

คุณสมบัติและสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม

FUEL PROPERTIES AND DIESEL ENGINE PERFORMANCE OF
PALM OIL-BASED BIOFUELS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-167-167

คุณสมบัติและสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม

FUEL PROPERTIES AND DIESEL ENGINE PERFORMANCE OF
PALM OIL-BASED BIOFUELS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-167-167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUEL PROPERTIES AND DIESEL ENGINE PERFORMANCE OF
PALM OIL-BASED BIOFUELS



NATTAYA MORAWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ENVIRONMENTAL AND ENERGY ENGINEERING
FOR SUSTAINABILITY

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

KMITL-2018-EN-M-167-167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ คุณสมบัติและสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม
Thesis Title Fuel Properties and Diesel Engine Performance of Palm Oil-based Biofuels
นักศึกษา นางสาวนัตยา โมรารวรรณ
รหัสประจำตัว 59601228
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ชดชนก อัทธพงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-167-167

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.ดาว สุวรรณแสง จันเจริญ	
ผศ.ดร.ภาสกร ชันทองทิพย์	
ดร.ศลิษา ไชยพุทธ	
ผศ.ดร.ชดชนก อัทธพงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2561 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 5 ชั้น 3 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	คุณสมบัติและสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม
นักศึกษา	นางสาวนาตยา โมรารวรรณ
รหัสประจำตัว	59601228
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ชดชนก อัทธพงษ์

บทคัดย่อ

เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันเป็นเชื้อเพลิงที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล อันเนื่องมาจากการลดลงของแหล่งพลังงานปิโตรเลียม โดยมีปฏิกิริยาไมโครอิมัลซิฟิเคชันซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืชเพื่อให้สามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรง ในงานวิจัยนี้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันเป็นเชื้อเพลิงที่มีความเสถียรทางอุณหพลศาสตร์ มีลักษณะใส และรวมเป็นเนื้อเดียวกันของส่วนผสมเชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์ม และเอทานอล ด้วยสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจำนวนมาก แต่การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันโดยใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นสารลดแรงตึงผิวและนำไปทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ที่โหลดต่างๆ นั้นยังมีอยู่อย่างจำกัด งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาวัฏภาค เสถียรภาพและคุณสมบัติพื้นฐานของเชื้อเพลิง ศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์และการปลดปล่อยมลพิษจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงพื้นฐาน คือ เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่โหลดต่างๆ จากการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ผ่านการคัดเลือกทั้งสองชนิดมีวัฏภาค เสถียรภาพและคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงพื้นฐาน โดยสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรง แต่เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์นั้นไม่สามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ได้ครบทุกโหลด โดยเชื้อเพลิงทดสอบทุกชนิดปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และอนุหุมิของไอเสียเพิ่มขึ้น แต่ปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงเมื่อเพิ่มโหลด อีกทั้งเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในปริมาณที่น้อยกว่าและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันกับเชื้อเพลิงพื้นฐาน การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากกว่าเชื้อเพลิงพื้นฐานที่โหลดต่ำ (ต่ำกว่า 1.5 กิโลวัตต์) แต่มีปริมาณก๊าซใกล้เคียงกันกับเชื้อเพลิงพื้นฐานที่โหลดสูง (1.5 และ 2.0 กิโลวัตต์) นอกจากนี้ พบว่า ระบบเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีประสิทธิภาพน้อยกว่าระบบเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลเพียงเล็กน้อย จึงสรุปได้ว่า สามารถผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันโดยใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวได้ และสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้เชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลที่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

Thesis	Fuel Properties and Diesel Engine Performance of Palm Oil-based Biofuels
Student	Miss Nattaya Morawan
Student ID.	59601228
Degree	Master of Engineering
Program	Environmental and Energy Engineering for Sustainability
Year	2018
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Chodchanok Attaphong

ABSTRACT

Microemulsion biofuels have recently been developed as alternatives to fossil-based fuels due to petroleum-based energy resource depletion. Microemulsification is one of viscosity-modified techniques of vegetable oils for direct use with diesel engine. In this study, microemulsion biofuels are thermodynamically stable, transparent, and single-phase mixtures of diesel fuel, palm oil, and ethanol stabilized by surfactants and cosurfactants. Although there are many studies on microemulsion biofuels recently, there is limited research on microemulsion biofuels using biodiesel as a surfactant and on engine performance at different diesel engine loads. Therefore, the objectives of this study are to investigate phase stability and basic fuel properties, to evaluate the engine performance, and to determine emission characteristics of the selected microemulsion biofuels, diesel-alcohol blends, palm-oil-based-biodiesel-alcohol blends compared to diesel and palm oil-based biodiesel (called basic fuels in this study) at different engine loads. The results showed that phase stability and fuel properties of two selected microemulsion biofuels are comparable to the basic fuels. These two microemulsion biofuels can be applied with the diesel engine at different loads while diesel-alcohol blends and palm-oil-based-biodiesel-alcohol blends cannot be. For all tested fuels, carbon dioxide (CO₂) emission, nitrogen oxide (NO_x) emission, and exhaust temperature increased with engine load, but carbon monoxide (CO) emission decreased with engine load. The microemulsion biofuels produced less NO_x emission than the basic fuels but CO₂ emissions of these fuels are not significantly different. The biofuels released higher CO emission than the basic fuels at low loads (lower than 1.5 kilowatts) while released comparable CO emission to the basic fuels at higher loads (1.5 and 2.0 kilowatts). Moreover, the energy efficiencies of the system using these fuels were slightly lower than the average energy efficiency of diesel engine. From this study, it can be summarized that microemulsion fuels can be formulated using palm oil-based biodiesel as a surfactant and they can be considered as economically-and-environmentally-friendly alternatives to diesel and biodiesel.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากคณาจารย์ เจ้าหน้าที่และหน่วยงานต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ดังมีรายนามดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชดชนก อัทธพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ คำปรึกษาในการทำงานและเอาใจใส่ในทุกๆ ด้าน ตลอดจนให้ความรู้ รวมถึงให้ประสบการณ์ที่มีคุณค่ายิ่งแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนคณาจารย์ในหลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และพลังงานเพื่อความยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ ตลอดจนให้คำชี้แนะจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เปี่ยมภูมิ สฤกษ์ฤกษ์ คุณชาญปกรณ์ ณ นิโรจน์ และคุณเพชร กลิ่นวิจิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ รวมถึงให้คำปรึกษาทางด้านไฟฟ้า

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณสัญญา บุญญาสุวัฒน์ และบริษัท วีระสุวรรณ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อเพลิงไบโอดีเซลและห้องปฏิบัติการทดสอบในการศึกษาวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการทดสอบ

ขอขอบพระคุณ คุณมณีนรัตน์ สรรพอาษา คุณมณิษย์ บุปผาชาติ และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ ให้คำปรึกษา รวมถึงช่วยแก้ปัญหาและติดต่อประสานงานต่างๆ

ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ให้ข้อคิดเห็น คำชี้แนะ และให้กำลังใจที่ดีแก่ข้าพเจ้า

สุดท้ายต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องที่ให้การเลี้ยงดูข้าพเจ้าเป็นอย่างดี คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือ รวมถึงสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ผู้ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

นายตา โมรรารณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 เชื้อเพลิงดีเซล.....	5
2.3 เชื้อเพลิงชีวภาพ.....	6
2.3.1 ของแข็ง (biomass).....	7
2.3.2 ของเหลว (biofuel).....	7
2.3.3 ก๊าซชีวภาพ (biogas).....	9
2.4 การลดค่าความหนืดของเชื้อเพลิง.....	9
2.4.1 การใช้โดยตรงและการผสม (direct use or blending).....	9
2.4.2 การแตกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis).....	9
2.4.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification).....	9
2.4.4 ปฏิกิริยาไมโครอิมัลซิฟิเคชัน (microemulsification).....	10
2.5 สารลดแรงตึงผิว.....	12
2.6 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	13
2.6.1 ความหนืด (viscosity).....	13
2.6.2 ความหนาแน่น (density).....	13
2.6.3 จุดขุ่นและจุดไหลเท (cloud point and pour point).....	14
2.6.4 ค่าความร้อน (heating values).....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.5 จุดวาบไฟ (flash point).....	14
2.7 เครื่องยนต์.....	15
2.7.1 เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ.....	16
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.9 บทวิเคราะห์.....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.2 แนวคิดในการออกแบบวิธีการทดลอง.....	20
3.3 อุปกรณ์และสารเคมี.....	21
3.3.1 อุปกรณ์.....	21
3.3.2 สารเคมีและวัสดุดิบ.....	22
3.4 วิธีการทดลอง.....	22
3.4.1 แผนผังขั้นตอนการทดลอง.....	22
3.4.2 การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม.....	23
3.4.3 การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	25
3.4.4 การติดตั้งเครื่องยนต์ดีเซลและระบบทดสอบ.....	35
3.4.5 วิธีการใช้งานเครื่องยนต์.....	36
3.4.6 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิง.....	37
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์ผล.....	41
4.1 การศึกษาวิภูภาคและเสถียรภาพของเชื้อเพลิง.....	41
4.1.1 เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (Diesel-alcohol blend).....	41
4.1.2 เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ (Palm-oil-based-biodiesel-alcohol blend).....	42
4.1.3 เชื้อเพลิงดีเซลผสมน้ำมันปาล์มและแอลกอฮอล์ (Palm oil-diesel blend)	43
4.1.4 เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม.....	43
4.2 การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	46
4.2.1 เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (Diesel-alcohol blend) และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ (Palm-oil-based-biodiesel-alcohol blend).....	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม.....	47
4.3 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิง.....	53
4.3.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	54
4.3.2 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์.....	55
4.3.3 ก๊าซออกซิเจน.....	55
4.3.4 ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์.....	56
4.3.5 อุณหภูมิไอเสีย.....	56
4.3.6 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง.....	57
4.3.7 ประสิทธิภาพของระบบ.....	57
4.4 ราคาต้นทุนของเชื้อเพลิง.....	58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	61
บรรณานุกรม.....	62
ภาคผนวก.....	68
ภาคผนวก ก. ข้อมูลผลการทดลอง.....	69
ประวัติผู้เขียน.....	131

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณภาพของเชื้อเพลิงดีเซลบางประการตามข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน.....15
3.1	ข้อมูลตลอดวัดความหนืด.....26
4.1	ระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมัน ปาล์มผสมแอลกอฮอล์.....42
4.2	ระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิงดีเซลผสมน้ำมันปาล์มและแอลกอฮอล์.....43
4.3	ระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรง ตึงผิว.....45
4.4	ระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรง ตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม.....46
4.5	คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสม แอลกอฮอล์.....50
4.6	คุณสมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว.....51
4.7	คุณสมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม.....52
4.8	ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงชีวภาพ.....59

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	10
2.2 ระบบการเกิดไมโครอิมัลชันแบบ Winsor	11
2.3 โครงสร้างไมเซลล์ รีเวิร์สไมเซลล์และไมโครอิมัลชัน	12
2.4 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว	12
2.5 การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ	17
3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย	20
3.2 แผนผังขั้นตอนการทดลอง	22
3.3 เครื่องวัดความหนืด	26
3.4 หลอดวัดความหนืด	27
3.5 เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน	28
3.6 อุปกรณ์ด้านบนของเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน	28
3.7 ฝาลูกบอมบ์บนขาดัง	29
3.8 ลูกบอมบ์	29
3.9 ถังก๊าซออกซิเจน	30
3.10 การตั้งก๊าซออกจากลูกบอมบ์	30
3.11 ขอบเขตการวางถังสแตนเลส	31
3.12 ลูกบอมบ์ที่เสียบสายจุดระเบิดแล้ว	32
3.13 เครื่องวิเคราะห์จุดควาไฟฟ้าแบบปิด	34
3.14 ลูกไฟสำหรับทดสอบจุดควาไฟฟ้า	34
3.15 ระบบเครื่องยนต์ที่ศึกษา	35
3.16 ภาระรับกระแส (Load)	35
3.17 Power analysis meter	36
3.18 Auto transformer	36
3.19 Multimeter	36
3.20 Clamp meter	36
3.21 Tachometer	36
3.22 คันโยก	37
3.23 กล่องเสียบลูกกุญแจ	37
3.24 ถังน้ำมัน	37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.25 กระบอกตวงเชื้อเพลิง.....	37
3.26 เครื่องวัดก๊าซ.....	38
4.1 ตัวอย่างเชื้อเพลิง ณ อุณหภูมิจุดขุ่น.....	49
4.2 ตัวอย่างเชื้อเพลิงหลังจากผ่านอุณหภูมิจุดไหลเท.....	49
4.3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ไหลต 0.0 กิโลวัตต์แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	53
4.4 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	55
4.5 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์.....	55
4.6 ก๊าซออกซิเจน.....	56
4.7 ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์.....	56
4.8 อุณหภูมิไอเสีย.....	57
4.9 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง.....	57
4.10 ประสิทธิภาพของระบบ.....	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยสำนักบริหารสารสนเทศพลังงานของประเทศสหรัฐอเมริกา (Energy Information Administration) ได้มีการคาดการณ์สถานการณ์พลังงานในอนาคตว่า ในช่วงปี ค.ศ. 2010 ถึง 2040 จะมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นถึง 56% อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกและความต้องการพลังงานในการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างไม่มีที่สิ้นสุด (EIA. 2013) แต่ความต้องการที่เพิ่มขึ้นนั้นกลับสวนทางกับปริมาณเชื้อเพลิงที่มีจำนวนลดลง โดยเฉพาะเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัด ส่งผลให้ราคาของเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นและก่อให้เกิดผลกระทบต่อทางเศรษฐกิจในบางประเทศ ในขณะที่เดียวกันมีการค้นพบว่า การผลิตพลังงานโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจะปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ซึ่งแหล่งมลพิษที่สำคัญมาจากการใช้เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมและการคมนาคม (Barker. 2007) มลพิษที่ปล่อยออกมานั้นยังส่งผลเสียต่อมนุษย์ในด้านสุขภาพทั้งแบบฉับพลัน เช่น การระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ และแบบเรื้อรังโดยทำให้เกิดโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจเต้นผิดจังหวะ โรคมะเร็งปอด หรืออาจเสียชีวิตก่อนวัยอันควร จากปัญหาด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมที่โลกและมนุษย์กำลังเผชิญหน้าอยู่นั้น ทำให้มีความพยายามในการแก้ไขปัญหา ซึ่งหนึ่งในมาตรการในการลดผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลคือ การจัดตั้งพิธีสารเกียวโตในปี ค.ศ. 1997 โดยใช้เป็นข้อกำหนดร่วมกัน มีเป้าหมายเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Ithnin et al. 2015) และประเทศไทยได้เป็นหนึ่งในสมาชิกที่เข้าร่วมอนุสัญญานี้ด้วย โดยประโยชน์จากการจัดตั้งข้อกำหนดร่วมกันทำให้เกิดมาตรฐานการปล่อยมลพิษที่เข้มงวดมากขึ้น เช่น มาตรฐานการปล่อยมลพิษจากรถยนต์ หรือ Euro standard อันประกอบไปด้วยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และอนุภาค (particulate matter) จากท่อไอเสีย เป็นต้น (Szalkowska. 2010) แต่วิธีนี้ยังไม่ใช่การแก้ปัญหาที่ยั่งยืนในระยะยาว ด้วยปัญหาและผลกระทบจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่กล่าวมาข้างต้นนี้จึงส่งผลให้เกิดความสนใจในการพัฒนาเชื้อเพลิงทางเลือก (Alternative fuels) หรือเทคนิควิธีใหม่ในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนที่มีประสิทธิภาพและมีความยั่งยืนทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์ในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนที่ได้รับความสนใจมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา คือ น้ำมันพืช ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซล (Pryde. 1983) โดยจากการศึกษาคุณสมบัติและสมรรถนะพบว่า การใช้น้ำมันพืชจะทำให้เกิดผลเสียต่อการใช้งานเครื่องยนต์ในระยะยาว ทำให้เครื่องยนต์ไม่คงทน เกิดปัญหาในการแตกตัวเป็นละอองของเชื้อเพลิง เกิดการอุดตันที่หัวฉีดและวงแหวนลูกสูบ และส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ (incomplete combustion) อันเนื่องมาจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูง (Avella et al. 1992 ; Ma et al. 1999) จึงมีการคิดค้นวิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืช เช่น การใช้โดยตรงและการผสม (direct use or blending) ซึ่งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้น้ำมันพืชโดยตรงกับเครื่องยนต์ดีเซล หรือน้ำมันพืชผสมกับเชื้อเพลิงดีเซลในอัตราส่วน 20:80 แต่หากมีการผสมน้ำมันพืชมากกว่า 40% จะทำให้จุดวาบไฟ (flash point) มีค่าลดลง อันเนื่องมาจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นจากการเติมน้ำมันพืช แต่วิธีนี้ยังคงทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ในระยะยาวอีกเช่นกัน (Shashi et al. 2011) การแตกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) เป็นกระบวนการให้ความร้อนผ่านเตาภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อให้เชื้อเพลิงเกิดการแตกตัว (Channapattana and Kulkarni. 2009) กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) เป็นการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยา โดยจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ลักษณะทางเคมีของน้ำมันพืชเปลี่ยนไปเป็นกรดไขมัน (glycerol) และอัลคิลเอสเทอร์ (alkyl esters) (Abbaszaadeh et al. 2012) และอีกวิธีหนึ่งที่มีการศึกษาอยู่ในปัจจุบันคือ การผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันผ่านปฏิกิริยาไมโครอิมัลซิฟิเคชัน (microemulsification) เป็นการผสมระหว่างส่วนที่เป็นน้ำมันกับส่วนที่เป็นน้ำหรือแอลกอฮอล์เข้าด้วยกัน โดยมีสารลดแรงตึงผิวเป็นตัวประสานทำให้เกิดความเข้ากันได้ระหว่างน้ำมันและน้ำหรือแอลกอฮอล์ เกิดเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีลักษณะโปร่งใสและเป็นรวมเนื้อเดียวกัน ส่วนประกอบจะมีขนาดโมเลกุลในระดับนาโนเมตร (nanodroplets) ประมาณ 1 – 100 นาโนเมตร (NAIM et al. 2015) ซึ่งส่วนผสมที่เป็นส่วนน้ำมัน ได้แก่ เชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันพืช ร่วมกับแอลกอฮอล์ น้ำ สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม โดยเป็นการแก้ปัญหาเรื่องความหนืดของน้ำมันพืชและยังเป็นวิธีที่เพิ่มเสถียรภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพ (Knothe et al. 1997) อีกทั้งยังเป็นวิธีที่หลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยาเคมีและของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตไบโอดีเซล แต่การเติมแอลกอฮอล์ลงในเชื้อเพลิงนั้นยังคงส่งผลถึงเรื่องอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ที่สั้นลง เนื่องจากการกัดกร่อนของแอลกอฮอล์ และส่งผลให้มีปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่ปล่อยออกจากท่อไอเสียมากขึ้น เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิในกระบวนการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน (Nagi et al. 2008 ; Arularasu et al. 2014) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า แม้จะมีกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่สามารถแก้ปัญหาและตอบโจทย์ด้านการใช้งานได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป แต่การตัดสินใจเลือกใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมหรือเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตโดยวิธีใดวิธีหนึ่งนั้นทำได้ค่อนข้างยาก อีกทั้งงานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงทดแทน เปรียบเทียบคุณสมบัติและสมรรถนะเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงชีวภาพแต่ละชนิด โดยไม่เน้นด้านการศึกษาผลของโพลีในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้เชื้อเพลิงดีเซลเป็นเชื้อเพลิงพื้นฐาน และใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มผ่านปฏิกิริยาไมโครอิมัลซิฟิเคชันเป็นเชื้อเพลิงทดสอบ เพื่อศึกษาวิฤภาค เสถียรภาพของเชื้อเพลิง เปรียบเทียบคุณสมบัติและสมรรถนะโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลที่โหลดต่างๆ และทำการวิเคราะห์ข้อมูลการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เพื่อที่จะเป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัยต่อยอดในอนาคตหรือเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตัดสินใจเลือกใช้เชื้อเพลิงชีวภาพต่อไปในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

2) เพื่อศึกษาภูมิภาค เสถียรภาพและเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มกับเชื้อเพลิงทดสอบ อันได้แก่ เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม

3) เพื่อศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์และการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม ด้วยการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลที่โหลดต่างๆ

4) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการทั้งหมด 3 แห่ง อันได้แก่

1) ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2) ห้องปฏิบัติการ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ห้องปฏิบัติการ บริษัท วีระสุวรรณ จำกัด

โดยสามารถแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 ส่วน คือ

1) การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่มีส่วนผสม ได้แก่ เชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์ม แอลกอฮอล์ คือ เอทานอล สารลดแรงตึงผิว คือ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม และสารลดแรงตึงผิวร่วม คือ 2-เอทิล-1-เฮกซานอล

2) การศึกษาภูมิภาคและเสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม

3) การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม ได้แก่ จุดชุน จุดไหลเท ความหนาแน่น ความหนืด ค่าความร้อนและจุดวาบไฟ

4) การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์และการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล ยี่ห้อ MITSUKI รุ่น MIT-178F ขนาด 7.0 แรงม้า ที่โหลดต่างๆ

5) วิเคราะห์และเปรียบเทียบกับคุณสมบัติและสมรรถนะเครื่องยนต์ของเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม เพื่อศึกษาการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่โหลดต่างๆ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 2) กำหนดขอบเขตของการศึกษา
- 3) วางแผนและออกแบบวิธีการทดลอง
- 4) จัดหาและเตรียมวัสดุอุปกรณ์
- 5) ทำการทดลองและบันทึกข้อมูลตามแผนงานที่กำหนด
- 6) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์มได้ และนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลได้จริง
- 2) สามารถนำข้อมูลจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติและสมรรถนะของเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม เพื่อใช้เป็นเหตุผลประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้เชื้อเพลิงในอนาคตได้
- 3) ผลการศึกษาสามารถนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้สนใจศึกษาและพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพต่อไป

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติและสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม ผู้วิจัยได้มีการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมจากวารสารและหนังสือทั้งในและต่างประเทศ รวมไปถึงการศึกษาจากวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับเชื้อเพลิงดีเซลเชื้อเพลิงชีวภาพ คุณสมบัติของเชื้อเพลิง และเครื่องยนต์ดีเซล อันเป็นที่มาและแนวคิดของการศึกษาในครั้งนี้

2.2 เชื้อเพลิงดีเซล

เชื้อเพลิงดีเซล คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบแบบลำดับส่วน เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลำดับกลั่นถัดจากเชื้อเพลิงเบนซิน มีลักษณะใสและมีสีเหลือง มีจุดเดือดอยู่ในช่วง 250 – 350 องศาเซลเซียส ลักษณะทางเคมีของเชื้อเพลิงดีเซลมีจำนวนอะตอมของคาร์บอน 13 – 14 อะตอม (สูตรเคมี $C_{14}H_{30}$) ประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอนที่มีแขนตรงและองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ กำมะถัน ออกซิเจน และไนโตรเจน มีความข้นใสสูงกว่าเชื้อเพลิงเบนซิน ใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีหลักการทำงานที่แตกต่างจากเครื่องยนต์เบนซิน การจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลจึงใช้ความร้อนที่เกิดจากการอัดอากาศปริมาณมากภายในกระบอกสูบ แล้วฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปเพื่อทำการเผาไหม้ ไม่ใช่เป็นการจุดระเบิดจากหัวเทียนเหมือนเครื่องยนต์เบนซิน (ประเสริฐ เทียนพินิจ และคณะ. 2544)

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการแบ่งชนิดของเชื้อเพลิงดีเซลเป็น 2 ประเภท คือ (มาริสา จินะดิษฐ์. 2550)

1) เชื้อเพลิงดีเซลสำหรับเครื่องรอบเร็ว (automotive diesel oil)

เชื้อเพลิงดีเซลชนิดนี้มีชื่อเรียกต่างๆกัน เช่น น้ำมันโซลา (Diesoline) หรือเชื้อเพลิงดีเซลหมุนเร็ว (High Speed Diesel Oil; HSD) เป็นต้น ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วที่มีความเร็วรอบเกิน 1,000 รอบต่อนาทีขึ้นไป นิยมใช้ในการขนส่งคมนาคมทั่วไป เช่น รถกระบะหรือรถบรรทุก น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ประเภทนี้จะเป็ชนิดที่มีปริมาณกำมะถันต่ำกว่าประเภทอื่น โดยระบบหล่อลื่นภายในเป็นระบบหมุนเวียน

2) เชื้อเพลิงดีเซลสำหรับเครื่องรอบช้า (industrial diesel oil)

เชื้อเพลิงดีเซลชนิดนี้ มีชื่อเรียกว่า เชื้อเพลิงดีเซลหมุนช้า (Low Speed Diesel Oil; LSD) หรือ น้ำมันซีโล่ ซึ่งจะมีสีเข้มกว่าเชื้อเพลิงดีเซลสำหรับเครื่องรอบเร็ว เพื่อเป็นการแยกและป้องกันการปลอมปนกันของน้ำมันทั้งสองชนิด นิยมใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนปานกลาง รอบเครื่องอยู่ในช่วงระหว่าง 350 – 1,000 รอบต่อนาที และเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้าที่มีรอบเครื่องต่ำกว่า 350 รอบต่อนาที นิยมใช้ในการขนส่งทางรถไฟ โดยใช้เป็นเครื่องจักรต้นกำลังของรถไฟ การขนส่งทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทะเลขนาดใหญ่และภาคอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องยนต์ 2 จังหวะ แบบแบ่งการหล่อลื่น ลูกสูบและแบริ่งข้อเหวี่ยงออกหรือเข้าหากัน น้ำมันหล่อลื่นบริเวณแบริ่งข้อเหวี่ยงจะเป็นระบบ หมุนเวียน เนื่องจากเครื่องยนต์ชนิดนี้มักใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงซึ่งมีปริมาณกำมะถันสูง เมื่อเชื้อเพลิงเข้าสู่กระบวนการเผาไหม้จะเกิดการตกกำมะถัน ส่งผลให้ผนังห้องเผาไหม้มีความเป็นต่างสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่น ทำให้น้ำมันหล่อลื่นบริเวณลูกสูบถูกเผาไหม้ไปพร้อมกับเชื้อเพลิง จึงเป็นสาเหตุที่ต้องแบ่งระบบหล่อลื่นระหว่างลูกสูบและแบริ่งข้อเหวี่ยง

2.3 เชื้อเพลิงชีวภาพ

เชื้อเพลิงชีวภาพ คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากสารอินทรีย์ โดยมีทั้งชนิดที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการต่างๆ ซึ่งมนุษย์สามารถใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงชีวภาพนี้ในการผลิตพลังงานเพื่อประยุกต์กับการใช้งาน ในหลากหลายรูปแบบ เชื้อเพลิงชีวภาพจะใช้ระยะเวลาในการผลิตเพียงช่วงสั้นๆ ซึ่งแตกต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้เวลาหลายล้านปีในการแปรสภาพ โดยชีวมวลที่นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รุ่น คือ (Mussatto et al. 2010 ; Dragon et al. 2010)

1) ชีวมวลรุ่นที่ 1 (first generation) เป็นการนำผลผลิตทางการเกษตร (agricultural feedstock) ที่สามารถนำมารับประทานหรือเป็นอาหารของมนุษย์ได้ มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพโดยตรง เช่น เอทานอลที่เกิดจากกระบวนการหมักแป้งหรือน้ำตาล หากวัตถุดิบเป็นประเภทเซลลูโลสหรือแป้ง เช่น มันสำปะหลัง จะต้องผ่านกระบวนการย่อยแป้งหรือเซลลูโลสด้วยกรดหรือเอนไซม์ให้เป็นน้ำตาลก่อน ส่วนวัตถุดิบประเภทน้ำตาล เช่น น้ำอ้อยหรือกากน้ำตาล ต้องมีการปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมและนำไปหมักเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์โดยอาศัยเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น หรือการนำน้ำมันพืชสำหรับบริโภคมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น เชื้อเพลิงไบโอดีเซล ซึ่งการนำผลผลิตทางการเกษตรมาผลิตเชื้อเพลิงนี้จะส่งผลกระทบต่อทั้งในด้านดีและด้านลบขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตที่นำมาแปรรูปนั้นๆ บางประเทศอาจส่งผลให้ราคาต้นทุนอาหารสูงขึ้นและเกิดสภาวะขาดแคลนอาหาร แต่ในทางกลับกันบางประเทศจะเลือกใช้ชีวมวลที่กำลังประสบปัญหาสภาวะปริมาณผลผลิตล้นตลาดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ

2) ชีวมวลรุ่นที่สอง (second generation) เป็นการนำส่วนที่เหลือทางการเกษตร (agricultural residues) มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น ชานอ้อย ฟางข้าว ชี้อ้อยหรือเปลือกไม้จากภาคอุตสาหกรรม การแปรรูปชีวมวลประเภทนี้ต้องใช้เทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวกับกระบวนการปรับสภาพเซลลูโลส (pre-treatment process) เพื่อปรับสภาพโครงสร้างเซลลูโลสในชีวมวลให้เหมาะสม และกระบวนการสลายเซลลูโลส (hydrolysis process) เพื่อเปลี่ยนเซลลูโลสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีต้นทุนการผลิตที่สูง ไม่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์เมื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพในปริมาณมากๆ จึงไม่ได้รับความนิยมมากนัก นอกจากนี้การนำน้ำมันที่ไม่ใช่สำหรับบริโภค (non-edible oil) เช่น น้ำมันละหุ่ง (castor oil) น้ำมันสบู่ดำ (jatropha oil) และน้ำมันมะรุม (moringa oil) เป็นต้น มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพก็ถูกจัดอยู่ในชีวมวลรุ่นที่สองเช่นกัน

3) ชีวมวลรุ่นที่สาม (third generation) เป็นการนำสาหร่ายทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่มาสกัดและแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องจากข้อดีของสาหร่ายที่เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็น

เชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ใช้พื้นที่น้อยในการเพาะเลี้ยงเมื่อเทียบกับชีวมวลรุ่นอื่นๆ มีความสามารถในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้สูง (high productivity) และสาหร่ายสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตได้ดี ทำให้สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อันเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนได้ แต่อย่างไรก็ตามยังมีอุปสรรคทางด้านเทคโนโลยีและลักษณะเฉพาะของสาหร่ายชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่ายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งในปัจจุบันหน่วยงานราชการและหน่วยงานเอกชนมีการพัฒนาและวิจัยอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่ายให้เหมาะสมและสามารถใช้ได้จริงในอนาคต

เชื้อเพลิงชีวภาพในปัจจุบันสามารถแบ่งตามสถานะออกเป็น 3 รูปแบบ อันได้แก่ ของแข็ง (biomass) ของเหลว (biofuel) และก๊าซชีวภาพ (biogas)

2.3.1 ของแข็ง (biomass) ได้แก่ ไม้ ชี้อเลื้อย ชิงช้าไฟโพด ฟางข้าว ชานอ้อย มูลสัตว์ ขี้สับ ขี้วัว เปลือกสัตว์และเปลือกพืช เป็นต้น โดยไม้เป็นชีวมวลชนิดแรกที่มีมนุษย์นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อหุงต้มอาหาร ให้แสงสว่างและสร้างความอบอุ่นให้แก่มนุษย์

2.3.2 ของเหลว (biofuel) เชื้อเพลิงชีวภาพที่อยู่ในสถานะของเหลวอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ (รุ่งทิพย์ ชัยเดช. 2557 ; ทิฆัมพร เขมวงศ์. 2560)

2.3.2.1 แอลกอฮอล์ (alcohol) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีลักษณะขาวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย ติดไฟง่าย มีสูตรทั่วไป คือ R - OH โดย R หมายถึง หมู่อัลคิล (อัลเคนที่ขาดไฮโดรเจนไปหนึ่งอะตอม) และแอลกอฮอล์มีสูตรโมเลกุล คือ $C_nH_{2n+1}OH$ ตัวอย่างเช่น เมทิลแอลกอฮอล์หรือเมทานอล (CH_3OH) และเอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอล (C_2H_5OH) เป็นต้น โดยคุณสมบัติทั่วไปของแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (คาร์บอน 1 – 3 อะตอม) จะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี เนื่องจากว่า แอลกอฮอล์สามารถเกิดแรงดึงดูดกับโมเลกุลของน้ำที่เรียกว่า พันธะไฮโดรเจน ได้ ซึ่งเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการละลายน้ำก็จะลดลง ปัจจุบันในภาคอุตสาหกรรมนิยมใช้เมทานอลและเอทานอลเป็นจำนวนมาก โดยมักใช้เป็นตัวทำละลาย และมีการนำแอลกอฮอล์ทั้งสองชนิดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเฉพาะเมทานอลที่นิยมใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้เอทานอลเป็นส่วนผสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษามาก่อนหน้านี้

กระบวนการผลิตเอทานอลในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี ได้แก่

1) การสังเคราะห์เอทานอลจากเอทิลีน (C_2H_4) สามารถแบ่งได้อีกสองวิธี คือ Direct hydrogenation ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างเอทิลีนกับไอน้ำที่ความเข้มข้นที่เท่ากันภายใต้ความดัน 5 – 8 เมกกะปาสคาลและอุณหภูมิ 250 – 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ กรดฟอสฟอริก-ซิลิกาเจลและทังสเตนออกไซด์-ซิลิกาเจล จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 10 - 25% และวิธีที่ 2 คือ Indirect hydrogenation โดยจะใช้เอทิลีนทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันก่อน แล้วจึงทำปฏิกิริยากับไอน้ำ เพื่อให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น แต่วิธีนี้ไม่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูง

2) การหมักผลผลิตจากการเกษตร เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน โดยวัตถุดิบนิยมใช้ในการผลิตเอทานอล ได้แก่ มันสำปะหลังและกากน้ำตาล แต่ทั้งสองชนิดมีกระบวนการหมักที่แตกต่างกันเล็กน้อย โดยมันสำปะหลังเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่จัดอยู่ในจำพวกแป้ง จึงมีความจำเป็นที่ต้องย่อยแป้งให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาลก่อน ด้วยการใช้น้ำเอนไซม์ ซึ่งจะมีการย่อยแป้งถึงสองครั้ง ครั้งหนึ่งเรียกว่า Liquefaction จะย่อยแป้งด้วย เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylases) และครั้งที่สองเรียกว่า Saccharification ซึ่งจะย่อยด้วย เอนไซม์กลูโคอะไมเลส (glucoamylases) แล้วนำไปเข้าสู่กระบวนการหมัก ส่วนกากน้ำตาลถูกจัดอยู่ในวัตถุดิบประเภทน้ำตาล ซึ่งต้องผ่านกระบวนการปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมก่อน จึงสามารถนำไปหมักเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ด้วยจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ เป็นต้น เมื่อผ่านกระบวนการหมักด้วยระยะเวลาที่เหมาะสม ขั้นตอนถัดไป คือ กระบวนการกลั่นและแยกน้ำเพื่อทำให้บริสุทธิ์ จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 99.5% (พุดพิพัฒน์ เบนจุงปรีชาพัฒน์. 2555)

