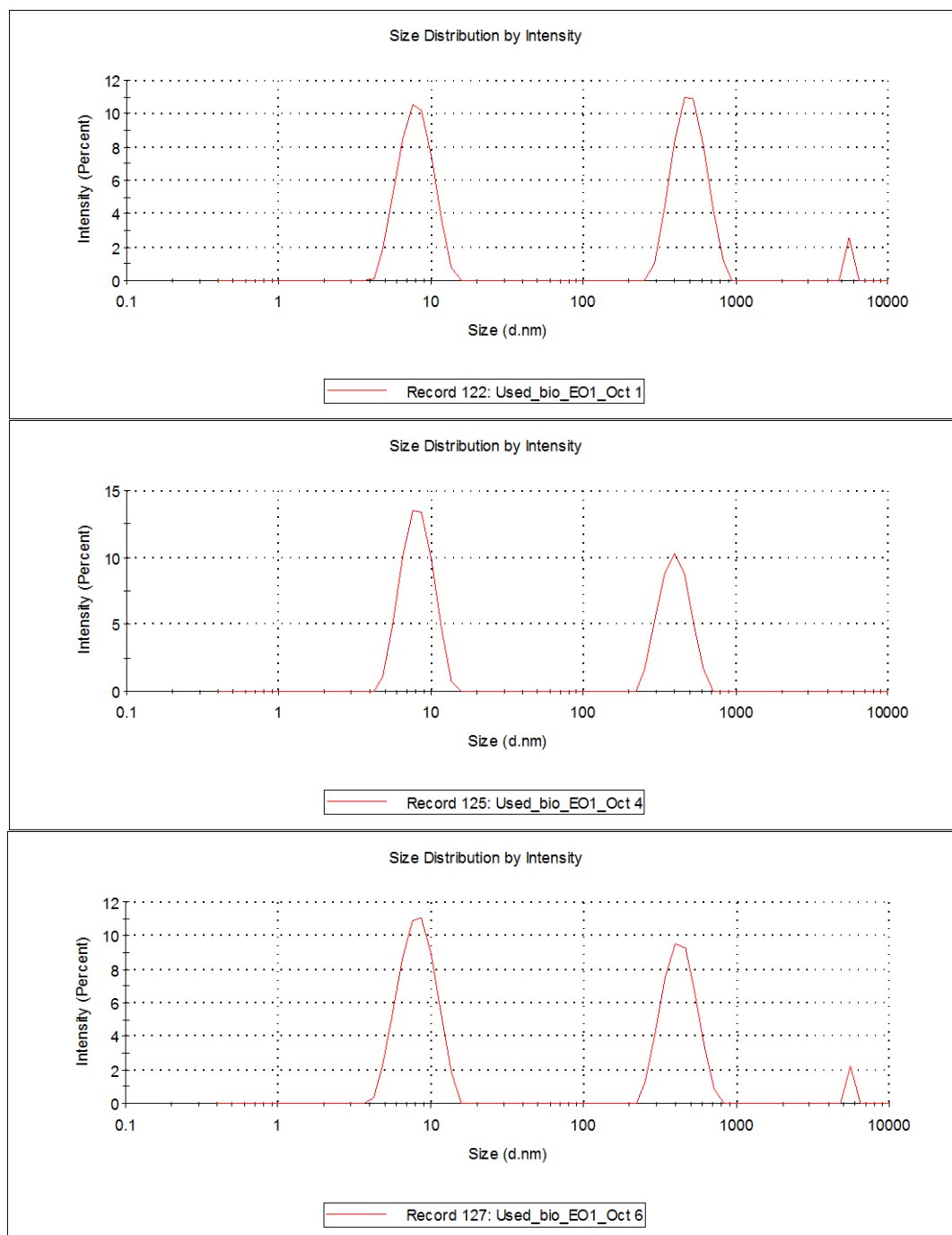
ตารางที่ ค – 1 ขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่าง	สารเคมี	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางการเคลื่อนที่ (นาโนเมตร)	ค่าดัชนีการกระจาย	เส้นผ่าศูนย์กลางความเข้มข้น พิก 1 (นาโนเมตร)	ค่าเฉลี่ย พิก 1 (นาโนเมตร)	เส้นผ่าศูนย์กลางความเข้มข้น พิก 2 (นาโนเมตร)	เส้นผ่าศูนย์กลางความเข้มข้น พิก 3 (นาโนเมตร)	พื้นที่ความเข้มข้น พิก 1 (%)	พื้นที่ความเข้มข้น พิก 2 (%)	พื้นที่ความเข้มข้น พิก 3 (%)
1	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ดีเซล/ดีไฮโดรอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%	65	0.171	14	14	4,629	798	81.4	10.2	8.4
		60	0.159	14		4,574	741	82.1	10.0	7.9
		59	0.152	14		4,318	676	81.2	11.8	7.0
2	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ไบโอดีเซล/ดีไฮโดรอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%	362	0.459	8	8	507	5560	49.2	48.2	2.5
		370	0.592	8		406	0	58.4	41.6	0
		372	0.482	8		432	5560	54.8	43.0	2.2
3	น้ำมันปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮโดรอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%	12	0.195	14	14	5,009	0	98.8	1.2	0
		12	0.189	14		0	0	100.0	0	0
		12	0.227	14		4,996	0	97.9	2.1	0
4	น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/ดีไฮโดรอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%	12	0.442	9	9	1,114	0	69.8	30.2	0
		11	0.442	9		1,214	0	72.5	27.5	0
		11	0.473	9		1,053	0	69.5	30.5	0
5	น้ำมันถั่วเหลือง/ดีเซล/ดีไฮโดรอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%	14	0.251	15	15	3,724	0	94.7	5.3	0
		14	0.254	15		3,958	0	94.3	5.7	0
		14	0.257	15		4,106	0	94.2	5.8	0
6	น้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/ดีไฮโดรอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95%	12	0.483	9	9	881	0	69.0	31.0	0
		12	0.435	9		984	0	70.5	29.5	0
		13	0.471	9		1,069	0	67.7	32.3	0
7	น้ำมันปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮโดรอลเอทีลินออกไซด์5/ออกทานอล/เอทานอล95%	13	0.248	16	17	5,183	0	98.5	1.5	0
		13	0.215	17		0	0	100.0	0	0
		13	0.226	18		0	0	100.0	0	0
8	น้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/ดีไฮโดรอลเอทีลินออกไซด์5/ออกทานอล/เอทานอล95%	32	0.420	11	11	1,477	0	56.5	43.5	0
		32	0.423	11		1,438	0	56.2	43.8	0
		30	0.396	11		1,611	0	58.2	41.8	0

