ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว

วัชระ ผลไม้

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2562

ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว

วัชระ ผลไม้

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว

วัชระ ผลไม้

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพร ปัญโญใหญ่)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศิษฏ์ วงศ์ศิริอำนวย)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร สืบค้า)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว
ชื่อผู้เขียน นายวัชระ ผลไม้
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว โดยผ่านกรรมวิธีทางเคมี 2) ศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 3) ศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง B100 (อัตราส่วนไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร), D100 (อัตราส่วนน้ำมันดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) และผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ แล้วผสมกับน้ำมันดีเซล 5 อัตราส่วน คือ 25 (B25), 50 (B50) และ 75 (B75) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้แล้วผสมกับเอทานอลปริมาณ 2 อัตราส่วน คือ 5 (BE5) และ 20 (BE20) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ 4) ศึกษาการใช้ประโยชน์ไบโอดีเซลจากน้ำมันดำในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวและนำน้ำมันดำดังกล่าวมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

ผลการวิจัยพบว่า 1) คุณสมบัติของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีความถ่วงจำเพาะ (Density ที่ 60/60 °F) 0.88* ความหนืด (Viscosity) 84.0 เซนติสโตก จุดไหลเท (Pour Point) 21 °C จุดขุ่นตัว (Cloud Point) 25 °C ค่าความร้อน (heating value) 7,416 cal/g ปริมาณกำมะถัน (Sulphur content) 0.38% wt. จุดวาบไฟ (Flash point) 157.3 °C การติดไฟ (Fire point) 164.6 °C ปริมาณเถ้า Ash 0.53% wt และการกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion) ไม่สูงกว่า1 2) การศึกษาผลการทดลองใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน พบว่ากระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด สามารถแยกเมทิลเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอลได้สูงสุด 49 เปอร์เซ็นต์ จากน้ำมันดำในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาขั้นตอนแรก ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันขั้นตอนที่สอง ใช้เมทานอล 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้เมทิลเอสเทอร์ 49 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ย %FAME 92.7% (±1.0) ทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐาน EN14214 สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพเหลว 3) ผลการศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงและผลของการใช้ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซล หลังการปรับปรุงสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิงและสมบัติทางกายภาพทุกชนิดที่ได้จากการทดลอง

แล้วนำไปทดสอบสมรรถนะกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว (รอบต่ำ) คูโบต้า อีที ขนาด 9.5 แรงม้า พบว่าน้ำมันไบโอดีเซล B100 มีสมรรถนะสูงสุดที่ 2,400 รอบต่อนาที ให้แรงบิด 37.93 นิวตันเมตร กำลังม้าเบรก 6.5 แรงม้าเบรก อัตราการใช้เชื้อเพลิง 1.92 ลิตรต่อชั่วโมง และ ก๊าซไอเสียไฮโดรคาร์บอน 67 PPM ก๊าซไอเสียคาร์บอนมอนนอกไซต์ 1.2 เปอร์เซ็นต์ 4) พบว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันดำในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว (ไบโอดีเซล B100) มีการเผาไหม้สมบูรณ์ ช่วยลดการปลอยมลพิษ สามารถปรับปรุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่เป็นทรัพยากรหมุนเวียน เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้ และลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นให้เหลือน้อยลง เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหลือใช้ สอดคล้องกับแนวคิดของเสียเหลือศูนย์หรือ Zero waste เป็นการหมุนเวียนทรัพยากรให้กลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

คำสำคัญ : น้ำมันดำ, ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน, เมทิลเอสเทอร์, ไบโอดีเซล, เครื่องยนต์ดีเซล

Title Biodiesel from waste oil by coconut processing plant

Author Mr. Watchara Phonlamai

Degree Master of Engineering in Agricultural Engineering

Advisory Committee Chairperson Associate Professor Samerkhwan Tantikul

ABSTRACT

The objectives of this research are to 1) study the basic property of used coconut oil from the coconut reforming industry using the chemistry process. 2) study the main factors affecting the transesterification 3) study the fuel quality of B100 (100% diesel by volume) and the results of used oil biodiesel mixed with 25 (B25), 50 (B50) and 75 (B75) % biodiesel by volume as well as mixed with 5 (BE5) and 20 (BE20) % ethanol by volume, and 4) study the utilization of fuel biodiesel from the coconut industrial waste oil.

The results showed that 1) the used coconut oil had 0.88 specific gravity (density at 60/60 degree F), 84.0 cs viscosity, 21 degree C pour point, 25 degree C cloud point, 7,416 cal/g heating value, 0.38% wt sulphur content, 157.3 degree C flash point, 164.6 degree C fire point, 0.53% ash and not higher than 1 copper strip corrosion. 2) Based on the transesterification, the result showed that the use of the two-step activator in the process was the best method because it could separate 49% methyl ester from the 100% waste coconut oil. In the first step of the transesterification, 50% methanol and 5% potassium hydroxide were used as solvent and activator, respectively, while 25 methanol and 1.5 potassium hydroxide were used as solvent and activator, respectively in the second step and as a result, average 49% methyl ester and 92.7% FAME with EN 14214 Standards for biofluid fuel were gained from the experiment. 3) In terms of studying the fuel property in addition to the combination between the biodiesel and diesel after the improvement of its fuel property and all physical properties followed by the efficiency test in 9.5 HP single-pistoned Kubota ET, the result indicated that B100

biodiesel had 2400 RPM with 37.93 newton-meter twisting force, 6.5 BHP breaking force, 1.92 liters per hour fuel using rate, 67 PPM HC poisonous gas and 1.2% carbonmonoxide poisonous gas. 4) It was found that the waste coconut oil (B100 biodiesel) could be completely burned, decrease the pollution emission and could be improved to be a maximum efficient fluid fuel for the diesel engine based on circulated resources and the concept of zero waste.

Keywords : Waste oil, Transesterification, Methly ester, Biodiesel, Diesel engine

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว เพื่อนำน้ำมันดังกล่าวไปเป็นเชื้อเพลิง ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ เนื่องจากได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยในการดำเนินโครงการจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ภายใต้แผนงานวิจัยมุ่งเป้าตอบสนองความต้องการพัฒนาประเทศโดยเร่งด่วน กลุ่มเรื่องพืชสวน (พืชผัก ไม้ผล และไม้ดอกไม้ประดับ) ประจำปีงบประมาณ 2559 และบริษัทอำพลฟูดส์ โพรเซสซิ่ง จำกัด ในการอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ และตัวอย่างของเสียน้ำมันมะพร้าว ผลสัมฤทธิ์ของโครงการวิจัยที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปสู่นวัตกรรม และกลุ่มอุตสาหกรรมได้ เพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ให้กับผลิตภัณฑ์ สองคล้องกับนโยบายการพัฒนางานวิจัยสู่ภาคอุตสาหกรรม สามารถนำไปต่อยอดและพัฒนาในระดับอุตสาหกรรม อันเป็นแนวทางในการขยายสู่ระดับการผลิตในอุตสาหกรรม และการต่อยอดเชิงพาณิชย์อย่างเป็นรูปธรรม

เป็นโครงการที่ผู้จัดทำทุ่มเททั้งแรงกายแรงใจ จึงส่งผลให้โครงการสำเร็จไปได้ด้วยดีและเนื่องจากได้รับการสนับสนุน ความร่วมมือและคำแนะนำจากบุคลหลายฝ่าย ขอขอบพระคุณ รองศาตราจารย์เสมอขวัญ ตันติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำพร ปัญโญใหญ่ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศิษฏ์ วงศ์ศิริอำนวย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุเนตร สืบค้า ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพาพร คำแดง อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร และอาจารย์ภาควิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาด้วยตลอดจนทำให้การทดลองสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.นคร ทิพยาวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย อัศวราชันย์ อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและจัดหาทุน สำหรับการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง จนการทดลองสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจนการทดลองสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร อาคารปฏิบัติการวิศวกรรม สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยแม่โจ้

IQS Maejo - สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ศวท-มช.) สถาบันอาชีวะศึกษา เขตการศึกษาที่ 1. บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท อินเตอร์เทค เทสติ้ง เซอร์วิสเซส (ประเทศไทย) ที่ได้ให้ความสะดวกในด้านการทดสอบคุณสมบัติ

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่เกี่ยวข้องอีกหลายท่านที่ไม่อาจเอ่ยถึงและกล่าวนามในที่นี้ได้หมด คณะผู้จัดทำโครงการจึงขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

วัชระ ผลไม้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฒ

สารบัญตาราง ..... ด

สารบัญกราฟ ..... ท

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร 4

2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1.1 ไบโอดีเซล 4

2.1.2 พืชที่นิยมนำมาผลิตไบโอดีเซล 5

1. ปาล์มน้ำมัน 5

2. สบู่ดำ 5

2.1.3 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซล 6

2.1.4 สถานการณ์ของน้ำมันไบโอดีเซลในประเทศไทย 7

2.1.5 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน 8

2.1.6 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ 10
1. การใช้โดยตรงและการผสม (Direct use and blending) 10
2. การทำให้เป็นไมโครอิมัลชัน (Micro emulsion) 12
3. การแตกสลายโมเลกุลด้วยความร้อน (Thermal cracking or pyrolysis) 13
4. การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) 13
2.1.7 การทดสอบสมรรถนะไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์สูบเดียว 15
2.1.8 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economics) 17
2.2 ระเบียบวิธีวิจัย 18
(ก.) การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) 18
(ข) ค่าจุดคุ้มทุนของตัวแปร (Break – even Value of a Variable) 18
2.3 กรอบแนวคิดและสมมติฐานงานวิจัย 19
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ 20
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบ 20
3.1.1 อุปกรณ์ 20
3.1.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ 21
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย 21
3.2.1 ศึกษาคุณสมบัติน้ำมันเหลือใช้จากบ่อบำบัดน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมการแปรรูปมะพร้าว 21
1. ความหนืด (Viscosity) วิเคราะห์โดยเครื่องวัดความหนืดเซย์โบลต์ 21
2. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity ที่ 60/60 °F) วิเคราะห์โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Hydrometer for petroleum test) หรือไฮโดรมิเตอร์วัด API (API Hydrometer) 26
3. จุดขุ่นตัว (Cloud point) และจุดไหลเท (Pour point) วิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์วัดจุดไหลเทกับจุดขุ่นตัวตามมาตรฐาน ASTM D 97 (Cloud point and pour point apparatus ASTM D 97) 29

4. ค่าความร้อนสูง (High heating value) วิเคราะห์โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรมิเตอร์ (Bomb calorimeter) 32
5. ปริมาณกำมะถัน (Sulphur content) วิเคราะห์โดยใช้เตาอบไฟฟ้า 34
6. จุดวาบไฟ (Flash point) และจุดติดไฟ (Fire point) วิเคราะห์โดยใช้วิธีถ้วยเปิดคลีฟแลนด์ (Cleveland open cup) และถ้วยเปิดแทก หาค่าจุดติดไฟด้วยวิธีถ้วยเปิดคลีฟแลนด์ วัสดุที่นำมาหาจุดวาบไฟด้วยวิธีถ้วยเปิดแทก จะต้องมีค่าจุดวาปไฟต่ำกว่า 93.3 °C 37
7. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (Ash) 39
8. การกรัดกร่อนทองแดง (Copper strip corrosion) 40
3.2.2 ออกแบบการทดลอง 40
3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย 44
3.4 สถานที่ดำเนินงาน 45
3.5 ระยะเวลาในการวิจัยและแผนการดำเนินโครงการ 46
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล 47
4.1 ผลการทดลอบการศึกษาสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเหลือใช้ 47
4.2 วิจารณ์ผลการศึกษาสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเหลือใช้ 49
4.2.1 ความถ่วงจำเพาะ (Density ที่ 60/60 °F) 49
4.2.2 ความหนืด (Viscosity) 50
4.2.3 จุดไหลเท (Pour Point) 51
4.2.4 จุดขุ่นตัว (Cloud Point) 52
4.2.5 ค่าความร้อน (Heating value) 53
4.2.6 ปริมาณกำมะถัน (Sulphur content) %wt. 54
4.2.7 จุดวาบไฟ (Flash point) 55
4.2.8 การติดไฟ (Fire point) 56
4.2.9 ปริมาณเถ้า Ash (% wt) 57

4.2.10 การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion) 58
4.3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อการทำทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน . 58
4.3.2 ผลการทดลองกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทนอลเป็นตัวทำละลายใช้โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 61
4.3.3 กระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 63
4.3.4 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 65
4.4 ศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงและผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ 65
4.4.1 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล BE5 66
4.4.2 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล BE20 67
4.4.3 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B25 67
4.4.4 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B50 67
4.4.5 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B75 68
4.4.6 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B100 68
4.4.7 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล D100 68
4.4.8 วิจารณ์ผลการทดสอบผลทดสอบสมรรถนะแรงบิด (Torque (N-m)) 69
4.4.9 วิจารณ์ผลการทดสอบผลทดสอบสมรรถนะแรงม้าเบรก (Brake Horse Power BHP.) 70
4.4.10 วิจารณ์ผลการทดสอบอัตราการใช้เชื้อเพลิง (Fuel consumption) 71
4.4.11 วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซไฮโดรคาร์บอน (Exhaust gas PPM HC.) 72
4.4.12 วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Exhaust gas PPM CO.%) 73
4.4.13 ศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว 74
4.5 ผลและวิจารณ์การวิเคราะห์หาต้นทุนเบื้องต้นและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 75
4.5.1 ต้นทุนด้านวัสดุ (Material cost) 75

4.5.2 ต้นทุนด้านแรงงาน (Labor cost) 75
4.5.3 ค่าใช้จ่ายโรงงานหรือค่าโสหุ้ยในการผลิต (Overhead cost) 76
4.5.4 ผลวิจารณ์การวิเคราะห์หาต้นทุนเบื้องต้นและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 77
บทที่ 5 สรุป 78
5.1 สรุปผลการทดลอง 78
5.1.1 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง 78
5.1.2 ศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อการทำทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งกรดและเบส เช่น กรดซัลฟิวริก โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์และโปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นต้น รวมถึงวิเคราะห์สมบัติจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ 78
5.1.3 ศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง B100 (อัตราส่วนไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร), D100 (อัตราส่วนน้ำมันดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ แล้วผสมกับน้ำมันดีเซล 3 ค่า เช่น 25 (B25), 50 (B50) และ 75 (B75) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้แล้วผสมกับเอทานอลปริมาณ 2 ค่า เช่น 5 (BE5) และ 20 (BE20) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แล้วนำไปทดสอบสมรรถนะกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว (รอบต่ำ) คูโบต้า อีที ขนาด 9.5 แรงม้า 79
5.1.5 วิเคราะห์หาต้นทุนเบื้องต้นและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เพื่อหาต้นทุนการผลิตเบื้องต้น (Primary Economic) ของการปรับปรุงสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง ในน้ำมันเหลือทิ้งสำหรับการใช้ทดแทนเครื่องยนต์ดีเซล รวมถึงจุดคุ้มทุน (Break Even Point) 80
5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง 80
5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไป 81
บรรณานุกรม 82
ประวัติผู้วิจัย 82
ภาคผนวก 86

ภาคผนวก ก. 87

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 กระบวนการเคมีทรานเอสเทอริฟิเคชั่น 5

ภาพที่ 2.2 ปาล์มน้ำมัน 5

ภาพที่ 2.3 Shutterstock 6

ภาพที่ 2.4 การใช้ไบโอดีเซล 7

ภาพที่ 2.5 ชนิดของหัวเผาแบ่งตามลักษณะการพ่นฝอย 11

ภาพที่ 2.6 ชนิดของหัวเผาใช้วัสดุพรุน 12

ภาพที่ 2.7 ปฏิกิริยาทรานส์เอสทอริฟิเคชัน 13

ภาพที่ 2.8 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย 15

ภาพที่ 3.1 เครื่องวัดความหนืดที่ใช้ทดสอบจริง 21

ภาพที่ 3.2 ชุดไฮโดรมิเตอร์วัด API ที่ใช้ทดสอบจริง 26

ภาพที่ 3.3 การหาความถ่วงจำเพาะโดยใช้ Hydrometer 27

ภาพที่ 3.4 การอ่านค่าความถ่วงจำเพาะจากสเกล Hydrometer 28

ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์วัดจุดไหลเทกับจุดขุ่น 29

ภาพที่ 3.6 ชุดทดสอบการวิเคราะห์จุดขุ่น 31

ภาพที่ 3.7 บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) 32

ภาพที่ 3.8 บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ที่ใช้ทดสอบจริง 33

ภาพที่ 3.9 ถ้วยเปิดคลีแลนด์ 37

ภาพที่ 3.10 เครื่องมือทดสอบแบบถ้วยเปิดแทก 37

ภาพที่ 3.11 โลหะคูปองทดสอบการกัดกร่อน ไปติดตั้งในระบบการใช้งานจริง 40

ภาพที่ 3.12 ขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำอุ่น 43

ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนการดำเนินการ 44

ภาพที่ 3.14 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรม สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 45

ภาพที่ 4.1 น้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว (Waste oil) หรือน้ำมันดำ..... 47

ภาพที่ 4.2 ผลการทดลองในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดย 60

ภาพที่ 4.3 เมทิลเอสเทอร์ 25 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันทั้งหมดจาก 100 เปอร์เซนต์ โดยใช้เมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย ใช้โปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์ 5 กรัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา..... 62

ภาพที่ 4.4 การผลิตน้ำมันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ในกระบวนการ 63

ภาพที่ 4.5 การผลิตน้ำมันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ในกระบวนการ 64

ภาพที่ 4.6 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้..... 65

ภาพที่ 4.7 ทดสอบสมรรถนะกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว (รอบต่ำ) ยี่ห้อ คูโบต้า ขนาด 9.5 แรงม้า 66

ภาพที่ 5.1 การพัฒนาการใช้ประโยชน์น้ำมันดำในจากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวและนำน้ำมันดำดังกล่าวมาเป็นเชื้อเพลิง 79

ภาพที่ 5.2 ระบบทดสอบสมรรถนะกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว (รอบต่ำ) 79

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน 8

ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิการทดลองของสารในอ่างน้ำ (Bath test temperature) 22

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างควบคุมการลดลงของอุณหภูมิ 30

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างควบคุมการลดลงของอุณหภูมิ 32

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ยอมรับได้ 36

ตารางที่ 3.5 การปรับแก้ผลทดสอบอันเนื่องมาจากความกดอากาศ 38

ตารางที่ 3.6 แผนการดำเนินโครงการ 46

ตารางที่ 4.1 ตารางผลทดสอบค่าคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ทำการศึกษา มีผลการวิเคราะห์ คือ 48

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรม 49

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตา น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 445 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด 50

ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบจุดไหลเทของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตาน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 97 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด 51

ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบจุดขุ่นตัวของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตาน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 97 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด 52

ตารางที่ 4.6 ตารางเปรียบเทียบค่าความร้อนของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตา (ASTM D 240) และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 97 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด 53

ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบค่ากำมะถันของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว (ASTM D 4294) กับน้ำมันเตา (ASTM D 4294) น้ำมันไบโอดีเซล (ASTM D 2622) และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ยูโร 4 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด 54

ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบจุดวาบไฟของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตาน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 93 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด 55

ตารางที่ 4.9 ตารางเปรียบเทียบการติดไฟของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตาน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 93 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด 56

ตารางที่ 4.10 ตารางเปรียบเทียบปริมาณเถ้า Ash (% wt) ของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตา น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 482 และ ASTM D 874 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด..... 57

ตารางที่ 4.11 ตารางเปรียบเทียบการกัดกร่อนทองแดง (Copper Strip Corrosion) ของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตาน้ำ มันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 130 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด 58

ตารางที่ 4.12 ตารางเก็บผลการทดลองในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทนอลเป็นตัวทำละลายใช้โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา..... 59

ตารางที่ 4.13 ตารางเก็บผลการทดลองในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดย 61

ตารางที่ 4.14 อัตราส่วนกระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ... 63

ตารางที่ 4.15 คุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว 64

ตารางที่ 4.16 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล BE5 (ไบโอดีเซลต่อเอทานอล 95 : 5)..... 66

ตารางที่ 4.17 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล BBE20 (ไบโอดีเซลต่อเอทานอล 80 : 20)..... 67

ตารางที่ 4.18 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B25 (ไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซล 25 : 75)..... 67

ตารางที่ 4.19 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B50 (ไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซล 50 : 50)..... 67

ตารางที่ 4.20 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B75 (ไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซล 75 : 25)..... 68

ตารางที่ 4.21 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B100 (ไบโอดีเซล 100 อัตราส่วน)..... 68

ตารางที่ 4.22 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล D100 (น้ำมันดีเซล 100 อัตราส่วน)..... 68

ตารางที่ 4.23 วิจารณ์ผลการทดสอบผลทดสอบสมรรถนะแรงบิด (Torque (N-m))..... 69

ตารางที่ 4.24 วิจารณ์ผลการทดสอบผลทดสอบสมรรถนะแรงม้าเบรก (Brake Horse Power BHP.) 70

ตารางที่ 4.25 วิจารณ์ผลการทดสอบอัตราการใช้เชื้อเพลิง (Fuel consumption) 71

ตารางที่ 4.26 วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซไฮโดรคาร์บอน (Exhaust gas PPM HC.) 72

ตารางที่ 4.27 วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Exhaust gas PPM CO.%) 73

สารบัญกราฟ

กราฟที่ 4.1 ผลการทดลอบผลทดสอบสมรรถนะแรงบิด (Torque (N-m))..... 69

กราฟที่ 4.2 ผลการทดสอบผลทดสอบสมรรถนะแรงม้าเบรก (Brake Horse Power BHp.)..... 70

กราฟที่ 4.3 วิจารณ์ผลการทดสอบอัตราการใช้เชื้อเพลิง (Fuel consumption (litre / Hour))..... 72

กราฟที่ 4.4 วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซไฮโดรคาร์บอน (Exhaust gas PPM HC.)..... 73

กราฟที่ 4.5 วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Exhaust gas PPM CO.%) 74

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีผลผลิตมะพร้าวเท่ากับ 8 แสนตัน/ปี มีสัดส่วนการใช้ประโยชน์โดยนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กะทิร้อยละ 60 บริโภคร้อยละ 35 และร้อยละ 5 แปรรูปเป็นน้ำมันมะพร้าว มีมูลค่าส่งออกมะพร้าวทุกประเภทอยู่ที่ 1.4 หมื่นล้านบาท (อัทธ์, 2561) อุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวจัดเป็นอุตสาหกรรมที่สร้างมูลค่าเศรษฐกิจให้กับประเทศไทยเป็นอย่างมาก และมีการแปรรูปตลอดปี ส่งผลให้เกิดของเหลือใช้จากกระบวนการแปรรูปมะพร้าวในขั้นตอนต่าง ๆ มากมาย จึงมีของเสียที่เกิดขึ้นจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์มะพร้าวในรูปแบบต่าง ๆ ปริมาณมาก ทำให้ปัจจุบันประเทศไทยมีขยะที่เกิดขึ้นในแต่ละปีมากกว่า 27 ล้านตัน ในจำนวนนี้ส่วนใหญ่ถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการฝังกลบหรือโดยวิธีการเผา (สมาคมพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2560) หนึ่งในนั้นคืออุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว

ในปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกพยายามศึกษาและค้นหาพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ และมีประสิทธิภาพดียิ่งกว่าพลังงานแบบเดิม เช่น ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงดีเซล เป็นต้น จนอาจทำให้มองข้ามการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ที่กำลังจะกลายเป็นขยะ และทำให้เกิดของเสียสะสมมากขึ้น จนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม น้ำมันดำในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวนั้นก็เป็นวัสดุเหลือใช้ มีแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะนำไปปรับปรุงคุณสมบัติเป็นไบโอดีเซลที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน ซึ่งมีความแตกต่างจากไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มน้ำมัน สบู่ดำ ทานตะวัน ถั่วเหลือง หรือพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ ที่เป็นทรัพยากรเมื่อเก็บเกี่ยวครบอายุไข ต้องปลูกทดแทนขึ้นมาใหม่เพื่อเก็บเกี่ยวอีกครั้ง ทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีต้นทุนการผลิตสูง

น้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว หรือน้ำมันดำในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวนั้นจะผ่านกระบวนการบำบัดของเสีย ผ่านหน่วยปฏิบัติการต่าง ๆ และเกิดการแยกชั้น แบ่งของเสียออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ ของเสียน้ำมัน (Waste oil) หรือเรียกน้ำมันดำ และของเสียประเภทของแข็งที่เกิดจากตกตะกอนในกระบวนการผลิต โดยน้ำมันดำที่เหลือจากการบำบัดของเสียในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวนั้นมีจำนวนเฉลี่ยสะสมที่ 100 ลูกบาศก์เมตร/วัน ซึ่งมีองค์ประกอบของไขมันปริมาณมาก มีแนวโน้มความเป็นไปได้ที่จะนำไปปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน และใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้ สอดคล้อง

กับแนวคิดของเสียเหลือศูนย์หรือ Zero waste ซึ่งเป็นปรัชญาที่ส่งเสริมการหมุนเวียนทรัพยากรให้กลับมาใช้ใหม่เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด (สมาคมพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2560) และเป็นการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นให้เหลือน้อยลง ดังนั้นจึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อให้ครอบคลุมปัจจัยที่ต้องการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์และแนวทางเพื่อนำน้ำมันดังกล่าวไปเป็นเชื้อเพลิง จึงมีวัตถุประสงค์ย่อยดังนี้

1) ศึกษาสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว โดยผ่านกรรมวิธีทางเคมี มีสมบัติดังนี้ Viscosity, Cloud point, Pour point, Flash point, Density, Sulphur content, Fire point, Heating value, Ash (% wt), และ Copper strip corrosion

2) ศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งกรดและเบส เช่น กรดซัลฟิวริก โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์และโปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นต้น รวมถึงวิเคราะห์สมบัติจากผลิตภัณฑ์ที่ได้

3) ศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง B100 (อัตราส่วนไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร), D100 (อัตราส่วนน้ำมันดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) และผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ แล้วผสมกับน้ำมันดีเซล 3 ค่า เช่น 25 (B25), 50 (B50) และ 75 (B75) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้แล้วผสมกับเอทานอลปริมาณ 2 ค่า เช่น 5 (BE5) และ 20 (BE20) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

4) ศึกษาการใช้ประโยชน์น้ำมันดำในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวและนำน้ำมันดำดังกล่าวมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว (รอบต่ำ)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ จะใช้น้ำมันเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวมาทดสอบการเผาไหม้ในกระบอกสูบของเครื่องยนต์อัดอากาศ ที่ผ่านการแปรสภาพน้ำมันด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรดและเบส เช่น กรดซัลฟูริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ที่สภาวะอุณภูมิและเวลาเดียวกัน ปรับปรุงคุณสมบัติโดยนำไบโอดีเซลไปผสมกับน้ำมันดีเซล และเอทานอล ตามอัตราส่วนมาตรฐานการค้าเชิงพาณิชย์และนำเชื้อเพลิงที่ได้มาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ภายหลังการวิจัยจะทำให้สามารถนำน้ำมันเหลือทิ้งจากบ่อบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก (Recycle) สอดคล้องนิยามของเสียเหลือศูนย์หรือ (Zero waste) เพื่อเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือใช้ โดยนำไปเป็นเชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นพลังงาน (Burn for energy recovery) โดยการใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน (Use as fuel substitution) โดยนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล ผู้ที่จะได้ประโยชน์จากโครงการวิจัย จัดอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมของผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดใหญ่ เพื่อหมุนเวียนทรัพยากรในโรงงาน และกลุ่มเกษตรกรสำหรับการใช้ทดแทนเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตรต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไบโอดีเซล ใน พ.ศ. 2528 ประเทศไทยเริ่มมีการพัฒนาพลังงานทดแทน โดยนำน้ำมันพืชมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล หรือที่เรียกว่า “ไบโอดีเซล” พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 ได้มีพระราชดำริให้มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์สร้างโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดเล็ก และให้กองงานส่วนพระองค์ดำเนินการวิจัยพัฒนา พร้อมทดลองใช้น้ำมันปาล์มกับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งเริ่มมีการทดลองใช้น้ำมันปาล์มกับเครื่องยนต์ดีเซลของกองงานส่วนพระองค์ที่วังไกลกังวล จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ตั้งแต่เดือนกันยายน 2543 ทั้งนี้การใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ไม่ส่งผลกระทบในด้านลบต่อเครื่องยนต์ดีเซลที่มีปั๊มและหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแต่อย่างใด การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศได้ เนื่องมาจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ (National Biodiesel) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อม (US Environment Protection Agency) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำวิจัยและทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตรต่าง ๆ กับเครื่องยนต์ดีเซล และได้รายงานว่าไบโอดีเซลสามารถลดมลภาวะที่ปล่อยจากการเผาไหม้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากที่ผลิตจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เช่น ปาล์ม สบู่ดำ มะพร้าว ทานตะวัน ถั่วเหลือง เมล็ดเรพ และน้ำมันพืช/น้ำมันสัตว์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำมาทำปฏิกิริยาทางเคมี "transesterification" ร่วมกับเมทานอลจนเกิดเป็นสารเอสเตอร์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เรียกว่า "ไบโอดีเซล" หรือ "B100" (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2560)

2.1.1 ไบโอดีเซล

คือ เมทิลเอสเตอร์ (Methyl ester) หรือเอทิลเอสเตอร์ (Ethyl ester) เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากไขมันพืช ไขมันสัตว์ หรือสาหร่ายขนาดเล็ก รวมถึงน้ำมันที่ใช้แล้วจากการปรุงอาหาร ซึ่งล้วนเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ โดยผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชั่น (Transesterification) หรือการเติมแอลกอฮอล์ เช่น มทานอลหรือเอทานอล และมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้ภาวะอุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนไขมันให้เป็นเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid methyl ester) หรือเอทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid ethyl ester) ขึ้นอยู่กับประเภทของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต และมีกลีเซอรอลเป็นผล

พลอยได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง (สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน, 2560)

ภาพที่ 2.1 กระบวนการเคมีทรานเอสเทอริฟิเคชั่น

ที่มา : (ทรูปลูกปัญญา, 2560)

2.1.2 พืชที่นิยมนำมาผลิตไบโอดีเซล

1. ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมากเป็นอันดับหนึ่ง มีการเพาะปลูกมากในภาคใต้ของประเทศไทย ปาล์มน้ำมันสามารถให้น้ำมันสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น

ภาพที่ 2.2 ปาล์มน้ำมัน

ที่มา : (ทรูปลูกปัญญา, 2560)

2. สบู่ดำ เป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่ง น้ำมันที่ได้ได้จากเมล็ดสบู่ดำ สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่เกษตรกรใช้อยู่ได้โดยไม่ต้องใช้น้ำมันชนิดอื่นผสมอีก แต่อย่างไรก็ตามการใช้สบู่ดำ

ต้องมีความระมัดระวัง เพราะสบู่ดำมีสาร CURCIN ซึ่งหากรับประทานเข้าไปแล้ว จะทำให้ท้องเดิน เหมือนกับสลอด นอกจากนี้ยังมีพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้ผลิตไบโอดีเซล เช่น มะพร้าว น้ำมันจากถั่วเหลือง เมล็ดเรพ ดอกทานตะวัน และสาหร่ายขนาดเล็กอีกด้วย (สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน, 2560)

ภาพที่ 2.3 Shutterstock

ที่มา : (ทรูปลูกปัญญา, 2560)

2.1.3 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซล

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศได้ เนื่องมาจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ (National Biodiesel) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อม (US Environment Protection Agency) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำวิจัยและทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตรต่าง ๆ กับเครื่องยนต์ดีเซล และได้รายงานว่าไบโอดีเซลสามารถลดมวลปลดปล่อยจากการเผาไหม้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ในกรมอู่ทหารเรือ กองทัพเรือก็ได้รายงานผลการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 145 แรงม้า ว่าสามารถลดควันดำได้มากกว่า 40% (เชาวลิต และคณะ, 2551) นอกจากนี้การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ด้วยเนื่องจากผลิตจากพืช อีกทั้งการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว จะช่วยลดโอกาสในการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ และยังช่วยป้องกันไม่ให้นำน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ซึ่งมีสารไดออก

ซินที่เป็นสารก่อมะเร็งไปผลิตเป็นอาหารสัตว์อีกด้วย (สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน, 2560)

(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2560) โดยทั่วไปการนำน้ำมันไบโอดีเซลไปใช้ประโยชน์ นิยมนำไปผสมกับน้ำมันดีเซล ให้เป็นน้ำมันสูตรต่าง ๆ ตามองค์ประกอบระหว่าง น้ำมันไบโอดีเซล : น้ำมันดีเซล ตัวอย่างเช่น

- **B2** มีส่วนประกอบของน้ำมันไบโอดีเซล 2% และดีเซล 98%
- **B5** มีส่วนประกอบของน้ำมันไบโอดีเซล 5% และดีเซล 95%
- **B20** มีส่วนประกอบของน้ำมันไบโอดีเซล 20% และดีเซล 80%
- **B40** มีส่วนประกอบของไบโอดีเซล 40% และดีเซล 60%
- **B100** เป็นไบโอดีเซล 100 %

ภาพที่ 2.4 การใช้ไบโอดีเซล
ที่มา : (ทรูปลูกปัญญา, 2560)

2.1.4 สถานการณ์ของน้ำมันไบโอดีเซลในประเทศไทย

กรมธุรกิจพลังงานได้ออกประกาศปรับลดสัดส่วนผสมน้ำมันไบโอดีเซลในน้ำมันดีเซลจากน้ำมัน B5 เป็นน้ำมัน B3 ซึ่งมีผลใช้บังคับตั้งแต่วันที่ 25 สิงหาคม 2559 เป็นต้นมา เพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพราคาและป้องกันการขาดแคลนน้ำมันพืชสำหรับการบริโภค โดยประกาศฉบับดังกล่าว ได้มีการปรับลดสัดส่วนผสมน้ำมันไบโอดีเซลขั้นต่ำ จากปัจจุบันไม่ต่ำกว่า 5% เป็นไม่ต่ำกว่า 3% ซึ่งการปรับสูตรเพื่อลดการใช้น้ำมันไบโอดีเซลลง จะทำให้จำนวนการรับซื้อปาล์มจากเกษตรลดลง ส่งผลต่อรายได้ผู้ปลูกปาล์มในประเทศและทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันดีเซลจากต่างประเทศมากขึ้น อีกทั้งยังมีผลกระทบด้านลบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ซึ่งการปรับสูตรพลังงานทดแทนครั้งนี้ มีผลกระทบในหลายแง่ บางครั้งผลกระทบดังกล่าวอาจจับต้องไม่ได้เหมือนเม็ดเงิน

แต่ก็เป็นสิ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่เราจำเป็นต้องคำนึงถึงด้วย และทางที่ดีที่สุดคงหนีไม่พ้นการช่วยกันประหยัดพลังงาน เพื่อลดการนำเข้าลดการทำลายสิ่งแวดล้อมนั่นเอง (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2560)

2.1.5 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน

ตารางที่ 2.1 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. ๒๕๕๖

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ[๑/]
๑	เมทิลเอสเตอร์ (Methyl Ester,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *%wt.)*	ไม่ต่ำกว่า	๙๖.๕	EN ๑๔๑๐๓
๒	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ ๑๕ °ซ (Density at 15 °C	*กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร* kg/m^3)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	๘๖๐ ๙๐๐	ASTM D ๑๒๙๘
๓	ความหนืด ณ อุณหภูมิ ๔๐ °ซ (Viscosity at 40 °C	*เซนติสโตกส์* *cSt*)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	๓.๕ ๕.๐	ASTM D ๔๔๕
๔	จุดวาบไฟ (Flash Point,	*องศาเซลเซียส* *°C)*	ไม่ต่ำกว่า	๑๒๐	ASTM D ๙๓
๕	กำมะถัน (Sulphur,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *%wt.)*	ไม่สูงกว่า	๐.๐๐๑๐	ASTM D ๒๖๒๒
๖	กากถ่าน จากร้อยละ ๑๐ ของส่วนที่เหลือจากการกลั่น (Carbon Residue, on 10% Distillation Residue	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *%wt.)*	ไม่สูงกว่า	๐.๓๐	ASTM D ๔๕๓๐
๗	จำนวนซีเทน (Cetane Number)		ไม่ต่ำกว่า	๕๑	ASTM D ๖๑๓
๘	เถ้าซัลเฟต (Sulphated Ash,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *%wt.)*	ไม่สูงกว่า	๐.๐๒	ASTM D ๘๗๔
๙	น้ำ (Water	*มิลลิกรัม/กิโลกรัม* *mg/kg)*	ไม่สูงกว่า	๕๐๐	EN ISO ๑๒๙๓๗
๑๐	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total Contamination	*มิลลิกรัม/กิโลกรัม* *mg/kg)*	ไม่สูงกว่า	๒๔	EN ๑๒๖๖๒
๑๑	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)		ไม่สูงกว่า	หมายเลข ๑	ASTM D ๑๓๐
๑๒	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ ๑๑๐ °ซ (Oxidation Stability at 110 °C	*ชั่วโมง* *hr.)*	ไม่ต่ำกว่า	๑๐	EN ๑๕๗๕๑
๑๓	ค่าความเป็นกรด (Acid Value ,	*มิลลิกรัมโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม* *mg KOH/g)*	ไม่สูงกว่า	๐.๕๐	ASTM D ๖๖๔

รายการ	ข้อกำหนด		อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ[๑/]
๑๔	ค่าไอโอดีน (Iodine Value ,	*กรัมไอโอดีน/๑๐๐ กรัม)* *g Iodine / 100g)*	ไม่สูงกว่า	๑๒๐	EN ๑๔๑๐๑
๑๕	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเตอร์ (Linolenic Acid Methyl Ester ,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *% wt.*)	ไม่สูงกว่า	๑๒.๐	EN ๑๔๑๐๓
๑๖	เมทานอล (Methanol ,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *% wt.*)	ไม่สูงกว่า	๐.๒๐	EN ๑๔๑๐๐
๑๗	โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride ,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *% wt.*)	ไม่สูงกว่า	๐.๗๐	EN ๑๔๑๐๕
๑๘	ไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride ,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *% wt.*)	ไม่สูงกว่า	๐.๒๐	EN ๑๔๑๐๕
๑๙	ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride ,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *% wt.*)	ไม่สูงกว่า	๐.๒๐	EN ๑๔๑๐๕
๒๐	กลีเซอรีนอิสระ (Free glycerin ,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *% wt.*)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๒	EN ๑๔๑๐๕
๒๑	กลีเซอรีนทั้งหมด (Total glycerin ,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *% wt.*)	ไม่สูงกว่า	๐.๒๕	EN ๑๔๑๐๕
๒๒	โลหะกลุ่ม ๑ (โซเดียมและโปแตสเซียม) (Group I metals (Na +K) ,	*มิลลิกรัม/กิโลกรัม* *mg/kg)*	ไม่สูงกว่า	๕.๐	EN ๑๔๕๓๘
	โลหะกลุ่ม ๒ (แคลเซียมและแมกนีเซียม) (Group II metals (Ca + Mg) ,	*มิลลิกรัม/กิโลกรัม* *mg/kg)*	ไม่สูงกว่า	๕.๐	EN ๑๔๕๓๘
๒๓	ฟอสฟอรัส (Phosphorus ,	*ร้อยละโดยน้ำหนัก* *% wt.*)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๐๑๐	EN ๑๔๑๐๗
๒๔	จุดขุ่น (Cloud Point : CP	*องศาเซลเซียส* *°C)*	รายงาน [๒/]		
๒๕	จุดอุดตันการไหลที่อุณหภูมิต่ำ Cold Flow Plugging Point : CFPP	*องศาเซลเซียส* *°C)*	รายงาน [๒/]		
๒๖	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additives , If Any)		ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดี		

หมายเหตุ ๑/ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายนี้
๒/ ให้ผู้ค้าน้ำมันรายงานต่ออธิบดีเป็นรายไตรมาส ภายในวันที่ ๑๕ ของเดือนถัดจากเดือนสุดท้ายของไตรมาสนั้น

ที่มา : (กรมธุรกิจพลังงาน, 2556)

2.1.6 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ มีวิธีการหลักอยู่ 4 วิธี (นคร , 2553) ได้แก่

(1) การใช้โดยตรงและการผสม (Direct use and blending)

(2) การทำให้เป็นไมโครอิมัลชัน (Micro emulsion)

(3) การแตกสลายโมเลกุลด้วยความร้อน (Thermal cracking or pyrolysis)

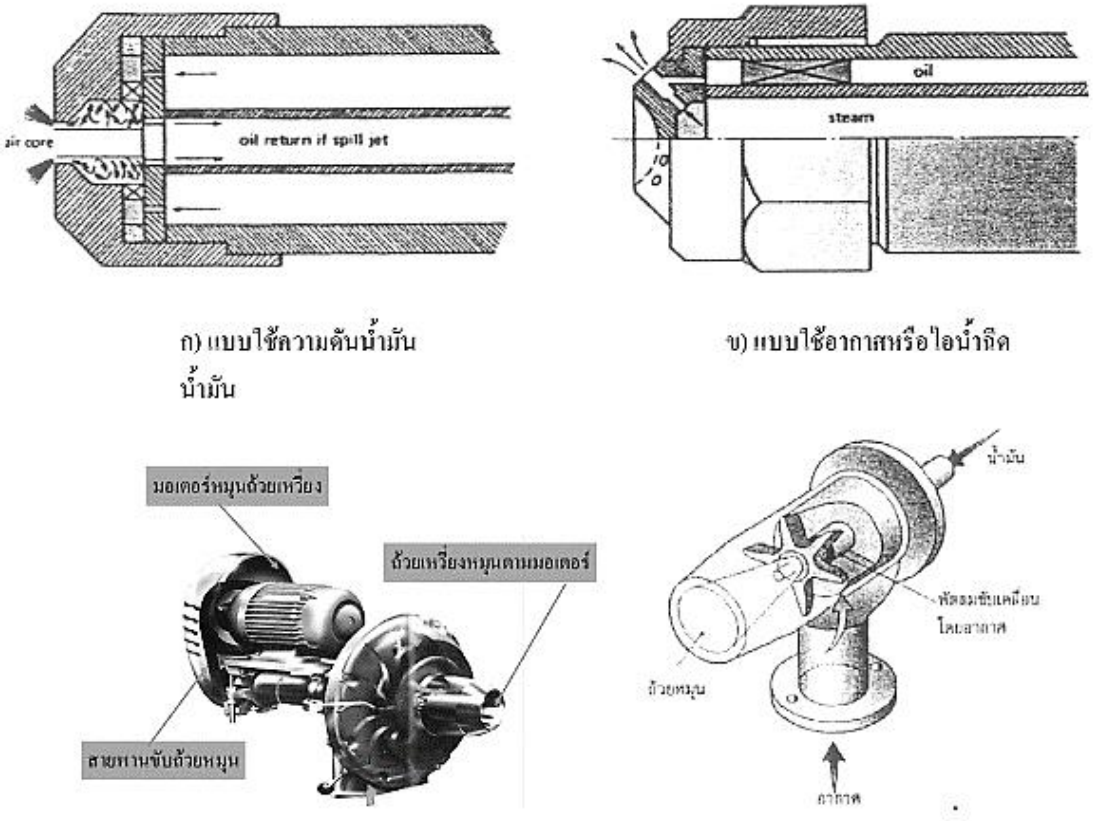
(4) การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

1. การใช้โดยตรงและการผสม (Direct use and blending)

ระบบหัวเผา จากแนวคิดลดต้นทุนการผลิตและการใช้พลังงานให้คุ่มค่าและคำนึงถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม จึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและปล่อยมลภาวะน้อยที่สุด จึงมีผู้ที่หันมาใช้เชื้อเพลิงที่มาจากการเกษตรที่สามารถที่จะสร้างทดแทนได้ (จารุวัตร และอรรณพ, 2546) การประดิษฐ์หัวเผาน้ำมันเตา (Oil burner) ในอุตสาหกรรมหลายชนิด ส่วนในสภาพอากาศหนาวจัด อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส จะทำให้น้ำมันหนืดเหนียวข้น จึงต้องทำการผสมน้ำมันดีเซลเข้าไป 50% ทำให้ใช้น้ำมันผสมเป็นเชื้อเพลิงได้ใช้งานตามปกติ (กองเกษตรวิศวกรรม, 2552) การทดลองใช้หัวเผาน้ำมันพืชโดยใช้วัสดุพรุน จะไม่เกิดหยดของน้ำมันพืชกระเด็นออกมาจากหัวเผา การทดลองนี้สามารถที่จะเกิดการเผาไหม้ โดยไม่จำเป็นต้องสเปรย์ละอองเชื้อเพลิง (จารุวัตร และอรรณพ, 2546) เตาเผาขยะชีวมวลแบบไร้ควัน ใช้หลักการเผา 3 แบบ คือการเผาโดยใช้ออกซิเจน (Combustion) การเผาโดยไม่ใช่ออกซิเจน (Pyrolysis) การเผาก๊าซให้แตกตัว (Gasification) ผสมผสานกันอย่างลงตัว จากผลการวิจัยการเผาขยะชีวมวลในเตาเผาสามารถลดการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ 97% คาร์บอนไดออกไซด์ 30% ไนโตรเจนออกไซด์ 50% สารอินทรีย์ระเหยง่าย ลดได้มากกว่า 4,000 เท่า (นิตยา, 2547)

(Oil Burner) หัวเผาน้ำมันเป็นอุปกรณ์กำเนิดความร้อนให้กับหม้อไอน้ำที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงมีหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ 1. ฉีดพ่นน้ำมันให้เป็นฝอยละเอียดเพื่อให้น้ำมันระเหยเป็นไออย่างรวดเร็ว และป้อนอากาศเข้าผสมกับไอน้ำมันในอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ 2. ควบคุมการเผาไหม้ ทั้งในส่วนของอัตราส่วนผสมอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงการเร่งหรี่การเผาไหม้ และสตาร์ทจุดติดเตา

ชนิดหัวเผาน้ำมันที่ใช้กับหม้อไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม หัวเผาน้ำมันแบ่งออกตามลักษณะการพ่นฝอยได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้ 1. ชนิดพ่นฝอยด้วยความดันน้ำมัน (pressure Atomized) 2. ชนิดพ่นฝอยด้วยอากาศหรือไอน้ำ (Air Atomized/Steam Atomized) 3. ชนิดถ้วยสลัดน้ำมัน (Rotary Cup Atomized)



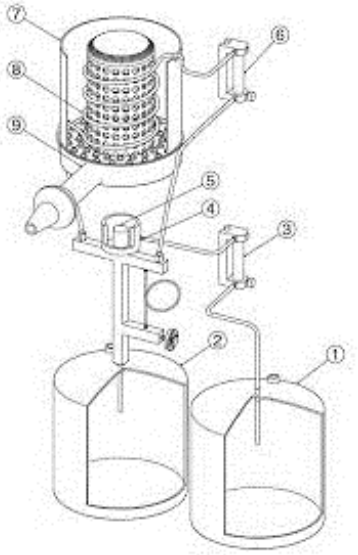
ก) แบบใช้ความดันน้ำมัน
น้ำมัน

ข) แบบใช้อากาศหรือไอน้ำฉีด

ภาพที่ 2.5 ชนิดของหัวเผาแบ่งตามลักษณะการพ่นฝอย

ที่มา : (สภาวิศวกร, 2562)

หัวเผาโดยใช้วัสดุพรุนเป็นหัวเผาที่ไม่ใช้หัวฉีดน้ำมัน แต่อาศัยหลักการ ระเหยของเชื้อเพลิงและการจุดติดตัวเองของเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ (Autoignition Temperature) ที่อุณหภูมิสูง เพื่อลดต้นทุนการดูแลระบบหัวฉีดและเครื่องสูบแรงดันสูง



ภาพที่ 2.6 ชนิดของหัวเผาใช้วัสดุพรุน
ที่มา : (เกษมศิลป์ และคณะ, 2552)

ระบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน มีการนำน้ำมันพืชมาใช้แทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ แต่เป็นการผสมใช้แทนดีเซลโดยตรงในเครื่องยนต์ไม่สะดวก แต่ถ้าผสมน้ำมันดีเซล 10 - 20% พบว่าเครื่องยนต์ไม่มีปัญหา (นคร, 2553) ปรากฏว่าเป็นไปได้แต่มีปัญหาเรื่องมียางเหนียวติดลูกสูบและชิ้นส่วนอื่น ๆ ของเครื่องยนต์ เนื่องจากน้ำมันพืชเมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงจะมีปัญหาทางด้านจุดไหลเท (Pour point) และค่าความหนืด (Viscosity) ซึ่งเป็นปัญหาหลัก (กนกอร และจินดา, 2545)

2. การทำให้เป็นไมโครอิมัลชัน (Micro emulsion)

การทำไมโครอิมัลชัน เป็นการกระจายอนุภาคของเหลวที่แขวนลอยในตัวกลางของเหลวอีกชนิดหนึ่งอย่างสมดุล ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1 – 150 นาโนเมตร โดยของเหลวไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน โดยสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันด้วยสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นตัวประสาน วิธีนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ 100% แต่วิธีนี้มีราคาแพงและมีการเกิดคราบคาร์บอน และการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น (จักรพงศ์, 2548) จากวิกฤตการณ์น้ำมันปิโตรเลียม ทำให้มีความสนใจนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน และไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีการศึกษาเพื่อผลิตไบโอดีเซล ในการศึกษานี้ใช้น้ำมันปาล์มผสมกับเอทานอล และสารลดแรงตึงผิว ทำการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดสภาวะ ไมโครอิมัลชัน

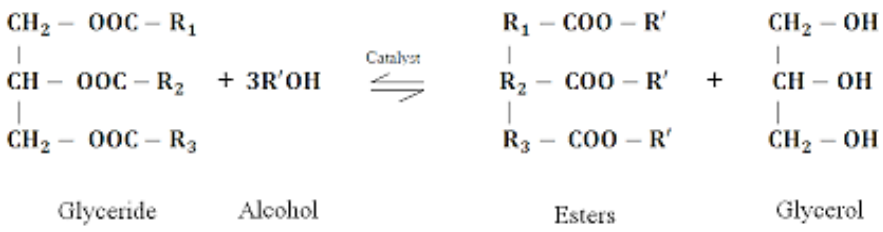
3. การแตกสลายโมเลกุลด้วยความร้อน (Thermal cracking or pyrolysis)

ไพโรไลซีล เป็นการเปลี่ยนสารหนึ่งไปเป็นสารอื่น ๆ มากกว่าหนึ่งสาร โดยใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวหรือมีตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยด้วย และรวมถึงความร้อนที่เกิดขึ้นโดยไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจน และการแตกพันธะทางเคมีไปเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ (จักรพงศ์, 2548) แต่ปัญหาที่ยังพบในการทำเชื้อเพลิงวิธีนี้คือ การเกิดปฏิกิริยาหลากหลายปฏิกิริยา จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ยากต่อการควบคุมคุณภาพ (นคร, 2553)

4. การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

การผลิตไบโอดีเซลสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันนั้นคือการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาเคมีทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดไขมัน (Triglyceride) จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ ซึ่งอาจเป็นเอทานอล (Ethanol) หรือเมทานอล (methanol) โดยในปฏิกิริยาดังกล่าวอาจมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและการ ให้ความร้อนเพื่อทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ ผลผลิตที่ได้ จะเป็นไบโอดีเซลซึ่งเป็นสารประเภทเอสเทอร์ (Ester) คือ กรดไขมันเอทิลเอสเทอร์ (Fatty acid ethyl esters, FAEEs) กรณีที่ใช้เอทานอลเป็นสารตั้งต้นและกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (Fatty acid methyl esters, FAMEs) สาหรับเมทานอล และมีผลพลอยได้เป็นกลีเซอรอล (Glycerol) ในส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวกับไบโอดีเซลนั้น ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาและพัฒนาการผลิตไบโอดีเซล จากน้ำมันพืช ทั้งที่เป็นน้ำมันพืชสำหรับบริโภค ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันมะพร้าว เป็นต้น และสาหรับน้ำมันจากพืชที่ไม่สามารถนำมาใช้บริโภค ได้แก่ สบู่ดา ยาง ฝ้าย เป็นต้น (ชาญณรงค์ และศิริพรรณ, 2557)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสทอริฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาของไขมันหรือน้ำมันกับแอลกอฮอล์เพื่อเกิดเป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล ปฏิกิริยาแสดงภาพที่ 2.7 มักใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและผลผลิตด้วย



ภาพที่ 2.7 ปฏิกิริยาทรานส์เอสทอริฟิเคชัน

ที่มา : (พาราไซแอนติฟิค, 2547)

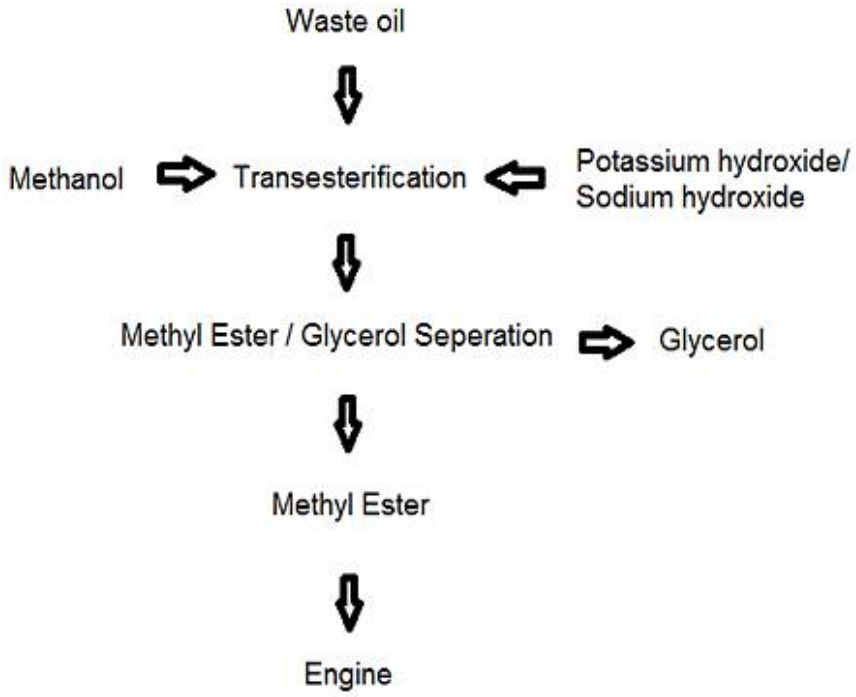
เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ การใช้แอลกอฮอล์มากเกินพอจะช่วยให้สมดุลเคลื่อนที่ไปทางผลิตภัณฑ์ (จักรพงศ์, 2548) โดยไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ 10% โดยน้ำหนัก (อิทธิพล และคณะ, 2549) ทดลองผสมเมทิลเอสเทอร์ของไขวัวที่มีความหนืดสูงด้วยเอทานอล น้ำมันดีเซล และเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าการผสมด้วยน้ำมันดีเซลทำให้เมทิลเอสเทอร์ของไขวัวมีคุณสมบัติเชื้อเพลิงดีเซลใกล้เคียงน้ำมันดีเซล (นันทมนตร์ จันทร์ศิริกุล และประกอบ กิจไชยา, 2547) จากการทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่าไบโอดีเซลผสม 10% มีคุณสมบัติการใช้งานดีกว่าตัวอย่างน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล (กนกอร และจินดา, 2545)

ปาล์มสเตียริน เป็นผลิตภัณฑ์รองจากการกลั่นน้ำมันปาร์มบริสุทธิ์ มีลักษณะทางกายภาพเป็นของแข็งกึ่งของเหลวที่อุณหภูมิห้องเป็นสารอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ เช่นเดียวกับน้ำมันปาร์มโอเลอิน แต่มีองค์ประกอบของกรดไขมันประเภทอิ่มตัวมากกว่า (กนกอร และจินดา เจริญพร, 2545)

นิยาม ไบโอดีเซล ไบโอดีเซล เป็นพลังงานทดแทนจากน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่ากระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification Process) โดยนำน้ำมันพืชทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (พนิดา และลลิตา , 2548)

พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการ ทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแล้วนั้น มีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว 1.8 - 4.1 cSt แต่มีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนช้า 8.0 cSt max (อิทธิพล และคณะ, 2549)

น้ำมันดีเซลชีวภาพมีข้อดีคือ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ ไม่มีพิษ มีความเข้มข้นของไอที่ออกมาต่ำ ซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม โดยปฏิกิริยาของน้ำมันถั่วเหลืองกับเมทานอลที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 - 70 องศาเซลเซียส โดยทดลองเปลี่ยนรอบของการกวนผสมจาก 150, 300 และ 600 รอบต่อนาที เพื่อให้การผสมระหว่างน้ำมันพืชกับเมทานอลได้ดี (จักรพงศ์ และประกอบ, 2546)



ภาพที่ 2.8 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย และตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์
ที่มา : (จักรพงศ์ และประกอบ, 2546)

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง มีดังนี้ ความหนืด (Viscosity) จุดขุ่นตัว (Cloud point) จุดไหลเท (Pour point) จุดวาบไฟ (Flash point) ความถ่วงจำเพาะ (Density) ปริมาณกำมะกัน (Sulphur content) การติดไฟ (Fire point) การกระจายเป็นฝอย (Fluidity-atomization) ความสามารถในการระเหย (Volatility) ค่าความร้อน (Heating value) ปริมาณเถ้า (Ash.% wt) การกัดกร่อนทองแดง (Copper strip corrosion) และดัชนีซีเทน (Cetane index) เป็นต้น

2.1.7 การทดสอบสมรรถนะไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์สูบเดียว

การทดสอบสมรรถนะของไบโอดีเซลบนเครื่องยนต์ทดสอบ และการวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย นำไบโอดีเซลที่ผลิตได้ โดยมาผสมกับน้ำมันดีเซล 100 % (D100) ด้วยอัตราส่วนผสมร้อยละ 10 (B10) และ 50 (B50) แล้วนำไปทดสอบบนเครื่องยนต์ดีเซลแบบสูบเดียว ชนิดห้องเผาไหม้โดยตรงบนแท่นทดสอบไดนำโมมิเตอร์ เครื่องยนต์ทดสอบยี่ห้อ Kubota รุ่น RT100DI ขนาด 10 แรงม้า ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) เป็นแบบกระแสไหลวน (Eddy current) ยี่ห้อ Tokyokoki Schenck รุ่น W-40 กาลังสูงสุด 60 แรงม้า (PS) อัตราเร็วสูงสุด 17,000 รอบต่อนาที

สำหรับการวิเคราะห์มลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ปล่อยออกมานั้นจะมีการทดสอบค่าควันดำและปริมาณก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm (เครื่องยนต์มีค่าแรงบิดสูงสุด) และ 2,400 rpm (เครื่องยนต์ให้ภาระสูงสุด) ตามลาดับ โดยเครื่องวัดค่าควันดำ (Smoke meter) แบบกระดาษกรอง ยี่ห้อ Sokken รุ่น GSM-3DPM และ เครื่องวิเคราะห์ไอเสีย (Exhaust gas analyzer) ยี่ห้อ EMS รุ่น 5002 ซึ่งใช้ทำการตรวจวัดปริมาณ คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และ ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxide, NO) (ชาญณรงค์ และศิริพรรณ, 2557)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ (กำลัง, แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง) และควันดำ โดยการทดสอบนั้นจะใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้ เมื่อติดตั้งเครื่องยนต์เข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและต่อสายไฟฟ้าเข้ากับชุดหลอดไฟฮาโลเจนแล้ว ก็ทำการปรับเปลี่ยนสวิตช์ควบคุมหลอดไฟฮาโลเจน ซึ่งหลอดฮาโลเจนที่ใช้มีขนาดตั้งแต่ 300, 500, 1,000 และ1,500 วัตต์ และจำนวนวัตต์ที่ได้จากการทดสอบนั้นก็มาจาก ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตขึ้นมา คูณกับค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟฮาโลเจน ส่วนการวัดค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นก็ได้มาจากการอ่านค่าจากปริมาตรที่ลดลงของกระบอกตวงเปรียบเทียบกับเวลา การทดสอบสมรรถนะแบ่งเป็น 2 แบบ คือทดสอบแบบภาระเต็มที่ (Full Load) โดยปรับคันเร่งสูงสุด แล้วเพิ่มภาระให้แก่เครื่องยนต์ ซึ่งต้องควบคุมให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงครั้งละ 200 รอบต่อนาที (ตั้งแต่ 2,400 - 1,400 รอบต่อนาที) โดยการทดสอบแบบภาระเต็มที่นี้จะมีการทดสอบทางด้านสมรรถนะ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าควันดำ สำหรับการทดสอบในแบบภาระบางส่วน (Partial Load) โดยทดสอบที่รอบต่ำ 1,500 และทดสอบที่รอบสูง 2,400 รอบต่อนาที แล้วเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์โดยเปิดหลอดไฟฮาโลเจนครั้งละ 500 วัตต์ ซึ่งจะมีการทดสอบเพียงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และควันดำที่เกิดขึ้นเท่านั้น 3.2 การทดสอบการใช้งานในระยะยาว 2,000 ชั่วโมง

ทดสอบการใช้งานในระยะยาวโดยต่อเครื่องยนต์เข้ากับปั๊มน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งทดสอบที่รอบเครื่องยนต์คงที่ ประมาณ 2,400 รอบต่อนาที โดยภาระที่ให้แก่เครื่องยนต์ซึ่งมีค่าประมาณ 75 % เดินเครื่องยนต์วันละประมาณ 20 - 22 ชั่วโมง และหยุดการทดสอบแต่ละครั้ง เมื่อเครื่องยนต์ทำงานครบ 300, 500, 800, 1,000 ไปจนถึง 2,000 ชั่วโมงทำงาน การหยุดเดินเครื่องยนต์ (หยุดการสูบน้ำ) แต่ละครั้ง ก็เพื่อนำเครื่องยนต์กลับมาทดสอบสมรรถนะ และควันดำเพื่อบันทึกผล และยังมีการตรวจสอบชิ้นส่วนในระบบน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งได้แก่ หัวฉีด, กรองน้ำมันเชื้อเพลิง (ทั้งไส้กรองหยาบ และไส้กรองละเอียด) และท่อน้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ตามกำหนดระยะเวลา 100 ชั่วโมงทำงานด้วย (ตามกำหนดที่ระบุไว้ในคู่มือเครื่องยนต์) เมื่อทดสอบเครื่องยนต์ดังกล่าวจนครบ 2,000 ชั่วโมงทำงานแล้ว ก็ได้ทำการถอดชิ้นส่วน

เครื่องยนต์ เช่น แหวนลูกสูบ, ลูกสูบ, วาล์ว และปั๊มเชื้อเพลิง เป็นต้น เพื่อตรวจสอบและวัดค่าเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ตามที่ระบุไว้ในคู่มือซ่อมของบริษัทผู้ผลิต (ธนากร และคณะ, 2552)

2.1.8 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economics)

ในงานวิศวกรรมซึ่งรวมถึงงานด้านวิศวกรรมพลังงานทดแทนด้วยนั้น คงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องเกี่ยวข้องกับการเงินและการลงทุน เพื่อดำเนินโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปตามที่ต้องการ ด้วยเหตุนี้หลักการเศรษฐศาสตร์จึงถูกนำมาประยุกต์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ ในการคัดเลือกโครงการ หรือแนวทางปฏิบัติ เพื่อให้ได้ทางเลือกที่ก่อให้เกิดผลตอบแทนด้านการเงินสูงสุด โดยทั่วไปเศรษฐศาสตร์ (Economics) คือหลักการที่ว่าด้วยการนำทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อนำหลักเศรษฐศาสตร์มาประยุกต์กับงานวิศวกรรมจึงเกิดหลักการเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economics) ขึ้นโดยมีความหมาย คือ การนำหลักการทางเศรษฐศาสตร์มาใช้เป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เป็นไปได้สำหรับงานวิศวกรรม

การเปรียบเทียบทางการเงินเพื่อคัดเลือกโครงการ

เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา วิธีการที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกทางเลือกที่เหมาะสมของโครงการโดยทั่วไปมีอยู่ 4 วิธี ได้แก่ การวิเคราะห์มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (Present worth analysis) การวิเคราะห์มูลค่าเทียบเท่ารายปี (Annual worth analysis) การวิเคราะห์ผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit/cost analysis) และการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทน (Rate of return analysis)

การวิเคราะห์มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน (Present worth analysis)

มูลค่าปัจจุบัน (Present worth (PW), Present value (PV) or Net present value (NPV)) ของเงินลงทุน (Cost) หรือผลตอบแทน (Revenue) ของแต่ละทางเลือกในการดำเนินโครงการใด ๆ สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดความคุ้มค่าในการลงทุนได้ ทั้งนี้มูลค่าปัจจุบันขององค์ประกอบในการดำเนินโครงการ อาจแปลงมาจากมูลค่าในอนาคต หรือมูลค่าสม่ำเสมอรายปีก็ได้ การเปรียบเทียบโครงการด้วยการวิเคราะห์มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน สามารถพิจารณาเป็นกรณีต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เพื่อให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา จึงกำหนดขั้นตอนการปฏิบัติงานดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันเหลือใช้เหลือใช้จากอุตสาหกรรมการแปรรูปมะพร้าว
2. ศึกษาการใช้น้ำมันพืชในด้านพลังงานทดแทนและนำมาประยุกต์กับน้ำมันเหลือใช้ (น้ำมันเหลือใช้จากบ่อบำบัดน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมการแปรรูปมะพร้าว)
3. ออกแบบการทดลอง แบ่ง เป็น 2 หลักการใหญ่ ๆ คือ

(ก.) การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

1. ศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อการทำทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งกรดและเบส เช่น กรดซัลฟิวริก โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์และโปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นต้น รวมถึงวิเคราะห์สมบัติจากผลิตภัณฑ์ที่ได้

2. ทำการวิเคราะห์สมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

3. นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มาปรับปรุงสภาพโดยผสมกับเอทานอลและน้ำมันดีเซลตามที่กำหนดไว้

4. นำเมทิลเอสเทอร์ที่ปรับสภาพแล้วมาทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงดีเซลตามมาตรฐาน ASTM เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซล ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ASTM D975

5. นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มาทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ได้แก่ แรงบิด กำลังของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง มลพิษที่ศึกษา ปริมาณควันดำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

6. ทดสอบตามที่ได้ออกแบบทดลองไว้ และปรับปรุงแก้ไขหากพบข้อผิดพลาด

7. สรุปผลและจัดทำรายงานรูปเล่ม

(ข) ค่าจุดคุ้มทุนของตัวแปร (Break – even Value of a Variable)

วิเคราะห์หาต้นทุนเบื้องต้นและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เพื่อหาต้นทุนการผลิตเบื้องต้น (Primary Economic) ของการปรับปรุงสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันเหลือทิ้งสำหรับการใช้ทดแทนน้ำมันเตาในการเผาไหม้ในหม้อต้มไอน้ำ (Boiler burner) และเครื่องยนต์ดีเซล รวมถึงจุดคุ้มทุน (Break Even Point)

2.3 กรอบแนวคิดและสมมติฐานงานวิจัย

สมมติฐาน คือ

1. เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเหลือใช้เมื่อผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถนำปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน และใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้

2. เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเหลือใช้เมื่อผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทน และหมุนเวียนทรัพยากรให้กลับมาใช้ใหม่เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ในโรงงานได้

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบ

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว (รอบต่ำ) คูโบต้า อีที 9.5 แรงม้า
2. เครื่องวัดรอบ (RPM)
3. เครื่องวัดก๊าซไอเสีย
4. Torque Meter
5. Dynamometer รุ่น Elecking Generator
6. ภาระโหลด (ฮีทเตอร์ 220V 15A 2 ตัว)
7. ไฮโดรมิเตอร์วัดผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Hydrometer for petroleum test) หรือ ไฮโดรมิเตอร์วัด API (API hydrometer)
8. เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter)
9. อุปกรณ์วัดจุดไหลเทกับจุดขุ่นตัว ASTM D 97
10. Gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS)
11. เครื่องวัดความหนืด (Saybolt viscosity)
12. ถ้วยเปิดคลีฟแลนด์ และถ้วยเปิดแทก
13. เตาให้ความร้อน พร้อมกวนสารละลาย (Hotplate and Magnetic)
14. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลแบบละเอียด
15. ชุดตั้งกรวยแยกสาร
16. pH-indicator strips (non bleeding)
17. กรวยสกัด
18. บีกเกอร์
19. แท่งแก้วคนสาร, แท่งแม่เหล็กคนสาร
20. เทอร์โมมิเตอร์
21. ผ้ากรอง
22. กระบอกตวง
23. กรวยเติมเชื้อเพลิง
24. กระดาษวัดความเป็นกรดเป็นด่าง

3.1.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. น้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว หรือเรียกว่าน้ำมันดำ
2. น้ำมันดีเซล (มาตรฐาน)
3. ตัวเร่งปฏิกิริยา (โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์, โปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์ และกรดซัลฟูริก)
4. ตัวทำละลาย (เมทานอล)
5. ตัวทำละลาย (เอทานอล)
6. น้ำสะอาด

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา จึงกำหนดขั้นตอนการปฏิบัติงานดังต่อไปนี้

3.2.1 ศึกษาคุณสมบัติน้ำมันเหลือใช้จากบ่อบำบัดน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมการแปรรูปมะพร้าว เช่น Viscosity, Cloud point, Pour point, Flash point, Density, Sulphur content, Fire point, Fluidity - atomization, Volatility, Heating value, Ash (%wt) และ (Copper stripcorrosion) เป็นต้น

วิธีการวิเคราะห์หาคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว

1. ความหนืด (Viscosity) วิเคราะห์โดยเครื่องวัดความหนืดเชย์โบลต์ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิศวกรรมโยธา)

ภาพที่ 3.1 เครื่องวัดความหนืดที่ใช้ทดสอบจริง

ที่มา : (Hwkessel, 2559)

อุปกรณ์

1. Saybolt Viscometer และอ่างน้ำ ดังภาพที่ 9
2. แหวนยึด (Displacement ring)

3. หลอดดูด (Withdrawal tube)

4. ฐานยึดเทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer support)

5. กรวยกรอง (Filter funnel)

6. ขวดแก้วรองรับ (Receiving flask) ดังภาพที่ 3.1

7. ที่จับเวลา มีความละเอียดระดับ 0.1 ของวินาที และมีความเที่ยงตรงถึง 0.1 เมื่อใช้ทดสอบช่วงเวลา 60 นาที อุปกรณ์จับเวลาแบบไฟฟ้าใช้ได้ถ้าปฏิบัติการโดยวงจรควบคุมความถี่

8. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิสารตัวอย่าง (Viscosity thermometers) มีไว้สำหรับอ่านอุณหภูมิของตัวอย่าง

9. เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิสารในอ่างน้ำ (Bath thermometers) คือ เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิสารตัวอย่าง หรือแบบอื่น ๆ ซึ่งให้ผลเท่ากัน

การเตรียมอุปกรณ์

1. ใช้ Universal orifice สำหรับสารหล่อลื่น (Lubricant) หรือสารที่ได้จากการกลั่นอื่น ๆ ที่มีเวลาในการไหลมากกว่า 32 วินาที เพื่อให้ได้ความ ถูกต้องตามต้องการสำหรับของเหลวที่มีเวลาในการไหลมากกว่า 1,000 วินาที ไม่ควรทดสอบด้วย orifice ชนิดนี้

2. ใช้ Furol orifice สำหรับวัสดุกาก (Residual materials) ซึ่งมีเวลามากกว่า 25 วินาที เวลาในการไหลแบบ Furol จะมีค่าประมาณ 1/10 ของเวลาในการไหลแบบ Universal

3. ทำความสะอาด Viscometer ด้วยสารละลายซึ่งสามารถใช้งานได้ดี และ ไม่เป็นพิษ และเช็ดสารละลายใน Gallery และViscometer ออกให้หมด

4. ตั้งเครื่อง Viscometer และอ่างน้ำ ในที่ลมสงบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศอย่างรวดเร็วและปราศจากฝุ่นหรือไอน้ำระหว่างการทดสอบ

5. วางขวดแก้วรองรับไว้ในเครื่องใต้ Viscometer ให้ตรงกับรูที่น้ำมันจะไหลออกจากก้นของ Viscometer โดยน้ำมันไม่โดนข้างขวด จุดขั้นบนขวด (Graduation mark) ควรจะห่างประมาณ 100 ถึง 130 มม. จากก้นของ Viscometer tube

6. เติมน้ำมันเข้าไปใน Viscometer (อาจใช้ตัวนำอื่นแทนน้ำ เช่น น้ำมันเครื่อง ในการทดสอบที่อุณหภูมิสูง) อย่างน้อย 6 มม. เหนือ Overflow rim ของ Viscometer โดยตารางที่ 2 แสดงของเหลวที่ควรใช้ในอ่างน้ำสำหรับแต่ละอุณหภูมิการทดลอง

ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิการทดลองของสารในอ่างน้ำ (Bath test temperature)

Standard test temperature (°C)	Recommended bath medium	Maximum temperature differential (°C)1,2	Functional precision (°C)[1]
21.1	Water	± 0.05 (0.05)	± 0.03 (0.05)
25.0	Water	± 0.05 (0.05)	± 0.03 (0.05)
37.8	Water, or all of viscosity 50 to 70 SUS at 37.8 °C	± 0.15 (0.15)	± 0.03 (0.05)
50.0	Water, or all of viscosity 120 to 150 SUS at 37.8 °C	± 0.20 (0.20)	± 0.03 (0.05)
54.4	Water, or all of viscosity 120 to 150 SUS at 37.8 °C	± 0.30 (0.30)	± 0.03 (0.05)
60.0	Water, or all of viscosity 120 to 150 SUS at 37.8 °C	± 0.60 (0.50)	± 0.06 (0.05)
82.2	Water, or all of viscosity 330 to 370 SUS at 37.8 °C	± 0.80 (0.80)	± 0.06 (0.05)
98.9	Water, or all of viscosity 330 to 370 SUS at 37.8 °C	± 1.10 (1.10)	± 0.06 (0.05)

1. ค่าตาม ASTM D 88-94 (AASHTO T72-90)

2. ค่าแตกต่างสูงสุดของอุณหภูมิ (Maximum difference) ที่ยอมให้ระหว่างอุณหภูมิของสารในอ่างน้ำกับอุณหภูมิในการทดลอง เพื่อที่จะรักษาความสมดุลทางด้านอุณหภูมิในขณะที่คนตัวอย่างใน Viscometer ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ในการทดลอง

7. คนของเหลวในอ่างน้ำอย่างเพียงพอ พร้อมกับควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเกินกว่า ± 0.03 ℃ (ASTM) ภายหลังจากอุณหภูมิในการทดสอบได้ถึงค่าที่ต้องการแล้ว (AASHTO กำหนดไม่ให้เกิน ± 0.05 ℃)

8. การหาค่าความหนืดต้องไม่ทำที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดควบแน่น (Dew point) ของบรรยากาศของห้อง

9. สำหรับการทดสอบเพื่อหาจุดอ้างอิงและมาตรฐาน ต้องรักษาอุณหภูมิห้องให้อยู่ในช่วง 20 ถึง 30 ℃ และบันทึกค่าอุณหภูมิจริง ณ ขณะนั้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของห้องที่สูงขึ้นจนถึง 38 ℃ จะไม่ทำให้มีความคลาดเคลื่อนในการทดลองเกินกว่า 1.0%

วิธีการวิเคราะห์

1. กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ และควบคุมเครื่องมือให้มีอุณหภูมิคงที่โดย ทั่วไปแล้วมาตรฐานการทดลองด้วย Universal orifice จะทำที่ 21.1, 37.8, 54.4 หรือ 98.9 ℃ มาตรฐานการทดลองด้วย Saybolt orifice จะทำที่ 25.0, 37.8, 50.0 หรือ 98.9 ℃ บางครั้งจะนิยมทดสอบที่อุณหภูมิ คือ60 และ 82.2 ℃

2. ใส่ตัวหยุดที่เป็นจุกคอร์ก (Cork stopper) ซึ่งมีเชือกหรือด้ายติดอยู่ด้วยเพื่อให้ง่ายในการถอดออก เข้าไปในรูช่องเปิด ซึ่งอยู่ที่ก้นของ Viscometer จุกคอร์กควรจะใส่ให้แน่นพอดี ๆ เพียงพอที่จะกันการเข้าออกของอากาศได้ ซึ่งสังเกตได้จากการที่ไม่มีน้ำมันอยู่บนตัวจุกคอร์กหลังจากถอดออก

3. ถ้าอุณหภูมิในการทดลองสูงกว่าอุณหภูมิห้อง การทดลองอาจจะถูกเร่งให้เสร็จเร็วขึ้นได้โดยการอุ่นตัวอย่างเตรียมไว้ แต่ต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิที่จะใช้การทดลองเกิน 1.7 ℃ และห้ามอุ่นตัวอย่างใด ๆ จนอุณหภูมิใกล้จุดวาบไฟ (Flash point) โดยต้องต่ำกว่าจุดวาบไฟมากกว่า 50 ℃เนื่องจากการสูญเสียจากการระเหยอาจเปลี่ยนองค์ประกอบของตัวอย่างนั้นได้

4. คนตัวอย่างอย่างดี และกรองตัวอย่างผ่าน 100 - Mesh screen โดยตรงลงไปใน Viscometer จนกระทั่งระดับขึ้นมาถึง Overflow rim การทดสอบแอสฟัสท์เหลวที่ระเหยง่าย เช่น ยาง RC หรือ MC จะห้ามอุ่นในภาชนะเปิด