2.3.2.2 น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ (vegetable and animal oil) ได้แก่ น้ำมันพืชบริสุทธิ์ น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว (waste vegetable oil) ไขมันสัตว์ โดยปัจจุบันที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ น้ำมันพืช ที่มีองค์ประกอบหลัก คือ กรดไขมัน ซึ่งแบ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) โดยปริมาณของกรดไขมันทั้งสองชนิดที่แตกต่างกันเป็นปัจจัยที่ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันพืชมีความแตกต่างกัน น้ำมันพืชที่ได้รับความนิยมในแถบภูมิภาคเขตร้อน ได้แก่ น้ำมันปาล์ม เนื่องจากหาได้ง่าย มีราคาไม่แพง และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซล น้ำมันปาล์มถูกใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ใช้เป็นน้ำมันสำหรับทอด เป็นส่วนประกอบในการผลิตมาการีน ขนมน้ำแข็ง มายองเนส คุกกี้ เป็นต้น และยังถูกใช้ในภาคอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น การผลิตสบู่ พลาสติก เครื่องสำอาง หรือยาง (Nagi et al. 2008) โดยน้ำมันที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำมันปาล์มเพื่อการบริโภค หรือที่เรียกว่า น้ำมันปาล์มโอเลอิน (palm olein) ซึ่งผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบที่แยกส่วนภายใต้สภาวะที่ควบคุมอุณหภูมิ เพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็งหรือน้ำมันปาล์มสเตอริน (palm stearin) ออกจากส่วนที่เป็นของเหลว ซึ่งได้แก่ ปาล์มโอเลอิน องค์ประกอบของปาล์มโอเลอินที่ผลิตในแต่ละภูมิภาคหรือในแต่ละประเทศจะแตกต่างกันตามแหล่งที่มาของปาล์มและกระบวนการผลิต ทำให้มีผลทางอ้อมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันปาล์มที่ได้ด้วย

2.3.2.3 ไบโอดีเซล (biodiesel) เป็นสารประกอบโมโนแอลคิลเอสเทอร์ โดยการนำเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันพืชหรือสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ผ่านกรรมวิธีทางเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดหรือด่าง จะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปของเอสเทอร์ (ester) และผลิตภัณฑ์พลอยได้ คือ กลีเซอรอล (glycerol) จากนั้นจะผ่านกรรมวิธีในการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ เช่น การแยกกลีเซอริน การล้างสิ่งปนเปื้อนด้วยน้ำอุ่นหลายๆ ครั้ง และขจัดน้ำส่วนเกินออกด้วยการให้ความร้อน ซึ่งไบโอดีเซลที่ได้จะถูกเรียกชื่อตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์ เป็นต้น

เชื้อเพลิงชีวภาพชนิดที่อยู่ในสถานะของเหลวนี้นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือใช้เป็นหนึ่งในส่วนผสมของเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องยนต์เพื่อการคมนาคม หรือเครื่องจักรกลเพื่อการเกษตรกรรม หากแต่คุณสมบัติบางประการของเชื้อเพลิงชีวภาพอาจไม่เหมาะสมต่อการใช้งานในเครื่องยนต์ได้โดยตรง เช่น การใช้น้ำมันพืชที่มีค่าความหนืดสูงกว่าเชื้อเพลิงปิโตรเลียมสำหรับเครื่องยนต์ทั่วไป ทำให้เกิดการวิจัยและพัฒนาวิธีปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมได้ในอนาคต

2.3.3 ก๊าซชีวภาพ (biogas) มีส่วนประกอบหลัก คือ ก๊าซมีเทน ซึ่งได้จากการหมักของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ เช่น การหมักมูลสัตว์ของสุกร โค กระบือ หรือการหมักเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภคของมนุษย์ โดยทำการรวบรวมของเสียเหล่านี้ใส่ถังหมักที่มีเชื้อจุลินทรีย์และทิ้งให้ทำปฏิกิริยาในสภาวะไร้อากาศ ที่อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมจุลินทรีย์จะกินสารอินทรีย์ในของเสียและปลดปล่อยผลผลิตออกมาในรูปก๊าซมีเทน โดยสามารถต่อท่อก๊าซจากระบบหมักนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น การปรุงอาหาร เป็นต้น ส่วนของเสียที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาแล้วนั้น สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยเพื่อการเกษตรได้อีกด้วย

2.4 การลดค่าความหนืดของเชื้อเพลิง

การลดค่าความหนืดของเชื้อเพลิงเป็นหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์ ทั้งเครื่องยนต์เพื่อการคมนาคมและเครื่องยนต์เพื่อการเกษตรกรรม โดยวิธีลดค่าความหนืดที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันแบ่งเป็น 4 วิธี ได้แก่ การใช้โดยตรงและการผสม (direct use or blending) การแตกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification) และปฏิกิริยาไมโครอิมัลซิฟิเคชัน (microemulsification) (บุญญา รัตนจารุเรือง. 2559 ; กองบรรณาธิการ. 2548 ; Ma et al. 1999)

2.4.1 การใช้โดยตรงและการผสม (direct use or blending)

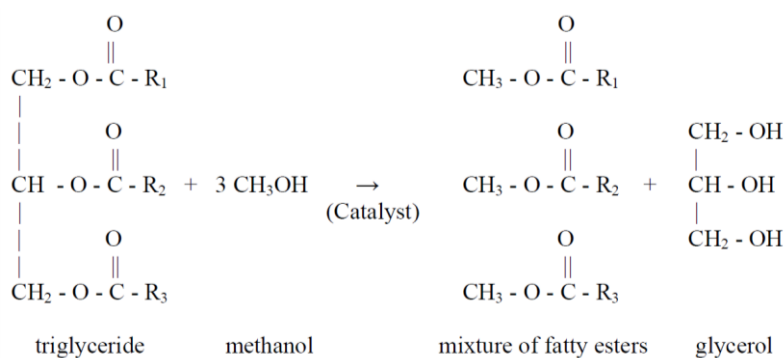
การใช้โดยตรง คือ การนำเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดของเหลวมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงโดยไม่ผ่านการผสมหรือกระบวนการใดๆ เพื่อปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ส่วนการผสม คือ การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงชีวภาพกับเชื้อเพลิงปิโตรเลียม เช่น น้ำมันปาล์มผสมกับเชื้อเพลิงดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล

2.4.2 การแตกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis)

กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนสารประกอบชนิดหนึ่งไปเป็นสารประกอบอื่นๆ มากกว่าหนึ่งชนิด โดยกระบวนการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศหรือใช้ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจะต้องจำกัดปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการ เพื่อป้องกันไม่ได้รับระบบมีออกซิเจนเพียงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ได้ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการนี้ประมาณ 450 – 600 องศาเซลเซียส สารประกอบที่ผ่านกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนจะถูกทำให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง วัตถุประสงค์ที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการนี้ ได้แก่ ไขมันสัตว์ น้ำมันพืช กรดไขมันธรรมชาติ (natural fatty acid) และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

2.4.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (transesterification)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) กับแอลกอฮอล์ (alcohol) โดยมีตัวเร่งในปฏิกิริยาเป็นกรดหรือด่าง ได้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลหรืออัลคิลเอสเทอร์ กับผลิตภัณฑ์พลอยได้ คือ กลีเซอรอล ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น (Agarwal. 2006) ซึ่งเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาจะต้องผ่านกระบวนการแยกกลีเซอรอลออกและทำให้บริสุทธิ์ก่อนจึงจะสามารถนำมาใช้งานได้



รูปที่ 2.1 ปฏิกริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Gerpen et al. 2004)

2.4.4 ปฏิกริยาไมโครอิมัลชัน (microemulsification)

ปฏิกริยาไมโครอิมัลชัน เป็นวิธีการลดความหนืดของเชื้อเพลิงที่สามารถทำได้โดยง่าย สะดวก รวดเร็วกว่าวิธีอื่นๆ ใช้เวลาน้อยและไม่เกิดผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ต้องกำจัดออกอีกครั้ง อีกทั้งยังใช้ต้นทุนและพลังงานในการผลิตต่ำกว่าวิธีอื่น เนื่องจากที่ไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนในการทำปฏิกริยาและไม่มีขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์พลอยได้ออกในภายหลัง ปฏิกริยาไมโครอิมัลชันจึงเริ่มเป็นที่นิยมในหมู่นักวิจัยและพัฒนา โดยมีหลักการคือ การนำของเหลวที่ไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันทำให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยอาศัยสารลดแรงตึงผิว (surfactant) และสารลดแรงตึงผิวร่วม (cosurfactant) (Bora et al. 2015) โดยคำว่า ไมโครอิมัลชัน (microemulsion) คือ คอลลอยด์ประเภทอิมัลชันที่กระจายตัวในสภาวะสมดุล มีอนุภาคส่วนมากอยู่ช่วง 1 – 150 นาโนเมตร (Schwab et al. 1987) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาค่าความหนืดสูงในน้ำมันพืชให้มีค่าความหนืดลดลง โดยใช้ควบคุมกับตัวทำละลายแอลกอฮอล์โมเลกุลสายสั้น เช่น เมทานอล เอทานอล และ 1-บิวทานอล เป็นต้น (Srivastava and Prasad. 1999) ไมโครอิมัลชันที่เกิดจากการผสมน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์จะได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติความหนืดใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซล แต่ยังมีข้อจำกัดด้านค่าความร้อนที่มีค่าต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซลปกติ (Attaphong and Sabatini. 2013)

ไมโครอิมัลชันมีความคล้ายคลึงกับอิมัลชัน แต่แตกต่างกันที่ขนาดของส่วนผสมของอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ โดยจะมีขนาดเล็กกว่าอิมัลชันปกติ (macroemulsion) ทำให้อิมัลชันปกติมีลักษณะขุ่น เนื่องจากอนุภาคของวัฏภาคภายใน (internal phase) มีขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการกระจายแสงและไม่มีความเสถียร เมื่อทิ้งไว้ระยะหนึ่งจะเกิดการแยกชั้นของวัฏภาค (phase separation) แต่ในทางกลับกัน ไมโครอิมัลชันจะมีลักษณะโปร่งใส (transparent) เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กมากไม่เกิดการกระจายแสงของอนุภาค และมีค่าความหนืดต่ำกว่าอิมัลชันปกติ การผลิตเชื้อเพลิงแบบอิมัลชันมีความต้องการใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณที่ต่ำมาก ประมาณ 1 – 2% แต่ในขณะที่เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันต้องอาศัยสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมในปริมาณที่มากกว่าเชื้อเพลิงอิมัลชัน เพื่อช่วยเชื้อเพลิงให้ไมโครอิมัลชันมีความเสถียรต่ออุณหภูมิอุณหภูมิในช่วงกว้าง (Rakshit and Moulik. 2008 ; Uson et al. 2004) โดยจะประกอบไปด้วยสารตั้งต้น 2 ชนิดที่ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ คือ น้ำมันกับน้ำ ซึ่งการเติมสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมจะช่วยให้ทั้งสองส่วนนี้ให้เป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมมีองค์ประกอบทั้งด้านที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ซึ่งจะหันด้านมีขั้วไปทางด้านวัฏภาคน้ำ และหันฝั่งที่ไม่มีขั้วไปทางด้านวัฏภาคน้ำมัน (Ismail et al. 2011) เพื่อเป็นตัวกลางเชื่อมต่อทั้งสองวัฏภาคเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดปฏิกิริยาไมโครอิมัลซิฟิเคชันระหว่างน้ำ น้ำมัน สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิว รวมนั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาได้โดยไม่ต้องอาศัยการใช้พลังงานความร้อนจากภายนอก ซึ่งโดยทั่วไป ระบบการเกิดไมโครอิมัลชันจะแบ่งตามชนิดของไมโครอิมัลชัน ดังนี้ (Rakshit and Moulik. 2008 ; Attaphong and Sabatini. 2013)

1) Winsor ประเภทที่ 1 (Winsor Type I Oil in Water, O/W)

ไมโครอิมัลชันประเภทนี้จะเข้าสู่สภาวะสมดุลก็ต่อเมื่อค่าความชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิวที่เป็นตัวผสมระหว่างสองวัฏภาค (Hydrophilic-Lipophilic Balance, HLB) มีค่ามากกว่า 7 หรือ $HLB > 7$ ซึ่งค่า HLB นี้เป็นค่าที่บ่งชี้สัดส่วนของการดึงดูดของสารลดแรงตึงผิวและความสามารถในการละลายระหว่างวัฏภาคน้ำกับน้ำมัน วัฏภาคของน้ำมันจะละลายอยู่ในวัฏภาคของน้ำที่สมดุล โดยที่สารลดแรงตึงผิวจะละลายอยู่ในชั้นน้ำ ทำให้เกิดโครงสร้างที่เรียกว่า ไมเซลล์ปกติ (Normal micelle) และมีวัฏภาคของน้ำมันที่มากเกินพอ

2) Winsor ประเภทที่ 2 (Winsor Type II Water in Oil, W/O)

ไมโครอิมัลชันประเภทนี้จะเข้าสู่สภาวะสมดุลเมื่อค่าความชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิวที่เป็นตัวผสมระหว่างสองวัฏภาคมีค่าน้อยกว่า 7 หรือ $HLB < 7$ วัฏภาคของน้ำจะละลายอยู่ในวัฏภาคของน้ำมัน โดยที่สารลดแรงตึงผิวจะละลายอยู่ในชั้นน้ำมันเช่นเดียวกัน ทำให้เกิดโครงสร้างที่เรียกว่า รีเวิร์สไมเซลล์ (Reverse micelle) และเกิดวัฏภาคของน้ำที่มากเกินพอ

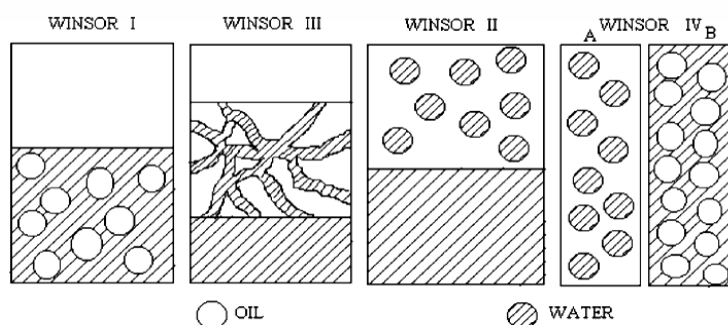
3) Winsor ประเภทที่ 3 (Winsor Type III, middle phase)

ไมโครอิมัลชันประเภทนี้จะเข้าสู่สภาวะสมดุลหากสารลดแรงตึงผิวมีค่าความชอบน้ำลดลง เป็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างระบบไมโครอิมัลชัน Winsor ประเภทที่ 1 (สภาวะที่สารลดแรงตึงผิวมีขั้ว) ไปยังประเภทที่ 2 (สภาวะที่สารลดแรงตึงผิวไม่มีขั้ว) โดยเกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิสำหรับสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ (nonionic surfactant) หรือการใส่เกลือสำหรับสารลดแรงตึงผิวแบบมีประจุ (ionic surfactant) ทำให้เกิดการแบ่งชั้นของวัฏภาคออกเป็นสามวัฏภาค โดยชั้นวัฏภาคที่อยู่ตรงกลางระหว่างชั้นน้ำกับชั้นน้ำมันจะเป็นวัฏภาคที่มีการผสมกันของน้ำ น้ำมัน และสารลดแรงตึงผิว วัฏภาคชั้นนี้จะเกิดไมโครอิมัลชัน

4) Winsor ประเภทที่ 4 (Winsor Type IV, single phase)

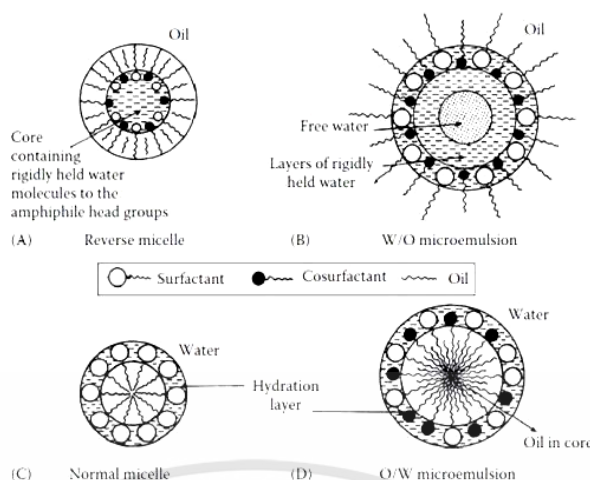
ไมโครอิมัลชันประเภทนี้เกิดจากการเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิว ทำให้ปริมาณของวัฏภาคชั้นกลางของ Winsor ประเภทที่ 3 มีปริมาณเพิ่มขึ้นจนกระทั่งวัฏภาคของน้ำและน้ำมันละลายอยู่ในชั้นของกันและกัน ระบบนี้จะไม่อยู่ในสภาวะสมดุล จึงอาจเป็นไปได้ทั้งไมโครอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ (ประเภทที่ 1) หรือประเภทน้ำในน้ำมัน (ประเภทที่ 2) ได้

ระบบของการเกิดไมโครอิมัลชันทั้ง 4 แบบดังแสดงในรูป 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 ระบบการเกิดไมโครอิมัลชันแบบ Winsor (Rakshit and Moulik. 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างไมเซลล์ รีเวิร์สไมเซลล์และไมโครอิมัลชัน (Rakshit and Moulik. 2008)

2.5 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว คือ สารที่เมื่อละลายน้ำแล้วจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำ ซึ่งคำว่า surfactant มาจาก surface active agent ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดไมโครอิมัลชันต้องอาศัยการทำงานของสารลดแรงตึงผิว (surfactant) และสารลดแรงตึงผิวร่วม (cosurfactant) สารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้วัฏภาคส่วนน้ำมันและน้ำผสมรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้และไม่เกิดการแยกชั้น โดยสารลดแรงตึงผิวมีโครงสร้างทางเคมีที่เรียกว่า Amphipathic ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนหัวที่มีขั้ว ชอบน้ำและมีความสามารถในการละลายน้ำ (hydrophilic) กับส่วนหางที่ไม่มีขั้วหรือมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย (hydrophobic) (Rosen. 2004) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว (ชนารตี เผนานนท์. 2559)

สารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าที่อยู่บนส่วนที่ละลายน้ำหรือส่วนหัว (hydrophilic) คือ (จิรสา กรงกรด. 2548 ; สุธา ขาวเจียร. 2555)

1) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างส่วนที่ทำปฏิกิริยาหรือส่วนหัวมีประจุบวก ส่วนมากจะเป็นจำพวกสารควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (Quaternary ammonium) เช่น ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมคลอไรด์ ($\text{RN}(\text{CH}_3)^+\text{Cl}^-$) สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้มีข้อจำกัดในการทำงาน คือ ไม่สามารถทำงานได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10 - 11) เนื่องจากจะมีการสูญเสียประจุบวกและทำให้เกิดการตกตะกอนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างส่วนที่ทำปฏิกิริยาหรือส่วนหัวมีประจุลบ ส่วนมากจะเป็นสารที่แสดงอยู่ในรูปคาร์บอกซิเลต (carboxylate) ซัลเฟต (sulfate) ซัลโฟเนต (sulfonate) หรือ ฟอสเฟต (phosphate) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีคุณภาพสูง แต่มีข้อจำกัด คือ สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่เสถียรในสภาวะแวดล้อมที่มีความเป็นกรดต่ำกว่า 7 ($\text{pH} < 7$)

3) สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Zwitterionic surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างส่วนที่ทำปฏิกิริยาหรือส่วนหัวมีทั้งประจุบวกและประจุลบ อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน โดยการแสดงประจุจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่ละลายอยู่ หากสภาวะแวดล้อมเป็นกรด ($\text{pH} < 7$) จะแสดงประจุบวก ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นด่าง ($\text{pH} > 7$) จะแสดงประจุลบ และในสภาวะเป็นกลางจะไม่แสดงประจุไฟฟ้า แต่มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล ได้

4) สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างส่วนที่ทำปฏิกิริยาหรือส่วนหัวไม่มีประจุ ซึ่งสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะแวดล้อมที่มีหรือไม่มีกรนำไฟฟ้าได้ แต่เนื่องจากไฟฟ้าไม่มีผลต่อสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้ จึงส่งผลให้มีการดูดซับที่พื้นที่ผิวดำ

2.6 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

2.6.1 ความหนืด (viscosity)

ความหนืดคือ ค่าบ่งชี้คุณสมบัติความต้านทานการไหลในของเหลว เป็นคุณสมบัติหลักที่มีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตน้ำมันและการเผาไหม้ ความหนืดแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ความหนืดพลวัต (Dynamic viscosity, μ) หมายถึงค่าความต้านทานแรงเฉือนของของไหลจากภายนอก และความหนืดจลนศาสตร์ (Kinematic viscosity, ν) คือ ค่าความต้านทานแรงเฉือนของของไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างความหนืดพลวัตต่อความหนาแน่น (density, ρ) ดังสมการที่ 2.1 ซึ่งความหนืดส่งผลกระทบต่อคุณภาพการแตกตัวเป็นละออง ขนาดของละอองน้ำมัน และยังส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้อีกด้วย โดยจะทำการวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Rheometer) และเทียบกับมาตรฐาน ASTM D445 ซึ่งเป็นมาตรฐานของหน่วยงาน American Society for Testing and Materials ของประเทศสหรัฐอเมริกา มีหน่วยเป็นสโตก (stoke) หรือ ตารางเมตรต่อวินาที (m^2/s) (Tate et al. 2006)

$$\nu = \mu / \rho \quad (2.1)$$

2.6.2 ความหนาแน่น (density)

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงเป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่มีความสำคัญ เนื่องจากจะมีผลต่อสมรรถนะของเชื้อเพลิง โดยเฉพาะในส่วนของระบบหัวฉีดซึ่งจะได้รับผลกระทบโดยตรง เพราะความหนาแน่นเป็นหนึ่งในปัจจัยที่จะกำหนดระยะเวลาและรูปแบบในการฉีดเชื้อเพลิง รวมถึงปริมาณของเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ให้เพียงพอต่อการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ (Lee et al. 2002) เชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นสูงจะทำให้ขนาดละอองน้ำมันในขณะฉีดมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้การซึมผ่าน (penetration) ผ่านในห้องเผาไหม้สูงขึ้นเช่นกัน (Choi and Reitz. 1999) ในทางกลับกันหากเชื้อเพลิงมีความหนาแน่นต่ำเกินไปจะเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นกับความหนืดต่ำจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแตกตัวเป็นละอองและการรวมตัวกับอากาศให้ดียิ่งขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของเชื้อเพลิงจะส่งผลโดยตรงต่อกำลังของเครื่องยนต์ เนื่องจากความแตกต่างของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกมาหัวฉีด (Bahadur. 1995 ; Demirbas. 2007)

2.6.3 จุดขุ่นและจุดไหลเท (cloud point and pour point)

จุดขุ่น คือ อุณหภูมิ ณ จุดหนึ่งที่ทำให้ของเหลวเริ่มเกิดความขุ่นมัวหรือไม่โปร่งใสแต่ยังคงสถานะเป็นของเหลว จุดไหลเทคือ อุณหภูมิสุดท้ายที่ของเหลวสามารถเคลื่อนตัวหรือไหลได้ โดยธรรมชาติของเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น ไบโอดีเซลและไบโอดีเซลผสม จะมียังมีปริมาณของไขมันอิ่มตัวสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลปกติ ทำให้สามารถเกิดการรวมตัวของเชื้อเพลิงจนเกิดเป็นผลึกที่ขุ่นและไม่สามารถไหลได้ง่ายกว่า ซึ่งยังคงเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพและการทำงาน (Ghazali et al. 2015) การวัดจุดขุ่นสามารถวัดได้โดยทดสอบด้วยวิธีมาตรฐาน ASTM D2500 ในส่วนของจุดไหลเทนั้นในปัจจุบันมีเครื่องมือที่สามารถวัดได้โดยตรงด้วยเครื่องวัดความหนืด (Rheometer) เทียบกับมาตรฐาน ASTM D97 (Nguyen et al. 2012)

2.6.4 ค่าความร้อน (heating values)

ค่าความร้อนคือตัวเลขที่บ่งบอกความร้อนที่แลกเปลี่ยนภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ และยังบอกถึงการเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ รวมถึงพลังงานของเชื้อเพลิงนั้นๆด้วย (Klopfenstein. 1985) การที่ตัวเลขค่าความร้อนมีค่าสูงนั้นส่งผลกระทบต่อให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ ซึ่งการวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้นนิยมใช้เครื่องวัดค่าพลังงานที่เรียกว่า Bomb calorimeter มีหน่วยเป็นจูลต่อกรัม (J/g)

2.6.5 จุดวาบไฟ (flash point)

จุดวาบไฟคือ อุณหภูมิต่ำที่สุดที่ทำให้เชื้อเพลิงเกิดการคายไอผสมอยู่ในอากาศและเกิดการลุกติดไฟในลักษณะไม่ต่อเนื่องได้ ซึ่งถูกระบุในข้อกำหนดเกี่ยวกับความปลอดภัยและการขนส่งโดยตีความให้อยู่ในรูปของสารที่ติดไฟได้ (flammable) การติดไฟในลักษณะวาบไฟไม่ได้ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ได้โดยตรง แต่มักจะประกอบกับลักษณะสถานที่เก็บเชื้อเพลิงหรือการขนส่งที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้น (Ghazali et al. 2015) วิธีทั่วไปในการทดสอบจุดวาบไฟคือ วิธีมาตรฐาน ASTM D93 ซึ่งโดยปกติแล้วจุดวาบไฟของเชื้อเพลิงที่มีน้ำมันพืชเป็นส่วนผสมจะสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล (Canakci and Van. 1999)

ซึ่งประเทศไทยมีการกำหนดคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของเชื้อเพลิงดีเซล พ.ศ. 2556 ไว้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 คุณภาพของเชื้อเพลิงดีเซลบางประการตามข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน (กรมธุรกิจพลังงาน. 2556)

ข้อกำหนด	อัตรา สูงต่ำ	เชื้อเพลิงดีเซล		วิธีทดสอบ
		หมุนเร็ว	หมุนช้า	
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 องศาเซลเซียส (specific gravity at 15.6/15.6°C)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	0.81	- 0.920	ASTM D1298
จำนวนซีเทน (cetane number) หรือ ดัชนีซีเทน (calculated cetane index)	ไม่ต่ำกว่า	50	45	ASTM D613 ASTM D976
ความหนืด, เซนติสโตกส์ (viscosity, cSt) ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (at 40 °C)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	1.8	- 8.0	ASTM D445
หรือ ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (at 50 °C)	ไม่สูงกว่า	-	6.0	
จุดไหลเท, องศาเซลเซียส (pour point, °C)	ไม่สูงกว่า	10	16	ASTM D97
กำมะถัน, ร้อยละโดยน้ำหนัก (sulphur, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.005	15	ASTM D2622
จุดวาบไฟ, องศาเซลเซียส (flash point, °C)	ไม่ต่ำกว่า	52	52	ASTM D93

2.7 เครื่องยนต์

ประเภทของเครื่องยนต์โดยทั่วไปสามารถจำแนกได้ตาม 3 ลักษณะ คือ (วิโรจน์ ขาวละอ. 2558)

1) จำแนกโดยจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ แบ่งได้เป็น 2 แบบคือ เครื่องยนต์ 4 จังหวะ และเครื่องยนต์ 2 จังหวะ

2) จำแนกโดยชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ ได้แก่ เบนซิน (Gasoline) ดีเซล (Diesel) ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas) ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gas) แอลกอฮอล์ (alcohol) และก๊าซโซฮอล์ (Gasohol)

3) จำแนกตามลักษณะลูกสูบของเครื่องยนต์ ได้แก่

- เครื่องยนต์กระบอกสูบเดี่ยว (single-cylinder engine)
- เครื่องยนต์กระบอกสูบเรียง (in-line engine)
- เครื่องยนต์กระบอกสูบตัว V (V-engine)
- เครื่องยนต์กระบอกสูบตรงกันข้าม (opposed cylinder engine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องยนต์กระบอกสูบตัว W (W-engine)
- เครื่องยนต์ลูกสูบตรงกันข้าม (opposed piston engine)
- เครื่องยนต์กระบอกสูบในแนวรัศมี (radial engine)

โดยงานวิจัยชิ้นนี้มุ่งศึกษาเรื่องเครื่องยนต์ดีเซลเป็นหลัก และใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ของเชื้อเพลิงต่อไป

2.7.1 เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายและกว้างขวาง เป็นแหล่งต้นกำลังในการขับเคลื่อนยานพาหนะหรือเครื่องจักรอุตสาหกรรม รวมถึงเครื่องทุ่นแรงและเครื่องมือทางการเกษตร จึงสามารถกล่าวได้ว่าเครื่องยนต์ดีเซลจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลและมีบทบาทสำคัญต่อการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ สังคมและความเป็นอยู่ของมนุษย์

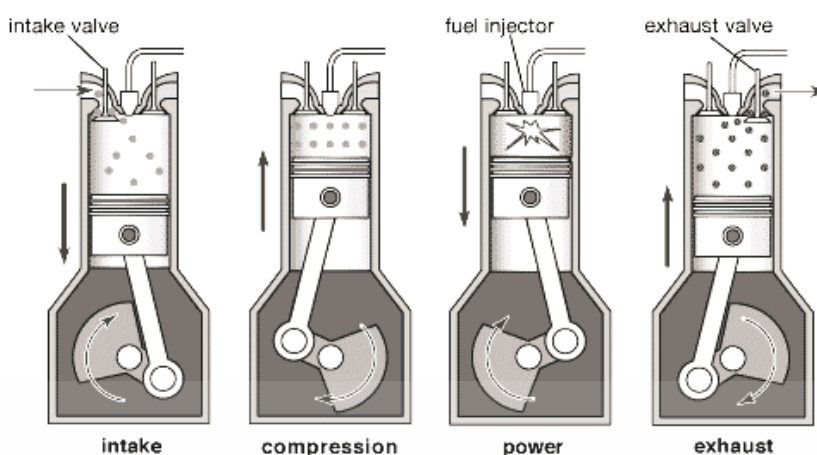
เครื่องยนต์ดีเซลในการคมนาคมทั่วไปทำงานด้วยระบบการทำงาน 4 จังหวะ (four-stroke cycle) หมายถึง วัฏจักรการทำงาน 1 รอบจะประกอบด้วย การเคลื่อนที่ของลูกสูบ 4 จังหวะหรือ 2 รอบหมุนของเพลาค้อเหวี่ยง ซึ่งมีลำดับการทำงานดังต่อไปนี้ (ธนากร กรอบสนธิ. 2552 ; ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี และอนุกุล จันท์แก้ว. 2553)

1. จังหวะดูด (intake stroke) ลูกสูบจะเคลื่อนที่จากจุดศูนย์ตายบนไปยังจุดศูนย์ตายล่าง ด้วยเพลาค้อเหวี่ยงที่หมุนตามเข็มนาฬิกา ลิ้นไอดีจะเปิดออก อากาศจะถูกดูดเข้าภายในกระบอกสูบ จนกระทั่งลูกสูบเลื่อนถึงตำแหน่งศูนย์ตายล่าง จังหวะนี้เพลาค้อเหวี่ยงจะหมุนไป 180 องศา

2. จังหวะอัด (compression stroke) เมื่อลูกสูบถึงจุดศูนย์ตายล่าง ลิ้นไอดีจะถูกปิด ลูกสูบจะถูกผลักด้วยเพลาค้อเหวี่ยงให้เลื่อนขึ้นถึงจุดศูนย์ตายบน ทำให้อากาศที่อยู่ภายในกระบอกสูบเกิดการอัดตัวและมีปริมาตรเล็กลง ทำให้มีความดันและความร้อนสูงขึ้น จังหวะนี้เพลาค้อเหวี่ยงจะหมุนไป 180 องศา

3. จังหวะระเบิด (expansion stroke) เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นก่อนจะถึงศูนย์ตายบนนั้น (ระหว่างจังหวะอัด) หัวฉีด (injector) จะทำหน้าที่ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ามาในกระบอกสูบ เนื่องจากไอดีของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีแต่อากาศที่ถูกดูดเข้ามา จึงต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เมื่อลูกสูบอัดเชื้อเพลิงเข้าไปจนเกือบถึงจุดศูนย์ตายบนของกระบอกสูบ หัวเทียนจะเกิดประกายไฟขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบอย่างรวดเร็ว โดยพลังงานจากการระเบิดและการขยายตัวของอากาศจะผลักให้ลูกสูบลอยตัวต่ำลง เป็นการส่งกำลังให้ก้านสูบ เพลาค้อเหวี่ยงและส่วนอื่นๆ ในเครื่องยนต์ทำงานต่อไป

4. จังหวะคาย (exhaust stroke) เมื่อเกิดการระเบิดและเผาไหม้ภายในกระบอกสูบแล้ว ลูกสูบจากเลื่อนตัวลงไปจุดศูนย์ตายล่าง และเมื่อลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่สู่จุดศูนย์ตายบนอีกครั้ง ลิ้นไอเสียจะเปิดออกเพื่อระบายไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยจะไหลจากห้องเผาไหม้ผ่านลิ้นไอเสียออกไปทางท่อไอเสียของเครื่องยนต์ จนกระทั่งลูกสูบเลื่อนถึงตำแหน่งจุดศูนย์ตายบนอีกครั้ง ลิ้นไอเสียจะปิด ขณะเดียวกันลิ้นไอดีกำลังจะเปิดเพื่อเข้าสู่จังหวะดูดอีกครั้ง ในช่วงนี้จะเรียกว่าจังหวะ Overlap ก่อนจะเข้าสู่จังหวะดูดต่อไป



รูปที่ 2.5 การทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ (Faiz. 1996)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษา ค้นคว้าและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

Narkpakdee et al. (2012) ทำการศึกษาเชื้อเพลิงอิมัลชันที่เกิดจากการผสมเชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันปาล์มดิบ โดยทดสอบสมรรถนะด้วยเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบที่ความเร็วรอบ 1,000 – 2,000 รอบต่อนาที พบว่า เชื้อเพลิงอิมัลชันที่ผสมเชื้อเพลิงดีเซล 90% น้ำมันปาล์มดิบ 5% และน้ำ 5% มีการให้กำลังเครื่องยนต์ได้ใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลมากที่สุด และสมรรถนะของเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันปาล์มดิบ เชื้อเพลิงอิมัลชันมีปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำและมากกว่าเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเร็วรอบสูง

Nguyen et al. (2012) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันคาโนล่าผสมเชื้อเพลิงดีเซล และนำไปทดสอบสมรรถนะกับเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลปกติ พบว่า เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ผลิตได้มีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐาน ASTM อีกทั้งยังมีช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เชื้อเพลิงมีความเสถียรอยู่ในช่วงกว้าง และยังปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และปริมาณอนุภาคน้อยกว่าดีเซล แต่มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าดีเซล

Alam et al. (2013) ศึกษาการทดสอบสมรรถนะของเชื้อเพลิงอิมัลชันที่ผสมระหว่างเชื้อเพลิงดีเซล น้ำ 10% และสารลดแรงตึงผิวด้วยเครื่องยนต์ดีเซลประเภทหัวฉีดลูกสูบเดี่ยวเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลที่ความเร็วรอบต่างๆของเครื่องยนต์ตั้งแต่ 800 - 3,600 รอบต่อนาที พบว่า การใช้เชื้อเพลิงอิมัลชันนี้ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำและมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ความเร็วรอบสูงตั้งแต่ 2,000 รอบต่อนาทีขึ้นไป ด้านก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีปริมาณน้อยกว่าเชื้อเพลิงดีเซลในทุกโหลดของเครื่องยนต์

Arularasu et al. (2014) ได้รวบรวมการศึกษางานวิจัยในช่วงปีค.ศ. 2008 ถึง 2014 ที่มีการพัฒนาและศึกษาเรื่องผลกระทบของการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพชนิดต่างๆ ต่อสมรรถนะของเชื้อเพลิง ทำการศึกษาประเภทเชื้อเพลิง ได้แก่ เชื้อเพลิงที่ผสมแอลกอฮอล์โดยตรง เชื้อเพลิงไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงอิมัลชัน ที่มีผลต่อการปลดปล่อยมลพิษอันเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน การศึกษาสัดส่วนของส่วนผสมในเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบใดความเร็วรอบหนึ่งเป็นหลัก เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Attaphong et al. (2015) ได้ทำการศึกษาวัฏภาค คุณสมบัติของเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากส่วนผสมของน้ำมันพืช แอลกอฮอล์และเชื้อเพลิงดีเซล เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชและทำให้วัฏภาคน้ำและน้ำมันรวมเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น โดยการศึกษาชนิดของแอลกอฮอล์ที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิง พบว่า เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์มีความเสถียร มีคุณสมบัติและปลดปล่อยมลพิษที่ดีขึ้น การใช้แอลกอฮอล์ที่ไม่มีเลกุลสายสั้นมีการปลดปล่อยปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงเมื่อเทียบกับแอลกอฮอล์ชนิดอื่นๆ ซึ่งบ่งบอกได้ว่า การผสมแอลกอฮอล์โมเลกุลสายสั้นในเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันทำให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้น