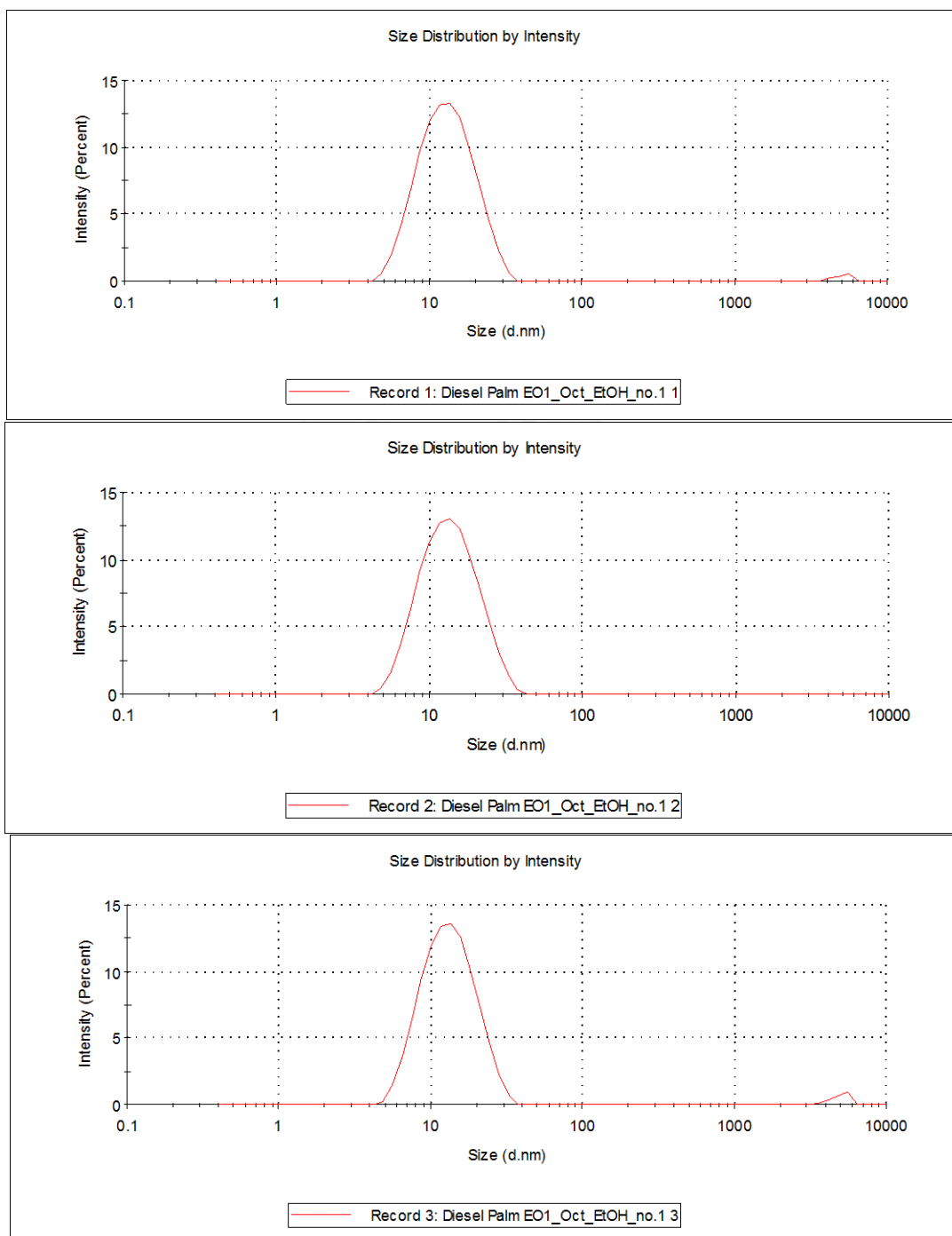


ภาพที่ ค - 1 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/  
ออกทานอล/เอทานอล95%

