

การใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับ
เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ว่าที่ร้อยตรีสมเกียรติ หมายถมกลาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2559

**THE USE OF WASTE PLASTIC OIL AS ALTERNATIVE
FUEL FOR COMPRESSION IGNITION ENGINES**



Somkiat Maithomklang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the

Degree of Master of Engineering in Mechanical and

Process System Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2016

การใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับ
เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

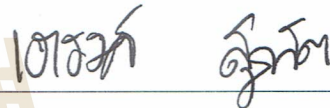
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



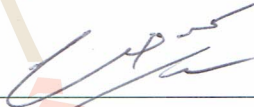
(ผศ. ดร.กীরดี สุตักษณ์)

ประธานกรรมการ



(อ. ดร.เอกรงค์ สุขจิต)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



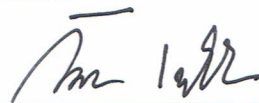
(อ. ดร.ชโลธร ชธรรมแท้)

กรรมการ



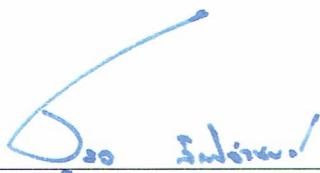
(อ. ดร.ชิตัต คลวิชัย)

กรรมการ



(ผศ. ดร.กัมปนาท เทียนน้อย)

กรรมการ



(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปิจันทร์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สมเกียรติ หมายถกกลาง : การใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือก
สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (THE USE OF WASTE PLASTIC OIL
AS ALTERNATIVE FUEL FOR COMPRESSION IGNITION ENGINES)

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.เอกรงค์ สุขจิต, 210 หน้า.

งานวิจัยเรื่องนี้ศึกษาการใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย โดยการใช้น้ำมันขยะพลาสติกที่ผ่านการแปรรูปเป็นพลังงานด้วยกระบวนการไพโรไลซิสที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วนผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ โดยไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบต่อนาที ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระกรรมของเครื่องยนต์ จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติกพบว่า ค่าดัชนีซีเทนมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม ความหนืดจลนศาสตร์ ความหนาแน่น จุดวาบไฟ และค่าความร้อนเชื้อเพลิงมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ผลของการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์พบว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) ของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระกรรม และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) มีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล เมื่อพิจารณาความดันในกระบอกสูบสูงสุดและอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดของน้ำมันขยะพลาสติกแสดงให้เห็นว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีค่าความดันในกระบอกสูบสูงสุดที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่ในทางตรงกันข้ามน้ำมันขยะพลาสติกจะมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สูงกว่าน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามการเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกทำให้เกิดปริมาณควันดำน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้รายงานไว้ว่า โครงสร้างโมเลกุลของเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสามารถช่วยปรับปรุงกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และส่งผลให้ปริมาณของมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ลดลง ดังนั้น ในส่วนงานวิจัยที่ต่อเนื่องกันนี้มีความสนใจในการใช้เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบ เพื่อช่วยลดมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันขยะพลาสติก และศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างของโมเลกุลที่ต่างกันของเชื้อเพลิง เนื่องจากเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนี้มีจำนวนของอะตอมคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนที่เท่ากัน แต่มีหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกัน

โดยทำการผสมน้ำมันขยะพลาสติกกับไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลที่สัดส่วนการผสมร้อยละ 16 โดยปริมาตร ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า BSFC ของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ (DEE16) และน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอล (BU16) มีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันขยะพลาสติกสำหรับทุกภาระกรรมของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ ส่งผลให้ BTE ของ DEE16 และ BU16 มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันขยะพลาสติก หากทำการเปรียบเทียบผลของการผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลในน้ำมันขยะพลาสติกพบว่า การใช้ไดเอทิลอีเทอร์ผสมกับน้ำมันขยะพลาสติกสามารถช่วยลดปริมาณ NO_x , CO, HC และ Smoke ได้ดีกว่าการใช้บิวทานอลผสมกับน้ำมันขยะพลาสติกเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระกรรมสูง อย่างไรก็ตามคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของ DEE16 และ BU16 นั้นมีข้อด้อยบางประการที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น ความหนืดจลนศาสตร์ จุดวาบไฟ และคุณสมบัติการสึกหรอ

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาผลกระทบของการใช้ไบโอดีเซลเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงดังกล่าว เนื่องจากไบโอดีเซลมีความหนืดและจุดวาบไฟที่สูง รวมถึงมีคุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดี งานวิจัยส่วนนี้ได้เลือกใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งสำหรับใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของ DEE16 และ BU16 เนื่องจากน้ำมันละหุ่งมีความหนืดจลนศาสตร์ ความหนาแน่น และคุณสมบัติการหล่อลื่นที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลจากวัตถุดิบอื่น ซึ่งจากผลการทดสอบด้านคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า การใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งช่วยปรับปรุงให้ค่าความหนืดจลนศาสตร์และจุดวาบไฟของเชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้น การใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรไม่สามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการหล่อลื่นของของ DEE16 และ BU16 ได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ ผลการทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่า การผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งทำให้ BSFC มีค่าลดลง ในขณะที่ BTE มีค่าสูงขึ้น การใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งร่วมกับไดเอทิลอีเทอร์สามารถลดปริมาณ NO_x , CO และ HC ได้ดีกว่าการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งร่วมกับบิวทานอลในทุกภาระกรรมของเครื่องยนต์ที่ทดสอบ ปริมาณควันดำที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันขยะพลาสติกผสมไบโอดีเซลจากละหุ่งและไดเอทิลอีเทอร์จะน้อยกว่าน้ำมันขยะพลาสติกผสมไบโอดีเซลจากละหุ่งและบิวทานอลเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระกรรมสูง

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนักศึกษา พงษ์เกียรติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา โสมภรณ์ สุวรรณ

SOMKIAT MAITHOMKLANG : THE USE OF WASTE PLASTIC OIL
AS ALTERNATIVE FUEL FOR COMPRESSION IGNITION ENGINE.

THESIS ADVISOR : EKARONG SUKJIT, Ph.D., 210 PP.

WASTE PLASTIC OIL/DIESEL ENGINE/PERFORMANCE /EMISSIONS

The use of waste plastic oil as alternative fuel for CI engines was investigated in this research, which focused on physical and chemical properties of fuel, engine performance, combustion characteristics and exhaust emissions. Waste plastic oil (WPO) produced by pyrolysis process was blended with diesel fuel (DF). The engine test was carried out on 4-cylinder, 4-stroke and DI diesel engine without any engine modification at constant speed of 2,500 rpm with varying engine operating loads. The experimental results showed that WPO possessed higher cetane index with respect to DF. However viscosity, density, flash point and heating value of WPO were lower than those of DF. The results of engine test found that the use of WPO led to an increase in brake specific fuel consumption (BSFC) and a reduction in brake thermal efficiency (BTE). The peak pressure and peak rate of heat release of WPO were higher than those of DF. The combustion of WPO tended to increase oxides of nitrogen (NO_x), hydrocarbon (HC) and carbon monoxide (CO) while a reduction in smoke was obtained with respect to diesel fuel combustion.

It was previously reported that oxygen present in fuel molecule can improve combustion process, leading to a reduction in emissions. Hence, in this research, two oxygenated fuels consisting of diethyl ether (DEE) and butanol (BU), both possess same number of carbon, hydrogen and oxygen atom but difference functional group,

were blended with the WPO. The WPO was blended with 16% of diethyl ether (DEE16) and 16% of butanol (BU16). The results found that BSFC of DEE16 and BU16 were higher compared to that of WPO, while DEE16 and BU16 showed lower BTE to that of WPO at all engine loads tested. Comparing the addition of DEE and BU, BTE of DEE16 was slightly higher than BU16. It was observed that the combustion of DEE16 produces lower NO_x , CO, HC and Smoke at high engine load condition with respect to the combustion of BU16. However, fuel properties of WPO blended with DEE and BU were needed to improve such as kinematic viscosity, flash point and lubricity.

Therefore, the effect of biodiesel addition to such fuel blends was also investigated. Biodiesel with higher viscosity and flash point and better lubricity was expected to restore such poor properties of WPO blended with DEE and BU. Biodiesel derived from castor oil (COME) was selected for the test due to extremely high viscosity, density and lubricity compared to other feedstocks used to produce biodiesel. Four tested fuels with same oxygen content were prepared for fuel properties and engine test. Experimental results showed that the use of COME led to higher kinematic viscosity and flash point, while the addition of 5% COME was not enough to improve lubricity of fuel blends. The results of engine test reported that BSFC decreased with the addition of COME whereas BTE tended to increase with the addition of COME. The presence of DEE and COME in WPO (DEE11.5BIO5) showed more advantage to decrease NO_x , CO and HC emissions at all engine operating loads tested than the use of BU and COME (BU11.5BIO5), while the benefit of DEE11.5BIO5 to improve smoke emissions was obtained at high engine operating load.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2016

Student's Signature Somkiat

Advisor's Signature Sujit

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับโอกาสและความกรุณาอย่างสูงจาก อาจารย์ ดร.เอกรงค์ สุขจิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินการวิจัย ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริง ความทุ่มเทของอาจารย์ และ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช อัจหาญ และอาจารย์ ดร.พรรษา ลิบลับ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ด้านวิชาการสำหรับการดำเนินการวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุพรรณิ จันทร์ภิรมณ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ด้านวิชาการสำหรับการดำเนินการวิจัย

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่อาคารเครื่องมือ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับดำเนินการวิจัย รวมถึงเครื่องมือและ อุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบพระคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ผอ.งเพื่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบิดา มารดา และ ครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจมาโดยตลอด และเป็นแรงผลักดันที่สำคัญให้แก่ผู้วิจัย จนทำให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จลุล่วงไปด้วยดี

สมเกียรติ หมายถมกลาง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ต
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 สถานที่ดำเนินงานวิจัย.....	6
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	7
2.1.1 ความถ่วงจำเพาะ.....	7
2.1.2 ความหนืดจลนศาสตร์.....	7
2.1.3 การกลั่น.....	8
2.1.4 จุดวาบไฟ.....	9
2.1.5 จุดไหลเท.....	9
2.1.6 ปริมาณกำมะถัน.....	9
2.1.7 การกัดกร่อนแผ่นทองแดง.....	9
2.1.8 ปริมาณน้ำและตะกอน.....	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.9	กากถ่านหรือกากคาร์บอน.....9
2.1.10	ปริมาณเถ้า.....10
2.1.11	สี.....10
2.1.12	เลขซีเทนและดัชนีซีเทน.....10
2.1.13	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง.....11
2.1.14	คุณสมบัติการหล่อลื่น.....12
2.2	ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง.....13
2.2.1	ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล.....13
2.2.2	ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันของไบโอดีเซลประเภท เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....15
2.3	พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องยนต์.....19
2.3.1	แรงบิด.....19
2.3.2	กำลังเบรก.....20
2.3.3	ความดันขั้วผลเฉลี่ย.....20
2.3.4	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ.....21
2.3.5	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....21
2.3.6	ความดันในกระบอกสูบ.....22
2.3.7	อัตราการปลดปล่อยความร้อน.....22
2.3.8	สัมประสิทธิ์ของความแปรผัน.....22
2.4	น้ำมันขยะพลาสติก.....23
2.4.1	บทนำ.....23
2.4.2	การเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำมันขยะพลาสติก.....24
2.4.3	เทคโนโลยีการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก.....26
2.4.4	กระบวนการไพโรไลซิส.....29
2.4.5	การนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์.....32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ไบโอดีเซล.....	39
2.5.1 บทนำ.....	39
2.5.2 การเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล.....	39
2.5.3 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล.....	43
2.5.4 กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน.....	45
2.5.5 การนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์.....	47
2.6 ไบโอดีเซล.....	53
2.6.1 บทนำ.....	53
2.6.2 การเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล.....	54
2.6.3 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล.....	55
2.6.4 การนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์.....	57
2.7 ไดเอทิลอีเทอร์.....	60
2.7.1 บทนำ.....	60
2.7.2 การเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตไดเอทิลอีเทอร์.....	60
2.7.3 เทคโนโลยีการผลิตไดเอทิลอีเทอร์.....	61
2.7.4 การนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์.....	62
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	65
3.1 กรอบการดำเนินการวิจัย.....	65
3.2 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง.....	67
3.3 การตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	71
3.3.1 ความถ่วงจำเพาะและความถ่วงเอพีไอ.....	71
3.3.2 ความหนืดจลนศาสตร์.....	73
3.3.3 การกลั่น.....	75
3.3.4 จุดวาบไฟ.....	76
3.3.5 ดัชนีซีเทน.....	78
3.3.6 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง.....	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.7 คุณสมบัติการหล่อลื่น.....	81
3.4 การติดตั้งเครื่องยนต์.....	86
3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ.....	86
3.4.2 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องยนต์.....	94
3.5 วิธีการทดสอบเครื่องยนต์.....	96
3.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	97
3.6.1 การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	97
3.6.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	97
3.6.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณลักษณะการเผาไหม้.....	97
3.6.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตรวจวัดการปล่อยมลพิษไอเสีย.....	98
3.6.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่น.....	98
4 ผลกระทบของการใช้น้ำมันขยะพลาสติกต่อสมรรถนะ คุณลักษณะการเผาไหม้	
และมลพิษของเครื่องยนต์.....	99
4.1 บทนำ.....	99
4.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	99
4.3 ผลการทดสอบและอภิปรายผล.....	101
4.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	101
4.3.2 สมรรถนะของเครื่องยนต์.....	103
4.3.3 คุณลักษณะการเผาไหม้.....	105
4.3.4 มลพิษไอเสีย.....	110
4.4 สรุปผลการวิจัย.....	113
5 ผลกระทบของการใช้เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบต่อสมรรถนะ	
และมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันขยะพลาสติก.....	115
5.1 บทนำ.....	115
5.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	115

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ผลการทดสอบและอภิปรายผล.....	118
5.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	118
5.3.2 สมรรถนะของเครื่องยนต์.....	120
5.3.3 คุณลักษณะการเผาไหม้.....	122
5.3.4 มลพิษไอเสีย.....	127
5.4 สรุปผลการวิจัย.....	131
6 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันขยะพลาสติกผสมด้วยไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง.....	133
6.1 บทนำ.....	133
6.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	133
6.3 ผลการทดสอบและอภิปรายผล.....	136
6.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	136
6.3.2 คุณสมบัติการหล่อลื่น.....	138
6.3.3 สมรรถนะของเครื่องยนต์.....	140
6.3.4 คุณลักษณะการเผาไหม้.....	142
6.3.5 มลพิษไอเสีย.....	149
6.4 สรุปผลการวิจัย.....	153
7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	155
7.1 บทสรุปผลการวิจัย.....	155
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	158
รายการอ้างอิง.....	159
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	167
ภาคผนวก ข. ผลการตรวจวัดคุณลักษณะการเผาไหม้.....	172
ภาคผนวก ค. ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสีย.....	177
ภาคผนวก ง. ผลการตรวจวัดคุณสมบัติการหล่อลื่น.....	184

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก จ. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	189
ประวัติผู้เขียน.....	210



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล.....13
2.2	ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันของไบโอดีเซลประเภท เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน.....16
2.3	การวิเคราะห์แบบประมาณของพลาสติก.....24
2.4	กระบวนการไพโรไลซิสภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ.....31
2.5	องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติก.....33
2.6	คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติก.....34
2.7	สรุปผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันขยะพลาสติก.....38
2.8	ประเภทของแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล.....40
2.9	ปริมาณผลผลิตสูงสุดของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ.....41
2.10	วิธีการผลิตไบโอดีเซลจากแหล่งวัตถุดิบต่าง ๆ.....47
2.11	คุณสมบัติเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ผลิตจากวัตถุดิบต่าง ๆ.....48
2.12	องค์ประกอบของกรดไขมันในไบโอดีเซล.....48
2.13	สรุปผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องจากการใช้ไบโอดีเซล.....52
2.14	คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์.....57
2.15	คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลและไดเอทิลอีเทอร์.....63
3.1	ค่าพารามิเตอร์ของหลอดแก้วรูเล็กสำหรับวิเคราะห์ความหนืด.....74
3.2	เงื่อนไขการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่น.....82
3.3	ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์.....87
3.4	ข้อมูลจำเพาะของไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์.....88
3.5	ข้อมูลทั่วไปของชุดเครื่องมือวัดความดันในกระบอกสูบและองศาเพลลาข้อเหวี่ยง.....89
3.6	ข้อมูลด้านเทคนิคและข้อมูลทั่วไปของเครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 308.....91
3.7	ข้อมูลจำเพาะของเครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 350.....92
3.8	ข้อมูลจำเพาะของเครื่องมือวัด HORIBA รุ่น MEXA-584L.....93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.9 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องมือวัดควันทำ MAHA รุ่น MDO 2 LON.....	93
4.1 การกำหนดรหัสน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ.....	100
4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	102
5.1 การกำหนดรหัสน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ.....	116
5.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	119
6.1 การกำหนดรหัสน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ.....	134
6.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	137
ก.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ชุดที่ 1.....	168
ก.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ชุดที่ 2.....	169
ก.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ชุดที่ 3.....	170
ข.1 ผลการตรวจวัดคุณลักษณะการเผาไหม้ ชุดที่ 1.....	173
ข.2 ผลการตรวจวัดคุณลักษณะการเผาไหม้ ชุดที่ 2.....	174
ข.3 ผลการตรวจวัดคุณลักษณะการเผาไหม้ ชุดที่ 3.....	175
ค.1 ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ชุดที่ 1.....	178
ค.2 ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ชุดที่ 2.....	180
ค.3 ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ชุดที่ 3.....	182
ง.1 ข้อมูลการตรวจวัดคุณสมบัติการหล่อลื่น.....	185

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	อุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันดีเซล.....8
2.2	เครื่อง High Frequency Reciprocating Rig (HFRR).....12
2.3	หลักการวัดแรงบิดด้วยไดนาโมมิเตอร์.....19
2.4	เชื้อเพลิงขยะ RDF-5 (Refuse Derived Fuel: RDF-5).....25
2.5	กระบวนการเปลี่ยนขยะเป็นพลังงานและผลผลิตที่ได้.....26
2.6	กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process).....29
2.7	โรงงานผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส.....30
2.8	การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกด้วยเครื่อง GC-MS.....32
2.9	ต้นละหุ่ง (Castor Plant).....41
2.10	ผล (ฝัก) ของละหุ่ง.....43
2.11	กลไกการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....45
2.12	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....46
2.13	ผลกระทบการปล่อยมลพิษเฉลี่ยของไบโอดีเซล.....50
2.14	กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากมันสำปะหลังและน้ำตาล.....56
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....66
3.2	ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง.....67
3.3	การเตรียมน้ำมันละหุ่งสำหรับผลิตไบโอดีเซล.....68
3.4	วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล.....68
3.5	การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....69
3.6	ขั้นตอนการแยกกลีเซอรอลและขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ.....70
3.7	ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งและกลีเซอรอล.....70
3.8	อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ.....71
3.9	การตรวจวัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์.....72
3.10	อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิสำหรับวิเคราะห์ความหนืด.....73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 ตำแหน่งการจับเวลาการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	74
3.12 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบอุณหภูมิการกลั่น.....	75
3.13 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบจุดวาบไฟ.....	76
3.14 การทดสอบจุดวาบไฟ.....	77
3.15 โนโมกราฟ (Nomograph) สำหรับการหาค่าดัชนีซีเทน.....	78
3.16 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน (Bomb Calorimeter).....	79
3.17 การติดตั้งอุปกรณ์และเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบ.....	80
3.18 กราฟการทำงานเพื่อหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงโดยใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์.....	81
3.19 เครื่อง High Frequency Reciprocating Rig (HFRR).....	81
3.20 ตำแหน่งการติดตั้งลูกบอลและแผ่นดิสก์.....	82
3.21 เงื่อนไขสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับการทดสอบ.....	83
3.22 การวัดระยะรอยถลอกด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า.....	83
3.23 ตัวอย่างการวัดขนาดของความยาวรอยถลอกบนลูกบอลทดสอบ.....	84
3.24 เครื่องยนต์สำหรับการทดสอบ.....	86
3.25 ไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์.....	87
3.26 เครื่องขยายสัญญาณความดันในกระบอกสูบ.....	88
3.27 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Flue Gas Analyzer).....	90
3.28 เครื่องมือวัด HORIBA รุ่น MEXA - 584L.....	90
3.29 เครื่องมือวัดควันทัน MAHA รุ่น MDO 2 LON.....	91
3.30 การติดตั้งเครื่องยนต์เข้ากับไดนาโมมิเตอร์.....	94
3.31 การติดตั้งระบบของเครื่องยนต์.....	94
3.32 การติดตั้งระบบตรวจวัดและแสดงผล.....	95
3.33 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบเครื่องยนต์.....	96
4.1 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับภาระกรรม.....	104
4.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกกับภาระกรรม.....	104
4.3 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 30 N-m.....	106

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 50 N-m.....	107
4.5 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 70 N-m.....	107
4.6 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 90 N-m.....	108
4.7 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 110 N-m.....	108
4.8 ความดันในกระบอกสูบสูงสุดกับอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด.....	109
4.9 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้.....	109
4.10 ออกไซด์ของไนโตรเจนกับภาระกรรม.....	111
4.11 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม.....	112
4.12 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม.....	112
4.13 ควันดำกับน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....	113
5.1 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคกับภาระกรรม.....	121
5.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคกับภาระกรรม.....	121
5.3 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 30 N-m.....	123
5.4 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 50 N-m.....	124
5.5 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 70 N-m.....	124
5.6 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 90 N-m.....	125
5.7 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 110 N-m.....	125
5.8 ความดันในกระบอกสูบสูงสุดกับอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด.....	126
5.9 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้.....	126
5.10 ออกไซด์ของไนโตรเจนกับภาระกรรม.....	129
5.11 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม.....	129
5.12 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม.....	130
5.13 ควันดำกับภาระกรรม.....	130
6.1 ฟิล์มการหล่อลื่น (Lubrication Film).....	139
6.2 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Friction Coefficient).....	139
6.3 เส้นผ่านศูนย์กลางรอยถลอกที่ปรับแก้ค่า (Corrected Wear Scar Diameter).....	140

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.4 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับภาระกรรม.....	141
6.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกกับภาระกรรม.....	141
6.6 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 30 N-m.....	143
6.7 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 50 N-m.....	144
6.8 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 70 N-m.....	145
6.9 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 90 N-m.....	146
6.10 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 110 N-m.....	147
6.11 ความดันในกระบอกสูบสูงสุดกับอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด.....	148
6.12 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้.....	148
6.13 ออกไซด์ของไนโตรเจนกับภาระกรรม.....	151
6.14 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม.....	151
6.15 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม.....	152
6.16 ควันดำกับภาระกรรม.....	152
ง.1 การวัดขนาดรอยถลอกของลูกบอลทดสอบ (DF).....	186
ง.2 การวัดขนาดรอยถลอกของลูกบอลทดสอบ (WPO).....	186
ง.3 การวัดขนาดรอยถลอกของลูกบอลทดสอบ (DEE16).....	187
ง.4 การวัดขนาดรอยถลอกของลูกบอลทดสอบ (BU16).....	187
ง.5 การวัดขนาดรอยถลอกของลูกบอลทดสอบ (DEE11.5BIO5).....	188
ง.6 การวัดขนาดรอยถลอกของลูกบอลทดสอบ (BU11.5BIO5).....	188

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	คือ	มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา
AVP	คือ	ความดันไอสัมบูรณ์
BMEP	คือ	ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก
BSFC	คือ	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก
BTE	คือ	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก
BU	คือ	บิวทานอล
CCI	คือ	ดัชนีซีเทน
CO	คือ	คาร์บอนมอนอกไซด์
CO ₂	คือ	คาร์บอนไดออกไซด์
COV _{IMEP}	คือ	สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้
DEE	คือ	ไดเอทิลอีเทอร์
DF	คือ	น้ำมันดีเซล
G	คือ	ความถ่วงเอพีไอ
h_{fg}	คือ	เอนทาลปีของการกลายเป็นไอ
HC	คือ	ไฮโดรคาร์บอน
HHV	คือ	ค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูง
IMEP	คือ	ความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้
LHV	คือ	ค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำ
M	คือ	อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของการเดือดที่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร
\dot{m}_f	คือ	อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง
MWSD	คือ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยถลอก
N	คือ	รอบการหมุนของเพลาค้อเหวี่ยง
n_R	คือ	วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์
NO _x	คือ	ออกไซด์ของไนโตรเจน
P_b	คือ	กำลังเบรก

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

P	คือ	ความดันในห้องเผาไหม้
PM	คือ	ฝุ่นละออง
Q_{HV}	คือ	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง
ROHR	คือ	อัตราการปลดปล่อยความร้อน
RH	คือ	ความชื้นสัมพัทธ์
γ	คือ	อัตราส่วนของค่าความร้อนจำเพาะ
θ	คือ	องศาเพลลาข้อเหวี่ยง
T	คือ	แรงบิด
V_d	คือ	ปริมาตรกระบอกสูบ
WPO	คือ	น้ำมันขยะพลาสติก
WS1.4	คือ	ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยถลอกที่ปรับแก้ค่า



บทที่ 1

บทนำ

งานวิจัยเรื่องนี้ศึกษาการใช้น้ำมันขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยไม่ผ่านการกลั่นลำดับส่วนผสมกับน้ำมันดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ บิวทานอล ไดเอทิลอีเทอร์ และไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด โดยบทนำในวิทยานิพนธ์เล่มนี้กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และสถานที่ดำเนินงานวิจัย

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาด้านพลังงานจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นภาคอุตสาหกรรม ภาคการขนส่ง ภาคการท่องเที่ยวและบริการ ทำให้ความต้องการใช้พลังงานมีอัตราเพิ่มสูงขึ้น โดยพลังงานที่ใช้กันอยู่ส่วนใหญ่เป็นพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ซึ่งเป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์แล้วหมดไป จากรายงานสถานการณ์พลังงานไทย ปี พ.ศ. 2559 พบว่า ประเทศไทยได้มีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศคิดเป็นร้อยละ 84 และผลิตเองภายในประเทศเพียงร้อยละ 16 เท่านั้น ทั้งนี้ ในส่วนการนำเข้าจากต่างประเทศนั้นได้นำเข้าน้ำมันดิบจากภูมิภาคตะวันออกกลางร้อยละ 56 ตะวันออกไกลร้อยละ 18 และแหล่งอื่น ๆ ร้อยละ 10 ของการนำเข้าทั้งหมด (ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน, 2559) ซึ่งทุกครั้งที่เกิดวิกฤตการณ์ของโลก อาทิเช่น สงครามในตะวันออกกลาง การลดกำลังการผลิตของประเทศผู้ส่งออกน้ำมัน หรือแม้แต่ความผันผวนของราคาน้ำมันในตลาดโลก ส่งผลให้ประเทศไทยได้รับผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากพลังงานเป็นความต้องการพื้นฐานสำหรับการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ

นอกจากนี้ ประเทศไทยยังต้องประสบปัญหาด้านมลพิษและสิ่งแวดล้อมจากปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก เนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น การพัฒนาด้านเศรษฐกิจ สังคม และความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีส่งผลให้เกิดการบริโภคที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดปริมาณขยะมูลฝอยเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยจากข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยที่ผ่านมา พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศนั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นทุก ๆ ปี เมื่อทำการพิจารณาอัตราการเกิดขยะ

มูลฝอยภายในประเทศมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นของประเทศไทยประมาณ 27.06 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นอัตราการเกิดขยะมูลฝอยที่ 1.14 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) ในขณะที่ปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการและนำไปใช้ประโยชน์ยังมีปริมาณเพียงร้อยละ 56 เท่านั้นจากปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือหากพิจารณาเป็นปริมาณขยะมูลฝอยจะอยู่ที่ประมาณ 15.38 ล้านตัน ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกวิธี ไม่ว่าจะเป็นการเผากลางแจ้ง และการฝังกลบอย่างไม่ถูกต้องก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ ขยะมูลฝอยส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยขยะประเภทที่เป็นขยะพลาสติกถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขยะพลาสติกเหล่านี้ต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนานในการย่อยสลาย

เทคโนโลยีการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสจึงเป็นการจัดการที่เหมาะสมสามารถแก้ปัญหาเรื่องการจัดการขยะ และความต้องการพลังงานที่ทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังสอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan : AEDP 2015) ที่ให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากวัตถุดิบพลังงานทดแทนที่มีอยู่ในประเทศให้ได้เต็มตามศักยภาพ การพัฒนาศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทนด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม และการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อผลประโยชน์ร่วมในมิติด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การนำขยะพลาสติกประเภทต่าง ๆ อาทิเช่น โพลีสไตรีน โพลีโพรพิลีน โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงและความหนาแน่นต่ำ เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล (Miandad et al., 2017) อีกทั้งยังประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล (S. Kumar et al., 2013) ซึ่งทำให้เกิดความเชื่อมั่นในระดับหนึ่งสำหรับการนำน้ำมันจากขยะพลาสติกไปใช้งานในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด อย่างไรก็ตาม การนำน้ำมันขยะพลาสติกมาใช้กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดโดยไม่มี การปรับแต่งเครื่องยนต์นั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ในหลายด้าน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบผลกระทบของน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซล และน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ บิวทานอล ไดเอทิลอีเทอร์ และไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง โดยครอบคลุมถึงคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ มลพิษไอเสีย และคุณสมบัติการหล่อลื่น เพื่อเป็นแนวทางในการนำน้ำมัน

ขยะพลาสติกไปใช้เป็นพลังงานทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดได้อย่างเหมาะสม และสอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติกกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

1.2.2 เพื่อทดสอบผลกระทบของน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ ต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

1.2.3 เพื่อตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติกกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ ในอัตราส่วนผสมเดียวกัน

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ ต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

1.2.5 เพื่อตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติกกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ กับไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง

1.2.6 เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ กับไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง ต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย

1.2.7 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการหล่อลื่นจากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ บิวทานอล ไดเอทิลอีเทอร์ และไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ในการทดสอบใช้เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ 4 สูบ ยี่ห้อ ISUZU รุ่น 4JA1 ระบบฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ และนำไอดีเข้าโดยธรรมชาติ โดยไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์

1.3.2 ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยใช้ไคนาโมมิเตอร์ชนิดใช้น้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์

1.3.3 ทดสอบเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบต่อนาที ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่ 30, 50, 70, 90 และ 110 นิวตันเมตร

1.3.4 ใช้น้ำมันดีเซลที่ได้รับความเห็นชอบในการจัดจำหน่ายจากกรมธุรกิจพลังงาน

1.3.5 ใช้น้ำมันขยะพลาสติกที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจากโรงงานแปรรูปขยะเป็นน้ำมันของศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยเป็นน้ำมันขยะพลาสติกที่ยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่นลำดับส่วน

1.3.6 ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่มีมาตรฐานและได้รับอนุญาตในการจัดจำหน่าย ได้แก่ บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์

1.3.7 ใช้ไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันละหุ่งและเมทานอล โดยใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

1.3.8 ตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีภายใต้มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials : ASTM)

1.3.9 ทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นภายใต้มาตรฐานการทดสอบขององค์การมาตรฐานสากล (International Standardization Organization : ISO)

1.3.10 ทดสอบน้ำมันขยะพลาสติกกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 โดยปริมาตร กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

1.3.11 ทดสอบน้ำมันขยะพลาสติกกับบิวทานอลที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 84 : 16 โดยปริมาตร และน้ำมันขยะพลาสติกกับไดเอทิลอีเทอร์ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 84 : 16 โดยปริมาตร กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

1.3.12 ทดสอบน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับบิวทานอล และไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 83.5 : 11.5 : 5 โดยปริมาตร และน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับไดเอทิลอีเทอร์ และไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 83.5 : 11.5 : 5 โดยปริมาตร กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

1.3.13 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องยนต์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก

1.3.14 ตรวจสอบลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ได้แก่ ความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้

1.3.15 ตรวจวัดการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน (HC) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำ (Smoke)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงคุณสมบัติพื้นฐานทางกายและทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกที่มีส่วนผสมของน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

1.4.2 ทราบถึงผลกระทบในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ที่ใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ

1.4.3 ทราบถึงคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์

1.4.4 ทราบถึงผลกระทบในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ที่ใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมกับบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ ซึ่งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ

1.4.5 ทราบถึงคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ กับไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง

1.4.6 ทราบถึงผลกระทบในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ที่ใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ กับไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง

1.4.7 ทราบถึงคุณสมบัติการหล่อลื่นจากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซล และน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ บิวทานอล ไดเอทิลอีเทอร์ และไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง

1.4.8 ใช้เป็นแนวทางในการนำน้ำมันขยะพลาสติกไปใช้เป็นพลังงานทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดได้อย่างเหมาะสม

1.5 สถานที่ดำเนินงานวิจัย

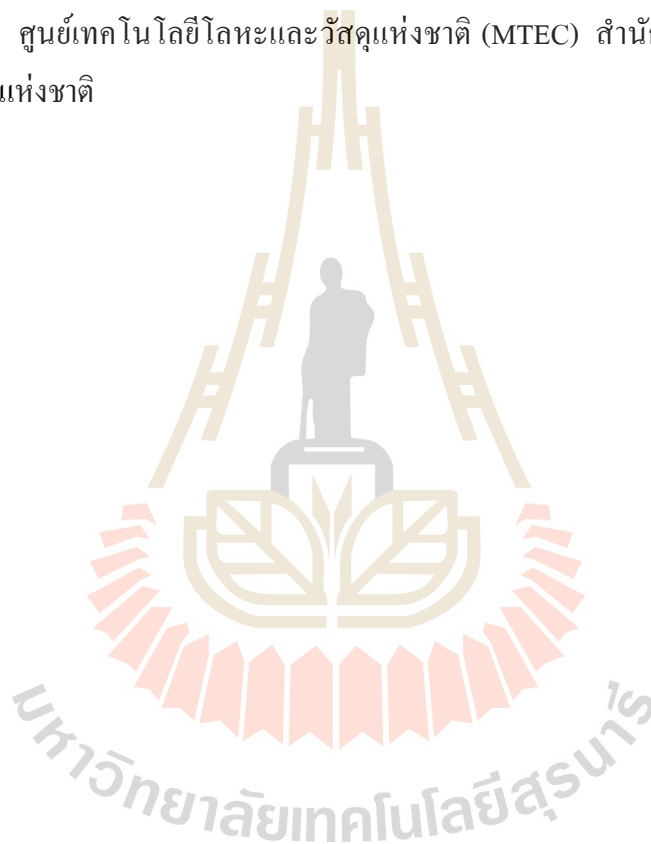
1.5.1 อาคารเครื่องมือ 4 (F4) อาคารเครื่องมือ 5 (F5) และอาคารเครื่องมือ 10 (F10) ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.2 อาคารปฏิบัติการพื้นฐานด้านวิศวกรรมศาสตร์ (F11) ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.3 ห้องปฏิบัติการศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.4 อาคารศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5.5 ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ



บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง ข้อกำหนดลักษณะ และคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องยนต์ และงานวิจัยที่ผ่านมาจากการศึกษาน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกประเภทต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมันขยะพลาสติก ไบโอดีเซล ไบโอดีแอลกอฮอล์ ไดเอทิลอีเทอร์ ในด้านกระบวนการผลิต คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย จากการนำไปใช้งานเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

2.1 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการบ่งบอกถึงความเป็นเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งนอกจากจะพิจารณาในส่วนขององค์ประกอบทางเคมีหรือคุณสมบัติทางเคมีแล้ว ยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องพิจารณาควักกันไปด้วยคือ คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยคุณสมบัติดังกล่าวได้แก่

2.1.1 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity, SG) คือ อัตราความหนาแน่นของสารต่อความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ที่มีปริมาตรเท่ากันและที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D1298 ซึ่งเป็นการวัดความหนักเบาของน้ำมันที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส ถ้าน้ำมันหนักมากค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนักจะลดลง ค่าซีเทนจะลดลงทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเกิดเป็นเขม่าคาร์บอนสะสมได้มาก

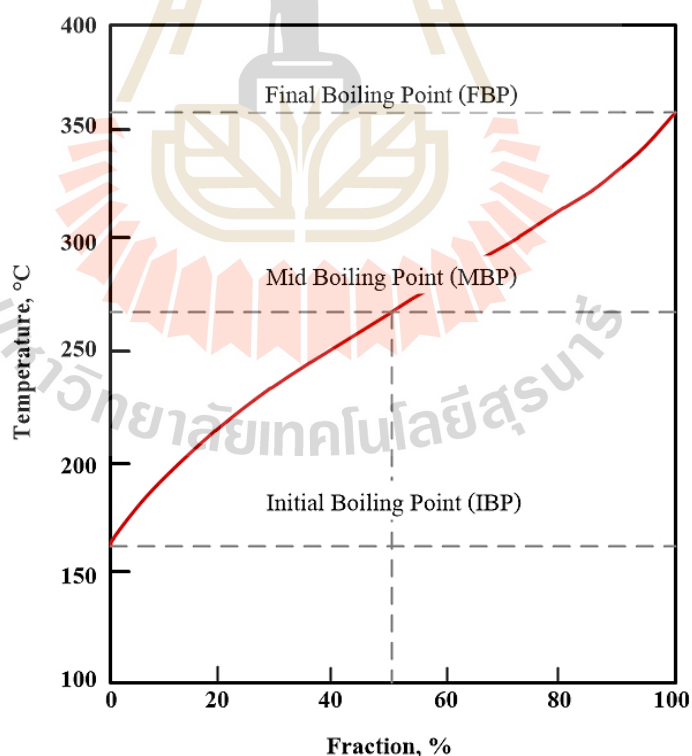
2.1.2 ความหนืดจลนศาสตร์

ความหนืดจลนศาสตร์ (Kinematic Viscosity) คือ ค่าแรงต้านภายในตัวของน้ำมันต่อการไหลหรืออัตราส่วนของความหนืดพลวัต (Dynamic Viscosity) ต่อความหนาแน่นของของไหล โดยทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D445 ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของอุปกรณ์ฉีดเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นส่งผลให้มุมกรวยสเปรย์ของหัวฉีด และการกระจายตัวเป็นละอองฝอยของ

น้ำมันเชื้อเพลิงลดลง ดังนั้น ค่าความหนืดต้องมีความเหมาะสมเพื่อให้ระบบการฉีดน้ำมันฉีดเป็นละอองฝอยได้ละเอียด ในขณะที่เดียวกันก็ช่วยหล่อลื่นปั๊มหัวฉีด ถ้าน้ำมันข้นเกินไปจะกระจายตัวเป็นละอองฝอยได้ไม่ดี แต่ถ้าใสเกินไปจะทำให้การหล่อลื่นไม่เพียงพอ ทำให้ลูกสูบปั๊มหัวฉีดอาจติดตายหรือเกิดการสึกหรองจนทำให้ปั๊มรั่วได้

2.1.3 การกลั่น

การกลั่น (Distillation) คือ อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D86 อาทิเช่น อุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันดีเซล ดังรูปที่ 2.1 แต่เดิมกระทรวงพาณิชย์กำหนดไว้ไม่เกิน 370 องศาเซลเซียส ปรากฏว่าส่วนหนัก ๆ ในน้ำมันเผาไหม้ไม่หมดเกิดควันดำเต็มห้องถนน โดยเฉพาะรถที่บรรทุกหนักเกินพิกัดและการเร่งเครื่องกะทันหัน เมื่อ พ.ศ. 2535 รัฐบาลโดยกระทรวงพาณิชย์จึงออกข้อกำหนดใหม่ไม่ให้เกิน 357 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายถึงส่วนหนักในน้ำมันถูกตัดออกไปเป็นผลทำให้น้ำมันเผาไหม้หมดจดขึ้น ช่วยลดควันดำลง



รูปที่ 2.1 อุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันดีเซล

(N.K. Giri, 2011)

2.1.4 จุดวาบไฟ

จุดวาบไฟ (Flash Point) คือ อุณหภูมิที่น้ำมันได้รับความร้อนจนระเหยกลายเป็นไอ และเมื่อไอนี้ถูกเปลวไฟจะลุกวาบไฟขึ้น โดยทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D93 ซึ่งในทางปฏิบัติจุดวาบไฟไม่มีผลโดยตรงต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ แต่มีความสำคัญในด้านการป้องกันอันตรายจากอัคคีภัยในการเก็บสำรองน้ำมันและการใช้งาน

2.1.5 จุดไหลเท

จุดไหลเท (Pour Point) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเริ่มไม่ไหล เมื่ออากาศเย็นทำให้อุณหภูมิต่ำส่งผลให้น้ำมันก่อตัวเป็นเกล็ดขี้ผึ้งติดที่กรองน้ำมัน ทำให้เกิดการอุดตันทางเดินและขัดขวางการไหลของน้ำมันที่จะไหลไปยังปั๊มเชื้อเพลิงและหัวฉีด โดยจุดไหลเททดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D97

2.1.6 ปริมาณกำมะถัน

ปริมาณกำมะถัน (Sulphur Content) คือ ปริมาณกำมะถันที่เกิดขึ้นในน้ำมันดีเซล เมื่อเกิดการเผาไหม้กับอากาศจะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ซึ่งปริมาณกำมะถันที่สูงเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ เนื่องจากซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เกิดการรวมตัวกันกับน้ำกลายเป็นกรดกำมะถันกัดกร่อนเครื่องยนต์ส่งผลทำให้เครื่องยนต์เกิดการสึกหรอ โดยปริมาณกำมะถันทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D5453

2.1.7 การกัดกร่อนแผ่นทองแดง

การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion) คือ การวัดการกัดกร่อนแผ่นทองแดงที่เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อดูการกัดกร่อนของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ที่จะส่งผลต่อระบบทางเดินน้ำมัน ซึ่งอาจเกิดการกัดกร่อนและสึกหรอได้จากปริมาณกำมะถัน โดยทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D130

2.1.8 ปริมาณน้ำและตะกอน

ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment) เป็นการทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D2709 โดยปริมาณน้ำจะทำให้เกิดตะกอนในเครื่องยนต์ และจะขัดขวางการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงจากถังเก็บไปยังห้องเผาไหม้ ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนภายในถังบรรจุและอุปกรณ์เชื่อมต่อต่าง ๆ ถ้ามีเกินมาตรฐานจะเป็นผลทำให้เกิดการอุดตันที่หัวกรองน้ำมันได้ ซึ่งการมีน้ำอยู่เป็นอันตรายต่อระบบปั๊มเชื้อเพลิงและหัวฉีดได้ เพราะเป็นบริเวณที่ไม่มีคุณสมบัติการหล่อลื่น

2.1.9 กากถ่านหรือกากคาร์บอน

กากถ่านหรือกากคาร์บอน (Carbon Residue) คือ การวัดปริมาณสารคาร์บอนที่เหลือตกค้างหลังการเผาไหม้ โดยทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D524 เมื่ออุณหภูมิสูง ๆ

ในช่วงเวลาหนึ่งน้ำมันที่มีปริมาณคาร์บอนสูงจะมีแนวโน้มในการเกิดควันดำ และคราบเขม่า คาร์บอนจะเกาะตัวสะสมในห้องเผาไหม้ในบริเวณร่องแหวนลูกสูบและหัวฉีดได้ ซึ่งคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.1

$$\text{Carbon Residue} = \frac{A \times 100}{W} \quad (2.1)$$

โดยที่ A คือ มวลของกากถ่านหรือคาร์บอน (กรัม)

W คือ มวลของตัวอย่างทดสอบ (กรัม)

2.1.10 ปริมาณเถ้า

ปริมาณเถ้า (Ash) คือ ปริมาณสารอนินทรีย์ต่าง ๆ ที่เหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมด โดยทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D482 ซึ่งเถ้าในน้ำมันดีเซลอาจจะอยู่ในรูปของแข็งหรือสบู่จำพวกโลหะ (Metallic Soap) ที่ละลายน้ำมันได้ ในส่วนที่อยู่ในรูปของแข็งอาจส่งผลทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวโลหะของเครื่องยนต์ และส่วนที่เป็นสารประเภทสบู่จำพวกโลหะที่ละลายน้ำมันได้จะทำให้เกิดคราบตะกอนเกาะติดในเครื่องยนต์

2.1.11 สี

สี (Color) โดยทั่วไปน้ำมันดีเซลมีสีชาอ่อนหรือบางครั้งสีอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปบ้างขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำมันดิบที่นำมาผ่านกระบวนการกลั่น ซึ่งสีไม่ได้เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการพิจารณาคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ได้ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน ASTM D1500 เพื่อควบคุมการปนเปื้อนกับน้ำมันเตา

2.1.12 เลขซีเทนและดัชนีซีเทน

เลขซีเทน (Cetane Number) คือ ค่าที่ใช้ในการวัดคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงในด้านของคุณสมบัติการติดไฟ ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่เลือกใช้ควรมีค่าเลขซีเทนที่เหมาะสมกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เพราะทำให้เกิดการติดเครื่องยนต์ได้ง่าย ไม่ก่อให้เกิดการน็อก (Knock) ของเครื่องยนต์ และยังเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงอีกด้วย ปกติแล้วน้ำมันดีเซลที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีค่าเลขซีเทนอยู่ในช่วงประมาณ 40 - 60 โดยน้ำมันดีเซลที่มีการติดไฟง่ายที่สุดคือ นอร์มอลซีเทน (Normal Cetane) ซึ่งกำหนดให้มีค่าเลขซีเทนเท่ากับ 100 ส่วนน้ำมันดีเซลที่มีคุณสมบัติการติดยากคือ แอลฟาเมทิลแนพทาลีน (Alpha Methyl naphthalene) ซึ่งกำหนดให้มีค่าเลขซีเทนเท่ากับ 0

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบหาค่าตัวเลขซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นใช้เครื่องยนต์มาตรฐานชนิดสูบเดี่ยวที่สามารถปรับอัตราส่วนการอัดตัวได้ โดยวิธีการทดสอบนั้นจะนำน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องการหาค่าเลขซีเทนมาทำการเดินเครื่องยนต์มาตรฐานชนิดสูบเดี่ยวแล้วค่อยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงมาตรฐานที่มีส่วนผสมของนอร์มอลซีเทนกับแอลฟาเมทิลแนพทาลิน เช่น น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าเลขซีเทนเท่ากับ 70 จะมีค่าคุณสมบัติในการติดไฟหรือการป้องกันการน็อกได้ดีเท่ากับน้ำมันเชื้อเพลิงมาตรฐานที่มีส่วนผสมของน้ำมันนอร์มอลดีเซล 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร กับน้ำมันแอลฟาเมทิลแนพทาลิน 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นต้น

โดยค่าเลขซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงยังมีค่าสูงนั้นก็หมายความว่าช่วงความล่าช้าในการจุดระเบิดของน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นยังมีค่าต่ำหรือสามารถที่จะติดไฟได้ง่ายนั่นเอง ถ้าน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเลขซีเทนต่ำกว่า 40 เมื่อเกิดการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จะทำให้เกิดควันไอเสียในปริมาณมาก แต่เนื่องจากการวัดค่าเลขซีเทนต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซลมาตรฐานสูบเดี่ยวของ CFR Engine เปรียบเทียบคุณภาพในการจุดติดไฟกับเชื้อเพลิงมาตรฐานซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงมากและสิ้นเปลืองเวลาในการทดสอบ ดังนั้น จึงนิยมใช้วิธีคำนวณออกมาเป็นค่าดัชนีซีเทนแทน (Calculated Cetane Index : CCI) หรือสามารถอ่านค่าดัชนีซีเทนได้จากโนโมกราฟ (Nomograph) ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในบทที่ 3

2.1.13 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Heating Value : HV) คือ ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยมวล โดยทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D240 ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของเชื้อเพลิงในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ การเผาไหม้ที่สมบูรณ์หมายถึงคาร์บอนทั้งหมดถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนทั้งหมดถูกเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทั้งนี้ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงดังกล่าวนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value : HHV) คือ ค่าปริมาณพลังงานความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีการสันดาปอย่างสมบูรณ์ และสารจากการเผาไหม้มีอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิต่ำอีกครั้ง น้ำที่มีอยู่ในสารจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะกลั่นตัวอยู่ในสถานะของเหลว

2) ค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value : LHV) คือ ค่าปริมาณพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ น้ำที่มีอยู่ใน

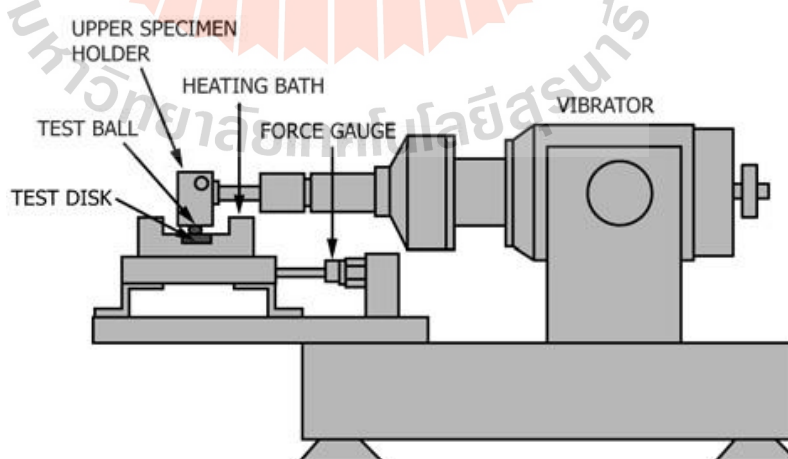
สารจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะอยู่ในสถานะไอ ซึ่งสามารถคำนวณค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงได้จากสมการที่ 2.2 (ชัยยง ศิริพรมงคชชัย, 2558)

$$\text{LHV} = \text{HHV} - (\dot{m}_f) h_{fg} \quad (2.2)$$

โดยที่ LHV คือ ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg)
 HHV คือ ค่าความร้อนสูง (kJ/kg)
 \dot{m}_f คือ มวลของน้ำในสารจากการเผาไหม้ต่อ 1 หน่วยมวลเชื้อเพลิง (kg/kg_{fuel})
 h_{fg} คือ เอนทัลปีของการกลายเป็นไอที่อุณหภูมิการเผาไหม้ขณะนั้น (kJ/kg)

2.1.14 คุณสมบัติการหล่อลื่น

คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity) ทดสอบโดยใช้วิธี High Frequency Reciprocating Rig โดยเหตุที่รัฐบาลกำหนดให้มีปริมาณกำมะถันได้ไม่เกิน 0.05 โดยน้ำหนัก การลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลลงทำให้คุณสมบัติการหล่อลื่นโดยธรรมชาติของน้ำมันดีเซลลดลง จึงกำหนดให้ต้องเติมสารเพิ่มคุณสมบัติการหล่อลื่น ซึ่งทดสอบโดยใช้เครื่อง HFRR ดังรูป 2.2 โดยมีรอยสึกหรือ (Wear Scar) ต้องสูงไม่เกิน 460 μm โดยมาตรฐานสำหรับการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่น ได้แก่ ASTM D6079, ISO 12156-1 และ CEC F-16-96 เป็นต้น



รูปที่ 2.2 เครื่อง High Frequency Reciprocating Rig (HFRR)

(International Standard ISO 12156-1, 2006)

2.2 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง

การกำหนดคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยทั่วไปนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภทที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง และประเภทที่ 2 การทดสอบคุณลักษณะในการทำงานของน้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้ คุณลักษณะของน้ำมันที่สามารถทดสอบได้โดยเครื่องมือที่อาศัยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อย่างสมบูรณ์นั้นไม่มีที่ชนิด เช่น ค่าปริมาณกำมะถันและค่าความหนืด ซึ่งสามารถวัดได้โดยตรงจากเครื่องมือ นอกจากนั้นแล้วส่วนใหญ่จะเป็นค่าที่ถูกวัดขึ้นมาโดยใช้การทดสอบบางอย่างที่ใช้มาตรฐานเป็นตัวกำหนด เช่น การใช้มาตรฐานของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM) หรือสถาบันปิโตรเลียม (IP) เป็นต้น ในส่วนของประเทศไทยนั้นกรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล และของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ดังนี้

2.2.1 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล

กรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลตามมาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล (กรมธุรกิจพลังงาน, 2556)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูง-ต่ำ	น้ำมันดีเซล		วิธีทดสอบ ¹
			หมุนเร็ว	หมุนช้า	
1	ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 °C (Specific Gravity at 15.6/15.6 °C)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	0.810 0.870	- 0.920	ASTM D1298
2	เลขซีเทน (Cetane Number) หรือ ดัชนีซีเทน (Calculate Cetane Index)	ไม่ต่ำกว่า	50	45	ASTM D613 ASTM D976
3	จุดไหลเท (องศาเซลเซียส) (Pour Point, °C)	ไม่สูงกว่า	10	16	ASTM D97
4	กำมะถัน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก) (Sulphur, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.005	1.5	ASTM D2622

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตรา สูง-ต่ำ	น้ำมันดีเซล		วิธีทดสอบ ¹
			หมุนเร็ว	หมุนช้า	
5	ความหนืด (เซนติสโตกส์) (Viscosity, cSt) 3.1 ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (at 40 °C) หรือ 3.2 ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (at 50 °C)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	1.8 4.1	- 8.0	ASTM D445
6	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	-	ASTM D130
7	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (กรัม/ลูกบาศก์เมตร) (Oxidation Stability, g/m ³)	ไม่สูงกว่า	25	-	ASTM D2274
8	กากถ่าน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Carbon Residue, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.05	-	ASTM D189
9	น้ำและตะกอน (ร้อยละโดยปริมาตร) (Water and Residue, %vol)	ไม่สูงกว่า	0.05	0.3	ASTM D2709
10	เถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Ash, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.01	0.02	ASTM D482
11	จุดความไฟ (องศาเซลเซียส) (Flash Point, °C)	ไม่ต่ำกว่า	52	52	ASTM D 93
12	การกลั่น (องศาเซลเซียส) (Distillation, °C) อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตร ในอัตราร้อยละ 90 (90% recovered)	ไม่สูงกว่า	357	-	ASTM D86
13	โพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, %wt.)	ไม่สูงกว่า	11	-	ASTM D2425

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตรา สูง-ต่ำ	น้ำมันดีเซล		วิธีทดสอบ ¹
			หมุนเร็ว	หมุนช้า	
14	สี (Color) 14.1 ชนิดของสี (Hue) 14.2 ความเข้มของสี (Intensity)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	เหลือง -	น้ำตาล 4.5 7.5	ASTM D1500
15	ไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรด ไขมัน (ร้อยละโดยปริมาตร) (Methyl Ester of Fatty Acids, %vol.)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	3.5 7	- -	EN 14078
16	คุณสมบัติการหล่อลื่น รอยขีดข่วน (ไมโครเมตร) (Lubricity, Wear Scar, μm)	ไม่สูงกว่า	460	-	CEC F-16-96
17	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additives)	ให้เป็นไปตามความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน			

หมายเหตุ ¹ วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นเทียบได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดใน
รายละเอียดแนบท้ายนี้

2.2.2 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์
ของกรดไขมัน

กรมธุรกิจพลังงานได้กำหนดลักษณะและคุณภาพน้ำมันของไบโอดีเซลประเภท
เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันจำนวน 26 รายการ ดังตารางที่ 2.2 ตามมาตรฐานการทดสอบของ
สมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM) และมาตรฐานยุโรป (EN) ซึ่งมีการ
แก้ไขปรับปรุงเพื่อส่งเสริมให้มีการใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในสัดส่วนที่สูงขึ้น โดยประกาศ
ให้ยกเลิกประกาศข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของ
กรดไขมัน พ.ศ. 2552 และมีผลบังคับใช้ฉบับล่าสุดตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2557 เป็นต้นไป
ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์
ของกรดไขมัน (กรมธุรกิจพลังงาน, 2556)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูง-ต่ำ		วิธีทดสอบ ¹
1	เมทิลเอสเตอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Methyl Ester, %wt.)	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C (กิโลกรัม/ ลูกบาศก์เมตร) (Density at 15 °C, kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (เซนติสโตกส์) (Viscosity at 40 °C, cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D445
4	จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส) (Flash Point, °C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D93
5	กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Sulphur, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D2622
6	กากถ่าน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) จากร้อยละ 10 ของส่วนที่เหลือจากการกลั่น (Carbon Residue, %wt.) On 10% Distillation Residue	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4560
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D613
8	เถ้าซัลเฟต (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Sulphated Ash, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D874
9	น้ำ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) (Water, mg/kg)	ไม่สูงกว่า	500	EN ISO 12937
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) (Total Contamination, mg/kg)	ไม่สูงกว่า	24	EN 12662
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (ชั่วโมง) (Oxidation Stability at 110 °C, hr.)	ไม่ต่ำกว่า	10	EN 15751

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูง-ต่ำ		วิธีทดสอบ ¹
13	ค่าความปั่นกรด (มิลลิกรัมไปตัสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม) (Acid Value, mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D664
14	ค่าไอโอดีน (กรัมไอโอดีน/100 กรัม) (Iodine Value, g Iodine/100 g)	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเตอร์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Linolenic Acid Methyl Ester, %wt.)	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมทานอล (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Methanol, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมนอกลิเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Monoglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.70	EN 14105
18	ไดกลิเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Diglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลิเซอไรด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Triglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Free glycerin, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Total glycerin, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) (Group I metals (Na + K), mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14538
	โลหะกลุ่ม 2 (โซเดียมและโปแตสเซียม) (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) (Group II metals (Ca + Mg), mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14538
23	ฟอสฟอรัส (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Phosphorus, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	EN 14107

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูง-ต่ำ	วิธีทดสอบ ¹
24	จุดขุ่น (องศาเซลเซียส) (Cloud Point : CP, °C)	รายงาน ²	
25	จุดอุดตันการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (องศาเซลเซียส) (Cold Flow Plugging Point : CP, °C)	รายงาน ²	
26	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive, If Any)	ให้เป็นไปตามความเห็นชอบจากอธิบดี กรมธุรกิจพลังงาน	

- หมายเหตุ
- วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นเทียบได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียดแนบท้ายนี้
 - ให้ผู้ค้าน้ำมันรายงานอธิบดีเป็นรายไตรมาส ภายในวันที่ 15 ของเดือนถัดไป จากเดือนสุดท้ายของไตรมาสนั้น

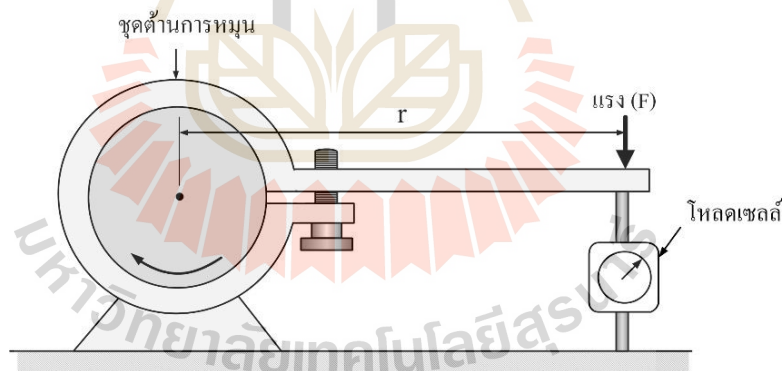
จากตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 เป็นข้อกำหนดลักษณะคุณภาพของน้ำมันดีเซล และไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน สำหรับตรวจวัดคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถส่งผลกระทบต่อการใช้งาน การขนส่ง หรือแม้กระทั่งในด้านการค้านอกจากนี้แล้ว ยังมีมาตรฐานอื่น ๆ ที่ถูกกำหนดขึ้น เช่น มาตรฐานข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลในกลุ่มประเทศยุโรปที่ถูกกำหนดขึ้น เพื่อลดการปล่อยไอเสียที่เป็นมลพิษจากน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 2 ประเภท เป็นการลดภาวะอากาศเสีย และเป็นการรักษาสีสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดมาตรฐานตั้งแต่ EURO 1 จนถึง EURO 6 ซึ่งเน้นคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อมีการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ให้มีมลพิษไอเสียที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมให้ลดลงเหลือน้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น น้ำมันยูโร 4 (EURO 4) ได้กำหนดให้น้ำมันเบนซินและแก๊สโซฮอล์จะต้องมีสารโอเลฟินในน้ำมันไม่เกิน 18 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ลดสารตะกั่วไม่สูงเกิน 0.005 กรัมต่อน้ำมัน 1 ลิตร กำมะถันไม่สูงเกิน 50 ppm ส่วนน้ำมันดีเซลกำหนดค่า PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) ไม่สูงเกิน 18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำมะถันไม่สูงเกิน 50 ppm และค่าซีเทนไม่ต่ำกว่า 50 เป็นต้น ทั้งนี้ มาตรฐานยุโรปยังได้กำหนดปริมาณคุณภาพของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ด้วย

2.3 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล ถือเป็นกลจักรความร้อนชนิดหนึ่ง ที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงเป็นพลังงานทางกล ซึ่งให้กำลังออกมาในรูปของแรงบิด เพื่อนำไปใช้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ โดยปกติแล้วการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์จะทำการทดสอบจากโรงงานผู้ผลิต แต่ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถทำการทดสอบเพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้น พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ควรทราบและทำความเข้าใจนั้นมีหลายปัจจัย ซึ่งจะกล่าวถึงดังนี้

2.3.1 แรงบิด

แรงบิด (Torque) คือ โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นจากเพลาค้อเหวี่ยง โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งมีอยู่หลายประเภท เช่น ไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์ หรือไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า เป็นต้น เพื่อวัดค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 2.3 กระทำโดยการเร่งเครื่องยนต์ พร้อมกับชุดต้านทานการหมุนให้ดำเนินการหมุนของเพลาค้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ และวัดขนาดของแรงที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องวัดแรง (Load Cell) สมการที่ใช้คำนวณแสดงดังสมการที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หลักการวัดแรงบิดด้วยไดนาโมมิเตอร์

$$T = Fr \quad (2.3)$$

โดย T คือ แรงบิด (N-m)
 F คือ แรง (N)
 r คือ ระยะจากจุดกึ่งกลางของแกนหมุนถึงแนวแรง (m)

2.3.2 กำลังเบรก

กำลังเบรก (Brake Power) คือ กำลังของเครื่องยนต์ที่เกิดขึ้นจากการวัดแรงบิดที่เพลาคือเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ โดยการวัดกำลังเบรกจะใช้ไดนาโมมิเตอร์ต่อเข้ากับเครื่องยนต์เพื่อวัดแรงบิดของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถคำนวณกำลังเบรกได้จากสมการที่ 2.4 (N.K. Giri, 2011)

$$P_b = \frac{2\pi NT}{60000} \quad (2.4)$$

โดยที่ P_b คือ กำลังเบรก (kW)
 T คือ แรงบิด (N-m)
 N คือ รอบการหมุนของเพลาคือเพลาข้อเหวี่ยง (RPM)

2.3.3 ความดันยังผลเฉลี่ย

ความดันยังผลเฉลี่ย (Mean Effective Pressure : MEP) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะเดียวกัน โดยไม่คำนึงถึงปริมาณในกระบอกสูบหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ หากเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่มีปริมาตรกระบอกสูบหนึ่งหน่วยเท่ากัน เครื่องยนต์จะสามารถผลิตงานได้มากน้อยเพียงใด (ชัยยง สิริพรมงคผลชัย, 2558) สำหรับเครื่องยนต์สี่เสล 4 จังหวะ แบบนำไอดีเข้าโดยธรรมชาติจะมีค่าความดันผลเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงประมาณ 700 ถึง 900 kPa (Willard W. Pullkrabek, 2003) หากพิจารณาจากกำลังเบรกเรียกว่า ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (Brake Mean Effective Pressure : BMEP) ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.5

$$BMEP = \frac{P_b n_R}{V_d N} \quad (2.5)$$

โดยที่ BMEP คือ ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (kPa)
 V_d คือ ปริมาตรกระบอกสูบ (m^3)
 n_R คือ จำนวนรอบการหมุนของเพลาคือเพลาข้อเหวี่ยงที่ได้กำลัง 1 ครั้งต่อสูบ

2.3.4 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption : SFC) คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวลต่อกำลังหนึ่งหน่วยที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ภายในระยะเวลาหนึ่งหน่วย (ชัยยง ศิริพรมงคลชัย, 2558) โดยการทดสอบเครื่องยนต์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะถูกวัดเป็นอัตราการไหลของมวล ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นการเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่มีขนาดแตกต่างกันในรูปแบบของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption : BSFC) ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังเบรกที่ผลิตออกมา โดยคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.6

$$BSFC = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \quad (2.6)$$

โดยที่ BSFC คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (g/kW-hr)