Ghazali et al. (2015) ได้ทำการศึกษาผลของการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากพืชชนิดต่างๆ ต่อสมรรถนะเครื่องยนต์และมลพิษที่เกิดขึ้น พบว่า ไบโอดีเซลที่ผลิตจากพืชชนิดต่างกันให้ผลลัพธ์ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์และมลพิษต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลตามปกติ อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีคุณสมบัติทดแทนดีเซลได้ สามารถนำมาใช้เพื่อแบ่งเบาภาระความต้องการเชื้อเพลิงดีเซลลง

NAIM Ishak et al. (2015) ได้ทำการศึกษาระบบวัฏภาคของน้ำในเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงดีเซลผสมกับไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ผสมกับสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม เพื่อสร้างระบบไมโครอิมัลชันแบบ water-in-oil หรือ W/O ทำการผสมเชื้อเพลิงดีเซลกับเมทิลเอสเทอร์จากปาล์ม (palm oil methyl ester) ที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน และทำการศึกษาการเกิดวัฏภาคด้วยแผนภาพวัฏภาคไตรภาคเทียม (pseudoternary phase diagram) พบว่าเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่เสถียรประกอบไปด้วยเชื้อเพลิงดีเซลผสมกับเมทิลเอสเทอร์จากปาล์มที่ความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก และใช้สารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีขั้ว (non-ionic surfactant) กับสารลดแรงตึงผิวร่วมชื่อ Loral (C₆₋₈) ผสมกันในอัตราส่วน 1:3 1:4 และ 1:9 เชื้อเพลิงที่ทดลองมีคุณสมบัติด้านความหนาแน่น ค่าความร้อน จุดขุ่น จุดไหลเทและจุดวาบไฟอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

Attaphong et al. (2017) ได้ศึกษาผลของสารเติมแต่งต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงและมลพิษที่เกิดขึ้นของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลที่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกำหนดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยสามารถสรุปได้ว่า การใส่สารเติมแต่งสามารถเพิ่มคุณภาพของเชื้อเพลิงได้โดยไม่มีผลต่อเสถียรภาพ และในสารเติมแต่งบางชนิดสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ได้

Charoensaeng et al. (2018) ศึกษาผลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ผสมระหว่างน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงดีเซล แอลกอฮอล์ สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมเข้าด้วยกันเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิง 2 ชนิดคือ น้ำมันปาล์มผสมดีเซล และไบโอดีเซลผสมกับดีเซล ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลที่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยควบคุมโหลดที่ 0.5 และ 1.0 กิโลวัตต์ พบว่า เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ลดลง แต่ในด้านของการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ยังมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งบ่งบอกได้ว่าเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีประโยชน์ สามารถทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลและลดมลพิษที่เกิดจากการใช้เครื่องยนต์ได้โดยตรง

2.9 บทวิเคราะห์

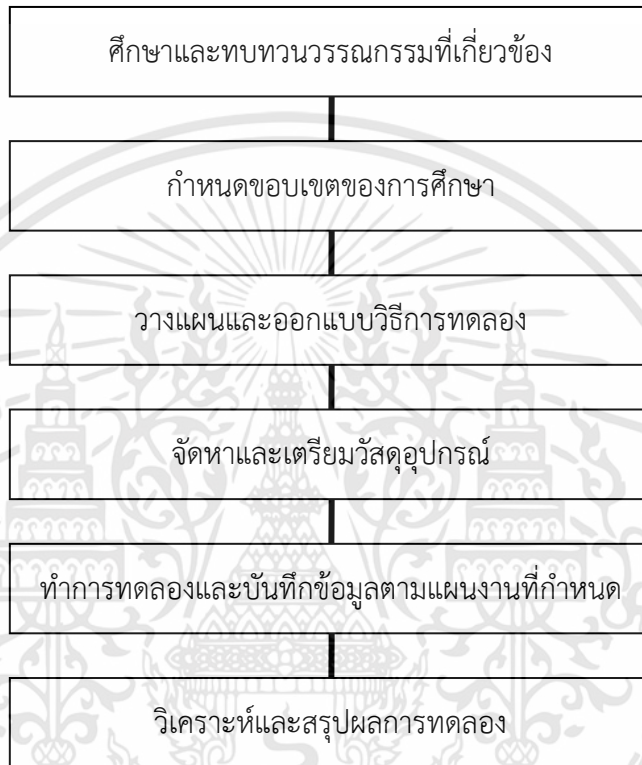
จากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรม พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงทดแทน เปรียบเทียบคุณสมบัติและสมรรถนะเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงชีวภาพแต่ละชนิด โดยไม่เน้นด้านการศึกษาผลของโพลดในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยชิ้นนี้ เพื่อศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ศึกษาวัฏภาค เสถียรภาพและเปรียบเทียบคุณสมบัติ สมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลที่โพลดต่างๆ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม โดยได้ทำการวางแผนและออกแบบการศึกษา ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลัก ได้แก่

- 1) การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม
- 2) การศึกษาวัฏภาคและเสถียรภาพของเชื้อเพลิง
- 3) การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิง
- 4) การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลและการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงที่โพลดต่างๆ
- 5) การวิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาด้านการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

3.2 แนวคิดในการออกแบบวิธีการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบวิธีการทดลอง การเตรียมเชื้อเพลิงและวิธีการตรวจสอบคุณสมบัติ รวมถึงการทดสอบสมรรถนะของเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม โดยอ้างอิงการตรวจสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงจากวิธีมาตรฐานของสมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (American Society for Testing and Materials; ASTM standards) และอ้างอิงวิธีทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแผงหลอดไฟ โดยทำการทดสอบเครื่องยนต์ที่โหลดต่างๆ (Attaphong et al. 2017 ; Charoensaeng et al. 2018) เป็นแนวทางในการศึกษา เพื่อที่จะนำผลการศึกษาไปวิเคราะห์การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

3.3 อุปกรณ์และสารเคมี

3.3.1 อุปกรณ์

1. เครื่องวัดก๊าซ ยี่ห้อ testo รุ่น 340
2. เครื่องยนต์ดีเซล ยี่ห้อ MITSUKI รุ่น MIT-178F ขนาด 7.0 แรงม้า
3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ยี่ห้อ SUN รุ่น ST-3
4. Heating Immersion Circulator ยี่ห้อ Julabo รุ่น ED
5. ตู้อบลมร้อนแบบมีพัดลม Hot air oven with force ยี่ห้อ Binder รุ่น ED115
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ OHAUS รุ่น Pioneer (PA214C)
7. Micropipettes ขนาด 200 - 1000 ul ยี่ห้อ Biohit
8. Micropipettes ขนาด 100 - 1000 ul ยี่ห้อ BOECO
9. Dispenser 10 ml ยี่ห้อ Biohit
10. Pipette Tips ขนาด 1,000 ul
11. เครื่องวัดความหนืด ยี่ห้อ Grant รุ่น GR150
12. หลอดวัดความหนืด (CANNON-FENSKE Routine Viscometer) ขนาด 50 75 และ 200
13. เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (Oxygen Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ Chongqing Gold รุ่น GDY-1 A
14. เครื่องวิเคราะห์จุดวาบไฟแบบปิด (Flash Point by Pensky Martens Closed Cup) ยี่ห้อ West tune รุ่น SYD-261
15. ถังออกซิเจน
16. คีมปากแหลม (Forceps)
17. ครูชีเบิลสแตนเลส
18. หลอดดูดสาร
19. เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแก้ว
20. หลอดเซนติฟิวก์พลาสติก (Centrifuge tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร
21. หลอดทดลองแก้วฝาเกลียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร
22. ชั้นวางหลอดทดลองพลาสติก (Plastic test tube rack)
23. ชั้นวางหลอดทดลองสแตนเลส (Stainless steel test tube rack)
24. บีกเกอร์ขนาด 50, 100 และ 250 มิลลิลิตร
25. กระจกตวงขนาด 1,000 และ 2,000 มิลลิลิตร
26. Duran Bottle ขนาด 100 มิลลิลิตร ยี่ห้อ KIMA
27. Duran Bottle ขนาด 1,000 และ 2,000 มิลลิลิตร ยี่ห้อ Pyrex
28. สายพาน ยี่ห้อ BANDO รุ่น B-53
29. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power Analysis Meter) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น CW240
30. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Auto Transformer) ยี่ห้อ SLIDEUP รุ่น TSB-5M
31. เครื่องวัดกระแส แรงดัน และตัวต้านทาน (Multimeter) ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 89IV
32. เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Clamp meter) ยี่ห้อ kaise รุ่น SK-7711

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

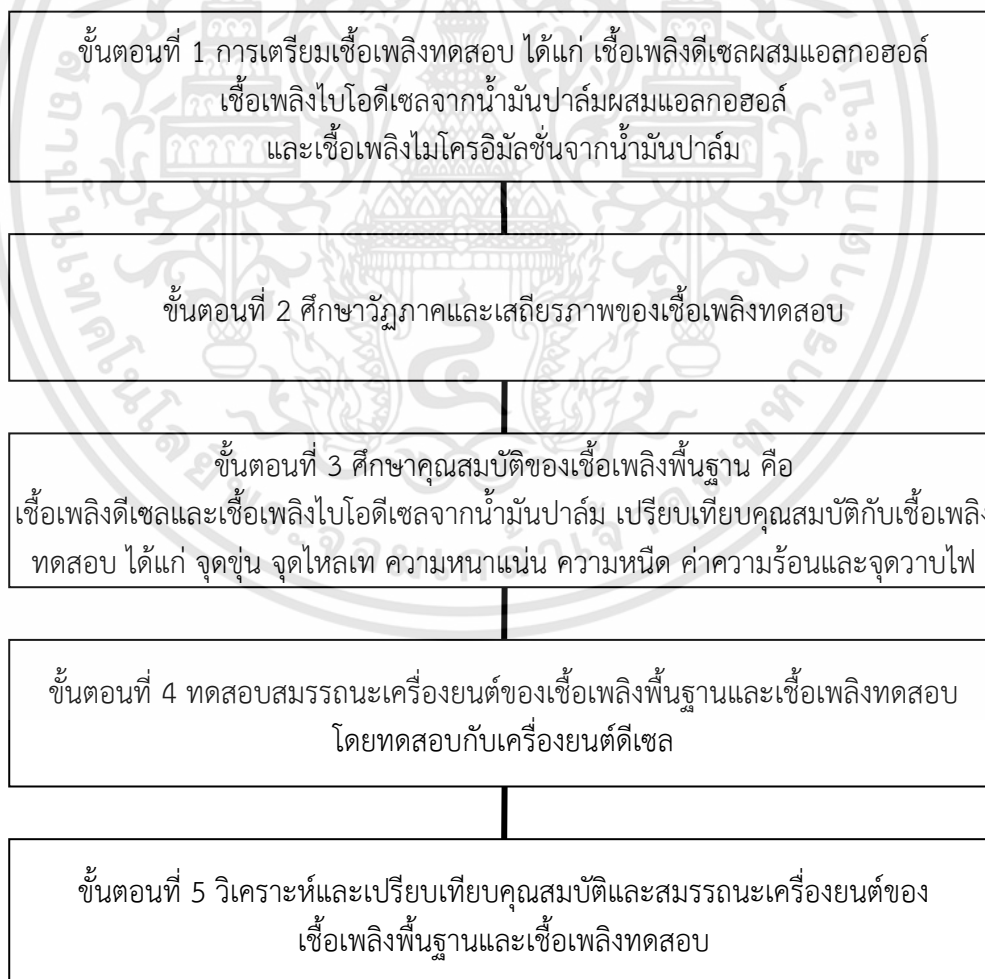
33. เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DT-250TP

3.3.2 สารเคมีและวัตถุดิบ

1. เชื้อเพลิงดีเซล ยี่ห้อ CALTEX จากสถานีบริการน้ำมัน สาขาซอยฉลองกรุง 39
2. เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม จากบริษัท วีระสุวรรณ จำกัด
3. น้ำมันปาล์ม ผลิตโดยบริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
4. เอทานอล (Ethanol) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99.9% ยี่ห้อ Daejung บริษัท Daejung Chemicals & Metals จำกัด ประเทศเกาหลีใต้
5. เฮกเซน (Hexane) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ UNIVAR บริษัท Ajax Finechem จำกัด ประเทศออสเตรเลีย
6. 2-เอทิล-1-เฮกซานอล เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99% ยี่ห้อ Alfa Aesar บริษัท Thermo Fisher Scientific จำกัด

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 แผนผังขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม

3.4.2.1 การศึกษาสัดส่วนของเอทานอลที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์

1) กำหนดสัดส่วนเชื้อเพลิงดีเซลและเอทานอล คำนวณจากปริมาตรรวมทั้งหมด 10 มิลลิลิตร จะประกอบไปด้วยเอทานอลสัดส่วนตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 50% โดยปริมาตรที่เหลือในแต่ละตัวอย่างจะเป็นปริมาตรของเชื้อเพลิงดีเซล

2) ใส่เชื้อเพลิงดีเซลลงในหลอดทดลองตามสัดส่วนที่กำหนดไว้

3) เติมเอทานอล ความบริสุทธิ์ 99.9% ลงในหลอดทดลองข้อ 2) ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ข้างต้น

4) เขย่าหลอดทดลองด้วยมือเบาๆ 5 ครั้ง (Attaphong et al. 2013) เชื้อเพลิงจะมีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงตั้งทิ้งไว้ในชั้นวางหลอดทดลอง พร้อมทั้งทำการจับเวลา

5) ศึกษาภูมิภาคและเสถียรภาพของเชื้อเพลิงจากการสังเกตด้วยสายตา พร้อมทั้งบันทึกผลการศึกษามือครบเวลา 15 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 1 วัน และบันทึกผลทุกวันจนถึงวันที่ 14 ของการทดลอง

6) เปลี่ยนเชื้อเพลิงข้อ 1) เป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม และทำการทดลองตามข้อ 1) ถึงข้อ 5) สำหรับการเตรียมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์

7) คัดเลือกตัวอย่างที่มีเสถียรภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ไม่เกิดการแยกชั้น นำไปทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง อันได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อนและจุดวาบไฟ เพื่อหาสัดส่วนของเอทานอลที่เหมาะสมที่สุดต่อเชื้อเพลิง

3.4.2.2 การศึกษาสัดส่วนของเอทานอลที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม

จะต้องทำการหาสัดส่วนของเอทานอลที่น้อยที่สุดที่ทำให้ส่วนผสมน้ำมันเกิดการแยกชั้น (Palm oil - Diesel blend) หลังจากนั้นจะนำไปเติมสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม ซึ่งได้แก่ ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอล เพื่อให้เกิดเป็นเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันต่อไป

1) ผสมเชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันปาล์ม อัตราส่วน 1:1 ลงในหลอดทดลอง กำหนดปริมาตรส่วนน้ำมันทั้งหมด 5 มิลลิลิตร (Attaphong et al. 2017)

2) เติมเอทานอล ความบริสุทธิ์ 99.9% ลงในหลอดทดลองข้อ 1) ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50% ของปริมาตรส่วนน้ำมัน

3) เขย่าหลอดทดลองด้วยมือเบาๆ 5 ครั้ง เชื้อเพลิงจะมีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงตั้งทิ้งไว้ในชั้นวางหลอดทดลอง พร้อมทั้งทำการจับเวลา

4) ศึกษาภูมิภาคและเสถียรภาพของเชื้อเพลิงจากการสังเกตด้วยสายตา พร้อมทั้งบันทึกผลการศึกษามือครบเวลา 15 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 1 วัน และบันทึกผลทุกวันจนถึงวันที่ 14 ของการทดลอง

5) คัดเลือกตัวอย่างที่มีสัดส่วนของเอทานอลน้อยที่สุดที่ทำให้ส่วนผสมน้ำมันเกิดการแยกชั้นอย่างชัดเจน เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.4.2.3 การศึกษาสัดส่วนของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่เหมาะสมสำหรับทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวในการเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม

1) ผสมเชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันปาล์ม อัตราส่วน 1:1 ลงในหลอดทดลอง กำหนดปริมาตรส่วนน้ำมันทั้งหมด 5 มิลลิลิตร

2) เติมเอทานอล ความบริสุทธิ์ 99.9% ลงในหลอดทดลองข้อ 1) ตามสัดส่วนที่คัดเลือกจากการทดลองข้อ 3.4.2.2

3) เติมไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มซึ่งทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวลงในหลอดทดลองข้อ 1) ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ตั้งแต่ 1 ถึง 10% ของปริมาตรส่วนน้ำมัน

4) เขย่าหลอดทดลองด้วยมือเบาๆ 5 ครั้ง เชื้อเพลิงจะมีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงตั้งทิ้งไว้ในชั้นวางหลอดทดลอง พร้อมทั้งทำการจับเวลา

5) ศึกษาวิฤภาคและเสถียรภาพของเชื้อเพลิงจากการสังเกตด้วยสายตา ทั้งบันทึกผลการศึกษาเมื่อครบเวลา 15 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 1 วัน และบันทึกผลทุกวันจนถึงวันที่ 14 ของการทดลอง

6) คัดเลือกตัวอย่างที่มีเสถียรภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ไม่เกิดการแยกชั้น นำไปทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง อันได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อนและจุดวาบไฟ เพื่อหาสัดส่วนของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่เหมาะสมที่สุดต่อเชื้อเพลิง

3.4.2.4 การศึกษาสัดส่วนของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลที่เหมาะสมสำหรับทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมในการเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม

1) ผสมเชื้อเพลิงดีเซลกับน้ำมันปาล์ม อัตราส่วน 1:1 ลงในหลอดทดลอง กำหนดปริมาตรส่วนน้ำมันทั้งหมด 5 มิลลิลิตร

2) เติมเอทานอล ความบริสุทธิ์ 99.9% ลงในหลอดทดลองข้อ 1) ตามสัดส่วนที่คัดเลือกจากการทดลองข้อ 3.4.2.2

3) เติมไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มซึ่งทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลซึ่งทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมในอัตราส่วน 1:16 (Attaphong et al. 2012) ลงในหลอดทดลองข้อ 1) ในปริมาณตั้งแต่ 1 ถึง 10% ของปริมาตรส่วนน้ำมัน

4) เขย่าหลอดทดลองด้วยมือเบาๆ 5 ครั้ง เชื้อเพลิงจะมีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงตั้งทิ้งไว้ในชั้นวางหลอดทดลอง พร้อมทั้งทำการจับเวลา

5) ศึกษาวิฤภาคและเสถียรภาพของเชื้อเพลิงจากการสังเกตด้วยสายตา ทั้งบันทึกผลการศึกษาเมื่อครบเวลา 15 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 1 วัน และบันทึกผลทุกวันจนถึงวันที่ 14 ของการทดลอง

6) คัดเลือกตัวอย่างที่มีเสถียรภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ไม่เกิดการแยกชั้น นำไปทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง อันได้แก่ ความหนาแน่น ความหนืด จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อนและจุดวาบไฟ เพื่อหาสัดส่วนของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลที่เหมาะสมที่สุดต่อเชื้อเพลิง

3.4.3 การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

3.4.3.1 ความหนาแน่น (Density)

- 1) เชื้อเพลิงที่ต้องการทดสอบเบาๆ ให้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน
- 2) นำปิเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตรวางในเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง จากนั้นทำการหักน้ำหนักของปิเกอร์ออก โดยการตั้งค่าเครื่องชั่งน้ำหนักเป็นศูนย์ (set zero)
- 3) ปิเปิดเชื้อเพลิงตัวอย่างลงในปิเกอร์ 1 มิลลิลิตร และบันทึกน้ำหนักของเชื้อเพลิงตัวอย่างในหน่วยกรัม
- 4) ปิเปิดเชื้อเพลิงตัวอย่างลงในปิเกอร์ให้ครบ 5 มิลลิลิตร และบันทึกน้ำหนักของเชื้อเพลิงตัวอย่างในหน่วยกรัม
- 5) ปิเปิดเชื้อเพลิงตัวอย่างลงในปิเกอร์ให้ครบ 10 มิลลิลิตร และบันทึกน้ำหนักของเชื้อเพลิงตัวอย่างในหน่วยกรัม
- 6) รายงานผลความหนาแน่นของเชื้อเพลิงในหน่วยกรัมต่อมิลลิลิตร (g/ml)
- 7) เปรียบเทียบความหนาแน่นของเชื้อเพลิงตัวอย่างอื่นๆ โดยเปลี่ยนตัวอย่างและทำตามขั้นตอนที่ 1) ถึง 6)

3.4.3.2 จุดขุ่นและจุดไหลเท (Cloud Point and Pour Point)

ทำการวิเคราะห์โดยดัดแปลงจากวิธีมาตรฐาน ASTM D2500 และ D97 ดังนี้ (ASTM. 2011 ; ASTM. 2013)

- 1) เตรียมเชื้อเพลิงตัวอย่างที่ต้องการทดสอบลงในหลอดแก้วฝาเกลียว จำนวน 10 มิลลิลิตร
- 2) นำหลอดทดลองที่บรรจุเชื้อเพลิงตัวอย่างใส่ลงในชั้นวางหลอดทดลองแสดนเลส
- 3) นำชั้นวางหลอดทดลองแสดนเลสวางลงในอ่างน้ำของเครื่อง Heating Immersion Circulator
- 4) เปิดเครื่อง Heating Immersion Circulator ที่ใส่น้ำเป็นของเหลวตัวกลางนำความเย็นให้อยู่ในระดับท่วมเซ็นเซอร์ของเครื่อง และตั้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 25 องศาเซลเซียส
- 5) ปรับอุณหภูมิของอ่างควบคุมอุณหภูมิลงทีละ 1 องศาเซลเซียส และสังเกตจุดสีขาวขุ่นที่ก้นของหลอดทดลอง
- 6) เมื่อปรากฏจุดสีขาวขุ่นในหลอดทดลอง จึงทำการบันทึกอุณหภูมิ เป็นจุดขุ่นของตัวอย่างเชื้อเพลิงนั้นๆ
- 7) ทำการลดอุณหภูมิของอ่างควบคุมอุณหภูมิลงทีละ 1 องศาเซลเซียส และสังเกตการไหลของเชื้อเพลิงภายในหลอดทดลอง โดยการเอียงหลอด 45 องศา เป็นเวลา 3 วินาที หากตัวอย่างเชื้อเพลิงยังสามารถไหลได้ให้นำหลอดทดลองใส่ในชั้นวางหลอดทดลองเดิม
- 8) เมื่อเชื้อเพลิงภายในหลอดทดลองไม่สามารถไหลได้แล้ว จึงทำการบันทึกอุณหภูมิก่อนหน้านี้นี้ที่เชื้อเพลิงยังไหลได้ในหลอดทดลอง จะได้เป็นจุดไหลเทของตัวอย่างเชื้อเพลิง (แต่ด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือ จึงสามารถวิเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิต่ำสุด คือ 5 องศาเซลเซียส)

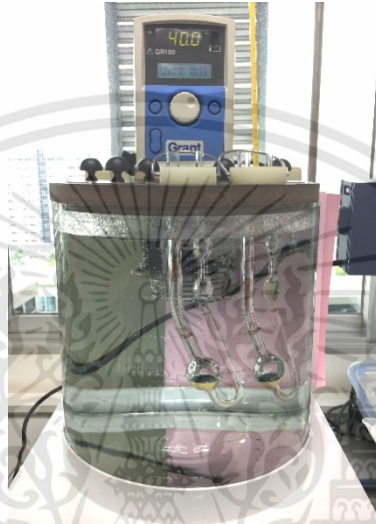
3.4.3.3 ความหนืดจลนศาสตร์และความหนืดพลวัต (Kinematic and Dynamic Viscosity)

ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D445 (ASTM. 1970)

- 1) เชื้อระดับน้ำ ซึ่งเป็นของเหลวตัวกลางนำความร้อนในอ่างวัดค่าความหนืด ให้ได้ระดับเกินครึ่งหนึ่งของลูกลอยซึ่งติดอยู่กับอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) เปิดสวิทช์ที่อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ โดยสังเกตว่าตัวกลางนำความร้อนจะมีการปั่นกววน
- 3) เปิดสวิทช์ที่ Backlight หากต้องการใช้แสงเพื่อให้เห็นการไหลของตัวอย่างเชื้อเพลิงได้ชัดเจนขึ้น
- 4) ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ด้วยลูกศรขึ้นลง กดปุ่มตัว S เพื่อเป็นการตั้งอุณหภูมิ
- 5) รอให้อุณหภูมิของตัวกลางได้อุณหภูมิตามต้องการ โดยตรวจสอบทั้งอุณหภูมิที่เครื่องควบคุมอุณหภูมิแสดงและจากเทอร์โมมิเตอร์
- 6) การเลือกใช้หลอดวัดความหนืดให้เหมาะสม โดยเลือกตามข้อมูลดังนี้



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความหนืด

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลหลอดวัดความหนืด (นานาสยาม อินเตอร์เทรด. 2560)

ขนาด	ช่วงความหนืด (cSt)
25	0.5 – 2
50	0.8 – 4
75	1.6 – 8
100	3 – 15
150	7 – 35
200	20 – 100
300	50 – 250
350	100 – 500
400	240 – 1,200
450	500 – 2,500
500	1,600 – 8,000
600	4,000 – 20,000
650	9,000 – 45,000
700	20,000 – 100,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 หลอดวัดความหนืด

- 7) เทตัวอย่างเชื้อเพลิงจำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่หลอดวัดความหนืดทางซ้ายมือ โดยเป็นด้านที่แสดงขนาดของหลอด
- 8) ตั้งทิ้งไว้ในอ่างวัดความหนืดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ตัวอย่างเชื้อเพลิงมีอุณหภูมิตามที่ต้องการวัด
- 9) ตูดตัวอย่างเชื้อเพลิงให้ตัวอย่างขึ้นจากกระเปาะด้านซ้ายมือไปทางกระเปาะด้านขวามือ ให้เลยจุด start mark
- 10) จับเวลาที่ตัวอย่างเชื้อเพลิงไหลผ่านจุด start mark จนถึงจุด stop mark (หากเวลาน้อยกว่า 200 วินาที และเกิน 1,000 วินาที แสดงว่ามีการเลือกขนาดของหลอดวัดความหนืดไม่เหมาะสม)
- 11) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 9) ถึง 10) อีก 2 ซ้ำ บันทึกผลการทดลองและแสดงเวลาเฉลี่ยในหน่วยวินาที
- 12) คำนวณค่าความหนืดจลนศาสตร์ในหน่วย เซนติสโตกส์ (cSt) ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Kinematic viscosity} = \text{constant} \times \text{flow time} \quad (3.1)$$

โดย constant คือ ค่าคงที่ หาได้จากคู่มือการใช้งานของหลอดวัดความหนืด โดยดูตามขนาด หมายเลขหลอดและอุณหภูมิที่ทำการวิเคราะห์ มีหน่วยเป็นเซนติสโตกส์ต่อวินาที (cSt/s)

flow time คือ เวลาที่ตัวอย่างเชื้อเพลิงไหลผ่านจุด start mark จนถึงจุด stop mark ในหน่วยวินาที (s)

- 13) คำนวณค่าความหนืดพลวัต ในหน่วย เซนติพอยส์ (cP) ดังสมการที่ 3.2

$$\text{Dynamic viscosity} = \text{Kinematic viscosity} \times \text{Density} \quad (3.2)$$

โดย Kinematic viscosity คือ ความหนืดจลนศาสตร์ มีหน่วยเป็นเซนติสโตกส์ (cSt)

Density คือ ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น กรัมต่อมิลลิลิตร (g/ml)

- 14) ทำความสะอาดหลอดวัดความหนืดโดยใช้สารละลายเฮกเซน

3.4.3.4 ค่าความร้อน (Heating Values)

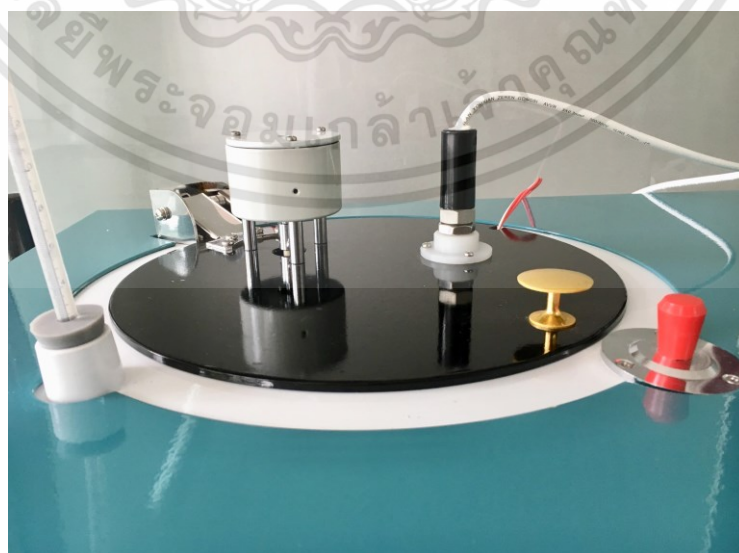
ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน (Oxygen Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ Chongqing Gold รุ่น GDY-1 A ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน

ขั้นตอนติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน

- 1) เติมน้ำกลั่นประมาณ 15 ลิตรลงในเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อนรอบนอก เติมผ่านรูที่มีแท่งสแตนเลสจุกสีแดงทางด้านบนของเครื่อง ดังรูปที่ 3.6 ทำการเช็คระดับน้ำกลั่นโดยสังเกตรอยน้ำบนแท่งสแตนเลสให้ต่ำกว่าจุกสีแดงไม่เกิน 1 นิ้ว
- 2) เติมน้ำเปล่าลงในถังสแตนเลสด้านในเครื่อง โดยตวงน้ำให้ได้ปริมาณ 3,000 กรัม หรือ 3,000 มิลลิลิตร ± 0.5 กรัม



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ด้านบนของเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการเตรียมลูกบอมบ์และตัวอย่างทดสอบ

- 1) ตัดลวดจุดระเบิดความยาว 8 เซนติเมตร ทำการชั่งน้ำหนักลวด โดยบันทึกน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
- 2) หมุนเกลียวเปิดฝาลูกบอมบ์วางบนขาตั้ง เพื่อให้ง่ายต่อการเตรียมลูกบอมบ์และตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.7
- 3) นำลวดจุดระเบิดที่ตัดในข้อที่ 1) ใส่ลงในร่องที่ขาตั้งสำหรับวางถ้วยใส่ตัวอย่างของฝาลูกบอมบ์ทั้ง 2 ด้านและทำการล็อกไว้ โดยเหล็กลอยลวดให้เลยตัวล็อกออกมาเล็กน้อย เพื่อป้องกันลวดหลุดขณะวิเคราะห์ตัวอย่าง
- 4) นำครุชชีเบิลสแตนเลสสำหรับใส่ตัวอย่างวางบนแท่นของเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง จากนั้นทำการหักน้ำหนักของครุชชีเบิลออก โดยการตั้งค่าเครื่องชั่งน้ำหนักเป็นศูนย์ (set zero)
- 5) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง กรณีตัวอย่างเป็นของแข็งให้นำไปอัดเป็นเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดก่อน หากตัวอย่างเป็นของเหลวให้ทำการดูดตัวอย่างด้วยหลอดดูดสารใส่ลงในครุชชีเบิล ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้ 1 ± 0.0002 กรัม พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่ชั่งได้ 4 ตำแหน่ง
- 6) วางถ้วยครุชชีเบิลพร้อมตัวอย่างลงในวงแหวนที่ฝาลูกบอมบ์
- 7) ตัดลวดให้ลงมาแตะหรือจุ่มลงในตัวอย่างด้วยคีมปากแหลม โดยระวังไม่ให้ลวดสัมผัสกับครุชชีเบิล มิเช่นนั้นอาจเกิดการช็อต ทำให้ลวดขาดขณะวิเคราะห์และไม่สามารถเผาไหม้ตัวอย่างได้
- 8) นำฝาลูกบอมบ์ใส่ลงในลูกบอมบ์ดังเดิม และหมุนเกลียวปิดให้แน่น ดังรูปที่ 3.8
- 9) อัดก๊าซออกซิเจนเข้าลูกบอมบ์ โดยวางวงยางสีดำบนรูที่อยู่ด้านบนของลูกบอมบ์ จากนั้นสวมหัวทองเหลืองจากสายถึงก๊าซ ดังรูปที่ 3.9 และหมุนเกลียวหัวทองเหลืองให้แน่น
- 10) ค่อยๆ หมุนวาล์วสีดำที่ถึงก๊าซในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาให้เปิดเล็กน้อย จากนั้นทำการหมุนวาล์วสแตนเลสตามเข็มนาฬิกา ให้เกทวัดปริมาณก๊าซได้ 3 MPa แล้วหมุนวาล์วสแตนเลสกลับในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและหมุนวาล์วสีดำกลับเพื่อปิดก๊าซไม่ให้ออกจากถัง
- 11) หมุนคลายหัวทองเหลืองและนำวงยางสีดำออกจากฝาบอมบ์ เป็นการเสร็จสิ้นการเตรียมลูกบอมบ์และตัวอย่าง



รูปที่ 3.7 ฝาลูกบอมบ์บนขาตั้ง



รูปที่ 3.8 ลูกบอมบ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ถังก๊าซออกซิเจน

ขั้นตอนการตรวจสอบการรั่วของลูกบอมบ์

ทำการทดสอบการรั่วในขณะที่ยังไม่ได้ใส่ตัวอย่างลงในลูกบอมบ์ โดยการปิดฝาลูกบอมบ์ให้แน่น แล้วอัดก๊าซออกซิเจนเข้าไปตั้งวิธีที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นนำลูกบอมบ์ลงไปแช่ในถังสแตนเลสสำหรับวางลูกบอมบ์ หากมีฟองอากาศผุดขึ้นหมายความว่า ลูกบอมบ์มีการรั่ว และหากไม่มีฟองอากาศผุดออกมาหมายความว่า สามารถใช้ลูกบอมบ์นั้นในการวิเคราะห์ได้ จากนั้นให้นำก๊าซออกซิเจนออกโดยการสวมหัวทองเหลืองสำหรับดึงก๊าซลงทางรูเดียวกับที่อัดก๊าซข้างต้น ดังรูปที่ 3.10 และนำลูกบอมบ์ไปใช้วิเคราะห์ตัวอย่างได้ตามปกติ โดยควรทำการตรวจสอบการรั่วก่อนเริ่มทำการวิเคราะห์ทุกครั้ง



รูปที่ 3.10 การดึงก๊าซออกจากลูกบอมบ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดสอบตัวอย่าง