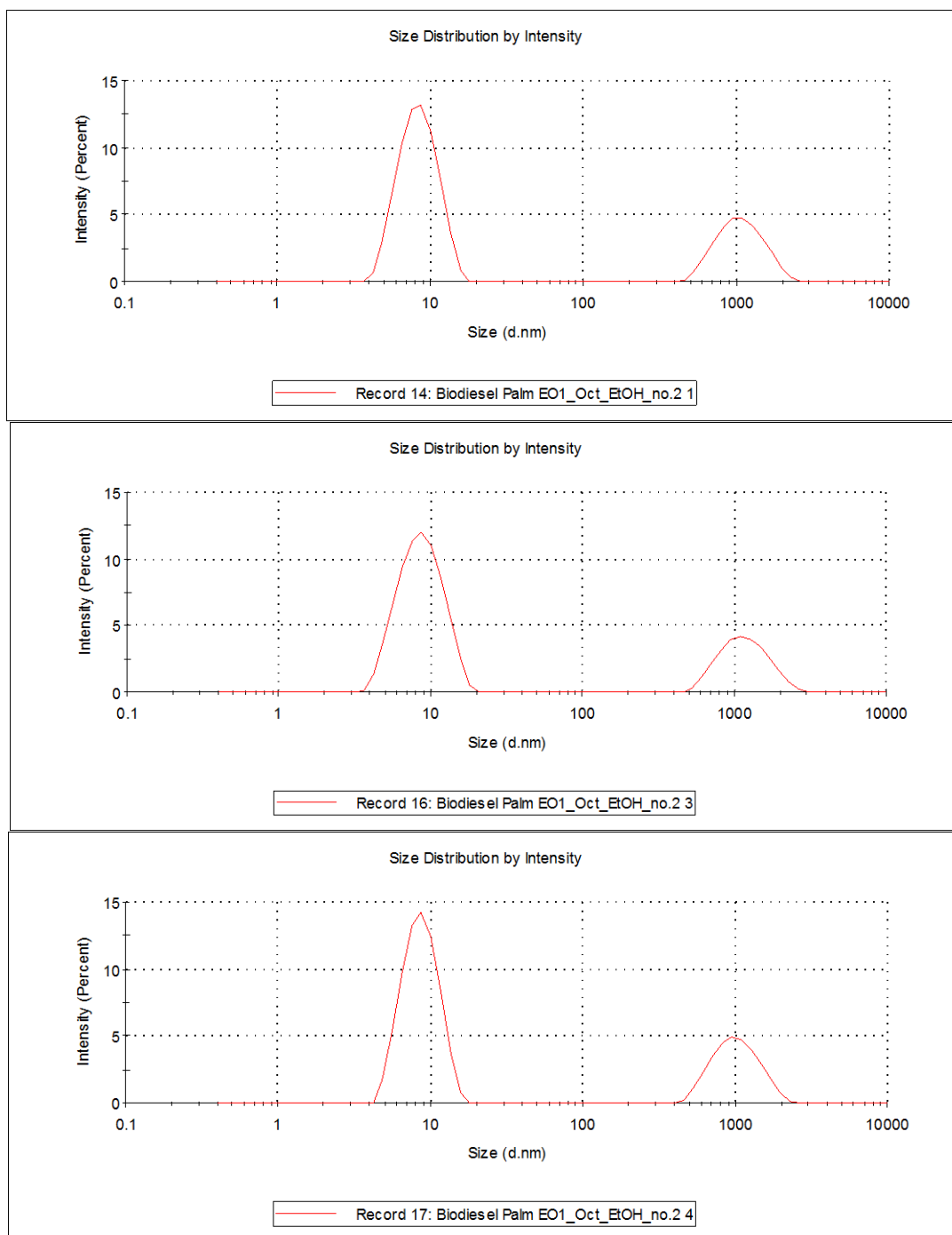




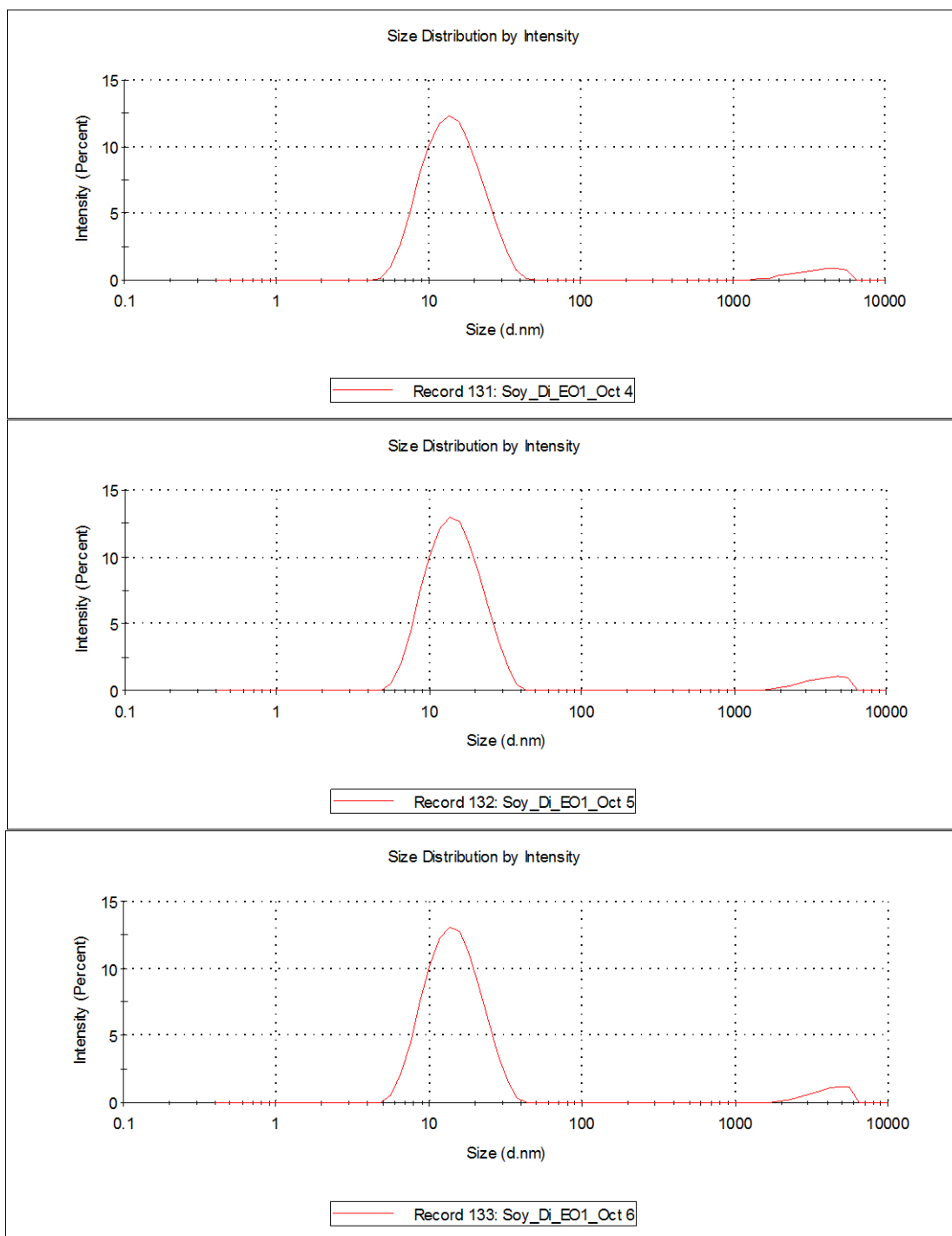
ภาพที่ ค - 2 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/  
ออกทานอล/เอทานอล95%



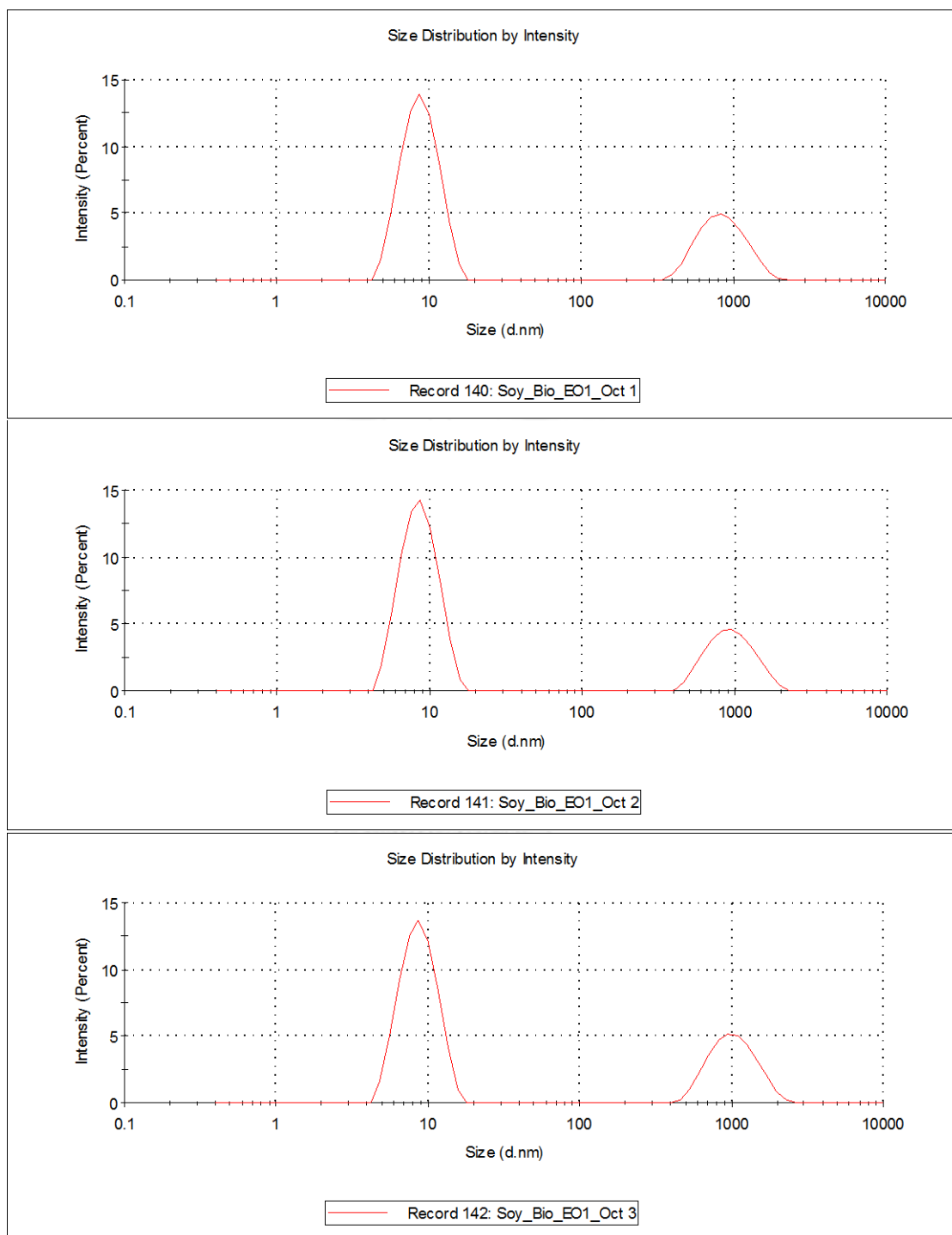
ภาพที่ ค - 3 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/ออกทานอล/  
เอทานอล95%