\dot{m}_f คือ อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง (kg/s)

2.3.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency : η_{th}) คือ ความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล (ชัยยง ศิริพรมงคลชัย, 2558) หรืออัตราส่วนของงานที่ส่งออกต่อพลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ (N.K. Giri, 2011) ซึ่งเป็นส่วนที่มีสำคัญอีกอย่างหนึ่งสำหรับการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล ทั้งนี้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสามารถหาได้หลายกรณี บางครั้งหาได้จากกำลังบ่งชี้เรียกว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (Indicated Thermal Efficiency : η_i) หรือหาได้จากกำลังเบรกเรียกว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency : η_b) ดังแสดงในสมการที่ 2.7

$$\eta_b = \frac{P_b}{\dot{m}_f Q_{HV}} \quad (2.7)$$

โดยที่ η_b คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก

Q_{HV} คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (kJ/kg)

2.3.6 ความดันในกระบอกสูบ

ความดันในกระบอกสูบ (In - Cylinder Pressure) คือ ความดันที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมมองเสาเพลาคือเหวี่ยงต่าง ๆ ในช่วงจังหวะการอัดและจังหวะการคายของวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ และเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการวัดอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของพลังงานเคมีในน้ำมันเชื้อเพลิง โดยสามารถวัดได้ด้วยการติดตั้งทรานสดิวเซอร์ความดัน เพื่อวัดความดันที่บริเวณห้องเผาไหม้

2.3.7 อัตราการปลดปล่อยความร้อน

อัตราการปลดปล่อยความร้อน (Rate of Heat Release : ROHR) คือ อัตราที่พลังงานเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ โดยคำนวณจากความสัมพันธ์ของความดันในกระบอกสูบ และปริมาตรที่มุมมองเสาเพลาคือเหวี่ยงต่าง ๆ ด้วยกฎข้อที่ 1 ทางเทอร์โมไดนามิกส์ภายใต้สมมติฐานกระบวนการโพลีโทรปิก (Polytropic) ซึ่งสามารถแสดงดังสมการที่ 2.8

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (2.8)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อน

γ คือ อัตราส่วนของค่าความร้อนจำเพาะ (c_p/c_v)

θ คือ องศาเพลาคือเหวี่ยง ($^{\circ}\text{CA}$)

P คือ ความดันในห้องเผาไหม้ (Bar)

V คือ ปริมาตรในห้องเผาไหม้ (m^3)

2.3.8 สัมประสิทธิ์ของความแปรผัน

สัมประสิทธิ์ของความแปรผัน (Coefficient of Variation : COV) เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญที่ใช้วัดความแปรผันของวัฏจักร ซึ่งได้จากข้อมูลความดันในกระบอกสูบ โดยเป็นสัมประสิทธิ์ของความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (Indicated Mean Effective Pressure : IMEP) (John B. Heywood, 1998) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$COV = \frac{\sigma_{imep}}{imep} \times 100 \quad (2.9)$$

2.4 น้ำมันขยะพลาสติก

2.4.1 บทนำ

การใช้พลาสติกทั่วโลกนั้นมีอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการสำรวจที่ผ่านมาพบว่า ในแต่ละปีทั่วโลกมีอัตราการใช้พลาสติกเพิ่มสูงขึ้น 4 เปอร์เซ็นต์ (Miandad et al., 2017) และหากพิจารณาในช่วง 40 ปีที่ผ่านมา อุตสาหกรรมพลาสติกทั่วโลกนั้นมีการเติบโตเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์จำพวกพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น โพลีเอทิลีน (PE) โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) โพลิสไตรีน (PS) และโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเกือบ 100 เท่า ตลอดระยะเวลา 4 ทศวรรษ ซึ่งพลาสติกเหล่านี้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในชีวิตประจำวัน อาทิเช่น แพ้ชั้นบรรจุภัณฑ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน ผลิตภัณฑ์ยานยนต์ และอากาศยาน เป็นต้น (Othman et al., 2017) เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติที่มีความทนทาน น้ำหนักเบา และราคาถูก จากสถานการณ์ดังกล่าวจึงก่อให้เกิดปริมาณขยะพลาสติกขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งขยะพลาสติกเหล่านี้เป็นขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ และต้องใช้เวลาหลายร้อยปีในการย่อยสลาย ดังนั้น วิธีการจัดการขยะพลาสติกส่วนใหญ่จึงเป็นการฝังกลบในหลุมฝังกลบหรือเผาทำลายในเตาเผาขยะ ซึ่งเป็นวิธีการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก

ในปัจจุบันได้มีการนำขยะพลาสติกบางประเภทมาคัดแยกเพื่อนำกลับไปผ่านกระบวนการรีไซเคิลเป็นเม็ดพลาสติกสำหรับเป็นวัตถุดิบในโรงงานผลิตพลาสติก แต่การจัดการดังกล่าวยังมีอัตราส่วนไม่มากเมื่อเทียบกับปริมาณของขยะพลาสติกที่เกิดขึ้น สำหรับประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 – 2559 พบว่า มีปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกกำจัดอย่างถูกต้องร้อยละ 22 – 35 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์เพียงร้อยละ 14 – 21 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2559)

อย่างไรก็ตาม ขยะพลาสติกบางส่วนถูกนำมาแปรรูปเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงหรือที่เรียกว่า น้ำมันขยะพลาสติก เนื่องจากผลิตภัณฑ์พลาสติกมีแหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียมซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สำหรับการแปรรูปขยะเป็นพลังงานนั้นมีการดำเนินการโดยใช้เทคโนโลยีอยู่หลายวิธี ได้แก่ กระบวนการทางความร้อน กระบวนการทางชีวเคมี และกระบวนการทางเคมี ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีมีข้อดีและข้อจำกัดที่ต่างกันไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ เช่น ประเภทของขยะ สถานที่ที่ใช้จัดการขยะ ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และความพร้อมด้านการลงทุน ซึ่งตั้งแต่ราคาน้ำมันมีราคาสูงขึ้น การผลิตเชื้อเพลิงจากขยะได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในประเทศไทย มีผู้ประกอบการหลายรายได้นำเอากระบวนการดังกล่าวไปใช้ในการผลิตพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ส่วนใหญ่มักจะเป็นระดับเครื่องต้นแบบที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อทดสอบการผลิต บางแห่งมีการผลิตในโรงงานขนาดเล็ก และผลผลิตที่ได้นั้นก็จะถูกขาย

เป็นน้ำมันทดแทนน้ำมันเตาหรือใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง (ศิริรัตน์ จิตการคำ, 2551) และเทคโนโลยีที่นิยมกันมากที่สุดคือ กระบวนการทางความร้อนเพื่อผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเหลว

2.4.2 การเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำมันขยะพลาสติก

การเตรียมวัตถุดิบเป็นตัวแปรสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นพลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งขยะพลาสติกมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเช่นเดียวกับน้ำมัน แต่มีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่า โดยที่น้ำมันดีเซลมีจำนวนคาร์บอนที่ 12–20 อะตอม และน้ำมันเบนซินที่ 6–12 อะตอม ซึ่งพลาสติกเป็นโซ่ที่ยาวมากมีจำนวนคาร์บอนเป็นพันเป็นหมื่น อะตอมขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์นั้น ๆ การที่จะทำให้พลาสติกเป็นน้ำมันได้จำเป็นต้องตัดโซ่พันธะให้สั้นลง ขยะพลาสติกทั่วไปมีหลายประเภทที่สามารถนำมาผลิตน้ำมันได้ โดยอาจให้ปริมาณและผลผลิตที่แตกต่างกัน

โดยพื้นฐานแล้ววัตถุดิบพลาสติกแต่ละประเภทจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน จากผลรายงานการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) ซึ่งเป็นวิธีในการตรวจวัดคุณสมบัติทางเคมีขององค์ประกอบพลาสติก ได้แก่ ปริมาณความชื้น (Moisture Content) ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) และปริมาณเถ้า (Ash Content) (Anuar Sharuddin et al., 2016) ดังตารางที่ 2.3 โดยปริมาณสารระเหยและปริมาณเถ้าเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันเหลวในกระบวนการไพโรไลซิส กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณสารระเหยที่สูงจะช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันเหลว ในทางกลับกันถ้ามีปริมาณเถ้ามากจะส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันเหลวลดลง ดังนั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและของแข็งเพิ่มขึ้น (Abnisa et al., 2014)

ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์แบบประมาณของพลาสติก (Anuar Sharuddin et al., 2016)

ประเภทของพลาสติก	Moisture Content (%wt)	Fixed Carbon (%wt)	Volatile Matter (%wt)	Ash Content (%wt)
โพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต	0.61	13.17	86.83	0.00
โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง	0.00	0.03	98.57	1.40
โพลีไวนิลคลอไรด์	0.74	5.19	94.82	0.00
โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ	0.30	0.00	99.70	0.00
โพลีโพรไพลีน	0.18	0.16	97.85	1.99
โพลิสไตรีน	0.30	0.20	99.50	0.00
โพลีเอทิลีน	0.10	0.04	98.87	0.99

ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่า ปริมาณสารระเหยของพลาสติกทั้งหมดมีปริมาณสูงมาก ขณะที่ปริมาณแก๊สมีปริมาณค่อนข้างต่ำ คุณลักษณะเช่นนี้บ่งบอกถึงพลาสติกมีศักยภาพที่สูงในการนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิส

ทั้งนี้ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ผลิตภัณฑ์น้ำมันขยะพลาสติกที่ผ่านการเตรียมวัตถุดิบด้วยเทคโนโลยีการจัดการขยะโดยเทคโนโลยีการบำบัดขยะด้วยวิธีการแบบเชิงกล - ชีวภาพ (Mechanical and Biological Waste Treatment : MBT) ซึ่งการบำบัดขยะมูลฝอยด้วยวิธี MBT สามารถลดระยะเวลาในการหมักเหลือเพียง 1 เดือน โดยอาศัยเทคโนโลยีการกลับกองขยะด้วยสกรูในแนวตั้ง (Vertical Agitators) ซึ่งจะทำให้ขยะด้านล่างมีโอกาสสัมผัสอากาศได้มากขึ้น ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนด้านล่างของกองขยะที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น

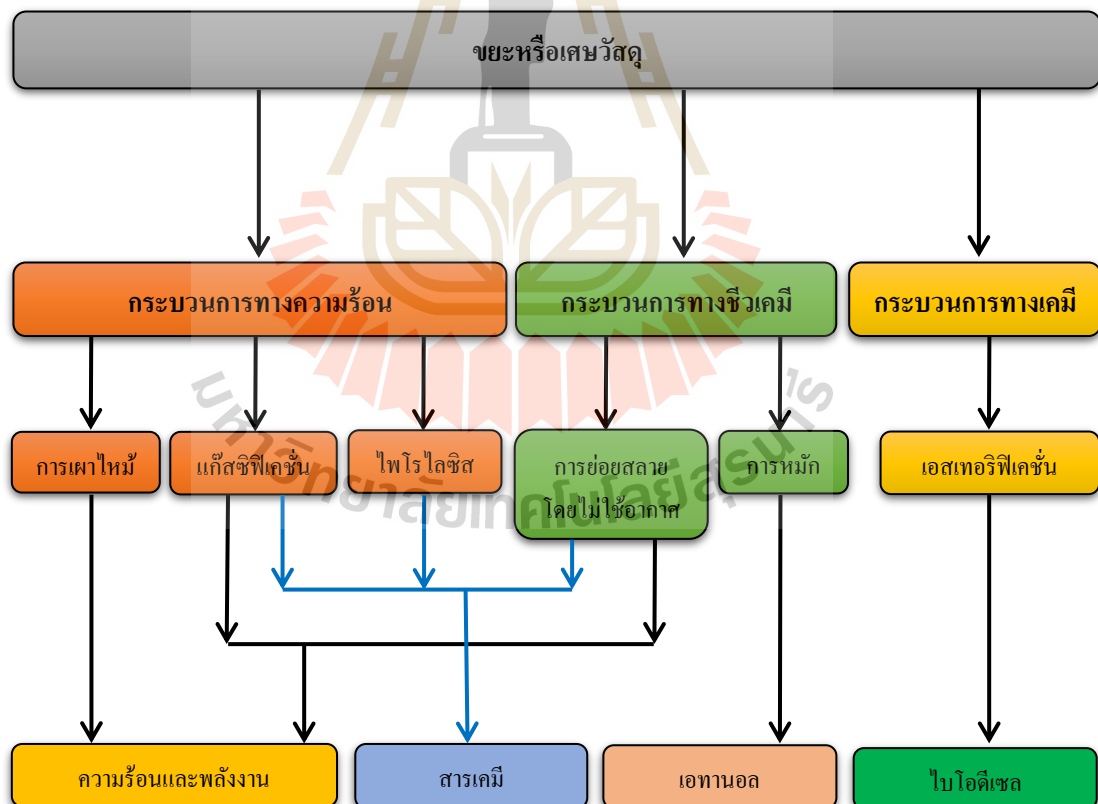
กระบวนการทำงานเริ่ม โดยการคัดแยกขยะรีไซเคิลได้โดยใช้แรงงานคนบนสายพานคัดแยก ส่วนขยะที่เหลือทั้งขยะอินทรีย์และขยะอนินทรีย์จะถูกส่งเข้าสู่เครื่องสับหยาบเพื่อลดปริมาตร จากนั้นจะถูกลำเลียงเข้าสู่โรง MBT ซึ่งออกแบบให้เป็นระบบกวนผสมเพื่อเติมอากาศ ประสิทธิภาพการย่อยสลายสูง และมีเสถียรภาพปราศจากกลิ่น จากนั้นขยะชุมชนจากกระบวนการหมักในระบบ MBT จะส่งเข้าสู่เครื่องคัดแยกแบบตะแกรงหมุนและได้ส่วนประกอบคือ 1) อินทรีย์สารผงละเอียดสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน 2) ขยะพลาสติกหรือเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel : RDF) โดย RDF - 3 สามารถนำไปทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในโรงงานอุตสาหกรรมได้ หรือนำมาผลิตเป็น RDF - 5 ด้วยเครื่องจับก้อน เพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงงานผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยระบบไพโรไลซิส ดังรูปที่ 2.4 และ 3) มูลฝอยเหลือทิ้งเป็นอินทรีย์สารผสมพลาสติกถูกนำไปกำจัดควบคู่กับการผลิตพลังงาน โดยใช้ระบบเผาไหม้ขั้นสูงด้วยเทคโนโลยีพลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน (ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล, 2560)



รูปที่ 2.4 เชื้อเพลิงขยะ RDF-5 (Refuse Derived Fuel : RDF-5)

2.4.3 เทคโนโลยีการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก

กระบวนการเปลี่ยนขยะให้เป็นพลังงานนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ กระบวนการทางความร้อน กระบวนการทางชีวเคมี และกระบวนการทางเคมี ดังรูปที่ 2.5 โดยกระบวนการทางความร้อนนั้น แบ่งแยกย่อยออกเป็นการเผาไหม้ (Combustion) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) และกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) หรือกระบวนการลิกวิแฟกชัน (Liquefaction) กระบวนการทางชีวเคมีเป็นการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยขยะโดยผ่านปฏิกิริยาเชิงชีวเคมี ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นกระบวนการย่อยสลายโดยไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) และการหมัก (Fermentation) ส่วนกระบวนการเชิงเคมีนั้นเป็นการเปลี่ยนขยะให้เป็นผลผลิตโดยผ่านปฏิกิริยาเคมี ซึ่งปฏิกิริยาที่เห็นได้ชัดคือ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เปลี่ยนน้ำมันพืชหรือน้ำมันพืชใช้แล้วให้เป็นไบโอดีเซล ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาการเปลี่ยนขยะพลาสติกไปเป็นพลังงานเชื้อเพลิงโดยผ่านกระบวนการในเชิงความร้อน



รูปที่ 2.5 กระบวนการเปลี่ยนขยะเป็นพลังงานและผลผลิตที่ได้
(ศิริรัตน์ จิตการคำ, 2551)

หลักการทางความร้อนที่จะเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นพลังงานแปรรูปที่มีค่าความร้อนสูงกว่าอย่างก๊าซเชื้อเพลิงและน้ำมันนั่นคือ กระบวนการที่เรียกว่า “กระบวนการพีจีแอล (PGL Process)” ซึ่งย่อมาจากกระบวนการย่อย 3 กระบวนการคือ กระบวนการไพโรไลซิส กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน และกระบวนการลิกวิแฟกชัน โดยทั้ง 3 กระบวนการมีความเหมือนกันคือ กระบวนการที่ให้ความร้อนแก่สารใดสารหนึ่ง เพื่อย่อยสลายโมเลกุลของสารนั้นให้มีขนาดเล็กลงในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนน้อยมาก แต่ด้วยกระบวนการผลิตและสถานะที่มีความแตกต่างกัน ทำให้กระบวนการไพโรไลซิสจะให้ก๊าซและน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะให้ก๊าซสังเคราะห์ (ไฮโดรเจนรวมตัวกับคาร์บอนมอนอกไซด์) และกระบวนการลิกวิแฟกชันนั้นอาจจะมีการเติมตัวทำละลายเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ด้วย เพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตน้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ซึ่งทั้ง 3 กระบวนการนี้สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

1) กระบวนการไพโรไลซิส

กระบวนการไพโรไลซิส คือ กระบวนการแตกตัวหรือสลายตัวของสารประกอบหรือวัสดุต่าง ๆ ด้วยความร้อนขนาดปานกลางที่อุณหภูมิประมาณ 400 – 800 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนในปริมาณที่น้อยมาก โดยทั่วไปผลผลิตที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามสถานะคือ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซ (Gas) ของเหลว (Liquid) และของแข็ง (Char) เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นปฐมภูมิ แต่ด้วยตัวกระบวนการของไพโรไลซิสเองแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมากที่สุด คือ ของเหลวหรือน้ำมัน ส่วนก๊าซที่ได้นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการ

ความร้อนที่ให้แก่กระบวนการไพโรไลซิส เป็นความร้อนทางอ้อมที่ให้แก่เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแล้วถ่ายเทไปให้กับวัตถุดิบข้างใน อุณหภูมิโดยทั่วไปของกระบวนการไพโรไลซิสคือประมาณ 400 – 800 องศาเซลเซียสนั้น จะส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 วัฏภาคคือ ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วยขั้นแรกคือ การสลายตัวของสารที่ละเหยง่ายออกจากวัตถุดิบ ขั้นที่สองคือ เป็นการแตกตัวของวัตถุดิบเอง โดยที่องค์ประกอบที่สามารถแตกตัวได้ที่สภาวะที่ใช้ก็จะแตกตัวออกมาเป็น โมเลกุลที่เล็กลง และเล็กลงเรื่อย ๆ ตามเวลาที่ใช้หรืออุณหภูมิที่กำหนด จนกระทั่งเกิดการแตกตัวที่สมบูรณ์ของวัตถุดิบ โดยอุณหภูมิในแต่ละขั้นตอนแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ แต่การให้ความร้อนและเวลาที่มากไปสารที่ได้จากการแตกตัวของวัตถุดิบจะกลับมารวมตัวกันเป็น โมเลกุลขนาดใหญ่ ดังนั้น สภาวะที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสจะต้องขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ (ศิริรัตน์ จิตการคำ, 2551)

การไพโรไลซิสแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การไพโรไลซิสแบบช้า (Slow Pyrolysis) และแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) การไพโรไลซิสแบบช้าจะเกิดสมดุลในบริเวณช่วงแคบ โดยอัตราการให้ความร้อนจะช้าพอที่จะทำให้เกิดความสมดุลในบริเวณช่วงแคบ ในกรณีนี้ปริมาณและการกระจายของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับแนวของอุณหภูมิเดิม (Temperature History) ส่วนการไพโรไลซิสแบบรวดเร็วจะคำนึงถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงการให้ความร้อน แต่การไพโรไลซิสจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ของช่วงอุณหภูมิสุดท้าย (นฤมล ชูบัวทอง, 2550)

2) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน คือ กระบวนการที่เปลี่ยนแปลงวัตถุดิบต่าง ๆ ที่โดยพื้นฐานแล้วมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ (Carbonaceous Feedstock) ที่อุณหภูมิสูง (สูงเพียงพอที่ทำให้วัตถุดิบสลายตัวเป็นวัฏภาคก๊าซทั้งหมด โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 500 – 1,400 °C) ภายใต้บรรยากาศที่มีออกซิเจนจำกัด เพื่อผลิตก๊าซสังเคราะห์ (Synthesis Gas) ซึ่งเป็นก๊าซผสมระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) กับไฮโดรเจน (H) โดยมีก๊าซมีเทน (CH₄) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นผลิตภัณฑ์ร่วมโดยอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์กับไฮโดรเจนจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสถานะที่ใช้การทำแก๊สซิฟิเคชัน สำหรับออกซิเจนปริมาณจำกัดที่ใส่เข้าไปนั้นจะเข้าไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือปฏิกิริยาเผาไหม้วัตถุดิบบางส่วน (Partial Oxidation) และผลิตความร้อนซึ่งใช้ในการสลายตัวของวัตถุดิบส่วนใหญ่ขึ้นมา ดังนั้น กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจึงถือได้ว่าเป็นปฏิกิริยารุนแรงกว่ากระบวนการไพโรไลซิส

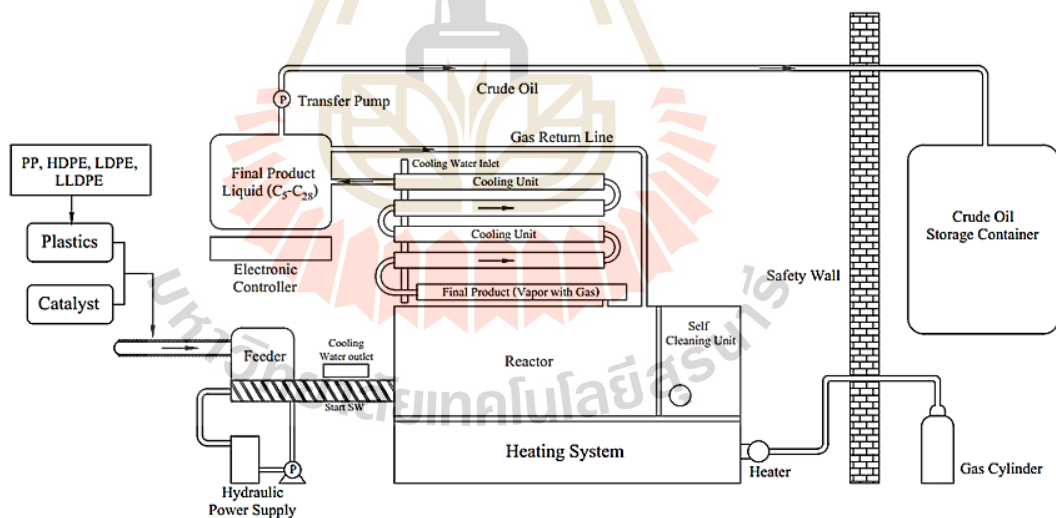
ปฏิกิริยาขั้นต้นของปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชันเหมือนกับปฏิกิริยาขั้นต้นในกระบวนการไพโรไลซิส กล่าวคือ เกิดการสลายตัวของสารระเหยง่ายออกจากวัตถุดิบ (Devolatilization) ส่วนปฏิกิริยาการสลายตัวหรือการแตกตัวที่ตามมาขึ้นขึ้นอยู่กับสถานะที่ใช้และก๊าซที่ใช้เป็นตัวกลาง เช่น อากาศ ออกซิเจน น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ หรือไฮโดรเจน

3) กระบวนการลิกวิเฟกชัน

กระบวนการลิกวิเฟกชัน คือ กระบวนการเปลี่ยนวัสดุที่อยู่ในวัฏภาคของแข็งให้เป็นของเหลว ซึ่งอาจจะกระทำได้โดยการใช้ความร้อนหรือความร้อนร่วมกับตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปประมาณ 200 – 400 องศาเซลเซียส ในบางครั้งที่อุณหภูมิในช่วงดังกล่าวสามารถทำให้เกิดความดันด้วยตัวเองภายในอุปกรณ์หรือปฏิกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ได้จากกระบวนการนี้จะอยู่ในรูปของของเหลว โดยมีการผลิตก๊าซในปริมาณที่น้อย สิ่งหนึ่งที่ควรคำนึงถึงก็คือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำนี้ วัตถุดิบหลายชนิดยังไม่เกิดการแตกตัวหรือแตกตัวไม่หมด เพียงแต่เกิดการหลอมเหลวเป็นสถานะของของเหลวเท่านั้น ดังนั้น การเลือกใช้กระบวนการนี้ในการเปลี่ยนแปลงของเสียให้เป็นพลังงาน ต้องคำนึงถึงวัตถุดิบที่ใช้

ด้วยว่ามีคุณลักษณะอย่างไร เมื่อผ่านกระบวนการแล้วได้ผลผลิตที่ต้องการจริง ๆ หรือไม่ ตัวอย่างของการใช้กระบวนการนี้ เช่น การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวจากพลาสติกประเภทพอลิโอลิฟินส์ ซึ่งทำที่อุณหภูมิประมาณ 250–400 องศาเซลเซียส ในกรณีนี้พลาสติกสามารถเกิดการแตกตัวได้ในอุณหภูมิดังกล่าว จึงทำให้ผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวที่เบาได้ ในทางตรงกันข้ามการนำกระบวนการนี้ไปใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงเหลวจากยางรถยนต์นั้น ที่อุณหภูมิดังกล่าวโมเลกุลของยางรถยนต์อาจจะมีการแตกตัวไม่หมด (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเวลาที่ให้ด้วย) โดยจะเกิดการหลอมเหลวกลายเป็นยางเหลวเท่านั้น จึงทำให้เกิดความเข้าใจผิดในบางครั้งว่า ผลผลิตที่ได้คือน้ำมัน แต่แท้ที่จริงคือเป็นยางหลอมเหลวผสมน้ำมัน เมื่อนำไปใช้ทดแทนน้ำมันทำให้เกิดเขม่าควันและมีกลิ่นเหม็นเหมือนยางไหม้อย่างรุนแรง โดยทั่วไปการทำลิกวิแฟกซ์ยางรถยนต์จะทำการที่ที่ต้องการหลอมเหลวหรือทำให้ยางแตกตัวเล็กน้อย เพื่อจะแยกเส้นลวดที่ขอบยางออกจากตัวเนื้อยางรถยนต์ได้ และเพื่อเป็นการเตรียมเนื้อยางเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิสหรือกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เพื่อผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง และก๊าซเชื้อเพลิงในขั้นตอนต่อไป

2.4.4 กระบวนการไพโรไลซิส



รูปที่ 2.6 กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process)

กระบวนการไพโรไลซิส คือ กระบวนการแตกตัวของพอลิเมอร์หรือการสลายตัวของสารประกอบด้วยกระบวนการทางความร้อนภายใต้สภาวะปราศจากอากาศหรือมีอากาศอยู่น้อยมาก โดยกระบวนการผลิตเริ่มจากการที่ขยะพลาสติกจะถูกอัดและส่งไปยังเตาหลอมพร้อมกับ

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนแก่พลาสติกในอ่างโลหะหลอมเหลว ความร้อนที่ใช้มีขนาดปานกลาง ที่อุณหภูมิ 400 – 800 องศาเซลเซียส ซึ่งถูกให้ความร้อนโดยแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ของ เชื้อเพลิง และพลาสติกหลอมเหลวจะเกิดการแตกตัวให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส หรือไอออกมาที่ อุณหภูมิของปฏิกิริยา (350 – 450 องศาเซลเซียส) หลังจากพลาสติกสลายตัวเป็นแก๊สแล้วก็จะถูก กักเก็บจากส่วนบนของเตาไปสู่หน่วยให้ความเย็น เพื่อควบแน่นไอกลายเป็นน้ำมันเหลวที่มีขนาด โมเลกุลไฮโดรคาร์บอนมากกว่า 5 อะตอม (มากกว่า C_5) ส่วนแก๊สที่ไม่ควบแน่น ($C_1 - C_4$) จะถูก ส่งกลับไปเผาไหม้ให้ความร้อนกับเตาหลอมต่อไป สิ่งปนเปื้อนที่ตกค้างที่ไม่หลอมเหลวหรือ หลอมเหลวไม่หมดจะถูกกำจัดออกทางสายพานลำเลียง ดังรูปที่ 2.6

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามสถานะคือ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส ของเหลว และของแข็ง ซึ่งอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ ที่ได้ขึ้นอยู่กับสถานะที่ใช้ เช่น ระบบการป้อนวัตถุดิบ อุณหภูมิ ความดัน อุณหภูมิสุดท้าย อัตราเร็ว ในการให้ความร้อน และบรรยากาศในปฏิกรณ์ เป็นต้น โดยสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก กระบวนการดังกล่าวภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.4 เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว มากลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกองค์ประกอบตามกรรมวิธีการกลั่นน้ำมันดิบแล้วจะได้องค์ประกอบที่ เป็นเนฟทา น้ำมันก๊าด น้ำมันแก๊สออยล์ชนิดเบา น้ำมันแก๊สออยล์ชนิดหนัก และกากน้ำมัน

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้น้ำมันขยะพลาสติกจากโรงงานผลิตน้ำมันจากขยะ พลาสติกที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสของศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โรงงานผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

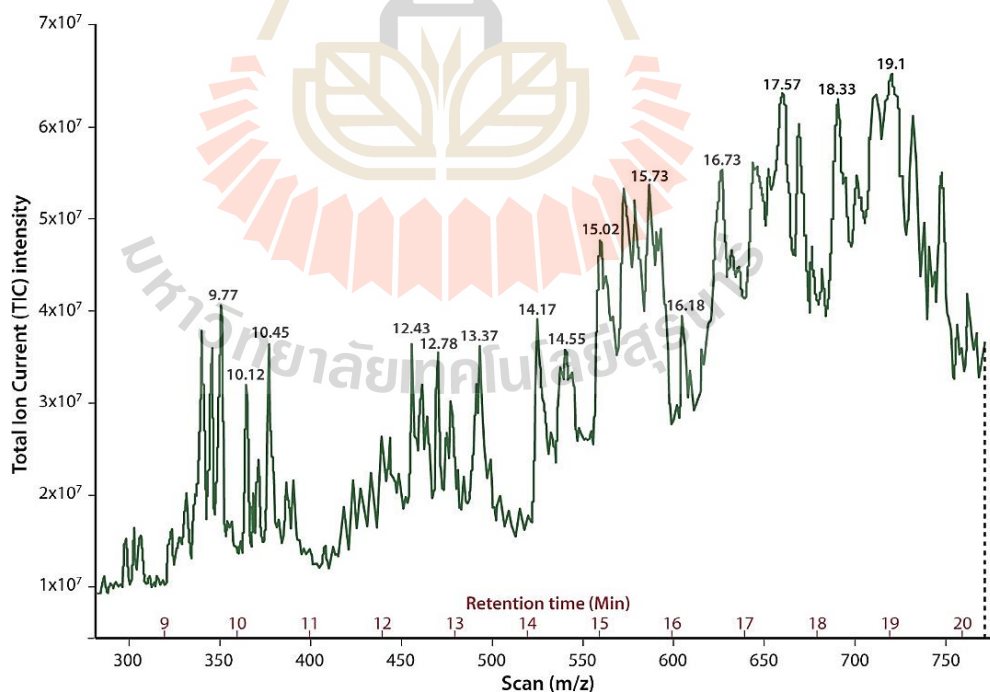
ตารางที่ 2.4 กระบวนการไพโรไลซิสภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ (Anuar Sharuddin et al., 2016; Miandad et al., 2017; Othman et al., 2017)

ประเภทของขยะพลาสติก	เครื่องปฏิกรณ์	สภาวะที่ใช้ในกระบวนการ				ผลผลิตสูงสุด		
		อุณหภูมิ (°C)	ความดัน	อัตราการให้ความร้อน (°C/min)	เวลา (min)	น้ำมัน (%wt)	แก๊ส (%wt)	ของแข็ง (%wt)
Polyethylene Terephthalate : PET	-	500	1 atm	6	-	38.89	52.13	8.98
High-Density Polyethylene : HDPE	Horizontal steel	350	-	20	30	80.88	17.24	1.88
Polyvinyl Chloride : PVC	Vacuum Batch	520	2 kPa	10	-	12.79	0.34	28.13
Polystyrene : PS	Pressurized Batch	425	0.31-1.6 MPa	10	60	97.00	2.50	0.50
Low-Density Polyethylene : LDPE	Pressurized Batch	425	0.8-4.3 MPa	10	60	89.50	10.00	0.50
Polyethylene : PE	-	450	-	10	75	25.00	62.00	13.00
Polypropylene : PP	Horizotal Steel	300	-	20	30	69.82	28.84	1.34
Mixed Plasetics (PS / PP)	-	450	-	10	75	25.00	69.90	5.10
Mixed Plasetics (PS / PE)	-	450	-	10	75	54.00	38.30	7.70
Mixed Plasetics (PP / PE)	-	450	-	10	75	24.00	51.20	24.80
Mixed Plasetics (PS / PE / PP)	-	450	-	10	75	49.00	47.10	3.90
Mixed Plasetics (PS / PE / PP / PET)	-	450	-	10	75	40.00	42.00	18.00
Mixed Plasetics (Over all)	-	400	1 atm	-	240	80.00	5.00	15.00

2.4.5 การนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์

1) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

น้ำมันเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากกระบวนการแปรรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส นั้น โดยทั่วไปแล้วจะมีองค์ประกอบคล้ายกับน้ำมันดิบ (รัตนยาภรณ์ ฉายศรี, 2555) ซึ่งจากการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติก โดยการนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph – Mass Spectrometer : GC-MS) พบว่า น้ำมันขยะพลาสติกจะมีองค์ประกอบสารประกอบอินทรีย์อยู่ในช่วง $C_{10} - C_{30}$ หากพิจารณาสัดส่วนโดยประมาณแล้วสามารถจำแนกเป็น C_{10} (61%), $C_{10} - C_{13}$ (2.4%), $C_{13} - C_{16}$ (8.5%), $C_{16} - C_{20}$ (4.1%), $C_{20} - C_{23}$ (7.6%), $C_{23} - C_{30}$ (16.4%) (Mani et al., 2011) ทั้งนี้ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ของน้ำมันขยะพลาสติกประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ทั้งหมดจำนวน 15 ชนิด และมีเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบอะโรมาติกอยู่ถึง 39 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.8 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกด้วยเครื่อง GC - MS

(Damodharan et al., 2017)

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติก (Damodharan et al., 2017)

Chemical Compounds	Molecular Formula	Molecular Weight (g/mole)	Retention Time (min)	Composition (%)
2, 2, 9 -Trimethyldec-5-ene-3, 8-dione	C ₁₃ H ₂₂ O ₂	210.3126	9.77	5.934
Ethyl dodecyl ether	C ₁₄ H ₃₀ O	214.3874	10.12	4.411
1-Dodecanol, 3, 7, 11-trimethyl	C ₁₃ H ₃₂ O	228.4140	10.45	10.905
1- Hexadecanol, 2-methyl	C ₁₇ H ₃₆ O	256.4671	12.43	2.472
3-Chloropropionic acid, octadecyl ester	C ₂₁ H ₄₁ ClO ₂	361.0020	12.78	3.141
4-Octadecanal	C ₁₈ H ₃₆ O	268.4778	13.37	11.025
2,5-Dimethyl-4-benzyl-pyridine	C ₁₄ H ₁₇ N	199.2884	14.17	10.691
2-Hexadecanol	C ₁₆ H ₃₄ O	242.4406	14.55	4.972
4-[1, 5-dimethylhexyl]-1-cyclohexenecarboxylic acid	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	238.4100	15.02	7.484
Z-5-Methyl-6-heneicosen-11-one	C ₂₂ H ₄₂ O	322.5683	15.73	8.057
cis- 1-Chloro-9-octadecene	C ₁₈ H ₃₅ Cl	286.9230	17.57	9.836
1-Methyl [tetramethylene] siloxyundec-2-ene	C ₁₆ H ₃₂ OSi	268.5100	16.73	4.448
Sprio [7H-cyclohepta[b]furan-7, 2'(5'H)-furan]-2, 5'(3H)-dione, octahydro-8-hydroxy-6, 8-dimethyl-3-methylene-(9Cl)	C ₁₅ H ₂₀ O ₅	280.3200	17.57	9.836
Xylofuranose, cyclic 1, 2:3, 5-bis[butylbonate]	C ₁₃ H ₂₄ B ₂ O ₅	281.9487	18.33	9.207
Toluene-4-sulfonic acid, 2, 7-dioxatricyclo-dec-10-yl ester	C ₁₅ H ₁₈ O ₃ S	310.3650	19.10	3.996

นอกจากนี้ คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของน้ำมันขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้วัตถุดิบพลาสติกประเภทต่าง ๆ นั้น พบว่ามีผลทำให้คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เนื่องจากโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีของวัตถุดิบและสภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวได้มีการศึกษาและวิจัยคุณสมบัติของน้ำมันขยะพลาสติกจากการใช้วัตถุดิบประเภทต่าง ๆ โดยทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันขยะพลาสติก อาทิเช่น ค่าความร้อนเชื้อเพลิง ความถ่วงเอพีไอ

ความหนืด ความหนาแน่น ปริมาณเถ้า เลขออกเทน จุดไหลเท จุดวาบไฟ จุดอะนินิน และ คัดซ์นิตีเซล โดยใช้วัตถุดิบที่เป็นขยะพลาสติกประเภทต่าง ๆ ได้แก่ โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และโพลีสไตรีน (PS) ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติก (Damodharan et al., 2017)

คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	ประเภทของขยะพลาสติก					
	PET	HDPE	LDPE	PVC	PP	PS
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (MJ/kg)	28.2	40.50	39.50	21.10	40.80	43.00
ความถ่วงเอพีไอ ที่ 60 °F	N.A	27.48	47.75	38.98	33.03	N.A
ความหนืด (mm ² /s)	0.90	5.08	5.56	6.36	4.09	1.4
ความหนาแน่น ที่ 15 °C (g/cm ³)	N.A	0.89	0.78	0.84	0.86	0.85
ปริมาณเถ้า (%wt)	N.A	0.00	0.02	N.A	0.00	0.006
เลขออกเทน MON (min)	N.A	85.30	N.A	N.A	87.60	N.A
เลขออกเทน RON (min)	N.A	95.30	N.A	N.A	97.80	90-98
จุดไหลเท (°C)	N.A	-5	N.A	N.A	-9	-67
จุดวาบไฟ (°C)	N.A	48	41	40	30	26.1
จุดอะนินิน (°C)	N.A	45	N.A	N.A	40	N.A
คัดซ์นิตีเซล	N.A	31.05	N.A	N.A	34.35	N.A

หมายเหตุ N.A หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ (Not Analysis)

คุณลักษณะของน้ำมันไพโรไลซิสหรือน้ำมันขยะพลาสติกเมื่อทำการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น จุดไหลเท จุดวาบไฟ และค่าความร้อนเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง ตารางที่ 2. แสดงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติกที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจากพลาสติกประเภทต่าง ๆ พบว่า พลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง โพลีโพรพิลีน และโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ มีค่าความร้อนเชื้อเพลิงมากกว่า 40 MJ/kg โดยถือว่าเป็นค่าพลังงานที่สูงและยังพบว่าความหนาแน่น (0.78 – 0.89 g/cm³) ความหนืด (0.90 – 5.56 mm²/s) และความถ่วงเอพีไอ (27.48 - 47.75) มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญเป็น

อย่างมากต่อการกระจายตัวเป็นละอองฝอยในการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติกบางส่วนยังคงมีค่าที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล อาทิเช่น จุดไหลเท จุดวาบไฟ จุดอะลนิน และดัชนีดีเซล เป็นต้น

2) สมรรถนะของเครื่องยนต์และคุณลักษณะการเผาไหม้

การนำผลิตภัณฑ์น้ำมันขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสมรรถนะและคุณลักษณะการเผาไหม้ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า กำลังของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการใช้น้ำมันดีเซลโดยทั่วไป (Hürdoğan et al., 2017) และน้ำมันขยะพลาสติกมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล ในทางตรงกันข้าม น้ำมันขยะพลาสติกมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันดีเซล (R. Kumar et al., 2016; Mani et al., 2010, 2011) อย่างไรก็ตาม นักวิจัยบางส่วนพบว่าน้ำมันขยะพลาสติกนั้นมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากความหนาแน่นและค่าความหนืดที่มากกว่าของน้ำมันขยะพลาสติกเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (Kaimal et al., 2015; V. K. Kaimal et al., 2016; Kalargaris et al., 2017)

นอกจากนี้ ผลของคุณลักษณะการเผาไหม้พบว่า ความดันในกระบอกสูบสูงสุด และอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล โดยมีสาเหตุมาจากคุณสมบัติของน้ำมันขยะพลาสติกที่มีค่าความหนืดที่สูงส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay) ที่ยาวกว่าน้ำมันดีเซล รวมถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีกว่าของน้ำมันขยะพลาสติก (Kaimal and Vijayabalan, 2015; Senthilkumar et al., 2016) ซึ่งช่วงความล่าช้าการเผาไหม้ที่ยาวกว่าของน้ำมันขยะพลาสติกนั้นเป็นสาเหตุทำให้ความดันในกระบอกสูบสูงสุดมีค่าเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 5 บาร์ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (Mani, Subash, et al., 2009) และอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศมีค่าสูงกว่า (Othman et al., 2017) แสดงผลการวิจัยที่ผ่านมา อาทิเช่น

S. Kumar et al. (2013) ได้ทำการศึกษสมรรถนะของเครื่องยนต์ และมลพิษจากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกที่เป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด 4 จังหวะ 2 สูบ ระบบฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (BTE) ของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระกรรม เนื่องจากน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล หากพิจารณาความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (BSFC) ของน้ำมันขยะพลาสติกจะมีค่าสูงกว่าเมื่อ

เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติก ทั้งนี้ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์

Kaimal and Vijayabalan (2015) ได้ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้น้ำมันขยะพลาสติก ซึ่งน้ำมันขยะพลาสติกสังเคราะห์จากวัตถุดิบขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นในชุมชนโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิส สำหรับการทดสอบจะทำการผสมน้ำมันขยะพลาสติกกับน้ำมันดีเซลที่ร้อยละ 25, 50 และ 75 โดยปริมาตร อ้างอิงกับน้ำมันดีเซล โดยการทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรม จากผลการทดสอบบ่งชี้ให้เห็นว่า น้ำมันขยะพลาสติกและน้ำมันขยะพลาสติกผสมทุกอัตราส่วนผสมมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และหากพิจารณาที่ภาระกรรมสูงสุดความดันในกระบอกสูบสูงสุด อัตราการปลดปล่อยความร้อน ระยะเวลาการเผาไหม้ และความล่าช้าในการเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกและน้ำมันขยะพลาสติกผสมมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่า คุณลักษณะการเผาไหม้นั้นมีสาเหตุหลักมาจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง

Kalargaris et al. (2017) ได้ศึกษาการเผาไหม้ สมรรถนะของเครื่องยนต์ และวิเคราะห์มลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้น้ำมันไพโรไลซิสจากพลาสติกประเภทต่าง ๆ ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ระบบฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ ซึ่งการทดสอบใช้น้ำมันเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันไพโรไลซิสกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ คือร้อยละ 25, 50, 75 และ 90 โดยปริมาตร ทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนภาระกรรมที่ 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของภาระกรรม ตามลำดับ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่ภาระกรรมสูงสมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกันกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของน้ำมันไพโรไลซิสมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย

3) มลพิษไอเสียของเครื่องยนต์

โดยทั่วไปแล้วเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลจะทำงานภายใต้การผสมบาง (Lean Mixture) ดังนั้น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จึงควรมีปริมาณที่ต่ำ ซึ่งคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน และถือว่าเป็นสารพิษที่ต้องได้รับการควบคุม โดยเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า คาร์บอนมอนอกไซด์ของน้ำมันขยะพลาสติกมีปริมาณสูงกว่าน้ำมันดีเซล เหตุผลเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ดังกล่าวไปข้างต้น เนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่าลดลง และไฮโดรคาร์บอนจะเพิ่มขึ้นในสภาวะภาระกรรมสูงขึ้น จากอัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มากขึ้น สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) น้ำมันขยะพลาสติกมีปริมาณสูงต่ำ

กว่าน้ำมันดีเซล เพราะการเผาไหม้ที่ล่าช้าส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ไม่สมบูรณ์ของคาร์บอนมอนอกไซด์

ทั้งนี้ การเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในกระบอกสูบ ปริมาณออกซิเจน และช่วงเวลาของการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งพบว่า ออกไซด์ของไนโตรเจนมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อใช้น้ำมันขยะพลาสติก โดยเหตุผลที่ออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจากอัตราการปลดปล่อยความร้อน และอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้น (Mani and Nagarajan, 2009; Mani et al., 2010) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ประกอบด้วยเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งในส่วนของไฮโดรคาร์บอนนั้นหมายถึงสารประกอบอินทรีย์ในสถานะแก๊ส และไฮโดรคาร์บอนในสถานะที่เป็นของแข็งคือ ฝุ่นละออง จากผลการวิจัยสังเกตได้ว่า ไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันขยะพลาสติกจะสูงกว่าน้ำมันดีเซล (Mani and Nagarajan, 2009) ซึ่งแสดงผลการวิจัยที่ผ่านมามีดังต่อไปนี้

Murugan et al. (2008) ได้ทดสอบเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องยนต์มลพิษไอเสีย และคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ระบบฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ โดยใช้น้ำมันไพโรไลซิสจากยางรถยนต์ผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ คือ 10, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลจากการทดสอบพบว่า ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำ (Smoke) มีปริมาณสูงกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากปริมาณอะโรมาติกที่สูงและความล่าช้าในการจุดระเบิดที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

V. K. Kaimal and P. Vijayabalan (2016) ได้ศึกษาเชื้อเพลิงพลังงานจากขยะพลาสติก และการประเมินศักยภาพในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงจากพลาสติกที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณมลพิษไอเสียมีปริมาณลดลงเมื่อใช้น้ำมันพลาสติกผสม โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันพลาสติกบริสุทธิ์ (PO) ควันดำ (Smoke) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ลดลง 22 และ 17.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับ PO25 (น้ำมันขยะพลาสติก 25% ต่อ น้ำมันดีเซล 75%) เปรียบเทียบกับน้ำมันพลาสติกบริสุทธิ์ ซึ่งโดยภาพรวมแล้วน้ำมันไพโรไลซิสสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในอนาคตได้

โดยจากการศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันขยะพลาสติกที่ผ่านมานี้ ปัจจัยด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย จากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลที่ภาระกรรมและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่าง ๆ ผู้วิจัยสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 สรุปผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันขยะพลาสติก

เชื้อเพลิง	สมรรถนะของเครื่องยนต์		คุณลักษณะการเผาไหม้		มลพิษไอเสีย					อ้างอิง
	ความสิ้นเปลือง เชื้อเพลิงจำเพาะเบรก	ประสิทธิภาพเชิง ความร้อนเบรก	ความดันใน กระบอกสูบ	อัตราการปลด ปล่อยความร้อน	NO _x	CO	CO ₂	HC	Smoke	
TPO - Diesel	-	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	↑	↑	↑	↑	↑	Murugan et al. (2008)
WPO - Diesel	-	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	↑	↑	↑	↑	↓	Mani, Subash, et al. (2009)
WPO - Diesel	-	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	↑	↑	↑	↓	↓	Mani et al. (2010)
WPO - Diesel	เพิ่มขึ้น	ลดลง	-	-	↑	↑	↓	↑	-	Mani et al. (2011)
WPO - Diesel	เพิ่มขึ้น	ลดลง	-	-	↑	↑	↓	↑	-	S. Kumar et al. (2013)
PPO - Diesel	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	↑	↑	↑	↑	↑	Devaraj et al. (2015)
WPO - Diesel	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	-	ลดลง	↓	↑	↓	↑	-	R. Kumar et al. (2016)
WPO - Diesel	เพิ่มขึ้น	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	↑	↑	↑	↑	-	Kalargaris et al. (2017c)
WPO - Diesel	เพิ่มขึ้น	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	↑	↑	↑	↑	-	Kalargaris et al. (2017a)

หมายเหตุ

↓

หมายถึง ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

↑

หมายถึง เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

2.5 ไบโอดีเซล

2.5.1 บทนำ

ไบโอดีเซล (Biodiesel) นับเป็นพลังงานทดแทนทางเลือกหนึ่งที่มีผู้สนใจศึกษากันอย่างมาก เนื่องจากมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่มีสารพิษ โดยวัตถุดิบในการนำมาผลิตได้มาจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียนจากธรรมชาติ เช่น ปาล์ม สบู่ดำ ถั่วเหลือง ละหุ่ง มะพร้าว และถั่วลิสง เป็นต้น การนำน้ำมันจากพืชและไขมันสัตว์มาเป็นพลังงานเชื้อเพลิงแท้จริงแล้วได้เกิดขึ้นตั้งแต่ พ.ศ. 2440 เมื่อรูดอล์ฟ ดีเซล (Rudolph Diesel) ได้คิดค้นประดิษฐ์เครื่องยนต์ดีเซลเป็นครั้งแรกของโลก และทดลองใช้น้ำมันถั่วลิสงกับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งได้นำมาแสดงเป็นครั้งแรกที่กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ในปี พ.ศ. 2443 และรูดอล์ฟ ดีเซล ได้กล่าวด้วยความเชื่อมั่นว่า “ในอนาคตการใช้น้ำมันจากพืชมาเป็นเชื้อเพลิงจะต้องมีความสำคัญต่อมวลมนุษยชนอย่างแน่นอน” เนื่องจากช่วงเวลานั้นมีน้ำมันปิโตรเลียมและถ่านหินในปริมาณที่มากเพียงพอในการใช้เป็นเชื้อเพลิง ไบโอดีเซลจึงไม่เป็นที่สนใจหรือแพร่หลายนัก

อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันความสนใจในการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงได้กลับมาเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจอีกครั้งหนึ่ง และเริ่มมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในการนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่กำลังจะหมดไป ดังที่กล่าวมาข้างต้นไบโอดีเซลนั้นเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียนในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ทั้งที่ใช้แล้วและยังไม่ได้ใช้ นำมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อปรับสภาพให้สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวิธีการผลิตไบโอดีเซลที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในปัจจุบันคือ การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ จนได้ผลผลิตออกมาเป็นไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงคล้ายน้ำมันดีเซล ซึ่งสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ก่อนการนำไปใช้ (วรวิภา จุฬาลักษณ์นกุล, 2558) เนื่องจากน้ำมันพืชมีค่าความหนืดที่สูง (30 – 200 cSt) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (4 cSt) ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและการกระจายตัวเป็นละอองฝอย ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ (Mushtaq Ahmad et al., 2013)

2.5.2 การเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลคือ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์หรือไตรกลีเซอไรด์ที่ได้มาจากพืชโดยผ่านกระบวนการทางเคมี ซึ่งวัตถุดิบสำหรับนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลสามารถจำแนกได้ 4 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ น้ำมันพืช (รับประทานได้ และรับประทานไม่ได้) ไขมันสัตว์ น้ำมันใช้แล้ว และสาหร่าย (Wan Ghazali et al., 2015) ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ประเภทของแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล

ประเภทวัตถุดิบ	วัตถุดิบน้ำมัน
น้ำมันพืช (Vegetable Oil)	น้ำมันพืชรับประทานได้ : ดอกทานตะวัน, เมล็ดเรพ, ไร่ข้าว, ถั่วเหลือง, มะพร้าว, ข้าวโพด, ปาล์ม, มะกอก, ถั่วพิสตาชิโอ, เมล็ดงา, ถั่วลิสง, ต้นฝิ่น และดอกคำฝอย เป็นต้น น้ำมันพืชรับประทานไม่ได้ : สบู่ดำ, หย่น้ำ, สะเดา, ละหุ่ง, โจโจบา, เมล็ดฝ้าย, เมล็ดลินิน, เมล็ดยาง เป็นต้น
ไขมันสัตว์ (Animal Fat)	ไขมันวัว, น้ำมันสีเหลือง, ไขมันไก่, น้ำมันจากปลา และไขมันหมู เป็นต้น
น้ำมันใช้แล้ว (Waste Oil)	น้ำมันใช้แล้วจากการประกอบอาหาร (น้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์) เป็นต้น
สาหร่าย (Algae)	สาหร่ายขนาดเล็ก และสาหร่ายสปิรูลิना เป็นต้น

โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้น้ำมันพืชเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากสามารถผลิตได้เป็นจำนวนมาก แต่การนำน้ำมันพืชที่รับประทานได้มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลนั้นเป็นการแย่งทรัพยากรอาหารของมนุษย์ และอาจส่งผลให้เกิดการขาดแคลนหรือทำให้ราคาของน้ำมันพืชสูงขึ้นมากจนไม่ก่อให้เกิดความคุ้มค่าในการนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ปัจจุบันจึงมีการศึกษาเพื่อหาแหล่งน้ำมันทดแทนที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล หรือก็คือน้ำมันพืชที่ไม่ถูกนำมาใช้เป็นอาหาร รวมถึงการใช้น้ำมันพืชใช้แล้วซึ่งไม่เหมาะสำหรับการบริโภคเพราะมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ หากนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลเพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จะเหมาะสมกว่า (วรวิติ จุฬาลักษณ์านุกูล, 2558)

นอกจากนี้ การศึกษาที่ผ่านมามีพบว่าน้ำมันพืชที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลนั้นสามารถให้ผลผลิตไบโอดีเซลในปริมาณที่สูง ดังตารางที่ 2.9 โดยเห็นได้ว่าปริมาณผลผลิตสูงสุด (Yield) ของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดเรพ น้ำมันทานตะวัน น้ำมันละหุ่ง น้ำมันใช้แล้ว และน้ำมันคาร์นิจา ซึ่งมีปริมาณผลผลิตที่ได้ประมาณ 82 – 97 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ วัตถุดิบที่นำมาผลิตไบโอดีเซล และเงื่อนไขของกระบวนการผลิตไม่ว่าจะเป็นสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโมลระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์ (สารตั้งต้น) อุณหภูมิ และระยะเวลาในระหว่างการทำปฏิกิริยา ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อผลผลิตที่ได้จากการนำเอาวัตถุดิบต่าง ๆ มาผลิตเป็นไบโอดีเซล ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.10 วิธีการผลิตไบโอดีเซลจากแหล่งวัตถุดิบต่าง ๆ

ตารางที่ 2.9 ปริมาณผลผลิตสูงสุดของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ

วัตถุดิบ	ผลผลิตสูงสุดที่ได้ (%)	อ้างอิง
น้ำมันปาล์ม (Palm Oil)	92.1	Suwanno et al. (2017)
น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean Oil)	93.2	Lin et al. (2009)
น้ำมันเมล็ดเรป (Rapeseed Oil)	94.6	Demirbas et al. (2011)
น้ำมันทานตะวัน (Sunflower Oil)	97.1	Mihaela et al. (2013)
น้ำมันละหุ่ง (Castor Oil)	82.5	Islam et al. (2014)
น้ำมันใช้แล้ว (Waste Oil)	92.2	Abdalla et al. (2013)
น้ำมันคารันจา (Karanja Oil)	97.0	Patel et al. (2017)

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำมันจากละหุ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นไบโอดีเซล เนื่องจากละหุ่งเป็นพืชที่ไม่สามารถนำมารับประทานได้ (Non – Edible Oil) ซึ่งข้อมูลรายละเอียดของแหล่งที่มา ลักษณะโดยทั่วไป และประโยชน์ของละหุ่ง สามารถกล่าวโดยสรุปดังนี้



รูปที่ 2.9 ต้นละหุ่ง (Castor Plant)

ละหุ่ง

เมล็ดละหุ่งมีสารพิษเจือปนอยู่ไม่สามารถใช้บริโภคได้ แต่ก็มีมีการปลูกและใช้ประโยชน์จากน้ำมันละหุ่งอย่างแพร่หลาย ในเขตร้อนและกึ่งร้อนของทวีปแอฟริกา เอเชีย และ

ยุโรปมาเป็นเวลาช้านาน มีถิ่นกำเนิดในประเทศเอธิโอเปีย ทวีปแอฟริกา ซึ่งละหุ่งจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและมีการซื้อขายมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์มาจนถึงปัจจุบัน เพราะเมล็ดละหุ่งสามารถนำมาสกัดน้ำมันและถูกใช้มากในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิเช่น การผลิตน้ำมันหล่อลื่น สี หมึกพิมพ์ น้ำมันขัดเงา สบู่ และลิปสติก เป็นต้น รวมถึงใช้กากหลังการสกัดเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ เพราะมีโปรตีนสูง แต่ต้องกำจัดสารพิษก่อน ปัจจุบันได้รับความนิยมน้อยลงเพราะมีการใช้น้ำมันจากแหล่งอื่นมาใช้แทน ซึ่งทั่วโลกผลิตละหุ่งได้ประมาณปีละ 3 – 4 แสนตัน บราซิลเป็นผู้ผลิตรายใหญ่ รองลงไปได้แก่ อินเดีย รัสเซีย จีน ไทย และอาร์เจนตินา ในประเทศไทยผลิตละหุ่งปลูกมากตามชายป่าหรือเชิงเขาในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลักษณะทั่วไปของละหุ่ง

ละหุ่งอยู่ในวงศ์ยางพารา (Euphobiaceae) เช่นเดียวกับยางและมันสำปะหลัง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ricinus Communis L.* ซึ่งในภาษาละตินหมายความว่า “เห็บของหมา” เนื่องจากเมล็ดละหุ่งมีลักษณะและลวดลายคล้ายกัน ละหุ่งมีหลายพันธุ์ซึ่งมีทรงต้น ใบ ช่อดอก และเมล็ดมีรูปร่าง ขนาด และสีที่แตกต่างกันอย่างหลากหลาย แต่อาจจำแนกออกได้เป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ ประเภทล้มลุกหรืออายุสั้นกว่าหนึ่งปี และประเภทยืนต้น ซึ่งมีอายุเกินหนึ่งปี (อาจถึง 10 ปี) ทรงต้นของละหุ่งอาจสูงตั้งแต่ 1 เมตร ไปจนถึง 10 เมตร รากละหุ่งประกอบด้วยรากแก้ว ซึ่งอาจหยั่งลงในดินได้ลึกถึง 6 เมตร ทำให้ละหุ่งทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี ส่วนรากแขนงและรากฝอยเกิดจากรากแก้วประสานกันเป็นกระจุกแน่นอยู่ใต้ผิวดินในระยะลึก 30 เซนติเมตร ละหุ่งมีทรงต้นเป็นพุ่มตรงที่ข้อของลำต้นที่มีใบแตกออกมา ต้นละหุ่งมีสีเขียว แดง หรือม่วง เมื่อต้นละหุ่งเติบโตมีใบหรือข้อประมาณ 6 - 12 ใบ จะมีช่อดอกเกิดขึ้นที่ยอด ในขณะที่ข้อแรกกำลังออกดอกติดฝักจะมีกิ่งซุดแรกแตกออกจากลำต้นได้ช่อดอกแรกอีกสองถึงสามกิ่ง เมื่อกิ่งซุดแรกมีช่อดอกเกิดขึ้นที่ยอดกิ่งซุดที่สองก็จะแตกออกจากกิ่งซุดแรก และมีกิ่งซุดที่สามแตกออกจากซุดที่สอง และกิ่งซุดต่อ ๆ ไปเกิดขึ้นตามลำดับ ทำให้ลำต้นมีการเจริญเติบโตอย่างสลับเนื่องไปตามลำดับ โดยเฉพาะในละหุ่งประเภทยืนต้นซึ่งมีอายุหลายปี แต่สำหรับละหุ่งประเภทอายุสั้นนั้นการเจริญเติบโตจะสิ้นสุดหลังการแตกกิ่งซุดที่สองหรือที่สามแล้วทั้งต้นจะแห้งตายไปในที่สุด

ผลของละหุ่งส่วนใหญ่มีหนามภายในผลละหุ่งแบ่งออกเป็น 3 พู และแต่ละพูจะมีหนึ่งเมล็ด ขนาดของผลก็ขึ้นอยู่กับขนาดของเมล็ด ดังรูปที่ 2.10 เมื่อผลละหุ่งแก่จะแตกออกตามรอยเชื่อมระหว่างพูทำให้เมล็ดร่วงไป โดยเมล็ดละหุ่งมีขนาด รูปร่าง สี และลายบนเปลือกแตกต่างกันไปตามพันธุ์ แต่โดยทั่วไปแล้วมีลักษณะคล้ายคลึงกับตัวเห็บคือ เมล็ดค่อนข้างกลม น้ำหนัก 100 เมล็ด ประมาณ 20 – 60 กรัม มีเปลือกข้างนอกแข็ง ละหุ่งที่ปลูกเป็นการค้ามีน้ำมัน

ในเมล็ดประมาณร้อยละ 40 – 60 มีสารพิษไรซินและไรซินินเจือปนอยู่ หากรับประทานเข้าไปจะทำให้เกิดอาการอาเจียน ท้องร่วง ง่วงนอน มีไข้สูง และทำให้เม็ดเลือดแดงแข็งตัว ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายถึงชีวิต



รูปที่ 2.10 ผล (ฝัก) ของละหุ่ง

การใช้ประโยชน์จากละหุ่ง

เมล็ดละหุ่งถือเป็นผลิตภัณฑ์จากต้นละหุ่งที่สำคัญและมีมูลค่าสูงสุด เมล็ดที่กะเทาะเปลือกออกแล้วจะเข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมัน ซึ่งถูกนำไปใช้หลายด้าน ได้แก่ ในทางการแพทย์ (สารหล่อลื่นภายนอก ส่วนผสมของยาถ่าย) ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอุตสาหกรรม (น้ำมันหล่อลื่น น้ำมันขัดเงา สีทาบ้าน หมึกพิมพ์ ทำสบู่ ลิปสติก) และใช้เป็นส่วนผสมของยาป้องกัน และกำจัดศัตรูพืชหรือใช้ฉีดพ่นในแปลงผักโดยตรง

ในละหุ่งพันธุ์สีม่วงแดงนำยอดอ่อนมาต้มทำให้ฝ้ายสีเขียวอมเหลือง ส่วนเปลือกผลสีแดงนำมาต้มฝ้ายเช่นกันจะให้ฝ้ายเป็นสีชมพู ลำต้นใช้เป็นวัตถุดิบผลิตกระดาษสา และในส่วนของกากละหุ่งนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น กากละหุ่งหลังสกัดน้ำมันใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ เพราะกากที่เหลือมีโปรตีนและไขมันสูง ทั้งนี้กากเมล็ดจะต้องนำเข้าสู่กระบวนการทำลายพิษก่อนนำไปใช้ และกากละหุ่งสามารถใช้คลุมผสมกับวัสดุเพาะเห็ดสำหรับเพาะเห็ดต่าง ๆ เป็นต้น

2.5.3 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล

กระบวนการผลิตและการนำไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาใช้งานนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ตั้งแต่การนำมาเจือจางหรือผสมโดยตรงกับน้ำมันดีเซล เพื่อลดความหนืด

ของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ซึ่งในปัจจุบันมี 3 วิธีหลักที่นิยมนำมาใช้ในการพัฒนาคุณภาพเพื่อลดความหนืดที่สูงของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ สำหรับการนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด โดยเรียกได้ว่าเป็นวิธีผลิตไบโอดีเซลคือ การทำไมโครอิมัลชัน การแตกสลายด้วยความร้อนหรือไพโรไลซิส และการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

1) การเจือจางหรือการผสม (Dilution or Blending)

การเจือจางหรือการผสมกับน้ำมันดีเซลโดยตรงนั้น คือ การนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง หรือน้ำมันหมู เป็นต้น ผสมกับน้ำมันดีเซลโดยตรงในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ซึ่งจากผลการศึกษาโดยทั่วไปแล้วพบว่า น้ำมันเชื้อเพลิงดังกล่าวสามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ได้ดีในระยะสั้น อย่างไรก็ตาม หากนำไปใช้ในระยะเวลาจะส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ ทั้งการนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลชนิดฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และชนิดฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยมีสาเหตุจากค่าความหนืดที่สูงของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ องค์ประกอบที่เป็นกรด ปริมาณกรดไขมันอิสระ การสะสมของคาร์บอน (Carbon Deposition) เกิดยางเหนียวเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ระหว่างการเก็บรักษาและการเผาไหม้ ส่งผลทำให้ระบบทางเดินน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการอุดตัน หรือทำให้หัวฉีดน้ำมันฉีดน้ำมันเป็นละอองฝอยได้ไม่ดี (Agarwal, 2007; วรวุฒิ จุฬาลักษณ์านุกูล, 2558)

2) การทำไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

การทำไมโครอิมัลชัน คือ คอลลอยด์ที่กระจายตัวในสภาวะสมดุลโดยมีอนุภาคในคอลลอยด์ส่วนมากอยู่ในช่วง 1 - 150 นาโนเมตร โดยใช้ควมก่อกับตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล และ 1 - บิวทานอล ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งเพื่อแก้ปัญหาค่าความหนืดสูงในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ให้มีค่าความหนืดลดลง ไมโครอิมัลชันที่เกิดจากเมทานอลกับน้ำมันพืชจะได้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ เมื่อทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ในระยะสั้นโดยใช้น้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการทำไมโครอิมัลชันพบว่า สมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ถึงแม้ว่าจะมีค่าเลขซีเทนและปริมาณพลังงานที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ระยะยาวพบว่า มีการสะสมตัวของคราบที่เป็นสารประกอบคาร์บอนเกาะรอบ ๆ หัวฉีด และวาล์วของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นข้อเสียของน้ำมันที่ผลิตโดยวิธีนี้ (Agarwal, 2007)

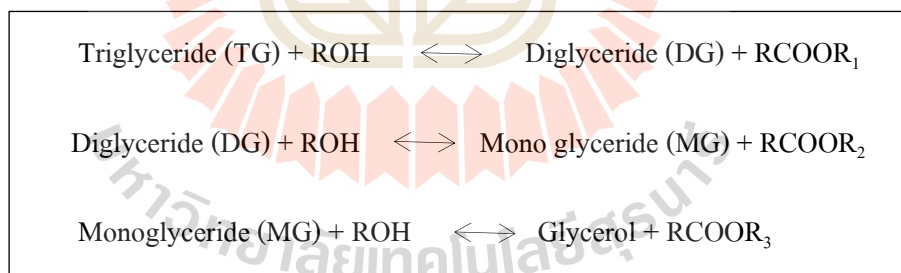
3) การแตกสลายด้วยความร้อนหรือไพโรไลซิส (Thermal Cracking or Pyrolysis)

กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนเป็นกระบวนการเปลี่ยนจากสารประกอบหนึ่งชนิดไปเป็นสารประกอบอื่น ๆ มากกว่าหนึ่งชนิด โดยใช้ความร้อนหรือใช้

ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้จะต้องจำกัดปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Wan Ghazali et al., 2015) อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการประมาณ 450 - 600 องศาเซลเซียส สารประกอบที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะถูกทำให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ซึ่งกระบวนการนี้ยากที่จะกำหนดหรือควบคุมให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ เนื่องด้วยความหลากหลายทางปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ วัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส ได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติและเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

4) การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification Reaction)

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนเคลื่อนย้ายหมู่แอลคิลของเอสเทอร์หรือไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ ซึ่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อยแบบผันกลับได้ 3 ขั้นตอนคือ โดยเริ่มจากไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ ตามลำดับ (Agarwal, 2007) และการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายโมโนกลีเซอไรด์เกิดเป็นกลีเซอรอล และทำให้เกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์ตัวใหม่ขึ้นหรือเมทิลเอสเทอร์ (Patel and Sankhavara, 2017) ได้แก่ สารจำพวกเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กลไกการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

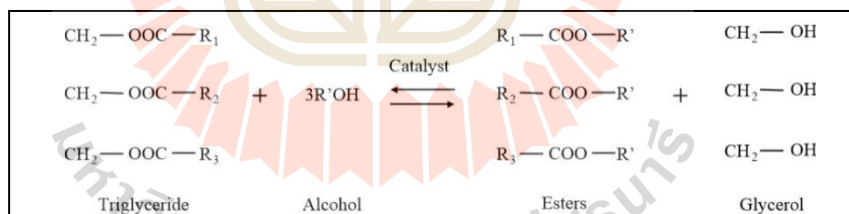
(Mahmudul et al., 2017)

2.5.4 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อผลิตไบโอดีเซลเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนั้นเป็นชื่อเรียกโดยทั่วไปของปฏิกิริยาอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ลดค่าความหนืดของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบ

อินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ และปรับปรุงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงให้มีลักษณะคล้ายกับน้ำมันดีเซล สามารถทำได้โดยการนำไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ทั้งที่ใช้แล้วและยังไม่ได้ใช้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับสารประเภทแอลกอฮอล์โซ่สั้น เช่น เมทานอล หรือเอทานอล ทั้งนี้เมทานอลจะเป็นที่นิยมมากที่สุดเนื่องจากมีราคาถูกเมื่อเทียบกับแอลกอฮอล์ชนิดอื่น อีกทั้งยังมีข้อดีในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีคือ เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก มีขั้ว คุณสมบัติดังกล่าวสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอลได้อย่างรวดเร็วและสามารถละลายตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดี สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยานั้นสามารถใช้ได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี กรด ต่าง หรือตัวเร่งชีวภาพ อาทิเช่น กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) หรือลิเพส เป็นต้น

สำหรับสัดส่วนในการทำปฏิกิริยาของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์แล้วพบว่า ใช้อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์เป็น 3 : 1 เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ แต่ในทางปฏิบัติต้องใช้อัตราส่วนที่มากกว่านั้น เนื่องจากจะให้ผลผลิตสูงสุดที่มากขึ้นและใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาล้นลง (Patel and Sankhvara, 2017) และเมื่อทำปฏิกิริยาจนเสร็จสมบูรณ์จะได้ผลผลิตออกมาเป็นกลีเซอรอล และเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือที่เรียกว่า “ไบโอดีเซล” ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

(Stephen R. Turns, 2012)

การเรียกชื่อของไบโอดีเซลขึ้นอยู่กับชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ยกตัวอย่างเช่น เอทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เอทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา หรือเมทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เมทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา ทั้งนี้การผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบต่าง ๆ นั้นจะมีวิธีการผลิตและเงื่อนไขของกระบวนการผลิตที่ต่างกัน ดังตารางที่ 2.10 ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ก็จะส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ตารางที่ 2.10 วิธีการผลิตไบโอดีเซลจากแหล่งวัตถุดิบต่าง ๆ

(Tamilselvan et al., 2017; Verma et al., 2016)

วัตถุดิบ	สารตั้งต้น	ตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วนโมล (Oil : Alcohol)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ผลผลิต (%)
Jatropha	Methanol	KOH	5 : 1	60	1	-
Mahua oil	Ethanol	Sulfuric acid	20 : 1	72 - 75	5	-
Palm oil	Methanol	NaOH	6 : 1	65	3	87.00
Pongamia	Methanol	KOH	20 : 3	55 - 65	0.75	-
Coriander seed oil	Methanol	CH ₃ ONa	6 : 1	60	1.5	94.00
Neem oil	Methanol	NaOH	3 : 1	55 - 61	6 - 7	95.00
Peanut seed oil	Methanol	NaOH	6 : 1	60	2	89.00
Rapeseed oil	Methanol	CaO	15 : 1	65	3	94.60
Rice bran oil	Methanol	KOH	6 : 1	70	1	94.00
Rubber seed	Methanol	H ₂ SO ₄	3 : 1	60	2	91.05
Soybean oil	Methanol	KOH	9 : 1	60	1	93.20
Sunflower	Methanol	NaOH	6 : 1	60	2	97.10
Waste cooking oil	Methanol	10%MgO/TiO ₂	50 : 1	170	-	91.60
Castor oil	Methanol	KOH	8 : 1	25 - 80	120	87.30

2.5.2 การนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์

1) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไบโอดีเซล

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไบโอดีเซลเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ และคุณลักษณะของการเกิดมลพิษ โดยปกติแล้วคุณสมบัติหลัก ๆ ของไบโอดีเซลที่ทำการพิจารณา ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น จำนวนซีเทน ค่าความร้อน เชื้อเพลิง จุดวาบไฟ จุดไหลเท เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่านักวิจัยบางส่วนได้กล่าวถึงปริมาณกรดไขมันอิสระ และองค์ประกอบทางเคมีของไบโอดีเซลว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของไบโอดีเซล ด้วยเหตุนี้ จึงมีข้อกำหนดในการตรวจวัดคุณสมบัติของไบโอดีเซลขึ้นตามมาตรฐาน ASTM D6751 และ EN 14214 ซึ่งเป็นมาตรฐานโดยทั่วไปสำหรับไบโอดีเซลที่จะนำไปใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ดังตารางที่ 2.11 แสดงคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากแหล่งวัตถุดิบต่าง ๆ จากตารางดังกล่าวจะเห็นได้ว่าคุณสมบัติของไบโอดีเซลจะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล (E et al., 2017)

ตารางที่ 2.11 คุณสมบัติเชิงฟิสิกส์ของไบโอดีเซลที่ผลิตจากวัตถุดิบต่าง ๆ (E et al., 2017)

คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	ประเภทของวัตถุดิบ			
	น้ำมันละหุ่ง	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันสบู่ดำ
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (MJ/kg)	37.6	37.2 - 39.9	37.3 - 39.7	42.67
ความหนาแน่น (kg/m ³)	928.7	870 - 878	855 - 914	873
ความหนืด (mm ² /s)	16.67	4.50 - 5.11	4.06 - 39.5	4.23
จำนวนซีเทน	48.9	50.0 - 62.0	37.0 - 51.3	-
จุดไหลเท (°C)	-	8	-	4.2
จุดวาบไฟ (°C)	-	173	69 - 163	148
จุดติดไฟ (°C)	-	182	-	-
จุดขุ่น (°C)	-	14	-	10.2

ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในไบโอดีเซลด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography : GC) พบว่า มีกรดไขมันหลักที่พบในไบโอดีเซลจากแหล่งวัตถุดิบต่าง ๆ คือ กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก กรดปาล์มติก กรดสเตียริก กรดริซิโนเลอิก กรดปาล์มโทเลอิก และกรดลิโนเลนิก เป็นต้น ดังตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 องค์ประกอบของกรดไขมันในไบโอดีเซล (E et al., 2017; Mubofu, 2016)

กรดไขมัน	น้ำมันละหุ่ง	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันสบู่ดำ
กรดโอเรอิก (C18:1)	3.00	38.60	21.27 - 23.26	41.62 - 49.39
กรดลิโนเลอิก (C18:2)	4.20	6.60	53.70 - 55.53	33.00 - 36.99
กรดปาล์มติก (C16:0)	1.00	49.80	11.70 - 11.75	13.23 - 16.00
กรดสเตียริก (C18:0)	1.00	2.90	3.15 - 3.97	5.40 - 7.00
กรดปาล์มโทเลอิก (C18:1)	-	-	-	0.85
กรดลิโนเลนิก (C18:3)	0.30	0.40	6.31 - 8.12	0.22 > 0.80
กรดอะราซดิก (C20:0)	-	-	1.23	0.20
กรดมาจาริก (C17:0)	-	-	-	0.10
กรดไมริสติก (C14:0)	-	1.10	-	-
กรดลอริก (C12:0)	-	0.20	-	-
กรดริซิโนเลอิก (C18:1 OH)	89.50	-	-	-
กรดไดไฮดรอกซีสเตียริก	0.70	-	-	-

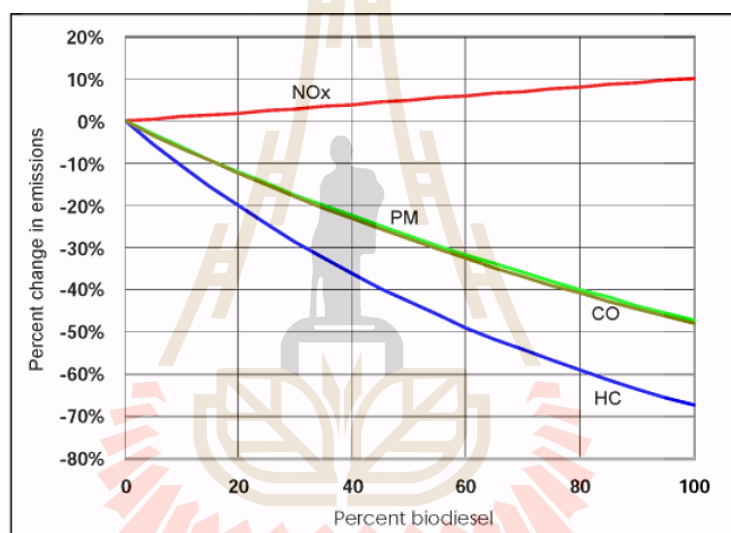
1) สมรรถนะของเครื่องยนต์และคุณลักษณะการเผาไหม้

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการบ่งชี้สมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ได้แก่ กำลังเบรก ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก จากผลการวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้ไบโอดีเซลจากแหล่งวัตถุดิบต่าง ๆ ผสมกับน้ำมันดีเซล โดย Murillo et al. (2007) พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วส่งผลให้พลังงานที่ได้จากเครื่องยนต์มีค่าลดลงประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกับน้ำมันดีเซล และ Kalam et al. (2011) ได้รายงานผลการผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม และไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันดีเซลที่ 5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้กำลังเบรกของเครื่องยนต์ลดลง 1.2 เปอร์เซ็นต์ และ 0.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากไบโอดีเซลมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับ Altaie et al. (2015) โดยพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มทำให้แรงบิดเบรก (Brake Torque) มีค่าลดลง การลดลงของกำลังเบรคน่าจะมาจากค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ต่ำของไบโอดีเซล และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคนั้นจะมีค่ามากขึ้นตามสัดส่วนของไบโอดีเซลมีเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ หากพิจารณาถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของไบโอดีเซลพบว่ามีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งมีสาเหตุจากคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่มีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล รวมถึงความหนาแน่นและความหนืดมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ส่งผลให้การกระจายตัวเป็นละอองฝอยได้ไม่ดี (Nantha Gopal et al., 2014)

อย่างไรก็ตาม คุณลักษณะการเผาไหม้เป็นลักษณะที่สำคัญของเชื้อเพลิงซึ่งประสิทธิภาพของกระบวนการเผาไหม้สามารถอธิบายได้จากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความดันในกระบอกสูบ (In-Cylinder Pressure) ความล่าช้าการจุดระเบิด (Ignition Delay) ช่วงเวลาการเผาไหม้ (Combustion Duration) การปลดปล่อยความร้อน (Heat Release) และอัตราการปลดปล่อยความร้อนสะสม (Cumulative Heat Release) เป็นต้น (Hasan et al., 2017) โดยจากการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของไบโอดีเซลพบว่า ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและไบโอดีเซลจากคาโนลามีความดันในกระบอกสูบสูงสุดมากกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากไบโอดีเซลมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก จำนวนซีเทน จุดเดือด ปริมาณออกซิเจนที่สูง และเวลาการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้าที่มีมากกว่าน้ำมันดีเซล (Ozsezen et al., 2009) แต่ถึงกระนั้น นักวิจัยบางส่วนได้พบว่า ความดันในกระบอกสูบสูงสุดและอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดของไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากความด้อยสภาพของการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นผลจากความหนืดที่สูง การระเหยกลายเป็นไอที่ต่ำ และค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้อัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดมีค่าลดลง (Kegl et al., 2006 ; Sayin et al., 2009)

3) มลพิษไอเสียของเครื่องยนต์

มลพิษในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และฝุ่นละออง (PM) สำหรับการใช้ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดส่งผลให้ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ และฝุ่นละอองมีปริมาณลดลง และมีปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม ปริมาณของมลพิษที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการทำงาน of เครื่องยนต์ คุณภาพเชื้อเพลิง และการออกแบบเครื่องยนต์ (Hasan and Rahman, 2017)



รูปที่ 2.13 ผลกระทบการปล่อยมลพิษเฉลี่ยของไบโอดีเซล
(Stephen R. Turns, 2012)

ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา โดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและไบโอดีเซลจากคาโนลาที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า ปริมาณการปล่อยมลพิษไฮโดรคาร์บอนลดลง 14.29 และ 72.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (Ozezen et al, 2009) ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติของไบโอดีเซล เช่น ปริมาณออกซิเจนที่มากกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ไบโอดีเซลมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ต่ำ (Hasan and Rahman, 2017) เช่นเดียวกันกับคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยนักวิจัยรายงานว่า คุณสมบัติของไบโอดีเซล เช่น ปริมาณออกซิเจนและจำนวนซีเทนมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้

ให้ปริมาณการปล่อยมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ทั้งนี้ยังพบว่า อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลและรูปแบบของเครื่องยนต์ มีผลต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด โดยอัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลที่มากขึ้นจะทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง (Durbin et al., 2008) และเมื่อพิจารณาฝุ่นละอองเห็นได้ว่าการใช้ไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลจะช่วยลดฝุ่นละอองเมื่อทำการเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล Rakopoulos et al. (2006) ได้ศึกษาคุณลักษณะมลพิษของไบโอดีเซลบริสุทธิ์และไบโอดีเซลผสมน้ำมันดีเซลพบว่า ไบโอดีเซลมีฝุ่นละอองปริมาณต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของไบโอดีเซล

ในทางตรงกันข้าม การเพิ่มอัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลจะส่งผลให้ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมากขึ้น (Chauhan et al., 2012) และ Gokalp et al. (2011) พบว่า ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนสูงขึ้น 4.5, 10 และ 15.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไบโอดีเซล B20, B50 และไบโอดีเซลบริสุทธิ์ ตามลำดับ ซึ่งการระกรรรม ความเร็วของเครื่องยนต์ ปริมาณออกซิเจนและจำนวนซีเทนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล รวมถึงการฉีดเชื้อเพลิงล่วงหน้า และการเผาไหม้เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนของไบโอดีเซล (Hasan and Rahman, 2017) โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมา อาทิเช่น

Hirkude et al. (2012) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ห้มลพิษไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้ว ซึ่งจากการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้พบว่า สมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้วที่ส่วนผสมต่าง ๆ ใกล้เคียงกับการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซล และในด้านมลพิษปริมาณของการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงประมาณ 21 – 45 เปอร์เซ็นต์ ฝุ่นละอองลดลงประมาณ 23 – 47 เปอร์เซ็นต์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงประมาณ 50 – 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้วที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

An et al. (2013) ได้ทำการทดสอบเพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้และมลพิษไอเสีย จากการใช้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์และไบโอดีเซลผสม โดยทดสอบที่ความเร็วรอบต่าง ๆ (800, 1200 และ 2,400 รอบต่อนาที) ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่ 25, 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ภาระกรรม ผลการทดสอบพบว่า มลพิษไอเสียไฮโดรคาร์บอนและออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง เมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ทั้งนี้ จากผลการวิจัยที่ผ่านมาในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้ไบโอดีเซลผู้วิจัยได้ทำการสรุปไว้ดังตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 สรุปผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับจากการใช้ไบโอดีเซล

เชื้อเพลิง	สมรรถนะของเครื่องยนต์		คุณลักษณะการเผาไหม้		มลพิษไอเสีย					อ้างอิง
	ความสิ้นเปลือง เชื้อเพลิงจำเพาะเบรก	ประสิทธิภาพเชิง ความร้อนเบรก	ความดันใน กระบอกสูบ	อัตราการปลด ปล่อยความร้อน	NO _x	CO	CO ₂	HC	Smoke	
WCO - Diesel	เพิ่มขึ้น	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	↑	↑	↓	↑	-	An et al. (2013)
JME - Diesel	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ลดลง	ลดลง	↑	↓	-	↓	↓	Sharma et al. (2013)
COB - Diesel	เพิ่มขึ้น	-	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	-	-	-	-	-	Tesfa et al. (2013)
COME- Diesel	เพิ่มขึ้น	ลดลง	-	-	↑	↓	-	↓	↓ PM	Islam et al. (2014)
WCO - Diesel	เพิ่มขึ้น	ลดลง	เพิ่มขึ้น	ลดลง	↑	↓	-	↓	↓	Nantha Gopal et al. (2014)
FOB - Diesel	เพิ่มขึ้น	ลดลง	ลดลง	ลดลง	↓	↓	-	↓	↑	Gnanasekaran et al. (2016)
FOME- Diesel	เพิ่มขึ้น	ลดลง	เพิ่มขึ้น	ลดลง	↑	↓	-	↓	↓ Soot	Kathirvelu et al. (2017)
BIO - Diesel	ลดลง	เพิ่มขึ้น	-	-	↑	↓	-	↓	↓ Soot	Hosseini et al. (2017)
COB - Diesel	เพิ่มขึ้น	ลดลง	ลดลง	ลดลง	↑	↓	↑	↓	↓	Can et al. (2017)

หมายเหตุ ↓ หมายถึง ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล
↑ หมายถึง เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

2.6 ไบโอดีเซล

2.6.1 บทนำ

ไบโอดีเซลหรือแอลกอฮอล์ชีวภาพ (Bioalcohol) คือ แอลกอฮอล์ที่ผลิตได้จากกระบวนการทางชีวภาพ ไบโอดีเซลได้รับความสนใจในการพัฒนามาเป็นพลังงานทดแทน เนื่องจากสามารถนำมาตัดแปลงหรือใช้ในเครื่องยนต์ได้โดยตรง เพื่อทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลในรูปแบบน้ำมันเชื้อเพลิงผสม ไบโอดีเซลที่มีความสำคัญสำหรับการนำมาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ได้แก่ เมทานอล (Methanol) เอทานอล (Ethanol) โพรพานอล (Propanol) และบิวทานอล (Butanol) (Zhen et al., 2015) โดยนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) หรือผสมกับน้ำมันดีเซลเรียกว่า ดีโซฮอล์ (Diesohol) นอกจากนี้ ยังใช้เป็นสารเติมแต่งหรือใช้เป็นสารเคมีเพิ่มค่าออกเทนให้แก่เครื่องยนต์เป็นทดแทนการใช้สารตะกั่ว (วรวิฑู จุฬาลักษณ์านุกุล, 2558) อย่างไรก็ตาม ไบโอดีเซลได้รับความนิยมนำมาใช้มากขึ้นสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แต่ในทางตรงกันข้ามสำหรับการนำมาใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดนั้นกลับไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากค่าจำนวนซีเทนที่ต่ำและปัญหาด้านการจุดระเบิดด้วยการอัด (Kumar et al., 2016) ซึ่งไบโอดีเซลที่จะกล่าวถึงสามารถแบ่งได้ ดังนี้

- 1) ไบโอดีเซลเมทานอล (Biomethanol) เป็นแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ ซึ่งเมทานอลสามารถผลิตได้จากก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และเชื้อเพลิงชีวมวล โดยหากพิจารณาคุณลักษณะของไบโอดีเซลเมทานอลแล้วสามารถใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟหรือเครื่องยนต์เบนซิน แต่เนื่องจากไบโอดีเซลเมทานอลมีคุณสมบัติในการกัดกร่อนอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบเชื้อเพลิงที่เป็นวัสดุโลหะผสมและวัสดุพอลิเมอร์ ในกรณีที่นำมาใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดโดยเมทานอลมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไฮโดรเจนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานต่ำกว่า และเป็นผลทำให้มีมลพิษคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

- 2) ไบโอดีเซลเอทานอล (Bioethanol) สามารถผลิตได้จากเชื้อเพลิงชีวมวล ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ ไบโอดีเซลเอทานอลถูกนำไปใช้เป็นพลังงานทางเลือกอย่างกว้างขวาง ซึ่งคุณลักษณะของไบโอดีเซลเอทานอลและไบโอดีเซลมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน หากการพิจารณาที่ไบโอดีเซลเอทานอลจะมีจุดด้อยที่สำคัญคือ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีราคาค่อนข้างสูงและกระบวนการผลิตก็ต้องใช้ต้นทุนที่สูง ซึ่งเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและปล่อยสารพิษน้อยกว่าเมทานอล โดยไบโอดีเซลเอทานอลน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพรุ่นที่หนึ่ง (First Generation) สามารถผลิตได้จากข้าวโพด อ้อย และธัญพืชอื่น ๆ ในส่วนความหนาแน่นพลังงานของไบโอดีเซลเอทานอลจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลเมทานอล

เนื่องจากไบโอเอทานอลมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไฮโดรเจนที่ต่ำกว่าจึงเป็นผลที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิง และลดการเกิดมลพิษคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

3) ไบโอบิวทานอล (Biobutanol) เป็นแอลกอฮอล์ปฐมภูมิอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน เมื่อเปรียบเทียบกับแอลกอฮอล์ปฐมภูมิชนิดอื่น ๆ พบว่า มีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่สูงกว่า แต่ในปัจจุบันมีความสนใจที่เพิ่มขึ้นในการนำบิวทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก ซึ่งบิวทานอลผลิตจากเชื้อเพลิงชีวภาพ และจากเชื้อเพลิงฟอสซิล หากเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอบิวทานอลและไบโอเอทานอลพบว่า ไบโอบิวทานอลจะเกิดการกัดกร่อนน้อยกว่าและมีความหนาแน่นของพลังงานที่มากกว่าไบโอเอทานอล รวมถึงมีความเร็วของเปลวไฟที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไบโอเอทานอล ในทางกลับกัน ไบโอบิวทานอลมีค่าใช้จ่ายการผลิตที่สูงกว่าไบโอเอทานอล (Jose Martin Herreros Arellano, 2010)

ในปัจจุบันเชื้อเพลิงไบโอแอลกอฮอล์ที่ได้รับความสนใจในอุตสาหกรรมยานยนต์ และในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลมีอยู่ 2 ประเภท คือ ไบโอเอทานอลและไบโอบิวทานอล โดยใช้ระบบเชื้อเพลิงสองชนิดสำหรับการเผาไหม้ร่วมกันของแอลกอฮอล์และน้ำมันดีเซล ซึ่งวิธีที่นิยมใช้คือ การฉีดเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ในบริเวณใกล้กับวาล์วไอดีของเครื่องยนต์ และการฉีดเชื้อเพลิงที่ผสมระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันดีเซลเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง (Jamrozik, 2017) ทั้งนี้ การศึกษาด้านคุณสมบัติของเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์ และมลพิษที่เกิดขึ้นจึงเป็นสิ่งสำคัญในการศึกษาและวิจัย ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อ 2.6.4

2.6.2 การเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอแอลกอฮอล์

ไบโอแอลกอฮอล์สามารถผลิตได้จากการหมักคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาล แป้ง และเซลลูโลส ซึ่งมีอยู่ในพืชชนิดต่าง ๆ เพื่อเป็นสารตั้งต้นให้จุลินทรีย์เปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ แต่ทั้งนี้พบว่า ปัญหาที่สำคัญในการนำผลผลิตทางการเกษตรมาใช้คือ ราคาต้นทุนสูง และแย่งวัตถุดิบสำหรับการบริโภคของมนุษย์ ดังนั้น วัตถุดิบที่ดีสำหรับการนำมาผลิตพลังงานชีวภาพทางเลือกจึงควรหาได้ง่ายในพื้นที่ มีปริมาณมาก ราคาถูก และไม่ก่อให้เกิดการแข่งขันทางด้านอาหาร จึงทำให้เกิดการนำของเหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรม อาทิเช่น วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส ได้แก่ ชังข้าวโพด ขี้เลื่อย เศษไม้ ซานอ้อย รวมทั้งของเหลือทิ้งประเภทแป้งและน้ำตาลจากโรงงานอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง นอกจากนี้ การปลูกพืชพลังงานซึ่งมีลักษณะที่มีความเหมาะสมคือ พืชที่มีการเจริญเติบโตเร็วเป็นพวกไม้พุ่มและหญ้า โดยจากผลการศึกษาในต่างประเทศจะใช้พืชจำพวก ต้นไฮบริดพอปลาร์ ต้นวีวโลว์ และหญ้าลิตซ์ ซึ่งพืชเหล่านี้เป็นพืชที่มีอายุหลายปีมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็น

วัตถุดิบในกระบวนการผลิตไบโอแอลกอฮอล์จากวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เนื่องจากมีผลผลิตที่สูง ราคาถูก มีความเหมาะสมต่อพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย ดังนั้น การนำของเหลือทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอแอลกอฮอล์จึงเป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยม (วรวิจิ จุฬาลักษณ์านุกุล, 2558)

2.6.3 เทคโนโลยีการผลิตไบโอแอลกอฮอล์

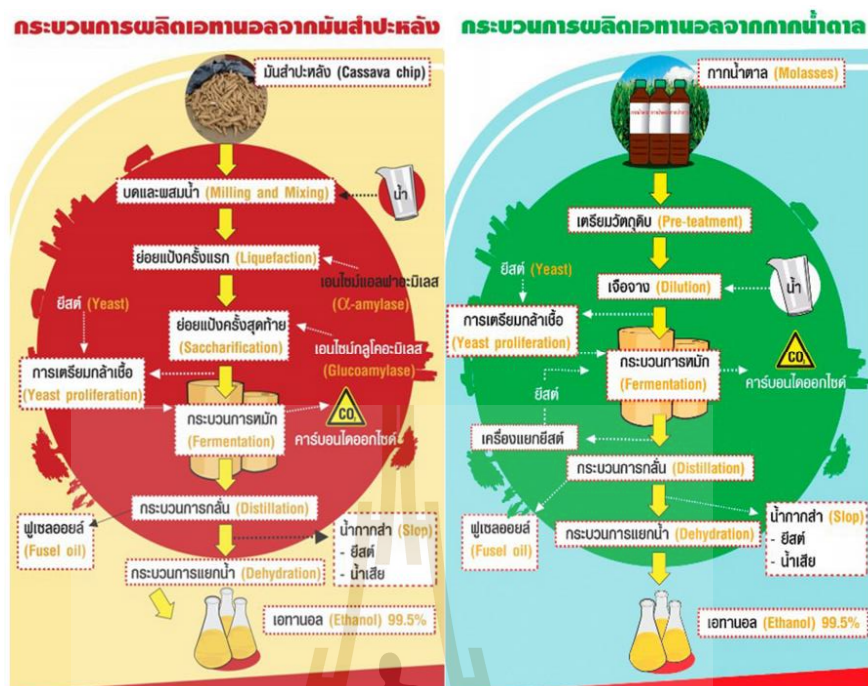
ในปัจจุบันการผลิตไบโอแอลกอฮอล์กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดิบที่สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยสามารถผลิตได้ด้วยเทคโนโลยีต่าง ๆ อาทิเช่น BIOSTIL ที่พัฒนาโดย Alfa – Laval AB. ประเทศสวีเดน หรือ HIFERM – GR ที่พัฒนาโดยบริษัท Vogelbusch Ges.m.b.H ประเทศออสเตรีย เป็นต้น ซึ่งผลิตด้วยกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางชีวภาพ โดยใช้วัตถุดิบทางการเกษตร ทั้งนี้จะกล่าวถึงกระบวนการผลิตไบโอเอทานอลและไบโอบิวทานอล ซึ่งสรุปได้พอสังเขปดังนี้

1) กระบวนการผลิตไบโอเอทานอล

กระบวนการผลิตไบโอเอทานอลนั้นสามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือ วิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ ซึ่งมีรายละเอียดได้ดังนี้

วิธีทางเคมี เป็นกระบวนการทางเคมีในการสังเคราะห์เอทานอล โดยมีเอทีลีนเป็นวัตถุดิบเอทานอลที่ได้เรียกว่า เอทานอลสังเคราะห์ ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ ได้แก่ การผลิตเอทานอลจากกระบวนการไฮเดรชันของเอทีลีนโดยตรง โดยมีกรดฟอสฟอริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความดันและอุณหภูมิสูง โดยทั่วไปมักใช้ความดัน 1,000 psi และอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และการผลิตเอทานอลจากกระบวนการไฮเดรชันของเอทีลีนโดยอ้อม โดยมีกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อให้ได้เอทิลซัลเฟตซึ่งจะถูกย่อยสลายต่อไปเป็นเอทานอล ซึ่งวิธีการสังเคราะห์เอทานอลทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมาแต่เดิมนิยมใช้กันมาก เพราะเป็นกระบวนการที่รวดเร็วและไม่ยุ่งยาก กระบวนการผลิตขึ้นอยู่กับปัจจัยเพียงไม่กี่อย่าง แต่เนื่องจากการสังเคราะห์ดังกล่าวต้องใช้สารเริ่มต้นที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมทำให้ต้นทุนการผลิตของทั้ง 2 วิธีสูงขึ้นมา จึงทำให้มีวิธีการผลิตเอทานอลด้วยวิธีทางชีวภาพแทน (วรวิจิ จุฬาลักษณ์านุกุล, 2558)

วิธีทางชีวภาพ เป็นการใช้มวลชีวภาพ เช่น น้ำตาล แป้ง หรือวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล โดยมีการอาศัยกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน สำหรับกระบวนการผลิตเอทานอลนั้นจะประกอบด้วยกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการหมัก และการแยกผลิตภัณฑ์เอทานอล รวมถึงการทำให้บริสุทธิ์ โดยแสดงตัวอย่างกระบวนการผลิตไบโอเอทานอลจากมันสำปะหลัง และกระบวนการผลิตไบโอเอทานอลจากน้ำตาล ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 กระบวนการผลิตไบโอเอทานอลจากมันสำปะหลังและน้ำตาล
(กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

2) กระบวนการผลิตไบโอบิวทานอล

กระบวนการผลิตไบโอบิวทานอลด้วยกระบวนการทางชีวภาพนั้นเป็นกระบวนการที่ใช้คลอสทริเดียม (*Clostridium* spp.) จัดเป็นแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตบิวทานอลในภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobe) ซึ่งเป็นผลดีต่อกระบวนการหมักโดยลดต้นทุนในการใช้ไบโพดเพื่อให้อากาศ แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างเป็นท่อนสามารถสร้างสปอร์ได้ โดยสปอร์มีรูปร่างได้ทั้งกลมและรี สามารถพบได้ในรูปสปอร์กระจายทั่วไปในธรรมชาติ เช่น ดิน น้ำ ของเสีย ลำไส้ตัวของมนุษย์และสัตว์ มีสมบัติในการหมักเซลลูโลส แป้ง และน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยเฉพาะบิวทานอล การคัดเลือกและคัดแยกสายพันธุ์ใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในการผลิต บิวทานอลจึงได้รับความสนใจมากขึ้น นอกจากบิวทานอลแล้วแบคทีเรียยังมีศักยภาพในการผลิตตัวทำละลายอื่นคือ แอซีโตนและเอทานอล เกิดเป็นผลิตภัณฑ์พร้อมบิวทานอล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าและนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ สำหรับกระบวนการทางชีวภาพแล้ว การหมักเพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลวเป็นหนึ่งในงานวิจัยที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน (วรวิฑูรี จุฬาลักษณ์านุกุล, 2558)

2.6.4 การนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์

1) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไบโอดีเซล

เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ ได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และบิวทานอล โดยแสดงดังตารางที่ 2.14 พบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์นั้นจะมีแนวโน้มสูงขึ้นตามจำนวนคาร์บอนอะตอมของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีผลต่อกำลังที่ส่งออกของเครื่องยนต์ (Yao et al., 2010) หากเปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์แล้วจะเห็นได้ว่า บิวทานอลมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ดีกว่าเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ประเภทอื่น ๆ เช่น คุณสมบัติการหล่อลื่น ค่าความร้อนเชื้อเพลิง และความหนืด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลแล้ว เชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ยังมีข้อดีสำหรับการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ตารางที่ 2.14 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ (Rajesh Kumar et al., 2016)

คุณสมบัติเชื้อเพลิง	ประเภทของแอลกอฮอล์				
	น้ำมันดีเซล	เมทานอล	เอทานอล	โพรพานอล	บิวทานอล
Molecular Formula	C_xH_y	CH_3-OH	C_2H_5-OH	C_3H_7-OH	C_4H_9-OH
Molecular Weight (kg/kmol)	190-211.7	32.04	46.07	60.09	74.12
C (%wt)	86.13	37.48	52.14	59.96	64.82
H (%wt)	13.87	12.48	13.02	13.31	13.49
O (%wt)	0	49.93	34.73	26.62	21.59
Solubility (g/L)	Immiscible	Miscible	Miscible	Miscible	77
Lubricity (μm corrected wear scar)	315	1100	1057	922	591
Cetane Number	52	5	8	12	17
Self-Ignition Temperature ($^{\circ}C$)	254-300	463	420	350	345
Density (kg/m^3) at $15^{\circ}C$	835	791.3	789.4	803.7	809.7
Viscosity at $40^{\circ}C$ (mm^2/s)	2.72	0.58	113	1.74	2.22
Lower Heating Value (MJ/kg)	42.49	19.58	26.83	30.63	33.09
Latent Heat of Evaporation (kJ/kg)	270-375	1162.64	918.42	727.88	581.4
Vapor Pressure (mmHg)	0.4	127	55	20	7
Cold Filter Plugging Point ($^{\circ}C$)	-17	<-51	<-51	<-51	<-51
Boiling Point ($^{\circ}C$)	180-360	64.7	78.	97.1	117.5
Flash Point ($^{\circ}C$)	>55	11-12	17	11.7	35-37

2) สมรรถนะของเครื่องยนต์และคุณลักษณะการเผาไหม้

เชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล เช่น ไบโอดีเซล และไบโอดีเซล เป็นต้น เมื่อนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์โดยการผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ และคุณลักษณะการเผาไหม้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคมีค่ามากขึ้นตามอัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความร้อนเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้น หากต้องการกำลังที่เท่ากันจึงจำเป็นต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่มากขึ้น และในกรณีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลนั้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคจะมีค่าเพิ่มขึ้น จากรายงานนี้เป็นการผสมที่อัตราส่วน 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบสูง (Karabektas et al., 2009) นอกจากนี้ หากพิจารณาในด้านคุณลักษณะการเผาไหม้ ซึ่งพบว่า ความล่าช้าในการจุดระเบิดจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มไบโอดีเซลในส่วนผสม และส่งผลให้เกิดความดันในกระบอกสูบสูงสุดและอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดที่เพิ่มขึ้น โดยเป็นผลมาจากค่าจำนวนซีเทนที่มีค่าน้อยของไบโอดีเซล (Rajesh Kumar and Saravanan, 2016) ดังงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษา อาทิเช่น

Karabektas and Hosoz (2009) ได้ศึกษาความเหมาะสมของอัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งผสมไบโอดีเซลที่ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ กับน้ำมันดีเซล โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ นำไอดีเข้าโดยธรรมชาติ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ ทดสอบภายใต้เงื่อนไขภาระกรรมสูงสุดที่ช่วงความเร็วรอบ 1,200 ถึง 2,800 รอบต่อนาที จากผลการทดสอบพบว่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคมีค่าลดลงตามปริมาณไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้น และหากพิจารณาที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนผสมที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของไบโอดีเซล จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุด

Jamrozik (2017) ได้ศึกษาผลกระทบของปริมาณแอลกอฮอล์ในเชื้อเพลิงผสมในด้านสมรรถนะ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ โดยใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลผสมเมทานอล และน้ำมันดีเซลผสมเอทานอล ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มปริมาณส่วนผสมของเมทานอลในน้ำมันดีเซลจนถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดผลในเชิงบวกเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ ทั้งนี้ หากเพิ่มเมทานอลมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะส่งผลต่อความดันในกระบอกสูบ

และงานที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์จะเกิดความไม่คงที่ ในส่วนกรณีของน้ำมันดีเซลผสมกับเอทานอล พบว่า เครื่องยนต์จะมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ของเครื่องยนต์นั้นอยู่ในระดับที่คงที่

3) มลพิษไอเสียของเครื่องยนต์

การนำไบโอแอลกอฮอล์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด นั้น มีผลกระทบต่อปริมาณมลพิษที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ โดยจากงานวิจัยที่ทำการศึกษ พบว่า การผสมน้ำมันดีเซลกับไบโอแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอลและเอทานอล ทำให้ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ลดลง แต่ปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (Jamrozik, 2017) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยบางส่วนพบว่าการเพิ่มปริมาณบิวทานอลในการผสมโดยทั่วไปแล้วจะทำให้ไอเสียของไนโตรเจน (NO_x) ลดลง เนื่องจากเครื่องยนต์ทำงานที่ส่วนผสมบางตลอดการทำงาน และการลดอุณหภูมิของบิวทานอล (เนื่องจากค่าความร้อนที่ต่ำของบิวทานอลและมีความร้อนของการกลายเป็นไอที่สูง) ส่วนไฮโดรคาร์บอน (HC) นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณบิวทานอลในส่วนผสม มีสาเหตุจากการระเหยกลายเป็นไอที่ช้า และการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงที่ไม่ดี จึงเป็นปัจจัยหลักในการเกิดไฮโดรคาร์บอน (Rajesh Kumar and Saravanan, 2016) ทั้งนี้ มลพิษที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการทดสอบ และปริมาณการผสมของไบโอแอลกอฮอล์กับน้ำมันดีเซล หรือเชื้อเพลิงที่สนใจในการศึกษาและวิจัย ยกตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น

Yao et al. (2010) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลในด้านสมรรถนะ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่อัตราส่วนผสม 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรของบิวทานอล ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มบิวทานอลสามารถปรับปรุงการเกิดเขม่า (Soot) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ออกไซด์ของไนโตรเจนจำเพาะคงที่ โดยไม่พิจารณาความเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

E. Sukjit et al. (2013) ได้ศึกษาผลกระทบของไฮโดรเจนในไบโอดีเซลผสมกับบิวทานอลสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล จากผลการทดสอบพบว่า คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และฝุ่นละออง (Particulate Matter) ลดลง เมื่อผสมบิวทานอลและไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดเรป แต่มีผลทำให้ไฮโดรคาร์บอน (HC) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งการเพิ่มไฮโดรเจนนั้นเป็นการช่วยในการเผาไหม้สามารถลดการเพิ่มขึ้นของไฮโดรคาร์บอนได้ โดยเห็นได้จากการผสมเชื้อเพลิงกับบิวทานอล และยังช่วยลดการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์และฝุ่นละออง อย่างไรก็ตาม ผลจากการใช้ไฮโดรเจนจะทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ระหว่างกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

2.7 ไดเอทิลอีเทอร์

2.7.1 บทนำ

ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl Ether : DEE) เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทหนึ่ง มีสูตรโมเลกุลคือ $(C_2H_5)_2O$ เป็นที่รู้จักกันในชื่ออีเทอร์หรืออีทอกซีอีเทอร์ ไดเอทิลอีเทอร์เป็นสารเคมีที่มีความสะอาด เป็นของเหลวที่ไม่มีสี ซึ่งมีความไวไฟสูง เนื่องจากมีจุดเดือดที่ต่ำ และไดเอทิลอีเทอร์มีลักษณะเฉพาะของกลิ่นที่ค่อนข้างแรง โดย Raymundus Lullus เป็นนักเล่นแร่แปรธาตุที่ได้รับการยกย่องว่าเป็นบุคคลแรกที่สามารรถค้นพบ ไดเอทิลอีเทอร์ในปี ค.ศ. 1275 ต่อมาในปี ค.ศ. 1540 ไดเอทิลอีเทอร์ถูกสังเคราะห์เป็นครั้งแรกโดย Valerius Cordus ซึ่งเรียก ไดเอทิลอีเทอร์ว่า “Oil of Sweet Vitriol” เหตุผลที่เรียกไดเอทิลอีเทอร์ในชื่อดังกล่าว เนื่องจากเมื่อนำเอาของผสมระหว่างเอทานอลกับกรดซัลฟิวริก ซึ่งทำการกลั่นที่อุณหภูมิสูงจะเกิดเป็น ไดเอทิลอีเทอร์ และจากบางรายงานพบว่า ไดเอทิลอีเทอร์มีคุณสมบัติทางยาสำหรับใช้เป็นยาสลบ และใช้บรรเทาอาการปวดในทางการแพทย์ ปัจจุบันไม่นิยมนำไดเอทิลอีเทอร์มาใช้งานเป็นยาสลบ เนื่องจากมีความไวไฟสูงและทำให้เกิดผลข้างเคียงหลังการใช้งาน เช่น อาการคลื่นไส้และอาเจียน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ไดเอทิลอีเทอร์มักถูกนำไปใช้เป็นตัวทำละลายในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากไดเอทิลอีเทอร์มีความสามารถละลายน้ำได้อย่างจำกัด ดังนั้นจึงนิยมใช้ไดเอทิลอีเทอร์ สำหรับการสกัดสารต่าง ๆ (��ชวาล ชลิตพีษฐ์, 2552)

นอกจากนี้ ในปัจจุบันไดเอทิลอีเทอร์เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในฐานะพลังงานทางเลือก และพลังงานหมุนเวียน สาเหตุเพราะว่าไดเอทิลอีเทอร์สามารถผลิตได้จากเอทานอลโดยผ่านกระบวนการดีไฮเดรชัน (Dehydration) และไดเอทิลอีเทอร์มีคุณสมบัติคล้ายกันกับไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl Ether : DME) ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันเดียวกัน รวมทั้งยังมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล อาทิเช่น อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเองที่ต่ำ จำนวนซีเทนที่สูง (มากกว่า 125) ความหนาแน่นของพลังงานที่เหมาะสม จัดจำกัดความไวไฟที่กว้าง มีปริมาณออกซิเจนที่สูง (21.6%wt) และการระเหยกลายเป็นไอที่สูง เป็นต้น (Lee et al., 2017) โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย จากการใช้ไดเอทิลอีเทอร์ผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนและเงื่อนไขการทดสอบต่าง ๆ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2.7.4

2.7.2 การเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตไดเอทิลอีเทอร์

สำหรับการผลิตไดเอทิลอีเทอร์นั้นจะใช้ไบโอแอลกอฮอล์คือ เอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethanol : C_2H_5OH) เป็นวัตถุดิบในการนำไปผลิตเป็นไดเอทิลอีเทอร์ โดยผ่านกระบวนการดีไฮเดรชัน ซึ่งเอทานอลที่ใช้นั้นได้มาจากกระบวนการหมักโดยสิ่งมีชีวิตเป็นวัตถุดิบ

ตั้งต้น เช่น แป้ง น้ำตาล และวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส ดังกล่าวไว้ก่อนหน้า โดยวัตถุดิบเหล่านี้มาจากแหล่งวัตถุดิบจำพวกอ้อย ข้าวฟ่าง ผลผลิตทางการเกษตรพวกธัญพืช เป็นต้น ผลผลิตที่ได้จะเป็นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งจะถูกนำไปผลิตเป็นไดเอทิลอีเทอร์ต่อไป

2.7.3 เทคโนโลยีการผลิตน้ำมันไดเอทิลอีเทอร์

ไดเอทิลอีเทอร์ไม่นิยมเตรียมในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากไดเอทิลอีเทอร์มีความไวไฟสูง โดยส่วนใหญ่ไดเอทิลอีเทอร์ที่ผลิตได้จากระดับอุตสาหกรรมเป็นผลิตภัณฑ์รองที่มาจากการไฮดรอลิซิสของเอทิลีนเพื่อผลิตเอทานอล และการผลิตไดเอทิลอีเทอร์จากปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของเอทานอล ซึ่งการผลิตไดเอทิลอีเทอร์จากปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของเอทานอลโดยทั่วไปผลิตสามารถผลิตได้ 2 วิธี คือ

1) การผลิตในถังปฏิกรณ์แบบเบดคงที่ (Fix Bed Reactor)

ปฏิกรณ์ที่ใช้มีลักษณะเป็นท่อตรงภายในบรรจุด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดชนิดของแข็งซึ่งอาจรองรับด้วยสารชนิดอื่น เช่น γ - Al_2O_3 , H-ZSM-5, WO_3 , Silica- Al_2O_3 , FePO_4 , ZnPO_3 และ TiO_2 เป็นต้น โดยสารตั้งต้นจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นไอก่อนถูกป้อนเข้าสู่ภายในปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง สารที่ถูกป้อนจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสุดท้ายผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของไอก่อนจะถูกส่งต่อไปหน่วยควบแน่นและหน่วยการแยกไดเอทิลอีเทอร์ต่อไป เพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ให้แก่ไดเอทิลอีเทอร์ สำหรับข้อดีของการผลิตวิธีนี้คือให้ผลได้ของไดเอทิลอีเทอร์ที่สูง และประหยัดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยผ่านกระบวนการสำหรับฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ส่วนข้อเสียคือ สิ้นเปลืองพลังงานในการผลิต เนื่องจากต้องใช้ความร้อนเปลี่ยนรูปสารตั้งต้นให้เป็นไอก่อนถูกป้อนเข้าสู่ปฏิกรณ์และอุณหภูมิสำหรับทำปฏิกิริยาสูง ซึ่งใช้อุณหภูมิมากกว่า 200 องศาเซลเซียส

2) การผลิตในถังปฏิกรณ์แบบกึ่งกะ (Semi Batch Reactor)

ปฏิกรณ์ที่ใช้มีลักษณะเป็นถังมีฝาปิดภายในบรรจุด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดสูงชนิดของเหลว ได้แก่ กรดซัลฟิวริก และกรดฟอสฟอริก เป็นต้น สารตั้งต้นที่ถูกป้อนจะอยู่ในรูปของเหลว โดยที่สถานะเริ่มต้นจะมีกรดซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นผสมอยู่ภายในถัง และเมื่อเริ่มการทดลองจะเติมสารตั้งต้นลงไปอย่างต่อเนื่อง การผลิตวิธีนี้จะนิยมใช้ในระดับห้องปฏิบัติการ และอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของไอซึ่งจะต้องผ่านหน่วยการควบแน่น และหน่วยการแยกไดเอทิลอีเทอร์ต่อไป สำหรับข้อดีของการผลิตโดยใช้วิธีนี้คือสามารถผลิตไดเอทิลอีเทอร์ได้จำนวนมากกว่าเมื่อใช้ระยะเวลาสำหรับการผลิตเท่ากับการผลิตวิธีแรก และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาดำกว่าวิธีแรก (130 - 160 องศาเซลเซียส) ส่วนข้อเสียคือ

สิ้นเปลืองตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากจะต้องเติมกรดซัลฟิวริกใหม่ในการผลิตแต่ละครั้งจึงทำให้เป็นการสิ้นเปลืองปริมาณกรดซัลฟิวริก

สำหรับตัวอย่างการผลิตไดเอทิลอีเทอร์ที่เป็นการผลิตไดเอทิลอีเทอร์จากปฏิกิริยาดิไฮเดรชันของเอทานอลบริสุทธิ์ โดยใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นที่ร้อยละ 98 โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในการทดลองใช้เอทานอลบริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้น ซึ่งถูกบรรจุอยู่ในถังป้อนเพื่อเตรียมป้อนไปสู่ถังปฏิกรณ์ ส่วนภายในถังปฏิกรณ์จะมีกรดซัลฟิวริกที่บรรจุไว้ภายในถังปฏิกรณ์จะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 130 - 140 องศาเซลเซียส ก่อนการทดลองทุกครั้ง จากนั้นเมื่อเริ่มการทดลองเอทานอลจะถูกป้อนจากถังป้อนไปยังถังปฏิกรณ์ โดยภายในถังปฏิกรณ์จะควบคุมอุณหภูมิที่อยู่ในช่วง 130 - 160 องศาเซลเซียส ซึ่งหลังจากที่เอทานอลเกิดปฏิกิริยาดิไฮเดรชันภายในถังปฏิกรณ์ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ไดเอทิลอีเทอร์ และน้ำ โดยน้ำที่เกิดขึ้นจะเป็นสิ่งที่ไปเจือจางความเข้มข้นของไดเอทิลอีเทอร์และทำให้ปฏิกิริยาเกิดการย้อนกลับ ดังนั้น เพื่อให้การผลิตไดเอทิลอีเทอร์มีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีการกลั่นแยกน้ำและเอทานอลออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตไดเอทิลอีเทอร์ โดยค่าการเปลี่ยนของเอทานอลที่ได้มีค่ามากกว่าร้อยละ 90 (ชัชวาล ชลิกเพ็ชร, 2552)

2.7.4 การนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์

1) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไดเอทิลอีเทอร์

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของไดเอทิลอีเทอร์จากตารางที่ 2.15 พบว่า ไดเอทิลอีเทอร์มีอุณหภูมิการจุดติดไฟด้วยตัวเองที่ต่ำ และจำนวนซีเทนที่มีค่าที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 3 เท่า (Devaraj et al., 2015) โดยจำนวนซีเทนนี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ซึ่งบ่งบอกถึงพฤติกรรมการระเบิดในเครื่องยนต์ คุณภาพการจุดติดไฟของเชื้อเพลิง และนำไปสู่คุณลักษณะการปลดปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ (Krishnamoorthi et al., 2017) อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงบางส่วนของไดเอทิลอีเทอร์ยังมีข้อด้อย สำหรับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด อาทิเช่น จุดเดือด ความหนืดจลนศาสตร์ และจุดติดไฟ เป็นต้น ดังนั้น ในงานวิจัยส่วนมากนิยมนำไดเอทิลอีเทอร์ไปผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าว เพื่อให้มีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ และคุณลักษณะการเผาไหม้ เช่น ความล่าช้าในการจุดระเบิด ความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน เป็นต้น รวมถึงปริมาณมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ภายหลังการนำไปใช้งาน

ตารางที่ 2.15 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลและไดเอทิลอีเทอร์

(Krishnamoorthi and Malayalamurthi, 2017; Lee and Kim, 2017)

คุณสมบัติเชื้อเพลิง	ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิง	
	น้ำมันดีเซล	ไดเอทิลอีเทอร์
Molecular Structure	$C_{16}H_{34}$	$C_4H_{10}O$
Density (kg/m ³)	840	710
Latent Heat of Evaporation (kJ/kg)	250	350
Lower Heating Value (MJ/kg)	42.6	33.9
Cetane Number	40 - 55	> 125
Kinematic Viscosity at 40 °C	2.6	0.23
Boiling Point (°C)	180 - 360	34.6
Self-Ignition Temperature (°C)	250	160
Pour Point (°C)	-20	-110
Fire Point (°C)	180 - 330	35
Chemically Correct A/F Ratio	14.9	11.1
Oxygen Content (%wt)	0	21.6
Carbon Content (%wt)	87	64.9
Hydrogen Content (%wt)	13	13.5

2) สมรรถนะและคุณลักษณะการเผาไหม้

สำหรับการศึกษสมรรถนะและคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์โดยใช้ไดเอทิลอีเทอร์ผสมกับเชื้อเพลิงต่างๆ เช่น น้ำมันดีเซล หรือน้ำมันขยะพลาสติก ซึ่งปัจจัยที่สำคัญในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค ความดันในกระบอกสูบ และอัตราการปลดปล่อยความร้อน เป็นต้น จากงานวิจัยที่ผ่านมาโดยพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของไดเอทิลอีเทอร์ นอกจากนี้ Ibrahim (2016) ได้รายงานว่าการใช้ไดเอทิลอีเทอร์เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันดีเซลช่วยปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องยนต์ให้เพิ่มสูงขึ้น 7.2 เปอร์เซ็นต์ และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคน้อยสุดโดยลดลง 6.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงที่ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และในส่วนของคุณสมบัติการเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ใกล้เคียงกับการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันดีเซล ทั้งนี้ หากทำการพิจารณาความดันใน

กระบอกสูบ และอัตราการปลดปล่อยความร้อน จะเห็นว่าน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (Viswanath K. Kaimal et al., 2016)

3) มลพิษไอเสียของเครื่องยนต์

ปัจจุบันข้อบังคับด้านมลพิษได้มีการเพิ่มความเข้มงวดมากยิ่งขึ้น สำหรับควบคุมอันตรายจากมลพิษที่เกิดขึ้นจากยานพาหนะต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ ด้วยเหตุนี้ การนำไดเอทิลอีเทอร์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้นจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ถึงมลพิษที่เกิดขึ้น โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาที่ศึกษามลพิษไอเสียของเครื่องยนต์สามารถกล่าวถึงโดยสังเขปได้ดังนี้

Devaraj et al. (2015) ได้ทำทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ มลพิษไอเสีย และคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยใช้ น้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ที่อัตราส่วนผสม 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของไดเอทิลอีเทอร์ ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ลดลงสำหรับน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ เนื่องจากเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนช่วยปรับปรุงกระบวนการเผาไหม้ และช่วยมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้น

Viswanath K. Kaimal and P. Vijayabalan (2016) ได้ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นของการใช้ไดเอทิลอีเทอร์เป็นสารเติมแต่งในเครื่องยนต์ดีเซลที่อัตราส่วน 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ของไดเอทิลอีเทอร์ โดยการใช้ น้ำมันขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบ ซึ่งจากการทดสอบพบว่า คิว้นดำ (Smoke) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) มีปริมาณลดลงเป็นอย่างมาก สำหรับการใส่เชื้อเพลิงผสมที่ภาระกรรมสูงสุด และเป็นการปรับปรุงการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ของน้ำมันขยะผสม อย่างไรก็ตาม ส่งผลทำให้ปริมาณการปล่อยไฮโดรคาร์บอนมีค่าสูงขึ้น

Lee and Kim (2017) ได้ศึกษาสมรรถนะและคุณลักษณะมลพิษที่เกิดขึ้นของเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและไดเอทิลอีเทอร์ ซึ่งผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์ทำให้เกิดปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และฝุ่นละออง (PM) มีปริมาณลดลงสำหรับเชื้อเพลิงผสม เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนที่สูงของไดเอทิลอีเทอร์ อย่างไรก็ตาม ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ของเชื้อเพลิงผสมมีปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล เหตุผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากความล่าช้าในการจุดระเบิดที่สั้น และมีปริมาณของออกซิเจนที่สูง

บทที่ 3

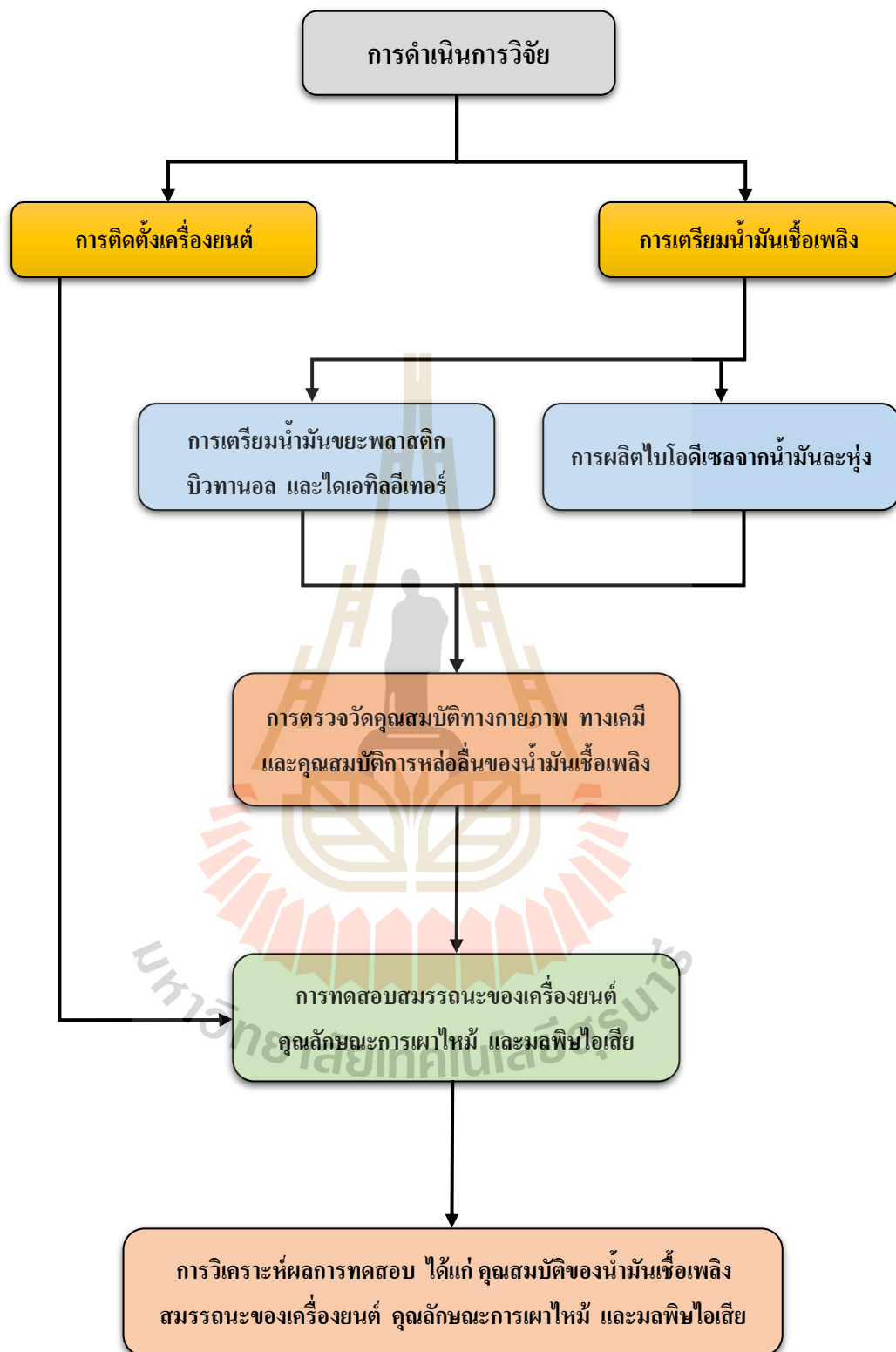
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยกรอบการดำเนินการวิจัย การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง อุปกรณ์และเครื่องมือการทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบ รวมถึงการวิเคราะห์ผลการทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 กรอบการดำเนินการวิจัย

เริ่มจากแนวคิดที่ผู้วิจัยต้องการศึกษาการนำน้ำมันขยะพลาสติกที่ยังไม่ผ่านกระบวนการการกลั่นลำดับส่วน ซึ่งถูกแปรรูปเป็นพลังงานเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสมาใช้งานกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกและทำให้เกิดความเชื่อมั่นในการนำไปใช้งาน ผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจในการศึกษา ค้นคว้า และวิจัยเกี่ยวกับน้ำมันขยะพลาสติกในด้านต่าง ๆ ได้แก่ คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมี สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ การปล่อยมลพิษไอเสีย และคุณสมบัติการหล่อลื่นจากการใช้น้ำมันขยะพลาสติก นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังมีความสนใจในการนำน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ ซึ่งเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทแอลกอฮอล์และไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง เพื่อส่งเสริมให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและปรับปรุงข้อด้อยของน้ำมันขยะพลาสติกด้วยการทดสอบในด้านต่าง ๆ ดังกล่าวมาก่อนหน้า โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังรูปที่ 3.1

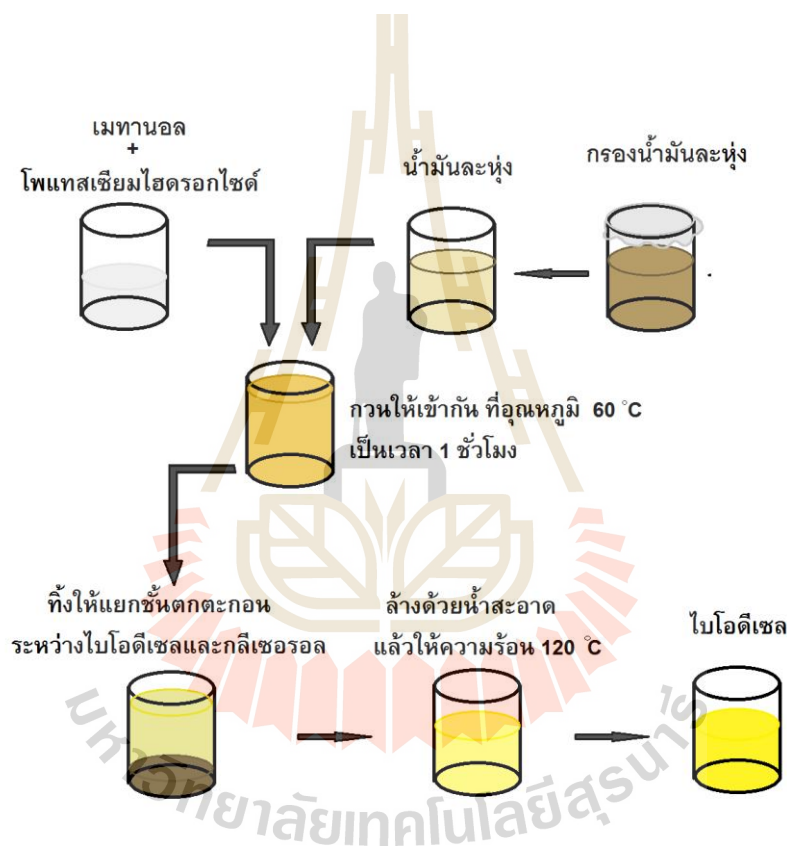
ในขั้นตอนแรกของการดำเนินการวิจัยนั้นเป็นการติดตั้งเครื่องยนต์ที่จะทำการทดสอบกับไดนาโมมิเตอร์ และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ อีกส่วนหนึ่งของการดำเนินการวิจัยคือ การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ ได้แก่ น้ำมันขยะพลาสติกจากกระบวนการไพโรไลซิสที่ยังไม่ผ่านกระบวนการการกลั่นลำดับส่วน บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ หลังจากนั้นเป็นการนำน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบไปทำการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี คุณสมบัติการหล่อลื่น ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย ตามลำดับ สุดท้ายในการดำเนินการวิจัยเป็นการวิเคราะห์ผลจากการตรวจวัดและทดสอบต่าง ๆ ดังกล่าวมาข้างต้น