5. คนตัวอย่างด้วยเทอร์โมมิเตอร์จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างคงที่ภายใน ± 0.03 ℃ (AASHTO กำหนด 0.05 ℃) ของอุณหภูมิที่ใช้ทดลอง ระหว่างการคนอย่างต่อเนื่องนาน 1 นาที การคนให้คนเป็นวงกลมด้วยอัตรา 30 – 50 รอบต่อนาทีบนระนาบเดียวกัน อนึ่งห้ามปรับอุณหภูมิโดยการใส่สิ่งของที่มีความร้อนหรือความเย็นลงไปในตัวอย่าง เนื่องจากวิธีการปรับอุณหภูมิแบบนี้อาจจะมีผลกระทบต่อตัวอย่างและความเที่ยงตรงในการทดลอง

6. นำเทอร์โมมิเตอร์ออกจากตัวอย่าง และดูดน้ำมันออกจาก Gallery อย่างรวดเร็วจนกระทั่งระดับของตัวอย่างอยู่ต่ำกว่า Overflow rim โดยการใช้หลอดดูด (Withdrawal tube) ด้วยการเสียบปลายของหลอดดูดที่จุดหนึ่ง ๆ ใน Gallery และทำการดูดออกและอย่าให้ Withdrawal tube สัมผัสกับOverflow rim เพราะจะทำให้ Effective head ของตัวอย่างลดลง

7. ดึงจุกคอร์กจาก Viscometer โดยดึงด้ายที่ติดอยู่ พร้อมจับเวลา หยุดจับเวลาในจุดที่ระดับต่ำสุดของส่วนเว้าบนผิวของสารในขวดถึงระดับที่เป็นจุดขั้นบนขวด ให้บันทึกค่าเวลาในการไหลหน่วยเป็นวินาที ละเอียดถึง 0.1 วินาที

การคำนวณและรายงานผล

1. คูณค่าเวลาในการไหลด้วยค่าปรับแก้ (Calibration Factor) ของ Viscometer ที่ใช้

2. รายงานผลของเวลาที่ปรับแก้ค่าแล้ว (เป็นวินาที) เป็นความหนืดแบบ Saybolt Universal หรือ Saybolt Furol ของน้ำมันนั้น ๆ ที่อุณหภูมิซึ่งได้ทำการทดลอง

3. รายงานผลของค่าที่ต่ำกว่า 200 วินาที ด้วยการปัดค่าใกล้ให้ละเอียดระดับ 0.1 วินาที และรายงานผลของทุก ๆ ค่าตั้งแต่ 200 วินาทีขึ้นไป ด้วยการปัดค่าใกล้ให้ละเอียดระดับวินาที

การพิจารณาความถูกต้อง

1. ผลการทดสอบจากผู้ทดสอบคนเดียวกันจะต้องต่างกันไม่เกิน 1%
2. ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการหลายที่จะต้องต่างกันไม่เกิน 2

2. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity ที่ 60/60 °F) วิเคราะห์โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (Hydrometer for petroleum test) หรือไฮโดรมิเตอร์วัด API (API Hydrometer) (มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2544)

ภาพที่ 3.2 ชุดไฮโดรมิเตอร์วัด API ที่ใช้ทดสอบจริง

ที่มา : (Applied, 2559)

อุปกรณ์

1. ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)
2. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
3. กระบอกตวง (Cylinder) ขนาดพอเหมาะกับไฮโดรมิเตอร์ที่เลือกใช้
4. อ่างควบคุมอุณหภูมิสำหรับตัวอย่างที่จำเป็นต้องวัดที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิสำหรับการทดลอง

หมายเหตุ : การวัดค่าความถ่วงจำเพาะ ควรวัดที่อุณหภูมิมาตรฐานหรือใกล้เคียงกับอุณหภูมิมาตรฐาน จะทำให้ได้ค่าที่ความถูกต้องสูงสุด แต่ในกรณีที่มีความจำเป็นก็สามารถทำการวัดที่อุณหภูมิระหว่าง -18 ถึง 90 °C ได้

วิธีการวิเคราะห์

1. เติมน้ำลงใน Hydrometer jar ในปริมาณที่เพียงพอที่ทำให้ Hydrometer ลอยตัวตรวจสอบสเกลของ Hydrometer โดยให้ Scale Marking อ่านค่าที่ 1.00

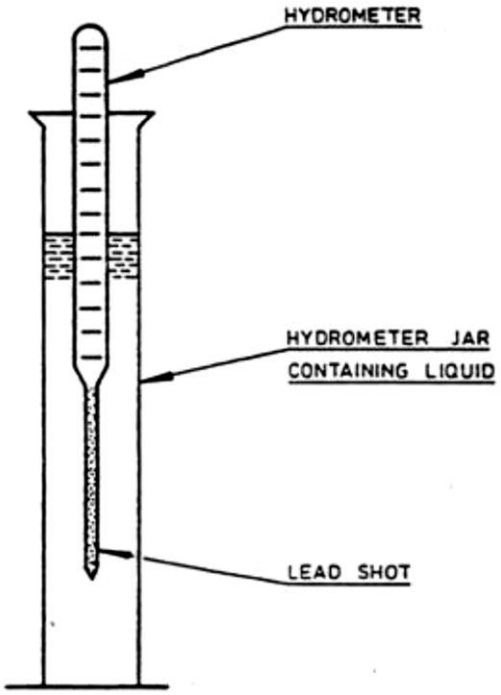
2. เขย่าตัวอย่างที่จะทำการทดลองให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วค่อย ๆ เทลงไปประมาณ 3 ใน 4 ของกระบอกตวงหรือมากกว่าเล็กน้อย โดยเอียงกระบอกตวงให้ตัวอย่างไหลลงไปตามผนังของกระบอกตวงเพื่อป้องกันการระเหยและการเกิดฟองอากาศรอจนฟองอากาศขึ้นมารวมตัวกันอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของตัวอย่าง แล้วกำจัดออกโดยซับด้วยกระดาษกรองหรือกระดาษชำระที่สะอาด

3. วางกระบอกตวงให้อยู่ในแนวดิ่งที่ไม่มีลมพัดผ่าน

4. ใช้เทอร์โมมิเตอร์คนให้ทั่วจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่ อ่านค่าและบันทึกค่าอุณหภูมิ

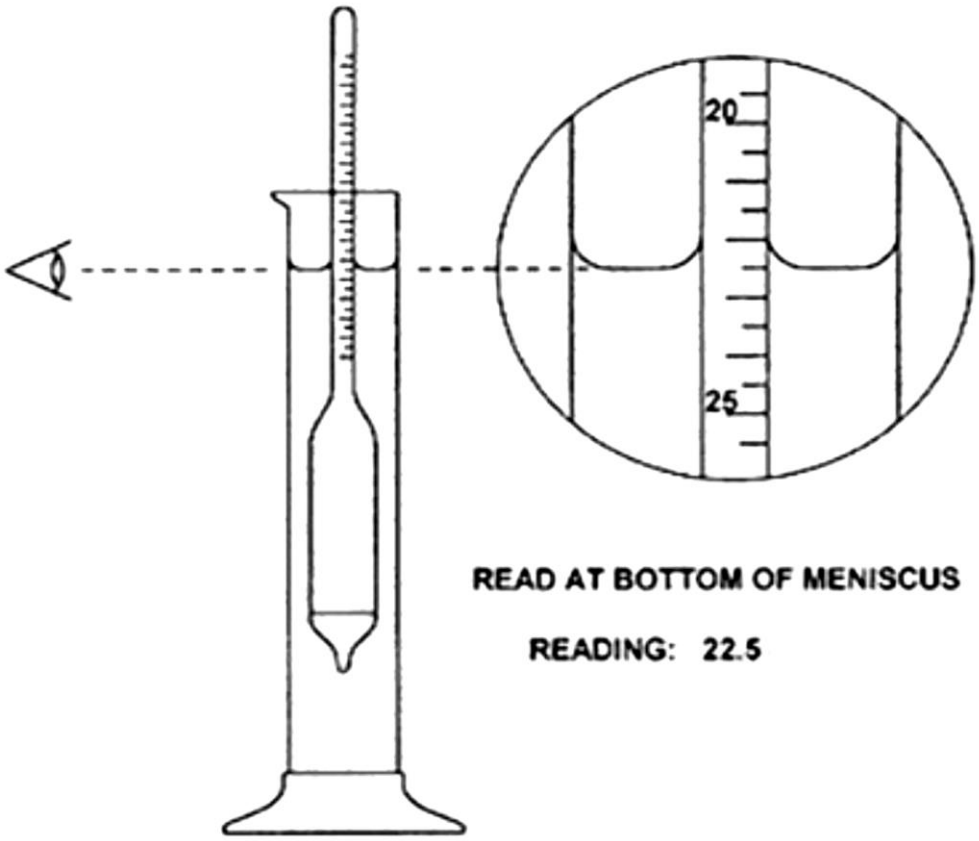
5. ค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงไปแล้วปล่อยให้ลอยตัวหยุดนิ่งโดยอิสระกับผนังของกระบอกตวง

6. อ่านค่าความถ่วงจำเพาะที่ขีดระดับของไฮโดรมิเตอร์ซึ่งตรงกับระดับตัวอย่าง (ผิวโค้งล่าง) โดยให้สายตาอยู่ในระดับเดียวกับระดับตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 12 และบันทึกค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่าง



ภาพที่ 3.3 การหาความถ่วงจำเพาะโดยใช้ Hydrometer

ที่มา : (Jfccivil Engineer, 2559)



ภาพที่ 3.4 การอ่านค่าความถ่วงจำเพาะจากสเกล Hydrometer

ที่มา : (Jfccivil Engineer ,2559)

3. จุดขุ่นตัว (Cloud point) และจุดไหลเท (Pour point) วิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์วัดจุดไหลเทกับจุดขุ่นตัวตามมาตรฐาน ASTM D 97 (Cloud point and pour point apparatus ASTM D 97) (สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน)

ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์วัดจุดไหลเทกับจุดขุ่น

การหาจุดขุ่นตัว (Cloud point)

ก. อุปกรณ์

1. หลอดแก้ว
2. จุกคอร์ก
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. น้ำแข็งแห้ง
5. อ่างทดสอบ

ข. วิธีการวิเคราะห์

1. เขย่าตัวอย่างและเทใส่หลอดแก้วทดสอบเท่ากับขีดบอกระดับ (45 มิลลิลิตร)

2. ปิดฝาด้วยจุกคอร์กพร้อมกับใส่เทอร์โมมิเตอร์โดยให้ตำแหน่งช่วง Capillary ของเทอร์โมมิเตอร์ต่ำกว่าผิวหน้าของตัวอย่าง (ดังภาพที่ 13)

3. อุ่นตัวอย่างให้ได้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้องให้ควบคุมการลดลงของอุณหภูมิตัวอย่างดังนี้

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างควบคุมการลดลงของอุณหภูมิ

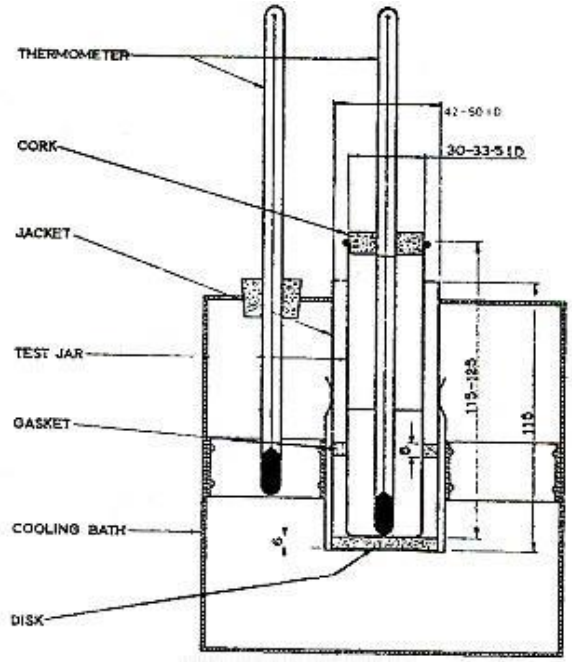
เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างได้	ย้ายหลอดแก้วสู่อ่างแอลกอฮอล์
27	0
9	-18
-6	-33
-24	-51
-42	-69

ที่มา : (สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน, 2550)

หมายเหตุ : การปรับอุณหภูมิอ่างแอลกอฮอล์ ใช้น้ำแข็งแห้งใส่ทางฝาเปิดอ่าง เปิดมอเตอร์ขับใบกวนให้ระดับอุณหภูมิในอ่างสม่ำเสมอกัน

4. ทุก ๆ อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ที่ลดลง ให้ยกหลอดแก้วขึ้นจากอ่างทดสอบในแนวดิ่งสังเกตความขุ่น (การก่อตัวของไข) จากด้านบนของหลอดแก้ว ถ้ายังไม่เต็มพื้นที่ก้นหลอดให้คืนหลอดแก้วลงอ่างเหมือนเดิม (ขั้นตอนนี้ไม่เกิน 3 วินาที)

5. ถ้าพบว่าจุดขุ่นเต็มพื้นที่ก้นหลอดแล้ว ให้บันทึกอุณหภูมินั้นไว้และรายงานผลเป็นจุดขุ่น



ภาพที่ 3.6 ชุดทดสอบการวิเคราะห์จุดขุ่น

ที่มา : (สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน, 2550)

จุดไหลเท (Pour point)

ก. อุปกรณ์

1. หลอดแก้ว
2. จุกคอร์ก
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. น้ำแข็งแห้ง
5. อ่างทดสอบ

ข. วิธีการวิเคราะห์

1. เขย่าตัวอย่าง และเทใส่หลอดแก้วทดสอบให้ได้เท่ากับขีดบอกระดับ (45 มิลลิลิตร)

2. ปิดฝาด้วยจุกคอร์กพร้อมกับใส่เทอร์โมมิเตอร์โดยให้อยู่ในตำแหน่งช่วง Capillary ของเทอร์โมมิเตอร์ต่ำกว่าผิวหน้าของตัวอย่าง (ดังภาพที่ 3.6)

3. อุ่นตัวอย่างให้ได้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง

4. ให้ควบคุมการลดลงของอุณหภูมิตัวอย่างดังนี้

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างควบคุมการลดลงของอุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างได้	ย้ายหลอดแก้วสู่อ่างแอลกอฮอลล์
27	0
9	-18
-6	-33
-24	-51
-42	-69

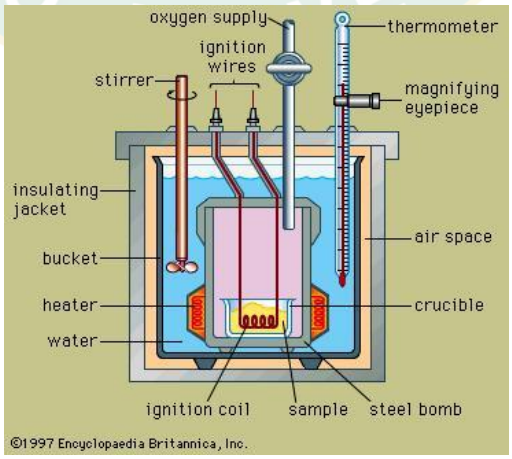
ที่มา : (สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน, 2550)

5. เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างได้ 9 องศาเซลเซียส เหนือจุดไหลเท (คาดการณ์) ให้ยกหลอดแก้วขึ้นจากอ่างทดสอบ เอียงหลอดแก้ว ถ้าตัวอย่างยังไหลได้ให้คืนหลอดแก้วลงสู่อ่างเหมือนเดิมเหมือนเดิม (ขั้นตอนนี้ไม่เกิน 3 วินาที)

6. กระทำซ้ำเหมือนข้อ 5 ทุก ๆ อุณหภูมิที่ลดลง 3 องศาเซลเซียส จนกระทั่งพบว่าตัวอย่างเป็นไขแข็งตัว (100%) ให้เอียงหลอดแก้วในแนวระนาบต่อเนื่อง 5 วินาที ถ้าตัวอย่างไม่มีการไหลตัวให้หยุดการทดสอบ

7. การรายงานผล ให้เอาอุณหภูมิสุดท้ายที่ตัวอย่างนั้นเป็นไขแข็งตัวเป็นอุณหภูมิจุดไหลเท

4. ค่าความร้อนสูง (High heating value) วิเคราะห์โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรมิเตอร์ (Bomb calorimeter)



ภาพที่ 3.7 บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter)

ที่มา : (Britannica, 2559)

ภาพที่ 3.8 บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ที่ใช้ทดสอบจริง

อุปกรณ์

1. บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter)
2. แว่นขยาย
3. Fuse wire
4. ไม้บรรทัด
5. กระบอกตวง
6. เทอร์โมมิเตอร์ (°F)
7. นาฬิกา
8. อุปกรณ์สำหรับชั่งน้ำหนัก

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งหามวลของแคลอริมิเตอร์และเครื่องกวนซึ่งเป็นอะลูมิเนียม (มีค่าความร้อนจำเพาะ = 0.22 cal/gm °C)

2. เติมน้ำกลั่นลงในแคลอริมิเตอร์ประมาณ 3/4 ของปริมาตรของแคลอริมิเตอร์ แล้วนำไปชั่งเพื่อหาค่ามวลของน้ำ

3. นำแคลอริมิเตอร์ที่เติมน้ำกลั่นแล้วใส่ลงในภาชนะป้องกันความร้อนพร้อมทั้งเอาฝาปิดภาชนะครอบปิดให้สนิท แล้วนำเทอร์โมมิเตอร์เสียบเข้าไปในจุกยาง แล้วนำไปสวมตรงช่องสวมจุกยางที่ฝาปิด ปรับให้กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงไปในน้ำประมาณครึ่งหนึ่ง

ของความลึกของน้ำ ทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที อ่านอุณหภูมิตั้งต้นของน้ำ แคลอริมิเตอร์ และเครื่องกวนจากเทอร์โมมิเตอร์

4. นำสารที่จะหาค่าความจุความร้อนจำเพาะ หรือความจุความร้อน หรือ ความร้อนแฝงจำเพาะ ไปอบให้อุณหภูมิสูงกว่าด้วยไอน้ำหรือเครื่องอบที่ทราบค่าอุณหภูมิ (หรือมีอุณหภูมิต่ำกว่าก็ได้) นำสารนี้ใส่ลงในแคลอริมิเตอร์แล้วกวนน้ำด้วยเครื่องกวนอย่างช้า ๆ เพื่อให้ปริมาณความร้อนแผ่กระจายไปทั่วสารผสมอย่างสม่ำเสมอคอยสังเกตดูอุณหภูมิผสมที่เทอร์โมมิเตอร์เมื่อเห็นอุณหภูมิที่เทอร์โมมิเตอร์อยู่คงที่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง ให้รีบอ่านค่าอุณหภูมินี้ไว้เป็นอุณหภูมิผสม (อุณหภูมิสมดุล)หลังจากนี้ให้นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความร้อนลดของระบบและปริมาณความร้อนเพิ่มของระบบ แล้วคำนวณหาค่าที่ต้องการวัดการทดลอง จากสูตร

ปริมาณความร้อนลดของระบบ = ปริมาณความร้อนเพิ่มของระบบ

5. เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้ว ล้างและทำความสะอาดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์และเครื่องมือทดลอง แล้วนำเก็บเข้าที่ เก็บให้เป็นระเบียบเรียบร้อย

5. ปริมาณกำมะถัน (Sulphur content) วิเคราะห์โดยใช้เตาอบไฟฟ้า

(จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิศวกรรมโยธา)

อุปกรณ์

1. เตาอบ - เตาอบที่ใช้ควรเป็นเตาอบไฟฟ้า ซึ่งมีขนาดภายในไม่น้อยกว่า 330 มม. ในแต่ละด้าน เตาอบควรจะมีประตูที่ปิดได้แน่นสนิท และมีผนังสองชั้น โดยใช้กระจกแยกกันเพื่อให้อ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์

2. ชั้นหมุนสำหรับวางตัวอย่าง (Rotating shelf) มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะกลม เส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 250 มม. ชั้นหมุนจะยึดอยู่กับแกนในแนวดิ่งซึ่งสามารถหมุนรอบตัวเองได้ในอัตรา 5 – 6 รอบต่อนาที

3. เทอร์โมมิเตอร์ ใช้อุณหภูมิในหน่วย เซลเซียส ซึ่งมีช่วงระหว่าง 155 องศาเซลเซียส - 170 องศาเซลเซียส

4. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง มีลักษณะเป็นเหล็ก หรือแก้ว มีรูปร่างเป็นทรงกลม ก้นแบน มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 55 มม. และลึก 35 มม. ขนาดความจุประมาณ 3 ออนซ์

การเตรียมตัวอย่าง

1. คนน้ำมันดำและนำมาให้ความร้อน เพื่อให้ได้ส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนนำไปทดสอบ

2. เริ่มต้นทำการทดลองโดยหาปริมาณน้ำที่มีในตัวอย่างก่อน ถ้าพบว่ามีน้ำอยู่ให้กำจัดออกไปโดยวิธีที่เหมาะสมก่อนจะนำมาทดสอบ หรือเลือกตัวอย่างที่ปราศจากน้ำเป็นส่วนประกอบมาใช้

วิธีการวิเคราะห์

1. นำน้ำมันดำที่ปราศจากน้ำมา 50.0 ± 0.5 กรัม บรรจุลงในภาชนะแล้วปล่อยให้เย็นลงในอุณหภูมิก่อนที่จะนำไปชั่ง ทำการชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักตามที่ต้องการ โดยอ่านค่าให้ละเอียดถึง 0.01 กรัม นำภาชนะบรรจุน้ำมันดำวางบนชั้นหมุนในเตาอบ โดยวางชิดขอบด้านนอกของชั้นหมุน ปิดประตูของเตาอบ และปรับอุณหภูมิให้ได้ 163 °C (325 °F) และปรับให้ชั้นหมุน หมุนรอบตัวเองในอัตรา 5 – 6 รอบ/นาที รักษาอุณหภูมิไว้ที่ 163 ± 1 °C เป็นเวลา 5 ชม. ช่วงเวลา 5 ชม. จะเริ่มนับจากที่เตาอบมีอุณหภูมิตั้งแต่ 162 °C และไม่ว่าอย่างไรก็ตามไม่ควรให้ตัวอย่างอยู่ในเตาอบนานเกิน 5 ชม. 15 นาที นำตัวอย่างออกจากเตาอบ ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก อ่านค่าให้ละเอียดถึง 0.01 กรัม คำนวณหาค่าการสูญหายของมวลเมื่อได้รับความร้อน

2. การอ่านค่าอุณหภูมินั้นอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่ยึดอยู่กับชั้นหมุน โดยปลายล่างของเทอร์โมมิเตอร์อยู่สูงจากชั้น 6 มม.

การคำนวณ

$$\textbf{ค่าการสูญเสียของแอสฟัลท์} = \frac{\text{นน. ตัวอย่างก่อนอบ} - \text{นน. ตัวอย่างหลังอบ}}{\text{นน. ตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100\%$$

ข้อควรระวัง

ตัวอย่างที่จะนำเข้าไปอบในการทดลองครั้งเดียวกัน ควรจะมีอัตราการระเหยใกล้เคียงกัน ถ้าตัวอย่างที่อัตราการระเหยที่แตกต่างกันมาก ควรจะแยกกันทำการทดลอง และเพื่อความถูกต้อง ควรทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง เพื่อดูผลของตัวอย่างที่ได้แล้วนำไปตรวจสอบความถูกต้องจากวิธีด้านล่างและขณะทำการทดลอง ต้องระวังไม่ให้ตัวอย่างเดือดเป็นฟอง (Foaming) เด็ดขาด

การพิจารณาความถูกต้อง

1. ถ้าทดลองแล้วค่าสูญเสียเกินร้อยละ 5 และการทดลองที่ถือว่าใช้ได้ และยอมให้คลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น 0.01 สำหรับทุก ๆ ค่าที่สูญเสียที่เพิ่มขึ้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 5

2. ถ้าทดลองแล้วค่าสูญเสียไม่เกินร้อยละ 5 และผลการทดลองที่ได้ต่างกัน ไม่เกิน 0.5 ถือว่าใช้ได้

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ยอมรับได้

ค่าสูญเสียที่ยอมให้	ค่าแตกต่างที่ยอมให้	ค่าสูญเสียจริง
5.0	+0.50	0.50 - 5.50
5.5	+0.51	4.99 – 6.01
6.0	+0.52	5.48 – 6.52
10.0	+0.60	9.40 – 10.60
15.0	+0.70	14.30 – 15.70
25.0	+0.90	24.10 – 25.90
40.0	+1.20	38.80 – 41.20

ที่มา : (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิศวกรรมโยธา, ม.ป.ป)

6. **จุดวาบไฟ (Flash point) และจุดติดไฟ (Fire point) วิเคราะห์โดยใช้วิธีถ้วยเปิดคลีฟแลนด์ (Cleveland open cup) และถ้วยเปิดแทก หาค่าจุดติดไฟด้วยวิธีถ้วยเปิดคลีฟแลนด์ วัสดุที่นำมาหาจุดวาบไฟด้วยวิธีถ้วยเปิดแทก จะต้องมีค่าจุดวาปไฟต่ำกว่า 93.3 °C** (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิศวกรรมโยธา,)

ภาพที่ 3.9 ถ้วยเปิดคลีฟแลนด์
ที่มา : (Cqtestkit, 2559)

ภาพที่ 3.10 เครื่องมือทดสอบแบบถ้วยเปิดแทก
ที่มา : (Hangyu, 2559)

อุปกรณ์

1. เครื่องมือทดสอบแบบถ้วยเปิดคลีฟแลนด์ ภาพที่ 3.9
2. เครื่องมือทดสอบแบบถ้วยเปิดแทก ภาพที่ 3.10
3. เทอร์โมมิเตอร์-วัดอุณหภูมิได้ในช่วง 6 °C ถึง 400 °C

การเตรียมอุปกรณ์

1. ประกอบชุดเครื่องมือทดสอบทั้งสองชนิดบนโต๊ะที่มั่นคงในสถานที่ลมสงบและปราศจากแสงจ้า

2. ล้างถ้วยเปิดด้วยสารละลาย เพื่อให้ปราศจากน้ำมันและสิ่งตกค้างจากการทดสอบทุกครั้ง ก่อนล้างถ้วยเปิดอีกครั้งด้วยน้ำเย็น และทำให้แห้งด้วยการผ่านเปลวไฟ ปล่อยให้ถ้วยเย็นลง ควรให้ถ้วยเปิดเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่คาดว่าจะเป็นจุดวาบไฟ เกิน 56 °C

3. ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์กับฐานให้อยู่ในแนวดิ่ง และปลายล่างอยู่ห่างจากก้นถ้วย 6.4 มม. และอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างกลางถ้วยกับแนวการเคลื่อนที่ของเปลวไฟ

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ใส่วัสดุที่ต้องการทดสอบลงไปในถ้วยจนถึงเส้นบอกระดับวัสดุที่นำมาใส่นั้นจะต้องมีอุณหภูมิเกินจุดอ่อนตัว (Softening Point) ของวัสดุนั้นไม่มากกว่า 80 - 100 °C ถ้าวัสดุที่นำมาใส่นั้น สูงเกินระดับ ให้ดูดออกด้วยปิเปต (Pipet) ถ้ามีฟองอากาศบนผิวให้คนจนหมดฟองอากาศ

2. จุดไฟล่อที่เครื่องมือ และปรับเปลวไฟกว้างสุดประมาณ 3.2 - 4.8 มม.