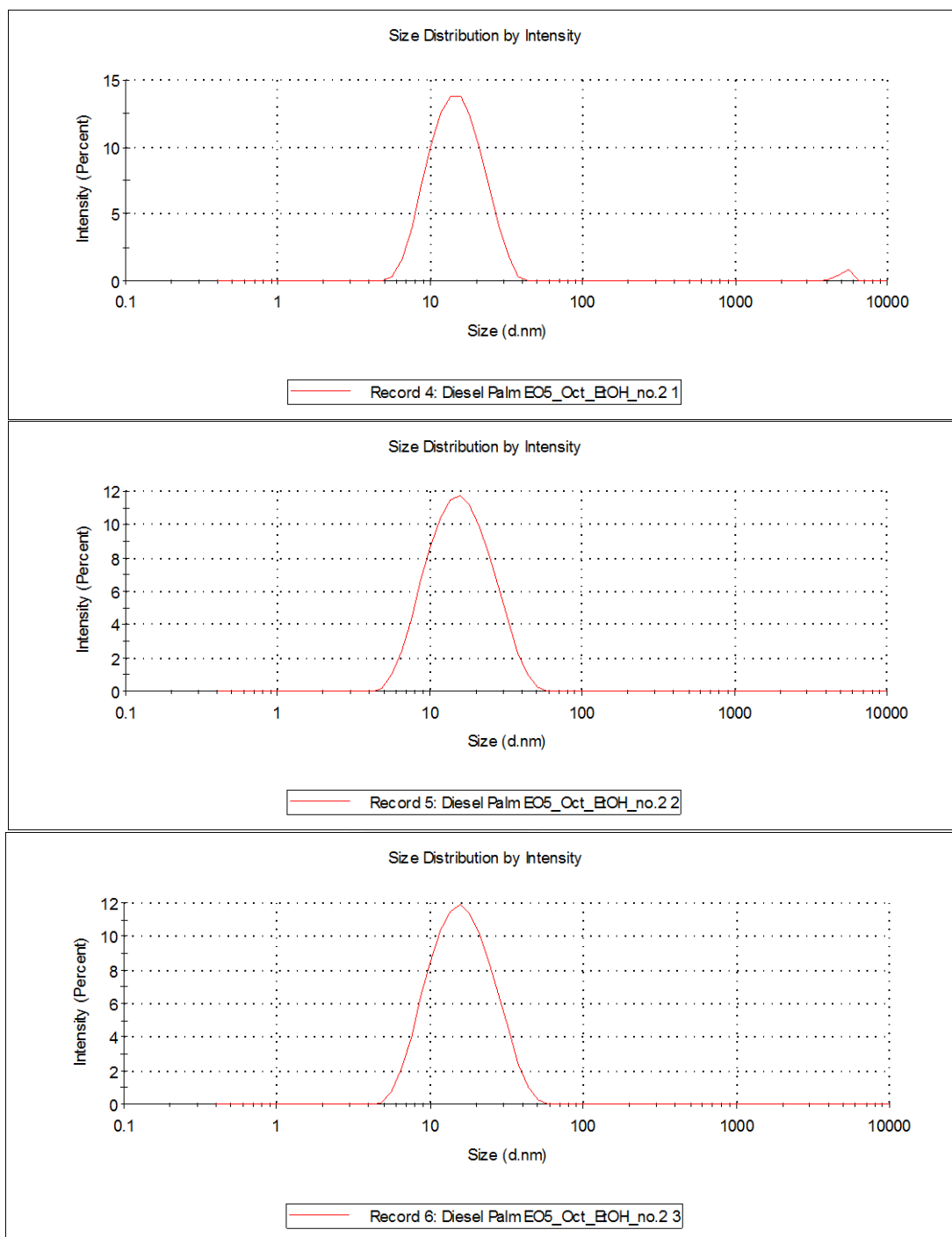
ภาพที่ ค - 4 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/  
ออกทานอล/เอทานอล95%



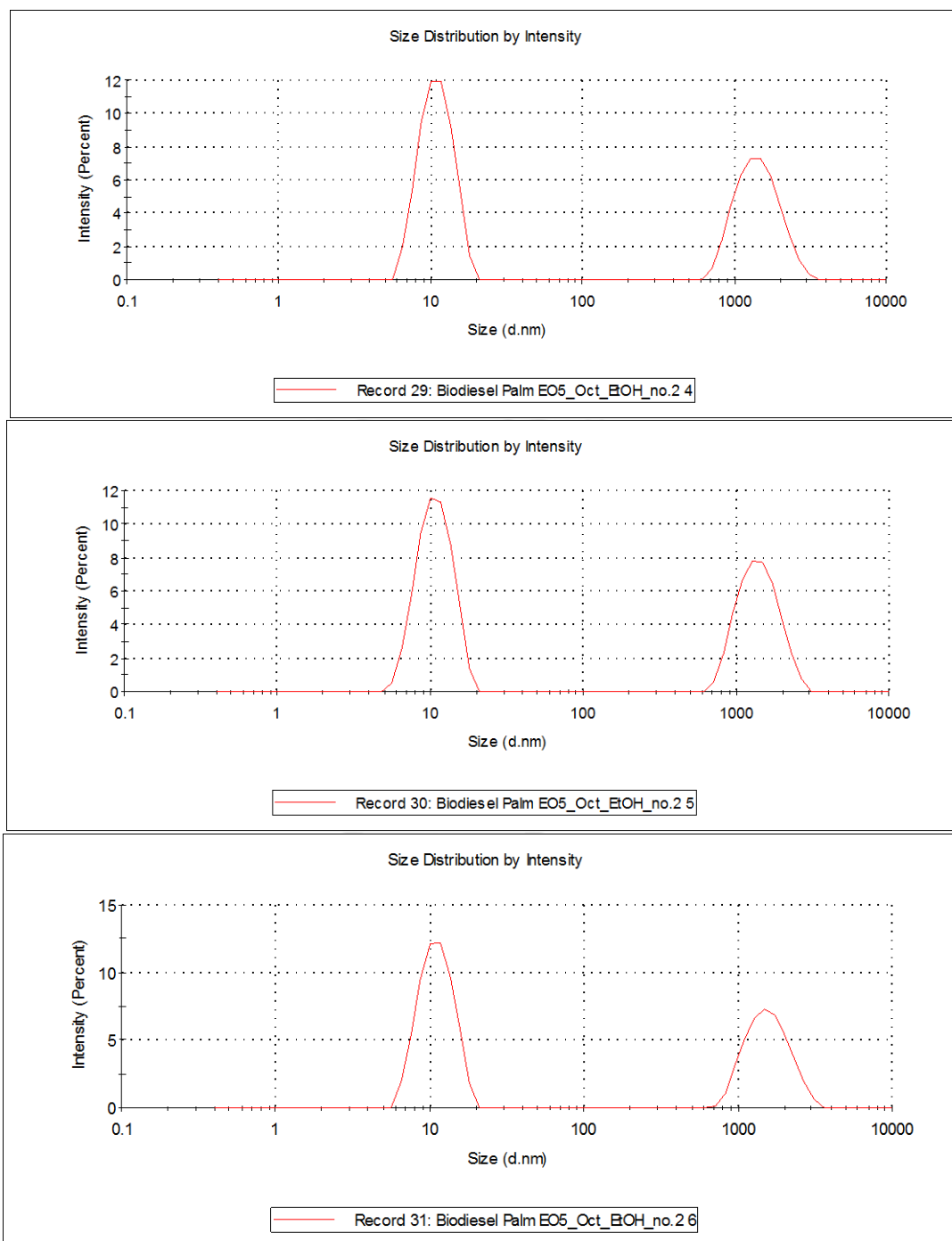
ภาพที่ ค - 5 ขนาดอนุภาคของน้ำมันถั่วเหลือง/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/  
ออกทานอล/เอทานอล95%



ภาพที่ ค - 6 ขนาดอนุภาคของน้ำมันถั่วเหลือง/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/  
ออกทานอล/เอทานอล95%



ภาพที่ ค - 7 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์5/ออกทานอล /เอทานอล95%



ภาพที่ ค - 8 ขนาดอนุภาคของน้ำมันปาล์ม/ไบโอดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์5/  
ออกทานอล/เอทานอล95%

ตัวอย่างที่ ค – 1 การคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

มวลน้ำมันปาล์มใช้แล้ว/ดีเซล/ดีไฮโดลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/เอทานอล95% 0.2165 กรัม

ปริมาตรวัตถุ คือ 0.25 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ความหนาแน่นน้ำ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส คือ 0.9971 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าความหนาแน่น} &= \text{มวลวัตถุ} / \text{ปริมาตรวัตถุ} \\
 &= 0.2165 / 0.25 \\
 &= 0.8660 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร} \\
 \text{ค่าความถ่วงจำเพาะ} &= \text{ความหนาแน่นวัตถุ} / \text{ความหนาแน่นน้ำ} \\
 &= 0.8660 / 0.9971 \\
 &= 0.87
 \end{aligned}$$