- 1) ทำการใส่เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะลงในรูสีขาวด้านบนเครื่อง
 - 2) จากนั้นวางถังสแตนเลสที่มีน้ำเปล่า 3 ลิตรให้ตรงกับช่องด้านในของเครื่อง ซึ่งมีหมุดสีแดง เป็นสัญลักษณ์บอกขอบเขตที่ควรวางถัง ดังรูปที่ 3.11
 - 3) เสียบสายจุกตะเบิดสีแดง 2 เส้นเข้ากับฝาลูกบอมบ์ ดังรูปที่ 3.12
 - 4) หลังจากนั้นนำลูกบอมบ์ที่มีตัวอย่างอยู่ด้านใน ผ่านการอัดก๊าซและเสียบสายจุกตะเบิดแล้ว วางลงในแท่นภายในถังสแตนเลส
 - 5) ค่อยๆ ปิดฝาเครื่อง ควรระวังใบพัดสัมผัสกับลูกบอมบ์
 - 6) ใส่แท่งวัดอุณหภูมิสีขาวลงในรูบนฝาเครื่อง
 - 7) เสียบปลั๊กไฟ และกดปุ่ม Power เพื่อเปิดเครื่องวิเคราะห์
 - 8) กดปุ่ม Stir 1 ครั้ง เพื่อให้ใบพัดเริ่มทำหน้าที่พัดคววน้ำ รอจนอุณหภูมิที่ปรากฏบนจอคงที่
 - 9) จากนั้นกดปุ่ม Reset 1 ครั้งและกดปุ่ม Ignite ค้าง 2 วินาที เพื่อเริ่มการเผาไหม้ตัวอย่าง สังเกตที่ปุ่ม Data จะต้องมีไฟสีแดงปรากฏขึ้น
 - 10) รอเครื่องทำการวิเคราะห์ โดยระบบจะวิเคราะห์ทั้งหมด 31 รอบต่อตัวอย่าง หน้าจอ Times จะเริ่มตั้งแต่ 00 จนถึง 31 จะใช้เวลาประมาณ 15 นาที
 - 11) เมื่อวิเคราะห์ครบ 31 รอบแล้ว ระบบจะทำการตัดกลับเป็น 00 โดยอัตโนมัติ ผู้วิเคราะห์สามารถกดปุ่ม Data เพื่อดูอุณหภูมิตั้งแต่รอบ 00 จนถึง 31 ได้ ทำการบันทึกอุณหภูมิที่รอบ 00 และ 31 เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความร้อนของตัวอย่างต่อไป
 - 12) เมื่อบันทึกเสร็จแล้ว ให้กดปุ่ม End จากนั้นทำการเปิดฝาเครื่องออก นำลูกบอมบ์ออกมา จากถังสแตนเลสและดึงสายจุกตะเบิดออก
 - 13) ทำการดึงก๊าซออกซิเจนออกจากลูกบอมบ์โดยการสวมหัวทองเหลืองสำหรับดึงก๊าซลงในรูด้านบนของลูกบอมบ์ กดลงไปจนกว่าเสียงปล่อยก๊าซจะหยุดดัง แล้วดึงออก
 - 14) เปิดฝาลูกบอมบ์เพื่อตรวจสอบว่าตัวอย่างถูกเผาไหม้หมดหรือไม่ แล้วนำลวดที่เหลือติดอยู่กับตัวล็อกที่ขาตั้งไปชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าความร้อนของตัวอย่าง
 - 15) ล้างและเช็ดคราบเขม่าในครุชเปิดออก จากนั้นเปลี่ยนน้ำเปล่าในถังสแตนเลส เนื่องจากน้ำที่ผ่านการวิเคราะห์ตัวอย่างแล้วจะมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติ หากใช้น้ำซ้ำอาจทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้ แล้วทำการวิเคราะห์ตัวอย่างถัดไป
- การวิเคราะห์ตัวอย่างนั้นจำเป็นต้องวิเคราะห์หาค่าความจุความร้อนของกรดเบนโซอิก (Benzoic) ที่เป็นของแข็งก่อน เพื่อนำไปเป็นตัวแปรหนึ่งในการคำนวณค่าความร้อนของตัวอย่าง โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดสอบตัวอย่าง



รูปที่ 3.11 ขอบเขตการวางถังสแตนเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ลูกบอมบ์ที่เสียบสายจลุดระเบิดแล้ว

การคำนวณค่าความร้อนของตัวอย่าง

ทำการคำนวณค่าความจุความร้อนของกรดเบนโซอิก ในหน่วยจูลต่อองศาเซลเซียส
ดังสมการที่ 3.3 และ 3.4

$$E = \frac{Q_1M_1 + Q_2M_2}{\Delta T} \quad (3.3)$$

โดยที่ E คือ ความจุความร้อนของกรดเบนโซอิก (J/°C)

Q_1 คือ ค่าความร้อนของกรดเบนโซอิก (J/g)

M_1 คือ น้ำหนักของกรดเบนโซอิก (g)

Q_2 คือ ค่าความร้อนของลวดจลุดระเบิด (J/g)

M_2 คือ น้ำหนักของลวดจลุดระเบิดที่ใช้เผาไหม้ (น้ำหนักเริ่มต้น - น้ำหนักสุดท้าย) (g)

ΔT คือ อุณหภูมิของระบบที่ต่างกันระหว่างรอบ 00 ถึง 31 (°C)

$$\Delta T = t_n - t_0 \quad (3.4)$$

โดยที่ t_n คือ อุณหภูมิ ณ รอบที่ 31

t_0 คือ อุณหภูมิเริ่มต้น ณ รอบที่ 00

คำนวณค่าความร้อนของตัวอย่าง ในหน่วยจูลต่อกรัม ดังสมการที่ 3.5

$$Q = \frac{E\Delta T - 40}{G} \quad (3.5)$$

โดยที่ Q คือ ค่าความร้อนของตัวอย่าง (J/g)

E คือ ความจุความร้อนจากการวิเคราะห์กรดเบนโซอิก (J/°C)

ΔT คือ อุณหภูมิของระบบที่ต่างกันระหว่างรอบ 00 ถึง 31 (°C) จากการวิเคราะห์ ตัวอย่าง (°C)

G คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

40 คือ ค่าคงที่ของความร้อนทั้งหมดที่ผลิตโดยลวดจุดระเบิด

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณค่าความจุความร้อนของกรดเบนโซอิก แทนค่าในสมการที่ 3.3 ดังนี้

ค่าความร้อนของกรดเบนโซอิก (Q_1) เท่ากับ 26,467 J/g

น้ำหนักตัวอย่างกรดเบนโซอิก (M_1) เท่ากับ 1.0002 กรัม

ค่าความร้อนของลวดจุดระเบิด (Q_2) เท่ากับ 27 J/g

น้ำหนักของลวดจุดระเบิดเริ่มต้น เท่ากับ 0.0073 g

น้ำหนักของลวดจุดระเบิดคงเหลือหลังเผาไหม้ เท่ากับ 0.0028 g

อุณหภูมิ ณ รอบที่ 00 (t_0) เท่ากับ 30.117 °C

อุณหภูมิ ณ รอบที่ 31 (t_n) เท่ากับ 31.769 °C

$$E = \frac{Q_1 M_1 + Q_2 M_2}{\Delta T}$$

$$E = \frac{(26467 \times 1.0002) + (27 \times (0.0073 - 0.0028))}{31.769 - 30.117}$$

$$E = 16,024.46 \text{ J/}^\circ\text{C}$$

การคำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงดีเซล แทนค่าในสมการที่ 3.5 ดังนี้

ความจุความร้อนจากการวิเคราะห์กรดเบนโซอิก (E) เท่ากับ 16,024.46 J/°C

อุณหภูมิ ณ รอบที่ 00 (t_0) เท่ากับ 30.290 °C

อุณหภูมิ ณ รอบที่ 31 (t_n) เท่ากับ 33.220 °C

น้ำหนักตัวอย่างเชื้อเพลิงดีเซล (G) เท่ากับ 1.0000 g

ค่าคงที่ของความร้อนทั้งหมดที่ผลิตโดยลวดจุดระเบิด เท่ากับ 40

$$Q = \frac{E \Delta T - 40}{G}$$

$$Q = \frac{(16024.46 \times (33.220 - 30.290)) - 40}{1.000}$$

$$Q = 46,911.68 \text{ J/g}$$

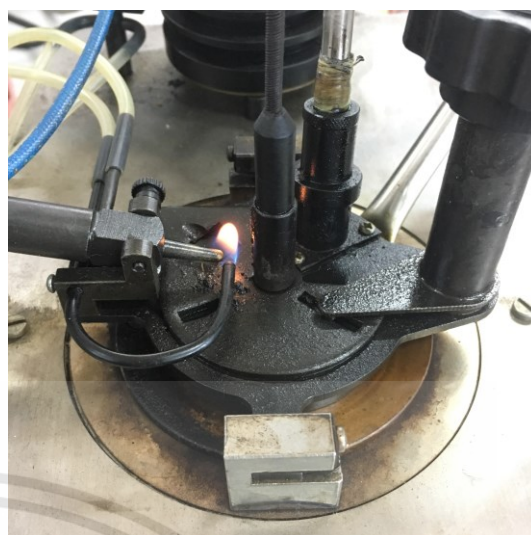
3.4.3.5 จุดวาบไฟ (Flash Point)

ทำการวิเคราะห์จุดวาบไฟแบบปิด ด้วยเครื่องวิเคราะห์จุดวาบไฟ Flash Point by Pensky Martens Closed Cup ยี่ห้อ West tune รุ่น SYD-261 ดังรูปที่ 3.13 ณ ห้องปฏิบัติการของบริษัท วีระสุวรรณ จำกัด ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D93 ดังนี้ (ASTM. 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 เครื่องวิเคราะห์จุดวาบไฟแบบปิด



รูปที่ 3.14 ลูกไฟสำหรับทดสอบจุดวาบไฟ

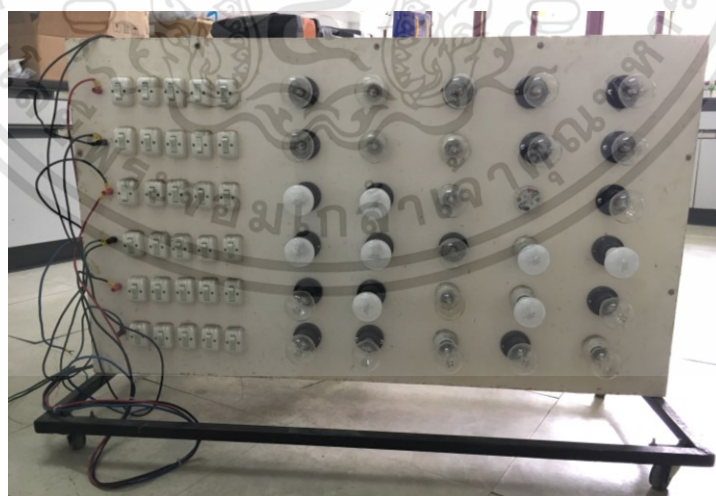
- 1) เทตัวอย่างเชื้อเพลิงลงในถ้วยโลหะทดสอบ ปริมาตรเท่าขีดบอกระดับของเหลวภายในถ้วย ประมาณ 70 มิลลิลิตร
- 2) วางถ้วยตัวอย่างลงในเตาทดสอบ ปิดฝาครอบถ้วย ซึ่งประกอบไปด้วยเทอร์โมมิเตอร์และสายกวนตัวอย่าง โดยให้หมუნฝาให้ตรงกับส่วนล็อก
- 3) ก่อนเริ่มจุ่มลูกไฟ ถ้วยและตัวอย่างควรมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดวาบไฟที่คาดการณ์มากพอสมควร
- 4) เปิดแก๊สเข้าระบบ และเปิดเครื่องโดยกดปุ่ม Power
- 5) หมุนปรับปุ่มควบคุมความร้อน (Heating regulation) ประมาณ 130 โวลต์ และเปิดสวิตช์การกวนที่ปุ่ม Stirrer
- 6) จุ่มลูกไฟด้วยปืนจุดเตาแก๊สและปรับลูกไฟให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3.2 ถึง 4.8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.14
- 7) หมุนให้รูบนฝาครอบถ้วยตัวอย่างเปิดออกซึ่งจะตรงกับตำแหน่งของลูกไฟพอดี เรียกว่าการจุ่มลูกไฟ ทำการจุ่มลูกไฟต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส โดยควบคุมเวลาในการจุ่มให้ได้ 1 วินาทีต่อครั้งจนกระทั่งพบจุดวาบไฟโดยสังเกตประกายไฟที่วาบขึ้นมา
- 8) เมื่อพบจุดวาบไฟแล้วให้ทำการดับลูกไฟ และปิดสวิตช์ปุ่ม Stirrer หมุนปิดปุ่มควบคุมความร้อนและปิดสวิตช์ปุ่ม Power ตามลำดับ
- 9) เปิดฝาครอบถ้วยตัวอย่างออก เทตัวอย่างทิ้ง เช็ดถ้วยตัวอย่าง และรออุณหภูมิของถ้วยตัวอย่างลดลง
- 10) เมื่ออุณหภูมิของถ้วยตัวอย่างเย็นลงจนถึงอุณหภูมิที่สามารถทำการทดลองครั้งใหม่ได้ ซึ่งอุณหภูมิต้องต่ำกว่าจุดวาบไฟที่คาดการณ์ดังเช่นข้อ 3) ให้ทำการใส่ตัวอย่างและทดลองซ้ำดังข้อ 1) ถึง ข้อ 9)
- 11) ปิดวาล์วแก๊สเป็นลำดับสุดท้ายเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง
- 12) ถ้าจุดวาบไฟจริงอยู่นอกช่วง ± 5 องศาเซลเซียสของจุดวาบไฟที่คาดการณ์ ให้ทำการทดสอบใหม่โดยล็อกจุดวาบไฟที่คาดการณ์ใหม่ให้ใกล้เคียงกับจุดวาบไฟจริง และรายงานผลจุดวาบไฟ ณ ความดันบรรยากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท

3.4.4 การติดตั้งเครื่องยนต์ดีเซลและระบบทดสอบ

ติดตั้งเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ชนิดลูกสูบเดี่ยวแบบตั้ง ยี่ห้อ MITSUKI รุ่น MIT-178F ขนาด 7.0 แรงม้า บนแท่นเหล็กหล่อเลื่อน และเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ยี่ห้อ SUN รุ่น ST-3 ซึ่งมีหน้าที่แปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยสายพานยี่ห้อ BANDO รุ่น B-53 จำนวน 2 เส้น ดังรูปที่ 3.15 จากนั้นทำการเชื่อมต่อกับแผงหลอดไฟเพื่อเป็นภาระรับกระแส (Load) ทดสอบ โดยประกอบไปด้วยหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 30 ดวง ดังรูปที่ 3.16 และใช้เครื่องมือทางไฟฟ้าทำการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ได้แก่ Power Analysis Meter คือ เครื่องมือตรวจวัดปริมาณกำลังไฟฟ้า Auto Transformer คือ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ Multimeter คือ เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันและตัวต้านทาน Clamp meter คือ เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า และ Tachometer คือ เครื่องวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.17 ถึง 3.21

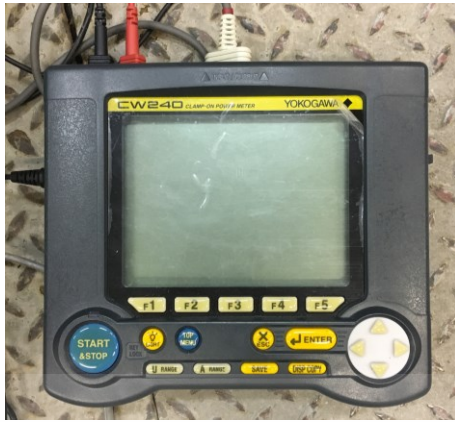


รูปที่ 3.15 ระบบเครื่องยนต์ที่ศึกษา



รูปที่ 3.16 ภาระรับกระแส (Load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 Power analysis meter



รูปที่ 3.18 Auto transformer



รูปที่ 3.19 Multimeter



รูปที่ 3.20 Clamp meter



รูปที่ 3.21 Tachometer

3.4.5 วิธีการใช้งานเครื่องยนต์

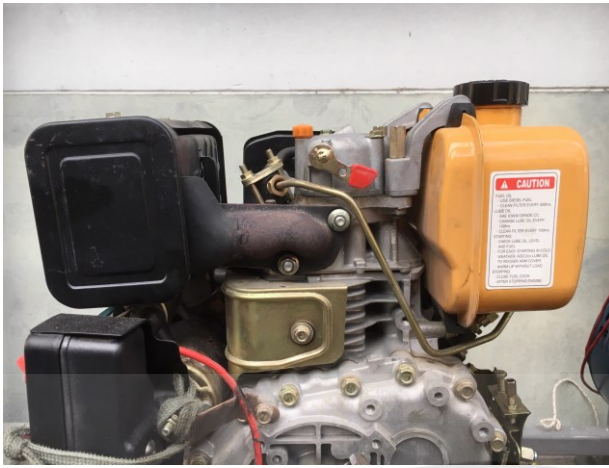
3.4.5.1 ขั้นตอนการเริ่มต้นและเสร็จสิ้นการทำงานของเครื่องยนต์

1) เมื่อต้องการเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์ ให้ทำการกดคันโยกสีแดงบริเวณด้านบนของเครื่องยนต์ลงมาอยู่ในแนวนอน ดังรูปที่ 3.22 จากนั้นเสียบลูกกุญแจที่กล่องสีดำด้านข้างของเครื่องยนต์

2) ปิดลูกกุญแจไปทางขวาที่คำว่า start ค้างไว้ประมาณ 2 – 3 วินาที จากนั้นจึงปล่อยมือ ลูกกุญแจจะหมุนกลับมาที่คำว่า run ดังรูปที่ 3.23 และคันโยกสีแดงจะตั้งขึ้นกลับมาโดยอัตโนมัติ

3) เมื่อการเริ่มต้นการทำงานของเครื่องยนต์สำเร็จ สายพานและเพลลาจะหมุน เครื่องยนต์จะมีการสั่นสะเทือนค่อนข้างแรงและมีควันออกจากท่อไอเสียมากกว่าปกติเล็กน้อย

4) หากต้องการเสร็จสิ้นการทำงานของเครื่องยนต์ ทำได้โดยการกดคันโยกสีแดงลงมาให้อยู่ในแนวนอน ลักษณะเดียวกับข้อ 1) และกดค้างไว้จนกว่าเครื่องยนต์จะดับสนิทจึงปล่อยมือ



รูปที่ 3.22 คันโยก



รูปที่ 3.23 กล่องเสียบลูกกุญแจ

3.4.5.2 ขั้นตอนการถ่ายเชื้อเพลิงออกจากเครื่องยนต์

- 1) หมุนเกลียวเปิดวาล์วเชื้อเพลิงที่ด้านขวาล่างของถังน้ำมัน ดังรูปที่ 3.24
- 2) นำกระบอกตวงที่มีมาตรวัดในหน่วยมิลลิลิตรรองเชื้อเพลิงที่ไหลออกจากถังน้ำมันจนกว่าจะไม่มีเชื้อเพลิงไหลออกมา
- 3) นำกระบอกตวงตั้งที่พื้นเรียบระดับสายตา เพื่ออ่านค่าระดับเชื้อเพลิงที่เหลือ ดังรูปที่ 3.25
- 4) นำค่าปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือจากการทดสอบที่อ่านค่าได้ไปคำนวณหาการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อไป



รูปที่ 3.24 ถังน้ำมัน



รูปที่ 3.25 กระบอกตวงเชื้อเพลิง

3.4.6 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิง

- 1) เตรียมเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม ชนิดละ 12 ลิตร
- 2) ทำความสะอาดถังน้ำมัน เพื่อไล่เชื้อเพลิงชนิดอื่นที่อาจค้างอยู่ออกจากเครื่องยนต์ โดยการใส่เชื้อเพลิงในถังน้ำมันเล็กน้อยและปล่อยให้ไหลออก
- 3) จากนั้นใส่เชื้อเพลิงดีเซลอีกครั้ง แล้วทำการเดินระบบเครื่องยนต์และภาระรับกระแส เพื่อตั้งค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้ได้ 3,000 รอบต่อนาที และตั้งค่ากำลังขาออกให้ได้ตามที่กำหนด โดยจะทดสอบที่ภาระรับกระแส 6 โหลด เริ่มต้นจาก 0.0 กิโลวัตต์ (ไม่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เมื่อได้ตั้งค่าความเร็วรอบและได้ค่ากำลังขาออกตามที่กำหนดแล้ว จึงเดินระบบเป็นเวลา 15 นาที

5) จากนั้นทำการถ่ายเชื้อเพลิงออกจนหมด แล้วเติมเชื้อเพลิงชนิดเดิมที่ทราบปริมาณที่แน่นอนลงไป (ประมาณ 2 ลิตรต่อภาระรับกระแส 1 โหลด)

6) สตาร์ทเครื่องและจับเวลา เดินระบบเป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อเชื้อเพลิงต่อโหลด พร้อมทั้งวัดก๊าซไอเสีย ณ บริเวณปากปล่องไอเสีย ทุกๆ 15 นาทีด้วยเครื่องวัดก๊าซดังรูปที่ 3.26 โดยการจ่อปลายโพรบวัดก๊าซขนานกับปากปล่องไอเสีย ให้ไอเสียลอดผ่านทะลุช่องที่มีเซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัด ซึ่งต้องมีการสอบเทียบความถูกต้องก่อนทำการตรวจวัดทุกครั้ง โดยนำโพรบไปวัดก๊าซในสถานที่ที่มีอากาศปกติจนกระทั่งหน้าจอแสดงค่าปริมาณก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 21.00% และไม่ปรากฏค่าปริมาณก๊าซชนิดอื่นๆ จึงทำการวัดและบันทึกปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และอุณหภูมิของเสีย พร้อมทั้งวัดความเร็วรอบของทั้งเครื่องยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3.26 เครื่องวัดก๊าซ

7) หลังจากเก็บผลการทดลองครบ 1 ชั่วโมง จึงทำการดับเครื่องยนต์

8) ทำการถ่ายเชื้อเพลิงที่อยู่ในถังน้ำมันลงในกระบอกตวง เพื่อหาปริมาตรเชื้อเพลิงที่เหลือและคำนวณปริมาตรเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเดินระบบ ณ ภาระรับกระแสต่างๆ

9) หลังจากนั้นทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ ข้อ 3) ถึง 8) โดยใช้เชื้อเพลิงชนิดเดิม แต่เปลี่ยนภาระรับกระแสเป็น 0.0 กิโลวัตต์ (เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กิโลวัตต์ตามลำดับ

10) เมื่อทำการทดลองที่ภาระรับกระแสครบทั้ง 6 โหลดแล้ว ให้ทำการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงชนิดถัดไป

11) ระหว่างการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแต่ละชนิดควรทำการตรวจสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลว่าสามารถทำงานได้เป็นปกติหรือไม่ ด้วยการเดินระบบโดยใช้เชื้อเพลิงดีเซลเป็นเวลา 15 – 30 นาที หากเครื่องยนต์สามารถทำงานได้ปกติ ไม่เกิดการสะดุดหรือติดขัด จึงทำการเปลี่ยนเชื้อเพลิงและทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2) ถึง 10)

12) นำผลการทดลองของเชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิดมาคำนวณหาพลังงานขาเข้า รวมถึงประสิทธิภาพของระบบเครื่องยนต์ ดังสมการที่ 3.6 ถึง 3.9

$$\text{กำลังขาเข้า (กิโลจูล/วินาที)} = \frac{\text{การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ลิตร)} \times \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (กิโลจูล/ลิตร)}}{\text{เวลา (วินาที)}} \quad (3.6)$$

$$\text{พลังงานขาเข้า (กิโลจูล)} = \text{กำลังขาเข้า (กิโลจูล/วินาที)} \times \text{เวลา (วินาที)} \quad (3.7)$$

$$\text{พลังงานขาออก (กิโลจูล)} = \text{กำลังขาออก (กิโลวัตต์)} \times \text{เวลา (วินาที)} \quad (3.8)$$

$$\text{ประสิทธิภาพของระบบ (ร้อยละ)} = 100 \times \frac{\text{พลังงานขาออก}}{\text{พลังงานขาเข้า}} \quad (3.9)$$

13) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์ระหว่างเชื้อเพลิงทดสอบและเชื้อเพลิงพื้นฐาน

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพของระบบ

ทำการคำนวณกำลังขาเข้าของเชื้อเพลิงดีเซล ที่ไหล 0.5 กิโลวัตต์แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหน่วย กิโลจูลต่อวินาที แทนค่าในสมการที่ 3.6 ดังนี้

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงดีเซล	39,860.85	กิโลจูล/ลิตร
การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซล	0.55	ลิตร
เวลา	3,600	วินาที

$$\text{กำลังขาเข้า (กิโลจูล/วินาที)} = \frac{\text{การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (ลิตร)} \times \text{ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (กิโลจูล/ลิตร)}}{\text{เวลา (วินาที)}}$$

$$\text{กำลังขาเข้า} = \frac{0.55 \times 39,860.85}{3,600}$$

$$\text{กำลังขาเข้า} = 6.0899 \text{ กิโลจูล/วินาที}$$

คำนวณพลังงานขาเข้าในหน่วย กิโลจูล แทนค่าในสมการที่ 3.7 ดังนี้

$$\text{พลังงานขาเข้า (กิโลจูล)} = \text{กำลังขาเข้า (กิโลจูล/วินาที)} \times \text{เวลา (วินาที)}$$

$$\text{พลังงานขาเข้า} = 6.0899 \times 3,600$$

$$\text{พลังงานขาเข้า} = 21,923.47 \text{ กิโลจูล}$$

คำนวณพลังงานขาออกในหน่วย กิโลจูล โดยแทนค่าในสมการที่ 3.8 ดังนี้

$$\text{พลังงานขาออก (กิโลจูล)} = \text{กำลังขาออก (กิโลวัตต์)} \times \text{เวลา (วินาที)}$$

$$\text{พลังงานขาออก} = 0.5 \times 3,600$$

$$\text{พลังงานขาออก} = 1,800 \text{ กิโลจูล}$$

คำนวณประสิทธิภาพของระบบ (ร้อยละ) แทนค่าในสมการที่ 3.9 ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของระบบ (ร้อยละ)} = 100 \times \frac{\text{พลังงานขาออก}}{\text{พลังงานขาเข้า}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพของระบบ} = 100 \times \frac{1,800}{21,923.47}$$

$$\text{ประสิทธิภาพของระบบ} = \text{ร้อยละ } 8.21$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการดำเนินงานวิจัยและวิเคราะห์ผล

จากการดำเนินการทดลองตามแผนงานที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถแบ่งการรายงานผลและวิเคราะห์ผลการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การศึกษาวิฤภาคและเสถียรภาพของเชื้อเพลิง การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิง และต้นทุนของเชื้อเพลิง โดยผลการทดลองที่ได้จะนำไปวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ดังนี้

4.1 การศึกษาวิฤภาคและเสถียรภาพของเชื้อเพลิง

การศึกษาวิฤภาคและเสถียรภาพของเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาโดยการผสมส่วนผสมตามสัดส่วนที่ได้ทำการคำนวณไว้แล้วข้างต้นและสังเกตการแยกชั้นของเชื้อเพลิงภายในระยะเวลา 14 วัน เพื่อหาสัดส่วนของส่วนผสมที่ดีที่สุดในการเตรียมเชื้อเพลิงนั้นๆ แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน คือ การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงดีเซลผสมน้ำมันปาล์มและแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม ทั้งชนิดที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว รวมไปถึงชนิดที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ซึ่งมีตัวย่อเชื้อเพลิงในการรายงานผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง ดังนี้

D	คือ เชื้อเพลิงดีเซล
B	คือ เชื้อเพลิงไบโอดีเซล
DB	คือ เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์
BB	คือ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์
PDB	คือ เชื้อเพลิงดีเซลผสมน้ำมันปาล์มและแอลกอฮอล์
ME-B	คือ เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว
ME-B/EHOH	คือ เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

ตัวอย่างการอธิบายตัวย่อในงานวิจัย

ME-B 15/5 คือ เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว ที่มีส่วนผสมของเอทานอล 15% และไบโอดีเซล 5%

ME-B/EHOH 25/3 คือ เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ที่มีส่วนผสมของเอทานอล 25% และไบโอดีเซลกับ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลรวมกัน 3%

4.1.1 เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (Diesel-alcohol blend)

สำหรับการเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ทำได้โดยการผสมเชื้อเพลิงดีเซลและเอทานอล ความบริสุทธิ์ 99.9% ที่สัดส่วนเอทานอลตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ

50% โดยปริมาตร จากปริมาตรรวมทั้งหมด 10 มิลลิลิตร และปริมาตรที่เหลือในแต่ละตัวอย่างจะเป็น ปริมาตรของเชื้อเพลิงดีเซล โดยพบว่า ตัวอย่างที่มีเอทานอลตั้งแต่ 25 ถึง 50% เป็นองค์ประกอบมี การแยกชั้นอย่างชัดเจนภายในระยะเวลา 15 นาทีแรกหลังจากเขย่าเบาๆ และตั้งทิ้งไว้ รวมไปถึง ตัวอย่างที่ผสมเอทานอล 20% ก็มีการแยกชั้นอย่างชัดเจนภายใน 1 วันเช่นกัน ส่วนตัวอย่างที่ผสม เอทานอลตั้งแต่ 0 ถึง 15% นั้นไม่พบการแยกชั้นภายในระยะเวลา 14 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 งานวิจัยนี้จึงเลือกตัวอย่างเชื้อเพลิงตั้งแต่ 5 ถึง 20% (DB 5 ถึง DB 20) นำไปศึกษาคุณสมบัติต่อไป โดยสาเหตุที่เลือกตัวอย่างที่มีเอทานอล 20% ด้วยเนื่องจากต้องการทดสอบเปรียบเทียบเพิ่มเติม เพื่อ หาสัดส่วนเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ที่ดีที่สุดที่เหมาะสมต่อการใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลได้ โดยตรง

4.1.2 เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ (Palm-oil-based-biodiesel-alcohol blend)

ในส่วนของการเตรียมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์นั้นมีขั้นตอนในการ ทดลองเช่นเดียวกับการเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ในข้อ 4.1.1 หากแต่เปลี่ยนเชื้อเพลิงจาก ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเท่านั้น จากการทดลองและการสังเกตพบว่า ตัวอย่างเชื้อเพลิงไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์มผสมเอทานอลในทุกสัดส่วนของเอทานอลตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 และ 50% โดยปริมาตรไม่มีการแยกชั้นอย่างชัดเจน ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งหมายความว่าเชื้อเพลิง ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มนั้นมีคุณสมบัติที่สามารถเป็นสารลดแรงตึงผิวได้ โดยทำให้เกิดการรวมตัว ระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์ได้อย่างดี งานวิจัยนี้จึงเลือกตัวอย่างเชื้อเพลิงตั้งแต่ 5 ถึง 20% (BB 5 ถึง BB 20) เช่นเดียวกับข้อ 4.1.1 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติกับเชื้อเพลิงดีเซลผสม แอลกอฮอล์

ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจาก น้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์

ร้อยละของเอทานอล	ระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิง	
	Diesel-alcohol blend	Palm-oil-based-biodiesel-alcohol blend
0	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
5	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
10	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
15	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
20	1 วัน	ไม่แยกชั้น
25	15 นาที	ไม่แยกชั้น
30	15 นาที	ไม่แยกชั้น
35	15 นาที	ไม่แยกชั้น
40	15 นาที	ไม่แยกชั้น
50	15 นาที	ไม่แยกชั้น

หมายเหตุ ไม่แยกชั้น หมายถึง เชื้อเพลิงที่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เกิดการแยกชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 เชื้อเพลิงดีเซลผสมน้ำมันปาล์มและแอลกอฮอล์ (Palm oil-diesel blend)

ในการศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์มจะต้องมีการหาสัดส่วนเอทานอลที่น้อยที่สุดที่เมื่อผสมกับน้ำมันปาล์มและเชื้อเพลิงดีเซลแล้วทำให้เกิดการแยกชั้นอย่างชัดเจนก่อน เพื่อให้ทราบว่าสัดส่วนเอทานอลใดควรจะนำไปผสมกับสารลดแรงตึงผิวหรือสารลดแรงตึงผิวร่วม แล้วทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันได้ โดยการศึกษาสัดส่วนเอทานอลนั้นทำได้โดยการผสมน้ำมันปาล์มและเชื้อเพลิงดีเซลในอัตราส่วน 1:1 และกำหนดปริมาตรส่วนน้ำมันทั้งหมด 5 มิลลิลิตร (Attaphong et al. 2017) จากนั้นทำการเติมเอทานอลตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50% ของปริมาตรส่วนน้ำมัน เขย่าและสังเกตการเกิดวัฏภาคและเสถียรภาพ ซึ่งพบว่า เชื้อเพลิงที่มีการแยกชั้นอย่างชัดเจนตั้งแต่ 15 นาทีแรก ได้แก่ เชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนเอทานอลตั้งแต่ 25 - 50% ดังตารางที่ 4.2 โดยสัดส่วนเอทานอลที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการแยกชั้นของตัวอย่างเชื้อเพลิงอย่างชัดเจนภายในระยะเวลา 14 วัน คือ 25% (PDB 25) จึงนำสัดส่วนนี้ไปใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันต่อไป

ตารางที่ 4.2 ระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิงดีเซลผสมน้ำมันปาล์มและแอลกอฮอล์

ร้อยละของเอทานอล	ระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิง
	Palm oil-diesel blend
0	ไม่แยกชั้น
5	ไม่แยกชั้น
10	ไม่แยกชั้น
15	ไม่แยกชั้น
20	ไม่แยกชั้น
25	15 นาที
30	15 นาที
35	15 นาที
40	15 นาที
45	15 นาที
50	15 นาที

หมายเหตุ ไม่แยกชั้น หมายถึง เชื้อเพลิงที่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เกิดการแยกชั้น

4.1.4 เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม

จากที่ได้กล่าวไปข้างต้นว่าในการศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์นั้นพบว่า เชื้อเพลิงไบโอดีเซลสามารถผสมรวมกับเอทานอลได้อย่างดี มีคุณสมบัติที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้เป็นสารลดแรงตึงผิว งานวิจัยนี้จึงนำมาประยุกต์ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน ซึ่งเป็นอีกวิธีหนึ่งในการลดความหนืดของเชื้อเพลิง โดยมีการเติมเอทานอลเป็นสารลดความหนืด และใช้สารลดแรงตึงผิวหรือสารลดแรงตึงผิวร่วมผสมร่วมด้วยเพื่อช่วยให้เชื้อเพลิงมีความเข้ากันได้ ทำให้เกิดเป็นเชื้อเพลิงที่มีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเป็นคุณลักษณะของเชื้อเพลิงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองจากข้อ 4.1.3 พบว่า สัดส่วนของเอทานอลที่น้อยที่สุดที่ทำให้น้ำมันปาล์มเชื้อเพลิงดีเซลและเอทานอลแยกชั้นกันอย่างชัดเจนคือที่สัดส่วน 25% จึงนำสัดส่วนนี้มาศึกษาต่อไป ดังนี้

4.1.4.1 เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว

การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว ทำได้โดยการใช้สัดส่วนน้ำมันและแอลกอฮอล์จากการทดลองในข้อ 4.1.3 ซึ่งได้แก่ สัดส่วนเอทานอล 25% ของปริมาตรส่วนน้ำมัน มาเติมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มตามสัดส่วนตั้งแต่ 1- 10% ของปริมาตรส่วนน้ำมัน เพื่อทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว และคัดเลือกตัวอย่างที่เติมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มในสัดส่วนที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการรวมส่วนน้ำมันและส่วนแอลกอฮอล์เป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ประกอบไปด้วยเอทานอล 25% นั้น มีตัวอย่างที่เติมไบโอดีเซลแล้วทำให้เกิดการแยกชั้นภายใน 14 วัน คือ ตัวอย่างที่มีสัดส่วนไบโอดีเซลตั้งแต่ 1 - 5% ซึ่งแยกชั้นภายใน 15 นาทีแรกจนถึง 7 วันตามลำดับ และมีตัวอย่างที่ไม่เกิดการแยกชั้นภายในระยะเวลา 14 วัน คือ ตัวอย่างที่มีสัดส่วนไบโอดีเซล 6 - 10% ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งถือว่าเป็นการเติมสารลดแรงตึงผิวในปริมาณมากเมื่อเทียบกับการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในก่อนหน้า (Attaphong et al. 2012 ; Neto et al. 2011) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการลดปริมาณเอทานอลลง เพื่อหาปริมาณไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่เหมาะสม โดยเลือกศึกษาที่สัดส่วนเอทานอลตั้งแต่ 5 - 20% พบว่า ตัวอย่างที่เติมเอทานอลทุกสัดส่วนไม่พบการแยกชั้นอย่างชัดเจนภายใน 14 วัน จึงทำการเลือกตัวอย่างไปทดสอบคุณสมบัติต่อไป ดังนี้

1) ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนเอทานอล 10% โดยปริมาตร และผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มในสัดส่วน 1% โดยปริมาตร (ME-B 10/1) เนื่องจากเป็นสัดส่วนของเอทานอลที่มีความเป็นไปได้ที่อาจทำให้เชื้อเพลิงมีค่าความหนืดที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์ และเป็นปริมาณการเติมสารลดแรงตึงผิวที่น้อยที่สุด

2) ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนเอทานอล 10% โดยปริมาตร ผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มในสัดส่วน 5% (ME-B 10/5) เนื่องจากมีการอ้างอิงว่า การผสมสารลดแรงตึงผิว 5% โดยปริมาตรเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดที่ควรผสมลงในเชื้อเพลิง (Neto et al. 2011)

3) ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนเอทานอล 15% และ 20% โดยปริมาตร ที่ผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลในสัดส่วน 5% (ME-B 15/5 และ ME-B 20/5) เนื่องจากเป็นสัดส่วนเอทานอลและไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่มีความเป็นไปได้ด้วยเหตุผลข้างต้นที่กล่าวว่าการผสมสารลดแรงตึงผิว 5% โดยปริมาตรเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดที่ควรผสมลงในเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.3 ระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว

ร้อยละของไบโอดีเซล	ระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิง				
	เอทานอล 5%	เอทานอล 10%	เอทานอล 15%	เอทานอล 20%	เอทานอล 25%
1	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	15 นาที
2	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	15 นาที
3	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	1 วัน
4	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	3 วัน
5	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	7 วัน
6	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
7	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
8	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
9	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
10	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น

หมายเหตุ ไม่แยกชั้น หมายถึง เชื้อเพลิงที่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เกิดการแยกชั้น

4.1.4.2 เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบว่า การเติมสารลดแรงตึงผิวลงในเชื้อเพลิงนั้น อาจทำให้คุณสมบัติของเชื้อเพลิงยังไม่เหมาะสมตามมาตรฐานเชื้อเพลิง (กรมธุรกิจพลังงาน. 2556) และได้มีการศึกษาวิจัยด้านการเติมสารลดแรงตึงผิวร่วมลงไปเพื่อเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงให้ดียิ่งขึ้น จึงทำการเลือกสารเคมี 2-เอทิล-1-เฮกซานอล (EHOH) เพื่อทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมในงานวิจัยนี้ เนื่องจากต้องการเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยของ Attaphong et al. (2012) ที่ใช้ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ในอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:16 และยังคงใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวดังเดิม เพื่อให้สามารถนำไปเปรียบเทียบคุณสมบัติและสมรรถนะกับเชื้อเพลิงในข้อ 4.1.4.1 ได้ และเมื่อทำการศึกษาระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ศึกษาที่สัดส่วนเอทานอล 25% โดยปริมาตร ซึ่งได้มาจากการทดลองในข้อ 4.1.3 และที่สัดส่วนเอทานอล 40% โดยปริมาตรซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยของ Attaphong โดยที่กำหนดสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่อัตราส่วน 1:16 ตั้งแต่ 1 ถึง 10% โดยปริมาตร พบว่า ตัวอย่างที่เติมเอทานอล 40% โดยปริมาตรนั้น มีการแยกชั้นอย่างชัดเจนเริ่มต้นตั้งแต่ 15 นาทีแรกของการสังเกต และภายในระยะเวลา 14 วันมีการแยกชั้นตั้งแต่สัดส่วนสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม 1 ถึง 5% โดยปริมาตร แต่ในส่วนของตัวอย่างที่เติมเอทานอลเพียง 25% โดยปริมาตรนั้นมีการแยกชั้นอย่างชัดเจนภายในระยะเวลา 14 วัน เพียงสัดส่วนเดียว คือ สัดส่วนสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม 1% โดยแยกชั้นที่ 12 วัน ดัง

ตารางที่ 4.4 ดังนั้นตัวอย่างที่ผสมสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม 2% โดยปริมาตรเป็นสัดส่วนที่น้อยที่สุดที่ทำให้ตัวอย่างเชื้อเพลิงไม่เกิดการแยกชั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกตัวอย่างเชื้อเพลิงที่สัดส่วนเอทานอล 25% และมีส่วนผสมของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวมตั้งแต่ 1 - 4% โดยปริมาตรส่วนน้ำมัน (ME-B/EHOH 25/1, 25/2, 25/3 และ 25/4) เนื่องจากต้องการศึกษาสัดส่วนสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวมที่ใกล้เคียงกับ 2% เพิ่มเติม เพื่อนำไปเปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงและนำไปประกอบการตัดสินใจต่อไป

ตารางที่ 4.4 ระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม

ร้อยละของไบโอดีเซลและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอล	ระยะเวลาการแยกชั้นของเชื้อเพลิง	
	เอทานอล 25%	เอทานอล 40%
1	12 วัน	15 นาที
2	ไม่แยกชั้น	15 นาที
3	ไม่แยกชั้น	3 วัน
4	ไม่แยกชั้น	6 วัน
5	ไม่แยกชั้น	12 วัน
6	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
7	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
8	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
9	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น
10	ไม่แยกชั้น	ไม่แยกชั้น

หมายเหตุ ไม่แยกชั้น หมายถึง เชื้อเพลิงที่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันและไม่เกิดการแยกชั้น

4.2 การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

การศึกษาวงศาและเสถียรภาพของเชื้อเพลิงในข้างต้นเป็นการคัดเลือกสัดส่วนของส่วนผสมต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการเตรียมเชื้อเพลิง โดยการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ได้แก่ ความหนาแน่น (density) จุดขุ่นและจุดไหลเท (cloud point and pour point) ความหนืดจลนศาสตร์และความหนืดพลวัต (Kinematic and Dynamic viscosity) ค่าความร้อน (heating values) และจุดวาบไฟ (flash point) เป็นการคัดเลือกในขั้นต่อไปเพื่อหาเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนและคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดต่อการนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์โดยตรง

4.2.1 เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (Diesel-alcohol blend) และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ (Palm-oil-based-biodiesel-alcohol blend)

การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงไม่ว่าจะเป็น ความหนาแน่น จุดขุ่นและจุดไหลเท ความหนืดจลนศาสตร์และความหนืดพลวัต ค่าความร้อน และจุดวาบไฟ ล้วนเป็นตัวแปรสำคัญในการคัดเลือกเชื้อเพลิง โดยทำการทดลองตามวิธีการทดลองในบทที่ 3 และนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล สำหรับผลการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลกอฮอล์และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์นั้นเป็นไปตามตารางที่ 4.5 พบว่า เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ที่สัดส่วนเอทานอล 10% โดยปริมาตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.84 กรัมต่อมิลลิลิตรและความหนืดจลนศาสตร์ 2.6 เซนติสโตกส์ ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดต่อการนำไปใช้งาน เนื่องจากหากพิจารณาด้านความหนาแน่นของเชื้อเพลิงซึ่งมีค่ามาตรฐานความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซลอยู่ในช่วง 0.84 – 0.86 กรัมต่อมิลลิลิตร (Munroe, 2016) สัดส่วนเอทานอลนี้เป็นสัดส่วนที่มีค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อพิจารณาด้านความหนืดจลนศาสตร์จะมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน คือช่วง 1.9 – 4.1 เซนติสโตกส์ (Munroe, 2016) ประกอบกับความต้องการที่จะเลือกสัดส่วนเอทานอลของเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ให้อยู่ในสัดส่วนเดียวกัน จึงทำการพิจารณาโดยอิงจากการคัดเลือกเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์ด้วย ซึ่งเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ที่มีสัดส่วนเอทานอล 5% โดยปริมาตรนั้นมีค่าความหนาแน่น 0.87 กรัมต่อมิลลิลิตร และเป็นค่าที่เกินมาตรฐานความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซล จึงพิจารณาเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์ที่สัดส่วนเอทานอล 10% และ 15% พบว่า เชื้อเพลิงมีความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ 0.86 และ 0.85 กรัมต่อมิลลิลิตร แต่เชื้อเพลิงที่สัดส่วนเอทานอล 10% มีค่าความร้อนมากกว่าที่สัดส่วน 15% ได้แก่ 37.68 และ 36.06 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งการที่เชื้อเพลิงมีค่าความร้อนน้อยกว่าอาจส่งผลเสียต่อการนำไปใช้งาน โดยจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น เพราะเครื่องยนต์ต้องใช้เชื้อเพลิงในปริมาณมากขึ้นเพื่อให้ได้กำลังขับเคลื่อนเท่าเดิม งานวิจัยนี้จึงเลือกเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดที่สัดส่วนเอทานอล 10% โดยปริมาตร (DB 10 และ BB 10) ไปทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ต่อไป

4.2.2 เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์ม

4.2.2.1 เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว

จากที่กล่าวไปข้างต้นว่าการเลือกเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวนั้นคัดเลือกตัวอย่างมา 4 ตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติ ได้แก่ ตัวอย่างที่มีสัดส่วนเอทานอล 10% ผสมกับไบโอดีเซล 1% (ME-B 10/1) ตัวอย่างสัดส่วนเอทานอล 10% ผสมกับไบโอดีเซล 5% (ME-B 10/5) ตัวอย่างสัดส่วนเอทานอล 15% ผสมกับไบโอดีเซล 5% (ME-B 15/5) และตัวอย่างสัดส่วนเอทานอล 20% ผสมกับไบโอดีเซล 5% (ME-B 20/5) ซึ่งจากการนำไปทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง จากตารางที่ 4.6 พบว่า เชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนเอทานอล 10% ที่ผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลทั้งสองสัดส่วน คือ ME-B 10/1 และ ME-B 10/5 นั้นมีค่าความหนืดจลนศาสตร์เท่ากับ 7.1 และ 7.7 เซนติสโตกส์ตามลำดับ ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐานความหนืดของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่อยู่ในช่วง 1.9 – 6.0 เซนติสโตกส์ (ASTM, 2013) ส่วนเชื้อเพลิงที่มีเอทานอล 15% และ 20% โดยปริมาตรนั้นมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.85 กรัมต่อมิลลิลิตร รวมถึงมีค่าความหนืดจลนศาสตร์เท่ากับ 5.5 และ 6.0 เซนติสโตกส์ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่เมื่อพิจารณาประกอบกับจุดชุ่นของเชื้อเพลิงจะพบว่า เชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนเอทานอล 20% โดยปริมาตรมีจุดชุ่นอยู่ที่ 18 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับจุดชุ่นของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่มีค่าเท่ากับ 5 และ 10 องศาเซลเซียส จะพบว่ามีค่าสูงกว่ามาก จนอาจทำให้เกิดปัญหาเชื้อเพลิงชุ่นจากการกักเก็บเชื้อเพลิงในบางสถานที่ได้ ในขณะที่เชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนเอทานอล 15% มีจุดชุ่นเท่ากับ 13 องศาเซลเซียส (ตัวอย่างเชื้อเพลิง ณ อุณหภูมิจุดชุ่น และหลังจากผ่านอุณหภูมิจุดไหลเท ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2) งานวิจัยนี้จึงเลือกเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

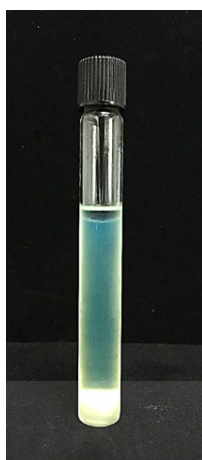
เป็นสารลดแรงตึงผิวในสัดส่วนเอทานอล 15% ผสมกับไบโอดีเซล 5% โดยปริมาตร (ME-B 15/5) ไปทำการศึกษามรรณะเครื่องยนต์ดีเซลต่อไป

4.2.2.2 เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม

ในขั้นตอนการหาสัดส่วนเอทานอลและสัดส่วนสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวมที่น้อยที่สุดที่ทำให้เชื้อเพลิงไม่เกิดการแยกชั้นในข้อที่ 4.1.4.2 คัดเลือกตัวอย่างที่เติมเอทานอล 25% ผสมสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม 1 – 4% โดยปริมาตร แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง จากตารางที่ 4.7 พบว่า ตัวอย่างที่มีสัดส่วนสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม 1% (ME-B/EHOH 25/1) มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.84 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซล แต่มีจุดชุ่นเท่ากับ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับจุดชุ่นของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มจากการทดลองที่มีค่าเท่ากับ 5 และ 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากในมาตรฐานคุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลนั้นไม่มีการกำหนดช่วงของจุดชุ่นที่ชัดเจน ในส่วนของตัวอย่างที่มีสัดส่วนสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม 2% (ME-B/EHOH 25/2) มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย คือ 0.83 กรัมต่อมิลลิลิตรและมีจุดชุ่นเท่ากับ 17 องศาเซลเซียสซึ่งยังคงมีค่าสูงเมื่อเทียบกับดีเซลและไบโอดีเซลอีกเช่นกัน ด้านตัวอย่างที่มีสัดส่วนสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม 3% (ME-B/EHOH 25/3) มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.83 กรัมต่อมิลลิลิตร แต่มีจุดชุ่นเท่ากับ 13 องศาเซลเซียส โดยมีค่าใกล้เคียงกับช่วงจุดชุ่นของไบโอดีเซลจากการทดลอง และตัวอย่างที่มีสัดส่วนสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม 4% (ME-B/EHOH 25/4) นั้นมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.82 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยตัวอย่างเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม 2% และ 3% (ME-B/EHOH 25/2 และ 25/3) มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากกว่า ประกอบกับเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม 3% (ME-B/EHOH 25/3) มีค่าความร้อน 40.51 เมกะจูลต่อกิโลกรัมซึ่งใกล้เคียงกับค่าความร้อนของไบโอดีเซลจากการทดลองที่มีค่า 41.06 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และมีจุดวาบไฟเท่ากับ 33 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นจุดวาบไฟที่ค่อนข้างต่ำ อันเนื่องมาจากผลของการผสมเอทานอลและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลซึ่งมีจุดวาบไฟที่ระบุนบนบรรจุภัณฑ์เท่ากับ 13 และ 77 องศาเซลเซียสตามลำดับ จึงเป็นเหตุผลให้งานวิจัยนี้เลือกเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม ในสัดส่วนเอทานอล 25% ผสมกับไบโอดีเซลและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลในสัดส่วน 3% โดยปริมาตร (ME-B/EHOH 25/3) ไปทำการศึกษามรรณะเครื่องยนต์ดีเซลต่อไป

สรุปเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านการคัดเลือกด้านวิฤภาค เสถียรภาพและคุณสมบัติ เพื่อไปทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิง เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงพื้นฐาน อันได้แก่ เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม มี 4 ตัวอย่างดังนี้

- 1) เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (DB 10)
- 2) เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (BB 10)
- 3) เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B 15/5)
- 4) เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม (ME-B/EHOH 25/3)



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างเชื้อเพลิง ณ อุณหภูมิจุดชุน



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างเชื้อเพลิงหลังจากผ่านอุณหภูมิจุดไหลเท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์

ตัวอย่างลำดับที่	ชื่อย่อ	ร้อยละของเอทานอล	คุณสมบัติของเชื้อเพลิง						
			จุดขุ่น (องศาเซลเซียส)	จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ความหนืดจลนศาสตร์ (เซนติสโตกส์)	ความหนืดพลวัต (เซนติพอยส์)	ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
1	DB 5	5	5	< 5	-	0.85	2.8	2.4	45.31
2	DB 10	10	13	< 5	50	0.84	2.6	2.1	43.25
3	DB 15	15	22	< 5	-	0.83	2.5	2.1	42.26
4	DB 20	20	24	< 5	-	0.82	2.4	2.0	40.50
5	BB 5	5	9	8	-	0.87	4.2	3.7	38.59
6	BB 10	10	8	7	47	0.86	3.8	3.2	37.68
7	BB 15	15	8	7	-	0.85	3.2	2.7	36.06
8	BB 20	20	7	6	-	0.84	3.2	2.7	34.70
ดีเซล			5	< 5	66	0.85	3.4	2.9	46.91
ไบโอดีเซล			10	9	145	0.87	4.4	3.9	41.06
เอทานอล			< 5	< 5	-	0.80	1.1	0.9	-
น้ำมันปาล์ม			10	8	-	0.89	39.3	35.1	39.39

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการทดสอบ

ตารางที่ 4.6 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว

ตัวอย่างลำดับที่	ชื่อย่อ	ร้อยละของเอทานอล	ร้อยละของไบโอดีเซล	คุณสมบัติของเชื้อเพลิง						
				จุดชุน (องศาเซลเซียส)	จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ความหนืดจลนศาสตร์ (เซนติสโตกส์)	ความหนืดพลวัต (เซนติพอยส์)	ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
1	ME-B 10/1	10	1	7	< 5	-	0.86	7.1	6.0	-
2	ME-B 10/5	10	5	9	< 5	-	0.86	7.7	6.6	-
3	ME-B 15/5	15	5	13	< 5	38	0.85	6.0	5.1	41.15
4	ME-B 20/5	20	5	18	< 5	-	0.85	5.5	4.6	40.37
ดีเซล				5	< 5	66	0.85	3.4	2.9	46.91
ไบโอดีเซล				10	9	145	0.87	4.4	3.9	41.06

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการทดสอบ

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

ตัวอย่างลำดับที่	ชื่อย่อ	ร้อยละของเอทานอล	ร้อยละของไบโอดีเซลและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอล	คุณสมบัติของเชื้อเพลิง						
				จุดชุน (องศาเซลเซียส)	จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	ความหนืดจลนศาสตร์ (เซนติสโตกส์)	ความหนืดพลวัต (เซนติพอยส์)	ค่าความร้อน (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)
1	ME-B/EHOH 25/1	25	1	20	< 5	-	0.84	5.8	4.9	41.44
2	ME-B/EHOH 25/2	25	2	17	< 5	-	0.83	5.7	4.8	41.10
3	ME-B/EHOH 25/3	25	3	13	< 5	33	0.83	5.7	4.7	40.51
4	ME-B/EHOH 25/4	25	4	9	< 5	-	0.82	5.6	4.6	38.56
ดีเซล				5	< 5	66	0.85	3.4	2.9	46.91
ไบโอดีเซล				10	9	145	0.87	4.4	3.9	41.06

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่มีการทดสอบ

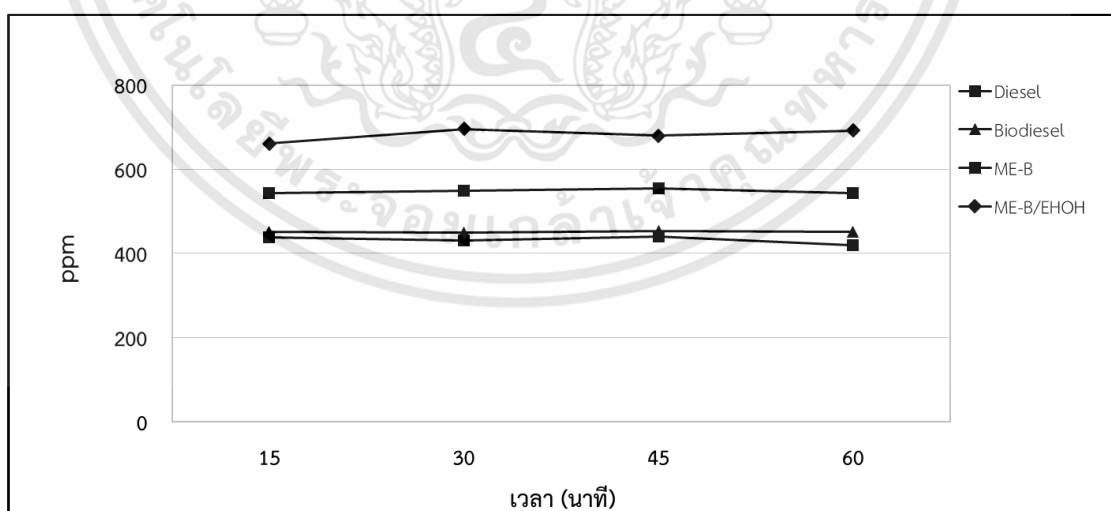
4.3 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิง

เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการศึกษาวงจรภาค เสถียรภาพ และการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแล้ว จะได้ว่าตัวอย่างเชื้อเพลิง ที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงพื้นฐาน คือ เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านการคัดเลือกได้แก่

- 1) เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (DB 10)
- 2) เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (BB 10)
- 3) เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B 15/5)
- 4) เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH 25/3)

การทดลองนี้เป็นการทดสอบเชื้อเพลิงทุกชนิดที่กล่าวมาข้างต้นที่ภาระรับกระแสเป็น 0.0 กิโลวัตต์ (ไม่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) 0.0 กิโลวัตต์ (เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กิโลวัตต์ ตามลำดับ ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 3,000 รอบต่อนาที ทำการทดลองเป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อโหลด พร้อมทั้งวัดก๊าซไอเสีย ณ บริเวณปากปล่องไอเสีย ทุกๆ 15 นาที บันทึกปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และอุณหภูมิของไอเสียด้วยเครื่องวัดก๊าซ อีกทั้งบันทึกการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบต่อไป

โดยการทดลองได้ทำการศึกษาที่โหลดตั้งที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมงพบว่า เมื่อทำการวัดปริมาณก๊าซต่างๆ จากการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดในทุกโหลดที่เวลา 15, 30, 45 และ 60 นาทีที่มีปริมาณไม่ต่างกันมาก ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่โหลด 0.0 กิโลวัตต์แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการทดลองแยกชนิดเชื้อเพลิงจะเห็นได้ว่า ภายใน 1 ชั่วโมงมีปริมาณก๊าซแตกต่างกันไม่เกิน ± 20 ส่วนในล้านส่วน หรือ ppm



รูปที่ 4.3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่โหลด 0.0 กิโลวัตต์แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากการทำการทดลองจริงมีเชื้อเพลิงชีวภาพที่สามารถเดินระบบเครื่องยนต์จนครบ 1 ชั่วโมงในทุกโหลดเพียง 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B 15/5) และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH 25/3) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

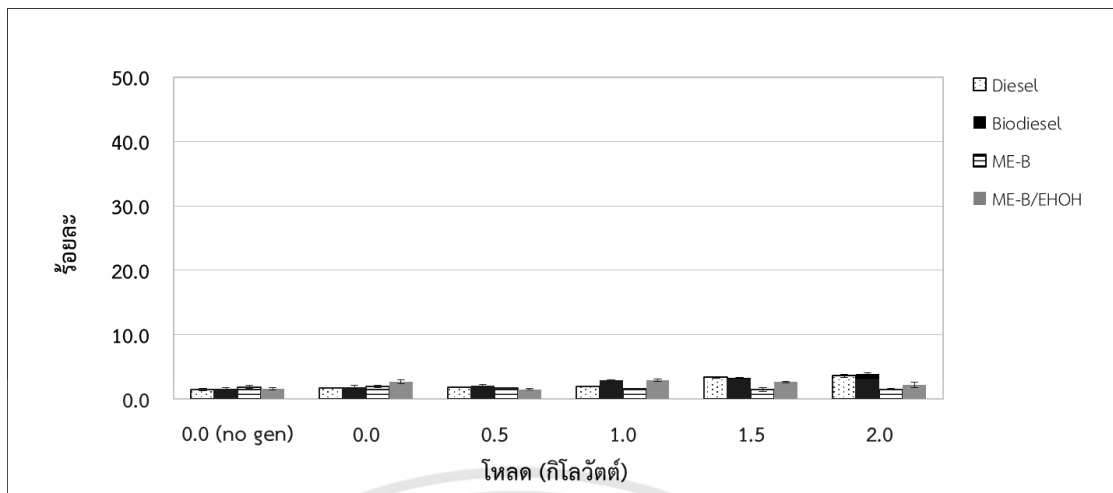
และ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH 25/3) โดยที่เชื้อเพลิงดีเซลผสม แอลกอฮอล์ (DB 10) และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (BB 10) ที่ประกอบไปด้วยส่วนน้ำมัน และส่วนสารลดความหนืดคือ เอทานอล 10% ไม่สามารถเดินระบบเครื่องยนต์ในโหลดตั้งแต่ 1.0 กิโลวัตต์ขึ้นไปได้ เนื่องจากระหว่างการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดนี้เกิดการกระตุกของเครื่องยนต์ และทำให้รอบความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ตั้งไว้ที่ 3,000 รอบต่อนาที ตั้งแต่ตอนต้นลดลงเรื่อยๆ เมื่อความเร็วรอบตกและเครื่องยนต์กระตุกส่งผลให้ปริมาณก๊าซต่างๆ ที่ออกจากปล่องไอเสียมีปริมาณที่ผิดปกติ ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการเดินระบบ เครื่องยนต์ปกติได้ และเพื่อเป็นการป้องกันการสึกหรอและเสียหายของเครื่องยนต์ จากผลการทดลอง ที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการที่เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์มีการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างส่วนน้ำมันกับส่วนสารลดความหนืดที่ไม่สมบูรณ์ และทำให้เครื่องยนต์เกิดการกระตุก จึงสามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิดนี้ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้กับเครื่องยนต์โดยตรง

ในด้านการทดสอบสมรรถนะของเชื้อเพลิงดีเซล (D) เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม (B) เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B 15/5) และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH 25/3) สามารถรายงานผลในรูปของปริมาณก๊าซ อุณหภูมิไอเสีย การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพของระบบ สำหรับการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และอุณหภูมิไอเสียทำได้โดยการนำเซ็นเซอร์ตรวจวัดที่ปลายท่อไอเสีย โดยสามารถรายงานปริมาณก๊าซได้ในหน่วยร้อยละและส่วนในล้านส่วน (ppm) อีกทั้งยังรายงานอุณหภูมิไอเสียได้ในหน่วยองศาเซลเซียส ดังนี้

4.3.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถือว่าเป็นก๊าซหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการพิจารณาเชื้อเพลิงที่มีผลต่อภาวะโลกร้อน ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหนึ่งในก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญและถูกนำมาใช้เป็นหน่วยชี้วัดความรุนแรงของก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ

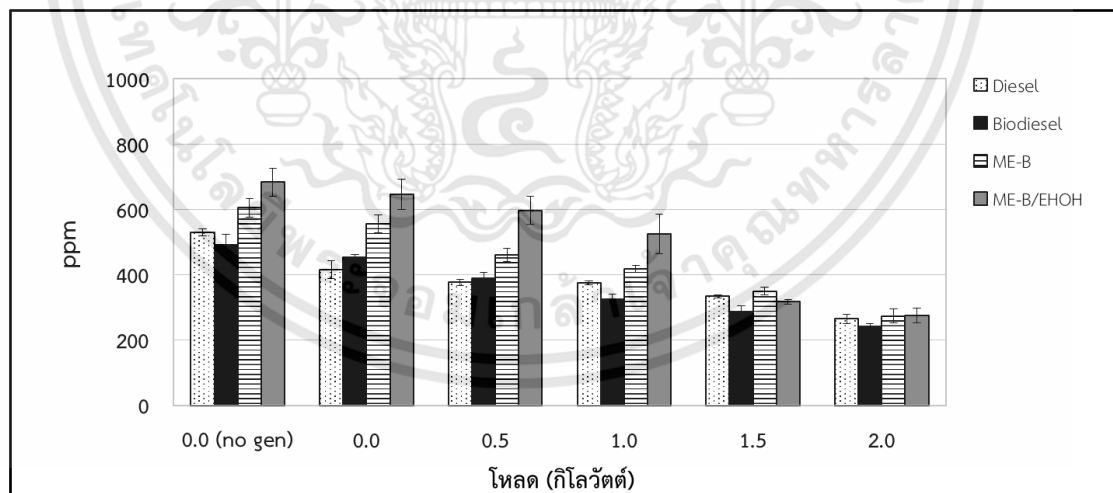
จากรูปที่ 4.4 พบว่า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเดินระบบเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B 15/5) และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH 25/3) มีปริมาณที่ใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ณ โหลด 0.0 กิโลวัตต์แบบไม่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (0.0 no gen) แต่เมื่อมีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเพิ่มโหลดมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มโหลด ในขณะที่เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันทั้งสองชนิดมีปริมาณก๊าซใกล้เคียงกันในทุกโหลด



รูปที่ 4.4 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

4.3.2 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ในส่วนของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการเดินระบบเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงทั้งสี่ชนิด พบว่า จากรูปที่ 4.5 แนวโน้มปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มโหลด อาจเนื่องมาจากเมื่อเดินระบบด้วยโหลดที่เพิ่มมากขึ้น ระบบเครื่องยนต์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังรูป 4.10 (ดังจะกล่าวในหัวข้อ 4.3.7) และเมื่อพิจารณาที่โหลดเดียวกันจะพบว่า เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันทั้งสองชนิดมีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มากกว่าเชื้อเพลิงดีเซล และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลในโหลดต่ำ (ต่ำกว่า 1.5 กิโลวัตต์) และมีค่าใกล้เคียงกันในโหลดสูง (1.5 และ 2.0 กิโลวัตต์) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันทั้งสองชนิดเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ที่โหลดต่ำ ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงที่โหลดต่ำเช่นกัน

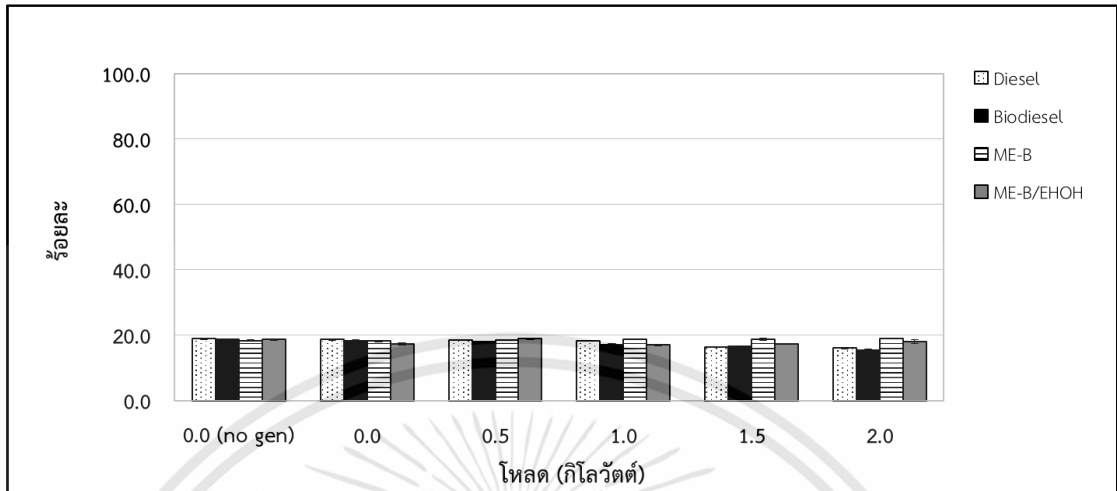


รูปที่ 4.5 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

4.3.3 ก๊าซออกซิเจน

เมื่อพิจารณาปริมาณก๊าซออกซิเจนจากการเดินระบบเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงทั้งสี่ชนิด พบว่า ก๊าซออกซิเจนมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันมากที่โหลดเดียวกัน และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มโหลด ดังรูปที่ 4.6 ในส่วนของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันทั้งสองชนิดนั้นมีปริมาณก๊าซออกซิเจนมากกว่าที่โหลด

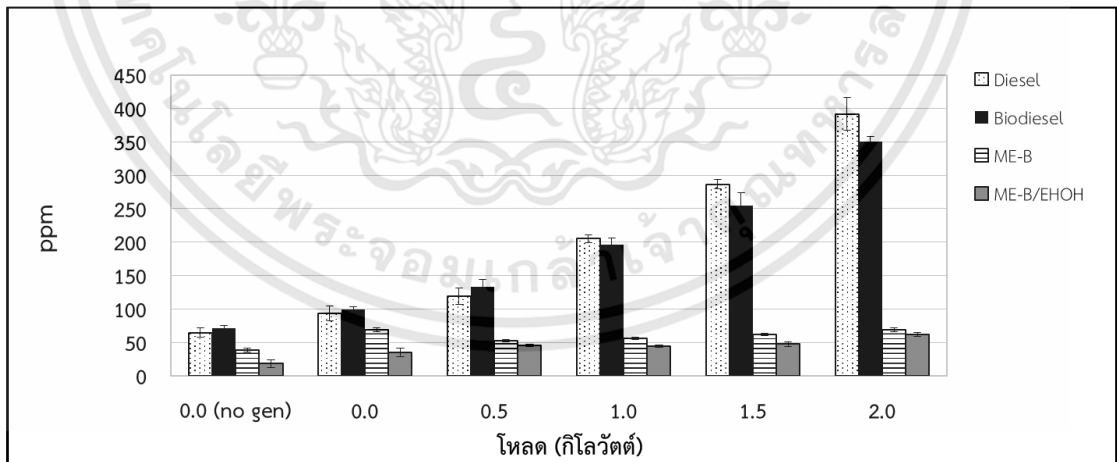
สูงซึ่งอาจเนื่องมาจากการนำก๊าซออกซิเจนไปใช้ในการเผาไหม้น้อยกว่าเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 4.6 ก๊าซออกซิเจน

4.3.4 ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์

สำหรับปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์สามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มากขึ้นเมื่อเพิ่มโหลด โดยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันทั้งสองชนิดนั้นมีปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่น้อยกว่าเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่โหลดเดียวกัน และมีปริมาณน้อยกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกันที่โหลดสูง อีกทั้งเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันแบบที่ใส่ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH) ยังมีปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์น้อยกว่าแบบที่ไม่ใส่สารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B) ในทุกโหลด ดังรูปที่ 4.7



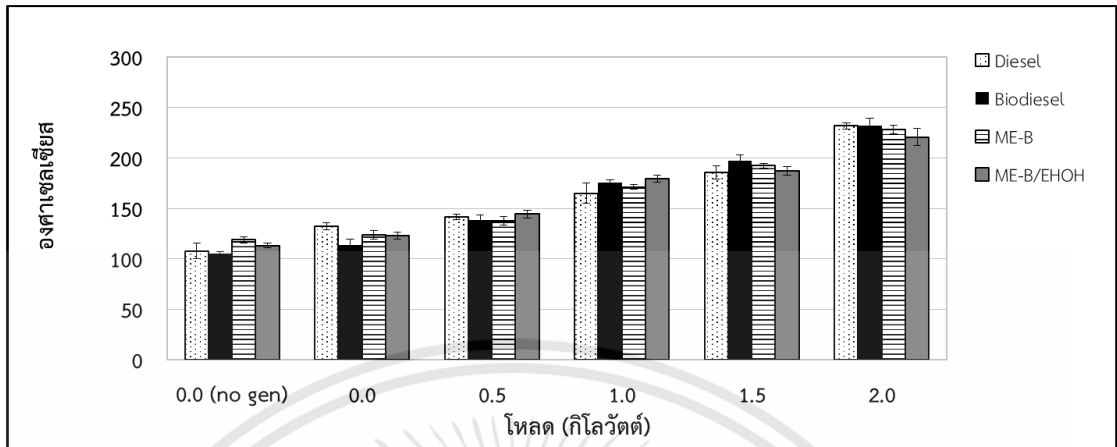
รูปที่ 4.7 ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์

4.3.5 อุณหภูมิไอเสีย

อุณหภูมิของไอเสียนั้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยที่โหลดเดียวกันจะมีอุณหภูมิของไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันมาก โดยต่างกันไม่เกิน 10 องศาเซลเซียสและมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มโหลด ดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากระบบเครื่องยนต์มีการขับกำลังเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดความร้อนมากขึ้นและมีการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

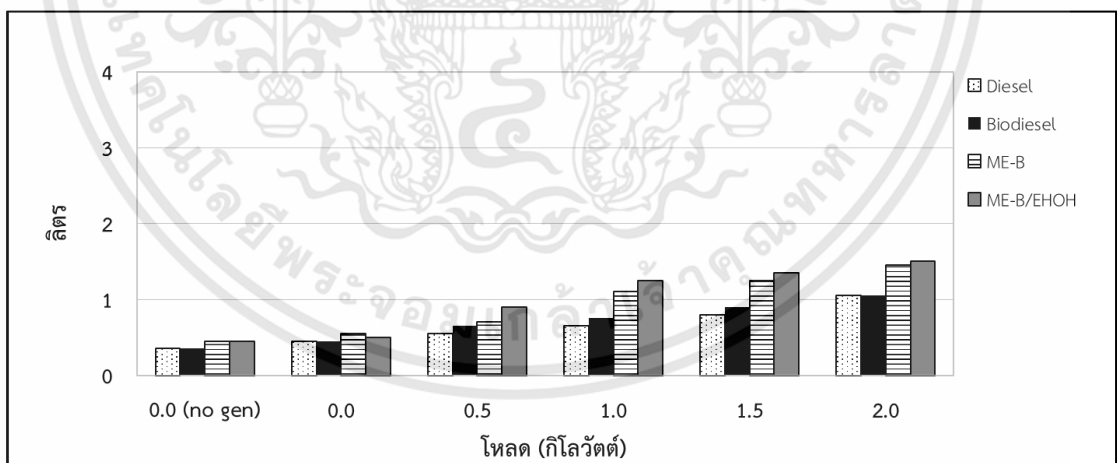
ที่ลดลงและก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและทำให้เกิดการเผาไหม้ดีขึ้น (Kumar et al. 2009)