3. เพิ่มอุณหภูมิกับตัวอย่างในอัตรา 14 - 15 °C ต่อนาที เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างต่ำกว่าอุณหภูมิที่คาดว่าจะเป็นจุดวาบไฟ 56 °C ให้ลดอัตราเพิ่มอุณหภูมิลงอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ต้องการจะวัดที่ช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิที่คาดว่าจะเป็นจุดวาบไฟ 28 °C โดยต้องมีค่าเท่ากับ 5 - 6 °C ต่อนาที

4. เมื่อถึงอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดวาบไฟ 28 °C ให้หมุนเปลวไฟล่อผ่านถ้วยเปิดไปและกลับ ทุก ๆ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 2 °C กึ่งกลางของเปลวไฟจะต้องไม่สูงกว่าขอบถ้วยเกิน 2 มม. การหมุนของเปลวไฟล่อไปและกลับแต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 1 วินาที

5. บันทึกจุดวาบไฟ เมื่อสังเกตประกายไฟเกิดขึ้นบนถ้วยเปิด (อันมาจากการติดเป็นประกายของสารระเหยในถ้วย)

6. สำหรับการทดลองโดยใช้ถ้วยเปิดคลีฟแลนด์ ให้ความร้อนต่อไปและรักษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ 5 °C ถึง 6 °C และหมุนเปลวไฟล่อทุก ๆ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 2 °C จนกระทั่งไปลุกบนผิวตัวอย่างเป็นเวลาอย่างน้อย 5 วินาที บันทึกจุดติดไฟ

การปรับแก้ผลทดสอบอันเนื่องมาจากความกดอากาศ

ให้เพิ่มค่าของจุดวาบไฟและจุดติดไฟที่ได้ในบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 3.5 การปรับแก้ผลทดสอบอันเนื่องมาจากความกดอากาศ

ความกดอากาศ (mm of Mercury)	ค่าปรับแก้ (°C)
715 - 665	2
664 - 610	4
609 - 550	6

ที่มา : (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิศวกรรมโยธา, ม.ป.ป)

การพิจารณาความถูกต้อง

ผลการทดลองจากผู้ทดสอบคนเดียวกัน ค่าที่ได้ (จุดวาบไฟและจุดติดไฟ) ต้องต่างกันไม่เกิน 8 °C ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติหลายแห่ง จุดวาบไฟต้องต่างกันไม่เกิน 16 °C จุดติดไฟต้องต่างกันไม่เกิน 14 °C

7. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (Ash)

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งชนิดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เตาไฟฟ้า
3. เตาเผา (muffle furnace)
4. ถ้วยสำหรับเผาเถ้า (porcelain dish)
5. โถดูดความชื้น (dessicator)

วิธีการ

1. น้ำถ้วยเปล่าอบที่อุณหภูมิ 100 0C นาน 1 ชั่วโมง เอาออกใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนัก

2. ชั่งตัวอย่างใส่ลงในถ้วยที่ทราบน้ำหนักแล้วประมาณ 2 กรัม นำไปทำการเผาบนเตาไฟฟ้า จนหมดควัน

3. นำตัวอย่างที่เผาไล่ควัน แล้วไปเผาต่อในเตาเผา (Muffer furnace) อุณหภูมิ 600 0C นาน 2 ชั่วโมง แล้วปิดสวิทช์เตาเผา เปิดฝาเตาออกรอจนอุณหภูมิภายในเตาลดเหลือประมาณ 100 0C เพื่อป้องกันมิให้ถ้วยสัมผัสอากาศเย็นกะทันหัน ซึ่งอาจทำให้ถ้วยแตกได้

4. น้าถ้วยออกมาใส่ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ % เถ้า = (W2 – W1) x 100

น้ำหนักตัวอย่าง W1 คือ น้ำหนักถ้วย W2 คือ น้ำหนักถ้วย + น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา

ส่วนปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter, OM) คำนวณได้จากผลต่างระหว่างน้ำหนักตัวอย่างกับ น้ำหนักเถ้า ดังนี้ %OM = 100 - (%ความชื้น) - (%เถ้า)

8. การกัดกร่อนทองแดง (Copper strip corrosion)

มาตรฐานการทดสอบที่ใช้อ้างอิงได้แก่ NACE Standard RP0775 - 2005 Item No. 21017 ซึ่งกล่าวถึงขั้นตอนการเลือกใช้โลหะคูปองทดสอบการกัดกร่อน การติดตั้งคูปองในตำแหน่งในสภาวะต่าง ๆ (ภาพที่ 19) ระยะเวลาในทดสอบขึ้นอยู่กับสภาวะและปัจจัยมีความรุนแรงที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน ถ้ายังไม่ทราบควรมีการกำหนดระยะเวลาช่วงสั้น 15 - 45 วัน แล้วนำมาหาอัตราการกัดกร่อนและประเมินผลก่อนว่าเกิดการกัดกร่อนมากหรือน้อยเพียงใด ถ้าผลการประเมินต่ำควรเพิ่มระยะเวลาเป็น 60 - 90 วัน เป็นต้น ในมาตรฐานดังกล่าวยังได้กล่าวถึงการล้างคูปองด้วยสารเคมีเพื่อคำนวณน้ำหนักโลหะที่หายไปจากการกัดกร่อน โดยชั่งน้ำหนักคูปองก่อนและหลัง หลังล้างเพื่อใช้คำนวณหาอัตราการกัดกร่อนทั่วไป สูตรการคำนวณหาอัตราการกัดกร่อนมีหลายสูตรขึ้นอยู่กับเลือกใช้หน่วยอะไร เช่น หน่วย mils per year (mpy) สูตรคำนวณคือ CR = 2.227 x 104 x W / (AxTxD) โดย CR = อัตราการกัดกร่อน หน่วย mils per year (mpy), 2.227 x 104 คือค่าคงที่ในการแปลงหน่วยให้เป็น mpy, W = น้ำหนักที่หายไป (น้ำหนักคูปองก่อนล้าง-น้ำหนักหลังล้างที่ผ่านการทดสอบแล้ว) หน่วย กรัม, A = พื้นที่ก่อนทดสอบของคูปอง หน่วย ตารางนิ้ว, T = ระยะเวลาทดสอบ หน่วย วัน และ D = ความหนาแน่นของโลหะ หน่วยกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ภาพที่ 3.11 โลหะคูปองทดสอบการกัดกร่อน ไปติดตั้งในระบบการใช้งานจริง

ที่มา : (รุจีภรณ์, 2559)

3.2.2 ออกแบบการทดลอง

1. การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

1.1 ศึกษาปัจจัยที่ให้ได้เมทิลเอสเทอร์ โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดและเบส โดยใช้กรดซัลฟูริก และเปรียบเทียบเบสโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในสภาวะที่ใช้เวลาและอุณหภูมิต่างกัน โดยศึกษาตัวแปร 4 ตัวแปร ได้แก่

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำมันดำ 9 ค่า (1 : 100, 1.5 : 100, 2 : 100, 2.5 : 100, 3 : 100, 3.5 : 100, 4 : 100, 4.5 : 100 และ 5 : 100)

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์ต่อน้ำมันดำ 9 ค่า (1 : 100, 1.5 : 100, 2 : 100, 2.5 : 100, 3 : 100, 3.5 : 100, 4 : 100, 4.5 : 100 และ 5 : 100)

ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกรดซัลฟูริกต่อน้ำมันดำ 9 ค่า (1 : 100, 1.5 : 100, 2 : 100, 2.5 : 100, 3 : 100, 3.5 : 100, 4 : 100, 4.5 : 100 และ 5 : 100)

อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเมทานอลต่อน้ำมันดำ 3 ค่า (25 : 100, 35 :100 และ 50:100) อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 60±5 องศาเซลเซียส และ 60 นาที ตามลำดับ

1.2 ทดสอบน้ำมันเหลือใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั้น

ขั้นตอนการกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั้น มี 2 แบบ

1. กระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบขั้นตอนเดียว

วิธีการ

1. นำน้ำมันดำใส่บีกเกอร์ 100 กรัม ไปอุ่นให้ความร้อนบนฮอทเพลต จนถึงจุดเดือด และปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 60±5 ºC

2. ละลายโซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์ในเมทานอล

3. นำโซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์ที่ละลายในเมทานอล ใส่ลงไปในน้ำมันดำที่อุ่นแล้ว กวน 300 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 60±5 ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำออกมาตั้งไว้ เพื่อให้กลีเซอรอลแยกออกจากน้ำมัน

4. แยกน้ำมันออกจากกลีเซอรอล แล้วน้ำไปล้างในน้ำอุ่นโดยใช้กรวยสกัดในการแยกน้ำ ออกจากน้ำมัน ทำซ้ำ 5 รอบ จนกว่าน้ำมันจะใส

5. นำน้ำมันที่ล้างเสร็จแล้ว ไปอุ่นที่อุณหภูมิ 100 ºC เพื่อขจัดน้ำส่วนเกินออกจากน้ำมัน

6. นำน้ำมันไบโอดีเซลไปเก็บไว้ในกระบอกตวงเพื่อสังเกตการณ์ว่ามีแผ่นฟิล์มไขมันบนน้ำมันหรือไม่ ถ้าไม่มีถือว่าใช้ได้ ถ้ามีแสดงว่า แยกน้ำล้างกลีเซอรอลในน้ำมัน ออกไม่สมบูรณ์ ให้นำไปอุ่นอีกครั้ง

2. กระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

วิธีการ

1. นำน้ำมันดำใส่บีกเกอร์ 100 กรัม ไปอุ่นให้ความร้อนบนฮอทเพลตจนถึงจุดเดือด และปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 60±5 ºC

2. ละลายโปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์ 5 กรัม ในเมทานอล 50 กรัม

3. นำโปแทสเซียมไซด์ที่ละลายในเมทานอล ใส่ลงไปในน้ำมันดำที่อุ่นแล้ว กวน 300 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 60±5 ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำออกมาตั้งไว้เพื่อให้กลีเซอรอลแยกออกจากน้ำมัน

4. แยกน้ำมันออกจากกลีเซอรอล

5. นำน้ำมันที่ได้ใน ข้อ4 ใส่บีกเกอร์ ไปอุ่นให้ความร้อนบนฮอทเพลตจนถึงจุดเดือด และปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 60±5 ºC

6. ละลายโซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์ 1.5% ในเมทานอล 25%

7. นำโซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์ที่ละลายในเมทานอล ใส่ลงไปในน้ำมันดำที่อุ่นแล้ว กวน 300 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 60±5 ºC เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำออกมาตั้งไว้ เพื่อให้กลีเซอรอลแยกออกจากน้ำมัน

8. แยกน้ำมันออกจากกลีเซอรอล แล้วน้ำไปล้างในน้ำอุ่นโดยใช้กรวยสกัดในการแยกน้ำ ออกจากน้ำมัน ทำซ้ำ 5 รอบ จนกว่าน้ำมันจะใส

9. นำน้ำมันที่ล้างเสร็จแล้ว ไปอุ่นที่อุณหภูมิ 100 ºC เพื่อขจัดน้ำส่วนเกินออกจากน้ำมัน

10. นำน้ำมันไบโอดีเซลไปเก็บไว้ในกระบอกตวง เพื่อสังเกตการณ์ว่ามีแผ่นฟิล์มไขมันบนน้ำมันหรือไม่ ถ้าไม่มีถือว่าใช้ได้ ถ้ามีแสดงว่า แยกน้ำล้างกลีเซอรอลในน้ำมัน ออกไม่สมบูรณ์ ให้นำไปอุ่นอีกครั้ง

ภาพที่ 3.12 ขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำอุ่น

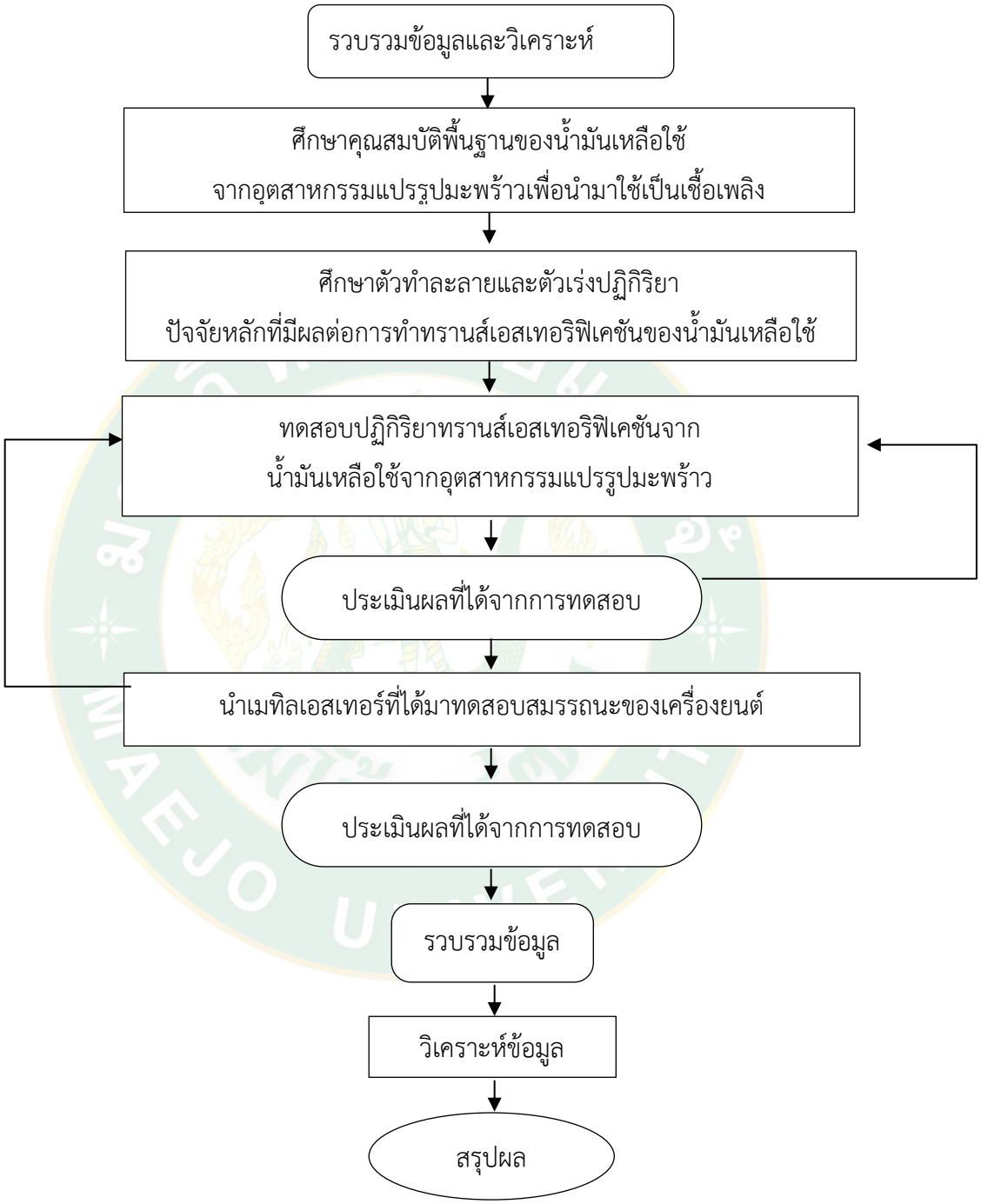
1.3 ทำการวิเคราะห์สมบัติของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ตามมาตรฐาน ASTM เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซล ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ASTM D975

1.4 นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มาปรับปรุงสภาพโดยผสมกับเอทานอลและน้ำมันดีเซลตามที่กำหนดไว้

1.5 นำเมทิลเอสเทอร์ที่ปรับสภาพแล้วมาทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง ดีเซลตามมาตรฐาน ASTM เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซล ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ASTM D975

1.6 นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มาทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ จำนวน 5 ค่า (รอบต่อนาที) เพื่อทดสอบหา แรงบิด กำลังของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง มลพิษที่ศึกษา ปริมาณควันดำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนตริก (NO_x)

3.3 แผนการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 3.13 ขั้นตอนการดำเนินการ

3.4 สถานที่ดำเนินงาน

สถานที่ทำการทดลองโครงการ

1. อาคารปฏิบัติการวิศวกรรม สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยแม่โจ้

2. IQS Maejo - สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์

3. ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ศวท-มช.)

4. สถาบันอาชีวะศึกษา เขตการศึกษาที่ 1

5. บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด

6. บริษัท อินเตอร์เทค เทสติ้ง เซอร์วิสเซส (ประเทศไทย)

ภาพที่ 3.14 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรม สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

3.5 ระยะเวลาในการวิจัยและแผนการดำเนินโครงการ

ระยะเวลาในการทำโครงการประมาณ 110 สัปดาห์ ตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2560 – พฤศจิกายน 2562 โดยมีกิจกรรมดังนี้

ตารางที่ 3.6 แผนการดำเนินโครงการ

กิจกรรม	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
การเตรียมการ												
1. การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	↔											
2. การติดต่อหน่วยงานและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็น		↔	↔									
3. สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย		↔	↔	↔	↔							
4. จัดเตรียมวัตถุดิบ		↔	↔	↔	↔	↔	↔					
5. ทดสอบเงื่อนไขการวิจัย				↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔		
การเก็บข้อมูล												
6. เก็บข้อมูลตามตัวอย่าง				↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔		
การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล												
7. ประมวลผลข้อมูล				↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔		
8. วิเคราะห์ข้อมูลและแปรผล							↔	↔	↔	↔		
การเขียนรายงานและการเผยแพร่ผลงาน												
9. เขียนรายงาน								↔	↔	↔	↔	
10. จัดพิมพ์รายงาน											↔	

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผล

ผลการทดลองการใช้ประโยชน์จากน้ำมันเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว เพื่อของเสียน้ำมันดังกล่าวมาเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน สามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel engine) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.1 ผลการทดลอบการศึกษาสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเหลือใช้

ศึกษาสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิงและทางกายภาพของน้ำมันเหลือใช้ (Waste oil) จากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์มะพร้าว เช่น Viscosity, Cloud point, Pour point, Flash point, Density, Sulphur content, Fire point, Volatility, Heating value, Ash (% wt), และ Copper strip corrosion

ในการศึกษานี้จะเน้นศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของของเหลวที่ได้จากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว โดยผ่านกรรมวิธีทางเคมี และนำผลทดสอบที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของน้ำมันเตา และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดไว้ในแต่ละชนิดที่มีความเหมาะสม เพื่อนำคุณสมบัติไปปรับปรุงเป็นเชื้อเพลิงเหลวทางเลือกทดแทน ที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน

ภาพที่ 4.1 น้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว (Waste oil) หรือน้ำมันดำ

ตารางที่ 4.1 ตารางผลทดสอบค่าคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ทำการศึกษา มีผลการวิเคราะห์ คือ

รายการวิเคราะห์	จำนวนที่ทำการทดลอง (ครั้ง)			ค่าเฉลี่ย
	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	
1. ความถ่วงจำเพาะ (Density ที่ 60/60 °F)	0.875*	0.895*	0.87*	0.88*
2. ความหนืด (Viscosity)	1.43 นาที	1.38 นาที	1.39 นาที	1.40 นาที
3. จุดไหลเท (Pour point)	20.90 °C	21.05 °C	21.05 °C	21 °C
4. จุดขุ่นตัว (Cloud point)	24.80 °C	25.15 °C	25.05 °C	25 °C
5. ค่าความร้อนสูง (High heating value)	7,345 cal/g	7,490 cal/g	7,413 cal/g	7,416 cal/g
6. ปริมาณกำมะกัน (Sulphur content) %wt	0.385 %wt.	0.38 %wt.	0.375 %wt.	0.38 %wt.
7. จุดวาบไฟ (Flash point)	156 °C	160 °C	156 °C	157.3 °C
8. การติดไฟ (Fire point)	164 °C	165 °C	165 °C	164.6 °C
9. ปริมาณเถ้า Ash (% wt)	0.53% wt	0.53% wt	0.53% wt	0.53% wt
10. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า 1	ไม่สูงกว่า 1	ไม่สูงกว่า 1	ไม่สูงกว่า 1

หมายเหตุ :
1. อาคารปฏิบัติการวิศวกรรม สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ศวท-มช.)
3. สถาบันอาชีวะศึกษา เขตการศึกษาที่ 1
4. บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
5. บริษัท อินเตอร์เทค เทสติ้ง เซอร์วิสเซส (ประเทศไทย)

4.2 วิจารณ์ผลการศึกษาสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเหลือใช้

4.2.1 ความถ่วงจำเพาะ (Density ที่ 60/60 °F)

เป็นการวัดความหนักเบาของน้ำมัน ถ้าน้ำมันหนักมากค่าความร้อนของน้ำมันต่อหน่วยน้ำหนักจะลดลง ค่าซีเทนลดลง การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดคราบเขม่าคาร์บอนสะสมได้มาก

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตา น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 1298

คุณสมบัติ	ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิด				
	น้ำมันมะพร้าว ASTM D 1298	น้ำมันเตา ASTM D 1298		ไบโอดีเซล ASTM D 1298	น้ำมันดีเซล ASTM D 1298
ความถ่วงจำเพาะ (Density ที่ 60/60 °F)	0.880	ไม่สูงกว่า		ไม่ต่ำกว่า 0.860 และ ไม่สูงกว่า 0.900	ไม่ต่ำกว่า 0.810 และ ไม่สูงกว่า 0.870 (หมุนช้า 0.920)
		ชนิดที่ 1	0.895		
		ชนิดที่ 2	0.990		
		ชนิดที่ 3	0.995		
		ชนิดที่ 4	0.995		
		ชนิดที่ 5	0.995		

วิจารณ์ผลค่าความถ่วงจำเพาะ

จากการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะจากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว ตามมาตรฐาน ASTM D 1298 ได้ค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.880 เมื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเตา น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งอธิบายได้ว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล ดีเซลหมุนช้า และน้ำมันเตาทุกชนิด แต่เกินมาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้กำหนดไว้นั้นสามารถบ่งบอกได้ว่าน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวมีค่าดัชนีซีเทนและค่าความร้อนของน้ำมันต่อหน่วยต่ำกว่ามาตรฐานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรือต่ำกว่า ส่งผลให้เกิดคราบเขม่าและมีคาร์บอนสะสมได้มากกว่าน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว แต่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล ดีเซลหมุนช้า และน้ำมันเตาทุกชนิด

4.2.2 ความหนืด (Viscosity)

คือ แรงต้านทานภายในตัวของน้ำมันต่อการไหล น้ำมันใสไหลง่าย น้ำมันข้นไหลช้า ความหนืดต้องเหมาะสม เพื่อให้ระบบการฉีดน้ำมัน (Injection System) ฉีดเป็นฝอยได้ละเอียดดี ในขณะเดียวกันก็ช่วยหล่อลื่นปั๊มหัวฉีดด้วย ถ้าน้ำมันข้นเกินไปจะกระจายตัวเป็นฝอยไม่ดี แต่ถ้าใสเกินไปก็จะให้การหล่อลื่นไม่พอ ลูกปั๊มหัวฉีดอาจติดตายหรือเกิดความสึกหรอ จนทำให้ปั๊มรั่วได้ ค่าความหนืดวัดเป็น Kinematic Viscosity

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตา น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 445 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด

คุณสมบัติ	ค่าความหนืดของน้ำมันแต่ละชนิด (เซนติสโตก)			
	น้ำมันมะพร้าว ASTM D 445	น้ำมันเตา ชนิดที่ 2 ASTM D 445	ไบโอดีเซล ASTM D 445	น้ำมันดีเซล ASTM D 445
ความหนืด(Viscosity at 40 °C)	84.0	ไม่ต่ำกว่า 81 และ ไม่สูงกว่า 180	ไม่ต่ำกว่า 1.9 และ ไม่สูงกว่า 8	ไม่ต่ำกว่า 1.8 และ ไม่สูงกว่า 4.1

วิจารณ์ผลค่าความหนืด

จากการทดลองหาค่าความหนืดจากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว ตามมาตรฐาน ASTM D 445 ได้ค่าความหนืด เท่ากับ 84.0 เซนติสโตก เมื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของน้ำมันเตา น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งอธิบายได้ว่า ค่าความหนืดของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันเตา แต่เกินมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงได้กำหนดสามารถบ่งบอกได้ว่าน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีแรงต้านทานภายในตัวของน้ำมันต่อการไหลมากกว่าหรือเกินมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้กำหนด ทำให้ความหนืดที่ได้ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ระบบการฉีดน้ำมัน (Injection system) ฉีดเป็นฝอยกระจายตัวเป็นฝอยไม่ดี แต่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันเตา ถึงแม้จะมีความหนืดมากกว่าน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ส่งผลให้การไหลของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวนั้นช้ากว่า แต่ก็มีความหนืดที่เหมาะสมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันเตา จะช่วยในการหล่อลื่นได้ดี ทำให้ลูกปั๊มหัวฉีดไม่ติดตายหรือเกิดความสึกหรอ จนทำให้ปั๊มรั่วได้ยาก

4.2.3 จุดไหลเท (Pour Point)

เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเริ่มไม่ไหล บริเวณภาคเหนือของประเทศในช่วงฤดูหนาว อุณหภูมิต่ำมาก น้ำมันจะก่อตัวเป็นเกล็ดขี้ผึ้งติดที่กรองน้ำมันดีเซล ขัดขวางการไหลของน้ำมันไปป้อนปั๊มหัวฉีด และถ้าสตาร์ทเครื่องไม่ติดอยู่นานปั๊มหัวฉีดอาจติดตายได้

ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบจุดไหลเทของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตาน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 97 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด

คุณสมบัติ	อัตราสูงต่ำ	ค่าจุดไหลเทของน้ำมันแต่ละชนิด				
		น้ำมันมะพร้าว ASTM D 97	น้ำมันเตา ASTM D 97		น้ำมันดีเซล ASTM D 97	
					หมุนเร็ว	หมุนช้า
จุดไหลเท (Pour Point)	ไม่สูงกว่า	21 °C	ชนิดที่ 1	24 °C	10 °C	16 °C
			ชนิดที่ 2	24 °C		
			ชนิดที่ 3	30 °C		
			ชนิดที่ 4	30 °C		
			ชนิดที่ 5	57 °C		

วิจารณ์ผลค่าจุดไหลเท

จากการทดลองหาค่าจุดไหลเทจากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวตามมาตรฐาน ASTM D 97 ได้ค่าจุดไหลเท เท่ากับ 21 °C เมื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าจุดไหลเทของน้ำมันเตา และน้ำมันดีเซล ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งอธิบายได้ว่า ค่าจุดไหลเทของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันเตา แต่เกินเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซลทั้งหมุนช้า และดีเซลหมุนเร็ว ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้กำหนดไว้ นั้นสามารถบ่งบอกได้ว่าน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว สามารถใช้งานในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเริ่มไม่ไหลเร็วกว่าน้ำมันดีเซลหมุนช้า และดีเซลหมุนเร็ว เมื่ออุณหภูมิต่ำมาก ๆ จะทำให้น้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวก่อตัวเป็นเกล็ดขี้ผึ้งก่อนน้ำมันดีเซลหมุนช้าและดีเซลหมุนเร็ว ส่งผลให้เกิดการขัดขวางการไหลของน้ำมันไปป้อนปั๊มหัวฉีด และถ้าสตาร์ทเครื่องไม่ติดอยู่นานปั๊มหัวฉีดอาจติดตายได้ แต่ก็อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันเตา ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้กำหนด

4.2.4 จุดขุ่นตัว (Cloud Point)

อุณหภูมิที่เกิดผลึกที่มองเห็นได้ผลึกแรกภายในตัวอย่างเชื้อเพลิงเมื่อทำให้เย็นลง ซึ่งกำหนดตามมาตรฐาน EN 23015

ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบจุดขุ่นตัวของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตาน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 97 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด

คุณสมบัติ	อัตราสูงต่ำ	ค่าจุดขุ่นตัวของน้ำมันแต่ละชนิด				
		น้ำมันมะพร้าว ASTM D 97	น้ำมันเตา ASTM D 97		น้ำมันดีเซล ASTM D 97	ไบโอดีเซล ASTM D 97
จุดขุ่นตัว (Cloud Point)	ไม่สูงกว่า	25 °C	ชนิดที่ 1 ชนิดที่ 2 ชนิดที่ 3 ชนิดที่ 4 ชนิดที่ 5	28 °C 28 °C 34 °C 34 °C 61 °C	14 °C	15 °C

วิจารณ์ผลค่าจุดขุ่นตัว

จากการทดลองหาค่าจุดขุ่นตัวจากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวตามมาตรฐาน ASTM D 97 ได้ค่าจุดขุ่นตัวเท่ากับ 25 °C เมื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าจุดขุ่นตัวของน้ำมันเตา น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งอธิบายได้ว่า ค่าจุดขุ่นตัวของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันเตาทุกชนิด แต่เกินเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซล และไบโอดีเซล ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้กำหนดไว้ นั้นสามารถบ่งบอกได้ว่าน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีอุณหภูมิที่เกิดผลึกที่มองเห็นได้ผลึกแรกภายในตัวอย่างเชื้อเพลิงเมื่อทำให้เย็นลงเร็วกว่าน้ำมันดีเซล และไบโอดีเซล ส่งผลให้น้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวแข็งตัวเร็วกว่าน้ำมันดีเซล และไบโอดีเซล เมื่ออยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่อยู่ในเกินเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันเตาทุกชนิด ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้กำหนด

4.2.5 ค่าความร้อน (Heating value)

เป็นปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักเชื้อเพลิง เมื่อเชื้อเพลิงนั้นถูกเผาไหม้ โดยทั่วไปค่าความร้อนมี 2 ประเภท คือ ค่าความร้อนสูง (High Heating Value) และค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value) ซึ่งค่าความร้อนสูงเป็นค่าที่วัดได้โดย รวมความร้อนที่เกิดขึ้นจากการกลั่นตัวของไอน้ำเข้าด้วย เมื่อพูดถึงค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ จะนำค่าความร้อนต่ำมาใช้ เนื่องจากไม่มีการกลั่นตัว ของไอน้ำในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์

ตารางที่ 4.6 ตารางเปรียบเทียบค่าความร้อนของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตา (ASTM D 240) และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 97 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด

คุณสมบัติ	อัตราสูง ต่ำ	ค่าความร้อนของน้ำมันแต่ละชนิด			
		น้ำมันมะพร้าว ASTM D 97	น้ำมันดีเซล ASTM D 97	น้ำมันเตา ASTM D 240	
				ชนิดที่ A	ชนิดที่ 1 - 4
ค่าความร้อน (heating value)	ไม่ต่ำกว่า	7,416 cal/g	8,697.10 cal/g	9,857.66 cal/g	9,117.38 cal/g

วิจารณ์ผลค่าความร้อน

จากการทดลองหาค่าความร้อนจากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว ตามมาตรฐาน ASTM D 97 ได้ค่าความร้อนเท่ากับ 7,416 cal/g เมื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของน้ำมันเตา และน้ำมันดีเซล ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งอธิบายได้ว่า ค่าความร้อนของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซล และน้ำมันเตาทุกชนิด ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้กำหนดไว้นั้นสามารถบ่งบอกได้ว่าน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นต่อน้ำหนักเชื้อเพลิง เมื่อเชื้อเพลิงนั้นถูกเผาไหม้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และน้ำมันเตาทุกชนิด ส่งผลให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ต่ำไปด้วย

4.2.6 ปริมาณกำมะถัน (Sulphur content) %wt.

ปริมาณกำมะถันในน้ำมันชนิดใด ๆ ที่สูงเกินไปเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนา การกัดกร่อนของกำมะถันในน้ำมันมีด้วยกัน 2 ลักษณะ ลักษณะแรกเกิดจากการกัดกร่อนภายหลังการเผาไหม้ของสารประกอบของกำมะถัน เมื่อถูกเผาไหม้ก็จะเกิดก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ ซึ่งเมื่อรวมกับน้ำจะกลายเป็นสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด และจะทำการกัดกร่อนชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ได้ ลักษณะที่สองเกิดจากกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิง โดยตรง คือเมื่อน้ำมันจะกัดกร่อนชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบหัวฉีดเครื่องยนต์ดีเซลกำมะถันในน้ำมันดีเซลจะมีมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบและกระบวนการกลั่นที่ใช้สารประกอบกำมะถันที่มีคุณสมบัติ กัดกร่อนจะอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เมอร์แคปแทน ไดซัลไฟด์ หรือสารประกอบเฮเตอร์โรไซคลิกเช่น ไธโอเฟน (Thiophen)

ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบค่ากำมะถันของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว (ASTM D 4294) กับน้ำมันเตา (ASTM D 4294) น้ำมันไบโอดีเซล (ASTM D 2622) และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ยูโร 4 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด

คุณสมบัติ (ไม่สูงกว่า)	ค่ากำมะถันของน้ำมันแต่ละชนิด				มาตรฐานน้ำมันดีเซล
	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันเตา ASTM D 4294	ไบโอดีเซล ASTM D 2622	น้ำมันดีเซล	
ปริมาณกำมะถัน (Sulphur content) %wt.	0.38 %wt. ASTM D 4294	0.5 %wt. (ชนิดที่5) และ 2.0 %wt. (ชนิดที่1-4)	0.001 %wt.	0.001 %wt.	Euro 5
				0.005 %wt.	Euro 4
				0.035 %wt.	Euro 3
				0.050 %wt.	Euro 2
				0.200 %wt.	Euro 1

หมายเหตุ : ซึ่งเป็นมาตรฐานน้ำมันที่กำหนดค่ากำมะถันของน้ำมันเบนซิน และแก๊สโซฮอล์ น้ำมันดีเซล เป็น 0.005% โดยน้ำหนัก ซึ่งจะทำให้การปล่อยมลพิษน้อยลง สำหรับในปี 2555 จะมีการบังคับใช้น้ำมันมาตรฐานยูโร 4 ในประเทศไทย

วิจารณ์ผลค่าปริมาณกำมะถัน

จากการทดลองหาค่าปริมาณกำมะถันจากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว ตามมาตรฐาน ASTM D 4294 ได้ค่าปริมาณกำมะถัน เท่ากับ 0.38 %wt. เมื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าปริมาณกำมะถันของน้ำมันเตา ไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ดังตารางที่

15 ซึ่งอธิบาย ได้ว่า ค่าปริมาณกำมะถันของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันดีเซลตั้งแต่ Euro 1 จนถึง Euro 5 และน้ำมันเตาตั้งแต่ชนิดที่ 1 จนถึง ชนิดที่ 4 แต่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันเตาชนิดที่ 5 ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.5 %wt. ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้กำหนด ดังตารางที่ 4.7 ไว้นั้นสามารถบ่งบอกได้ว่าน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีการกัดกร่อนของกำมะถันในน้ำมันมากกว่าน้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันดีเซลตั้งแต่ Euro 1 จนถึง Euro 5 และน้ำมันเตาตั้งแต่ ชนิดที่ 1 จนถึง ชนิดที่ 4 ส่งผลทำให้เกิดจากการกัดกร่อนภายหลังการเผาไหม้ ของสารประกอบของกำมะถัน เมื่อถูกเผาไหม้ก็จะเกิดก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ ซึ่งเมื่อรวมกับน้ำมันจะกลายเป็นสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด และจะทำการกัดกร่อนชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ได้ แต่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันเตาชนิดที่ 5

4.2.7 จุดวาบไฟ (Flash point)

เป็นอุณหภูมิที่ไอระเหยน้ำมันดีเซลเกิดจุดติดไฟขึ้นเมื่อมีไฟเข้ามาจุด คุณสมบัติข้อนี้จะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการเก็บสำรองน้ำมัน น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ถือเป็นน้ำมันไม่น่ากลัวอันตรายสามารถเก็บในถังบนดินได้โดยปลอดภัย

ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบจุดวาบไฟของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวกับน้ำมันเตาน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 93 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด

คุณสมบัติ	อัตราสูงต่ำ	ค่าจุดวาบไฟของน้ำมันแต่ละชนิด			
		น้ำมันมะพร้าว ASTM D 93	น้ำมันเตา ASTM D 93	ไบโอดีเซล ASTM D 93	น้ำมันดีเซล ASTM D 93
จุดวาบไฟ (Flash point)	ไม่ต่ำกว่า	157.3 °C	ชนิดที่ 1 – 5 60 °C	120 °C	52 °C

วิจารณ์ผลค่าจุดวาบไฟ

จากการทดลองหาค่าจุดวาบไฟจากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว ตามมาตรฐาน ASTM D 93 ได้ค่าจุดวาบไฟ เท่ากับ 157.3 °C เมื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าจุดวาบไฟของน้ำมันเตา ไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งอธิบายได้ว่า ค่าจุดวาบไฟของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตาทุกชนิด ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้กำหนดไว้นั้นสามารถบ่ง

บอกได้ว่าน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีอุณหภูมิที่ไอระเหยของน้ำมันเกิดจุดติดไฟขึ้นเมื่อมีไฟเข้ามาจุดสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตาทุกชนิด ทำให้น้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีความปลอดภัยในการเก็บสำรองน้ำมัน ถือเป็นน้ำมันไม่อันตรายสามารถเก็บในถังบนดินได้โดยปลอดภัย

4.2.8 การติดไฟ (Fire point)

คุณสมบัติในการติดไฟของน้ำมันดีเซล จะแสดงถึงความสามารถในการติดเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำ การป้องกันการน๊อคในเครื่องยนต์ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบ การเผาไหม้อย่างรวดเร็วจะมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง คุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้อาจแสดงออกมาเป็นดัชนีซีเทน หรือค่าซีเทนนัมเบอร์ (Cetane Number)

ตารางที่ 4.9 ตารางเปรียบเทียบการติดไฟของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวกับน้ำมันเตาน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 93 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด

คุณสมบัติ	อัตราสูงต่ำ	ค่าการติดไฟของน้ำมันแต่ละชนิด			
		น้ำมันมะพร้าว ASTM D 93	น้ำมันเตา ASTM D 93	ไบโอดีเซล ASTM D 93	น้ำมันดีเซล ASTM D 93
การติดไฟ (Fire point)	ไม่ต่ำกว่า	164.6 °C	ชนิดที่ 1 – 5 470 °C	200 °C	220 °C

วิจารณ์ผลค่าการติดไฟ

จากการทดลองหาค่าการติดไฟจากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว ตามมาตรฐาน ASTM D 93 ได้ค่าการติดไฟ เท่ากับ 164.6 °C เมื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าการติดไฟของน้ำมันเตา ไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งอธิบายได้ว่า ค่าการติดไฟของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตาทุกชนิด ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้กำหนดไว้นั้น สามารถบ่งบอกได้ว่า การติดไฟของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีความสามารถในการติดเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำน้อยกว่าน้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตาทุกชนิด ส่งผลให้การป้องกันการน็อคในเครื่องยนต์ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบมีประสิทธิภาพสูง

4.2.9 ปริมาณเถ้า Ash (% wt)

สารประกอบของโลหะ Na, V, Ca, Mg, Ni, Fe, Si ซึ่งมีอยู่ในน้ำมันดิบตามธรรมชาติ จากการที่น้ำทะเลที่ปนกับน้ำมันดิบในระหว่างขนส่ง จากสนิมในถัง และจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบเอง ทำให้ปริมาณเถ้าในน้ำมันเตาเพิ่มขึ้นได้ โดยทั่วไปน้ำมันเตาจะมีเถ้าที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ไม่เกิน 0.1% แต่ก็ก่อปัญหาให้หม้อน้ำได้ เถ้าประเภทโซเดี่ยมและวานาเดียม เป็นตัวอันตรายที่สุด มันจะทำปฏิกิริยากันเป็นโซเดียมวานาเดท เป็นสารประกอบที่มีจุดหลอมละลายต่ำประมาณ 620 -650 °C มันจะเกาะสะสมบนท่อซุปเปอร์ฮีท เรียกว่า Slagging มันจะกัดกร่อนท่อได้ เรียกว่า การกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูง (High Temperature Corrosion) เถ้าในน้ำมันเตา อาจมีผลต่อการทำลายอิฐทนไฟภายในเตา หม้อน้ำ, เตาเผา หรือ Kiln ได้

ตารางที่ 4.10 ตารางเปรียบเทียบปริมาณเถ้า Ash (% wt) ของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตา น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 482 และ ASTM D 874 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด

คุณสมบัติ	อัตราสูงต่ำ	ค่าปริมาณเถ้าของน้ำมันแต่ละชนิด			
		น้ำมันมะพร้าว ASTM D 482	น้ำมันเตา ASTM D 482	ไบโอดีเซล ASTM D 874	น้ำมันดีเซล ASTM D 482
ปริมาณเถ้า Ash (% wt)	ไม่สูงกว่า	0.53% wt	ชนิดที่ 1 – 5 0.1% wt	0.02% wt	0.31% wt

วิจารณ์ผลค่าการติดไฟ

จากการทดลองหาค่าปริมาณเถ้า จากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว ตามมาตรฐาน ASTM D 482 ได้ค่าปริมาณเถ้า เท่ากับ 0.53% wt เมื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าปริมาณเถ้า ของน้ำมันเตา ไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ดังตารางที่ 4.10 ซึ่งอธิบายได้ว่า ค่าปริมาณเถ้า ของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตาทุกชนิด ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้กำหนดไว้นั้น สามารถบ่งบอกได้ว่า ปริมาณเถ้าของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว เมื่อมีการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูง (High Temperature Corrosion) เถ้าในน้ำมันเตา อาจมีผลต่อการทำลายอิฐทนไฟภายในเตา หม้อน้ำ, เตาเผา หรือ Kiln ได้

4.2.10 การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)

ค่าบ่งชี้ของตัวอย่างเชื้อเพลิงที่เป็นสาเหตุของการกัดกร่อนชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่เป็นทองแดง สังกะสี และทองเหลือง และถังเก็บ ถูกกำหนดในการทดสอบมาตรฐาน ASTM D 130 หรือตาม EN ISO 2160 ในการทดสอบนี้ แผ่นทองแดงที่ขัดผิวแล้วจะถูกทำให้ร้อนที่ 50°C ภายในอ่างน้ำมันเชื้อเพลิงโดยแช่ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างแผ่นทองแดงและเปรียบเทียบสีกับแผ่นทองแดงมาตรฐาน ซึ่งเป็นตัวแทนระดับขั้นการกัดกร่อนที่แตกต่างกัน ทั้งสองมาตรฐานต้องการการกัดกร่อนที่ไม่เกินหมายเลข 1 (Class 1) ในตัวอย่างไบโอดีเซล การกัดกร่อนอาจถูกชักนำจากสารประกอบกำมะถันบางชนิดและจากกรดบางอย่าง ดังนั้น พารามิเตอร์นี้จึงเกี่ยวข้องกับค่ากรดด้วย

ตารางที่ 4.11 ตารางเปรียบเทียบการกัดกร่อนทองแดง (Copper Strip Corrosion) ของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว กับน้ำมันเตาน้ำ มันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 130 ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนด

คุณสมบัติ	อัตราสูงต่ำ	ค่าการกัดกร่อนทองแดงของน้ำมันแต่ละชนิด			
		น้ำมันมะพร้าว ASTM D 130	น้ำมันเตา ASTM D 130	ไบโอดีเซล ASTM D 130	น้ำมันดีเซล ASTM D 130
การกัดกร่อนทองแดง	ไม่สูงกว่า	ไม่สูงกว่าหมายเลข1	ไม่สูงกว่าหมายเลข1	ไม่สูงกว่าหมายเลข1	ไม่สูงกว่าหมายเลข1

วิจารณ์ผลค่าการติดไฟ

จากการทดลองหาค่าการกัดกร่อนทองแดงจากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว ตามมาตรฐาน ASTM D 130 ได้ค่าการการกัดกร่อนทองแดง ไม่สูงกว่าหมายเลข1 เมื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าการกัดกร่อนทองแดงของน้ำมันเตา ไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซล ดังตารางที่ 4.11 ซึ่งอธิบายได้ว่า ค่าการกัดกร่อนทองแดงของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตาทุกชนิด ที่สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้กำหนดไว้

4.3 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อการทำทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

การศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อการทำทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งกรดและเบส เช่น กรดซัลฟิวริก โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์และโปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นต้น รวมถึงวิเคราะห์สมบัติจากผลิตภัณฑ์ที่ได้

4.3.1 ผลการทดลองกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทนอลเป็นตัวทำละลายใช้โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.12 ตารางเก็บผลการทดลองในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทนอลเป็นตัวทำละลายใช้โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Biodiesel						
Waste oil (g)	Temperature (C°)	Time (minute)	Catalyst (g)	Solvent	Results (g)	
			Sodiam hydroxide	Methanol %	Glycerol	Methyl Ester
100	60 ± 5	60	1.0	25		
100	60 ± 5	60	1.5	25		
100	60 ± 5	60	2.0	25		
100	60 ± 5	60	2.5	25		
100	60 ± 5	60	1.0	35		
100	60 ± 5	60	1.5	35		
100	60 ± 5	60	2.0	35		
100	60 ± 5	60	2.5	35		
100	60 ± 5	60	3.0	35		
100	60 ± 5	60	3.5	35		
100	60 ± 5	60	1.0	50		
100	60 ± 5	60	1.5	50		
100	60 ± 5	60	2.0	50		
100	60 ± 5	60	2.5	50		
100	60 ± 5	60	3.0	50		
100	60 ± 5	60	3.5	50		
100	60 ± 5	60	4.0	50		
100	60 ± 5	60	4.5	50		
100	60 ± 5	60	5.0	50	0	100

หมายเหตุ : = Fail ไม่สามารถแยกกลีเซอรอลและเมทิลเอสเทอทร์ออกจากน้ำมันได้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

วิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวมีคุณสมบัติต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซล มีสิ่งแปลกปลอมหลายตัวและกรดไขมันอิสระในน้ำมันเหลือใช้จำนวนมาก จึงทำให้การใช้โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างเดียวในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ไม่สามารถแยกกลีเซอรอลและเมทิลเอสเทอร์ในน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวออกจากกันได้ และการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาในตัวทำละลายให้มากขึ้นเกินสัดส่วนมาตรฐาน จะทำให้น้ำมันเปลี่ยนเป็นเป็นสบู่แข็งทันที วิธีนี้จึงไม่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล จากน้ำมันเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว

ภาพที่ 4.2 ผลการทดลองในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายใช้โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.3.2 ผลการทดลองกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทนอลเป็นตัวทำละลายใช้โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลอง

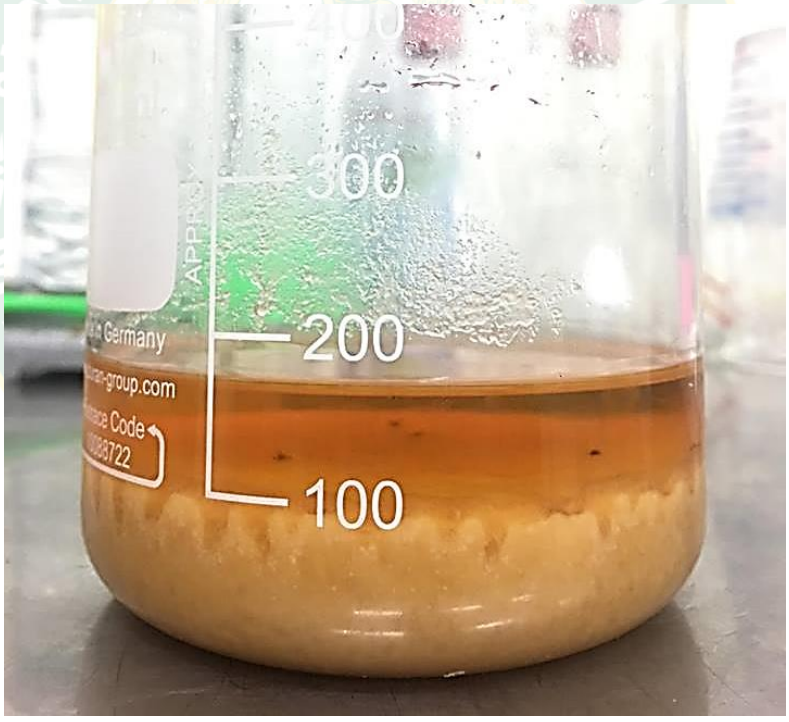
ตารางที่ 4.13 ตารางเก็บผลการทดลองในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายใช้โปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Biodiesel						
Waste oil (g)	Temperature (C°)	Time (minute)	Catalyst (g)	Solvent	Results (g)	
			potassium hydroxide	Methanol %	Glycerol	Methyl Ester
100	60 ± 5	60	1.0	25		
100	60 ± 5	60	1.5	25		
100	60 ± 5	60	2.0	25		
100	60 ± 5	60	2.5	25		
100	60 ± 5	60	1.0	35		
100	60 ± 5	60	1.5	35		
100	60 ± 5	60	2.0	35		
100	60 ± 5	60	2.5	35		
100	60 ± 5	60	3.0	35		
100	60 ± 5	60	3.5	35		
100	60 ± 5	60	1.0	50		
100	60 ± 5	60	1.5	50		
100	60 ± 5	60	2.0	50		
100	60 ± 5	60	2.5	50		
100	60 ± 5	60	3.0	50		
100	60 ± 5	60	3.5	50		
100	60 ± 5	60	4.0	50		
100	60 ± 5	60	4.5	50		
100	60 ± 5	60	5.0	50	25	75

หมายเหตุ : = Fail ไม่สามารถแยกกลีเซอรอลและเมทิลเอสเทอทร์ออกจากน้ำมันได้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

วิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวมีคุณสมบัติต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซล มีสิ่งแปลกปลอมหลายตัวและกรดไขมันอิสระในน้ำมันเหลือใช้จำนวนมาก จึงทำให้การใช้โปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างเดียวในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน สามารถแยกกลีเซอรอลและเมทิลเอสเทอร์ในน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวออกจากกันได้ โดยใช้เมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย ใช้โปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์ 5 กรัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เมทิลเอสเทอร์ 25 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันทั้งหมด แต่ยังมีกรดไขมันอิสระตกค้างอยู่ในเมทิลเอสเทอร์ และการเพิ่มตัวเร่งปฏิกิริยาให้มากขึ้นเกินสัดส่วน จะทำให้น้ำมันเปลี่ยนเป็นเป็นสบู่แข็งทันที วิธีนี้จึงไม่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล จากน้ำมันเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว



ภาพที่ 4.3 เมทิลเอสเทอร์ 25 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันทั้งหมดจาก 100 เปอร์เซนต์ โดยใช้เมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย ใช้โปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์ 5 กรัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.3.3 กระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ผลการทดลอง

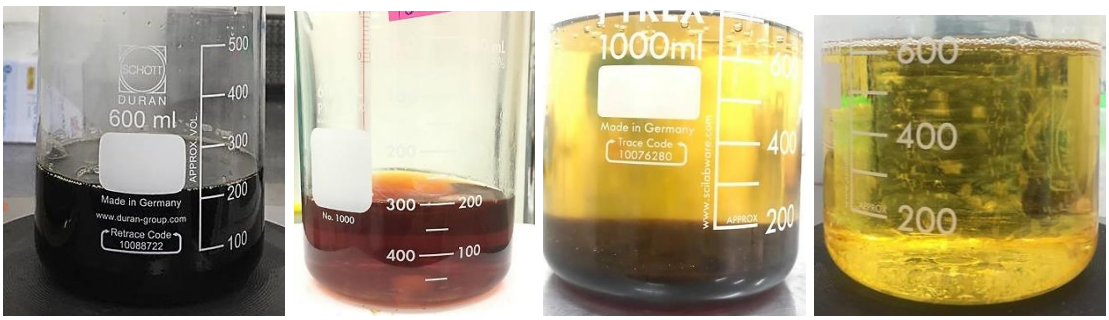
ตารางที่ 4.14 อัตราส่วนกระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

Biodiesel						
Waste oil (g)	Temperature (C°)	Time (minute)	Catalyst (g)	Solvent	Results (g)	
			potassium hydroxide	Methanol %	Glycerol	Methyl Ester
100	60 ± 5	60	5.0	50	25	75
Methyl Ester (g)	Temperature (C°)	Time (minute)	Catalyst (%)	Solvent	Results (%)	
			Sodiam hydroxide	Methanol %	Glycerol	Methyl Ester
100	60 ± 5	60	1.5	25	35	65

ภาพที่ 4.4 การผลิตน้ำมันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

วิจารณ์ผลการทดลอง

กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอนทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด สามารถแยกเมทิลเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอลได้สูงสุด 49 เปอร์เซ็นต์ จากน้ำมันดำในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาขั้นตอนแรก ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันขั้นตอนที่สอง ใช้เมทานอล 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้เมทิลเอสเทอร์ 49 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ย



ภาพที่ 4.5 การผลิตน้ำมันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ตารางที่ 4.15 คุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว

รายการ	ข้อกำหนด	ผลทดสอบ	วิธีทดสอบ[1/]
1	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (Density at 15 °C, kg/m^3)	885	ASTM D 1298
2	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ เซนติสโตกส์ (Viscosity at 40 °C, cSt)	2.5	ASTM D 445
3	จุดวาบไฟ องศาเซลเซียส (Flash Point, °C)	128	ASTM D 93
4	กำมะถัน ร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphur, % wt.)	0.0012	ASTM D 2622
6	เถ้าซัลเฟต ร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphated Ash, %wt.)	0.013	ASTM D 874
7	น้ำและตะกอน ร้อยละโดยน้ำหนัก (Water and Sediment, % vol.)	0.14	ASTM D 2079
8	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	หมายเลข 3	ASTM D 130
9	ค่าความเป็นกรด มิลลิกรัมโปแตสเซียมไฮดรอกซ์/กรัม (Acid Number, mgKOH/g)	0.70	ASTM D 664
10	กลีเซอรีนอิสระ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Free glycerin, %wt.)	ไม่สูงกว่า0.01	ASTM D 6584

4.3.4 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการทดลองเบื้องต้น ได้ผลค่อนข้างดี ได้เมทิลเอสเทอร์ค่อนข้างสูง โดยปริมาตรอยู่ระหว่างการทดสอบเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ของตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวทำละลาย ในกระบวนการ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ภาพที่ 4.6 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายใช้กรดซัลฟูริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.4 ศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงและผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้

ศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง B100 (อัตราส่วนไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร), D100 (อัตราส่วนน้ำมันดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ แล้วผสมกับน้ำมันดีเซล 3 ค่า เช่น 25 (B25), 50 (B50) และ 75 (B75) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้แล้วผสมกับเอทานอลปริมาณ 2 ค่า เช่น 5 (BE5) และ 20 (BE20) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นต้น หลังการปรับปรุงสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิงและสมบัติทางกายภาพทุกชนิดที่ได้จากการทดลอง แล้วนำไปทดสอบสมรรถนะกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว (รอบต่ำ) ยี่ห้อ คูโบต้า ขนาด 9.5 แรงม้า ที่ผ่านการใช้งานจนมีสภาพคงที่ (มากกว่า 10 ชั่วโมงทำงาน) เชื่อมต่อสายพาน (efficiency loss ≈ 30%) กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า รุ่น Elecking Generator พร้อมติดตั้ง Torque meter เกจวัดกำลังไฟฟ้า เครื่องวัดรอบ ชุดเครื่องมือวัดไอเสีย และเกจกระแสไฟฟ้า โดยมีภาระโหลดเป็นฮีตเตอร์ 2 ชุด แต่ละชุดใช้กระแสไฟฟ้า 220 โวลต์ 20 แอมป์

ภาพที่ 4.7 ทดสอบสมรรถนะกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว (รอบต่ำ) ยี่ห้อ คูโบต้า ขนาด 9.5 แรงม้า

4.4.1 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล BE5

ตารางที่ 4.16 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล BE5 (ไบโอดีเซลต่อเอทานอล 95 : 5)

Temp (°c)	Engine speed (RPM)	Torque (N-m)	Horsepower BHP. (Kw)	Fuel consumption (ลิตร / ชั่วโมง)	Exhaust gas PPM.	
					HC (PPM)	CO %
30±1	800±5	7.87	0.5	0.71	145	1.51
30±1	1200±5	17.47	1.62	0.93	125	2.26
30±1	1600±5	27.09	3.43	1.28	73	1.61
30±1	2000±5	34.92	5.70	1.73	68	1.21
30±1	2400±5	37.97	6.52	1.92	46	1.02

4.4.2 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล BE20

ตารางที่ 4.17 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล BBE20 (ไบโอดีเซลต่อเอทานอล 80 : 20)

Temp (°c)	Engine speed (RPM)	Torque (N-m)	Horsepower BHP. (Kw)	Fuel consumption (ลิตร / ชั่วโมง)	Exhaust gas PPM.	
					HC (PPM)	CO %
30±1	800±5	7.8	0.51	0.72	146	1.53
30±1	1200±5	17.49	1.62	0.95	127	2.27
30±1	1600±5	27.10	3.43	1.31	74	1.63
30±1	2000±5	34.93	5.71	1.76	69	1.25
30±1	2400±5	37.99	6.53	1.95	48	1.08

4.4.3 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B25

ตารางที่ 4.18 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B25 (ไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซล 25 : 75)

Temp (°c)	Engine speed (RPM)	Torque (N-m)	Horsepower BHP. (Kw)	Fuel consumption (ลิตร / ชั่วโมง)	Exhaust gas PPM.	
					HC (PPM)	CO %
30±1	800±5	7.66	0.45	0.7	152	1.58
30±1	1200±5	17.24	1.6	0.92	138	2.32
30±1	1600±5	26.85	3.41	1.28	81	1.68
30±1	2000±5	35.02	5.89	1.72	69	1.48
30±1	2400±5	39.17	6.65	1.92	47	1.11

4.4.4 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B50

ตารางที่ 4.19 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B50 (ไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซล 50 : 50)

Temp (°c)	Engine speed (RPM)	Torque (N-m)	Horsepower BHP. (Kw)	Fuel consumption (ลิตร / ชั่วโมง)	Exhaust gas PPM.	
					HC (PPM)	CO %
30±1	800±5	7.72	0.46	0.71	148	1.68
30±1	1200±5	17.31	1.61	0.92	128	2.42
30±1	1600±5	26.92	3.41	1.28	79	1.78
30±1	2000±5	34.95	5.81	1.72	68	1.58
30±1	2400±5	39.12	6.58	1.91	47	1.21

4.4.5 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B75

ตารางที่ 4.20 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B75 (ไบโอดีเซลต่อน้ำมันดีเซล 75 : 25)

Temp (°c)	Engine speed (RPM)	Torque (N-m)	Horsepower BHP. (Kw)	Fuel consumption (ลิตร / ชั่วโมง)	Exhaust gas PPM.	
					HC (PPM)	CO %
30±1	800±5	7.79	0.49	0.72	145	1.78
30±1	1200±5	17.38	1.61	0.93	126	2.52
30±1	1600±5	26.99	3.42	1.29	74	1.88
30±1	2000±5	34.99	5.77	1.74	67	1.68
30±1	2400±5	38.05	6.56	1.93	45	1.31

4.4.6 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B100

ตารางที่ 4.21 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล B100 (ไบโอดีเซล 100 อัตราส่วน)

Temp (°c)	Engine speed (RPM)	Torque (N-m)	Horsepower BHP. (Kw)	Fuel consumption (ลิตร / ชั่วโมง)	Exhaust gas PPM.	
					HC (PPM)	CO %
30±1	800±5	7.85	0.5	0.7	143	1.5
30±1	1200±5	17.44	1.61	0.92	124	2.25
30±1	1600±5	27.05	3.42	1.28	71	1.6
30±1	2000±5	34.86	5.68	1.72	67	1.2
30±1	2400±5	37.93	6.5	1.92	45	1

4.4.7 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล D100

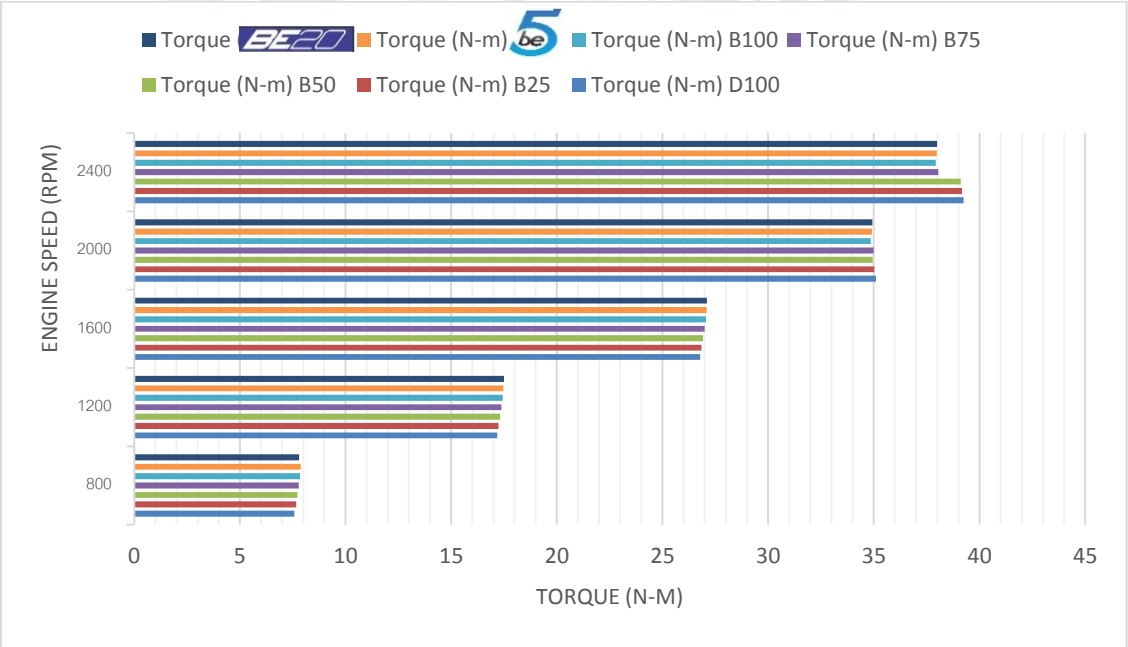
ตารางที่ 4.22 ผลทดสอบสมรรถนะน้ำมันดีเซล D100 (น้ำมันดีเซล 100 อัตราส่วน)

Temp (°c)	Engine speed (RPM)	Torque (N-m)	Horsepower BHP. (Kw)	Fuel consumption (ลิตร / ชั่วโมง)	Exhaust gas PPM.	
					HC (PPM)	CO %
30±1	800±5	7.58	0.41	0.73	157	1.88
30±1	1200±5	17.17	1.6	0.94	140	2.62
30±1	1600±5	26.78	3.38	1.3	85	1.98
30±1	2000±5	35.1	5.91	1.75	69	1.78
30±1	2400±5	39.25	6.7	1.94	52	1.41

4.4.8 วิจารณ์ผลการทดสอบผลทดสอบสมรรถนะแรงบิด (Torque (N-m))

ตารางที่ 4.23 วิจารณ์ผลการทดสอบผลทดสอบสมรรถนะแรงบิด (Torque (N-m))

Engine speed (RPM)	Torque (N-m) D100	Torque (N-m) B25	Torque (N-m) B50	Torque (N-m) B75	Torque (N-m) B100	Torque (N-m) BE5	Torque (N-m) BE20
800±5	7.58	7.66	7.72	7.79	7.85	7.87	7.88
1200±5	17.17	17.24	17.31	17.38	17.44	17.47	17.49
1600±5	26.78	26.85	26.92	26.99	27.05	27.09	27.10
2000±5	35.1	35.02	34.95	34.99	34.86	34.92	34.93
2400±5	39.25	39.17	39.12	38.05	37.93	37.97	38.00



กราฟที่ 4.1 ผลการทดลอบผลทดสอบสมรรถนะแรงบิด (Torque (N-m))

วิจารณ์ผลการทดสอบสมรรถนะแรงบิด

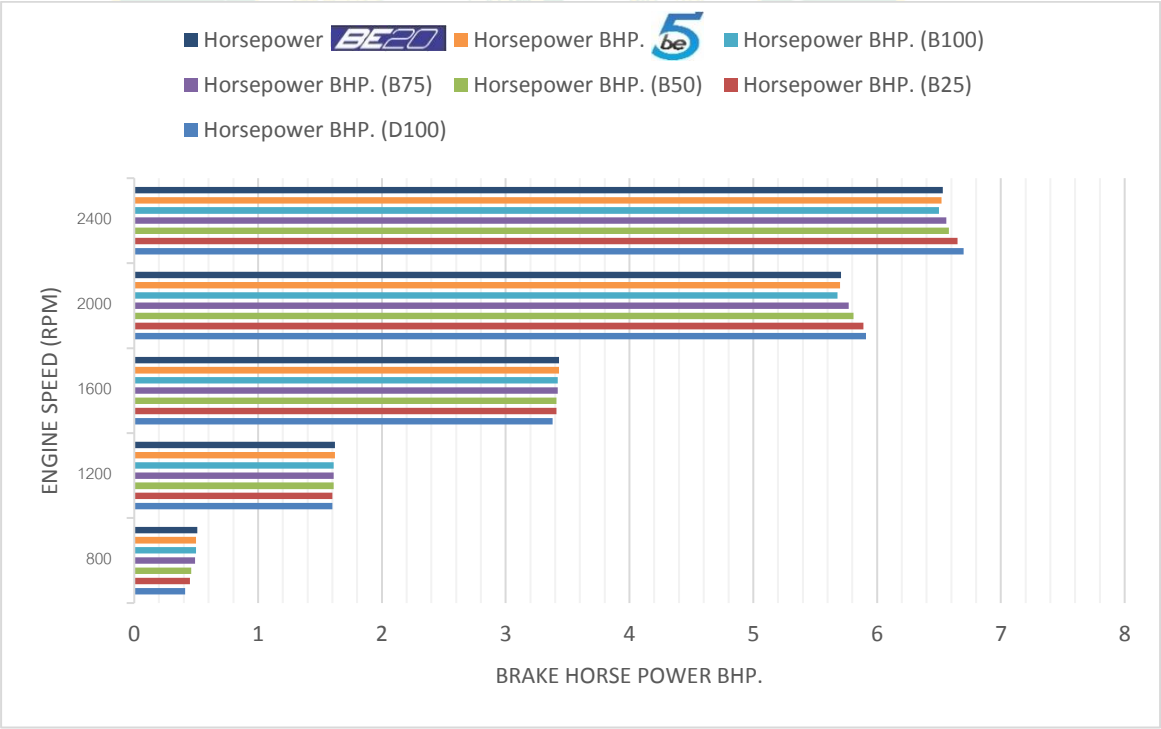
ผลการทดสอบสมรรถนะแรงบิดไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ (B100) น้ำมันดีเซล (D100) และไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซล 3 ค่า 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร และน้ำมันเหลือใช้แล้วผสมกับเอทานอลปริมาณ 2 ค่า เช่น 5 (BE5) และ 20 (BE20) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่า ที่ความเร็วรอบ 800, 1,200 และ 1,600 RPM น้ำมันไบโอดีเซล BE20 (ไบโอดีเซลต่อเอทานอล 80 : 20) มีแรงบิดสูงสุดที่ 7.88, 17.49 และ 27.10 N-m ตามลำดับ ที่

ความเร็วรอบ 2,000 และ 2400 น้ำมันดีเซล D100 มีแรงบิดสูงสุดที่ 34.86 และ 37.93 N-m ตามลำดับ

4.4.9 วิจารณ์ผลการทดสอบผลทดสอบสมรรถนะแรงม้าเบรก (Brake Horse Power BHP.)

ตารางที่ 4.24 วิจารณ์ผลการทดสอบผลทดสอบสมรรถนะแรงม้าเบรก (Brake Horse Power BHP.)

Engine speed (RPM)	Horsepower BHP. (D100)	Horsepower BHP. (B25)	Horsepower BHP. (B50)	Horsepower BHP. (B75)	Horsepower BHP. (B100)	Horsepower BHP. (BE5)	Horsepower BHP. (BE20)
800±5	0.41	0.45	0.46	0.49	0.5	0.5	0.51
1200±5	1.6	1.6	1.61	1.61	1.61	1.62	1.62
1600±5	3.38	3.41	3.41	3.42	3.42	3.43	3.43
2000±5	5.91	5.89	5.81	5.77	5.68	5.7	5.71
2400±5	6.7	6.65	6.58	6.56	6.5	6.52	6.53



กราฟที่ 4.2 ผลการทดสอบผลทดสอบสมรรถนะแรงม้าเบรก (Brake Horse Power BHp.)

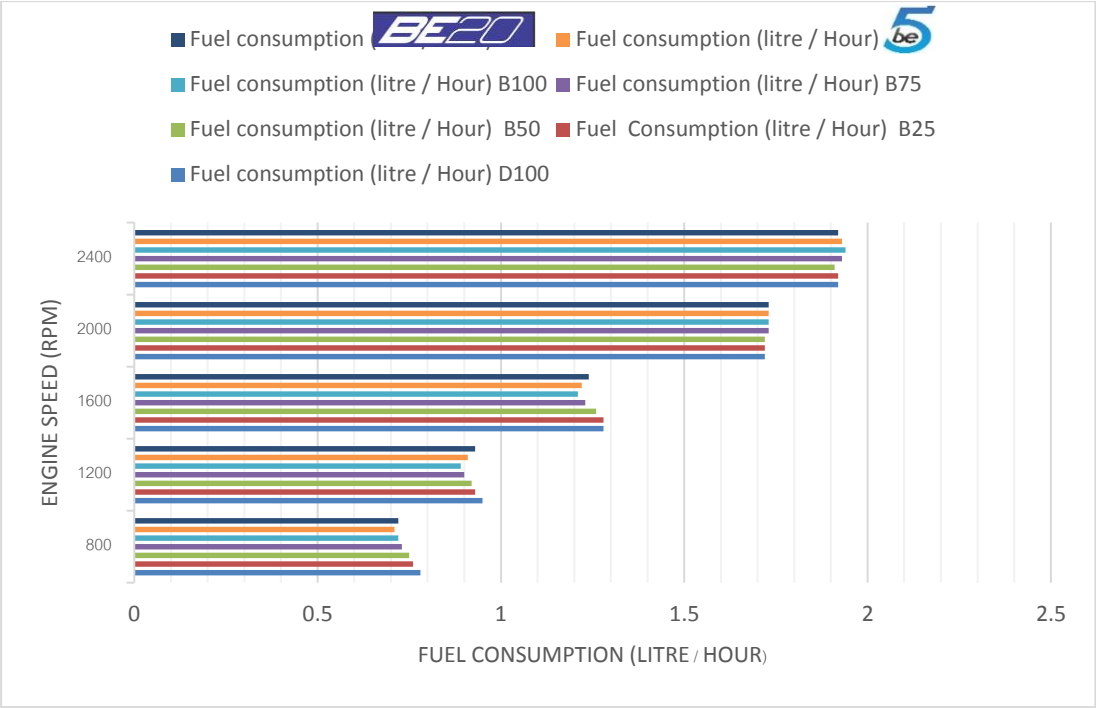
วิจารณ์ผลการทดสอบสมรรถนะแรงม้าเบรก

ผลการทดสอบสมรรถนะแรงม้าเบรกไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ (B100) น้ำมันดีเซล (D100) และไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซล 3 ค่า 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร และน้ำมันเหลือใช้แล้วผสมกับเอทานอลปริมาณ 2 ค่า เช่น 5 (BE5) และ 20 (BE20) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรพบว่า ที่ความเร็วรอบ 800, 1,200 และ 1,600 RPM น้ำมันไบโอดีเซล BE20 (ไบโอดีเซลต่อเอทานอล 80 : 20) มีแรงม้าเบรกสูงสุดที่ 0.51, 1.62 และ 3.43 BHp ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 2,000 และ 2400 น้ำมันดีเซล D100 มีแรงม้าเบรกสูงสุดที่ 5.86 และ 6.50 BHp. ตามลำดับ

4.4.10 วิจารณ์ผลการทดสอบอัตราการใช้เชื้อเพลิง (Fuel consumption)

ตารางที่ 4.25 วิจารณ์ผลการทดสอบอัตราการใช้เชื้อเพลิง (Fuel consumption)

Engine speed (RPM)	Fuel consumption (litre / Hour) D100	Fuel Consumption (litre / Hour) B25	Fuel consumption (litre / Hour) B50	Fuel consumption (litre / Hour) B75	Fuel consumption (litre / Hour) B100	Fuel consumption (litre / Hour) BE5	Fuel consumption (litre / Hour) BE20
800±5	0.78	0.76	0.75	0.73	0.72	0.71	0.72
1200±5	0.95	0.93	0.92	0.9	0.89	0.91	0.93
1600±5	1.28	1.28	1.26	1.23	1.21	1.22	1.24
2000±5	1.72	1.72	1.72	1.73	1.73	1.73	1.73
2400±5	1.92	1.92	1.91	1.93	1.94	1.93	1.92



กราฟที่ 4.3 วิจารณ์ผลการทดสอบอัตราการใช้เชื้อเพลิง (Fuel consumption (litre / Hour))

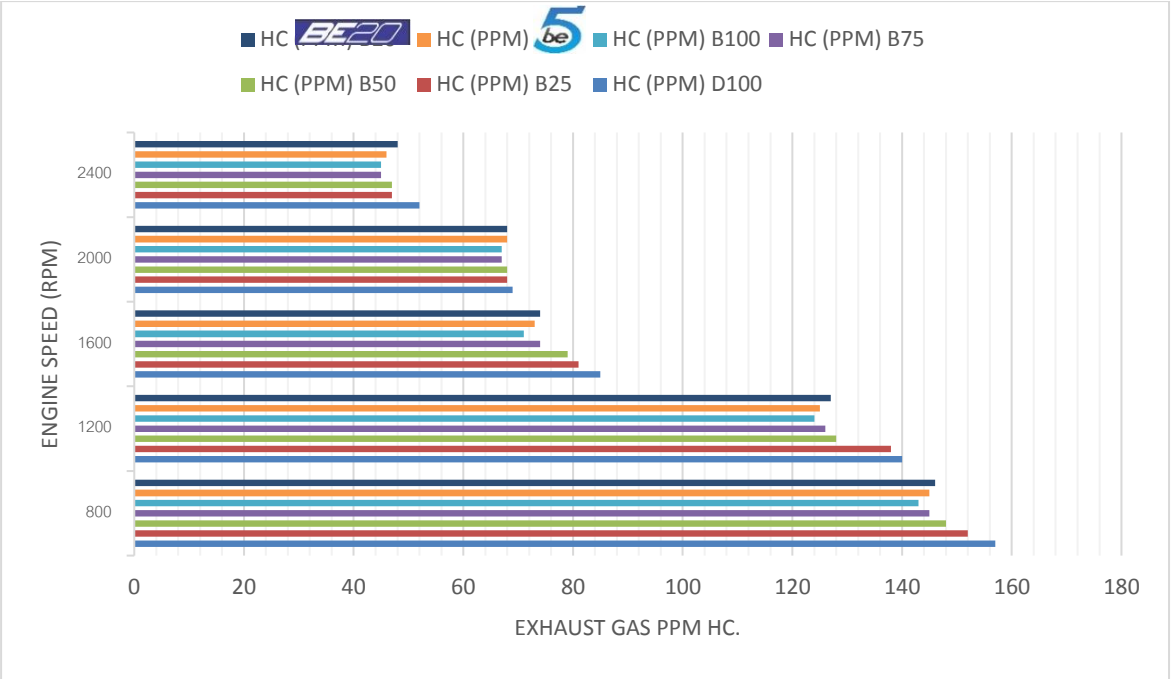
วิจารณ์ผลการทดสอบอัตราการใช้เชื้อเพลิง

ผลการทดสอบอัตราการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ (B100) น้ำมันดีเซล (D100) และไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซล 3 ค่า 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร และน้ำมันเหลือใช้แล้วผสมกับเอทานอลปริมาณ 2 ค่า เช่น 5 (BE5) และ 20 (BE20) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่า ที่ความเร็วรอบ 800, 1,200 และ 1,600 RPM น้ำมันดีเซล D100 มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงสุดที่ 0.78, 0.95 และ 1.28 litre / Hour ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 2,000 และ 2400 น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงสุดที่ 1.73 และ 1.94 litre / Hour

4.4.11 วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซไฮโดรคาร์บอน (Exhaust gas PPM HC.)

ตารางที่ 4.26 วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซไฮโดรคาร์บอน (Exhaust gas PPM HC.)

Engine speed (RPM)	HC (PPM) D100	HC (PPM) B25	HC (PPM) B50	HC (PPM) B75	HC (PPM) B100	HC (PPM) BE5	HC (PPM) BE20
800±5	157	152	148	145	143	145	146
1200±5	140	138	128	126	124	125	127
1600±5	85	81	79	74	71	73	74
2000±5	69	68	68	67	67	68	68
2400±5	52	47	47	45	45	46	48



กราฟที่ 4.4 วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซไฮโดรคาร์บอน (Exhaust gas PPM HC.)

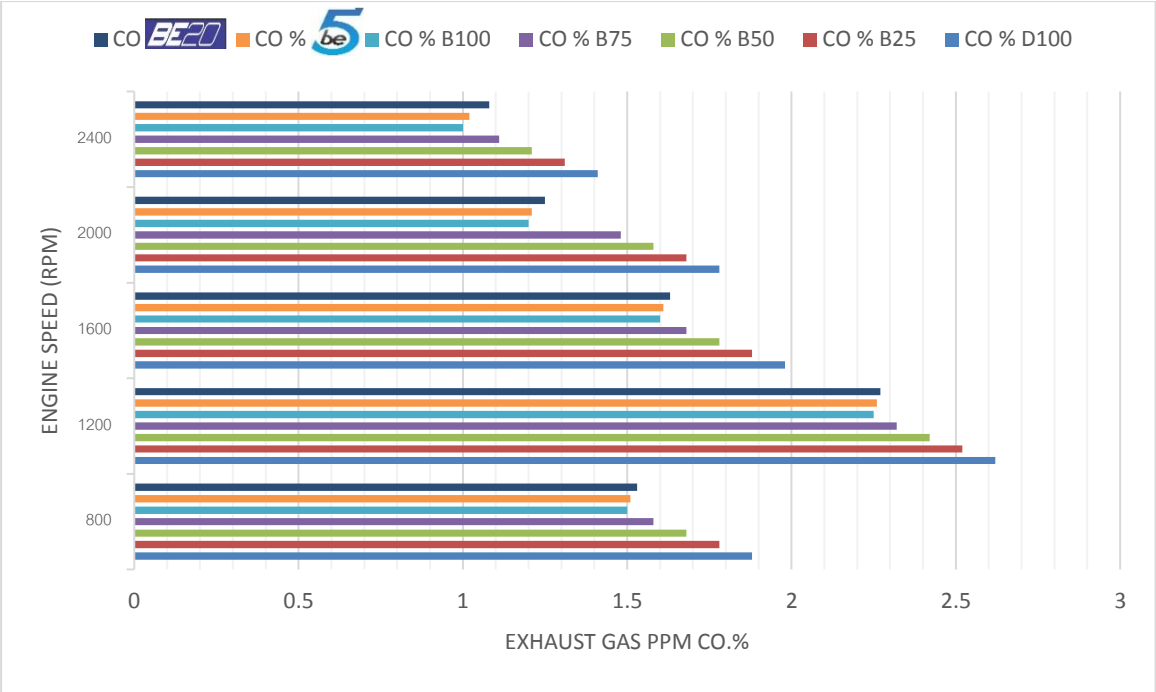
วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซไฮโดรคาร์บอน

ผลการทดสอบปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ (B100) น้ำมันดีเซล (D100) และไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซล 3 ค่า 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และน้ำมันเหลือใช้แล้วผสมกับเอทานอลปริมาณ 2 ค่า เช่น 5 (BE5) และ 20 (BE20) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรพบว่า ที่ความเร็วรอบ 800, 1,200, 1,600, 2,000 และ 2,400 RPM น้ำมันดีเซล D100 มีปริมาณก๊าซไฮโดรคาร์บอนสูงสุดที่ 157, 140, 85, 69 และ 52 PPM ตามลำดับ

4.4.12 วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Exhaust gas PPM CO.%)

ตารางที่ 4.27 วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Exhaust gas PPM CO %)

Engine speed (RPM)	CO % D100	CO % B25	CO % B50	CO % B75	CO % B100
800±5	1.88	1.78	1.68	1.58	1.5
1200±5	2.62	2.52	2.42	2.32	2.25
1600±5	1.98	1.88	1.78	1.68	1.6
2000±5	1.78	1.68	1.58	1.48	1.2
2400±5	1.41	1.31	1.21	1.11	1



กราฟที่ 4.5 วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Exhaust gas PPM CO.%)

วิจารณ์ผลการทดสอบก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ผลการทดสอบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ (B100) น้ำมันดีเซล (D100) และไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซล 3 ค่า 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และน้ำมันเหลือใช้แล้วผสมกับเอทานอลปริมาณ 2 ค่า เช่น 5 (BE5) และ 20 (BE20) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่า ที่ความเร็วรอบ 800, 1,200, 1,600, 2,000 และ 2,400 RPM น้ำมันดีเซล D100 มีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุดที่ 1.88, 2.62, 1.98, 1.78 และ 1.41 % ตามลำดับ

4.4.13 ศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว

น้ำมันดำในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาขั้นตอนแรก ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันขั้นตอนที่สอง ใช้เมทานอล 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเทากับ 60±5 °C จะได้เมทิลเอสเทอร์ 49 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ย %FAME 92.7% (±1.0) ทดสอบตามเกณฑมาตรฐาน EN14214 สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพเหลว

4.5 ผลและวิจารณ์การวิเคราะห์หาต้นทุนเบื้องต้นและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

เพื่อหาต้นทุนการผลิตเบื้องต้น (Primary Economic) ของการปรับปรุงสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง ในน้ำมันเหลือทิ้งสำหรับการใช้ทดแทนเครื่องยนต์ดีเซล รวมถึงจุดคุ้มทุน (Break Even Point)

4.5.1 ต้นทุนด้านวัสดุ (Material cost)

เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ, อุปกรณ์, เครื่องมือ ที่ใช้ในการผลิตทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนี้

1. วัสดุทางตรง (direct material cost) คือ วัสดุหรือวัตถุดิบที่ใช้เพื่อการผลิตโดยตรง โดยส่วนมากมักจะเป็นส่วนประกอบหนึ่งของผลิตภัณฑ์ เช่น นามันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว เป็นวัตถุดิบทางตรง, โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์ และโปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นวัตถุดิบทางตรง เป็นต้น จำนวนในการใช้งานวัสดุ/วัตถุดิบทางตรงนี้จะแปรผันกับหน่วยในการผลิตโดยตรง.

2. วัสดุทางอ้อม (Indirect material cost) เช่น วัสดุ, เครื่องมือ, อุปกรณ์ ที่ใช้สนับสนุนในการผลิตโดยส่วนมากจะไม่แปรผันกับปริมาณการผลิตโดยตรง ในบางครั้งวัสดุทางอ้อมก็อาจถูกจัดให้อยู่ในหมวดหมู่ของวัสดุทางตรงก็เป็นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายทางการบัญชีของแต่ละองค์กร เช่น กรองอากาศเครื่องวัดไอเสีย ซึ่งเป็นวัตถุดิบทางอ้อม สามารถถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของวัตถุดิบทางตรงก็ได้ อาจเนื่องจากเหตุผลด้านราคาที่สูงและสามารถคำนวณอายุการใช้งานต่อจำนวนชิ้นงานที่ทำการผลิตได้ (Tool life) ถึงแม้ว่ามีดกลึงจะไม่ได้ถูกประกอบไปกับชิ้นงานก็ตาม

4.5.2 ต้นทุนด้านแรงงาน (Labor cost)

เป็นค่าใช้จ่ายด้านแรงงานในการทำงานและผลิตสินสินค้าเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป สามารถแบ่งออกได้คล้ายๆ กับต้นทุนวัตถุ คือค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางตรง และค่าจ่ายด้านแรงงานทางอ้อม ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางตรง (Direct labor cost) เช่น ค่าจ้ารายวัน/เงินเดือนของพนักงานฝ่ายผลิต,ซึ่งจะแปรผันกับปริมาณการผลิตโดยตรง.

2. ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางอ้อม (Indirect labor cost) เช่น เงินเดือนของพนักงานขาย เงินเดือนของผู้จัดการ และเงินดือนของวิศวกร ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะไม่แปรผันกับปริมาณในการผลิตโดยตรง

4.5.3 ค่าใช้จ่ายโรงงานหรือค่าโสหุ้ยในการผลิต (Overhead cost)

เป็นค่าใช้จ่ายที่นอกเหนือจากจากค่าใช้จ่ายของวัสดุและค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน เช่น ค่าสาธารณูปโภค, ค่าเช่าโรงงาน, ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร, สวัสดิการต่าง ๆ เป็นต้น

ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล = ต้นทุนวัสดุ + ต้นทุนแรงงาน + ค่าโสหุ้ย

ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล / ลิตร

1. ต้นทุนด้านวัสดุ (material cost)

น้ำมันดำ	=	2	บาท
เมทานอล	=	2	บาท
โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์ หรือ			
โปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์	=	1	บาท
ค่าวัสดุอุปกรณ์อื่นๆ	=	3	บาท
2. ต้นทุนด้านแรงงาน (labor cost)	=	2	บาท
3. โสหุ้ยในการผลิต (overhead cost)	=	2	บาท

ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล = 8 + 2 + 2

= 12 บาท – ลิตร

จุดคุ้มทุน (B.E.P.: Break Even Point)

จุดคุ้มทุน คือ รายรับ = รายจ่าย

รายรับ คือ ปริมาณขาย* x ราคา**

หมายเหตุ : ขาย แทนด้วย Q

ราคา แทนด้วย P

รายจ่าย คือ รายจ่ายคงที่ + รายจ่ายแปรผันต่อชิ้นคูณจำนวนชิ้นสินค้าที่ผลิต

ดังนั้น ที่จะคุ้มทุนเมื่อ รายรับ = รายจ่าย

จะมีวิธีการคำนวณดังนี้ QP = รายจ่ายคงที่ + รายจ่ายผันแปร

กำลังน้ำมันไบโอดีเซล	1,000 ลิตร	–	วัน
ค่าโสหุ้ยในการผลิต	2,000 บาท	-	วัน

· รายจ่ายคงที่ คือ ค่าโสหุ้ยในการผลิต = 2,000 บาท - ลิตร

· รายจ่ายแปรผัน คือ ค่าวัสดุในการผลิต = 12 บาท - ลิตร

· จำนวนสินค้าที่ต้องการขาย (Q) = 1,000 ลิตร - วัน

จากสมการ ราคาขาย x จำนวนชิ้นสินค้า = รายจ่ายคงที่ + รายจ่ายผันแปรต่อชิ้น
สามารถแทนค่าลงไปเพื่อหาจำนวนชิ้นที่จะคุ้มทุนได้เลย แทนค่าจะได้ดังนี้

P (1,000) = 2,000 + 12 (1,000)

$$P = \frac{2{,}000 + 12\,(1{,}000)}{1{,}000}$$

P = 14 บาท จะคุ้มทุนเมื่อขายน้ำมันไบโอดีเซลลิตรละ 14 บาท จำนวน 1,000 ลิตร

4.5.4 ผลวิจารณ์การวิเคราะห์หาต้นทุนเบื้องต้นและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ธุรกิจนั้นต้องขายมากแค่ไหนจึงจะคุ้มทุน เปรียบเทียบกับความยากง่ายในการขายด้วย ถ้าต้องขายมาก หรือเป็นสินค้าที่ขายยากต้องใช้เวลานานกว่าจะขายได้สักชิ้น หรือมีรายจ่ายที่สูงมากทำให้ได้กำไรน้อยและต้องผลิตที่ละมาก ๆ จึงจะได้กำไรก็อาจไม่น่าลงทุน ควรตระหนักว่าจุดคืนทุนนี้เป็นเพียงจุดที่เท่าทุนหรือเสมอตัวเท่านั้น ดังนั้นเมื่อทราบจุดคุ้มทุนแล้ว ต้องขายสินค้าให้ได้มากกว่า หรือตั้งราคาให้สูงกว่าที่คำนวณได้เพื่อให้เกิดกำไร หรืออีกวิธีการหนึ่งคือลดรายจ่ายจากต้นทุนคงที่ซึ่งจะมีผลต่อรายได้ที่เพิ่มขึ้นโดยตรง หรือลดรายจ่ายแปรผันลงก็ได้เช่นกัน

บทที่ 5
สรุป

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

มีคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง มีดังนี้ ความหนืด (Viscosity) จุดขุ่นตัว (Cloud point) จุดไหลเท (Pour point) จุดวาบไฟ (Flash point) ความถ่วงจำเพาะ (Density) ปริมาณกำมะถัน(Sulphur content) การติดไฟ (Fire point) ค่าความร้อน (Heating value) ปริมาณเถ้า Ash (% wt) และการกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion) โดยทำการทดสอบวิเคราะห์หาคุณสมบัติตัวอย่างละ 3 ซ้ำ จากการทดสอบวิเคราะห์หาคุณสมบัติเบื้องต้นของของเหลวที่ได้จากน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว โดยผ่านกรรมวิธีทางเคมี สามารถสรุปผลทดสอบวิเคราะห์ ปัญหาที่พบในการทดสอบวิเคราะห์ และข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไป

จากการทดสอบวิเคราะห์หาคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง มีคุณสมบัติ ดังนี้ มีความถ่วงจำเพาะ (Density ที่ 60/60 °F) เท่ากับ 0.88* ความหนืด (Viscosity) เท่ากับ 84.0 เซนติสโตก จุดไหลเท (Pour point) เท่ากับ 21 °C จุดขุ่นตัว (Cloud point) เท่ากับ 25 °C ค่าความร้อนสูง (High heating value) เท่ากับ 7,416 cal/g ปริมาณกำมะกัน (Sulphur content) %wt. เท่ากับ 0.38 %wt. จุดวาบไฟ (Flash point) เท่ากับ 157.3 °C การติดไฟ (Fire point) เท่ากับ 164.6 °C ปริมาณเถ้า Ash (% wt) 0.53% wt และการกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion) ไม่สูงกว่า 1 ดังตารางที่ 4.1

5.1.2 ศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อการทำทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันเหลือใช้โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งกรดและเบส เช่น กรดซัลฟิวริก โซเดียมไฮดรอกซ์ไซด์และโปแทสเซียมไฮดรอกซ์ไซด์เป็นต้น รวมถึงวิเคราะห์สมบัติจากผลิตภัณฑ์ที่ได้

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาการใช้ประโยชน์น้ำมันดำในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวและนำน้ำมันดำดังกล่าวมาใช้เป็นเชื้อเพลิง พบว่ากระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบสองขั้นตอน ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด สามารถแยกเมทิลเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอลได้สูงสุด 49 เปอร์เซ็นต์ จากน้ำมันดำในอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์

เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาขั้นตอนแรก ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันขั้นตอนที่สอง ใช้เมทานอล 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวทำละลาย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้เมทิลเอสเทอร์ 49 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ย ดังภาพที่ 5.1 %FAME 92.7% (±1.0) ทดสอบตามเกณฑมาตรฐาน EN14214 สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพเหลว

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)

ภาพที่ 5.1 การพัฒนาการใช้ประโยชน์น้ำมันดำในจากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวและนำน้ำมันดำดังกล่าวมาเป็นเชื้อเพลิง

จากภาพที่ 30 (1) น้ำมันดำ (2) น้ำมันดำที่แยกตะกอนและน้ำออกแล้ว (3) ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันครั้งแรก (4) ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันครั้งที่สอง (5) กลีเซอรอลแยกชั้นกับเมทิลเอสเทอร์ (6) เมทิลเอสเทอร์หลังจากล้างด้วยน้ำอุ่น (7) เมทิลเอสเทอร์อุ่นให้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำออก

5.1.3 ศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง B100 **(อัตราส่วนไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร),** D100 **(อัตราส่วนน้ำมันดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ แล้วผสมกับน้ำมันดีเซล 3 ค่า เช่น 25 (**B25**), 50 (**B50**) และ 75 (**B75**) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้แล้วผสมกับเอทานอล ปริมาณ** 2 **ค่า เช่น 5** (BE5) **และ** 20 (BE20) **เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แล้วนำไปทดสอบสมรรถนะกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว** (รอบต่ำ) **คูโบต้า อีที ขนาด** 9.5 **แรงม้า**

(1) (2) (3) (4)

ภาพที่ 5.2 ระบบทดสอบสมรรถนะกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว (รอบต่ำ)

จากภาพที่ 5.2 ระบบประกอบด้วยเครื่องวัด แรงบิด กำลังม้าเบรก กำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความเร็วรอบเครื่องยนต์ อัตราการใช้เชื้อเพลิง และเครื่องวัดก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้เครื่อง

เครื่องยนต์ (1) เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ (2) ระบบทดสอบสมรรถนะกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว (3) เติมเชื้อเพลิงไบโอดีเซล B100 กับเครื่องยนต์โบต้า อีที ขนาด 9.5 แรงม้า (4) ตู้ควบคุมการทำงานระบบทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

พบว่า น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีสมรรถนะค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น ๆ เมื่อใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว (รอบต่ำ) ดังตารางที่ 29 เนื่องจากมีน้ำหนักต่อมวลมาก การใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดี ทำให้การจุดระเบิดภายในห้องเผาไหม้ มีค่าความร้อนสูง ประหยัดเชื้อเพลิง ได้แรงบิด และกำลังม้าเบรกค่อนข้างสูง จึงทำให้น้ำมันไบโอดีเซล B100 มีการเผาไหม้สมบูรณ์ ช่วยลดการปลอยมลพิษ รถที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 35 และสามารถลดแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ได้ร้อยละ 10 และลดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้ร้อยละ 50

5.1.5 วิเคราะห์หาต้นทุนเบื้องต้นและเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม เพื่อหาต้นทุนการผลิตเบื้องต้น (Primary Economic) ของการปรับปรุงสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง ในน้ำมันเหลือทิ้งสำหรับการใช้ทดแทนเครื่องยนต์ดีเซล รวมถึงจุดคุ้มทุน (Break Even Point)

ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลอยู่ที่ ลิตรละ 12 บาท จะคุ้มทุนเมื่อขายน้ำมันไบโอดีเซลลิตรละ 14 บาท จำนวน 1,000 ลิตร

5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

จากการทดสอบการทำงานจริงพบปัญหาดังนี้

1. ในการทดสอบศึกษาหาคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวในครั้งนี้ มีอุปสรรคในการหาจุดขุ่นตัว (Cloud point) เนื่องจากว่าน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวมีสีน้ำตาลเข้ม จึงทำให้การวิเคราะห์หาคุณสมบัติของจุดขุ่นเป็นไปด้วยความยากลำบาก

2. คุณสมบัติบางชนิดของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าว เมื่อผ่านกรรมวิธีทางเคมีจะส่งกลิ่นที่มีลักษณะเป็นกลิ่นค่อนข้างฉุน เช่น ค่าความร้อนสูง (High heating value) จุดวาบไฟ (Flash point) และการติดไฟ เป็นต้น

3. ห้องปฏิบัติการตรวจวัดค่าดัชนีซีเทนไม่พร้อมต่อการใช้งาน

4. ในการทดสอบศึกษาหาคุณสมบัติบางชนิดของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวที่ผ่านกรรมวิธีทางเคมี ควรจะสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันให้เหมาะสม เนื่องจากระหว่างการทดลองจะส่งกลิ่นที่มีลักษณะเป็นกลิ่นค่อนข้างฉุน ถ้าไม่ได้รับการป้องกันที่ถูกต้อง อาจทำให้เกิดอาการวิงเวียนศีรษะได้

5. น้ำมันที่จะนำมาทดสอบศึกษาหาคุณสมบัตินั้น ควรนำไปกรองเพื่อป้องกันตะกอนที่จะส่งผลทำให้ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดลองได้

5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไป

งานวิจัยนี้ดำเนินงานโดยได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ดังนั้นในการนำผลงานวิจัยไปใช้งาน จำเป็นต้องส่งเสริม สนับสนุน พัฒนาการวิจัยการเกษตร และพัฒนาข้อมูลสารสนเทศด้านการวิจัยการเกษตร เพื่อให้สอดคล้องกับพันธกิจสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร รวมทั้งให้บริการวิชาการตามที่ชุมชนต้องการผลิตไบโอดีเซลชุมชนจากวัสดุเหลือใช้ หรือจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน รวมถึงหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้ และสร้างรายได้ภายในชุมชนหรือองค์กร ตลอดจนนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมต่อไป เพื่อสร้างความเข้มแข็งของภาคการเกษตรอย่างยั่งยืน

บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
MAEJO UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นาย วัชระ ผลไม้
เกิดเมื่อ	29 พฤศจิกายน 2536
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนมหาไถ่ศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น ปี พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2559 สำเร็จการศึกษาระดับมหาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2562
ประวัติการทำงาน	ผู้ช่วยนักวิจัย : คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2559 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2562

กนกอร รจนากิจ และจินดา เจริญพรพาณิชย์. 2545. การพัฒนาไบโอดีเซลจากไขน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง,10(1), หน้า1-6.

กรมธุรกิจพลังงาน. 2556. กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน. กรุงเทพฯ.

กองเกษตรวิศวกรรม. 2552. ระบบหัวเผาน้ำมันเตาทางเลือกใหม่ของชาวไร่ยาสูบบ่มไอร้อน. นิตยสารยาสูบ,47(1), หน้า 17-21.

เกษมศิลป์ อ่อนทอง, ทวี เทศเจริญ และจารุวัตร เจริญสุข. 2552. อิทธิพลรูปทรงของวัสดุสร้างความพรุนที่ส่งผลต่อสมรรถนะหัวเผาน้ำมันปาล์มใช้แล้ว. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23.

จักกฤต ทองอุไร. (2555). PSU ไบโอดีเซล 78: สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด การกัดกร่อนแผ่นทองแดง และเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น. สืบค้นจาก http://share.psu.ac.th/blog/eng-biodiesel/22229

จักรพงศ์ ไชยบุรี. 2548. การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ. วารสารปาริชาต,17(2), หน้า 1-7.

จักรพงศ์ ไชยบุรี และประกอบ กิจไชยา. 2546. จลน์พลศาสตร์ของการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพในตัวทำละลาย. วิศวกรรมสาร มก,50(หน้า 42-50.

จารุวัตร เจริญสุข และอรรณพ ผาบเพ็ง. 2546. การประยุกต์ใช้หัวเผาน้ำมันพืชโดยใช้วัสดุพรุน. วิศวสารลาดกระบัง,20(2), หน้า 70-79.

ชาญณรงค์ อัศวเทศานุภาพ และศิริพรรณ กลั่นศิริ. 2557. การผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนให้ความร้อนจากไมโครเวฟและการไหลต่อเนื่องและการทดสอบสมรรถนะของไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,22(3), หน้า 436-446.

เชาวลิต ถาวรสิน, สุทธิพันธ์ ขุนอินทร์ และถิระ เพชรกำบังภัย. 2551. การสร้างชุดผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว และทดสอบสมบัติของไบโอดีเซล วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษา,20(65), หน้า 55-62.

ทรูปลูกปัญญา. 2560. ไบโอดีเซลคืออะไร. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/61531/-blo-sciche-sci-

ธนากร ด้วงมุขพะเนา, เกียรติก้อง สุวรรณกิจ, สุบงกช โตไพบูลย์ และนุวงศ์ ชลคุป. 2552. ผลกระทบของน้ำมันไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว : กรณีศึกษาการใช้งานระยะยาว 2,000 ชั่วโมง และการตรวจสอบเครื่องยนต์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23.

นคร ทิพยาวงศ์. 2553. เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

นันทมนตร์ จันทร์ศิริกุล และประกอบ กิจไชยา. 2547. การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพจากไขมันปาล์มสเตียรินโดยวิธีผสม. วิศวกรรมสาร มก,51(หน้า 59-70.

นิตยา นักระนาด มิลน์. 2547. เตาเผาขยะชีวมวลไร้ควันขั้นเทพ. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ,17(12), หน้า 62-74.

นิติพงศ์ ปานกลาง, สมชาย เบียนสูงเนิน และบุญยัง ปลั่งกลาง. (ม.ป.ป.) ไบโอดีเซล: พลังงานจากน้ำมันพืชใช้แล้ว. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี, 82-86.

พนิดา ศิริบังเกิดผล และลลิตา อัตนโถ. 2548. การพัฒนาเครื่องต้นแบบผลิตไบโอดีเซล. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย,20(2), หน้า 25-30.

พาราไซแอนติฟิค. 2547. กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.barascientific.com/article/Biodiesel2/biodiesel_2.php

เพทาย ตันธนวัฒน์, เอกลักษณ์ สมรูป และถิราวุธ พงศ์ประยูร. (2551). การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้วิธี ไมโครอิมัลชัน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 18(3), 62-69.

วิพันธุ์ ชมะโชติ. (2551). ไบโอดีเซลทหารเรือ. สืบค้นจาก http://www.rtni.org/library/book/ไบโอดีเซลทหารเรือ

วัชระ ผลไม้. (2558). การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปมะพร้าวเพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน. 2560. ไบโอดีเซลคืออะไร. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.trueplookpanya.com/knowledge/preview/61531

สภาวิศวกร. 2562. มาตรฐานวิชาชีพเรื่อง ระบบหม้อไอน้ำ **The Boiler System** กรุงเทพฯ.

สมาคมพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม. 2560. **Zero Waste** ขยะเหลือศูนย์ เป็นจริงได้ไม่ใช่แค่ฝัน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://adeq.or.th/zero-waste-%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B8%88%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%87%E0%B9%84%E0%B8%94%E0%B9%89/

สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์. (ม.ป.ป). **บทที่ 6 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economics)**. ชลบุรี: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. 2560. พลังงานชีวภาพ : พลังแห่งพระปรีชาญาณ. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.eppo.go.th/royal/m1700_0020.html

อัทธ์ พิศาลวานิช. 2561. อนาคตมะพร้าวไทย ส่องเทรนด์เศรษฐกิจอาเซียน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.posttoday.com/aec/column/571663

อิทธิพล วราพันธ์, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี และเด่นพงศ์ สุดภักดี. 2549. สมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง. วิศวกรรมสาร มข,33(6), หน้า 691-675.

ภาคผนวก