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ดำเนินการโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นเบสคือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และใช้เมทานอล เป็นแอลกอฮอล์ที่ใช้สำหรับเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา ในอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอล ต่อน้ำมันละหุ่งคือ 9 : 1 และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อกำหนดออกมาแล้วจะต้องใช้น้ำมันละหุ่ง 500 มิลลิลิตร เมทานอล 100 มิลลิลิตร และตัวทำปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3 กรัม ซึ่งสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนการผลิตได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง

1) การเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำปฏิกิริยา

ในการเตรียมน้ำมันละหุ่งสำหรับการนำมาผลิตไบโอดีเซล ขั้นตอนนี้จะตวงน้ำมันละหุ่งที่ปริมาตร 500 มิลลิลิตร แล้วทำการนำน้ำมันละหุ่งมากรองเพื่อเอาตะกอนและกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันละหุ่ง โดยในการผลิตไบโอดีเซลในที่นี้ ผู้วิจัยใช้ผ้าขาวบางสำหรับกรองน้ำมันละหุ่ง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การเตรียมน้ำมันละหุ่งสำหรับผลิตไบโอดีเซล

2) การเตรียมสารละลายแอลกอฮอล์

ทำการตวงเมทานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่ใช้สำหรับเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาที่มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร และชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 3 กรัม ดังรูปที่ 3.4 แล้วเทใส่ในเมทานอลที่ตวงไว้ กวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กด้วยเครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer) จนกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะละลายจนหมด



รูปที่ 3.4 วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

3) การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

นำน้ำมันละหุ่งที่เตรียมไว้ไปอุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer) หากมีน้ำปนมาต้องต้มไล่ไอน้ำออกให้หมด จากนั้นเทเมทานอลที่ละลายโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ไว้แล้วลงในน้ำมันละหุ่ง แล้วปรับให้อุณหภูมิของปฏิกิริยาอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากจุดเดือดของเมทานอลอยู่ระหว่าง 60 – 70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ดังนั้น อุณหภูมิของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจึงอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส (Patel and Sankhavara, 2017) โดยใช้เวลาประมาณ 60 นาที ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

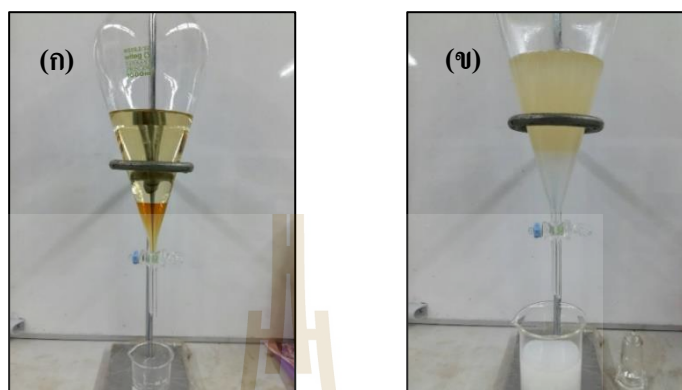
4) การแยกกลีเซอริน

หลังจากทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเสร็จ นำน้ำมันเทใส่ในภาชนะขวดรูปชมพู่แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นระหว่างเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลกับกลีเซอรอล ในที่นี้ผู้วิจัยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 8 – 12 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าเกิดการแยกชั้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า กลีเซอรอลจะอยู่ชั้นด้านล่าง และชั้นด้านบนจะเป็นไบโอดีเซล ดังรูปที่ 3.6 (ก)

5) การล้างสิ่งปนเปื้อนออก

เมื่อทำการแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลแล้ว ขั้นตอนถัดมาจะเป็นการนำไบโอดีเซลล้างด้วยน้ำ ดังรูปที่ 3.6 (ข) เพื่อขจัดเมทานอล สารเร่งปฏิกิริยา และกลีเซอรอลบางส่วน

ที่ยังหลงเหลืออยู่ออกไป โดยการเติมน้ำเท่ากับหนึ่งในสี่ของไบโอดีเซล ทำการล้างจนน้ำที่ใช้ในการล้างไบโอดีเซลที่ออกมาไม่มีสีใส



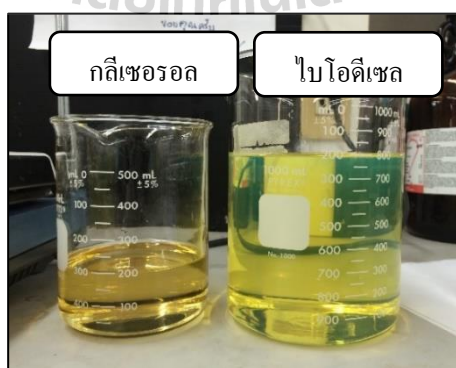
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการแยกกลีเซอรอลและขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ

(ก) การแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลกับกลีเซอรอล

(ข) การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ

6) การขจัดน้ำออกขั้นสุดท้าย

เมื่อล้างสิ่งปนเปื้อนออกหมดแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือ การขจัดน้ำที่หลงเหลือในไบโอดีเซลออก ซึ่งกระทำโดยการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที และเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นก็สามารถนำไปเก็บเพื่อใช้งานต่อไป



รูปที่ 3.7 ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งและกลีเซอรอล

3.3 การตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการ โดยคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทำการตรวจวัดประกอบด้วย ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น ความหนืดจลนศาสตร์ การกลั่น จุดวาบไฟ คัดซีซีเทน ค่าความร้อนเชื้อเพลิง การประเมินคุณสมบัติการหล่อลื่น ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการทดสอบดังนี้

3.3.1 ความถ่วงจำเพาะและความถ่วงเอพีไอ

การทดสอบความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity : SG) ของน้ำมันเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM D1298 และการคำนวณความถ่วงเอพีไอ (API Gravity) โดยใช้เครื่องมือ Density API & Specific Gravity – Tempering Bath เพื่อทำการระบุความหนักเบาของน้ำมันทดสอบที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดประกอบไปด้วยไฮโดรมิเตอร์ (สเกลระดับ 0.700 - 1.000 มีความละเอียดเท่ากับ 0.005) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ กระจกตวง และนาฬิกาจับเวลา ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

- 1) เปิดเครื่องมือทดสอบและตั้งค่าอุณหภูมิอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 15.6 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.8 รอจนกระทั่งได้อุณหภูมิของน้ำในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ
- 2) กรองน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนการนำไปทดสอบ เพื่อแยกสิ่งสกปรกหรือเศษตะกอนต่าง ๆ ออกจากน้ำมันทดสอบ

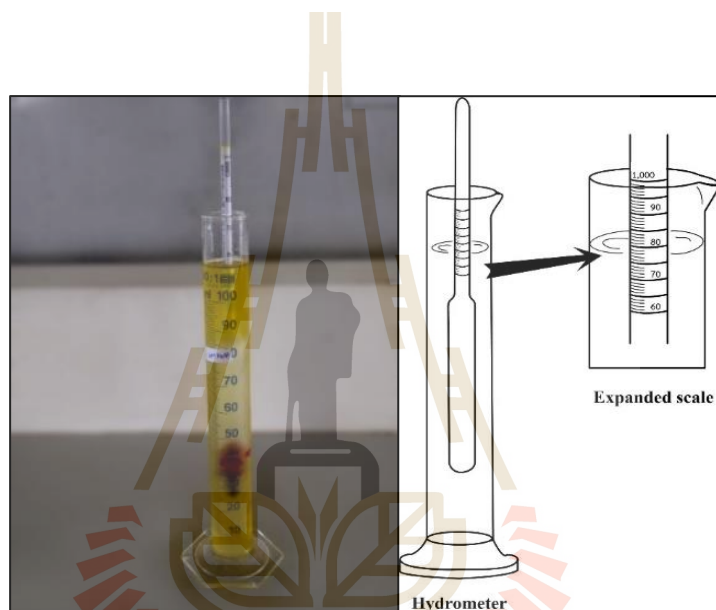


รูปที่ 3.8 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

3) เติมน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบลงในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร พร้อมติดฉลากกำกับที่กระบอกตวงเพื่อบ่งชี้ถึงน้ำมันเชื้อเพลิงที่นำมาทดสอบ นำกระบอกตวงแช่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในอุณหภูมิทดสอบที่ 15.6 องศาเซลเซียส

4) นำไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงไปใ้ในกระบอกตวงแล้วปล่อยให้ลอย เมื่อไฮโดรมิเตอร์นิ่งแล้วทำการอ่านค่า และบันทึกผลการทดลอง ดังรูปที่ 3.9

5) ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ตามข้อที่ 4 สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิด แล้วหาค่าเฉลี่ยจากผลการตรวจวัด



รูปที่ 3.9 การตรวจวัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

จากค่าที่อ่านได้ในข้อปฏิบัติข้างต้นนั้น สามารถนำมาคำนวณเป็นมาตราความถ่วงเอพีไอ (API Gravity) โดยเทียบเท่าความถ่วงจำเพาะ โดยมาตราความถ่วงเอพีไอถูกจัดตั้งขึ้นโดยสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (America Petroleum Institute) ซึ่งหน่วยความถ่วงเอพีไอมีความละเอียดกว่าความถ่วงจำเพาะและไม่ต้องอ่านตัวเลขหลังจุดทศนิยมหลายตำแหน่ง สามารถคำนวณหาค่าได้ดังสมการที่ 3.1

$$\text{ความถ่วงเอพีไอ (API Gravity)} = \frac{141.5}{\text{ความถ่วงจำเพาะ } 15.6 / 15.6 \text{ } ^\circ\text{C}} - 131.5 \quad (3.1)$$

3.3.2 ความหนืดจลนศาสตร์

การทดสอบความหนืดจลนศาสตร์ (Kinematic Viscosity) ของน้ำมันเชื้อเพลิง ภายใต้มาตรฐาน ASTM D445 โดยใช้เครื่องมือวัด Viscosity - Kinematic Capillary Tempering Bath High Temperature ซึ่งประกอบด้วยหลอดแก้วรูเล็กสำหรับวิเคราะห์ความหนืด ขायด์ หลอดแก้วรูเล็ก อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิสำหรับวิเคราะห์ความหนืด และนาฬิกาจับเวลา ซึ่งมีวิธีการทดสอบและการคำนวณดังต่อไปนี้

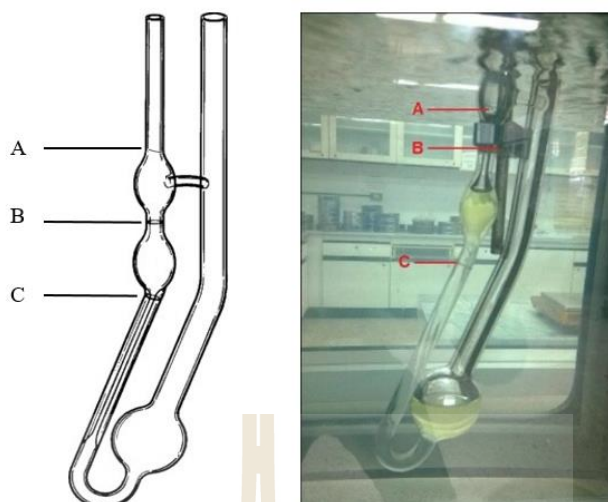
1) กรองน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบด้วยตะแกรง เพื่อแยกสิ่งสกปรกที่อยู่ในน้ำมัน ทดสอบ ใช้กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร ตวงน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบที่ต้องการทดสอบ ปริมาณ 20 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบลงในหลอดแก้วรูเล็ก

2) จากนั้นนำหลอดแก้วรูเล็กประกอบกับขायด์ และแช่ลงในอ่างน้ำที่ควบคุม อุณหภูมิสำหรับวิเคราะห์ความหนืดที่ตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิสำหรับวิเคราะห์ความหนืด

3) แขน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบมี อุณหภูมิอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส แล้วใช้หลอดตวงสารด้วยหลอดปิเปตคูดน้ำมันทดสอบให้สูงถึง ระดับ A และเริ่มจับเวลาเมื่อของเหลวไหลลงมาที่ระดับ B และหยุดจับเวลาเมื่อของเหลวไหลลง มาที่ระดับ C บันทึกเวลาที่จับได้เป็นวินาที ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งการจับเวลาการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง

4) นำเวลาที่ได้จากการทดสอบคำนวณค่ากับพารามิเตอร์ตามขนาดของหลอดแก้วรูเล็กสำหรับวิเคราะห์ความหนืด (Cannon – Fenske Capillary Tube) ดังตารางที่ 3.1 เป็นค่าพารามิเตอร์สำหรับช่วงการวัดของหลอดแก้วรูเล็กสำหรับวิเคราะห์ความหนืด

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของหลอดแก้วรูเล็กสำหรับวิเคราะห์ความหนืด

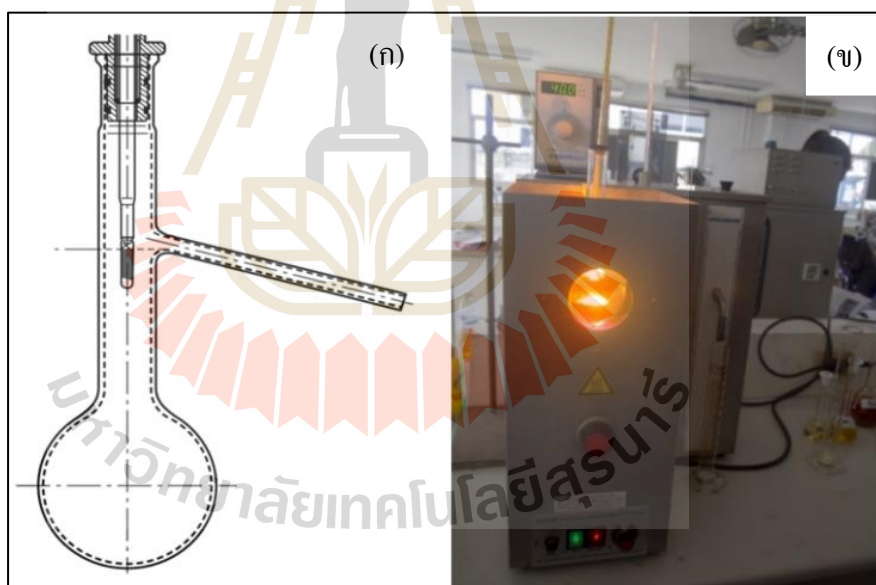
Size	Constant	Total Uncertainty		Kinematic Viscosity Range
	mm^2/s^2 (cSt/s)	%		mm^2/s^2 (cSt/s)
25	0.002	up to 3	± 0.30	0.5 to 2
50	0.004	3 to 30	± 0.35	0.8 to 4
75	0.008	30 to 100	± 0.50	1.6 to 8
100	0.015			3 to 15
150	0.035			7 to 35
200	0.100			20 to 100
300	0.250			50 to 250

ที่มา : Instructions for the use of the Cannon – Fenske routine viscometer

3.3.3 การกลั่น

การทดสอบอุณหภูมิการกลั่น (Distillation) ของน้ำมันเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM D86 โดยใช้เครื่องมือ Distillation at Atmospheric Pressure DU 4 - Economy (Manual) ประกอบด้วยชุดวัดค่าอุณหภูมิการกลั่น ขวดการกลั่น กระจบกดวง นาฬิกาจับเวลา เทอร์โมมิเตอร์ และจุกยางซิลิโคน ซึ่งวิธีการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ตรวจสอบความสะอาดท่อหล่อเย็นด้วยการใช้เศษผ้าแห้งผูกติดกับเส้นลวด เช็ดทำความสะอาด
- 2) ตวงน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบด้วยกระจบกดวงขนาด 100 มิลลิลิตร และเทน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบลงในขวดการกลั่น
- 3) ประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ และปิดฝาขวดการกลั่น แล้วทำการประกอบอุปกรณ์หลักโดยให้ตำแหน่งของเทอร์โมมิเตอร์นั้นติดตั้งที่ขวดการกลั่นในตำแหน่งที่แสดง ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบอุณหภูมิการกลั่น

(ก) ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ที่ขวดการกลั่น

(ข) การทดสอบอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันเชื้อเพลิง

- 4) ตั้งอุณหภูมิที่เครื่องหล่อเย็นและเริ่มให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน โดยในช่วงเริ่มต้นให้ปรับความร้อนอยู่ที่ระดับ 5 ถึงระดับ 6 เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบในขวดกลั่น

เริ่มเดือดให้ทำการสังเกต เพื่อบันทึกอุณหภูมิที่น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบเกิดการกลั่นตัวออกมาเป็นหยดแรก โดยบันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดอยู่กับขวดการกลั่น

5) เริ่มจับเวลาและควบคุมการให้ความร้อนกับขวดกลั่น เพื่อกำหนดอัตราการกลั่นอยู่ในช่วง 4 - 5 มิลลิลิตรต่อนาที

6) บันทึกอุณหภูมิการกลั่นทุกๆ 10 มิลลิลิตรของน้ำมันเชื้อเพลิงที่กลั่นออกมาจนมีปริมาตร 50 มิลลิลิตร หรือร้อยละ 50 โดยปริมาตร

3.3.4 จุดวาบไฟ

การทดสอบจุดวาบไฟ (Flash Point) ทำการทดสอบภายใต้มาตรฐานการทดสอบ ASTM D93 เป็นการวัดจุดวาบไฟในภาชนะปิด เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบประกอบด้วย เครื่องมือทดสอบจุดวาบไฟแบบ Pensky – Marten Close Cup Apparatus ถ้วยใส่ตัวอย่างน้ำมันทดสอบ เทอร์โมมิเตอร์ และแก๊สหุงต้ม โดยตรวจวัดน้ำมันทดสอบที่มีอุณหภูมิจุดวาบไฟอยู่ในช่วง 40 ถึง 360 องศาเซลเซียส ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการทดสอบและการตรวจวัด ดังต่อไปนี้

1) เปิดแก๊สทิ้งไว้ก่อนทำการทดสอบเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้แก๊สเกิดการไหลไปที่หัวติดไฟ

2) ทำการจุดเปลวไฟ ซึ่งเป็นตัวก่อให้เกิดการวาบไฟของน้ำมัน โดยปรับวาล์วแก๊สให้เปลวไฟมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.2 - 4.8 มิลลิเมตร และมีลักษณะคล้ายลูกประคำ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบจุดวาบไฟ

3) เติมน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบลงในถ้วย Pensky - Marten ให้มีปริมาตรเท่ากับ จิตที่ปรากฏอยู่ในถ้วยใส่ตัวอย่าง โดยอุณหภูมิของน้ำมันที่นำมาทดสอบควรมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า อุณหภูมิที่จุดวาบไฟประมาณ 18 - 20 องศาเซลเซียส และถ้วยใส่ตัวอย่างทดสอบควรมีอุณหภูมิ เท่ากับอุณหภูมิห้อง

4) นำถ้วย Pensky - Marten ประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบจุดวาบไฟ แล้วเปิด สวิตซ์เครื่องทดสอบ

5) เปิดสวิตซ์ใบพัดกววนน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทดสอบ เพื่อต้องการทำให้เกิด ไอรระเหยของน้ำมันที่ทำบริเวณเหนือผิวของน้ำมัน โดยใช้ความเร็วรอบการหมุนใบพัดกววนอยู่ที่ ประมาณ 90 - 120 รอบต่อนาที

6) เริ่มให้ความร้อนแก่น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ เพื่อทำให้เกิดไอของน้ำมัน ทดสอบมากขึ้น โดยเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบต่ำกว่าจุดวาบไฟประมาณ 23 ± 5 องศาเซลเซียส ทำการปรับระดับอัตราการให้ความร้อนอยู่ที่ 5 - 6 องศาเซลเซียสต่อนาที สำหรับ เครื่องมือที่ทดสอบนี้ให้ปรับสวิตซ์ควบคุมการให้ความร้อนอยู่ที่ตำแหน่งหมายเลข 3



รูปที่ 3.14 การทดสอบจุดวาบไฟ

7) เริ่มการทดสอบหาจุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ โดยบิดแกนหมุน ทดสอบจนสุดแล้วปล่อยหัวเปลวไฟให้เข้าไปปล่อยให้เกิดการวาบไฟ และเมื่อปล่อยหัวของเปลวไฟ จะกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม ในขณะที่บิดแกนทดสอบให้สังเกตดูเปลวไฟที่ช่องว่างที่เปิดออกเมื่อบิด

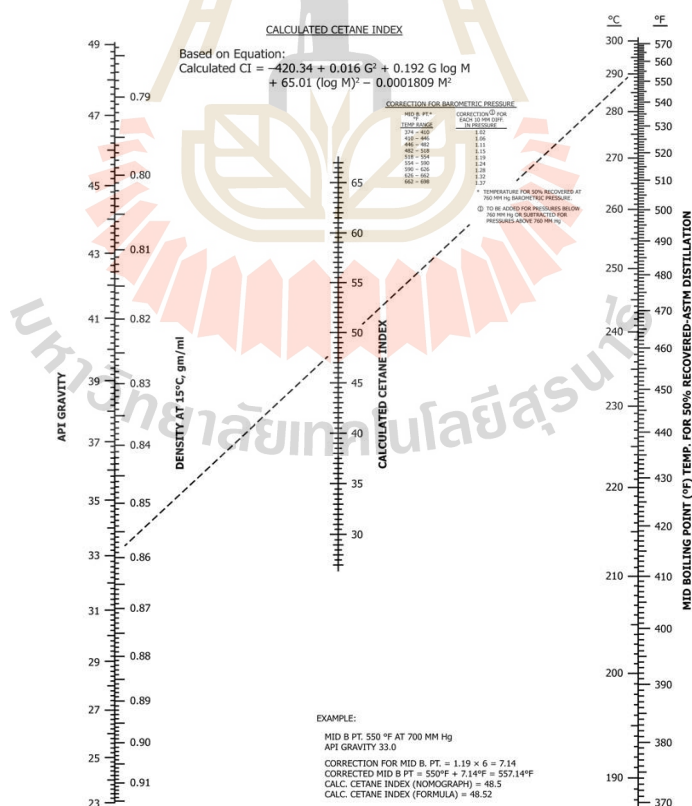
เกณฑ์ทดสอบ การทดสอบให้ทดสอบที่อุณหภูมิของน้ำมันทดสอบเพิ่มขึ้นทุก 2 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.14

8) เมื่อเกิดจุดวาบไฟจะสังเกตเห็นเปลวไฟวาบขึ้นบริเวณผิวหน้าของน้ำมัน เชื้อเพลิงทดสอบประมาณ 2-3 วินาที อุณหภูมิที่เกิดเปลวไฟนี้คืออุณหภูมิจุดวาบไฟของน้ำมัน เชื้อเพลิงที่ทดสอบ

9) ทำการทดสอบตามข้อปฏิบัติ 3 ถึง 8 ซ้ำ 3 ครั้ง โดยใช้ น้ำมันทดสอบชนิดเดียวกัน แล้วหาค่าผลเฉลี่ยจากค่าที่ได้จากการตรวจวัด

3.3.5 คัดชนีซีเทน

การทดสอบหาคัดชนีซีเทน (Calculated Cetane Index: CCI) ของน้ำมันเชื้อเพลิง ตามมาตรฐาน ASTM D976 โดยคัดชนีซีเทนได้มาจากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร หรือจุดกึ่งกลางของการเดือด (Mid Boiling Point) และความหนาแน่นหรือ ความถ่วงเอพิไอที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าคัดชนีซีเทนสามารถหาได้จาก โนมोगราฟ ดังรูปที่ 3.15 หรือคำนวณได้จากสมการที่ 3.2



รูปที่ 3.15 โนมोगราฟ (Nomograph) สำหรับการหาคัดชนีซีเทน

$$CCI = -420.34 + 0.016G^2 + 0.192G \log M + 65.01(\log M)^2 - 0.0001809M^2 \quad (3.2)$$

โดย CCI คือ ดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index)

G คือ ความถ่วงเอพีไอ (API Gravity)

M คือ อุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของการเดือดที่ร้อยละ 50 โดยปริมาตร มีหน่วยเป็น °F

3.3.6 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง

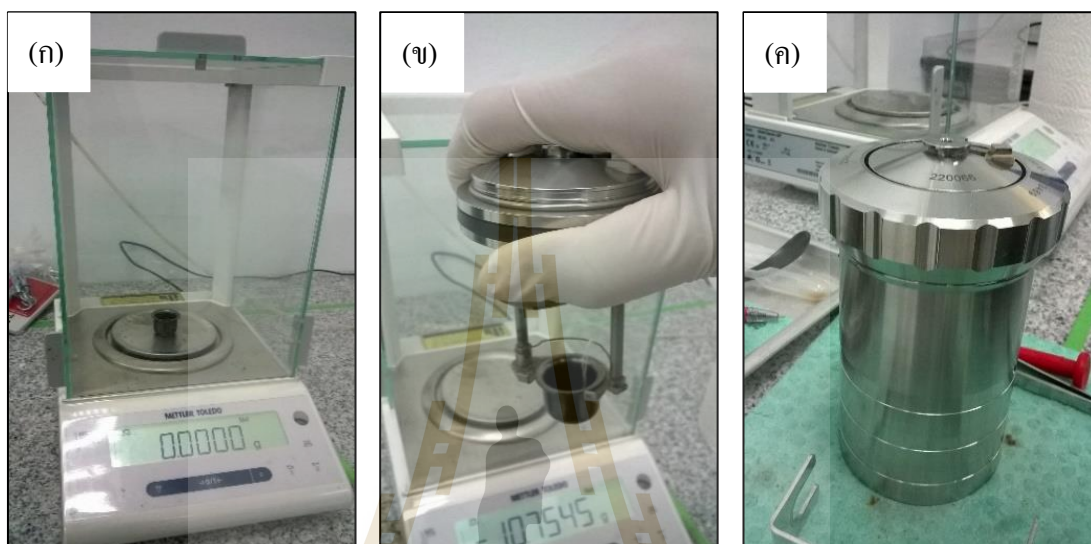
การทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Heating Value) ทำการทดสอบภายใต้มาตรฐานการทดสอบ ASTM D240 โดยใช้เครื่องมือบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ IKA รุ่น C5000 PKG 1/12 ดังรูปที่ 3.16 ดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการทดสอบดังนี้



รูปที่ 3.16 เครื่องมือวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน (Bomb Calorimeter)

- 1) เปิดระบบการทำงานของอุปกรณ์เครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน วาล์วออกซิเจน เปิดโปรแกรม CALWIN ในคอมพิวเตอร์ ตามลำดับ
- 2) ทำการตั้งค่าโปรแกรมให้เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D240 ที่ใช้ในการอ้างอิงสำหรับการทดสอบ

3) ทำการชั่งน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ ด้วยการตวงน้ำมันโดยใช้หลอดหยดสารหยดลงในภาชนะสำหรับใส่สาร และชั่งบนเครื่องชั่งดิจิตอลให้ได้น้ำหนัก 0.25 กรัม ดังรูปที่ 3.17 (ก)



รูปที่ 3.17 การติดตั้งอุปกรณ์และเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบ

(ก) การชั่งน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบบนเครื่องชั่งดิจิตอล

(ข) การติดตั้งถ้วยที่ใส่น้ำมันลงบนแกนอลูมิเนียม

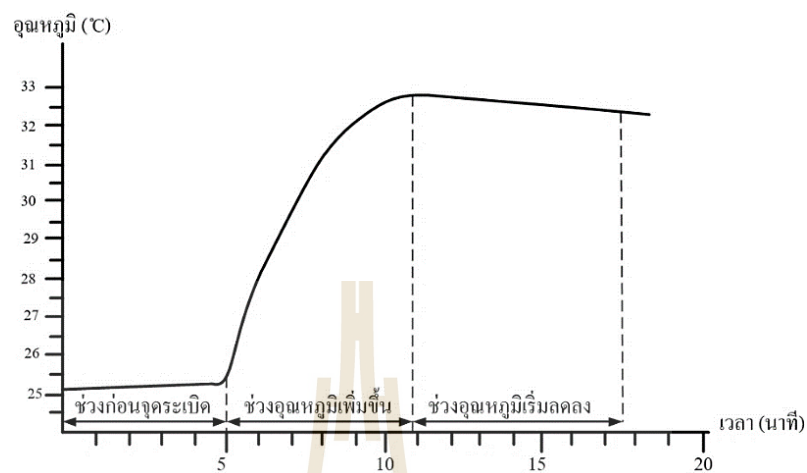
(ค) การประกอบลูกบอมบ์

4) ใช้คีมดึงด้ายออกมา 1 เส้น มัดเส้นด้ายให้ติดกับหลอด แล้วนำถ้วยใส่น้ำมันทดสอบ วางบนแกนอลูมิเนียมของชุดทดสอบ จากนั้นนำปลายของเส้นด้ายที่พันไว้จุ่มลงในถ้วย จูกระเบิด ดังรูปที่ 3.17 (ข)

5) ประกอบลูกบอมบ์ ดังรูปที่ 3.17 (ค) โดยการนำสิ่งที่เตรียมไว้บรรจุลงในกระบอกสูบอลูมิเนียม จากนั้นกดลงให้สนิทแล้วหมุนเกลียวอลูมิเนียม เมื่อประกอบลูกบอมบ์เข้าไป ติดตั้งในเครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน

6) จากนั้นทำการสั่งการทำงานของเครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนบนโปรแกรม CALWIN เครื่องวิเคราะห์จะเริ่มทำงานและใช้เวลาในการวัดค่าประมาณ 15 – 22 นาที เครื่องวิเคราะห์จะอ่านค่าพลังงานความร้อนออกมาได้ตามหน่วยที่กำหนดภายใต้มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ ดังรูปที่ 8

7) ทำการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดถัดไป โดยทำตามข้อปฏิบัติดังกล่าว



รูปที่ 3.18 กราฟการทำงานเพื่อหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงโดยใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์

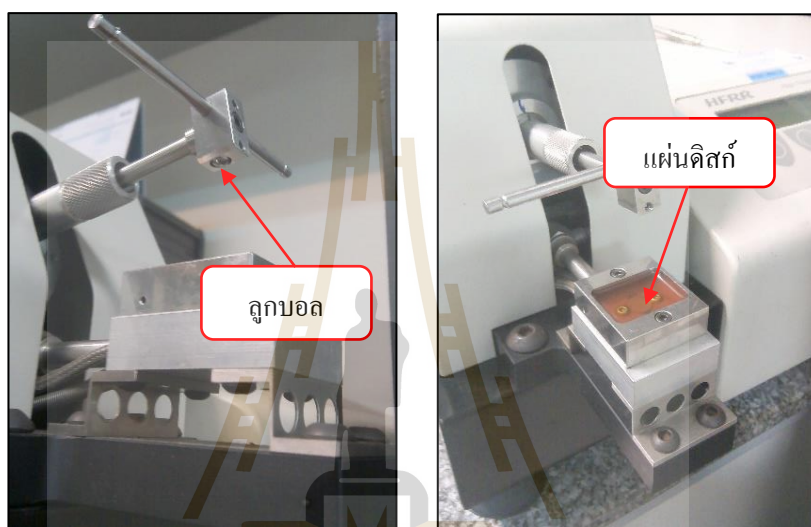
3.3.7 คุณสมบัติการหล่อลื่น

การทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity) ของน้ำมันเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ISO 12156-1 โดยใช้เครื่อง High Frequency Reciprocating Rig (HFRR) ดังรูปที่ 3. ประกอบด้วยชิ้นงานทดสอบ 2 ชิ้น ที่มีลักษณะเป็นลูกบอล (Ball) และแผ่นดิสก์ (Disc) โดยในระหว่างการ



รูปที่ 3.19 เครื่อง High Frequency Reciprocating Rig (HFRR)

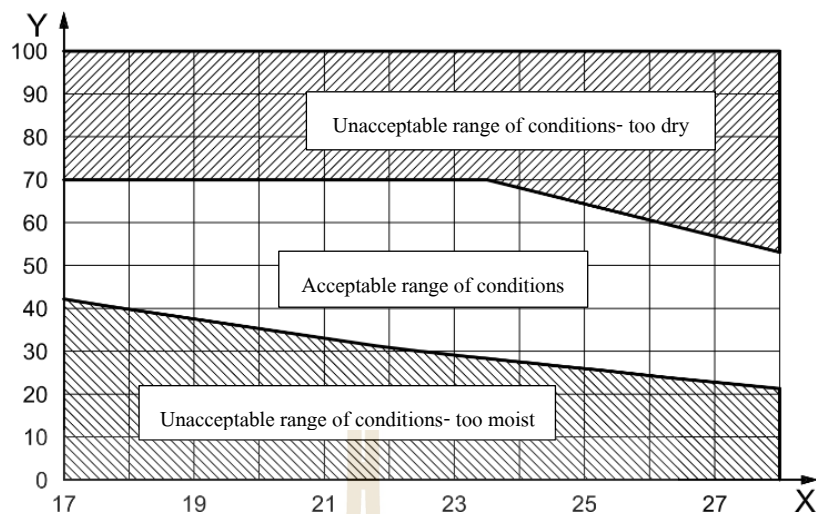
ทดสอบลูกบอลจะเคลื่อนที่แบบกลับไปมาบนดิสก์ที่ถูกยึดไว้ในภาชนะที่มีน้ำมันที่ต้องการทดสอบ ดังรูปที่ 3.20 และเงื่อนไขการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นแสดงดังตารางที่ 3.2 และสภาวะการทดสอบ ดังรูปที่ 3.21 ในการทดสอบจะใช้เวลา 75 นาที ระยะการเคลื่อนที่ของลูกบอลมีระยะ 1 มิลลิเมตร ด้วยความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ และภาระกรรมที่ขึ้นทดสอบได้รับคือ 200 กรัม ปริมาณน้ำมันที่ใช้ทดสอบคือ 2 มิลลิลิตร และอุณหภูมิขณะทดสอบถูกควบคุมไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส



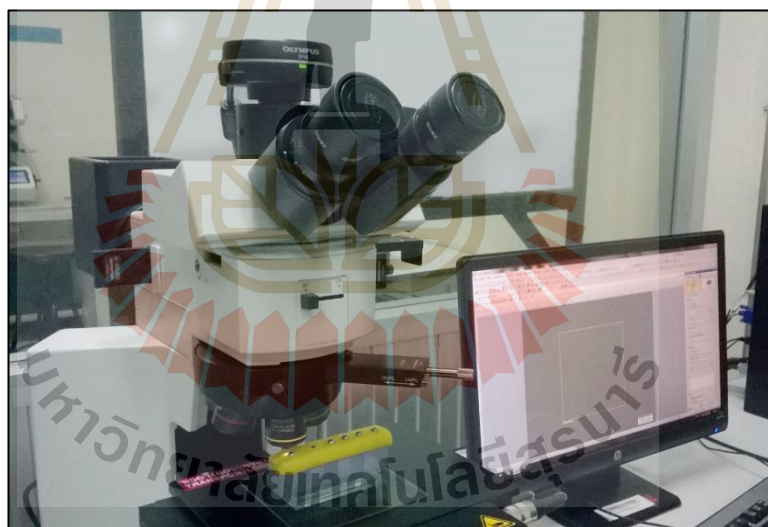
รูปที่ 3.20 ตำแหน่งการติดตั้งลูกบอลและแผ่นดิสก์

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่น

พารามิเตอร์	ค่ากำหนด
ปริมาตรของเหลว, มิลลิลิตร (ml)	$2 \pm 0,2$
ความยาวช่วงชัก, มิลลิเมตร (mm)	$1 \pm 0,02$
ความถี่, เฮิร์ตซ์ (Hz)	50 ± 1
สภาพอากาศในห้องปฏิบัติการ	ดังรูปที่ 3.21
อุณหภูมิของเหลว, องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)	60 ± 2
น้ำหนักมวลทดสอบ, กรัม (g)	200 ± 1
ระยะเวลาการทดสอบ, นาที (min)	$75 \pm 0,1$
พื้นที่ผิวอ่าง, ตารางมิลลิเมตร (mm^2)	600 ± 100



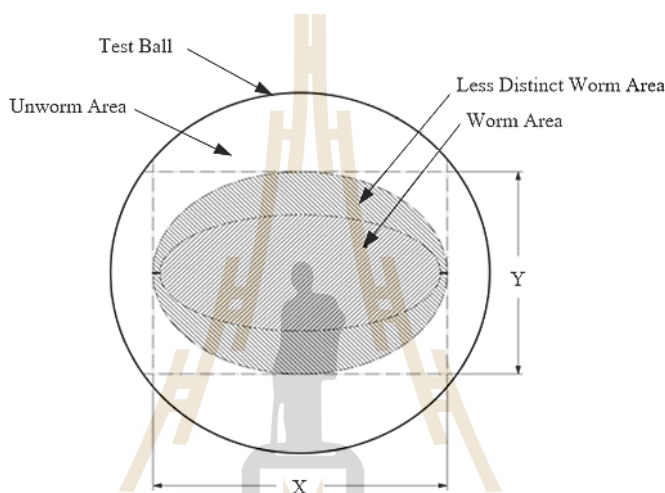
รูปที่ 3.21 เงื่อนไขสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับการทดสอบ



รูปที่ 3.22 การวัดระยะรอยถลอกด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า

หลังการทดสอบรอยถลอกบนลูกบอลจะถูกวัดขนาดของความยาวในแนวการเคลื่อนที่ของลูกบอล (แนวแกน X) และแนวที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลูกบอล (แนวแกน Y) ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า ดังรูปที่ 3.22 และรายงานเป็นค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยถลอก (Mean Wear Scar Diameter, *MWSD*) ดังสมการที่ 3.3 ทั้งนี้เพื่อเป็นการชดเชย

สภาวะแวดล้อมของอากาศที่อาจจะแตกต่างกันในพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบมาตรฐาน ISO จึงทำการปรับแก้ค่า *MWSD* ให้เป็นค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยถลอกที่ปรับแก้ค่าแล้ว (Normalized Wear Scar Diameter, *WSI.4*) ดังสมการที่ 3.4 ตามมาตรฐานการทดสอบขององค์การมาตรฐานสากล แล้วค่า *WSI.4* ที่ยอมรับได้ของน้ำมันดีเซลคือไม่เกิน 460 ไมโครเมตร ในขณะที่มาตรฐาน ASTM ไม่มีการปรับแก้ค่าของ *MWSD* และยอมรับค่า *MWSD* ของน้ำมันดีเซลไม่เกิน 520 ไมโครเมตร



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างการวัดขนาดของความยาวรอยถลอกบนลูกบอลทดสอบ

ในการคำนวณค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยถลอก (*MWSD*) บนลูกบอลของตัวอย่างการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.3

$$MSWD = \frac{x + y}{2} \quad (3.3)$$

โดย x คือ ขนาดรอยถลอกในแนวตั้งฉากกับทิศทางการสั่น (μm)

y คือ ขนาดรอยถลอกในแนวขนานกับทิศทางการสั่น (μm)

สำหรับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยถลอกที่ปรับแก้ค่าแล้ว (*WSI.4*) ภายใต้มาตรฐานการทดสอบขององค์การมาตรฐานสากล ISO 12156-1 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.4

$$WSI.4 (\mu m) = MWSD (\mu m) + HCF \times (1.4 - AVP) \quad (3.4)$$

ซึ่งค่า HCF มีค่าเท่ากับ 60 สำหรับเชื้อเพลิงที่ไม่ทราบประเภท และการคำนวณหาค่าเฉลี่ยความดันไอสัมบูรณ์ (AVP) ได้จากความสัมพันธ์ของสถานะแวดล้อมของการทดสอบคือ ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในช่วงเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดสอบ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 3.5

$$AVP = \frac{AVP_1 + AVP_2}{2} \quad (3.5)$$

ความดันไอสัมบูรณ์เริ่มต้น (AVP_1) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.6 ในหน่วยกิโลปาสคาล (kPa)

$$AVP_1 = \frac{RH_1 \times 10^v}{750} \quad (3.6)$$

โดย RH_1 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ขณะเริ่มต้นการทดสอบ ($^{\circ}C$)

v คือ $8.017352 - 1705.984 / (231.864 + T_1)$

เมื่อ T_1 คือ อุณหภูมิของอากาศขณะเริ่มต้นการทดสอบ ($^{\circ}C$)

ความดันไอสัมบูรณ์สุดท้าย (AVP_2) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.7 ในหน่วยกิโลปาสคาล (kPa)

$$AVP_2 = \frac{RH_2 \times 10^v}{750} \quad (3.7)$$

โดย RH_2 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ขณะสิ้นสุดการทดสอบ ($^{\circ}C$)

v คือ $8.017352 - 1705.984 / (231.864 + T_2)$

เมื่อ T_2 คือ อุณหภูมิของอากาศขณะสิ้นสุดการทดสอบ ($^{\circ}C$)

3.4 การติดตั้งเครื่องยนต์

การดำเนินงานขั้นต้นสำหรับงานวิจัย เริ่มต้นโดยทำการจัดหาเครื่องยนต์สำหรับการทดสอบ ตรวจสอบสภาพเครื่องยนต์ที่ได้จัดหาและปรับเปลี่ยนชิ้นส่วน เพื่อเพิ่มสภาพของเครื่องยนต์ ให้เครื่องยนต์มีสภาพพร้อมใช้งาน ออกแบบวิธีการทดสอบ หลังจากนั้นทำการติดตั้งเครื่องยนต์ กับไดนาโมมิเตอร์ ต่อระบบและอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้ากับเครื่องยนต์ ได้แก่ ระบบหล่อเย็นเครื่องยนต์ ระบบการป้อนเชื้อเพลิงและป้อนอากาศ ระบบควบคุมเครื่องยนต์ความเร็วรอบ และควบคุมภาระกรรมของไดนาโมมิเตอร์ รวมถึงระบบการตรวจวัดการทำงานของเครื่องยนต์ ตรวจสอบเช็คเครื่องยนต์ และระบบต่าง ๆ ดังนี้

3.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบ

1) เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition Engine : CI Engine) ที่ใช้สำหรับการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ 4 สูบ ขนาด 2.449 ลิตร แบบฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ดังรูปที่ 3.24 ซึ่งข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์แสดงดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.24 เครื่องยนต์สำหรับการทดสอบ

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์

Engine	Specification
Engine model	ISUZU 4JA1
Engine type	4-Stroke, 4 - Cycle, Water Cooled,, Direct Injection
Number of cylinder – Bore x Stroke	4 – 93.0 x 92.0 mm. (3.66 x 3.62 in.)
Total piston displacement	2.449 (152.4)
Compression ratio	18.4
Fuel injection timing (BTDC)	14 degree
Rated power	64.9 kW @4000 rpm
Max.Torque	171.5 N-m @2000 rpm

2) ไดนาโมมิเตอร์

ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดสอบเครื่องยนต์เป็นแบบของเหลวหรือไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์ โดยใช้น้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรม (Water Brake) ดังรูปที่ 3.25 มีระบบการทำงานโดยอาศัยแรงดันของน้ำมันไฮดรอลิกหรือน้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรมให้แก่เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.25 ไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลจำเพาะของไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์

Dynamometer	
Make	SAJ Group
Type	Hydraulic
Capacity	160 HP
Load	Water
Load Cell	
Model	614
Type	M
Range	300 kg

3) ชุดเครื่องมือวัดความดันในกระบอกสูบ

ชุดเครื่องมือวัดความดันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบเซนเซอร์ความดัน (Sensor Pressure) และเครื่องขยายสัญญาณ (Amplifier) ซึ่งแสดงรายละเอียดข้อมูลโดยทั่วไป ดังตารางที่ 3.5

4) ชุดเครื่องมือวัดองศาเพลาคือหัวขึง

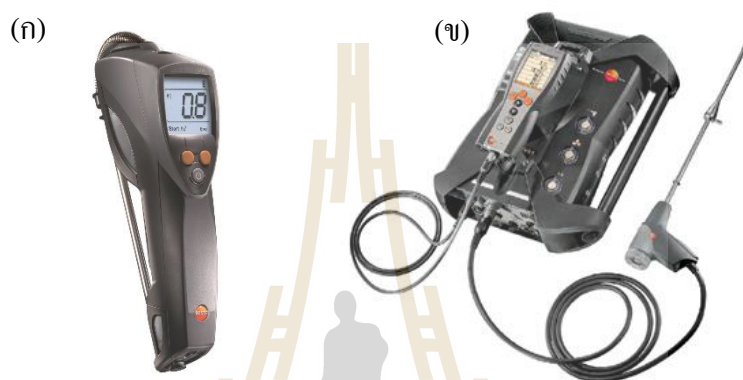
ชุดเครื่องมือวัดองศาเพลาคือหัวขึงของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบจะประกอบไปด้วย Crank Angle Encoder, Cable connector และ Encoder Electronics ซึ่งแสดงรายละเอียดข้อมูลโดยทั่วไป ดังตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.26 เครื่องขยายสัญญาณความดันในกระบอกสูบ

5) เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย

เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Flue Gas Analyzer) สำหรับการทดสอบจะใช้ประกอบด้วยเครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 350 เครื่องมือวัด HORIBA รุ่น MEXA - 584L เครื่องมือวัดเขม่า MAHA รุ่น MDO 2 LON และเครื่องมือวัดดัชนีเขม่า TESTO รุ่น TESTO 308 โดยรายละเอียดข้อมูลเครื่องมือวัดดังนี้



รูปที่ 3.27 เครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Flue Gas Analyzer)

(ก) เครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 308

(ข) เครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 350



รูปที่ 3.28 เครื่องมือวัด HORIBA รุ่น MEXA - 584L



รูปที่ 3.29 เครื่องมือวัดเขม่า MAHA รุ่น MDO 2 LON

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลด้านเทคนิคและข้อมูลทั่วไปของเครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 308

Technical Data	
Sensor Type	Photodiode
Measuring Range	0 to 6 RZ
Accuracy ± 1 digit	± 0.2 RZ
Resolution	0.1 RZ
General Technical Data	
Pump Capacity	1.63 ± 0.1 l
Reference Filter	At 990 mbar and +20 °C Ambient Temperature
Display	Segment display with background Illumination
Norms and Tests	1.BlmSchV, METAS, EU-Guideline 2004/108/EG
Operating Temperature	+5 to +45 °C
Storage Temperature	-20 to +50 °C
Protection Class	IP40
Interfaces	IR / IRDA Interface
Gas Sampling	Stainless Steel Pipe ca. 220 mm, Rubber Hose 100 mm

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 350

Measurement Parameter	Measurement Range	Accuracy	Resolution
O ₂	0 – 25 vol.%	± 2 vol%	0.01 vol%
CO, H ₂ -comp.	0 – 10000 ppm	± 10 ppm (0-199 ppm) ± 5 ppm of reading (200-2000 ppm) ± 10 ppm of reading (rest of range)	1 ppm
CO _{low} , H ₂ -comp.	0 – 500 ppm	± 2 ppm (0-39.9 ppm) ± 5 ppm of reading (rest of range)	0.1 ppm
NO	0 – 4000 ppm	± 5 ppm (0-99 ppm) ± 5 ppm of reading (100-1999 ppm) ± 10 ppm of reading (rest of range)	1 ppm
NO _{low}	0 – 300 ppm	± 2 ppm (0-39.9 ppm) ± 5 ppm of reading (rest of range)	
NO ₂	0 – 500 ppm	± 5 ppm (0-99 ppm) ± 5 ppm of reading (rest of range)	0.1 ppm
CO ₂ (IR)	0 – 50 vol.%	± 0.3 vol.% (0-39.9 vol. %) ± 0.5 vol.% ± 0.5 vol.% of reading (rest of range)	0.01 vol% (0-25 vol %) 0.1 vol% (>25 vol %)
HC	Natural gas: 100 – 40000 ppm Propane: 100 – 21000 ppm Butane: 100 – 18000 ppm	± 400 ppm (100-4000 ppm) ± 10% of reading (rest of range)	10 ppm

ตารางที่ 3.8 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องมือวัด HORIBA รุ่น MEXA-584L

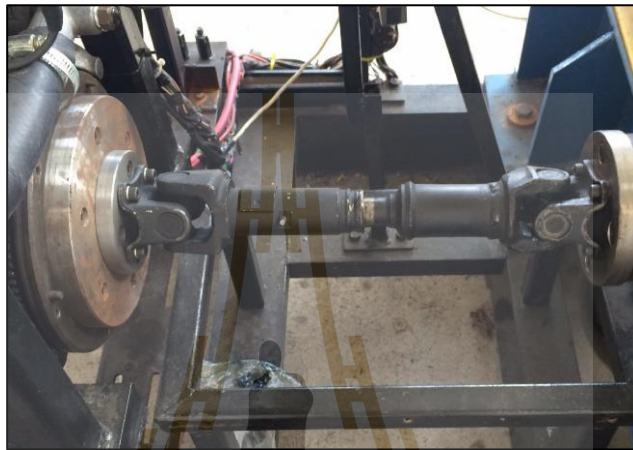
Items	Specification
Model	Opacimeter - MAHA MDO2-LON
Measurement principle	Absorption photometry
Wave length of the spotlight	567 nm
Measurement chamber length	430 mm
External/Internal diameter of test chamber	28 mm / 25mm
Warm-up time of the measurement chamber approx.	180 s
Measurement range turbidity	0 – 100 %
Measuring range absorption coefficient	0 – m ⁻¹

ตารางที่ 3.9 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องมือวัดเขม่า MAHA รุ่น MDO 2 LON

Items	Specification
Model	Horiba MEXA-584L
Standard norm	ISO3930 / OIML R99 (2000) Klasse 0, CE
Measure the composition	CO: 0.00% Vol. – 10.00% VOL. HC: 0 ppm Vol. – 10.000 ppm Vol. oder 0 ppm Vol. – 20.000 ppm Vol. CO ₂ : 0.00% Vol. – 20.00% Vol. Lambda: 0.000 – 9.999
Option	O ₂ : 0.00% Vol. – 25.00% Vol. NO: 0 ppm Vol. – 5.000 ppm Vol.
Precision	CO: 0.01% Vol. HC: 1 ppm Vol. CO ₂ : 0.02% Vol. Lambda: 0.001

3.4.2 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องยนต์

ทำการติดตั้งเครื่องยนต์ที่ใช้สำหรับทำการทดสอบเข้ากับไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งเป็นแบบไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์ ด้วยการต่อระหว่างเพลลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์กับเพลลาแกนหมุนของไดนาโมมิเตอร์ด้วยคัปปลิ่ง (Coupling) ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 การติดตั้งเครื่องยนต์เข้ากับไดนาโมมิเตอร์

2) ทำการติดตั้งระบบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ ได้แก่ ระบบน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ ระบบวัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และอากาศที่ป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 การติดตั้งระบบของเครื่องยนต์

3) ทำการติดตั้งระบบควบคุมเข้ากับเครื่องยนต์ ไดนาโมมิเตอร์ และจอแสดงผล ดังรูปที่ 3.32 (ก) เพื่อควบคุมภาระกรรม ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และตรวจวัดข้อมูลการทดสอบ ได้แก่ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า – ออก อุณหภูมิและความดันน้ำมันเครื่อง อุณหภูมิไอดี และไอเสียของเครื่องยนต์ โดยการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งการวัดที่ต้องการ



รูปที่ 3.32 การติดตั้งระบบตรวจวัดและแสดงผล

(ก) การติดตั้งระบบควบคุม

(ข) หอหล่อเย็น (Cooling Tower)

4) ทำการติดตั้งระบบตรวจวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และวัดค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ รวมถึงทำการสอบเทียบอุปกรณ์วัดค่าแรงบิด ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงบิดในชุดการทดสอบครั้งนี้คือ โหลดเซลล์ (Load Cell)

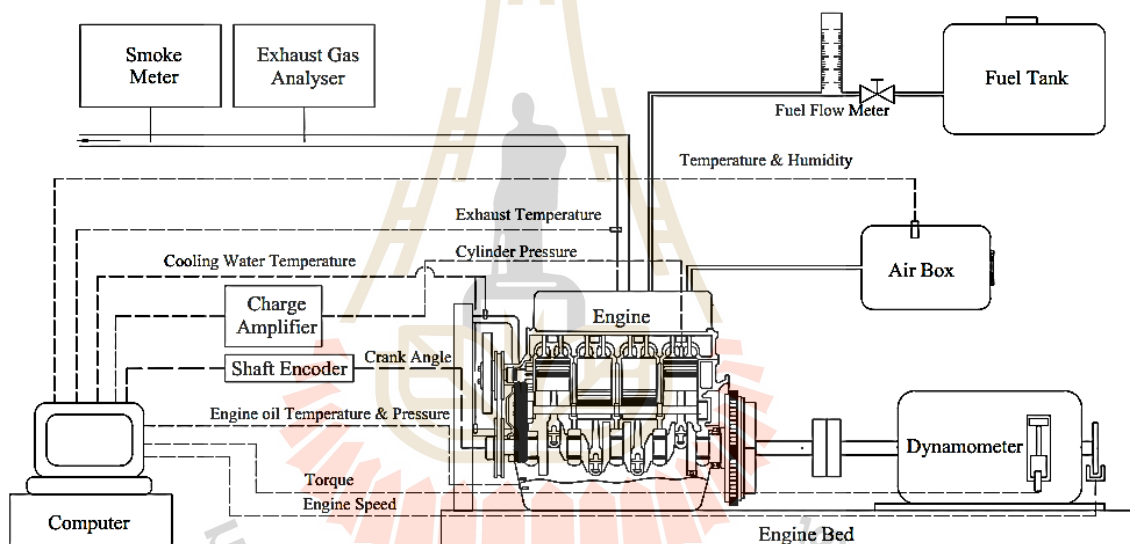
5) ทำการเชื่อมต่อระบบสร้างภาระกรรมของไดนาโมมิเตอร์เข้ากับหอหล่อเย็น (Cooling Tower) เพื่อหล่อเย็นน้ำที่ใช้สร้างภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 3.32 (ข)

6) ขั้นตอนสุดท้ายในการติดตั้งเครื่องยนต์คือทำการเดินเครื่องยนต์ (Run In) ก่อนการทดสอบ เพื่อให้เครื่องยนต์ที่ได้ทำการปรับเปลี่ยนชิ้นส่วนต่าง ๆ ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นการตรวจสอบระบบการทำงานต่าง ๆ ของเครื่องยนต์

3.5 วิธีการทดสอบเครื่องยนต์

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และ วัดการปล่อยมลพิษไอเสีย โดยจะทำการทดสอบกับน้ำมันดีเซล สำหรับใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง อ้างอิงและเปรียบเทียบผลกับการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวไว้ในบทที่ 1 ซึ่งมี ขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1) ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ เข้ากับเครื่องยนต์ ได้แก่ ชุดวัดองศาเพลลา ข้อเหวี่ยง ชุดวัดความดันในกระบอกสูบ และเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย แล้วทำการเปิดระบบการทำงานต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ และระบบการทำงานของไดนาโมมิเตอร์ ดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบเครื่องยนต์

2) ทำการติดเครื่องยนต์แล้วปล่อยให้เครื่องยนต์เดินเบา จนเครื่องยนต์อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบ (อุณหภูมิน้ำมันเครื่องอยู่ที่ประมาณ 70 องศาเซลเซียส)

3) เริ่มทำการทดสอบด้วยการปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้อยู่ที่ 2,500 รอบต่อนาที แล้วปรับการจ่ายภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ที่ 30 นิวตันเมตร ซึ่งเมื่อจ่ายภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ความเร็วรอบจะลดลง จึงต้องเร่งปรับความเร็วให้คงที่ตามที่กำหนด

4) ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง ด้วยการจับเวลาอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้ปริมาตรในการวัดที่ 100 มิลลิลิตร

- 5) ทำการเก็บข้อมูลความดันในกระบอกสูบและองศาเพลลาข้อเหวี่ยง ด้วยชุดเครื่องวัดความดันในกระบอกสูบ และชุดเครื่องมือวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยง
- 6) ทำการตรวจวัดมลพิษไอเสียด้วยเครื่องวิเคราะห์ที่แก๊สไอเสีย ณ บริเวณปลายท่อไอเสียของเครื่องยนต์
- 7) บันทึกข้อมูลผลการทดสอบ ได้แก่ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า – ออก อุณหภูมิไอดี อุณหภูมิแก๊สไอเสีย และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง
- 8) ทำการทดสอบตามขั้นตอนการปฏิบัติที่ 3 ถึง 7 โดยการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่ทดสอบเป็น 50, 70, 90 และ 110 นิวตันเมตร ตามลำดับ และทำการทดสอบเช่นเดียวกันนี้กับน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบชนิดอื่น ๆ

3.6 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในการทดสอบได้แบ่งการวิเคราะห์ผลเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงและทำการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะของการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.6.1 การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

ตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่นำมาทดสอบ และทำการเปรียบเทียบผลการตรวจวัด ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจวัดความถ่วงจำเพาะ ความถ่วงเอพีไอ ความหนืดจลนศาสตร์ อุณหภูมิการกลั่น จุดวาบไฟ ดัชนีซีเทน ค่าความร้อนเชื้อเพลิง และความหนาแน่น

3.6.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ โดยทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่ทำการวัด คือ แรงบิด กำลังเบรก และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) และความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (IMEP)

3.6.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณลักษณะการเผาไหม้

เปรียบเทียบคุณลักษณะการเผาไหม้ระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ โดยการใช้ผลของข้อมูลความดันในกระบอกสูบ และอัตราการปลดปล่อยความร้อน ณ ตำแหน่งมุมองศาเพลลาข้อเหวี่ยงต่าง ๆ รวมทั้ง การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรผัน

(Coefficient of Variable : COV) ของเครื่องยนต์ ด้วยสมการที่ 2.9 ซึ่งทำการหาผลเฉลี่ยของค่าดังกล่าวจำนวน 120 วัฏจักร ก่อนการนำไปทำการเปรียบเทียบต่อไป

3.6.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตรวจวัดการปล่อยมลพิษไอเสีย

เปรียบเทียบปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสียระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และควันดำ (Smoke)

3.6.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติการหล่อลื่น

เปรียบเทียบคุณสมบัติการหล่อลื่นด้วยรอยถลอกบนลูกบอลที่ถูกวัดขนาดของความยาวในแนวการเคลื่อนที่ของลูกบอล (แนวแกน X) และแนวที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลูกบอล (แนวแกน Y) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า และรายงานเป็นค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยถลอกที่ปรับแก้ค่าแล้ว (WS1.4) ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.2.7



บทที่ 4

ผลกระทบของการใช้น้ำมันขยะพลาสติกต่อสมรรถนะ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษของเครื่องยนต์

4.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการศึกษาการใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิง โดยน้ำมันขยะพลาสติกที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นกระบวนการทางความร้อนที่ใช้ในการแปรรูปพลังงานจากขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ทั้งนี้ น้ำมันขยะพลาสติกที่นำมาทดสอบเป็นน้ำมันขยะพลาสติกที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วนผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมของเครื่องยนต์ และทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง พารามิเตอร์ด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์และคุณลักษณะการเผาไหม้ ซึ่งประกอบด้วยความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ รวมถึงพิจารณาปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสีย ได้แก่ ออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ และควันดำ โดยหัวข้อที่จะกล่าวถึงในบทนี้ ได้แก่ วิธีดำเนินการวิจัย ผลการทดสอบและอภิปรายผล และสรุปผลการวิจัย

4.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยในบทนี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบ การตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง และการทดสอบเครื่องยนต์ เพื่อทดสอบพารามิเตอร์ในด้านต่าง ๆ ประกอบไปด้วยสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณสมบัติการเผาไหม้ การปล่อยมลพิษไอเสีย และขั้นตอนสุดท้ายคือ การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1) การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

ขั้นตอนแรกของการดำเนินการวิจัยคือ การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบเพื่อนำไปตรวจวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง และทดสอบพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 5 เชื้อเพลิง โดยน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบออกแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ น้ำมันดีเซล น้ำมันขยะพลาสติก และน้ำมันขยะพลาสติกผสม น้ำมันขยะพลาสติกผสมเป็นการนำน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 25, 50 และ 75 โดยปริมาตรตามลำดับ ในการทดสอบจะกำหนดรหัสของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนผสมและการกำหนดรหัสของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ชนิดที่	ปริมาณน้ำมันขยะพลาสติก (ร้อยละโดยปริมาตร)	ปริมาณน้ำมันดีเซล (ร้อยละโดยปริมาตร)	รหัสน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ
1	0	100	DF
2	25	75	WPO25
3	50	50	WPO50
4	75	25	WPO75
5	100	0	WPO

2) การตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ โดยตรวจวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials : ASTM) ซึ่งคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ตรวจวัดประกอบไปด้วย ความหนืดจลนศาสตร์ ความถ่วงจำเพาะ ความถ่วงเอพิโอ ความหนาแน่น จุดวาบไฟ อุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนเชื้อเพลิง ทั้งนี้วิธีการตรวจวัดคุณสมบัติดังกล่าวได้อธิบายไว้ในบทที่ 3

3) การทดสอบเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ ต่อกับไดนาโมมิเตอร์ชนิดใช้น้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ซึ่งต่อเข้ากับวงจรควบคุมความเร็วรอบและภาระกรรม รวมทั้งเก็บข้อมูลอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นขาเข้าและขาออก

น้ำมันเครื่อง ไอดี และไอเสีย โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K การวัดค่าอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงวัดโดยใช้ชุดดวงวัดเทียบกับเวลา เครื่องมือที่ใช้วัดความดันในกระบอกสูบประกอบด้วย เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure Transducer Kistler 6052C) ต่อเข้ากับตัวขยายสัญญาณ (Charge Amplifier Kistler 5064C) และวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยงโดยชุดวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยง (Crank Angle Encoder Set Kistler 2164C) ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตั้งที่ 2,500 รอบต่อ นาที ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่ 30, 50, 70, 90 และ 110 นิวตันเมตร ตามลำดับ โดยใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันขะยะพลาสติก และน้ำมันขะยะพลาสติกผสม ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ระหว่างการทดสอบ ได้แก่ อัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง ความดันในกระบอกสูบ องศาเพลลาข้อเหวี่ยง อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ และการปล่อยมลพิษไอเสีย ซึ่งประกอบด้วยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และควันดำ (Smoke) โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสียยี่ห้อ Testo รุ่น Testo 350 ยี่ห้อ Horiba รุ่น MEXA - 584L และเครื่องมือวัดควันดำยี่ห้อ MAHA รุ่น MDO 2 LON

4) การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบประกอบด้วย การนำผลการวัดอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงมาคำนวณเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ในปัจจัยด้านความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ดังสมการที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ และจากการข้อมูลการทดสอบความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ นำมาหาผลเฉลี่ยจำนวน 120 วิจัยกร เพื่อวิเคราะห์ผลคุณลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบแต่ละชนิด รวมถึงการหาค่าเฉลี่ยจากการวัดปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ จากนั้นนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

4.3 ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

4.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง

การตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วย น้ำมันดีเซล น้ำมันขะยะพลาสติก และน้ำมันขะยะพลาสติกผสม ทั้ง 3 อัตราส่วน ภายใต้มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM) จากผลการตรวจวัดพบว่า น้ำมันขะยะพลาสติกมีค่าดัชนีซีเทนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม ความหนืดจลนศาสตร์ ความหนาแน่น และจุดวาบไฟของน้ำมันขะยะพลาสติกนั้นมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล รวมถึงค่าความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันขะยะพลาสติกที่มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

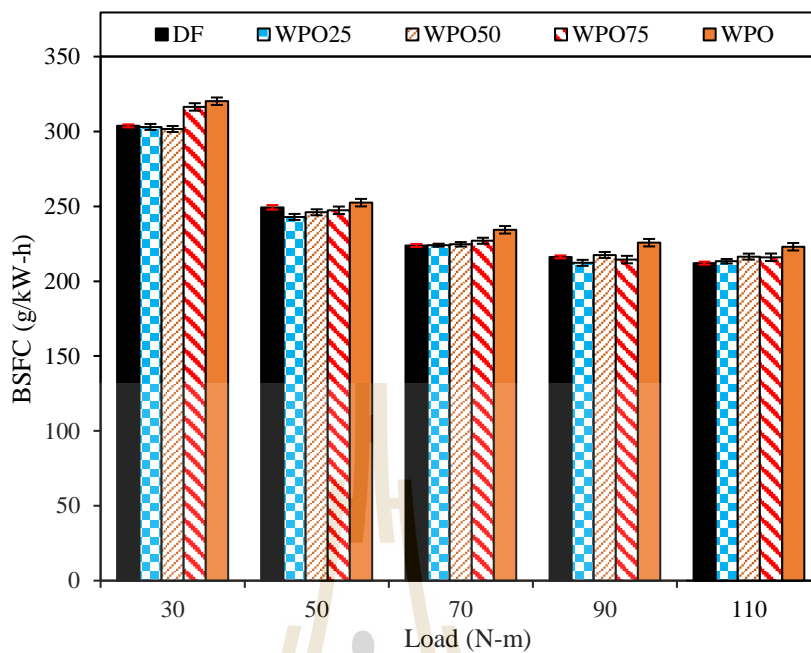
คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	หน่วยการวัด	มาตรฐานการทดสอบ	น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ				
			DF	WPO25	WPO50	WPO75	WPO
ความหนืดจลนศาสตร์ ณ อุณหภูมิ 40 °C	cSt	ASTM D445	3.439	3.359	3.254	3.107	3.065
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6 °C	-	ASTM D1298	0.828	0.820	0.815	0.809	0.800
ความถ่วงเอพียู	-	ASTM D1298	39.39	41.27	42.29	43.58	45.38
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15.6 °C	kg/m ³	ASTM D1298	827.19	819.19	814.20	808.20	799.21
จุดวาบไฟ	°C	ASTM D93	78	56	46	40	36
อุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เปอร์เซนต์	°C	ASTM D86	298	294	288	284	282
ดัชนีซีเทน	-	ASTM D976	60.18	62.66	63.72	65.5	68.98
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง	MJ/kg	ASTM D240	45.39	45.34	45.23	45.09	44.98

4.3.2 สมรรถนะของเครื่องยนต์

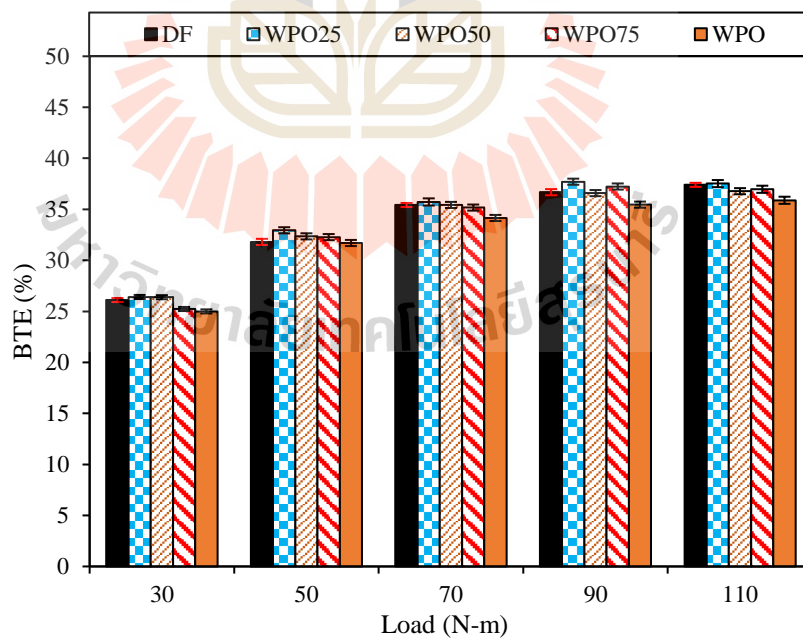
ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยการใช้น้ำมันขยะพลาสติกและน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบคือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) โดยสามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ดังนี้

จากรูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) ซึ่งหมายถึงความสัมพันธ์ของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวลต่อกำลังหนึ่งหน่วยที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ โดยสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกจะมีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากเครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่สูงขึ้นและอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังเบรกที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวล (Devaraj et al., 2015) และหากเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันขยะพลาสติกกับน้ำมันดีเซลพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกมากกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระกรรมประมาณ 1.26 – 5.16 เปอร์เซ็นต์ และการเพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติกส่งผลให้มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกมากขึ้นด้วย เนื่องจากน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันดีเซลจึงจำเป็นต้องใช้ปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น เพื่อให้ได้ปริมาณงานส่งออกที่เท่ากันเมื่อเปรียบเทียบกับการเผาไหม้น้ำมันดีเซล (S. Kumar et al., 2013)

จากรูปที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ซึ่งหมายถึงความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล โดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของภาระกรรมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิภายในกระบอกสูบที่สูงขึ้นทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงมีอัตราการระเหยกลายเป็นไอได้ดี (Viswanath K. Kaimal and P. Vijayabalan, 2016) เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกจะพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 0.35 – 4.25 เปอร์เซ็นต์ โดยสาเหตุน่าจะมาจากองค์ประกอบบางส่วนของน้ำมันขยะพลาสติกที่ใช้พลังงานในการสลายพันธะอะโรมาติกที่มากกว่าส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ลดลง (Kaimal and Vijayabalan, 2015) นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันขยะพลาสติกในน้ำมันดีเซลจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมกับน้ำมันดีเซลร้อยละ 25 โดยปริมาตร (WPO25) มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบอื่น ๆ



รูปที่ 4.1 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะแปรกับภาระกรรม



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนแปรกับภาระกรรม

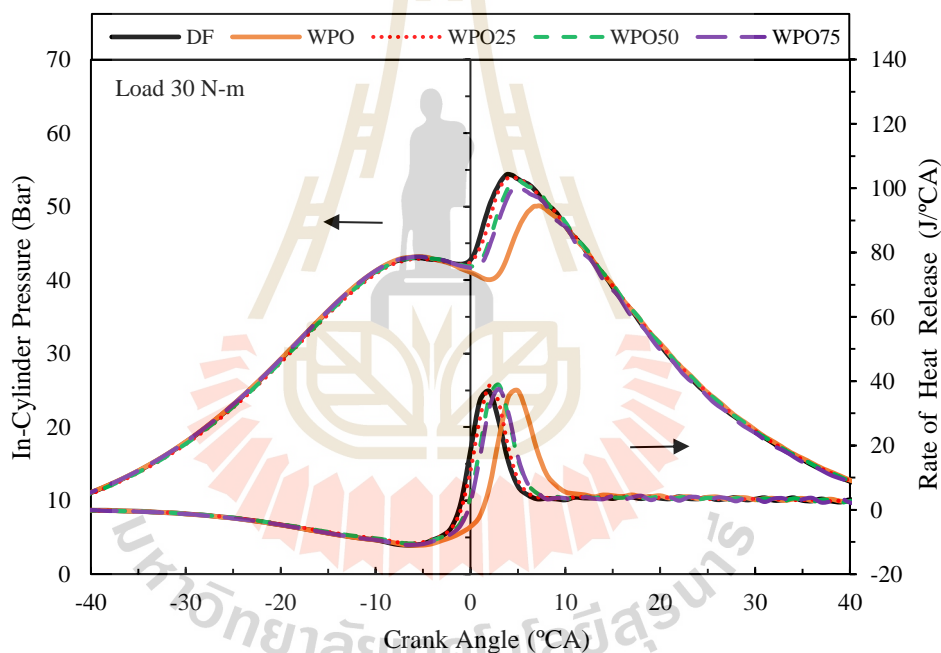
4.3.3 คุณลักษณะการเผาไหม้

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้โดยการใช้น้ำมันขยะพลาสติกและน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ ได้แก่ ความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (COV_{IMEP}) โดยสามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ดังนี้

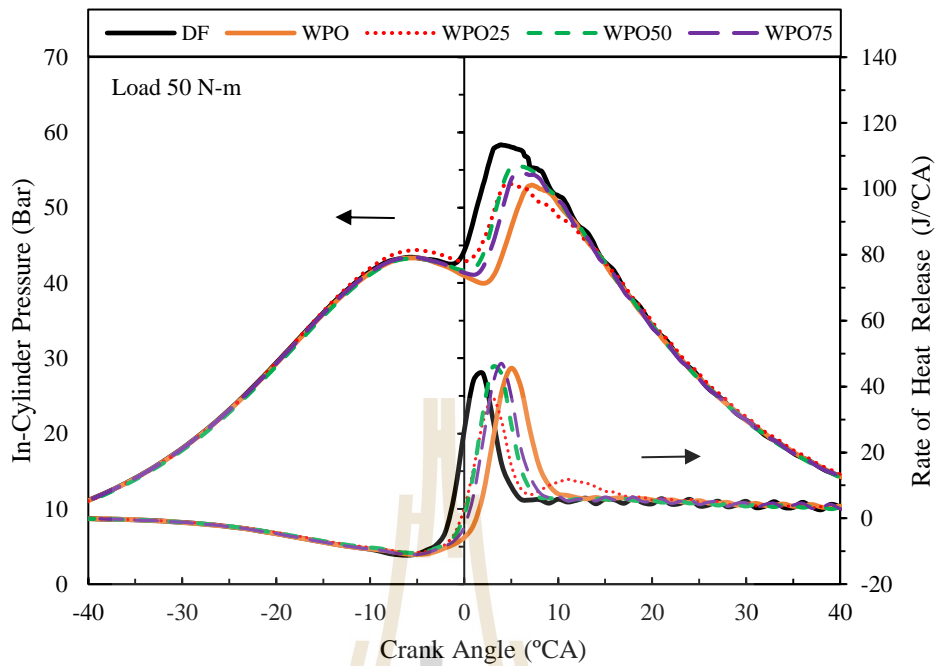
จากรูปที่ 4.3 - 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบที่ภาระกรรมต่าง ๆ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการบ่งชี้ถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ โดยสามารถสังเกตได้ว่า เมื่อเพิ่มภาระกรรมการทำงานให้กับเครื่องยนต์จะส่งผลให้ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงขึ้น และมีค่าลดลงที่ภาระกรรมสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบสูงสุดในแต่ละภาระกรรมระหว่างน้ำมันขยะพลาสติกกับน้ำมันดีเซลแสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่า น้ำมันดีเซลจะมีความดันในกระบอกสูบสูงสุดมากกว่าน้ำมันขยะพลาสติกทุกภาระกรรมการทำงานของเครื่องยนต์ และความดันในกระบอกสูบ สูงสุดจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติกในน้ำมันดีเซลลดลง อย่างไรก็ตาม น้ำมันขยะพลาสติกจะมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดมากกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 0.57 – 18.51 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีความล่าช้าในการจุดระเบิด (Retard) ที่มากกว่าน้ำมันดีเซลส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันที่รอการเผาไหม้เป็นจำนวนมาก ดังนั้น เมื่อเกิดการจุดระเบิดจึงทำให้อัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล การเกิดความล่าช้าในการเริ่มเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล สาเหตุหลักน่าจะมาจากค่าบัลก์โมดูลัส (อัดตัวได้มาก) ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลจึงส่งผลต่อความล่าช้าในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลมากกว่าดัชนีซีเทนที่สูงของน้ำมันขยะพลาสติกที่ทำให้ระยะเวลาในการผสมกันระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศน้อยลง และนำไปสู่การลดลงของระยะในการหน่วงการจุดระเบิด (Ignition Delay)

การวิเคราะห์ความแปรผันในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะแสดงอยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation : COV) ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากรูปที่ 4.9 แสดงถึงสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (COV_{IMEP}) ซึ่งแสดงถึงความไม่มีเสถียรภาพของการเผาไหม้ในแต่ละวัฏจักร โดยได้มาจากการวิเคราะห์ความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้เป็นจำนวน 120 วัฏจักร จากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบแต่ละชนิดพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตรา

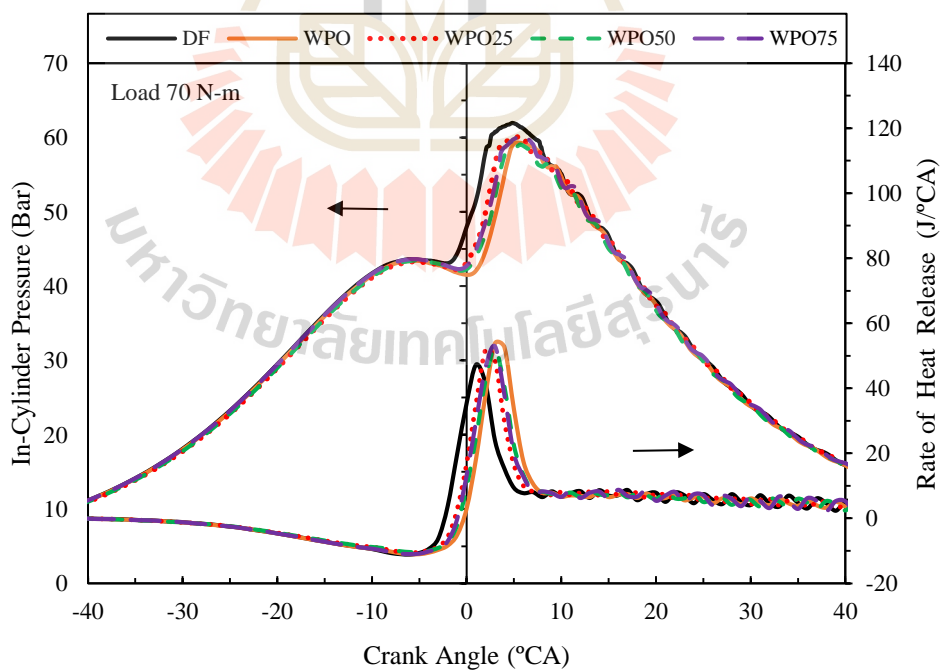
ส่วนผสมร้อยละ 75 โดยปริมาตร (WPO75) มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 12.15 เปอร์เซ็นต์ ที่ภาระกรรมต่ำสุด ซึ่งเกินค่าที่เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ตามปกติ โดยถูกกำหนดไว้ที่ค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ (Heywood, 1998) และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อภาระกรรมเพิ่มขึ้น หากพิจารณาโดยภาพรวมในแต่ละภาระกรรมแล้วจะเห็นได้ว่า น้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมในน้ำมันดีเซลร้อยละ 25 โดยปริมาตร (WPO25) มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 3.51, 2.14, 2.20, 1.23 และ 1.74 ที่ภาระกรรม 30, 50, 70, 90 และ 110 นิวตันเมตร ตามลำดับ



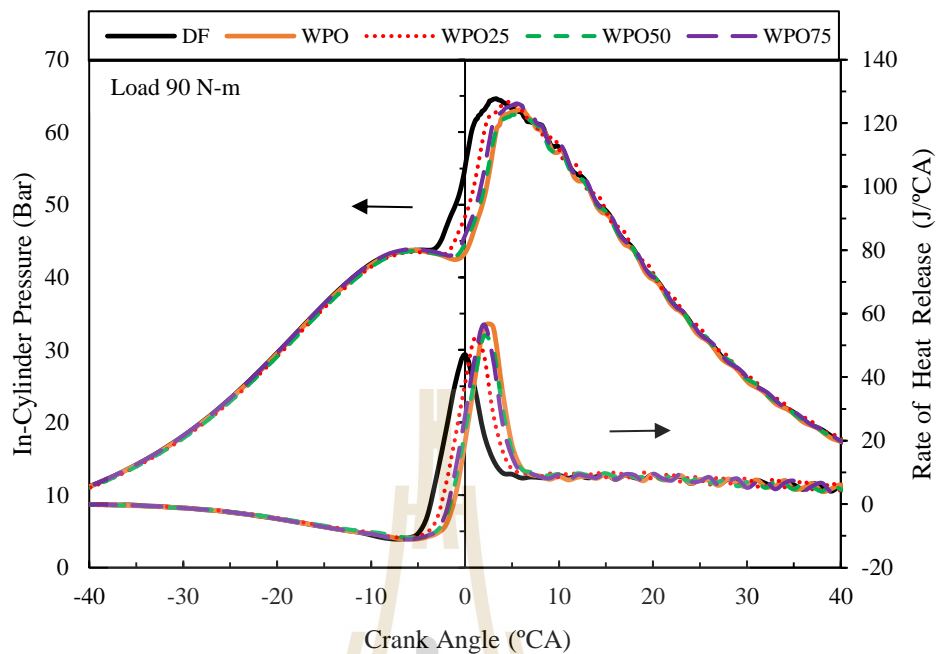
รูปที่ 4.3 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 30 N-m



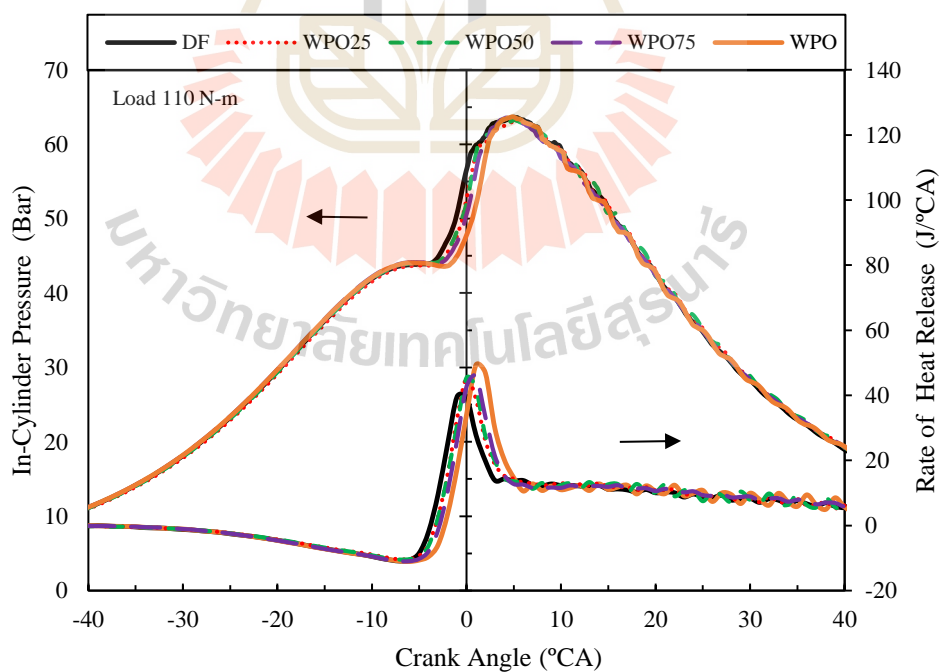
รูปที่ 4.4 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 50 N-m



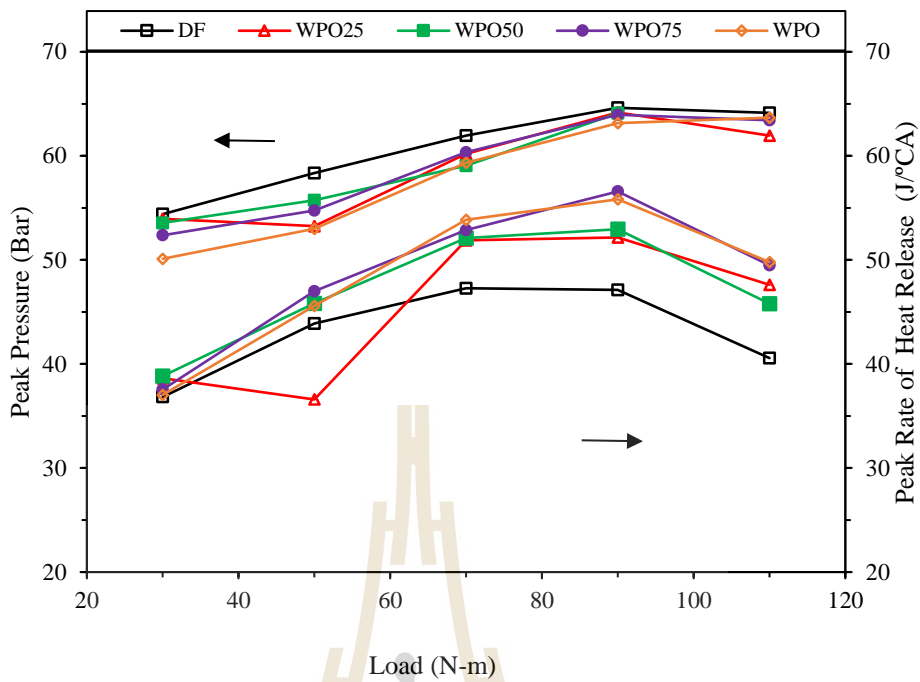
รูปที่ 4.5 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 70 N-m



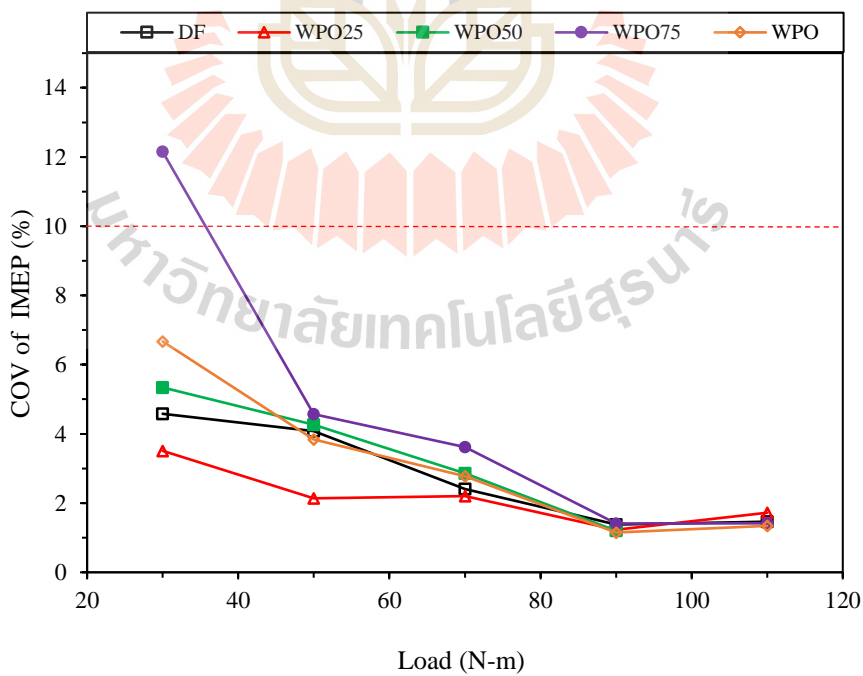
รูปที่ 4.6 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 90 N-m



รูปที่ 4.7 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 110 N-m



รูปที่ 4.8 ความดันในกระบอกสูบสูงสุดกับอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด



รูปที่ 4.9 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้

4.3.4 มลพิษไอเสีย

ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย สำหรับการตรวจวัดปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจวัด ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำ (Smoke) โดยสามารถอธิบายและวิเคราะห์ผลการตรวจวัดได้ดังนี้

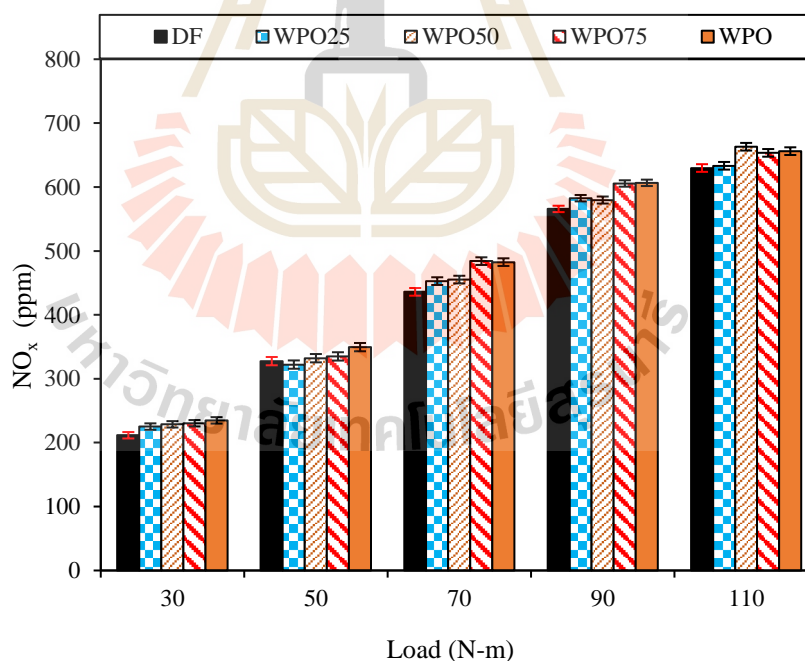
จากรูปที่ 4.10 แสดงปริมาณการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่ภาระกรรมต่าง ๆ ซึ่งออกไซด์ของไนโตรเจนเป็นมลพิษไอเสียที่เกิดจากการรวมตัวของไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ที่เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของไนโตรเจนในอากาศ ระหว่างการเผาไหม้ของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ (S. Kumar et al., 2013) โดยพบว่า ออกไซด์ของไนโตรเจนมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มภาระกรรมการทำงานของเครื่องยนต์ เนื่องจากอุณหภูมิและความดันในกระบอกสูบที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาออกไซด์ของไนโตรเจนของน้ำมันขยะพลาสติกมีปริมาณมากกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระกรรมประมาณ 4.19 – 11.01 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความดันในกระบอกสูบที่สูงและความล่าช้าในการจุดระเบิดทำให้อัตราการปลดปล่อยความร้อนมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้ ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีปริมาณมากขึ้นตามอัตราส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากความล่าช้าในการจุดระเบิดที่ยาวทำให้มีช่วงในการผสมน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศที่มาก ส่งผลให้มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนและอุณหภูมิในกระบอกสูบที่สูงขึ้น (Kalargaris et al., 2017)

จากรูปที่ 4.11 แสดงปริมาณการปล่อยไฮโดรคาร์บอน (HC) ซึ่งไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยพบว่า เมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ส่งผลให้ปริมาณการปล่อยไฮโดรคาร์บอนมีแนวโน้มลดลง และเพิ่มขึ้นที่ภาระกรรมสูงสุด หากพิจารณาปริมาณของไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันขยะพลาสติกพบว่า มีปริมาณมากกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระกรรมประมาณ 11.11 – 41.63 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความล่าช้าของการเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติก ทำให้มีช่วงเวลาเพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้นสั้นลง ส่งผลให้เกิดไฮโดรคาร์บอนขึ้นมากกว่าน้ำมันดีเซล โดยสังเกตได้ว่า ในทุกภาระกรรมน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมกับน้ำมันดีเซลร้อยละ 25 โดยปริมาตร (WPO25) มีปริมาณการปล่อยไฮโดรคาร์บอนต่ำสุด เนื่องจากมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่มากกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบอื่น ๆ ดังรูปที่ 4.2 และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติกในน้ำมันดีเซล

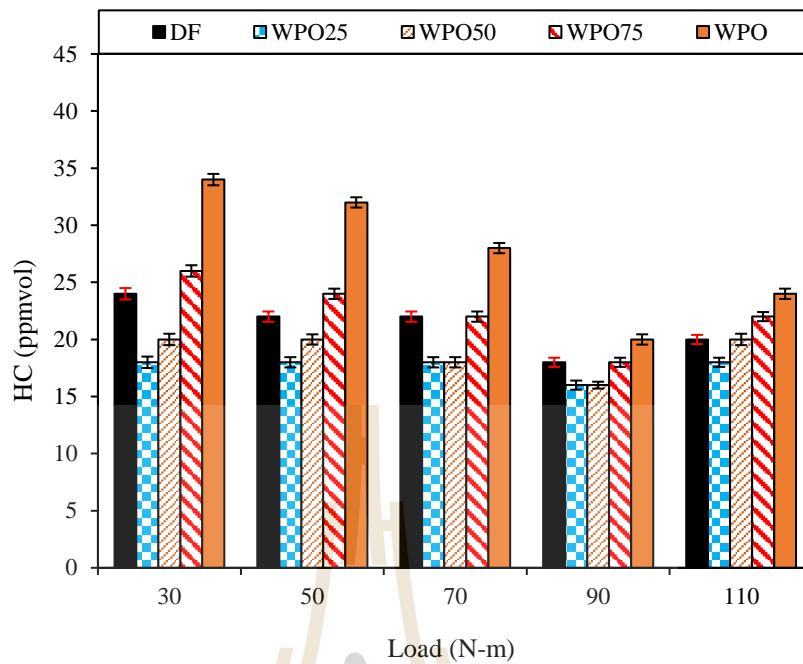
จากรูปที่ 4.12 แสดงปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โดยการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ในเครื่องยนต์ดีเซลเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนที่ไม่เพียงพอและขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง

โดยทั่วไปแล้วเครื่องยนต์จะทำงานที่ส่วนผสมบาง ดังนั้น ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ควรมีปริมาณที่น้อย (Mani, Subash, et al., 2009) โดยสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า คาร์บอนมอนอกไซด์ของน้ำมันขยะพลาสติกมีปริมาณมากกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาวะกรรม และคาร์บอนมอนอกไซด์จะลดลงเมื่อลดอัตราส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติก เหตุผลที่ทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์ของน้ำมันขยะพลาสติกมีปริมาณสูงกว่าน้ำมันดีเซลอาจเป็นเพราะความล่าช้าในการจุดระเบิดของน้ำมันขยะพลาสติกทำให้ลดระยะเวลาในการเผาไหม้ในหนึ่งวัฏจักรมีค่าน้อยลง

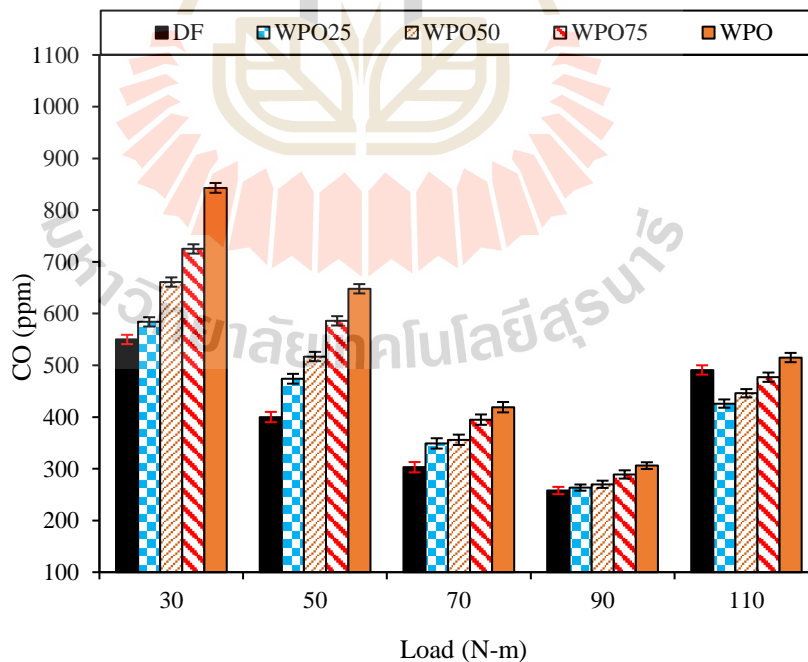
จากรูปที่ 4.13 แสดงควันดำ (Smoke) ที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกก่อให้เกิดปริมาณควันดำที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 56.79 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุมาจากน้ำมันขยะพลาสติกมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเขม่าคาร์บอน (Mani, Subash, et al., 2009) และสังเกตเห็นได้ว่า การเพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติกในน้ำมันดีเซลมีแนวโน้มทำให้ควันดำมีปริมาณลดลง



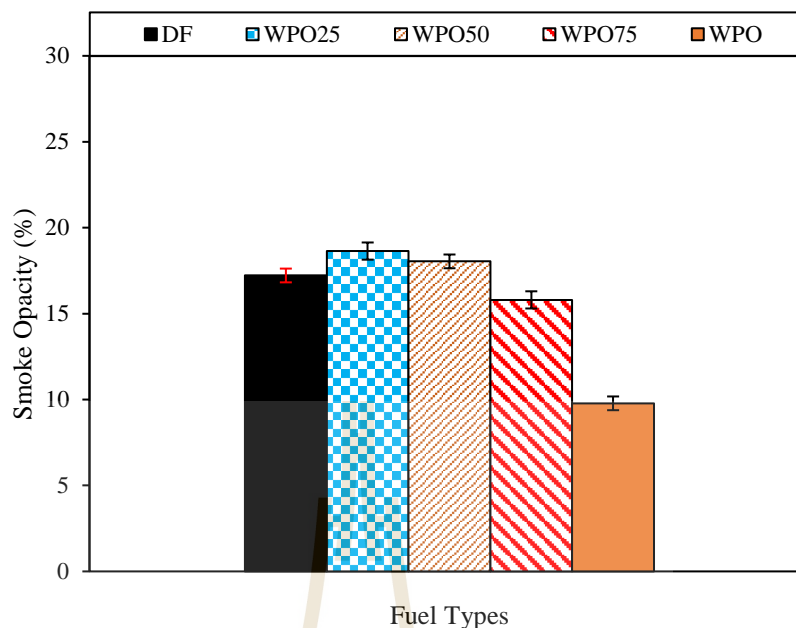
รูปที่ 4.10 ออกไซด์ของไนโตรเจนกับภาระกรรม



รูปที่ 4.11 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม



รูปที่ 4.12 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม



รูปที่ 4.13 กว้นดำกับน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

4.4 สรุปผลการวิจัย

การตรวจวัดด้านคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย โดยใช้น้ำมันขยะพลาสติกและน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 25, 50 และ 75 โดยปริมาตรตามลำดับ ซึ่งน้ำมันขยะพลาสติกที่นำมาใช้ทดสอบเป็นน้ำมันขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยยังไม่ผ่านขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วน สำหรับการเปรียบเทียบผลและวิเคราะห์ผลของการทดสอบภายใต้ภาระกรรมต่าง ๆ สามารถสรุปโดยสังเขปได้ดังนี้

1) น้ำมันขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วนสามารถใช้เป็นพลังงานทางเลือกและนำไปใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์

2) คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกพบว่า คัดชนีซีเทนของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม ความหนืดจลนศาสตร์ ความหนาแน่น และจุดวาบไฟนั้นมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล รวมถึงค่าความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และค่าความร้อนเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมน้ำมันขยะพลาสติกในน้ำมันดีเซล

3) ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) ของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ โดยมีค่ามากกว่าประมาณ 1.26 – 5.16 เปอร์เซ็นต์

4) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลทุกภาวะการทำงาน โดยมีค่ามากกว่าประมาณ 0.35 – 4.25 เปอร์เซ็นต์ และพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกในน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 25 โดยปริมาตร (WPO25) มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบอื่น ๆ

5) น้ำมันขยะพลาสติกทำให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิด และอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยมีค่าประมาณ 0.57 – 18.51 เปอร์เซ็นต์

6) น้ำมันขยะพลาสติกในน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 75 โดยปริมาตร (WPO75) มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (COV_{IMEP}) สูงสุดที่ภาระกรรมต่ำสุด โดยมีค่าเท่ากับ 12.15 ซึ่งแสดงถึงความไม่มีเสถียรภาพของการเผาไหม้ในแต่ละวัฏจักร และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มภาระกรรมของเครื่องยนต์

7) น้ำมันขยะพลาสติกมีแนวโน้มทำให้ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เกิดจากการเผาไหม้มีปริมาณมากกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 1.17 – 41.67 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่น้ำมันขยะพลาสติกก่อให้เกิดปริมาณควันดำที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 56.79 เปอร์เซ็นต์ และการเพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติกในน้ำมันดีเซลมีแนวโน้มทำให้ควันดำมีปริมาณลดลง

บทที่ 5

ผลกระทบของการใช้เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบต่อสมรรถนะ และมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันขยะพลาสติก

5.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการใช้เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบต่อสมรรถนะ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันขยะพลาสติก โดยเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของออกซิเจนที่นำมาใช้ในการผสมกับน้ำมันขยะพลาสติกคือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ซึ่งเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบดังกล่าวไปข้างต้น และมีโครงสร้างทางเคมีที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) ที่เท่ากัน แต่มีหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า น้ำมันดีเซลผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสามารถช่วยลดการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ดังนั้น ในการทดสอบนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษา เปรียบเทียบ และวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง พารามิเตอร์ด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์และคุณลักษณะการเผาไหม้ ซึ่งประกอบด้วย ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ รวมถึงพิจารณาปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสีย ได้แก่ ออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ และควันดำ โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมของเครื่องยนต์ ซึ่งหัวข้อที่จะกล่าวถึงในบทนี้จะประกอบไปด้วย วิธีดำเนินการวิจัย ผลการทดสอบ และอภิปรายผล รวมถึงสรุปผลการวิจัย

5.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ๆ เช่นเดียวกันกับบทที่ 4 คือ ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ การตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมี การทดสอบเครื่องยนต์เพื่อทดสอบสมรรถนะ คุณลักษณะการเผาไหม้ มลพิษไอเสีย และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

ขั้นตอนแรกของการดำเนินการวิจัยคือ การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบเพื่อนำไปตรวจวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงและทดสอบพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 4 เชื้อเพลิง โดยน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ น้ำมันดีเซล น้ำมันขยะพลาสติก และน้ำมันขยะพลาสติกผสม น้ำมันขยะพลาสติกผสมเป็นการนำน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับเชื้อเพลิงประเภทแอลกอฮอล์ได้แก่ ไดเอทิลอีเทอร์ และบิวทานอลที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 16 โดยปริมาตร ซึ่งเหตุผลที่ทำการผสมที่อัตราส่วนดังกล่าว เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาผลกระทบด้านมลพิษจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอล และน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 10 และ 16 โดยปริมาตร ตามลำดับ เพื่อควบคุมปริมาณออกซิเจนในน้ำมันผสมให้มีค่าเท่ากัน ผลการศึกษาพบว่า น้ำมันดีเซลที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสมจะช่วยลดการปล่อยมลพิษออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และอนุภาคคาร์บอนที่ได้จากการเผาไหม้ (Soot) (E. Sukjit et al., 2013) ดังนั้น เพื่อเป็นการขยายผลการศึกษาการนำน้ำมันประเภทแอลกอฮอล์มาใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ในการทดลองนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การใช้น้ำมันผสมกับน้ำมันขยะพลาสติก เนื่องจากบิวทานอลมีคุณสมบัติความเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ดีกว่าเอทานอล เช่น ความเสถียรภาพในการผสมกับน้ำมันดีเซล ค่าความร้อนเชื้อเพลิง ความหนาแน่น และความหนืด ในการทดสอบจะกำหนดครัทซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 อัตราส่วนผสมและการกำหนดครัทซ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ชนิดที่	ปริมาณน้ำมันขยะพลาสติก (ร้อยละโดยปริมาตร)	ปริมาณน้ำมันดีเซล (ร้อยละโดยปริมาตร)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (ร้อยละโดยปริมาตร)	รหัสน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ
1	0	100	0	DF
2	84	0	16*	DEE16
3	84	0	16**	BU16
4	100	0	0	WPO

หมายเหตุ * คือ ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl Ether)

** คือ บิวทานอล (Butanol)

2) การตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

ขั้นตอนนี้เป็น การตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ โดยตรวจวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials : ASTM) ซึ่งคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ตรวจวัดประกอบไปด้วย ความหนืดจลนศาสตร์ ความถ่วงจำเพาะ ความถ่วงเอพไอ ความหนาแน่น จุดวาบไฟ อุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เเปอร์เซ็นต์ ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนเชื้อเพลิง ทั้งนี้วิธีการตรวจวัดคุณสมบัติดังกล่าวได้อธิบายไว้ในบทที่ 3

3) การทดสอบเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ต่อกับไคนาโมมิเตอร์ชนิดใช้น้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ซึ่งต่อเข้ากับวงจรควบคุมความเร็วรอบและภาระกรรม รวมทั้งเก็บข้อมูลอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น น้ำมันเครื่อง ไอดี และไอเสีย โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K การวัดค่าอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงวัดโดยใช้ชุดตรวจวัดเทียบกับเวลา เครื่องมือที่ใช้วัดความดันในกระบอกสูบประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความดัน (Pressure Transducer Kistler 6052C) ต่อเข้ากับตัวขยายสัญญาณ (Charge Amplifier Kistler 5064C) และวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยงโดยชุดวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยง (Crank Angle Encoder Set Kistler 2164C) ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบต่อนาที ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่ 30, 50, 70, 90 และ 110 นิวตันเมตรตามลำดับ โดยใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันขยะพลาสติก และน้ำมันขยะพลาสติกผสม ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ระหว่างการทดสอบ ได้แก่ อัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง ความดันในกระบอกสูบ องศาเพลลาข้อเหวี่ยง อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ และมลพิษไอเสีย ซึ่งประกอบด้วยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และควันดำ (Smoke) โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสียยี่ห้อ Testo รุ่น Testo 350 ยี่ห้อ Horiba รุ่น MEXA - 584L และเครื่องมือวัดควันดำยี่ห้อ Testo รุ่น Testo 308

4) การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบประกอบด้วยการนำผลการวัดอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงมาคำนวณเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ในปัจจัยด้านความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ดังสมการที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ และจากการข้อมูลการทดสอบความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้เข้ามาหาผลเฉลี่ยจำนวน 120 วัฏจักร เพื่อวิเคราะห์ผลคุณลักษณะ

การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบแต่ละชนิด รวมถึงการหาค่าเฉลี่ยจากการวัดปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ จากนั้นนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

5.3 ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

5.3.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง

การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของออกซิเจนคือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลผสมกับน้ำมันขยะพลาสติกที่อัตราส่วนร้อยละ 16 โดยปริมาตร ซึ่งทำการตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงตามมาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM) โดยคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ตรวจวัดประกอบด้วย ความหนืดจลนศาสตร์ ความถ่วงจำเพาะ ความถ่วงเอพิไอ จุดวาบไฟ ความหนาแน่น อุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนเชื้อเพลิง ซึ่งผลการตรวจวัดของน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า การผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลในน้ำมันขยะพลาสติกส่งผลให้คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงมีค่าลดลง เช่น ความหนืดจลนศาสตร์ อุณหภูมิการกลั่น จุดวาบไฟ และค่าความร้อนเชื้อเพลิง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลทำให้ค่าดัชนีซีเทนมีค่าเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 5.1 ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์หลังเกิดการเผาไหม้

ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	หน่วยการวัด	มาตรฐานการทดสอบ	น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ					
			DF	WPO	DEE ^a	BU ^a	DEE16	BU16
ความหนืดจลนศาสตร์ ณ อุณหภูมิ 40 °C	cSt	ASTM D445	3.439	3.065	0.240	2.220	1.924	2.425
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6 °C	-	ASTM D1298	0.828	0.800	0.716	0.810	0.790	0.805
ความถ่วงเอพีไอ	-	ASTM D1298	39.39	45.38	66.13	43.16	47.61	44.28
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15.6 °C	kg/m ³	ASTM D1298	827.19	799.21	714.8	809.7	789.22	804.21
จุดวาบไฟ	°C	ASTM D93	78	36	-40	29	24	30
อุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เปอร์เซนต์	°C	ASTM D86	298	282	-	-	274	258
ดัชนีซีเทน	-	ASTM D976	60.18	68.98	125	17	71.99	61.83
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง	MJ/kg	ASTM D240	45.39	44.98	36.37	35.26	43.08	43.42

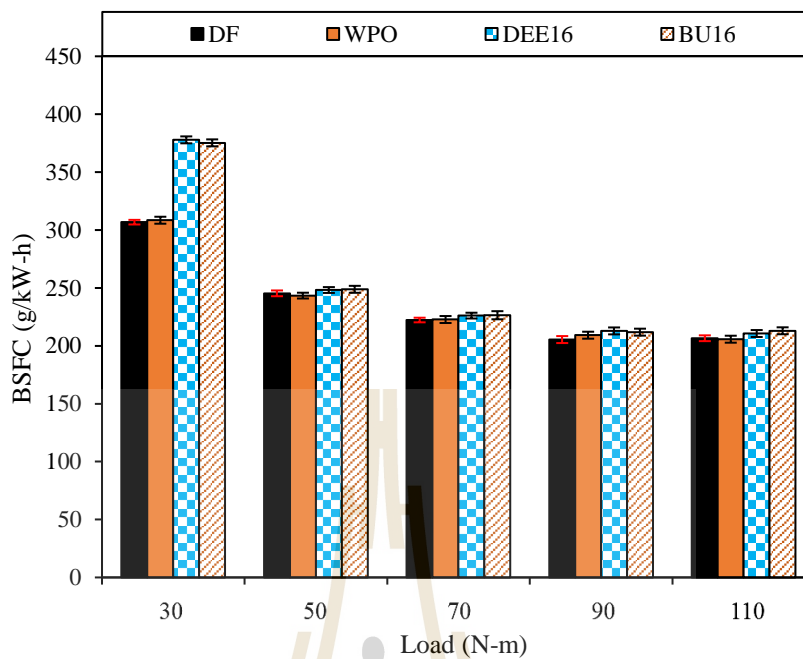
หมายเหตุ ^a ข้อมูลอ้างอิงจากเอกสารงานวิจัย

5.3.2 สมรรถนะของเครื่องยนต์

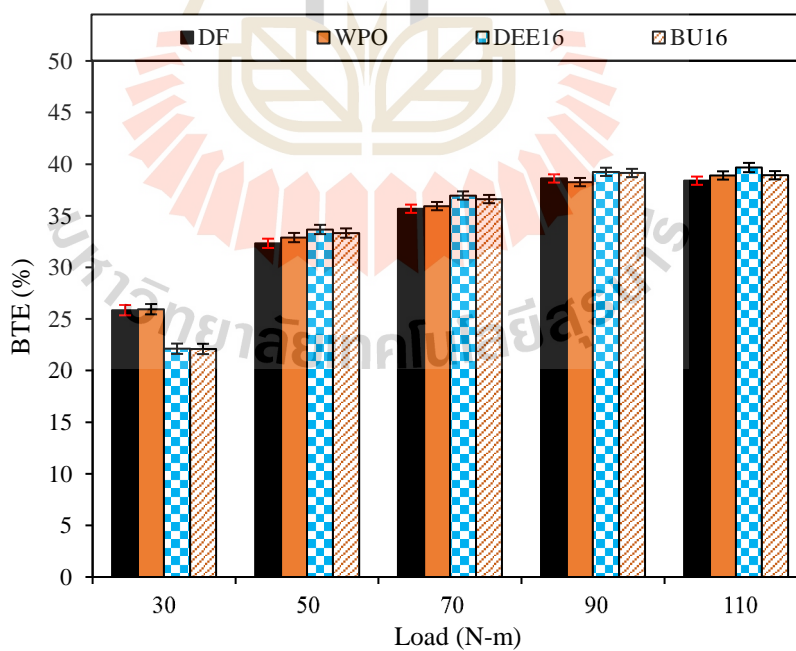
ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันขยะพลาสติก และน้ำมันขยะพลาสติกผสมน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ไดเอทิลอีเทอร์ และบิวทานอล ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประกอบไปด้วย ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) โดยสามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ดังนี้

จากรูปที่ 5.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก โดยจากการทดสอบพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีปริมาณความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล หากพิจารณาเปรียบเทียบน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจะเห็นว่า ปริมาณความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ (DEE16) และน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอล (BU16) ทุกภาระกรรมมีค่าสูงกว่าปริมาณความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันขยะพลาสติกและน้ำมันดีเซล เนื่องจาก ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าน้ำมันขยะพลาสติกและน้ำมันดีเซล จึงต้องการปริมาณเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ที่มากขึ้นเพื่อผลิตงานในปริมาณที่เท่ากัน (Damodharan et al., 2017) จากผลดังกล่าวจึงส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกที่ลดลงของ น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด และมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันขยะพลาสติกและน้ำมันดีเซล ที่ภาระกรรมต่ำสุด ดังรูปที่ 5.2

โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถของระบบการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์ (DEE16) มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกมากกว่าน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมบิวทานอล (BU16) ทุกภาระกรรมการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งมีค่ามากกว่า ประมาณ 0.14 – 1.90 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.1 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะแปรกับภาระกรรม



รูปที่ 5.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนแปรกับภาระกรรม

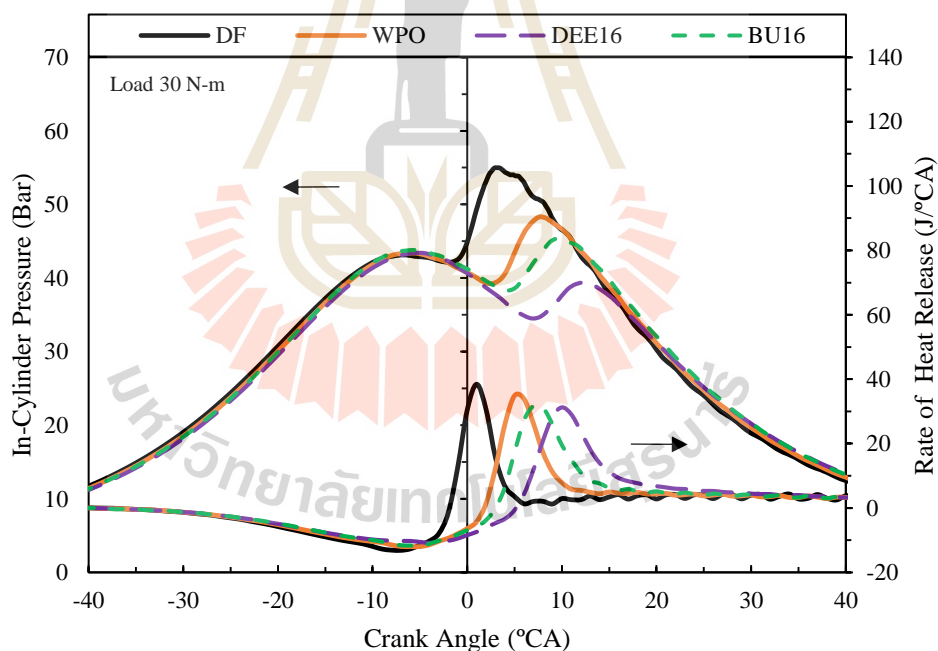
5.3.3 คุณลักษณะการเผาไหม้

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้โดยการใช้น้ำมันขยะพลาสติกและน้ำมันขยะพลาสติกผสมน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบคือ ความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบังชี (COV_{IMEP}) โดยสามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ดังนี้

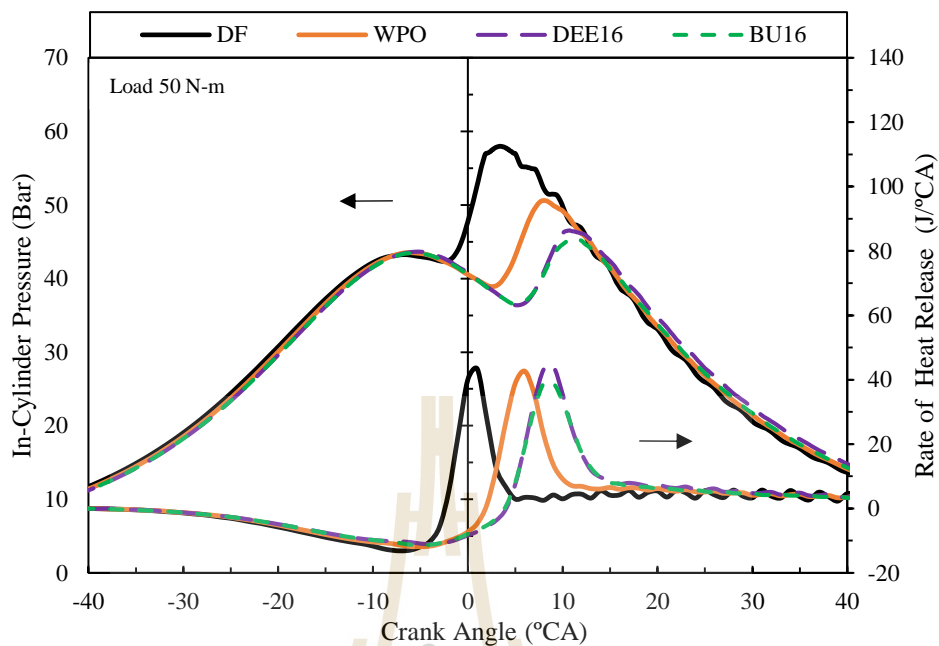
จากรูปที่ 5.3 - 5.7 แสดงถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบแต่ละชนิดที่ภาระกรรมต่าง ๆ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการทดสอบคือ ความดันในกระบอกสูบ และอัตราการปลดปล่อยความร้อน ซึ่งจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกเกิดความล่าช้า โดยเหตุผลหลักของความล่าช้าในการจุดระเบิดของน้ำมันขยะพลาสติกน่าจะมาจากความหนาแน่นที่ต่ำ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าบัลก์โมดูลัส (อัดตัวได้มาก) ที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยทั่วไปแล้วความล่าช้าในการจุดระเบิดที่นานทำให้อากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้มากขึ้นในช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้ (Herrerros et al., 2015) จากเหตุผลดังกล่าวสามารถพิสูจน์ได้จากอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่สูงขึ้นเมื่อน้ำมันขยะพลาสติกเกิดการเผาไหม้

การผสมบิวทานอลในน้ำมันขยะพลาสติกทำให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะมาจากเลขซีเทนของบิวทานอลที่มีค่าค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้ความสามารถในการผสมกันระหว่างอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง เมื่อพิจารณาน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์พบว่า เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันขยะพลาสติก โดยเหตุผลหลักน่าจะเกิดจากค่าบัลก์โมดูลัสที่ต่ำของไดเอทิลอีเทอร์ ซึ่งสามารถเอาชนะผลกระทบของเลขซีเทนที่สูงของไดเอทิลอีเทอร์ที่ส่งผลต่อการลดลงของความล่าช้าในการจุดระเบิด จากค่าดัชนีซีเทนที่สูงของไดเอทิลอีเทอร์เมื่อถูกฉีดเข้าไปสู่ห้องเผาไหม้จะใช้เวลานี้น้อยในการผสมกับอากาศก่อนการเผาไหม้ โดยจะเห็นว่าการเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์จะทำให้มีความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ต่ำกว่าน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอล และจากรูปที่ 5.8 พบว่า ที่ภาระกรรมสูงน้ำมันดีเซลจะมีความดันในกระบอกสูบสูงสุดใกล้เคียงกับน้ำมันขยะพลาสติก แต่มีค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสูบน้อยกว่าน้ำมันขยะพลาสติก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลพบว่า ความดันในกระบอกสูบสูงสุดและอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดของน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลมีค่าสูงกว่าเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระกรรมสูง

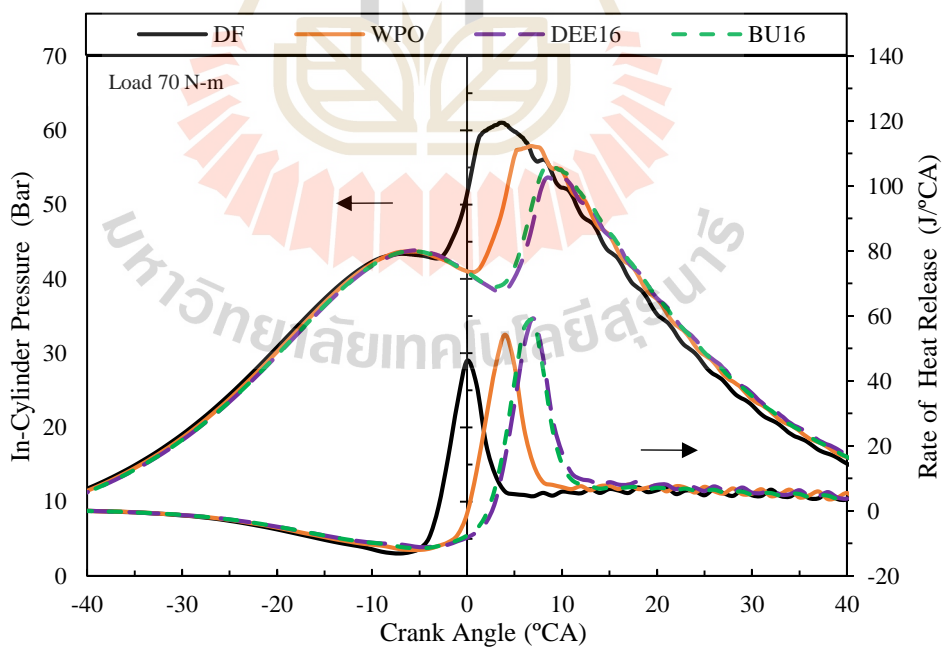
การวิเคราะห์ความแปรผันในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจากสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (COV_{IMEP}) ซึ่งแสดงถึงความไม่แน่นอนของการเผาไหม้ในแต่ละวัฏจักร โดยได้จากการวิเคราะห์ความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้เป็นจำนวน 120 วัฏจักร จากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์ (DEE16) มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้สูงสุดเท่ากับ 9.09 ที่ภาระกรรมต่ำสุด โดยถือว่ายังไม่เกินค่าที่เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ตามปกติที่ 10 เปอร์เซ็นต์ และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้มีค่าลดลงเมื่อภาระกรรมที่ให้กับเครื่องยนต์มีค่ามากขึ้น หากพิจารณาระหว่างน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ (DEE16) และน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอล (BU16) พบว่าที่ภาระกรรมสูงน้ำมันผสมทั้งสองมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ใกล้เคียงกัน



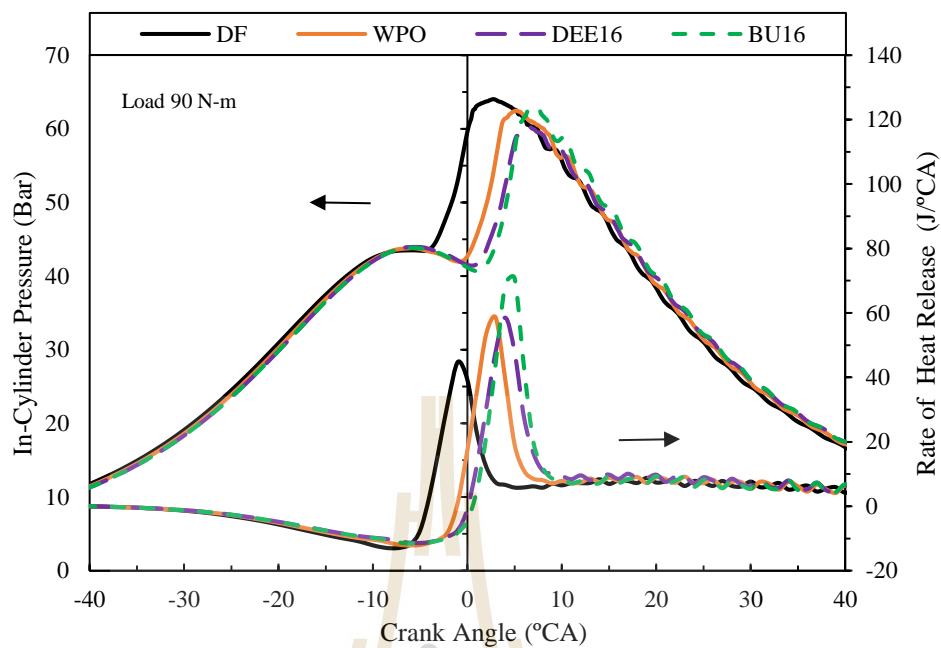
รูปที่ 5.3 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 30 N-m



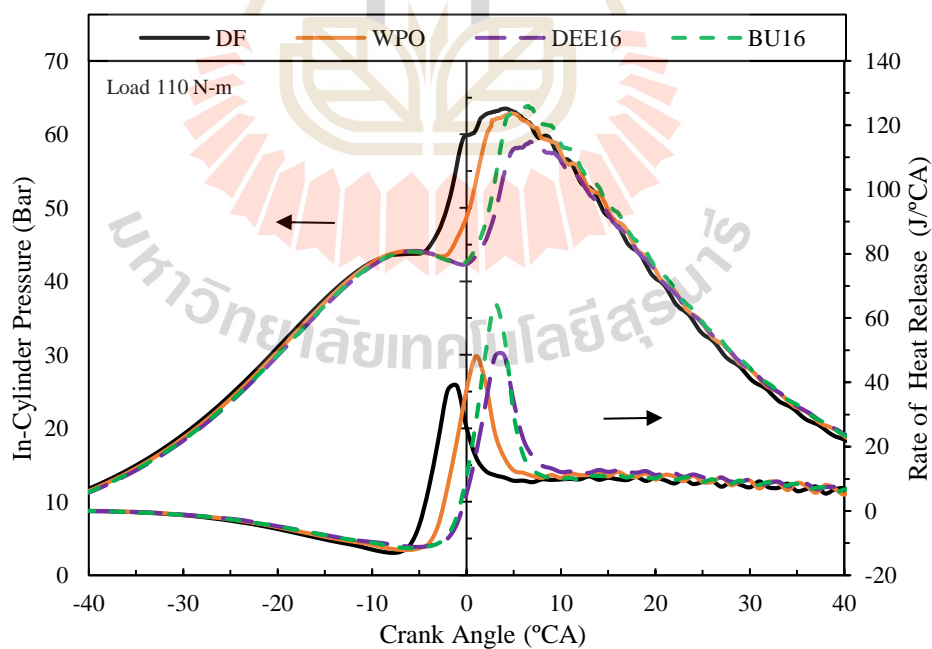
รูปที่ 5.4 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 50 N-m



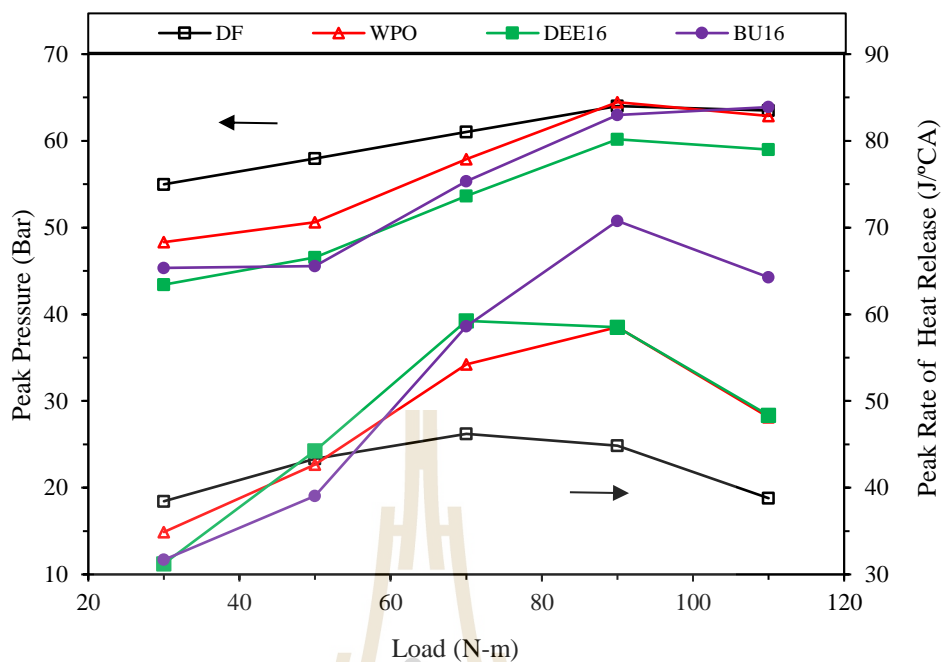
รูปที่ 5.5 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 70 N-m



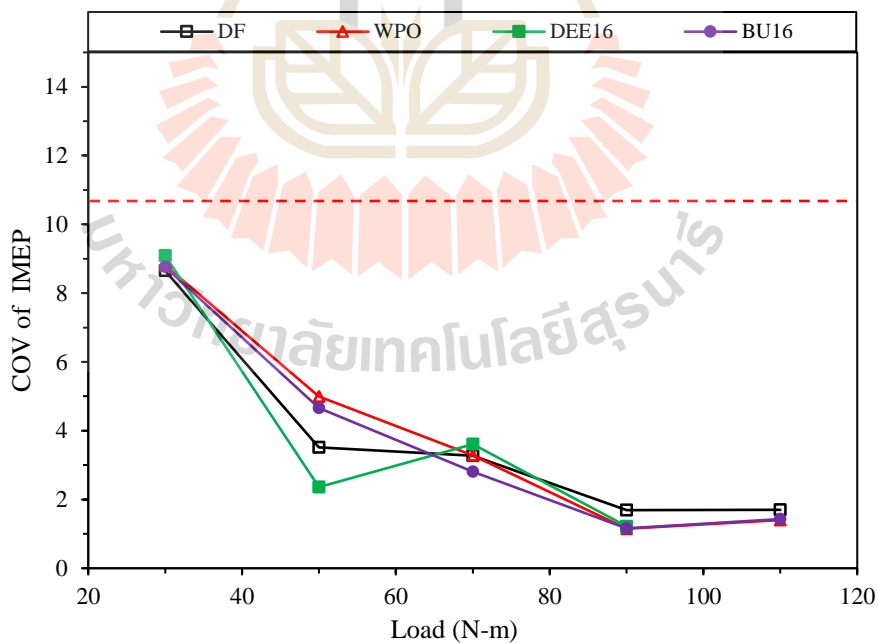
รูปที่ 5.6 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 90 N-m



รูปที่ 5.7 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 110 N-m



รูปที่ 5.8 ความดันในกระบอกสูบสูงสุดกับอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด



รูปที่ 5.9 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้

5.3.4 มลพิษไอเสีย

ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย สำหรับการตรวจวัดปริมาณการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ ซึ่งมลพิษไอเสียที่ตรวจวัด ประกอบด้วย ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำ (Smoke) โดยสามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการตรวจวัดได้ดังนี้

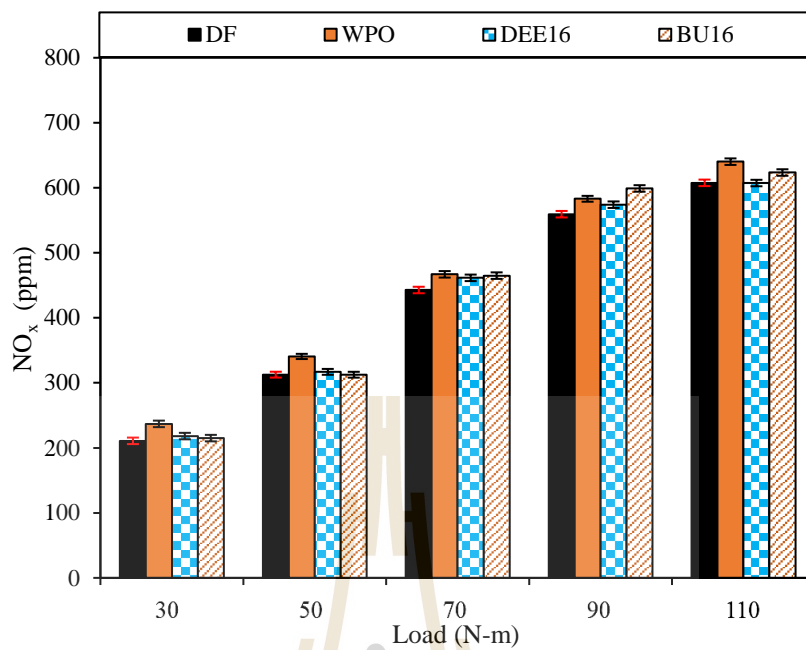
จากรูปที่ 5.10 แสดงปริมาณการปล่อยมลพิษออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) โดยการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ เมื่อพิจารณาที่ภาระกรรมของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่สูงกว่าในช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนมากกว่าน้ำมันดีเซล เมื่อผสมบิวทานอลกับน้ำมันขยะพลาสติกพบว่า ออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันขยะพลาสติก เหตุผลหลักที่ใช้ในการสนับสนุนการลดลงของออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลคือ ค่าเอนทัลปีของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization) ของบิวทานอลมีค่าที่สูง ทำให้การเปลี่ยนสถานะของบิวทานอลจากของเหลวกลายเป็นไอต้องใช้พลังงานความร้อนที่สูงส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่าลดลง เหตุผลดังกล่าวสามารถเอาชนะการเพิ่มขึ้นของออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากการจุดระเบิดที่ล่าช้า อันเนื่องมาจากเลขซีเทนที่ต่ำของบิวทานอล ซึ่งอิทธิพลของค่าเอนทัลปีของการกลายเป็นไอต่อการลดลงของออกไซด์ของไนโตรเจนจะเห็นได้ชัดเมื่อเครื่องยนต์ทำงานในภาระกรรมที่ต่ำ อิทธิพลดังกล่าวจะลดลงเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระกรรมสูงขึ้น การเผาไหม้น้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์ปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนในปริมาณที่ใกล้เคียงกับน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอล เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระกรรมต่ำ การใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์จะช่วยลดปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่ภาระกรรมสูงได้ดีกว่าการใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอล เนื่องจากการเผาไหม้น้ำมันผสมไดเอทิลอีเทอร์มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดในช่วงแรกที่ต่ำกว่าน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอล

จากรูปที่ 5.11 แสดงปริมาณการปล่อยไฮโดรคาร์บอน (HC) ซึ่งไฮโดรคาร์บอนมีประโยชน์ในการใช้วัดความด้อยประสิทธิภาพของการเผาไหม้ ไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วย เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Mani et al., 2010) เมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์แนวโน้มปริมาณไฮโดรคาร์บอนจะมีปริมาณลดลงและเพิ่มขึ้นที่ภาระกรรมสูงสุด ไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันขยะพลาสติกมีปริมาณสูงกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากความล่าช้าในการเริ่มต้นการเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกส่งผลให้มีช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่สั้นลง (Kalargaris et al., 2017) และการ

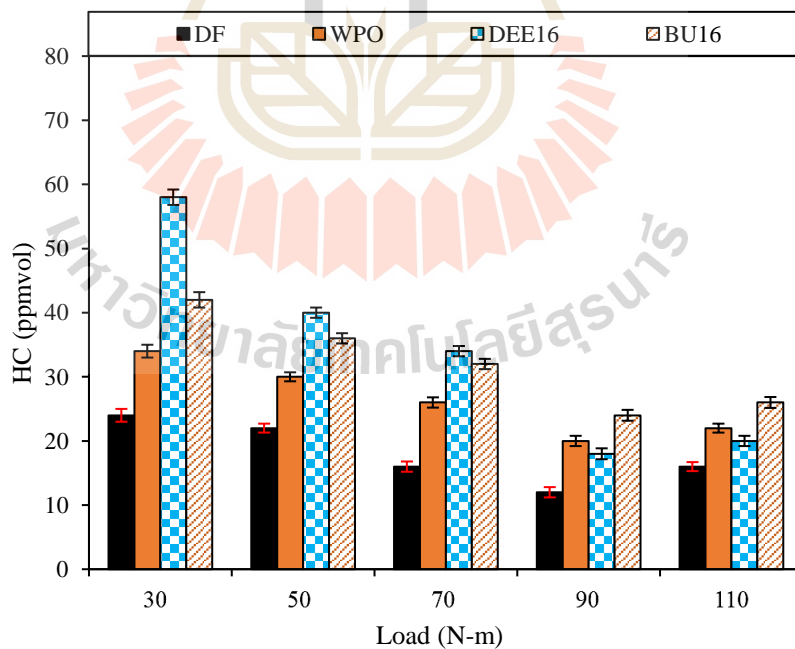
ผสมบิวทานอลทำให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น เนื่องจากความล่าช้าในการจุดระเบิด ค่าเอนทาลปีของการกลายเป็นไอของบิวทานอลมีแนวโน้มทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งสังเกตได้จากการเพิ่มขึ้นของปริมาณไฮโดรคาร์บอน โดยเฉพาะที่ภาระกรรมของเครื่องยนต์ที่ต่ำ (E. Sukjit et al., 2012) เมื่อพิจารณาการผสมไดเอทิลอีเทอร์ในน้ำมันขยะพลาสติกพบว่าสามารถช่วยลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนได้ที่ภาระกรรมสูง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ผสมกับบิวทานอล แต่ให้ผลที่ตรงกันข้ามเมื่อใช้น้ำมันผสมไดเอทิลอีเทอร์ที่ภาระกรรมของเครื่องยนต์ต่ำ

จากรูปที่ 5.12 แสดงปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ภาระกรรมต่าง ๆ โดยคาร์บอนมอนอกไซด์ถือว่าเป็นมลพิษที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งหลัก ๆ แล้วเกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ไม่เพียงพอ เชื้อเพลิงเข้าไปผสมกับอากาศได้ไม่ดี และเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ (Devaraj et al., 2015) จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์แนวโน้มปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีปริมาณลดลงและเพิ่มขึ้นที่ภาระกรรมสูงสุด หากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลในน้ำมันขยะพลาสติกแล้วพบว่า การผสมไดเอทิลอีเทอร์ในน้ำมันขยะพลาสติกจะทำให้เกิดการปล่อยปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลทุกภาระกรรม แต่มีปริมาณที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลและน้ำมันขยะพลาสติก

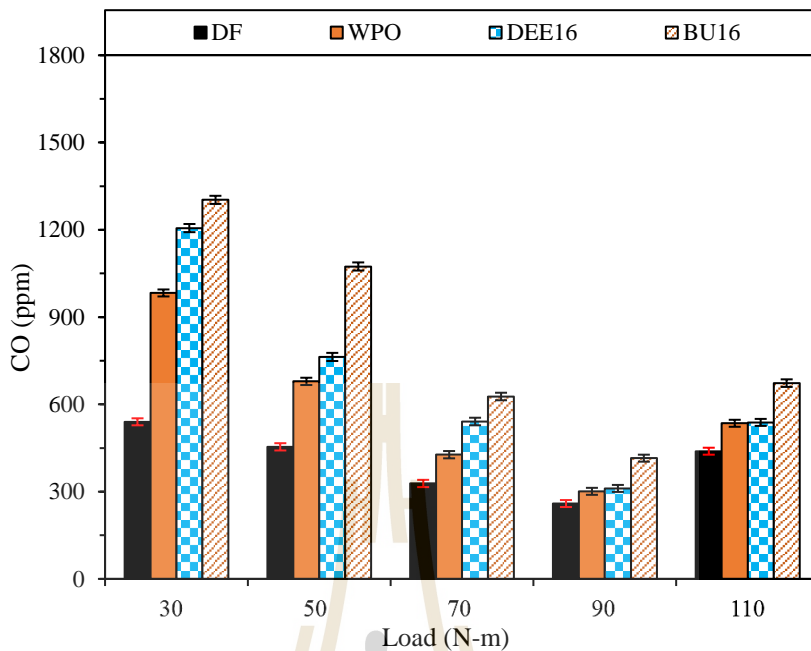
จากรูปที่ 5.13 แสดงปริมาณการปล่อยควันดำของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบที่ภาระกรรมต่าง ๆ ซึ่งพบว่า เมื่อภาระกรรมของเครื่องยนต์สูงขึ้นแนวโน้มการเกิดควันดำก็เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้น หากพิจารณาด้วยการเปรียบเทียบน้ำมันขยะพลาสติกกับน้ำมันดีเซลจะเห็นได้ว่า น้ำมันขยะพลาสติกจะมีปริมาณควันดำน้อยกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระกรรมการทำงานของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบผสมกับน้ำมันขยะพลาสติกระหว่างไดเอทิลอีเทอร์กับบิวทานอลพบว่าที่ภาระกรรมสูงสุดน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์จะมีปริมาณควันดำที่ต่ำกว่าน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมกับบิวทานอล อย่างไรก็ตาม ที่ภาระกรรมต่ำจะพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลจะมีปริมาณควันดำที่ต่ำกว่าน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ เนื่องจากน้ำมันผสมไดเอทิลอีเทอร์เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิด



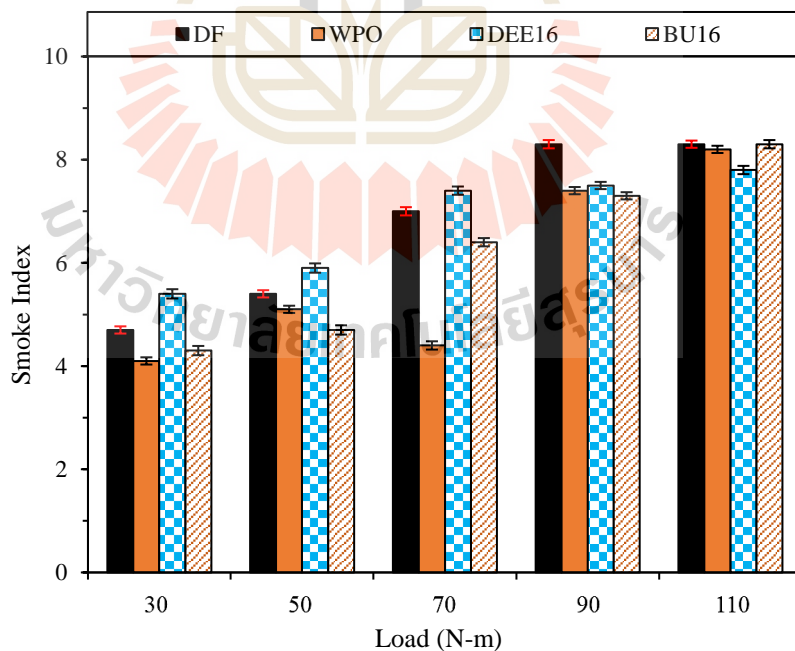
รูปที่ 5.10 ออกไซด์ของไนโตรเจนกับภาระกรรม



รูปที่ 5.12 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม



รูปที่ 5.11 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม



รูปที่ 5.13 ควีนดำกับภาระกรรม

5.4 สรุปผลการวิจัย

ในบทนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการใช้เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบต่อสมรรถนะ และมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันขยะพลาสติก โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย จากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมกับเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 16 โดยปริมาตร ซึ่งจากผลการทดสอบสามารถสรุปโดยสังเขปได้ดังนี้

1) การผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลในน้ำมันขยะพลาสติกส่งผลให้คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันทดสอบมีค่าลดลง ได้แก่ ความหนืดจลนศาสตร์ จุดวาบไฟ อุณหภูมิการกลั่น ค่าความร้อนเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตาม การผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลจะทำให้ค่าดัชนีซีเทนมีค่าสูงขึ้น

2) ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันขยะพลาสติกทุกภาวะกรรม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลที่ผสมในน้ำมันขยะพลาสติกจะพบว่า มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกใกล้เคียงกันในทุกภาวะกรรม

3) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันขยะพลาสติกที่ภาวะกรรมต่ำสุด อย่างไรก็ตาม ที่ภาวะกรรมที่สูงขึ้นน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกมากกว่าน้ำมันขยะพลาสติก และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกมากกว่าน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอล

4) คุณลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์มีความดันในกระบอกสูบสูงสุด และอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดต่ำกว่าน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอล รวมถึงเกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันขยะพลาสติก

5) น้ำมันดีเซลและน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้มากที่สุด เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาวะกรรมต่ำสุด แต่ก็พบว่าค่าดังกล่าวยังไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ (10 เปอร์เซ็นต์) ที่เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ตามปกติ

6) การผสมไดเอทิลอีเทอร์ในน้ำมันขยะพลาสติกสามารถช่วยลดการเกิดมลพิษออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำ (Smoke) ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมบิวทานอลที่ภาวะกรรมสูง



บทที่ 6

การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันขยะพลาสติกผสมด้วย ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง

6.1 บทคัดย่อ

ในบทนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันขยะพลาสติกผสมด้วยไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของออกซิเจนคือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง เช่น คุณสมบัติการหล่อลื่น ความหนาแน่น จุดวาบไฟ และความหนืด อีกทั้งยังสามารถช่วยลดการปล่อยมลพิษไอเสียไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ และควันดำ ดังนั้น ในการทดสอบนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษา เปรียบเทียบ และวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมี คุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิง พารามิเตอร์ด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์และคุณลักษณะการเผาไหม้ ซึ่งประกอบด้วยความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค ความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ รวมถึงพิจารณาปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสีย ได้แก่ ออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ และควันดำ โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมของเครื่องยนต์ ซึ่งหัวข้อที่จะกล่าวถึงในบทนี้ประกอบไปด้วยวิธีดำเนินการวิจัย ผลการทดสอบและอภิปรายผล และสรุปผลการวิจัย

6.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ๆ คล้ายคลึงกับบทที่ 5 คือ ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ การตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมี คุณสมบัติการหล่อลื่น การทดสอบเครื่องยนต์เพื่อทดสอบสมรรถนะ คุณสมบัติการเผาไหม้มลพิษไอเสีย และการวิเคราะห์ผลการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

ขั้นตอนแรกของการดำเนินการวิจัยคือ การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบสำหรับนำไปตรวจวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง และทดสอบพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 6 เชื้อเพลิง โดยน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ น้ำมันดีเซล น้ำมันขยะพลาสติก และน้ำมันขยะพลาสติกผสม ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ น้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอล น้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ กับไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง และน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลกับไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง โดยรายละเอียดของอัตราส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 อัตราส่วนผสมและการกำหนดรหัสของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ชนิดที่	ปริมาณน้ำมันขยะพลาสติก (ร้อยละโดยปริมาตร)	ปริมาณน้ำมันดีเซล (ร้อยละโดยปริมาตร)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (ร้อยละโดยปริมาตร)	ปริมาณไบโอดีเซล (ร้อยละโดยปริมาตร)	รหัสน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ
1	0	100	0	-	DF
2	84	0	16*	-	DEE16
3	84	0	16**	-	BU16
4	100	0	0	-	WPO
5	83.5	0	11.5*	5	DEE11.5BIO5
6	83.5	0	11.5**	5	BU11.5BIO5

หมายเหตุ * คือ ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl Ether)

** คือ บิวทานอล (Butanol)

2) การตรวจวัดคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ โดยตรวจวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials : ASTM) ซึ่งคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่ตรวจวัดประกอบไปด้วย ความหนืดจลนศาสตร์ ความถ่วงจำเพาะ ความถ่วงเอพีไอ ความหนาแน่น จุดวาบไฟ อุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนเชื้อเพลิง และทำการตรวจวัดคุณสมบัติการหล่อลื่นโดยใช้เครื่อง High Frequency

Reciprocating Ring (HFRR) ภายใต้มาตรฐานการทดสอบ ISO 12156-1 ทั้งนี้วิธีการตรวจวัดคุณสมบัติดังกล่าวได้อธิบายไว้ในบทที่ 3

3) การทดสอบเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ต่อกับไดนาโมมิเตอร์ชนิดใช้น้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ซึ่งต่อเข้ากับวงจรควบคุมความเร็วรอบและภาระกรรม รวมทั้งเก็บข้อมูลอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น น้ำมันเครื่อง ไอดี และไอเสีย โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K การวัดค่าอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงวัดโดยใช้ชุดตรวจวัดเทียบกับเวลา เครื่องมือที่ใช้วัดความดันในกระบอกสูบประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความดัน (Pressure Transducer Kistler 6052C) ต่อเข้ากับตัวขยายสัญญาณ (Charge Amplifier Kistler 5064C) และวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยงโดยชุดวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยง (Crank Angle Encoder Set Kistler 2164C) ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบต่อนาที ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่ 30, 50, 70, 90 และ 110 นิวตันเมตร ตามลำดับ โดยใช้น้ำมันดีเซล น้ำมันขยะพลาสติก และน้ำมันขยะพลาสติกผสม ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่างๆ ระหว่างการทดสอบ ได้แก่ อัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง ความดันในกระบอกสูบ องศาเพลลาข้อเหวี่ยง อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และมลพิษไอเสีย ซึ่งประกอบด้วยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และควันดำ (Smoke) โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสียยี่ห้อ Testo รุ่น Testo 350 ยี่ห้อ Horiba รุ่น MEXA - 584L และเครื่องมือวัดควันดำยี่ห้อ Testo รุ่น Testo 308

4) การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบประกอบด้วยการนำผลการวัดอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงมาคำนวณเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ในปัจจัยด้านความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค ดังสมการที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ และจากการข้อมูลการทดสอบความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้นำมาหาผลเฉลี่ยที่ 120 วิวัจกร เพื่อวิเคราะห์ผลคุณลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบแต่ละชนิด รวมถึงการหาค่าเฉลี่ยจากการวัดปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ จากนั้นนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

6.3 ผลการทดสอบ และการอภิปรายผล

6.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

การทำงานที่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์นั้นส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเชื้อเพลิง เช่น ความหนืด ความหนาแน่น เลขซีเทนหรือดัชนีซีเทน ค่าความร้อนเชื้อเพลิง จุดวาบไฟ จุดไหลเท เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์โดยตรง ซึ่งจากการตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของเชื้อเพลิงทดสอบแต่ละชนิด ภายใต้มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM) จะพบว่าเมื่อผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขยะพลาสติกที่มีเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 81.5 : 11.5 : 5 โดยปริมาตร ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งส่งผลให้ค่าความหนืด ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น และจุดวาบไฟ ของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบที่สูงขึ้น เนื่องจากว่าไบโอดีเซลนั้นมีคุณสมบัติเฉพาะ เช่น ค่าความหนืด และจุดวาบไฟที่สูงจึงทำให้คุณสมบัติดังกล่าวมีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติของไบโอดีเซลนั้นจะขึ้นอยู่กับแหล่งวัตถุดิบที่นำมาผลิต ในขณะที่ค่าอุณหภูมิการกลั่น ความถ่วงเอพีไอ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงมีค่าลดลงเมื่อผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง เนื่องจากไบโอดีเซลมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

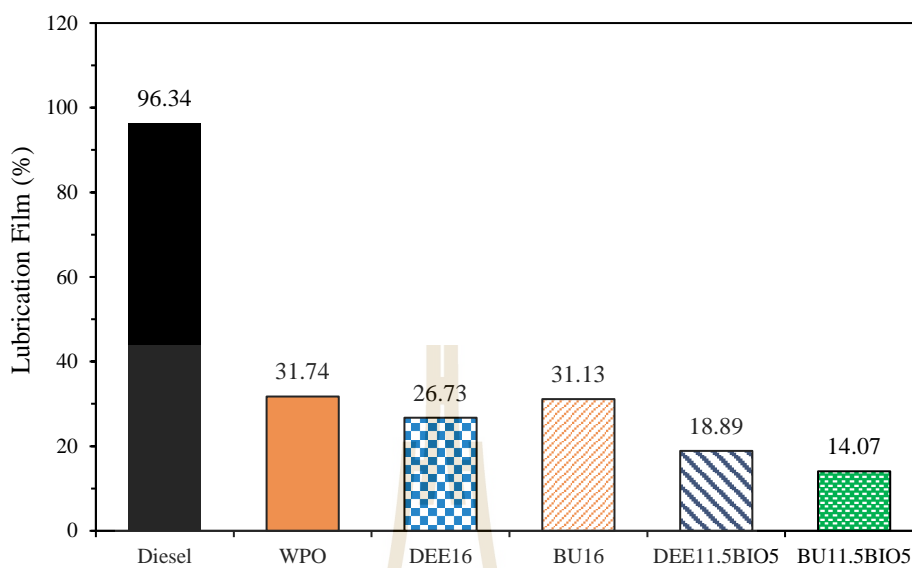
คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	หน่วยการวัด	มาตรฐานการทดสอบ	น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ					
			DF	WPO	DEE16	BU16	DEE11.5BIO5	BU11.5BIO5
ความหนืดจลนศาสตร์ ณ อุณหภูมิ 40 °C	cSt	ASTM D445	3.439	3.065	1.924	2.425	3.616	3.844
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6 °C	-	ASTM D1298	0.828	0.800	0.790	0.805	0.810	0.825
ความถ่วงเอพิไอ	-	ASTM D1298	39.39	45.38	47.61	44.28	43.19	40.02
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15.6 °C	kg/m ³	ASTM D1298	827.19	799.21	789.22	804.21	809.20	824.19
จุดวาบไฟ	°C	ASTM D93	78	36	24	30	32	40
อุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เปอร์เซนต์	°C	ASTM D86	298	282	274	258	257 ^a	267 ^a
ดัชนีซีเทน	-	ASTM D976	60.18	68.98	71.99	61.83	59.51 ^a	55.93 ^a
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง	MJ/kg	ASTM D240	45.39	44.98	43.08	43.42	39.80	41.85

หมายเหตุ ^a ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยสัดส่วนการผสมโดยปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

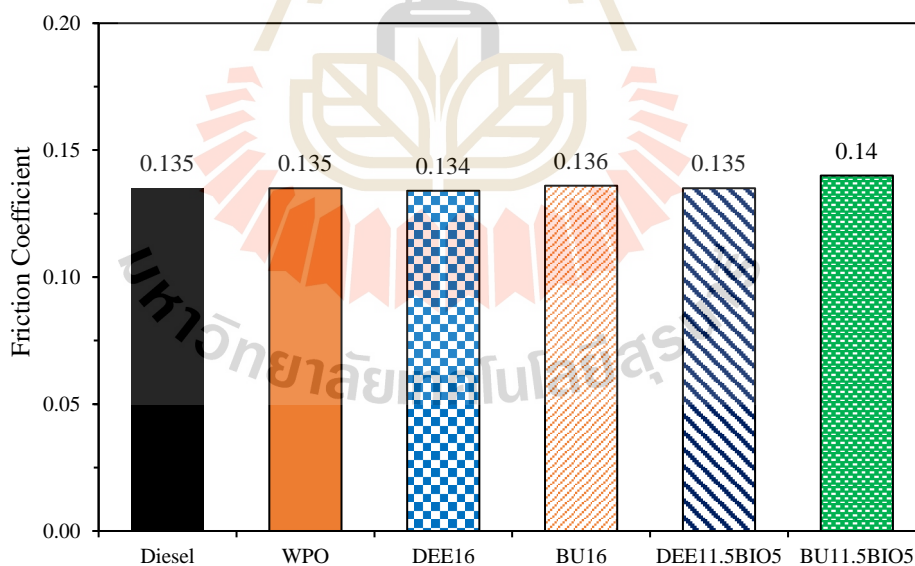
6.3.2 คุณสมบัติการหล่อลื่น

จากการตรวจวัดคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบทั้ง 6 เชื้อเพลิง ภายใต้มาตรฐานการทดสอบ ISO 12156-1 โดยใช้เครื่อง High Frequency Reciprocating Rig โดยผลจากการตรวจวัดคุณสมบัติการหล่อลื่น ดังรูปที่ 6.1 – 6.3 แสดงฟิล์มการหล่อลื่น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และเส้นผ่านศูนย์กลางรอยถลอกที่ปรับแก้ค่า ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า น้ำมันดีเซลมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นที่ดีกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบทั้งหมด โดยสังเกตได้จากค่าฟิล์มการหล่อลื่นที่สูงและค่าเฉลี่ยรอยถลอกที่ปรับแก้ค่า (WS1.4) ที่ต่ำ เนื่องจากน้ำมันดีเซลที่จัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์จะมีสัดส่วนของไบโอดีเซลผสมอยู่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ (กรมธุรกิจพลังงาน, 2559) รวมถึงมีสารเติมแต่งที่ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิง

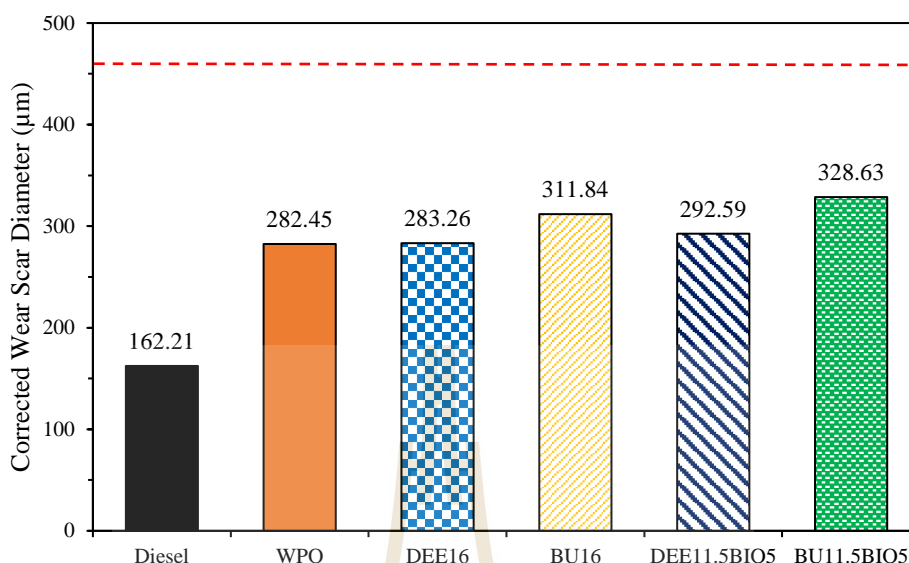
นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาน้ำมันขยะพลาสติกและน้ำมันขยะพลาสติกผสมพบว่า คุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันดังกล่าวมีคุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดีกว่าน้ำมันดีเซลที่จัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ แต่ทั้งนี้พบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบทั้งหมดนั้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางรอยถลอกที่ต่ำกว่าค่าที่ระบุไว้ในมาตรฐาน (460 ไมครอน) โดยน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางรอยถลอกและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใกล้เคียงกับน้ำมันขยะพลาสติก ซึ่งสาเหตุหลักน่าจะเกิดจากไดเอทิลอีเทอร์ที่มีจุดเดือดต่ำสามารถระเหยออกจากน้ำมันขยะพลาสติกระหว่างการทดสอบ ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้การทดสอบที่ 60 องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลมีคุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดีกว่าน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ ผลกระทบของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร สำหรับการทดสอบนี้ไม่เห็นผลอย่างชัดเจนว่าสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล แต่หากมีการเพิ่มปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากละหุ่งเป็นที่คาดการณ์ว่าจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหล่อลื่นของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลได้



รูปที่ 6.1 फिल्मการหล่อลื่น (Lubrication Film)



รูปที่ 6.2 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Friction Coefficient)

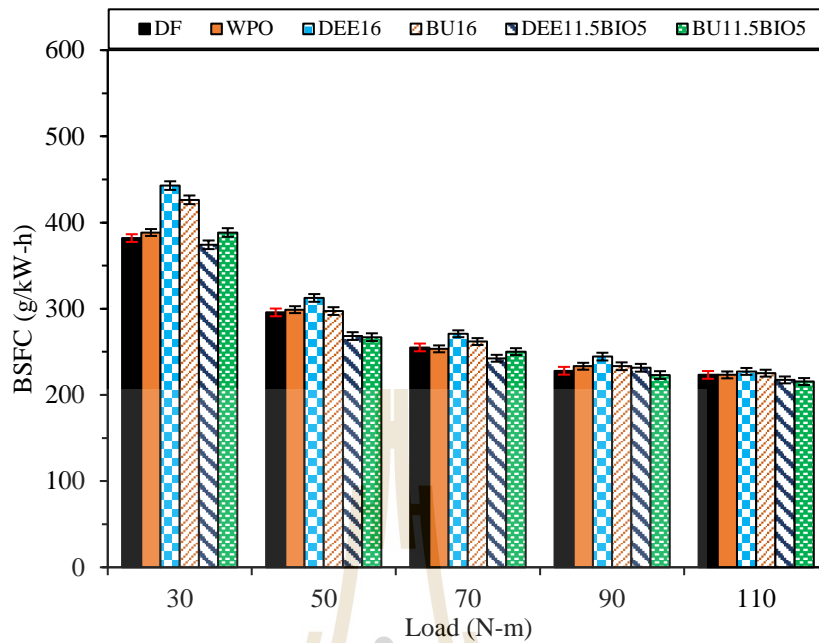


รูปที่ 6.3 เส้นผ่านศูนย์กลางรอยถลอกที่ปรับแก้ค่า (Corrected Wear Scar Diameter)

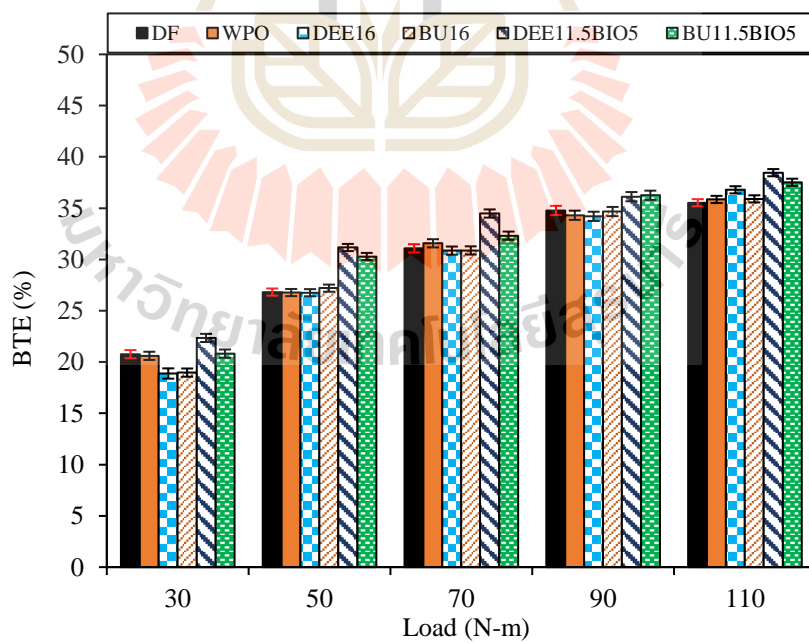
6.3.3 สมรรถนะของเครื่องยนต์

สำหรับการทดสอบผลกระทบของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ และทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงด้วยการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง ซึ่งพารามิเตอร์ที่ได้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ประกอบด้วย ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSEC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ซึ่งสามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบได้ดังนี้

จากรูปที่ 6.4 แสดงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ภาระกรรมต่าง ๆ โดยพบว่า การใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมกับเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ส่งผลให้มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ลดลงจากการผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ซึ่งลักษณะดังกล่าวสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนที่ภาระกรรมต่ำสุด และเมื่อผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกมีค่าลดลง จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล แสดงดังรูปที่ 6.5 ซึ่งประสิทธิภาพเชิงร้อนเบรกนี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล



รูปที่ 6.4 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะแปรกับภาระกรรม



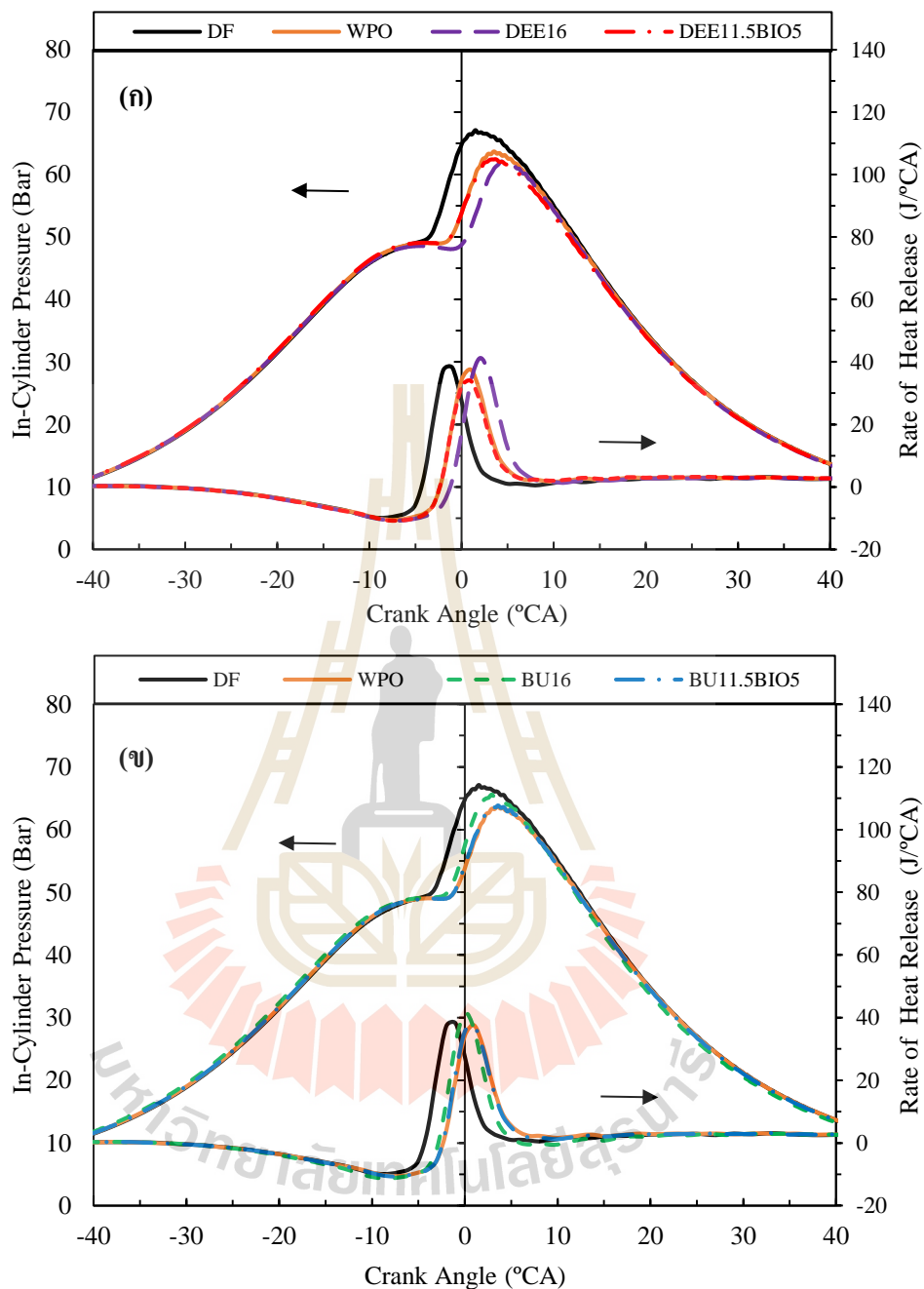
รูปที่ 6.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนแปรกับภาระกรรม

6.3.4 คุณลักษณะการเผาไหม้

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้จากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ และทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงด้วยการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ดังนี้

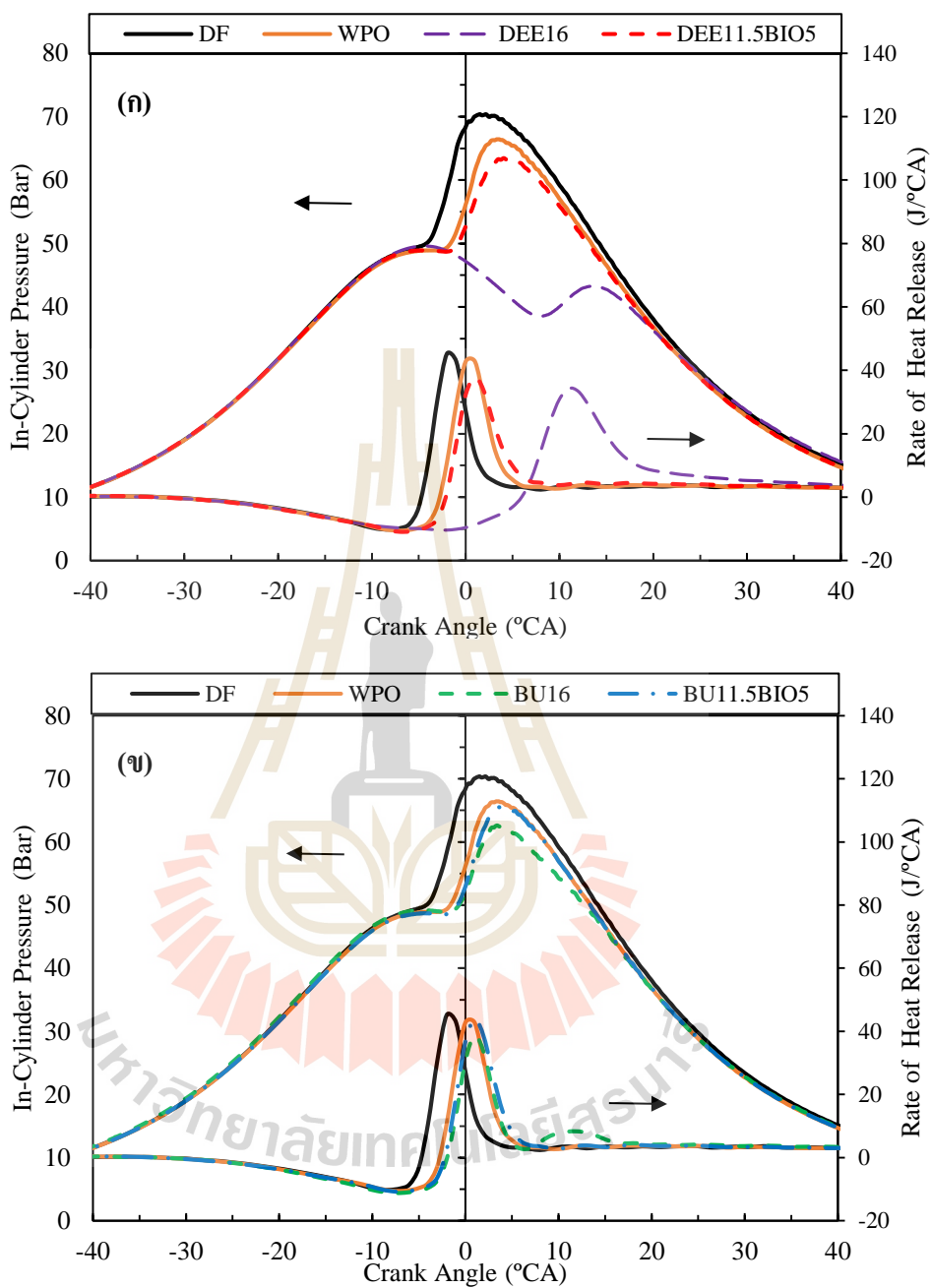
จากรูปที่ 6.6 – 6.10 แสดงการเปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันขยะพลาสติกผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบกับไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งที่ภาระกรรมต่าง ๆ โดยจากผลการทดสอบพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีความล่าช้าในการจุดระเบิด (Retard) สาเหตุหลักน่าจะมาจากค่าบัลก์โมดูลัสที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลจึงส่งผลต่อความล่าช้าในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลมากกว่าดัชนีซีเทนที่สูงของน้ำมันขยะพลาสติกที่ทำให้ระยะเวลาในการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศน้อยลง และนำไปสู่การลดลงของระยะในการหน่วงการจุดระเบิด เช่นเดียวกันกับการผสมน้ำมันขยะพลาสติกกับไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบทำให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล สาเหตุน่าจะมาจากค่าความหนาแน่นและค่าบัลก์โมดูลัสที่ต่ำของเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตาม เมื่อผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบดังกล่าวพบว่า ช่วงของความล่าช้าในการจุดระเบิดที่ภาระกรรมต่าง ๆ นั้นสั้นลง เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นและบัลก์โมดูลัสที่เพิ่มขึ้น รวมถึงค่าเลขซีเทนที่สูงของไบโอดีเซลทำให้ความล่าช้าในการจุดระเบิดนั้นสั้น (Mahmudul et al., 2017) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความดันในกระบอกสูบจะเห็นได้ว่า การผสมไบโอดีเซลในน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบส่งผลให้ความดันในกระบอกสูบสูงสุดมีค่าลดลง ในขณะที่การผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันขยะพลาสติกมีแนวโน้มทำให้อัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดแนวโน้มที่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6.11

จากรูปที่ 6.12 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (COV_{IMEP}) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความมีเสถียรภาพของการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยสามารถคำนวณหาได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ต่อผลเฉลี่ยของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ จากผลการวิเคราะห์พบว่า เมื่อภาระกรรมของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้เครื่องยนต์มีเสถียรภาพในการเผาไหม้มากขึ้น สังเกตได้จากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันที่มีแนวโน้มลดลง (Lee and Kim, 2017) สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบทุกภาระกรรม การผสมน้ำมันขยะพลาสติกกับไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลส่งผลให้สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่การใช้ไบโอดีเซลกับน้ำมันขยะพลาสติกผสมจะช่วยให้อัตราการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีขึ้นเป็นผลทำให้สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้มีค่าลดลง



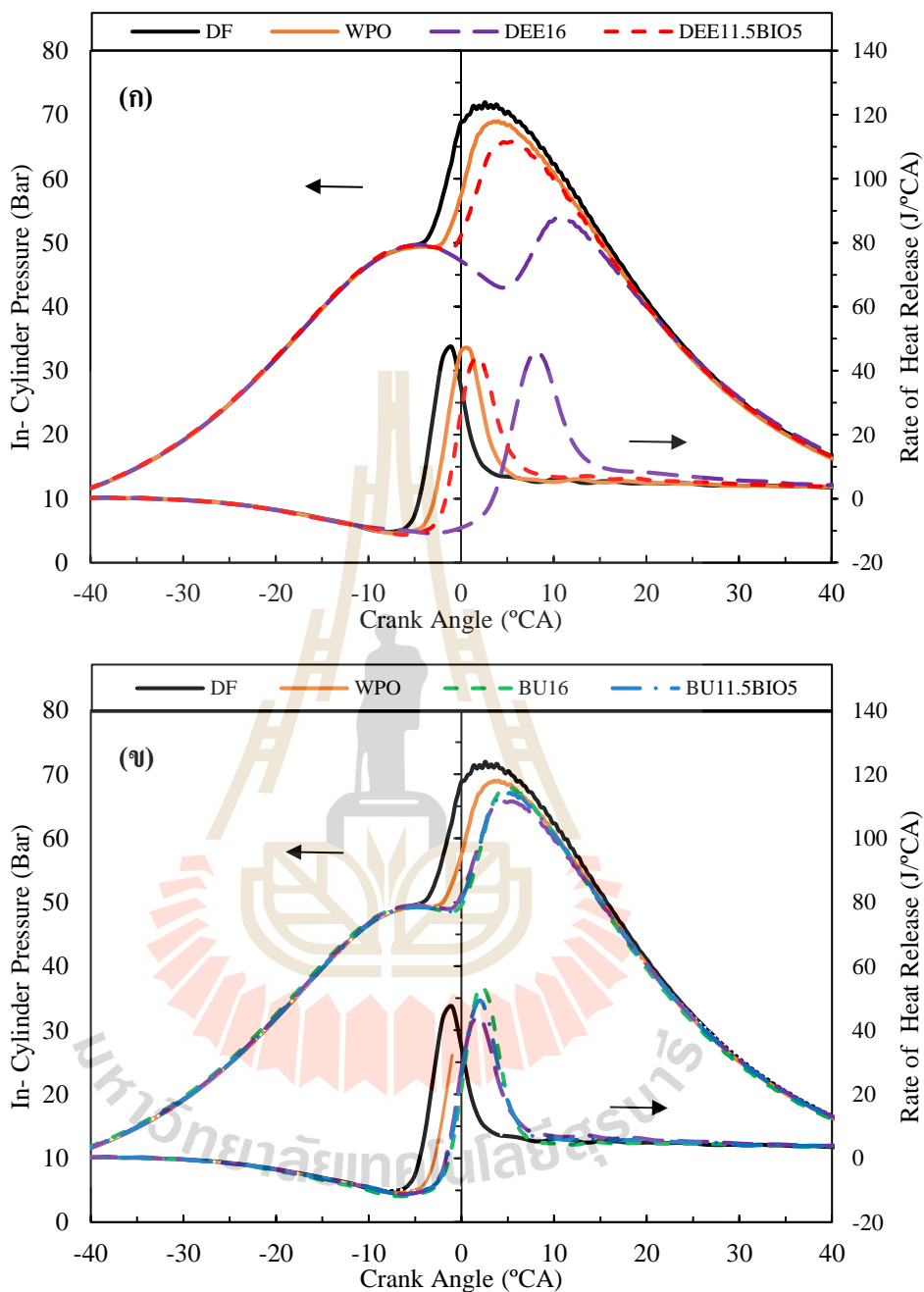
รูปที่ 6.6 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 30 N-m

- (ก) ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ DEE16 และ DEE11.5BIO5
- (ข) ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ BU16 และ BU11.5BIO5



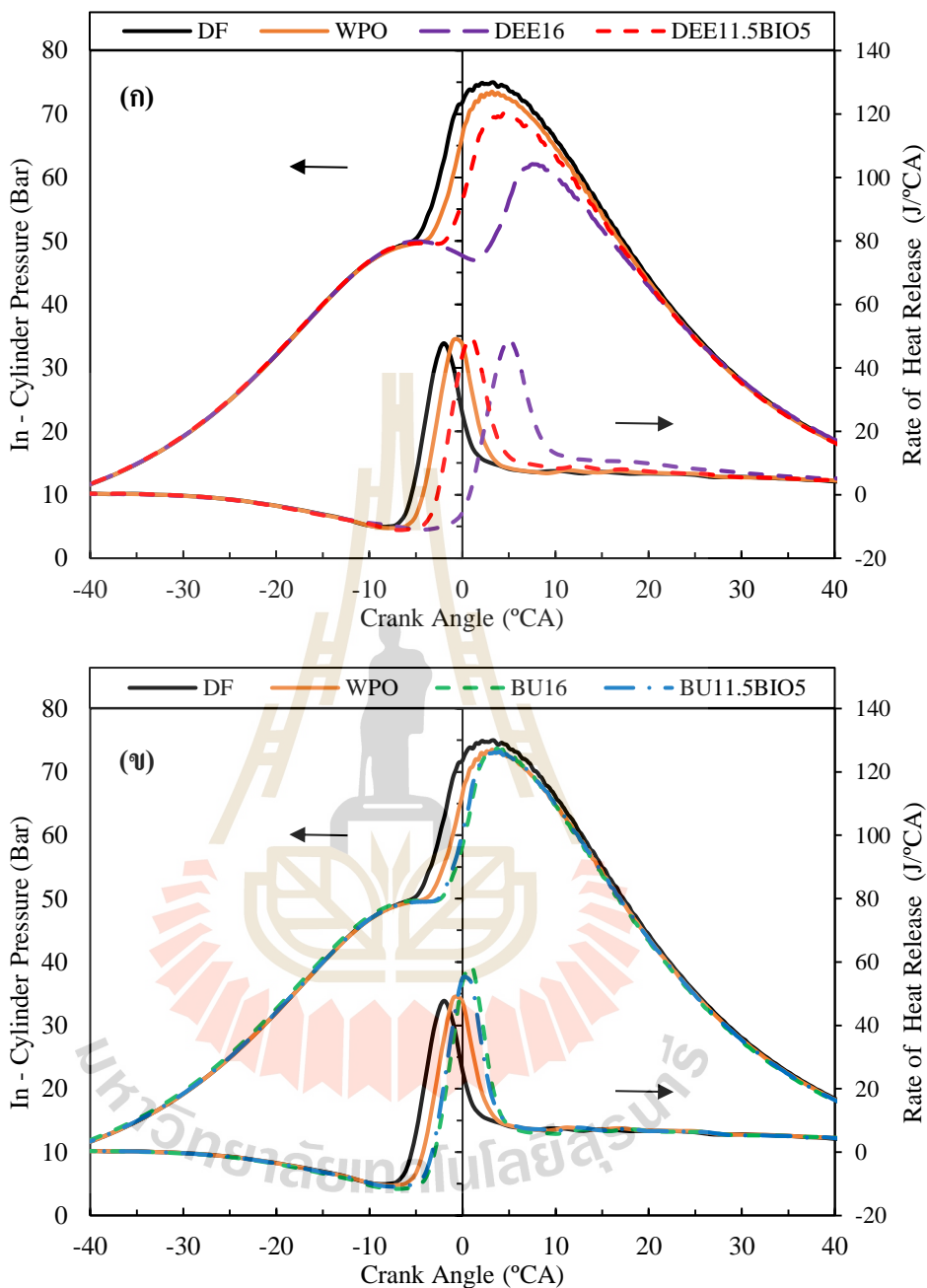
รูปที่ 6.7 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 50 N-m

- (ก) ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ DEE16 และ DEE11.5BIO5
- (ข) ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ BU16 และ BU11.5BIO5



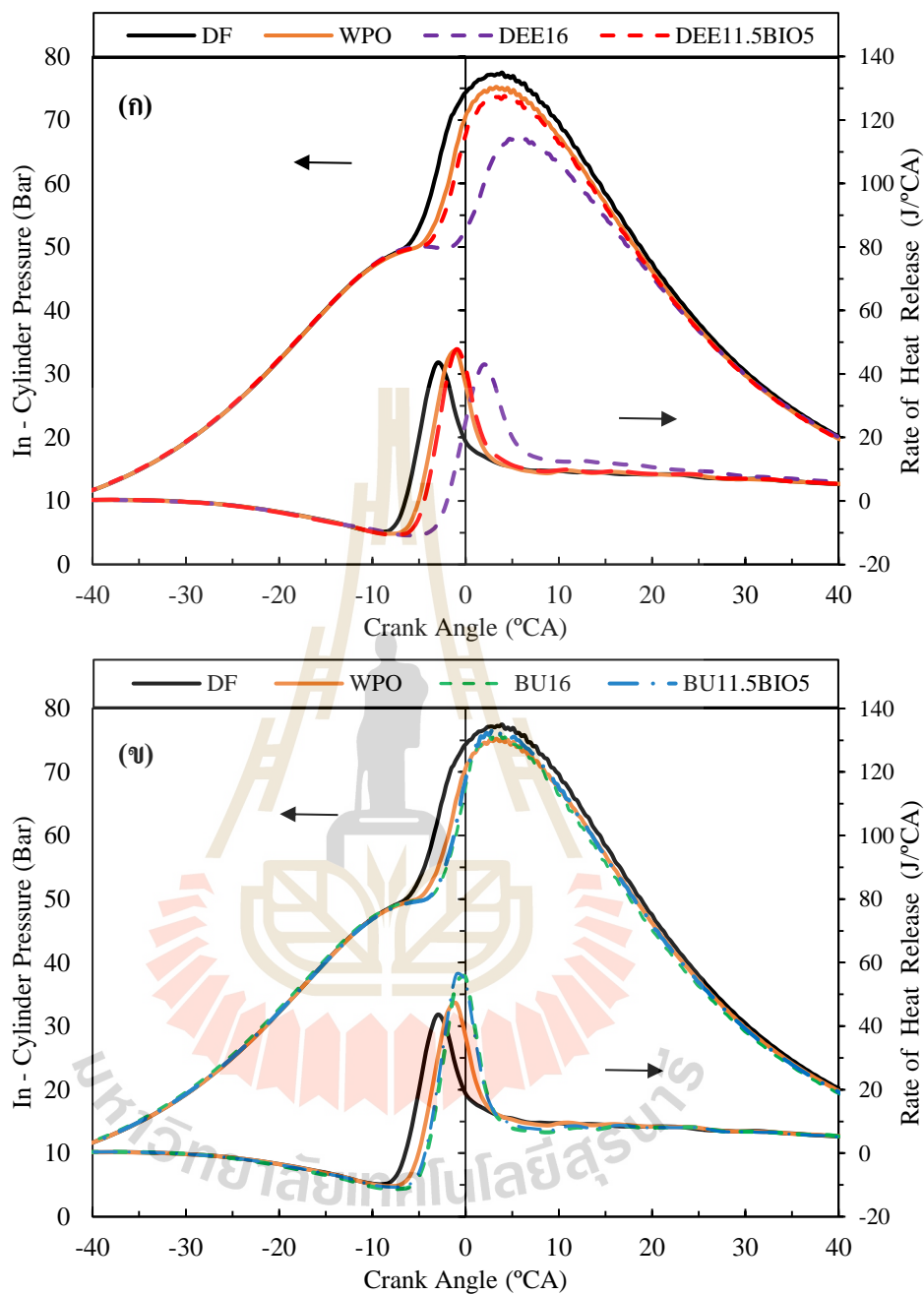
รูปที่ 6.8 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 70 N-m

- (ก) ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ DEE16 และ DEE11.5BIO5
- (ข) ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ BU16 และ BU11.5BIO5



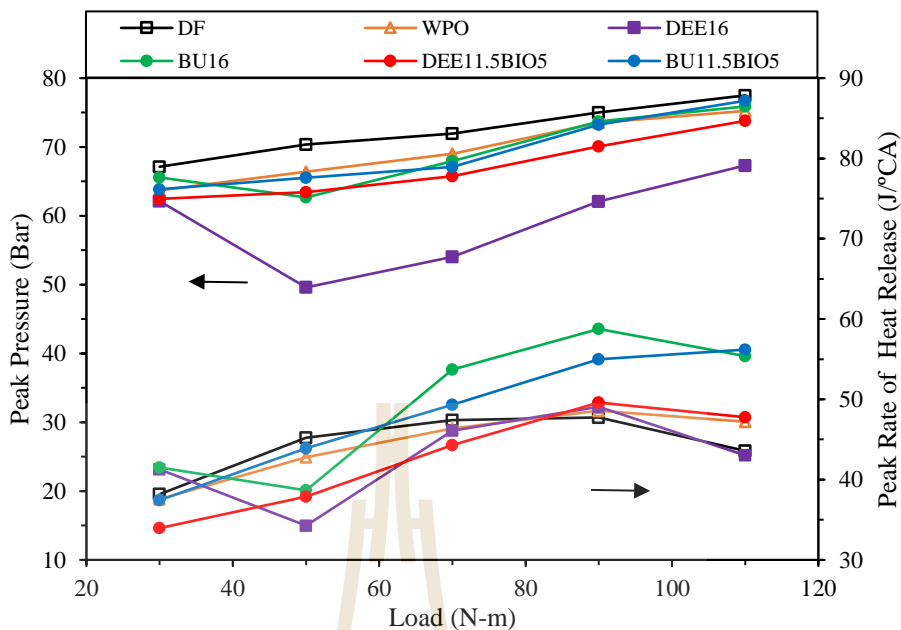
รูปที่ 6.9 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 90 N-m

- (ก) ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ DEE16 และ DEE11.5BIO5
- (ข) ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ BU16 และ BU11.5BIO5

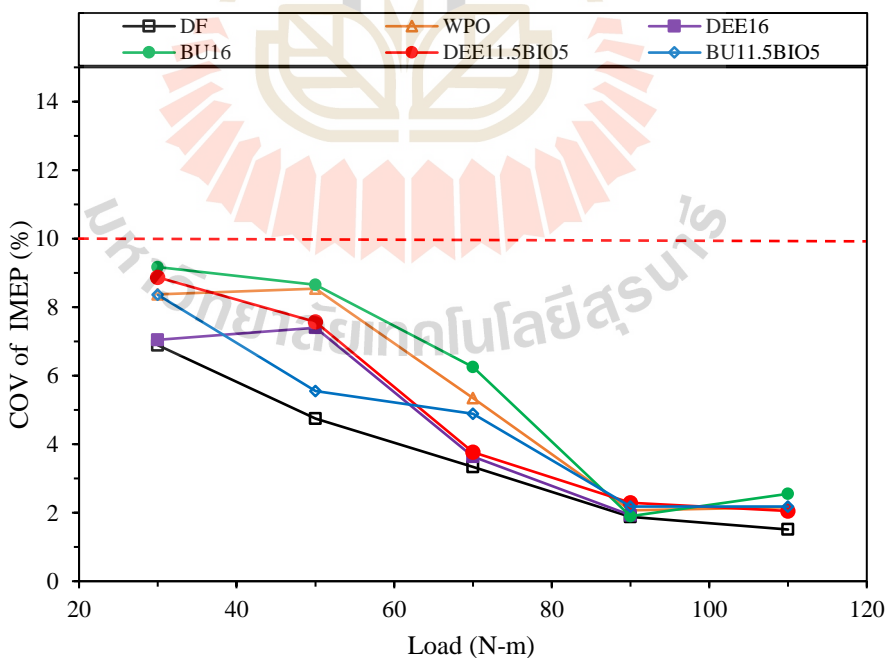


รูปที่ 6.10 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 110 N-m

- (ก) ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ DEE16 และ DEE11.5BIO5
- (ข) ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ BU16 และ BU11.5BIO5



รูปที่ 6.11 ความดันในกระบอกสูบสูงสุดกับอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด



รูปที่ 6.12 สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้

6.3.5 มลพิษไอเสีย

ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียสำหรับการตรวจวัดปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ซึ่งมลพิษไอเสียที่ตรวจวัดประกอบด้วย ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำ (Smoke) โดยสามารถวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการตรวจวัดได้ดังนี้

จากรูปที่ 6.13 แสดงปริมาณการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) โดยการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ ปริมาณที่สูงของการเผาไหม้ในช่วงแรกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Premixed Combustion) ส่งผลให้ความดันและอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีค่าสูง เป็นเหตุทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนในปริมาณที่สูง อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่สูงกว่าในช่วงแรกของการเผาไหม้สำหรับน้ำมันขยะพลาสติกเป็นผลให้ปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

เมื่อพิจารณาน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลพบว่า ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันขยะพลาสติก เหตุผลหลักน่าจะมาจากค่าเอนทัลปีของการระเหยกลายเป็นไอของบิวทานอลมีค่าที่สูงทำให้ต้องใช้ความร้อนในปริมาณที่มากในการระเหย บิวทานอลเป็นผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่าลดลง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลมากกว่าการเพิ่มขึ้นของออกไซด์ของไนโตรเจนอันเกิดจากเลขซีเทนที่ต่ำของบิวทานอล ในทางตรงกันข้าม อิทธิพลของเลขซีเทนที่สูงของไดเอทิลอีเทอร์จะมีอิทธิพลมากกว่าค่าเอนทัลปีของการระเหยกลายเป็นไอทำให้ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากน้ำมันผสมบิวทานอล การใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งกับน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ช่วยปรับปรุงพฤติกรรมการเผาไหม้ให้เกิดปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่น้อยลง จากผลการทดสอบน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งให้ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนต่ำสุดในทุกภาระกรรมของเครื่องยนต์ที่ทดสอบ

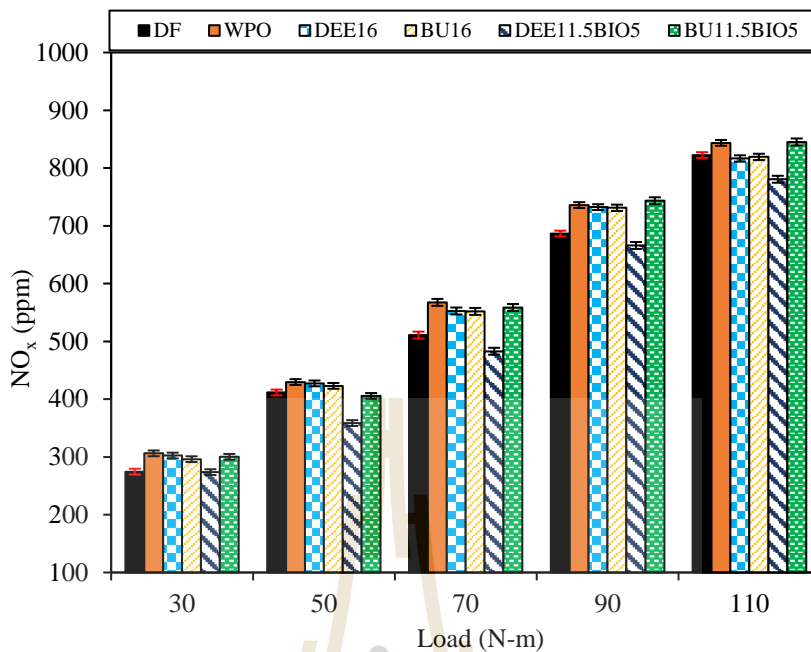
จากรูปที่ 6.14 - 6.15 แสดงการปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ภาระกรรมต่าง ๆ ของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ โดยจากผลการทดสอบพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนมากกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากความล่าช้าในการจุดระเบิดทำให้เกิดช่วงเวลาทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์สั้นลง จึงก่อให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น เมื่อผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลในน้ำมันขยะพลาสติกจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนถึงแนวโน้มของปริมาณการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนที่สูงขึ้น ซึ่งนอกเหนือจากความล่าช้าในการจุดระเบิดแล้ว ค่าเอนทัลปีของ

การระเหยกลายเป็นไอที่สูงของบิวทานอลก็เป็นปัจจัยที่สำคัญในการทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ ส่งผลทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน (E. Sukjit et al., 2012)

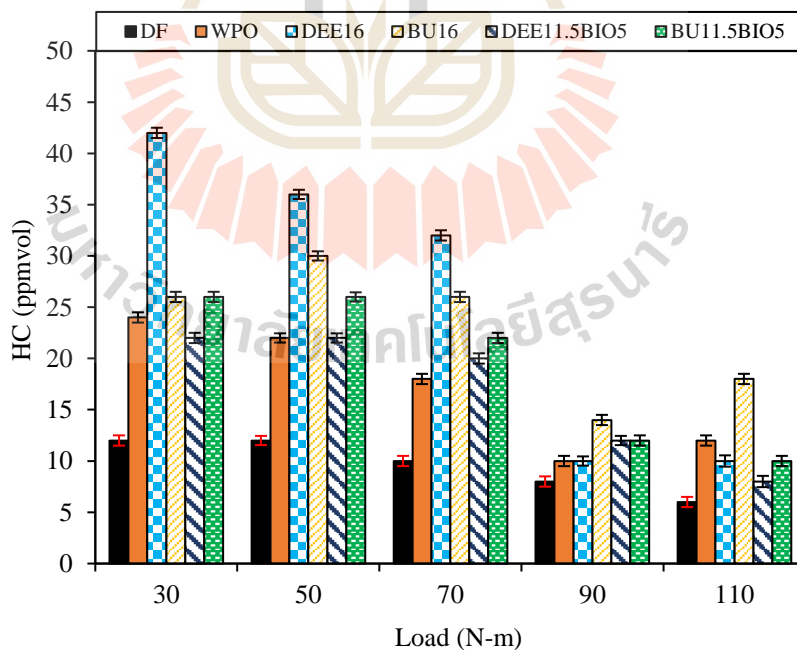
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลในน้ำมันขยะพลาสติกจะพบว่า การผสมไดเอทิลอีเทอร์มีศักยภาพช่วยลดการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนที่ภาวะกรรมสูงสุดได้ดีกว่าบิวทานอล เนื่องจากมีค่าเอนทัลปีของการระเหยกลายเป็นไอที่ต่ำกว่าบิวทานอล ทั้งนี้หากพิจารณาการผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขยะพลาสติกผสมช่วยให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ของไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลลดลง นอกจากนี้ การผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมกับไดเอทิลอีเทอร์ช่วยลดการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมกับบิวทานอล

จากรูปที่ 6.16 แสดงการเกิดควันดำ (Smoke) โดยจากผลการทดสอบพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีปริมาณการเกิดควันดำต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลทุกภาวะกรรม การใช้ไดเอทิลอีเทอร์ผสมกับน้ำมันขยะพลาสติกทำให้ปริมาณควันดำที่ได้จากการเผาไหม้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาวะกรรมต่ำ แต่จะช่วยลดปริมาณควันดำเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาวะกรรมสูง ในขณะที่การผสมบิวทานอลกับน้ำมันขยะพลาสติกมีปริมาณควันดำใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล การใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งร่วมกับไดเอทิลอีเทอร์เพื่อผสมกับน้ำมันขยะพลาสติกสามารถช่วยลดปริมาณควันดำได้เล็กน้อย

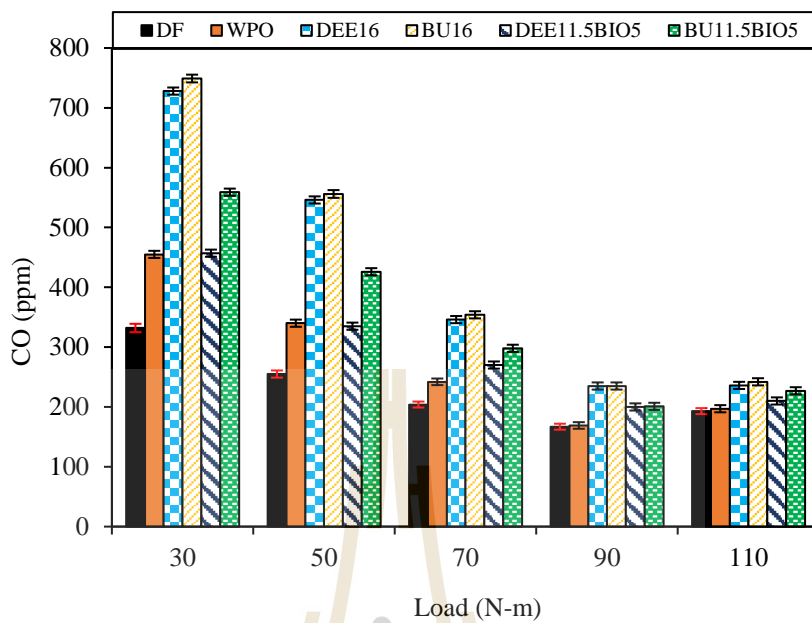
เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของบิวทานอลและไดเอทิลอีเทอร์ต่อปริมาณควันดำที่ได้จากการเผาไหม้พบว่า น้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลมีประโยชน์ในการช่วยลดควันดำเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาวะกรรมต่ำ ในทางกลับกันน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์มีประโยชน์ในการช่วยลดควันดำเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาวะกรรมสูง ผลกระทบของหมู่ฟังก์ชันต่อปริมาณควันดำแสดงให้เห็นว่า หมู่อีเทอร์มีประสิทธิภาพในการลดควันดำได้ดีกว่าหมู่ไฮดรอกซิล เป็นผลให้การเผาไหม้น้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ควรมีค่าปริมาณควันดำที่น้อยกว่าการเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลในทุกภาวะกรรม แต่อย่างไรก็ตามความล่าช้าในการจุดระเบิดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาวะกรรมต่ำที่ซึ่งอุณหภูมิของการเผาไหม้สูงไม่เพียงพอ และปริมาณน้ำมันที่ไม่มีส่วนร่วมในกระบวนการเผาไหม้มีค่ามากขึ้น อาจจะนำมาใช้อธิบายการเพิ่มขึ้นของควันดำเมื่อน้ำมันผสมไดเอทิลอีเทอร์ถูกทดสอบที่ภาวะกรรมต่ำ



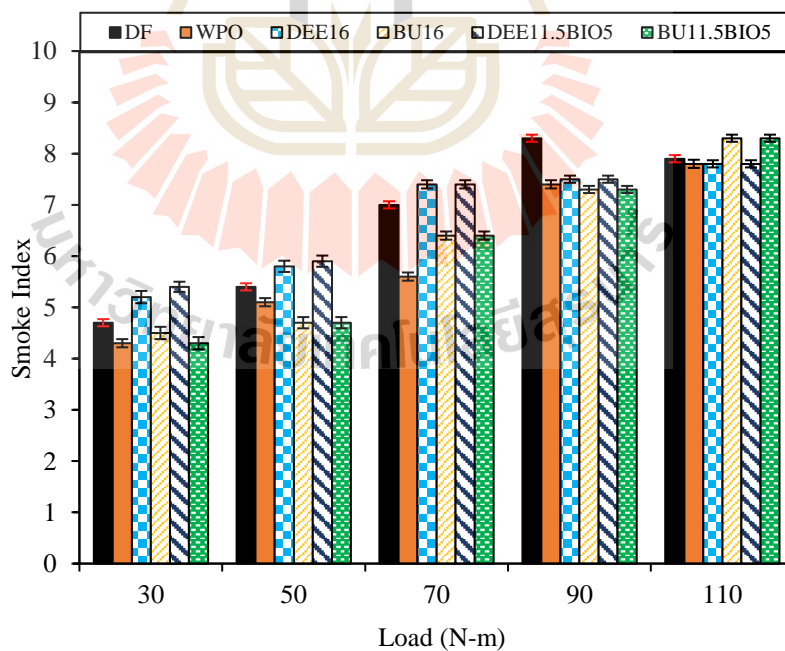
รูปที่ 6.13 ออกไซด์ของไนโตรเจนกับภาระกรรม



รูปที่ 6.14 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม



รูปที่ 6.15 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม



รูปที่ 6.16 คว้นค่ากับภาระกรรม

6.4 สรุปผลการวิจัย

ในบทนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ คือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล โดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งสำหรับช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ทั้งนี้ยังได้ศึกษาผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับการคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย ซึ่งสามารถสรุปโดยสังเขป ดังนี้

1) การผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ช่วยปรับปรุงให้ความถ่วงจำเพาะ ความหนืดจลนศาสตร์ ความหนาแน่น และจุดวาบไฟให้มีค่าสูงขึ้น

2) การตรวจวัดคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบและไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีคุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดีกว่าน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบและไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง อย่างไรก็ตาม การผสมไดเอทิลอีเทอร์ในน้ำมันขยะพลาสติกทำให้มีคุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดีกว่าการผสมบิวทานอล ทั้งนี้ การผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบทั้งไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล นั้นพบว่า การผสมไบโอดีเซลจากละหุ่งในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ไม่เพียงพอต่อการปรับปรุงคุณสมบัติการหล่อลื่นของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล

3) การผสมน้ำมันขยะพลาสติกกับไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ภาระกรรมต่ำสุด และเมื่อผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคมีค่าลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และที่ภาระกรรมสูงสุด น้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์กับไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุด

4) น้ำมันขยะพลาสติก น้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์ และน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอลมีความล่าช้าในการจุดระเบิดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ในขณะที่การใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งช่วยทำให้ความล่าช้าในการจุดระเบิดลดลงที่ทุก ๆ ภาระกรรมของการทดสอบ

5) การใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งกับน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ส่งผลให้มีความดันในกระบอกสูบสูงสุด และอัตราการปลดปล่อยความร้อนมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

6) สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (COV_{IMEP}) ของน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า สัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบทั้งหมด อยู่ในช่วงที่เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ปกติ (COV ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์) และมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ โดยจะเห็นว่าการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลจะช่วยทำให้เสถียรภาพในการเผาไหม้มีค่าสูงขึ้น

7) น้ำมันขะพลาสติกมีออกไซด์ของไนโตรเจนมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ในทุกภาระกรรม และการผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขะพลาสติกที่ผสม ไดเอทิลอีเทอร์มีปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันขะพลาสติกผสม ไดเอทิลอีเทอร์ และหากพิจารณาระหว่างไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลจะเห็นได้ว่า การผสม ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งกับไดเอทิลอีเทอร์มีปริมาณการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนต่ำกว่า น้ำมันขะพลาสติกผสมบิวทานอล และมีปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบทั้งหมด

8) น้ำมันขะพลาสติกมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนมากกว่าเมื่อ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล การผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขะพลาสติกผสมช่วยให้ ปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ของน้ำมันผสมไดเอทิลอีเทอร์และน้ำมันผสม บิวทานอลลดลง นอกจากนี้ การผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขะพลาสติกที่ผสมกับ ไดเอทิลอีเทอร์ช่วยลดการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนได้ดีกว่าเมื่อเปรียบ เทียบกับน้ำมันขะพลาสติกที่ผสมกับบิวทานอล

9) เมื่อเปรียบเทียบผลของการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขะพลาสติกที่ ผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลพบว่า การใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งร่วมกับไดเอทิลอีเทอร์ ทำให้เกิดควันดำในปริมาณที่สูงกว่าเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระกรรมต่ำ แต่จะทำให้เกิดปริมาณ ควันดำที่ต่ำกว่าเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระกรรมสูง

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและวิจัยการใช้น้ำมันขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยยังไม่ผ่านขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วน เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล และลดผลกระทบจากการนำน้ำมันขยะพลาสติกมาใช้งานในเครื่องยนต์ ในปัจจัยด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย ด้วยการผสมน้ำมันขยะพลาสติกกับเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล รวมทั้งการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขยะพลาสติกผสม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระกรรมต่าง ๆ ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

7.1.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง

สำหรับการตรวจวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบที่ได้ทำการตรวจวัดประกอบไปด้วยความหนืดจลนศาสตร์ ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น จุดวาบไฟ การกลั่น ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนเชื้อเพลิง โดยทดสอบภายใต้มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM) ซึ่งผลการตรวจวัดจากงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

การตรวจวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซล น้ำมันขยะพลาสติก และน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ พบว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีค่าดัชนีซีเทนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม ความหนืดจลนศาสตร์ ความหนาแน่น และจุดวาบไฟของน้ำมันขยะพลาสติกนั้นมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ในขณะที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และค่าความร้อนเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติก

ในกรณีการตรวจวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติกผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ผลการตรวจวัดพบว่า การผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลในน้ำมันขยะพลาสติกส่งผลให้คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมัน

เชื้อเพลิงมีค่าลดลง ได้แก่ ความหนืดจลนศาสตร์ จุดวาบไฟ อุณหภูมิการกลั่น ค่าความร้อนเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตาม การผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลทำให้ค่าดัชนีซีเทนมีค่าสูงขึ้น

ทั้งนี้ ในการตรวจวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล โดยการผสมกับไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง ผลการตรวจวัดพบว่า การผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมกับเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล สามารถช่วยปรับปรุงให้ค่าความหนืดจลนศาสตร์ ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น และจุดวาบไฟมีค่าสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันทำให้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบมีค่าลดลง

7.1.2 สมรรถนะของเครื่องยนต์

จากการวิจัยใช้น้ำมันขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสผสมกับเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ และไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง ซึ่งได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยการทดสอบด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวมาข้างต้น และทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์จากมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ซึ่งสามารถกล่าวสรุปได้ดังนี้

สมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ พบว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระการทำงานของเครื่องยนต์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ทั้งนี้พบว่า น้ำมันขยะพลาสติกผสมในน้ำมันดีเซลที่ร้อยละ 25 โดยปริมาตร (WPO25) มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบอื่น ๆ

ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยการใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบคือ ไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล พบว่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลที่ภาระกรรมต่ำสุดมีค่ามากกว่าน้ำมันขยะพลาสติก ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีค่าลดลง และมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันขยะพลาสติกและน้ำมันดีเซลที่ภาระกรรมดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกระหว่างน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกมากกว่าน้ำมันขยะพลาสติกผสมบิวทานอล

อย่างไรก็ตาม การใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งผสมกับน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล ทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคมีค่าลดลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และที่ภาระกรรม การทำงานของเครื่องยนต์สูงสุด น้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์และไบโอดีเซลจากละหุ่งทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบชนิดอื่น

7.1.3 คุณลักษณะการเผาไหม้

สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบต่าง ๆ นั้น ประกอบไปด้วย ความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบังชี (COV_{IMEP}) ซึ่งจากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

การใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ พบว่า น้ำมันขยะพลาสติกทำให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิด และมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดที่มีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ทั้งนี้ น้ำมันขยะพลาสติกผสมที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 75 โดยปริมาตร (WPO75) มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบังชีสูงสุดที่ภาระกรรมของเครื่องยนต์ต่ำสุด และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบังชีมีแนวโน้มลดลงเมื่อภาระกรรมของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอล พบว่า น้ำมันขยะพลาสติกผสมไดเอทิลอีเทอร์มีความดันในกระบอกสูบสูงสุดและอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดต่ำกว่าน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมบิวทานอล รวมถึงเกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันขยะพลาสติก นอกจากนี้ น้ำมันดีเซลและน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมไดเอทิลอีเทอร์มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบังชีสูงสุดที่ภาระกรรมต่ำสุด แต่ยังคงถือว่าไม่เกินที่ระบุไว้ (ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์) และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบังชีจะมีค่าลดลงเมื่อภาระกรรมมากขึ้น

สำหรับการวิเคราะห์การใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งในน้ำมันขยะพลาสติกที่ผสมเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนส่งผลให้มีความดันในกระบอกสูบลดลง และมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบังชีของน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มภาระกรรม โดยจะเห็นว่าการใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งช่วยทำให้เสถียรภาพการเผาไหม้ของน้ำมันผสมไดเอทิลอีเทอร์และบิวทานอลดีขึ้น

7.1.4 มลพิษไอเสียของเครื่องยนต์

ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย สำหรับการตรวจวัดปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจวัด ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำ (Smoke) โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

การตรวจวัดมลพิษของน้ำมันขยะพลาสติกกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ พบว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีแนวโน้มทำให้ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอน และ คาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้มีปริมาณมากกว่าน้ำมันดีเซล ในขณะที่การใช้น้ำมัน ขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซลมีแนวโน้มทำให้ปริมาณควันดำลดลง

การตรวจวัดมลพิษจากการนำน้ำมันขยะพลาสติกผสมกับเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจน เป็นองค์ประกอบพบว่า การผสมไดเอทิลอีเทอร์ในน้ำมันขยะพลาสติกสามารถลดการเกิดออกไซด์ ของไนโตรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และควันดำ ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันขยะพลาสติก ที่ผสมบิวทานอลที่ภาระกรรมสูง

ทั้งนี้ การใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งร่วมกับไดเอทิลอีเทอร์จะช่วยลดปริมาณ ออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนมอนอกไซด์ ได้ดีกว่าการใช้ไบโอดีเซล จากน้ำมันละหุ่งร่วมกับบิวทานอล เพื่อปรับปรุงมลพิษไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ของน้ำมันขยะ พลาสติก โดยเฉพาะเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระกรรมสูง รวมถึงช่วยให้ปริมาณควันดำลดลงที่ ภาระกรรมต่ำและมีปริมาณเพิ่มขึ้นที่ภาระกรรมสูงสุด

7.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการใช้น้ำมันขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดย ยังไม่ผ่านขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วน เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือ เครื่องยนต์ดีเซล โดยสามารถสังเกตได้ว่า ลักษณะภายนอกของน้ำมันขยะพลาสติกที่นำมาทดสอบ นั้นมีสีที่ขุ่น และมีกลิ่นค่อนข้างแรง นอกจากนี้ การวิจัยในส่วนนี้ยังเป็นเพียงการศึกษาผลกระทบ ในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ใน ระยะสั้นเท่านั้น ดังนั้น ในการยืนยันการนำน้ำมันขยะพลาสติกมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือก และ เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการนำไปใช้งานในเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้น จำเป็นต้องมีการศึกษา ผลกระทบในระยะยาวของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันขยะพลาสติกต่อชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ เช่น หัวฉีด ลูกสูบ วาล์วไอดี และวาล์วไอเสีย เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2559). **สถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559**. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมธุรกิจพลังงาน. (2556). **ประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล**. กระทรวงพลังงาน.
- กรมธุรกิจพลังงาน. (2556). **ประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน**. กระทรวงพลังงาน.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2015)**. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- เกียรติศักดิ์ นิคมชัยประเสริฐ (2552). การศึกษาประสิทธิภาพและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลางเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสม. **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**.
- ชัชวาล ชลธิศเพ็ชร (2552). การศึกษาการผลิตไดเอทิลอีเทอร์จากปฏิกิริยาดีไฮเดรชันโดยใช้กรดที่เหลือจากโรงงานผลิตไบโอดีเซลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา. **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**.
- ชัยขยง ศิริพรมงกลชัย (2558). **เครื่องยนต์สันดาปภายใน พิมพ์ครั้งที่ 1**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- นฤมล ชูบัวทอง (2550). ผลขององค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลต่อไพโรไลซิสและการเผาไหม้. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**.
- รัตน์ยาภรณ์ ฉายศรี (2555). การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันขยะพลาสติกให้ได้มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ**.
- วรวิภา จุฬาลักษณ์านุกุล (2558). **เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยตัวเร่งชีวภาพ**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริรัตน์ จิตการคำ (2551). **จากขยะสู่น้ำมัน : เทคโนโลยีผลิตพลังงานทางเลือกที่ดูแลสิ่งแวดล้อม** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน (2559). **สถานการณ์พลังงานไทย ปี พ.ศ. 2559**. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- Abdalla, B. K., & Oshaik, F. O. A. (2013). Base-transesterification process for biodiesel fuel production from spent frying oils. **Agricultural Sciences**, 04(09), 85-88.
- Abnisa, F., & Wan Daud, W. M. A. (2014). A review on co-pyrolysis of biomass: An optional technique to obtain a high-grade pyrolysis oil. **Energy Conversion and Management**, 87, 71-85.
- Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. **Progress in Energy and Combustion Science**, 33(3), 233-271.
- An, H., Yang, W. M., Maghbouli, A., Li, J., Chou, S. K., & Chua, K. J. (2013). Performance, combustion and emission characteristics of biodiesel derived from waste cooking oils. **Applied Energy**, 112, 493-499.
- Anuar Sharuddin, S. D., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. **Energy Conversion and Management**, 115, 308-326.
- Can, Ö., Öztürk, E., & Yücesu, H. S. (2017). Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine. **Renewable Energy**, 109, 73-82.
- Damodharan, D., Sathiyagnanam, A. P., Rana, D., Rajesh Kumar, B., & Saravanan, S. (2017). Extraction and characterization of waste plastic oil (WPO) with the effect of n-butanol addition on the performance and emissions of a DI diesel engine fueled with WPO/diesel blends. **Energy Conversion and Management**, 131, 117-126.
- Devaraj, J., Robinson, Y., & Ganapathi, P. (2015). Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine. **Energy**, 85, 304-309.
- E, J., Pham, M., Zhao, D., Deng, Y., Le, D., Zuo, W., . . . Zhang, Z. (2017). Effect of different technologies on combustion and emissions of the diesel engine fueled with biodiesel: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 80, 620-647.
- Gnanasekaran, S., Saravanan, N., & Ilangkumaran, M. (2016). Influence of injection timing on performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine running on fish oil biodiesel. **Energy**, 116, 1218-1229.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- Hagos, F. Y., Ali, O. M., Mamat, R., & Abdullah, A. A. (2017). Effect of emulsification and blending on the oxygenation and substitution of diesel fuel for compression ignition engine. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 75, 1281-1294.
- Hasan, M. M., & Rahman, M. M. (2017). Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 74, 938-948.
- Herreros, J. M., Schroer, K., Sukjit, E., & Tsolakis, A. (2015). Extending the environmental benefits of ethanol–diesel blends through DGE incorporation. **Applied Energy**, 146, 335-343.
- Hirkude, J. B., & Padalkar, A. S. (2012). Performance and emission analysis of a compression ignition. **Applied Energy**, 90(1), 68-72.
- Hosseini, S. H., Taghizadeh-Alisaraei, A., Ghobadian, B., & Abbaszadeh-Mayvan, A. (2017). Performance and emission characteristics of a CI engine fuelled with carbon nanotubes and diesel-biodiesel blends. **Renewable Energy**, 111, 201-213.
- Hürdoğan, E., Ozalp, C., Kara, O., & Ozcanli, M. (2017). Experimental investigation on performance and emission characteristics of waste tire pyrolysis oil–diesel blends in a diesel engine. **International Journal of Hydrogen Energy**.
- Ibrahim, A. (2016). Investigating the effect of using diethyl ether as a fuel additive on diesel engine performance and combustion. **Applied Thermal Engineering**, 107, 853-862.
- Islam, M. S., Ahmed, A. S., Islam, A., Abdul Aziz, S., Xian, L. C., & Mridha, M. (2014). Study on Emission and Performance of Diesel Engine Using Castor Biodiesel. **Journal of Chemistry**, 2014, 1-8.
- Jamrozik, A. (2017). The effect of the alcohol content in the fuel mixture on the performance and emissions of a direct injection diesel engine fueled with diesel-methanol and diesel-ethanol blends. **Energy Conversion and Management**, 148, 461-476.
- John B. Heywood. (1998). **Internal Combustion Engine Fundamentals**. Singapore: McGraw-Hill.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- Jose Martin Herreros Arellano. (2010). **Framework to optimize the use of alternative fuels in motorsport. Case study: emission benefits in compression ignition engines**, Cranfield University, England.
- Kaimal, V. K., & Vijayabalan, P. (2015). A detailed study of combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil and its blends. **Energy Conversion and Management**, 105, 951-956.
- Kaimal, V. K., & Vijayabalan, P. (2016). An investigation on the effects of using DEE additive in a DI diesel engine fuelled with waste plastic oil. **Fuel**, 180, 90-96.
- Kaimal, V. K., & Vijayabalan, P. (2016). A study on synthesis of energy fuel from waste plastic and assessment of its potential as an alternative fuel for diesel engines. **Waste Manag.** 51, 91-96.
- Kalargaris, I., Tian, G., & Gu, S. (2017). Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil. **Fuel Processing Technology**, 157, 108-115.
- Kalargaris, I., Tian, G., & Gu, S. (2017). Experimental evaluation of a diesel engine fuelled by pyrolysis oils produced from low-density polyethylene and ethylene–vinyl acetate plastics. **Fuel Processing Technology**, 161, 125-131.
- Kalargaris, I., Tian, G., & Gu, S. (2017). The utilisation of oils produced from plastic waste at different pyrolysis temperatures in a DI diesel engine. **Energy**, 131, 179-185.
- Karabektas, M., & Hosoz, M. (2009). Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends. **Renewable Energy**, 34(6), 1554-1559.
- Kathirvelu, B., Subramanian, S., Govindan, N., & Santhanam, S. (2017). Emission characteristics of biodiesel obtained from *Jatropha* seeds and fish wastes in a diesel engine. **Sustainable Environment Research**.
- Krishnamoorthi, M., & Malayalamurthi, R. (2017). Experimental investigation on performance, emission behavior and exergy analysis of a variable compression ratio engine fuelled with diesel - aegle marmelos oil - diethyl ether blends. **Energy**, 128, 312-328.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- Kumar, R., Mishra, M. K., Singh, S. K., & Kumar, A. (2016). Experimental evaluation of waste plastic oil and its blends on a single cylinder diesel engine. **Journal of Mechanical Science and Technology**, 30(10), 4781-4789.
- Kumar, S., Prakash, R., Murugan, S., & Singh, R. K. (2013). Performance and emission analysis of blends of waste plastic oil obtained by catalytic pyrolysis of waste HDPE with diesel in a CI engine. **Energy Conversion and Management**, 74, 323-331.
- Lee, S., & Kim, T. Y. (2017). Performance and emission characteristics of a DI diesel engine operated with diesel/DEE blended fuel. **Applied Thermal Engineering**, 121, 454-461.
- Mahmudul, H. M., Hagos, F. Y., Mamat, R., Adam, A. A., Ishak, W. F. W., & Alenezi, R. (2017). Production, characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 72, 497-509.
- Mani, M., & Nagarajan, G. (2009). Influence of injection timing on performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine running on waste plastic oil. **Energy**, 34(10), 1617-1623.
- Mani, M., Nagarajan, G., & Sampath, S. (2010). An experimental investigation on a DI diesel engine using waste plastic oil with exhaust gas recirculation. **Fuel**, 89(8), 1826-1832.
- Mani, M., Nagarajan, G., & Sampath, S. (2011). Characterisation and effect of using waste plastic oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. **Energy**, 36(1), 212-219.
- Mani, M., Subash, C., & Nagarajan, G. (2009). Performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil. **Applied Thermal Engineering**, 29(13), 2738-2744.
- Miandad, R., Barakat, M. A., Aburiazaiza, A. S., Rehan, M., Ismail, I. M. I., & Nizami, A. S. (2017). Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 119, 239-252.
- Mubofu, E. B. (2016). Castor oil as a potential renewable resource for the production of functional materials. **Sustainable Chemical Processes**, 4(1).

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- Murugan, S., Ramaswamy, M. C., & Nagarajan, G. (2008). The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines. **Waste Manag**, 28(12), 2743-2749.
- Mushtaq Ahmad, Mir Ajab Khan, Muhammad Zafar, & Shazia Sultana. (2013). **Practical Handbook on Biodiesel Production and Properties** Introduction to Biodiesel pp. 2. New York: Taylor & Francis Group.
- N.K. Giri. (2011). **Automobile Mechanics** 8 ed. New Delhi: Khanna.
- Nantha Gopal, K., Pal, A., Sharma, S., Samanchi, C., Sathyanarayanan, K., & Elango, T. (2014). Investigation of emissions and combustion characteristics of a CI engine fueled with waste cooking oil methyl ester and diesel blends. **Alexandria Engineering Journal**, 53(2), 281-287.
- Othman, M. F., Adam, A., Najafi, G., & Mamat, R. (2017). Green fuel as alternative fuel for diesel engine: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 80, 694-709.
- Ozsezen, A. N., Canakci, M., Turkcan, A., & Sayin, C. (2009). Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters. **Fuel**, 88(4), 629-636.
- Patel, R. L., & Sankhavara, C. D. (2017). Biodiesel production from Karanja oil and its use in diesel engine: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 71, 464-474.
- Rajesh Kumar, B., & Saravanan, S. (2016). Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 60, 84-115.
- Senthilkumar, P., & Sankaranarayanan, G. (2016). Effect of Jatropha methyl ester on waste plastic oil fueled DI diesel engine. **Journal of the Energy Institute**, 89(4), 504-512.
- Sharma, A., & Murugan, S. (2013). Investigation on the behaviour of a DI diesel engine fueled with Jatropha Methyl Ester and Tyre Pyrolysis Oil blends. **Fuel**, 108, 699-708.
- Somkiat Maithomklang, Ekarong Sukjit, Pansa liplap, & Weerachai Arjharn. (2017). **Combustion and Emission Characteristics of A Diesel Engine Fuled with Waste Plastic Oil-Oxygenate Blends**. Paper presented at the South East Asean Technicl University Consortium Symposium, Ho Chi Minh University of Technology in Viet Nam.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

- Stephen R. Turns. (2012). **An Introduction to Combustion Concepts and Applications** (3th edition), pp. 671. New York: McGraw-Hill.
- Sukjit, E., Herreros, J., Piaszyk, J., Dearn, K., & Tsolakis, A. (2013). Finding synergies in fuels properties for the design of renewable fuels–Hydroxylated biodiesel effects on butanol-diesel blends. **Environmental science & technology**, 47(7), 3535-3542.
- Sukjit, E., Herreros, J. M., Dearn, K. D., García-Contreras, R., & Tsolakis, A. (2012). The effect of the addition of individual methyl esters on the combustion and emissions of ethanol and butanol -diesel blends. **Energy**, 42(1), 364-374.
- Sukjit, E., Herreros, J. M., Dearn, K. D., Tsolakis, A., & Theinnoi, K. (2013). Effect of hydrogen on butanol–biodiesel blends in compression ignition engines. **International Journal of Hydrogen Energy**, 38(3), 1624-1635.
- Suwanno, S., Rakkan, T., Yunu, T., Paichid, N., Kimtun, P., Prasertsan, P., & Sangkharak, K. (2017). The production of biodiesel using residual oil from palm oil mill effluent and crude lipase from oil palm fruit as an alternative substrate and catalyst. **Fuel**, 195, 82-87.
- Tamilselvan, P., Nallusamy, N., & Rajkumar, S. (2017). A comprehensive review on performance, combustion and emission characteristics of biodiesel fuelled diesel engines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 79, 1134-1159.
- Tesfa, B., Mishra, R., Zhang, C., Gu, F., & Ball, A. D. (2013). Combustion and performance characteristics of CI (compression ignition) engine running with biodiesel. **Energy**, 51, 101-115.
- Verma, P., & Sharma, M. P. (2016). Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 62, 1063-1071.
- Wan Ghazali, W. N. M., Mamat, R., Masjuki, H. H., & Najafi, G. (2015). Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 51, 585-602.
- Willard W. Pullkrabek. (2003). **Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine**. New Jersey: Pearson Education Inc.

รายการอ้างอิง (ต่อ)

Yao, M., Wang, H., Zheng, Z., & Yue, Y. (2010). Experimental study of n-butanol additive and multi-injection on HD diesel engine performance and emissions. **Fuel**, 89(9), 2191-2201.





ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ชุดที่ 1

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม (N-m)	สมรรถนะของเครื่องยนต์เล็ก	
		ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรก (g/kW-hr)	ประสิทธิภาพเชิง ความร้อนเบรก (%)
DF	30	303.736	26.11
	50	249.334	31.81
	70	223.883	35.43
	90	216.227	36.68
	110	212.071	37.40
WPO25	30	303.034	26.41
	50	242.930	32.95
	70	224.034	35.72
	90	212.249	37.71
	110	213.302	37.52
WPO50	30	301.650	26.39
	50	246.013	32.35
	70	224.640	35.43
	90	217.522	36.59
	110	216.420	36.78
WPO75	30	316.382	25.24
	50	247.352	32.28
	70	227.002	35.17
	90	214.419	37.42
	110	215.973	36.97
WPO	30	320.191	25.00
	50	252.468	31.70
	70	234.327	34.16
	90	225.712	35.46
	110	223.010	35.89

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ชุดที่ 2

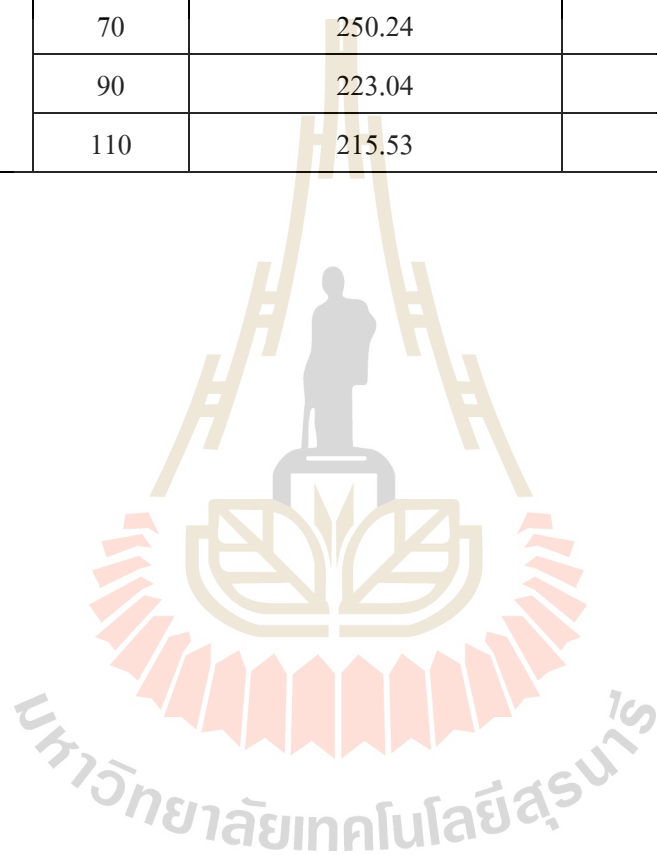
น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม (N-m)	สมรรถนะของเครื่องยนต์เล็ก	
		ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรก (g/kW-hr)	ประสิทธิภาพเชิง ความร้อนเบรก (%)
DF	30	306.784	25.85
	50	245.328	32.33
	70	222.291	35.68
	90	205.403	38.61
	110	206.563	38.40
WPO	30	308.459	25.95
	50	243.372	32.89
	70	222.725	35.93
	90	209.184	38.26
	110	205.729	38.90
BU16	30	375.261	22.09
	50	248.798	33.32
	70	226.430	36.62
	90	211.811	39.14
	110	212.996	38.93
DEE16	30	377.855	22.12
	50	248.192	33.67
	70	226.093	36.96
	90	212.884	39.25
	110	210.644	39.67

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ชุดที่ 3

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม (N-m)	สมรรถนะของเครื่องยนต์เล็ก	
		ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรค (g/kW-hr)	ประสิทธิภาพเชิง ความร้อนเบรค (%)
DF	30	369.65	21.46
	50	265.72	29.85
	70	242.52	32.70
	90	215.19	36.86
	110	213.69	37.12
WPO	30	388.44	20.60
	50	268.31	29.83
	70	241.03	33.21
	90	221.43	36.14
	110	208.34	38.14
DEE16	30	456.09	18.34
	50	312.52	26.76
	70	276.68	30.22
	90	244.46	34.21
	110	233.66	35.79
BU16	30	391.76	20.65
	50	289.49	27.94
	70	261.92	30.88
	90	233.26	34.67
	110	225.24	35.91
DEE11.5BIO5	30	374.17	22.35
	50	268.31	31.17
	70	242.52	34.48
	90	231.98	36.12
	110	217.40	38.46

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ชุดที่ 3 (ต่อ)

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม (N-m)	สมรรถนะของเครื่องยนต์เล็ก	
		ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรก (g/kW-hr)	ประสิทธิภาพเชิง ความร้อนเบรก (%)
BU11.5BIO5	30	388.46	20.82
	50	267.00	30.29
	70	250.24	32.32
	90	223.04	36.26
	110	215.53	37.53





ภาคผนวก ข

ผลการตรวจวัดคุณลักษณะการเผาไหม้

ตารางที่ ข.1 ผลการตรวจวัดคุณลักษณะการเผาไหม้ ชุดที่ 1

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม (N-m)	คุณลักษณะการเผาไหม้ ^{เฉลี่ย}		
		ความดันใน กระบอกสูบสูงสุด (Bar)	อัตราการปลดปล่อย ความร้อนสูงสุด (J/°CA)	สัมประสิทธิ์ ความแปรผัน (%)
Diesel	30	54.40	36.83	4.58
	50	58.36	43.90	4.08
	70	61.96	47.28	2.41
	90	64.62	47.11	1.38
	110	63.67	49.80	1.46
WPO25	30	53.95	38.62	3.51
	50	53.25	36.59	2.14
	70	60.19	51.89	2.20
	90	64.17	52.16	1.23
	110	61.96	47.60	1.72
WPO50	30	53.56	38.84	5.34
	50	55.73	45.82	4.26
	70	59.05	52.10	2.86
	90	62.53	52.95	1.71
	110	64.10	45.80	1.20
WPO75	30	52.37	37.55	12.15
	50	54.74	46.99	4.57
	70	60.36	52.88	3.62
	90	63.95	56.58	1.41
	110	63.43	49.48	1.42
WPO	30	50.11	37.04	6.67
	50	53.00	45.58	3.84
	70	59.32	53.87	2.78
	90	63.15	55.83	1.15
	110	63.67	63.67	1.34

ตารางที่ ข.2 ผลการตรวจวัดคุณลักษณะการเผาไหม้ ชุดที่ 2

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม (N-m)	คุณลักษณะการเผาไหม้		
		ความดันใน กระบอกสูบสูงสุด (Bar)	อัตราการปลดปล่อย ความร้อนสูงสุด (J/°CA)	สัมประสิทธิ์ ความแปรผัน (%)
Diesel	30	54.99	38.44	8.65
	50	57.98	43.34	3.51
	70	61.02	46.21	3.27
	90	64.01	44.83	1.69
	110	63.50	38.81	1.70
WPO	30	48.32	34.89	8.81
	50	50.60	42.66	4.99
	70	57.88	54.22	3.28
	90	64.46	58.52	1.15
	110	62.87	48.15	1.40
DEE16	30	43.42	31.24	9.09
	50	46.54	44.24	2.36
	70	53.65	59.24	3.61
	90	60.18	58.51	1.44
	110	59.01	48.34	1.22
BU16	30	45.35	31.69	8.76
	50	45.55	39.04	4.66
	70	55.36	58.61	2.81
	90	62.98	70.77	1.16
	110	63.89	64.27	1.43

ตารางที่ ข.3 ผลการตรวจวัดคุณลักษณะการเผาไหม้ ชุดที่ 3

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม (N-m)	คุณลักษณะการเผาไหม้เฉลี่ย		
		ความดันใน กระบอกสูบสูงสุด (Bar)	อัตราการปลดปล่อย ความร้อนสูงสุด (J/°CA)	สัมประสิทธิ์ ความแปรผัน (%)
Diesel	30	67.12	38.18	6.89
	50	70.38	45.23	4.75
	70	71.96	47.40	3.34
	90	74.99	47.74	1.88
	110	77.49	43.59	1.51
WPO	30	63.70	37.56	8.37
	50	66.42	42.79	8.54
	70	69.01	46.38	5.35
	90	73.51	48.58	2.07
	110	75.23	47.21	2.16
DEE16	30	62.13	41.25	7.05
	50	49.59	34.27	7.40
	70	54.03	46.08	3.64
	90	62.10	49.07	1.79
	110	67.31	43.04	1.93
BU16	30	65.59	41.49	9.17
	50	62.67	38.66	8.65
	70	67.94	53.72	6.25
	90	73.71	58.76	1.90
	110	75.89	55.38	2.55
DEE11.5BIO5	30	62.46	33.96	8.87
	50	63.43	37.87	7.57
	70	65.77	44.28	3.77
	90	73.22	49.59	2.29
	110	73.79	47.78	2.00

ตารางที่ ข.3 ผลการตรวจวัดคุณลักษณะการเผาไหม้ ชุดที่ 3 (ต่อ)

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม (N-m)	คุณลักษณะการเผาไหม้ ^{เฉลี่ย}		
		ความดันใน กระบอกสูบสูงสุด (Bar)	อัตราการปลดปล่อย ความร้อนสูงสุด (J/°CA)	สัมประสิทธิ์ ความแปรผัน (%)
BU11.5BIO5	30	63.85	37.44	8.36
	50	65.51	43.91	5.55
	70	67.09	49.34	4.89
	90	70.10	54.98	2.18
	110	76.71	56.19	2.18



ภาคผนวก ค

ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสีย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ชุดที่ 1

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม	มลพิษไอเสีย _{เฉลี่ย}				
		อุณหภูมิไอเสีย (°C)	ออกไซด์ของไนโตรเจน (ppm)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	ไฮโดรคาร์บอน (ppm)	ควันดำ (m ⁻¹)
Diesel	30	205	211.6	550	24	17.22
	50	260	327.6	400	22	
	70	323	436.0	303	22	
	90	385	565.8	258	18	
	110	465	629.8	491	20	
WPO	30	213	234.9	843	34	9.78
	50	270	349.5	648	32	
	70	334	482.5	419	28	
	90	393	606.6	306	20	
	110	484	656.2	515	24	
WPO25	30	205	225.2	584	18	18.64
	50	259	322.2	474	18	
	70	322	452.8	349	18	
	90	388	582.6	263	16	
	110	466	633.3	426	18	

ตารางที่ ก.1 ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ชุดที่ 1 (ต่อ)

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม	มลพิษไอเสีย _{เฉลี่ย}				
		อุณหภูมิไอเสีย (°C)	ออกไซด์ของไนโตรเจน (ppm)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	ไฮโดรคาร์บอน (ppm)	ควันดำ (m ⁻¹)
WPO50	30	203	228.7	661	20	18.04
	50	262	332.2	517	20	
	70	321	455.2	356	18	
	90	379	579.7	270	16	
	110	447	663.1	446	20	
WPO75	30	207	230.4	725	26	15.80
	50	262	335.0	586	24	
	70	327	484.1	395	22	
	90	394	605.6	289	18	
	110	486	653.5	477	22	

ตารางที่ ก.2 ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ชุดที่ 2

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม	มลพิษไอเสีย ^{เฉลี่ย}				
		อุณหภูมิไอเสีย (°C)	ออกไซด์ของไนโตรเจน (ppm)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	ไฮโดรคาร์บอน (ppm)	ควันดำ (m ⁻¹)
Diesel	30	205	210.8	540	24	4.7
	50	265	312.6	454	22	5.4
	70	326	442.8	328	16	7.0
	90	390	559.4	259	12	8.3
	110	479	607.6	439	16	8.3
WPO	30	210	236.9	983	34	4.1
	50	271	340.6	679	30	5.1
	70	332	466.9	427	26	4.4
	90	393	583.1	301	20	7.4
	110	486	640.2	535	22	8.2
DEE16	30	233	218.1	1206	58	5.4
	50	289	316.9	763	40	5.9
	70	337	461.5	541	34	7.4
	90	401	574.0	311	18	7.5
	110	500	607.3	538	20	7.8

ตารางที่ ก.2 ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ชุดที่ 2 (ต่อ)

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม	มลพิษไอเสีย ^{เฉลี่ย}				
		อุณหภูมิไอเสีย (°C)	ออกไซด์ของไนโตรเจน (ppm)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	ไฮโดรคาร์บอน (ppm)	ควันดำ (m ⁻¹)
BU16	30	232	215.0	1303	42	4.3
	50	270	312.5	1074	36	4.7
	70	335	464.9	627	32	6.4
	90	394	599.0	415	24	7.3
	110	493	623.5	673	26	8.3

ตารางที่ ก.3 ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ชุดที่ 3

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม	มลพิษไอเสียเฉลี่ย				
		อุณหภูมิไอเสีย (°C)	ออกไซด์ของไนโตรเจน (ppm)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	ไฮโดรคาร์บอน (ppm)	ควันดำ (m ⁻¹)
Diesel	30	200	274.5	332	12	4.7
	50	247	411.6	255	12	5.4
	70	303	510.9	204	10	7.0
	90	354	686.7	167	8	8.3
	110	422	822.5	193	6	8.3
WPO	30	203	296.4	455	24	4.1
	50	246	420.4	340	22	5.1
	70	306	567.5	242	18	4.4
	90	363	739.9	169	10	7.4
	110	429	843.6	197	12	8.2
DEE16	30	218	308.2	728	42	5.4
	50	295	460.0	676	36	5.9
	70	344	588.2	398	32	7.4
	90	383	735.7	235	10	7.5
	110	456	816.6	246	14	7.8

ตารางที่ ก.3 ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ชุดที่ 3 (ต่อ)

น้ำมันเชื้อเพลิง ทดสอบ	ภาระกรรม	มลพิษไอเสียเฉลี่ย				
		อุณหภูมิไอเสีย (°C)	ออกไซด์ของไนโตรเจน (ppm)	คาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	ไฮโดรคาร์บอน (ppm)	ควันดำ (m ⁻¹)
BU16	30	218	308.2	728	42	5.4
	50	295	460.0	676	36	5.9
	70	344	588.2	398	32	7.4
	90	383	735.7	235	10	7.5
	110	456	816.6	246	14	7.8
DEE11.5BIO5	30	197	273.7	457	22	5.4
	50	253	358.6	335	22	5.9
	70	342	482.9	270	20	7.4
	90	364	666.0	200	12	7.5
	110	428	780.6	210	8	7.8
BU11.5BIO5	30	206	300.2	559	26	4.3
	50	245	405.5	426	26	4.7
	70	319	558.7	298	22	6.4
	90	368	743.4	201	12	7.3
	110	416	845.2	227	10	8.3

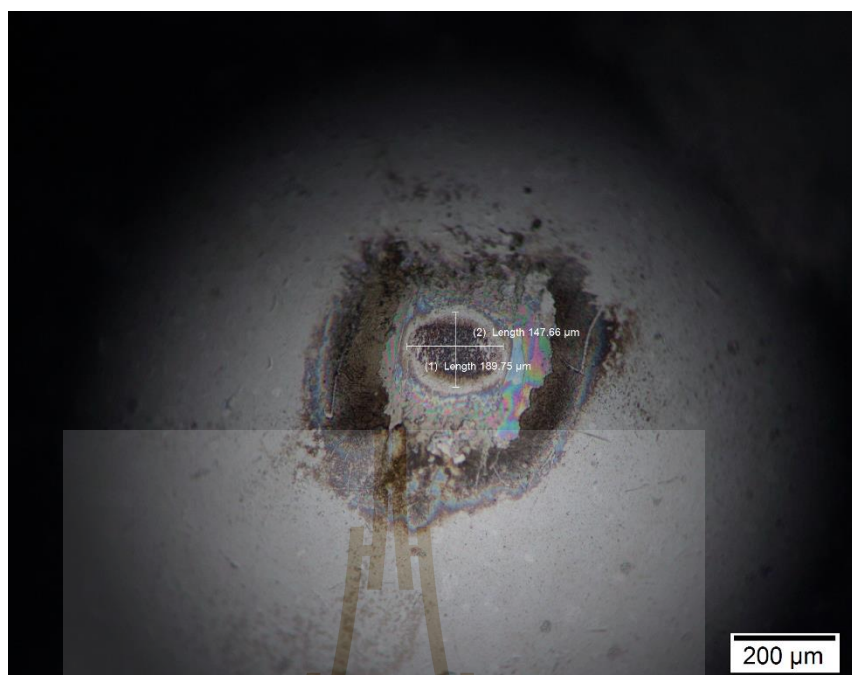
ภาคผนวก ง

ผลการตรวจวัดคุณสมบัติการหล่อลื่น

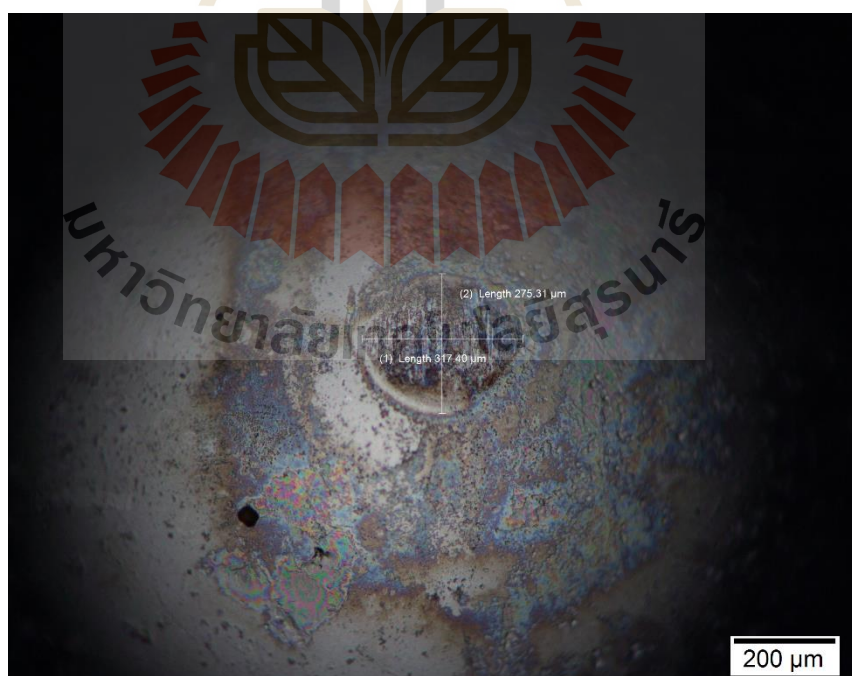


ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการตรวจวัดคุณสมบัติการหล่อลื่น

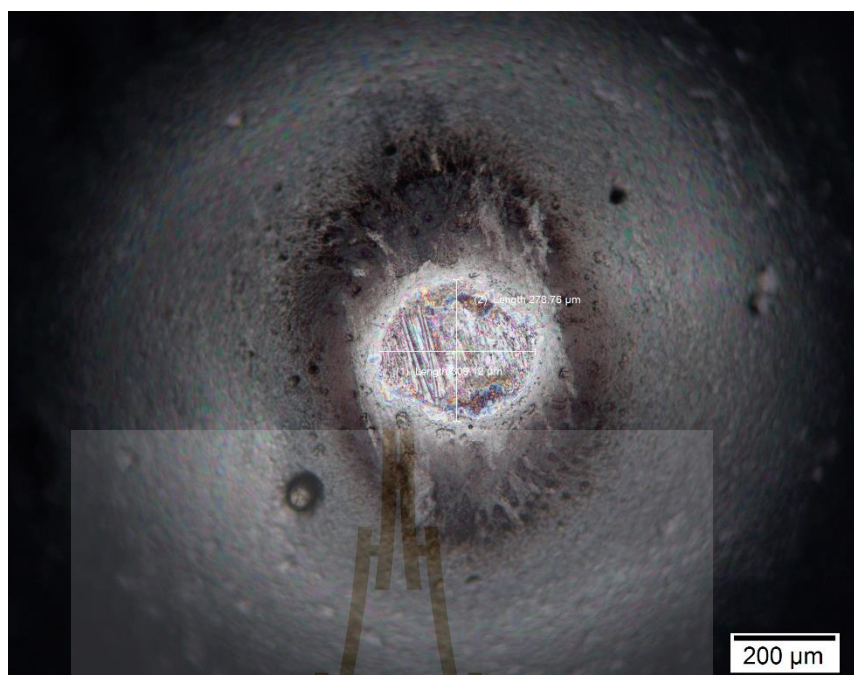
ข้อมูลการทดสอบ	หน่วยการวัด	น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ					
		DF	WPO	DEE16	BU16	DEE11.5BIO5	BU11.5BIO5
อุณหภูมิการทดสอบเฉลี่ย (Temperature Average : T)	°C	60	60	60	59.9	60	60
ฟิล์มเฉลี่ย (Film Average)	-	96	32	27	31	19	14
แรงเสียดทานเฉลี่ย (Friction Average)	-	0.135	0.135	0.134	0.136	0.135	0.140
อุณหภูมิเริ่มต้น (Start Temperature : T ₁)	°C	24	24.2	23.3	23.5	23.1	23.1
อุณหภูมิตสุดท้าย (End Temperature : T ₂)	°C	23.7	23.6	23.4	23.6	23.3	23.4
ความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้น (Start Relative Humidity : RH ₁)	%	52	48	56	49	55	52
ความชื้นสัมพัทธ์สุดท้าย (End Relative Humidity : RH ₂)	%	52	50	54	53	60	52
รอยถลอกแนวแกนตั้งฉาก (Wear Scar, X axis)	µm	189.75	323.61	309.12	333.96	336.03	353.97
รอยถลอกแนวแกนขนาน (Wear Scar, X axis)	µm	147.66	247.62	278.76	299.46	277.38	313.26
ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรอยถลอก (MSWD)	µm	168.71	285.62	293.94	316.71	306.71	333.62
ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางรอยถลอกที่ปรับแก้ค่า (WS1.4)	µm	162.21	282.45	283.26	311.84	292.59	328.63



รูปที่ ง.1 การวัดขนาดรอยถลอกของลูกบอลลวดสอบ (DF)



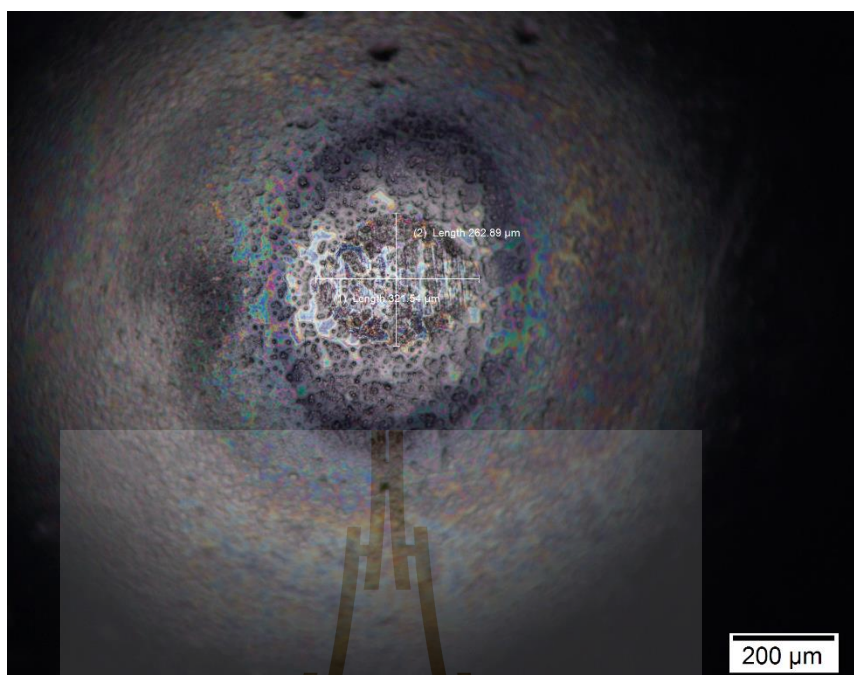
รูปที่ ง.2 การวัดขนาดรอยถลอกของลูกบอลลวดสอบ (WPO)



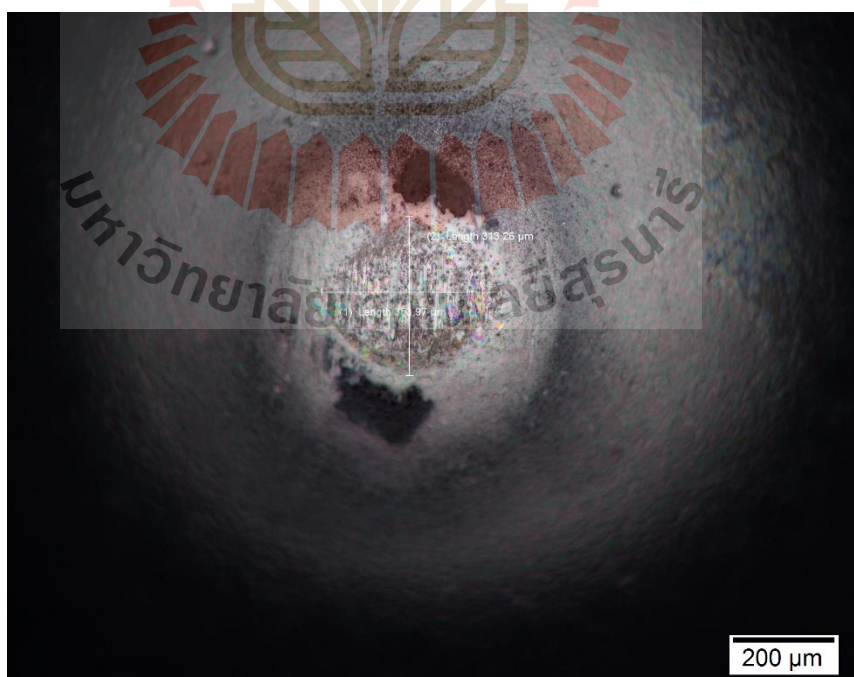
รูปที่ ง.3 การวัดขนาดรอยถลอกของลูกบอลทดสอบ (DEE16)



รูปที่ ง.4 การวัดขนาดรอยถลอกของลูกบอลทดสอบ (BU16)



รูปที่ ง.5 การวัดขนาดรอยถลอกของลูกบอลทดสอบ (DEE11.5BIO5)



รูปที่ ง.6 การวัดขนาดรอยถลอกของลูกบอลทดสอบ (BU11.5BIO5)



ภาคผนวก จ

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

สมเกียรติ หมายถมกลาง, เอกรงค์ สุขจิต, พรรษา ลิปลับ และวีรชัย อัจหาญ, (2560). การใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 (ENETT 13). โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่, 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560.

Somkiat Maithomklang, Ekarong Sukjit, Pansa Liplap and Weerachai Arjharn, (2017) . **COMBUSTION AND EMISSION CHARACTERISTICS OF A DIESEL ENGINE FULLED WITH WASTE PLASTIC OIL- OXYGENATE BLENDS.** In Proc. Presented at the 11th SEATUC Symposium. Ho Chi Minh City University of Technology, Ho Chi Minh City, Vietnam. March, 13-14, 2017.

Ekarong Sukjit, Pansa Liplap, Somkiat Maithomklang and Weerachai Arjharn, (2017) . **EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON A DI DIESEL ENGINE USING WASTE PLASTIC OIL BLENDED WITH OXYGENATED FUELS.** The 13th International Conference on Engines & Vehicles. Capri, Napoli, Italy. September 10-14, 2017.

การใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด
 The use of waste plastic oil as alternative fuel for compression ignition engines

สมเกียรติ หมายมงคล¹, เอกรงค์ สุขจิต^{1*}, พรรษา ลิบลับ² และวีรชัย อาจหาญ²

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

² สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง นครราชสีมา 30000

* E-mail ekarong@sut.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 0-4422-4770

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้ศึกษาการใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย โดยการใช้พลาสติกที่ผ่านการแปรรูปเป็นพลังงานด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วนผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 25 (WPO25), 50 (WPO50), และ 75 (WPO75) โดยปริมาตร ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ คงที่ 2,500 รอบต่อนาที ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระกรรม 30, 50, 70, 90 และ 110 นิวตันเมตร ตามลำดับ ผลจากการทดสอบ คุณสมบัติพื้นฐานของน้ำมันขยะพลาสติกพบว่า ค่าดัชนีซีเทนมีค่าสูงกว่า ค่าความหนืด ความหนาแน่น และจุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่า ในขณะที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ผลจากการทดสอบน้ำมันขยะพลาสติกกับ เครื่องยนต์พบว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระกรรม และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ทั้งนี้ ในด้านมลพิษไอเสียพบว่า น้ำมันขยะพลาสติกปล่อยมลพิษไอเสียออกไซด์ของ ไนโตรเจน (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สูงกว่าน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม การเผาไหม้น้ำมันขยะ พลาสติก (WPO) ทำให้เกิดเขม่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

คำหลัก: น้ำมันขยะพลาสติก, กระบวนการไพโรไลซิส, สมรรถนะ, คุณลักษณะการเผาไหม้, มลพิษไอเสีย

Abstract

The use of waste plastic oil as alternative fuel for compression ignition engines was investigated in this research, which focused on physical and chemical properties of fuel, engine performance, combustion characteristics and emissions. Waste plastic oil produced by pyrolysis process was mixed with commercial diesel fuel at 25% (WPO25), 50% (WPO50), and 75% (WPO75) by volume. The engine test was carried out on four-cylinder, 4-stroke and direct injection diesel engine at constant speed of 2,500 rpm with varying engine operating loads of 30, 50, 70, 90 and 110 N-m. The experimental results showed that waste plastic oil possessed higher cetane index, lower viscosity, density and flash point, and similar heating value with respect to those of diesel fuel. The engine test found that the use of waste plastic oil led to an increase in brake specific fuel consumption and a reduction in brake thermal efficiency. The combustion of waste plastic oil tended to increase oxides of nitrogen (NO_x), unburned hydrocarbon (HC) and carbon monoxide (CO) while a reduction in smoke was obtained with respect to diesel fuel combustion.

Keywords: Waste Plastic Oil, Pyrolysis Process, Performance, Combustion Characteristics, Emission.

1. บทนำ

จากรายงานสถานการณ์พลังงานไทย ปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยได้มีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก โดยพบว่ามีการนำเข้าจากต่างประเทศคิดเป็นร้อยละ 84 และผลิตเองภายในประเทศเพียงร้อยละ 16 ทั้งนี้ในส่วนการนำเข้าจากต่างประเทศนั้นได้นำเข้าน้ำมันดิบจากตะวันออกกลางร้อยละ 56 ตะวันออกไกลร้อยละ 18 และแหล่งอื่นๆ ร้อยละ 12 ของการนำเข้าทั้งหมด [1] ซึ่งทุกครั้งที่เกิดวิกฤตการณ์ของโลก อาทิเช่น สงครามในตะวันออกกลาง การลดกำลังการผลิตของประเทศผู้ส่งออกน้ำมัน ความต้องการน้ำมันที่เพิ่มขึ้นในฤดูหนาวของประเทศแถบตะวันตกหรือแม้แต่ความผันผวนของราคาน้ำมันในตลาดโลก ส่งผลให้ประเทศไทยได้รับผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม เนื่องจากพลังงานเป็นความต้องการพื้นฐานสำหรับการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ด้วยเหตุนี้การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศได้

กระทรวงพลังงานได้วางกรอบบูรณาการพลังงานแห่งชาติที่ให้ความสำคัญใน 3 ด้าน ประกอบด้วย ด้านความมั่นคงทางพลังงาน ด้านเศรษฐกิจ และด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งในแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติ กระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนพลังงาน 5 แผนหลักในช่วงปี พ.ศ. 2559 – 2579 ได้แก่ แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย แผนอนุรักษ์พลังงาน แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก แผนการจัดทำก๊าซธรรมชาติของไทย และแผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง โดยแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2015) นั้น จะให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากวัตถุดิบพลังงานทดแทนที่มีอยู่ในประเทศให้ได้เต็มตามศักยภาพ การพัฒนาศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทนด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม และการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อผลประโยชน์ร่วมในมิติด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชน [2]

ที่ผ่านมา ได้มีงานวิจัยที่ศึกษาการนำขยะพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูงและความหนาแน่นต่ำ โพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต โพลิสไตรีน และโพลีโพรพิลีน เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นพลังงานเชื้อเพลิงโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งน้ำมันขยะพลาสติกจากกระบวนการดังกล่าวมีการค้นคว้าและวิเคราะห์พบว่ามีความสมบัติใกล้เคียง

กับน้ำมันดีเซล และประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล [3-5] จึงทำให้เกิดความเชื่อมั่นได้ระดับหนึ่งในการนำน้ำมันจากขยะพลาสติกไปใช้งานในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด อย่างไรก็ตาม การนำน้ำมันขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยไม่ผ่านขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วนมาใช้กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดโดยไม่มีกระบวนการปรับแต่งเครื่องยนต์นั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในหลายด้าน

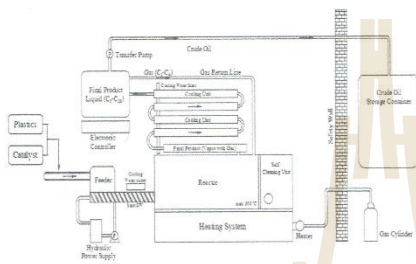
ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลกระทบของน้ำมันขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยไม่ผ่านขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วนที่อัตราส่วนผสมต่างๆ กับน้ำมันดีเซล โดยครอบคลุมถึงคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย เพื่อเป็นแนวทางในการนำน้ำมันขยะพลาสติกไปใช้เป็นพลังงานทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดได้อย่างเหมาะสม และสอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกของกระทรวงพลังงาน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการไพโรไลซิส

กระบวนการไพโรไลซิส คือ กระบวนการแตกตัวของโพลิเมอร์หรือการสลายตัวของสารประกอบด้วยกระบวนการทางความร้อนภายใต้สภาวะปราศจากอากาศ โดยกระบวนการผลิตเริ่มจากการที่ขยะพลาสติกจะถูกอัดและส่งไปยังเตาหลอมพร้อมกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนแก่พลาสติกในอ่างโลหะหลอมเหลว ความร้อนที่ใช้อยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 400-800 องศาเซลเซียส ซึ่งถูกให้ความร้อนโดยแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และพลาสติกหลอมเหลวจะเกิดการแตกตัว ให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สหรือไอออกมาที่อุณหภูมิของปฏิกิริยา (350-450 องศาเซลเซียส) หลังจากพลาสติกสลายตัวเป็นแก๊สแล้ว ก็จะถูกกักเก็บจากส่วนบนของเตาไปสู่หน่วยให้ความเย็นเพื่อควบแน่นไอกลายเป็นน้ำมันเหลวที่มีขนาดโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนมากกว่า 5 อะตอม (มากกว่า C5) ส่วนแก๊สที่ไม่ควบแน่น (C1-C4) จะถูกส่งกลับไปเผาไหม้ให้ความร้อนกับเตาหลอมต่อไป โดยมีสัดส่วนน้ำหนักประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สิ่งปนเปื้อนที่ตกค้าง (Impurities) ที่ไม่หลอมเหลวหรือหลอมเหลวไม่หมดจะถูกกำจัดออกจาก

สายพานลำเลียง เมื่อนำมากลับลำดับส่วนเพื่อแยกองค์ประกอบตามกรรมวิธีการกลั่นน้ำมันดิบแล้วจะให้องค์ประกอบที่เป็นเนฟทา น้ำมันก๊าด น้ำมันแก๊สออยล์ชนิดเบา น้ำมันแก๊สออยล์ชนิดหนัก และกากน้ำมัน โดยกระบวนการดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 1



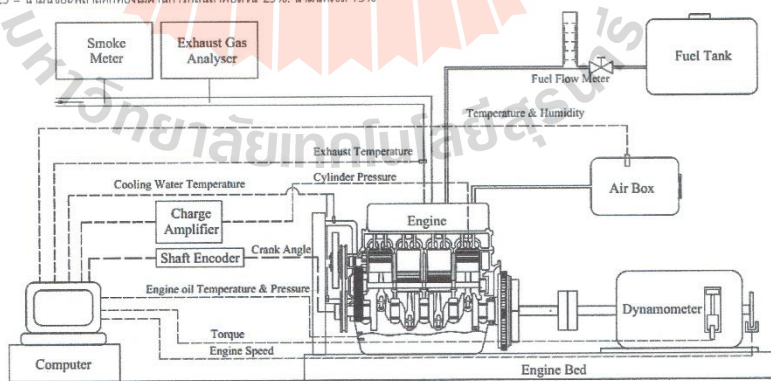
รูปที่ 1 กระบวนการไพโรไลซิส

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	วิธีทดสอบ	DF	WPO ¹	WPO25 ²	WPO50	WPO75
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (cSt)	ASTM D445	3.439	3.065	3.359	3.254	3.107
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D93	78	36	56	46	40
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6 °C	ASTM D1298	0.828	0.800	0.820	0.815	0.809
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15.6 °C (kg/m ³)	ASTM D1298	827.19	799.21	819.19	814.20	808.20
ดัชนีซีเทน	ASTM D976	60.18	68.98	62.66	63.72	65.5
อุณหภูมิการกลั่นที่ 50 % (°C)	ASTMD86	298	282	294	288	284
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (MJ/kg)	ASTM D240	45.39	44.98	45.34	45.23	45.09

¹ WPO = น้ำมันขยะพลาสติกที่ยังไม่ผ่านการกลั่นลำดับส่วน 100%

² WPO25 = น้ำมันขยะพลาสติกที่ยังไม่ผ่านการกลั่นลำดับส่วน 25%; น้ำมันดีเซล 75%



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงการติดตั้งเครื่องยนต์สำหรับการทดสอบ

2.2. คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันขยะพลาสติกที่ผ่านการแปรรูปเป็นพลังงานด้วยกระบวนการไพโรไลซิสที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วนจากศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 25 (WPO25), 50 (WPO50) และ 75 (WPO75) เมื่อทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีภายใต้มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials: ASTM) ผลการตรวจวัดพบว่า น้ำมันขยะพลาสติก มีค่าดัชนีซีเทนมีค่าสูงกว่า ค่าความหนืด ความหนาแน่น และจุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่า ในขณะที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ดังตารางที่ 1

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์การทดสอบ

เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ ซึ่งแสดงข้อมูลโดยทั่วไปของเครื่องยนต์ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องยนต์

Engine	Specification
Engine model	4JA1
Engine type	Water cooled, 4 cylinder, 4-cycle, direct injection
Bore	93 mm
Stroke	92 mm
Compression ratio	18.4
Displacement	2,449 cc
Rated power	64.9 kW @4000 rpm
Max.Torque	171.5 N-m @2000 rpm

ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้เป็นชนิดใช้น้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ขนาด 180 แรงม้า ซึ่งต่อเข้ากับวงจรควบคุมความเร็วรอบและภาระกรรม รวมทั้งเก็บข้อมูลอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น น้ำมันเครื่อง อดี และไอเสีย โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K การวัดค่าอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงวัดโดยใช้ชุดตรวจวัดเทียบกับเวลา รวมถึงเครื่องมือที่ใช้วัดความดันในกระบอกสูบประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความดัน (Pressure transducer Kistler 6052C) ต่อเข้ากับตัวขยายสัญญาณ (Charge amplifier Kistler 5064C) และวัดองศาเพลาคือห่วยโดยชุดวัดองศาเพลาคือห่วย (Crank angle encoder set Kistler 2164C)

เครื่องมือวิเคราะห์ไอเสียจากเครื่องยนต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสียยี่ห้อ Testo รุ่น Testo 350, ยี่ห้อ Horiba รุ่น MEXA-584L และเครื่องมือวัดเขม่ายี่ห้อ MAHA รุ่น MDO 2 LON โดยการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแสดงไว้ในแผนภูมิ ดังรูปที่ 2

3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

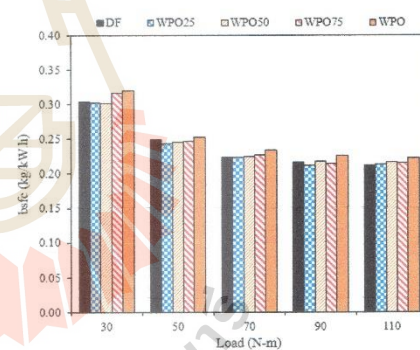
การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย โดยทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบต่อนาที ภายใต้เงื่อนไขการ

เปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่ 30, 50, 70, 90 และ 110 นิวตันเมตร ตามลำดับ โดยใช้น้ำมันดีเซล (DF), WPO25, WPO50, WPO75 และน้ำมันขยะพลาสติกที่ยังไม่ผ่านการกลั่นลำดับส่วน (WPO) ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่างๆ ระหว่างการทดสอบ อาทิ อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง ความดันในกระบอกสูบ องศาเพลาคือห่วย อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และมลพิษไอเสีย ซึ่งประกอบด้วยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และเขม่า (Smoke)

4. ผลการวิจัย

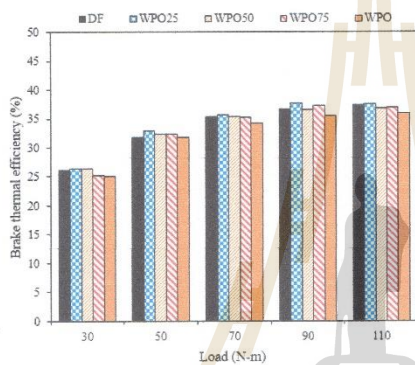
4.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์

ผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย โดยใช้น้ำมันดีเซล (DF), WPO25, WPO50, WPO75 และ WPO เปรียบเทียบผลของการทดสอบด้วยการใช้น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิง ซึ่งแสดงผลการทดสอบ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะแปรกับภาระกรรม รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของเชื้อเพลิงจำเพาะแปร ซึ่งคือความสัมพันธ์ของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวลต่อกำลังหนึ่งหน่วยที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ โดยสังเกตเห็นได้ว่า น้ำมันขยะพลาสติกมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าทุกภาระกรรมเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และการเพิ่มอัตราส่วนผสมน้ำมันขยะพลาสติกส่งผลให้มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะแปรมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันดีเซลจึงจำเป็นต้องใช้ปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น เพื่อให้ได้ปริมาณงาน

ส่งออกเท่ากันเมื่อเปรียบเทียบกับการเผาไหม้น้ำมันดีเซล [6] เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ เบรกกับการระดมที่เพิ่มขึ้นพบว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่มากขึ้น และอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังเบรกที่มากกว่าเมื่อเทียบกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวล [7]



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกกับการระดม

รูปที่ 4 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ซึ่งคือความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล โดยพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยสาเหตุน่าจะมาจากองค์ประกอบบางส่วน ของน้ำมันขยะพลาสติกที่ใช้พลังงานในการสลายพันธะที่มากกว่าส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ลดลง [8] นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนของน้ำมันขยะพลาสติกในน้ำมันดีเซลจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมมีค่าลดลง และหากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของภาระการที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิภายในกระบอกสูบที่สูงขึ้นทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงมีอัตราการระเหยเป็นไอได้ดี [9]

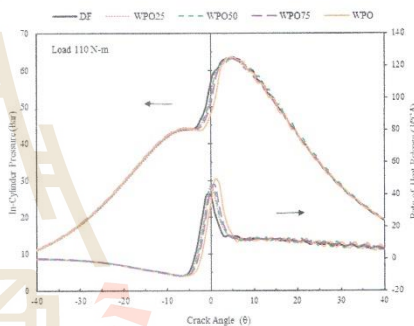
4.2 คุณลักษณะการเผาไหม้

ความดันในกระบอกสูบ (In-cylinder pressure) และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Rate of heat release) แสดง

ดังรูปที่ 4 ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 1 บนพื้นฐานของกฎข้อที่ 1 ทางเทอร์โมไดนามิกส์ ภายใต้สมมติฐานกระบวนการโพลีโทรปิก (Polytropic process)

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (1)$$

- เมื่อ $\frac{dQ}{d\theta}$ คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อน, J/°CA
- P คือ ความดันในกระบอกสูบ, bar
- V คือ ปริมาตรในห้องเผาไหม้, m³
- θ คือ องศาเพลลาซ้อเทรียง, °CA



รูปที่ 5 ความดันในกระบอกและอัตราการปลดปล่อยความร้อน สำหรับการทดสอบที่ภาระการสูงสุด

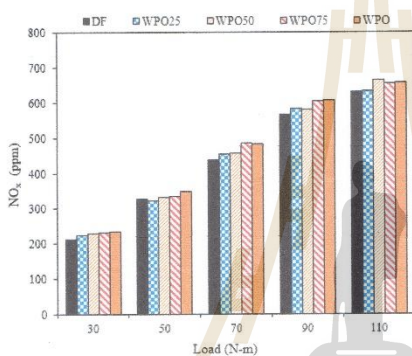
รูปที่ 5 แสดงความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนสำหรับการทดสอบที่ภาระการสูงสุดพบว่า เกิดความล่าช้า (Retard) ในการเริ่มเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ซึ่งสาเหตุหลักน่าจะมาจากควาบัลกันโมดูลัส (อัตราตัวได้มาก) ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ส่งผลต่อความล่าช้าในการติดน้ำมันเชื้อเพลิง ปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลมากกว่าดัชนีซีเทนที่สูงของน้ำมันขยะพลาสติกที่ทำให้ระยะเวลาในการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศน้อยลง และนำไปสู่การลดลงของระยะในการหน่วงการจุดระเบิด [10]

ทั้งนี้ น้ำมันขยะพลาสติกจะทำให้เกิดอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีความล่าช้าในการจุดระเบิดที่มากกว่า ส่งผลให้มี

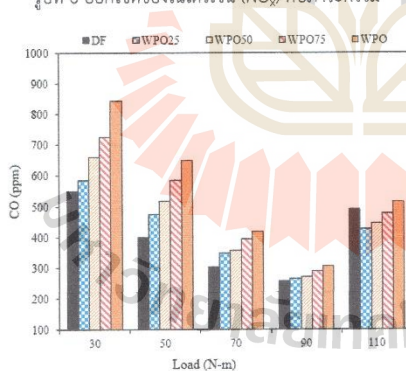
ปริมาณน้ำมันที่รอการเผาไหม้เป็นจำนวนมาก ดังนั้น เมื่อเกิดการจุดระเบิดจึงทำให้อัตราการการปลดปล่อยความร้อนมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล

4.3 มลพิษไอเสีย

ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียที่ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย ประกอบไปด้วย ออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ และเขม่า ผลการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 6-9



รูปที่ 6 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) กับภาระกรรม

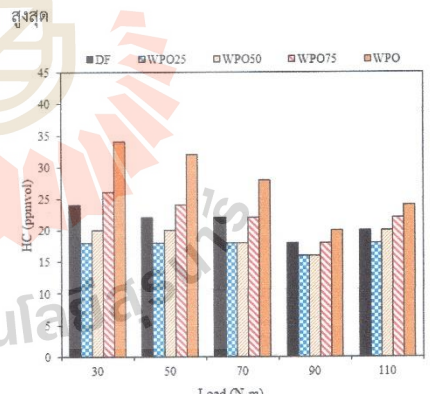


รูปที่ 7 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) กับภาระกรรม

รูปที่ 6 แสดงออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซึ่งเป็นมลพิษที่เกิดจากการรวมตัวของไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) โดยพบว่า ออกไซด์ของไนโตรเจนของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่ามากกว่าทุกภาระกรรมเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากความดันในกระบอกสูบที่

สูงและความล่าช้าในการจุดระเบิดทำให้อัตราการปลดปล่อยความร้อนมีค่าสูง [11] ซึ่งจากอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่สูงกว่าในช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้ของน้ำมันขยะพลาสติกเป็นเหตุให้เกิดการก่อตัวที่ตีของออกไซด์ของไนโตรเจนเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล [12] และหากพิจารณาภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่เพิ่มขึ้นพบว่า ออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อภาระกรรมเพิ่มขึ้น

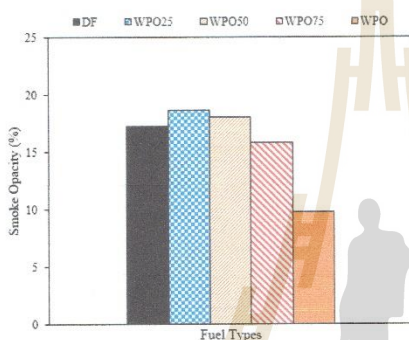
รูปที่ 7 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งเกิดผลหลักของการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ในเครื่องยนต์ดีเซลเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงเนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอและขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเชื้อเพลิง โดยสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่า คาร์บอนมอนอกไซด์ของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระกรรม และคาร์บอนมอนอกไซด์จะลดลงเมื่อลดอัตราส่วนของน้ำมันขยะพลาสติก เหตุผลที่ทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์ของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลอาจเป็นเพราะการชะลอการจุดระเบิดของน้ำมันขยะพลาสติกทำให้ลดระยะเวลาในการเผาไหม้ในหนึ่งวัฏจักรมีค่าน้อยลง [5] เมื่อพิจารณาภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่เพิ่มขึ้นพบว่า คาร์บอนมอนอกไซด์ของน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง และเพิ่มขึ้นที่ภาระกรรม



รูปที่ 8 ไฮโดรคาร์บอน (HC) กับภาระกรรม

รูปที่ 8 ไฮโดรคาร์บอน (HC) ซึ่งไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบไปของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยพบว่า ไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันขยะพลาสติกจะมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระกรรม เนื่องจากความล่าช้าของการเผาไหม้

ของน้ำมันขยะพลาสติก ส่งผลให้มีเกิดช่วงเวลาเพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้นสั้นส่งผลให้เกิดไฮโดรคาร์บอนขึ้นมากกว่าน้ำมันดีเซล โดยสังเกตได้ว่าทุกภาระกรรม WPO25 มีไฮโดรคาร์บอนต่ำสุด และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำมันขยะพลาสติก ทั้งนี้ หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของภาระกรรมพบว่า เมื่อเพิ่มภาระกรรมส่งผลให้ไฮโดรคาร์บอนมีแนวโน้มลดลง และเพิ่มขึ้นที่ภาระกรรมสูงสุด



รูปที่ 9 เเขม่า (Smoke)

รูปที่ 9 แสดงเขม่าที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบกับเครื่องยนต์ พบว่า น้ำมันขยะพลาสติกก่อให้เกิดเขม่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล สาเหตุมาจากน้ำมันขยะพลาสติกมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะช่วยให้การออกซิไดส์เขม่าคาร์บอน [5] และสังเกตเห็นได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนน้ำมันขยะพลาสติกในน้ำมันดีเซลมีแนวโน้มทำให้เขม่ามีค่าลดลง

5. บทสรุป

การทดสอบด้านคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย โดยใช้น้ำมันดีเซล (DF), WPO25, WPO50, WPO75 และน้ำมันขยะพลาสติกที่ยังไม่ผ่านการกลั่นลำดับส่วน (WPO) โดยการเปรียบเทียบผลของการทดสอบกับน้ำมันดีเซลภายใต้ภาระกรรมต่างๆ สามารถสรุปโดยสังเขปได้ ดังนี้

- น้ำมันขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการกลั่นลำดับส่วนสามารถใช้เป็นพลังงาน

ทางเลือกและนำไปใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์

- คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าดัชนีซีเทนมีค่าสูงกว่า ค่าความหนืด ความหนาแน่น และจุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่า ในขณะที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงมีค่าใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล
- ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) ของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระกรรม
- ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของน้ำมันขยะพลาสติกมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล
- น้ำมันขยะพลาสติกทำให้เกิดความล่าช้าในการเริ่มเผาไหม้และอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล
- น้ำมันขยะพลาสติกมีแนวโน้มทำให้ปริมาณ NO_x, HC และ CO ที่ได้จากการเผาไหม้มีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล ในขณะที่การใช้น้ำมันขยะพลาสติกผสมกับน้ำมันดีเซลมีแนวโน้มทำให้ปริมาณเขม่ามีค่าลดลง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีววิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนและเอื้อเฟื้อน้ำมันขยะพลาสติกสำหรับการทดสอบในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่อาคารเครื่องมือ ศูนย์เครื่องมือและเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2559). สถานการณ์พลังงานไทย ปี พ.ศ. 2559, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 17/04/2560.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2559). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 17/04/2560.

- [3] Anuar Sharuddin, S. D., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115, pp. 308-326.
- [4] Miandad, R., Barakat, M. A., Aburiazaiza, A. S., Rehan, M., Ismail, I. M. I., & Nizami, A. S. (2017). Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 119, pp. 239-252.
- [5] Mani, M., Subash, C., & Nagarajan, G. (2009). Performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil. *Applied Thermal Engineering*, 29(13), pp. 2738-2744.
- [6] Damodharan, D., Sathiyagnanam, A. P., Rana, D., Rajesh Kumar, B., & Saravanan, S. (2017). Extraction and characterization of waste plastic oil (WPO) with the effect of n-butanol addition on the performance and emissions of a DI diesel engine fueled with WPO/diesel blends. *Energy Conversion and Management*, 131, pp. 117-126.
- [7] Devaraj, J., Robinson, Y., & Ganapathi, P. (2015). Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether used as fuel for diesel engine. *Energy*, 85, pp. 304-309.
- [8] Kaimal, V. K., & Vijayabalan, P. (2015). A detailed study of combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil and its blends. *Energy Conversion and Management*, 105, pp. 951-956.
- [9] Kaimal, V. K., & Vijayabalan, P. (2016). An investigation on the effects of using DEE additive in a DI diesel engine fuelled with waste plastic oil. *Fuel*, 180, pp. 90-96.
- [10] Herreros, J.M., Schroer, K., Sukjit, E., Tsolakis, A. Extending the environmental benefits of ethanol-diesel blends through DGE incorporation. *Applied Energy*. 2015; 146: pp. 335-343
- [11] Kaimal, V. K., & Vijayabalan, P. (2016). A study on synthesis of energy fuel from waste plastic and assessment of its potential as an alternative fuel for diesel engines. *Waste Management*, 51, pp. 91-96.
- [12] Maitthomklang, S., Sukjit, E., Iplap, P., & Arjham, W. (2017). Combustion and emission characteristics of a diesel engine fuelled with waste plastic oil-oxygenate blends, paper presented in *South East Asian Technical University Consortium Symposium 2017*, Ho Chi Minh City, Vietnam.

COMBUSTION AND EMISSION CHARACTERISTICS OF A DIESEL ENGINE FUELLED WITH WASTE PLASTIC OIL-OXYGENATE BLENDS

Somkiat Maithomklang ⁽¹⁾, Ekarong Sukjit ⁽¹⁾, Pansa Iplap ⁽²⁾, Weerachai Arjharn ⁽²⁾

⁽¹⁾ School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

⁽²⁾ School of Agricultural Engineering, Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

Email: ekarong@sut.ac.th

ABSTRACT

It has been reported that oxygen present in fuel molecule can improve combustion process, leading to a reduction in some engine-out emissions such as particulate matter (PM) and oxides of nitrogen (NOx). In this study diethyl ether (DEE) and butanol containing same number of oxygen, carbon and hydrogen atom but different functional group were blended with waste plastic oil to use in a diesel engine without any engine modification. Two blended fuels were prepared for engine test, comprising BU16 (16% butanol blended with 84% waste plastic oil), DEE16 (16% DEE blended with 84% waste plastic oil). The effect of functional group present in such oxygenated fuels on combustion and emissions was investigated. Testo 350 exhaust gas analyzer was used to evaluate gaseous emissions and MAHA MDO2-LON Opacimeter was employed to report smoke emissions. The results found that the addition of DEE to waste plastic oil decreased more NOx and smoke emissions compared to butanol addition. While the test with high engine loads, the use of DEE introduced the reduction in HC emissions. Although the CO emissions of DEE blend were higher than those of waste plastic oil for all engine loads, tested it is notable that the CO emissions of DEE blend were lower than those of butanol blend.

KEYWORDS: diesel engine, waste plastic oil, pyrolysis oil, butanol, diethyl ether

1. INTRODUCTION

Nowadays, the concerns of depletion of fossil fuels and more stringent emission regulations are receiving increasingly attention by society and vehicle industry. One of strategies is the development of cleaner fuels for internal combustion engines. The emission benefits have

increased the interest of the use of oxygenated fuels as alternative fuels to replace diesel fuel in compression ignition engines and gasoline fuel in spark ignition engines. Biodiesel and ethanol are widely used to reduce the use of diesel and gasoline fuels in compression ignition engines and spark ignition engines, respectively. The fuel-born oxygen of biodiesel and ethanol has been proven to reduce carbon monoxide and particulate matter emissions [1]. Another alternative fuel received significant attention in recent years is waste plastic pyrolysis oil due to its environmental benefits. Over 100 million tons of plastics are produced annually worldwide, and the plastic products have become a common feature in society and industry due to lightweight, durability, energy efficiency, design flexibility and faster rate of production [2]. The main problem of plastic is non-degradable polymer. Plastic cannot decompose as other materials do. This led the society and industry to have consideration to avoid its usage. The plastic waste can be utilized to make fuel for the engine through the pyrolysis process. The final product of such process is a liquid free Sulphur fuel made of hydrocarbon from C6-C30 which has a calorific value and density slightly lower than diesel fuel [3]. The application of waste plastic pyrolysis oil in diesel engines has been reported in the publications [2-6]. The experimental results showed a slight reduction of engine performance and a clear increase in NOx and smoke emissions when waste plastic oil was combusted with respect to diesel fuel.

In this work, the effect of blending two oxygenated fuels, butanol and diethyl ether, with waste plastic oil on combustion and emission characteristics were studied. Both butanol and diethyl ether contain same number of carbon, hydrogen and oxygen atoms but they have different molecular structures, properties and function groups.

2. EXPERIMENT

2.1 Fuels

Two oxygenated fuels comprised of butanol and diethyl ether were blended with waste plastic pyrolysis oil (WPO). 16% by volume of butanol (BU16) blended with the waste plastic oil was selected to study in this work. It was previously reported that this percentage showed the better trade-off between NOx and soot, when the results were compared to those obtained by the 10% ethanol blend, same oxygen content with respect to 16% butanol blend [7]. To prepare the diethyl ether blend with the same oxygen content compared to BU16, 16% of diethyl ether (DEE16) was used in the test so the effect of functional group present in molecule of test fuels on combustion characteristics and exhaust emissions was investigated. In addition, commercial diesel fuel and waste plastic oil were also tested as reference fuels. The basic physical and

chemical properties of test fuels shown in Table 1 were measured according to ASTM standard.

2.2 Engine test

Experiments were conducted using a four cylinder direct injection diesel engine which was naturally aspirated and water-cooled system. The schematic diagram of the experimental installation is shown in Fig 1. A hydraulic dynamometer with a load cell was used to load the engine. The engine was tested at 2500 rpm with varying engine operating loads (30, 50, 70, 90 and 110 N.m). To record in-cylinder pressure traces, a Kistler 6052C pressure transducer mounted at glow plug adapter and connected via a Kistler 5064C charge amplifier to a data acquisition board. The crankshaft position was measured using a Kistler 2164C crank angle encoder set. Other standard engine test rig instrumentation used to monitor temperatures (intake air and exhaust gas), pressure (lubricating oil), humidity (intake air) and mass flow rate (intake air and fuel). A Testo 350 analyser was employed to measure gaseous emissions (THC, CO and NOx). A MAHA MDO2-LON Opacimeter was employed to analyse smoke emissions by a principle of absorption photometer.

Table 1. Basic physical and chemical properties of tested fuels

Fuel properties	Units	Diesel	Butanol	DEE	BU16	DEE16	WPO
Kinematic viscosity @40 °C	cSt	3.439	2.22	0.24	2.425	1.924	3.065
Flash point	°C	78	29	-40	30	24	36
Density at 15.6 °C	kg/m ³	827.19	809.7	714.8	804.21	789.22	799.21
Cetane index	-	60.18			61.83	71.99	68.98
Cetane number	-	55	17	125			
Gross calorific value	MJ/kg	45.39	35.26	36.37	43.42	43.08	44.98
Latent heat of vaporization	kJ/kg	250	585	355	258	274	282

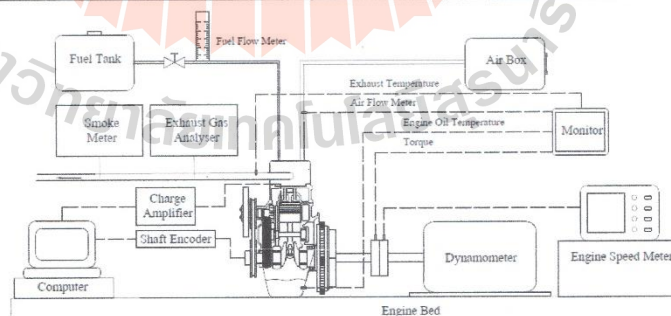


Fig 1: Schematic diagram of the experimental installation

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Engine performance

Fig 2 shows the brake thermal efficiency, the ratio of the engine's power output to the energy content supplied to the engine, and Fig 3 shows the brake specific fuel consumption related to how much amount of fuel needed to produce per unit power output. It can be seen that the increase in amount of fuel during combustion of butanol blend and diethyl ether blend is higher than the decrease in calorific value. This leads to the slight reduction in brake thermal efficiency for the fuel blends with compared to diesel fuel. The significant increase in brake specific fuel consumption of the fuel blends was found during the test at lowest engine operating condition resulting in a dramatic reduction in brake thermal efficiency.

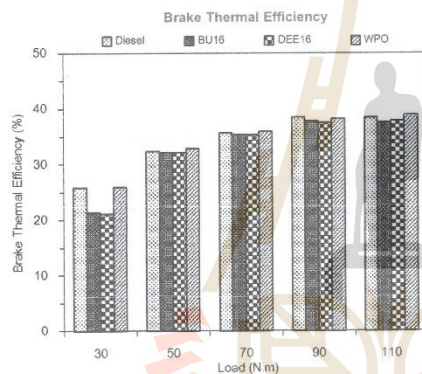


Fig 2. Brake thermal efficiency

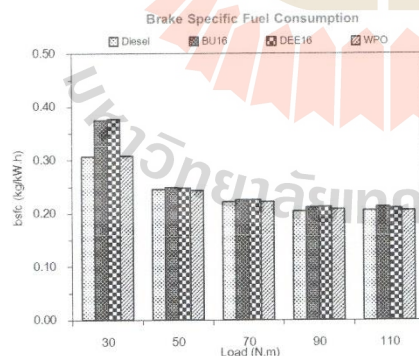


Fig 3. Brake specific fuel consumption

3.2 Combustion characteristics

In-cylinder pressure and rate of heat release (ROHR) for the maximum engine operating load tested is depicted in Fig 4 and 5, respectively. The first law of thermodynamics was used to calculate the heat release rate with Eq.1

$$dQ/d\theta = \gamma/(\gamma - 1) p dV/d\theta + 1/(\gamma - 1) V dp/d\theta \quad (1)$$

where $dQ/d\theta$ is the rate of heat release, p is the in-cylinder pressure, V is the combustion chamber volume and θ is the crank angle. The results showed that the combustion of waste plastic oil was delayed with respect to diesel fuel combustion. This does not correspond to an advance in start of combustion due to higher cetane index of waste plastic oil. The main reason used to justify the retard of combustion with WPO is lower density, which may relate to lower bulk modulus (more compressible) compared to diesel fuel. Consequently, the pressure in the fuel injection system, especially in pump-line-nozzle type, can develop slower and pressure waves can propagate later for the same nominal pump timing, resulting in lower torque [8]. In general, the longer ignition delay allows the fuel mix well with the air leading to higher homogenous initial combustion [9]. This explanation can be used to justify the higher ROHR when WPO is combusted.

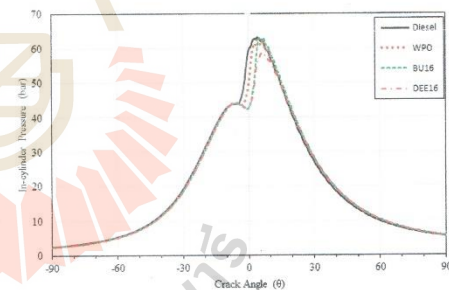


Fig 4. In-cylinder pressure

The addition of butanol to waste plastic oil leads to increase the ignition delay. This can be attributed to the low cetane number of butanol, resulting in the lower cetane index of fuel blend and increase in the premixed combustion peak. The starting point of combustion was similar for both butanol blend and diethyl ether blend even though diethyl ether has very high cetane number. The low density and low bulk modulus of DEE can be the reason for the delay of the start of combustion. However once DEE blend with higher cetane index was injected to combustion chamber it can spend less time to mix with the air before the combustion due to very high cetane number

of DEE. It implies that the combustion of DEE blend compared to butanol blend will promote lower maximum heat release rate and lower in-cylinder pressure when same amount of fuel and same starting point of combustion are considered.

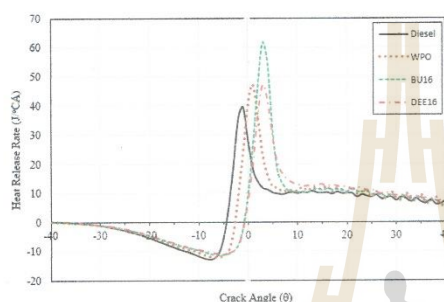


Fig 5. Rate of heat release

3.3 Emissions

The variation of gaseous carbonaceous emissions which consist of unburned hydrocarbon emissions (HC) and carbon monoxide (CO) with engine torque for tested fuels is shown in Fig 6 and Fig 7. Unburned hydrocarbon and carbon monoxide are useful to evaluate the combustion efficiency. In general, CO emissions demonstrate a very similar qualitative behavior to HC emissions. The results indicate that the HC emissions of waste plastic oil was higher than those of diesel fuel. This is due to the delay in the start of combustion of waste plastic oil leading to less available time for complete combustion to oxidise hydrocarbon and form carbon dioxide. The difference in HC emissions between diesel fuel and waste plastic oil was smaller as the engine loads increased. It is clear that the addition of butanol increased HC and CO emissions. Apart from the delay of combustion, the high latent heat of vaporization of butanol which tended to promote incomplete combustion can be used to justify the increase in HC and CO emissions [7]. This effect was more severe at low engine load condition where the temperature in combustion chamber was low. The benefit of DEE addition to reduce gaseous carbonaceous emissions was found at high engine load condition where the in-cylinder temperature is high enough to compensate the effect of high latent heat of vaporization of diethyl ether. Comparing butanol and diethyl ether, the waste plastic oil blended with DEE was more potential to reduce HC and CO emissions, especially at high engine operating load.

Oxides of nitrogen (NO_x) present in emissions is the combination of nitric oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO₂). The formation of NO_x emissions is highly

dependent on the in-cylinder temperature. The larger premixed combustion phase resulting in the higher peak pressure and temperature can promote NO_x formation. The higher ROHR in initial combustion phase of waste plastic oil is more favorable to NO_x formation compared to diesel fuel (Fig 8). It was previously reported that the presence of fuel-born oxygen could increase NO_x emissions. The oxygen in fuel molecule promote NO formation and reduce heat losses by soot radiation resulting in higher in-cylinder temperature [10]. Furthermore, the low cetane number of fuel leading to the delay in the start of combustion resulting in the high heat release peak in the initial combustion. These reasons can be used to justify the rise of NO_x emissions when butanol was added to WPO. On the other hand, the high latent heat of vaporization of butanol can contribute the less NO_x formation due to heat absorption in the cylinder during combustion process. It can be seen that the latter effect is more influential for the combustion of butanol blend resulting in the lower NO_x emissions compared to waste plastic oil. Although diethyl ether contains lower latent heat of vaporization than butanol the high cetane number of DEE can contribute the lower NO_x emissions compared to butanol blend.

Smoke opacity measurement is an indirect way of measuring diesel particulate emissions. Fig 9 shows the percentage of smoke opacity of the tested fuels. The smoke emissions was found for the combustion of waste plastic oil to lower when compare with diesel fuel while the oxygenated fuel was effective to reduce smoke emissions. Comparing the butanol and diethyl ether which contains same number of carbon, hydrogen and oxygen but different functional group, it was obvious that the ether group of DEE was more potential to reduce smoke emissions than hydroxyl group of butanol. In case of alcohol, one atom of oxygen is attached to one atom of carbon while in case of ether, one atom of oxygen is attached of two atoms of carbon. Therefore, it is thought that the only atom of oxygen of ether is more effective to inhibit soot formation than that of alcohol [11]. This effect can compensate the increase in soot formation due to lower in-cylinder pressure and temperature of DEE blend which can diminish soot oxidation.

4. CONCLUSIONS

In this research work, the effect of oxygenated fuels on combustion and emission characteristics of waste plastic oil was studied. The 16% vol of butanol and diethyl ether were added to waste plastic oil. The use of diethyl ether showed more benefits to improve emissions of waste plastic oil combustion than the use of butanol. The clear reduction in NO_x and smoke emissions was found by the addition of DEE. Although the CO emissions of DEE blend was higher for all engine loads tested, compared to

diesel fuel and pure waste plastic oil the difference was smaller as the engine loads increased. The advantage to reduce HC emissions at high engine load condition was obtained when DEE was added to waste plastic oil.

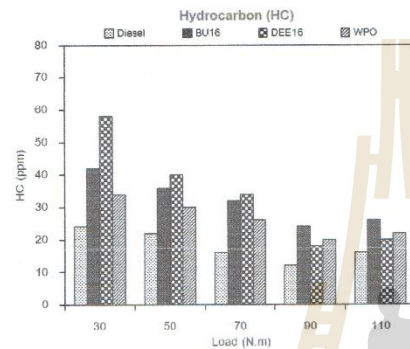


Fig 6. Unburned hydrocarbon emissions

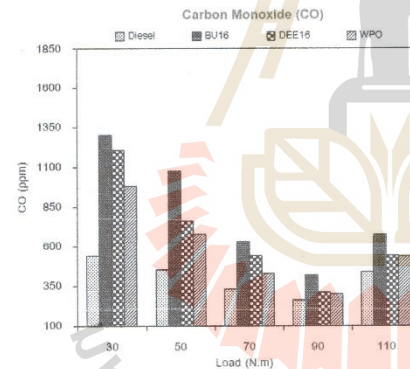


Fig 7. Carbon monoxide emissions

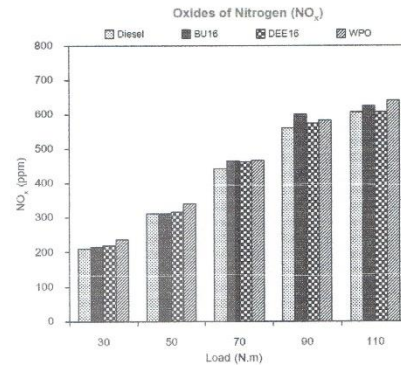


Fig 8. Oxides of nitrogen emissions

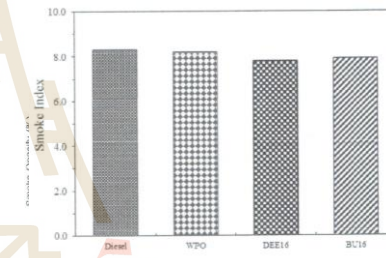


Fig 9. Smoke at engine load of 110 N.m

REFERENCES

[1] Lapuerta M., Armas O., Herreros J.M. Emissions from a diesel-bioethanol blend in an automotive diesel engine. *Fuel*. 2008;87(1):25-31.

[2] Devaraj, J., Robison, Y., Ganapathi, P. Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether as fuel for diesel engine. *Energy*. 2015;85:304-309.

[3] Rinaldini, C.A., Mattarelli, E., Savioli, T., Cantore, G., Garbero, M., Bologna, A. Performance, emission and combustion characteristics of IDI engine running on waste plastic oil. *Fuel*. 2016;83:292-303.

[4] Kaimal, V.K., Vijayabalan, P. A study on synthesis of energy fuel from waste plastic and assessment of its potential as an alternative fuel for diesel engines. *Waste Management*. 2016;51:91-96.

[5] Senthil Kumar, P., Sankaranarayanan, G. Investigation on environmental factors of waste plastics into oil abd

The 11th SEATUC Symposium

its emulsion to control the emission in DI diesel engine. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016.

[6] Mani, M., Subash, C., Nagarajan, G. Performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil. *Applied Thermal Engineering*. 2009;29: 2738-2744.

[7] Sukjit, E., Herreros, J.M., Dearn K.D., Garcia-Contreras, R., Tsolakis, A. The effect of the addition of individual methyl esters on the combustion and emissions of ethanol and butanol diesel blends. *Energy*. 2012;42(1):364-374.

[8] Gill, S.S., Tsolakis, A., Dearn, K.D., Rodriguez-Fernandez, J. Combustion characteristics and emissions of Fischer-Tropsch diesel fuels in IC engines. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2011;37:503-523.

[9] Herreros, J.M., Schroer, K., Sukjit, E., Tsolakis, A. Extending the environmental benefits of ethanol-diesel blends through DGE incorporation. *Applied Energy*. 2015;146:335-343.

[10] Lapuerta, M., Herreros, J.M., Lyons, L.L., Garcia-Contreras, R., Briceño, Y. Effect of the alcohol type used in the production of waste cooking oil biodiesel on diesel performance and emissions. *Fuel* 2008;87(15):3161-3169.

[11] Westbrook C.K., Pitz W.J., Curran H.J. Chemical kinetic modeling study of the effects of oxygenated hydrocarbons on soot emissions from diesel engines *The Journal of Physical Chemistry A*. 2006;110(21):6912-6922.

PHOTOS AND INFORMATION

	<p>Somkiat Maithomklang received the B.E. (2013) in Mechanical Engineering from Suranaree University of Technology. He is a graduate student, School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology.</p>
	<p>Ekarong Sukjit received the B.E. (2001), M.E. (2006), and Ph.D. (2012) in Mechanical Engineering from University of Birmingham. He is a Lecturer, School of Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology. His Current interests include ICE, Fuel, Emissions, Engine Wear.</p>
	<p>Pansa Iplap received the B.E. (2002), M.E. (2005), and Ph.D. (2013) in Bioresource Engineering from McGill University. He is a Lecturer, School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology. His Current interests include Post Harvest Technology, Food Science, Food Processing, Biomass, Waste Management.</p>
	<p>Weerachai Arjharn received the B.E. (1994), M.E. (1997), and Ph.D. (2001) in Agricultural and Forest Engineering from University of Tsukuba. He is a Assistant Professor, School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology. His Current interests include Biomass, Gasification, Pyrolysis Process, Waste Management.</p>



Experimental Investigation on a DI Diesel Engine Using Waste Plastic Oil Blended with Oxygenated Fuels

2017-24-0116
Published 09/04/2017

Ekarong Sukjit, Pansa Liplap, Somkiat Maithomklang, and Weerachai Arjham

Suranaree University of Technology

CITATION: Sukjit, E., Liplap, P., Maithomklang, S., and Arjham, W., "Experimental Investigation on a DI Diesel Engine Using Waste Plastic Oil Blended with Oxygenated Fuels," SAE Technical Paper 2017-24-0116, 2017, doi:10.4271/2017-24-0116.

Copyright © 2017 SAE International

Abstract

In this study, two oxygenated fuels consisting of butanol and diethyl ether (DEE), both possess same number of carbon, hydrogen and oxygen atom but difference functional group, were blended with the waste plastic pyrolysis oil to use in a 4-cylinder direct injection diesel engine without any engine modification. In addition, the effect of castor oil addition to such fuel blends was also investigated. Four tested fuels with same oxygen content were prepared for engine test, comprising DEE16 (84% waste plastic oil blended with 16% DEE), BU16 (84% waste plastic oil blended with 16% butanol), DEE11.5BIO5 (83.5% waste plastic oil blended with 11.5% DEE and 5% castor oil) and BU11.5BIO5 (83.5% waste plastic oil blended with 11.5% butanol and 5% castor oil). The results found that the DEE addition to waste plastic oil increased more HC and smoke emissions than the butanol addition at low engine operating condition. However the benefit to reduce HC and smoke was observed when the DEE blend was tested at high engine operating condition compared to the butanol blend, while CO and NO_x was similar. The fuel blend with the combination of DEE and castor oil showed a more advantage to decrease HC, CO, NO_x and smoke emissions at both engine operating conditions tested.

Introduction

Municipal solid waste (MSW), commonly known as trash or garbage, is of major issue in many countries. Its quantity has risen over the years in both industrialized and developing countries, and its disposal has become increasingly problematic [1]. An approach of waste minimization and the promotion of recycling, re-use and recovery are now trying to be applied as the main waste management strategy [2-3]. Nevertheless, these are still not sufficient to manage the whole cycle of MSW, leaving a considerable quantity of residual urban waste to be handled. More sustainable and environmentally friendly technologies of MSW are urgently required. Plastics are the major components in MSW. Once all waste plastics are separated, they would contribute a huge source sources for producing alternative fuel. Conversion of plastic waste into fuel can be achieved by several processes such as gasification, hydrocracking, catalytic cracking,

pyrolysis and others [4]. Among them, pyrolysis is a promising technology because plastic waste can be broken down into smaller molecules without creating any hazards to nature. The constituents of waste plastic pyrolysis oil (WPO) are about 70% of carbon chains varying from C₁₀-C₁₅ which is similar to that of diesel fuel, consequently it has the potential to be used in compression ignition engines [5]. The application of waste plastic pyrolysis oil in diesel engines has been reported in the publications [6, 7, 8, 9]. The experimental results showed a slight reduction of engine performance and a clear increase in NO_x and smoke emissions when waste plastic oil was combusted, with respect to diesel fuel combustion.

It is known that oxygenated fuels tends to improve combustion efficiency and produce less smoke and particulate matter. Among oxygenated fuels, alcohol and biodiesel are widely used as alternative fuels in spark ignition engines and compression ignition engines, respectively. To extend the use of alcohol in compression ignition engines (usually use in transportation sector), alcohol is used as blend component in diesel fuel. The majority of literature reports that the presence of alcohol in diesel fuel tends to reduce NO_x emissions due to the high heat of vaporization and CO emissions due to the low C/H ratio [10-11]. Moreover the hydroxyl group of alcohol can enhance soot oxidation with respect to diesel and biodiesel fuels [12]. However, the use of blends containing very high percentages of alcohol in diesel engines can be limited by some poor properties of alcohol such as lubricity, viscosity, cetane number and blending stability. To improve such properties biodiesel can added to alcohol/diesel blend. The effect of molecular structure of fatty acid methyl esters, main compositions of biodiesel, on the combustion and emissions of alcohol/diesel blends was studied and the results recommended that the addition of methyl esters with short carbon chain length to alcohol/diesel blends can reduce THC, CO and soot emissions. Moreover, small concentrations of biodiesel can significantly increase the lubricity of alcohol/diesel blends. The alcohol/biodiesel/diesel fuel blends have more clear benefits in soot emissions reduction than conventional diesel with biodiesel blends with the same oxygen content. [13].

In this study, the effect of blending waste plastic pyrolysis oil with butanol (higher energy density, being less prone to water contamination, less corrosive, better blending stability and higher cetane number with respect to ethanol) and with diethyl ether (produced by dehydration reaction of ethanol) on combustion and emission characteristics were studied. Both butanol and diethyl ether contain same number of carbon, hydrogen and oxygen atoms but they have different molecular structures, properties and function groups. Moreover, the addition of castor oil-based biodiesel (COME) to butanol/WPO and DEE/WPO blends was also investigated. The purpose of adding COME is to restore the substantial reduction in viscosity and lubricity of butanol/WPO blends and DEE/WPO blends because methyl ricinoleate (C18:1 OH) which is main composition of COME contains very high viscosity and lubricity.

Experimental Apparatus and Materials

Fuels

To study the effect of functional group of test fuels on combustion and emission characteristics, butanol and diethyl ether were blended with waste plastic pyrolysis oil (WPO). 16% by volume of butanol blended with the waste plastic oil (BU16) was selected to study in this work. It was previously reported that this percentage of butanol showed the better trade-off between NO_x and soot, when the results were compared to those obtained by the 10% ethanol blend, same oxygen content with respect to 16% butanol blend [13]. 16% of DEE blended with waste plastic oil (DEE16) was prepared to obtain the same oxygen content compared to BU16. To consider the effect of

castor oil-based biodiesel on combustion and emission characteristics, 5% of COME was added to 11.5% butanol/WPO blend (BU11.5BIO5) and 11.5% DEE/WPO blend (DEE11.5BIO5). Four test fuels as mentioned contain same oxygen content. It means that the different results of combustion and emission will be caused by chemical structure and properties of test fuels. The basic physical and chemical properties of four test fuels with same oxygen content were measured according to ASTM standard (Table 1).

Engine Test

Experiments were conducted using a four cylinder direct injection diesel engine with naturally aspirated and water-cooled system. The schematic diagram of the experimental installation is shown in Figure 1. A hydraulic dynamometer with a load cell was used to load the engine. The engine was tested at 2500 rpm with varying two engine operating loads (30 and 110 N.m). To record in-cylinder pressure traces, a Kistler 6052C pressure transducer mounted at glow plug adapter and connected via a Kistler 5064C charge amplifier to a data acquisition board. The crankshaft position was measured using a Kistler 2164C crank angle encoder set. Other standard engine test rig instrumentation used to monitor temperatures (intake air and exhaust gas), pressure (lubricating oil), humidity (intake air) and mass flow rate (intake air and fuel). A testo 350 analyser was employed to measure gaseous emissions (THC, CO and NO_x). A testo 308 was employed to analyse smoke emissions. In each condition, the engine was stabilized by the observation of exhaust temperatures and exhaust emissions.

Table 1. Specifications of tested fuels

Fuel Properties	Units	Diesel	WPO	COME	DEE16	BU16	DEE11.5BIO5 ^a	BU11.5BIO5 ^a
Kinematic viscosity at 40 °C	cSt	3.439	3.065	20.591	1.924	2.425	3.616	3.844
Flash point	°C	78	36	128	24	30	32	40
Specific gravity at 15.6 °C	-	0.828	0.800	0.945	0.790	0.805	0.810	0.811
Density at 15.6 °C	kg/m ³	827.19	799.21	944.7	789.22	804.21	809.20	824.19
Cetane index	-	60.18	68.98	35.18	71.99	61.83	59.51 ^a	55.93 ^a
Gross Calorific Value	(MJ/kg)	45.39	44.98	37.20	43.08	43.42	39.80	41.85

^a calculated from the properties of WPO, DEE, butanol and COME which based on volume percentage

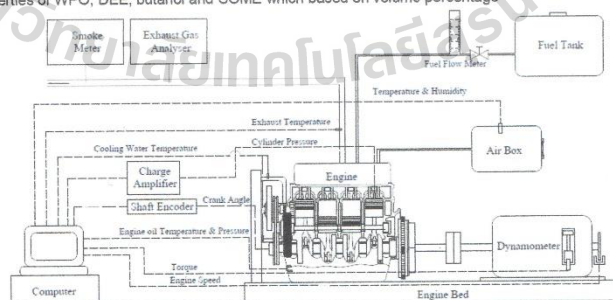


Figure 1. Schematic diagram of the experimental installation

Results and Discussion

Engine Performance

Figure 2 shows the brake thermal efficiency, the ratio of the engine's power output to the energy content supplied to the engine, and Figure 3 shows the brake specific fuel consumption related to how much amount of fuel needed to produce per unit power output. The results showed in the plots correspond to an average of three different measurements. Confidence intervals have been added to the results (95% of confidence level) in order to provide the statistical significance of the trends which have been found. It can be seen that the increase in amount of fuel during combustion of butanol blend and diethyl ether blend is higher than the reduction in calorific value. This leads to the slight reduction in brake thermal efficiency for the fuel blends with compared to diesel fuel. The significant increase in brake specific fuel consumption (bsfc) of the fuel blends was found during the test at low engine operating condition for DEE16 resulting in a dramatic reduction in brake thermal efficiency. The addition of castor oil to DEE blend can reduce such drawbacks. Consequently similar bsfc and thermal efficiency of DEE blend compared to diesel fuel was obtained at both engine operating loads tested.

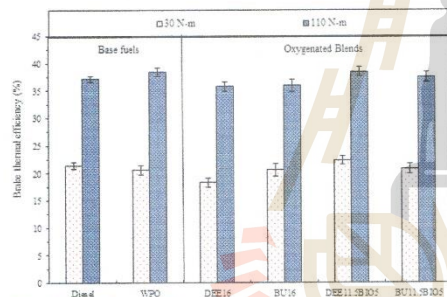


Figure 2. Brake thermal efficiency

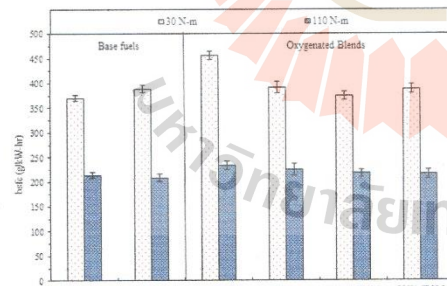


Figure 3. Brake specific fuel consumption

Combustion Characteristics

In-cylinder pressure and rate of heat release (ROHR) for the maximum engine operating load tested is depicted in Figure 4 and 5, respectively. The first law of thermodynamics was used to calculate the heat release rate with Eq.1.

$$dQ/d\theta = \gamma/(\gamma - 1) p dV/d\theta + 1/(\gamma - 1) V dp/d\theta \quad (1)$$

where $dQ/d\theta$ is the rate of heat release, p is the in-cylinder pressure, V is the combustion chamber volume and θ is the crank angle. The specific heat ratio (γ) can be calculated based on cylinder pressure and combustion chamber volume through the assumption of polytropic process $pV^n = \text{constant}$ in the expansion stroke where the heat release occurred [14]. 120 consecutive engine cycles were performed in order to analyse the in-cylinder pressure and rate of heat release. The results showed that the combustion of waste plastic oil was delayed with respect to diesel fuel combustion. This does not correspond to an advance in start of combustion due to higher cetane index of waste plastic oil. The main reason used to justify the retard of combustion with WPO is lower density, which may relate to lower bulk modulus (more compressible) compared to diesel fuel. Consequently, the pressure in the fuel injection system, especially in pump-line-nozzle type, can develop slower and pressure waves can propagate later for the same nominal pump timing, resulting in lower torque [15]. In general, the longer ignition delay allows the fuel mix well with the air leading to higher homogenous initial combustion [16]. This explanation can be used to justify the higher ROHR when WPO is combusted.

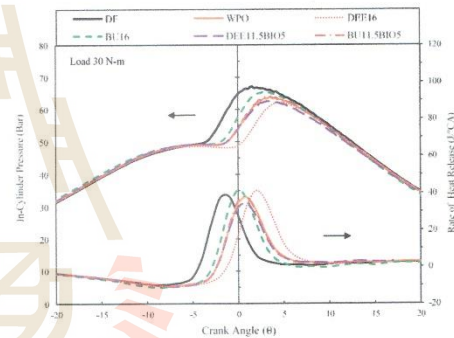


Figure 4. In-cylinder pressure and rate of heat release at low load

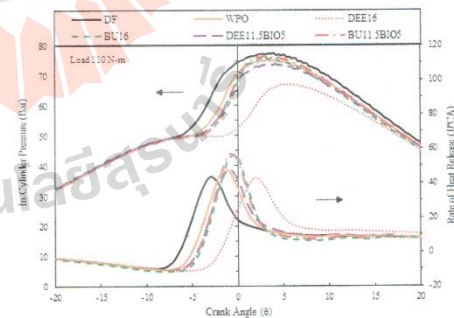


Figure 5. In-cylinder pressure and rate of heat release at high load

The addition of butanol to waste plastic oil leads to increase the ignition delay at high engine load. This can be attributed to the low cetane number of butanol, resulting in the lower cetane index of fuel blend and increase in the premixed combustion peak. However this effect was not clear at low engine load tested. The starting point of combustion was similar for both butanol blend and diethyl ether

blend even though diethyl ether has very high cetane number. The low density and low bulk modulus of DEE can be the reason for the delay of the start of combustion. However once DEE blend with higher cetane index was injected to combustion chamber it can spend less time to mix with the air before the combustion due to very high cetane number of DEE. It implies that the combustion of DEE blend compared to butanol blend will promote lower maximum heat release rate and lower in-cylinder pressure when same amount of fuel and same starting point of combustion are considered. The addition of castor oil-based biodiesel which increases density and viscosity of the DEE blend can move the start of combustion of the DEE blend closer to that of diesel fuel at both engine operating conditions.

Coefficient of variation in indicated mean effective pressure (COV_{imep}) was calculated by dividing standard deviation of imep with average imep (Figure 6). The presence of butanol and DEE in waste plastic pyrolysis oil tended to increase the value of COV_{imep} . The COV_{imep} of DEE/WPO blend was higher than the acceptable limit of 10% COV_{imep} . It implied that the use of this fuel blend may introduce the vehicle driveability problem [17]. The addition of castor oil-based biodiesel to butanol/WPO and DEE/WPO blends can participate to improve the combustion stability at low engine operating condition tested, resulting the reduction in COV_{imep} . The COV_{imep} of all test fuels was lower when the test was done at higher engine operating condition. The significant reduction in COV_{imep} was obtained when the engine was operated with butanol/WPO and DEE/WPO blends at high engine load.

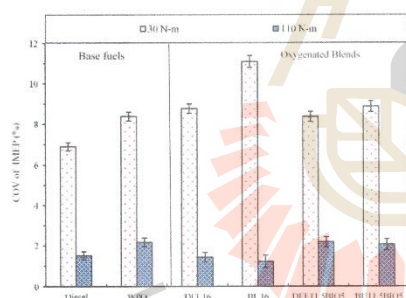


Figure 6. Coefficients of variation in indicated mean effective pressure

Emissions

The exhaust emissions which consist of unburned hydrocarbon emissions (HC), carbon monoxide (CO), oxides of nitrogen and smoke emissions at low and high engine loads tested are shown in Figure 7 and Figure 8. Unburned hydrocarbon and carbon monoxide are useful to evaluate the combustion efficiency. In general, CO emissions demonstrate a very similar qualitative behavior to HC emissions. The results indicate that the HC emissions of waste plastic oil was higher than those of diesel fuel. This is due to the delay in the start of combustion of waste plastic oil leading to less available time for complete combustion to oxidise hydrocarbon and form carbon dioxide. It was observed that the addition of butanol increased CO emissions, while there was no penalty in HC emissions.

Apart from the delay of combustion, the high latent heat of vaporization of butanol which tended to promote incomplete combustion can be used to justify the increase in CO emissions [13]. This effect was more severe at low engine load condition where the temperature in combustion chamber was low. There was no clear benefit in carbonaceous emissions when DEE was added to waste plastic oil. Comparing butanol and diethyl ether, the waste plastic oil blended with DEE was more potential to reduce HC and CO emissions, especially at high engine operating load. It was clear that the addition of castor oil can improve HC and CO emissions of butanol and diethyl ether blends.

Oxides of nitrogen (NO_x) present in emissions is the combination of nitric oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO₂). The formation of NO_x emissions is highly dependent on the in-cylinder temperature. The larger premixed combustion phase resulting in the higher peak pressure and temperature can promote NO_x formation. The higher ROHR in initial combustion phase of waste plastic oil is more favourable to NO_x formation compared to diesel fuel. It was previously reported that the presence of fuel-borne oxygen could increase NO_x emissions. The oxygen in fuel molecule promote NO formation and reduce heat losses by soot radiation resulting in higher in-cylinder temperature [18]. Furthermore, the low cetane number of fuel leading to the delay in the start of combustion resulting in the high heat release peak in the initial combustion. These reasons can be used to justify the rise of NO_x emissions when butanol was added to WPO. On the other hand, the high latent heat of vaporization of butanol can contribute the less NO_x formation due to heat absorption in the cylinder during combustion process. It can be seen that the latter effect is more influential for the combustion of butanol blend resulting in the lower NO_x emissions compared to waste plastic oil. Although diethyl ether contains lower latent heat of vaporization than butanol the high cetane number of DEE can contribute the similar NO_x emissions compared to butanol blend. The improvement in NO_x of DEE blend was achieved by the addition of castor oil.

The lower smoke emissions was found for the combustion of waste plastic oil compared to diesel fuel. The addition of DEE to waste plastic oil increased smoke emissions at low engine load and decreased smoke emissions at high engine load, while the addition of butanol showed similar smoke emissions with respect to diesel fuel. The addition of castor oil to DEE blend can help to slightly reduce smoke emissions. Comparing the effect of butanol and diethyl ether on smoke emissions, the opposite trend was obtained at low and high engine load. The butanol blends showed more benefit in smoke emissions than the DEE blends at low engine load while the DEE blends was more potential to reduce smoke emissions at high engine load. It has been previously reported that the ether functional group is more effective to reduce smoke emissions than hydroxyl group of alcohols [19]. It means that the lower smoke emissions of the combustion of DEE blend that of butanol blend was expected. However the more retard in start of combustion at low engine where the combustion temperature was not high enough and more fuels cannot participate in the combustion (more HC emissions) may be used to justify the increase in smoke emissions when the DEE blend was tested at low engine load.

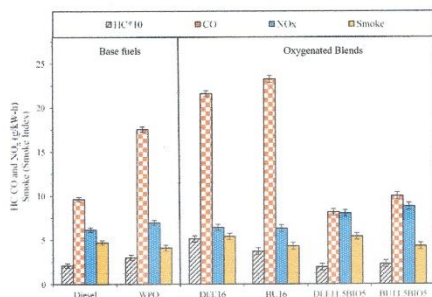


Figure 7. Engine-out emissions at low engine load

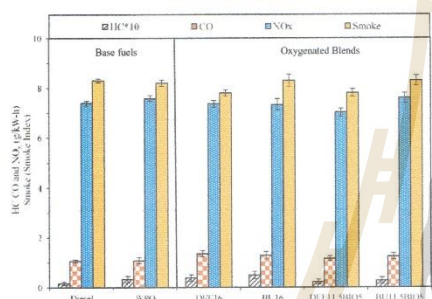


Figure 8. Engine-out emissions at high engine load

Conclusions

In this research work, the effect of oxygenated fuels on combustion and emission characteristics of waste plastic oil was studied. The 16% vol of butanol and diethyl ether were added to waste plastic pyrolysis oil. The use of diethyl ether showed more benefits to improve HC and smoke emissions of waste plastic oil combustion than the use of butanol at high engine load. The more reduction in HC and smoke emissions was found by the addition of castor oil (especially in DEE blend), while there was no penalty in CO and NOx emissions.

References

- Kwak TH, Maken S, Lee S, Park JW, Min BR, Yoo YD. Environmental aspects of gasification of Korean municipal solid waste in a pilot plant. *Fuel* 85, 2012-2017, 2006.
- Di Lonardo M, Lombardi F, Gavasci R. Characterization of MBT plants input and outputs: a review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 11, 353-363, 2012.
- Montejo C, Costa C, Ramos P, Márquez MdC. Analysis and comparison of municipal solid waste and reject fraction as fuels for incineration plants. *Applied Thermal Engineering* 31, 2135-2140, 2011.
- Kalargaris I, Tian G, Gu S. Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil. *Fuel Processing Technology* 157, 108-115, 2017.
- Kaimal VK, Vijayabalan P. A study on synthesis of energy fuel from waste plastic and assessment of its potential as an alternative fuel for diesel engines. *Waste Management*. 2016;51:91-96.
- Devaraj J, Robison Y, Ganapathi P. Experimental investigation of performance, emission and combustion characteristics of waste plastic pyrolysis oil blended with diethyl ether as fuel for diesel engine. *Energy*. 2015;85:304-309.
- Rinaldini CA, Mattarelli E, Savioli T, Cantore G, Garbero M, Bologna A. Performance, emission and combustion characteristics of IDI engine running on waste plastic oil. *Fuel*. 2016;83:292-303.
- Senthil Kumar P, Sankaranarayanan G. Investigation on environmental factors of waste plastics into oil and its emulsion to control the emission in DI diesel engine. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016.
- Mani M, Subash C, Nagarajan G. Performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine using waste plastic oil. *Applied Thermal Engineering*. 2009;29:2738-2744.
- Lapuerta M, Armas O, Herreros JM. Emissions from a diesel-bioethanol blend in an automotive diesel engine. *Fuel*. 2008;87(1):25-31.
- Sukjit E, Herreros J, Dearn K, and Tsolakis A, "Improving Ethanol-Diesel Blend Through the Use of Hydroxylated Biodiesel," SAE Technical Paper 2014-01-2776, 2014, doi:10.4271/2014-01-2776.
- Sukjit E, Herreros JM, Piaszyk J, Dearn KD, Tsolakis A. Finding synergies in fuels properties for the design of renewable fuels - hydroxylated biodiesel effects on butanol-diesel blends." *Environmental Science and Technology*. 47(7):3535-42, 2013.
- Sukjit E, Herreros JM, Dearn KD, García-Contreras R, Tsolakis A. The effect of the addition of individual methyl esters on the combustion and emissions of ethanol and butanol-diesel blends. *Energy*. 42(1):364-74, 2012.
- Chuepeng S, Srisuwan S, Tongroon M. Lean hydrous and anhydrous bioethanol combustion in spark ignition engine at idle. *Energy Conversion and Management*. 2016;128:1-11.
- Gill SS, Tsolakis A, Dearn KD, Rodriguez-Fernandez J. Combustion characteristics and emissions of Fischer-Tropsch diesel fuels in IC engines. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2011;37:503-523.
- Herreros JM, Schroer K, Sukjit E, Tsolakis A. Extending the environmental benefits of ethanol-diesel blends through DGE incorporation. *Applied Energy*. 2015;146:335-343.
- Heywood J. *Internal combustion engine fundamentals*. Singapore: McGraw-Hill; 1988.
- Lapuerta M, Herreros JM, Lyons LL, García-Contreras R, Briceño Y. Effect of the alcohol type used in the production of waste cooking oil biodiesel on diesel performance and emissions. *Fuel* 2008;87(15):3161-3169.
- Westbrook CK, Pitz WJ, Curran HJ. Chemical kinetic modeling study of the effects of oxygenated hydrocarbons on soot emissions from diesel engines *The Journal of Physical Chemistry A*. 2006;110(21):6912-6922.

ประวัติผู้เขียน

ว่าที่ร้อยตรีสมเกียรติ หมายมกลาง เกิดเมื่อวันที่ 26 ตุลาคม พ.ศ. 2534 ที่อำเภอบัวใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมตอนต้นและมัธยมตอนปลายจากโรงเรียนบัวใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีการศึกษา 2556 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในตำแหน่งผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยวิจัย ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเป็นระยะเวลา 1 ปี ซึ่งเป็นสายงานทางวิชาการที่เกี่ยวข้องด้านการเรียนและการสอน ทำให้เกิดแรงจูงใจในการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษาทางด้านวิศวกรรมเครื่องกล เพื่อพัฒนาความรู้ของตนเอง จึงได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทหลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2558 โดยระหว่างการศึกษาได้มีโอกาเป็นผู้สอนรายวิชาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ได้แก่ การเขียนแบบวิศวกรรม 1 การเขียนแบบวิศวกรรม 2 เขียนแบบทางกล ปฏิบัติการทางพลศาสตร์และระบบควบคุมในยานยนต์ และปฏิบัติการระบบในยานยนต์

ซึ่งช่วยให้ผู้วิจัยได้มีทักษะและความรู้ที่ได้จากการสอนมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้วิจัยและวิจัยร่วมกับคณาจารย์อันมีผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จำนวน 3 เรื่อง ได้แก่

ผลงานทางวิชาการเรื่อง “Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fuelled with Waste Plastic Oil - Oxygenate Blends” ในงานประชุมวิชาการ The 11th SEATUC Symposium ในระหว่างวันที่ 13 - 14 มีนาคม พ.ศ. 2560 ณ นครโฮจิมินห์ ประเทศเวียดนาม

ผลงานทางวิชาการเรื่อง “การใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด” ในงานประชุมวิชาการการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13 ในระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม - 2 มิถุนายน พ.ศ. 2560 จังหวัดเชียงใหม่

ผลงานทางวิชาการเรื่อง “Experimental Investigation on a DI Diesel Engine Using Waste Plastic Oil Blended With Oxygenated Fuels” ในงานประชุมวิชาการ The 13th International Conference on Engines & Vehicles ในระหว่างวันที่ 10 - 14 กันยายน พ.ศ. 2560 คาปรี เมืองนาโปลี ประเทศอิตาลี