ตารางที่ ค - 2 ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

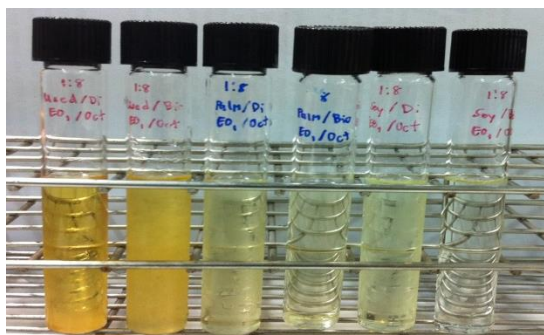
ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)			ค่าความถ่วงจำเพาะ			ค่าเฉลี่ย
						ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2165	0.2167	0.2168	0.8660	0.8668	0.8672	0.87	0.87	0.87	0.87
2	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2227	0.2228	0.2228	0.8908	0.8912	0.8912	0.89	0.89	0.89	0.89
3	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2157	0.2156	0.2159	0.8628	0.8624	0.8636	0.87	0.86	0.87	0.87
4	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2196	0.2197	0.2199	0.8784	0.8788	0.8796	0.88	0.88	0.88	0.88
5	น้ำมันงั่วเหลือง	ดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2167	0.2168	0.2168	0.8668	0.8672	0.8672	0.87	0.87	0.87	0.87
6	น้ำมันงั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2207	0.2205	0.2208	0.8828	0.8820	0.8832	0.89	0.88	0.89	0.89
7	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2180	0.2180	0.2181	0.8720	0.8720	0.8724	0.87	0.87	0.87	0.87
8	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2196	0.2197	0.2196	0.8784	0.8788	0.8784	0.88	0.88	0.88	0.88
9	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2170	0.2166	0.2166	0.8680	0.8664	0.8664	0.87	0.87	0.87	0.87
10	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2197	0.2197	0.2198	0.8788	0.8788	0.8792	0.88	0.88	0.88	0.88
11	น้ำมันงั่วเหลือง	ดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2167	0.2171	0.2168	0.8668	0.8684	0.8672	0.87	0.87	0.87	0.87
12	น้ำมันงั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2199	0.2197	0.2199	0.8796	0.8788	0.8796	0.88	0.88	0.88	0.88
13	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2147	0.2148	0.2147	0.8588	0.8592	0.8588	0.86	0.86	0.86	0.86
14	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2182	0.2181	0.2183	0.8728	0.8724	0.8732	0.88	0.87	0.88	0.88
15	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2148	0.2146	0.2149	0.8592	0.8584	0.8596	0.86	0.86	0.86	0.86
16	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2168	0.2168	0.2169	0.8672	0.8672	0.8676	0.87	0.87	0.87	0.87
17	น้ำมันงั่วเหลือง	ดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2152	0.2156	0.2154	0.8608	0.8624	0.8616	0.86	0.86	0.86	0.86
18	น้ำมันงั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2185	0.2187	0.2185	0.8740	0.8748	0.8740	0.88	0.88	0.88	0.88

ตารางที่ ค - 2 ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ต่อ)

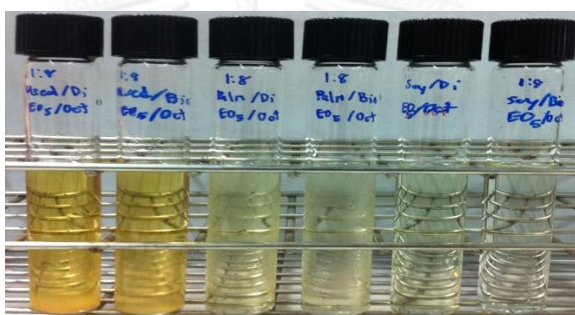
ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	น้ำหนัก (กรัม)			ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)			ค่าความถ่วงจำเพาะ			ค่าเฉลี่ย
						ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
19	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	เมทิลโอเลอียด	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2155	0.2157	0.2157	0.8620	0.8628	0.8628	0.86	0.87	0.87	0.87
20	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลอียด	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2182	0.2182	0.2182	0.8728	0.8728	0.8728	0.88	0.88	0.88	0.88
21	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	เมทิลโอเลอียด	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2143	0.2143	0.2143	0.8572	0.8572	0.8572	0.86	0.86	0.86	0.86
22	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลอียด	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2182	0.2179	0.2177	0.8728	0.8716	0.8708	0.88	0.87	0.87	0.87
23	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	เมทิลโอเลอียด	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2158	0.2156	0.2157	0.8632	0.8624	0.8628	0.87	0.86	0.87	0.87
24	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลอียด	ออกทานอล	เอทานอล 95%	0.2177	0.2177	0.2176	0.8708	0.8708	0.8704	0.87	0.87	0.87	0.87
25	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ทีโอดอลอทีลินออกไซด์ 5	อีจีพีซี	เอทานอล 95%	0.2223	0.2223	0.2222	0.8892	0.8892	0.8888	0.89	0.89	0.89	0.89
26	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ทีโอดอลอทีลินออกไซด์ 5	อีจีพีซี	เอทานอล 95%	0.2225	0.2224	0.2225	0.8900	0.8896	0.8900	0.89	0.89	0.89	0.89
27	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ทีโอดอลอทีลินออกไซด์ 5	อีจีพีซี	เอทานอล 95%	0.2233	0.2266	0.2233	0.8932	0.8973	0.8932	0.90	0.90	0.90	0.90
28	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	อีจีพีซี	เอทานอล 95%	0.2189	0.2187	0.2188	0.8756	0.8748	0.8752	0.88	0.88	0.88	0.88
29	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	อีจีพีซี	เอทานอล 95%	0.2212	0.2211	0.2212	0.8848	0.8844	0.8848	0.89	0.89	0.89	0.89
30	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	โอเลอิลแอลกอฮอล์	อีจีพีซี	เอทานอล 95%	0.2212	0.2211	0.2212	0.8848	0.8844	0.8848	0.89	0.89	0.89	0.89
31	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลอียด	อีจีพีซี	เอทานอล 95%	0.2220	0.2219	0.2219	0.8880	0.8876	0.8876	0.89	0.89	0.89	0.89
32	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลอียด	อีจีพีซี	เอทานอล 95%	0.2214	0.2215	0.2214	0.8856	0.8860	0.8856	0.89	0.89	0.89	0.89
33	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	เมทิลโอเลอียด	อีจีพีซี	เอทานอล 95%	0.2220	0.2219	0.2219	0.8880	0.8876	0.8876	0.89	0.89	0.89	0.89

วิธีการทดลอง ค – 1      ขั้นตอนการศึกษาจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

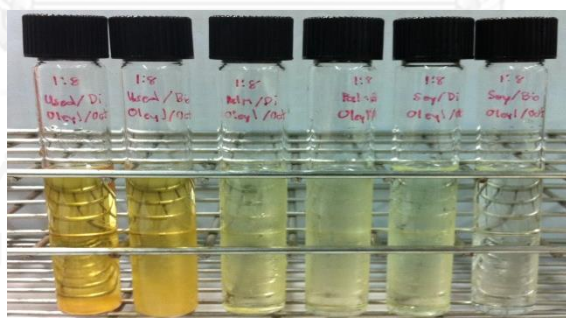
1. น้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมดีเซล และไบโอดีเซล อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 75%
2. สารลดแรงตึงผิว (ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 โอลิเอิลแอลกอฮอล์ เมทิลโอเลเอต) และสารลดแรงตึงผิวร่วม (ออกทานอล และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์) อัตรา ส่วน 1:8 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 5%
3. เอทานอล ที่ปริมาตร 20%
4. นำข้อ 1 – 3 ผสมกันจนกลายเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
5. นำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ได้จากข้อ 4 ใส่ลงในบีกเกอร์บรรจุน้ำ
6. จุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงถึงบรรจุน้ำ และนำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อยู่ในถังบรรจุน้ำ แช่ตู้เย็น เป็นเวลา 1, 2, 7 และ 30 วัน
7. สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลง และบันทึกผลการทดลอง
8. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ



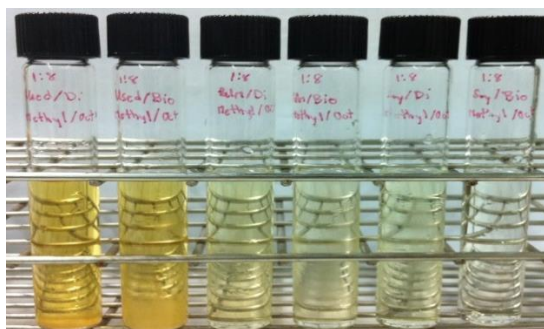
ภาพที่ ค - 9 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1 สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 วัน



ภาพที่ ค - 10 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5 สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 วัน



ภาพที่ ค - 11 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวโอเลิลแอลกอฮอล์ สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 วัน



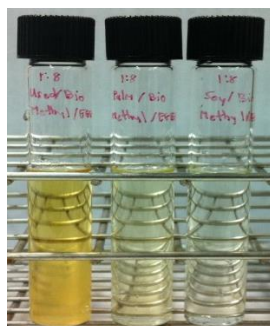
ภาพที่ ค - 12 จุดศูนย์กลางของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวเมทิลโอเลต สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 วัน



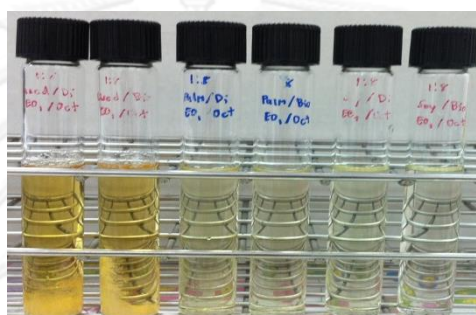
ภาพที่ ค - 13 จุดศูนย์กลางของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5 สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 วัน



ภาพที่ ค - 14 จุดศูนย์กลางของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวโอเลิลแอลกอฮอล์ สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 วัน



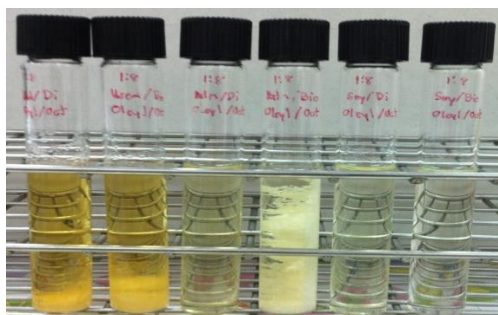
ภาพที่ ค - 15 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวเมทิลโอเลอิต สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 1 วัน



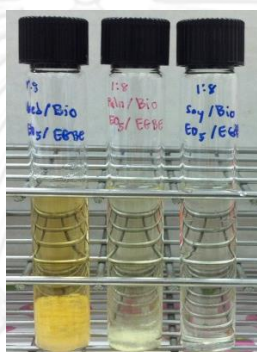
ภาพที่ ค - 16 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1 สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 วัน



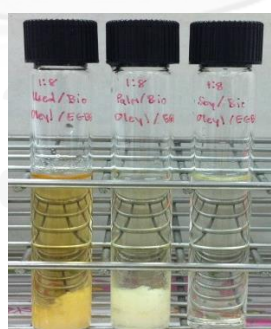
ภาพที่ ค - 17 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5 สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 วัน



ภาพที่ ค - 18 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวโอเลิลแอลกอฮอล์ สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 วัน



ภาพที่ ค - 19 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์ 5 สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 วัน



ภาพที่ ค - 20 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวโอเลิลแอลกอฮอล์ สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 วัน

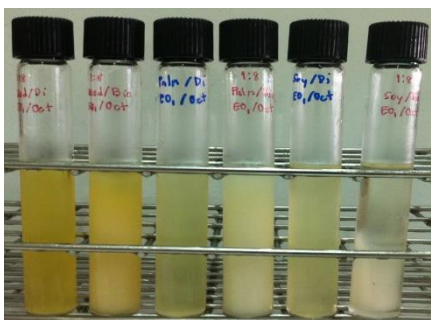


ภาพที่ ค - 21 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวเมทิลโอลิเอต สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 วัน

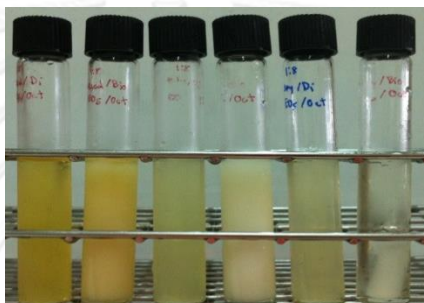


วิธีการทดลอง ค – 2      ขั้นตอนการศึกษาจุลเหทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

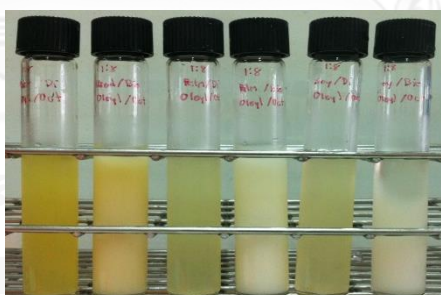
1. น้ำมันพืช (น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง) ผสมดีเซล และไบโอดีเซล อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 75%
2. สารลดแรงตึงผิว (ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 โอลิอีลแอลกอฮอล์ เมทิลโอเลเอต) และสารลดแรงตึงผิวร่วม (ออกทานอล และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์) อัตรา ส่วน 1:8 โดยปริมาตร ที่ปริมาตร 5%
3. เอทานอล ที่ปริมาตร 20%
4. นำข้อ 1 – 3 ผสมกันจนกลายเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
5. ใส่ น้ำแข็งลงถึงบรรจุ น้ำจุ่มเทอร์โมมิเตอร์เพื่อลดอุณหภูมิ เริ่มตั้งแต่ 9 องศาเซลเซียส และ คอยปรับลดอุณหภูมิตั้งที่ 3 องศาเซลเซียส ในการปรับลดอุณหภูมิตั้งถึงอุณหภูมิตดลบ ใช้เกลือสมุทรช่วย ทำการลดอุณหภูมิตั้ง -6 องศาเซลเซียส
6. สังเกตการไหลเทและบันทึกผลการทดลองของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
7. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ



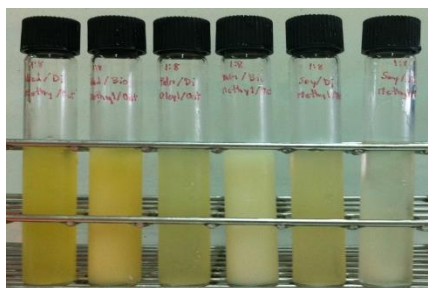
ภาพที่ ค - 22 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ -6 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ค - 23 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์5 สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ -6 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ค - 24 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวโอเลอิล แอลกอฮอล์ สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ -6 องศาเซลเซียส



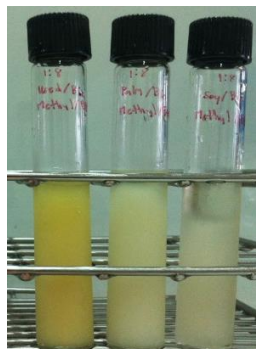
ภาพที่ ค - 25 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวเมทิลโอเลอิต สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ -6 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ค - 26 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์5 สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ -6 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ค - 27 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวโอเลอิล แอลกอฮอล์ สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ -6 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ค - 28 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวเมทิลโอเลต สารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ที่อุณหภูมิ -6 องศาเซลเซียส



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิธีการทดลอง ค – 3 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ประยุกต์จากการวิเคราะห์หาความชื้นจากอาหารสัตว์)

1. นำถ้วยอบตัวอย่างล้างสะอาดและแห้งอบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
2. นำถ้วยใส่โถดูดความชื้นและทิ้งให้เย็น ไม่เกิน 2 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่ง บันทึกน้ำหนักถ้วย
3. ชั่งตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในถ้วย บันทึกน้ำหนัก
4. นำเข้าตู้อบ โดยเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผสมดีเซล อบที่อุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส และเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผสมดีเซล อบที่อุณหภูมิ 93 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
5. นำถ้วยออกจากตู้อบ ใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็น ไม่เกิน 2 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก
6. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอย่างที่ ค – 2 การคำนวณค่าปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

น้ำหนักก่อน (เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน + ถ้วย) คือ 115.68 กรัม

น้ำหนักหลัง คือ 115.26 กรัม

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณน้ำ} &= [(\text{น้ำหนักก่อน} - \text{น้ำหนักหลัง}) / \text{น้ำหนักก่อน}] \times 100 \\
 &= [(115.68 - 115.26) / 115.68] \times 100 \\
 &= 0.37 \% \text{ โดยปริมาตร}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค - 3 ค่าปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	น้ำหนักก่อน ถ้วย + น้ำมัน (กรัม)			น้ำหนักหลัง (กรัม)			ปริมาณน้ำ (%ปริมาณ)			ค่าเฉลี่ย
	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	115.68	115.66	115.67	115.26	115.24	115.24	0.37	0.37	0.37	0.37
2	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	115.68	115.68	115.69	115.09	115.09	115.09	0.51	0.51	0.52	0.51
3	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	121.60	121.58	121.60	121.12	121.12	121.12	0.39	0.38	0.39	0.38
4	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	110.88	110.87	110.87	110.30	110.30	110.30	0.52	0.51	0.52	0.52
5	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	117.67	117.65	117.67	117.20	117.20	117.20	0.40	0.39	0.40	0.40
6	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	101.67	101.66	101.66	101.10	101.10	101.10	0.57	0.56	0.56	0.56
7	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	101.66	101.66	101.66	101.19	101.19	101.19	0.46	0.46	0.46	0.46
8	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	117.66	117.66	117.66	117.10	117.10	117.10	0.48	0.48	0.48	0.48
9	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	99.87	99.87	99.87	99.40	99.40	99.40	0.47	0.46	0.47	0.47
10	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	121.60	121.60	121.60	121.03	121.03	121.03	0.47	0.47	0.47	0.47
11	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	98.72	98.73	98.73	98.27	98.27	98.27	0.46	0.46	0.47	0.46
12	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	115.68	115.68	115.68	115.10	115.11	115.11	0.49	0.49	0.49	0.49
13	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	อีจีบีซี	เอทานอล 95%	99.86	99.86	99.86	99.21	99.21	99.21	0.66	0.66	0.66	0.66
14	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	อีจีบีซี	เอทานอล 95%	98.72	98.72	98.72	98.07	98.07	98.07	0.66	0.66	0.66	0.66
15	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทิลีนออกไซด์ 5	อีจีบีซี	เอทานอล 95%	101.66	101.66	101.66	101.01	101.01	101.01	0.63	0.63	0.63	0.63

วิธีการทดลอง ค – 4 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ประยุกต์จาก Physical – mechanical fuel properties and Significance and standard Determination methods EN 14775)

1. นำถั่วยอบตัวอย่างล้างสะอาดและแห้งอบที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
2. นำถั่วยอบใส่โถดูดความชื้นและทิ้งให้เย็น ไม่เกิน 2 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่ง บันทึกน้ำหนักถั่วยอบ
3. ชั่งตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในถั่วยอบ บันทึกน้ำหนัก
4. ให้ความร้อนเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันโดยการเผาให้หมดควัน
5. นำเข้าเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และหลังจากนั้นปล่อยให้เตาเผาเย็นลง นาน 2 ชั่วโมง
6. นำถั่วยอบออกจากเตาเผาใส่โถดูดความชื้นปล่อยให้เย็น ไม่เกิน 2 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก
7. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวอย่างที่ ค – 3 การคำนวณค่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

น้ำหนักก่อน (ถั่วยอบ) คือ 31.6960 กรัม

น้ำหนักก่อน (น้ำมัน) คือ 2.0074 กรัม

น้ำหนักหลังเผา คือ 31.7073 กรัม

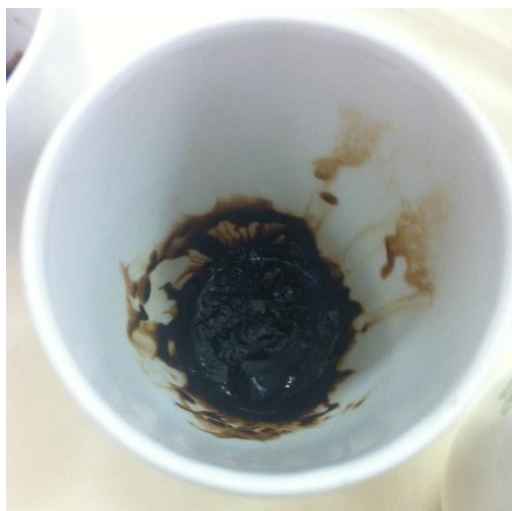
$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณเถ้า} &= \frac{[\text{น้ำหนักหลังเผา} - \text{น้ำหนักก่อนถั่วยอบ}] / \text{น้ำหนักก่อนน้ำมัน} \times 100}{100} \\
 &= \frac{[31.7073 - 31.6960] / 2.0074 \times 100}{100} \\
 &= 0.5629 \% \text{ โดยมวล}
 \end{aligned}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค - 4 ค่าปริมาณเก่าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	เอทานอล	น้ำหนักก่อน ถ้วย (กรัม)		น้ำหนักก่อน น้ำมัน (กรัม)		น้ำหนักหลัง (กรัม)		ปริมาณเก่า (%โดยมวล)		ค่าเฉลี่ย
	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
1	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	31.6960	31.6952	2.0074	2.0087	31.6972	31.6966	0.0598	0.0697	0.0647
2	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	45.4928	45.5026	2.0064	2.0075	45.4933	45.5032	0.0249	0.0299	0.0274
3	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	36.7462	36.7254	2.0059	2.0065	36.7474	36.7267	0.0598	0.0648	0.0623
4	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	29.5676	30.1565	2.0031	2.0042	29.5686	30.1574	0.0499	0.0449	0.0474
5	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	31.9320	31.8552	2.0052	2.0065	31.9331	31.8562	0.0549	0.0498	0.0523
6	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 1	ออกทานอล	เอทานอล 95%	32.3824	32.3763	2.0033	2.0054	32.3940	32.3881	0.5790	0.5884	0.5837
7	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	30.7806	30.7915	2.0097	2.0085	30.7817	30.7924	0.0547	0.0448	0.0498
8	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	30.8989	30.9082	2.0043	2.0054	30.9036	30.9125	0.2345	0.2144	0.2245
9	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	32.8117	32.7755	2.0025	2.0032	32.8214	32.7836	0.4844	0.4044	0.4444
10	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	30.2387	30.2185	2.0060	2.0068	30.2408	30.2212	0.1047	0.1345	0.1196
11	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	30.1413	30.1648	2.0025	2.0031	30.1504	30.1744	0.4544	0.4793	0.4668
12	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 5	ออกทานอล	เอทานอล 95%	30.6799	30.7025	2.0050	2.0055	30.6883	30.7111	0.4190	0.4288	0.4239
13	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 5	อีจีพีซี	เอทานอล 95%	29.6863	29.6947	2.0024	2.0030	29.7887	29.7974	5.1139	5.1273	5.1206
14	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 5	อีจีพีซี	เอทานอล 95%	27.0671	27.0655	2.0058	2.0061	27.1481	27.1505	4.0383	4.2371	4.1377
15	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีโซดอลเอทีเอสออกไซด์ 5	อีจีพีซี	เอทานอล 95%	30.3789	30.3543	2.0052	2.0073	30.4420	30.4330	3.1468	3.9207	3.5338





ภาพที่ ค - 29 ปริมาณเก่าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันก่อนเข้าเตาเผา



ภาพที่ ค - 30 ปริมาณเก่าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันหลังเข้าเตาเผา  
ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง

วิธีการทดลอง ค – 5 ขั้นตอนการศึกษาค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. ผสมไดเอทิลอีเทอร์ 25 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 25 มิลลิลิตร ให้เป็นตัวทำละลายผสม
2. เติมฟีนอล์ฟทาลีน 0.5 มิลลิลิตร
3. ไทเทรตตัวทำละลายผสมให้เป็นกลางด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์
4. ชั่งตัวอย่างน้ำมันประมาณ 2 กรัม
5. ละลายน้ำมันตัวอย่างในตัวทำละลายผสม
6. ไทเทรตด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์
7. ไทเทรตจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู
8. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

ตัวอย่างที่ ค – 4 การคำนวณค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน


น้ำหนักน้ำมัน คือ 2.0021 กรัม

ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ คือ 0.30 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าความเป็นกรด} &= (\text{ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้} \times 5.61) / \text{น้ำหนักน้ำมัน} \\
 &= (0.30 \times 5.61) / 2.0021 \\
 &= 0.84 \text{ มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัมไขมัน}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ค - 5 ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่าง	น้ำมัน		สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เอทานอล	น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)			ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มิลลิลิตร)			ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ / กรัมไขมัน)			ค่าเฉลี่ย
	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล				ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	2.0021	2.0047	2.0032	0.30	0.30	0.30	0.84	0.84	0.84	0.84
2	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	2.0013	2.0012	2.0015	0.30	0.30	0.30	0.84	0.84	0.84	0.84
3	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	2.0013	2.0017	2.0022	0.30	0.30	0.30	0.84	0.84	0.84	0.84
4	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	2.0009	2.0005	2.0014	0.30	0.30	0.30	0.84	0.84	0.84	0.84
5	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	2.0015	2.0010	2.0028	0.20	0.20	0.20	0.56	0.56	0.56	0.56
6	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	2.0006	2.0003	2.0012	0.30	0.30	0.30	0.84	0.84	0.84	0.84
7	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	2.0006	2.0015	2.0025	0.40	0.30	0.30	1.12	0.84	0.84	0.93
8	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	2.0005	2.0006	2.0009	0.30	0.30	0.30	0.84	0.84	0.84	0.84
9	น้ำมันปาล์ม	ดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	2.0010	2.0024	2.0033	0.30	0.35	0.35	0.84	0.98	0.98	0.93
10	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	2.0010	2.0024	2.0041	0.40	0.30	0.30	1.12	0.84	0.84	0.93
11	น้ำมันถั่วเหลือง	ดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	2.0017	2.0015	2.0013	0.20	0.25	0.25	0.56	0.70	0.70	0.65
12	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ออกทานอล	เอทานอล 95%	2.0008	2.0014	2.0025	0.30	0.30	0.30	0.84	0.84	0.84	0.84
13	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ซีจีพี	เอทานอล 95%	2.0009	2.0001	2.0005	0.50	0.40	0.50	1.40	1.12	1.40	1.31
14	น้ำมันปาล์ม	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ซีจีพี	เอทานอล 95%	2.0013	2.0010	2.0022	0.50	0.40	0.50	1.40	1.40	1.12	1.21
15	น้ำมันถั่วเหลือง	ไบโอดีเซล	ดีไฮดรอเจนที่สังเคราะห์	ซีจีพี	เอทานอล 95%	2.0008	2.0007	2.0003	0.40	0.40	0.40	1.12	1.12	1.12	1.12



ภาคผนวก ง  
ประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ง – 1 การปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ก๊าซไอเสีย	ดีเซล 100%		น้ำมันปาล์มใช้แล้ว ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันถั่วเหลือง ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว ไบโอดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันถั่วเหลือง ไบโอดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2						
CO (ppm)	418	414	494	564	530	469	521	-
ค่าเฉลี่ย	416		-	-	-	-	-	-
ค่าเบี่ยงเบน	77.9966		-	-	-	-	-	-
NOx (ppm)	673	670	617	720	642	604	587	-
ค่าเฉลี่ย	672		-	-	-	-	-	-
ค่าเบี่ยงเบน	23.0188		-	-	-	-	-	-


หมายเหตุ : น้ำมันถั่วเหลือง ไบโอดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95% ไม่สามารถวัดปริมาณก๊าซไอเสียได้ เนื่องจากเครื่องยนต์เบาและดับลง ทำให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ไม่ถึง 1,800 รอบต่อนาที

ตารางที่ ง – 2 อุณหภูมิเชื้อเพลิงเมื่อมีการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ก๊าซไอเสีย	ดีเซล 100%			น้ำมันปาล์มใช้แล้ว ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันถั่วเหลือง ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว ไบโอดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันถั่วเหลือง ไบโอดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3						
อุณหภูมิ	232.1	234.1	232.8	227.2	256.7	225.5	236	235.4	-
ค่าเฉลี่ย	233			-	-	-	-	-	-
ค่าเบี่ยงเบน	0.9077			-	-	-	-	-	-

ตารางที่ ง – 3 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเมื่อทดสอบก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์

การใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ (มิลลิลิตร)	ดีเซล 100%	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันถั่วเหลือง ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันปาล์มใช้แล้ว ไบโอดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันปาล์ม ดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%	น้ำมันถั่วเหลือง ไบโอดีเซล ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1 ออกทานอล เอทานอล95%
น้ำหนักก่อน	500	500	500	500	500	500	-
น้ำหนักหลัง	313	295	280	295	279	275	-
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง	187	205	220	205	221	225	-



ภาคผนวก จ  
ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการเตรียมไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืช

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ จ -1 ประมาณการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืช

สารเคมีและอุปกรณ์	หน่วย	ค่าใช้จ่าย (บาท)	หน่วยที่ใช้ใน งานวิจัย	ค่าใช้จ่าย (บาท)
น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	ขอความอนุเคราะห์จากร้านข้าวเหนียวไก่ทอดอักษรฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย			
น้ำมันปาล์ม	1 ลิตร	42	25 ลิตร	1,050
น้ำมันถั่วเหลือง	1 ลิตร	55	25 ลิตร	1,375
น้ำมันดีเซล	1 ลิตร	29.99	30 ลิตร	900
น้ำมันไบโอดีเซล	ขอความอนุเคราะห์จาก บริษัท วีระสุวรรณ จำกัด			
Ethyl alcohol เกรดการค้า	1 ลิตร	70	20 ลิตร	1,400
สารลดแรงตึงผิว				
- Oleyl alcohol	1.5 ลิตร	1,590	1.5 ลิตร	1,590
- Methyl oleate	1.5 ลิตร	1,880	1.5 ลิตร	1,880
- Dehydol LS1 TH - Dehydol LS5 TH	ขอความอนุเคราะห์จาก บริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด			
สารลดแรงตึงผิวรวม				
- 1-Octanol	1 ลิตร	2,050	2 ลิตร	4,100
- Ethylene glycol butyl ether	1 ลิตร	960	1 ลิตร	960
เครื่องยนต์	1 เครื่อง	50,000	1 เครื่อง	50,000
พู่เล่	1 อัน	950	1 อัน	950
หลอดไฟ 200 วัตต์	1 ดวง	50	7 ดวง	350
หลอดไฟ 100 วัตต์	1 ดวง	21	5 ดวง	105
หลอดไฟ 60 วัตต์	1 ดวง	18	2 ดวง	36
<b>ค่าใช้จ่ายโดยรวม</b>				<b>64,696</b>

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศิริณี เพ็งปรีชา เกิดเมื่อวันที่ 11 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2554

ผลงานวิจัยส่วนหนึ่งจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เผยแพร่ในงานประชุม International Conference on Advances In Civil, Structural, Environmental and Bio-Technology จัดที่ โรงแรม G Tower เมืองกัวลาลัมเปอร์ ประเทศมาเลเซีย ในชื่อหัวข้อ Microemulsion Fuels from Vegetable Oil Based Renewable Resource Using Mixed Nonionic Surfactant and Cosurfactant Systems. วันที่ 8 – 9 มีนาคม 2557



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**