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิไอเสีย

4.3.6 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเป็นอีกหนึ่งตัวแปรสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้เชื้อเพลิงซึ่งมีความสัมพันธ์กับด้านเศรษฐศาสตร์ จากรูปที่ 4.9 พบว่า เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันทั้งสองชนิดมีแนวโน้มการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เนื่องจากเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่มีค่าความร้อนน้อยกว่า ดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 อย่างไรก็ตาม การสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มโหลด เนื่องจากระบบเครื่องยนต์ต้องมีการขับกำลังที่มากขึ้น จึงมีความต้องการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น

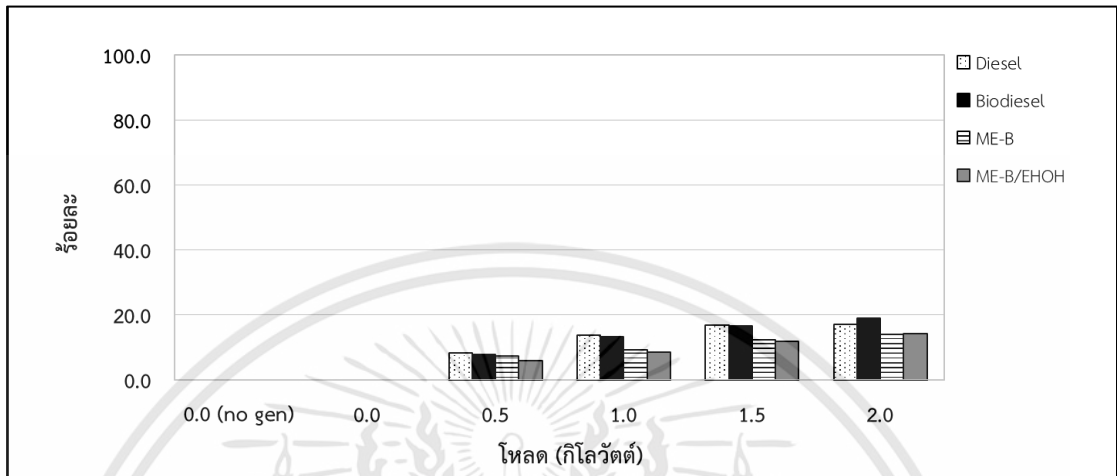


รูปที่ 4.9 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

4.3.7 ประสิทธิภาพของระบบ

จากการทดลองข้างต้นสามารถนำผลการทดลองด้านการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมาคำนวณประสิทธิภาพของระบบที่ศึกษา ซึ่งพบว่าเมื่อเดินระบบเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B 15/5) และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH 25/3) ระบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยนต์สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเพิ่มโหลด โดยมีประสิทธิภาพของระบบทุกโหลดไม่เกินร้อยละ 20 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปที่อยู่ในช่วงร้อยละ 25 ถึง 37 (Lawson. 1995) แต่อาจมีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นระหว่างการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและสายพาน



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพของระบบ

4.4 ราคาต้นทุนของเชื้อเพลิง

การคำนวณราคาต้นทุนของเชื้อเพลิงสามารถคำนวณได้จากปริมาณสัดส่วนและราคาของส่วนประกอบนั้นๆ ทำการเปรียบเทียบต้นทุนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เพื่อใช้เป็นปัจจัยหนึ่งในการตัดสินใจเลือกใช้เชื้อเพลิง ซึ่งการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมกัน ต่างมีส่วนประกอบอื่นๆ ที่ใส่ผสมเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงให้สามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลได้ใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ซึ่งสามารถคำนวณราคาต้นทุนของเชื้อเพลิงทั้งสี่ชนิดได้ดังตารางที่ 4.8 โดยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวมีราคาต้นทุนต่อลิตรที่ 64.93 บาท ในขณะที่เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมกันเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาต้นทุนสูงที่สุด โดยมีราคา 111.34 บาทต่อลิตร เนื่องจากประกอบไปด้วยส่วนผสมครบทั้งห้าชนิด ได้แก่ น้ำมันปาล์ม เชื้อเพลิงดีเซล เอทานอล เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอล ซึ่ง 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นส่วนผสมที่มีราคาต่อลิตรสูงที่สุด และเมื่อพิจารณาราคาของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงพื้นฐาน ได้แก่ เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่มีราคาเท่ากับ 25.84 และ 24.77 บาท จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันทั้งสองชนิดมีราคาที่สูงกว่าเชื้อเพลิงพื้นฐาน แต่เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวมีราคาใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์ที่มีราคา 52.06 และ 51.09 บาท ตามลำดับ ทั้งนี้ในอนาคตอาจทำการลดต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพได้โดยการใช้เอทานอลชีวภาพเป็นสารลดความหนืดทดแทนเอทานอลสังเคราะห์ได้

ตารางที่ 4.8 ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงชีวภาพ

วัตถุดิบ	ราคาวัตถุดิบ (บาทต่อลิตร)	สัดส่วนวัตถุดิบต่อปริมาตรของเชื้อเพลิงทั้งหมด (ร้อยละ)			
		DB	BB	ME-B	ME-B/EHOH
น้ำมันปาล์ม	41.11	-	-	41.67	39.06
ดีเซล	25.84	90.00	-	41.67	39.06
เอทานอล	288.00	10.00	10.00	12.50	19.53
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม	24.77	-	90.00	4.16	0.14
2-เอทิล-1-เฮกซานอล	1,308.00	-	-	-	2.21
ราคาเชื้อเพลิงชีวภาพ (บาทต่อลิตร)		52.06	51.09	64.93	111.34

- หมายเหตุ 1. ราคาน้ำมันปาล์ม ราคาเชื้อเพลิงดีเซลและราคาเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม อ้างอิงราคาวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ.2560
2. ราคาเอทานอลและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอล อ้างอิงราคาจากบริษัท ยู แอนด์ วี โฮลดิ้ง (ไทยแลนด์) จำกัด วันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ.2561 และ 18 เมษายน พ.ศ.2561 ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยศึกษาวิถุภาค เสถียรภาพ คุณสมบัติ สมรรถนะของเชื้อเพลิง การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้เชื้อเพลิงทดสอบ ได้แก่ เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ และเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันปาล์มเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงพื้นฐาน คือ เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม โดยทดสอบในโหลดที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

1. เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ที่มีสัดส่วนเอทานอล 10% ไม่สามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลได้ครบทุกโหลด

2. สามารถผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันโดยใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมได้ โดยเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันทั้งสองชนิดคือ ชนิดที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประกอบไปด้วยเอทานอล 15% กับไบโอดีเซล 5% และชนิดที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม โดยมี เอทานอล 25% และไบโอดีเซล/2-เอทิล-1-เฮกซานอล 3% เป็นส่วนประกอบ มีวิถุภาค เสถียรภาพและคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลได้จริง

3. ด้านสมรรถนะของเชื้อเพลิงและมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงพบว่าเชื้อเพลิงทดสอบทุกชนิดปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และอนุภาคมูลฐานไอเสียเพิ่มขึ้นแต่ปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงเมื่อเพิ่มโหลด เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันทั้งสองชนิดมีปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์น้อยกว่าและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงพื้นฐาน อีกทั้งยังปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากกว่าเชื้อเพลิงพื้นฐานที่โหลดต่ำกว่า 1.5 กิโลวัตต์และมีปริมาณก๊าซใกล้เคียงกันที่โหลดสูง คือ 1.5 และ 2.0 กิโลวัตต์ แต่เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่า ซึ่งส่งผลให้ระบบที่ศึกษามีประสิทธิภาพต่ำกว่าระบบที่ใช้เชื้อเพลิงพื้นฐานเล็กน้อย เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจึงเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลได้

4. ราคาต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีราคาสูงกว่าเมื่อเทียบกับราคาเชื้อเพลิงดีเซล แต่เมื่อพิจารณาโดยรวมในด้านวิถุภาค เสถียรภาพ คุณสมบัติ สมรรถนะของเชื้อเพลิง การปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและราคาต้นทุนการผลิต พบว่า เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวเพียงอย่างเดียวมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลมากกว่าชนิดที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม เนื่องจากมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซและมี

ประสิทธิภาพของระบบใกล้เคียงกัน แต่มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยกว่า อีกทั้งยังมีราคาต้นทุนถูกกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอเสนอแนะเพิ่มเติม เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาต่อยอดงานวิจัย ดังนี้

1. การศึกษาวิวัฒนาการและเสถียรภาพของตัวอย่างเชื้อเพลิง เป็นการทดลองที่ใช้ระยะเวลายาว ควรทำการทดลองในช่วงที่สภาวะอากาศไม่ผันผวนมากหรือมีช่วงอุณหภูมิใกล้เคียงกัน เพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง

2. ควรแบ่งเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นวัตถุดิบจากแก๊สลงใหญ่ลงในขวดแก้วขนาด 2 ลิตร และใช้เชื้อเพลิงที่แบ่งไว้ในการทดสอบระยะเวลาไม่เกิน 2 เดือน หากครบ 2 เดือนแล้วควรเปลี่ยนเชื้อเพลิงใหม่ เนื่องจากเชื้อเพลิงบางชนิด เช่น เชื้อเพลิงไบโอดีเซล จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยจะมีสีอ่อนลง อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง

3. การผสมวัตถุดิบและสารเคมีให้เป็นเนื้อเดียวกันควรเขย่าเบาๆ ตามวิธีที่ระบุไว้ใน Attaphong et al. (2013) เนื่องจากการเขย่าแรงจะทำให้ส่วนผสมเกิดการแยกชั้นได้ยากขึ้น ส่งผลให้การทดลองที่ต้องทำการสังเกตการแยกชั้นของตัวอย่างคลาดเคลื่อน จึงควรเขย่าเบาๆ ให้ตัวอย่างเชื้อเพลิงผสมเป็นเนื้อเดียวกันและมีลักษณะใสก็เพียงพอ

4. ควรทำการทดลองจุดวาบไฟภายใต้การดูแลและควบคุมของผู้เชี่ยวชาญอย่างใกล้ชิด เนื่องจากเอทานอลมีจุดวาบไฟต่ำ อาจทำให้ไฟลุกได้อย่างรวดเร็วหรือเกิดอุบัติเหตุได้โดยง่าย

5. ควรมีผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องยนต์และไฟฟ้าควบคุมขณะเดินระบบทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ และผู้วิจัยต้องมีความรู้เบื้องต้นด้านเครื่องยนต์และระบบไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยในการทดลอง

6. ควรศึกษาชนิดของแอลกอฮอล์ชนิดอื่นเพิ่มเติม เพื่อทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมที่เหมาะสมคู่กับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

7. หากต้องการลดต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงควรศึกษาการใช้เอทานอลชีวภาพ (bioethanol) เพื่อทำหน้าที่เป็นสารลดความหนืดทดแทนเอทานอลสังเคราะห์

8. ควรทำการศึกษาสมดุลมวลสาร (mass balance) ของเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ก๊าซเพิ่มเติม เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการสรุปผลการทดลองให้ครบถ้วนยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- กรมธุรกิจพลังงาน. 2556. “ประกาศเรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล.” กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพฯ.
- กองบรรณาธิการ. 2548. “ไบโอดีเซล - พลังงานทดแทนช่วยชาติ.” เทคนิค : เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหกรรม. 22 (256) : 154-163.
- จิรสา กรงกรด. 2548. สารลดแรงตึงผิว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.dss.go.th/images/st-article/cp_7_2548_surfactant.pdf.
- ชนารดี เพนานนท์. 2559. “ผลของกรดไขมันอิสระต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้ว.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทิฆัมพร เขมวงศ์. 2560. “การศึกษาความสามารถของวัสดุกรองสำหรับการกำจัดกลิ่นและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากก๊าซชีวภาพ.” การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อความยั่งยืน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ธนากร กรอบสนิท. 2552. “การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นส่วนผสม.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี และ อนุกุล จันทร์แก้ว. 2553. “การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง.” รายงานผลการวิจัย คลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ.
- นานาสยาม อินเตอร์เทรต. 2560. “คู่มือการใช้หลอดวัดความหนืด.” กรุงเทพฯ : นานาสยาม อินเตอร์เทรต.
- บุญญา รัตน์จารุเรือง. 2559. “การศึกษาวัฏภาคและค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้ว.” ปริญญาโทวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ประเสริฐ เทียนพินิจ และคณะ. 2544. เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- พุดทิพัฒน์ เบญจปรีชาพัฒน์. 2555. “การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้เอนไซม์ไลเปสตรึงบนมอนต์มอริลโลไนต์.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอุตสาหกรรมศึกษา, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- มารีสา จินะดิษฐ์. 2550. “การพัฒนาน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีความหลากหลายสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในรถยนต์ 4 ล้อ.” โครงการวิจัยทุนสนับสนุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- รุ่งทิพย์ ชัยเดช. 2557. “การผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดียมเมทอกไซด์.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- วิโรจน์ ขาวละออ. 2558. “ระบบควบคุมเครื่องยนต์เบนซินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ จากก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องอัดอากาศ.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุธา ขาวเธียร. 2555. “การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยเทคโนโลยีรีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชัน.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 12(5) : 304-308.
- Abbaszaadeh A., Ghobadian B., Omidkhah MR., Najafi G. 2012. “Current biodiesel production technologies: a comparative review.” **Energy Conversion and Management**. 63 : 138–148.
- Agarwal A.K. 2006. “Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines.” **Progress in Energy and Combustion Science**. 33 : 233-271.
- Alam FE., Wenming Y., Lee P., Chou S., Yap C. 2013. “Experimental investigation of the performance and emission characteristics of direct injection diesel engine by water emulsion diesel under varying engine load condition.” **Applied Energy**. 102 : 1042-1049.
- Arularasu S., Appu Raja S., Thangaraj M., Annamalai K. 2014. “A review on effect of biodiesel-diesel-water emulsion in di diesel engine.” **Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences**. 4 : 131-132.
- ASTM International. 1970. **Standard test method for viscosity of transparent and opaque liquids (Kinematic and Dynamic viscosities), active standard ASTM D445-17a**. [Online]. Available : <https://www.astm.org/Standards/D445>.
- ASTM International. 2002. **Standard test method for flash point of petroleum products, active standard ASTM D93-02a**. [Online]. Available : <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D93-02.htm>.
- ASTM International. 2011. **Standard test method for cloud point of petroleum products, active standard ASTM D2500**. [Online]. Available : <https://www.astm.org/Standards/D2500.htm>.
- ASTM International. 2013. **Standard test method for pour point of petroleum products, active standard ASTM D97**. [Online]. Available : <https://www.astm.org/Standards/D97.htm>.
- ASTM International. 2013. **Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels**. [Online]. Available : <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D6751-12.htm>.
- Attaphong C., Do L. and Sabatini D. A. 2012. “Vegetable oil-based microemulsions using carboxylate-based extended surfactants and their potential as an alternative renewable biofuel.” **Fuel**. 94(1) : 606-613.

- Attaphong C., Lumyong P., Wichadee S., Khaodhiar S., Sarikprueck P. and Sabatini D. A. 2017. “Effect of additives on fuel properties and emission characteristics of microemulsion biofuels from palm oil.” **IEEE**. 1-5.
- Attaphong C. and Sabatini D. A. 2013. “Phase behaviors of vegetable oil-based microemulsion fuels: the effects of temperatures, surfactants, oils, and water in ethanol.” **Energy & Fuels**. 27(11) : 6773-6780.
- Attaphong C., Singh V., Balakrishnan A., Do L. D., Arpornpong N., Parthasarathy R. N., Gollahalli S. R., Khaodhiar S. and Sabatini D. A. 2015. “Phase behaviors, fuel properties, and combustion characteristics of alcohol-vegetable oil-diesel microemulsion fuels.” **International Journal of Green Energy**. 13(9) : 930-943.
- Avella F., Galtieri A. and Fiumara A. 1992. “Characteristics and utilization of vegetable derivatives as diesel fuels.” **La Rivista dei Combustibili**. 46(6) : 181-188.
- Bahadur NP., Boocock DGB., Konar SK. 1995. “Liquid hydrocarbons from catalytic pyrolysis of sewage sludge lipid and canola oil: evaluation of fuel properties.” **Energy Fuels**. 9(2) : 248-256.
- Barker T. 2007. “**Climate change 2007: an assessment of the intergovernmental panel on climate change.**” Geneva, Switzerland.
- Bora P., Konwar L. J., Phukan M. M., Deka D. Konwar B. K. 2015. “Microemulsion based hybrid biofuels from Thevetia peruviana seed oil: Structural and dynamic investigations.” **Fuel**. 157 : 208-218.
- Canakci M., and Van Gerpen J. 1999. “Biodiesel production via acid catalysis.” **Trans ASAE**. 42(5) : 1203-1210.
- Channapattana S.V. and Kulkarni R.R. 2009. “Biodiesel as a fuel in I.C. engines – A review.” **International Journal of Science and Applications**. 2(1) : 22-26.
- Charoensaeng A., Khaodhiar S., Sabatini D. A. and Arpornpong N. 2018. “Exhaust emissions of a diesel engine using ethanol-in-palm oil/diesel microemulsion-based biofuels.” **Environmental Engineering Research**. 1-20.
- Choi CY. and Reitz RD. 1999. “A numerical analysis of the emissions characteristics of biodiesel blended fuels.” **J.Eng. gas turbines power**. 121(1) : 31-37.
- Demirbas A. 2007. “Mathematical relationships derived from biodiesel fuels.” **Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**. 30(1) : 56-69.
- Dragone G., Fernandes B., Vicente A.A. and Teixeira J.A. 2010. “Third generation biofuels from microalgae.” **Technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology**. 1355-1366.
- EIA. 2013. **International Energy Outlook 2013**. U.S.A. : Energy Information Administration.

- Faiz Asif, Christopher S.W. and Michael P.W. 1996. **Air pollution from motor vehicles: Standards and technologies for controlling emissions.** U.S.A. : World Bank Publications.
- Gerpen J. Van, Shanks B., Pruszko R., Clements D. and Knothe G. 2004. **Biodiesel Production Technology August 2002–January 2004.** Colorado : National Renewable Energy Laboratory.
- Ghazali WNMW, Mamat R., Masjuki H.H. and Najafi G. 2015. “Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: a review.” **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** 51 : 585–602.
- Ithnin A. M., Ahmad M. A., Bakar M. A. A., Rajoo S. and Yahya W. J. 2015. “Combustion performance and emission analysis of diesel engine fuelled with water-in-diesel emulsion fuel made from low-grade diesel fuel.” **Energy Conversion and Management.** 90 : 375-382.
- Ismail A.R., Suhaimi H., Ismail R. and Hassan H.A. 2011. “Effect of diols as cosurfactant in partial ternary phase behavior of palm oil-based microemulsions.” **Journal of Oil Palm Research.** 23 : 1146-1152.
- Klopfenstein WE. 1985. “Effect of molecular weights of fatty acid esters on cetane numbers as diesel fuels.” **Journal of the American Oil Chemists' Society.** 62(6) : 1029–1031.
- Knothe G., Dunn R.O. and Bagby M.O. 1997. “Biodiesel the use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels.” **American Chemical Society.** 666 : 172-208.
- Kumar M.S., Bellettre J. and Tazerout M. 2009. “The use of biofuel emulsions as fuel for diesel engines : A review.” **Journal of Power and Energy.** 223 : 729–742.
- Lawson Thomas B. 1995. **Fundamentals of Aquacultural Engineering.** Springer Science & Business Media. New York : Chapman & Hall.
- Lee S., Tanaka D., Kusaka J. and Daisho Y. 2002. “Effects of diesel fuel characteristics on spray and combustion in a diesel engine.” **JSAE Review.** 23(4) : 407–414.
- Ma F., Clements L.D. and Hanna MA. 1999. “The effect of mixing on transesterification of beef tallow.” **Bioresource Technology.** 69 : 289-293.
- Munroe D. 2016. “Diesel Fuel Properties.” 1-12. in **MDEC Conference.** Toronto, Ontario.
- Mussatto S.I., Dragone G., Guimaraes P.M.R., Silva J.P.A., Carneiro L.M., Roberto I.C., Vicente A., Domingues L. and Teixeira J.A. 2010. “Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production.” **Biotechnology advances.** 28 : 817-830.

- Nagi J., Ahmed S.K. and Nagi F. 2008. "Palm biodiesel an alternative green renewable energy for the energy demands of the future." 79-94. in **International Conference on Construction and Building Technology**.
- NAIM Ishak, I Ab Raman, MA Yarmo, WMFW Mahmood. 2015. "Ternary phase behavior of water microemulsified diesel-palm biodiesel." **Frontiers in Energy**. 9(2) : 162-169.
- Narkpakdee J., Permsuwan A., Deethayat T., Kiatsiriroat T. 2012. "Performance and Emission of Small Diesel Engine Using Diesel-Crude Palm Oil-Water Emulsion as Fuel." **Energy Science and Technology**. 3(2) : 38-45.
- Neto A.A. Dantas, Fernandes M.R., Neto E.L. Barros, Dantas T.N. Castro, Moura M.C.P.A. 2011. "Alternative fuels composed by blends of nonionic surfactant with diesel and water: Engine performance and emissions." **Brazilian Journal of Chemical Engineering**. 28(3) : 521-531.
- Nguyen T., Abraham J., Ramallo M., Wagner D. and McLennan J. 2012. "Formulation of canola-diesel microemulsion fuels and their selective diesel engine performance." **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 89 : 1905-1912.
- Pryde EH. 1983. "Vegetable oils as diesel fuels: overview." **Journal of the American Oil Chemists' Society**. 60(8) : 1557-1558.
- Rakshit K. and Moulik S.P. 2008. "Physicochemistry of W/O microemulsions: formation, stability, and droplet clustering, Microemulsions: Properties and Applications" **Surfactant Science Series**. 144 : 17-58.
- Rosen M. J. 2004. **Surfactants and Interfacial Phenomena**. United states : John Wiley & Sons.
- Schwab A. W., Bagby M. O. and Freedman B. 1987. "Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils." **Fuel**. 66 : 1372-1378.
- Shashi Kumar Jain, Sunil Kumar, and Alok Chaube. 2011. "Technical sustainability of biodiesel and its blends with diesel in C.I. engines: A Review." **International Journal of Chemical Engineering and Applications**. 2(2) : 101-109.
- Srivastava A. and Prasad. R. 1999. "Triglycerides based diesel fuels." **Renewable and Sustainable Energy Review**. 4 : 111-133.
- Szalkowska U. 2010. **Global Euro Vehicle Emission Terminal**. U.S.A. : The International Fuel Quality Center.
- Tate RE., Watts KC., Allen CAW. and Wilkie KI. 2006. "The viscosities of three biodiesel fuels at temperatures up to 300°C." **Fuel**. 85(7-8) : 1010-15.
- Uson N., Garcia M. and Solans C., 2004. "Formation of water-in-oil (W/O) nano-emulsions in a water/mixed non-ionic surfactant/oil systems prepared by a

low-energy emulsification method.” *Colloids and Surfaces A: physicochemical and Engineering Aspects*. 250(1-3): 415-421.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
ข้อมูลผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การศึกษาวัฏภาคและเสถียรภาพของเชื้อเพลิงทดสอบ

1.1 การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (DB)

ตารางที่ ผ.ก.1 การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (DB)

Date: 13/9/17 Time: 11.40 AM						ml. of Emulsion																											
NO.	EtOH (mL)	Diesel (mL)	Total volume (mL)	% EtOH	Phase occur	15 min	30 min	1 hr	2 hr	4 hr	6 hr	12 hr	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d	9 d	10 d	11 d	12 d	13 d	14 d							
						30.5 °C	30.5 °C	31.0 °C	31.0 °C	30.5 °C	30.5 °C	30.0 °C	31.5 °C	31.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	29.0 °C	29.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	29.5 °C			
						11.55 AM	12.10 AM	12.40 AM	1.40 PM	3.40 PM	5.40 PM	11.40 PM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM	11.40 AM		
1	0.0	10.0	10	0	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75		
2	0.5	9.5	10	5	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.50	9.50	9.50	9.50	
3	1.0	9.0	10	10	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.50	9.50	9.50	9.50		
4	1.5	8.5	10	15	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.50	9.50	9.50	9.25	9.25	9.25
5	2.0	8.0	10	20	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.50	9.50	9.50	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	8.75	8.75	8.75	8.50		
6	2.5	7.5	10	25	X	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.25	8.25	8.25	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	7.75	7.75	7.75	7.75		
7	3.0	7.0	10	30	X	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00		
8	3.5	6.5	10	35	X	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	5.75		
9	4.0	6.0	10	40	X	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00		
10	5.0	5.0	10	50	X	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	

หมายเหตุ 1) X และ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เกิดและไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที ตามลำดับ

2) ข้อมูลที่มีการระบายสี คือ ระยะเวลาตัวอย่างที่เกิดการแยกชั้น

1.2 การเตรียมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ (BB)

ตารางที่ ผ.ก.2 การเตรียมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มผสมแอลกอฮอล์ (BB)

Date: 13/9/17 Time: 11.50 AM						ml. of Emulsion																								
No.	EtOH (mL)	Bio diesel (mL)	Total volume (ml)	% EtOH	Phase occur	15 min	30 min	1 hr	2 hr	4 hr	6 hr	12 hr	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d	9 d	10 d	11 d	12 d	13 d	14 d				
						30.5 °C	30.5 °C	31.0 °C	31.0 °C	30.5 °C	30.5 °C	30.0 °C	31.5 °C	31.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	29.0 °C	29.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	30.0 °C	29.5 °C
						12.05 AM	12.20 AM	12.50 AM	1.50 PM	3.50 PM	5.50 PM	11.50 PM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM	11.50 AM
1	0.0	10.0	10	0	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75		
2	0.5	9.5	10	5	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75	9.50	9.50	9.50			
3	1.0	9.0	10	10	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75			
4	1.5	8.5	10	15	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75			
5	2.0	8.0	10	20	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75	9.50	9.50	9.50				
6	2.5	7.5	10	25	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75			
7	3.0	7.0	10	30	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.50	9.50				
8	3.5	6.5	10	35	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75			
9	4.0	6.0	10	40	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75			
10	5.0	5.0	10	50	M	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75			

หมายเหตุ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที

1.3 การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมน้ำมันปาล์มและแอลกอฮอล์ (PDB)

ตารางที่ ผ.ก.3 การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมน้ำมันปาล์มและแอลกอฮอล์ (PDB)

Date: 19/12/60 Time: 5.22 AM								ml. of Emulsion																										
No.	Palm oil (mL.)	Diesel (ml)	EtOH (mL.)	%EtOH /Total Oil	Total volume (ml)	%EtOH /Total Volume	Phase occur	15	30	1	2	4	6	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14						
								min	min	hr	hr	hr	hr	hr	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
								26.5 °C	26.5 °C	26.5 °C	25.0 °C	25.0 °C	25.5 °C	26.0 °C	24.5 °C	24.5 °C	24.5 °C	25.0 °C	25.0 °C	25.0 °C	25.0 °C	25.0 °C	25.0 °C	25.0 °C	25.0 °C	25.0 °C	25.0 °C	25.0 °C	26.0 °C	26.0 °C	26.5 °C	26.5 °C	26.5 °C	26.5 °C
								5.37 AM	5.52 AM	6.22 AM	7.22 AM	9.22 AM	11.22 AM	5.22 PM	5.22 AM	5.22 AM	5.22 AM	5.22 AM	5.22 AM	5.22 AM	5.22 AM	5.22 AM	5.22 AM	5.22 AM	5.22 AM	5.22 AM	5.22 AM	5.22 AM						
0	2.50	2.50	0.00	0	5.00	0.00	M	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75						
1	2.50	2.50	0.25	5	5.25	4.76	M	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25						
2	2.50	2.50	0.50	10	5.50	9.09	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						
3	2.50	2.50	0.75	15	5.75	13.04	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
4	2.50	2.50	1.00	20	6.00	16.67	M	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
5	2.50	2.50	1.25	25	6.25	20.00	X	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
6	2.50	2.50	1.50	30	6.50	23.08	X	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00						
7	2.50	2.50	1.75	35	6.75	25.93	X	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00						
8	2.50	2.50	2.00	40	7.00	28.57	X	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
9	2.50	2.50	2.25	45	7.25	31.03	X	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
10	2.50	2.50	2.50	50	7.50	33.33	X	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						

หมายเหตุ 1) X และ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เกิดและไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที ตามลำดับ
 2) ข้อมูลที่มีการระบายสี คือ ระยะเวลาตัวอย่างที่เกิดการแยกชั้น

ตารางที่ ผ.ก.3 การเตรียมเชื้อเพลิงดีเซลผสมน้ำมันปาล์มและแอลกอฮอล์ (PDB) (ต่อ)

Date: 19/12/60 Time: 5.22 AM								ml. of Emulsion									
No.	Palm oil (mL)	Diesel (ml)	EtOH (mL)	%EtOH /Total Oil	Total volume (ml)	%EtOH /Total Volume	Phase occur	20 d	44 d	59 d	81 d	83 d	86 d	91 d	101 d	106 d	
								27.0 °C	29.0 °C	29.0 °C	29.5 °C	28.5 °C	29.0 °C	29.0 °C	29.5 °C	29.0 °C	
								5.37 AM	5.52 AM	6.22 AM	7.22 AM	9.22 AM	11.22 AM	5.22 PM	5.22 AM	5.22 AM	
0	2.50	2.50	0.00	0	5.00	0.00	M	5.00	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75	4.75
1	2.50	2.50	0.25	5	5.25	4.76	M	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25
2	2.50	2.50	0.50	10	5.50	9.09	M	5.50	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25
3	2.50	2.50	0.75	15	5.75	13.04	M	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
4	2.50	2.50	1.00	20	6.00	16.67	M	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
5	2.50	2.50	1.25	25	6.25	20.00	X	6.00	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
6	2.50	2.50	1.50	30	6.50	23.08	X	6.00	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
7	2.50	2.50	1.75	35	6.75	25.93	X	6.00	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
8	2.50	2.50	2.00	40	7.00	28.57	X	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
9	2.50	2.50	2.25	45	7.25	31.03	X	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
10	2.50	2.50	2.50	50	7.50	33.33	X	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75

หมายเหตุ 1) X และ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เกิดและไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที ตามลำดับ

2) ข้อมูลที่มีการระบายสี คือ ระยะเวลาตัวอย่างที่เกิดการแยกชั้น

1.4 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B)

ตารางที่ ผ.ก.4 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B) ผสมเอทานอล 5%

EtOH 5% Date: 02/02/61 Time: 6.14 AM								mL of Emulsion																										
No.	Palm oil (mL)	Diesel (mL)	EtOH (mL)	Bio diesel (mL)	%Surf /Total oil	Total volume (mL)	Phase occur	15	30	1	2	4	6	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14						
								min	min	hr	hr	hr	hr	hr	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
								28.5 °C	28.5 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.5 °C	28.5 °C	27.5 °C	27.5 °C	27.0 °C	27.5 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.0 °C	27.5 °C	27.5 °C	27.0 °C	28.5 °C	28.5 °C	28.0 °C	28.5 °C	28.5 °C	28.0 °C	28.5 °C	29.0 °C			
								6.29 AM	6.44 AM	7.14 AM	8.14 AM	10.14 AM	12.14 AM	6.14 PM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM						
1	2.50	2.50	0.25	0.05	1	5.30	M	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25						
2	2.50	2.50	0.25	0.10	2	5.35	M	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25						
3	2.50	2.50	0.25	0.15	3	5.40	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						
4	2.50	2.50	0.25	0.20	4	5.45	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						
5	2.50	2.50	0.25	0.25	5	5.50	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						
6	2.50	2.50	0.25	0.30	6	5.55	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						
7	2.50	2.50	0.25	0.35	7	5.60	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						
8	2.50	2.50	0.25	0.40	8	5.65	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
9	2.50	2.50	0.25	0.45	9	5.70	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
10	2.50	2.50	0.25	0.50	10	5.75	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						

หมายเหตุ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที

ตารางที่ ผ.ก.4 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B) ผสมเอทานอล 5% (ต่อ)

EtOH 5% Date: 02/02/61 Time: 6.14 AM								mL of Emulsion																											
No.	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	Bio diesel (ml)	%Surf /Total oil	Total volume (ml)	Phase occur	17	24	31	34	35	37	38	41	42	43	44	46	56	61	63	65	66	77	84	104	120							
								d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
								°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
								6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 PM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM	6.14 AM						
1	2.50	2.50	0.25	0.05	1	5.30	M	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00						
2	2.50	2.50	0.25	0.10	2	5.35	M	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00						
3	2.50	2.50	0.25	0.15	3	5.40	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25						
4	2.50	2.50	0.25	0.20	4	5.45	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25						
5	2.50	2.50	0.25	0.25	5	5.50	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25						
6	2.50	2.50	0.25	0.30	6	5.55	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25						
7	2.50	2.50	0.25	0.35	7	5.60	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						
8	2.50	2.50	0.25	0.40	8	5.65	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						
9	2.50	2.50	0.25	0.45	9	5.70	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						
10	2.50	2.50	0.25	0.50	10	5.75	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						

หมายเหตุ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที

ตารางที่ ผ.ก.5 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B) ผสมเอทานอล 10%

EtOH 10% Date: 02/02/61 Time: 6.08 AM								ml. of Emulsion																							
No.	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	Bio diesel (ml)	%Surf /Total oil	Total volume (ml)	Phase occur	15 min	30 min	1 hr	2 hr	4 hr	6 hr	12 hr	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d	9 d	10 d	11 d	12 d	13 d	14 d			
								28.5 °C	28.5 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.5 °C	28.5 °C	27.5 °C	27.5 °C	27.0 °C	27.5 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.0 °C	27.5 °C	27.5 °C	27.0 °C	28.5 °C	28.5 °C	28.0 °C	28.5 °C	29.0 °C			
								6.23 AM	6.38 AM	7.08 AM	8.08 AM	10.08 AM	12.08 AM	6.08 PM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM
1	2.50	2.50	0.50	0.05	1	5.55	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
2	2.50	2.50	0.50	0.10	2	5.60	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
3	2.50	2.50	0.50	0.15	3	5.65	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
4	2.50	2.50	0.50	0.20	4	5.70	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
5	2.50	2.50	0.50	0.25	5	5.75	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
6	2.50	2.50	0.50	0.30	6	5.80	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
7	2.50	2.50	0.50	0.35	7	5.85	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
8	2.50	2.50	0.50	0.40	8	5.90	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
9	2.50	2.50	0.50	0.45	9	5.95	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
10	2.50	2.50	0.50	0.50	10	6.00	M	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00

หมายเหตุ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที

ตารางที่ ผ.ก.5 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B) ผสมเอทานอล 10% (ต่อ)

EtOH 10% Date: 02/02/61 Time: 6.08 AM								mL of Emulsion																											
No.	Palm oil (mL)	Diesel (mL)	EtOH (mL)	Bio diesel (mL)	%Surf /Total oil	Total volume (mL)	Phase occur	17	24	31	34	35	37	38	41	42	43	44	46	56	61	63	65	66	77	84	104	120							
								d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
								28.5 °C	28.5 °C	29.0 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.5 °C	28.0 °C	29.0 °C	29.0 °C	29.0 °C	29.0 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	31.0 °C	31.0 °C	31.0 °C	31.0 °C
								6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM	6.08 AM						
1	2.50	2.50	0.50	0.05	1	5.55	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25							
2	2.50	2.50	0.50	0.10	2	5.60	M	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50							
3	2.50	2.50	0.50	0.15	3	5.65	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.50	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25							
4	2.50	2.50	0.50	0.20	4	5.70	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50							
5	2.50	2.50	0.50	0.25	5	5.75	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50							
6	2.50	2.50	0.50	0.30	6	5.80	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50							
7	2.50	2.50	0.50	0.35	7	5.85	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50							
8	2.50	2.50	0.50	0.40	8	5.90	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50							
9	2.50	2.50	0.50	0.45	9	5.95	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50							
10	2.50	2.50	0.50	0.50	10	6.00	M	6.00	6.00	6.00	6.00	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75							

