

ผลของไกลคอลอีเทอร์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน



นางสาวศศิวิมล วิชาติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effect of glycol ether on fuel properties of micromulsion-base biofuel from palm oil

Miss Sasiwimon Wichadee



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 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของไกลคอลอีเทอร์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ จากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน
โดย	นางสาวศศิวิมล วิชาดี
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เขาวกิจเจริญ)

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

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปฏิภาณ ปัญญาพลกุล)

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

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

ศศิวิมล วิชาติ : ผลของไกลคอลอีเทอร์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม โดยวิธีไมโครอิมัลชัน (Effect of glycol ether on fuel properties of micromulsion-base biofuel from palm oil) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.สุธา ขาวเจียร, 182 หน้า.

จากวิกฤตการณ์ด้านพลังงานส่งผลให้ทรัพยากรด้านปิโตรเลียมลดลงและราคามีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคต จึงได้มีการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อเป็นพลังงานทดแทน ซึ่งน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันจากพืชที่นิยมนำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพมากที่สุด อย่างไรก็ตามน้ำมันพืชมีความหนืดสูงจึงต้องมีการลดความหนืดก่อนนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล วิธีไมโครอิมัลชันเป็นวิธีหนึ่งในการลดความหนืดของน้ำมันพืชโดยการผสมน้ำมันพืชกับเอทานอลร่วมกับสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำวิธีไมโครอิมัลชันมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยศึกษาผลของการใช้สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง ซึ่งใช้น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง และเอทานอล ในปริมาณร้อยละ 60 20 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ สารเติมแต่งที่ใช้ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ ไตรโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ และเอทิลอะซิเตท ผลการศึกษาพบว่า การเติมสารเติมแต่งสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันได้ อีกทั้งการเติมสารเติมแต่งทุกชนิดที่อัตราส่วน 1:3:5 มีผลทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดลดลง อัตราส่วนของสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพแปรผกผันกับค่าความหนืด นอกจากนี้สารเติมแต่งยังช่วยลดอุณหภูมิของจุดขุ่นและจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพอีกด้วย ส่วนเขม่าในรูปปริมาณแถ้าและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไม่เป็นไปตามมาตรฐาน จากการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งชนิด ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์และเอทิลอะซิเตท มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซล ดังนั้นจึงสามารถนำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำการเติมสารเติมแต่งมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกได้

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5570392321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: BIOFUEL / MICROEMULSION FUEL / ADDITIVE / GLYCOL ETHER

SASIWIMON WICHADEE: Effect of glycol ether on fuel properties of micromulsion-base biofuel from palm oil. ADVISOR: ASSOC. PROF. SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., 182 pp.

Depletion of petroleum resources lead to the increasing energy price and the need for renewable energy development. Direct use of vegetable oils in the engine is usually limited because of the high viscosity of the oils. Microemulsion is one of the methods that can be used to reduce the viscosity of vegetable oils. Microemulsion biofuel is the mixture of vegetable oils and ethanol in the present of surfactants and co-surfactants. This research study the effect of the addition of glycol ethers, fuel additives, on the properties of microemulsion based biofuel from palm oil. Vegetable oils blend with diesel at a ratio of 50:50 (v/v), surfactant, cosurfactant mixed with additives and ethanol volume of 60 20 and 20 percent by volume respectively. 5 additives, Ethylene glycol butyl ether, Diethylene glycol ethyl ether, Propylene glycol ethyl ether, Dipropylene glycol methyl ether and Ethyl acetate were used in the study. The results show that the addition of glycol ether can improve the properties of microemulsion based biofuel. These additives at ratio 1:3:5 can improve the properties of the biofuel by decreasing the viscosity, and decreasing pour point and cloud point. Ash content and gross heat of combustion were not met standard. According to the exhaust emissions study, it is found that carbon monoxide emissions and nitrogen oxide emissions released from biofuel derived from additives, Diethylene glycol ethyl ether and Ethyl acetate were met the diesel standard. Therefore, it is possible to produce biofuel with microemulsion containing additives as an alternative energy.

Department: Environmental
Engineering

Student's Signature

Advisor's Signature

Field of Study: Environmental
Engineering

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัยนี้ ข้อคิดต่างๆตลอดจนการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ปัญญาพลกุล รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรรัฐ โอสถา พันธุ์ และดร.เขาวลิต เสนานุรักษ์วรกุล ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำแนะนำ แก่ในงานวิจัย ตรวจสอบความถูกต้องความเหมาะสมของเนื้อหาวิทยานิพนธ์ในด้านต่างๆ เพื่อปรับปรุงแก้ไขให้วิทยานิพนธ์มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.อัมพิรา เจริญแสง และ ดร.นवलกมล อารมณ์พงษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการและความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ พี่รามนรี เนตรวิเชียร ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่างๆในการใช้เครื่องมือต่างๆ ในดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับสารลดแรงตึงผิว ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1 ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท ยูไนเต็ต แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือข้าพเจ้าทุกอย่าง

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา เป็นอย่างสูง สำหรับกำลังใจ ให้การสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาแนะนำต่างๆจนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel).....	5
2.2 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืช.....	6
2.2.1 การใช้น้ำมันพืชโดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล (Direct use and blending).....	6
2.2.2 ไพโรไลซิส (pyrolysis).....	7
2.2.3 ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)	7
2.2.4 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)	8
2.3 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (Microemulsion fuel).....	8
2.3.1 ชนิดของอิมัลชัน.....	9
2.3.2 กลไกการเกิดอิมัลชัน.....	11

2.3.3	ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชัน.....	11
2.4	แผนภูมิสามเหลี่ยม (Tertiary Phase Diagram).....	12
2.5	สารลดแรงตึงผิว (Surfactant).....	13
2.5.1	สารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Anionic surfactant).....	14
2.5.2	สารลดแรงตึงผิวประจุบวก (Cationic surfactant).....	14
2.5.3	สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ (Nonionic surfactant).....	14
2.5.4	สารลดแรงตึงผิวมีประจุและไม่มีประจุ (Amphoteric surfactant).....	15
2.6	เอทิลีนออกไซด์ (Ethylene Oxide, EO).....	16
	งานวิจัยนี้ใช้สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ (Nonionic surfactant).....	16
2.7	สารลดแรงตึงผิวร่วม (Cosurfactant).....	17
2.8	เอทานอล (Ethanol).....	17
2.8.1	กระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical Synthesis).....	18
2.8.2	กระบวนการทางชีวเคมีหรือการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ (Yeast Fermentation)	18
2.9	น้ำมันพืช (Vegetable oil).....	18
2.9.1	กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid; SFA).....	19
2.9.2	กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid; USFA).....	19
2.10	น้ำมันปาล์ม (Palm oil).....	22
2.10.1	ส่วนที่ได้จากเปลือกหุ้มด้านนอกปาล์มหรือได้จากเส้นใยข้างนอกผลปาล์ม (Mesocarp).....	23
2.10.2	ส่วนที่ได้จากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (Palm Kernel).....	23
2.11	คุณสมบัติของเชื้อเพลิง (Fuel property) (ASTM D975, 2013)	24
2.11.1	ความหนาแน่น (density)	24
2.11.2	ความหนืด (viscosity)	24

2.11.3 จุดขุ่น (Cloud point).....	25
2.11.4 จุดไหลเท (Pour point).....	25
2.11.5 จุดวาบไฟ (Flash point).....	25
2.11.6 ค่าซีเทน (Cetane number).....	25
2.11.7 คาร์บอนตกค้าง (Carbon residue).....	26
2.11.8 ปริมาณน้ำ (Water content).....	26
2.11.9 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity).....	26
2.11.10 ปริมาณเถ้า (Ash content).....	26
2.11.11 ค่าความเป็นกรด (Acid number).....	26
2.11.12 ค่าความร้อน (Gross heat of combustion).....	27
2.12 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล.....	28
2.13 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel).....	28
2.14 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลแบ่งออกเป็น 2 วงจรการทำงาน.....	29
2.15 ไบโอดีเซล (Biodiesel).....	30
2.16 สารเติมแต่ง (Additive).....	31
2.17 ไกลคอลอีเทอร์ (Glycol ether).....	32
2.17.1 คุณสมบัติของเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์.....	32
2.17.2 คุณสมบัติของไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์.....	33
2.17.3 คุณสมบัติของโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์.....	34
2.17.4 คุณสมบัติของไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์.....	36
2.17.5 คุณสมบัติของเอทิลอะซิเตท.....	37
2.18 มลพิษหลักที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพ.....	38
2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39

บทที่ 3 แผนการทดลองและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	51
3.1 แผนการวิจัย.....	51
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	54
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	54
3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	54
3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	57
3.3.1 การทดลองช่วงที่ 1 : การเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน.....	57
3.3.2 การทดลองช่วงที่ 2 : ศึกษาวัฏภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	64
3.3.3 การทดลองช่วงที่ 3 : ศึกษาความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	66
3.3.4 การทดลองช่วงที่ 4 : การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	69
3.3.5 การทดลองช่วงที่ 5 : ศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	71
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	75
4.1 ผลการศึกษาวัฏภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	75
4.2 ผลการศึกษาค่าความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ (kinematic viscosity).....	77
4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	86
4.3.1 ความหนาแน่น (density).....	86
4.3.2 ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity).....	88
4.3.3 จุดขุ่น (Cloud point).....	91
4.3.4 จุดไหลเท (Pour point).....	94
4.3.5 ปริมาณน้ำ (Water content).....	98
4.3.6 เหม่าในรูปปริมาณเถ้า (Ash content).....	99
4.3.7 ค่าความร้อน (Gross heat of combustion).....	101

4.4 ศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	111
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะและความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	116
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	116
5.2 ข้อเสนอแนะ	118
รายการอ้างอิง	120
ภาคผนวก.....	125
ภาคผนวก ก	126
ภาคผนวก ข	130
ภาคผนวก ค	137
ภาคผนวก ง.....	140
ภาคผนวก จ	161
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	182



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 ลักษณะที่แตกต่างกันของอิมัลชันทั้งสองชนิด	9
ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติของเอทิลีนออกไซด์.....	16
ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	20
ตารางที่ 2-4 จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ	21
ตารางที่ 2-5 ปริมาณผลผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย.....	22
ตารางที่ 2-6 แสดงคุณสมบัติด้านต่างๆของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล	24
ตารางที่ 2-7 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM.....	28
ตารางที่ 2-8 คุณสมบัติของเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์.....	33
ตารางที่ 2-9 คุณสมบัติของไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์	34
ตารางที่ 2-10 คุณสมบัติของโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์	35
ตารางที่ 2-11 คุณสมบัติของไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์	36
ตารางที่ 2-12 คุณสมบัติของเอทิลอะซิเตท	37
ตารางที่ 2-13 สรุปงานวิจัยที่ผ่านมา (เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน).....	47
ตารางที่ 3-1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง	53
ตารางที่ 3-2 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม	55
ตารางที่ 3-3 คุณสมบัติทางกายภาพของสารเติมแต่ง (Additive).....	56
ตารางที่ 3-4 คุณสมบัติทางเคมีของสารเติมแต่ง (Additive).....	56
ตารางที่ 3-5 ตัวแปรที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชัน	58
ตารางที่ 3-6 แสดงตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน	60
ตารางที่ 3-7 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาวิฤภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	64
ตารางที่ 3-8 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ	67

ตารางที่ 3-9 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำการศึกษา	69
ตารางที่ 3-10 ข้อมูลของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	73
ตารางที่ 4-1 คุณสมบัติของสารแต่ละชนิดที่มีองค์ประกอบหลักในเชื้อเพลิงชีวภาพ	85
ตารางที่ 4-2 ผลการศึกษาจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	91



สารบัญภาพ

ภาพที่ 2-1 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์	7
ภาพที่ 2-2 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	8
ภาพที่ 2-3 แสดงการจัดเรียงไมโครอิมัลชันแบบอิมัลชันน้ำในน้ำมัน	10
ภาพที่ 2-4 แสดงการจัดเรียงไมโครอิมัลชันแบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำ.....	10
ภาพที่ 2-5 ประเภทของไมโครอิมัลชัน	12
ภาพที่ 2-6 กราฟแผนภูมิสามเหลี่ยม	13
ภาพที่ 2-7 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว	14
ภาพที่ 2-8 ลักษณะการเกิดไมเซลล์	15
ภาพที่ 2-9 โครงสร้างของน้ำมันพืช	19
ภาพที่ 2-10 ผลปาล์มน้ำมัน	23
ภาพที่ 2-11 หลักการทำงานเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ	29
ภาพที่ 2-12 หลักการทำงานเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ	30
ภาพที่ 2-13 โครงสร้างทางเคมีของเอทิลีนไกลคอลบิวทิลเอเทอร์.....	32
ภาพที่ 2-14 โครงสร้างทางเคมีของไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลเอเทอร์	34
ภาพที่ 2-15 โครงสร้างทางเคมีของโพรพิลีนไกลคอลเอทิลเอเทอร์	35
ภาพที่ 2-16 โครงสร้างทางเคมีของไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลเอเทอร์	36
ภาพที่ 2-17 โครงสร้างทางเคมีของเอทิลอะซิเตท	37
ภาพที่ 3-1 แสดงขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง	52
ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน	59
ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการการศึกษาวัฏภาคไมโครอิมัลชัน.....	65
ภาพที่ 3-4 เครื่อง Viscometer ชนิด Canon–Fenske.....	66

ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนการศึกษาความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ	68
ภาพที่ 3-6 ขั้นตอนการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	70
ภาพที่ 3-7 ลักษณะของเครื่องยนต์	71
ภาพที่ 3-8 การติดตั้งอุปกรณ์การปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	71
ภาพที่ 3-9 การวางหัววัด (PROBE) ของเครื่อง Gas Analyzer Testo 350-XL.....	72
ภาพที่ 3-10 ขั้นตอนการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	74
ภาพที่ 4-1 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) เตรียมจากสารเติมแต่งชนิดเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ในทุกสัดส่วน (ก) ใช้บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ข) ใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม	76
ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอลที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	77
ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส	78
ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	79
ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	80
ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	81
ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส	82
ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	83
ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	84

ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่ง ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	86
ภาพที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	87
ภาพที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	89
ภาพที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	90
ภาพที่ 4-14 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่สามารถไหลเทที่อุณหภูมิ -6 องศาเซลเซียส	98
ภาพที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล	99
ภาพที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล.....	100
ภาพที่ 4-17 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อัตราส่วน 1:3:5	101
ภาพที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล.....	102
ภาพที่ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล.....	103
ภาพที่ 4-20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งทั้ง 5 ชนิด.....	112
ภาพที่ 4-21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x) และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งทั้ง 5 ชนิด	113
ภาพที่ 4-22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสีย และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งทั้ง 5 ชนิด.....	114

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมส่งผลให้ทรัพยากรด้านปิโตรเลียมลดลงและราคามีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคต จึงได้มีการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อเป็นพลังงานทดแทน ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทดแทนทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้แก้ปัญหาพลังงานจากปิโตรเลียมที่กำลังจะหมดไป และในอนาคตเชื้อเพลิงชีวภาพจะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเพราะสามารถลดการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ ส่งเสริมพลังงานสะอาด และนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน (กาญจนา แสงลิมสุวรรณ, 2554) เชื้อเพลิงชีวภาพผลิตได้จากพืชและไขมันสัตว์ ซึ่งน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันจากพืชที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพมากที่สุดสำหรับประเทศไทยอีกทั้งน้ำมันปาล์มยังเป็นพืชที่มีศักยภาพในการให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงสุด แต่เนื่องด้วยน้ำมันปาล์มมีความหนืดสูงคือ 45.0 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาทีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส การใช้โดยตรงในเครื่องยนต์จะส่งผลให้เกิดการอุดตันที่หัวฉีดทำให้หัวฉีดฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยากจึงเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ น้ำมันพืชมีคุณสมบัติระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้าทำให้เกิดการจุดระเบิดได้ยากทำให้เกิดคราบเขม่าเกาะบริเวณหัวฉีด (นคร ทิพยาวงศ์, 2553) จึงจำเป็นต้องมีการลดความหนืดก่อนจะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล วิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืชมี 4 วิธีได้แก่ การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลโดยตรง (Direct use and blending) วิธีไพโรไลซิส (Pyrolysis) วิธีทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Tranesterification) และวิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีไมโครอิมัลชัน ซึ่งเป็นวิธีการที่น่าสนใจ ไมโครอิมัลชันเป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืชกับเอทานอล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืช สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ทำหน้าที่ผสมให้เอทานอลและน้ำมันพืชรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ข้อดีของวิธีไมโครอิมัลชัน คือ เป็นวิธีที่ผลิตง่ายไม่ซับซ้อน เชื้อเพลิงที่ได้มีการเผาไหม้สมบูรณ์ และเมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำลงทำให้เกิดควัน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และปริมาณฝุ่นละอองลดลง แต่มีข้อเสีย คือ ค่าความร้อนต่ำลงและค่าซีเทนต่ำลงดังนั้นจึงทำให้เกิดการจุดติดไฟที่เครื่องยนต์ช้า (Do และคณะ, 2011) งานวิจัยนี้สนใจทำการศึกษการใช้สารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มไกลคอลอีเทอร์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันได้แก่ ค่าความหนืด ค่าความร้อน ความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดชุน จุดไหลเท ปริมาณน้ำ เขม่า(วัดในรูปปริมาณเถ้า) การปล่อยก๊าซไอเสีย

ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันให้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง สารเติมแต่งที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) และเอทิลอะซิเตท (EA) เนื่องจากสารเติมแต่งแต่ละชนิดมีโครงสร้างและคุณสมบัติที่ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายร่วมเพื่อป้องกันการแยกวัฏภาค และมีคุณสมบัติทำให้จุดเยือกแข็งของของเหลวลดลง (Anti-freezing) เพื่อให้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ได้ อีกทั้งสารกลุ่มนี้ยังทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมได้อีกด้วย สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่ใช้ (Nonionic surfactant) คือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (EO1) เป็นตัวช่วยประสานให้สาร 2 ชนิดรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ (Co-surfactant) คือ บิวทานอล (1-Butanol) และออกทานอล (1-Octanol) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิว โดยจะทำการศึกษาความเข้มข้น ชนิดและโครงสร้างสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ที่มีต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มแล้วเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง มาตรฐานน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM (American Standard Testing Method)

เอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (EGEE) เป็นสารมีพิษจึงไม่ควรนำมาใช้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพราะทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยและเกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาครั้งนี้จึงใช้สารเติมแต่งชนิดเอทิลอะซิเตท (EA) มาทดแทน เนื่องจากงานวิจัยที่เคยทำการศึกษา (ธัญธร อิศราชีวะ, 2548) พบว่าเมื่อใช้เอทิลอะซิเตท (EA) เป็นสารเติมแต่งทำให้คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลขึ้นคือ สามารถลดความหนืดได้ และมีความเป็นพิษต่ำ อย่างไรก็ตามการนำเอทิลอะซิเตท (EA) มาใช้อาจเกิดผลระยะยาวในการนำไปใช้กับเครื่องยนต์เพราะทำให้เกิดการกัดกร่อน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของชนิดและโครงสร้างสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ชนิดต่างๆ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

1.2.4 เพื่อศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

การเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันได้แก่ ค่าความหนืด ค่าความร้อน ความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเท และการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เนื่องจากกลุ่มไกลคอลอีเทอร์เป็นสารเติมแต่งที่มีประสิทธิภาพมากกว่ากลุ่มอื่น โดยความเข้มข้น ชนิดและโครงสร้างของไกลคอลอีเทอร์จะส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดลดลงและปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียลดลง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิตั้ง ๓๐ องศาเซลเซียส คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

1.4.1 น้ำมันพืชที่ใช้ศึกษา คือ น้ำมันปาล์มที่ขายตามท้องตลาดทั่วไปซึ่งจะผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร (Attaphong และ Sabatini, 2012)

1.4.2 เอทานอล ACS reagent

1.4.3 สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic surfactant: S) ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 (EO1) สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ศึกษา (Co-surfactant: C) ได้แก่ บิวทานอล (1-Butanol) และออกทานอล (1-Octanol) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็น 1:8 โดยโมล (Arpornpong, 2013)

1.4.4 สารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มไกลคอลอีเทอร์ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) และเอทิลอะซิเตท (EA) ซึ่งใช้สารเติมแต่งกลุ่มนี้เพื่อสามารถปรับปรุงเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่งเป็น 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 (Arpornpong, 2013)

1.4.5 คุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ค่าความหนืด ค่าความร้อน ความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเท ปริมาณน้ำ และเขม่า (วัดในรูปปริมาณเถ้า) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง มาตรฐานน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM (American Standard Testing Method)

1.4.6 การปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อให้ได้แนวทางในการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากการเติมสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลลีเทอร์

1.5.2 เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกสารเติมแต่งที่คุณภาพดีมีความเหมาะสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากวิธีไมโครอิมัลชัน



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel) คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวล (Biomass) หรือสสารที่ได้จากสิ่งมีชีวิตได้แก่ พืชและสัตว์ พืชเป็นพลังงานชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยกลไกของธรรมชาติเรียกว่ากระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Process) โดยพืชจะเปลี่ยนพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานที่สะสมไว้ในรูปสารอินทรีย์เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืชเมื่อคนหรือสัตว์บริโภคพืชเหล่านั้นเป็นอาหารก็จะได้รับสารอินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายซึ่งเรียกสารอินทรีย์จากสิ่งมีชีวิตทั้งหลายว่าชีวมวล และเราสามารถนำสารอินทรีย์มาผ่านกระบวนการที่เหมาะสมก็จะสามารถเปลี่ยนชีวมวลเหล่านั้นให้เป็นพลังงานที่เกิดประโยชน์ได้ ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพแตกต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (ถ่านหินและปิโตรเลียม) คือ เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถฟื้นฟูหรือสร้างขึ้นใหม่เพื่อมาทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้และเชื้อเพลิงชีวภาพมีทั้งในสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ จึงง่ายต่อการนำไปใช้งาน จากนโยบายทางภาครัฐที่ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนต่างๆได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ชีวมวล ชยะ และเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยได้มีแผนพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทนระหว่างปี 2555-2564 ให้มีการใช้พลังงานทดแทนอย่างน้อยร้อยละ 25 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556)

ข้อดีของการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพคือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพทำให้ปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง จึงส่งผลให้ลดโอกาสในการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพจึงสามารถช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี

ประเภทของเชื้อเพลิงชีวภาพ มี 3 ประเภท ดังนี้

1. ของแข็ง ได้แก่ ไม้ ชีลื้อย ฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย มูลสัตว์ ถ่าน เขา เปลือกสัตว์หรือเปลือกพืช เช่น แกลบข้าว ฝ้าย ถั่วลิสง เป็นต้น
2. ของเหลว พลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพในรูปของเหลวแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้
 - ก) แอลกอฮอล์ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ มีสถานะเป็นของเหลวระเหยง่าย แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมี 2 ชนิด ได้แก่ เมทานอล และเอทานอล
 - ข) น้ำมันที่ได้จากพืชและสัตว์ได้แก่ น้ำมันพืชบริสุทธิ์ น้ำมันพืชใช้แล้ว ไชสัตว์ไปโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืช ไชสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว

ค) น้ำมันจากขยะโดยมีคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพคล้ายกับปิโตรเลียมสามารถสกัดจากขยะชีวมวลมาใช้งานได้

3. ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซมีเทนที่ได้จากการหมักมูลสัตว์หรือของเสียจากโรงเลี้ยงสัตว์ โดยมีการรวบรวมของเสียเหล่านี้ใส่ลงในถังหมักที่มีเชื้อจุลินทรีย์ ที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไร้อากาศ จุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ในของเสียและเกิดก๊าซมีเทนขึ้น ก๊าซมีเทนสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการปรุงอาหารและกระบวนการอื่นๆ ที่ต้องการใช้ความร้อน ส่วนของเหลือจากถังหมักเมื่อสะสมมากๆ ยังนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้อีกด้วย

2.2 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืช

น้ำมันพืชสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพทดแทนน้ำมันดีเซลได้ อย่างไรก็ตามน้ำมันพืชมีความหนืดสูงจึงจำเป็นต้องมีการลดความหนืดก่อนจะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล วิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืชมี 4 วิธีได้แก่ การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลโดยตรง (Direct use and blending) วิธีไพโรไลซิส (Pyrolysis) วิธีทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) และวิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

2.2.1 การใช้ น้ำมันพืชโดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล (Direct use and blending)

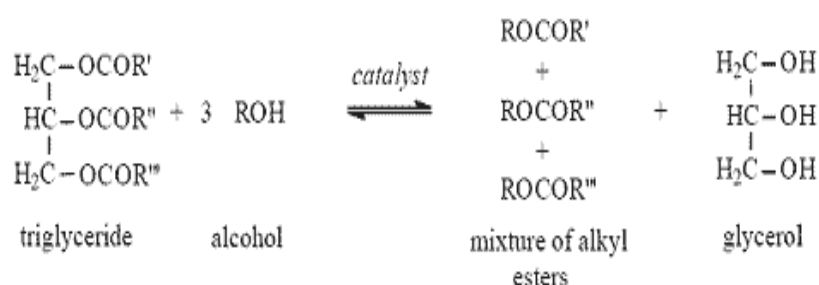
เป็นหนึ่งในวิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืชที่ง่ายที่สุดด้วยการใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ซึ่งวิธีนี้จะไม่มีการเปลี่ยนรูป ไม่มีการเติมสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม และสารเติมแต่ง ข้อเสียในการนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงคือ ค่าความหนืดที่ได้ยังคงสูงอยู่จึงทำให้หัวฉีดฉีดน้ำมันเป็นละอองได้ยากเกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด ดังนั้นจึงส่งผลให้การป้อนน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่หมดไป รวมทั้งทำให้ปั๊มหัวฉีดที่มีหน้าที่ระบบส่งน้ำมัน และวงแหวนสึกหรอ (นคร ทิพยาวงศ์, 2553) ถ้าสัดส่วนร้อยละ 10–20 ของน้ำมันพืชผสมกับดีเซลทำให้เครื่องยนต์ไม่มีปัญหา เมื่อป้อนน้ำมันเข้าไปในห้องเผาไหม้จะทำให้ น้ำมันบางส่วนไม่เกิดการเผาไหม้จึงเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามค่าความหนืดน้ำมันพืชยังคงสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 40 เท่า นอกจากนี้ที่สัดส่วนของน้ำมันพืชและน้ำมันดีเซล 1/1 โดยปริมาตรค่าความหนืดของน้ำมันพืชมากกว่าน้ำมันดีเซล 18 เท่า (Ma และ Hanna, 1999)

2.2.2 ไพโรไลซิส (pyrolysis)

เป็นปฏิกิริยาที่มีการสลายโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เล็กลงด้วยการใช้อุณหภูมิสูงสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนในการสลายไตรกลีเซอไรต์ได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นดังนี้ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน อัลเคน อัลคีน อัลคาไดอิน สารกลุ่มอะโรมาติกและกรดคาร์บอกซิลิก ข้อเสียของกระบวนการไพโรไลซิส คือ สูญเสียออกซิเจนไปพร้อมกับการใช้อุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีปริมาณออกซิเจนต่ำและกระบวนการนี้ได้ผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดจึงยากต่อการควบคุมปฏิกิริยาต่างๆได้แก่ ตะกอน เอสเทอร์ที่ไม่อิ่มตัว ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการแยกให้บริสุทธิ์ก่อน กระบวนการไพโรไลซิสทำให้มีค่าปริมาณน้ำ ปริมาณซัลเฟอร์และกากตะกอนยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ อย่างไรก็ตาม ปริมาณเถ้า กากคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้ และจุดไหลเทยังคงสูงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล จึงทำให้กระบวนการนี้จึงไม่เป็นที่ยอมรับ วัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส ได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันจากสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

2.2.3 ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการลดความหนืดน้ำมันพืช เกิดปฏิกิริยาระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์จะได้เอสเทอร์และกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าได้เร็วขึ้น ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรต์กับแอลกอฮอล์

(Ma และ Hanna, 1999)

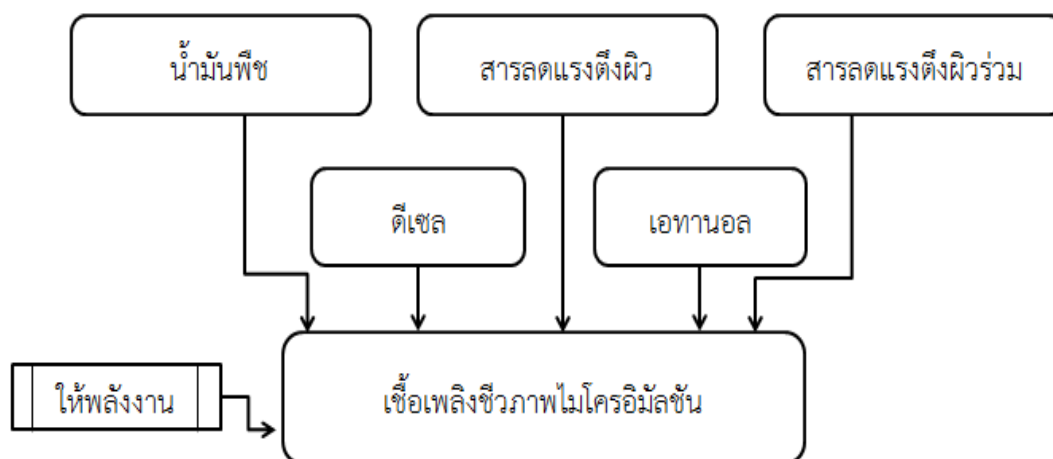
แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน คือ เมทานอลหรือเอทานอล แต่เมทานอลจะมีราคาที่ถูกกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้หลายแบบ และนิยมใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่าการใช้กรดเพราะการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำได้ที่อุณหภูมิและความดันต่ำ สามารถลดต้นทุนในด้านเศรษฐศาสตร์ ข้อเสียของวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชันคือการเกิดกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ มีจุดขุ่น (Cloud point) และ จุดไหลเท (Pour point) ที่ค่อนข้างสูง

2.2.4 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

การนำของเหลวสองชนิดที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันสามารถทำให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ด้วยการใช้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และสารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-surfactant) เป็นตัวประสานทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 150 นาโนเมตร ซึ่งสารที่ได้จะเป็นเนื้อเดียวและมีลักษณะใสมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

2.3 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (Microemulsion fuel)

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้กระบวนการไมโครอิมัลชันกับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการนี้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากต้นทุนในการผลิตต่ำแล้วยังเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวก ไม่ต้องมีการดัดแปลงเครื่องยนต์ก่อนนำมาใช้งานและไม่มีผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้ (นคร ทิพย์าวงศ์, 2553) วิธีไมโครอิมัลชันเป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืช สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืช ดังภาพที่ 2-2 แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือเมื่อนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่าการสะสมตัวของคราบที่เป็นสารประกอบคาร์บอนเกาะรอบๆ ที่หัวฉีดและวาล์วของเครื่องยนต์ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลงเล็กน้อย และค่าซีเทนต่ำ (Ma และ Hanna, 1999)



ภาพที่ 2-2 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (Attaphong และ Sabatini, 2012)

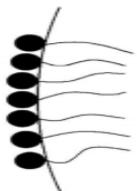
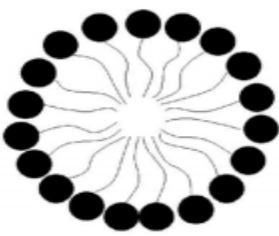
2.3.1 ชนิดของอิมัลชัน

2.3.1.1 แบ่งตามลักษณะภายนอกที่มองเห็น

ก) แมคโครอิมัลชัน คือ ลักษณะของอิมัลชันแบบขุ่นขาว อนุภาคของหยดอิมัลชันจะมีรัศมีภายในขนาดตั้งแต่ 0.25-10 ไมครอน (จะพบขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน) จึงเกิดความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างค่าดัชนีการหักเหแสงของวัฏภาคทั้งสอง ทำให้เกิดการกระจายแสงแล้วมองเห็นเป็นลักษณะขุ่นขาว แมคโครอิมัลชันแบ่งเป็นอิมัลชันเนื้อหยาบจะมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ และอิมัลชันเนื้อละเอียด อิมัลชันชนิดนี้พบมากในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร ยาต่างๆ และเครื่องสำอาง

ข) ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) ลักษณะของอิมัลชันชนิดนี้จะโปร่งใสเพราะอนุภาคของหยดอิมัลชันจะมีรัศมีภายในขนาดตั้งแต่ 1-150 นาโนเมตร ดังนั้นจึงไม่เกิดการหักเหของแสง แสงจึงทะลุผ่านได้ ทำให้มองดูโปร่งใส หยดอิมัลชันของวัฏภาคภายในจะมีลักษณะกลมแล้วถูกล้อมรอบด้วยสารลดแรงตึงผิว มีทั้งอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำและน้ำในน้ำมัน แสดงลักษณะที่แตกต่างกันของอิมัลชันทั้งสองชนิดได้ดังตารางที่ 2-1

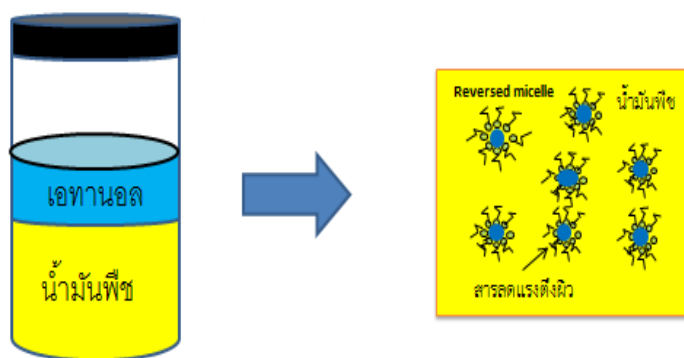
ตารางที่ 2-1 ลักษณะที่แตกต่างกันของอิมัลชันทั้งสองชนิด

อิมัลชัน	ไมโครอิมัลชัน
<ul style="list-style-type: none"> - หยดของอิมัลชันมีลักษณะที่ไม่เสถียร - ขนาดค่อนข้างใหญ่ 1-10 มิลลิเมตร - ระบบค่อนข้างคงที่ - หยดของอิมัลชันที่มีพื้นผิวของวัฏภาคภายในขนาดใหญ่จึงต้องการสารลดแรงตึงผิว - สารลดแรงตึงผิวมีความโค้งน้อย 	<ul style="list-style-type: none"> - หยดของอิมัลชันมีลักษณะที่เสถียร - เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานานไม่เกิดการแยกชั้น - หยดของอิมัลชันมีอนุภาคขนาดเล็ก 10 นาโนเมตร - อิมัลชันชนิดนี้ต้องใช้พลังงานมาก - พื้นผิวของวัฏภาคภายในมีมาก ดังนั้นจึงต้องการสารลดแรงตึงผิวปริมาณมาก
	

ที่มา: (Lif และ Holmberg, 2006)

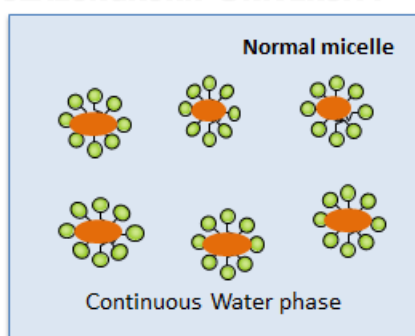
2.3.1.2 แบ่งตามชนิดของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในและภายนอก

ก) อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in oil emulsion, W/O emulsion) อิมัลชันชนิดนี้มีวัฏภาคภายในคือน้ำ ส่วนวัฏภาคภายนอกคือน้ำมัน แสดงดังภาพที่ 2-3 สารลดแรงตึงผิวส่วนหัวมีขั้วมีความชอบน้ำจะอยู่ด้านใน ส่วนหางที่ไม่มีขั้วมีความชอบน้ำมันจะอยู่ด้านนอก เป็นโครงสร้างลักษณะที่เรียกว่า “รีเวอร์สไมเซลล์” (reverse micelle)



ภาพที่ 2-3 แสดงการจัดเรียงไมโครอิมัลชันแบบอิมัลชันน้ำในน้ำมัน (Arpornpong, 2013)

ข) อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion, O/W emulsion) อิมัลชันชนิดนี้มีหยดของวัฏภาคภายในคือน้ำมัน วัฏภาคภายนอกคือน้ำ เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวลงในตัวทำละลาย สารลดแรงตึงผิวส่วนหัวมีขั้วที่ชอบน้ำจะหันออกสู่ด้านนอก ส่วนหางที่ไม่มีขั้วที่ชอบน้ำมันจะอยู่ด้านใน แสดงดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 แสดงการจัดเรียงไมโครอิมัลชันแบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำ (Arpornpong, 2013)

ค) อิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple emulsion) อิมัลชันชนิดนี้มีวิวัฒนาการภายในที่ซับซ้อน ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน เช่น (น้ำในน้ำมันในน้ำ) หรือ (น้ำมันในน้ำในน้ำมัน) อิมัลชันชนิดสามารถกลับมาเป็นอิมัลชันแบบเดิมได้ เช่น (น้ำ/น้ำมัน/น้ำ) มีวิวัฒนาการภายนอกคือน้ำและมีวิวัฒนาการภายในคือน้ำมัน เมื่อเป็นอิมัลชันธรรมดาจะเป็นชนิดน้ำมันในน้ำ อิมัลชันเชิงซ้อนพบมากในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

2.3.2 กลไกการเกิดอิมัลชัน

โดยทั่วไปของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวนำมาผสมกันจะเกิดการแยกเป็นชั้นเพราะมีแรงตึงผิวเกิดขึ้นระหว่างของเหลว (ปรีชา สุนทรเรืองยศ, 2540) เมื่อให้พลังงานกับระบบด้วยการเขย่าทำให้วิวัฒนาการภายในมีพื้นที่ผิวมากขึ้นเกิดการกระจายตัวในลักษณะของหยดเล็กๆ แต่ของเหลวจะมีความเข้ากันได้อย่างชั่วคราวซึ่งจะไม่มีเสถียรและเมื่อไม่มีการให้พลังงานของเหลวจะเกิดการแยกชั้นขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีที่ทำให้ของเหลวสองชนิดสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้คือการใช้สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวนั้นจะไปทำให้ค่าแรงตึงระหว่างผิวของของเหลวลดลง นอกจากนี้อาจมีการใส่สารลดแรงตึงผิวร่วมเพื่อทำหน้าที่ช่วยประสานให้ของเหลวสองชนิดรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น สรุปคือของเหลวสองชนิดมีความเสถียรมากขึ้น ไม่เกิดการแยกชั้นได้ด้วยการใช้ตัวทำอิมัลชัน(สารลดแรงตึงผิว) ก่อนเขย่า

2.3.3 ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชัน

การเกิดไมโครอิมัลชันมี 4 แบบคือ

2.3.3.1 Winsor type I (oil in water, O/W) การเกิดไมโครอิมัลชันแบบนี้เกิดจากการที่สารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ในชั้นน้ำโดยที่โมเลกุลของน้ำมันบางส่วนเข้าไปอยู่ในชั้นน้ำ (ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชันแบบหยดน้ำมันในน้ำ) ใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB สูง (HLB>7) เรียกว่า ไมเซลล์ (micelle)

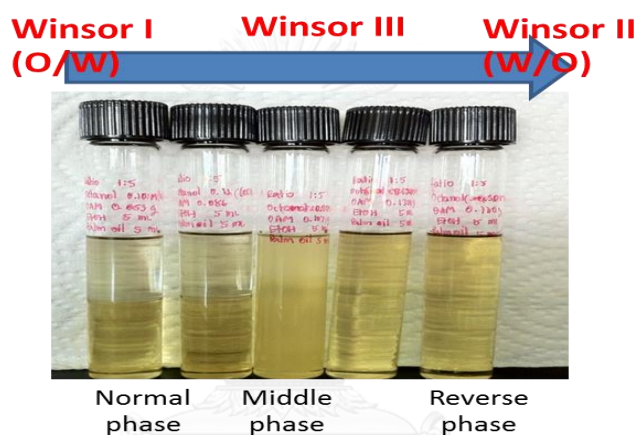
2.3.3.2 Winsor type II (water in oil, W/O) การเกิดไมโครอิมัลชันแบบนี้เกิดจากการที่สารลดแรงตึงผิวละลายอยู่ในชั้นน้ำมันโดยที่โมเลกุลของน้ำบางส่วนเข้าไปอยู่ในชั้นน้ำมัน (ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชันแบบหยดน้ำในน้ำมัน) ใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB ต่ำ (HLB<7) เรียกว่า รีเวิร์สไมเซลล์ (reversemicelle)

2.3.3.3 Winsor type III (middle phase) การเกิดไมโครอิมัลชันแบบนี้จะเกิดขึ้นกลางของชั้นน้ำและชั้นน้ำมันขึ้น เพราะโมเลกุลของน้ำและน้ำมันมีค่าแรงตึงผิวลดลงจึงต่างเข้า

ไปอยู่ในชั้นกลาง ซึ่งชั้นนี้ก็มีสารลดแรงตึงผิวอยู่มากที่สุด (ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชันแบบที่มี 3 ชั้น คือ น้ำมัน น้ำ และเฟสของไมโครอิมัลชันอยู่ตรงกลาง) เกิดในระบบที่มีค่า HLB เริ่มลดลง

2.3.3.4 Winsor type VI การเกิดไมโครอิมัลชันแบบนี้เกิดจากโมเลกุลของน้ำ และน้ำมันถูกล้อมรอบด้วยตัวทำอิมัลชันหรือสารลดแรงตึงผิวในลักษณะที่ไม่เกิดการแยกชั้นเกิดขึ้น ซึ่งลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชันแบบที่มีความหนืดขึ้น (ปรีชา สุนทรเรืองยศ, 2540)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน จะพิจารณา winsor type II เพราะมีลักษณะใส เป็นเนื้อเดียวกันเมื่อพิจารณาด้วยตาเปล่า ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 ประเภทของไมโครอิมัลชัน

(วราภรณ์ ว่องไวพิจารณาณ์ และ วริศรา ต้นดิวังค์, 2555)

2.4 แผนภูมิสามเหลี่ยม (Tertiary Phase Diagram)

แผนภูมิสามเหลี่ยมแสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วนสารต่อการเปลี่ยนแปลงวัฏภาค ประกอบไปด้วย 3 แกน ดังนี้

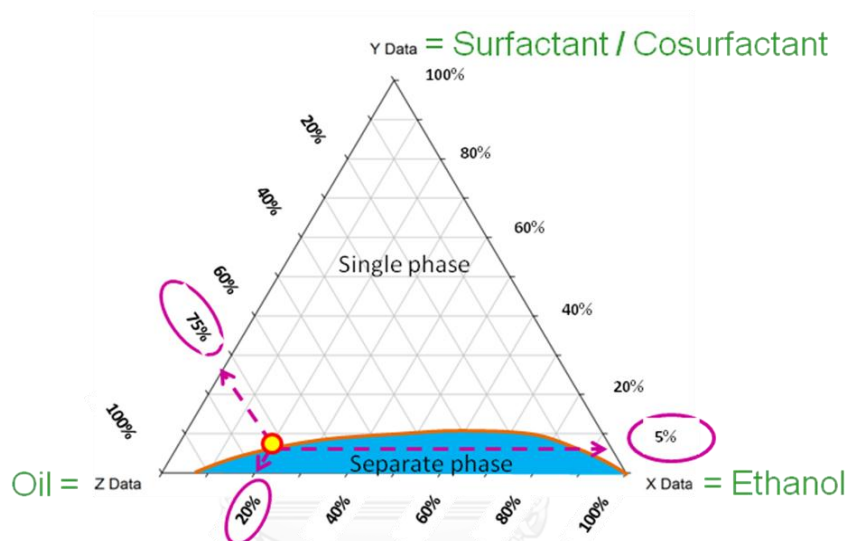
แกน X คือ สัดส่วนของเอทานอล

แกน Y คือ สัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม

แกน Z คือ น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันพืช

จากภาพที่ 2-6 พบว่าแกนแนวนอน 2 ด้าน (X และ Z) และแกนแนวตั้ง (Y) ค่าที่นำมาคิดเป็น สัดส่วนของร้อยละ (Dantas และคณะ, 2001) เมื่อนำค่าในแกน X Y และ Z มารวมกันจะได้ค่าเท่ากับ 100 สรุปได้ว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการเกิดไมโครอิมัลชันเฟสเดียวคือปริมาณสัดส่วน

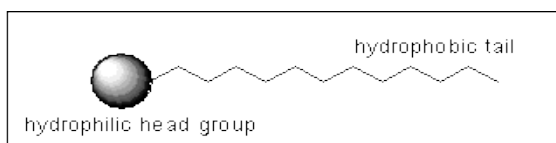
เอทานอลร้อยละ 20 สัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 5 และสัดส่วนของน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันพืชที่ร้อยละ 75 (Arpornpong, 2013) อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มีการนำสารเติมแต่งมาใช้เพื่อสามารถปรับปรุงเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมจึงได้เพิ่มสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่งเป็นร้อยละ 20 ดังนั้นจึงส่งผลให้คุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงชีวภาพมีความแตกต่างจากกรณีไม่เติมสารเติมแต่งอย่างชัดเจน โดยสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต้องไม่สูงกว่าร้อยละ 20 (Attaphong และ Sabatini, 2012) ดังภาพที่ ข-1 และ ข-2



ภาพที่ 2-6 กราฟแผนภูมิสามเหลี่ยม
(Arpornpong, 2013)

2.5 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิวเป็นสารประกอบมีคุณสมบัติที่สามารถเชื่อมรอยต่อระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคน้ำมันได้ ทำให้สารที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน สารลดแรงตึงผิวมีลักษณะที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนหัวเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) หรือกลุ่มที่มีขั้วสูง (high polar group) จะเกาะติดกับโมเลกุลของน้ำ ส่วนหางเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) หรือส่วนที่ไม่มีขั้ว (non polar group) มีลักษณะไฮโดรคาร์บอนสายยาว จะเกาะติดกับโมเลกุลของน้ำมัน คำว่า Surfactant มาจากคำว่า Surface active agent สารลดแรงตึงผิวเดิมมาจากภาษาเยอรมันชื่อว่า Tensid ตั้งโดยนักเคมีชาวเยอรมันใน ปี ค.ศ. 1960 ดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว (จุฑาธิป พลอยศรีมงคล, 2550)

ความสามารถในการละลายของสารลดแรงตึงผิวขึ้นอยู่กับค่า HLB (Hydrophile-Lipophile Balance) ซึ่งเป็นค่าสมดุลของส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ชอบน้ำมัน ค่านี้ถูกกำหนดขึ้นจากการศึกษาสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่มีประจุ ในการกระจายตัวในน้ำ โดยทั่วไปสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB สูง 8-18 จะละลายน้ำทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ดังนั้นสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB สูงขึ้น โมเลกุลจะมีส่วนที่ชอบน้ำมากขึ้นกระจายตัวในน้ำได้ดี ส่วนสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB ต่ำ 4-6 จะละลายน้ำไม่ดีทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB เท่ากับ 0 คือ สารที่ไม่โมเลกุลมีแต่ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ทั้งหมดและไม่ละลายในน้ำ สารลดแรงตึงผิวแบ่งเป็น 4 ชนิด แบ่งตามลักษณะส่วนที่มีขั้วหรือส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ได้แก่

2.5.1 สารลดแรงตึงผิวประจุลบ (Anionic surfactant)

เมื่อละลายน้ำเกิดการแตกตัวโดยส่วนที่มีขั้วจะให้ประจุลบ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปคาร์บอกซิเลต ซัลเฟต ซัลโฟเนต และฟอสเฟต พบมากกับอุตสาหกรรมผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับทำความสะอาด น้ำยาล้างจาน

2.5.2 สารลดแรงตึงผิวประจุบวก (Cationic surfactant)

เมื่อละลายน้ำเกิดการแตกตัวโดยส่วนที่มีขั้วจะให้ประจุบวก ส่วนมากมักจะเป็นพวกสารประกอบแอมโมเนียม สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้ไม่สามารถทำงานได้กับสภาพแวดล้อมที่ต่างสูงเกลือของแอมโมเนียมมีการสูญเสียประจุบวก ซึ่งจะเกิดการตกตะกอนได้ พบมากในผลิตภัณฑ์น้ำยาปรับผ้านุ่ม ครีมนวดผม

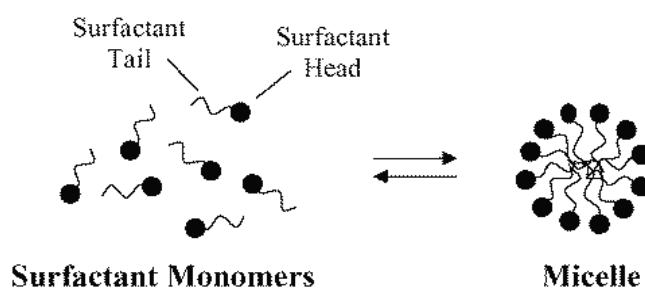
2.5.3 สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ (Nonionic surfactant)

สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ เพราะละลายลงในน้ำแล้วไม่เกิดการแตกตัว โดยมีพวกพอลิอีเทอร์หรือพอลิไฮดรอกซิล พบมากในอุตสาหกรรมผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน

2.5.4 สารลดแรงตึงผิวมีประจุและไม่มีประจุ (Amphoteric surfactant)

สารลดแรงตึงผิวชนิดนี้มีประจุบวกและลบในโมเลกุลเดียวกันขึ้นกับสภาพความเป็นกรดและต่างของสภาพแวดล้อม ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นด่างส่วนหัวแสดงประจุลบ ส่วนสภาพแวดล้อมเป็นกรดส่วนหัวแสดงประจุบวกและในสภาพเป็นกลางจะไม่มีเกิดการให้ประจุ พบมากในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิวหรือการแต่งทรงผม

จากสมบัติดังกล่าวข้างต้นของสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างแบบแอมฟิพาติก (amphipathic) คือ โมเลกุลมีทั้งส่วนชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ขชอบน้ำมัน (hydrophobic) ทำให้เมื่ออยู่ในตัวทำละลายแล้วสารลดแรงตึงผิวมาสะสมกันอยู่หน้าพื้นผิว (surface) ตัวทำละลายและทำให้แรงตึงผิวมีค่าลดลง สารลดแรงตึงผิวที่มีความเข้มข้นสูงในตัวทำละลายนั้นๆ สารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนที่ขชอบน้ำออกสู่ด้านนอก ส่วนที่ขชอบน้ำมันจะหันเข้าหากันด้วยแรงจับกันของสารลดแรงตึงผิว เป็นลักษณะที่เรียกว่าไมเซลล์ (micelle) แสดงดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 ลักษณะการเกิดไมเซลล์

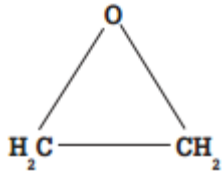
(Acosta และคณะ, 2007)

ดังนั้นความเข้มข้นที่ทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเกิดการรวมตัวกันจึงเป็นลักษณะเฉพาะของสารลดแรงตึงผิวที่เรียกว่า ค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ หรือ Critical micelle concentration (CMC) หากความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงขึ้น ค่าแรงตึงผิวของสารละลายจะลดต่ำจนถึงจุดวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลายจะสูงขึ้นอีกก็ตาม ค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ทำให้รู้ถึงประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิว ดังนั้นสารลดแรงตึงผิวมีค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์สูงหมายถึงต้องใช้ปริมาณความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิวมากเพื่อลดค่าแรงตึงผิว อย่างไรก็ตามถ้าใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ต่ำ ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวน้อยในการลดค่าแรงตึงผิว (พรชนก รัตนะรัตน์, 2550)

2.6 เอทิลีนออกไซด์ (Ethylene Oxide, EO)

งานวิจัยนี้ใช้สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) ชนิดเอทิลีนออกไซด์ (Ethylene Oxide, EO) เป็นสารไม่มีสีแต่มีกลิ่นเฉพาะตัว ติดไฟได้ เอทิลีนออกไซด์สามารถผลิตจากกระบวนการทางปิโตรเคมีหรือจากแอลกอฮอล์ไขมันซึ่งได้จากธรรมชาติ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุจะไม่เกิดการแตกตัวเมื่อละลายอยู่ในน้ำและมีความเป็นกลางไฟฟ้า คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ ethylene oxide แสดงดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติของเอทิลีนออกไซด์

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี	Ethylene Oxide (EO)
ชื่อเคมีทั่วไป	Ethylene Oxide, epoxyethane, dimethylene oxide, oxacyclopropane
ชื่อพ้องอื่นๆ	1, 2-epoxyethane
สูตรโมเลกุล (Molecular formula)	C ₂ H ₄ O
มวลโมเลกุล (Molecular weight)	44.05 กรัมต่อโมล
โครงสร้างโมเลกุล (Molecular structure)	
ความหนาแน่น (Density)	0.897 กรัมต่อมิลลิเมตร
จุดเดือด (Boiling point)	10.7 องศาเซลเซียส
จุดเยือกแข็ง (Freezing point)	-111.3 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิติดไฟได้เอง	428.9 องศาเซลเซียส
ลักษณะที่ปรากฏ (Appearance)	ของเหลวใส

ที่มา: (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2545)

ประโยชน์ของเอทิลีนออกไซด์มีดังนี้

1. เอทิลีนออกไซด์บริสุทธิ์ (Purified ethylene oxide) สังเคราะห์จากเอทิลีนออกไซด์ดิบบริสุทธิ์ เอทิลีนออกไซด์บริสุทธิ์ที่ใช้ในการผลิตแล้วได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังนี้ สบู่ ผงซักฟอก สารที่ใช้ทำความสะอาด สารกำจัดวัชพืชต่างๆและโฟมยูรีเทน

2. โมโนเอทิลีนไกลคอล (Monoethylene glycol) เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของเอทิลีนออกไซด์ โมโนเอทิลีนไกลคอลโดยทั่วไปใช้ผลิตเส้นใยโพลีเอสเตอร์และเม็ดพลาสติกต่างๆ นอกจากนี้แล้ว โมโนเอทิลีนไกลคอลสามารถนำไปใช้งานในสารละลายที่มีจุดเยือกแข็งต่ำ เช่น สารป้องกันการแข็งตัวของน้ำมันและสารจำพวกทำความสะอาด

3. ไดเอทิลีนไกลคอล (Diethylene glycol) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมาร่วมกับโมโนเอทิลีนไกลคอล โดยผ่านกระบวนการในการแปรรูปเอทิลีนออกไซด์ ไดเอทิลีนไกลคอลสามารถใช้อย่างกว้างขวางและนำมาผลิต โพลีออลโพลีเอสเตอร์ โพลีเอสเตอร์เรซินจำพวกไม่อิมิตัว เครื่องทำความร้อนต่างๆ สารเคลือบ สีและสารเคลือบพลาสติก สารเติมแต่งและใช้เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นกลางในการผลิตโพลีเอทิลีนไกลคอล

4. ไตรเอทิลีนไกลคอล (Triethylene glycol) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการในการผลิตเอทิลีนออกไซด์ ไตรเอทิลีนไกลคอลโดยทั่วไปสามารถใช้ในกระบวนการแยกไอน้ำจากก๊าซธรรมชาติ นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้งานในรูปแบบอื่นๆ เช่น สารฆ่าเชื้อในอากาศ เรซินสำหรับกระจกรถยนต์และใช้เป็นเคมีขั้นกลางสำหรับกระบวนการผลิตโพลีเอทิลีนไกลคอล

2.7 สารลดแรงตึงผิวร่วม (Cosurfactant) วิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารลดแรงตึงผิวร่วม (Cosurfactant) เป็นสารในกลุ่มแอลกอฮอล์มีหน้าที่ช่วยลดแรงตึงผิว ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดแรงตึงผิว เพิ่มค่าพลังงานเอนโทรปี (entropy) ของระบบ ไม่สามารถจัดเรียงตัวเป็นไมเซลล์ได้ ดังนั้นการใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น และมีหน้าที่ในการป้องกันการสร้างโครงสร้างที่เป็นของแข็ง เช่น เจล (gel) ผลึกเหลว (liquid crystals) และการตกตะกอน ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวร่วม เช่น ออกทานอล (Octanol) บิวทานอล (Butanol) เป็นต้น โดยทั่วไปสารลดแรงตึงผิวร่วมสามารถหาได้ง่ายและมีราคาถูกกว่าสารลดแรงตึงผิว

2.8 เอทานอล (Ethanol)

เอทานอล (ethanol) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl, OH) ต่ออยู่กับสายโซ่ของไฮโดรคาร์บอน สูตรเคมีคือ C_2H_5OH น้ำหนักโมเลกุล 46.07 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 0.789 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่

อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จุดเดือด 78.5 องศาเซลเซียส สามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำๆ จุดหลอมเหลว -114.1 องศาเซลเซียส คุณสมบัติของเอทานอลมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีความไวไฟ สามารถติดไฟง่าย ให้เปลวไฟสีน้ำเงินไม่มีควัน สามารถละลายได้ในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม (กุนฑิกา เวชกลาง และ ไพลิน แผนวิจิต, 2555) กระบวนการผลิตเอทานอลสามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

2.8.1 กระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical Synthesis)

ใช้เอทิลีนเป็นวัตถุดิบซึ่งเอทานอลที่ผลิตได้ด้วยวิธีนี้จะไม่สามารถบริโภคได้

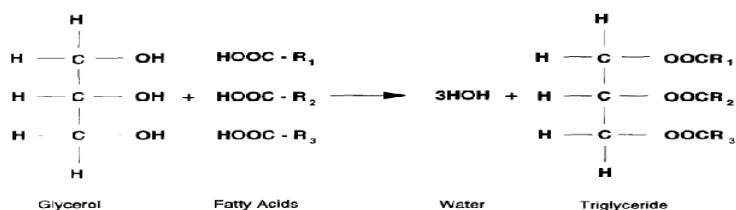
2.8.2 กระบวนการทางชีวเคมีหรือการหมักโดยใช้จุลินทรีย์ (Yeast Fermentation)

เป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมใช้อย่างแพร่หลาย วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเอทานอลสามารถเลือกใช้ได้หลากหลายชนิดแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ วัตถุดิบประเภทแป้ง เช่น ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มันสำปะหลัง มันเทศ มันฝรั่ง วัตถุดิบประเภทเส้นใย เช่น ชานอ้อย ชังข้าวโพด เศษไม้ ซี้เลื่อย วัตถุดิบประเภทน้ำตาล เช่น กากน้ำตาลและอ้อย กระบวนการนี้เปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลผ่านกระบวนการที่เรียกว่า ไกลโคไลซิส (Glycolysis)

ประโยชน์จากเอทานอลได้แก่ ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมสี ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรค เช่น ยาฆ่าเชื้อโรค ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ใช้ผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และใช้ผลิตอาหาร

2.9 น้ำมันพืช (Vegetable oil)

น้ำมันพืช (Vegetable oil) คือ น้ำมันที่ผลิตได้จากพืชหลากหลายชนิด ได้แก่ พืชน้ำมัน เช่น ปาล์ม ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ข้าวโพด พืชดอก เช่น ดอกคำฝอย ดอกทานตะวัน น้ำมันจากเมล็ดเรป ฝ้าย โดยทั่วไปกลีเซอรอลจำนวน 1 โมลทำปฏิกิริยากับกรดไขมันจำนวน 3 โมล ได้น้ำมัน 1 โมล เป็นผลิตภัณฑ์หลักเรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) โดยมีโครงสร้างทางเคมีดังนี้ คาร์บอนจำนวน 3 อะตอม ไฮโดรเจนจำนวน 5 อะตอมมาเกาะกับกรดไขมันโดยมีจำนวนคาร์บอนอะตอม 10 ถึง 30 ตัว มีกรดไขมันที่อยู่ในโครงสร้างร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืชดังภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 โครงสร้างของน้ำมันพืช (Ali และ Hanna, 1994)

กรดไขมัน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

2.9.1 กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid; SFA)

เป็นกรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวระหว่างคาร์บอน โดยทั่วไปกรดไขมันในน้ำมันพืช คือ กรดปาล์มมิติก (palmitic acid) รวมทั้งกรดสเตียริก (stearic acid) พบมากในน้ำมันมะพร้าว และน้ำมันในส่วนหางของเมล็ดปาล์ม

2.9.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid; USFA)

เป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่ยึดเหนี่ยวอะตอมของคาร์บอน โดยจำนวนอะตอมของคาร์บอนจะมีจำนวนน้อยกว่ากรดไขมันอิ่มตัวอยู่ 2 อะตอม โดยทั่วไปกรดไขมันในน้ำมันพืช คือ กรดโอเลอิก (oleic acid) อีกทั้งกรดไลโนเลอิก (linoleic acid) พบมากในน้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว น้ำมันเมล็ดงา น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วลิสง และน้ำมันเมล็ดฝ้าย

จากความแตกต่างของกรดไขมันที่อยู่ในน้ำมันแต่ละชนิด ดังนั้นจึงส่งผลให้คุณสมบัติทั้งทางเคมีและกายภาพของน้ำมันแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไป น้ำมันพืชส่วนใหญ่จะมีอะตอมคาร์บอนที่อยู่ในกรดไขมันตั้งแต่ 12 ถึง 18 อะตอม นอกจากนี้ยังมีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณที่แตกต่างกัน น้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวในจะมีค่าของไอโอดีนที่ต่ำและเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวต่ำหรือมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณที่สูงขึ้นจะมีค่าไอโอดีนจะสูงตามลำดับ เมื่อน้ำมันพืชสัมผัสกับออกซิเจนทำให้ถูกออกซิไดซ์ง่ายจึงเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ได้ในสภาวะอุณหภูมิสูง เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์แล้วนั้นน้ำมันจะมีสภาพเหนียวขึ้น ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำๆ เป็นเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันการเกิดสารเหนียวที่มาจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ แสดงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2-3 และแสดงจุดหลอมเหลว จุดเดือดของกรดไขมัน ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

องค์ประกอบ กรดไขมัน	ชนิดของน้ำมันพืช						
	มะพร้าว	เมล็ดใน ปาล์ม	ปาล์ม	ถั่วลิสง	เมล็ดเรพ	ถั่วเหลือง	ทานตะวัน
C<12:0	15.0	8.1	-	-	-	-	-
C12:0	47.5	50.4	0.2	-	-	0.1	-
C14:0	18.1	17.3	1.1	-	0.1	0.2	0.1
C16:0	8.8	7.9	44.0	8.1	3.5	10.7	6.0
C18:0	2.6	2.3	4.5	1.5	1.5	3.9	4.0
C20:0 C22:0 C24:0	0.1	-	0.4	4.2	0.9	0.2	1.1
ปริมาณกรดไขมัน อิ่มตัวทั้งหมด	92.1	86	50.2	13.8	6.0	15.0	11.2
C16:1	-	-	0.1	-	0.2	0.3	<1.0
C18:1	6.2	11.8	39.2	49.9	60.1	22.8	16.5
C18:2	1.6	2.1	10.1	35.4	20.1	50.8	71.7
C18:3 C20:1 C22:1 C24:0	Trace	Trace	0.4	Trace	11.2	6.8	0.6
ปริมาณกรดไขมัน ไม่อิ่มตัวทั้งหมด	7.8	13.9	49.7	85.3	91.6	80.7	88.8

ที่มา: (วิซชากร จารุศิริ, 2549)

ตารางที่ 2-4 จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่างๆ

กรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (°ซ)	จุดเดือด (°ซ)
กรดไขมันอิ่มตัว		
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	-
กรดไขมันไม่อิ่มตัว		
กรดปาล์มิโตเลอิก	0.5	-
กรดโอเลอิก	16.3	-
กรดอีรูซิก	33.7	-
กรดลิโนเลอิก	-5.0	-
กรดลิโนเลนิก	-11.0	-
กรดอะราคิโนไดอิก	-49.5	-

ที่มา: (วิชชากร จารุศิริ, 2549)

(-) หมายถึง : ไม่พบข้อมูล

การพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพต้องคำนึงถึงปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันในพืชชนิดนั้น (เพทาย ตันธนวัฒน์ และคณะ, 2551) รวมทั้งความเหมาะสมของปริมาณการปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้นๆด้วย เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาปลูกถั่วเหลืองมากในประเทศยุโรปปลูกเรพและทานตะวันมาก แหล่งน้ำมันพืชของประเทศไทยมีการเพาะปลูกพืชน้ำมันหลัก 6 ชนิด คือ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ทานตะวัน ละหุ่ง ซึ่งปาล์มน้ำมันมีปริมาณผลผลิตในแต่ละปี

สูงที่สุด มีปริมาณผลผลิตสูงถึง 9,870 พันตันในปี 2554 รองลงมาคือ มะพร้าว ถั่วเหลือง ทานตะวัน ละหุ่ง และถั่วลิสง ตามลำดับ ปริมาณผลผลิตพืชน้ำมันทั้ง 6 ชนิด ดังในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ปริมาณผลผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย

พืชน้ำมัน	2549	2550	2551	2552	2553	2554
	ผลผลิต (พันตัน)	ผลผลิต (พันตัน)	ผลผลิต (พันตัน)	ผลผลิต (พันตัน)	ผลผลิต (พันตัน)	ผลผลิต (พันตัน)
ปาล์มน้ำมัน	6,715	6,390	9,265	8318	8,225	9,870
มะพร้าว	1,614	1,722	nd	nd	nd	nd
ถั่วเหลือง	215	204	187	190	192	194
ทานตะวัน	24	23	nd	nd	nd	nd
ละหุ่ง	10	10	0.4	nd	nd	nd
ถั่วลิสง	65	54	53	52	50	55

*nd หมายถึง ไม่พบข้อมูล

ที่มา: (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554)

จากตารางที่ 2-5 แสดงปริมาณผลผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทยตั้งแต่ปี 2549-2554 จะเห็นว่าปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตมากเป็นอันดับแรก ดังนั้นน้ำมันปาล์มจึงเป็นน้ำมันจากพืชที่นิยมนำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพมากที่สุด และมีต้นทุนการผลิตต่ำรวมทั้งให้ผลผลิตต่อพื้นที่สูง

2.10 น้ำมันปาล์ม (Palm oil)

น้ำมันปาล์ม (Palm oil) เป็นน้ำมันพืชที่ได้รับความสนใจนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพมากที่สุด มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า อีเลอสิส กินีเอนซิส (*Elaeisguineensis*) โดยพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคใต้ นิยมปลูกมากในจังหวัดกระบี่ประมาณร้อยละ 40 ของพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันทั้งประเทศ รองลงมาคือจังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร ตรังและสตูล โดยมีแนวโน้มของการผลิตสูงขึ้นทุกปีเนื่องจากรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกปาล์มมากขึ้นและมีการให้ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการเพาะปลูกแก่เกษตรกร ผลปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมัน (oil corp) ซึ่งมีน้ำมันร้อยละ 56 ของน้ำมันปาล์ม (palm oil)

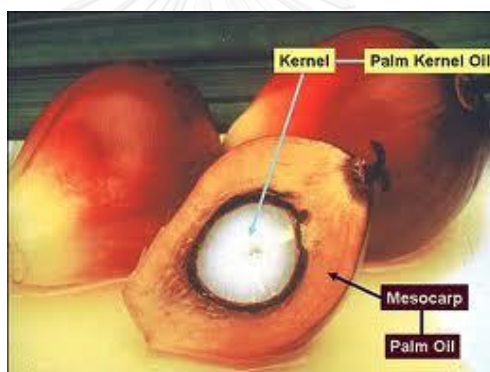
ผลปาล์มแบ่งเป็น 2 ส่วน

2.10.1 ส่วนที่ได้จากเปลือกหุ้มด้านนอกปาล์มหรือได้จากเส้นใยข้างนอกผลปาล์ม (Mesocarp)

ส่วนใหญ่น้ำมันปาล์มที่ได้นั้นเรียกว่า น้ำมันจากเนื้อปาล์ม (palm oil) ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว ส่วนมากจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสบู่ ผงซักฟอก และกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะใช้ใน กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร

2.10.2 ส่วนที่ได้จากเนื้อในเมล็ดปาล์ม (Palm Kernel)

น้ำมันปาล์มที่ได้โดยทั่วไปเรียกว่า น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม (Palm kernel oil) ประกอบด้วย กรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูงร้อยละ 85-90 ดังนั้นจึงไม่นิยมนำมาบริโภค ส่วนมากจะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสบู่และเครื่องสำอาง แสดงดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 ผลปาล์มน้ำมัน

(นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2550)

น้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติที่เทียบเคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุดจึงเหมาะสำหรับที่จะผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยทั่วไปนิยมใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล อย่างไรก็ตามเมื่อนำน้ำมันพืชมาใช้ก่อให้เกิดปัญหาด้านความหนืด ค่าความหนืดของน้ำมันพืชมากกว่าน้ำมันดีเซล 40 เท่า (Ma และ Hanna, 1999) ทำให้อุดตันง่ายที่บริเวณหัวฉีดจึงทำให้หัวฉีดฉีดน้ำมันเป็นฝอยค่อนข้างยาก อีกทั้งยังทำให้ปั๊มหัวฉีดที่ทำหน้าที่ระบบส่งน้ำมันและวงแหวนสึกหรอจึงเป็นอุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ น้ำมันพืชมีลักษณะที่ระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้า จึงเกิดคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ วงแหวน และวาล์ว (นคร ทิพยาวงศ์, 2553) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการลดความหนืดก่อนจะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ตารางที่ 2-6 แสดงคุณสมบัติด้านต่างๆของน้ำมันพืชชนิดต่างๆเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 2-6 แสดงคุณสมบัติด้านต่างๆของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

ชนิดของน้ำมัน	ค่าความหนาแน่น ที่ 21 องศาเซลเซียส (กรัม/มิลลิลิตร)	ความหนืด ที่ 21 องศาเซลเซียส (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)
ถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
ดอกทานตะวัน	0.918	60.0	39,490
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)

2.11 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง (Fuel property) (ASTM D975, 2013)

2.11.1 ความหนาแน่น (density)

บอกถึงคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพคือน้ำหนักของเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) (Arpornpong, 2013) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ทำการวิเคราะห์โดยการชั่งน้ำหนัก (weighing) นำน้ำมันบรรจุในหลอดฉีดยา 250 ไมโครลิตร ชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ความหนาแน่นจะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ดังนั้นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันมีความหนาแน่นมากกว่ามีผลให้กำลังและเกิดควันได้มากกว่า เนื่องจากมีมวลของเชื้อเพลิงที่จะเผาไหม้ได้มากกว่า มาตรฐานค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลอยู่ในช่วง 0.830-0.900 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยจะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าน้ำมันดีเซลที่มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.810-0.870 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.11.2 ความหนืด (viscosity)

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการไหลและบอกถึงคุณสมบัติหล่อลื่นพื้นผิว อุณหภูมิจึงมีผลต่อความหนืดอย่างมาก ดังนั้นการวัดความหนืดต้องบอกถึงอุณหภูมิด้วย ความหนืดของน้ำมันมีความสำคัญมากในส่วนของการใช้งานเครื่องยนต์ ถ้ามีค่าความหนืดมากจะมีผลทำให้จ่ายน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้กระจายตัวไม่ดี มีผลต่อคุณสมบัติด้านการเผาไหม้เชื้อเพลิง

ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดควันเขม่า อีกทั้งยังสิ้นเปลืองน้ำมันอีกด้วย (ASTM D445, 2013)

2.11.3 จุดขุ่น (Cloud point)

เป็นค่าบ่งบอกถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงเริ่มเกิดความขุ่นหรือการรวมตัวเป็นผลึก ซึ่งจุดขุ่นนี้เป็นตัวบ่งบอกว่าส่วนที่กรองเชื้อเพลิงและเส้นท่อเกิดการอุดตัน การวิเคราะห์จุดขุ่นใช้ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D2500 สังเกตการเกิดผลึกหรือไขของเชื้อเพลิงชีวภาพโดยใช้อ่างควบคุมความเย็น (cooling bath) เริ่มตั้งแต่ 12 องศาเซลเซียส และคอยปรับลดอุณหภูมิลงทีละ 3 องศา ดังนั้นจุดขุ่นจะบอกถึงอุณหภูมิต่ำที่สุดที่สามารถนำเชื้อเพลิงไปใช้งานได้ (Do และคณะ, 2011)

2.11.4 จุดไหลเท (Pour point)

เป็นค่าบ่งบอกถึงอุณหภูมิต่ำที่สุดที่น้ำมันยังคงไหลตัวได้สามารถวิเคราะห์จุดไหลเทได้โดยใช้ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D2500 ใช้วิธีเดียวกับการวัดจุดขุ่น เริ่มตั้งแต่ 9 องศาเซลเซียส และคอยปรับลดอุณหภูมิลงทีละ 3 องศา จากนั้นสังเกตน้ำมันในหลอดทดลอง เมื่อถือหลอดตามแนวนอนเป็นเวลา 5 วินาที และทำให้เชื้อเพลิงเย็นตัวลงเรื่อยๆจนถึงอุณหภูมิต่ำหนึ่ง เชื้อเพลิงจะเริ่มแข็งตัวและจับตัวเป็นก้อนไม่สามารถไหลได้ (Do และคณะ, 2011)

2.11.5 จุดวาบไฟ (Flash point)

คืออุณหภูมิต่ำที่สุดของน้ำมันเมื่อได้รับความร้อนแล้วเกิดไอระเหยออกมาได้สัดส่วนที่พอเหมาะและลุกติดไฟขณะหนึ่งเมื่อสัมผัสกับเปลวไฟแล้วจึงดับไป จุดวาบไฟใช้ประเมินการจุดติดไฟและเป็นดัชนีบ่งบอกความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้ รวมทั้งในด้านการเก็บรักษาและขนส่งผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิง

2.11.6 ค่าซีเทน (Cetane number)

เป็นค่าบ่งบอกประสิทธิภาพการจุดติดไฟของเครื่องยนต์ดีเซล ค่าซีเทนที่สูงจะช่วยให้เครื่องยนต์สตาร์ทและจุดติดไฟง่าย ควันขาวและไอเสียลดลง ค่าซีเทนมีความสัมพันธ์กับเวลาหน่วงการจุดติดไฟหรือเวลาที่เชื้อเพลิงผ่านเข้าสู่ห้องเผาไหม้ถึงจุดติดไฟ (Ignition Delay Time) ในลักษณะผกผันกัน คือ เมื่อค่าซีเทนสูง เวลาหน่วงการจุดติดไฟจะสั้น แต่เมื่อค่าซีเทนต่ำ การจุดระเบิดจะล่าช้า

2.11.7 คาร์บอนตกค้าง (Carbon residue)

คือ ปริมาณของสารที่เหลือตกค้างหลังจากน้ำมันระเหยหมดแล้วที่อุณหภูมิสูง (วิซซากร จารุศิริ, 2549) ถ้าน้ำมันมีปริมาณคาร์บอนตกค้างสูงมีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดเขม่าตกค้าง (Deposit) ในห้องเผาไหม้และไอเสียที่มีควันดำ

2.11.8 ปริมาณน้ำ (Water content)

คือ คุณสมบัติที่บอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง วิเคราะห์โดยการไทเทรตด้วยวิธี Karl-Fischer ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D6304 ถ้ามีปริมาณน้ำสูงเกินไปจะเร่งให้เกิดการออกซิเดชันได้ง่ายส่งผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์และอายุการใช้งานต่ำลงเพราะเกิดสนิมและตะกอนตกค้างในส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ อีกทั้งปริมาณน้ำมากทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ลดลงส่งผลให้ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ลดลง (Lif และ Homberge, 2006)

2.11.9 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของเชื้อเพลิงและความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วิเคราะห์โดยวิธีการชั่งน้ำหนัก (weighing) ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ใช้วิธีเดียวกับการวัดค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความร้อนที่ได้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของเชื้อเพลิง น้ำมันที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงแสดงว่า มีพวอะโรมาติกมากทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในเครื่องยนต์ และเกิดการระบายสะสมมาก แต่เชื้อเพลิงให้ความร้อนได้ดี โดยความถ่วงจำเพาะจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

2.11.10 ปริมาณเถ้า (Ash content)

คือ ในน้ำมันดีเซลจะมีสารพวกที่เหลือจากการเผาไหม้ หากในน้ำมันมีปริมาณเถ้าสูงจะทำให้มีผลเสียต่อการเกิดการอุดตันระบบไส้กรอง ทำให้ปั๊มหัวฉีดสึกหรอ ทำให้เกิดเขม่าตกค้างเกาะติดในเครื่องยนต์ การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าด้วยการชั่งน้ำหนัก (weighing) น้ำมัน 0.5 กรัม ให้ความร้อนเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันด้วยการเผาไหม้โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส

2.11.11 ค่าความเป็นกรด (Acid number)

แสดงปริมาณของกรดทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำมัน หน่วยค่าความเป็นกรด คือ มิลลิกรัมต่าง KOH/กรัม น้ำมัน (mg KOH/g oil) ดังนั้นจึงไม่ควรมีการกัดแก้น้ำมันเพราะกรดแก่จะทำให้เกิดการกัดกร่อนโลหะ แสดงค่าเป็น Strong acid number (SAN) มาตรฐานค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง

0.05–0.10 มิลลิกรัมต่าง/กรัมน้ำมัน และกรดอ่อนเกิดจากสารเพิ่มคุณภาพช่วยทำหน้าที่ต่างๆ เช่น สารป้องกันสนิม สารรับแรงกดสูง

2.11.12 ค่าความร้อน (Gross heat of combustion)

เป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณของพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ ในหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ค่าความร้อน (ณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) สามารถวัดค่าความร้อนได้จากเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ใช้ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D240 หลังจากที่เผาไหม้จะมีเขม่า (ของแข็ง) ซึ่งจะอยู่ในรูปของปริมาณเถ้า (Ash content) (ASTM D240, 2013)



2.12 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล

มาตรฐานของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลเป็นไปตาม ASTM (American Standard Testing Method) (ASTM D6751, 2013) ดังตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM

คุณสมบัติ	น้ำมันดีเซล	ไบโอดีเซล	หน่วย
ความหนาแน่น (density)	0.810-0.870	0.830-0.900	กรัมต่อมิลลิเมตร
ค่าความหนืด (Kinematic viscosity) ที่ 40 องศาเซลเซียส	1.9-4.1	1.9-6.0	ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที
จุดวาบไฟ (Flash point) ต่ำสุด	52	93	องศาเซลเซียส
จุดขุ่น (Cloud point) สูงสุด	-15	-5	องศาเซลเซียส
จุดไหลเท (Pour point) สูงสุด	-17	-9	องศาเซลเซียส
จำนวนซีเทน (Cetane number)	45	47	-
ปริมาณเถ้า (Ash content)	0.01	0.02	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur)	0.05	0.015	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ปริมาณน้ำ (Water content)	0.05	0.05	ร้อยละโดยปริมาตร
คาร์บอนตกค้าง (Carbon residue)	0.35	0.05	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ค่าความเป็นกรด (Acid number)	0.05	0.05	มิลลิกรัมต่าง/กรัมน้ำมัน

ที่มา: (ASTM International, 2013)

2.13 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel)

น้ำมันดีเซล คือ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล เป็นน้ำมันที่ผลิตจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบเช่นเดียวกับน้ำมันเบนซิน มีจุดเดือด 180-370 องศาเซลเซียส ลักษณะเป็นน้ำมันใส หรือ Distillate Fuel โดยทั่วไปเครื่องยนต์ดีเซลมีแรงอัดสูง (High Compression) และจุดระเบิดเอง

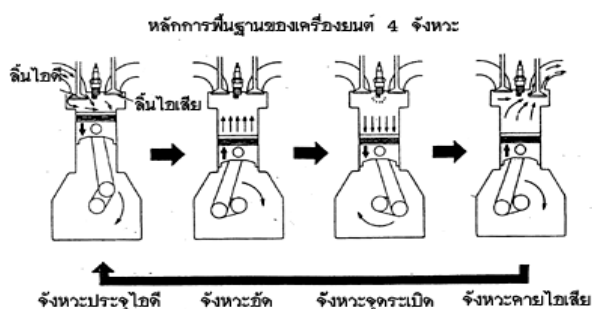
(Self Ignition Engine) ภายในกระบอกสูบจะเกิดแรงอัดอากาศสูงและเกิดความร้อนสูงจึงจุดระเบิดเองโดยไม่ต้องใช้หัวเทียน (ธเนศร์ เสนิงวงศ์ ณ อยุธยา, 2545)

ปัจจุบันมีการจำหน่ายน้ำมันดีเซล 2 ประเภท ได้แก่ 1. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนเร็ว เรียกว่า น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (HSD; High Speed Diesel Oil) มีสมบัติค่าซีเทนสูงและมีการระเหยเร็ว ใช้ในเครื่องยนต์ที่มีรอบหมุนเร็วสูงกว่า 1000 รอบต่อนาที ได้แก่ ยานยนต์ประเภทรถบรรทุก รถยนต์ เรือโดยสาร เรือประมง รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรกลหนักทุกชนิด จึงเรียก Automotive Diesel Oil หรือ Gas Oil เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าน้ำมันโซล่า 2. น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนปานกลางหรือหมุนช้า (LSD; Low Speed Oil) เครื่องยนต์มีรอบการทำงานต่ำประมาณ 500-1000 รอบต่อนาที ซึ่งไม่ต้องใช้น้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงนักและการระเหยอาจช้ากว่าได้ ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลขับเคลื่อนกำลังติดตั้งอยู่กับที่ตามโรงงานต่างๆ จึงเรียก Industrial Diesel Oil หรือรู้จักกันในชื่อน้ำมันซีโล้

2.14 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลแบ่งออกเป็น 2 วงจรการทำงาน

2.14.1 วงจรการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

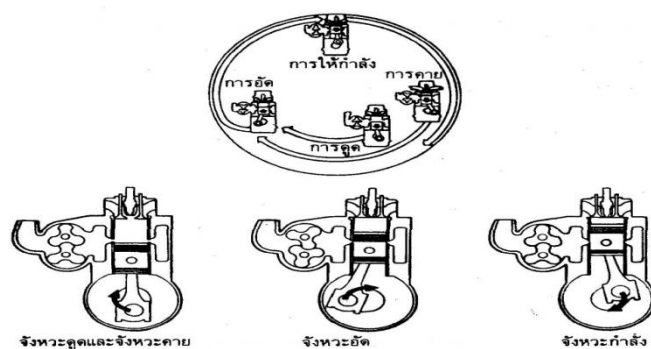
มีวงจรการทำงาน 1 วงจร ที่มี 4 จังหวะ ซึ่ง 1 จังหวะการทำงาน คือ การเคลื่อนที่ของลูกสูบจากตำแหน่งบนสุดไปจนถึงตำแหน่งล่างสุดหรือจากตำแหน่งล่างสุดไปจนถึงตำแหน่งที่อยู่บนสุด ซึ่ง 2 จังหวะการทำงานเท่ากับ 1 รอบการหมุนของข้อเหวี่ยงหรือของเครื่องยนต์ ได้แก่ จังหวะดูด (Intake stroke) จังหวะอัด (Compression stroke) จังหวะระเบิด (Expansion or Power stroke) จังหวะคาย (Exhaust stroke) ดังภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ (ประณต กุลประสูตร, 2553)

2.14.2 วงจรการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ

มีวงจรการทำงาน 1 วงจร ที่มีการเคลื่อนที่ของลูกสูบ 2 จังหวะหรือ 1 รอบการหมุนข้อเหวี่ยงหรือของเครื่องยนต์ ดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ (ประณต กุลประสูตร, 2553)

2.15 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เช่น ปาล์ม ถั่วเหลือง มะพร้าว สบู่ดำ เมล็ดเรพ น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่ผ่านการใช้แล้วนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่าวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification) ทำปฏิกิริยากับเมทานอลหรือเอทานอลได้ สารเอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์หลักมีคุณสมบัติที่เทียบเคียงกับน้ำมันดีเซล เรียกว่า ไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามได้กลีเซอรอลและกรดไขมันเป็นผลพลอยได้ ในปัจจุบันภาครัฐสนับสนุนให้มีการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนโดยเฉพาะการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพและชีวมวลได้แก่ แก๊สโซฮอล์ ไบโอดีเซล ขยะและมูลสัตว์ เป็นต้น เพื่อความมั่นคงด้านพลังงาน ลดภาวะมลพิษ และเพื่อประโยชน์ของเกษตรกร โดยสนับสนุนให้มีการผลิตและใช้พลังงานหมุนเวียนในระดับชุมชน หมู่บ้าน ภายใต้มาตรการสร้างแรงจูงใจที่เหมาะสม ตลอดจนส่งเสริมและมีการวิจัยพัฒนาส่งเสริมพลังงานทดแทนทุกรูปแบบอย่างจริงจังและต่อเนื่อง (ชมพูนุท พรเจริญนพ, 2551)

2.16 สารเติมแต่ง (Additive)

เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะ การปล่อยก๊าซไอเสียและการทำงานของเครื่องยนต์ (Operating parameters) วิธีที่นิยมมากวิธีหนึ่งในการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันคือ การเติมสารออกซิเจนเนตลงในน้ำมันไบโอดีเซล การเติมสารออกซิเจนเนตมีหน้าที่ช่วยปรับให้ค่าความหนืด ค่าความร้อน ความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเทของเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงไปและลดปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียได้แก่คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ที่ออกมาจากท่อไอเสียของรถยนต์มีปริมาณลดลง เนื่องจากปริมาณสัดส่วนของออกซิเจนในสารเติมแต่งจะช่วยให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวภาพดีขึ้น เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น ข้อดีของการใช้สารออกซิเจนเนตจะมีผลเล็กน้อยเพียงได้นั้นขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างดังนี้ การออกแบบของเครื่องยนต์ ปริมาณสัดส่วนของออกซิเจนในน้ำมัน volatility ของน้ำมัน ชนิดและปริมาณของสารประกอบอื่นๆในน้ำมัน เป็นต้น (Cuenca และคณะ, 2011; Cuenca และคณะ, 2013)

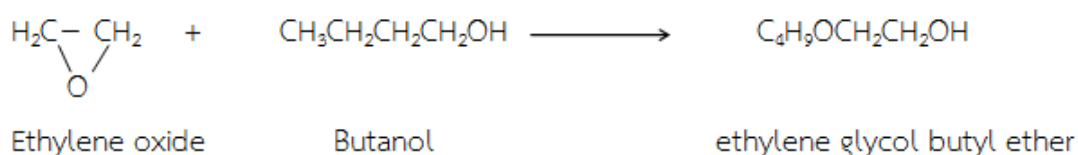
สารออกซิเจนเนต (Oxygenated organic compound) การเติมสารออกซิเจนเนตลงในไบโอดีเซล เพื่อช่วยลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ออกมาจากไอเสียของรถยนต์ ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้น้ำมันที่ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้แล้วสารออกซิเจนเนตที่เติมลงไปนั้นทำให้ค่าความหนืด ค่าความร้อน ความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเทของเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงไป สารออกซิเจนเนตมีกลไกในการลดควันเขม่า (โดยที่จำนวนคาร์บอนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์) โดยมีกระบวนการทางธรรมชาติที่ย่อยสลายและการสลายด้วยความร้อน ซึ่งน้ำมันที่มีออกซิเจนอยู่จะเกิดการรวมตัวของธาตุออกซิเจนกับคาร์บอน เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้จะขึ้นกับจำนวนอะตอมคาร์บอนที่อยู่ในน้ำมัน นอกจากนี้สารออกซิเจนเนตมีหลากหลายชนิดได้แก่ อีเทอร์ (Ethers) ไกลคอลอีเทอร์ (Glycol ether) ไฮโดรเจนเนตโมโนเทอร์ปีน (Hydrogenated monoterpenes) แอลกอฮอล์ (Alcohol) เอสเทอร์ (Ester) จากงานวิจัยพบว่าสารออกซิเจนเนตกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ (Glycol ether) มีประสิทธิภาพมากกว่ากลุ่มอื่นในการนำมาใช้เป็นสารเติมแต่ง (Cuenca และคณะ, 2011) นอกจากนี้การที่จะเลือกสารออกซิเจนเนตชนิดใดมาใช้เติมนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆเช่น ราคา ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ แหล่งที่มา และความสะดวกในการจัดหา ข้อควรระวังในการใช้งาน การขนส่ง และการเก็บรักษา ดังนั้นจึงเลือกสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์มาทำการศึกษา

2.17 ไกลคอลอีเทอร์ (Glycol ether)

ในการศึกษาครั้งนี้จึงสนใจทำการศึกษาคูสมบัติของสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ 5 ชนิดได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) และเอทิลอะซิเตท (EA) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน เนื่องจากสารกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ มีจุดเดือดสูงกว่าน้ำถึง 2 เท่าตัว ไม่มีสี สามารถใช้เป็นสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายเพื่อป้องกันการแยกวัฏภาคและมีคุณสมบัติทำให้จุดเยือกแข็งของของเหลวลดลง (Anti-freezing) เพื่อให้สามารถใช้กับเครื่องยนต์ได้ เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของสารกลุ่มไกลคอลอีเทอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่แอลกอฮอล์ (R-OH) และหมู่แอลคอกซี (R-O-R) มีลักษณะสมบัติเป็นโมเลกุลที่มีความสมดุลระหว่างความมีขั้วและความไม่มีขั้วทำให้ละลายได้ดีในเฟสน้ำมัน (ส่วนที่ไม่มีขั้ว) และเอทานอล (ส่วนที่มีขั้ว) จากงานวิจัยพบว่าสารออกซิเจนเนตกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ (Glycol ether) มีประสิทธิภาพมากกว่ากลุ่มอื่นในการนำมาใช้เป็นสารเติมแต่ง (Cuenca และคณะ, 2011) ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ดี โดยความเข้มข้น ชนิดและโครงสร้างของไกลคอลอีเทอร์จะส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดลดลงและปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียลดลง พิจารณาคูสมบัติของสารเติมแต่ง ดังตารางที่ 2-8 2-9 2-10 2-11 และ 2-12

2.17.1 คุณสมบัติของเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์

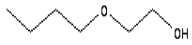
เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) เป็นสารไม่มีสี กลิ่นคล้ายอีเทอร์ที่สังเคราะห์มาจากเอทิลีนออกไซด์และบิวทานอล ดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 โครงสร้างทางเคมีของเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์

(Merck KGaA Chemicals company, 2008)

ตารางที่ 2-8 คุณสมบัติของเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี	Ethylene glycol butyl ether (EGBE)
ชื่อเคมีทั่วไป	Ethylene glycol butyl ether
ชื่อพ้องอื่นๆ	Butyl cellosolve, 2-Butoxy-1-ethanol, 2 - Butoxy ethanol, Dowanol EB
สูตรโมเลกุล (Molecular formula)	C ₆ H ₁₄ O ₂
มวลโมเลกุล (Molecular weight)	118.17 กรัมต่อโมล
โครงสร้างโมเลกุล (Molecular structure)	
ความหนาแน่น (Density)	0.902 กรัมต่อมิลลิเมตร
จุดเดือด (Boiling point)	171 องศาเซลเซียส
จุดเยือกแข็ง (Freezing point)	-75 องศาเซลเซียส
จุดวาบไฟ (Flash point)	63-64 องศาเซลเซียส
ลักษณะที่ปรากฏ (Appearance)	ของเหลวใส ไม่มีสี กลิ่นคล้ายอีเทอร์
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (Viscosity)	2.519 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที

ที่มา: (Merck KGaA Chemicals company, 2008)

จากข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี (Merck KGaA Chemicals company, 2008) ระบุว่าสารดังกล่าวมีความสามารถในการถูกย่อยสลายได้ตามธรรมชาติเพราะโครงสร้างไม่มีหมู่เบนซีน ทำให้สามารถย่อยสลายได้ง่ายตามธรรมชาติ ความสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี ร้อยละ 95-100 ในระยะเวลา 28 วันในห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตามจากข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีได้ระบุข้อควรระวังหรืออันตรายที่เกิดจากการสัมผัสโดยตรงของสารเคมี เช่น การกลืนกิน การสัมผัสกับผิวหนัง เป็นต้น

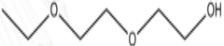
2.17.2 คุณสมบัติของไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์

ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) เป็นของเหลวไม่มีสี กลิ่นฉุนเล็กน้อย สารนี้สามารถละลายได้ในตัวทำละลายละลายอินทรีย์ สกัดเคราะห์จากสองเอทิลีนออกไซด์ทำปฏิกิริยากับเอทานอล ดังภาพที่ 2-14



ภาพที่ 2-14 โครงสร้างทางเคมีของไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์
(Merck KGaA Chemicals company, 2008)

ตารางที่ 2-9 คุณสมบัติของไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี	Diethylene glycol ethyl ether (DEGEE)
ชื่อเคมีทั่วไป	Diethylene glycol ethyl ether (DEGEE)
ชื่อพ้องอื่นๆ	2-(2-Ethoxyethoxy)ethanol, Carbitol, DE Solvent, Ethyldiglycol
สูตรโมเลกุล (Molecular formula)	C ₆ H ₁₄ O ₃
มวลโมเลกุล (Molecular weight)	134.18 กรัมต่อโมล
โครงสร้างโมเลกุล (Molecular structure)	
ความหนาแน่น (Density)	0.988 กรัมต่อมิลลิลิตร
จุดเดือด (Boiling point)	179-205 องศาเซลเซียส
จุดเยือกแข็ง (Freezing point)	-43.5 องศาเซลเซียส
จุดวาบไฟ (Flash point)	94 องศาเซลเซียส
ลักษณะที่ปรากฏ (Appearance)	ของเหลวใส ไม่มีสี กลิ่นฉุนเล็กน้อย
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (Viscosity)	2.686 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที

ที่มา: (Merck KGaA Chemicals company, 2008)

จากข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีได้ระบุความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพจนหมดไปร้อยละ 47-92 ในระยะเวลา 8-21 วันในห้องปฏิบัติการ และสารดังกล่าวมีความเป็นพิษค่อนข้างน้อยจนถึงไม่มีพิษ

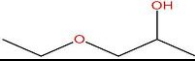
2.17.3 คุณสมบัติของโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์

โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) เป็นของเหลว ไม่มีสี กลิ่นคล้ายอีเทอร์ สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ (แอลกอฮอล์ อีเทอร์ ไฮโดรคาร์บอน) เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างโพรพิลีนออกไซด์กับเอทานอล ดังภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-15 โครงสร้างทางเคมีของโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์
(Merck KGaA Chemicals company, 2008)

ตารางที่ 2-10 คุณสมบัติของโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี	Propylene glycol ethyl ether (PGEE)
ชื่อเคมีทั่วไป	Propylene glycol ethyl ether (PGEE)
ชื่อพ้องอื่นๆ	Propylene glycol ether, Ethoxypropanol, 1(or2)-ethoxy- propanol, ethoxy propanol
สูตรโมเลกุล (Molecular formula)	C ₅ H ₁₂ O ₂
มวลโมเลกุล (Molecular weight)	104.15 กรัมต่อโมล
โครงสร้างโมเลกุล (Molecular structure)	
ความหนาแน่น (Density)	0.896 กรัมต่อมิลลิลิตร
จุดเดือด (Boiling point)	295 องศาเซลเซียส
จุดเยือกแข็ง (Freezing point)	ต่ำกว่า -35 องศาเซลเซียส
จุดวาบไฟ (Flash point)	182 องศาเซลเซียส
ลักษณะที่ปรากฏ (Appearance)	ของเหลวใส ไม่มีสี กลิ่นคล้ายอีเทอร์
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (Viscosity)	1.501 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที

ที่มา: (Merck KGaA Chemicals company, 2008)

จากการศึกษาข้อมูลคุณสมบัติของสารประเภทดังกล่าวมีความเป็นพิษต่ำมาก สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้เร็ว และความสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีร้อยละ 92-100 ในระยะเวลา 28 วันในห้องปฏิบัติการ

2.17.4 คุณสมบัติของไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์

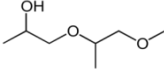
ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) เป็นของเหลว ไม่มีสี กลิ่นคล้ายอีเทอร์ เล็กน้อย สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสองโพรพิลีนออกไซด์กับ เมทานอล ดังภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2-16 โครงสร้างทางเคมีของไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์

(Merck KGaA Chemicals company, 2008)

ตารางที่ 2-11 คุณสมบัติของไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์

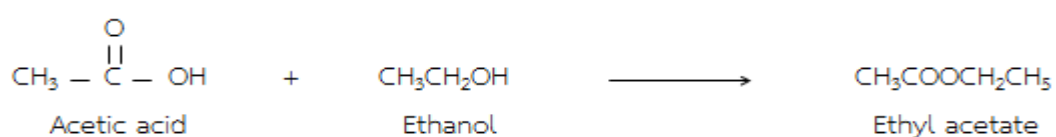
คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี	Dipropylene glycol methyl ether (DPGME)
ชื่อเคมีทั่วไป	Dipropylene glycol methyl ether (DPGME)
ชื่อพ้องอื่นๆ	Methoxypropoxypropanol, (2-methoxymethylethoxy) propanol, 2-(2-methoxypropoxy)propanol
สูตรโมเลกุล (Molecular formula)	C ₇ H ₁₆ O ₃
มวลโมเลกุล (Molecular weight)	148.20 กรัมต่อโมล
โครงสร้างโมเลกุล (Molecular structure)	
ความหนาแน่น (Density)	0.950 กรัมต่อมิลลิลิตร
จุดเดือด (Boiling point)	190 องศาเซลเซียส
จุดเยือกแข็ง (Freezing point)	-83 องศาเซลเซียส
จุดวาบไฟ (Flash point)	85 องศาเซลเซียส
ลักษณะที่ปรากฏ (Appearance)	ของเหลวใส ไม่มีสี กลิ่นคล้ายอีเทอร์
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (Viscosity)	2.576 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที

ที่มา: (Merck KGaA Chemicals company, 2008)

จากเอกสารด้านความปลอดภัยของผู้ผลิต (Merck KGaA Chemicals company, 2008) ได้ระบุวิธีการและข้อควรระวังในการใช้งาน ในแง่ความสามารถในการถูกย่อยสลายทางชีววิทยา (Biodegradability) อย่างน้อยร้อยละ 75 ภายในเวลา 10 วัน


2.17.5 คุณสมบัติของเอทิลอะซิเตท

เอทิลอะซิเตท (EA) เป็นของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายผลไม้ ระเหยได้และสามารถติดไฟง่าย สัมผัสได้จากเอสเทอร์ของกรดอะซิติกและเอทานอล ดังภาพที่ 2-17



ภาพที่ 2-17 โครงสร้างทางเคมีของเอทิลอะซิเตท
(Merck KGaA Chemicals company, 2008)

ตารางที่ 2-12 คุณสมบัติของเอทิลอะซิเตท

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี	Ethyl acetate (EA)
ชื่อเคมีทั่วไป	Ethyl acetate (EA)
ชื่อพ้องอื่นๆ	Ethyl acetic ester, Acetoxyethane, Acetic ether, Vinegar naphtha, Acetidin, Acetic ester, Acetic acid ethyl ester
สูตรโมเลกุล (Molecular formula)	C ₄ H ₈ O ₂
มวลโมเลกุล (Molecular weight)	88.11 กรัมต่อโมล
โครงสร้างโมเลกุล (Molecular structure)	
ความหนาแน่น (Density)	0.900 กรัมต่อมิลลิลิตร
จุดเดือด (Boiling point)	75-78 องศาเซลเซียส
จุดเยือกแข็ง (Freezing point)	-83 องศาเซลเซียส
จุดวาบไฟ (Flash point)	60 องศาเซลเซียส
ลักษณะที่ปรากฏ (Appearance)	ของเหลวใส ไม่มีสี กลิ่นหอมคล้ายผลไม้
ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส (Viscosity)	1.205 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที

ที่มา: (Merck KGaA Chemicals company, 2008)

จากการศึกษาเอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมีระบุว่าสารดังกล่าวมีความสามารถย่อยสลายได้ง่ายตามธรรมชาติเพราะโครงสร้างไม่มีหมู่เบนซีน ความสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีร้อยละ 100 ในระยะเวลา 28 วันในห้องปฏิบัติการ

2.18 มลพิษหลักที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพ

การปล่อยก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันประกอบด้วย ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) (ศิริณี เฟิงปรีชา, 2556)

2.18.1 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

อุณหภูมิของอากาศที่ถูกอัดในกระบอกสูบ ปริมาณออกซิเจน อัตราการเผาไหม้ และความดันสูงสุดจากการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น ล้วนมีผลต่อปริมาณการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) หากปริมาณไนโตรเจนออกไซด์สูงจะเป็นอันตรายต่อฮีโมโกลบินในร่างกาย และทำให้เกิดหมอกควันซึ่งเป็นมลพิษในบรรยากาศ

2.18.3 คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

กระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ที่เกิดจากปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอน เป็นต้นเหตุของการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) คาร์บอนมอนนอกไซด์มีผลต่อสุขภาพมนุษย์ โดยไปสะสมในเม็ดเลือดแดงและทำให้คุณภาพการลำเลียงออกซิเจนลดลงจนเกิดภาวะขาดอากาศหายใจ รวมทั้งเป็นอันตรายต่อระดับโอโซนในบรรยากาศซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดสภาวะโลกร้อน

2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ma และ Hanna (1999) ศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงไปโอดีเซลทางเลือกจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เนื่องจากค่าความหนืดของน้ำมันพืชสูง จึงได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติมี 4 วิธี ดังนี้ 1) การเจือจาง (Dilution) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดคือนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงแทนน้ำมันดีเซล หรือการผสมกับน้ำมันดีเซล ข้อเสียเมื่อใช้ในระยะเวลาทำให้เกิดการอุดตันง่ายที่หัวฉีด 2) ไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือการสลายโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงโดยใช้อุณหภูมิสูงในการสลายไตรกลีเซอไรด์ส่งผลให้ค่าความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ข้อเสียของวิธีนี้คือสูญเสียออกซิเจนไปกับการใช้อุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำและกระบวนการไพโรไลซิสเกิดผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายซึ่งยากต่อการควบคุมปฏิกิริยา 3) ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) คือการนำของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ให้สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และสารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-surfactant) เป็นตัวประสานทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 150 นาโนเมตร วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ใช้พลังงานน้อยและไม่เกิดผลพลอยได้หลังจากกระบวนการผลิต แต่มีข้อเสียคือค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลงเล็กน้อย และค่าซีเทนต่ำ 4) ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์จะได้เอสเทอร์และกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ข้อดีคือผลิตภัณฑ์มีลักษณะทางเคมีคล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซลและความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ข้อเสียคือมีกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้และมีจุดขุ่น (Cloud point) และจุดไหลเท (Pour point) ที่ค่อนข้างสูง

Bidyut และ Satya (2001) ศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันพบว่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากวิธีไมโครอิมัลชันช่วยลดควันเขม่าจากน้ำในน้ำมันระหว่างการเผาไหม้ เมื่อเกิดการระเหยของน้ำระหว่างการเผาไหม้ ให้ความร้อนถูกปลดปล่อยออกมาและอุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลงจึงทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ลดลง

Dantas และคณะ (2001) ศึกษาแบบไมโครอิมัลชันใหม่ที่มีการผสมน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืชที่อัตราส่วนแตกต่างกัน น้ำมันพืชที่นำมาใช้ในการศึกษาได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มและน้ำมันละหุ่งเพื่อให้นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก ตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อระบบไมโครอิมัลชันคือ สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมและองค์ประกอบของเฟสน้ำมัน สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ประกอบด้วย Texapon HBN (sodium laurylsulfate) และ Comperlan SCD ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุมีความชอบน้ำมัน สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ Ethyl, Propyl และ isoamyl alcohol จากการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนน้ำมันพืชชนิดต่างๆ และน้ำมันดีเซล 20:80 มีผลให้ค่าความหนืดลดลง เพราะอัตราส่วน

ดีเซลเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 และที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:2 มีผลต่อการเกิดไมโครอิมัลชันเฟสเดียว (Single phase) ดังนั้นระบบไมโครอิมัลชันใหม่จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกได้

ธัญญธร อิศราชีวะ (2548) ศึกษาผลของการใช้สารเติมแต่งชนิดเอทิลอะซิเตทที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันทำให้คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลเปลี่ยนแปลงไป การใช้เอทิลอะซิเตทลงไปทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น แต่ความหนาแน่นของดีโซฮอล์ทุกสัดส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐานของเชื้อเพลิงดีเซล มาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซลอยู่ระหว่าง 0.81-0.87 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จุดวาบไฟของดีโซฮอล์มีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล จึงควรระมัดระวังในการเก็บรักษา และขนย้าย จุดไหลเทของดีโซฮอล์มีค่าต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ส่วนค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของดีโซฮอล์ต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับดีเซล จากผลการศึกษาพบว่า การใช้สารออกซิเจนเนตสามารถลดปริมาณก๊าซไอเสียได้ ยังพบอีกว่าการใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลและเอทิลอะซิเตทนั้นสามารถลดก๊าซไอเสีย โดยเฉพาะคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ที่ออกมาจากท่อไอเสียรถยนต์มีปริมาณต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดจนที่ภาระสูงสุดของเครื่องยนต์ เนื่องจากปริมาณสัดส่วนของออกซิเจนในเอทานอลและเอทิลอะซิเตทช่วยให้การเผาไหม้ของดีโซฮอล์ดีขึ้น เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ส่วนปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีค่าสูงเพราะอุณหภูมิการเผาไหม้สูงเนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น โดยการเติมสารเติมแต่งนั้นไม่ควรเติมในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 10

Knothe และ Steidley (2005) ศึกษาความหนืดเชิงจลน์ของสารประกอบไขมันไม่อิ่มตัวและสารประกอบไขมันไม่อิ่มตัว พบว่าเมื่อเพิ่มความยาวของสายโซ่กรดไขมัน แอลกอฮอล์หรือไฮโดรคาร์บอนทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่จำนวนอะตอมคาร์บอนเท่ากันของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนไม่อิ่มตัวมีค่าความหนืดเชิงจลน์ต่ำกว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว อย่างไรก็ตามความหนืดเชิงจลน์ของสารประกอบไขมันไม่อิ่มตัวขึ้นกับจำนวนพันธะคู่

Kumar และคณะ (2006) ศึกษาคุณสมบัติของการผสมกันระหว่างเอทานอล ดีเซลและเบนซิน เอทานอลเป็นพลังงานทางเลือกน่าสนใจเพราะการผลิตเอทานอลใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ประหยัดต้นทุน งานวิจัยนี้เน้นศึกษาประสิทธิภาพการทำงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และปล่อยอนุภาค (PM) จากเครื่องยนต์ จากผลการศึกษามีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และการปล่อยอนุภาค (PM) ลดลง เมื่อเอทานอลเพิ่มขึ้นร้อยละ 10

Lif และ Holmberg (2006) ศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยอิมัลชันน้ำในน้ำมันดีเซล น้ำมันอิมัลชันมีการปล่อยก๊าซไอเสียได้แก่ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และเขม่า (PM) ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้นคืออิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันดีเซลร้อยละ 15 ทำให้ลดปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ได้ถึงร้อยละ 35 ส่วนถ้ามีปริมาณน้ำร้อยละ 15-45 ทำให้ลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และเขม่า แต่ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) สูงขึ้น

Zhao และคณะ (2006) ศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ศึกษา ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชัน จากการศึกษาพบว่าลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชันเป็นแบบน้ำในน้ำมัน ใช้กรดโอเลอิกและกรดลิโนเลอิกเป็นสารลดแรงตึงผิวประจุบวก และใช้แอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของเกลืออนินทรีย์ที่เหมาะสม คือ 0.28 โมลต่อลิตร มีผลต่อระบบไมโครอิมัลชัน นอกจากนี้ยังพบว่าการผสมสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวร่วมดีกว่า การใช้สารลดแรงตึงผิวเพียงอย่างเดียว เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันสามารถลดการปล่อยมลพิษ และปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้

Agarwal (2007) ศึกษาการปล่อยมลพิษของเชื้อเพลิงชีวภาพ (ไบโอดีเซลและแอลกอฮอล์) จากผลการศึกษาพบว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลน้อยกว่าน้ำมันดีเซลเนื่องจากไบโอดีเซลมี องค์ประกอบของออกซิเจนจำนวนมากในน้ำมัน เมื่อไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลทำให้อุณหภูมิก๊าซ ไอเสีย และอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นน้อยกว่าน้ำมันดีเซล ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจน ออกไซด์ (NO_x) และคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ลดลง

Kwancharoen และคณะ (2007) ศึกษาแผนภูมิสามเหลี่ยมในการผสมดีเซล ไบโอดีเซล และแอลกอฮอล์ ที่เรียกว่าดีโซฮอลล์ ซึ่งแอลกอฮอล์ที่ใช้คือ เอทานอล และเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ ร้อยละ 95 99.5 99.9 ศึกษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ดีโซฮอลล์เตรียมจากอัตราส่วนต่างๆแล้วทำการ ทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆของเชื้อเพลิงดังนี้ ค่าความหนาแน่น ค่าความร้อน ค่าซีเทน จุดวาบไฟ จุด ไหลเท การปล่อยก๊าซไอเสียต่างๆของดีโซฮอลล์แล้วนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซล จาก การศึกษาพบว่าในการใช้ดีเซลร้อยละ 80 ไบโอดีเซลร้อยละ 15 เอทานอลร้อยละ 5 เป็นสัดส่วนที่ เหมาะสมเพื่อผลิตดีโซฮอลล์เพราะคุณสมบัติด้านต่างๆของเชื้อเพลิงยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและการ ปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอนมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล อย่างไรก็ตามก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ยังสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

วรารคณา ประภาติกุล (2551) ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของสามองค์ประกอบคือน้ำมัน เอทานอล และอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม โดยเตรียมเฟสไดอะแกรมสำหรับ การผลิตน้ำมันชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เรียกว่า ไบโอดีโซฮอลล์ สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ได้แก่ Comperlan KD และ Sulfosuccinate (AOT) สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ คือเอทานอล จากงานวิจัย นี้พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน คือน้ำมันสบู่ดำร้อยละ 95 สารลด แรงตึงผิวร่วมและสารลดแรงตึงผิว ร้อยละ 5 และนำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไปวิเคราะห์ คุณสมบัติด้านต่างๆของน้ำมันตามมาตรฐาน เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีคุณสมบัติที่เทียบเคียง กับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและดีเซล ดังนั้นการเตรียมน้ำมันชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชันเป็นวิธีหนึ่งที่น่า สนใจในการผลิตเชื้อเพลิงทางเลือกเพราะวิธีไมโครอิมัลชันไม่ก่อให้เกิดของเสียและผลพลอยได้ ต้นทุนการผลิตต่ำ วิธีการไม่ยุ่งยาก

Lin และคณะ (2009) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลด้วยน้ำมันรำข้าว เพื่อลดความหนืด โดยใช้วิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ทำการศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงไบโอดีเซลของน้ำมันรำข้าว เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซล เชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันรำข้าวมาทดสอบด้วย เครื่องยนต์แล้วเทียบด้วยมาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซล พบว่าการใช้น้ำมันมีอัตราความสิ้นเปลืองสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสีย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และอนุภาค (PM) น้อยลง แต่ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์สูงขึ้น (NO_x)

Hazar และ Aydin (2010) ศึกษาถึงประสิทธิภาพการปล่อยก๊าซไอเสียมลพิษของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยทำการทดลองใช้น้ำมันเรฟชีดดิบผสมกับน้ำมันดีเซล ที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันเรฟชีดดิบ 1:4 โดยปริมาตร ศึกษาถึงประสิทธิภาพการทดสอบด้วยเครื่องยนต์ดีเซล 1 ลูกสูบ 4 จังหวะ จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันเรฟชีด คุณสมบัติด้านค่าความหนืดของน้ำมันเรฟชีดต่ำลง ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือให้ความร้อนกับน้ำมัน จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์เป็นไปในทางที่ดี และการปล่อยก๊าซไอเสียลดลง

Cuenca และคณะ (2011) ศึกษาผลความเข้มข้นของเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ใช้เติมเป็น สารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล กลุ่มเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ที่ใช้ในการศึกษา งานวิจัยนี้คือ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) เอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (EGEE) ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลและการปล่อยไอเสีย (คาร์บอนมอนนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอนและเขม่า) เมื่อเติมสารเติมแต่งเหล่านั้นลงในเชื้อเพลิงดีเซล ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงโดยผสมความเข้มข้นร้อยละ 4 รวมทั้งศึกษาการปล่อยไอเสียของเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2.5 ใช้เครื่องยนต์ Peugeot รุ่น XUD-9 ที่ความเร็วรอบ 1000 2500 และ 4000 รอบต่อนาที จากการศึกษาพบว่าเมื่อทำการเติมสารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ในเชื้อเพลิงดีเซลมีผลทำให้ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าผลของเอทิลีนไกลคอลอีเทอร์ในน้ำมันดีเซลส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียเครื่องยนต์ (คาร์บอนมอนนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอนและเขม่า) ลดลง

Do และคณะ (2011) ศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชันแบบ ริเวิร์สไมเซลล์ น้ำมันที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ น้ำมันคาโนล่า น้ำมันสาหร่าย น้ำมันปาล์ม ใช้สารลดแรงตึงผิว oleyl alcohol (OA) oleyl amine (OAM) สารลดแรงตึงผิวร่วม 2-ethylhexanol (EHL) 1-octanol (OCT) 2-ethylhexylnitrate (EHN) Ethylene glycol butyl ether (EGBE) และ ทำการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันได้แก่อุณหภูมิ ความหนืด ปริมาณน้ำ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) พบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิด oleyl alcohol (OA) ในเชื้อเพลิงชีวภาพของสาหร่ายและคาโนล่าผสมกับน้ำมันดีเซล

สามารถทนต่ออุณหภูมิได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิด oleyl amine (OAM) และใช้อัตราส่วนโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม S:C1:C2 ที่อัตราส่วน 1:2:2 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมส่งผลให้ได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีจุดขุ่นและจุดไหลเทที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM และน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลประเภทที่ 2 นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนของน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลที่ 50:50 (ปาล์มและคาโนล่าผสมกับน้ำมันดีเซล) เอทานอลร้อยละ 24 ส่งผลให้ได้ค่าความหนืดเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM เชื้อเพลิงดีเซลประเภทที่ 2 (4.1cSt) เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันให้ค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกับไบโอดีเซล แต่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซลประเภทที่ 2 ประมาณร้อยละ 10 เชื้อเพลิงชีวภาพปลดปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซลและการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ปริมาณที่สูงก็ต่อเมื่อเชื้อเพลิงชีวภาพมีส่วนประกอบของ oleyl amine (OAM) และ 2-ethylhexylnitrate (EHN) ดังนั้นการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จะขึ้นอยู่กับสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่มีสารประกอบของไนเตรท

Paul และ Panda (2011) ศึกษาอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวรวมที่มีผลต่อเฟสไมโครอิมัลชันและความหนืดของน้ำมัน โดยศึกษาจากแผนภาพซูโดเทอนารีเฟส ผลการทดลองพบว่าไมโครอิมัลชันเฟสเดียวจะขึ้นอยู่กับความยาวสายโซ่คาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวรวม ดังนั้นความยาวสายโซ่คาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นทำให้ลดความเป็นข้วลง ระบบจึงไม่เสถียรเนื่องจากไม่ผสมผสานกับน้ำ ขนาดของหยดไมโครอิมัลชัน และความหนืดของระบบเพิ่มขึ้นตามความยาวสายโซ่คาร์บอนของสารลดแรงตึงผิว

Attaphong และ Sabatini (2012) ศึกษาพฤติกรรมเฟสของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มคาร์บอกซิลิกแบบปรีเวิร์สไมเซลล์ด้วยการผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล สารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวรวม และเอทานอล โดยอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม (S/C) ที่ใช้ในการทดลองคือ 1:8 1:16 และ 1:32 จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่เลือกใช้คือ 1:16 เพราะเป็นสัดส่วนที่ใช้สารลดแรงตึงผิวปริมาณน้อยและมีผลให้ค่าความหนืดลดลงอีกทั้งลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมสาร และทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำมันคาโนล่าและน้ำมันดีเซล 50:50 ที่อัตราส่วนดีเซลมากกว่า 50 มีผลให้ค่าความหนืดลดลง อย่างไรก็ตามอัตราส่วนน้ำมันคาโนล่าและน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นทำให้ต้องใช้สารลดแรงตึงผิวมากเนื่องจากน้ำมันคาโนล่าไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับเอทานอลได้ เพราะในน้ำมันพืชมีสารประกอบของไตรกลีเซอไรด์ซึ่งมีลักษณะไม่ชอบน้ำ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสารลดแรงตึงผิวกลุ่มเอทิลีนออกไซด์แบบสายโซ่ตรงและแบบกิ่งก้านพบว่าสารลดแรงตึงผิวคาร์บอกซิลิกแบบสายตรงจะใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยกว่าแบบกิ่งร้อยละ 3-5 และการลดจำนวนกลุ่มของเอทิลีนออกไซด์จาก 5 เป็น 3 จะช่วยลดปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวประมาณร้อยละ 3-4 เนื่องจากจำนวนกลุ่มเอทิลีนออกไซด์น้อยส่งผลต่อความชอบน้ำมัน (hydrophobic) ทำให้สามารถละลายในน้ำมันได้มากขึ้นเพราะความมีข้วน้อยลงทำ

ให้ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยเพื่อให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) และยังพบว่า การเติมสารเติมแต่ง Ethylene glycol butyl ether (EGBE) และ Di-tert-Butyl peroxide (DTBP) ช่วยในการลดจุดเยือกแข็งและเพิ่มค่าซีเทนของเชื้อเพลิงชีวภาพ ตามลำดับ

นิจวรรณ อนันตรกิติ (2556) ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มเอทิลีนออกไซด์และแพลนทาแคร์ ทำการเปรียบเทียบระหว่างสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบสายโซ่ตรง (ออกทานอล) และแบบกิ่งก้าน (สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล) และศึกษาเปรียบเทียบระหว่างเอทานอลและไบโอเอทานอล จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆของเชื้อเพลิงชีวภาพแล้วเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซล/ไบโอดีเซลในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวผสมต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ 1:8 โดยโมล ปริมาณเอทานอล/ไบโอเอทานอลร้อยละ 20 นอกจากนี้ส่วนผสมต่างๆเหล่านี้ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียว และจากการศึกษาค่าความหนืดเชิงจลน์พบว่า ถ้ากลุ่มเอทิลีนออกไซด์ของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบเมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมจะมีผลให้ความหนืดต่ำกว่าเมื่อใช้สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม แล้วเปรียบเทียบระหว่างเอทานอลกับไบโอเอทานอลที่ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 พบว่าการใช้ออกทานอลจะให้ความหนืดมากกว่า ทำการศึกษาค่าความหนืดทั้ง 4 อุณหภูมิ คือ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความหนืดแปรผกผันกับอุณหภูมิที่ใช้ ในส่วนของการปล่อยมลพิษจากน้ำมันชีวภาพไมโครอิมัลชันพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 เป็นสารลดแรงตึงผิว ใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอลมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ น้อยที่สุด

ศิริณี เพ็งปรีชา (2556) ศึกษาผลของน้ำมันพืชชนิดต่างๆที่ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน น้ำมันพืชที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันปาล์มใช้แล้ว สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุที่ใช้มีดังนี้ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 5 โอริวแอลกอฮอล์ เมทิลโอลิเอต เปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวร่วมระหว่างเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์และออกทานอล เปรียบเทียบเอทานอลและไบโอเอทานอล ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่างๆแล้วนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ผลการศึกษาพบว่า น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 ปริมาตรร้อยละ 75 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ในปริมาณร้อยละ 5 โดยปริมาตร เอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร จากนั้นศึกษาค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่า ค่าความหนืดแปรผกผันกับอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษา นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อนำน้ำมันพืชผสมดีเซลจะให้ความหนืดน้อยกว่าน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซล อีกทั้งเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวร่วมเอทิลีนไกลคอล

บิวทิลอีเทอร์มีค่าความหนืดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานมากกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล จากการศึกษาคุณสมบัติด้านต่างๆพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ การศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยมลพิษได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) พบว่า น้ำมันปาล์มใช้แล้วมีปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียต่ำสุดเพราะน้ำมันปาล์มใช้แล้วได้ผ่านการบำบัดให้บริสุทธิ์ด้วยการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนและผ่านความร้อนเพื่อให้น้ำแยกตัวออกจากชั้นน้ำมัน

Arpornpong (2013) ศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพพลังงานทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจที่มีลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชันแบบวิธีรีเวิร์สไมเซลล์ ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำมันปาล์มผสมดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ คือ สเตียริวแอลกอฮอล์ โอริวแอลกอฮอล์ เมทิลโอลิเอต ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 และดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 10 สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้คือ บิวทานอล ออกทานอล เดคานอล และสองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล ศึกษาอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่แตกต่างกันคือ 1:8 1:4 1:1 และ 4:1 โดยโมล พบว่างานวิจัยนี้เลือกใช้อัตราส่วน 1:8 เพราะเป็นสัดส่วนที่ใช้สารลดแรงตึงผิวปริมาณน้อยและมีผลให้ค่าความหนืดลดลง ศึกษาจากเทอร์นารีเฟสไดอะแกรมหรือแผนภูมิสามเหลี่ยมพบว่าสัดส่วนเหมาะสมที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) คือ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลร้อยละ 75 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 5 โดยปริมาตรและเอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตรอย่างไรก็ตามอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันคือน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลร้อยละ 60 สารลดแรงตึงผิวผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 20 เอทานอลร้อยละ 20 เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

Cuenca และคณะ (2013) ศึกษาผลของการเติมสารเติมแต่งกลุ่มโพรพิลีนไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ โพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (PGME) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) ที่มีต่อคุณสมบัติด้านต่างๆของเชื้อเพลิงดีเซลแล้วนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานดีเซลและทำการศึกษาการปล่อยก๊าซมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล(คาร์บอนมอนนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอนและเขม่า) เมื่อเติมสารเติมแต่งเหล่านั้นลงในเชื้อเพลิงดีเซลแล้วศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงโดยผสมความเข้มข้นน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 4 รวมทั้งศึกษาการปล่อยไอเสียของเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 2.5 ซึ่งใช้เครื่องยนต์ Peugeot รุ่น XUD-9 ที่ความเร็วรอบ 1000 2500 และ 4000 รอบต่อนาที การเติมสารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มโพรพิลีนไกลคอลอีเทอร์มีผลทำให้ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นและทำให้ความหนืดของน้ำมันดีเซลลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโพรพิลีนไกลคอลอีเทอร์ที่ใช้เติม มวลโมเลกุลและองค์ประกอบของออกซิเจนในเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังพบว่าผลของโพรพิลีนไกลคอลอีเทอร์ในน้ำมันดีเซลมีผลต่อ

ปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียเครื่องยนต์ (คาร์บอนมอนนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอนและเขม่า) ลดลง



ตารางที่ 2-13 สรุปงานวิจัยที่ผ่านมา (เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน)

ผู้วิจัย	นิจวรรณ อนันตรกิติ (2556)	ศิริณี เฟ่งปรีชา (2556)	Arpornpong (2013)
สารลดแรงตึงผิว (S)	<ul style="list-style-type: none"> - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์2 - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์3 - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์7 - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์9 - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์11 - แพลนทาแคร์ 	<ul style="list-style-type: none"> - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 - โอริวแอลกอฮอล์ - เมทิลโอเลเอต 	<ul style="list-style-type: none"> - สเตียริวแอลกอฮอล์ - โอริวแอลกอฮอล์ - เมทิลโอเลเอต - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์10
สารลดแรงตึงผิวร่วม (C)	<ul style="list-style-type: none"> - ออกทานอล - สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล 	<ul style="list-style-type: none"> - ออกทานอล - เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ 	<ul style="list-style-type: none"> - บิวทานอล - ออกทานอล - เดคานอล - สองเอทิลหนึ่งเฮกซานอล
อัตราส่วน (S/C)	- 1:8	- 1:8	<ul style="list-style-type: none"> - 1:8 - 1:4 - 1:1 - 4:1
น้ำมัน	<ul style="list-style-type: none"> - ปาล์ม+ดีเซล - ปาล์ม+ไบโอดีเซล - 50:50 โดยปริมาตร 	<ul style="list-style-type: none"> - ปาล์ม+ดีเซล - ปาล์ม+ไบโอดีเซล - ปาล์มใช้แล้ว+ดีเซล - ปาล์มใช้แล้ว+ไบโอดีเซล - ถั่วเหลือง+ดีเซล - ถั่วเหลือง+ไบโอดีเซล - 50:50 โดยปริมาตร 	<ul style="list-style-type: none"> - ปาล์ม+ดีเซล - 50:50 โดยปริมาตร
ผลการวิจัย	<ul style="list-style-type: none"> - ปาล์ม+ดีเซล - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล - S/C ratio = 1:8 	<ul style="list-style-type: none"> - ปาล์ม+ดีเซล - ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล - S/C ratio = 1:8 	<ul style="list-style-type: none"> - เมทิลโอเลเอต/ออกทานอล - S/C ratio = 1:8 - เอทานอลร้อยละ20 - น้ำมันร้อยละ 60 - S/C ร้อยละ 20

สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม และได้มีการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนเพื่อแก้ปัญหาทรัพยากรด้านปิโตรเลียมที่กำลังจะหมดไป ซึ่งน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันจากพืชที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพมากที่สุด แต่น้ำมันปาล์มมีความหนืดสูงจึงจำเป็นต้องมีการลดความหนืดก่อนจะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล วิธีการลดความหนืดของเชื้อเพลิงมี 4 วิธีได้แก่ การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลโดยตรง (Direct use and blending) วิธีไพโรไลซิส (Pyrolysis) วิธีทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Tranesterification) และวิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีไมโครอิมัลชัน ซึ่งเป็นวิธีการที่น่าสนใจ ไมโครอิมัลชันเป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืช สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชให้สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า สูตรน้ำมันไมโครอิมัลชันที่มีคุณสมบัติที่ดีคือ น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ส่วนผสมของดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 1 ออกทานอล และเอทานอล สามารถช่วยลดค่าความหนืดของสารละลายได้ ในขณะที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 เป็นสัดส่วนที่ใช้จำนวนสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดในการละลายเอทานอลในน้ำมัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกสูตรน้ำมันที่ดัดนั้นมาทำการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันให้ดีขึ้นด้วยการเติมสารเติมแต่ง การเติมสารเติมแต่งจะช่วยปรับให้ค่าความหนืด ค่าความร้อน ความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเท เหม่า ในรูปปริมาณแก้ว และปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มีความมุ่งมั่นในการลดความหนืด ปรับปรุงคุณสมบัติบางประการและการลดปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเป็นหลัก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของการเติมสารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มไกลคอลอีเทอร์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง โดยใช้สารเติมแต่งดังนี้ ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) เอทิลอะซิเตท (EA) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันได้แก่ ค่าความหนืด ค่าความร้อน ความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเท เหม่าในรูปปริมาณแก้ว ปริมาณน้ำ และวิเคราะห์การปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

แล้วนำมาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง มาตรฐานน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล ตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM (American Standard Testing Method) งานวิจัยนี้เลือกใช้ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (EO1) เป็นสารลดแรงตึงผิว ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างเอทานอลและน้ำมันพืชที่ผสมกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (EO₁) เป็นสารลดแรงตึงผิวแบบชอบน้ำมันจึงสามารถจับกับน้ำมันได้ดีกว่าและทำให้แรงตึงผิวระหว่างเอทานอลกับน้ำมันน้อยกว่า เพราะสารลดแรงตึงผิวประเภทแอลกอฮอล์อีทอกซิลेट คือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 มีค่าเอชแอลบี 3.6 ซึ่งค่าเอชแอลบีต่ำ (HLB<7) เหมาะกับอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันหรือวินเซอร์ชนิดที่ 2 (Winsor type II, W/O) คือ สามารถละลายน้ำมันได้ดีกว่าน้ำ ทำให้ชั้นน้ำมันเกิดไมโครอิมัลชันที่มีการฟอร์มตัวในรูปของรีเวอร์สไมเซลล์ (Reverse micelle) สารลดแรงตึงผิวส่วนหัวเป็นส่วนที่ชอบน้ำจะหันเข้าหากัน แล้วหันส่วนที่ชอบน้ำมันออกสู่ด้านนอก แต่ถ้าสารลดแรงตึงผิวมีค่าเอชแอลบีสูง (HLB>7) เหมาะกับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำหรือวินเซอร์ชนิดที่ 1 (Winsor type I, O/W) และจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (EO1) ให้ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพต่ำกว่า ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์3 (EO3) และดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 (EO5) ตามลำดับ เพราะดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์5 (EO5) มีขนาดในการฟอร์มเป็นไมโครอิมัลชันที่ใหญ่กว่าจึงมีความหนืดมากกว่า (นิจวรรณ อนันตรกิติ, 2556) สารลดแรงตึงผิวร่วม (สารช่วยสารลดแรงตึงผิว) ที่ใช้คือบิวทานอลและออกทานอล โดยสารลดแรงตึงผิวร่วมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของสารลดแรงตึงผิว ใช้อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็น 1:8 โดยโมล เป็นสัดส่วนที่ใช้จำนวนสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดจากแผนภาพสามเหลี่ยมเราจึงเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมในปริมาตรร้อยละ 20 โดยปริมาตร น้ำมันพืชผสมกับดีเซลปริมาตรร้อยละ 60 โดยปริมาตร และเอทานอลปริมาตรร้อยละ 20 โดยปริมาตร น้ำมันพืชที่เลือกใช้คือ น้ำมันปาล์มเนื่องจากน้ำมันปาล์มเป็นพืชที่มีศักยภาพในการให้น้ำมันต่อพื้นที่สูงสุดและในปัจจุบันนิยมนำมาใช้ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพมากที่สุด โดยใช้อัตราส่วนน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลคือ 50:50 โดยปริมาตร (Attaphong และ Sabatini, 2012) พิจารณาจากค่าความหนืด ปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวและค่าใช้จ่ายของสารเคมี

การเลือกสารเติมแต่งแต่ละชนิดมาปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้งานและต้องการปรับปรุงคุณสมบัติด้านใด ดังนั้นจึงควรเลือกสารเติมแต่งที่ดีมีความเหมาะสมในการปรับปรุงเชื้อเพลิงให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยงานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่นคืองานวิจัยนี้มีความมุ่งเน้นการลดความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ปรับปรุงคุณสมบัติบางประการและการลดปริมาณการปล่อยก๊าซไอเสียเป็นหลัก จึงเลือกสารกลุ่มไกลคอลอีเทอร์มาใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อทำการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงชีวภาพให้ดีขึ้น โดยสารเติมแต่งทำหน้าที่เป็นตัวทำลายร่วมเพื่อป้องกันการแยกวัฏภาค และมีคุณสมบัติทำให้จุดเยือกแข็งของของเหลวลดลง (Anti-freezing) เพื่อสามารถใช้กับเครื่องยนต์ได้ อีกทั้งสารกลุ่มนี้ยังทำหน้าที่เป็น

สารลดแรงตึงผิวร่วมได้อีกด้วย โดยความเข้มข้นและโครงสร้างของไกลคอลอีเทอร์จะมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพ จากอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล (Arpornpong, 2013) ในงานวิจัยนี้ใช้สารเติมแต่งเพื่อสามารถปรับปรุงเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่งที่เหมาะสมคือ 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 ทำให้สารผสมเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน และการเติมสารเติมแต่งไม่ควรเติมในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 10 (ฉัญญธร อิศราชีวะ, 2548)



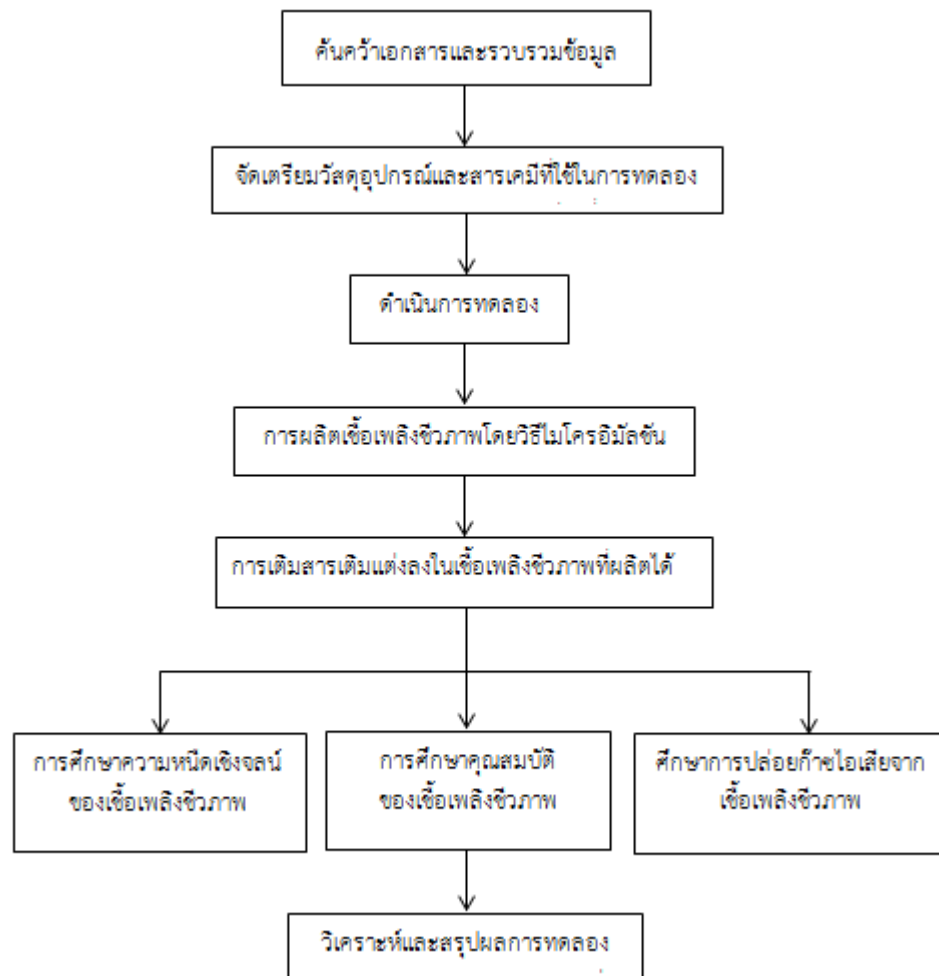
บทที่ 3

แผนการทดลองและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของไกลคอลอีเทอร์ที่ส่งผลให้สามารถปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน มีคุณสมบัติที่สำคัญได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ ค่าความร้อน จุดชุน จุดไหลเท ปริมาณน้ำ เหม่า(วัดในรูปปริมาณเถ้า)และการปล่อยก๊าซไอเสีย โดยใช้ น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซล สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่ใช้ คือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (EO₁) สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้คือ บิวทานอล (1-Butanol) และออกทานอล (1-Octanol) สารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ 5 ชนิดได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) และเอทิลอะซิเตท (EA) งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิต่ำ ๕ องศาเซลเซียส จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ช่วงการทดลอง แสดงดังภาพที่ 3.1 ซึ่งมีแผนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ค้นคว้าเอกสารและรวบรวมข้อมูลต่างๆ
2. จัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
3. ดำเนินการทดลอง แบ่งการทดลองมี 5 ช่วงการทดลอง ดังนี้
 - การทดลองที่ 1 ศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน
 - การทดลองที่ 2 ศึกษาวิฤภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพ
 - การทดลองที่ 3 ศึกษาความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
 - การทดลองที่ 4 ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
 - การทดลองที่ 5 ศึกษาการปล่อยปริมาณก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
4. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง



ภาพที่ 3-1 แสดงขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

ตารางที่ 3-1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> - สารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-surfactant) ได้แก่ บิวทานอล (1-Butanol) และ ออกทานอล (1-Octanol) - สารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ <ol style="list-style-type: none"> 1. เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) 2. ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) 3. โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) 4. ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) 5. เอทิลอะซิเตท (EA) - ในงานวิจัยนี้ใช้สารเติมแต่งเพื่อสามารถปรับปรุงเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง (S:C:A) เป็น 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 - อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส - เวลา 1 7 และ 30 วัน
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> - ภูมิภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพ - ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน - คุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน - การปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-surfactant) คือ 1:8 โดยโมล - อัตราส่วนน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืช 50:50 โดยปริมาตร - ปริมาณน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล เอทานอล และอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมในปริมาณร้อยละ 60 20 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ - สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ได้แก่ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

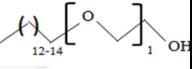
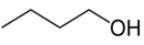

- 3.2.1.1 หลอดทดลอง (Test tube)
- 3.2.1.2 เครื่องผสมสาร (Vortex geniez) รุ่น G-560E
- 3.2.1.3 ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (Rack)
- 3.2.1.4 ปีกเกอร์ (Beaker)
- 3.2.1.5 กระบอกลวด (Cylinder)
- 3.2.1.6 ขวดแก้วกันกลม (Duran)
- 3.2.1.7 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- 3.2.1.8 อ่างน้ำควบคุมความเย็น (Cooling bath)
- 3.2.1.9 อ่างน้ำควบคุมความร้อน (Heating bath)
- 3.2.1.10 ขวดเก็บตัวอย่างฝาเกลียว (Vial)
- 3.2.1.11 ไมโครปิเปต (Micropipet)
- 3.2.1.12 ไมโครปิเปตทิป (Micropipette tip)
- 3.2.1.13 เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ชนิด Canon-Fenske
- 3.2.1.14 เครื่องวัดปริมาณก๊าซไอเสีย (Gas analyzer testo 350-XL)
- 3.2.1.15 เครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที ยี่ห้อมิตซูบิ
รุ่น 100KB-4

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.2.1 น้ำมันปาล์มจากบริษัท มรกตอินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
- 3.2.2.2 น้ำมันดีเซล (Blue Diesel) สถานีบริการน้ำมัน ปตท.
- 3.2.2.3 เอทานอล ACS reagent ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทอิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.2.2.4 ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 1 (Dehydrol LS1 TH, EO1) ที่มีความบริสุทธิ์ ร้อยละ 99.7 จากบริษัทไทยอีทอกซีเลท จำกัด
- 3.2.2.5 บิวทานอล (1-Butanol) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทอิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.2.2.6 ออกทานอล (1-Octanol) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทอิตัล มาร์ (ประเทศไทย) จำกัด

- 3.2.2.7 เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทอิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.2.2.8 ไตเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทอิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.2.2.9 โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทเคมีคอล ฮับ จำกัด
- 3.2.2.10 ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทอิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด
- 3.2.2.11 เอทิลอะซิเตท (EA) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัทอิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด

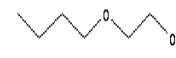

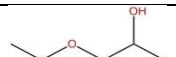
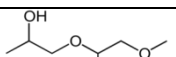

ตารางที่ 3-2 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม

สารเคมี	สูตรโมเลกุล	โครงสร้าง	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)
ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 (Dehydrol LS1 TH, EO1)	$C_{12-14}(EO)_1OH$		217.15	0.837
บิวทานอล (1-Butanol)	C_4H_9OH		74.12	0.810
ออกทานอล (1-Octanol)	$C_8H_{17}OH$		130.23	0.824

*EO: Ethylene oxide (C_2H_4O)

ที่มา: (Merck KGaA Chemicals company, 2008)

ตารางที่ 3-3 คุณสมบัติทางกายภาพของสารเติมแต่ง (Additive)

สารเติมแต่ง	สูตร โมเลกุล	โครงสร้าง	มวล โมเลกุล (กรัม/โมล)	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)
เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์	$C_6H_{14}O_2$		118.17	0.902
ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์	$C_6H_{14}O_3$		134.18	0.988
โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์	$C_5H_{12}O_2$		104.15	0.896
ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์	$C_7H_{16}O_3$		148.20	0.950
เอทิลอะซิเตท	$C_4H_{10}O_2$		88.11	0.900

ที่มา: (Merck KGaA Chemicals company, 2008)

ตารางที่ 3-4 คุณสมบัติทางเคมีของสารเติมแต่ง (Additive)

สารเติมแต่ง	ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตรต่อ วินาที)	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนของ ออกซิเจนใน โมเลกุล
เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์	2.519	ต่ำกว่า-70	ร้อยละ 27
ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์	2.686	ต่ำกว่า-70	ร้อยละ 39
โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์	1.501	-35	ร้อยละ 30
ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์	2.576	-80	ร้อยละ 32
เอทิลอะซิเตท	1.205	-83	ร้อยละ 36

ที่มา: (Merck KGaA Chemicals company, 2008)

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

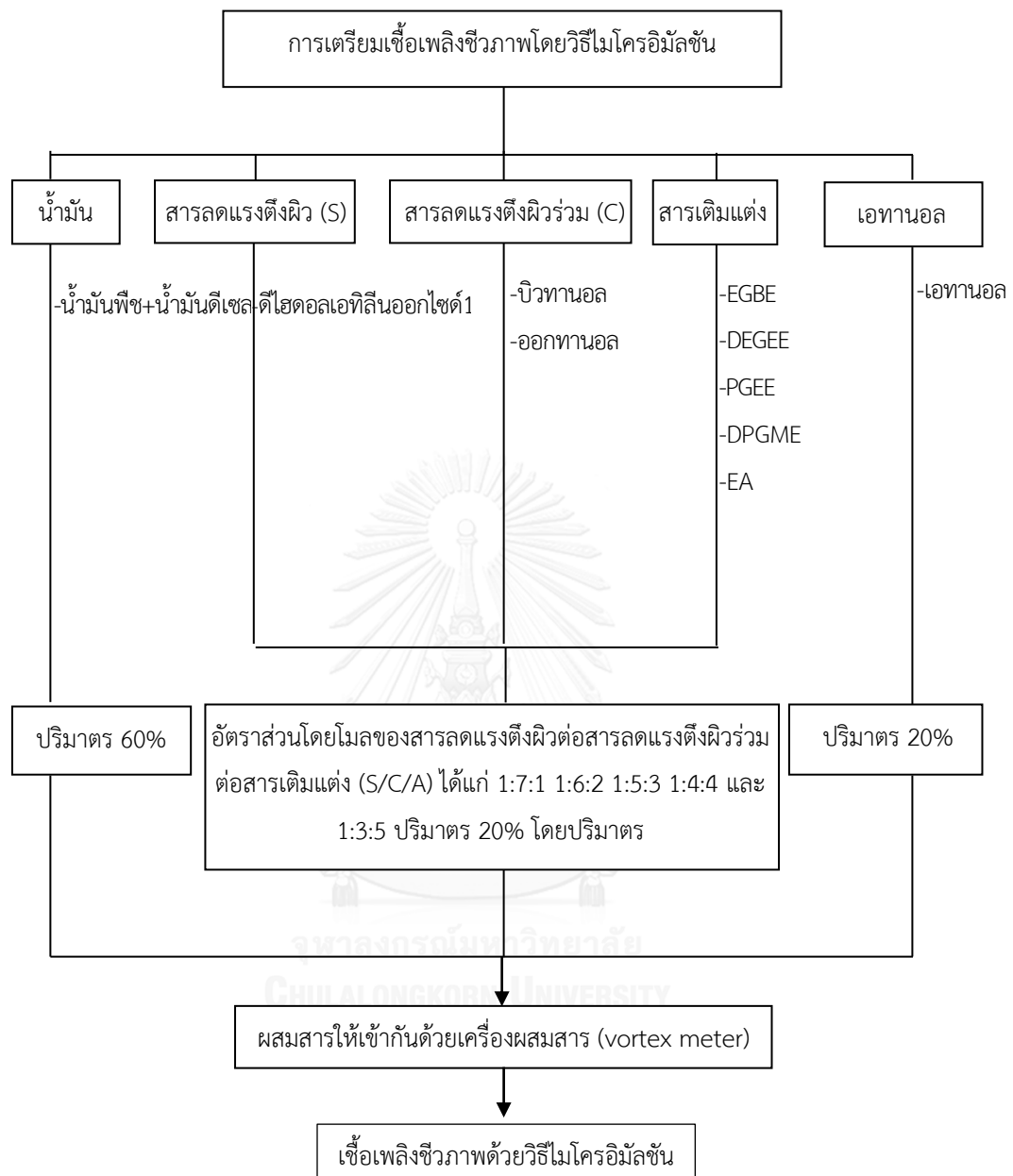
3.3.1 การทดลองช่วงที่ 1 : การเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

งานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์มาจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า สูตรน้ำมันเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่มีคุณสมบัติที่ดีคือน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร (Attaphong และSabatini, 2012) ส่วนผสมของดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ออกทานอล โดยอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม คือ 1:8 โดยโมล และเอทานอล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกสูตรน้ำมันที่ดีนั้นมาทำการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันให้ดีขึ้นด้วยการเติมสารเติมแต่ง ซึ่งใช้น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล ในปริมาณร้อยละ 60 20 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ (Arpornpong, 2013)

1. เตรียมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลผสมกันในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร (Attaphong และSabatini, 2012)
2. เตรียมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant, S) ชนิดไม่มีประจุคือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 ที่ความเข้มข้น 0.125 โมลต่อลิตร (ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวคงที่)
3. เตรียมสารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-surfactant, C) คือ บิวทานอลและออกทานอล อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม คือ 1:8 โดยโมล (Arpornpong, 2013)
4. เตรียมสารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มไกลคอลอีเทอร์ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) และเอทิลอะซิเตท (EA) ในงานวิจัยนี้ใช้สารเติมแต่งเพื่อสามารถปรับปรุงเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง (S:C:A) เป็น 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ1:3:5
5. เตรียมปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง (S:C:A) ร้อยละ 20 โดยปริมาตร (Arpornpong, 2013)
6. เตรียมปริมาณน้ำมันร้อยละ 60 โดยปริมาตร (Arpornpong, 2013)
7. เตรียมปริมาณเอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร (Arpornpong, 2013)
8. ทำการผสมสารทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ น้ำมัน เอทานอล สารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม และสารเติมแต่ง แบบทีละเท (batch) ด้วยเครื่องผสมสาร (vortex meter) เพื่อให้สารรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ทำซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้เชื้อเพลิงชีวภาพเข้าสู่ภาวะคงตัว สังเกตว่าภูมิภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยตาเปล่า แล้วทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตารางที่ 3-5 ตัวแปรที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชัน

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> - สารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-surfactant) ได้แก่ บิวทานอล (1-Butanol) และ ออกทานอล (1-Octanol) - สารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ <ol style="list-style-type: none"> 1. เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) 2. ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) 3. โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) 4. ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) 5. เอทิลอะซิเตท (EA) - ในงานวิจัยนี้ใช้สารเติมแต่งเพื่อสามารถปรับปรุงเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง (S:C:A) เป็น 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 - อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส - เวลา 1 7 และ 30 วัน
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> - ภูมิภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพ - ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน - คุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน - การปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-surfactant) คือ 1:8 โดยโมล - อัตราส่วนน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืช 50:50 โดยปริมาตร - ปริมาณน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล เอทานอล และอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมในปริมาณร้อยละ 60 20 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ - สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ได้แก่ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

ตารางที่ 3-6 แสดงตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่าง	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว (S)	สารลดแรงตึงผิว ร่วม (C)	สารเติมแต่ง (A)	อัตราส่วน โดยโมลของ (S/C/A)	เอทานอล
1	น้ำมัน ปาล์ม +ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีน ออกไซด์1	บิวทานอล	EGBE	1:7:1	เอทานอล
2	”	”	”	EGBE	1:6:2	”
3	”	”	”	EGBE	1:5:3	”
4	”	”	”	EGBE	1:4:4	”
5	”	”	”	EGBE	1:3:5	”
6	”	”	ออกทานอล	EGBE	1:7:1	”
7	”	”	”	EGBE	1:6:2	”
8	”	”	”	EGBE	1:5:3	”
9	”	”	”	EGBE	1:4:4	”
10	”	”	”	EGBE	1:3:5	”
11	”	”	บิวทานอล	DEGEE	1:7:1	”
12	”	”	”	DEGEE	1:6:2	”
13	”	”	”	DEGEE	1:5:3	”
14	”	”	”	DEGEE	1:4:4	”
15	”	”	”	DEGEE	1:3:5	”

ตารางที่ 3-6 แสดงตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว (S)	สารลดแรงตึงผิว ร่วม (C)	สารเติมแต่ง (A)	อัตราส่วน โดยโมลของ (S/C/A)	เอทานอล
16	น้ำมัน ปาล์ม +ดีเซล	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1	ออกทานอล	DEGEE	1:7:1	เอทานอล
17	”	”	”	DEGEE	1:6:2	”
18	”	”	”	DEGEE	1:5:3	”
19	”	”	”	DEGEE	1:4:4	”
20	”	”	”	DEGEE	1:3:5	”
21	”	”	บิวทานอล	PGEE	1:7:1	”
22	”	”	”	PGEE	1:6:2	”
23	”	”	”	PGEE	1:5:3	”
24	”	”	”	PGEE	1:4:4	”
25	”	”	”	PGEE	1:3:5	”
26	”	”	ออกทานอล	PGEE	1:7:1	”
27	”	”	”	PGEE	1:6:2	”
28	”	”	”	PGEE	1:5:3	”
29	”	”	”	PGEE	1:4:4	”
30	”	”	”	PGEE	1:3:5	”

ตารางที่ 3-6 แสดงตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว (S)	สารลดแรงตึงผิวร่วม (C)	สารเติมแต่ง (A)	อัตราส่วนโดยโมลของ (S/C/A)	เอทานอล
31	น้ำมันปาล์ม + ดีเซล	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์ 1	บิวทานอล	DPGME	1:7:1	เอทานอล
32	„	„	„	DPGME	1:6:2	„
33	„	„	„	DPGME	1:5:3	„
34	„	„	„	DPGME	1:4:4	„
35	„	„	„	DPGME	1:3:5	„
36	„	„	ออกทานอล	DPGME	1:7:1	„
37	„	„	„	DPGME	1:6:2	„
38	„	„	„	DPGME	1:5:3	„
39	„	„	„	DPGME	1:4:4	„
40	„	„	„	DPGME	1:3:5	„
41	„	„	บิวทานอล	EA	1:7:1	„
42	„	„	„	EA	1:6:2	„
43	„	„	„	EA	1:5:3	„
44	„	„	„	EA	1:4:4	„
45	„	„	„	EA	1:3:5	„

ตารางที่ 3-6 แสดงตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน (ต่อ)

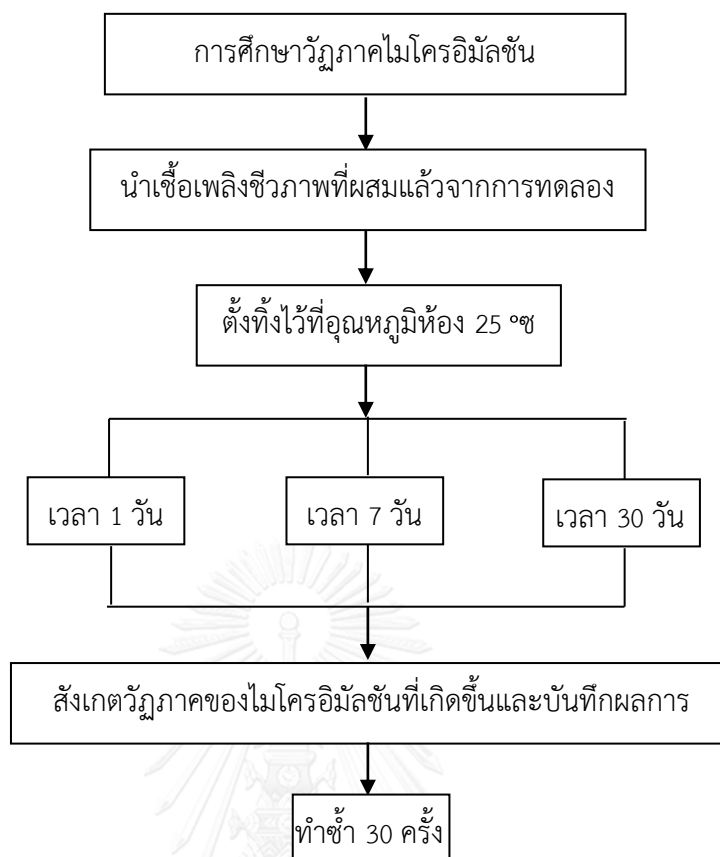
ตัวอย่าง	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว (S)	สารลดแรงตึงผิว ร่วม (C)	สารเติมแต่ง (A)	อัตราส่วน โดยโมลของ (S/C/A)	เอทานอล
46	น้ำมัน ปาล์ม +ดีเซล	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1	ออกทานอล	EA	1:7:1	เอทานอล
47	„	„	„	EA	1:6:2	„
48	„	„	„	EA	1:5:3	„
49	„	„	„	EA	1:4:4	„
50	„	„	„	EA	1:3:5	„

3.3.2 การทดลองช่วงที่ 2 : ศึกษาวัฏภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพ

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผสมแล้วจากการทดลองช่วงที่ 1 มาศึกษาวัฏภาคไมโครอิมัลชันด้วยการนำมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 วัน
2. สังเกตวัฏภาคไมโครอิมัลชันด้วยตาเปล่าและบันทึกผลการทดลอง ทำซ้ำ 3 ครั้ง
3. เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน และ 30 วัน สังเกตวัฏภาคไมโครอิมัลชันด้วยตาเปล่า

ตารางที่ 3-7 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาวัฏภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> - สารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-surfactant) ได้แก่ บิวทานอล (1-Butanol) และ ออกทานอล (1-Octanol) - สารเติมแต่ง(Additive) กลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ <ol style="list-style-type: none"> 1. เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) 2. ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) 3. โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) 4. ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) 5. เอทิลอะซิเตท (EA) - อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง (S:C:A) เป็น 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 - เวลา 1 7 และ 30 วัน
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> - วัฏภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-surfactant) คือ 1:8 โดยโมล - อัตราส่วนน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืช 50:50 โดยปริมาตร - ปริมาณน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล เอทานอล และอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมในปริมาณร้อยละ 60 20 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ - สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ได้แก่ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1



ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการการศึกษาไวรัสภาคไมโครอิมัลชัน

3.3.3 การทดลองช่วงที่ 3 : ศึกษาความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

1. ค่าความหนืดวัดด้วยเครื่องมือวัดความหนืด (Viscometer) ชนิด Canon-fenske (ASTM D445) นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันเทใส่ในหลอดวัดความหนืด ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. ทำการจับเวลาดูการไหลของเชื้อเพลิงชีวภาพจากขีดด้านบนจนถึงขีดด้านล่างของหลอดวัดความหนืด
3. ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 15 25 30 40 องศาเซลเซียส ทำการปรับอุณหภูมิโดยใช้อ่างควบคุมความเย็นและความร้อน ดังภาคผนวก ภาพที่ ก-1 และ ก-2
4. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
5. คำนวณหาค่าความหนืด (kinetic viscosity) จากสมการที่ 1

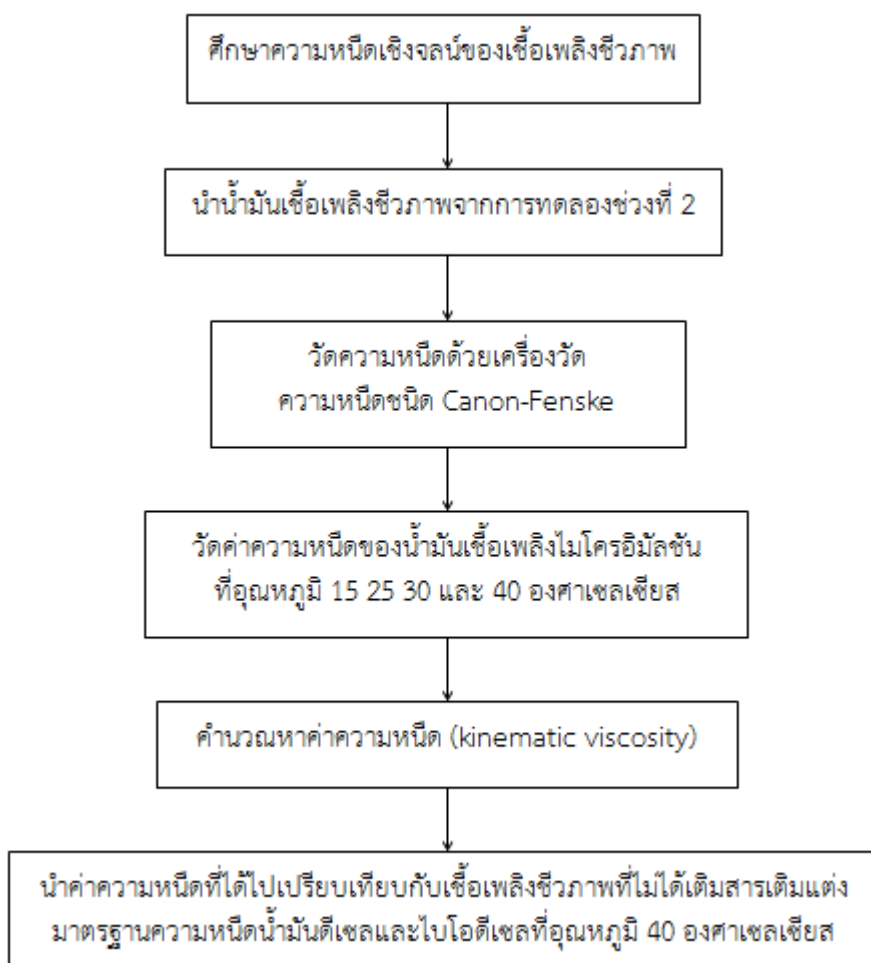
$$\mu = Kt \quad (1)$$
 เมื่อ μ คือ ค่าความหนืดเชิงจลน์ (cSt)
 K คือ ค่าความหนืดคงที่ (0.01606 cSt/s)
 t คือ เวลาที่สารเคลื่อนที่ในหลอดวัดความหนืด (s)
6. นำค่าความหนืดที่ได้เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งมาตรฐานความหนืดน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3-4 เครื่อง Viscometer ชนิด Canon-Fenske

ตารางที่ 3-8 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> - สารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-surfactant) ได้แก่ บิวทานอล (1-Butanol) และ ออกทานอล (1-Octanol) - สารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มไกลคอลอีเทอร์ ได้แก่ <ol style="list-style-type: none"> 1. เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) 2. ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) 3. โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) 4. ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) 5. เอทิลอะซิเตท (EA) - อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง (S:C:A) เป็น 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 - เวลา 1 7 และ 30 วัน
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> - ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-surfactant) คือ 1:8 โดยโมล - อัตราส่วนน้ำมันดีเซลและน้ำมันพืช 50:50 โดยปริมาตร - ปริมาณน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล เอทานอล และอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมในปริมาณร้อยละ 60 20 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ - สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ได้แก่ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1



ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนการศึกษาความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

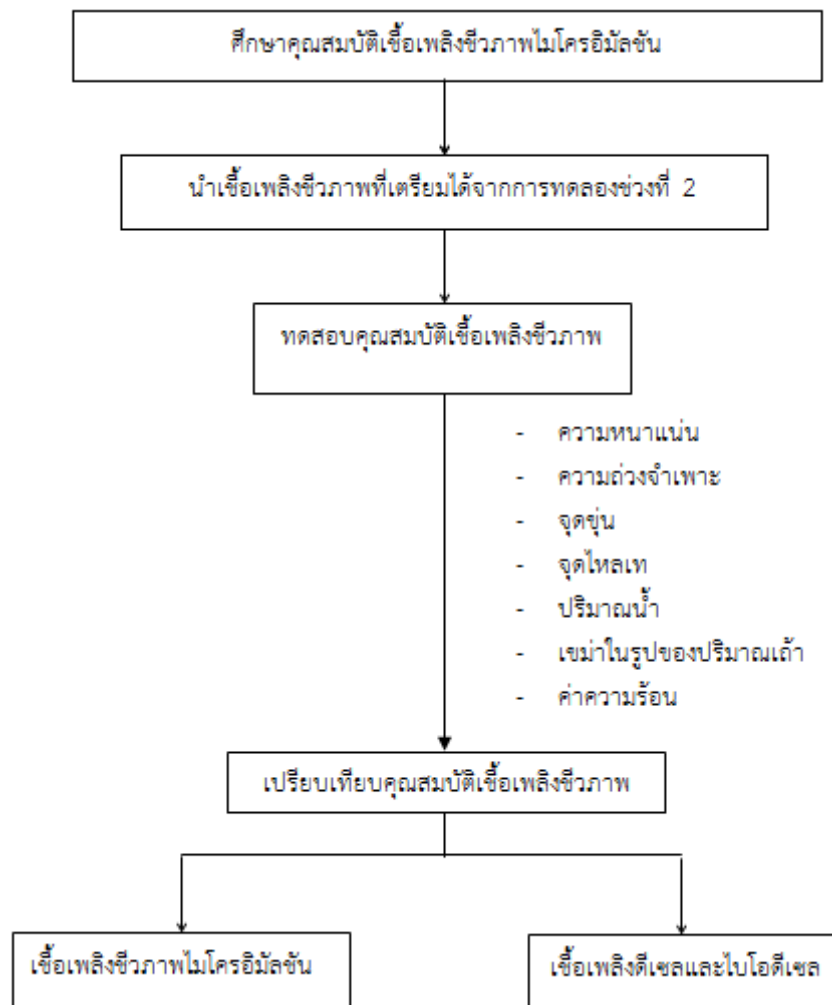
3.3.4 การทดลองช่วงที่ 4 : การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน จากการทดลองช่วงที่ 2 มาทำการศึกษาคูณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงชีวภาพ
2. วิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น (density) ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) จุดขุ่น (cloud point) ดังภาพที่ ก-3 จุดไหลเท (pour point) ดังภาพที่ ก-4 ปริมาณน้ำ (water content) เหม่าในรูปปริมาณเถ้า (Ash content) ค่าความร้อน (Gross heat of combustion) โดยวิเคราะห์ตามวิธีของมาตรฐาน ASTM ดังภาพที่ จ-2
3. เปรียบเทียบคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันกับมาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซล และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ตารางที่ 3-9 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำการศึกษา

คุณสมบัติ	หน่วย	เครื่องมือ	วิธีวิเคราะห์
ความหนาแน่น (Density)	กรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร	Digital analytical balance	Weighing
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	-	Digital analytical balance	Weighing
จุดขุ่น (Cloud point)	องศาเซลเซียส	Cooling bath	ประยุกต์จาก ASTM D2500
จุดไหลเท (Pour point)	องศาเซลเซียส	Cooling bath	ประยุกต์จาก ASTM D2500
ปริมาณน้ำ (Water content)	ร้อยละโดยปริมาตร	Karl fischer tritator	ใช้ค่าจาก (Arpornpong, 2013)
เหม่าในรูป ปริมาณเถ้า (Ash Content)	ร้อยละโดยมวล	AC-350 automatic caloromiter	Weighing
ค่าความร้อน (Gross heat of combustion)	เมกะจูล/กิโลกรัม	AC-350 automatic caloromiter	ASTM D240 (ส่งวิเคราะห์)

ที่มา: (ASTM International, 2013) (Arpornpong, 2013)



CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 3-6 ขั้นตอนการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไม่โครอิมัลชัน

3.3.5 การทดลองช่วงที่ 5 : ศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพมาจากการทดลองช่วงที่ 4 ดังภาพที่ ก-5 เลือกสูตรน้ำมันเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่มีความเหมาะสมกับการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล มาศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสีย
2. ทดสอบคุณสมบัติในการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบคงที่ 1,800 รอบต่อนาที (ศิริณี เพ็งปรีชา, 2556) แสดงลักษณะเครื่องยนต์ดังภาพที่ 3-7 ติดตั้งอุปกรณ์การปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-7 ลักษณะของเครื่องยนต์



ภาพที่ 3-8 การติดตั้งอุปกรณ์การปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

3. วัดปริมาณก๊าซด้วยเครื่องวัดปริมาณก๊าซไอเสีย (Gas Analyzer Testo 350-XL) ดังภาพที่ ก-6 เนื่องจากองค์ประกอบสำคัญของไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพที่ปล่อยมาประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จึงทำการวัดปริมาณก๊าซต่างๆดังกล่าว ทำการวัดที่ท่อไอเสียของเครื่องยนต์ที่ทำการศึกษา ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ปรับเทียบ (Calibrate) เครื่องมือด้วยก๊าซมาตรฐาน (Standard gas) เพื่อให้เครื่องมืออ่านค่าได้ถูกต้อง

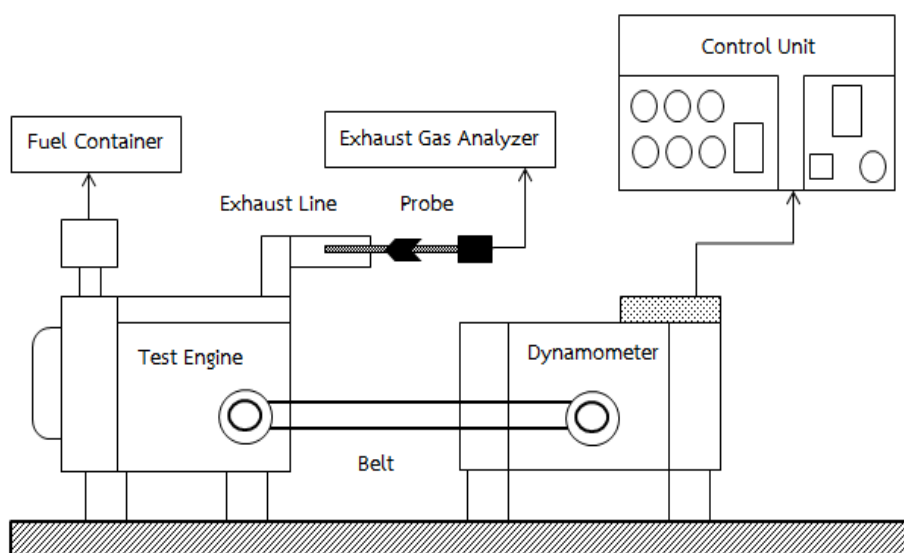
2) หลังจากทำการปรับเทียบ (Calibrate) เพื่อให้เครื่องมืออ่านค่าได้ถูกต้องแล้ว ทำการเดินเครื่องยนต์ ให้อยู่ในอุณหภูมิใช้งานปกติ

3) เมื่อทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ผ่านไป 15 นาที วางหัววัด (PROBE) ของเครื่องวัดปริมาณก๊าซไอเสีย Gas Analyzer Testo 350-XL เข้าไปในท่อไอเสีย 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3-9

4) ให้อ่านค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เมื่อเครื่องมือแสดงผลคงที่แล้ว

5) ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

4. เปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์(NO_x) กับคุณสมบัติเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

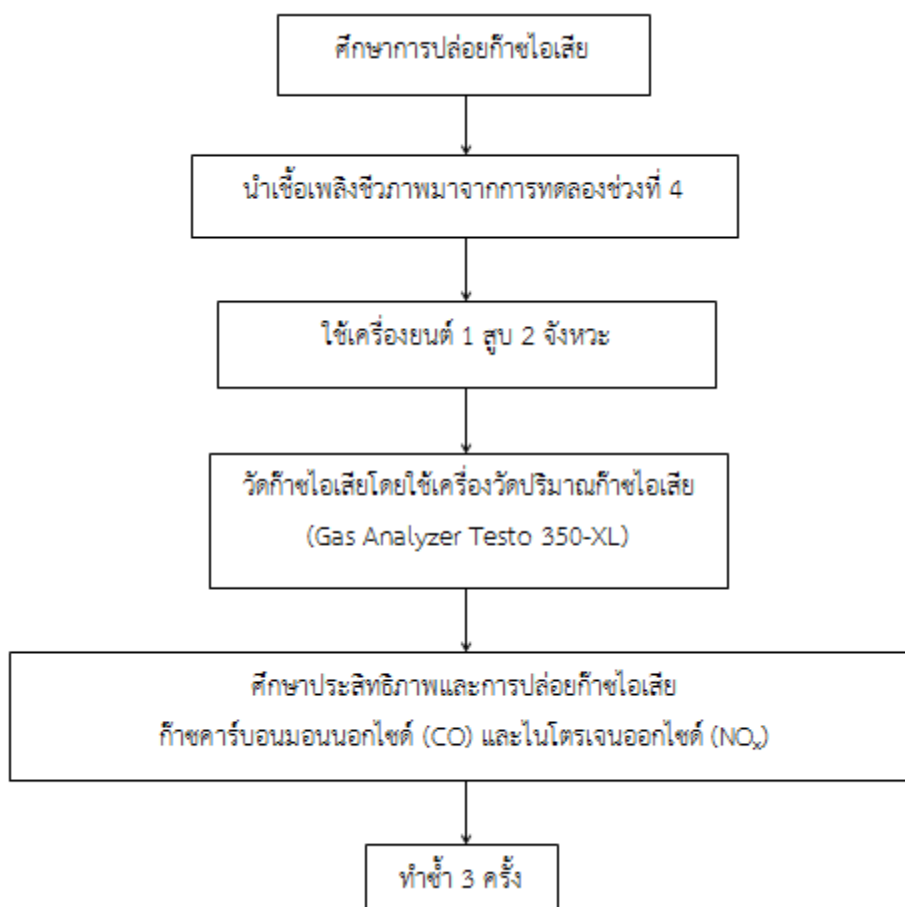


ภาพที่ 3-9 การวางหัววัด (PROBE) ของเครื่อง Gas Analyzer Testo 350-XL

ตารางที่ 3-10 ข้อมูลของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพ

เครื่องยนต์	MITSUKI
รุ่น	100KB-4
ภาระโหลด (วัตต์)	1,500
ระบบสตาร์ท	ระบบกัญแจสตาร์ท/เชือกดึงสตาร์ท
ขนาดท่อเข้า-ออก	4 นิ้ว
เครื่องยนต์ (รอบ/นาที)	1,800
ไดนาโม (รอบ/นาที)	1,500
กำลัง	10 แรงม้า
ระยะเวลาในการสตาร์ทเครื่องยนต์ (นาที)	15
น้ำหนัก	65 กิโลกรัม

ที่มา: (Arpornpong, 2013)



ภาพที่ 3-10 ขั้นตอนการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการใช้สารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มไกลคอลอีเทอร์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง สารเติมแต่งที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไตเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) เอทิลอะซิเตท (EA) ทำการศึกษาผลของความเข้มข้น ชนิด และโครงสร้างของสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มอีทอกซิลเลทแพตตีแอลกอฮอล์ ศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ชนิดต่างๆแล้วนำมาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งและมาตรฐานไบโอดีเซล

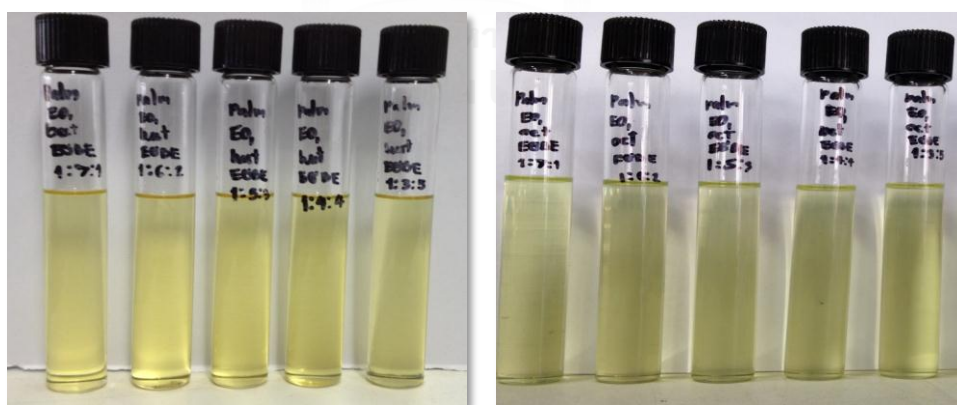
4.1 ผลการศึกษาวัฏภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพ

การศึกษาผลของวัฏภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยมีส่วนผสมของเฟสน้ำมัน (ส่วนที่ไม่มีขี้) ได้แก่ น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร เอทานอล (ส่วนที่มีขี้) และสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมในอัตราส่วน 1:8 โดยโมล ในงานวิจัยนี้ใช้สารเติมแต่งเพื่อสามารถปรับปรุงเชื้อเพลิงชีวภาพพร้อมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ดังนั้นอัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่งได้แก่ 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุคือ ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์ 1 (Dehydrol LS1 TH, EO1) สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้คือ บิวทานอล (1-Butanol) และออกทานอล (1-Octanol) สารเติมแต่งที่ใช้มีดังนี้ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไตเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) และเอทิลอะซิเตท (EA) ใช้ น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล เอทานอล และอัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง ในปริมาณร้อยละ 60 20 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ พบว่าเมื่อผสมสารเหล่านี้แล้วทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Single phase)

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนที่แตกต่างกันของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง (S:C:A) ดังนี้

1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 พบว่าทุกอัตราส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพยังมีลักษณะใสและรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) เมื่อศึกษาผลของชนิดสารเติมแต่งพบว่า การเติมสารเติมแต่งแต่ละชนิดลงไปทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Single phase) เพราะสารกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย (Solvent) ให้กับสารดีไฮดรออลิฟินออกไซด์ 1 (EO1) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวจึงทำให้เข้ากันได้กับเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 3-3 โครงสร้างจำนวนอะตอมคาร์บอนในสารเติมแต่งแตกต่างกันเล็กน้อยและสารกลุ่มไกลคอลอีเทอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่แอลกอฮอล์ (R-OH) และหมู่แอลคอกซี (R-O-R) ดังนั้นเมื่อทำการเติมสารกลุ่มนี้จึงทำให้ละลายได้ดีทั้งในเฟสน้ำมัน (ส่วนที่ไม่มีหัว) และเอทานอล (ส่วนที่มีหัว) ส่วนสารเติมแต่งชนิดเอทิลอะซิเตทเป็นตัวทำละลายที่ดีและละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ ลักษณะโครงสร้างเป็นเอสเทอร์ของกรดอะซิติกและเอทานอลจึงเข้ากันได้กับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ฉัญญธร อิศราชีวะ, 2548) เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน และ 30 วัน สังเกตว่าภูมิภาคไมโครอิมัลชันพบเชื้อเพลิงชีวภาพยังคงรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน

จากการศึกษาผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวร่วม เมื่อเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีความแตกต่างทางโครงสร้างซึ่งบิวทานอล (สายโซ่สั้น) และออกทานอล (สายโซ่ยาว) พบว่า บิวทานอล และออกทานอล มีการละลายและรวมตัวได้ดีกับเชื้อเพลิงชีวภาพ ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพยังคงรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) เพราะสารลดแรงตึงผิวร่วมมีหน้าที่ช่วยให้สารลดแรงตึงผิวเข้าใกล้น้ำมันมากขึ้น ดังภาพที่ 4-1



(ก)

(ข)

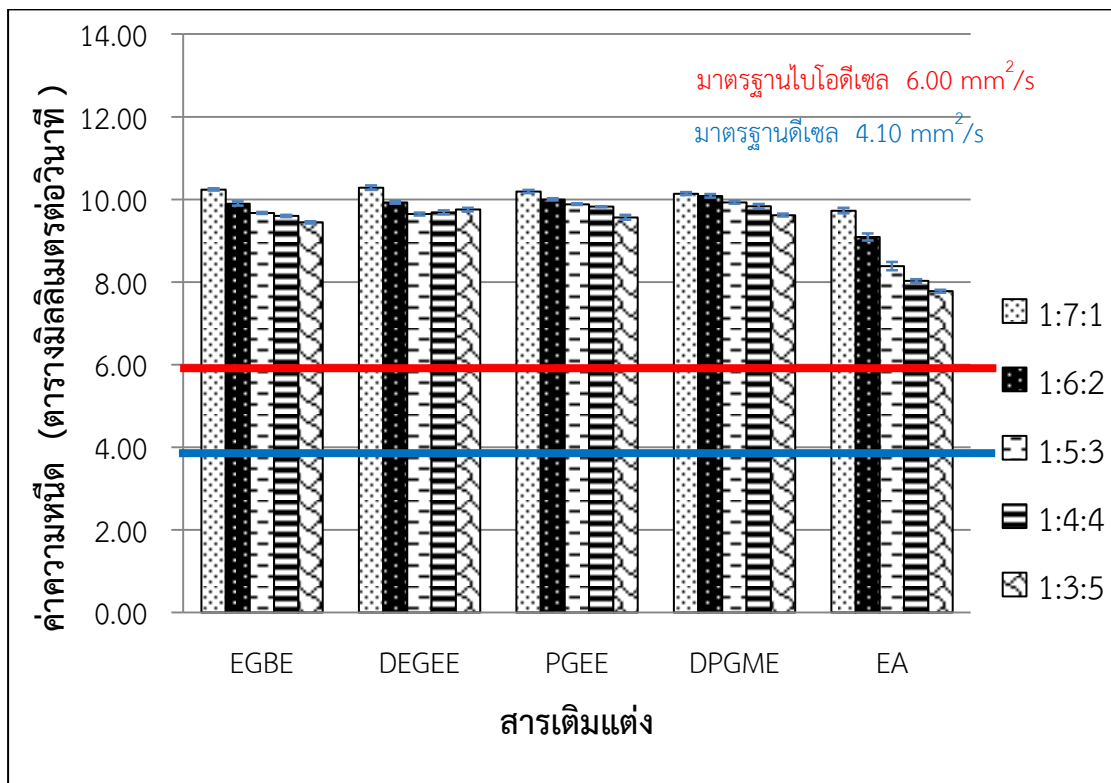
ภาพที่ 4-1 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase)

เตรียมจากสารเติมแต่งชนิดเอทิลไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ในทุกสัดส่วน

(ก) ใช้บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ข) ใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

4.2 ผลการศึกษาค่าความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ (kinematic viscosity)

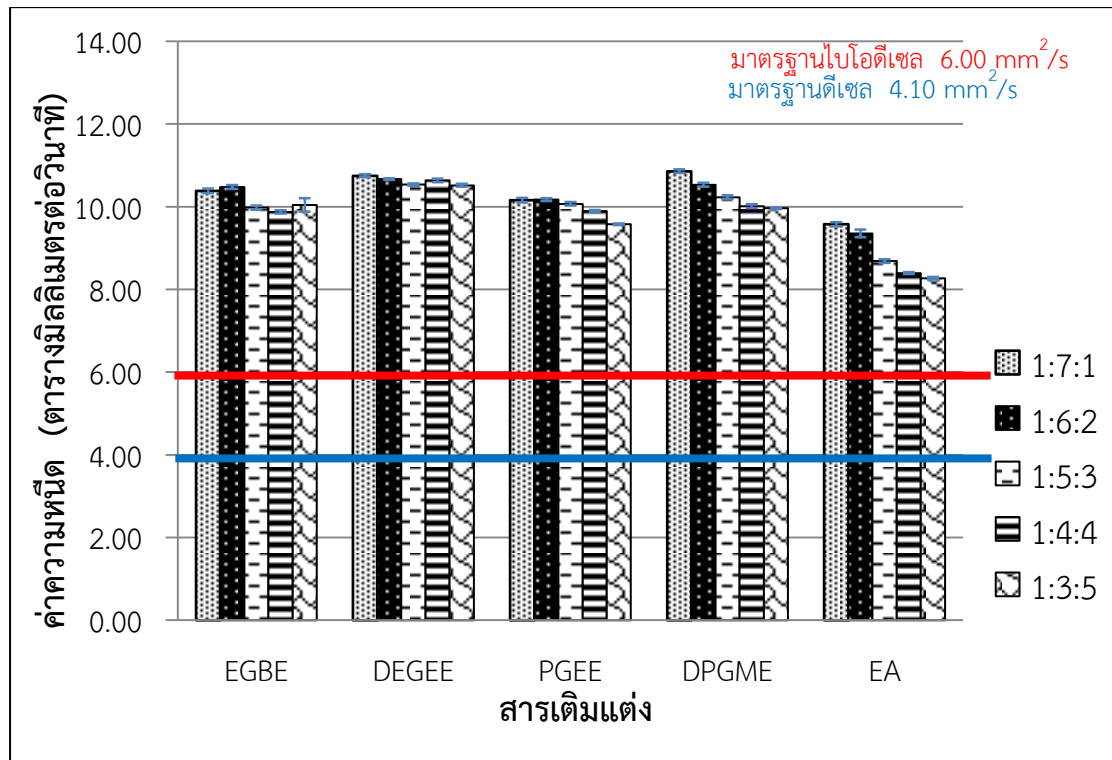
ศึกษาค่าความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพใช้ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D445 ด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ชนิด Canon-fenske ที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซล อัตราส่วน 50:50 ร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร อัตราส่วนโดยโมลของ สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่งเป็น 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 ร้อยละ 20 โดยปริมาตร แสดงดังภาพที่ 4-2 ถึง 4-9



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอลที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

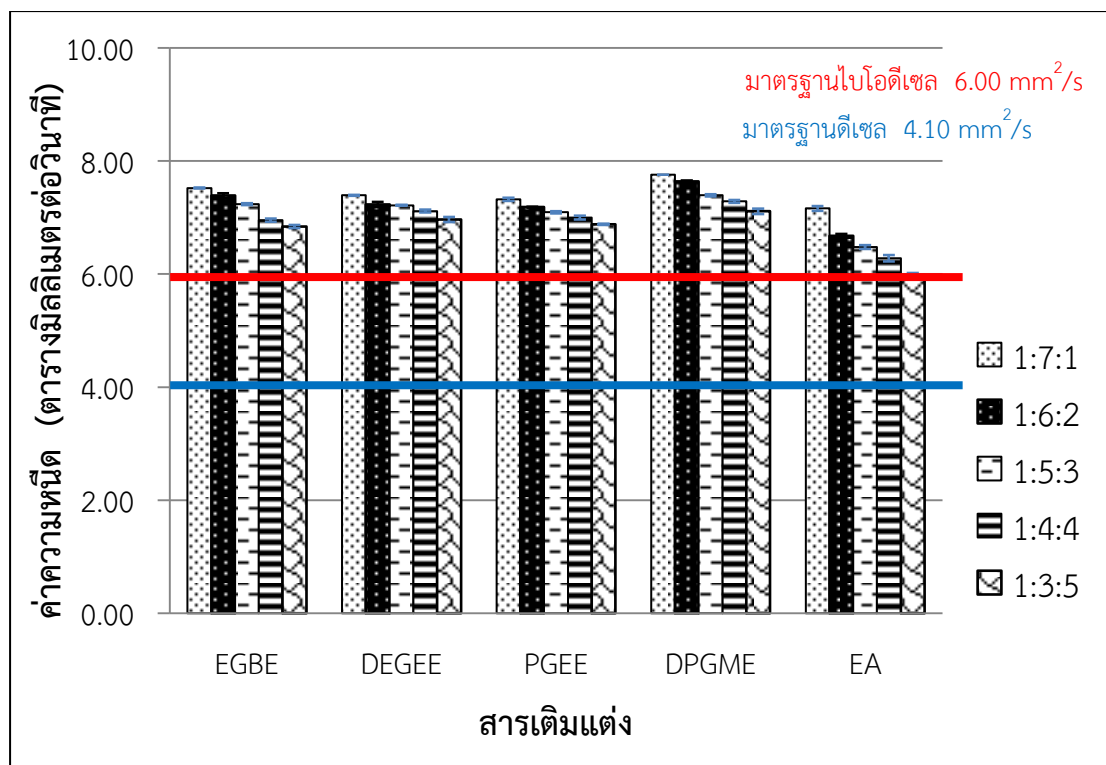
ภาพที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมสารเติมแต่ง (Additive) แต่ละชนิดทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดน้อยกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง ความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งที่เตรียมจากบิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมเท่ากับ 11.04 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที และจากผลการศึกษา

ของอัตราส่วนที่ต่างกัน (1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5) พบว่า ถ้าเพิ่มอัตราส่วนของสารเติมแต่งมีผลทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีความหนืดลดลงตามลำดับ เมื่อใช้สารเติมแต่งเอทิลอะซิเตท (EA) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ ค่าความหนืดเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากเอทิลอะซิเตท (EA) มีค่า 8.27-9.58 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที



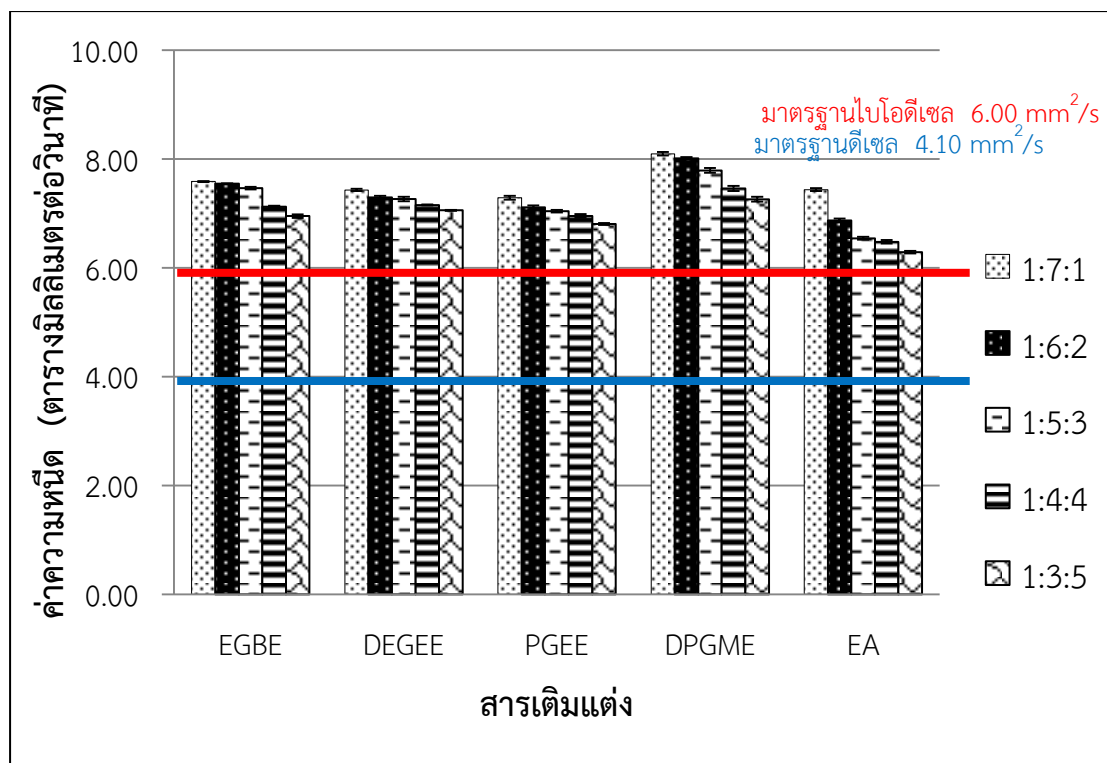
ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เมื่อเติมสารเติมแต่ง ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) และเอทิลอะซิเตท (EA) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าความหนืดจากมากที่สุดไปน้อยสุดตามลำดับ เมื่อสัดส่วนของสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีความหนืดน้อยกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง ความหนืดเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งที่เตรียมจากออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมเท่ากับ 11.11 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที



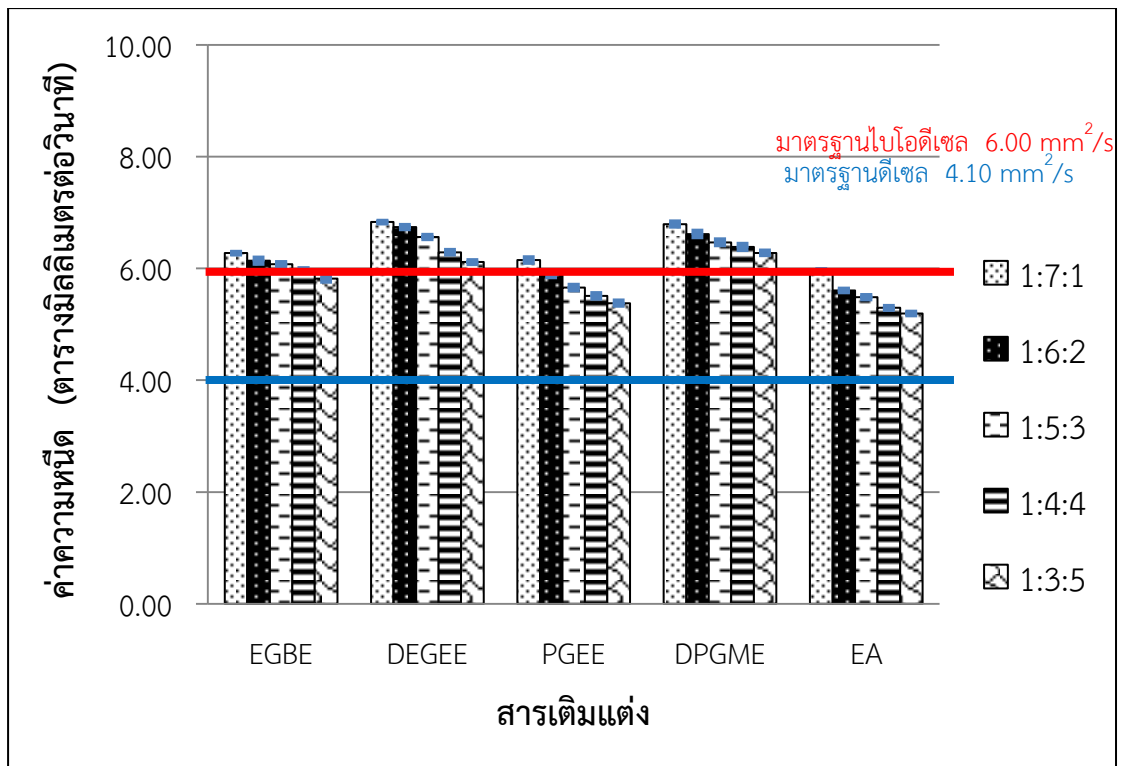
ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากผลการศึกษาการเติมสารเติมแต่ง (Additive) แต่ละชนิด แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งมีความเหนียวน้อยกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง และถ้าเพิ่มอัตราส่วนของสารเติมแต่ง (Additive) มีผลทำให้ค่าความเหนียวลดลง แต่เมื่อใช้สารเติมแต่งชนิดเอทิลอะซิเตท (EA) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความเหนียวต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเหนียวของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งที่เตรียมจากบิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิว รวมคือ 8.02 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที



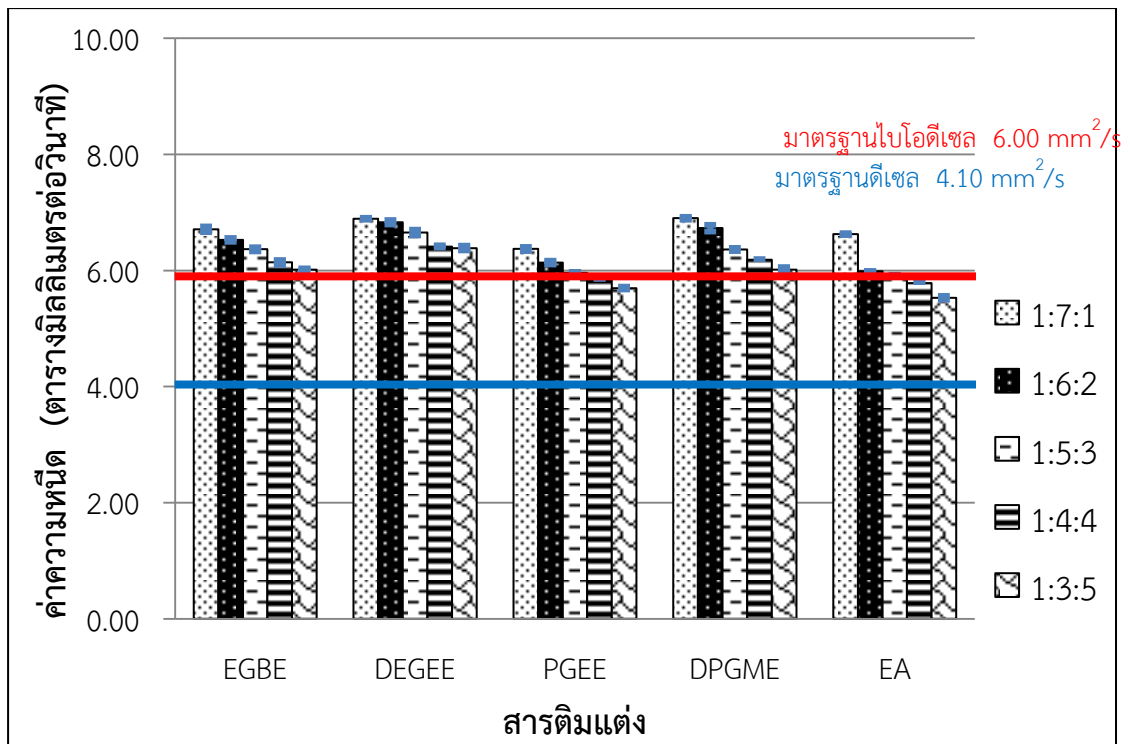
ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากสารเติมแต่งไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) และเอทิลอะซิเตท (EA) มีค่าความหนืดจากมากที่สุดไปน้อยสุด ตามลำดับ เมื่อใช้สารเติมแต่งแต่ละชนิดที่อัตราส่วน 1:3:5 พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าความหนืดต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วน 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 การใช้สารเติมแต่งเอทิลอะซิเตท (EA) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนประกอบของน้ำมันปาล์มผสมดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 1 ออกทานอล เอทิลอะซิเตท มีค่าความหนืด 5.98 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที



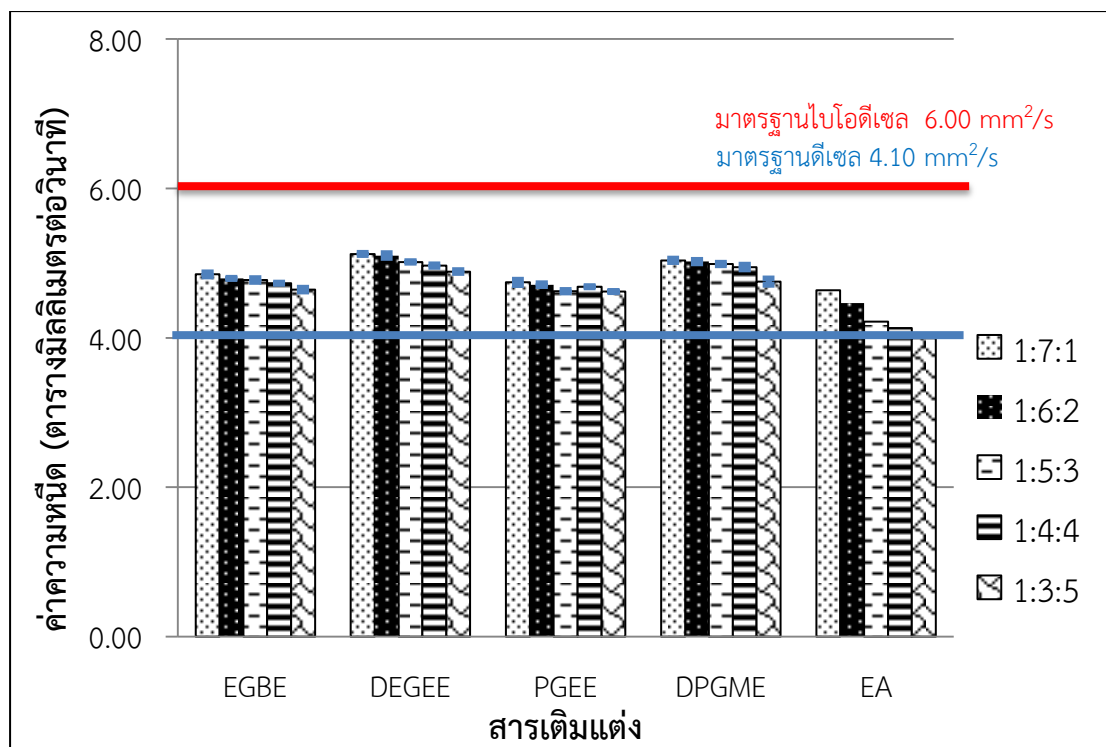
ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมสารเติมแต่งมีผลทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดลดลง และสัดส่วนของสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีความหนืดลดลง การใช้สารเติมแต่งแต่ละชนิดที่อัตราส่วน 1:3:5 พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าความหนืดต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งที่เตรียมจากบิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิว รวมคือ 7.06 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที



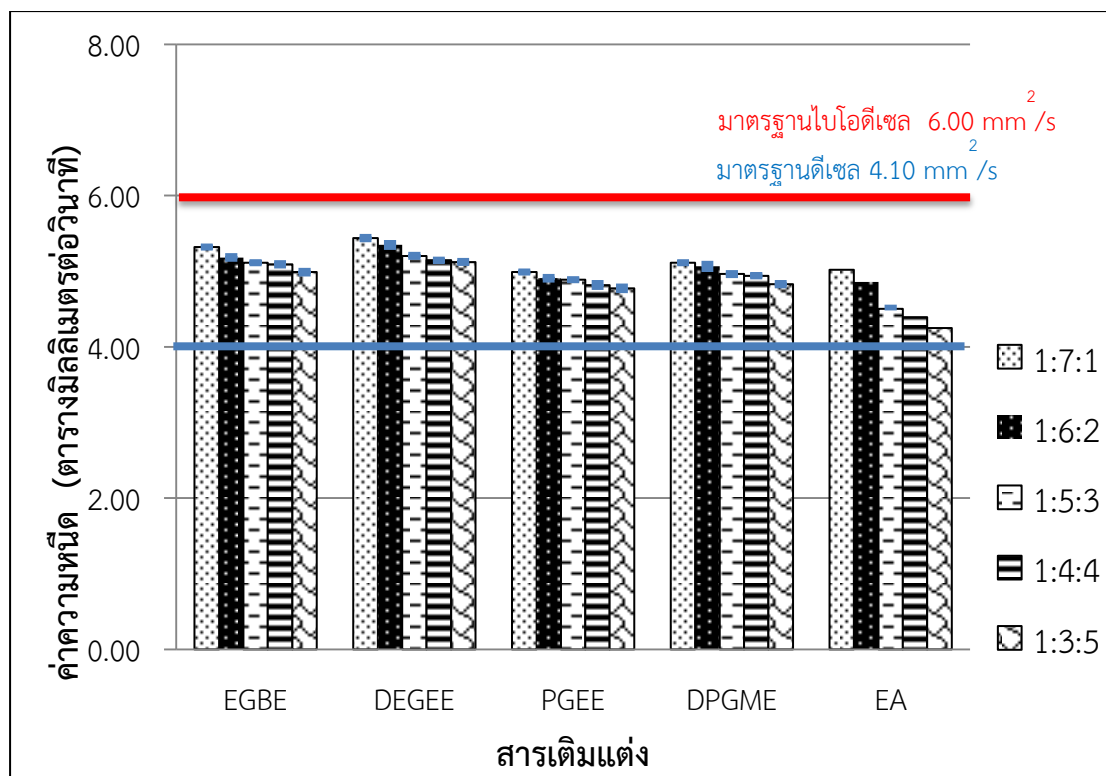
ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเติมสารเติมแต่งแต่ละชนิด มีผลทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดลดลง เมื่ออัตราส่วนของสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นจนกระทั่งที่อัตราส่วน 1:3:5 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มีสารเติมแต่งมากที่สุดทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าความหนืดต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งที่เตรียมจากบิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ 7.15 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที



ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืด 3.99-5.12 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที พบว่าการเติมสารเติมแต่งลงในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดลดลง สัดส่วนของสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีความหนืดต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพจากกรณีที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง โดยความหนืดเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งที่เตรียมจากบิวทานอลเท่ากับ 5.63 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที จะเห็นได้จากการศึกษาค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพแล้วเปรียบเทียบกับมาตรฐานความหนืดของน้ำมันดีเซลที่ 40 องศาเซลเซียส (1.9-4.1 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที) และความหนืดตามมาตรฐานของไบโอดีเซล 40 องศาเซลเซียส (1.9-6.0 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที) พบว่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งทุกชนิดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซล



ภาพที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าความหนืด 4.25-5.44 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที เมื่อใช้สารเติมแต่งแต่ละชนิดในทุกอัตราส่วน ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีความหนืดลดลง ที่อัตราส่วน 1:3:5 พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าความหนืดต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่น ความหนืดเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งที่เตรียมจากบิวทานอลเท่ากับ 5.82 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที เมื่อใช้สารเติมแต่งเอทิลอะซิเตท (EA) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานความหนืดของน้ำมันดีเซลที่ 40 องศาเซลเซียส (1.9-4.1 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที) และความหนืดตามมาตรฐานของไบโอดีเซลที่ 40 องศาเซลเซียส (1.9-6.0 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที) พบว่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ทำการสารเติมแต่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซล

จากผลการศึกษาค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมสารเติมแต่งมีผลทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดลดลง ในขณะที่อัตราส่วนของสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพแปรผกผันกับค่าความหนืด เนื่องจากการเติมสารเติม

แต่งไกลคอลอีเทอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่โครงสร้างมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่แอลกอฮอล์ (R-OH) และหมู่แอลคอกซี (R-O-R) มีลักษณะสมบัติเป็นโมเลกุลที่มีความสมดุลระหว่างความมีขั้วและความไม่มีขั้ว ทำให้ละลายได้ดีทั้งในเฟสน้ำมัน (ส่วนที่ไม่มีขั้ว) และเอทานอล (ส่วนที่มีขั้ว) ส่งผลให้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีขนาดในการฟอร์มเป็นไมโครอิมัลชันเล็กลงจึงมีผลทำให้ความหนืดน้อยลง

เมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีความหนืดจะแปรผกผันเนื่องจากแรงที่ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีมากขึ้นทำให้โมเลกุลของเหลวมีแรงยึดเกาะกันจึงทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น (Do และคณะ, 2011)

การศึกษาผลของค่าความหนืดเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 15, 25, 30 และ 40 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากสารเติมแต่งไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) และเอทิลอะซิเตท (EA) ยังคงมีค่าความหนืดจากมากที่สุดไปน้อยสุดตามลำดับ เนื่องจากคุณสมบัติของสารแต่ละชนิดที่ใช้เป็นสารเติมแต่งมีความหนืดและความหนาแน่นต่างกันจึงมีผลทำให้ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพต่างกัน คุณสมบัติของสารแต่ละชนิดที่มีองค์ประกอบหลักในเชื้อเพลิงชีวภาพแสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 คุณสมบัติของสารแต่ละชนิดที่มีองค์ประกอบหลักในเชื้อเพลิงชีวภาพ

คุณสมบัติ	ค่าความหนืด (mm^2/s)	ความหนาแน่น (g/ml)
	@ 40 °ซ	@ 25 °ซ
ดีเซล	2.95	0.84
น้ำมันปาล์ม	40.88	0.92
เอทานอล	1.17	0.82
เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์	2.519	0.902
ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์	2.686	0.988
โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์	1.501	0.896
ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์	2.576	0.950
เอทิลอะซิเตท	1.205	0.900

ที่มา: (Merck KGaA Chemicals company, 2008)

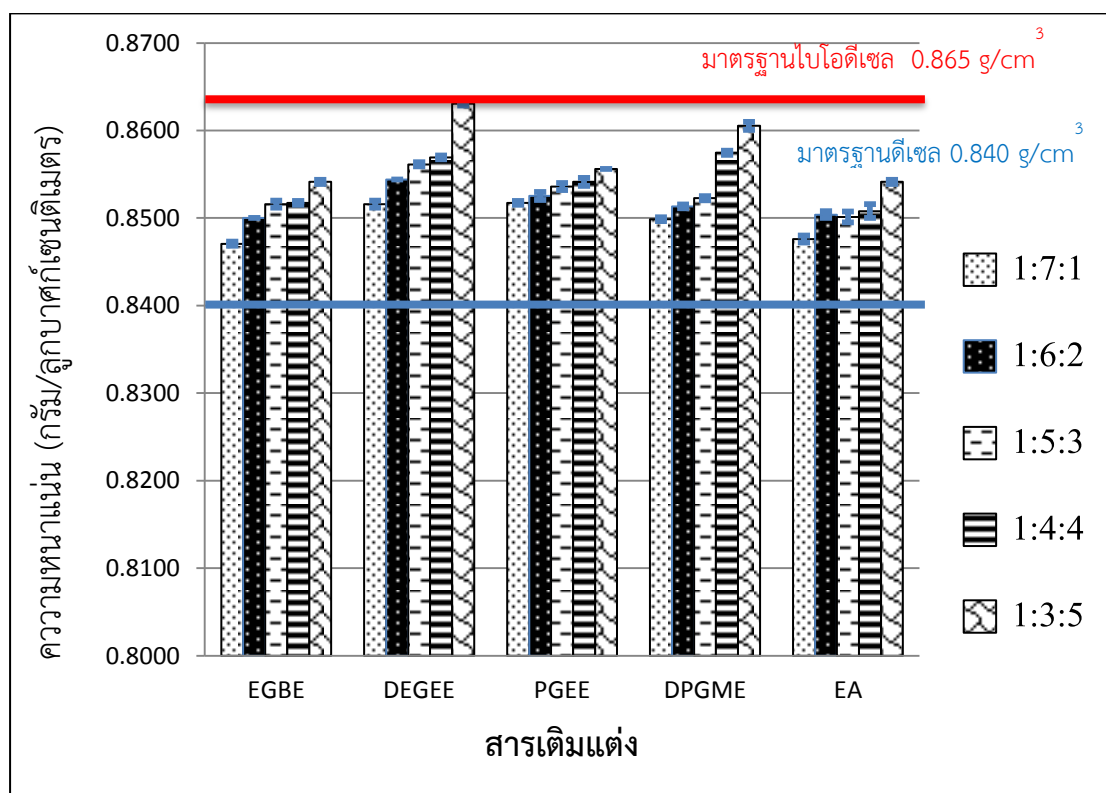
เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันซึ่งบิวทานอล (สายโซ่สั้น) มีผลทำให้ค่าความหนืดต่ำกว่าออกทานอล (สายโซ่ยาว) เพราะบิวทานอลมีโครงสร้างสายคาร์บอนที่สั้นจึงทำให้เข้ากันได้ดีกับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมากกว่าออกทานอลที่มีโครงสร้างแบบสายคาร์บอนที่ยาว

4.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ศึกษาคุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันแล้วเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งและมาตรฐานไบโอดีเซล

4.3.1 ความหนาแน่น (density)

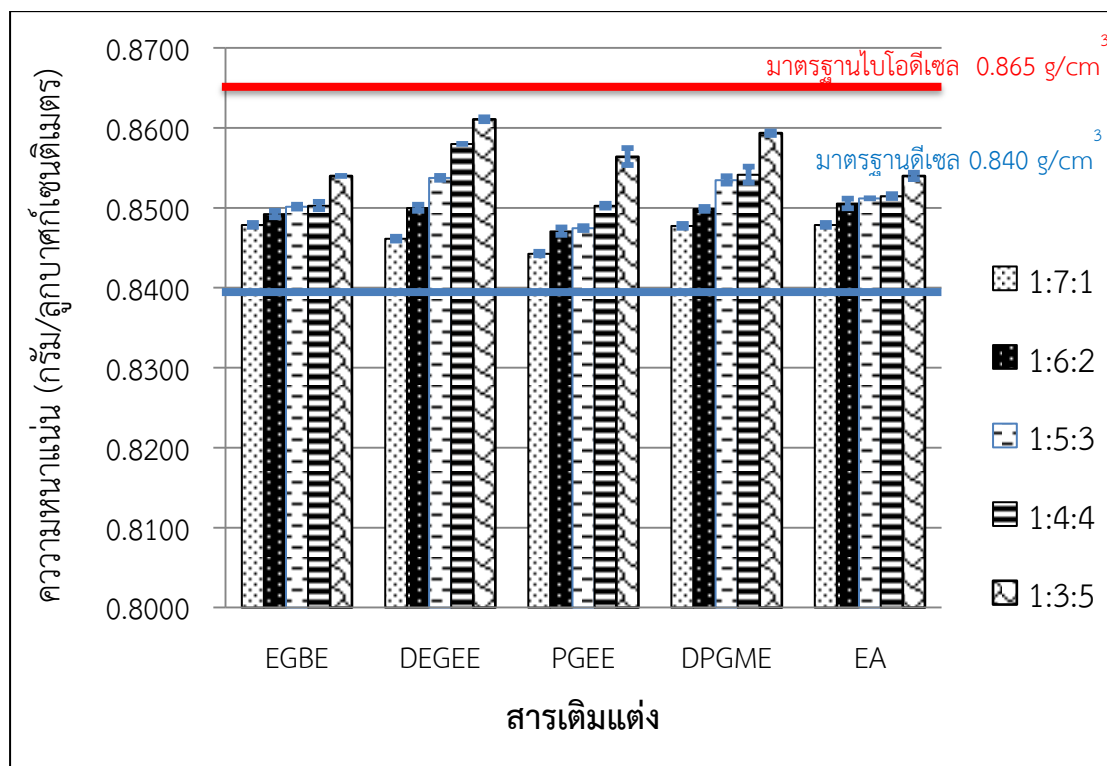
ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเตรียมจากสารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4-10 และ 4-11



ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่น 0.847-0.863 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากผลการศึกษาพบว่าสารเติมแต่ง (Additive) ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีความหนาแน่นสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.820 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งชนิด ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าที่เตรียมจากสารเติมแต่งชนิดอื่น เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 1:3:5) พบว่าถ้าเพิ่มอัตราส่วนของสารเติมแต่ง (Additive) มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามลำดับ



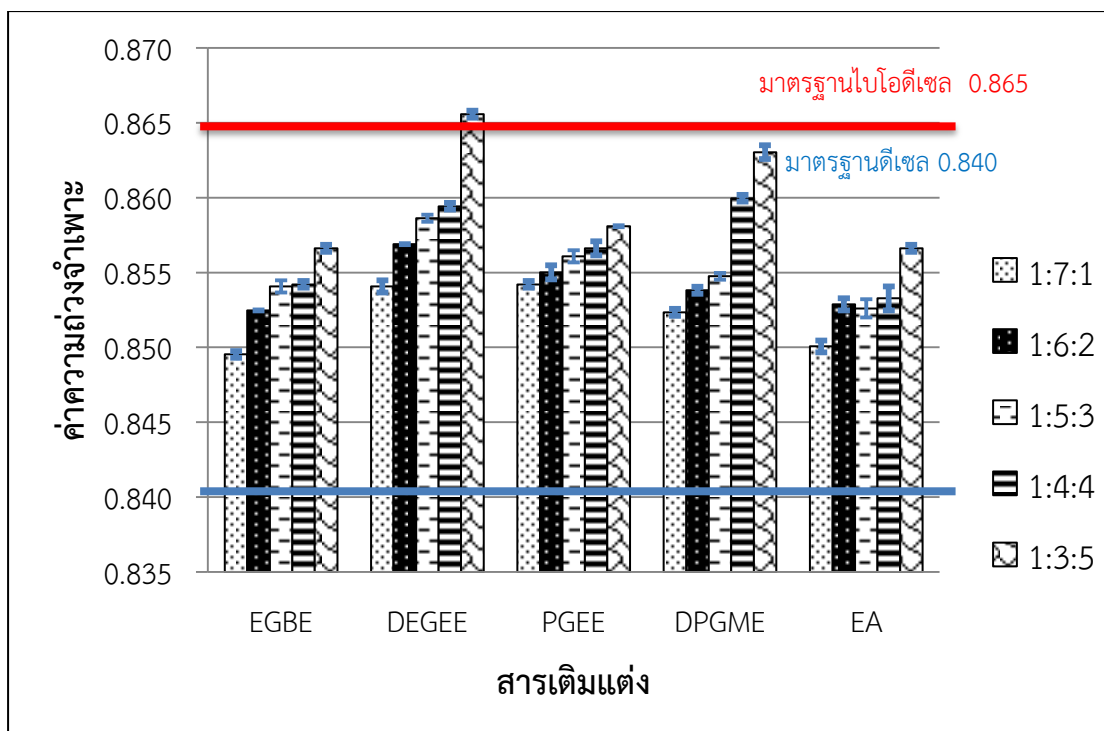
ภาพที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.846-0.861 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.825 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารเติมแต่งทำให้ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารลดแรงตึงผิวร่วมพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากบิวทานอลและออกทานอลมีความหนาแน่นใกล้เคียงกันเพราะความหนาแน่นของบิวทานอลและออกทานอลคือ 0.810 และ 0.812 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

จากการศึกษาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าการเติมสารเติมแต่งลงไปทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเพราะเติมสารเติมแต่งที่มีความหนาแน่นสูงเข้าไปในระบบของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในทุกอัตราส่วนยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความหนาแน่นของดีเซลอยู่ระหว่าง 0.810-0.870 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและมาตรฐานความหนาแน่นของไบโอดีเซลอยู่ระหว่าง 0.830-0.900 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งชนิด ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) เอทิลอะซิเตท (EA) และ โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) มีค่าความหนาแน่นจากมากที่สุดไปน้อยสุดตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากสารเติมแต่งแต่ละชนิดที่ใช้เติมลงไปมีความหนาแน่นแตกต่างกันดังตารางที่ 4-1 จึงสอดคล้องกับผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังนั้นความหนาแน่นจึงมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์คือ การฉีดเชื้อเพลิงในแต่ละครั้งเครื่องจะวัดค่าในรูปของปริมาตร ดังนั้นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะให้กำลังและโอกาสที่จะเกิดควันได้มากกว่า เนื่องจากมีมวลของเชื้อเพลิงที่จะเผาไหม้ได้มากกว่า

4.3.2 ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ค่าความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนความหนาแน่นของน้ำมันต่อความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน ผลการศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะ แสดงดังภาพที่ 4-12 และ 4-13



ภาพที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.850-0.866 เมื่อใช้สารเติมแต่งเติมลงไปเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น ในขณะที่สัดส่วนของสารเติมแต่งเพิ่มขึ้นทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.822 และเมื่อใช้สารเติมแต่งไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ

4.3.3 จุดขุ่น (Cloud point)

จุดขุ่น (Cloud point) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเริ่มเกิดความขุ่นหรือเกิดเป็นผลึกเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ จึงเป็นผลดีในกรณีที่สภาพอากาศหนาวจะต้องเลือกน้ำมันที่จุดขุ่นต่ำ ดังตาราง 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการศึกษาจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่าง	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	สารเติมแต่ง	อัตราส่วน	เกิดผลึกอุณหภูมิ 12 °ซ	เกิดผลึกอุณหภูมิ 8 °ซ	เกิดผลึกอุณหภูมิ 5 °ซ
1	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	บิวทานอล	EGBE	1:7:1	×	/	
2	„	„	„	1:6:2	×	/	
3	„	„	„	1:5:3	×	×	/
4	„	„	„	1:4:4	×	×	/
5	„	„	„	1:3:5	×	×	/
6	„	ออกทานอล	„	1:7:1	×	/	
7	„	„	„	1:6:2	×	/	
8	„	„	„	1:5:3	×	/	
9	„	„	„	1:4:4	×	×	/
10	„	„	„	1:3:5	×	×	/
11	„	บิวทานอล	DEGEE	1:7:1	×	/	
12	„	„	„	1:6:2	×	/	
13	„	„	„	1:5:3	×	×	/
14	„	„	„	1:4:4	×	×	/
15	„	„	„	1:3:5	×	×	/
16	„	ออกทานอล	„	1:7:1	×	/	
17	„	„	„	1:6:2	×	/	
18	„	„	„	1:5:3	×	/	

ตารางที่ 4-2 ผลการศึกษาจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	สารเติมแต่ง	อัตราส่วน	เกิดผลึกอุณหภูมิต่ำ 12 °ซ	เกิดผลึกอุณหภูมิต่ำ 8 °ซ	เกิดผลึกอุณหภูมิต่ำ 5 °ซ
19	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	ออกทานอล	DEGEE	1:4:4	×	×	/
20	„	„	„	1:3:5	×	×	/
21		บิวทานอล	PGEE	1:7:1	×	/	
22	„	„	„	1:6:2	×	/	
23	„	„	„	1:5:3	×	×	/
24	„	„	„	1:4:4	×	×	/
25	„	„	„	1:3:5	×	×	/
26	„	ออกทานอล	„	1:7:1	×	/	
27	„	„	„	1:6:2	×	/	
28	„	„	„	1:5:3	×	/	
29	„	„	„	1:4:4	×	/	
30	„	„	„	1:3:5	×	×	/
31	„	บิวทานอล	DPGME	1:7:1	×	/	
32	„	„	„	1:6:2	×	/	
33	„	„	„	1:5:3	×	×	/
34	„	„	„	1:4:4	×	×	/
35	„	„	„	1:3:5	×	×	/
36	„	ออกทานอล	„	1:7:1	×	/	
37	„	„	„	1:6:2	×	/	
38	„	„	„	1:5:3	×	/	
39	„	„	„	1:4:4	×	×	/
40	„	„	„	1:3:5	×	×	/

ตารางที่ 4-2 ผลการศึกษาจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	สารเติมแต่ง	อัตราส่วน	เกิดผลึกอุณหภูมิต่ำ 12 °ซ	เกิดผลึกอุณหภูมิต่ำ 8 °ซ	เกิดผลึกอุณหภูมิต่ำ 5 °ซ
41	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	บิวทานอล	EA	1:7:1	×	/	
42	„	„	„	1:6:2	×	/	
43	„	„	„	1:5:3	×	×	/
44	„	„	„	1:4:4	×	×	/
45	„	„	„	1:3:5	×	×	/
46	„	ออกทานอล	„	1:7:1	×	/	
47	„	„	„	„	×	/	
48	„	„	„	„	×	/	
49	„	„	„	„	×	×	/
50	„	„	„	„	×	×	/

ข้อสังเกต

× คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่เกิดผลึก

/ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเกิดผลึก

จากตารางที่ 4-2 แสดงการเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน จากการศึกษาการเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เมื่อทำการเติมสารเติมแต่ง (Additive) พบว่าการเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำลง เมื่อสัดส่วนของสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดจุดขุ่นที่อุณหภูมิต่ำลงด้วย ในขณะที่อัตราส่วน 1:3:5 เป็นสัดส่วนที่ใส่สารเติมแต่งสูงสุดพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากเอทิลีนไกลคอลบิวทิลเอทิลเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลเอทิลเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลเอทิลเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลเอทิลเทอร์ (DPGME) และเอทิลอะซิเตท (EA) เกิดจุดขุ่นที่อุณหภูมิต่ำ 5 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลเริ่มเกิดจุดขุ่นก่อนเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากบิวทานอล ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาค่าความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเมื่ออุณหภูมิต่ำลงทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น อีกทั้งสารเติมแต่ง 5 ชนิดที่ใช้มีคุณสมบัติทำให้

จุดเยือกแข็งของของเหลวลดลง (Anti-freezing) จึงทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเกิดผลึกหรือไขที่อุณหภูมิต่ำๆ จากจุดหลอมเหลวของสารเติมแต่งแต่ละชนิดที่เติมลงในเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าต่างกัน ดังตาราง 3-4

จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสสูงกว่ามาตรฐานไบโอดีเซลและดีเซล ซึ่งมีค่าเท่ากับ -5 และ -15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากจุดขุ่นของน้ำมันดีเซลอยู่ที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส จุดขุ่นของน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส อีกทั้งเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีส่วนผสมของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซลร้อยละ 60 จึงเกิดจุดขุ่นที่อุณหภูมิต่ำสุดได้เพียง 5 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูหนาวของประเทศไทย (พ.ศ. 2544–2553) 16.0-22.9 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้ในประเทศไทย (Do และคณะ, 2011)

4.3.4 จุดไหลเท (Pour point)

จุดไหลเท (Pour point) เป็นค่าบ่งบอกถึงอุณหภูมิต่ำที่สุดที่น้ำมันยังคงไหลเทได้ สามารถวิเคราะห์จุดไหลเทได้โดยใช้ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D2500 ใช้วิธีเดียวกับการวัดจุดขุ่น เริ่มตั้งแต่ 9 องศาเซลเซียส และคอยปรับลดอุณหภูมิลงทีละ 3 องศา จากนั้นสังเกตน้ำมันในหลอดทดลอง เมื่อถือหลอดตามแนวนอนเป็นเวลา 5 วินาที และทำให้เชื้อเพลิงเย็นตัวลงเรื่อยๆจนถึงอุณหภูมิหนึ่ง เชื้อเพลิงจะเริ่มแข็งตัวและจับตัวเป็นก้อนไม่สามารถไหลได้ แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ผลการศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่าง	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	สารเติมแต่ง	อัตราส่วน	จุดไหลเท อุณหภูมิ 0 °ซ	จุดไหลเท อุณหภูมิ -3 °ซ	จุดไหลเท อุณหภูมิ -6 °ซ
1	ดีไฮดอล เอทีลีน ออกไซด์ 1	บิวทานอล	EGBE	1:7:1	/	/	×
2	„	„	„	1:6:2	/	/	×
3	„	„	„	1:5:3	/	/	×
4	„	„	„	1:4:4	/	/	×
5	„	„	„	1:3:5	/	/	×
6	„	ออกทานอล	„	1:7:1	/	/	×
7	„	„	„	1:6:2	/	/	×
8	„	„	„	1:5:3	/	/	×
9	„	„	„	1:4:4	/	/	×
10	„	„	„	1:3:5	/	/	×
11	„	บิวทานอล	DEGEE	1:7:1	/	/	×
12	„	„	„	1:6:2	/	/	×
13	„	„	„	1:5:3	/	/	×
14	„	„	„	1:4:4	/	/	×
15	„	„	„	1:3:5	/	/	×
16	„	ออกทานอล	„	1:7:1	/	/	×
17	„	„	„	1:6:2	/	/	×
18	„	„	„	1:5:3	/	/	×
19	„	„	„	1:4:4	/	/	×
20	„	„	„	1:3:5	/	/	×

ตารางที่ 4-3 ผลการศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	สารเติมแต่ง	อัตราส่วน	จุดไหลเท อุณหภูมิ 0 °ซ	จุดไหลเท อุณหภูมิ -3 °ซ	จุดไหลเท อุณหภูมิ -6 °ซ
21	ดีไฮดอล เอทีลีน ออกไซด์1	บิวทานอล	PGEE	1:7:1	/	×	×
22	„	„	„	1:6:2	/	×	×
23	„	„	„	1:5:3	/	×	×
24	„	„	„	1:4:4	/	×	×
25	„	„	„	1:3:5	/	×	×
26	„	ออกทานอล	„	1:7:1	/	×	×
27	„	„	„	1:6:2	/	×	×
28	„	„	„	1:5:3	/	×	×
29	„	„	„	1:4:4	/	×	×
30	„	„	„	1:3:5	/	×	×
31	„	บิวทานอล	DPGME	1:7:1	/	/	×
32	„	„	„	1:6:2	/	/	×
33	„	„	„	1:5:3	/	/	×
34	„	„	„	1:4:4	/	/	×
35	„	„	„	1:3:5	/	/	×
36	„	ออกทานอล	„	1:7:1	/	/	×
37	„	„	„	1:6:2	/	/	×
38	„	„	„	1:5:3	/	/	×
39	„	„	„	1:4:4	/	/	×
40	„	„	„	1:3:5	/	/	×

ตารางที่ 4-3 ผลการศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ต่อ)

ตัวอย่าง	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	สารเติมแต่ง	อัตราส่วน	จุดไหลเท อุณหภูมิ 0 °ซ	จุดไหลเท อุณหภูมิ -3 °ซ	จุดไหลเท อุณหภูมิ -6 °ซ
41	ดีไฮดอล เอทีลีน ออกไซด์1	บิวทานอล	EA	1:7:1	/	/	×
42	„	„	„	1:6:2	/	/	×
43	„	„	„	1:5:3	/	/	×
44	„	„	„	1:4:4	/	/	×
45	„	„	„	1:3:5	/	/	×
46	„	ออกทานอล	EA	1:7:1	/	/	×
47	„	„	„	1:6:2	/	/	×
48	„	„	„	1:5:3	/	/	×
49	„	„	„	1:4:4	/	/	×
50	„	„	„	1:3:5	/	/	×
46	„	ออกทานอล	„	1:7:1	/	/	×
47	„	„	„	1:6:2	/	/	×
48	„	„	„	1:5:3	/	/	×
49	„	„	„	1:4:4	/	/	×
50	„	„	„	1:3:5	/	/	×

ข้อสังเกต

× คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่สามารถไหลเทได้

/ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่สามารถไหลเทได้

จากตารางที่ 4-3 แสดงการเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 0 -3 และ -6 องศาเซลเซียส การศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันพบว่าที่ 0 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันทุกตัวยังคงไหลเทได้ แต่เมื่อปรับอุณหภูมิที่ -3 องศาเซลเซียส พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจาก โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ในทุกสัดส่วนไม่สามารถไหลเทได้

ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจาก เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) และเอทิลอะซิเตท (EA) ในทุกสัดส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพยังสามารถไหลเทได้ และเมื่อลดอุณหภูมิลงเป็น -6 องศาเซลเซียส พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันทุกตัวไม่สามารถไหลเท ดังภาพที่ 4-14 เพราะว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีส่วนผสมของน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซลร้อยละ 60 จึงเกิดจุดไหลเทที่อุณหภูมิต่ำสุดได้เพียง -6 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ จ-1 ซึ่งการศึกษาจุดไหลเทนี้จะสอดคล้องกับการศึกษาค่าความหนืดเชิงจลน์และการศึกษาจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน สารเติมแต่งที่ใช้มีคุณสมบัติทำให้จุดเยือกแข็งของเหลวลดลง (Anti-freezing) แตกต่างกันดังตารางที่ 3-4



ภาพที่ 4-14 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่สามารถไหลเทที่อุณหภูมิ -6 องศาเซลเซียส

มาตรฐานจุดไหลเทของน้ำมันแบ่งเป็นช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) คือช่วงอุณหภูมิ -17.8 องศาเซลเซียส และมาตรฐานจุดไหลเทของน้ำมันช่วงฤดูร้อน (มีนาคม-ตุลาคม) คือ -9.4 องศาเซลเซียส (Do และคณะ, 2011) อย่างไรก็ตามในประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยฤดูหนาว (พ.ศ. 2544-2553) 16.0-22.9 องศาเซลเซียสซึ่งค่อนข้างสูงกว่ามาตรฐานข้างต้น ดังนั้นจึงสามารถใช้เชื้อเพลิงชีวภาพนี้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้จึงเป็นผลดีในกรณีประเทศที่สภาพอากาศหนาวควรเลือกน้ำมันที่จุดไหลเทต่ำเพื่อให้ น้ำมันสามารถไหลได้

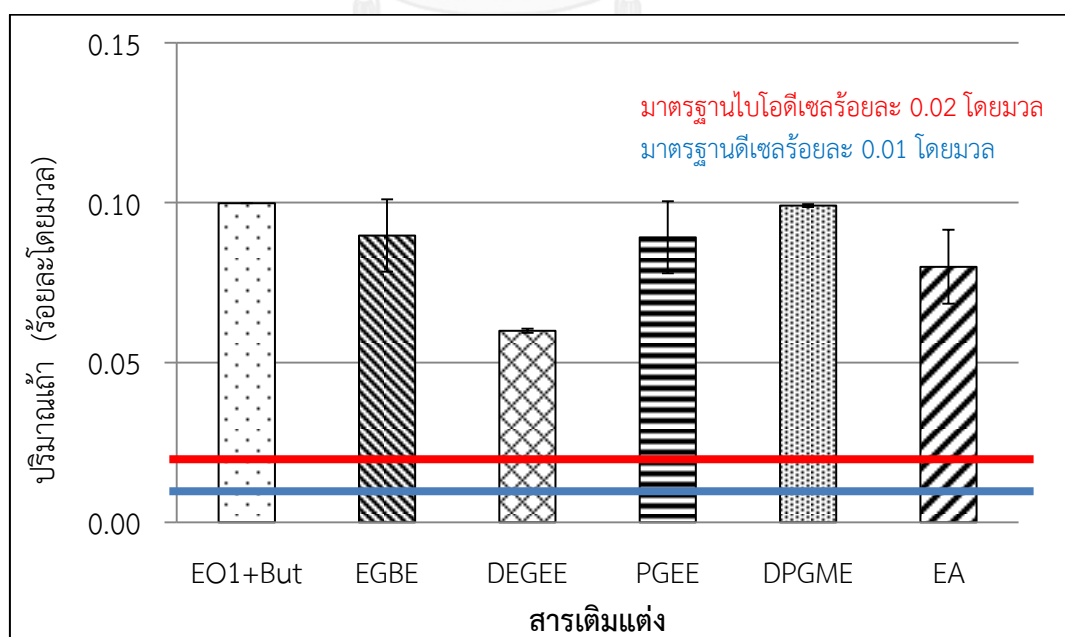
4.3.5 ปริมาณน้ำ (Water content)

ปริมาณน้ำ (Water content) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ บอถึงปริมาณน้ำที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมัน ถ้ามีปริมาณน้ำปนเปื้อนอยู่มากมีผลทำให้เกิดการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ วัตถุออกมาในหน่วยร้อยละโดยปริมาตร อย่างไรก็ตามสารเติมแต่งทั้ง 5 ชนิดมีคุณสมบัติด้านจุดวาบไฟต่ำ รวมทั้งข้อเสียของการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันคือมีจุดวาบไฟต่ำมาก จากงานวิจัยของ (Arpompong, 2013) ได้มีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการเดียวกันนี้ โดยใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 ผลการทดลองพบว่ามีค่าปริมาณน้ำเท่ากับ ร้อยละ 0.16 จึง

ใช้ค่านี้ในการศึกษางานวิจัยนี้ด้วย และคาดว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 ของงานวิจัยนี้มีค่าปริมาณน้ำใกล้เคียงกันเพราะมีการเติมเอทานอลลงในเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งองค์ประกอบหลักค่าความบริสุทธิ์ที่เหลือคือ น้ำ จากมาตรฐานค่าปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงดีเซลและมาตรฐานไบโอดีเซลคือ ร้อยละ 0.05 โดยปริมาตร ดังนั้นปริมาณน้ำมากจะทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ลดลงส่งผลให้ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ลดลง (Lif และ Homberge, 2006) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

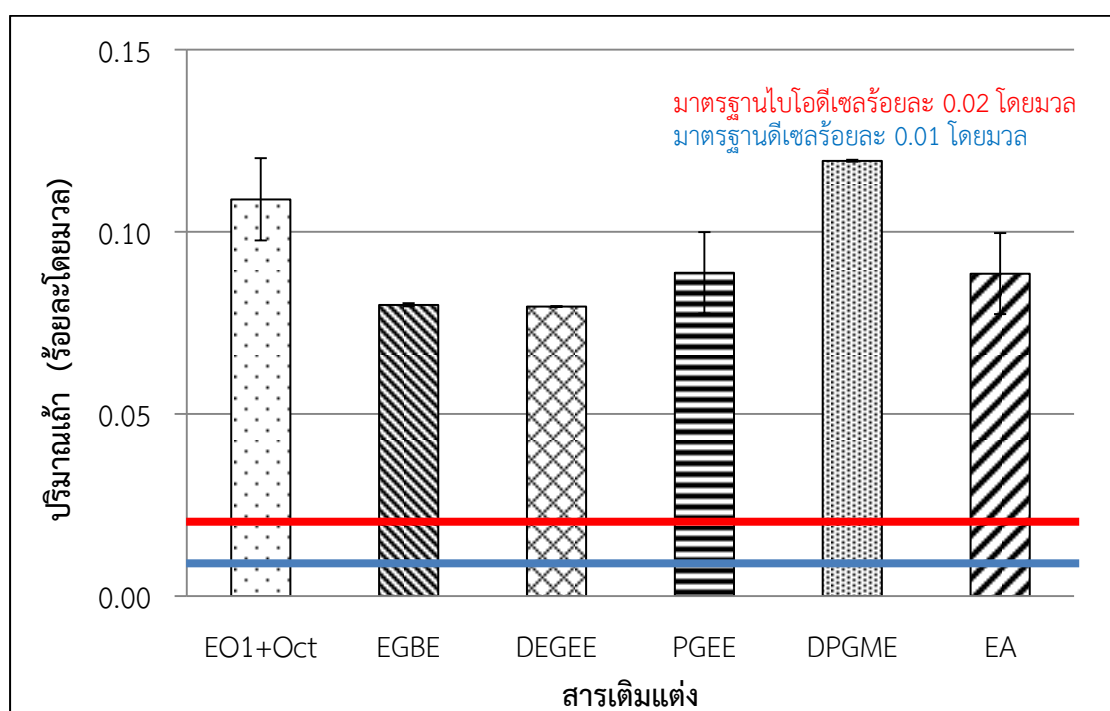
4.3.6 เชม่าในรูปปริมาณเถ้า (Ash content)

จากการศึกษาคุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่นและจุดไหลเท พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เติมสารเติมแต่งทุกชนิดที่อัตราส่วน 1:3:5 ใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอลและออกทานอลเป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมเพราะมีศักยภาพใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่สุด จึงทำการเลือกอัตราส่วนนี้มาศึกษาเชม่าในรูปปริมาณเถ้า (Ash content) และค่าความร้อน (Gross heat of combustion) ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เชม่าในรูปปริมาณเถ้า (Ash content) มีความสำคัญเพื่อบอกถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะอยู่ในรูปของแข็งหรือสารอินทรีย์ปนเปื้อนในน้ำมัน มีผลต่อการสะสมตัวของสิ่งสกปรกในหัวฉีดส่งผลให้เกิดคราบเชม่าในห้องเผาไหม้ แสดงดังภาพที่ 4-15 และ 4-16



ภาพที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล

จากภาพที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล เมื่อเติมสารเติมแต่งแต่ละชนิด เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) เอทิลอะซิเตท (EA) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.06-0.10 โดยมวล ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานดีเซล (ร้อยละ 0.01โดยมวล) และมาตรฐานไบโอดีเซล (ร้อยละ 0.02 โดยมวล)



ภาพที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

จากภาพที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เติมสารเติมแต่งทุกชนิด มีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.08-0.12 โดยมวล เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งมีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.11 โดยมวล เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารลดแรงตึงผิวร่วมพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอลมีปริมาณเถ้าสูงกว่าบิวทานอลเล็กน้อยเพราะออกทานอลมีโครงสร้างสายคาร์บอนที่ยาว จึงทำให้ปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้มีมากกว่า

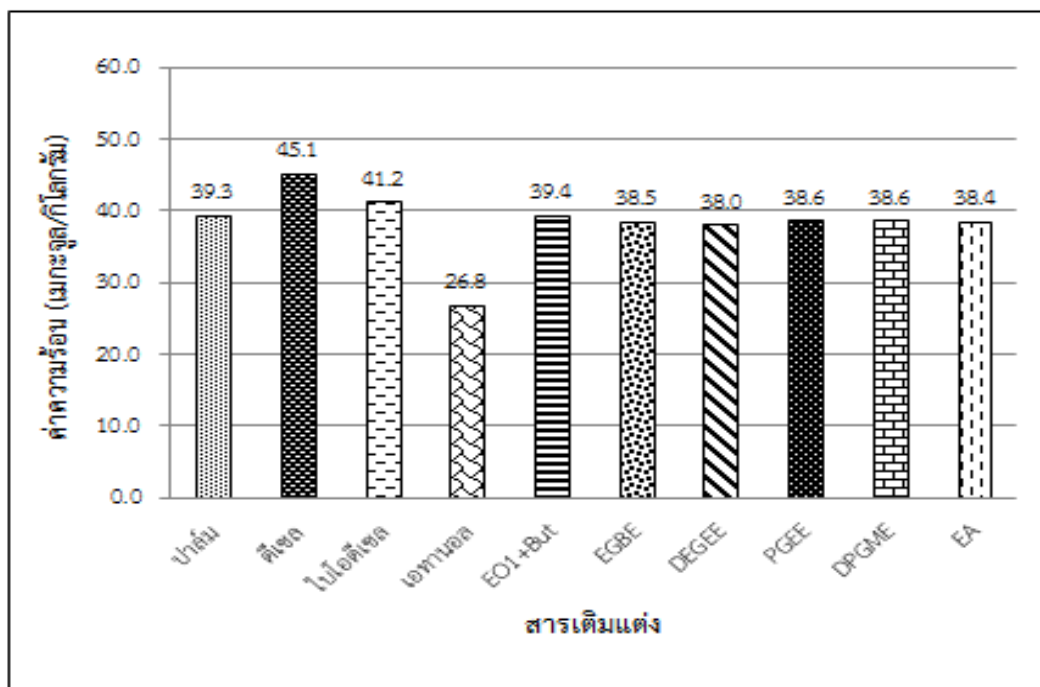
จากผลการศึกษาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าปริมาณเถ้าที่เหลือจากการเผาไหม้มีปริมาณมากเนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้สัดส่วนของน้ำมันร้อยละ 60 จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่หมดไปเพราะโครงสร้างสายโซ่ของน้ำมันปิโตรเลียมซับซ้อน และการเติมสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันทำให้มีจำนวนอะตอมคาร์บอนภายในระบบของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมากขึ้น ดังภาพที่ 4-17 เชื้อเพลิงที่มีปริมาณเถ้าสูงจะทำให้เกิดการอุดตันระบบไส้กรองและหัวฉีด เพราะเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นมีสารประกอบที่ไม่สามารถเผาไหม้หมดไปได้ที่อยู่ในรูปของแข็ง



ภาพที่ 4-17 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อัตราส่วน 1:3:5

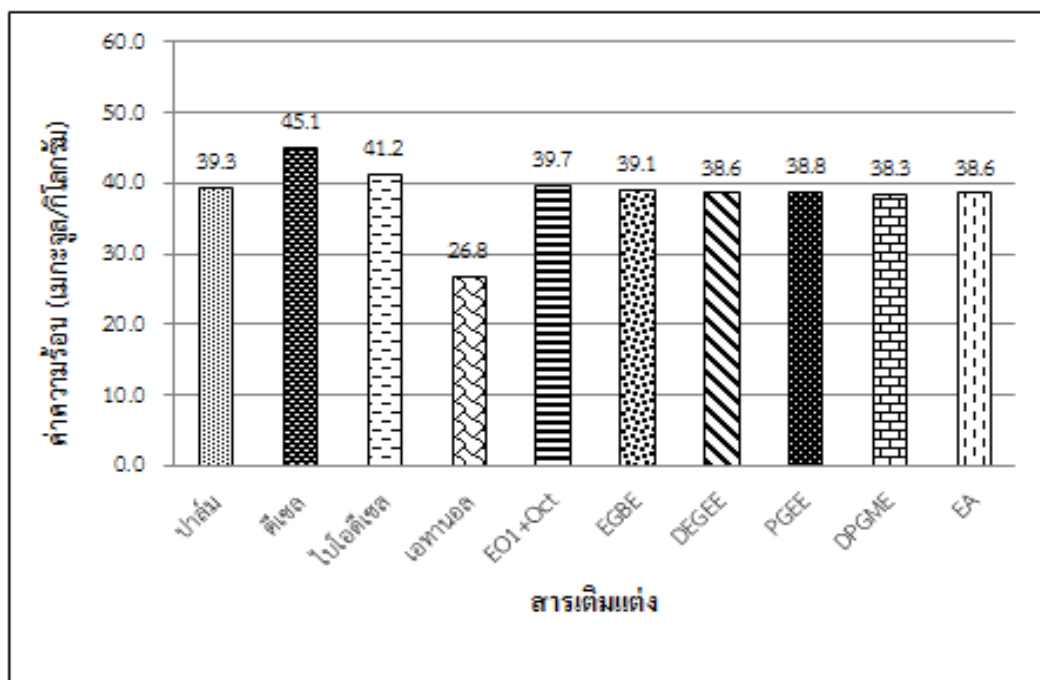
4.3.7 ค่าความร้อน (Gross heat of combustion)

ค่าความร้อน (Gross heat of combustion) ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณของพลังงานความร้อนที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ในหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) วิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันแต่ละชนิด แสดงดังภาพที่ 4-18 และภาพที่ 4-19



ภาพที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล

ภาพที่ 4-18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เติมสารเติมแต่งมีค่าความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล (45.1 เมกะจูล/กิโลกรัม) และไบโอดีเซล (41.2 เมกะจูล/กิโลกรัม) เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง (39.4 เมกะจูล/กิโลกรัม) ในขณะที่ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งทั้ง 5 ชนิด ไม่สามารถสังเกตแนวโน้มของค่าความร้อนกับผลของสารเติมแต่งแต่ละชนิดได้ ซึ่งเป็นไปตามงานวิจัยของ (Arpompong, 2013)



ภาพที่ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

ภาพที่ 4-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนและเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 โดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล จากการศึกษาการเติมสารเติมแต่ง (Additive) แต่ละชนิด พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เติมสารเติมแต่งมีค่าความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้ทำการเติมสารเติมแต่ง เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารเติมแต่งที่ทำการเติมลงในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนใกล้เคียงกัน นอกจากนี้จะเห็นว่าเมื่อใช้บิวทานอลและออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมมีค่าความร้อนไม่แตกต่างกัน

จากการศึกษาค่าความร้อนจะเห็นว่าเมื่อเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ค่าความร้อนจะลดต่ำลงเพราะมีปริมาณออกซิเจนมากในระบบ ปริมาณออกซิเจนมาจากเอทานอลและการเติมสารเติมแต่งลงไป โดยสาเหตุหลักมาจากเอทานอลมีค่าความร้อนที่ต่ำ (26.8 เมกะจูล/กิโลกรัม) ดังนั้นการเติมเอทานอลลงไปปริมาณร้อยละ 20 จึงทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันต่ำลง (Do และคณะ, 2011)

จากการศึกษาผลของการเติมสารเติมแต่ง (Additive) ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันได้แก่ ความหนืด ค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเท ปริมาณน้ำ เขม่าในรูปปริมาณถ้ำ ค่าความร้อน แล้วนำเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง พบว่า

คุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซล คือ คุณสมบัติด้านความหนืด ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ แสดงดังตารางที่ 4-4 สำหรับจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ -3 องศาเซลเซียส จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้ในประเทศไทย

ตารางที่ 4-4 เชื้อเพลิงชีวภาพโมโนโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ โมโนโครอิมัลชัน	ความหนืด	ความ หนาแน่น	จุด ขุ่น	จุดไหล เท	ปริมาณ น้ำ	ปริมาณ เถ้า	ค่าความ ร้อน
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:7:1	/	/	8	-3	x	x	x
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:6:2	/	/	8	-3	x	x	x
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:5:3	/	/	5	-3	x	x	x
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:4:4	/	/	5	-3	x	x	x
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:3:5	/	/	5	-3	x	x	x
6	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:7:1	/	/	8	-3	x	x	x
7	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:6:2	/	/	8	-3	x	x	x
8	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:5:3	/	/	8	-3	x	x	x
9	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:4:4	/	/	5	-3	x	x	x
10	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	/	/	5	-3	x	x	x

ตารางที่ 4-4 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	ความหนืด	ความ หนาแน่น	จุด ขุ่น	จุดไหล เท	ปริมาณ น้ำ	ปริมาณ เถ้า	ค่าความ ร้อน
11	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:7:1	/	/	8	-3	x	x	x
12	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:6:2	/	/	8	-3	x	x	x
13	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:5:3	/	/	5	-3	x	x	x
14	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:4:4	/	/	5	-3	x	x	x
15	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:3:5	/	/	5	-3	x	x	x
16	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:7:1	/	/	8	-3	x	x	x
17	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:6:2	/	/	8	-3	x	x	x
18	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:5:3	/	/	8	-3	x	x	x
19	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:4:4	/	/	5	-3	x	x	x
20	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	/	/	5	-3	x	x	x
21	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:7:1	/	/	8	0	x	x	x
22	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:6:2	/	/	8	0	x	x	x

ตารางที่ 4-4 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	ความหนืด	ความ หนาแน่น	จุด ขุ่น	จุดไหล เท	ปริมาณ น้ำ	ปริมาณ เถ้า	ค่าความ ร้อน
23	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:5:3	/	/	5	0	x	x	x
24	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:4:4	/	/	5	0	x	x	x
25	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:3:5	/	/	5	0	x	x	x
26	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:7:1	/	/	8	0	x	x	x
27	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:6:2	/	/	8	0	x	x	x
28	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:5:3	/	/	8	0	x	x	x
29	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:4:4	/	/	8	0	x	x	x
30	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:3:5	/	/	5	0	x	x	x
31	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:7:1	/	/	8	-3	x	x	x
32	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:6:2	/	/	8	-3	x	x	x
33	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:5:3	/	/	5	-3	x	x	x
34	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:4:4	/	/	5	-3	x	x	x

ตารางที่ 4-4 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	ความหนืด	ความหนาแน่น	จุดขุ่น	จุดไหลเท	ปริมาณน้ำ	ปริมาณเถ้า	ค่าความร้อน
35	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:3:5	/	/	5	-3	x	x	x
36	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:7:1	/	/	8	-3	x	x	x
37	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:6:2	/	/	8	-3	x	x	x
38	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:5:3	/	/	8	-3	x	x	x
39	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:4:4	/	/	5	-3	x	x	x
40	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:3:5	/	/	5	-3	x	x	x
41	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:7:1	/	/	8	-3	x	x	x
42	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:6:2	/	/	8	-3	x	x	x
43	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:5:3	/	/	5	-3	x	x	x
44	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:4:4	/	/	5	-3	x	x	x
45	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:3:5	/	/	5	-3	x	x	x
46	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:7:1	/	/	8	-3	x	x	x

ตารางที่ 4-4 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	ความหนืด	ความหนาแน่น	จุดขุ่น	จุดไหลเท	ปริมาณน้ำ	ปริมาณเถ้า	ค่าความร้อน
47	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:6:2	/	/	8	-3	x	x	x
48	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:5:3	/	/	8	-3	x	x	x
49	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:4:4	/	/	5	-3	x	x	x
50	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:3:5	/	/	5	-3	x	x	x

ข้อสังเกต

- / เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซล
 x เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไบโอดีเซล

จากตารางที่ 4-4 จะเห็นได้ว่าการเติมสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ทำให้คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเปลี่ยนไป การเติมสารเติมแต่งดังต่อไปนี้ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) เอทิลอะซิเตท (EA) ในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันทำให้ค่าความหนืดลดลงจากกรณีที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง ในขณะที่สัดส่วนของสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพแปรผกผันกับค่าความหนืด การเติมสารเติมแต่งแต่ละชนิดลงไปทำให้ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในทุกอัตราส่วนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดีเซลและไบโอดีเซล ส่วนจุดขุ่นและจุดไหลเทเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามในประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูหนาว (พ.ศ.2544–2553) 16.0-22.9 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูง (Do และคณะ, 2011) ดังนั้นจึงสามารถใช้เชื้อเพลิงชีวภาพนี้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ จึงเป็นผลดีในกรณีที่มีสภาพอากาศหนาว จะต้องเลือกใช้น้ำมันที่มีจุดขุ่นและจุดไหลเทต่ำเพื่อให้ น้ำมันสามารถไหลเทได้ ปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ส่วนเขม่าในรูปปริมาณเถ้ามีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลเพราะการเติมสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันทำให้มีจำนวนอะตอมคาร์บอนภายในระบบของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมากขึ้น จึง

มีส่วนประกอบของสารที่ไม่สามารถเผาไหม้หมดได้ สำหรับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล แต่ไม่แตกต่างจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งมากนัก

จากการศึกษาคุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 ใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอลและออกทานอลเป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมที่สุด เพราะมีค่าความหนืดต่ำที่สุด และมีคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพในด้านค่าความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดชุนและจุดไหลเทอยู่ในเกณฑ์ที่ดีใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่สุด จึงทำการเลือกอัตราส่วนนี้มาศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันด้วยเครื่องยนต์ดีเซล จากตาราง 4-5 สรุปคุณสมบัติที่วัดได้จากเชื้อเพลิงชีวภาพโดยเลือกสูตรน้ำมันที่ดีที่สุดคือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนประกอบของน้ำมันปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/เอทิลอะซีเตท (EA) ที่อัตราส่วน 1:3:5 เทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง เชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล สำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งคือส่วนประกอบของน้ำมันปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล

ตารางที่ 4-5 สรุปค่าที่วัดได้จากเชื้อเพลิงชีวภาพเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

คุณสมบัติ	หน่วย	เชื้อเพลิงดีเซล	เชื้อเพลิงไบโอดีเซล	เชื้อเพลิงชีวภาพไม่ได้เติมสารเติมแต่ง	เชื้อเพลิงชีวภาพเติมสารเติมแต่ง
ค่าความหนืด (kinematic viscosity) ที่ 40 องศาเซลเซียส	ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที	1.9-4.1	1.9-6.0	5.63	3.99
ความหนาแน่น (density) ที่ 25 องศาเซลเซียส	กรัมต่อมิลลิลิตร	0.810-0.870	0.830-0.900	0.8200	0.8541
ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	-	0.810-0.870	0.830-0.900	0.822	0.857
จุดขุ่น (Cloud point)	องศาเซลเซียส	-15	-5	8	5
จุดไหลเท (Pour point)	องศาเซลเซียส	-17	-9	-3	-3
ปริมาณน้ำ (Water content)	ร้อยละโดยปริมาตร	0.05	0.05	0.16	-
เขม่าในรูปปริมาณเถ้า (Ash content)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	0.01	0.02	0.10	0.08
ค่าความร้อน (Gross heat of combustion)	เมกะจูลต่อกิโลกรัม	45	41	39.4	38.5

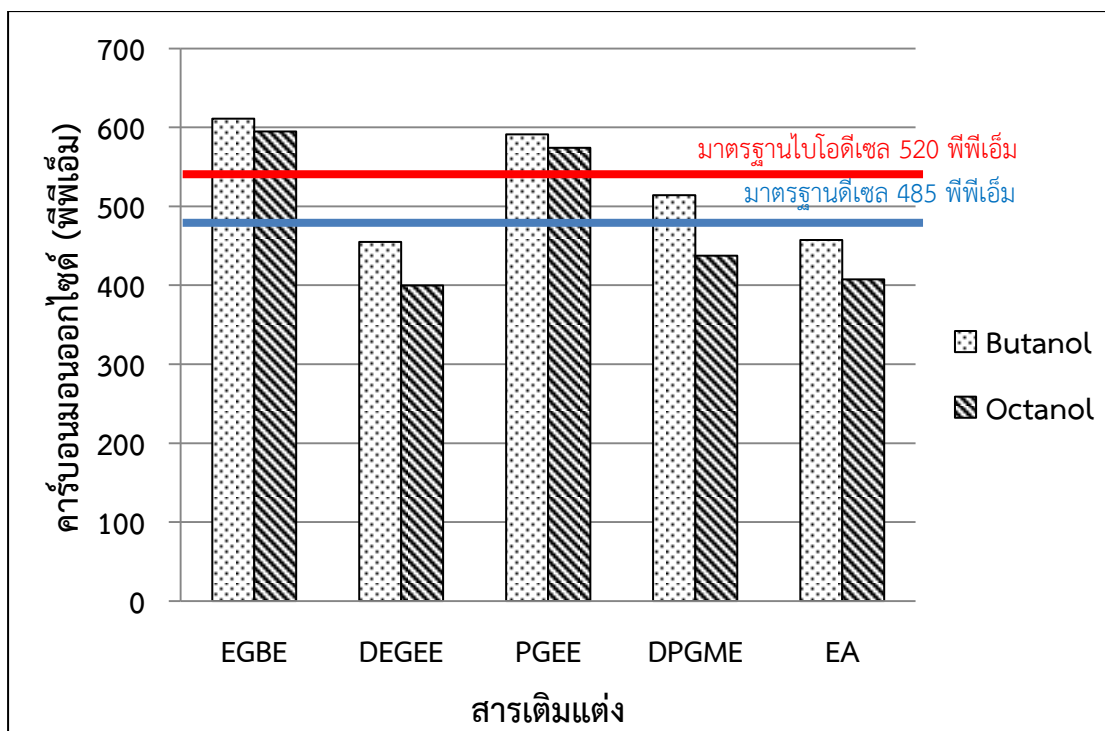
หมายเหตุ : ปริมาณน้ำใช้ค่าจาก (Arpornpong, 2013)

4.4 ศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้ในการทดสอบการปล่อยก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลคือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด เพราะมีคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี มีศักยภาพใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่สุด จึงทำการเลือกอัตราส่วนนี้มาศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังตารางที่ 4-6 นำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันทดสอบเครื่องยนต์ความเร็วรอบคงที่ 1,800 รอบต่อนาที ถ้าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ไม่ถึง 1,800 รอบต่อนาที ทำให้เครื่องยนต์เบาและดับลง

ตารางที่ 4-6 เชื้อเพลิงชีวภาพที่เหมาะสมกับการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล

ตัวอย่าง	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม/สารเติมแต่ง	อัตราส่วน
1	ปาล์ม/ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE	1:3:5
2	ปาล์ม/ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE	1:3:5
3	ปาล์ม/ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE	1:3:5
4	ปาล์ม/ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE	1:3:5
5	ปาล์ม/ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE	1:3:5
6	ปาล์ม/ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE	1:3:5
7	ปาล์ม/ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME	1:3:5
8	ปาล์ม/ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME	1:3:5
9	ปาล์ม/ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/EA	1:3:5
10	ปาล์ม/ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/EA	1:3:5



ภาพที่ 4-20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)

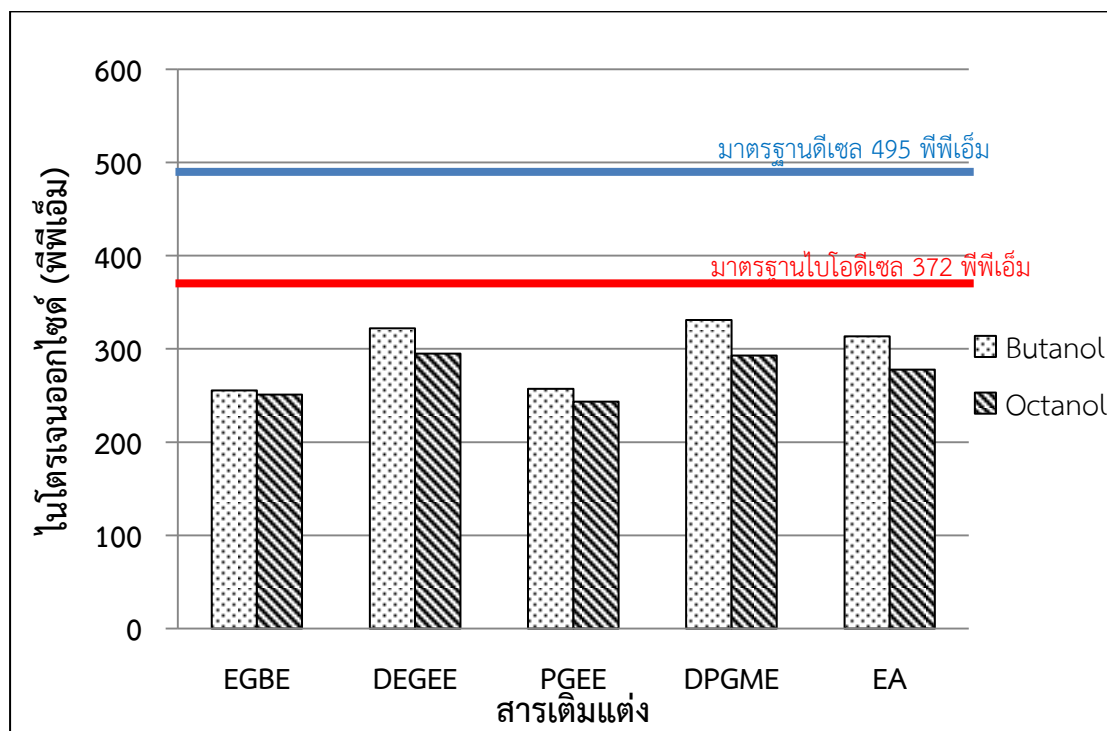
และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งทั้ง 5 ชนิด

ภาพที่ 4-20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งทั้ง 5 ชนิดที่อัตราส่วน 1:3:5 พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งชนิด ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) และเอทิลอะซิเตท (EA) มีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล (485 พีพีเอ็ม) และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (520 พีพีเอ็ม) ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวภาพเตรียมจากสารเติมแต่งชนิด เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) และโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) มีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) ที่ใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอลมีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

เมื่อทำการเปรียบเทียบชนิดของสารเติมแต่งคือ เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) มีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งชนิดอื่น เนื่องจากโครงสร้างของสารเติมแต่งชนิดนี้มีอัตราส่วนของออกซิเจนในโมเลกุลมากกว่าสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ ดังตารางที่ 3-4 จึงช่วยให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงสมบูรณ์ขึ้น ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวภาพเตรียมจากสารเติมแต่งชนิด เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) และโพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) มีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) สูงเพราะ

คาร์บอนในองค์ประกอบของสารเติมแต่งไม่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อย่างสมบูรณ์ระหว่างการเผาไหม้

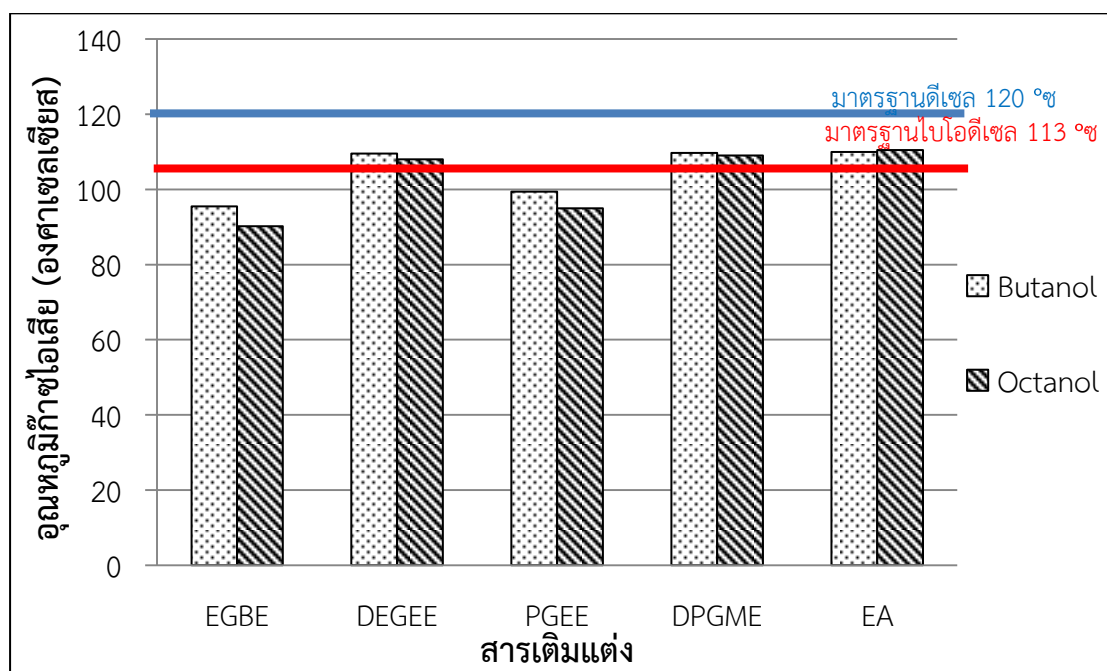
เมื่อเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอลและออกทานอลพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต่ำกว่า เพราะเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากออกทานอลให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากบิวทานอลจึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งที่เตรียมจากบิวทานอลและออกทานอลมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 564 และ 540 พีพีเอ็ม ตามลำดับ



ภาพที่ 4-21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งทั้ง 5 ชนิด

ภาพที่ 4-21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งทั้ง 5 ชนิด เมื่อทำการเติมสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1:3:5 พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล (495 พีพีเอ็ม) และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (372 พีพีเอ็ม) เมื่อเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอลและออกทานอลพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมมีก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ต่ำกว่า ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง

ที่เตรียมจากบิวทานอลและออกทานอล มีก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) 328 และ 315 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จะขึ้นกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงดังภาพที่ 4-22 และปริมาณออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิงชีวภาพ



ภาพที่ 4-22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก๊าซไอเสีย และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งทั้ง 5 ชนิด

จากการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เติมสารเติมแต่งทุกชนิดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่เกิดขึ้นต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล เพราะอุณหภูมิก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซลเนื่องจากเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีค่าความร้อนต่ำ อีกทั้งอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่มีค่าต่ำ ทำให้การปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าต่ำด้วยเช่นกัน (Arpornpong, 2013) ซึ่งมีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์คุณสมบัติปริมาณน้ำ คือ ปริมาณน้ำมากทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลงจึงทำให้การปล่อยก๊าซไอเสียสู่บรรยากาศลดลงตาม

การปล่อยก๊าซไอเสียจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสารเติมแต่งชนิด ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงสามารถนำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เติมสารเติมแต่งมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกทดแทนพลังงานในรูปของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังจะหมดลงในไม่ช้า

งานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์มาจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า สูตรน้ำมันเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่มีคุณภาพดีคือน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร (Attaphong และSabatini, 2012) ส่วนผสมของดีไฮโดลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล โดยอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม คือ 1:8 โดยโมล และเอทานอล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกสูตรน้ำมันที่ดัดนั้นมาทำการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันให้ดีขึ้นด้วยการเติมสารเติมแต่ง ซึ่งใช้น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล ในปริมาณร้อยละ 60 20 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ (Arpornpong, 2013) ซึ่งปัจจัยสำคัญที่นำมาพิจารณาในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน คือ คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ปริมาณน้ำ เขม่าในรูปของปริมาณเถ้า และค่าความร้อนซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพกับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งการเติมสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ทำให้คุณภาพทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันเปลี่ยนไป การเติมสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันทำให้ค่าความหนืดลดลงจากกรณีที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง ในขณะที่สัดส่วนของสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพแปรผกผันกับค่าความหนืด การเติมสารเติมแต่งแต่ละชนิดลงไปทำให้ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น จุดขุ่นและจุดไหลเทเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามในประเทศไทยในช่วงฤดูหนาว มีอุณหภูมิเฉลี่ย (พ.ศ.2544–2553) 16.0-22.9 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูง (Do และคณะ, 2011) ปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ส่วนเขม่าในรูปปริมาณเถ้ามีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลสำหรับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะและความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของการใช้สารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มไกลคอลอีเทอร์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันให้ดีขึ้น โดยศึกษาผลของความเข้มข้น ชนิดและโครงสร้างของสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) และเอทิลอะซิเตท (EA) ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีความเหมาะสมกับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งและมาตรฐานไบโอดีเซล

จากการศึกษาภูมิภาคไมโครอิมัลชันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ประกอบด้วยเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของน้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร เฟสน้ำมัน(ส่วนที่ไม่มีหัว) และเอทานอล(ส่วนที่มีหัว) ที่ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมในอัตราส่วน 1:8 โดยโมล โดยในงานวิจัยนี้ใช้สารเติมแต่งเพื่อสามารถปรับปรุงเชื้อเพลิงชีวภาพร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ดังนั้นอัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง ได้แก่ 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 ใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มอีทอกซิลเอทแพตต์ แอลกอฮอล์คือ ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (EO1) สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้คือ บิวทานอล(1-Butanol) และออกทานอล(1-Octanol) จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราส่วนที่แตกต่างกันของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง พบว่าในทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพยังมีลักษณะใสและยังคงรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) และเมื่อศึกษาชนิดของสารเติมแต่งพบว่าการเติมสารเติมแต่งทุกชนิดจะทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากสารกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย (Solvent) ให้กับสารดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1 (EO1) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวจึงทำให้เข้ากันได้ดีกับเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีความแตกต่างทางโครงสร้างพบว่าบิวทานอลและออกทานอลมีการละลายและรวมตัวได้ดี ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพยังคงรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase)

จากการการศึกษาค่าความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าการเติมสารเติมแต่งแต่ละชนิดมีผลทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความ

หนักลดลง ในขณะที่อัตราส่วนของสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงชีวภาพแปรผกผันกับค่าความหนืด เนื่องจากการเติมสารเติมแต่งไกลคอลอีเทอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่โครงสร้างมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่แอลกอฮอล์ (R-OH) และหมู่แอลคอกซี (R-O-R) มีลักษณะสมบัติเป็นโมเลกุลที่ทำให้ละลายได้ดีทั้งในเฟสน้ำมัน (ส่วนที่ไม่มีขี้) และเอทานอล (ส่วนที่มีขี้) ส่งผลให้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีขนาดในการพอร์มเป็นไมโครอิมัลชันเล็กลงจึงมีผลทำให้ความหนืดน้อยลง จากคุณสมบัติของสารแต่ละชนิดมีความหนืดและความหนาแน่นต่างกัน จึงมีผลทำให้ค่าความหนืดต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารเติมแต่งพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากสารเติมแต่ง ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) ไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) และเอทิลอะซิเตท (EA) ยังคงมีค่าความหนืดจากมากที่สุดไปน้อยสุดตามลำดับ เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันซึ่งบิวทานอล (สายโซ่สั้น) มีผลทำให้ค่าความหนืดต่ำกว่าเอทานอล (สายโซ่ยาว) เพราะบิวทานอลมีโครงสร้างสายคาร์บอนที่สั้นจึงทำให้เข้ากันได้ดีกับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมากกว่าเอทานอลที่มีโครงสร้างแบบสายคาร์บอนที่ยาว

จากการศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเท ปริมาณน้ำ เขม่าในรูปของปริมาณเถ้า และค่าความร้อน เปรียบเทียบตามมาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ได้ทำการเติมสารเติมแต่ง พบว่าการเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆที่อัตราส่วน 1:3:5 ลงไปในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันนั้นจะมีอิทธิพลต่อ คุณสมบัติค่าความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเท อยู่ในเกณฑ์ที่ดีใกล้เคียงกับ เชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่สุด จากผลการทดลองพบว่า สูตรน้ำมันที่ดีที่สุดคือเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีส่วนประกอบของน้ำมัน ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์/บิวทานอล/เอทิลอะซิเตท (EA) ที่อัตราส่วน 1:3:5

จากการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่มีความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที และภาระโหลดที่ 1,500 รอบต่อนาที พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากเติมแต่งชนิด ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) และเอทิลอะซิเตท (EA) มีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล เพราะมีปริมาณของออกซิเจนในโมเลกุลมากกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ จึงช่วยให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงสมบูรณ์ขึ้น การปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของเชื้อเพลิงชีวภาพมีปริมาณต่ำกว่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เพราะส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวภาพไม่มีองค์ประกอบของไนโตรเจน และเมื่อเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอลและเอทานอลพบว่าเชื้อเพลิง

ชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมมีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ต่ำกว่า เพราะออกทานอลให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าบิวทานอลจึงเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีขนาดเล็กประเภท 1 ลูกสูบหรือสามารถใช้กับเครื่องยนต์ทางการเกษตรได้ ดังนั้นจึงสามารถนำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำการเติมสารเติมแต่งมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกได้ เพราะสามารถลดการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ ส่งเสริมพลังงานสะอาด ลดมลพิษทางอากาศ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และนำไปสู่การพัฒนาแบบยั่งยืน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลอง มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

- จากการเติมสารดังกล่าว อาจมีผลต่อการเกิด Gum/Corrosion in long term (เกิดผลระยะยาวในการนำไปใช้กับเครื่องยนต์เพราะทำให้เกิดการกัดกร่อน) อาจไม่เป็นผลดีพอต่อเครื่องยนต์ ควรมีการ test corrosion (ทดสอบการกัดกร่อน)
- สารเติมแต่งแต่ละชนิดมีหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ที่จะนำไปใช้งานและต้องการปรับปรุงคุณสมบัติด้านใด ดังนั้นควรเลือกสารเติมแต่งที่คุณภาพดี มีความเหมาะสมในการปรับปรุงเชื้อเพลิงให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น
- จากการทดลองทำให้เกิดข้อสงสัยว่าหากมีการใช้น้ำมันที่มีความหนืดต่ำ เช่น น้ำมันสบู่ดำ ทำให้ใช้ปริมาณเอทานอลน้อยกว่าน้ำมันปาล์มในการลดความหนืด เนื่องจากน้ำมันสบู่ดำผลิตจากพืชที่ไม่ใช่ทำอาหารจึงไม่ส่งผลกระทบต่อปัจจัยขั้นพื้นฐานด้านอาหารของมนุษย์

5.3 ความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

จากวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน ส่งผลให้ทรัพยากรด้านปิโตรเลียมลดลงและราคามีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคต จึงได้มีการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อเป็นพลังงานทดแทน งานวิจัยนี้ได้มีความตระหนักถึงความสำคัญของพลังงาน ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทดแทนทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้แก้ปัญหาพลังงานจากปิโตรเลียมที่กำลังจะหมดไป การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยการใส่สารเติมแต่ง (Additive) กลุ่มไกลคอลลีเทอร์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันได้แก่ ค่าความหนืด ค่าความร้อน ความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ จุดขุ่น จุดไหลเท และการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ให้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่ง จะเห็นได้ว่าในการผลิตเชื้อเพลิง

ชีวภาพจะก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณน้อยมาก เป็นกระบวนการที่ง่าย ใช้พลังงานน้อย ไม่เกิดผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ อีกทั้งสารเติมแต่งที่นำมาใช้มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ดี การใช้น้ำมันพืชส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในด้านการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Green House Gas)



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2556. สถิติพลังงานของประเทศ ไทย 2556. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_dl_link.php?nid=40511 [2557, มีนาคม 4].
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. ปริมาณผลผลิตพืชน้ำมันของ ประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th> [2556, ธันวาคม 21].
- กาญจนา แสงล้อมสุวรรณ. 2554. เชื้อเพลิงชีวภาพพลังงานแห่งทางเลือก. วารสารมหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร. ปีที่ 31 ฉบับที่ 4 (ตุลาคม-ธันวาคม): 3-7.
- กัญติกา เวชกลาง และ ไพลิน แผนวิจิต. 2555. การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง. สถาบันวิจัย และพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- จุฑาธิป พลอยศรีมงคล. 2550. การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยใช้วิธีไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิต วิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชมพูนุท พรเจริญนพ. 2551. ไบโอดีเซลพลังงานทางเลือกใหม่ในยุคน้ำมันแพง. ข่าวรามคำแหง มหาวิทยาลัยรามคำแหง. ปี 38 ฉบับที่ 14 (กรกฎาคม 2551): 6-7.
- ธเนศร์ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา. 2545. ดีเซลเบนซินเรื่องหมูหมู. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: มติชน 368 หน้า.
- ธัญญธร อิศราชีวะ. 2548. ผลกระทบของสาร Oxygenated Additive ในลักษณะทางอิมัลชันของ การผสมน้ำมันดีเซลกับเอทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นคร ทิพยาวงศ์. 2553. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงสภาพชีวมวล. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริม เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 240 หน้า.
- นิจวรรณ อนันตรกิติ. 2556. ผลของเอทิลีนออกไซด์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมัน ปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นธิยา รัตนานนท์, and พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2550. ปาล์มน้ำมัน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com> [2557, มีนาคม 4].

- ประณต กุลประสูตร. 2553. ทฤษฎีเครื่องยนต์ดีเซล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 337 หน้า.
- ปรีชา สุนทรเรื่องยศ. 2540. ผลของสารลดแรงตึงผิวต่อรูปแบบการเกิดไมโครอิมัลชัน. โครงการวิจัย ทางเคมี สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรชนก รัตนะรัต. 2550. อัตราการใช้สารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตสารลดแรงตึงผิวชีวภาพจาก น้ำมันปาล์มโดย Pseudomonas sp.A41 ในกระบวนการหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล. 2544. ไบโอดีเซลพลังงานทางเลือก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 16 ฉบับที่ 3 (กันยายน-ธันวาคม 2544): 3-13.
- เพทาย ตันธนวัฒน์, เอกลักษณ์ สมรูป และ ธีราวุธ พงศ์ประยูร. 2551. การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจาก น้ำมันปาล์มโดยใช้วิธีไมโครอิมัลชัน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 18 ฉบับที่ 3 (กันยายน-ธันวาคม 2551): 62-69.
- วรางคณา ประภาติกุล. 2551. การผลิตไบโอดีโซฮอล์จากน้ำมันสบู่ดำโดยใช้เทคนิคไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรารณณ์ ว่องไวพิจารณ์ และ วริศรา ตันติวังศ์. 2555. การนำน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มใช้แล้วมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. โครงการงานวิศวกรรม ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิชชากร จารุศิริ. 2549. การแปรรูปน้ำมันพืช น้ำมันเครื่อง และพลาสติกใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว บนเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง. กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริณี เพ็งปรีชา. 2556. ผลของลักษณะสมบัติของน้ำมันพืชต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2545. สารลดแรงตึงผิวนอน-ไอออนิกที่ได้จากเอทิลีน ออกไซด์และสารผสมของสารลดแรงตึงผิวนอน-ไอออนิก-การวิเคราะห์หาจุดขุ่น. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

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. Bioresource Technology. 50: 153-163.

Arpornpong, N. 2013. Alternative renewable biofuel from palm oil – diesel based reverse micelle microemulsions. Doctoral Dissertation. Environmental Management (Interdisciplinary Program), Graduate School, Chulalongkorn University.

ASTM D240. 2013. ASTM D240 Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter. [Online]. Available: <http://www.astm.org/Standards/D240.htm> [2014, May 22].

ASTM D445. 2013. ASTM D445 Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids and Calculation of Dynamic Viscosity. [Online]. Available: <http://www.astm.org/Standards/D445.htm> [2014, May 22].

ASTM D975. 2013. ASTM D975 Standard Specification for Diesel Fuel Oils. [Online]. Available: <http://www.astm.org/Standards/D975.htm> [2014, May 22].

ASTM D6751. 2013. ASTM D6751 Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock B100 for Middle Distillate Fuels. [Online]. Available: <http://www.astm.org/Standards/D6751.htm> [2014, May 22].

ASTM International. 2013. Standards & Publications. [Online]. Available: <http://www.astm.org/Standard/standards-and-publications.html> [2014, May 22].

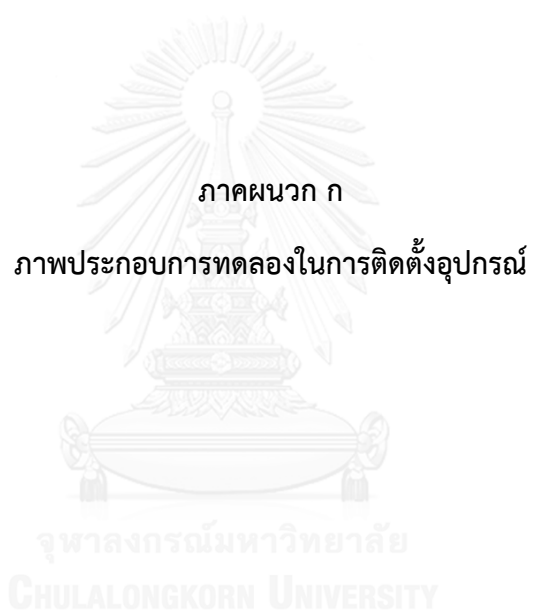
Attaphong, C. and Sabatini, D. A. 2012. Vegetable Oil-Based Microemulsions Using Carboxylate-Based Extended Surfactants and Their Potential as an Alternative Renewable Biofuel. Fuel. 94: 606-613.

- Bidyut, K. P. and Satya, P. M. 2001. Uses and Applications of Microemulsions. Current Science. 80: 990-1001.
- Cuenca, F., Marin, M. and Diaz, M. B. 2011. Effects of Ethylene Glycol Ethers on Diesel Fuel Properties and Emissions in a Diesel Engine. Energy Conversion and Management. 52: 3027–3033.
- Cuenca, F., Marin, M. and Diaz, M. B. 2013. The Influence of Propylene Glycol Ethers on Base Diesel Emissions from a Diesel Engine. Energy Conversion and Management. 75: 741–747.
- 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.
- 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.
- 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.
- Kwanchareon, 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.
- Lif, A. and Holmberg, K. 2006. Water-in-Diesel Emulsions and Related Systems. Advances in Colloid and Interface Science. 123-126: 231-239.
- 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.

- Merck KGaA Chemicals company. 2008. Chemicals and Reagents 2008-2010. Darmstadt: Merck KGaA.
- 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.
- Zhao, D. Z., Wang, Y. P. and Liu, J. H. 2006. Preparation and Application of Diesel Microemulsion. Petrol Sci Technol. 24: 1017-1025.

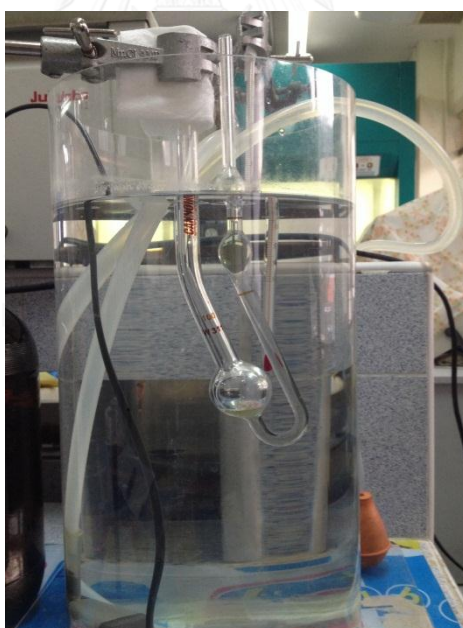








ภาพที่ ก-1 การติดตั้งอุปกรณ์การวัดความหนืด ที่อุณหภูมิ 15 และ 25 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ก-2 การติดตั้งอุปกรณ์การวัดความหนืด ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ก-3 การติดตั้งอุปกรณ์การวัดจุดหลอมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน



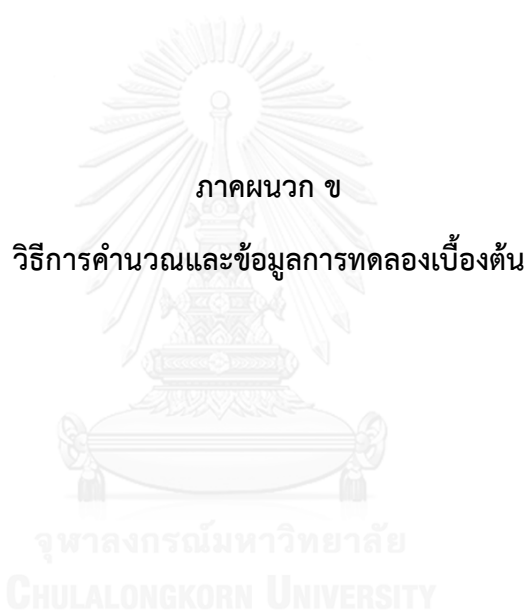
ภาพที่ ก-4 การติดตั้งอุปกรณ์การวัดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน



ภาพที่ ก-5 เซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันเพื่อนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล



ภาพที่ ก-6 เครื่องวัดปริมาณก๊าซไอเสีย (Gas Analyzer Testo 350-XL)



ตัวอย่างที่ ข-1 การคำนวณเฟสไมโครอิมัลชัน

น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตรร้อยละ 60
อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง (S:C:A) เป็น 1:7:1 ที่
ปริมาตรร้อยละ 20 และเอทานอลที่ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 ที่ปริมาตรร้อยละ 20

สารลดแรงตึงผิวร่วม: ออกทานอล (Octanol) 1 โมล

สารลดแรงตึงผิว: ดีไฮดรอเอทีลีนออกไซด์ 1 (Dehydrol LS1 TH)

สารเติมแต่ง: เอทีลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE)

ปริมาตรรวม: 10 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned}
 \text{ดีไฮดรอเอทีลีนออกไซด์ 1 (S)} &= \frac{\text{โมลาร์} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{(\% \text{ความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น})} \\
 &= \frac{(1/8) \times 217.15 \times 0.01}{(0.99 \times 0.837)} \\
 &= 0.3276 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{ออกทานอล (C)} &= \frac{\text{โมลาร์} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{(\% \text{ความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น})} \\
 &= \frac{(1/8) \times 7 \times 130.23 \times 0.01}{(0.99 \times 0.824)} \\
 &= 1.3969 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{เอทีลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (A)} &= \frac{\text{โมลาร์} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{(\% \text{ความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น})} \\
 &= \frac{(1/8) \times 1 \times 118.17 \times 0.01}{(0.99 \times 0.902)} \\
 &= 0.1654 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{ปริมาตรรวม (S:C:A) ร้อยละ 20} &= 0.3276 + 1.3969 + 0.1654 \\
 &= 1.8899 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{เอทานอลร้อยละ 20} &= 2 \text{ มิลลิลิตร} \\
 \text{น้ำมันร้อยละ 60} &= 10 - (2 + 1.8899) \\
 &= 6.110 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ ข-2 การคำนวณค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
 มวลน้ำมันปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/EGBE/ออกทานอล/เอทานอล99% 0.2118 กรัม
 ปริมาตรวัตถุ คือ 0.25 ลูกบาศก์เซนติเมตร
 ความหนาแน่นน้ำ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส คือ 0.9971 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

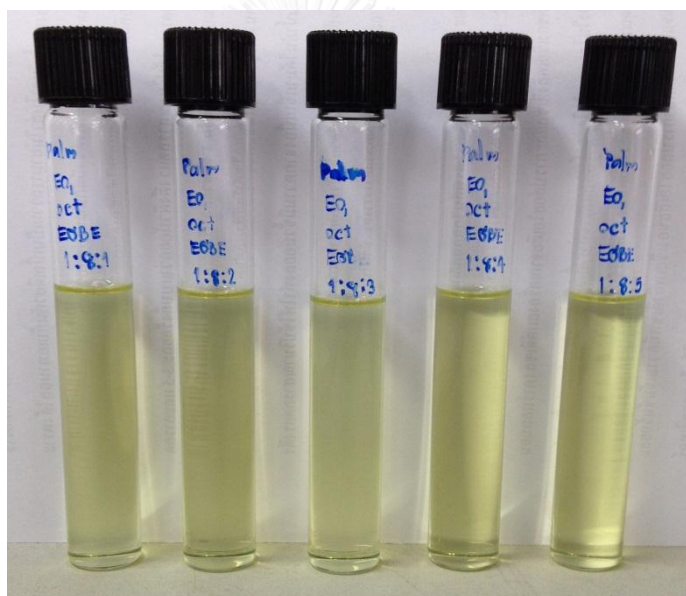
$$\begin{aligned}
 \text{ค่าความหนาแน่น} &= \text{มวลวัตถุ} / \text{ปริมาตรวัตถุ} \\
 &= 0.2118 / 0.25 \\
 &= 0.8472 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร} \\
 \text{ค่าความถ่วงจำเพาะ} &= \text{ความหนาแน่นวัตถุ} / \text{ความหนาแน่นน้ำ} \\
 &= 0.8472 / 0.9971 \\
 &= 0.850
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ ข-3 การคำนวณเขม่าในรูปของปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
 น้ำหนักก่อน(ถ้วย) คือ 9.8338 กรัม
 น้ำหนักก่อน(น้ำมัน) คือ 0.5078 กรัม
 น้ำหนักหลังเผา คือ 9.8333 กรัม

$$\begin{aligned}
 \text{เขม่าในรูปปริมาณเถ้า} &= [(\text{น้ำหนักหลังเผา} - \text{น้ำหนักก่อนถ้วย}) / \text{น้ำหนักก่อนน้ำมัน}] \times 100 \\
 &= [(9.8338 - 9.8333) / 0.5078] \times 100 \\
 &= 0.10 \% \text{ โดยมวล}
 \end{aligned}$$

ข้อมูลการทดลองเบื้องต้น

งานวิจัยนี้ได้มีการทดลองเบื้องต้น ทำการเลือกอัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง (S/C/A) ได้แก่ 1:8:1 1:8:2 1:8:3 1:8:4 และ 1:8:5 โดยมีส่วนผสมของน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม คือ 1:8 โดยโมล และเอทานอล ซึ่งใช้น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล ในปริมาณร้อยละ 60 20 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ (Arpornpong, 2013) พบว่าส่วนผสมเหล่านี้ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนสัดส่วนในทุกสัดส่วนพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพยังคงรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ดังภาพที่ ข-1



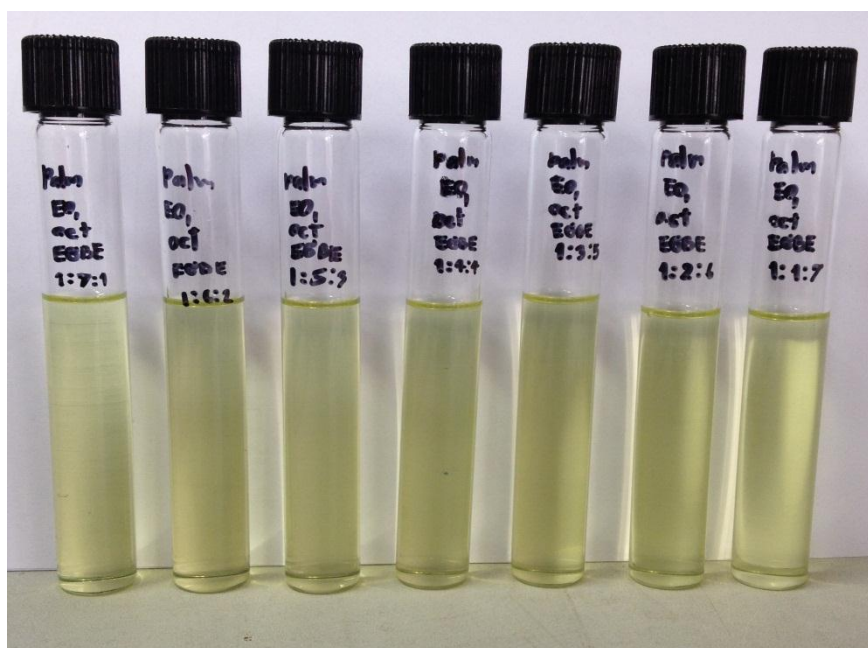
ภาพที่ ข-1 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) เตรียมจากสารเติมแต่งชนิดเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ในทุกสัดส่วน

อย่างไรก็ตามเมื่อนำอัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง (S/C/A) ทั้ง 5 อัตราส่วน ดังนี้ 1:8:1 1:8:2 1:8:3 1:8:4 และ 1:8:5 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการศึกษาคือ ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสพบว่า ค่าความหนืดมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วน 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 ดังตารางที่ ข-1 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้อัตราส่วน 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 นี้มาทำการศึกษา

ตารางที่ ข-1 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:8:1	6.01	6.02	6.02	5.79	5.80	5.80	5.80	0.0093
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:8:2	6.00	5.57	6.00	5.78	5.37	5.78	5.64	0.1825
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:8:3	5.56	5.56	5.54	5.36	5.36	5.34	5.35	0.0093
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:8:4	5.50	5.51	5.50	5.30	5.31	5.30	5.30	0.0093
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:8:5	5.48	5.49	5.47	5.28	5.29	5.27	5.28	0.0093

จากการทดลองเบื้องต้น ทำการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง (S/C/A) 7 อัตราส่วน ได้แก่ 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 1:3:5 1:2:6 และ 1:1:7 ผสมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล และเอทานอล ซึ่งใช้น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล ในปริมาณร้อยละ 60 20 และ 20 โดยปริมาตร ตามลำดับ (Arpompong, 2013) พบว่าส่วนผสมนี้ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียว ดังภาพที่ ข-2



ภาพที่ ข-2 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) เตรียมจากสารเติมแต่งชนิดเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ในทุกสัดส่วน

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง (S/C/A) ทั้ง 7 อัตราส่วนดังกล่าว เมื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสพบว่า ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัตราส่วน 1:2:6 และ 1:1:7 เริ่มคงที่ ดังตารางที่ ข-2 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้อัตราส่วน 1:7:1 1:6:2 1:5:3 1:4:4 และ 1:3:5 นี้ทำการศึกษา

ตารางที่ ข-2 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:7:1	331	332	331	5.32	5.33	5.32	5.32	0.0093
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:6:2	324	322	322	5.20	5.17	5.17	5.18	0.0185
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:5:3	319	319	318	5.12	5.11	5.11	5.11	0.0093
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:4:4	318	317	316	5.11	5.09	5.07	5.09	0.0161
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	312	310	310	5.01	4.98	4.98	4.99	0.0185
6	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:2:6	307	306	308	4.94	4.93	4.95	4.94	0.0093
7	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:1:7	308	307	307	4.95	4.94	4.94	4.94	0.0185



ตารางที่ ค-1 ผลการศึกษาวัฏภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน

ตัวอย่าง	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	สารเติมแต่ง	อัตราส่วน	เชื้อเพลิงที่รวมตัว (Single phase)
1	น้ำมัน ปาล์ม+ ดีเซล	ดีไฮดอล เอทีลีน ออกไซด์1	บิวทานอล	EGBE	1:7:1	/
2	„	„	„	„	1:6:2	/
3	„	„	„	„	1:5:3	/
4	„	„	„	„	1:4:4	/
5	„	„	„	„	1:3:5	/
6	„	„	ออกทานอล	„	1:7:1	/
7	„	„	„	„	1:6:2	/
8	„	„	„	„	1:5:3	/
9	„	„	„	„	1:4:4	/
10	„	„	„	„	1:3:5	/
11	„	„	บิวทานอล	DEGEE	1:7:1	/
12	„	„	„	„	1:6:2	/
13	„	„	„	„	1:5:3	/
14	„	„	„	„	1:4:4	/
15	„	„	„	„	1:3:5	/
16	„	„	ออกทานอล	„	1:7:1	/
17	„	„	„	„	1:6:2	/
18	„	„	„	„	1:5:3	/
19	„	„	„	„	1:4:4	/
20	„	„	„	„	1:3:5	/
21	„	„	บิวทานอล	PGEE	1:7:1	/
22	„	„	„	„	1:6:2	/
23	„	„	„	„	1:5:3	/
24	„	„	„	„	1:4:4	/
25	„	„	„	„	1:3:5	/

ตารางที่ ค-1 ผลการศึกษาวัฏภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน(ต่อ)

ตัวอย่าง	น้ำมัน	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	สารเติมแต่ง	อัตราส่วน	เชื้อเพลิงที่รวมตัว (Single phase)
31	น้ำมันปาล์ม+ ดีเซล	ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์1	บิวทานอล	DPGME	1:7:1	/
32	„	„	„	„	1:6:2	/
33	„	„	„	„	1:5:3	/
34	„	„	„	„	1:4:4	/
35	„	„	„	„	1:3:5	/
36	„	„	ออกทานอล	„	1:7:1	/
37	„	„	„	„	1:6:2	/
38	„	„	„	„	1:5:3	/
39	„	„	„	„	1:4:4	/
40	„	„	„	„	1:3:5	/
41	„	„	บิวทานอล	EA	1:7:1	/
42	„	„	„	„	1:6:2	/
43	„	„	„	„	1:5:3	/
44	„	„	„	„	1:4:4	/
45	„	„	„	„	1:3:5	/
46	„	„	ออกทานอล	„	1:7:1	/
47	„	„	„	„	1:6:2	/
48	„	„	„	„	1:5:3	/
49	„	„	„	„	1:4:4	/
50	„	„	„	„	1:3:5	/

ภาคผนวก ง

ค่าความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ง-1 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:7:1	636	639	638	10.21	10.26	10.25	10.24	0.0245
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:6:2	614	620	615	9.86	9.96	9.88	9.90	0.0516
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:5:3	604	601	602	9.70	9.65	9.67	9.67	0.0245
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:4:4	599	596	598	9.62	9.57	9.60	9.60	0.0245
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:3:5	590	587	587	9.48	9.43	9.43	9.44	0.0278
6	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:7:1	643	650	647	10.33	10.44	10.39	10.39	0.0564
7	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:6:2	649	655	653	10.42	10.52	10.49	10.48	0.0491
8	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:5:3	624	618	622	10.02	9.93	9.99	9.98	0.0491
9	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:4:4	617	612	615	9.91	9.83	9.88	9.87	0.0404
10	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	620	637	619	9.96	10.23	9.94	10.04	0.1625

ตารางที่ ง-1 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
11	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:7:1	637	644	640	10.23	10.34	10.28	10.28	0.0564
12	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:6:2	616	618	620	9.89	9.93	9.96	9.93	0.0321
13	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:5:3	599	603	600	9.62	9.68	9.64	9.65	0.0334
14	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:4:4	600	605	605	9.64	9.72	9.72	9.69	0.0464
15	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:3:5	605	610	607	9.72	9.80	9.75	9.75	0.0404
16	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:7:1	667	671	670	10.71	10.78	10.76	10.75	0.0334
17	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:6:2	665	663	665	10.68	10.65	10.68	10.67	0.0185
18	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:5:3	658	655	655	10.57	10.52	10.52	10.54	0.0278
19	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:4:4	662	665	660	10.63	10.68	10.60	10.64	0.0404
20	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	653	657	655	10.49	10.55	10.52	10.52	0.0321

ตารางที่ ง-1 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
21	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:7:1	636	629	633	10.21	10.10	10.17	10.16	0.0564
22	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:6:2	635	634	631	10.20	10.18	10.13	10.17	0.0334
23	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:5:3	626	630	625	10.05	10.12	10.04	10.07	0.0425
24	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:4:4	617	615	617	9.91	9.88	9.91	9.90	0.0185
25	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:3:5	597	597	595	9.59	9.59	9.56	9.58	0.0185
26	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:7:1	637	632	635	10.23	10.15	10.20	10.19	0.0404
27	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:6:2	624	621	623	10.02	9.97	10.01	10.00	0.0245
28	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:5:3	616	614	616	9.89	9.86	9.89	9.88	0.0185
29	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:4:4	612	612	611	9.83	9.83	9.81	9.92	0.0093
30	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:3:5	599	592	596	9.62	9.51	9.57	9.57	0.0564

ตารางที่ ง-1 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
31	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:7:1	634	630	630	10.18	10.12	10.12	10.14	0.0371
32	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:6:2	630	625	629	10.12	10.04	10.10	10.09	0.0425
33	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:5:3	620	619	616	9.96	9.94	9.89	9.93	0.0334
34	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:4:4	616	610	611	9.89	9.80	9.81	9.83	0.01516
35	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:3:5	601	597	599	9.65	9.59	9.62	9.62	0.0321
36	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:7:1	679	675	674	10.90	10.84	10.82	10.86	0.0425
37	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:6:2	659	653	655	10.58	10.49	10.52	10.53	0.0491
38	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:5:3	639	634	638	10.26	10.18	10.25	10.23	0.0425
39	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:4:4	620	625	625	9.96	10.04	10.04	10.01	0.0464
40	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:3:5	621	619	621	9.97	9.94	9.97	9.96	0.0185

ตารางที่ ง-1 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
41	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:7:1	610	602	605	9.80	9.67	9.72	9.73	0.0649
42	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:6:2	570	560	568	9.15	8.99	9.12	9.09	0.0850
43	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:5:3	529	517	520	8.50	8.30	8.35	8.38	0.1003
44	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:4:4	497	502	500	7.98	8.06	8.03	8.02	0.0404
45	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:3:5	482	486	485	7.74	7.81	7.79	7.78	0.0334
46	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:7:1	600	594	595	9.64	9.54	9.56	9.58	0.0516
47	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:6:2	589	578	580	9.46	9.28	9.31	9.35	0.0941
48	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:5:3	544	539	540	8.74	8.66	8.67	8.69	0.0425
49	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:4:4	521	523	524	8.37	8.40	8.42	8.39	0.0245
50	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:3:5	513	517	515	8.24	8.30	8.27	8.27	0.0321
51	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอล เอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล	683	690	690	10.97	11.08	10.08	11.04	0.0649
52	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอล เอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล	688	693	694	11.05	11.13	11.15	11.11	0.0516

ตารางที่ ง-2 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:7:1	469	468	468	7.53	7.52	7.52	7.52	0.0093
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:6:2	463	458	459	7.44	7.36	7.37	7.39	0.0425
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:5:3	450	452	450	7.23	7.26	7.23	7.24	0.0185
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:4:4	435	432	432	6.99	6.94	6.94	6.95	0.0278
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:3:5	428	425	425	6.87	6.83	6.83	6.84	0.0278
6	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:7:1	473	472	472	7.60	7.58	7.58	7.59	0.0093
7	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:6:2	470	470	469	7.55	7.55	7.53	7.54	0.0093
8	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:5:3	465	466	463	7.47	7.48	7.44	7.46	0.0245
9	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:4:4	444	444	442	7.13	7.13	7.10	7.12	0.0185
10	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	435	431	432	6.99	6.92	6.94	6.95	0.0334

ตารางที่ ง-2 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
11	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:7:1	460	460	461	7.39	7.39	7.40	7.39	0.0093
12	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:6:2	452	447	452	7.26	7.18	7.26	7.23	0.0464
13	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:5:3	449	449	450	7.21	7.21	7.23	7.22	0.0093
14	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:4:4	442	445	442	7.10	7.15	7.10	7.11	0.0278
15	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:3:5	437	432	432	7.02	6.94	6.94	6.96	0.0464
16	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:7:1	464	462	462	7.45	7.42	7.42	7.43	0.0185
17	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:6:2	452	455	455	7.26	7.31	7.31	7.29	0.0278
18	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:5:3	455	450	452	7.31	7.23	7.26	7.26	0.0404
19	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:4:4	446	445	445	7.16	7.15	7.15	7.15	0.0093
20	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	440	439	439	7.07	7.05	7.05	7.06	0.0093

ตารางที่ ง-2 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
21	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:7:1	451	455	455	7.24	7.31	7.31	7.29	0.0371
22	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:6:2	445	441	442	7.15	7.08	7.10	7.11	0.0334
23	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:5:3	440	437	438	7.07	7.02	7.03	7.04	0.0245
24	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:4:4	431	435	433	6.92	6.99	6.95	6.95	0.0321
25	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:3:5	423	425	423	6.79	6.83	6.79	6.80	0.0185
26	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:7:1	455	458	455	7.31	7.36	7.31	7.32	0.0278
27	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:6:2	447	448	447	7.18	7.19	7.18	7.18	0.0093
28	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:5:3	443	441	441	7.11	7.08	7.08	7.09	0.0185
29	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:4:4	435	438	434	6.99	7.03	6.97	7.00	0.0334
30	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:3:5	429	428	428	6.89	6.87	6.87	6.88	0.0093

ตารางที่ ง-2 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
31	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:7:1	483	483	483	7.76	7.76	7.76	7.76	0.0000
32	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:6:2	477	475	475	7.66	7.63	7.63	7.64	0.0185
33	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:5:3	461	461	459	7.40	7.40	7.37	7.39	0.0185
34	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:4:4	454	452	455	7.29	7.26	7.31	7.29	0.0245
35	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:3:5	446	440	442	7.16	7.07	7.10	7.11	0.0491
36	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:7:1	506	504	502	8.13	8.09	8.06	8.09	0.0321
37	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:6:2	497	499	500	7.98	8.01	8.03	8.01	0.0245
38	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:5:3	488	483	484	7.84	7.76	7.77	7.79	0.0425
39	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:4:4	467	461	465	7.50	7.40	7.47	7.46	0.0491
40	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:3:5	455	450	451	7.31	7.23	7.24	7.26	0.0425

ตารางที่ ง-2 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
41	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:7:1	449	444	445	7.21	7.13	7.15	7.16	0.0425
42	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:6:2	418	414	415	6.71	6.65	6.66	6.68	0.0334
43	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:5:3	405	401	404	6.50	6.44	6.49	6.48	0.0334
44	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:4:4	395	390	388	6.34	6.26	6.23	6.28	0.0579
45	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:3:5	375	371	371	6.02	5.96	5.96	5.98	0.0371
46	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:7:1	462	462	465	7.42	7.42	7.47	7.44	0.0278
47	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:6:2	430	427	426	6.91	6.86	6.84	6.87	0.0334
48	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:5:3	409	406	407	6.57	6.52	6.54	6.54	0.0254
49	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:4:4	405	401	404	6.50	6.44	6.49	6.48	0.0334
50	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:3:5	393	390	391	6.31	6.26	6.28	6.28	0.0245
51	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอล เอทีลีนออกไซด์1/บิวทานอล	499	499	500	8.01	8.01	8.03	8.02	0.0185
52	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอล เอทีลีนออกไซด์1/ออกทานอล	515	514	515	8.05	8.04	8.05	8.04	0.0161

ตารางที่ ง-3 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:7:1	391	391	390	6.28	6.28	6.26	6.27	0.0093
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:6:2	385	380	382	6.18	6.10	6.13	6.14	0.0404
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:5:3	380	378	377	6.10	6.07	6.05	6.08	0.0245
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:4:4	371	373	370	5.96	5.99	5.94	5.96	0.0245
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:3:5	365	360	362	5.86	5.78	5.81	5.82	0.0404
6	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:7:1	421	417	415	6.76	6.70	6.66	6.71	0.0491
7	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:6:2	404	407	408	6.49	6.54	6.55	6.53	0.0334
8	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:5:3	399	395	395	6.41	6.34	6.34	6.37	0.0371
9	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:4:4	380	385	382	6.10	6.18	6.13	6.14	0.0404
10	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	376	374	374	6.04	6.01	6.01	6.02	0.0185

ตารางที่ ง-3 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
11	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:7:1	425	425	426	6.83	6.83	6.84	6.83	0.0093
12	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:6:2	420	421	418	6.75	6.76	6.71	6.74	0.0245
13	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:5:3	407	409	410	6.54	6.57	6.58	6.56	0.0245
14	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:4:4	393	390	392	6.31	6.26	6.30	6.29	0.0245
15	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:3:5	380	380	382	6.10	6.10	6.13	6.11	0.0185
16	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:7:1	429	430	428	6.89	6.91	6.87	6.89	0.0161
17	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:6:2	428	425	423	6.87	6.83	6.79	6.83	0.0404
18	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:5:3	413	418	412	6.63	6.71	6.62	6.65	0.0516
19	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:4:4	400	400	398	6.42	6.42	6.39	6.41	0.0185
20	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	400	395	398	6.42	6.34	6.39	6.39	0.0404

ตารางที่ ง-3 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
21	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:7:1	383	381	385	6.15	6.12	6.18	6.15	0.0321
22	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:6:2	365	370	367	5.86	5.94	5.89	5.90	0.0334
23	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:5:3	350	353	354	5.62	5.67	5.69	5.66	0.0334
24	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:4:4	341	345	343	5.48	5.54	5.51	5.51	0.0321
25	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:3:5	333	337	335	5.35	5.41	5.38	5.38	0.0321
26	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:7:1	399	396	395	6.41	6.36	6.34	6.37	0.0334
27	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:6:2	384	382	380	6.17	6.13	6.10	6.13	0.0321
28	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:5:3	371	370	372	5.96	5.94	5.97	5.96	0.0161
29	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:4:4	367	365	365	5.89	5.86	5.86	5.87	0.0185
30	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:3:5	356	353	355	5.72	5.67	5.70	5.70	0.0245

ตารางที่ ง-3 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
31	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:7:1	421	423	425	6.76	6.79	6.83	6.79	0.0321
32	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:6:2	411	410	415	6.60	6.58	6.66	6.62	0.0425
33	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:5:3	404	404	400	6.49	6.49	6.42	6.47	0.0371
34	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:4:4	400	395	398	6.42	6.34	6.39	6.39	0.0404
35	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:3:5	393	390	390	6.31	6.26	6.26	6.28	0.0278
36	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:7:1	430	431	428	6.91	6.92	6.87	6.90	0.0245
37	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:6:2	422	420	415	6.78	6.75	6.66	6.73	0.0579
38	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:5:3	397	397	394	6.38	6.38	6.33	6.36	0.0278
39	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:4:4	385	385	386	6.18	6.18	6.20	6.19	0.0093
40	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:3:5	377	375	372	6.05	6.02	5.97	6.02	0.0404

ตารางที่ ง-3 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
41	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:7:1	371	370	372	5.96	5.94	5.97	5.96	0.0161
42	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:6:2	350	348	349	5.62	5.59	5.60	5.60	0.0161
43	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:5:3	343	342	340	5.51	5.49	5.46	5.49	0.0245
44	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:4:4	331	329	329	5.32	5.28	5.28	5.29	0.0185
45	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:3:5	324	324	322	5.20	5.20	5.17	5.19	0.0185
46	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:7:1	414	412	412	6.65	6.62	6.62	6.63	0.0185
47	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:6:2	372	373	373	5.97	5.99	5.99	5.99	0.0093
48	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:5:3	369	367	368	5.93	5.89	5.91	5.91	0.0161
49	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:4:4	360	359	361	5.78	5.77	5.80	5.78	0.0161
50	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:3:5	346	342	345	5.56	5.49	5.54	5.53	0.0334
51	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล	450	454	455	7.03	7.07	7.08	7.06	0.0161
52	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล	443	445	448	7.11	7.15	7.19	7.15	0.0404

ตารางที่ ง-4 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:7:1	304	301	301	4.88	4.83	4.83	4.85	0.0278
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:6:2	298	299	299	4.79	4.80	4.80	4.80	0.0093
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:5:3	299	297	296	4.80	4.77	4.75	4.78	0.0245
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:4:4	294	295	295	4.72	4.74	4.74	4.73	0.0093
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:3:5	291	289	288	4.67	4.64	4.63	4.65	0.0245
6	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:7:1	331	332	331	5.32	5.33	5.32	5.32	0.0093
7	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:6:2	324	322	322	5.20	5.17	5.17	5.18	0.0185
8	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:5:3	319	319	318	5.12	5.11	5.11	5.11	0.0093
9	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:4:4	318	317	316	5.11	5.09	5.07	5.09	0.0161
10	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	312	310	310	5.01	4.98	4.98	4.99	0.0185

ตารางที่ ง-4 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
11	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:7:1	319	318	320	5.12	5.11	5.14	5.12	0.0161
12	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:6:2	320	317	316	5.14	5.09	5.07	5.10	0.0334
13	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:5:3	312	313	312	5.01	5.03	5.01	5.02	0.0093
14	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:4:4	310	310	308	4.98	4.98	4.95	4.97	0.0185
15	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:3:5	303	305	305	4.87	4.90	4.90	4.89	0.0185
16	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:7:1	338	340	338	5.43	5.46	5.43	5.44	0.0185
17	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:6:2	335	332	332	5.38	5.33	5.33	5.35	0.0278
18	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:5:3	324	323	325	5.20	5.19	5.22	5.20	0.0161
19	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:4:4	320	321	320	5.14	5.16	5.14	5.14	0.0093
20	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	318	320	319	5.11	5.14	5.12	5.12	0.0161

ตารางที่ ง-4 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ต่อ)

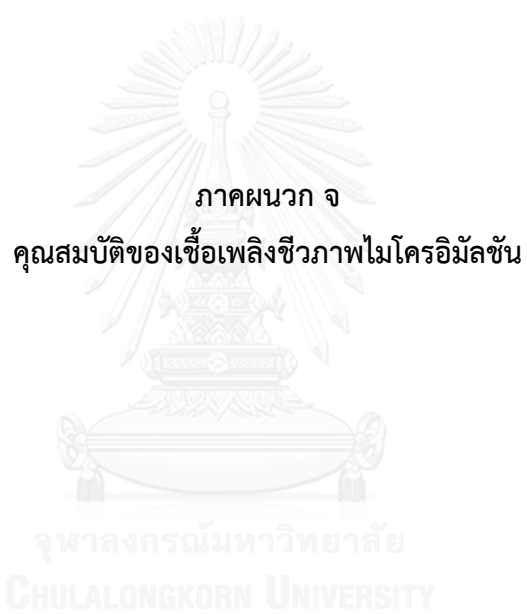
ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
21	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:7:1	298	294	294	4.79	4.72	4.72	4.74	0.0371
22	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:6:2	292	294	291	4.69	4.72	4.72	4.71	0.0185
23	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:5:3	289	288	287	4.64	4.63	4.61	4.63	0.0161
24	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:4:4	292	291	292	4.69	4.67	4.69	4.68	0.0093
25	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:3:5	288	288	287	4.63	4.63	4.61	4.62	0.0093
26	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:7:1	311	310	311	4.99	4.98	4.99	4.99	0.0093
27	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:6:2	307	305	305	4.93	4.90	4.90	4.91	0.0185
28	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:5:3	305	304	304	4.90	4.88	4.88	4.89	0.0093
29	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:4:4	302	299	299	4.85	4.80	4.80	4.82	0.0278
30	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:3:5	299	297	296	4.80	4.77	4.75	4.78	0.0245

ตารางที่ ง-4 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
31	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:7:1	315	314	312	5.06	5.04	5.01	5.04	0.0245
32	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:6:2	313	314	311	5.03	5.04	4.99	5.02	0.0245
33	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:5:3	312	310	310	5.01	4.98	4.98	4.99	0.0185
34	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:4:4	310	308	306	4.98	4.95	4.91	4.95	0.0321
35	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:3:5	299	294	295	4.80	4.72	4.74	4.75	0.0425
36	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:7:1	319	318	318	5.12	5.11	5.11	5.11	0.0093
37	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:6:2	318	314	314	5.11	5.04	5.04	5.06	0.0371
38	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:5:3	310	309	308	4.98	4.96	4.95	4.96	0.0161
39	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:4:4	308	307	308	4.95	4.93	4.95	4.94	0.0093
40	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:3:5	302	300	300	4.85	4.82	4.82	4.83	0.0093

ตารางที่ ง-4 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	เวลา (วินาที)			ค่าความหนืด (ตารางมิลลิเมตร/วินาที)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
41	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:7:1	289	289	288	4.64	4.64	4.63	4.63	0.0093
42	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:6:2	278	279	277	4.46	4.48	4.45	4.46	0.0161
43	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:5:3	264	262	262	4.24	4.21	4.21	4.22	0.0185
44	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:4:4	258	257	257	4.14	4.13	4.13	4.13	0.0093
45	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:3:5	250	248	248	4.02	3.98	3.98	3.99	0.0185
46	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:7:1	314	312	312	5.04	5.01	5.01	5.02	0.0185
47	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:6:2	303	302	303	4.87	4.85	4.87	4.86	0.0093
48	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:5:3	281	280	280	4.51	4.50	4.50	4.50	0.0093
49	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:4:4	275	274	272	4.42	4.40	4.37	4.40	0.0245
50	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:3:5	266	264	264	4.27	4.24	4.24	4.25	0.0185
51	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล	350	350	351	5.62	5.62	5.64	5.63	0.0093
52	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล	360	363	365	5.78	5.83	5.86	5.82	0.0404



วิธีการทดลอง จ-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นและค่าความถ่วงจำเพาะของ
เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

- 1) เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันนำน้ำมันบรรจุใน
หลอดฉีดยา 250 ไมโครลิตร ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
- 2) บันทึกผลการทดลอง ทำซ้ำ 3 ครั้ง
- 3) คำนวณหาค่าความหนาแน่นและค่าความถ่วงจำเพาะ แล้วนำไป
เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล



ตารางที่ จ-1 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไม้โคริมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไม้โคริมัลชัน	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)			ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:7:1	0.2118	0.2118	0.2117	0.8472	0.8472	0.8468	0.8471	0.0002
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:6:2	0.2125	0.2125	0.2125	0.8500	0.8500	0.8500	0.8500	0.0000
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:5:3	0.2129	0.2130	0.2128	0.8516	0.8520	0.8512	0.8516	0.0004
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:4:4	0.2130	0.2129	0.2129	0.8520	0.8516	0.8516	0.8517	0.0002
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:3:5	0.2136	0.2135	0.2135	0.8544	0.8540	0.8540	0.8541	0.0002
6	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:7:1	0.2120	0.2119	0.2120	0.8480	0.8476	0.8480	0.8479	0.0002
7	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:6:2	0.2124	0.2123	0.2122	0.8496	0.8492	0.8488	0.8492	0.0004
8	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:5:3	0.2126	0.2125	0.2125	0.8504	0.8500	0.8500	0.8501	0.0002
9	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:4:4	0.2125	0.2127	0.2125	0.8500	0.8508	0.8500	0.8503	0.0005
10	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	0.2135	0.2135	0.2135	0.8540	0.8540	0.8540	0.8540	0.0000

ตารางที่ จ-1 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)			ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
11	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:7:1	0.2128	0.2129	0.2130	0.8512	0.8516	0.8520	0.8516	0.0004
12	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:6:2	0.2136	0.2136	0.2136	0.8544	0.8544	0.8544	0.8544	0.0000
13	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:5:3	0.2140	0.2140	0.2141	0.8560	0.8560	0.8564	0.8561	0.0002
14	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:4:4	0.2143	0.2142	0.2142	0.8572	0.8568	0.8568	0.8569	0.0002
15	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:3:5	0.2157	0.2158	0.2158	0.8628	0.8632	0.8632	0.8631	0.0002
16	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:7:1	0.2115	0.2116	0.2115	0.8460	0.8464	0.8460	0.8461	0.0002
17	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:6:2	0.2125	0.2126	0.2124	0.8500	0.8504	0.8496	0.8500	0.0004
18	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:5:3	0.2134	0.2134	0.2135	0.8536	0.8536	0.8540	0.8537	0.0002
19	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:4:4	0.2145	0.2145	0.2145	0.8580	0.8580	0.8580	0.8580	0.0000
20	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	0.2152	0.2153	0.2153	0.8608	0.8612	0.8612	0.8611	0.0002

ตารางที่ จ-1 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)			ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
21	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:7:1	0.2129	0.2130	0.2129	0.8516	0.8520	0.8516	0.8517	0.0002
22	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:6:2	0.2132	0.2130	0.2132	0.8528	0.8520	0.8528	0.8525	0.0005
23	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:5:3	0.2134	0.2133	0.2135	0.8536	0.8532	0.8540	0.8536	0.0004
24	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:4:4	0.2134	0.2136	0.2136	0.8536	0.8544	0.8544	0.8541	0.0005
25	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:3:5	0.2139	0.2139	0.2139	0.8556	0.8556	0.8556	0.8556	0.0000
26	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:7:1	0.2111	0.2110	0.2111	0.8444	0.8440	0.8444	0.8443	0.0002
27	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:6:2	0.2119	0.2117	0.2117	0.8476	0.8468	0.8468	0.8471	0.0005
28	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:5:3	0.2119	0.2119	0.2118	0.8476	0.8476	0.8472	0.8475	0.0002
29	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:4:4	0.2126	0.2126	0.2125	0.8504	0.8504	0.8500	0.8503	0.0002
30	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:3:5	0.2143	0.2142	0.2138	0.8572	0.8568	0.8552	0.8564	0.0001

ตารางที่ จ-1 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)			ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
31	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:7:1	0.2125	0.2125	0.2124	0.8500	0.8500	0.8496	0.8499	0.0002
32	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:6:2	0.2128	0.2129	0.2128	0.8512	0.8516	0.8512	0.8513	0.0002
33	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:5:3	0.2131	0.2130	0.2131	0.8524	0.8520	0.8524	0.8523	0.0002
34	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:4:4	0.2144	0.2144	0.2143	0.8576	0.8576	0.8572	0.8575	0.0002
35	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:3:5	0.2152	0.2150	0.2152	0.8608	0.8600	0.8608	0.8605	0.0005
36	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:7:1	0.2119	0.2120	0.2119	0.8476	0.8480	0.8476	0.8477	0.0002
37	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:6:2	0.2125	0.2125	0.2124	0.8500	0.8500	0.8496	0.8499	0.0002
38	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:5:3	0.2133	0.2133	0.2135	0.8532	0.8532	0.8540	0.8535	0.0005
39	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:4:4	0.2138	0.2135	0.2133	0.8552	0.8540	0.8532	0.8541	0.0010
40	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:3:5	0.2149	0.2148	0.2148	0.8596	0.8592	0.8592	0.8593	0.0002

ตารางที่ จ-1 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไม้โคริมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไม้โคริมัลชัน	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)			ค่าความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
41	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:7:1	0.2118	0.2119	0.2120	0.8472	0.8476	0.8480	0.8476	0.0004
42	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:6:2	0.2126	0.2125	0.2127	0.8504	0.8500	0.8508	0.8504	0.0004
43	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:5:3	0.2127	0.2125	0.2124	0.8508	0.8500	0.8496	0.8501	0.0006
44	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:4:4	0.2129	0.2125	0.2127	0.8516	0.8500	0.8508	0.8508	0.0008
45	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:3:5	0.2135	0.2135	0.2136	0.8540	0.8540	0.8544	0.8541	0.0002
46	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:7:1	0.2119	0.2120	0.2120	0.8476	0.8480	0.8480	0.8479	0.0002
47	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:6:2	0.2128	0.2125	0.2126	0.8512	0.8500	0.8504	0.8505	0.0006
48	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:5:3	0.2128	0.2128	0.2128	0.8512	0.8512	0.8512	0.8512	0.0000
49	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:4:4	0.2129	0.2128	0.2129	0.8516	0.8512	0.8516	0.8515	0.0002
50	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:3:5	0.2134	0.2135	0.2136	0.8536	0.8540	0.8544	0.8540	0.0004

ตารางที่ จ-2 ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	ค่าความถ่วงจำเพาะ			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:7:1	0.8497	0.8497	0.8493	0.8495	0.0002
2	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:6:2	0.8525	0.8525	0.8525	0.8525	0.0000
3	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:5:3	0.8541	0.8545	0.8537	0.8541	0.0004
4	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:4:4	0.8545	0.8541	0.8541	0.8542	0.0002
5	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:3:5	0.8569	0.8565	0.8565	0.8566	0.0002
6	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:7:1	0.8505	0.8501	0.8505	0.8503	0.0002
7	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:6:2	0.8521	0.8517	0.8513	0.8517	0.0004
8	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:5:3	0.8529	0.8525	0.8525	0.8526	0.0002
9	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:4:4	0.8525	0.8533	0.8525	0.8527	0.0005
10	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	0.8565	0.8565	0.8565	0.8565	0.0000

ตารางที่ จ-2 ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไม้โครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไม้โครอิมัลชัน	ค่าความถ่วงจำเพาะ			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
11	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:7:1	0.8537	0.8541	0.8545	0.8541	0.0004
12	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:6:2	0.8569	0.8569	0.8569	0.8569	0.0000
13	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:5:3	0.8585	0.8585	0.8589	0.8586	0.0002
14	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:4:4	0.8597	0.8593	0.8593	0.8594	0.0002
15	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:3:5	0.8653	0.8657	0.8657	0.8656	0.0002
16	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:7:1	0.8485	0.8489	0.8485	0.8486	0.0002
17	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:6:2	0.8525	0.8529	0.8521	0.8525	0.0004
18	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:5:3	0.8561	0.8561	0.8565	0.8562	0.0002
19	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:4:4	0.8605	0.8605	0.8605	0.8605	0.0000
20	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	0.8633	0.8637	0.8637	0.8636	0.0002

ตารางที่ จ-2 ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	ค่าความถ่วงจำเพาะ			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
21	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:7:1	0.8541	0.8545	0.8541	0.8542	0.0002
22	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:6:2	0.8553	0.8545	0.8553	0.8550	0.0005
23	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:5:3	0.8561	0.8557	0.8565	0.8561	0.0004
24	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:4:4	0.8561	0.8569	0.8569	0.8566	0.0005
25	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:3:5	0.8581	0.8581	0.8581	0.8581	0.0000
26	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:7:1	0.8469	0.8465	0.8469	0.8467	0.0002
27	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:6:2	0.8501	0.8493	0.8493	0.8495	0.0005
28	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:5:3	0.8501	0.8501	0.8497	0.8499	0.0002
29	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:4:4	0.8529	0.8529	0.8525	0.8527	0.0002
30	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:3:5	0.8597	0.8593	0.8577	0.8589	0.0011

ตารางที่ จ-2 ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	ค่าความถ่วงจำเพาะ			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
31	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:7:1	0.8525	0.8525	0.8521	0.8523	0.0002
32	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:6:2	0.8537	0.8541	0.8537	0.8538	0.0002
33	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:5:3	0.8549	0.8545	0.8549	0.8547	0.0002
34	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:4:4	0.8601	0.8601	0.8597	0.8600	0.0002
35	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:3:5	0.8633	0.8625	0.8633	0.8630	0.0005
36	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:7:1	0.8501	0.8505	0.8501	0.8502	0.0002
37	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:6:2	0.8525	0.8525	0.8521	0.8523	0.0002
38	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:5:3	0.8557	0.8557	0.8565	0.8559	0.0005
39	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:4:4	0.8577	0.8565	0.8557	0.8566	0.0010
40	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีน ออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:3:5	0.8621	0.8617	0.8617	0.8618	0.0002

ตารางที่ จ-2 ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ต่อ)

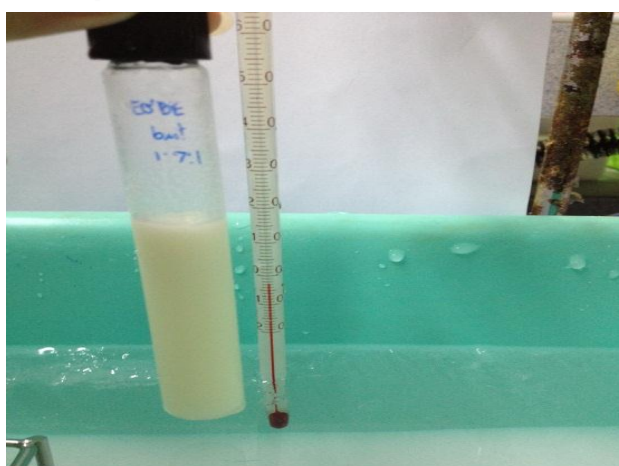
ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	ค่าความถ่วงจำเพาะ			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
41	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:7:1	0.8497	0.8501	0.8505	0.8501	0.0004
42	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:6:2	0.8529	0.8525	0.8533	0.8529	0.0004
43	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:5:3	0.8533	0.8525	0.8521	0.8526	0.0006
44	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:4:4	0.8541	0.8525	0.8533	0.8533	0.0008
45	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:3:5	0.8565	0.8565	0.8569	0.8566	0.0002
46	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:7:1	0.8501	0.8505	0.8505	0.8503	0.0002
47	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:6:2	0.8537	0.8525	0.8529	0.8530	0.0006
48	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:5:3	0.8537	0.8537	0.8537	0.8537	0.0000
49	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:4:4	0.8541	0.8537	0.8541	0.8539	0.0002
50	พาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:3:5	0.8561	0.8565	0.8569	0.8565	0.0004

วิธีการทดลอง จ-2 ขั้นตอนการวิเคราะห์จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประยุกต์จาก ASTM D2500

- 1) นำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันใส่ลงถังบรรจุ น้ำ ในอ่างควบคุมความเย็น
- 2) จุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงถังบรรจุน้ำ เริ่มตั้งแต่ 12 องศาเซลเซียส และคอยปรับลดอุณหภูมิลงทีละ 3 องศา
- 3) สังเกตการเกิดผลึกหรือไขของเชื้อเพลิงชีวภาพ และบันทึกผลการทดลอง
- 4) นำค่าจุดขุ่นที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล ทำซ้ำ 3 ครั้ง

วิธีการทดลอง จ-3 ขั้นตอนการวิเคราะห์จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประยุกต์จาก ASTM D2500

- 1) นำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันใส่ลงถังบรรจุ น้ำ
- 2) ใส่ น้ำแข็ง ลงถังบรรจุ น้ำ จุ่มเทอร์โมมิเตอร์เพื่อดูอุณหภูมิ เริ่มตั้งแต่ 10 องศาเซลเซียส และคอยปรับลดอุณหภูมิลงทีละ 3 องศาเซลเซียส ในการปรับลดอุณหภูมิลงถึงอุณหภูมิติดลบใช้เกลือสมุทรช่วยทำการลดอุณหภูมิถึง -6 องศาเซลเซียส
- 3) สังเกตความสามารถในการไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน และบันทึกผลการทดลอง
- 4) นำค่าจุดไหลเทที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล ทำซ้ำ 3 ครั้ง



ภาพที่ จ-1 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ -3 องศาเซลเซียส

วิธีการทดลอง จ-4 ขั้นตอนการวิเคราะห์เขม่าในรูปของปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

1. นำถ้วยตัวอย่างล้างให้สะอาดและอบ ณ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำถ้วยตัวอย่างใส่โถดูดความชื้นและทิ้งให้เย็น แล้วนำมาชั่ง บนที่ก้นน้ำหนักถ้วย
3. ชั่งตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงในถ้วย บนที่ก้นน้ำหนัก
4. นำเข้าเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที
5. นำถ้วยอบออกจากเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ชั่งน้ำหนัก ทำการทดลอง 3 ซ้ำ



ภาพที่ จ-2 เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

ตารางที่ จ-3 เหม่าในรูปของปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	น้ำหนักก่อน น้ำมัน (กรัม)			น้ำหนักหลัง (กรัม)			ปริมาณเถ้า (%โดยมวล)			ค่า เฉลี่ย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 บิวานอล/EGBE 1:3:5	0.5078	0.5008	0.5026	9.8338	9.8327	9.8376	0.10	0.10	0.08	0.09	0.0113
2	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 บิวานอล/DEGEE 1:3:5	0.5099	0.5007	0.5007	9.2283	9.7748	9.8283	0.06	0.06	0.06	0.06	0.0006
3	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 บิวทานอล/PGEE 1:3:5	0.5080	0.5048	0.5048	9.6721	9.2410	9.4822	0.10	0.08	0.10	0.09	0.0113
4	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 บิวทานอล/DPGME 1:3:5	0.5006	0.5046	0.5046	9.2977	9.7312	9.8873	0.10	0.10	0.10	0.10	0.0005
5	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 บิวทานอล/EA 1:3:5	0.5001	0.5005	0.5005	9.6785	9.8182	9.8899	0.10	0.08	0.08	0.08	0.0116
6	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 ออก ทานอล/EGBE 1:3:5	0.5053	0.5004	0.5004	9.7704	9.8284	9.7298	0.08	0.08	0.08	0.08	0.0004
7	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 ออก ทานอล/DEGEE 1:3:5	0.5046	0.5032	0.5032	9.6839	9.7414	9.4012	0.08	0.08	0.08	0.08	0.0001
8	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 ออกทานอล/PGEE 1:3:5	0.5017	0.5069	0.5069	9.3875	9.2464	9.8554	0.08	0.08	0.10	0.09	0.0112
9	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 ออกทานอล/DPGME 1:3:5	0.5040	0.5021	0.5021	9.4384	9.8475	9.7596	0.12	0.12	0.12	0.12	0.0003
10	ดีไฮดอลเอทีลิน ออกไซด์1 ออกทานอล/EA 1:3:5	0.5035	0.5084	0.5084	9.7589	9.3075	0.8589	0.08	0.08	0.10	0.09	0.0111

วิธีการทดลอง จ-5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

1. ชั่งเชื้อเพลิงชีวภาพใส่ลงในถ้วยอย่างประมาณ 0.5 กรัม
2. นำถ้วยอย่างใส่ไว้ในที่วางตัวอย่าง แล้วนำชุดที่วางตัวอย่างที่เตรียมเสร็จ แล้วใส่เข้าในตัวอย่างใหม่
3. เติมออกซิเจน ตั้งความดันเกจไว้ที่ 430 พีเอสไอ จากนั้นเติมออกซิเจนเมื่อความดันถึง 430พีเอสไอ เครื่องจะตั้งเวลาแล้วตัดโดยอัตโนมัติ
4. เติมน้ำลงในกระบอกสแตนเลสประมาณ 2000 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ณ อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสแล้วเครื่องจะเริ่มทำงาน
5. เครื่องจะคำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพออกมา จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล ทำซ้ำ 3 ครั้ง

ตารางที่ จ-4 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	ค่าความร้อน (เมกะจูล/กิโลกรัม)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:3:5	38.6	38.6	38.5	38.6	0.0701
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:3:5	37.9	38.1	38.0	38.0	0.1111
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:3:5	38.6	38.7	38.6	38.6	0.0295
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:3:5	38.3	38.7	38.6	38.5	0.1742
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:3:5	38.5	38.4	38.4	38.4	0.0302
6	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	38.7	39.1	39.1	39.0	0.2385
7	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	38.6	38.4	38.6	38.5	0.1004
8	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:3:5	38.8	38.7	38.8	38.8	0.0333
9	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:3:5	38.8	38.3	38.3	38.5	0.2485
10	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:3:5	38.4	38.6	38.6	38.5	0.1204
11	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล	39.4	39.2	39.4	39.3	0.1072
12	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล	39.3	39.7	39.7	39.6	0.2207
13	น้ำมันดีเซล	45.1	45.2	45.1	45.1	0.0577
14	น้ำมันไบโอดีเซล	41.2	41.2	41.1	41.2	0.0577

ตารางที่ จ-5 การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	CO (พีพีเอ็ม)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:3:5	611	615	607	611	4.0000
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:3:5	417	412	408	412	4.5092
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:3:5	598	585	590	591	6.5574
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:3:5	518	515	510	514	4.0415
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:3:5	465	457	450	457	7.5056
6	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	590	599	596	595	4.5826
7	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	395	406	398	400	5.6862
8	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:3:5	580	565	577	574	7.9373
9	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:3:5	445	437	430	437	7.5056
10	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:3:5	400	412	411	408	6.6583
11	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/บิวทานอล	579	560	556	564	12.2882
12	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลีนออกไซด์1/ออกทานอล	556	538	527	540	14.6401
13	น้ำมันดีเซล	490	477	488	485	7.0000
14	น้ำมันไบโอดีเซล	533	520	508	520	12.5033

ตารางที่ จ-6 การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	NO _x (ทีพีเอ็ม)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:3:5	257	250	260	256	5.1316
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:3:5	315	327	324	322	6.2450
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:3:5	262	254	256	257	4.1633
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:3:5	339	330	324	331	7.5498
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:3:5	308	311	322	314	7.3711
6	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	252	255	243	250	6.2450
7	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	290	296	299	295	4.5826
8	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:3:5	248	240	243	244	4.0415
9	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:3:5	300	287	292	293	6.5574
10	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:3:5	269	275	290	278	10.8167
11	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล	335	340	310	328	16.0728
12	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล	310	330	304	315	13.6137
13	น้ำมันดีเซล	502	485	497	495	8.7369
14	น้ำมันไบโอดีเซล	380	359	377	372	11.3578

ตารางที่ จ-7 อุณหภูมิเชื้อเพลิงเมื่อมีการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:3:5	95.4	95.7	95.4	95.5	0.1732
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:3:5	110.0	109.2	109.3	109.5	0.4359
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:3:5	99.5	98.8	99.9	99.4	0.5568
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:3:5	109.7	109	110.4	109.7	0.7000
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:3:5	110.4	110.6	109	110.0	0.8718
6	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	90.5	90.0	90.1	90.2	0.2646
7	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	108.4	108.6	107.0	108.0	0.8718
8	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:3:5	95.7	94	95.3	95.0	0.8888
9	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล /DPGME/1:3:5	109.1	109	109	109.0	0.0577
10	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:3:5	112.1	110.9	108.5	110.5	1.8330
11	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/บิวทานอล	99	110	107	105	5.6862
12	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดรอเอทิลีนออกไซด์1/ออกทานอล	97	103	110	103	6.5064
13	น้ำมันดีเซล	127	112	120	120	7.5056
14	น้ำมันไบโอดีเซล	119	108	112	113	5.5678

ตารางที่ จ-8 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเมื่อทดสอบก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน	ปริมาตร (ก่อน)	ปริมาตร (หลัง)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (มิลลิลิตร)
1	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล/EGBE 1:3:5	500	345	155
2	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล/DEGEE 1:3:5	500	350	150
3	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล/PGEE 1:3:5	500	370	130
4	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล/DPGME 1:3:5	500	350	150
5	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล/EA 1:3:5	500	380	120
6	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/EGBE 1:3:5	500	330	170
7	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/DEGEE 1:3:5	500	355	145
8	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/PGEE 1:3:5	500	380	120
9	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/DPGME 1:3:5	500	345	155
10	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล/EA 1:3:5	500	350	150
11	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/บิวทานอล	500	330	170
12	ปาล์ม/ดีเซล/ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์1/ออกทานอล	500	335	165
13	น้ำมันดีเซล	500	380	120
14	น้ำมันไบโอดีเซล	500	365	135

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศศิวิมล วิชาติ เกิดเมื่อวันที่ 4 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2555

ผลงานวิจัยส่วนหนึ่งจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เผยแพร่ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 14 จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ที่โรงแรมเดอะทวินทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร หัวข้อ ผลของไกลคอลอีเทอร์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน วันที่ 11-12 ธันวาคม 2557 รหัสบทความ 010