หมายเหตุ 1) M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที
 2) ข้อมูลที่มีการระบายสี คือ ระยะเวลาตัวอย่างที่เกิดการแยกชั้น

ตารางที่ ผ.ก.6 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B) ผสมเอทานอล 15%

EtOH 15% Date: 02/02/61 Time: 5.55 AM								ml. of Emulsion																						
No.	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	Bio diesel (ml)	%Surf /Total oil	Total volume (ml)	Phase occur	15 min	30 min	1 hr	2 hr	4 hr	6 hr	12 hr	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d	9 d	10 d	11 d	12 d	13 d	14 d		
								28.5 °C	28.5 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.5 °C	28.5 °C	27.5 °C	27.5 °C	27.0 °C	27.5 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.0 °C	27.5 °C	27.5 °C	27.0 °C	28.5 °C	28.5 °C	28.0 °C	28.5 °C	29.0 °C		
								6.10 AM	6.25 AM	6.55 AM	7.55 AM	9.55 AM	11.55 AM	5.55 PM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM
1	2.50	2.50	0.75	0.05	1	5.80	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
2	2.50	2.50	0.75	0.10	2	5.85	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
3	2.50	2.50	0.75	0.15	3	5.90	M	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75
4	2.50	2.50	0.75	0.20	4	5.95	M	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
5	2.50	2.50	0.75	0.25	5	6.00	M	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
6	2.50	2.50	0.75	0.30	6	6.05	M	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
7	2.50	2.50	0.75	0.35	7	6.10	M	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
8	2.50	2.50	0.75	0.40	8	6.15	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
9	2.50	2.50	0.75	0.45	9	6.20	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
10	2.50	2.50	0.75	0.50	10	6.25	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25

หมายเหตุ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที

ตารางที่ ผ.ก.6 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B) ผสมเอทานอล 15% (ต่อ)

EtOH 15% Date: 02/02/61 Time: 5.55 AM								mL. of Emulsion																										
No.	Palm oil (mL)	Diesel (mL)	EtOH (mL)	Bio diesel (mL)	%Surf /Total oil	Total volume (mL)	Phase occur	17	24	31	34	35	37	38	41	42	43	44	46	56	61	63	65	66	77	84	104	120						
								d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
								28.5 °C	28.5 °C	29.0 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.5 °C	28.0 °C	29.0 °C	29.0 °C	29.0 °C	29.0 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	29.5 °C	31.0 °C	31.0 °C	31.0 °C
								5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM	5.55 AM						
1	2.50	2.50	0.75	0.05	1	5.80	M	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						
2	2.50	2.50	0.75	0.10	2	5.85	M	5.75	5.75	5.75	5.50	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25						
3	2.50	2.50	0.75	0.15	3	5.90	M	5.75	5.75	5.75	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						
4	2.50	2.50	0.75	0.20	4	5.95	M	6.00	6.00	6.00	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50						
5	2.50	2.50	0.75	0.25	5	6.00	M	6.00	6.00	6.00	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
6	2.50	2.50	0.75	0.30	6	6.05	M	6.00	6.00	6.00	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
7	2.50	2.50	0.75	0.35	7	6.10	M	6.00	6.00	6.00	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
8	2.50	2.50	0.75	0.40	8	6.15	M	6.25	6.25	6.25	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
9	2.50	2.50	0.75	0.45	9	6.20	M	6.25	6.25	6.25	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
10	2.50	2.50	0.75	0.50	10	6.25	M	6.25	6.25	6.25	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00						

หมายเหตุ 1) M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที
 2) ข้อมูลที่มีการระบายสี คือ ระยะเวลาตัวอย่างที่เกิดการแยกชั้น

ตารางที่ ผ.ก.7 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B) ผสมเอทานอล 20%

EtOH 20% Date: 10/01/61 Time: 6.13 AM								ml. of Emulsion																											
No.	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	Bio diesel (ml)	%Surf /Total oil	Total volume (ml)	Phase occur	15 min	30 min	1 hr	2 hr	4 hr	6 hr	12 hr	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d	9 d	10 d	11 d	12 d	13 d	14 d							
								°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
								6.28 AM	6.43 AM	7.13 AM	8.13 AM	10.13 AM	12.13 AM	6.13 PM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM	6.13 AM
1	2.50	2.50	1.00	0.05	1	6.05	M	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00					
2	2.50	2.50	1.00	0.10	2	6.10	M	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00					
3	2.50	2.50	1.00	0.15	3	6.15	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25					
4	2.50	2.50	1.00	0.20	4	6.20	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25					
5	2.50	2.50	1.00	0.25	5	6.25	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25					
6	2.50	2.50	1.00	0.30	6	6.30	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25					
7	2.50	2.50	1.00	0.35	7	6.35	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25					
8	2.50	2.50	1.00	0.40	8	6.40	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25					
9	2.50	2.50	1.00	0.45	9	6.45	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50					
10	2.50	2.50	1.00	0.50	10	6.50	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50					

หมายเหตุ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที

ตารางที่ ผ.ก.7 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B) ผสมเอทานอล 20% (ต่อ)

EtOH 20% Date: 10/01/61 Time: 6.13 AM								ml. of Emulsion																										
No.	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	Bio diesel (ml)	%Surf /Total oil	Total volume (ml)	Phase occur	15	17	18	21	22	23	24	26	28	30	31	33	34	35	37	38	41	42	43	44	46						
								d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
								°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
								6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13	6.13						
								AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM					
1	2.50	2.50	1.00	0.05	1	6.05	M	6.00	6.00	6.00	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
2	2.50	2.50	1.00	0.10	2	6.10	M	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75						
3	2.50	2.50	1.00	0.15	3	6.15	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00						
4	2.50	2.50	1.00	0.20	4	6.20	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00						
5	2.50	2.50	1.00	0.25	5	6.25	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00						
6	2.50	2.50	1.00	0.30	6	6.30	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00						
7	2.50	2.50	1.00	0.35	7	6.35	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00						
8	2.50	2.50	1.00	0.40	8	6.40	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00						
9	2.50	2.50	1.00	0.45	9	6.45	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25						
10	2.50	2.50	1.00	0.50	10	6.50	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25						

หมายเหตุ 1) M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที
 2) ข้อมูลที่มีการระบายสี คือ ระยะเวลาตัวอย่างที่เกิดการแยกชั้น

ตารางที่ ผ.ก.8 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B) ผสมเอทานอล 25%

EtOH 25% Date: 10/01/61 Time: 6.11 AM								ml. of Emulsion																							
No.	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	Bio diesel (ml)	%Surf /Total oil	Total volume (ml)	Phase occur	15 min	30 min	1 hr	2 hr	4 hr	6 hr	12 hr	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d	9 d	10 d	11 d	12 d	13 d	14 d			
								28.0 °C	28.0 °C	28.5 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.0 °C	27.0 °C	26.0 °C	26.0 °C	26.5 °C	26.5 °C	27.5 °C	27.0 °C	27.0 °C	27.0 °C	27.0 °C	27.5 °C	28.0 °C	28.0 °C	28.0 °C	
								6.26 AM	6.41 AM	7.11 AM	8.11 AM	10.11 AM	12.11 AM	6.11 PM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM	6.11 AM
1	2.50	2.50	1.25	0.05	1	6.30	X	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	
2	2.50	2.50	1.25	0.10	2	6.35	X	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
3	2.50	2.50	1.25	0.15	3	6.40	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
4	2.50	2.50	1.25	0.20	4	6.45	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
5	2.50	2.50	1.25	0.25	5	6.50	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
6	2.50	2.50	1.25	0.30	6	6.55	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
7	2.50	2.50	1.25	0.35	7	6.60	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
8	2.50	2.50	1.25	0.40	8	6.65	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
9	2.50	2.50	1.25	0.45	9	6.70	M	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75
10	2.50	2.50	1.25	0.50	10	6.75	M	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75

หมายเหตุ 1) X และ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เกิดและไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที ตามลำดับ
 2) ข้อมูลที่มีการระบายสี คือ ระยะเวลาตัวอย่างที่เกิดการแยกชั้น

ตารางที่ ผ.ก.8 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B) ผสมเอทานอล 25% (ต่อ)

EtOH 25% Date: 10/01/61 Time: 6.11 AM								ml. of Emulsion																										
No.	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	Bio diesel (ml)	%Surf /Total oil	Total volume (ml)	Phase occur	15	17	18	21	22	23	24	26	28	30	31	33	34	35	37	38	41	42	43	44	46						
								d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d	d
								28.0	28.5	28.5	28.0	28.5	28.5	28.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	28.0	28.0	28.5	28.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
								6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11		
								AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM
1	2.50	2.50	1.25	0.05	1	6.30	X	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00						
2	2.50	2.50	1.25	0.10	2	6.35	X	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00						
3	2.50	2.50	1.25	0.15	3	6.40	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25						
4	2.50	2.50	1.25	0.20	4	6.45	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25						
5	2.50	2.50	1.25	0.25	5	6.50	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25						
6	2.50	2.50	1.25	0.30	6	6.55	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50						
7	2.50	2.50	1.25	0.35	7	6.60	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50						
8	2.50	2.50	1.25	0.40	8	6.65	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50						
9	2.50	2.50	1.25	0.45	9	6.70	M	6.75	6.75	6.75	6.75	6.50	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75						
10	2.50	2.50	1.25	0.50	10	6.75	M	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75						

หมายเหตุ 1) X และ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เกิดและไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที ตามลำดับ
 2) ข้อมูลที่มีการระบายสี คือ ระยะเวลาตัวอย่างที่เกิดการแยกชั้น

1.5 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH)

ตารางที่ ผ.ก.9 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH) ผสมเอทานอล 25%

EtOH 25% Date: 20/04/61 Time: 2.30 PM								ml. of Emulsion																							
No.	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	%Surf /Total oil	Bio diesel (μL)	EHOH (μL)	Total volume (ml)	Phase occur	15 min	30 min	1 hr	2 hr	4 hr	6 hr	12 hr	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d	9 d	10 d	11 d	12 d	13 d	14 d		
									°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
									2.45 PM	3.00 PM	3.30 PM	4.30 PM	6.30 PM	8.30 PM	2.30 AM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	
1	2.50	2.50	1.25	1	3	47	6.30	X	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
2	2.50	2.50	1.25	2	6	94	6.35	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
3	2.50	2.50	1.25	3	9	141	6.40	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
4	2.50	2.50	1.25	4	12	188	6.45	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
5	2.50	2.50	1.25	5	15	235	6.50	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
6	2.50	2.50	1.25	6	18	282	6.55	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
7	2.50	2.50	1.25	7	21	329	6.60	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
8	2.50	2.50	1.25	8	24	376	6.65	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
9	2.50	2.50	1.25	9	26	424	6.70	M	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75
10	2.50	2.50	1.25	10	29	471	6.75	M	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75

หมายเหตุ 1) X และ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เกิดและไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที ตามลำดับ
2) ข้อมูลที่มีการระบายสี คือ ระยะเวลาตัวอย่างที่เกิดการแยกชั้น

ตารางที่ ผ.ก.9 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH) ผสมเอทานอล 25% (ต่อ)

EtOH 25% Date: 20/04/61 Time: 2.30 PM									ml. of Emulsion					
No.	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	%Surf /Total oil	Biodiesel (μL)	EHOH (μL)	Total volume (ml)	Phase occur	21 d	37 d	39 d	41 d	50 d	61 d
									31.0 °C	30.5 °C	31.0 °C	30.5 °C	31.5 °C	30.5 °C
									2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM
1	2.50	2.50	1.25	1	3	47	6.30	X	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
2	2.50	2.50	1.25	2	6	94	6.35	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
3	2.50	2.50	1.25	3	9	141	6.40	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
4	2.50	2.50	1.25	4	12	188	6.45	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
5	2.50	2.50	1.25	5	15	235	6.50	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
6	2.50	2.50	1.25	6	18	282	6.55	M	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
7	2.50	2.50	1.25	7	21	329	6.60	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
8	2.50	2.50	1.25	8	24	376	6.65	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
9	2.50	2.50	1.25	9	26	424	6.70	M	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75
10	2.50	2.50	1.25	10	29	471	6.75	M	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75

หมายเหตุ 1) X และ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เกิดและไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที ตามลำดับ
 2) ข้อมูลที่มีการระบายสี คือ ระยะเวลาตัวอย่างที่เกิดการแยกชั้น

ตารางที่ ผ.ก.10 การเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH) ผสมเอทานอล 40% (ต่อ)

EtOH 40% Date: 20/04/61 Time: 2.30 PM									ml. of Emulsion					
No.	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	%Surf /Total oil	Biodiesel (μL)	EHOH (μL)	Total volume (ml)	Phase occur	21 d	37 d	39 d	41 d	50 d	61 d
									31.0 °C	30.5 °C	31.0 °C	30.5 °C	31.5 °C	30.5 °C
									2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM	2.30 PM
1	2.50	2.50	2.00	1	3	47	7.05	X	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
2	2.50	2.50	2.00	2	6	94	7.10	X	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25
3	2.50	2.50	2.00	3	9	141	7.15	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
4	2.50	2.50	2.00	4	12	188	7.20	M	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
5	2.50	2.50	2.00	5	15	235	7.25	M	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25
6	2.50	2.50	2.00	6	18	282	7.30	M	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25	7.25
7	2.50	2.50	2.00	7	21	329	7.35	M	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
8	2.50	2.50	2.00	8	24	376	7.40	M	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
9	2.50	2.50	2.00	9	26	424	7.45	M	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50
10	2.50	2.50	2.00	10	29	471	7.50	M	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50

หมายเหตุ 1) X และ M คือ ตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เกิดและไม่เกิดการแยกชั้น ณ เวลา 15 นาที ตามลำดับ
 2) ข้อมูลที่มีการระบายสี คือ ระยะเวลาตัวอย่างที่เกิดการแยกชั้น

2. การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

2.1 ความหนาแน่น

ตารางที่ ผ.ก.11 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงไบโอดีเซล เอทานอลและน้ำมันปาล์ม

Sample	density at 25°C (g)			average density (g/ml)
	per 1 ml	per 5 ml	per 10 ml	
Diesel	0.85	4.26	8.50	0.85
Biodiesel	0.88	4.38	8.64	0.87
Ethanol 99.9%	0.81	3.98	7.95	0.80
Palm oil	0.89	4.54	8.80	0.89

ตารางที่ ผ.ก.12 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (DB)

Selected Sample No.	Sample				density at 25°C (g)			average density (g/ml)
	EtOH (ml)	Diesel (ml)	Total volume (ml)	% EtOH	per 1 ml	per 5 ml	per 10 ml	
2	0.5	9.5	10	5	0.85	4.25	8.42	0.85
3	1.0	9.0	10	10	0.84	4.17	8.36	0.84
4	1.5	8.5	10	15	0.82	4.13	8.27	0.83
5	2.0	8.0	10	20	0.82	4.09	8.24	0.82

ตารางที่ ผ.ก.13 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (BB)

Selected Sample No.	Sample				density at 25°C (g)			average density (g/ml)
	EtOH (ml)	Biodiesel (ml)	Total volume (ml)	% EtOH	per 1 ml	per 5 ml	per 10 ml	
2	0.5	9.5	10	5	0.88	4.30	8.63	0.87
3	1.0	9.0	10	10	0.86	4.27	8.59	0.86
4	1.5	8.5	10	15	0.85	4.24	8.55	0.85
5	2.0	8.0	10	20	0.83	4.22	8.47	0.84

ตารางที่ ผ.ก.14 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B)

Selected Sample No.	Sample						density at 25°C (g)			average density (g/ml)
	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	%EtOH/total oil	Biodiesel (ml)	%Surf/Total oil	per 1 ml	per 5 ml	per 10 ml	
1	2.50	2.50	0.50	10	0.05	1	0.86	4.26	8.58	0.86
5	2.50	2.50	0.50	10	0.25	5	0.86	4.29	8.68	0.86
5	2.50	2.50	0.75	15	0.25	5	0.85	4.29	8.53	0.85
5	2.50	2.50	1.00	20	0.25	5	0.84	4.30	8.42	0.85

ตารางที่ ผ.ก.15 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH)

Selected Sample No.	Sample							density at 25°C (g)			average density (g/ml)
	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	%Surf/total oil	Biodiesel (ml)	EHOH (ml)	Total volume (ml)	per 1 ml	per 5 ml	per 10 ml	
1	2.50	2.50	1.25	1	0.0029	0.0471	6.30	0.84	4.23	8.41	0.84
2	2.50	2.50	1.25	2	0.0059	0.0941	6.35	0.83	4.16	8.30	0.83
3	2.50	2.50	1.25	3	0.0088	0.1412	6.40	0.83	4.15	8.33	0.83
4	2.50	2.50	1.25	4	0.0118	0.1882	6.45	0.83	4.12	8.20	0.82

2.2 จุดขุ่น

ตารางที่ ผ.ก.16 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงไบโอดีเซล เอทานอลและน้ำมันปาล์ม

Sample	cloud point (°C)			
	1	2	3	average temperature (°C)
Diesel	5	5	5	5
Biodiesel	10	10	10	10
Ethanol 99.9%	< 5	< 5	< 5	< 5
Palm oil	10	10	10	10

ตารางที่ ผ.ก.17 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (DB)

Selected Sample No.	Sample					cloud point (°C)			
	EtOH (ml)	Diesel (ml)	Total volume (ml)	ratio EtOH/Oil	% EtOH	1	2	3	average temperature (°C)
2	0.5	9.5	10	0.05	5	5	5	5	5
3	1.0	9.0	10	0.11	10	13	13	13	13
4	1.5	8.5	10	0.18	15	22	22	22	22
5	2.0	8.0	10	0.25	20	24	24	24	24

ตารางที่ ผ.ก.18 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (BB)

Selected Sample No.	Sample					cloud point (°C)			
	EtOH (ml)	Biodiesel (ml)	Total volume (ml)	ratio EtOH/Oil	% EtOH	1	2	3	average temperature (°C)
2	0.5	9.5	10	0.05	5	9	9	9	9
3	1.0	9.0	10	0.11	10	8	8	8	8
4	1.5	8.5	10	0.18	15	8	8	8	8
5	2.0	8.0	10	0.25	20	7	7	7	7

ตารางที่ ผ.ก.19 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B)

Selected Sample No.	Sample						cloud point (°C)			
	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	%EtOH/total Oil	Biodiesel (ml)	%Surf/total oil	1	2	3	average temperature (°C)
1	2.50	2.50	0.50	10	0.05	1	7	7	7	7
5	2.50	2.50	0.50	10	0.25	5	9	9	9	9
5	2.50	2.50	0.75	15	0.25	5	13	13	13	13
5	2.50	2.50	1.00	20	0.25	5	18	18	18	18

ตารางที่ ผ.ก.20 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH)

Selected Sample No.	Sample							cloud point (°C)			
	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	%Surf/total oil	Biodiesel (ml)	EHOH (ml)	Total volume (ml)	1	2	3	average temperature (°C)
1	2.50	2.50	1.25	1	0.0029	0.0471	6.30	20	20	20	20
2	2.50	2.50	1.25	2	0.0059	0.0941	6.35	17	17	17	17
3	2.50	2.50	1.25	3	0.0088	0.1412	6.40	13	13	13	13
4	2.50	2.50	1.25	4	0.0118	0.1882	6.45	9	9	9	9

2.3 จุดไหลเท

ตารางที่ ผ.ก.21 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงไบโอดีเซล เอทานอลและน้ำมันปาล์ม

Sample	pour point (°C)			
	1	2	3	average temperature (°C)
Diesel	< 5	< 5	< 5	< 5
Biodiesel	9	9	9	9
Ethanol 99.9%	< 5	< 5	< 5	< 5
Palm oil	8	8	8	8

ตารางที่ ผ.ก.22 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (DB)

Selected Sample No.	Sample					pour point (°C)			
	EtOH (ml)	Diesel (ml)	Total volume (ml)	ratio EtOH/Oil	% EtOH	1	2	3	average temperature (°C)
2	0.5	9.5	10	0.05	5	< 5	< 5	< 5	< 5
3	1.0	9.0	10	0.11	10	< 5	< 5	< 5	< 5
4	1.5	8.5	10	0.18	15	< 5	< 5	< 5	< 5
5	2.0	8.0	10	0.25	20	< 5	< 5	< 5	< 5

ตารางที่ ผ.ก.23 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (BB)

Selected Sample No.	Sample					pour point (°C)			
	EtOH (ml)	Biodiesel (ml)	Total volume (ml)	ratio EtOH/Oil	% EtOH	1	2	3	average temperature (°C)
2	0.5	9.5	10	0.05	5	8	8	8	8
3	1.0	9.0	10	0.11	10	7	7	7	7
4	1.5	8.5	10	0.18	15	7	7	7	7
5	2.0	8.0	10	0.25	20	6	6	6	6

ตารางที่ ผ.ก.24 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B)

Selected Sample No.	Sample						pour point (°C)			
	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	%EtOH/total oil	Biodiesel (ml)	%Surf/total oil	1	2	3	average temperature (°C)
1	2.50	2.50	0.50	10	0.05	1	< 5	< 5	< 5	< 5
5	2.50	2.50	0.50	10	0.25	5	< 5	< 5	< 5	< 5
5	2.50	2.50	0.75	15	0.25	5	< 5	< 5	< 5	< 5
5	2.50	2.50	1.00	20	0.25	5	< 5	< 5	< 5	< 5

ตารางที่ ผ.ก.25 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH)

Selected Sample No.	Sample							pour point (°C)			
	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	%Surf/total oil	Biodiesel (ml)	EHOH (ml)	Total volume (ml)	1	2	3	average temperature (°C)
1	2.50	2.50	1.25	1	0.0029	0.0471	6.30	< 5	< 5	< 5	< 5
2	2.50	2.50	1.25	2	0.0059	0.0941	6.35	< 5	< 5	< 5	< 5
3	2.50	2.50	1.25	3	0.0088	0.1412	6.40	< 5	< 5	< 5	< 5
4	2.50	2.50	1.25	4	0.0118	0.1882	6.45	< 5	< 5	< 5	< 5

2.4 ค่าความหนืดจลนศาสตร์และความหนืดพลวัต

ตารางที่ ผ.ก.26 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงดีเซล เชื้อเพลิงไบโอดีเซล เอทานอลและน้ำมันปาล์ม

Sample	flow time (s)			average flow time (s)	constant (cSt/s)	Kinematic viscosity (cSt)	density (g/ml)	Dynamic viscosity (cP)
	1	2	3					
Diesel	432	433	432	432.3333	0.007903	3.4	0.85	2.9
Biodiesel	559	558	559	558.6667	0.007903	4.4	0.87	3.9
Ethanol 99.9%	249	250	249	249.3333	0.004325	1.1	0.80	0.9
Palm oil	368	368	368	368.0000	0.106800	39.3	0.89	35.1

ตารางที่ ผ.ก.27 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (DB)

Selected Sample No.	Sample				flow time (s)			average flow time (s)	constant (cSt/s)	Kinematic viscosity (cSt)	density (g/ml)	Dynamic viscosity (cP)
	EtOH (ml)	Diesel (m.)	Total volume (ml)	% EtOH	1	2	3					
2	0.5	9.5	10	5	353	353	353	353.0000	0.007903	2.8	0.85	2.4
3	1.0	9.0	10	10	325	325	325	325.0000	0.007903	2.6	0.84	2.1
4	1.5	8.5	10	15	321	320	320	320.3333	0.007903	2.5	0.83	2.1
5	2.0	8.0	10	20	308	309	309	308.6667	0.007903	2.4	0.82	2.0

ตารางที่ ผ.ก.28 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (BB)

Selected Sample No.	Sample				flow time (s)			average flow time (s)	constant (cSt/s)	Kinematic viscosity (cSt)	density (g/ml)	Dynamic viscosity (cP)
	EtOH (ml)	Biodiesel (m.)	Total volume (ml)	% EtOH	1	2	3					
2	0.5	9.5	10	5	534	533	534	533.6667	0.007903	4.2	0.87	3.7
3	1.0	9.0	10	10	476	477	475	476.0000	0.007903	3.8	0.86	3.2
4	1.5	8.5	10	15	406	406	406	406.0000	0.007903	3.2	0.85	2.7
5	2.0	8.0	10	20	404	404	405	404.3333	0.007903	3.2	0.84	2.7

ตารางที่ ผ.ก.29 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B)

Selected Sample No.	Sample							flow time (s)			average flow time (s)	constant (cSt/s)	Kinematic viscosity (cSt)	density (g/ml)	Dynamic viscosity (cP)
	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	%EtOH/total Oil	Biodiesel (ml)	%Surf/total oil	Total volume (ml)	1	2	3					
1	2.50	2.50	0.50	10	0.05	1	5.55	503	501	502	502.0000	0.01407	7.1	0.86	6.0
5	2.50	2.50	0.50	10	0.25	5	5.75	535	536	536	535.6667	0.01431	7.7	0.86	6.6
5	2.50	2.50	0.75	15	0.25	5	6.00	427	427	427	427.0000	0.01407	6.0	0.85	5.1
5	2.50	2.50	1.00	20	0.25	5	6.25	383	383	383	383.0000	0.01431	5.5	0.85	4.6

ตารางที่ ผ.ก.30 ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH)

Selected Sample No.	Sample							flow time (s)			average flow time (s)	constant (cSt/s)	Kinematic viscosity (cSt)	density (g/ml)	Dynamic viscosity (cP)
	Palm oil (ml)	Diesel (ml)	EtOH (ml)	%Surf/total oil	Biodiesel (ml)	EHOH (ml)	Total volume (ml)	1	2	3					
1	2.50	2.50	1.25	1	0.0029	0.0471	6.30	406	406	407	406.3333	0.01431	5.8	0.84	4.9
2	2.50	2.50	1.25	2	0.0059	0.0941	6.35	406	407	406	406.3333	0.01407	5.7	0.83	4.8
3	2.50	2.50	1.25	3	0.0088	0.1412	6.40	397	397	396	396.6667	0.01431	5.7	0.83	4.7
4	2.50	2.50	1.25	4	0.0118	0.1882	6.45	393	393	393	393.0000	0.01431	5.6	0.82	4.6

2.5 ค่าความร้อน

ตารางที่ ผ.ก.31 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

Sample	weight of ignition wire (before) (g.)	weight of ignition wire (after) (g.)	weight of sample (g.)	T00	T31	ΔT	E	Q (J/g)	density (g/ml)	Q (MJ/kg)
Benzoic acid	0.0073	0.0028	1.0002	30.117	31.769	1.652	16,024.46	26,467.00		
Diesel	0.0073	0.0022	1.0000	30.290	33.220	2.930		46,911.68	0.85	46.91
Biodiesel	0.0074	0.0024	1.0000	30.731	33.296	2.565		41,062.75	0.87	41.06
Palm oil	0.0072	0.0021	1.0001	30.116	32.577	2.461		39,392.27	0.89	39.39
DB 5	0.0073	0.0021	1.0000	30.127	32.957	2.830		45,309.23	0.85	45.31
DB 10	0.0072	0.0020	1.0001	30.253	32.955	2.702		43,253.78	0.84	43.25
DB 15	0.0071	0.0031	1.0002	30.412	33.052	2.640		42,256.13	0.83	42.26
DB 20	0.0073	0.0025	1.0000	30.617	33.147	2.530		40,501.89	0.82	40.50
BB 5	0.0072	0.0022	1.0001	30.489	32.900	2.411		38,591.12	0.87	38.59
BB 10	0.0070	0.0023	1.0000	30.139	32.493	2.354		37,681.59	0.86	37.68
BB 15	0.0071	0.0023	1.0002	30.331	32.584	2.253		36,055.91	0.85	36.06
BB 20	0.0072	0.0026	1.0001	30.108	32.276	2.168		34,697.57	0.84	34.70
ME-B 15/5	0.0072	0.0034	1.0001	29.875	32.446	2.571		41,154.78	0.85	41.15
ME-B 20/5	0.0073	0.0022	1.0001	30.433	32.955	2.522		40,369.66	0.85	40.37

ตารางที่ ผ.ก.31 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (ต่อ)

Sample	weight of ignition wire (before) (g.)	weight of ignition wire (after) (g.)	weight of sample (g.)	T00	T31	ΔT	E	Q (J/g)	density (g/ml)	Q (MJ/kg)
ME-B/EHOH 25/1	0.0074	0.0043	1.0001	29.658	32.247	2.589	16,024.46	41,443.19	0.84	41.44
ME-B/EHOH 25/2	0.0073	0.0021	1.0002	29.453	32.021	2.568		41,102.60	0.83	41.10
ME-B/EHOH 25/3	0.0075	0.0034	1.0002	29.971	32.502	2.531		40,509.82	0.83	40.51
ME-B/EHOH 25/4	0.0068	0.0013	1.0001	29.119	31.528	2.409		38,559.08	0.82	38.56

2.6 จุดวาบไฟ

ตารางที่ ผ.ก.32 จุดวาบไฟของเชื้อเพลิง

Sample	flash point (°C)
Diesel	66
Diesel-alcohol blend 10%EtOH	50
Biodiesel	145
Palm-oil-based-biodiesel-alcohol blend 10%EtOH	47
Microemulsion-B 15/5	38
Microemulsion-B/EHOH 25/3	33

3. การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ของเชื้อเพลิง

3.1 สมรรถนะเครื่องยนต์ของเชื้อเพลิงดีเซล (D)

ตารางที่ ผ.ก.33 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซล ที่โหลด 0.0 กิโลวัตต์ แบบไม่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0 kW (no gen)		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เหลือ 1.15 L.				ใช้ไป 0.35 L.			I เริ่ม = 0 A			V เริ่ม = 0 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	33.2	20.99	1.27	528	19.25	51	54	0	97.2	0	3022	0.000	0	0.00	0	0.00	0
			1.39	536	19.09	62	65	0	100.1								
30	34.4	20.84	1.39	526	19.09	51	54	0	111.2	0	3023	0.000	0	0.00	0	0.00	0
			1.74	539	18.60	65	68	0	115.8								
45	35.2	21.00	1.40	506	19.01	60	63	0	113.7	0	3023	0.000	0	0.00	0	0.00	0
			1.66	528	18.72	66	69	0	114.9								
60	35.5	21.00	1.46	533	18.99	68	71	0	100.3	0	3024	0.000	0	0.00	0	0.00	0
			1.70	542	18.66	69	72	0	110.1								
Average	34.6	20.96	1.50	530	18.93	62	65	0	107.9	0	3023	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
S.D.	1.0	0.08	0.17	11	0.24	7	7	0	7.5	0	1	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0

ตารางที่ ผ.ก.34 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซล ที่โหลด 0.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0 kW		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เหลือ 1.05 L.				ใช้ไป 0.45 L.			I เริ่ม = 1.1 A			V เริ่ม = 23.02 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	34.7	21.00	1.73	385	18.62	76	80	0	129.6	1534	3089	0.000	219.7	0.00	0	50.57	0
			1.79	438	18.56	81	85	0	131.4								
30	34.9	21.01	1.62	383	18.78	73	77	0	128.2	1525	3094	0.000	220.4	0.00	0	50.27	0
			1.74	430	18.61	88	92	0	131.0								
45	34.2	21.00	1.64	381	18.74	98	103	0	132.2	1527	3091	0.000	220.1	0.00	0	50.62	0
			1.76	441	18.58	99	104	0	133.0								
60	34.7	20.99	1.68	420	18.81	98	103	0	134.4	1537	3091	0.000	220.6	0.00	0	50.42	0
			1.74	442	18.61	98	103	0	139.1								
Average	34.6	21.00	1.71	415	18.66	89	93	0	132.4	1531	3091	0.000	220.2	0.00	0.0	50.47	0.0
S.D.	0.3	0.01	0.06	27	0.10	11	11	0	3.3	6	2	0.000	0.4	0.00	0.0	0.16	0.0

ตารางที่ ผ.ก.35 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซล ที่โหลด 0.5 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0.5 kW		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เหลือ 0.95 L.				ใช้ไป 0.55 L.			I เริ่ม = 1.4 A			V เริ่ม = 30.29 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	34.6	21.00	1.77	361	18.58	122	128	0	141.7	1527	3077	0.503	220.1	2.25	1.0	50.30	0.14
			1.88	382	18.43	136	143	0	145.5								
30	34.8	21.00	1.80	373	18.55	103	108	0	138.9	1530	3079	0.504	221	2.25	1.0	50.41	0.24
			1.83	380	18.51	112	118	0	142.8								
45	35.0	21.01	1.78	371	18.58	102	107	0	139.7	1525	3073	0.498	220.9	2.24	1.0	50.25	0.37
			1.85	383	18.47	113	119	0	143.7								
60	35.1	21.00	1.80	373	18.55	103	108	0	138.4	1520	3067	0.495	219.7	2.24	1.0	50.15	0.49
			1.89	388	18.41	115	121	0	144.2								
Average	34.9	21.00	1.83	376	18.51	113	119	0	141.9	1526	3074	0.500	220.4	2.25	1.00	50.28	0.31
S.D.	0.2	0.01	0.05	9	0.07	12	12	0	2.6	4	5	0.004	0.6	0.01	0.00	0.11	0.15

ตารางที่ ผ.ก.36 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซล ที่โหลด 1.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.0 kW		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เหลือ 0.85 L.				ใช้ไป 0.65 L.			I เริ่ม = 1.8 A			V เริ่ม = 37.64 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	34.6	21.00	1.90	370	18.40	187	196	0	152.9	1524	3111	1.001	220.3	4.50	1.0	50.46	0.26
			1.91	376	18.38	190	199	0	154.5								
30	35.7	20.99	1.89	371	18.44	193	203	0	155.0	1521	3108	1.006	220.4	4.48	1.0	50.36	0.49
			1.93	385	18.29	199	209	0	171.5								
45	36.0	21.00	1.88	369	18.43	192	202	0	174.7	1520	3099	1.009	220.6	4.50	1.0	50.69	0.74
			1.99	382	18.28	201	211	0	179.2								
60	36.0	21.00	1.92	372	18.36	199	209	0	162.7	1523	3098	1.002	220.8	4.51	1.0	50.73	0.99
			2.09	376	18.16	202	212	0	171.6								
Average	35.6	21.00	1.94	375	18.34	195	205	0	165.3	1522	3104	1.005	220.5	4.50	0.0	50.56	0.62
S.D.	0.7	0.01	0.07	6	0.09	6	6	0	10.3	2	6	0.004	0.2	0.01	0.0	0.18	0.32

ตารางที่ ผ.ก.37 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซล ที่โหลด 1.5 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.5 kW		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เหลือ 0.70 L.				ใช้ไป 0.80 L.			I เริ่ม = 2.2 A			V เริ่ม = 43.0 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	26.7	21.00	3.24	335	16.61	271	285	0	180	1510	3096	1.492	220.2	6.60	1.0	50.19	0.37
			3.41	342	16.37	276	290	0	181.1								
30	26.6	20.99	3.12	332	16.77	263	276	0	176.6	1507	3084	1.504	220.5	6.61	1.0	50.33	0.71
			3.42	337	16.36	272	280	0	184.3								
45	27.2	20.99	3.34	328	16.47	277	291	0	187.5	1512	3089	1.501	221.2	6.59	1.0	50.09	1.08
			3.55	334	16.19	277	291	0	188.9								
60	26.0	20.99	3.43	327	16.35	270	284	0	193.0	1514	3093	1.507	220.6	6.66	1.0	50.07	1.48
			3.61	334	16.11	273	297	0	194.8								
Average	26.6	20.99	3.39	334	16.40	272	287	0	185.8	1511	3091	1.501	220.6	6.62	1.0	50.17	0.91
S.D.	0.5	0.01	0.16	5	0.21	5	7	0	6.4	3	5	0.006	0.4	0.03	0.00	0.12	0.48

ตารางที่ ผ.ก.38 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซล ที่โหลด 2.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.0 kW		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เหลือ 0.95 L.				ใช้ไป 1.05 L.			I เริ่ม = 2.8 A			V เริ่ม = 63.2 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	26.1	21.00	3.44	279	16.35	366	384	0	228.5	1509	3096	1.994	219.7	9.30	1.0	50.33	0.46
			3.90	279	15.72	390	409	0	233.3								
30	26.1	20.99	3.42	257	16.38	370	388	0	231.2	1515	3092	2.003	220.9	9.28	1.0	50.48	1.01
			3.64	262	16.07	388	407	0	234.4								
45	27.7	21.00	3.44	262	16.35	334	351	0	226.9	1511	3100	2.002	219.3	9.30	1.0	50.18	1.46
			3.86	281	15.78	346	363	0	236.4								
60	28.3	21.00	3.49	240	16.28	391	411	0	231.1	1507	3094	2.000	218.9	9.30	1.0	50.49	2.01
			3.80	256	15.86	402	422	0	233.8								
Average	27.1	21.00	3.62	265	16.10	373	392	0	232.0	1511	3096	2.000	219.7	9.30	1.0	50.37	1.24
S.D.	1.1	0.01	0.20	14	0.28	24	25	0	3.2	3	3	0.004	0.9	0.01	0.00	0.15	0.66

3.2 สมรรถนะเครื่องยนต์ของเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (DB)

ตารางที่ ผ.ก.39 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ ที่โหลด 0.0 กิโลวัตต์ แบบไม่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0 kW (no gen)		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เกลือ 1.50 L.				ใช้ไป 0.50 L.			I เริ่ม = 0 A			V เริ่ม = 0 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	33.3	21.00	0.99	544	19.22	8	8	0	112.2	0	2975	0.000	0.0	0.00	0	0.00	0
			1.47	733	18.95	7	7	0	123.1	0	3155						
30	35.3	21.00	0.94	430	19.69	8	8	0	107.1	0	2951	0.000	0.0	0.00	0	0.00	0
			1.27	593	19.23	13	14	0	107.3	0	3154						
45	34.7	21.00	1.03	552	9.56	13	14	0	116.7	0	2887	0.000	0.0	0.00	0	0.00	0
			1.60	742	18.78	9	9	0	134.9	0	3149						
60	34.6	21.00	0.94	416	19.70	13	14	0	129.3	0	2814	0.000	0.0	0.00	0	0.00	0
			0.95	739	19.65	7	7	0	134.4	0	3049						
Average	34.5	21.00	1.15	594	18.10	10	10	0	120.6	0	3017	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
S.D.	0.8	0.00	0.26	134	3.47	3	3	0	11.5	0	131	0.000	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ ผ.ก.40 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ ที่โหลด 0.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0 kW		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เหลือ 1.00 L.				ใช้ไป 1.00 L.			I เริ่ม = 1.1 A			V เริ่ม = 25.48 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	35.7	21.00	1.59	875	18.78	3	3	8	142.7	1482	2960	0.000	207.9	0.00	0	49.41	0
			1.66	960	18.67	4	4	13	147.7	1587	3192		220.1			50.62	
30	35.2	21.00	1.09	760	19.46	3	3	35	142.5	1376	2841	0.000	204.3	0.00	0	45.13	0
			1.21	1020	19.28	3	3	52	146.5	1429	3074		218.7			48.51	
45	36.0	20.99	0.71	740	19.98	3	3	25	141.3	1383	2810	0.000	201.0	0.00	0	43.56	0
			0.85	971	19.76	3	3	39	145.7	1430	2943		218.4			49.50	
60	36.4	20.99	1.08	783	19.48	2	2	30	141.4	1366	2763	0.000	198.2	0.00	0	45.87	0
			1.00	1243	19.53	2	2	48	154.3	1459	2919		217.0			48.58	
Average	35.8	21.00	1.15	919	19.37	3	3	31	145.3	1439	2938	0.000	210.7	0.00	0.0	47.65	0.00
S.D.	0.5	0.01	0.33	168	0.45	1	1	16	4.4	72	142	0.000	8.9	0.00	0.00	2.48	0.00

ตารางที่ ผ.ก.41 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ ที่โหลด 0.5 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0.5 kW		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เหลือ 0.80 L.				ใช้ไป 1.20 L.			I เริ่ม = 1.4 A			V เริ่ม = 30.9 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	35.3	21.00	1.03	754	19.54	3	3	18	165.3	1409	2828	0.459	208.1	2.17	1.0	45.47	0.12
			1.19	1148	19.29	4	4	47	183.1	1505	3009	0.511	219.6	2.27		50.16	
30	36.1	21.00	1.22	956	19.27	3	3	35	158.1	1409	2812	0.444	207.0	2.14	1.0	45.9	0.24
			1.37	1235	19.04	3	3	37	160.7	1498	3007	0.560	219.2	2.21		49.19	
45	37.0	20.99	1.90	1631	18.29	3	3	48	194.1	1374	2798	0.437	202.8	2.10	1.0	45.43	0.34
			1.65	2002	18.58	5	5	98	211.0	1487	2948	0.490	216.6	2.20		49.87	
60	36.4	21.00	1.82	1485	18.41	3	3	53	183.9	1336	2776	0.417	202.1	2.07	1.0	43.97	0.44
			1.57	1904	18.71	4	4	95	208.9	1478	2970	0.472	215.3	2.19		47.44	
Average	36.2	21.00	1.47	1389	18.89	4	4	54	183.1	1437	2894	0.474	211.3	2.17	1.0	47.18	0.29
S.D.	0.7	0.01	0.31	444	0.46	1	1	28	20.7	64	99	0.046	7.2	0.06	0.00	2.33	0.14

3.3 สมรรถนะเครื่องยนต์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม (B)

ตารางที่ ผ.ก.42 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่โหลด 0.0 กิโลวัตต์ แบบไม่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0 kW (no gen)		เชื้อเพลิง 1.00 L.			เหลือ 0.65 L.				ใช้ไป 0.35 L.			I เริ่ม = 0 A			V เริ่ม = 0 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	29.4	21.00	1.44	441	18.83	64	67	0	105.6	0	3090	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
			1.58	462	19.02	65	68	0	102.0								
30	30.4	20.99	1.59	483	18.82	65	68	0	104.0	0	3084	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
			1.69	491	18.68	69	72	0	107.4								
45	30.2	21.00	1.73	500	18.62	69	72	0	106.6	0	3076	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
			1.76	525	18.58	70	74	0	104.4								
60	30.8	21.00	1.55	512	18.59	71	75	0	103.2	0	3083	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
			1.75	527	18.87	72	76	0	109.1								
Average	30.2	21.00	1.64	493	18.75	68	72	0	105.3	0	3083	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
S.D.	0.6	0.01	0.11	30	0.16	3	3	0	2.3	0	6	0.000	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ ผ.ก.43 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่โหลด 0.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0 kW		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เหลือ 1.05 L.				ใช้ไป 0.45 L.			I เริ่ม = 0.9 A			V เริ่ม = 26.10 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	29.8	21.00	1.34	452	18.61	89	93	0	100.2	1511	3063	0.000	220.3	0.00	0.0	50.15	0.00
			1.68	466	18.71	95	100	0	114.4								
30	30.1	20.99	1.90	444	18.40	94	99	0	111.2	1517	3066	0.000	220.1	0.00	0.0	50.54	0.00
			1.90	449	18.41	96	101	0	116.6								
45	29.3	20.99	2.03	453	18.23	94	99	0	116.2	1506	3061	0.000	219.9	0.00	0.0	50.28	0.00
			2.04	464	18.38	99	104	0	116.9								
60	30.3	21.00	2.01	444	18.21	93	98	0	115.4	1509	3062	0.000	220.4	0.00	0.0	50.32	0.00
			2.05	451	18.33	98	103	0	117.9								
Average	29.9	21.00	1.87	453	18.41	95	100	0	113.6	1511	3063	0.000	220.2	0.00	0.0	50.32	0.00
S.D.	0.4	0.01	0.25	8	0.17	3	3	0	5.8	5	2	0.000	0.2	0.00	0.00	0.16	0.00

ตารางที่ ผ.ก.44 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่โหลด 0.5 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0.5 kW		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เหลือ 0.85 L.				ใช้ไป 0.65 L.			I เริ่ม = 1.1 A			V เริ่ม = 31.56 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	30.7	20.99	1.89	404	17.49	133	140	0	129.7	1520	3107	0.503	220.2	2.26	1.0	50.69	0.14
			2.08	414	18.17	138	145	0	143.4								
30	31.5	21.00	2.12	364	18.11	124	130	0	137.8	1526	3111	0.498	219.8	2.24	1.0	50.82	0.26
			2.12	376	18.11	129	135	0	140.8								
45	31.2	20.99	1.85	373	18.02	108	113	0	134.4	1528	3112	0.502	220.1	2.24	1.0	50.60	0.37
			2.19	375	18.47	119	125	0	139.0								
60	30.5	20.99	2.31	401	17.67	135	142	0	141.7	1525	3115	0.495	219.8	2.23	1.0	50.55	0.49
			2.44	403	17.86	133	140	0	144.1								
Average	31.0	20.99	2.13	389	17.99	127	134	0	138.9	1525	3111	0.500	220.0	2.24	1.0	50.67	0.32
S.D.	0.5	0.01	0.20	19	0.31	10	11	0	4.9	3	3	0.004	0.2	0.01	0.00	0.12	0.15

ตารางที่ ผ.ก.45 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่โหลด 1.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.0 kW		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เหลือ 0.75 L.				ใช้ไป 0.75 L.			I เริ่ม = 1.5 A			V เริ่ม = 39.15 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	29.0	20.99	2.70	309	17.33	171	180	0	170.8	1551	3164	1.003	220.4	4.49	1.0	50.40	0.25
			2.84	329	17.83	190	199	0	175.0								
30	33.3	20.99	2.95	314	16.95	177	186	0	173.5	1545	3160	1.015	220.1	4.50	1.0	50.72	0.50
			2.99	318	17.00	183	192	0	174.5								
45	32.2	20.99	2.93	317	17.03	194	204	0	179.3	1539	3147	0.998	220.2	4.51	1.0	50.93	0.75
			3.02	325	17.04	197	207	0	179.4								
60	30.9	20.99	3.01	345	16.92	189	198	0	173.1	1539	3137	1.001	220.7	4.49	1.0	50.37	0.99
			3.09	352	16.81	197	207	0	177.7								
Average	31.4	20.99	2.94	326	17.11	187	197	0	175.4	1544	3152	1.004	220.4	4.50	1.0	50.61	0.62
S.D.	1.8	0.00	0.12	15	0.33	10	10	0	3.1	6	12	0.007	0.3	0.01	0.00	0.27	0.32

ตารางที่ ผ.ก.46 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่โหลด 1.5 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.5 kW		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เหลือ 1.10 L.				ใช้ไป 0.90 L.			I เริ่ม = 2.1 A			V เริ่ม = 49.50 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	30.2	20.99	3.19	281	16.67	221	232	0	185.4	1544	3152	1.503	220.6	6.62	1.0	50.64	0.38
			3.36	298	16.46	241	253	0	194.3								
30	31.5	20.99	3.32	299	16.50	263	276	0	199.5	1545	3150	1.499	220.4	6.60	1.0	50.48	0.75
			3.41	316	16.39	265	278	0	202.2								
45	28.8	20.99	3.32	275	16.50	239	251	0	196.2	1533	3142	1.507	219.7	6.58	1.0	50.97	1.12
			3.38	278	16.42	242	254	0	199.7								
60	29.2	20.99	3.13	266	16.76	216	227	0	199.2	1535	3143	1.495	220.2	6.62	1.0	50.67	1.48
			3.25	291	16.60	255	268	0	204.4								
Average	29.9	20.99	3.30	288	16.54	243	255	0	197.6	1539	3147	1.501	220.2	6.61	1.0	50.69	0.93
S.D.	1.2	0.00	0.10	16	0.13	18	19	0	5.9	6	5	0.005	0.5	0.02	0.00	0.20	0.47

ตารางที่ ผ.ก.47 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่โหลด 2.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.0 kW		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เหลือ 0.95 L.				ใช้ไป 1.05 L.			I เริ่ม = 2.8 A			V เริ่ม = 62.1 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	27.0	21.00	4.22	243	15.30	339	356	0	226.4	1512	3101	1.991	220.1	8.99	1.0	50.18	0.53
			4.22	249	15.30	344	361	0	238.8								
30	27.4	20.99	3.86	241	15.42	322	338	0	223.5	1507	3103	2.005	219.7	9.01	1.0	50.05	1.04
			3.90	248	15.78	333	350	0	230.4								
45	28.2	20.99	3.82	239	15.83	329	345	0	232.9	1510	3109	2.001	220.2	9.02	1.0	50.17	1.48
			4.04	240	15.54	337	354	0	244.7								
60	28	20.99	3.66	222	15.54	327	343	0	223.2	1513	3103	1.987	219.9	9.01	1.0	50.33	2.04
			3.99	246	15.72	339	356	0	235.5								
Average	27.7	20.99	3.96	241	15.55	334	350	0	231.9	1511	3104	1.996	220.0	9.01	1.0	50.18	1.27
S.D.	0.6	0.01	0.19	9	0.21	7	8	0	7.6	3	3	0.008	0.2	0.01	0.00	0.11	0.64

3.4 สมรรถนะเครื่องยนต์ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B)

ตารางที่ ผ.ก.48 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว ที่โหลด 0.0 กิโลวัตต์ แบบไม่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0 kW (no gen)		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เกลือ 1.05 L.				ไบโอดีเซล 0.45 L.			I เริ่ม = 0 A			V เริ่ม = 0 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	32.2	20.99	1.45	561	18.99	32	34	0	113.1	0	3033	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
			1.74	561	18.60	35	37	0	123.7								
30	33.1	21.00	2.06	600	18.16	40	42	0	117.7	0	3035	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
			2.14	624	18.07	41	43	0	118.6								
45	33.2	21.00	2.09	625	18.12	36	38	0	119.3	0	3031	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
			2.01	628	18.23	35	37	0	120.2								
60	33.4	20.99	1.95	612	18.32	36	38	0	119.3	0	3027	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
			1.83	628	18.48	38	40	0	120.5								
Average	33.0	21.00	1.91	605	18.37	37	39	0	119.1	0	3032	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
S.D.	0.5	0.01	0.23	29	0.31	3	3	0	3.0	0	3	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0

ตารางที่ ผ.ก.49 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว ที่โหลด 0.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0 kW		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เหลือ 0.95 L.				ใช้ไป 0.55 L.			I เริ่ม = 1.0 A			V เริ่ม = 29.27 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	31.5	21.00	1.99	544	18.27	39	41	0	119.5	1503	3031	0.000	220.3	0.00	0.0	50.12	0.00
			1.89	549	18.40	41	43	0	124.0								
30	31.3	21.00	2.00	529	18.26	42	44	0	119.9	1505	3047	0.000	219.9	0.00	0.0	49.97	0.00
			1.75	554	18.59	40	42	0	124.7								
45	32.1	21.00	2.14	576	18.07	44	46	0	119.5	1513	3054	0.000	220.1	0.00	0.0	50.36	0.00
			2.26	616	17.90	48	50	0	128.8								
60	32.6	21.00	2.15	543	18.06	45	47	0	126.0	1512	3045	0.000	220.5	0.00	0.0	50.48	0.00
			1.95	544	18.33	47	49	0	129.2								
Average	31.9	21.00	2.02	557	18.24	66	69	0	124.0	1508	3044	0.000	220.2	0.00	0.0	50.23	0.0
S.D.	0.6	0.00	0.16	27	0.22	2	3	0	4.0	5	10	0.000	0.3	0.00	0.0	0.23	0.0

ตารางที่ ผ.ก.50 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่โซโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว ที่โหลด 0.5 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0.5 kW		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เหลือ 0.80 L.				โซโอดีเซล 0.70 L.			I เริ่ม = 1.2 A			V เริ่ม = 30.61 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	32.8	21.00	1.86	486	18.45	50	53	0	132.6	1558	3103	0.499	220.9	3.30	1.0	50.20	0.14
			1.78	480	18.56	52	55	0	133.2								
30	32.6	21.00	1.76	456	18.58	49	51	0	135.6	1543	3098	0.502	219.8	3.33	1.0	49.81	0.25
			1.86	470	18.46	49	51	0	135.9								
45	32.9	21.00	1.76	460	18.55	51	54	0	136.2	1523	3081	0.501	219.6	3.31	1.0	50.12	0.37
			1.64	463	18.74	52	55	0	141.7								
60	33.1	21.00	1.60	423	18.80	49	51	0	142.2	1527	3085	0.500	220.4	3.32	1.0	50.03	0.49
			1.60	444	18.80	50	53	0	143.8								
Average	32.9	21.00	1.73	460	18.62	50	53	0	137.7	1538	3092	0.501	220.2	3.32	1.00	50.04	0.31
S.D.	0.2	0.00	0.11	20	0.14	1	2	0	4.3	16	10	0.001	0.6	0.01	0.00	0.17	0.15

ตารางที่ ผ.ก.51 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่โซโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว ที่โหลด 1.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.0 kW		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เหลือ 0.95 L.				โซโอดี 1.10 L.			I เริ่ม = 1.6 A			V เริ่ม = 33.65 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	33.5	21.00	1.42	407	19.05	52	55	0	168.2	1512	3126	1.002	220.1	4.21	1.0	49.97	0.25
			1.68	430	18.70	52	55	0	170.1								
30	33.4	21.00	1.65	412	18.73	53	56	0	170.6	1513	3115	1.001	220.0	4.22	1.0	50.44	0.49
			1.64	425	18.76	55	58	0	170.9								
45	33.9	20.99	1.55	414	18.87	51	54	0	171.3	1515	3102	0.998	219.6	4.19	1.0	50.12	0.74
			1.66	433	18.96	54	57	0	172.5								
60	33.6	21.00	1.72	406	18.65	55	58	0	172.4	1510	3109	1.005	220.2	4.23	1.0	50.01	0.99
			1.66	423	18.73	56	59	0	175.6								
Average	33.6	21.00	1.62	419	18.81	54	57	0	171.5	1513	3113	1.002	220.0	4.21	0.0	50.14	0.62
S.D.	0.2	0.01	0.09	10	0.14	2	2	0	2.2	2	10	0.003	0.3	0.02	0.0	0.21	0.32

ตารางที่ ผ.ก.52 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่โซโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว ที่โหลด 1.5 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.5 kW		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เหลือ 0.75 L.				โซโอดี 1.25 L.			I เริ่ม = 1.9 A			V เริ่ม = 44.25 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	33.6	21.00	1.94	371	18.36	58	60	0	189.4	1513	3102	1.498	219.8	5.80	1.0	50.03	0.37
			1.68	360	18.71	59	61	0	190.6								
30	33.1	21.00	1.65	342	18.75	60	62	0	191.2	1514	3097	1.501	220.6	5.82	1.0	50.12	0.73
			1.21	351	18.95	62	66	0	191.8								
45	33.0	21.00	1.44	337	19.04	61	63	0	192.5	1521	3106	1.499	220.4	5.83	1.0	50.09	1.09
			1.15	353	19.42	60	62	0	193.1								
60	33.8	21.00	1.68	346	18.41	59	61	0	194.3	1523	3111	1.502	220.8	5.86	1.0	49.98	1.48
			1.45	337	19.06	61	63	0	196.9								
Average	33.4	21.00	1.53	350	18.84	60	62	0	192.5	1518	3104	1.500	220.4	5.83	1.0	50.06	0.92
S.D.	0.4	0.00	0.26	12	0.35	1	2	0	2.3	5	6	0.002	0.4	0.03	0.00	0.06	0.48

ตารางที่ ผ.ก.53 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่โซ่ไปโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว ที่โหลด 2.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.0 kW		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เหลือ 0.55 L.				โซ่ไป 1.45 L.			I เริ่ม = 2.6 A			V เริ่ม = 57.32 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	32.8	21.00	1.47	301	19.01	64	67	0	224.5	1508	3099	1.998	220.1	8.11	1.0	49.88	0.51
			1.49	293	18.96	68	71	0	228.1								
30	33.0	21.00	1.72	250	18.65	65	68	0	221.7	1512	3105	1.985	220.8	8.06	1.0	50.42	1.02
			1.48	299	18.98	70	74	0	226.9								
45	33.5	21.00	1.45	265	19.02	63	66	0	230.4	1516	3116	2.005	219.4	8.12	1.0	50.03	1.47
			1.42	272	19.05	65	68	0	232.6								
60	33.4	21.00	1.67	247	18.72	65	68	0	229.8	1519	3114	2.006	219.5	8.08	1.0	50.32	2.00
			1.43	265	19.03	67	70	0	234.2								
Average	33.2	21.00	1.52	274	18.93	66	69	0	228.5	1514	3109	1.999	220.0	8.09	1.0	50.16	1.25
S.D.	0.3	0.00	0.11	21	0.15	2	3	0	4.1	5	8	0.010	0.6	0.03	0.00	0.25	0.64

3.5 สมรรถนะเครื่องยนต์ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH)

ตารางที่ ผ.ก.54 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ที่โหลด 0.0 กิโลวัตต์ แบบไม่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0 kW (no gen)		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เหลือ 1.05 L.				ใช้ไป 0.45 L.			I เริ่ม = 0 A			V เริ่ม = 0 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	31.6	21.00	1.78	715	18.53	26	27	0	114.9	0	3060	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
			2.01	755	18.22	19	20	0	115.1								
30	31.5	21.00	1.53	656	18.88	10	11	0	113.7	0	3062	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
			1.58	664	18.81	14	15	0	116.0								
45	31.8	21.00	1.58	633	18.82	20	21	0	110.3	0	3063	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
			1.50	654	18.92	22	23	0	114.5								
60	31.5	20.99	1.69	669	18.66	10	11	0	109.4	0	3065	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.00
			1.70	725	18.64	20	21	0	113.4								
Average	31.6	21.00	1.67	684	18.69	18	19	0	113.4	0	3063	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
S.D.	0.1	0.01	0.17	42	0.23	6	6	0	2.4	0	2	0.000	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0

ตารางที่ ผ.ก.55 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม ที่โหลด 0.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0 kW		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เหลือ 1.50 L.				ใช้ไป 0.50 L.			I เริ่ม = 1.2 A			V เริ่ม = 26.77 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	29.6	21.00	2.11	568	18.10	41	43	0	123.6	1504	3037	0.000	220.7	0.00	0.0	50.73	0.00
			2.68	661	17.32	40	42	0	123.1								
30	29.7	21.00	3.05	591	16.83	33	35	0	123.3	1509	3035	0.000	220.8	0.00	0.0	50.17	0.00
			2.91	696	17.01	33	35	0	121.1								
45	30.8	21.00	2.85	637	17.10	33	35	0	119.8	1513	3050	0.000	220.5	0.00	0.0	50.40	0.00
			2.42	641	17.69	36	38	0	121.7								
60	30.2	21.00	2.52	680	17.55	26	27	0	122.4	1515	3047	0.000	219.9	0.00	0.0	50.20	0.00
			2.72	692	17.28	25	26	0	130.2								
Average	30.1	21.00	2.66	646	17.36	33	35	0	123.2	1510	3042	0.000	220.5	0.00	0.0	50.38	0.0
S.D.	0.6	0.00	0.30	47	0.41	6	6	0	3.1	5	7	0.000	0.4	0.00	0.0	0.26	0.0

ตารางที่ ผ.ก.56 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม ที่โหลด 0.5 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

0.5 kW		เชื้อเพลิง 1.50 L.			เหลือ 0.60 L.				ใช้ไป 0.90 L.			I เริ่ม = 1.3 A			V เริ่ม = 29.21 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	32.1	21.00	1.56	545	19.41	43	45	0	136.7	1507	3035	0.496	220.4	2.22	1.0	49.97	0.14
			1.68	598	18.85	46	48	0	145.1								
30	32.5	21.00	1.66	658	18.70	42	44	0	143.2	1506	3041	0.504	220.1	2.23	1.0	50.12	0.24
			1.72	664	18.63	44	46	0	149.4								
45	32.0	21.00	1.45	569	19.09	44	46	0	143.7	1512	3043	0.501	219.8	2.23	1.0	50.47	0.36
			1.44	573	19.00	41	43	0	145.4								
60	32.2	21.00	1.45	579	18.91	43	45	0	146.8	1516	3051	0.498	220.2	2.23	1.0	50.21	0.49
			1.51	593	19.00	44	46	0	147.0								
Average	32.2	21.00	1.56	597	18.95	43	45	0	144.7	1510	3043	0.500	220.1	2.23	1.00	50.19	0.31
S.D.	0.2	0.00	0.11	42	0.24	2	2	0	3.8	5	7	0.004	0.2	0.00	0.00	0.21	0.15

ตารางที่ ผ.ก.57 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม ที่โหลด 1.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.0 kW		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เหลือ 0.75 L.				ใช้ไป 1.25 L.			I เริ่ม = 1.8 A			V เริ่ม = 37.25 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	32.1	20.99	3.06	492	16.84	41	43	0	174.1	1530	3069	1.003	220.8	4.50	1.0	49.50	0.25
			2.96	493	16.97	44	46	0	177.8								
30	32.2	21.00	3.07	491	16.97	41	43	0	179.5	1531	3071	1.001	220.7	4.47	1.0	50.03	0.49
			2.81	507	17.57	44	46	0	183.0								
45	32.7	20.99	3.02	620	16.87	42	44	0	177.2	1545	3086	1.007	219.7	4.53	1.0	49.93	0.75
			2.65	623	17.38	41	43	0	181.2								
60	32.2	21.00	3.11	481	16.67	42	44	0	179.3	1540	3074	0.997	219.7	4.56	1.0	50.45	0.99
			2.94	495	17.01	44	46	0	184.5								
Average	32.3	21.00	2.95	525	17.04	42	44	0	179.6	1537	3075	1.002	220.2	4.52	0.0	49.98	0.62
S.D.	0.3	0.01	0.15	60	0.30	1	1	0	3.3	7	8	0.004	0.6	0.04	0.0	0.39	0.32

ตารางที่ ผ.ก.58 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม ที่โหลด 1.5 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.5 kW		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เหลือ 0.65 L.				ใช้ไป 1.35 L.			I เริ่ม = 2.0 A			V เริ่ม = 46.20 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	32.9	21.00	2.58	315	17.50	41	43	0	183.1	1515	3086	1.496	220.8	6.63	1.0	50.13	0.36
			2.80	328	17.38	43	45	0	189.5								
30	32.3	21.00	2.84	320	17.32	46	48	0	180.1	1519	3108	1.498	219.9	6.68	1.0	50.67	0.74
			2.61	325	17.41	48	50	0	191.9								
45	32.0	21.00	2.83	310	17.33	44	46	0	184.2	1504	3085	1.501	220.7	6.64	1.0	50.62	1.07
			2.61	314	17.41	49	51	0	190.5								
60	32.7	21.00	2.83	310	17.33	43	45	0	187.4	1509	3087	1.502	220.1	6.60	1.0	50.23	1.47
			2.60	317	17.45	49	51	0	191.6								
Average	32.5	21.00	2.71	317	17.39	45	47	0	187.3	1512	3092	1.499	220.4	6.64	1.0	50.41	0.91
S.D.	0.4	0.00	0.12	7	0.06	3	3	0	4.4	7	11	0.003	0.4	0.03	0.00	0.27	0.47

ตารางที่ ผ.ก.59 มลพิษทางอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม ที่โหลด 2.0 กิโลวัตต์ แบบเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.0 kW		เชื้อเพลิง 2.00 L.			เหลือ 0.50 L.				ใช้ไป 1.50 L.			I เริ่ม = 2.7 A			V เริ่ม = 58.40 V		
time (min)	T เริ่ม (°C)	%O ₂ (เริ่ม)	%CO ₂	CO (ppm)	%O ₂	NO (ppm)	NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	T (°C)	n _{gen} (rpm)	n _{engine} (rpm)	P (KW)	V (V)	I (A)	pf	f (Hz)	E (kWh)
15	31.8	21.00	1.65	249	18.81	55	58	0	208.4	1506	3082	1.962	219.4	8.60	1.0	50.22	0.48
			1.67	250	18.73	56	59	0	210.8								
30	32.2	21.00	2.55	284	17.54	60	63	0	219.9	1520	3081	1.964	219.9	8.63	1.0	50.43	1.02
			2.58	315	17.50	61	64	0	229.9								
45	32.4	21.00	2.01	263	18.61	57	59	0	220.6	1517	3099	1.969	220.3	8.62	1.0	49.87	1.47
			2.56	285	17.53	60	63	0	228.7								
60	32.5	21.00	2.50	271	17.84	59	63	0	219.4	1519	3087	1.963	220.1	8.66	1.0	50.34	1.98
			2.57	290	17.52	62	65	0	229.5								
Average	32.2	21.00	2.26	276	18.01	59	62	0	220.9	1516	3087	1.965	219.9	8.63	1.0	50.22	1.24
S.D.	0.3	0.00	0.42	22	0.60	2	3	0	8.3	6	8	0.003	0.4	0.03	0.00	0.25	0.64

4. ประสิทธิภาพของระบบจากการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

ตารางที่ ผ.ก.60 ประสิทธิภาพของระบบจากการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงดีเซล (D)

กำลังขาออก (กิโลวัตต์)	การเชื่อมต่อกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	การสิ้นเปลือง เชื้อเพลิง (ลิตร)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/ลิตร)	กำลังขาเข้า (กิโลจูล/วินาที)	พลังงานขาเข้า (กิโลจูล)	พลังงานขาออก (กิโลจูล)	ประสิทธิภาพ ของระบบ (ร้อยละ)
0.0	ไม่เชื่อมต่อ	0.35	39,860.85	3.88	13,951.30	0.00	0.00
0.0	เชื่อมต่อ	0.45		4.98	17,937.38	0.00	0.00
0.5	เชื่อมต่อ	0.55		6.09	21,923.47	1,800.00	8.21
1.0	เชื่อมต่อ	0.65		7.20	25,909.56	3,600.00	13.89
1.5	เชื่อมต่อ	0.80		8.86	31,888.68	5,400.00	16.93
2.0	เชื่อมต่อ	1.05		11.63	41,853.90	7,200.00	17.20

ตารางที่ ผ.ก.61 ประสิทธิภาพของระบบจากการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ (DB)

กำลังขาออก (กิโลวัตต์)	การเชื่อมต่อกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	การสิ้นเปลือง เชื้อเพลิง (ลิตร)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/ลิตร)	กำลังขาเข้า (กิโลจูล/วินาที)	พลังงานขาเข้า (กิโลจูล)	พลังงานขาออก (กิโลจูล)	ประสิทธิภาพ ของระบบ (ร้อยละ)
0.0	ไม่เชื่อมต่อ	0.50	36,203.41	5.03	18,101.71	0.00	0.00
0.0	เชื่อมต่อ	1.00		10.06	36,203.41	0.00	0.00
0.5	เชื่อมต่อ	1.20		12.07	43,444.09	1,800.00	4.14

ตารางที่ ผ.ก.62 ประสิทธิภาพของระบบจากการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม (B)

กำลังขาออก (กิโลวัตต์)	การเชื่อมต่อกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	การสิ้นเปลือง เชื้อเพลิง (ลิตร)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/ลิตร)	กำลังขาเข้า (กิโลจูล/วินาที)	พลังงานขาเข้า (กิโลจูล)	พลังงานขาออก (กิโลจูล)	ประสิทธิภาพ ของระบบ (ร้อยละ)
0.0	ไม่เชื่อมต่อ	0.35	35,872.42	3.49	12,555.35	0.00	0.00
0.0	เชื่อมต่อ	0.45		4.48	16,142.59	0.00	0.00
0.5	เชื่อมต่อ	0.65		6.48	23,317.07	1,800.00	7.72
1.0	เชื่อมต่อ	0.75		7.47	26,904.31	3,600.00	13.38
1.5	เชื่อมต่อ	0.90		8.97	32,285.18	5,400.00	16.73
2.0	เชื่อมต่อ	1.05		10.46	37,666.04	7,200.00	19.12

ตารางที่ ผ.ก.63 ประสิทธิภาพของระบบจากการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B)

กำลังขาออก (กิโลวัตต์)	การเชื่อมต่อกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	การสิ้นเปลือง เชื้อเพลิง (ลิตร)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/ลิตร)	กำลังขาเข้า (กิโลจูล/วินาที)	พลังงานขาเข้า (กิโลจูล)	พลังงานขาออก (กิโลจูล)	ประสิทธิภาพ ของระบบ (ร้อยละ)
0.0	ไม่เชื่อมต่อ	0.45	35,142.07	4.39	15,813.93	0.00	0.00
0.0	เชื่อมต่อ	0.55		5.37	19,328.14	0.00	0.00
0.5	เชื่อมต่อ	0.70		6.83	24,599.45	1,800.00	7.32
1.0	เชื่อมต่อ	1.10		10.74	38,656.28	3,600.00	9.31
1.5	เชื่อมต่อ	1.25		12.20	43,927.59	5,400.00	12.29
2.0	เชื่อมต่อ	1.45		14.15	50,956.00	7,200.00	14.13

ตารางที่ ผ.ก.64 ประสิทธิภาพของระบบจากการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันไซโปโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH)

กำลังขาออก (กิโลวัตต์)	การเชื่อมต่อกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	การสิ้นเปลือง เชื้อเพลิง (ลิตร)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/ลิตร)	กำลังขาเข้า (กิโลจูล/วินาที)	พลังงานขาเข้า (กิโลจูล)	พลังงานขาออก (กิโลจูล)	ประสิทธิภาพ ของระบบ (ร้อยละ)
0.0	ไม่เชื่อมต่อ	0.45	33,671.76	4.21	15,152.29	0.00	0.00
0.0	เชื่อมต่อ	0.50		4.68	16,835.88	0.00	0.00
0.5	เชื่อมต่อ	0.90		8.42	30,304.58	1,800.00	5.94
1.0	เชื่อมต่อ	1.25		11.69	42,089.70	3,600.00	8.55
1.5	เชื่อมต่อ	1.35		12.63	45,456.88	5,400.00	11.88
2.0	เชื่อมต่อ	1.50		14.03	50,507.64	7,200.00	14.26

ตารางที่ ผ.ก.65 สรุปประสิทธิภาพของระบบจากการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

กำลัง ขาออก (กิโลวัตต์)	ประสิทธิภาพของระบบ (ร้อยละ)					
	การเชื่อมต่อกับ เครื่องกำเนิด ไฟฟ้า	เชื้อเพลิง ดีเซล (D)	เชื้อเพลิง ดีเซลผสม แอลกอฮอล์ (DB)	เชื้อเพลิง ไบโอดีเซล (B)	เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ใช้ ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม เป็นสารลดแรงตึงผิว (ME-B)	เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันใช้ไบโอดีเซลจาก น้ำมันปาล์มเป็นสารลดแรงตึงผิวและ 2-เอทิล-1-เฮกซานอล เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม (ME-B/EHOH)
0.0	ไม่เชื่อมต่อ	0	0	0	0	0
0.0	เชื่อมต่อ	0	0	0	0	0
0.5	เชื่อมต่อ	8.21	4.14	7.72	7.32	5.94
1.0	เชื่อมต่อ	13.89	-	13.38	9.31	8.55
1.5	เชื่อมต่อ	16.93	-	16.73	12.29	11.88
2.0	เชื่อมต่อ	17.20	-	19.12	14.13	14.26

หมายเหตุ - คือ ไม่มีการทดสอบ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวนัตยา โมรารวรรณ
วัน เดือน ปีเกิด 18 กุมภาพันธ์ 2535
ที่อยู่ 2 ซอยอ่อนนุช 66 แขวงอ่อนนุช เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550 - 2553 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ
พ.ศ. 2553 - 2557 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม (เกียรตินิยมอันดับ 2)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558 - 2559 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2561 “การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม
Study on Diesel Engine Performance of Biofuel from Palm Oil-
based Products” และนำเสนอผลงานใน “การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อม
แห่งชาติ ครั้งที่ 17” ระหว่างวันที่ 24 - 25 พฤษภาคม 2561 ณ โรงแรมเซ็น
ทาราและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดอุดรธานี ประเทศไทย
พ.ศ.2556 โครงการพิเศษเรื่อง “การกำจัดสีย้อมมาลาโคท์กรีนโดยใช้ถ่านกัมมันต์จาก
กากขาที่กระตุ้นด้วยสารละลายซิงค์คลอไรด์” สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม คณะ
วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง