

ผลกระทบของการฉีดน้ำมันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในท่อร่วมไอดี
ต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2561

**EFFECT OF PORT FUEL INJECTION OF
OXYGENATED FUELS ON PERFORMANCE
AND EMISSIONS OF A COMPRESSION
IGNITION ENGINE**

Natthaphon Trirak



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Engineering in Mechatronics Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2018

ผลกระทบของการฉีดน้ำมันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในท่อร่วมไอดี
ต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

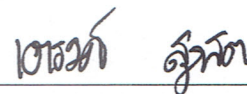
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)

ประธานกรรมการ



(อ. ดร.เอกรงค์ สุขจิต)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(อ. ดร.รัชต์ คลวิชัย)

กรรมการ



(รศ. ดร.กัมปนาท เทียนน้อย)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ณัฐพล ที่รัก : ผลกระทบของการฉีดน้ำมันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในท่อร่วมไอดี ต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (EFFECT OF PORT FUEL INJECTION OF OXYGENATED FUELS ON PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A COMPRESSION IGNITION ENGINE) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.เอกรงค์ สุขจิต, 100 หน้า.

งานวิจัยเรื่องนี้ศึกษาการฉีดน้ำมันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในท่อร่วมไอดีสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก การศึกษามุ่งเน้นการเปรียบเทียบผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจนประกอบด้วย แก๊ส โซฮอล์ E85 เอทานอล บิวทานอล และ ไดเอทิลอีเทอร์ ต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ มีการติดตั้งชุดหัวฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจนที่ตำแหน่งท่อร่วมไอดี และทดสอบที่ระยะเวลาการฉีด 20, 40, 60, 80 และ 100 ms ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบต่อนาที ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระกรรมของเครื่องยนต์ การศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การศึกษาผลกระทบของการฉีดแก๊ส โซฮอล์ E85 การศึกษาผลกระทบของการฉีดเอทานอลและบิวทานอลซึ่งเป็นการศึกษาผลของจำนวนคาร์บอนในเชื้อเพลิงกลุ่มแอลกอฮอล์ และการศึกษาผลกระทบของการฉีดบิวทานอลและไดเอทิลอีเทอร์ ซึ่งเป็นการศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ

ผลการทดสอบการฉีดแก๊ส โซฮอล์ E85 ในท่อร่วมไอดี พบว่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) ของเชื้อเพลิงแก๊ส โซฮอล์ E85 ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลช่วงภาระกรรม 25 Nm และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) ของเชื้อเพลิงแก๊ส โซฮอล์ E85 ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลช่วงภาระกรรม 75 Nm และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียพบว่า เชื้อเพลิงแก๊ส โซฮอล์ E85 ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมมีปริมาณ ไฮโดรคาร์บอน (HC) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สูงกว่าน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามการฉีดเชื้อเพลิงแก๊ส โซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมทำให้ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และปริมาณควันค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 40-80 ms

ผลการทดสอบการฉีดเอทานอลและบิวทานอลในท่อร่วมไอดี พบว่า BSFC ของเครื่องยนต์เมื่อมีการฉีดเชื้อเพลิงเอทานอลและบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ

น้ำมันดีเซลสำหรับทุกภาระกรรมของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ ส่งผลให้ BTE ของเครื่องยนต์มีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงเอทานอลและบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วม ส่งผลให้ความล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มมากขึ้น การใช้เชื้อเพลิงเอทานอลและบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมสามารถช่วยลดปริมาณ NO_x และ Smoke ได้ดีกว่าน้ำมันดีเซล แต่ส่งผลให้ CO และ HC มีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเอทานอลและบิวทานอล พบว่า ในช่วงระยะเวลาในการฉีด 40-60 ms การฉีดบิวทานอลทำให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์และมลพิษไอเสียที่ดีกว่าการฉีดเอทานอล

ผลการทดสอบการฉีดบิวทานอลและไดเอทิลอีเทอร์ในท่อร่วมไอดี พบว่า การฉีดเชื้อเพลิงบิวทานอลและไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ระยะเวลาการฉีด 40 ms ส่งผลให้ BSFC มีค่าต่ำกว่าในขณะที่ BTE มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล สำหรับการทดสอบการฉีดเชื้อเพลิงไดเอทิลอีเทอร์ไม่สามารถทำการทดสอบที่ระยะเวลาการฉีด 60 และ 80 ms ได้ เนื่องจากการฉีดเชื้อเพลิงไดเอทิลอีเทอร์ทำให้เครื่องยนต์เกิดการสั่นและขาดเสถียรภาพในการทำงาน การเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างบิวทานอลและไดเอทิลอีเทอร์ที่ระยะเวลาในการฉีด 40 ms พบว่า การฉีดไดเอทิลอีเทอร์มีแนวโน้มทำให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์และมลพิษไอเสียที่ดีกว่าเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ภาระกรรมสูง ในขณะที่ข้อเสียของการฉีดบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมคือ การเพิ่มขึ้นของ CO และ HC เมื่อเปรียบเทียบกับไดเอทิลอีเทอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนักศึกษา ณัฐพล ทิธา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เสาวฤทธิ์ สุทธิ

NATTHAPHON TRIRAK : EFFECT OF PORT FUEL INJECTION OF OXYGENATED FUELS ON PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A COMPRESSION IGNITION ENGINE. THESIS ADVISOR : EKARONG SUKJIT, Ph.D., 100 PP.

OXYGENATED FUELS/PORT INJECTION/EMISSIONS/DIESEL ENGINES

This research aimed to study the port fuel injection of oxygenated fuels in the intake manifold for the compression ignition engine with using diesel fuel as main fuel. The study focused on comparing the effect of the injection of oxygenated fuels which consisted of gasohol E85, ethanol, butanol and diethyl ether on engine performance, combustion characteristic and emissions. The engine test was carried out on 4-cylinder, 4-stroke and direct injection diesel engine at constant speed of 2,500 rpm with varying engine operating loads. The oxygenated fuel injector was installed at the intake manifold and the injection timing of 20, 40, 60, 80 and 100 ms was tested. The study was divided in three parts. Firstly, the effect of gasohol E85 injection was studied. Secondly, the effect of the injection of ethanol and butanol was investigated to understand the influence of different type of alcohol fuels. Lastly, the effect of the injection of butanol and diethyl ether was examined to explain the influence of different functional group present in oxygenated fuels.

The results of gasohol E85 injection in the intake manifold showed that lower brake specific fuel consumption (BSFC) was found with injecting gasohol E85 at the engine load of 25 Nm while the opposite trend was obtained at the engine load of 75 Nm. The brake thermal efficiency (BTE) was higher with the injection of gasohol E85. The results of emissions showed that the injection of gasohol E85 as supplementary

fuel increased unburnt hydrocarbon (HC) and carbon monoxide (CO) while oxides of nitrogen (NO_x) and smoke were reduced. The engine test was reported that the optimum range of injection timing of gasohol E85 was 40-80 ms.

The results of the injection of ethanol and butanol in the intake manifold showed that BSFC was reduced with the injection of both supplementary fuels at all engine operating loads, resulting in higher BTE. The increase in injection timing led to longer ignition delay. The benefit of injecting ethanol and butanol was the reduction in NO_x and smoke while the drawback was the increase in CO and HC. Comparing ethanol and butanol, the injection of butanol with injection timing of 40 and 60 ms showed better engine performance and emissions.

The results of the injection of butanol and diethyl ether in the intake manifold showed that lower BSFC and higher BTE were founded with the injection of butanol and diethyl ether when the test was operated with the injection timing of 40 ms. The engine was unstable with the injection of diethyl ether when it was running with the injection timing of 60 and 80 ms. Comparing butanol and diethyl ether at the injection timing of 40 ms, the injection of diethyl ether tended to improve engine performance and emissions at high engine operating loads while the disadvantage of the butanol injection was the increase in CO and HC with respect to diethyl ether.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2017

Student's Signature Nattaphon Trirak

Advisor's Signature Ekamong Subjit

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับ โอกาสและความกรุณาอย่างสูงจาก อาจารย์ ดร.เอกรงค์ สุขจิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินการวิจัย ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริง ความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่อาคารเครื่องมือ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับดำเนินการวิจัย รวมถึงเครื่องมือและ อุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่มอบทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และบุคลากรทุกท่านที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำวิจัย และบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุก ท่านที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์และสามารถทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี ทำให้ได้รับความรู้ ประสบการณ์และทักษะต่าง ๆ ในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ สองเพื่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบิดา มารดา และ ครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจมาโดยตลอด และเป็นแรงผลักดันที่สำคัญให้แก่ผู้วิจัย จนทำให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จลุล่วงไปด้วยดี

ณัฐพล ที่รัก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฑ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 สถานที่ดำเนินงานวิจัย.....	3
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เครื่องยนต์ดีเซล.....	4
2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์.....	4
2.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	4
2.2.1 แรงบิด.....	4
2.2.2 กำลังเบรก.....	5
2.2.3 ความดันยังผลเฉลี่ย.....	5
2.2.4 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ.....	6
2.2.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....	6
2.2.6 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร.....	7

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.7	ความดันในกระบอกสูบ.....	7
2.2.8	อัตราการปลดปล่อยความร้อน.....	7
2.3	มลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล.....	8
2.3.1	ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides, NO _x).....	8
2.3.2	ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon, HC).....	8
2.3.3	คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide, CO).....	9
2.4	ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether, DEE).....	10
2.4.1	การผลิตไดเอทิลอีเทอร์.....	10
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	18
3.1	กรอบการดำเนินการวิจัย.....	18
3.2	การติดตั้งเครื่องยนต์.....	19
3.3	เครื่องมือวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	21
3.4	เครื่องมือวิเคราะห์แก๊สไอเสีย.....	22
3.5	ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องยนต์.....	25
3.6	วิธีการทดสอบเครื่องยนต์.....	28
3.7	การวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	30
3.7.1	การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	30
3.7.2	การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	30
3.7.3	การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณลักษณะการเผาไหม้.....	31
3.7.4	การวิเคราะห์ผลการทดสอบตรวจวัดการปล่อยมลพิษไอเสีย.....	31
4	ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์.....	32
4.1	บทนำ.....	32
4.2	วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
4.2.1	การศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง.....	32
4.2.2	การติดตั้งและทดสอบเครื่องยนต์.....	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการทดสอบและอภิปรายผล.....	34
4.3.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์.....	34
4.3.2 มลพิษไอเสีย.....	36
4.4 สรุปผลการวิจัย.....	38
5 ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงประเภทแอลกอฮอล์.....	39
5.1 บทนำ.....	39
5.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	40
5.2.1 การเตรียมเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ.....	40
5.2.2 การติดตั้งและทดสอบเครื่องยนต์.....	40
5.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	41
5.3 ผลการทดสอบและอภิปรายผล.....	41
5.3.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์.....	41
5.3.2 คุณลักษณะการเผาไหม้.....	43
5.3.3 มลพิษไอเสีย.....	50
5.4 สรุปผลการวิจัย.....	53
6 ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงประเภทอีเทอร์.....	54
6.1 บทนำ.....	54
6.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	54
6.2.1 การเตรียมเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ.....	54
6.2.2 การทดสอบเครื่องยนต์.....	55
6.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	56
6.3 ผลการทดสอบและอภิปรายผล.....	56
6.3.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์.....	56
6.3.2 คุณลักษณะการเผาไหม้.....	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3.3 มลพิษไอเสีย.....	62
6.4 สรุปผลการวิจัย.....	65
7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	67
7.1 สรุปผลการวิจัย.....	67
7.1.1 ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์เซล.....	67
7.1.2 ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงเอทานอลและบิวทานอลที่ต่อร่วมไอดีต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล.....	68
7.1.3 ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงบิวทานอลและไดเอทิลอีเทอร์ที่ต่อร่วมไอดีต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล.....	70
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	71
รายการอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	77
ประวัติผู้เขียน.....	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลและไดเอทิลอีเทอร์.....10
2.2	คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง.....13
3.1	รายละเอียดเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัย.....19
3.2	ข้อมูลทั่วไปของเครื่องมือวัดเขม่า HORIBA รุ่น MEXA-584L.....23
3.3	ข้อมูลจำเพาะของเครื่องมือวัด MAHA รุ่น MDO 2 LON.....24
3.4	ข้อมูลจำเพาะของเครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 350.....24
4.1	คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....33
5.1	คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....41
6.1	คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ.....55

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	หลักการวัดแรงบิดด้วยไดนาโมมิเตอร์..... 4
2.2	แผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์ และเครื่องมือวัดในงานวิจัย.....12
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 18
3.2	ผังการติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องมือวัด..... 19
3.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังและแรงบิดเครื่องยนต์.....20
3.4	เครื่องยนต์ดีเซลยี่ห้อ ISUZU รุ่น 4JA1..... 20
3.5	ไดนาโมมิเตอร์ยี่ห้อ SAJ รุ่น AWM-50MLC..... 20
3.6	ชุดหัวฉีดสำหรับฉีดเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งท่อร่วมไอดี..... 21
3.7	เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ องศาเพลลาข้อเหวี่ยงและชุดแปลงสัญญาณ..... 21
3.8	เซ็นเซอร์วัดความดันในกระบอกสูบ (Pressure Sensor)..... 22
3.9	DEWesoft SIRIUS Data Acquisition..... 22
3.10	เครื่องมือวัดยี่ห้อ TESTO รุ่น TESTO 350..... 22
3.11	เครื่องมือวัด HORIBA รุ่น MEXA - 584L..... 23
3.12	เครื่องมือวัดเขม่า MAHA รุ่น MDO 2 LON..... 23
3.13	การต่อเพลลาเข้ากับเครื่องยนต์และไดนาโมมิเตอร์..... 26
3.14	ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบที่แกนเพลลาเครื่องยนต์และโพลดเซลล์ สำหรับวัดแรงบิดของเครื่องยนต์..... 26
3.15	ชุดควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ แรงบิด และแสดงผล..... 26
3.16	เครื่องมือสำหรับวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง..... 27
3.17	ติดตั้งหัวฉีดรวมที่ท่อร่วมไอดี..... 27
3.18	ติดตั้งชุดควบคุมการฉีด..... 28
3.19	ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลเหตุการณ์การเผาไหม้..... 28
3.20	การติดตั้งชุดวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยงและชุดวัดความดันในกระบอกสูบเข้ากับเครื่องยนต์..... 29
3.21	การติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสียเข้ากับเครื่องยนต์..... 29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 การติดตั้งเครื่องยนต์สำหรับการทดสอบ.....	33
4.2 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับภาระกรรม.....	34
4.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกกับภาระกรรม.....	35
4.4 ไนโตรเจนออกไซด์กับภาระกรรม.....	36
4.5 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม.....	36
4.6 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม.....	37
5.1 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับภาระกรรม.....	43
5.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกกับภาระกรรม.....	44
5.3 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 30 N-m.....	45
5.4 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 50 N-m.....	46
5.5 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 70 N-m.....	47
5.6 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 90 N-m.....	48
5.7 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 110 N-m.....	49
5.8 ความดันภายในกระบอกสูบสูงสุดและอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด.....	50
5.9 ไนโตรเจนออกไซด์กับภาระกรรม.....	51
5.10 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม.....	52
5.11 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม.....	52
5.12 เขม่าควันดำกับภาระกรรม.....	53
6.1 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับภาระกรรม.....	56
6.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกกับภาระกรรม.....	57
6.3 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 30 N-m.....	58
6.4 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 50 N-m.....	59
6.5 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 70 N-m.....	59
6.6 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 90 N-m.....	60
6.7 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 110 N-m.....	61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.8 อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 30 N-m.....	61
6.9 อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 50 N-m.....	62
6.10 ไนโตรเจนออกไซด์กับภาระกรรม.....	62
6.11 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม.....	63
6.12 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม.....	63
6.13 เขม่าควันดำกับภาระกรรม.....	64



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

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

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

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

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

ในปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากผลการสำรวจในช่วง 11 เดือนแรกของปี พ.ศ. 2561 การใช้น้ำมันเบนซินและดีเซลเพิ่มขึ้น 3.0 และ 1.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนหนึ่งเป็นผลจากจำนวนการใช้รถที่เพิ่มขึ้นทั้งที่เป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซล โดยน้ำมันดีเซลมีส่วนการใช้สูงสุดคิดเป็น 54 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้เชื้อเพลิงในภาคขนส่งทางบก (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2561) จากความต้องการใช้พลังงานที่มากขึ้นทำให้ประเทศต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2561 ที่ผ่านมามีการนำเข้าน้ำมันดิบอยู่ที่ 1,061 พันบาร์เรลต่อวัน (เพิ่มขึ้น 3.7 เปอร์เซ็นต์) โดยการจัดหาน้ำมันดิบในประเทศเพิ่มขึ้นจากการนำเข้าจากต่างประเทศถึงสัดส่วนร้อยละ 89 ทั้งจากตะวันออกกลาง ตะวันออกไกล และแหล่งอื่น ๆ ขณะที่การผลิตน้ำมันดิบในประเทศลดลง และการใช้น้ำมันสำเร็จรูปที่ประกอบไปน้ำมันในกลุ่มดีเซลและกลุ่มเบนซินและแก๊สโซลีนอยู่ที่ 139 ล้านลิตรต่อวัน (เพิ่มขึ้น 1.5 เปอร์เซ็นต์) (ศูนย์ข้อมูลพลังงานไทย กระทรวงพลังงาน, 2561) ด้วยเหตุนี้จึงดำเนินการใช้แนวทางการแก้ไขปัญหาการนำเข้าน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นจากการใช้พลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ปัญหาหลักของเครื่องยนต์ดีเซลคือ การปลดปล่อยมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และเขม่าควันดำ (Particulate Matter, PM) ซึ่งมลพิษเหล่านี้ล้วนเป็นอันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมควบคุมปริมาณมลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์ที่เกิดขึ้นโดยวิธีการที่หลากหลาย เช่น การนำไอเสียจากเครื่องยนต์กลับมาใช้ใหม่ผ่านทางท่อร่วมไอดี โดยวิธีนี้จะช่วยลดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ด้วยไอเสียทำให้ปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์ลดลง เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับเชื้อเพลิงทดแทน เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลมีการใช้งานอย่างแพร่หลายภายในประเทศและอีกทั้งเครื่องยนต์ดีเซลยังมีเชื้อเพลิงทางเลือกอยู่น้อย จากข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเครื่องยนต์ดีเซลสามารถนำเชื้อเพลิงในกลุ่มของเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกได้ในสัดส่วนที่เหมาะสม โดยเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบของกลุ่มเชื้อเพลิงที่

สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลักจากพืชผลทางการเกษตรภายในประเทศ เช่น อ้อย ข้าวโพด และ มันสำปะหลัง และยังเป็น การส่งเสริมการเพิ่มมูลค่าทางการเกษตรอีกด้วย เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจน เป็นองค์ประกอบ มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปคือ มีสถานะเป็น ของเหลวที่สภาวะความดันปกติ โดยเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบยังมีข้อดีในส่วนของ การช่วยเพิ่มออกซิเจนในการเผาไหม้มีประสิทธิภาพดีขึ้น จึงเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการใช้เป็น เชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์ดีเซล

ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าวการใช้เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเป็นเชื้อเพลิง ร่วมกับเครื่องยนต์ดีเซลจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการลดปริมาณการปล่อยมลพิษที่เกิดขึ้นจาก เครื่องยนต์ดีเซล โดยงานวิจัยนี้จะใช้เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเป็นเชื้อเพลิงร่วมด้วย การฉีดเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเข้าไปยังท่อร่วมไอดี ซึ่งจะติดตั้งหัวฉีดเข้ากับ ท่อร่วมไอดีและติดตั้งชุดควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงร่วมและศึกษาผลกระทบจากการฉีดเชื้อเพลิงที่มี ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์และปริมาณมลพิษ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดสอบการฉีดเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบออกซิเจนเป็น เชื้อเพลิงร่วม ได้แก่ แก๊ส โซลอส E85 เอทานอล บิวทานอล และ ไดเอทิลเทอร์ ที่ท่อร่วมไอดี

1.2.2 เพื่อศึกษารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการฉีดเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบออกซิเจน เป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

1.2.3 เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดเปรียบเทียบกับการฉีด เชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วม

1.2.4 เพื่อศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดเปรียบเทียบ กับการฉีดเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วม

1.2.5 เพื่อศึกษามลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดเปรียบเทียบกับการฉีด เชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ในการทดสอบใช้เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ 4 สูบ ยี่ห้อ ISUZU รุ่น 4JA1 ระบบฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ และนำไอดีเข้าโดยธรรมชาติ โดยไม่มีการปรับแต่ง เครื่องยนต์

1.3.2 ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยใช้ไคนาโมมิเตอร์ชนิดใช้น้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์

1.3.3 ติดตั้งชุดทดสอบการฉีดเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่พร้อมไอดี

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

1.3.5 ใช้น้ำมันดีเซลที่ได้รับความเห็นชอบในการจัดจำหน่ายจากกรมธุรกิจพลังงาน

1.3.6 ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่มีมาตรฐานและได้รับอนุญาตในการจัดจำหน่าย ได้แก่ เอทานอล บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์

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

1.3.8 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องยนต์สำหรับการวิเคราะห์ ได้แก่ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก

1.3.9 ตรวจสอบคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ได้แก่ ความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน และสัมประสิทธิ์ความแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้

1.3.10 ตรวจสอบการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน (HC) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำ (Smoke)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงจุดเหมาะสมสำหรับการฉีดเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

1.4.2 ทราบถึงสมรรถนะและคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดสำหรับการฉีดเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วม

1.4.3 ทราบถึงปริมาณมลพิษของเครื่องยนต์ในการฉีดเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วม

1.5 สถานที่ดำเนินงานวิจัย

อาคารเครื่องมือ 4 (F4) อาคารเครื่องมือ 5 (F5) ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องยนต์ดีเซล

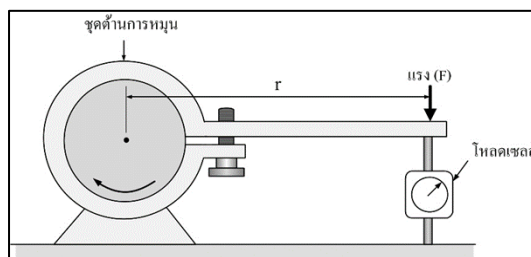
2.1.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ดีเซลหรือเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด เป็นเครื่องยนต์ที่นำอากาศเข้าสู่กระบอกสูบเพียงอย่างเดียว แล้วเครื่องยนต์จะสร้างกำลังอัดที่สูงในจังหวะอัดเพื่อให้ได้ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการจุดระเบิด จากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปภายในกระบอกสูบในช่วงปลายจังหวะการอัด ส่วนอัตราการไหลอากาศเข้ากระบอกสูบนั้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ การควบคุมแรงบิดและกำลังควบคุมโดยการเพิ่มและลดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง

2.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องยนต์

2.2.1 แรงบิด

แรงบิด (Torque) คือ ตัวบ่งชี้ความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์เป็นผลของแรงที่กระทำต่อแขนหมุนซึ่งมีค่าความยาว (Pulkrabek W., 2004) สามารถวัดได้จากเครื่องมือวัดแรงบิดที่เรียกว่า ไดนาโมมิเตอร์ ที่มีชนิดต่างกันออกไป เช่น ไดนาโมมิเตอร์ไฮดรอลิก ไดนาโมมิเตอร์กระแสเหนี่ยวนำ ไดนาโมมิเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น ดังรูปที่ 2.1 การทำงานของไดนาโมมิเตอร์ คือ ทำหน้าที่ในการสร้างภาระกรรมให้แก่เครื่องยนต์ เพื่อดำเนินการหมุนเพลาคือ เหวี่ยงของเครื่องยนต์และวัดขนาดของแรงจากเครื่องวัดแรง (Load cell) สมการที่ใช้คำนวณแสดงดังสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการวัดแรงบิดด้วยไดนาโมมิเตอร์

$$T = Fr \quad (2.1)$$

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

2.2.2 กำลังเบรก

กำลังเบรก (Brake power, P_b) เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาข้อเหวี่ยงหรือที่ล้อตุนกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งานได้นั่นเอง การวัดกำลังเบรกจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ซึ่งมีอยู่หลายชนิด โดยจะวัดออกมาในรูปของทอร์คและรอบการหมุนของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถคำนวณกำลังเบรกได้จากสมการที่ (2.2)

$$P_b = \frac{2\pi NT}{60000} \quad (2.2)$$

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

2.2.3 ความดันยังผลเฉลี่ย

ในขณะที่ทอร์คเป็นการวัดความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ แต่ทอร์คจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องยนต์ (เครื่องยนต์ใหญ่ให้ทอร์คสูง เครื่องยนต์เล็กให้ทอร์คต่ำ) จึงมีการกำหนดการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบขึ้น โดยได้จากการหารงานต่อวัฏจักรด้วยปริมาตรกระจัดต่อวัฏจักร ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่ จึงเรียกว่า “ความดันยังผลเฉลี่ย (Mean effective pressure , MEP) ซึ่งจากสมการที่ (2.3)

$$BMEP = \frac{P_b n_R}{V_d N} \quad (2.3)$$

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

2.2.4 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

ในการทดสอบเครื่องยนต์ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะถูกวัดเป็นอัตราการไหลเชิงมวล ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบได้จึงกำหนดในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption, sfc) ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมาและเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตงานออกมา

$$BSFC = \frac{\dot{m}_f + \dot{m}_d}{P_b} \quad (2.4)$$

โดยที่ BSFC คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (g/kW-hr)

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

\dot{m}_d คือ อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงร่วม (kg/s)

2.2.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency) คือ อัตราส่วนของกำลังงานที่ได้ต่อวัฏจักรกับพลังงานเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปต่อวัฏจักร โดยพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถปล่อยออกมาจากการเผาไหม้จะหาได้จากมวลของเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าไปในเครื่องยนต์ต่อวัฏจักรคูณด้วยค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Heywood J. B., 1988) หรือ ค่าความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกล ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนนี้เป็นส่วนสำคัญในการบอกถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่เราสนใจศึกษา ดังแสดงในสมการที่ (2.5)

$$\eta_b = \frac{P_b}{\dot{m}_f Q_f + \dot{m}_d Q_d} \quad (2.5)$$

โดยที่ η_b คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก

Q_f คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงหลัก (kJ/kg)

Q_d คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงร่วม (kJ/kg)

2.2.6 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric efficiency, η_v) คือ ปริมาณของอากาศซึ่งเครื่องยนต์ที่มีปริมาตรกระจัดหนึ่งๆสามารถนำเข้าไปได้ ซึ่งประสิทธิภาพเชิงปริมาตรนี้จะใช้กับเครื่องยนต์สี่จังหวะเท่านั้นเพราะมีกระบวนการนำเข้าไปดีก่อนข้างชัดเจน ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรถูกกำหนดให้เท่ากับอัตราการไหลของปริมาตรอากาศที่เข้าไปในระบบไอดีหารด้วยอัตราซึ่งปริมาตรถูกกวาดด้วยลูกสูบ ดังแสดงในสมการที่ (2.6)

$$\eta_v = \frac{2m_a}{\rho_{a,i} V_d N} \quad (2.6)$$

โดยที่ $\rho_{a,i}$ คือ ความหนาแน่นของอากาศที่เข้า (kg/m^3)
 m_a คือ อัตราการไหลของมวลอากาศ (kg/s)

2.2.7 ความดันในกระบอกสูบ

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

2.2.8 อัตราการปลดปล่อยความร้อน

อัตราการปลดปล่อยความร้อน (Rate of Heat Release : ROHR) คือ อัตราที่พลังงานเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงถูกปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ โดยคำนวณจากความสัมพันธ์ของความดันในกระบอกสูบ และปริมาตรที่มุมมองเสาเพลลาข้อเหวี่ยงต่าง ๆ ด้วยกฎข้อที่ 1 ทางเทอร์โมไดนามิกส์ภายใต้สมมติฐานกระบวนการโพลิโทรปิก (Polytropic) ซึ่งสามารถแสดงดังสมการที่ (2.7)

$$\frac{dQ}{dq} = \frac{g}{g-1} \frac{p}{dq} \frac{dV}{dq} + \frac{1}{g-1} \frac{1}{V} \frac{dP}{dq} \quad (2.7)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อน
 γ คือ อัตราส่วนของค่าความร้อนจำเพาะ (c_p/c_v)

θ	คือ องศาเซลเซียส (°CA)
P	คือ ความดันในห้องเผาไหม้ (Bar)
V	คือ ปริมาตรในห้องเผาไหม้ (m ³)

2.3 มลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

2.3.1 ไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides, NO_x)

ไนโตรเจนออกไซด์เป็นมลพิษหลักที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล ไนโตรเจนออกไซด์โดยส่วนใหญ่จะเป็นไนตริกออกไซด์ (NO) ประมาณร้อยละ 20 ถึง 80 และจะมีไนโตรเจนออกไซด์ (NO₂) ปนอยู่เล็กน้อยประมาณร้อยละ 20 เป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ อีกทั้งยังทำปฏิกิริยากับอากาศทำให้เกิดโอโซนซึ่งเป็นสาเหตุหลักทำให้เกิดหมอกควัน จึงมีการควบคุมและออกกฎหมายที่เข้มงวดในการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์จากเครื่องยนต์ (Suksompong P., 2559)

กลไกที่ทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์จากการเผาไหม้สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลไกหลัก ๆ ได้ดังนี้

1. การเกิด Prompt NO_x เกิดจากโมเลกุลของไนโตรเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับไฮโดรคาร์บอนเมื่อมีการเผาไหม้ โดยจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเผาไหม้ที่ส่วนผสมเชื้อเพลิงหนา
2. การเกิด Fuel NO_x เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย เป็นต้น แต่ในการเกิดไนโตรเจนออกไซด์จากเชื้อเพลิงจะมีปริมาณที่น้อยมากในเครื่องยนต์ดีเซล
3. การเกิด Thermal NO_x เกิดจากไนโตรเจนในอากาศเมื่ออยู่ในที่อุณหภูมิสูงอย่างห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ บางส่วนของไนโตรเจนอะตอมคู่ (N₂) จะแตกตัวเป็นไนโตรเจนอะตอมเดี่ยว (N) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ง่ายกว่า ดังนั้นเมื่อเกิดอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้มีการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ที่สูงขึ้น

2.3.2 ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon, HC)

ไฮโดรคาร์บอนเกิดจากสารประกอบของเชื้อเพลิงที่ไม่ได้ถูกเผาไหม้หรือมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กที่แตกตัวจากโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ที่ถูกเผาแต่เผาไหม้ไม่หมด ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปตามการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมและรูปร่างที่แตกต่างกัน สาเหตุการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอนมาจากหลายแหล่งดังนี้

1. ภายในห้องเผาไหม้ที่มีชอกหรือช่องแคบๆที่เชื้อเพลิงหรือไอดีสามารถเข้าไปอยู่ตามชอกต่างๆเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นในจังหวะอัดความดันในกระบอกสูบจะดันให้เชื้อเพลิงเข้าไปติดตามชอก เมื่อเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงในส่วนนี้จะ ไม่มีการเผาไหม้หรือเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

2. บริเวณผนังกระบอกสูบเมื่อเปลวไฟลามไปถึงผนังกระบอกสูบ ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำเนื่องจากอยู่ใกล้ระบบระบายความร้อน จึงส่งผลให้เปลวไฟดับซึ่งทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่ถูกเผาไหม้

3. ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากสารหล่อลื่นที่หลงเหลือตามผนังกระบอกสูบและลูกสูบ ซึ่งชั้นของน้ำมันหล่อลื่นสามารถดูดซับและปล่อยไฮโดรคาร์บอนได้ เป็นผลทำให้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนนั้นไม่สามารถเผาไหม้ได้ ไฮโดรคาร์บอนในไอเสียจะส่งกลิ่นและทำให้อวัยวะภายในร่างกายเกิดการระคายเคือง อีกทั้งยังทำปฏิกิริยากับอากาศทำให้เกิดหมอกควัน

2.3.3 คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide, CO)

คาร์บอนมอนอกไซด์ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เป็นก๊าซพิษซึ่งเกิดขึ้นในเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยไอดีที่มีความเข้มข้นสูง เมื่อไม่มีออกซิเจนเพียงพอในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ เชื้อเพลิงบางส่วนจึงไม่ถูกสันดาปและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ ในเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้แบบส่วนผสมบาง มักจะไม่พบการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณที่มากเพราะมีอากาศมากเพียงพอสำหรับการเผาไหม้เขม่า (Soot)

ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีการปล่อยเขม่าหรือฝุ่นละออง ซึ่งก็คือละอองคาร์บอนที่อยู่ในสถานะของแข็ง เขม่าที่ออกมากับไอเสียสามารถเห็นได้ในรูปแบบควันที่มีสีดำและจะมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เขม่าที่เกิดขึ้นบริเวณที่มีเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมหนา ขณะเผาไหม้เนื่องจากเชื้อเพลิงมีส่วนประกอบของคาร์บอน ละอองของคาร์บอนนี้จะมีความเข้มข้นเมื่อเครื่องยนต์มีภาระงานที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจากเครื่องยนต์มีการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่มากขึ้น

ละอองของคาร์บอนเหล่านี้เมื่อรวมตัวกันเกาะกันเป็นก้อนคาร์บอนแล้วมีสถานะเป็นของแข็งมีขนาดตั้งแต่ 10 ถึง 80 นาโนเมตร แต่ส่วนใหญ่เขม่าในเครื่องยนต์ดีเซลจะมีขนาด 15 ถึง 30 นาโนเมตร ก้อนคาร์บอนเหล่านี้สามารถดูดซับไฮโดรคาร์บอนและสารประกอบอื่นๆไว้ที่ผิวได้ (Suksompong P., 2559)

2.4 ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether, DEE)

ไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อชนิดหนึ่งที่สามารถผลิตวัตถุดิบหลักคือพืชผลทางการเกษตร เช่น อ้อย ข้าวโพด และมันสำปะหลัง มีสูตรทางเคมีคือ $C_4H_{10}O$ หรือ $C_2H_5OC_2H_5O$ มีคุณสมบัติทางกายภาพเป็นของเหลว ซึ่งมีความไวไฟสูงเนื่องจากมีจุดเดือดที่ต่ำและไดเอทิลอีเทอร์มีลักษณะเฉพาะของกลิ่นที่แรง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลและไดเอทิลอีเทอร์

คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล	ไดเอทิลอีเทอร์
Density, kg/m^3	849	713
Gross calorific value, MJ/kg	45.5	36.873
Auto-ignition temperature, $^{\circ}C$	210–350	9150–160
Cetane number	50	125
Viscosity, mm^2/s	3.25	0.23
Stoichiometric air to fuel ratio, kg_{air}/kg_{fuel}	14.4	11.2
Boiling point, $^{\circ}C$	180–360	35
Oxygen content, % by mass	0	21.6

2.4.1 การผลิตไดเอทิลอีเทอร์

การผลิตไดเอทิลอีเทอร์จากปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของเอทานอลโดยทั่วไปสามารถผลิตได้ 2 วิธี

1. การผลิตในถังปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fix bed reactor)

ปฏิกรณ์ที่ใช้มีลักษณะเป็นท่อตรงภายในบรรจุด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดชนิดของแข็งซึ่งอาจรองรับด้วยสารชนิดอื่น เช่น H-ZSM-5, Silica- Al_2O_3 , WO_3 , $FePO_4$, $ZnPO_3$ และ TiO_2 เป็นต้น โดยสารตั้งต้นจะถูกละลายเป็นไอก่อนถูกป้อนเข้าสู่ภายในปฏิกรณ์อย่างต่อเนื่อง สารที่ถูกป้อนจะเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสุดท้ายผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของไอก่อนจะถูกส่งต่อไปหน่วยควบแน่นและหน่วยการแยกไดเอทิลอีเทอร์ต่อไป เพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ให้แก่ไดเอทิลอีเทอร์สำหรับข้อดีของการผลิตวิธีนี้คือให้ผลของไดเอทิลอีเทอร์สูงและประหยัดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยผ่านกระบวนการสำหรับฟื้นฟูสภาพ ส่วนข้อเสียคือสิ้นเปลืองพลังงานในการผลิต เนื่องจากต้องใช้ความร้อนเปลี่ยน

รูปสารตั้งต้นให้เป็น ไอก่อนถูกป้อนเข้าสู่ปฏิกรณ์และอุณหภูมิสำหรับทำปฏิกิริยาสูง ซึ่งให้อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส

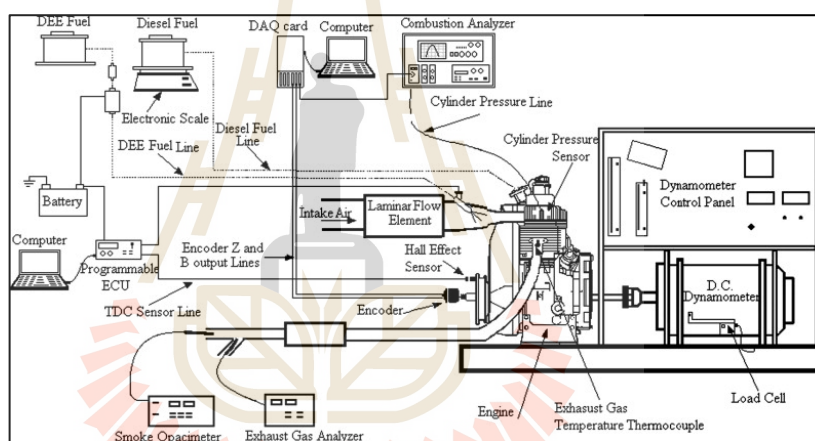
2. การผลิตในถังปฏิกรณ์แบบกึ่งกะ (Semi batch reactor)

ปฏิกรณ์ที่ใช้มีลักษณะเป็นถังมีฝาปิดภายในบรรจุด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดสูงชนิดของเหลว ได้แก่กรดซัลฟิวริกและกรดฟอสฟอริกเป็นต้น สารตั้งต้นที่ถูกป้อนจะอยู่ในรูปของเหลว โดยที่สถานะเริ่มต้นจะมีกรดซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นผสมอยู่ภายในถัง และเริ่มการทดลองจะเติมสารตั้งต้นลงไปอย่างต่อเนื่อง การผลิตวิธีนี้จะนิยมใช้ในรัดับห้องปฏิบัติการและอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของไอซึ่งจะต้องผ่านหน่วยการควบแน่นและหน่วยการแยกไดเอทิลอีเทอร์ต่อไป สำหรับข้อดีของการผลิตโยใช้วิธีนี้คือ สามารถผลิตไดเอทิลอีเทอร์ได้จำนวนมากกว่าเมื่อใช้ระยะเวลาสำหรับการผลิตเท่ากับการผลิตวิธีแรก อุณหภูมิที่ใช้ต่ำกว่าวิธีแรก (130-160 องศาเซลเซียส) ส่วนข้อเสียคือสิ้นเปลืองตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากจะต้องเติมกรดซัลฟิวริกใหม่ในการผลิตแต่ละครั้งจึงทำให้เป็นการสิ้นเปลืองปริมาณกรดซัลฟิวริก (Chalertphet, C., 2552)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ying, et al. (2010) ทดสอบผลกระทบของปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงนำร่องโดยการฉีดที่ต่อรวมไอดี โดยในการทดสอบใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยวเป็นแบบฉีดตรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงหลักที่ใช้คือไดเมทิลอีเทอร์ โดยใช้ในโตรเจนอัดที่ความดัน 1.8 เมกะพาสคัล เพื่อให้ไดเมทิลอีเทอร์เป็นของเหลวและสามารถส่งไปยังปั๊มเชื้อเพลิงได้ ในส่วนระบบฉีดไดเมทิลอีเทอร์ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไดเมทิลอีเทอร์อยู่ในสถานะก๊าซ โดยในการฉีดไดเมทิลอีเทอร์ฉีดที่ปริมาณ 22.8, 26.8 และ 30.4 มิลลิกรัมต่อรอบ เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบใช้ความเร็วรอบที่ 1,400 และ 1,800 รอบต่อนาที ผลการทดสอบพบว่า ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มปริมาณการฉีดไดเมทิลอีเทอร์นำร่อง และระยะเวลาการเผาไหม้ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณไดเมทิลอีเทอร์นำร่อง ในส่วนของประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ภาระงานเครื่องยนต์ต่ำและกลางประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ฉีดไดเมทิลอีเทอร์นำร่องมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ไม่ได้ฉีดไดเมทิลอีเทอร์นำร่อง แต่ที่ภาระงานเครื่องยนต์สูงการฉีดไดเมทิลอีเทอร์นำร่อง ในด้านการปลดปล่อยมลพิษ การฉีดไดเมทิลอีเทอร์นำร่องสามารถลดการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ได้ร้อยละ 20 ถึงร้อยละ 90 เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ไม่ได้มีการตัดแปด แต่คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นเมื่อมีการฉีดไดเมทิลอีเทอร์นำร่อง

Cinar, C., et al. (2010) ในการศึกษานี้จะศึกษาผลกระทบของอัตราการผลิตของไดเอทิลอีเทอร์ (DEE) ในการเผาไหม้และการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์สูบเดี่ยว HCCI-DI ทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 รอบต่อนาที ที่แรงบิด 19 N-m ปริมาณไดเอทิลอีเทอร์ที่ถูกฉีดเข้าไปมีการควบคุมโดยหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) และการฉีดไดเอทิลอีเทอร์ การฉีดไดเอทิลอีเทอร์เข้าไปในท่อร่วมไอดีจะใช้หัวฉีดแรงดันต่ำ โดยอัตราส่วนเชื้อเพลิงผสมของไดเอทิลอีเทอร์ 0% ถึง 40% และผลการเปรียบเทียบระหว่างดีเซลพบว่า ความดันในกระบอกสูบและการปลดปล่อยความร้อนเพิ่มสูงขึ้น และมีช่วงการเผาไหม้ที่สั้นในอัตราส่วนเชื้อเพลิงผสมไดเอทิลอีเทอร์ 10% และมีการน็อกเกิดขึ้นในอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงผสม ไดเอทิลอีเทอร์ 40% ผลของมลพิษไอเสีย NO_x และเขม่า ลดลงถึง 19.4% และ 76.1% ตามลำดับ ในขณะที่อุณหภูมิไอเสียลดลง 23.8% ในขณะที่ CO และ HC มีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.2 แผนผังการติดตั้งเครื่องยนต์ และเครื่องมือวัดในงานวิจัย

Geo, V. E., et al. (2010) การใช้เชื้อเพลิงจากพืชในเครื่องยนต์ดีเซลส่งผลให้ประสิทธิภาพและควันดำน้อยกว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซล เนื่องจากความหนืดสูงและการตกค้างของคาร์บอนในการเพิ่มสมรรถนะของเชื้อเพลิงจากพืช สามารถทำได้โดยการฉีดไดเอทิลอีเทอร์ในปริมาณเล็กน้อยเข้ากับอากาศ จุดประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อปรับปรุงสมรรถนะ มลพิษ และคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลชนิดตรง 1 สูบ ที่ใช้เชื้อเพลิงจากพืช ร่วมกับการฉีดไดเอทิลอีเทอร์ที่อัตราการใช้ 100, 150 และ 200 กรัม/ช.ม. เครื่องยนต์นี้ให้กำลังเครื่องยนต์เท่ากับ 4.4 kW ที่ 1500 รอบต่อนาที จากนั้นใช้การฉีดไดเอทิลอีเทอร์ เข้าที่ท่อร่วมไอดีในจังหวะดูดของเครื่องยนต์ ขณะที่การฉีดเชื้อเพลิงจากพืชจะฉีดเข้าไปยังกระบอกสูบในจังหวะการอัด จากผลการทดลองพบว่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 26.5% เป็น 28.5% ในการฉีดไดเอทิลอีเทอร์ที่ 200 กรัม/ช.ม.

ควันท่ำลดลงจาก 6.1 เป็น 4 BSU ในการฉีดไดเอทิลอีเทอร์ค่าความดันในกระบอกสูบและการปลดปล่อยความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น คุณลักษณะการเผาไหม้พบว่าช่วง Ignition delay สั้นลงเมื่อใช้การฉีดไดเอทิลอีเทอร์ร่วมด้วย

Geo, V. E., et al. (2017) แอลกอฮอล์เป็นอีกหนึ่งทางเลือกของเชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดเพราะแอลกอฮอล์มีโครงสร้างของออกซิเจนอยู่ด้วยและสามารถผลิตได้จากชีวมวลเนื่องจากแอลกอฮอล์มีค่าซีเทนต่ำจึงเหมาะแก่การใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วม ในการทดสอบได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องยนต์โดยการฉีดเอทานอลเข้าที่ท่อร่วมไอดีในจังหวะดูดของเครื่องยนต์ โดยใช้น้ำมันจากเมล็ดยางพารา(RSO) น้ำมันจากเมล็ดยางพาราเมทิลอีเทอร์ (RSOME) และน้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิงหลักที่ฉีดเข้าห้องเผาไหม้ โดยระยะเวลาในการฉีดเอทานอลมีการปรับให้เหมาะสมกับการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มปริมาณการฉีดเอทานอล RSO และ RSOME เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกและลดเขม่าควันท่ำลงได้ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงสุด คือ 31%, 29.9%, และ 29.3% ของเชื้อเพลิงดีเซล RSO และ RSOME ตามลำดับ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น 35.2%, 33.5% และ 31.6% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม HC, CO และ NO_x มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วม

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

Property	Rubber seed oil (RSO)	Diesel	Diethyl ether (DEE)
Specific gravity	0.91	0.83	0.714
Viscosity (mm ² /s)	58.76	2.52	0.23
Flash point (°C)	224	65	40
Calorific value (kJ/kg)	37,500	42,900	33,857
Iodine value	135.3	38.3	-
Acid value	25.6	0.062	-
Cetane number	37	47	>125

Ibrahim, A. (2016) ไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของออกซิเจน ซึ่งเป็นข้อดีที่ใช้ไดเอทิลอีเทอร์ร่วมกับเชื้อเพลิงดีเซล จุดประสงค์ของการศึกษานี้เป็นการทดสอบผลการใช้เชื้อเพลิงไดเอทิลอีเทอร์ผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันออกไปมากถึง 15% โดยปริมาตร การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วยการเลือกใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว

4 จังหวะ แบบติดตรง ในการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ เปลี่ยนแปลงภาระกรรม จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกเพิ่มขึ้น 7.2% และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกลดลง 6.7% เมื่อใช้ไดเอทิลอีเทอร์ 15% ผสมกับน้ำมันดีเซลพบว่าความดันในกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้น และการปลดปล่อยความร้อนสูงขึ้นด้วย

Shamun, Belgiorno et al. (2018) ดังที่หลายรายงานได้เปิดเผยว่าเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมกำลังหมดลงและปล่อยมลพิษที่เป็นอันตรายสู่บรรยากาศตามธรรมชาติ ผู้ร่างกฎหมายที่จะกำจัดหรืออย่างน้อยเพื่อบรรเทาปัญหาเหล่านี้ในอนาคตอันใกล้ เพื่อที่จะแก้ปัญหาเหล่านี้หลายงานวิจัยได้นำเสนอเกี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกเช่นเมทานอล และเอทานอล เพื่อลดมลพิษในแก๊สไอเสียที่ได้จากเครื่องยนต์สันดาปภายในและเพื่อแทนที่เชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมด้วยเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลากหลายชนิด แอลกอฮอล์สายโซ่โมเลกุลสั้น (เมทานอลและเอทานอล) เป็นเชื้อเพลิงที่น่าสนใจสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ด้วยเหตุที่ว่าแอลกอฮอล์ดังกล่าวสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิด, ปล่อยมลพิษน้อย, ราคาถูก และสามารถปรับให้ใช้กับเทคโนโลยีปัจจุบันของเครื่องยนต์ได้ง่าย ในหลายปีที่ผ่านมานักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้แอลกอฮอล์สายโซ่โมเลกุลสั้นกับเครื่องยนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องยนต์ดีเซลตามที่ไดกล่าวเกี่ยวกับวรรณกรรมก่อนหน้านี้งานวิจัยนี้จะเป็นการวิจารณ์งานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อระบุถึงผลกระทบของแอลกอฮอล์สายโซ่โมเลกุลสั้นต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์, คุณลักษณะการเผาไหม้และมลพิษที่ปลดปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน รวมถึงการผลิต, ผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์, การใช้งาน, อุปสงค์และอุปทาน, ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อมนุษย์ การใช้งานต่างๆของแอลกอฮอล์ในเครื่องยนต์ดีเซลเช่นการผสมกับเชื้อเพลิงดีเซล, การผสมกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล, การผสมกับเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล และการผสมกับเชื้อเพลิงดีเซล-ไบโอดีเซล-เอสเทอร์ ถูกสรุปไว้ในบทความนี้

Çelebi and Aydın (2019) วิธีการหนึ่งที่จะทำให้มลพิษในส่วนของ CO ลดลงพร้อมกับลดการปล่อยเขม่าของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดคือการผสมสารประกอบที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบและมีสายโซ่โมเลกุลที่สั้นเข้าไปในเชื้อเพลิง ในงานวิจัยนี้เชื้อเพลิงผสมที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสองสัดส่วนที่เกิดจากการผสมกันของน้ำมันดีเซล, ไบโอดีเซล และเอทานอลในสัดส่วน 68:17:15 และ 58:14:30 (น้ำมันดีเซล : ไบโอดีเซล : เอทานอล) ได้ถูกนำไปใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์และมลพิษที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์สูบลูกเดียวที่จุดระเบิดด้วยการอัด เหตุผลที่ไบโอดีเซลถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมเป็นเพราะไบโอดีเซลมีความสามารถในการเป็นตัวผสมไม่ให้น้ำมันดีเซลและเอทานอลเกิดการแยกชั้นกันอีกทั้งไบโอดีเซลยังเป็นน้ำมันที่ผลิตได้จากวัตถุดิบชีวภาพอีกด้วย ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้ทำการปรับค่าตัวแปร

ที่ควบคุมให้มีค่าใกล้เคียงกับการสอบเทียบมาตรฐานยูโร 5 สำหรับเครื่องยนต์หลายลูกสูบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เชื้อเพลิงผสมในเครื่องยนต์โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบโดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิงที่มีความเข้มข้นของเอทานอลสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพปวงซีมีค่าประมาณ 52% ที่ภาระกรรมสูง เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพปวงซีจากการใช้น้ำมันดีเซลซึ่งไม่เคยเกิน 48% ในส่วนของมลพิษพบว่า การ trade-off ของเขม่าและไนโตรเจนออกไซด์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงผสมที่มีความเข้มข้นของเอทานอลสูงที่สุด การดูดซับอนุภาคน้ำมันในห้องเผาไหม้ส่งผลให้ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีค่าลดลง ในขณะที่อนุภาคในไอเสียมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเล็กลงและปริมาณลดลง ที่ภาระกรรมต่ำพบว่า การใช้เชื้อเพลิงผสมจะทำให้ไฮโดรคาร์บอนรวม (THC) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลเนื่องจากการดูดซับอนุภาคน้ำมันในห้องเผาไหม้ที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์น้อยลง อย่างไรก็ตามแนวโน้มดังกล่าวอาจไม่สามารถใช้ได้กับภาระกรรมสูงที่อนุภาคน้ำมันในห้องเผาไหม้สูงซึ่งส่งผลให้การออกซิเดชันของเชื้อเพลิงเกิดได้ดีขึ้น

Pradelle, Leal Braga et al. (2019) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงผสมกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดมาตรฐานยูโร 3 โดยเชื้อเพลิงผสมได้มาจากการนำน้ำมันดีเซล B15 มาผสมกับเอทานอล(ในสัดส่วนตั้งแต่ 0% ถึง 20%) และสารเติมแต่งอีก 1% โดยปริมาตร โดยสารเติมแต่งนี้ประกอบไปด้วยน้ำมันไบโอดีเซลจากละหุ่ง 72.5% , น้ำมันไบโอดีเซลจากถั่วเหลือง 17.5% และบิวทานอล 10% โดยปริมาตร ซึ่งน้ำมันผสมแต่ละสัดส่วนจะถูกเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไปที่มีน้ำมันไบโอดีเซลผสมอยู่ 7% ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการผสมเอทานอลลงไปเชื้อเพลิงจะทำให้เกิดการล่าช้าในการจุดระเบิด, เกิดการปลดปล่อยความร้อนที่เร็วและความดันสูงสุดมีค่าลดลง ถึงแม้จะไม่มีมีการปรับเวลาการฉีดเชื้อเพลิงและการจุดระเบิดผลลัพธ์ที่ได้ยังแสดงให้เห็นอีกว่าการเปลี่ยนพลังงานทางเคมีของเอทานอลไปเป็นกำลังงานเบรคทำได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ นอกจากนี้ประสิทธิภาพปวงซียังเพิ่มขึ้นเล็กน้อยโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ภาระกรรมต่ำ (25% ของแรงบิดสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำได้เมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปเป็นเชื้อเพลิง) อัตราการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นเกือบ 2% ต่อการเพิ่มขึ้นของเอทานอล 5% ในเชื้อเพลิงผสมเนื่องจากความหนาแน่นและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีค่าลดลง แรงบิดสูงสุดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ลดลง (สูงถึง 30% สำหรับน้ำมันผสมที่มีเอทานอล 20%)

Atmanli and Yilmaz (2018) การใช้แอลกอฮอล์ในเครื่องยนต์ดีเซลเป็นทางเลือกเพื่อลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่โมเลกุลที่ยาว เช่น บิวทานอล (nB) และเพนทานอล (Pn) ซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงและผลิตได้จากวัตถุดิบที่กินไม่ได้เป็นหลัก

สามารถนำมาผสมกับเชื้อเพลิงดีเซล ด้วยเหตุผลเหล่านี้ทำให้การตรวจสอบการใช้แอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงในเครื่องยนต์ดีเซลมีความสำคัญมากขึ้นในหลาย ๆ ปีที่ผ่านมา งานวิจัยนี้เชื้อเพลิงผสม 6 สัดส่วนซึ่งที่ได้มาจากการผสมน้ำมันดีเซลกับบิวทานอล และเพนทานอลที่สัดส่วน 5%, 25% และ 35% แอลกอฮอล์โดยปริมาตร และมีการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของเชื้อเพลิงผสมสัดส่วนต่าง ๆ เชื้อเพลิงผสมต่าง ๆ ถูกทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลที่ฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง โดยมีเงื่อนไขในการทดสอบคือภาระกรรม 4 ค่า (0, 3, 6 และ 9 kW) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ (1,800 รอบต่อนาที) โดยมีน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอ้างอิง คุณสมบัติของเชื้อเพลิงผสมถูกทดสอบตามมาตรฐาน EN590 และเชื้อเพลิงผสมทั้งหมดไม่มีการแยกชั้นกันเกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้จากน้ำมันดีเซล พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรคของน้ำมันผสมมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 14.02% และยังส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนเบรคลดลงถึง 7.36% อีกด้วย อย่างไรก็ตามอุณหภูมิของไอเสียที่ได้จากเชื้อเพลิงผสมยังมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 47.55% การเติมเพนทานอลลงไปนน้ำมันดีเซลจะส่งผลให้ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 14.27% ในทางกลับกันการที่บิวทานอลและเพนทานอลมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงส่งผลให้เกิดผลเสียหลายอย่างเช่นอุณหภูมิในกระบอกสูบลดลง, ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ลดลง และยังทำให้มลพิษในส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงผสมที่มีปริมาณแอลกอฮอล์ 35% เป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพราะมีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์น้อยที่สุดถึงแม้ว่าจะมีการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้น โดยรวมแล้วพบว่าการใช้บิวทานอลและเพนทานอลในเครื่องยนต์ดีเซลสามารถทำได้อย่างปลอดภัยโดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์หรือเติมสารเติมแต่งลงไปเชื้อเพลิง

Killoi, Reddy et al. (2019) งานวิจัยนี้เริ่มจากการนำบิวทานอลมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดคานีน้ำ (Karanja) ในสัดส่วนต่ำได้แก่ 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงผสมจะแสดงในรูปแบบตัวย่อเป็น KB5, KB10, KB15 และ KB20 โดยตัวเลขที่อยู่ในคำย่อแสดงถึงร้อยละของบิวทานอลที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงผสม เชื้อเพลิงผสมทั้งหมดจะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว, 4 จังหวะ, ฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง (DI), กำลังสูงสุด 4.4 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที ในการทดสอบกับเครื่องยนต์จะใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบผลที่ได้จากเชื้อเพลิงผสมสัดส่วนต่าง ๆ นอกจากนี้จะมีการเติมไดเอทิลอีเทอร์ในปริมาณเล็กน้อยลงในเชื้อเพลิงผสมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อตรวจสอบการลดลงของไฮโดรคาร์บอนเมื่อเครื่องยนต์ทำงานด้วยเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซล-บิวทานอล

จากการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงผสม KB15 เป็นสัดส่วนที่ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงที่สุดและปลดปล่อยมลพิษน้อยที่สุด

Huang, Li et al. (2019) การศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอัตราการหมุนเวียนของไอเสีย (EGR) ในช่วง 0 – 40% ต่อลักษณะการเผาไหม้และการปลดปล่อยมลพิษของเชื้อเพลิงผสม บิวทานอล/น้ำมันดีเซล/PODE₃₋₄ เมื่อเครื่องยนต์ดีเซลทำงานที่อุณหภูมิต่ำ ผลที่ได้คือ เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราการหมุนเวียนแก๊สไอเสียเท่ากันค่าความดันเฉลี่ยในกระบอกสูบและการปลดปล่อยความร้อนเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันผสม BD20 (บิวทานอล 20% และ น้ำมันดีเซล 80% โดยปริมาตร) มีค่าเพิ่มขึ้น, ความล่าช้าในการจุดระเบิดยาวขึ้น และประสิทธิภาพทางความร้อนเบรคมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ในส่วนของเชื้อเพลิงผสม BD20 กับ PODE₃₋₄ พบว่าความล่าช้าในการจุดระเบิดลดลง ในขณะที่ประสิทธิภาพทางความร้อนเบรคและประสิทธิภาพการเผาไหม้มีค่าเพิ่มขึ้น ที่อัตราการหมุนเวียนไอเสียต่ำกว่า 30% พบว่าเมื่ออัตราการหมุนเวียนไอเสียเพิ่มขึ้นค่ามลพิษในส่วนเขม่า (Soot), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ได้จะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงจนมีนัยสำคัญ ในขณะที่ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่ออัตราการหมุนเวียนไอเสียเกิน 30% พบว่าเมื่ออัตราการหมุนเวียนไอเสียเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เขม่า (Soot), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC) เพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่ออัตราการหมุนเวียนไอเสียเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความเข้มข้นของจำนวนของอนุภาคมูลฐาน (PM) ของน้ำมันทั้งสี่มีค่าลดลงในตอนแรก และเมื่อเพิ่มอัตราการหมุนเวียนไอเสียไปอีกจะทำให้ความเข้มข้นดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้น และในส่วนของความเข้มข้นของมวลของอนุภาคมูลฐานของทั้งสี่น้ำมันพบว่ามีค่าคงที่ในช่วงแรก และเมื่อมีการเพิ่มอัตราการหมุนเวียนไอเสียจะทำให้ค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของ PODE₃₋₄ ในน้ำมันผสม BD20 จะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคมีขนาดเล็กลง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการในการดำเนินงานวิจัย โดยขั้นตอนการดำเนินงานประกอบไปด้วยกรอบการดำเนินการวิจัย การติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องมือวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ เครื่องมือวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ เครื่องมือวิเคราะห์แก๊สไอเสีย ขั้นตอนการติดตั้งและทดสอบเครื่องยนต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย

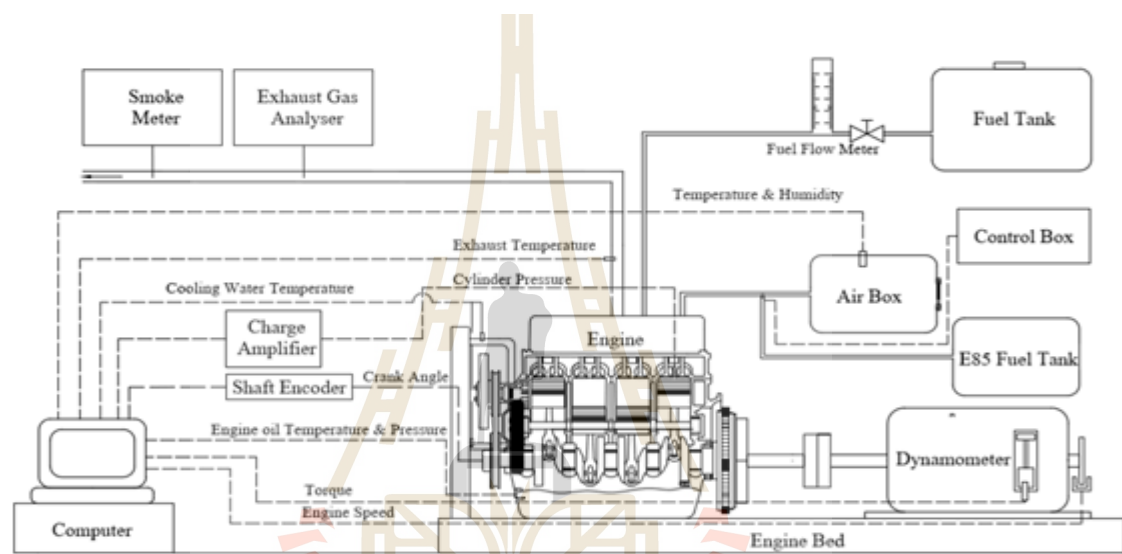
3.1 กรอบการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 การติดตั้งเครื่องยนต์

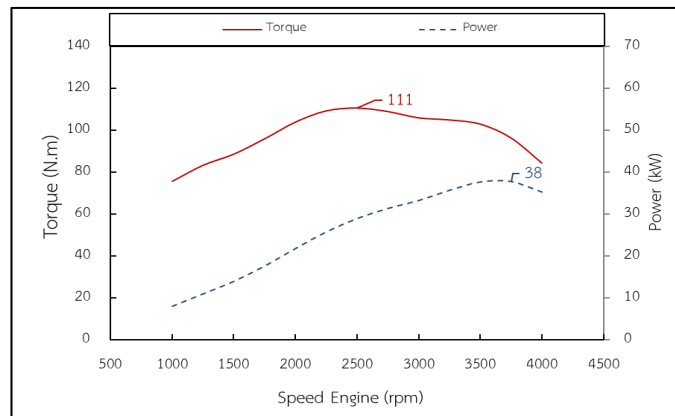
สำหรับการติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องมือวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ขนาด 2.449 ลิตร แบบฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ดังรูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.1 และติดตั้งเครื่องยนต์เข้ากับแท่นทดสอบไดนาโมมิเตอร์ รุ่นดังรูปที่ 3.4 พร้อมกับติดตั้งชุดหัวฉีดสำหรับฉีดเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่ตำแหน่งท่อร่วมไอดี โดยหัวฉีดที่ใช้เป็นหัวฉีดชนิด ยี่ห้อ Honda รุ่น wave 125i ดังรูปที่ 3.5



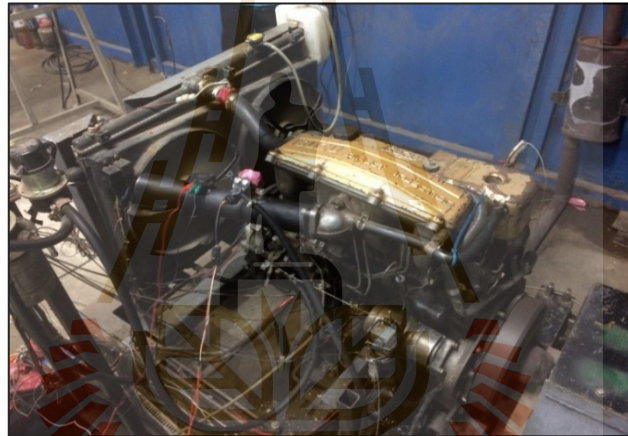
รูปที่ 3.2 ผังการติดตั้งเครื่องยนต์และเครื่องมือวัด

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

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	38 kW @3500 rpm
Max.Torque	110 N-m @2500 rpm



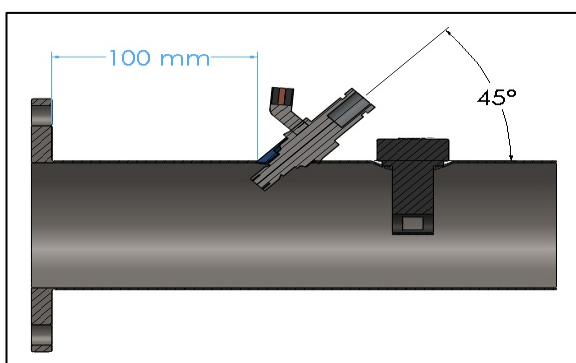
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับกำลังและแรงบิดเครื่องยนต์



รูปที่ 3.4 เครื่องยนต์ดีเซลยี่ห้อ ISUZU รุ่น 4JA1



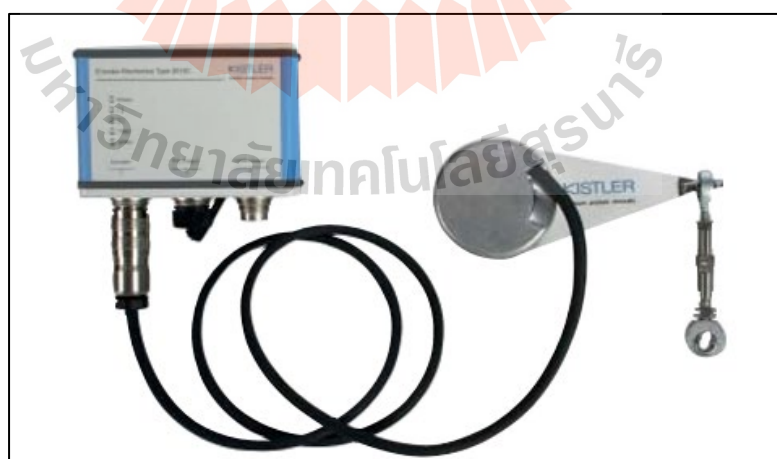
รูปที่ 3.5 ไดนาโมมิเตอร์ ยี่ห้อ SAJ รุ่น AWM-50MLC



รูปที่ 3.6 ชุดหัววัดสำหรับวัดเชื้อเพลิงที่ตำแหน่งท่อร่วมไอดี

3.3 เครื่องมือวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์

เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบและวัดองศาเพลาคือเหวี่ยง (Crank Angle Encoder) ยี่ห้อ Kistler รุ่น 2614C11 พร้อมกับชุดแปลงสัญญาณ (Separate Electronics Module) ยี่ห้อ Kistler รุ่น 2614C21 ดังรูปที่ 3.6 เซ็นเซอร์วัดความดันในกระบอกสูบ (Pressure Sensor) ยี่ห้อ Kistler รุ่น 6052C สามารถวัดความดันได้ในช่วง 0-250 บาร์ แสดงดังรูปที่ 3.7 จากนั้นใช้ Data Acquisition ยี่ห้อ DEWEsoft รุ่น SIRIUS ในการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าจากเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบและเซ็นเซอร์วัดความดันในกระบอกสูบให้เป็นค่าความเร็วรอบ องศาเพลาคือเหวี่ยง และความดันในกระบอกสูบ เพื่อใช้ในการคำนวณพารามิเตอร์อื่นๆ ในงานวิจัยต่อไป แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ องศาเพลาคือเหวี่ยงและชุดแปลงสัญญาณ



รูปที่ 3.8 เซ็นเซอร์วัดความดันในกระบอกสูบ (Pressure Sensor)



รูปที่ 3.9 DEWESoft SIRIUS Data Acquisition

3.4 เครื่องมือวิเคราะห์แก๊สไอเสีย

เครื่องมือวิเคราะห์แก๊สไอเสีย (Flue Gas Analyzer) สำหรับการทดสอบจะใช้ประกอบด้วย เครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 350 เครื่องมือวัด HORIBA รุ่น MEXA - 584L เครื่องมือวัดเขม่า MAHA รุ่น MDO 2 LON โดยรายละเอียดข้อมูลเครื่องมือวัดดังนี้



รูปที่ 3.10 เครื่องมือวัดคีย์ห้อย TESTO รุ่น TESTO 350



รูปที่ 3.11 เครื่องมือวัด HORIBA รุ่น MEXA - 584L



รูปที่ 3.12 เครื่องมือวัดเขม่า MAHA รุ่น MDO 2 LON

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องมือวัดเขม่า HORIBA รุ่น MEXA-584L

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

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องมือวัด MAHA รุ่น MDO 2 LON

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 3.4 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

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 350 (ต่อ)

Measurement Parameter	Measurement Range	Accuracy	Resolution
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

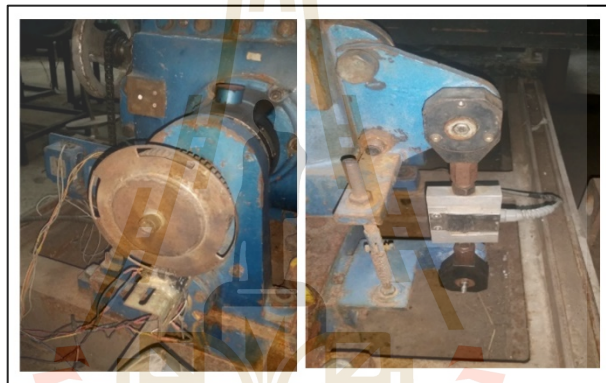
3.5 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องยนต์

1. ทำการติดตั้งเครื่องยนต์ดีเซลเข้ากับไดนาโมมิเตอร์โดยการยึดเครื่องยนต์ และไดนาโมมิเตอร์เข้ากับแท่นทดสอบเครื่องยนต์ หลังจากจากนั้นยึดเพลลาเข้ากับเครื่องยนต์และไดนาโมมิเตอร์ แสดงดังรูป 3.13

2. ติดตั้งเซ็นเซอร์สำหรับวัดความเร็วรอบที่ตำแหน่งของแกนเพลลาเครื่องยนต์ และโหลดเซลล์สำหรับวัดแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ตำแหน่งแกนของไดนาโมมิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การต่อเฟลาเข้ากับเครื่องยนต์และไดนาโมมิเตอร์



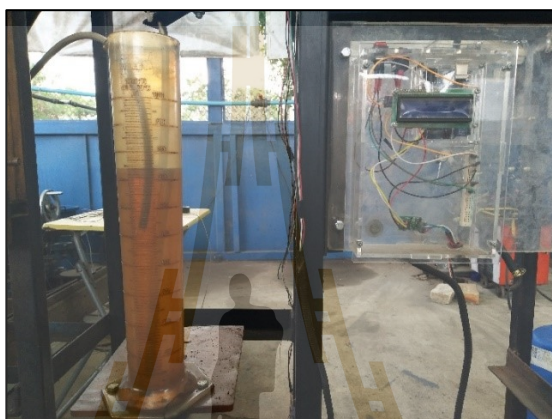
รูปที่ 3.14 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบที่แกนเฟลาเครื่องยนต์ และ โหลดเซลล์สำหรับวัดแรงบิดของเครื่องยนต์



รูปที่ 3.15 ชุดควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ แรงบิด และแสดงผล

3. ติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ แรงบิด และจอแสดงค่า ความเร็วรอบ แรงบิด อุณหภูมิอากาศที่เข้าท่อร่วมไอดี อุณหภูมิไอเสีย ดังแสดงในรูปที่ 3.15

4. ติดตั้งเครื่องมือสำหรับวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยการใช้ไหลคเซลล์เป็นเครื่องมือในการรับค่าน้ำหนักของเชื้อเพลิงดีเซล แล้วจากนั้นส่งค่าน้ำหนักที่เป็นสัญญาณของไฟฟ้า ให้แสดงผลเทียบกับเวลาเมื่อมีค่าน้ำหนักที่ลดลงด้วยอุปกรณ์ประมวลผลไมโครโปรเซสเซอร์ Arduino รุ่น Uno R3 แสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 เครื่องมือสำหรับวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

5. ติดตั้งหัวฉีดสำหรับฉีดเชื้อเพลิงร่วม แสดงดังรูปที่ 3.17 และชุดควบคุมการฉีดเข้ากับท่อร่วมไอดีของเครื่องยนต์ดีเซล แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 ติดตั้งหัวฉีดร่วมที่ท่อร่วมไอดี



รูปที่ 3.18 ติดตั้งชุดควบคุมการฉีด



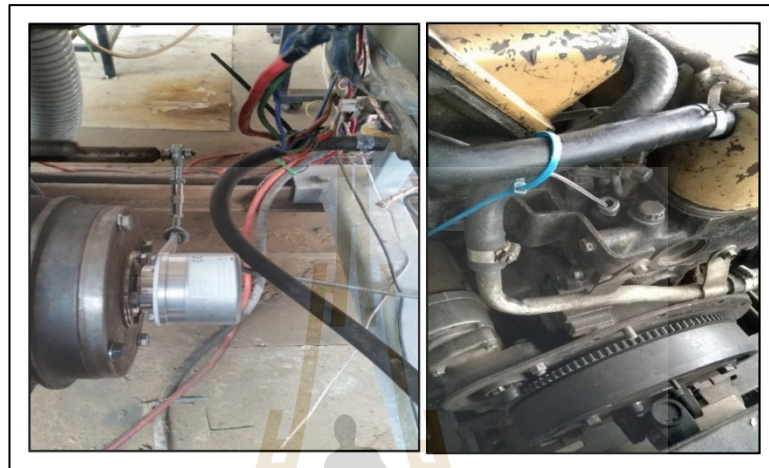
รูปที่ 3.19 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมการเผาไหม้

6. ทดสอบเดินเครื่องยนต์เพื่อตรวจสอบความพร้อมสำหรับกระบวนการเก็บข้อมูลและปรับปรุงการติดตั้งอุปกรณ์ให้มีความเหมาะสมในการทำงานมากที่สุด
7. ติดตั้งชุดเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ แสดงดังรูปที่ 3.19

3.6 วิธีการทดสอบเครื่องยนต์

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และวัดการปล่อยมลพิษไอเสีย โดยจะทำการทดสอบกับน้ำมันดีเซล สำหรับใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง อ้างอิงและเปรียบเทียบผลกับการทดสอบการฉีดเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- 1) ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ เข้ากับเครื่องยนต์ ได้แก่ ชุดวัดองศาเพลาคือเหวี่ยง ชุดวัดความดันในกระบอกสูบ และเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย ดังรูปที่ 3.20 – 3.22



รูปที่ 3.20 การติดตั้งชุดวัดองศาเพลาคือเหวี่ยงและชุดวัดความดันในกระบอกสูบ
เข้ากับเครื่องยนต์



รูปที่ 3.21 การติดตั้งเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสียเข้ากับเครื่องยนต์

- 2) ทำการติดเครื่องยนต์แล้วปล่อยให้เครื่องยนต์เดินเบา จนเครื่องยนต์อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบ (อุณหภูมิน้ำมันหล่ออยู่ที่ประมาณ 80 องศาเซลเซียส)
- 3) เริ่มทำการทดสอบด้วยการปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้อยู่ที่ 2,500 รอบต่อนาที แล้วปรับการจ่ายภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ที่ 30 นิวตันเมตร
- 4) ทำการวัดอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยการจับเวลาที่เทียบกับมวลน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ลดลง จำนวน 200 กรัม
- 5) ทำการเก็บข้อมูลความดันในกระบอกสูบและองศาเพลลาข้อเหวี่ยง ด้วยชุดเครื่องวัดความดันในกระบอกสูบ และชุดเครื่องมือวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยง
- 6) ทำการตรวจวัดมลพิษไอเสียด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย ณ บริเวณปลายท่อไอเสียของเครื่องยนต์
- 7) บันทึกข้อมูลผลการทดสอบ ได้แก่ อัตราการไหลของอากาศที่ท่อร่วมไอดี อุณหภูมิไอดี อุณหภูมิแก๊สไอเสีย และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง
- 8) ทำการทดสอบตามขั้นตอนการปฏิบัติที่ 3 ถึง 7 โดยการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่ทดสอบเป็น 50, 70, 90 และ 110 นิวตันเมตร
- 9) ทำการทดสอบ ตามขั้นตอนการปฏิบัติที่ 3 ถึง 8 โดยมีการฉีดเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เป็นเชื้อเพลิงร่วมด้วย

3.7 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในการทดสอบได้แบ่งการวิเคราะห์ผลเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง และทำการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะของการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.7.1 การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

ตรวจวัดคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่นำมาทดสอบ และทำการเปรียบเทียบผลการตรวจวัด ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจวัดความถ่วงจำเพาะ ความถ่วงเอพิไอ ความหนืดจลนศาสตร์ อุณหภูมิการกลั่น จุดวาบไฟ ดัชนีซีเทน ค่าความร้อนเชื้อเพลิง และความหนาแน่น

3.7.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ โดยทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ที่ทำการวัด คือ แรงบิด กำลังเบรก และอัตราการใช้

น้ำมันเชื้อเพลิง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) และความดันยังผลเฉลี่ยบังชี้ (IMEP)

3.7.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณลักษณะการเผาไหม้

เปรียบเทียบคุณลักษณะการเผาไหม้ระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบ โดยการใช้ผลของข้อมูลความดันในกระบอกสูบ และอัตราการปลดปล่อยความร้อน ณ ตำแหน่งมุมมองเสาเพลิงข้อเหวี่ยงต่าง ๆ ซึ่งทำการหาผลเฉลี่ยของค่าดังกล่าวก่อนการนำไปทำการเปรียบเทียบต่อไป

3.7.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตรวจวัดการปล่อยมลพิษไอเสีย

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



บทที่ 4

ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์

4.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการศึกษาการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเครื่องยนต์ จุกระเบิดด้วยการอัด ซึ่งจะมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วม โดยเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ E85 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการจำหน่ายโดยทั่วไป ตามท้องตลาด ทั้งนี้การทดสอบใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วม จะใช้เชื้อเพลิงร่วม ผิดผสมกับอากาศก่อนที่อากาศจะไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ด้วยวิธีการติดตั้งชุดควบคุมการฉีด เชื้อเพลิงร่วมและติดตั้งหัวฉีดที่ตำแหน่งท่อร่วมไอดีของเครื่องยนต์ รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติของ เชื้อเพลิงทางด้านพื้นฐานทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิง แก๊สโซฮอลล์ E85 โดยในส่วนการทดสอบจะกำหนดให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ ภายใต้ การเปลี่ยนแปลงภาระกรรมของเครื่องยนต์ โดยมีการเก็บข้อมูลในส่วนของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง กับเครื่องยนต์ และมลพิษของไอเสีย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์ ได้แก่ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค รวมทั้งพิจารณาปริมาณ การปล่อยมลพิษไอเสีย ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ออกไซด์ของไนโตรเจน และควันดำ โดยบทนี้จะนำเสนอในส่วนของวิธีดำเนินงานวิจัย ผลการทดสอบและอภิปรายผล และสรุปผลการวิจัย

4.2 วิธีดำเนินการวิจัย

4.2.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

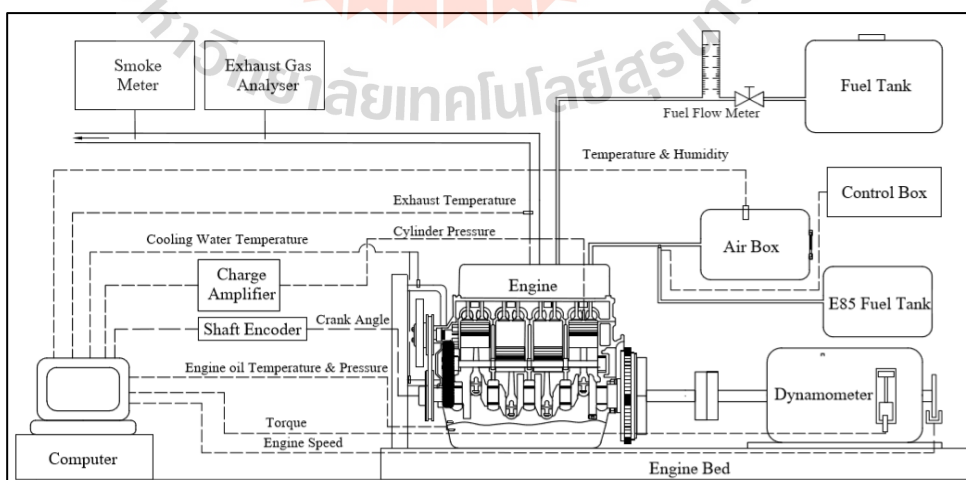
งานวิจัยนี้ศึกษาศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงทางด้านพื้นฐานทางกายภาพและ คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ น้ำมันดีเซล เอทานอล น้ำมันเบนซิน และแก๊สโซฮอลล์ E85 ผลการศึกษา คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบดังกล่าวภายใต้มาตรฐานการ ทดสอบจากงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น ความหนืด ความถ่วงจำเพาะ จุดวาบไฟ เป็นต้น สามารถแสดง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	วิธีทดสอบ	Diesel	Ethanol	Gasoline	E85
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (cSt)	ASTM D445	4.63	1.13 ^{16]}	0.8	-
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6 °C	ASTM D1298	0.830	0.789 ^{16]}	0.72	-
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15.6 °C (kg/m ³)	ASTM D1298	829	789 ^{16]}	720	785
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D93	76	13.5 ^{16]}	-30	-
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (MJ/kg)	ASTM D240	45.39	26.83 ^{16]}	44.00	28.7
เลขซีเทน	ASTM D613	53.9 ^{16]}	8 ^{16]}	20-25	11
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)	-	243 ^{16]}	858 ^{16]}	305	780

4.2.2 การติดตั้งและทดสอบเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้เป็นชนิดใช้น้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ขนาด 180 แรงม้า ซึ่งต่อเข้ากับชุดควบคุมความเร็วรอบและภาระกรรม รวมทั้งเก็บข้อมูลอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น อากาศขาเข้า และไอเสีย การวัดค่าอัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลวัดโดยใช้การชั่งมวลของน้ำมันจากตาชั่งจับเวลา รวมถึงเครื่องมือวิเคราะห์ไอเสียจากเครื่องยนต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสียยี่ห้อ Testo รุ่น Testo 350, ยี่ห้อ Horiba รุ่น MEXA-584L และเครื่องมือวัดเขม่ายี่ห้อ MAHA รุ่น MDO 2 LON โดยการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 4.1 การติดตั้งเครื่องยนต์สำหรับการทดสอบ

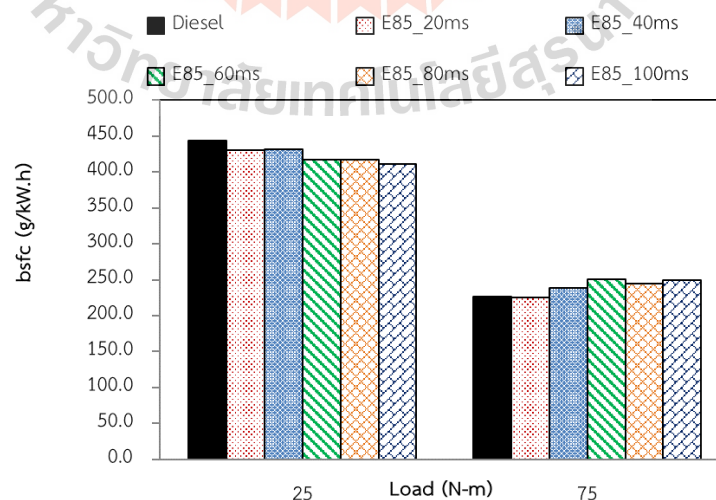
การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ และตรวจวัดมลพิษไอเสีย โดยทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบต่อนาที ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรม 25 และ 75 นิวตันเมตร โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ในการฉีดเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิวินาที (ms) ตามลำดับ ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่างๆ ในการทดสอบ ได้แก่ อัตราการใช้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ไอเสีย ไอดี และมลพิษไอเสีย ซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC) และเขม่าควันดำ (Smoke)

การทดสอบวัดค่าอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ทดสอบโดยการวัดค่าอัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 จำเป็นต้องมีการวัดค่าเนื่องจากการแยกระบบการฉีดจากเชื้อเพลิงหลัก โดยวิธีการคือใช้ชุดจำลองการฉีดเพื่อใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ตามลำดับการฉีด ได้แก่ 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิวินาที (ms) จากนั้นนำเชื้อเพลิงที่ได้จากการฉีดตามลำดับการฉีดไปชั่งเพื่อหามวลของเชื้อเพลิง โดยมวลที่ชั่งน้ำหนักแล้วจะนำมาใช้คำนวณเทียบกับเวลาที่ใช้ในการฉีด จะได้ค่าอัตราการไหลเชิงมวลตามลำดับการฉีด

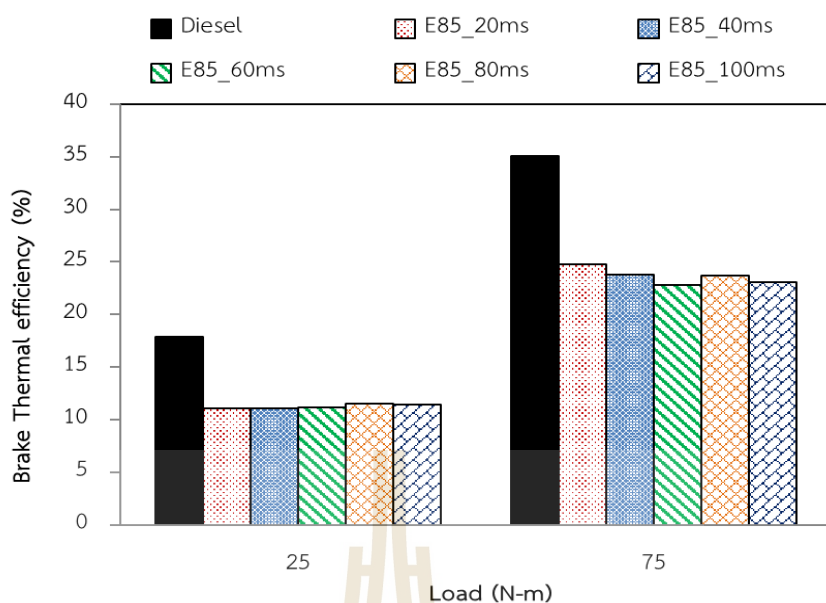
4.3 ผลการทดสอบและอภิปรายผล

ผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์และมลพิษไอเสีย โดยใช้น้ำมันดีเซลเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ระยะเวลาการฉีดน้ำมันต่าง ๆ ซึ่งแสดงผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.3.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์



รูปที่ 4.2 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับภาระกรรม

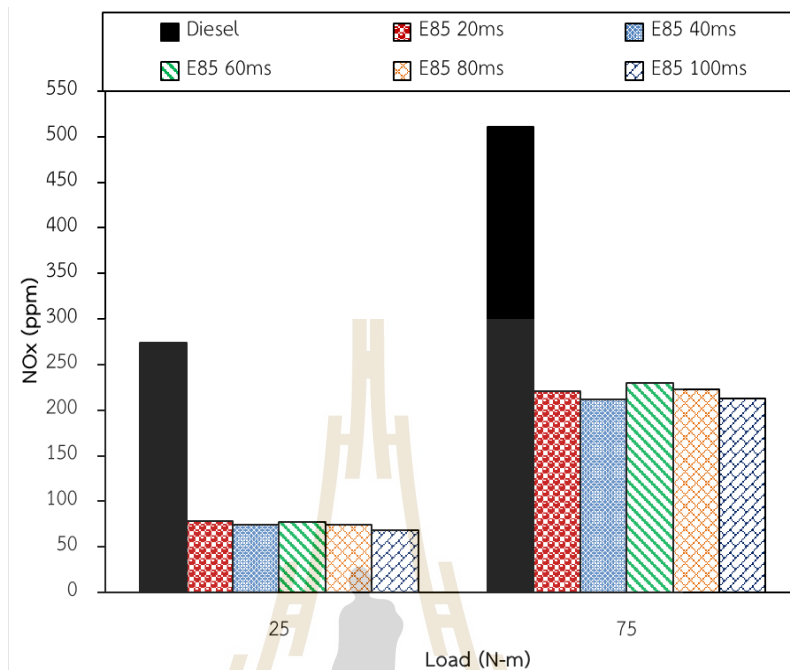


รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคกับภาระกรรม

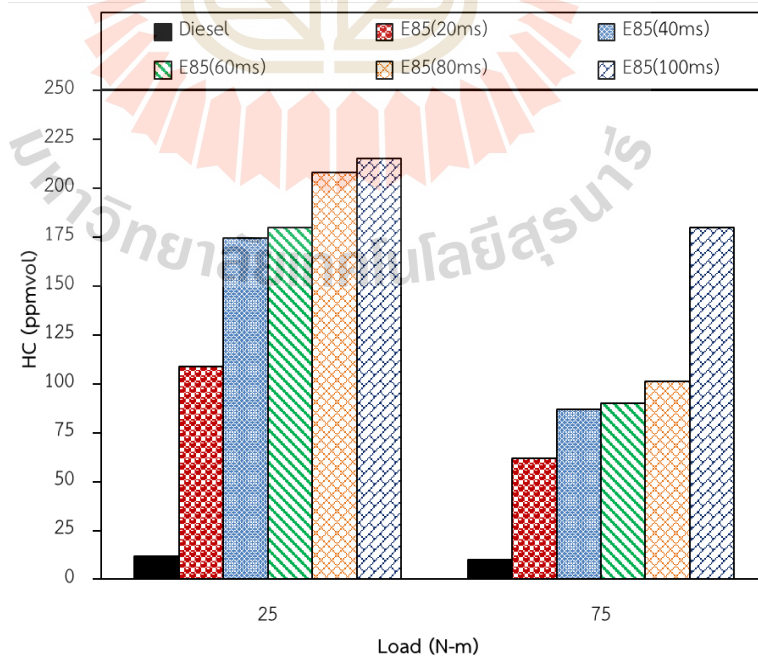
ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (Brake Specific Fuel Consumption, BSFC) คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวลต่อกำลังหนึ่งหน่วยที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ภายในระยะเวลาหนึ่งหน่วย โดยจากรูปที่ 4.2 สังเกตได้ว่า BSFC มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ทั้งนี้การใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า BSFC มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงมากขึ้นในสภาวะที่เครื่องยนต์มีภาระกรรมเท่ากับ 25 N.m และพบว่าเมื่อเพิ่มภาระกรรมเท่ากับ 75 N.m ค่า BSFC จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ที่ต่อรวมไอดีทำให้อากาศกับเชื้อเพลิงผสมกันได้ดีขึ้นส่งผลให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่สูงขึ้น

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (Brake Thermal Efficiency, BTE) คือ ความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล จากรูปที่ 4.3 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของภาระกรรมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ BTE ของน้ำมันดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วม พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงมากขึ้น BTE จะพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉีด เนื่องจากเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 มีค่าพลังความร้อนของเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าดีเซลถึง 1.5 เท่า และค่าซีเทนของ E85 ที่ค่อนข้างต่ำ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคมีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเพียงอย่างเดียว

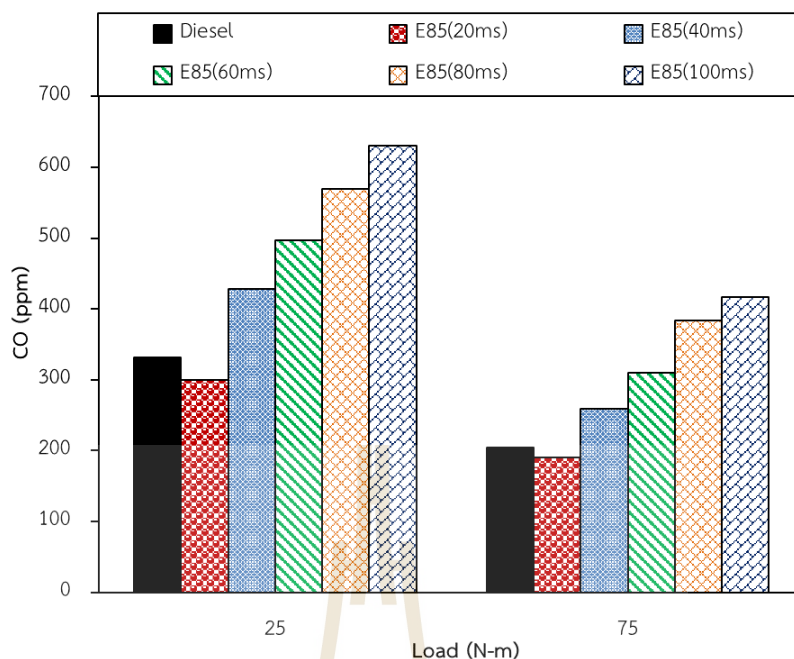
4.3.2 มลพิษไอเสีย



รูปที่ 4.4 ไนโตรเจนออกไซด์กับภาระกรรม



รูปที่ 4.5 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม



รูปที่ 4.6 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม

ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีองค์ประกอบหลัก ๆ โดยประกอบด้วยไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ปนอยู่เป็นส่วนน้อย จากรูปที่ 4.4 พบว่า เมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ปริมาณของ NO_x จะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิการเผาไหม้และความดันในกระบอกสูบที่สูงขึ้น เมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วม พบว่ามีปริมาณ NO_x ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 มีค่าที่สูงทำให้การเปลี่ยนสถานะของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 จากของเหลวกลายเป็นไอต้องใช้พลังงานความร้อนที่สูงส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่าลดลง

ไฮโดรคาร์บอน (HC) เป็นมลพิษไอเสียซึ่งเกิดจากอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ และไอเสียที่มีความเข้มข้นทำให้เกิดการขาดออกซิเจน ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าปริมาณ HC ที่ภาระกรรมต่ำมีค่าสูงกว่าที่ภาระกรรมสูง เนื่องจากที่ภาระกรรมต่ำจะมีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ต่ำ ประกอบกับความล่าช้าในการเผาไหม้ (Ignition Delay) ของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ส่งผลให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่สั้นจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ถือว่าเป็นมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อสารผสมหนาทำให้มีออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะเผาไหม้คาร์บอนทั้งหมดในเชื้อเพลิงให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งจากผลการทดสอบดังรูปที่ 4.6 พบว่า การเพิ่ม

การกระทำให้กับเครื่องยนต์ส่งผลให้ CO มีปริมาณลดลง เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส โซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วม พบว่า CO มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่มากขึ้น เนื่องจากความล่าช้าในการเผาไหม้ (Ignition Delay) ของเชื้อเพลิงแก๊ส โซฮอล์ E85 ทำให้ลดระยะเวลาในการเผาไหม้ในหนึ่งวัฏจักรมีค่าลดลง

4.4 สรุปผลการวิจัย

จากศึกษาการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส โซฮอล์เป็นเชื้อเพลิงร่วมสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยการฉีดเชื้อเพลิงแก๊ส โซฮอล์เข้าไปยังท่อร่วมไอดีที่ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงต่าง ๆ สามารถสรุปได้ว่า

1) การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง E85 ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) มีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลในสภาวะกรรมที่ 25 N.m และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลในสภาวะกรรมที่ 75 N.m

2) การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง E85 ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

3) การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงแก๊ส โซฮอล์ E85 ช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ขณะที่ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

4) การเลือกระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงร่วมที่เหมาะสมคือช่วง 40, 60 และ 80 ms เนื่องจากผลการทดสอบของไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีค่าลดลงค่อนข้างเหมาะสมในช่วงเวลาการฉีดนี้

บทที่ 5

ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงประเภทแอลกอฮอล์

5.1 บทนำ

เครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปถือว่าเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางไปทั่วโลก สาเหตุเนื่องจากมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูง ความทนทานต่อการใช้งาน และมีความน่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันนั้นเครื่องยนต์ดีเซลต้องใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานหลัก ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีแนวโน้มลดลงและจะหมดสิ้นไปในอนาคต ทั้งนี้ยังพบอีกว่าความต้องการใช้พลังงานยังคงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังผลรายงานสถานะการณ์พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ที่คาดการณ์ว่าการใช้พลังงานของประเทศไทยใน ปี พ.ศ. 2561 จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.1 ด้วยเหตุนี้ การวิจัยเพื่อหาแหล่งพลังงานทางเลือก (Alternative fuels) จากวัตถุดิบอื่น ๆ จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้น

เป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นฐานทางเกษตรกรรม ซึ่งในแต่ละปีมีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมากมาย ดังนั้นพลังงานทางเลือก จากพลังงานชีวมวล จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความเหมาะสมกับประเทศไทย เนื่องจากวัตถุดิบในการผลิตพลังงานชีวมวลนั้นได้มาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยผลผลิตที่ได้จากกระบวนการแปรรูปเป็นพลังงานชีวมวลส่วนหนึ่งจะอยู่รูปของพลังงานเชื้อเพลิงที่เรียกว่า “เชื้อเพลิงออกซิเจน (Oxygenated fuels)” โดยทั่วไปแล้วเชื้อเพลิงที่ถือว่าเป็นเชื้อเพลิงออกซิเจน ได้แก่ แอลกอฮอล์ อีเทอร์ และไบโอดีเซล ซึ่งผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ การเผาไหม้ และมลพิษ เช่น ปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในโมเลกุล และ หมู่ฟังก์ชันของเชื้อเพลิงออกซิเจนสามารถช่วยลดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ในทางตรงกันข้ามจะส่งผลให้ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) สูงขึ้น

ดังนั้น งานวิจัยในส่วนของบทนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของเชื้อเพลิงออกซิเจน ซึ่งประกอบไปด้วยเอทานอล ความบริสุทธิ์สูง บิวทานอล ที่มีองค์ประกอบของออกซิเจนอยู่ ทั้ง 2 เชื้อเพลิงแต่แตกต่างกันที่หมู่ฟังก์ชัน โมเลกุลที่แตกต่างกันเป็นเชื้อเพลิงร่วมสำหรับใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยการฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจนเข้าไปยังท่อร่วมไอดี ต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทางเล็อก และส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลจากวัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากการเกษตร

5.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ในขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ การเตรียมเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ การวัดมลพิษไอเสีย และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 การเตรียมเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ขั้นตอนแรกในการดำเนินงานวิจัย เป็นการเตรียมเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการทำทดสอบโดยการทดลองนี้จะใช้เชื้อเพลิง 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล เอทานอล และบิวทานอล ซึ่งในส่วนนี้ได้มีการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิง เช่น ค่าความร้อนเชื้อเพลิง ความหนาแน่น และความหนืด ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	วิธีทดสอบ	น้ำมันดีเซล	เอทานอล	บิวทานอล
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (cSt)	ASTM D445	4.63	-	3.64
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6 °C	ASTM D1298	0.830	-	-
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15.6 °C (kg/m ³)	ASTM D1298	829	-	810
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D93	76	13.5	-
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (MJ/kg)	ASTM D240	45.39	26.83	33.10
เลขซีเทน	ASTM D613	53.9 ¹⁶⁾	8	17
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)	-	243 ¹⁶⁾	840	585

5.2.2 การติดตั้งและทดสอบเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์โดย ใช้เครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย ติดตั้งเข้ากับไดนาโมมิเตอร์ชนิดใช้น้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ และมีการแสดงข้อมูลพารามิเตอร์ของเครื่องยนต์ เช่น อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น น้ำมันเครื่อง ไรดี และไอเสีย การวัดอัตราการไหลของไรดี การวัดค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยใช้การชั่งมวลของเชื้อเพลิงวัดเทียบกับเวลา ติดตั้งชุดควบคุมความเร็วและโหลดของเครื่องยนต์ผ่านชุดตู้ควบคุม และติดหัวฉีด

เชื้อเพลิงร่วมที่ท่อร่วมไอศร่ร่วมกับชุดควบคุมการฉีด โดยแบ่งการฉีดออกเป็น 3 ช่วงคือ 40, 60 และ 80 ms. เครื่องมือที่ใช้วัดความดันในกระบอกสูบประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความดัน (Pressure Transducer Kistler 6052C) ต่อเข้ากับตัวขยายสัญญาณ (DEWEsoft SIRIUS Data Acquisition) และวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยงโดยชุดวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยง (Crank Angle Encoder Set Kistler 2164C) ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบต่อนาที ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่ 30, 50, 70, 90 และ 110 นิวตันเมตรตามลำดับ โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซล และใช้น้ำมันเชื้อเพลิงออกซิเจน ได้แก่ เอทานอลความบริสุทธิ์สูง (Anhydrous ethanol, AE) บิวทานอล (Butanol, BU) สำหรับการฉีดเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง 40, 60 และ 80 ms ตามลำดับ ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ในการทดสอบ ได้แก่ อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เก็บข้อมูลความดันภายในกระบอกสูบและองศาเพลลาข้อเหวี่ยง (1,500 วัฏจักร) และมลพิษไอเสีย ซึ่งประกอบด้วยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC) และเขม่าควันดำ (Smoke)

5.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ ได้แก่ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค และข้อมูลการทดสอบความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน เพื่อวิเคราะห์ผลคุณลักษณะการเผาไหม้ของการทดสอบร่วมกับน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด และวัดค่าปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ จากนั้นนำผลการการทดสอบมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

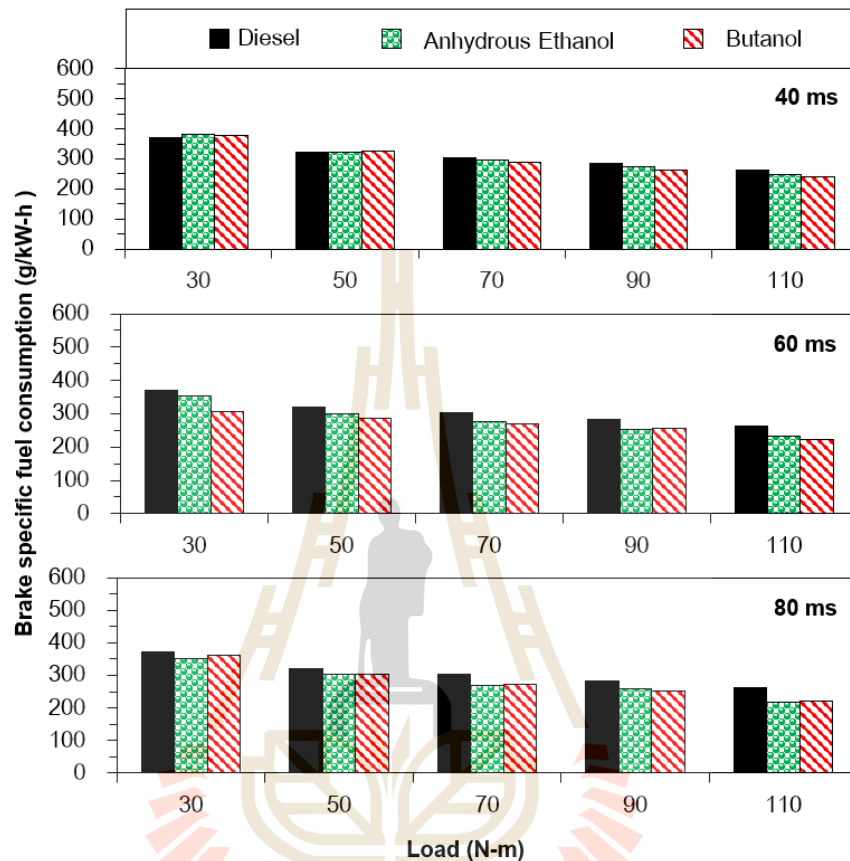
5.3 ผลการทดสอบและอภิปรายผล

ผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และผลตรวจวัดมลพิษไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซล และเชื้อเพลิงออกซิเจน (เอทานอลความบริสุทธิ์สูง, บิวทานอล) ซึ่งแสดงผลการทดสอบดังต่อไปนี้

5.3.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์

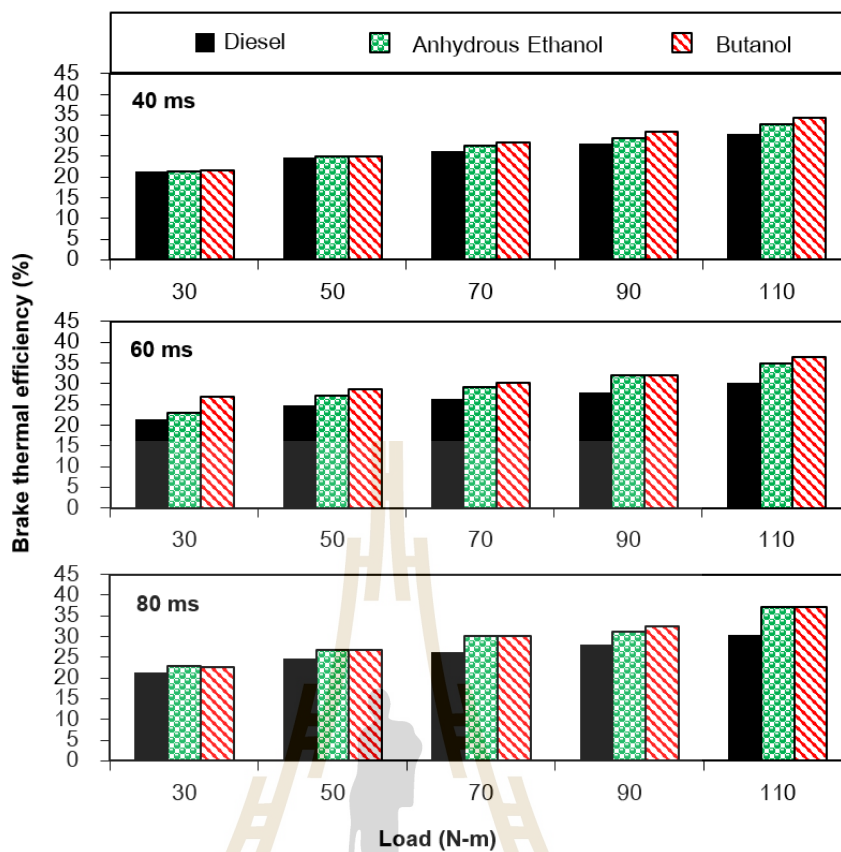
ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC) คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวลต่อกำลังหนึ่งหน่วยที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ภายในระยะเวลา หนึ่งหน่วยโดยจากรูปที่ 4.1 สังเกตได้ว่า BSFC มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันดีเซลกับการใช้เชื้อเพลิงออกซิเจน (AE, BU) เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า BSFC มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ทั้งนี้การเพิ่มเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงร่วมที่ 40, 60 และ 80 ms ตามลำดับ พบว่า

BSFC มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉีดมากขึ้น เนื่องจากการฉีดเชื้อเพลิงที่พร้อมไอดีทำให้ อากาศกับเชื้อเพลิงผสมกันได้ดีขึ้น ส่งผลให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่สูงขึ้น



รูปที่ 5.1 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคกับภาระกรรม

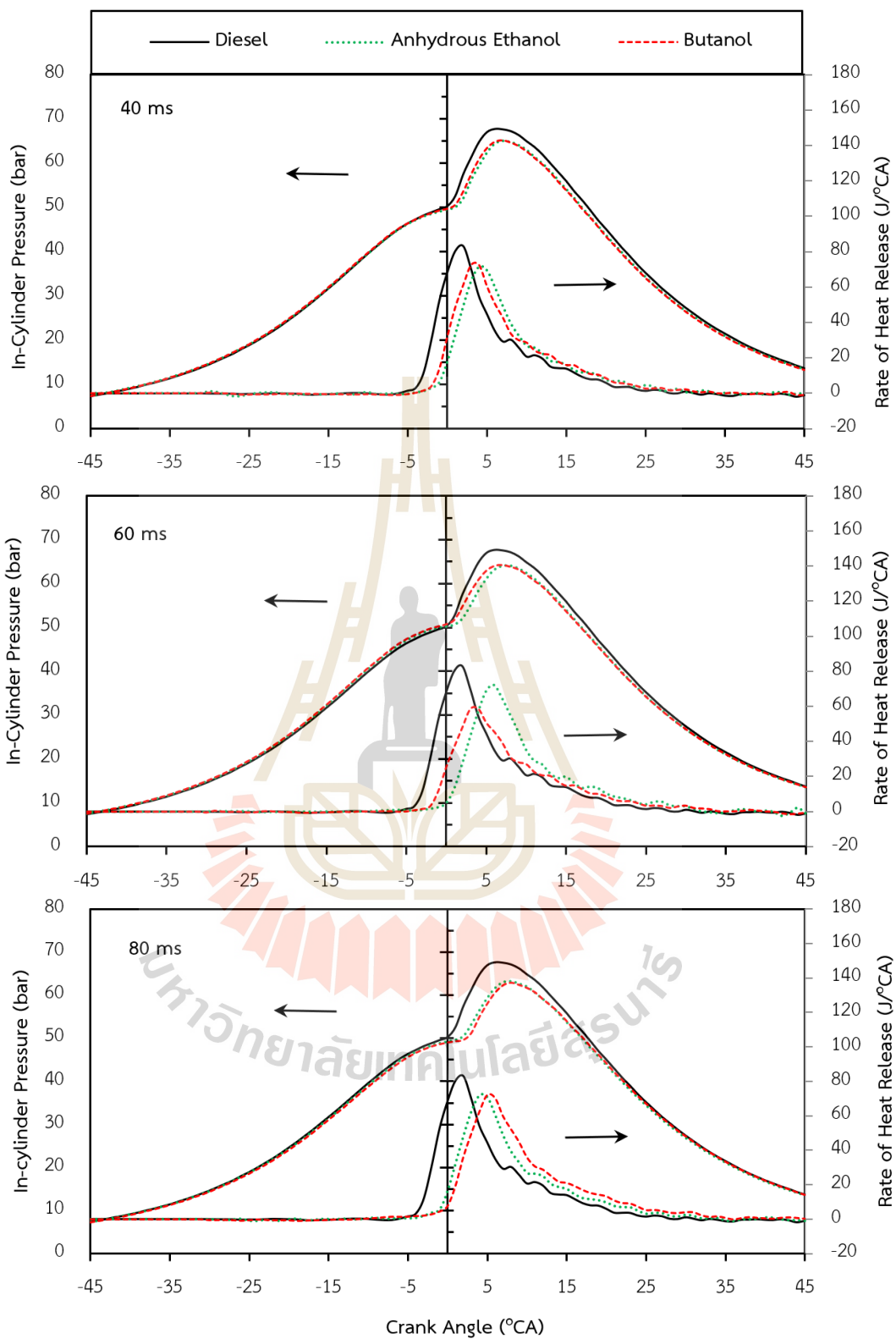
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (BTE) คือ ความสามารถในการเปลี่ยนพลังงาน ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล จากรูปที่ 5.1 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของภาระกรรม ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ BTE ของน้ำมันดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงออกซิเจน (AE, BU) เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการฉีดเชื้อเพลิงมากขึ้น BTE จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจาก เชื้อเพลิงออกซิเจนที่ฉีดร่วมมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลจึงช่วยเกิดการเผาไหม้ที่มี ประสิทธิภาพมากขึ้น



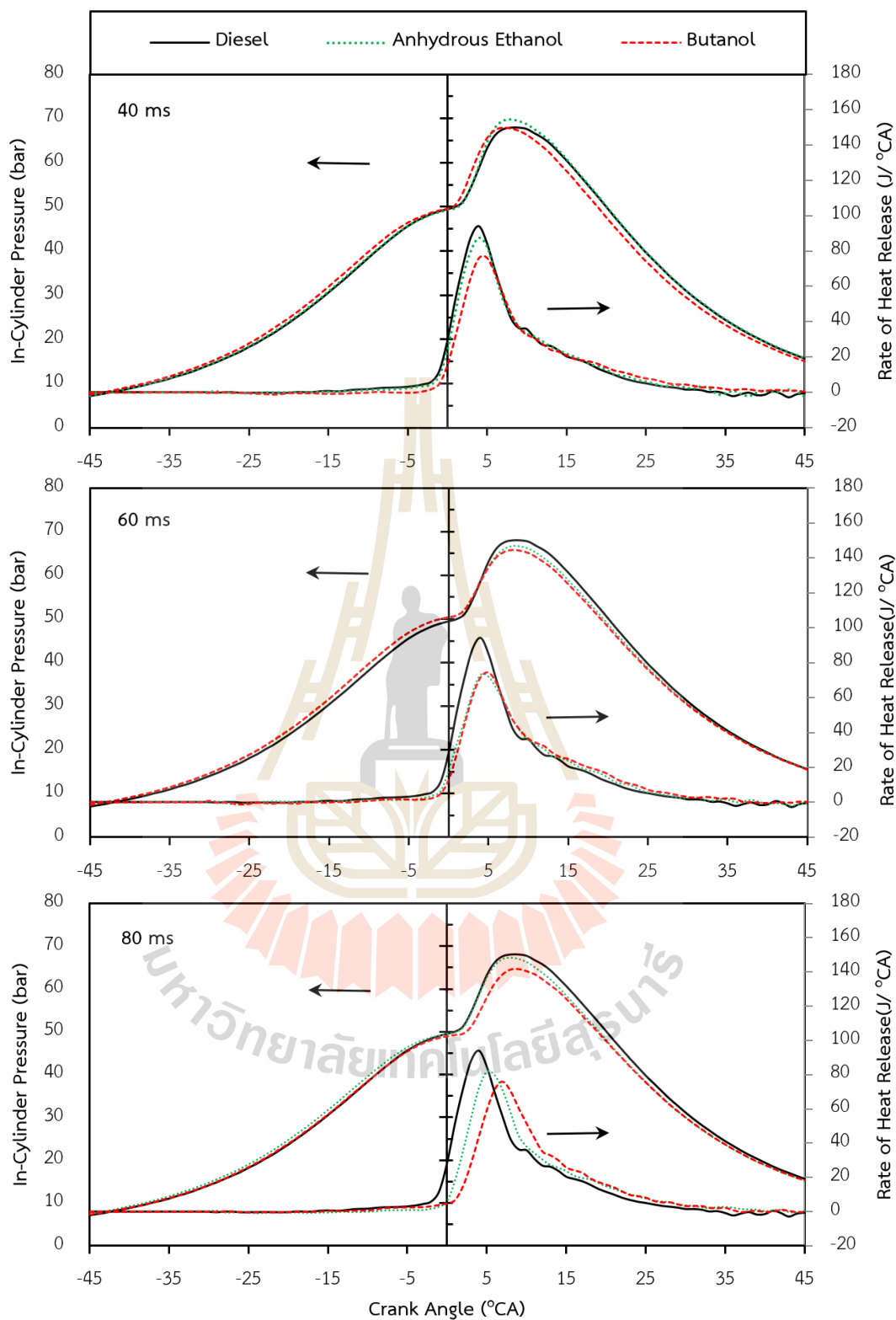
รูปที่ 5.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคกับภาระกรรม

5.3.2 คุณลักษณะการเผาไหม้

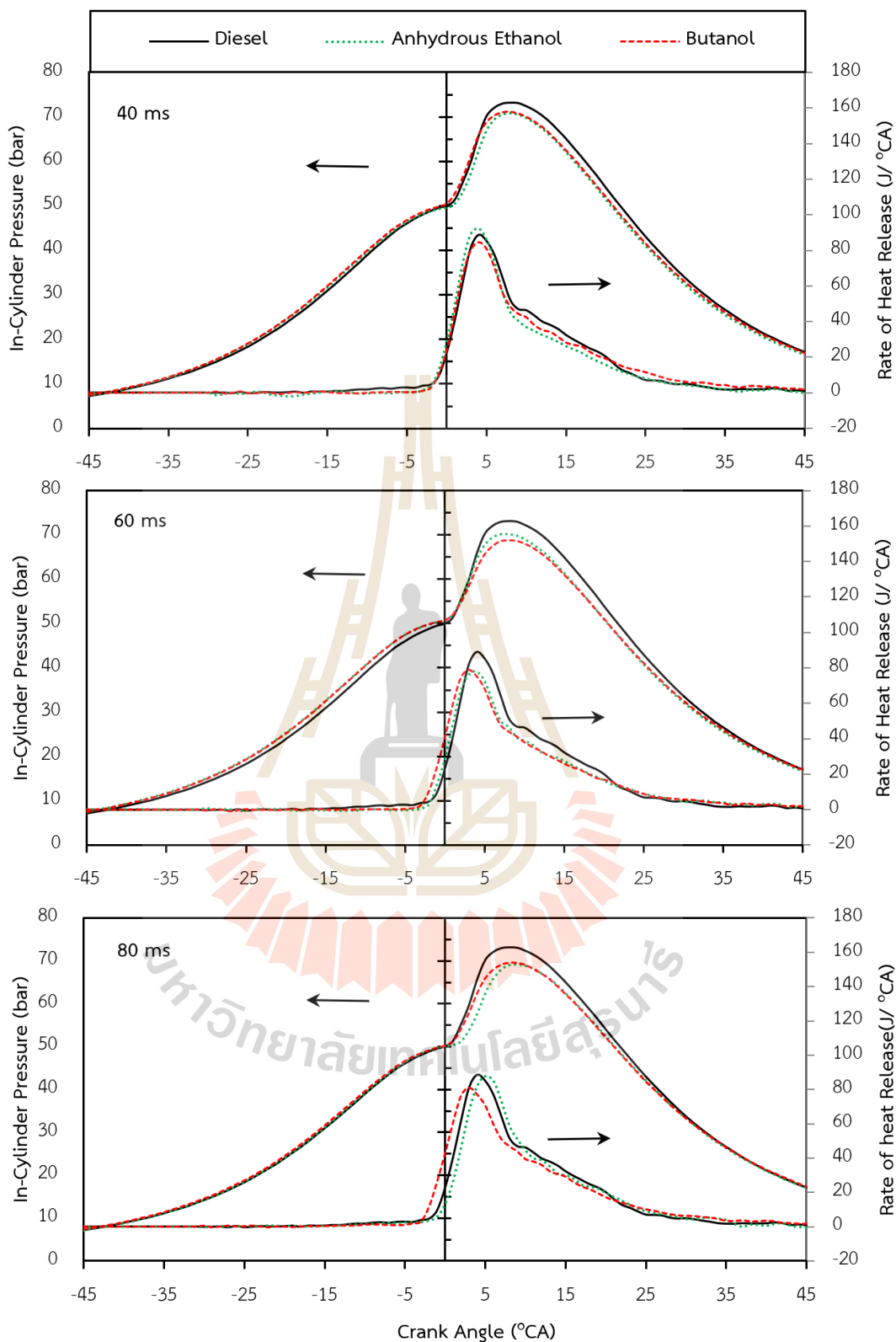
ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นอีกหนึ่งผลการทดสอบที่สามารถแสดงได้ถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ในสภาวะเงื่อนไขการทดสอบที่แตกต่างกันออกไป โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ ได้แก่ ความดันภายในกระบอกสูบ (ICP) และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (ROHR)



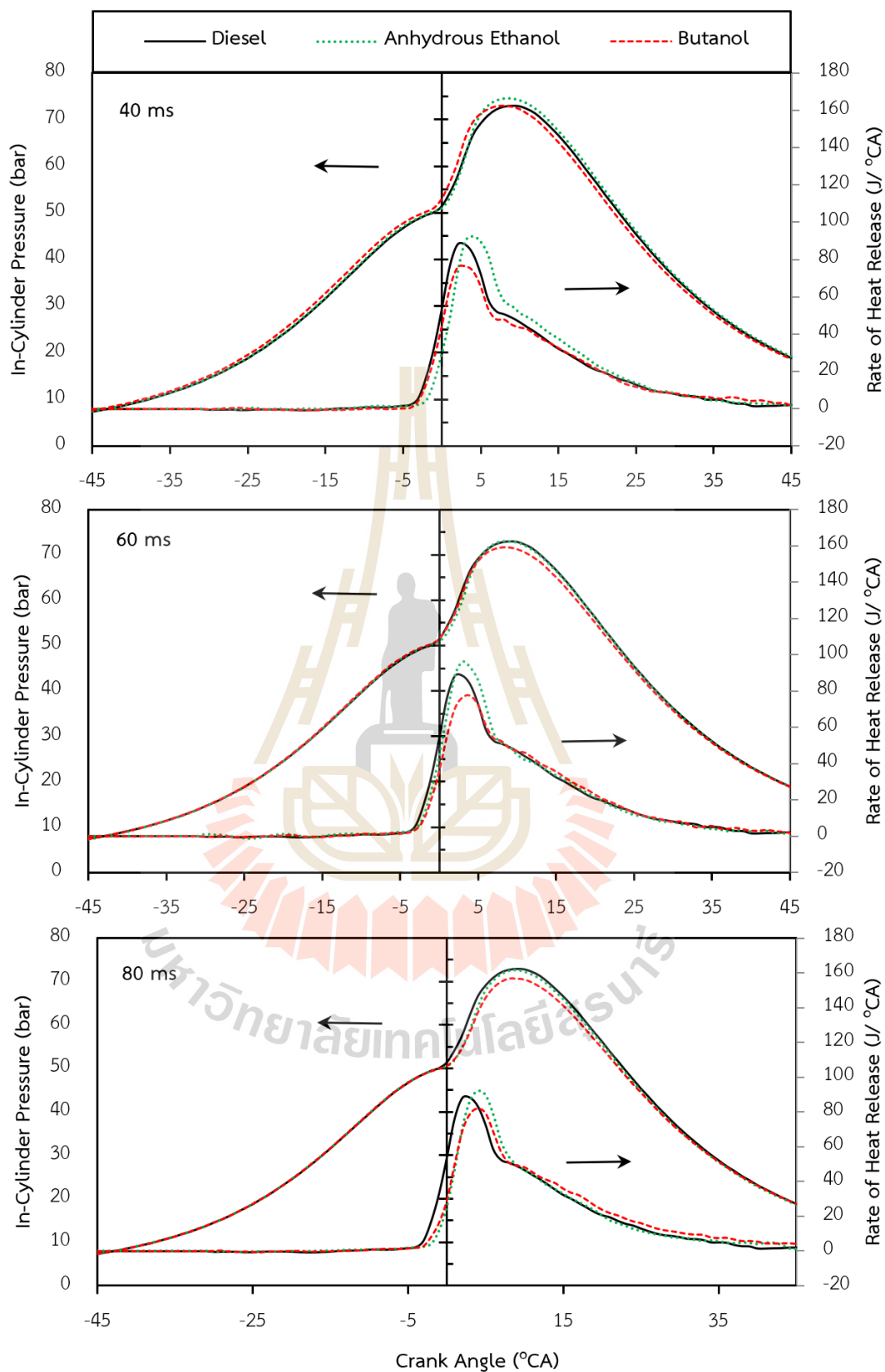
รูปที่ 5.3 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 30 N-m



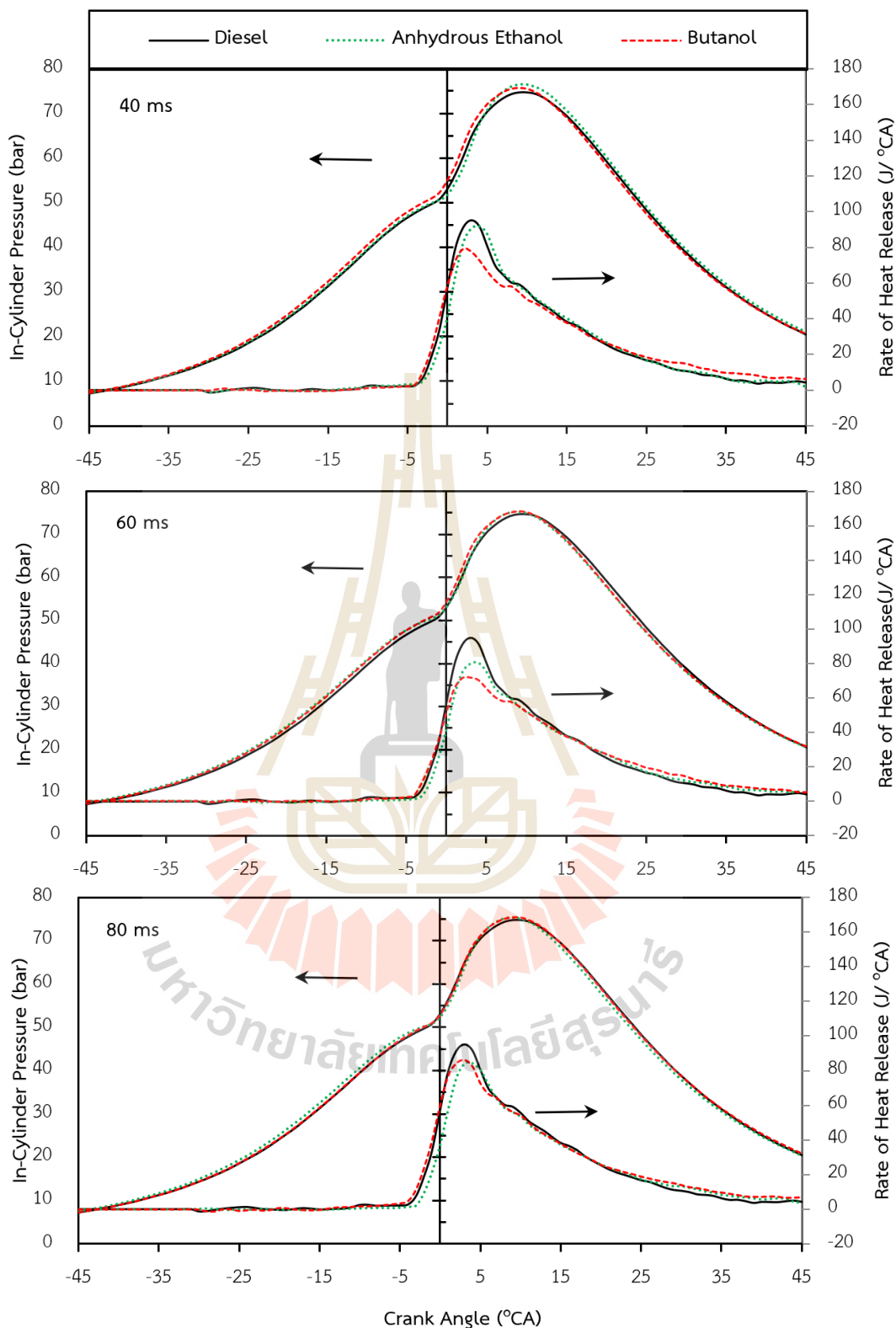
รูปที่ 5.4 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 50 N-m



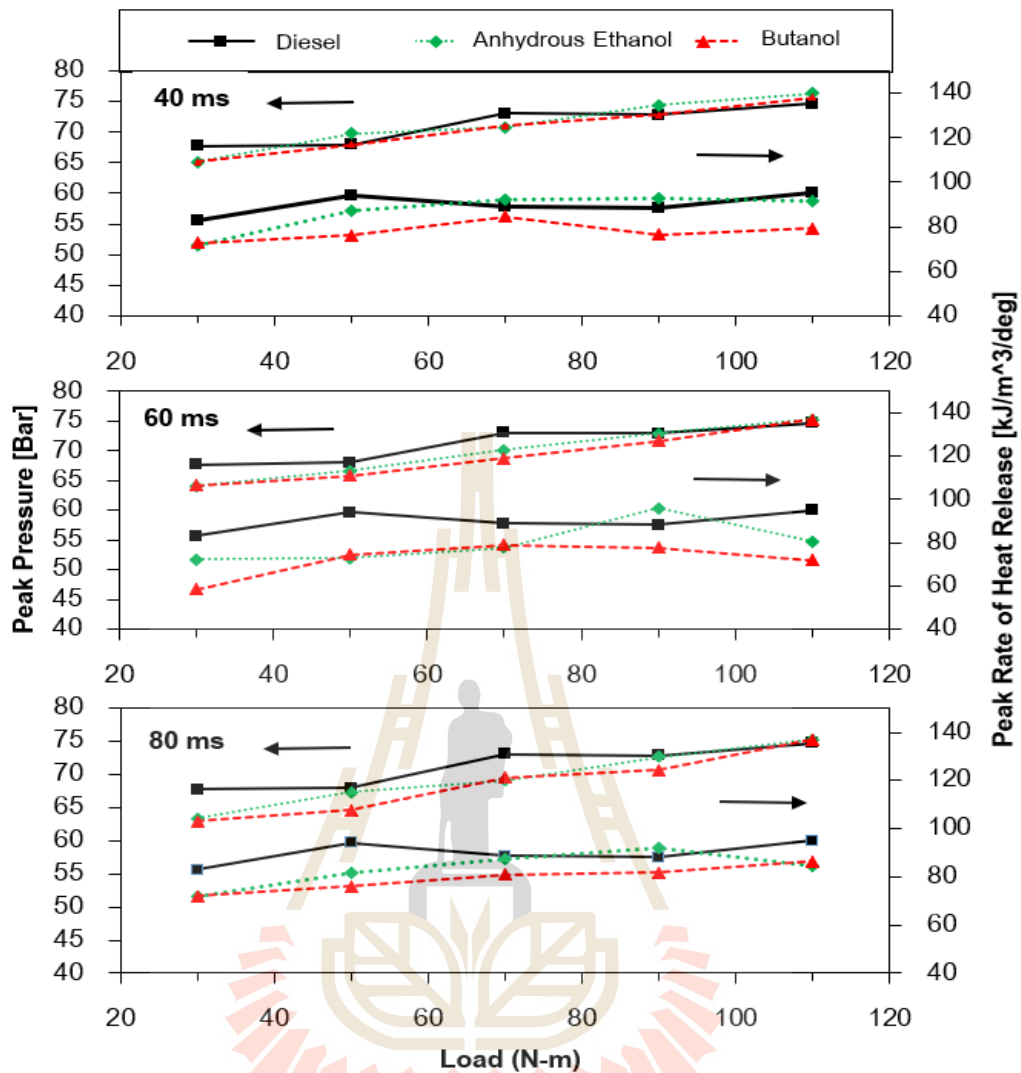
รูปที่ 5.5 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 70 N-m



รูปที่ 5.6 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 90 N-m



รูปที่ 5.7 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 110 N-m

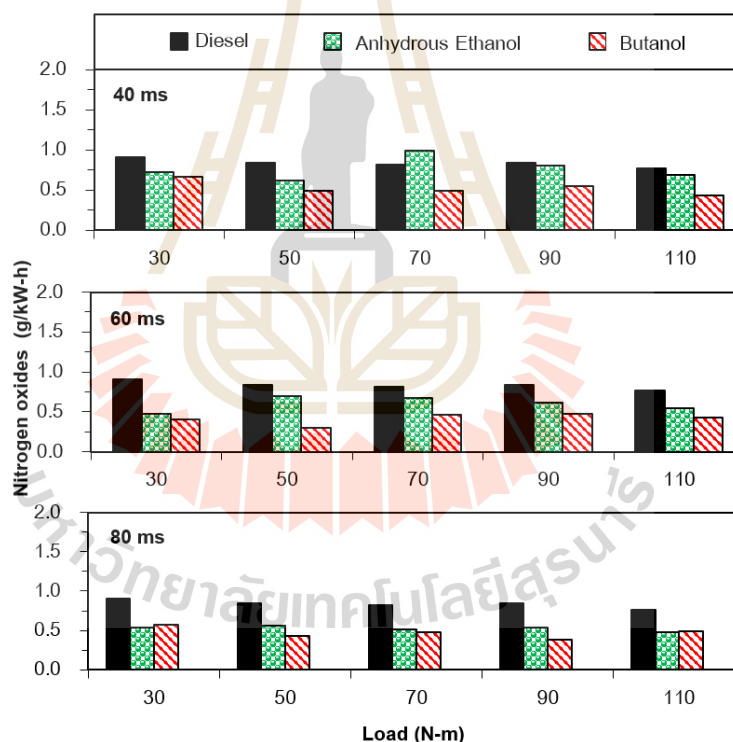


รูปที่ 5.8 ความดันภายในกระบอกสูบสูงสุดและอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด

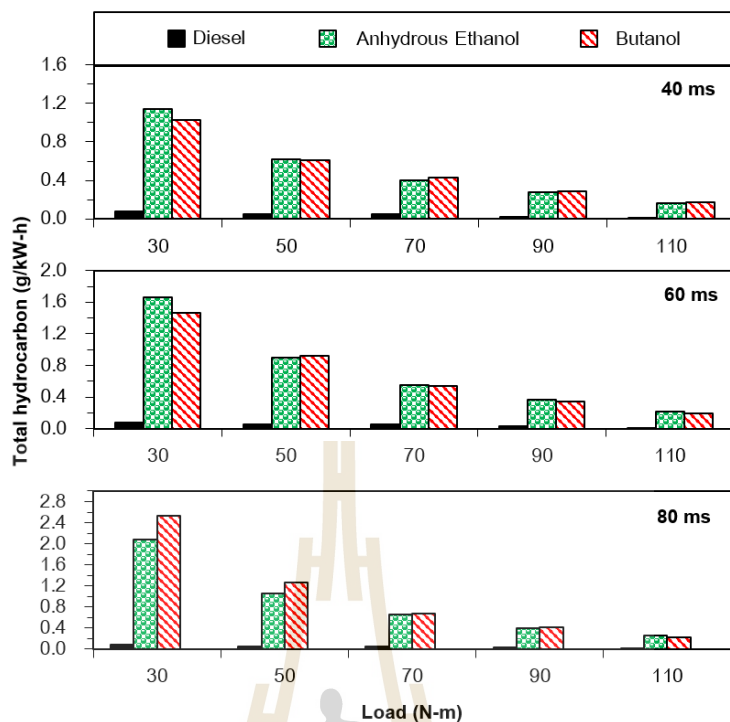
จากรูปที่ 5.3 – 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อน ซึ่งบ่งชี้ถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยจะสังเกตว่าขณะที่เพิ่มภาระกรรมมากขึ้นจะทำให้ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเชื้อเพลิงดีเซล พบว่าขณะที่มีการฉีดเอทานอลร่วมที่ท่อไอดีที่ระยะเวลาการฉีดเท่ากับ 40, 60 และ 80 ms ที่ภาระกรรม 30 Nm จะทำให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มมากขึ้นตามเวลาในการฉีดที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มภาระกรรมเพิ่มขึ้นเป็น 50, 70, 90 และ 110 Nm ตามลำดับ พบว่าความล่าช้าในการจุดระเบิดมีค่าลดลงใกล้เคียงกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซล

เพียงอย่างเดียว เหตุผลเนื่องมาจาก คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอล มีค่าเลขซีเทนที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซลถึง 7 เท่า และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำมากกว่าดีเซลถึง 3 เท่า จึงทำให้การผสมระหว่างเอทานอลกับอากาศมีระยะที่มากขึ้น จากนั้นพิจารณาเปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของการใช้บิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเชื้อเพลิงดีเซล พบว่าขณะที่เพิ่มภาระมากขึ้นจะทำให้ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของการใช้บิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเชื้อเพลิงดีเซล พบว่าขณะที่มีการฉีดเอทานอลร่วมที่ท่อไอดีที่ระยะเวลาการฉีดเท่ากับ 40, 60 และ 80 ms ที่ทุกภาระจะทำให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มมากขึ้น ยกเว้นที่ภาระ 70 Nm ที่จะมีการจุดระเบิดก่อนการใช้เชื้อเพลิงดีเซล

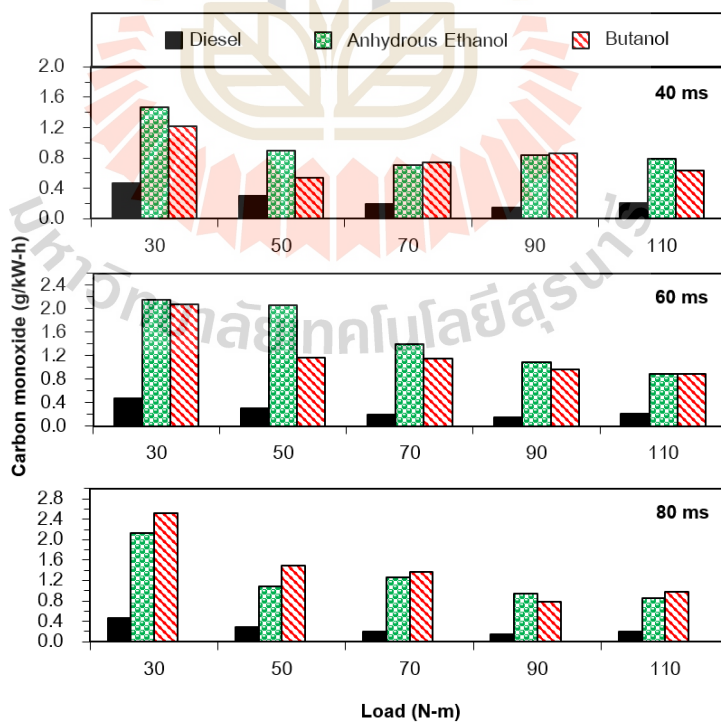
5.3.3 มลพิษไอเสีย



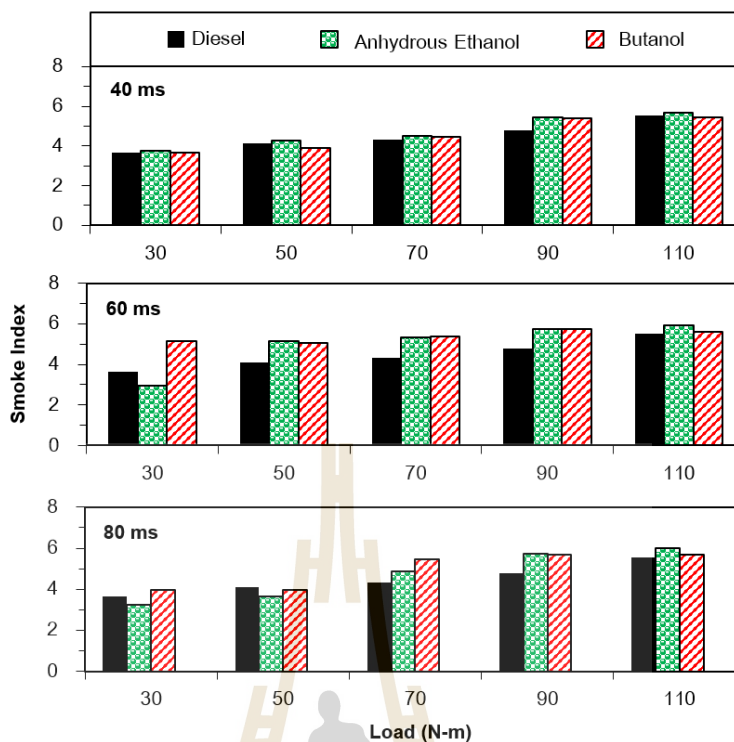
รูปที่ 5.9 ไนโตรเจนออกไซด์กับภาระ



รูปที่ 5.10 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม



รูปที่ 5.11 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม



รูปที่ 5.12 เหม่าควันค่ากับการกระกรรม

ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีองค์ประกอบหลักๆ ประกอบด้วยไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ปนอยู่เป็นส่วนใหญ่ จากรูปที่ 5.9 พบว่า เมื่อเพิ่มการกระกรรมให้กับเครื่องยนต์ปริมาณของ NO_x จะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิการเผาไหม้ และความดันในกระบอกสูบที่สูงขึ้น เมื่อใช้เชื้อเพลิงออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า มีปริมาณ NO_x ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงออกซิเจนที่มีค่าสูงทำให้การเปลี่ยนสถานะของเชื้อเพลิงออกซิเจนจากของเหลวกลายเป็นไอต้องใช้พลังงานความร้อนที่สูงส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่าลดลง

ไฮโดรคาร์บอน (HC) เป็นมลพิษไอเสียซึ่งเกิดจากอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ และไอเสียที่มีความเข้มข้นทำให้เกิดการขาดออกซิเจน ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จากรูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าปริมาณ HC ที่การกระกรรมต่ำจะมีค่าสูงกว่าที่การกระกรรมสูง เนื่องจากที่การกระกรรมต่ำจะมีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ต่ำ ประกอบกับความล่าช้าในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงออกซิเจน ส่งผลให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่สั้น จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ถือว่าเป็นมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ โดยเกิดขึ้นเมื่อสารผสมหนาทำให้มีออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะเผาไหม้คาร์บอนทั้งหมดในเชื้อเพลิงให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งจากผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5.11 พบว่า การเพิ่มการกระ

กรรมให้กับเครื่องยนต์ส่งผลให้ CO มีปริมาณลดลง เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า CO มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงที่มากขึ้น เนื่องจากความล่าช้าในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงออกซิเจน ทำให้ลดระยะเวลาในการเผาไหม้ในหนึ่ง วัฏจักรมีค่าลดลง

เขม่าควันดำที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล ดังรูปที่ 5.12 พบว่า การใช้เชื้อเพลิงออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมก่อให้เกิดเขม่าควันดำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล สาเหตุน่าจะมาจากเชื้อเพลิงออกซิเจนมีสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile organic compounds) เป็นองค์ประกอบจึงทำให้เกิดเขม่าควันดำเพิ่มมากขึ้น

5.4 สรุปผลการวิจัย

จากศึกษาการใช้เชื้อเพลิงเชื้อเพลิงออกซิเจน ได้แก่ เอทานอลความบริสุทธิ์สูง บิวทานอล เป็นเชื้อเพลิงร่วมสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยการฉีดเข้าไปยังท่อร่วมไอดีที่เวลาในการฉีดเชื้อเพลิง 40, 60 และ 80 ms สามารถสรุปได้ว่า

- 1) การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงร่วมที่ท่อไอดี ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล
- 2) คุณลักษณะการเผาไหม้พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ท่อไอดี ทำให้ความดันภายในกระบอกสูบลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล และมีความล่าช้าในการจุดระเบิดมากกว่าการใช้น้ำมันดีเซล
- 3) การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจนช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) อย่างไรก็ตาม ส่งผลให้ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และเขม่าควันดำ (Smoke) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

บทที่ 6

ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงประเภทอีเทอร์

6.1 บทนำ

เครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปถือว่าเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางไปทั่วโลก สาเหตุเนื่องจากมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูง ความทนทานต่อการใช้งาน และมีความน่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันเครื่องยนต์ดีเซลต้องใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานหลัก ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีแนวโน้มลดลงและจะหมดสิ้นไปในอนาคต ทั้งนี้ยังพบอีกว่าความต้องการใช้พลังงานยังคงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังผลรายงานสถานะการณ์พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ที่คาดการณ์ว่าการใช้พลังงานของประเทศไทยใน ปี พ.ศ. 2561 จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.1 ด้วยเหตุนี้ การวิจัยเพื่อหาแหล่งพลังงานทางเลือก (Alternative fuels) จากวัตถุดิบอื่น ๆ จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้น

โดยบทนี้จะเลือกใช้เชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วม เนื่องจากเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนี้มีองค์ประกอบเชื้อเพลิงเหมือนกันแต่มีโครงสร้างของโมเลกุลที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เชื้อเพลิงทั้งสองยังเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้จากผลิตภัณฑ์ชีวมวล ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเลือกใช้เชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาเชื้อเพลิงทั้งสองนี้ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง สมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษเสียไอเสีย ที่เหมาะสมในการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล

6.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ในขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ๆ คือ การเตรียมเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ การวัดมลพิษไอเสีย และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

6.2.1 การเตรียมเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ขั้นตอนแรกในการดำเนินงานวิจัย เป็นการเตรียมเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการทำทดสอบ โดยการทดลองนี้จะใช้เชื้อเพลิง 3 ชนิดได้แก่ น้ำมันดีเซล ไดเอทิลอีเทอร์ และบิวทานอล ซึ่งในส่วนนี้ได้มีการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	วิธีทดสอบ	น้ำมันดีเซล	บิวทานอล	ไดเอทิลอีเทอร์
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (cSt)	ASTM D445	4.63	3.64	-
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6 °C	ASTM D1298	0.830	-	-
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15.6 °C (kg/m ³)	ASTM D1298	829	810	713
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D93	76	-	-44
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (MJ/kg)	ASTM D240	45.39	33.10	33.9
เลขซีเทน	ASTM D613	53.9 ^[6]	17	>125
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)	-	243 ^[6]	585	355

6.2.2 การทดสอบเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียติดตั้งเข้ากับไดนาโมมิเตอร์ชนิดใช้น้ำเป็นตัวสร้างภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ และมีการแสดงข้อมูลพารามิเตอร์ของเครื่องยนต์ เช่น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น น้ำมันเครื่อง อดี และไอเสีย การวัดอัตราการไหลของอดี การวัดค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยใช้การชั่งมวลของเชื้อเพลิงวัดเทียบกับเวลา ติดตั้งชุดควบคุมความเร็วและโหลดของเครื่องยนต์ผ่านชุดตู้ควบคุม และติดหัวฉีดเชื้อเพลิงร่วมที่ท่อร่วมไอดีร่วมกับชุดควบคุมการฉีด โดยแบ่งการฉีดออกเป็น 3 ช่วงคือ 40, 60 และ 80 ms. เครื่องมือที่ใช้วัดความดันในกระบอกสูบประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความดัน (Pressure Transducer Kistler 6052C) ต่อเข้ากับตัวขยายสัญญาณ (DEWEsoft SIRIUS Data Acquisition) และวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยงโดยชุดวัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยง (Crank Angle Encoder Set Kistler 2164C) ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบต่อนาที ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่ 30, 50, 70, 90 และ 110 นิวตันเมตรตามลำดับ โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซล และใช้น้ำมันเชื้อเพลิงออกซิเจน ได้แก่ ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether, DEE) บิวทานอล (Butanol, BU) สำหรับการฉีดเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง 40, 60 และ 80 ms ตามลำดับ ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ในการทดสอบ ได้แก่ อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เก็บข้อมูลความดันภายในกระบอกสูบและองศาเพลลาข้อเหวี่ยง (1,500 วัฏจักร) และมลพิษไอเสีย ซึ่งประกอบด้วยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC) และเขม่าควันดำ (Smoke)

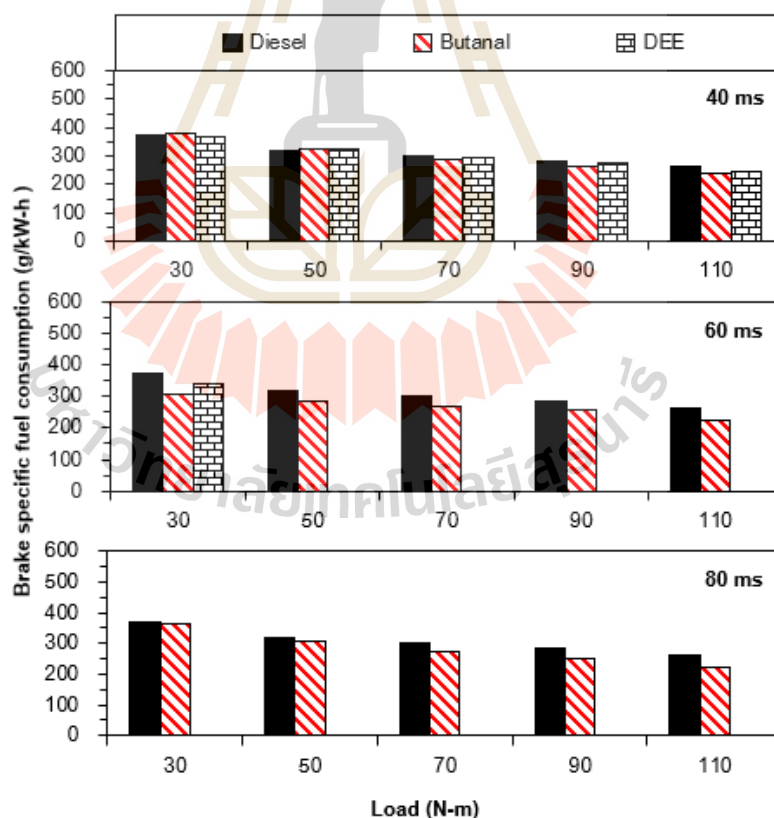
6.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ ได้แก่ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก และข้อมูลการทดสอบความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน เพื่อวิเคราะห์ผลคุณลักษณะการเผาไหม้ของการทดสอบร่วมกับน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด และวัดค่าปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ จากนั้นนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

6.3 ผลการทดสอบและอภิปรายผล

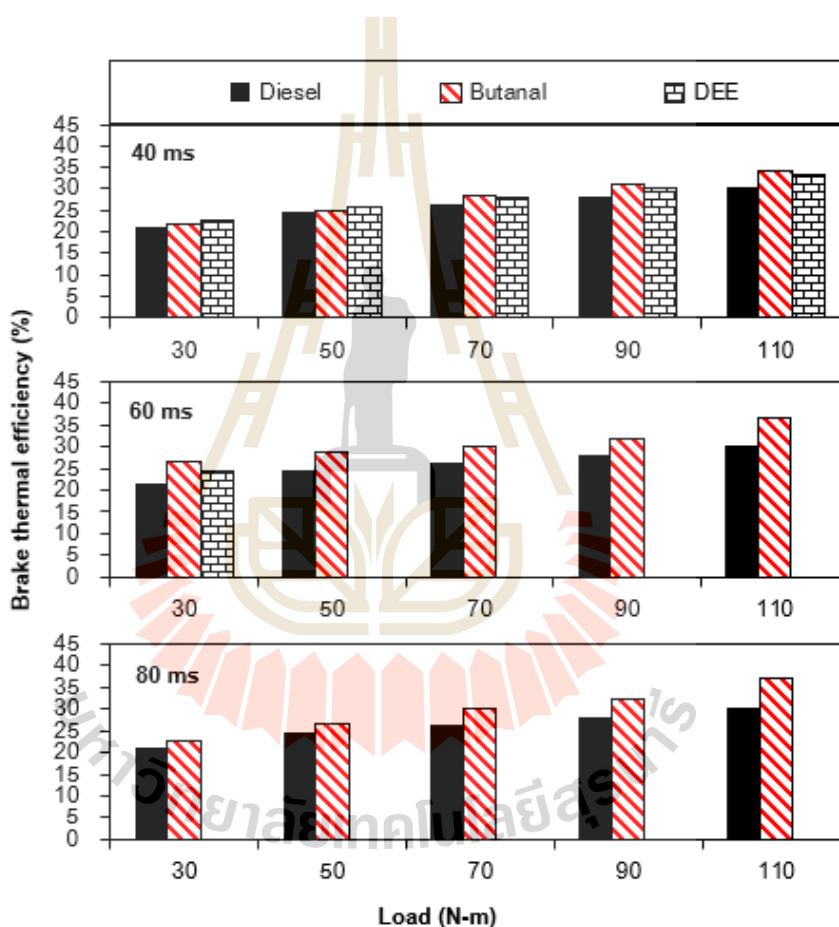
ผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และผลตรวจวัดมลพิษไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซล และเชื้อเพลิงออกซิเจน (ไดเอทิลอีเทอร์, บิวทานอล) ซึ่งแสดงผลการทดสอบดังต่อไปนี้

6.3.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์



รูปที่ 6.1 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับภาระกรรม

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC) คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวลต่อกำลังหนึ่งหน่วยที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ภายในระยะเวลาหนึ่งหน่วยโดยจากรูปที่ 6.1 สังเกตได้ว่า BSFC มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลกับการใช้เชื้อเพลิง บิวทานอล และ ไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า BSFC มีแนวโน้มลดลงขณะเพิ่มภาระกรรม เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ที่ในการฉีดเชื้อเพลิงร่วมที่ 40 และ 60 ตามลำดับ จากนั้นเปรียบเทียบ BSFC ของการใช้เชื้อเพลิง บิวทานอล และ ไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่าเชื้อเพลิงทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน

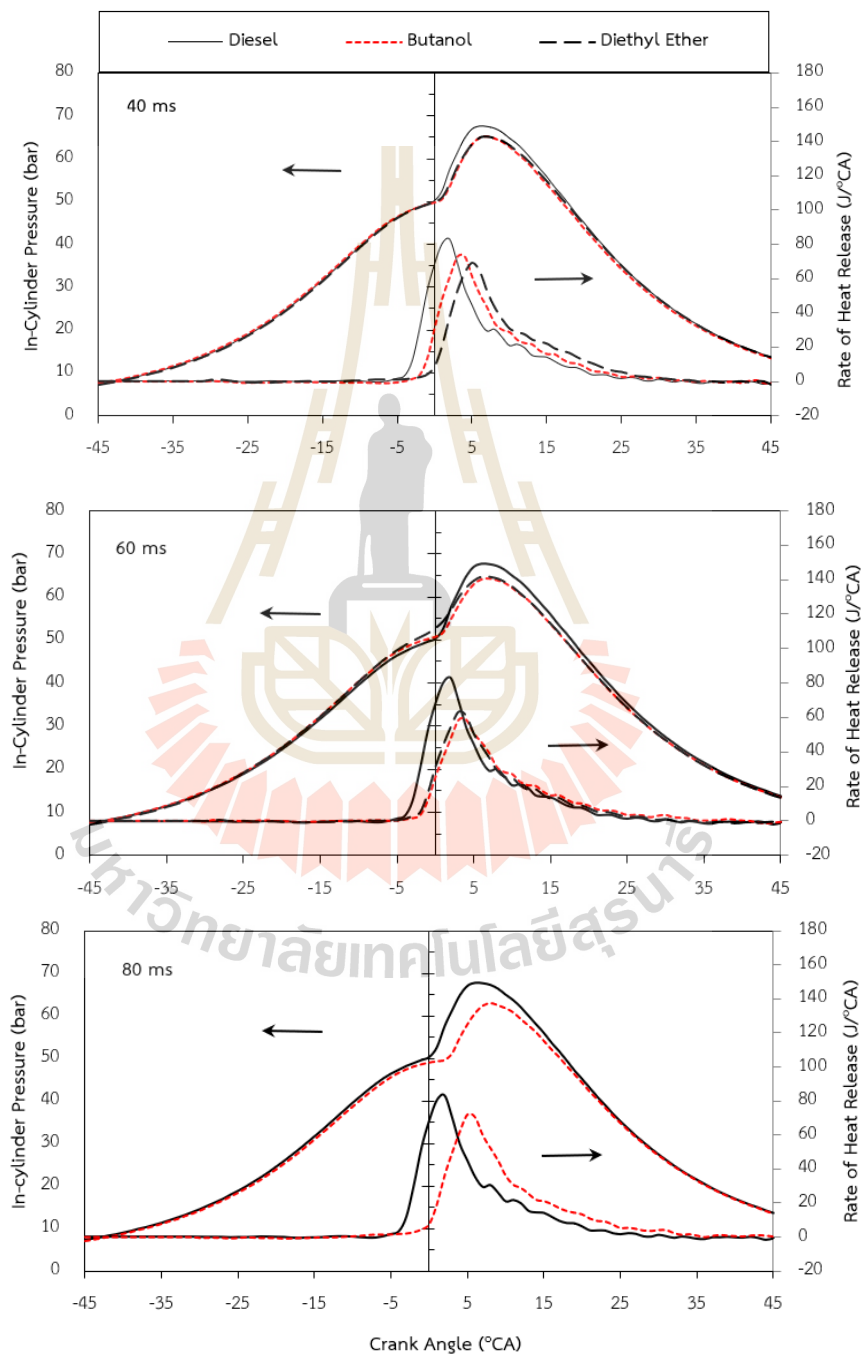


รูปที่ 6.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกกับภาระกรรม

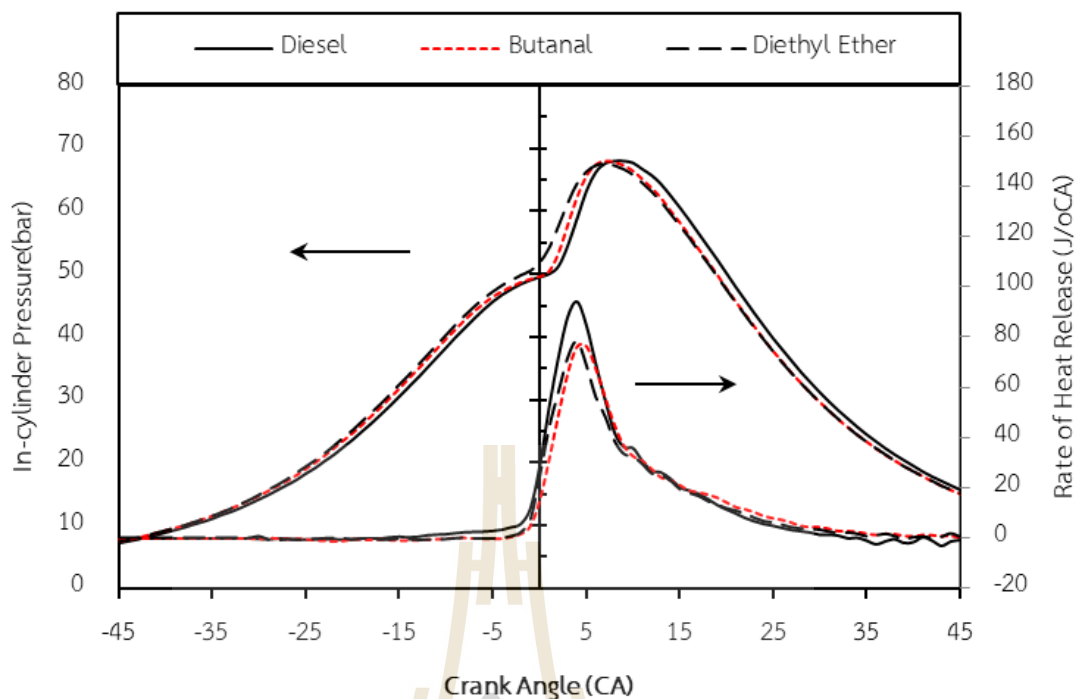
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) คือ ความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล จากรูปที่ 6.2 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของภาระกรรมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ BTE ของน้ำมันดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิง บิวทานอล และ ไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการฉีดเชื้อเพลิงมากขึ้น ประสิทธิภาพ

เชิงความร้อนเบรกจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซล เนื่องจากเชื้อเพลิงบิวทานอล และ ไดเอทิลอีเทอร์ มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

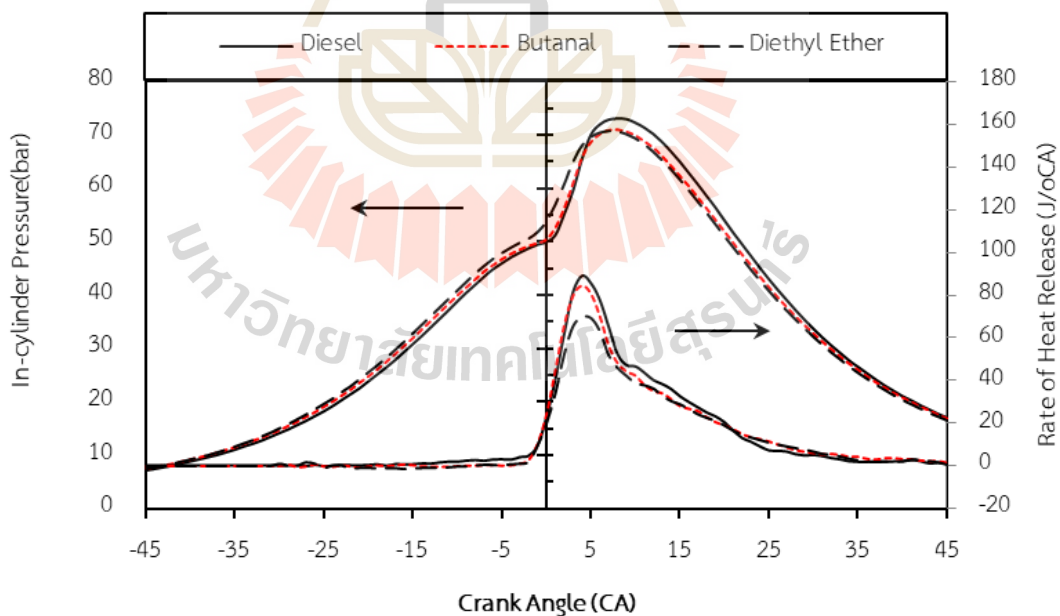
6.3.2 คุณลักษณะการเผาไหม้



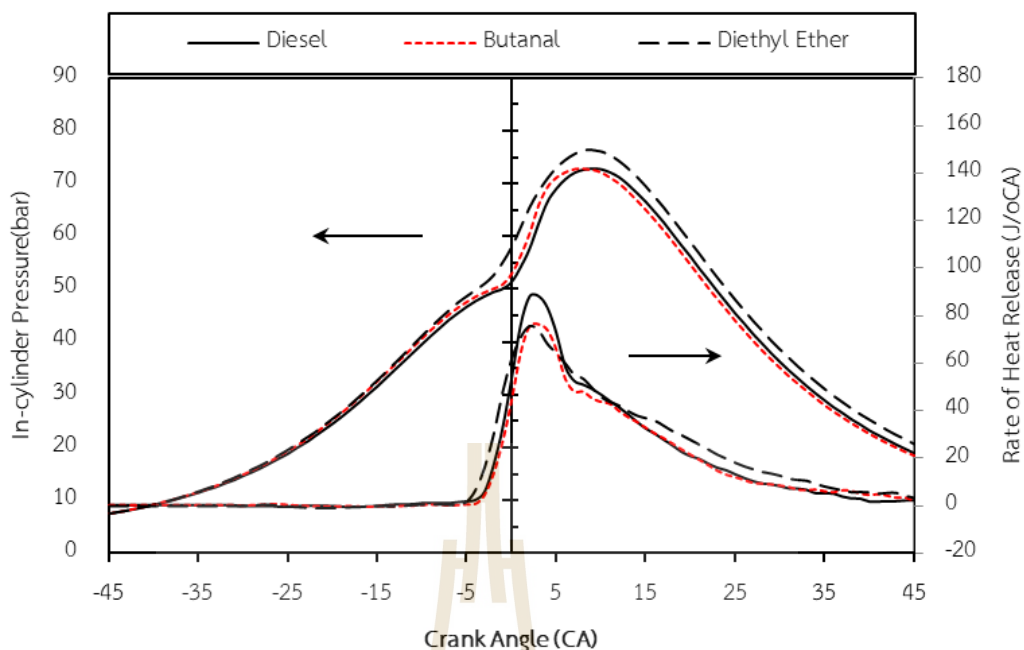
รูปที่ 6.3 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 30 N-m



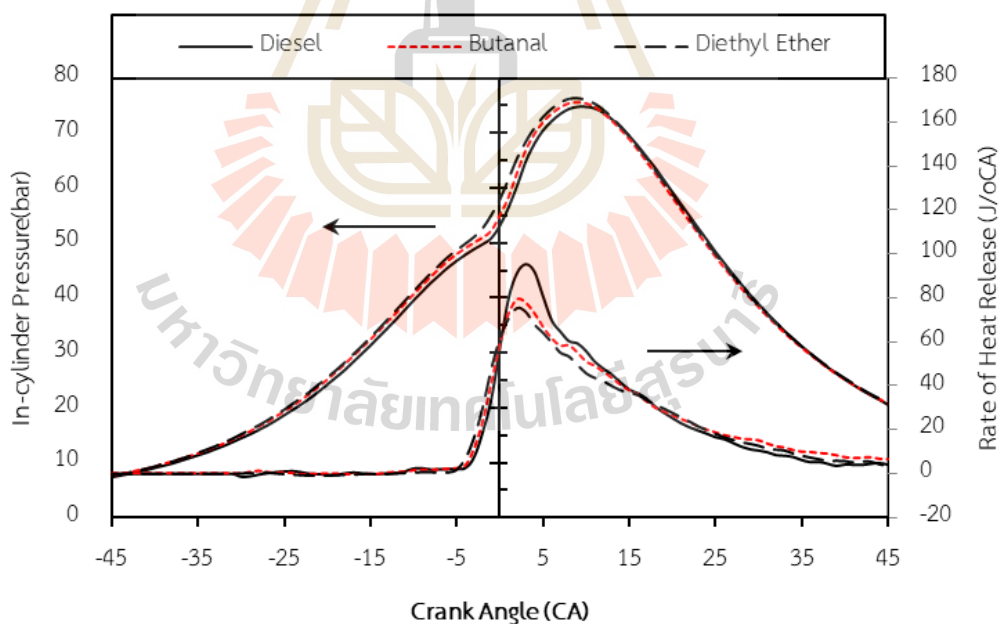
รูปที่ 6.4 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 50 N-m



รูปที่ 6.5 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 70 N-m



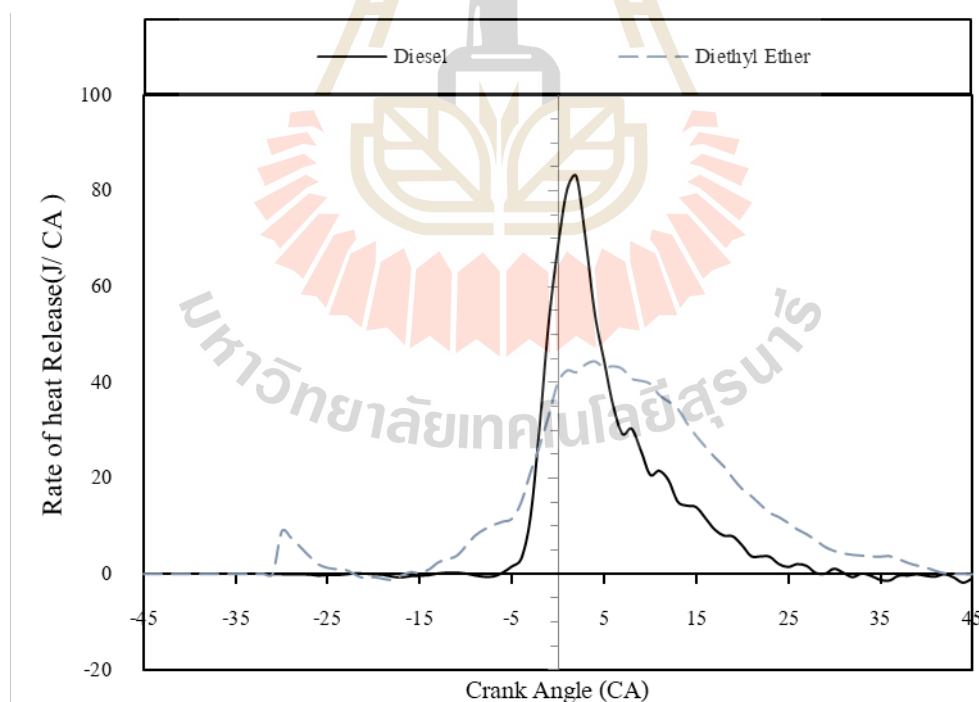
รูปที่ 6.6 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 90 N-m



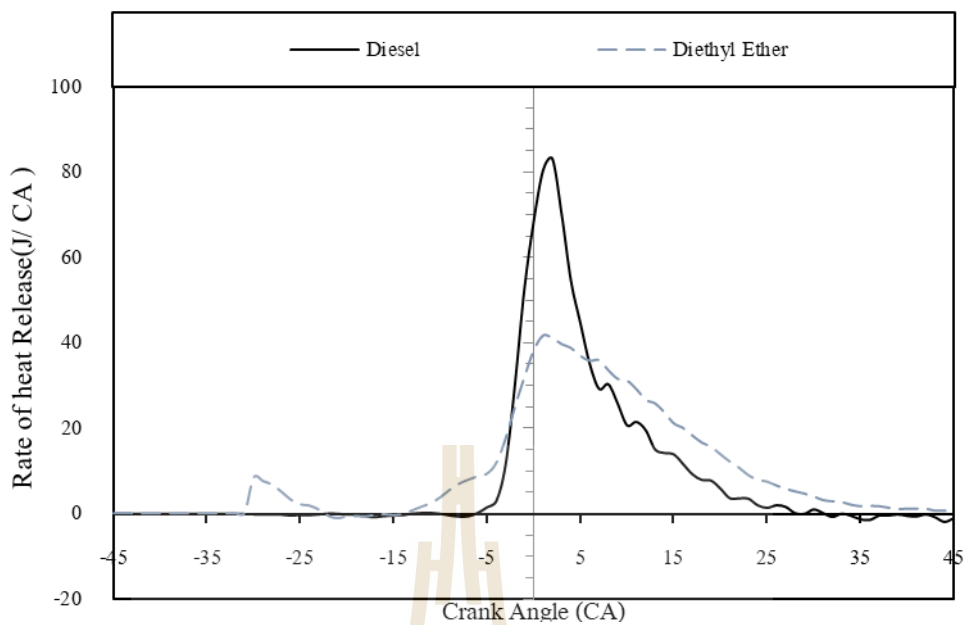
รูปที่ 6.7 ความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 110 N-m

ความดันภายในกระบอกสูบ (ICP) และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (ROHR) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการบ่งชี้ถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้น

ภายในห้องเผาไหม้ ดังรูปที่ 6.3 - 6.7 แสดงความดันภายในกระบอกสูบสูงสุดและอัตราการปลดปล่อยความร้อนจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์จะส่งผลให้ ICP และ ROHR มีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความดันภายในกระบอกสูบสูงสุดในแต่ละภาระกรรมพบว่า ความดันในกระบอกสูบสูงสุดของน้ำมันดีเซลจะมีแนวโน้มมากกว่าเชื้อเพลิงออกซิเจน นอกจากนี้การใช้เชื้อเพลิงบิวทานอล และ ไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงร่วมจะมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ในช่วงภาระกรรมที่ต่ำ และจะมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดใกล้เคียงการใช้น้ำมันดีเซลที่ภาระกรรมสูง โดยช่วงเวลาในการฉีด 40 ms ที่ภาระกรรมต่ำจะส่งผลให้ความล่าช้าในการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงบิวทานอล และ ไดเอทิลอีเทอร์ เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์สามารถทดสอบการใช้เชื้อเพลิง ไดเอทิลอีเทอร์ (DEE) เป็นเชื้อเพลิงร่วมในการฉีดได้เฉพาะช่วงเวลารฉีดเชื้อเพลิงที่ 40 ms เท่านั้น เนื่องจากเครื่องยนต์เกิดการชิงจุดระเบิดก่อน โดยสาเหตุหลักน่าจะมาจากค่าเลขซีเทนที่สูงของไดเอทิลอีเทอร์ ส่งผลให้เครื่องยนต์เกิดการชิงจุดระเบิด ดังรูปที่ 6.8-6.9 (ดังนั้นจึงไม่ได้แสดงผลในการเพิ่มช่วงเวลารฉีดเชื้อเพลิงที่ 60 และ 80 ms)

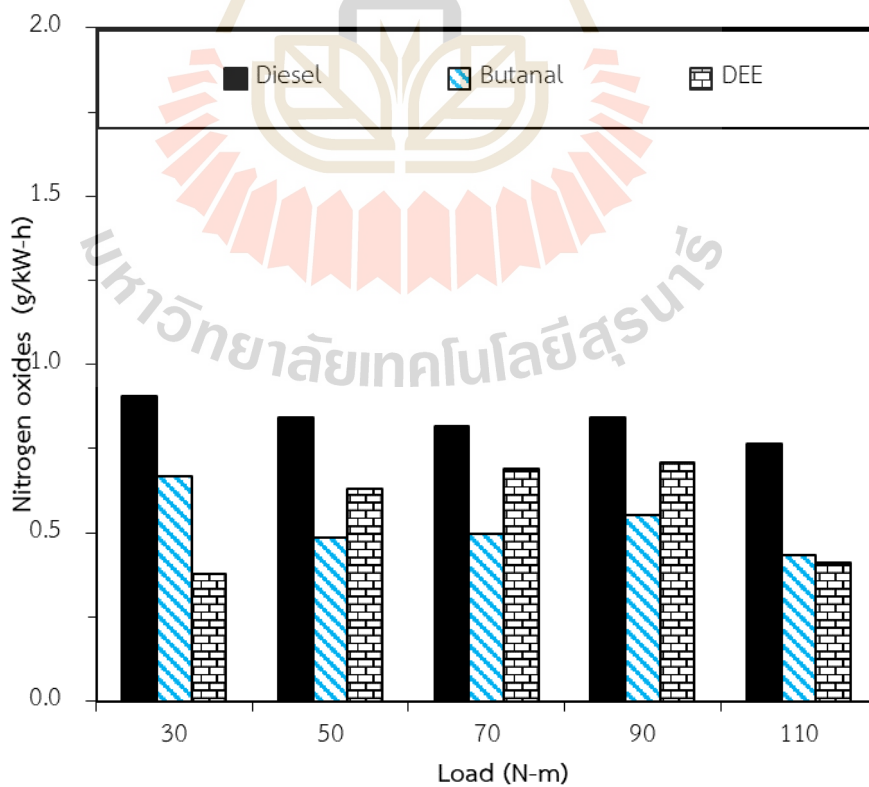


รูปที่ 6.8 อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 30 N-m

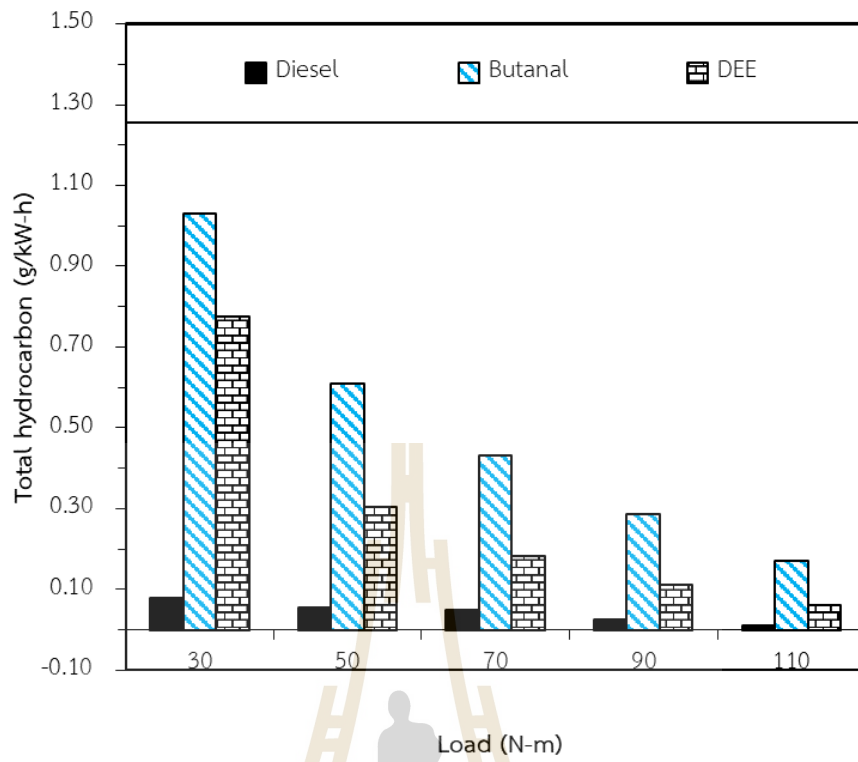


รูปที่ 6.9 อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ภาระกรรม 50 N-m

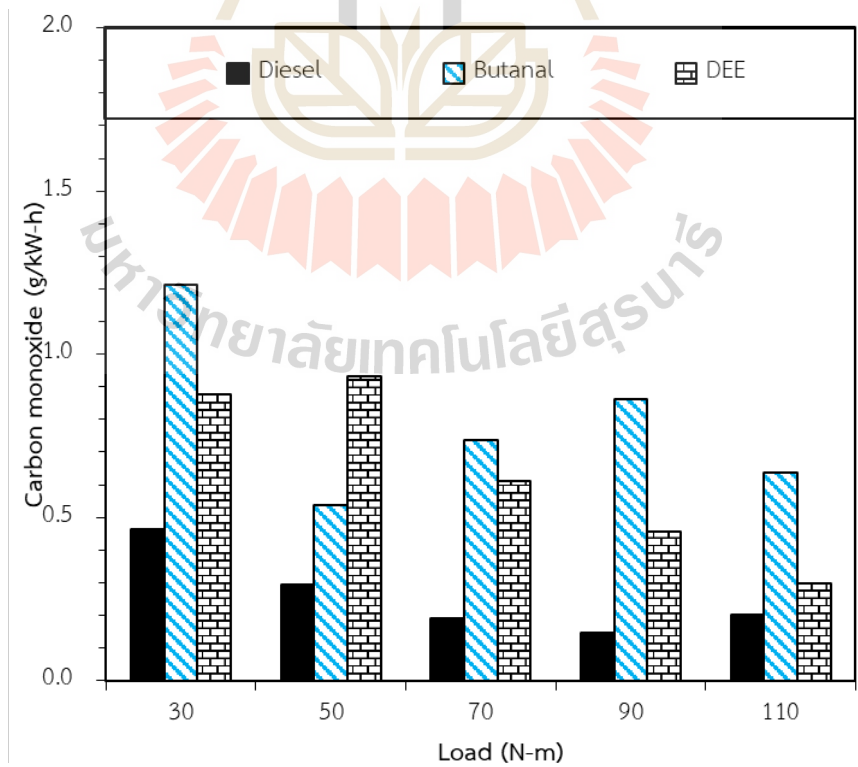
6.3.3 มลพิษไอเสีย



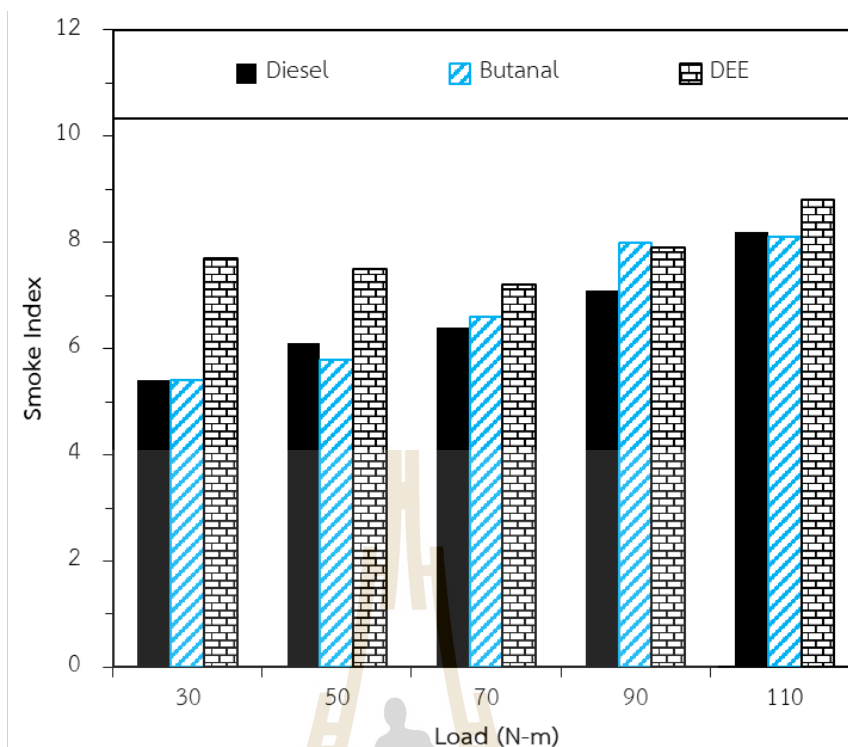
รูปที่ 6.10 ไนโตรเจนออกไซด์กับภาระกรรม



รูปที่ 6.11 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม



รูปที่ 6.12 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม



รูปที่ 6.13 เชม่าควันดำกับภาระกรรม

ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีองค์ประกอบหลัก ๆ ประกอบด้วยไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ปนอยู่เป็นส่วนน้อยจากรูปที่ 6.10 พบว่า เมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ปริมาณของ NO_x จะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิการเผาไหม้ และความดันในกระบอกสูบที่สูงขึ้น เมื่อใช้เชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า มีปริมาณ NO_x ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ ที่มีค่าสูงทำให้การเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอต้องใช้พลังงานความร้อนที่สูงส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่าลดลง

ไฮโดรคาร์บอน (HC) เป็นมลพิษไอเสียซึ่งเกิดจากอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ และไอเสียที่มีความเข้มข้นทำให้เกิดการขาดออกซิเจน ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จากรูปที่ 6.11 จะเห็นได้ว่าปริมาณ HC ที่ภาระกรรมต่ำจะมีค่าไฮโดรคาร์บอน (HC) สูง เนื่องจากที่ภาระกรรมต่ำจะมีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ต่ำ ประกอบกับความล่าช้าในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ ส่งผลให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่สั้น จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ถือว่าเป็นมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ โดยเกิดขึ้นเมื่อสารผสมหนาทำให้มีออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะเผาไหม้คาร์บอนทั้งหมดใน

เชื้อเพลิงให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งจากผลการทดสอบ ดังรูปที่ 6.12 พบว่า การเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ส่งผลให้ CO มีปริมาณลดลง เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า CO มีปริมาณลดลงตามภาระกรรมที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความล่าช้าในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ ทำให้ลดระยะเวลาในการเผาไหม้ในหนึ่งวัฏจักรมีค่าลดลง

เขม่าควันดำที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล ดังรูปที่ 6.13 พบว่า การใช้เชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมก่อให้เกิดเขม่าควันดำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล สาเหตุน่าจะมาจากเชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ มีสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile organic compounds) เป็นองค์ประกอบจึงทำให้เกิดเขม่าควันดำเพิ่มมากขึ้น

6.4 สรุปผลการวิจัย

จากศึกษาการใช้เชื้อเพลิงเชื้อเพลิงออกซิเจน ได้แก่ บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยการฉีดเข้าไปยังท่อร่วมไอดีที่เวลาในการฉีดเชื้อเพลิงต่าง ๆ สามารถสรุปได้ว่า

- 1) การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล
- 2) คุณลักษณะการเผาไหม้พบว่า เมื่อนัดเชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ท่อไอดี ทำให้ความดันภายในกระบอกสูบลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล
- 3) คุณลักษณะการเผาไหม้พบว่า เมื่อนัดเชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ท่อไอดีที่เวลาการฉีด 40 ms ที่ภาระกรรมต่ำจะทำให้เกิดความล่าช้าของการจุดระเบิดของเมื่อนัดเชื้อเพลิงบิวทานอล และ ไดเอทิลอีเทอร์เมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซล
- 4) การฉีดเชื้อเพลิงบิวทานอล และ ไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ท่อไอดีช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) อย่างไรก็ตาม ส่งผลให้ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และเขม่าควันดำ (Smoke) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

5) การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ท้อไอดีมากขึ้น 60 และ 80 ms และเพิ่มภาระกรรมสูงขึ้นจะทำให้เครื่องยนต์เกิดการสั่นและเครื่องยนต์เกิดการ สะดุดเดินเครื่องไม่เรียบจนไม่สามารถดำเนินการทดสอบได้



บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

7.1.1 ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

จากการศึกษาและวิจัยการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดในปัจจัยด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ และมลพิษไอเสีย ด้วยการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เข้าที่ท่อร่วมไอดีในช่วงเวลาการฉีดที่ 20, 40, 60, 80 และ 100 ms ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่ 25 และ 75 Nm โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วม ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง

สำหรับการตรวจวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบที่ได้ทำการตรวจวัดประกอบไปด้วยความหนืดจลนศาสตร์ ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น จุดวาบไฟ การกลั่น คัชนิซีเทน และค่าความร้อนเชื้อเพลิง โดยทดสอบภายใต้มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM)

2. สมรรถนะของเครื่องยนต์

จากการวิจัยโดยการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ซึ่งได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยการทดสอบด้วยระยะเวลาการฉีดต่าง ๆ ดังกล่าวมาข้างต้น และทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์จากพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ซึ่งสามารถกล่าวสรุปได้ดังนี้

สมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลที่ภาระกรรมการทำงานของเครื่องยนต์ 25 Nm ในทุกช่วงเวลาการฉีด จากนั้นเมื่อเพิ่มภาระกรรมการทำงานของเครื่องยนต์ 75 Nm พบว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซลในทุกช่วงเวลาการฉีด

และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ของการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมทั้งนี้พบว่า ในทุกช่วงเวลาการฉีด มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกล้นน้อยกว่าการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ในทุกภาวะการทำงานของเครื่องยนต์

3. มลพิษไอเสียของเครื่องยนต์

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

เมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า มีปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และควันดำ (Smoke) ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล และไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะมีความมากขึ้นเมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมเทียบกับน้ำมันดีเซล

7.1.2 ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงเอทานอลและบิวทานอลที่ท่อร่วมไอดีต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

จากการศึกษาและวิจัยการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล และบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ในปีวิจัยด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย ด้วยการฉีดเชื้อเพลิงเอทานอล และบิวทานอลเข้าที่ท่อร่วมไอดีในช่วงเวลาการฉีดที่ 40, 60 และ 80 ms ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระกรรมที่ต่าง ๆ โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ เพื่อศึกษาผลกระทบในการฉีดเชื้อเพลิงเอทานอลและบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วม ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง

สำหรับการตรวจวัดคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบที่ได้ทำการตรวจวัดประกอบไปด้วยความหนืดจลนศาสตร์ ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่น จุดวาบไฟ การกลั่น ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนเชื้อเพลิง โดยทดสอบภายใต้มาตรฐานการทดสอบของสมาคมการทดสอบและวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (ASTM)

2. สมรรถนะของเครื่องยนต์

จากการวิจัยโดยการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล และบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ซึ่งได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยการทดสอบด้วยระยะเวลาการฉีดต่าง ๆ ดังกล่าวมาข้างต้น และทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของ

เครื่องยนต์จากมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ซึ่งสามารถกล่าวสรุปได้ดังนี้

สมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล และบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงเอทานอล และบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระกรรมการทำงานของเครื่องยนต์ ในทุกช่วงเวลาคาร์นิต โดยบิวทานอลจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเอทานอล และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ของการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล และบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมทั้งนี้พบว่า ในทุกช่วงเวลาคาร์นิต มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกมากกว่าการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลในทุกภาระกรรมการทำงานของเครื่องยนต์ โดยบิวทานอลจะมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับเอทานอล

3. คุณลักษณะการเผาไหม้

สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบต่าง ๆ นั้น ประกอบไปด้วย ความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน ซึ่งจากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

จากการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล และบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาการนิตมากขึ้น ทำให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิด และมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดที่มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ทั้งนี้เมื่อเพิ่มภาระกรรมการทำงานของเครื่องยนต์ขึ้น ทำให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดลดลง และมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดที่มีค่ามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

4. มลพิษไอเสียของเครื่องยนต์

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

เมื่อใช้เชื้อเพลิงเอทานอล และบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า มีปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยบิวทานอลจะลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับเอทานอล และไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำ (Smoke) จะมีค่ามากขึ้นเมื่อใช้เชื้อเพลิงเอทานอล และบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมเทียบกับดีเซล

7.1.3 ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงบิวทานอลและไดเอทิลอีเทอร์ที่ต่อรวมไอดีต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

จากการวิจัยโดยการใช้เชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ซึ่งได้ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยการทดสอบด้วยระยะเวลาการฉีดต่าง ๆ ดังกล่าวมาข้างต้น และทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์จากมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ซึ่งสามารถกล่าวสรุปได้ดังนี้

1. สมรรถนะของเครื่องยนต์

จากการใช้เชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงร่วมมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลทุกภาระการทำงานของเครื่องยนต์ ในช่วงเวลาการฉีดที่ 40 ms เนื่องจากการฉีดไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงร่วม 60 และ 80 ms ส่งผลให้เครื่องยนต์เกิดการสันจากการทำงานจุดระเบิดจนไม่สามารถทดสอบผลได้ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ของการใช้เชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงร่วมทั้งนี้พบว่า ในช่วงเวลาการฉีด 40 ms มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกมากกว่าการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลในทุกภาระการทำงานของเครื่องยนต์ โดยบิวทานอลจะมีค่าใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบกับไดเอทิลอีเทอร์

2. คุณลักษณะการเผาไหม้

สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบต่าง ๆ นั้น ประกอบไปด้วยความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยความร้อน ซึ่งจากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

จากการใช้เชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่าที่ระยะเวลาการฉีด 40 ms ที่ภาระการทำงานของเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดลดลง และมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดที่มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล และมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดของไดเอทิลอีเทอร์มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับบิวทานอล

3. มลพิษไอเสียของเครื่องยนต์

ผลการตรวจวัดมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียสำหรับการตรวจวัดปริมาณการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจวัด

ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำ (Smoke) โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

เมื่อใช้เชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงร่วม พบว่ามีปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยไดเอทิลอีเทอร์จะลดลงมากกว่าเมื่อเทียบกับบิวทานอล และไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำ (Smoke) จะมีค่ามากขึ้นเมื่อใช้เชื้อเพลิงบิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงร่วมเทียบกับน้ำมันดีเซล

7.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการงานวิจัยนี้เป็นการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เอทานอล บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมโดยการฉีดเข้าที่ท่อร่วมไอดี โดยการมีการฉีดแบบเวลาคงที่ ซึ่งในอนาคตจำเป็นต้องมีการศึกษาของสาขาของการฉีดเชื้อเพลิงร่วม เพื่อความเหมาะสมในการฉีด และเปรียบเทียบผลการศึกษาผลกระทบ ในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์

สำหรับการงานวิจัยนี้ในอนาคตอาจทำการศึกษารูปแบบการฉีดเชื้อเพลิงร่วมแบบการฉีดตรงในห้องเผาไหม้ เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างความดันในการฉีด เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาผลกระทบ ในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์

สำหรับการงานวิจัยนี้ในอนาคตอาจทำการศึกษารูปแบบการปรับเปลี่ยนองศาการเปิด-ปิดวาล์วไอดี-ไอเสีย อกษาในการฉีดเชื้อเพลิงหลัก เพื่อความเหมาะสมในการฉีดเชื้อเพลิงร่วม และศึกษาความแตกต่างระหว่างความดันในการฉีด เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาผลกระทบ ในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์

รายการอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560), **คู่มือการพัฒนาและลงทุนการผลิตเอทานอล**. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/04/2561.
- ชัยยง ศิริพรมงคลชัย (2558). **เครื่องยนต์สันดาปภายใน**, กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- วรวิภา จุฬาลักษณ์นกุล (2558). **เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยตัวเร่งชีวภาพ**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์ข้อมูลพลังงานไทย กระทรวงพลังงาน (2560), **ปริมาณและมูลค่าการนำเข้า ส่งออก น้ำมันเชื้อเพลิง**. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 25/011/2560.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560), **สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้าของไทย ช่วง 8 เดือนแรกของปี 2560**. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 12/02/2561.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน (2560), **สถานการณ์พลังงานปี 2560 และแนวโน้มปี 2561**. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/10/2561.
- สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย (2018). **กระบวนการผลิตเอทานอล**, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.thai-ethanol.com>, เข้าดูเมื่อวันที่ 6/05/2561.
- สมเกียรติ หมายถมกลาง (2560). **การใช้น้ำมันขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Atmanli, A. and N. Yilmaz (2018). "A comparative analysis of n-butanol/diesel and 1-pentanol/diesel blends in a compression ignition engine." **Fuel**. 234: 161-169.
- Awad, O. I., et al. (2018). "The impacts of compression ratio on the performance and emissions of ice powered by oxygenated fuels." **Journal of the Energy Institute**. 91(1):19-32.
- A. Tsolakis, A. Megaritis, M.L. Wyszynski, K. Theinnoi, Engine performance and emissions of a diesel engine operating on diesel-RME (rapeseed methyl ester) blends with EGR (exhaust gas recirculation), **Energy**. 32 (2007) 2072-80.

- Aleiferis, P. G., et al. (2010). "Mechanisms of spray formation and combustion from a multi-hole injector with E85 and gasoline." **Combustion and Flame**. 157(4): 735-756.
- A.V. Bueno, M.P.B. Pereira, J.V. de Oliveira Pontes, F.M.T. de Luna, C.L. Cavalcante, Performance and emissions characteristics of castor oil biodiesel fuel blends, **Applied Thermal Engineering**. 125 (2017) 559-566.
- B. Ndaba, I. Chiyanzu, S. Marx, n-Butanol derived from biochemical and chemical routes: a review. **Biotechnol Rep**. 8 (2015) 1-9.
- Cinar, C., et al. (2010). "Effects of premixed diethyl ether (DEE) on combustion and exhaust emissions in a HCCI-DI diesel engine." **Applied Thermal Engineering**. 30(4): 360-365.
- Çelebi, Y. and H. Aydın (2019). "An overview on the light alcohol fuels in diesel engines." **Fuel**. 236: 890-911.
- Christensen, E., et al. (2011). "Renewable Oxygenate Blending Effects on Gasoline Properties." **Energy & Fuels**. 25(10): 4723-4733.
- C.K. Westbrook, W.J. Pitz, H.J. Curran, Chemical kinetic modeling study of the effects of oxygenated hydrocarbons on soot emissions from diesel engines, **J Phys Chem A**. 110 (2006) 6912–22.
- Demirbas, A. (2005). "Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass." **Energy Sources**. 27(4): 327-337.
- D.C. Rakopoulos, C.D. Rakopoulos, R.G. Papagiannakis, D.C. Kyritsis, Combustion heat release analysis of ethanol or n-butanol diesel fuel blends in heavy-duty DI diesel engine, **Fuel**. 90 (2011) 1855-1867.
- D.C. Rakopoulos, C.D. Rakopoulos, E.G. Giakoumis, A.M. Dimaratos, D.C. Kyritsis, Effects of butanol-diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine," **Energy Convers Manage**. 51 (2010) 1989-97.
- E. Sukjit, J.M. Herreros, K.D. Dearn, R. García-Contreras, A. Tsolakis, The effect of addition of individual methyl esters on the combustion and emissions of ethanol and butanol-diesel blends, **Energy**. 42 (2012) 364-374.
- E. Sukjit, J.M. Herreros, J. Piaszyk, K.D. Dearn, A. Tsolakis, Finding synergies in fuels properties for the design of renewable fuels — hydroxylated biodiesel effects on butanol-diesel blends, **Environ Sci Technol**. 47 (2013) 3535-3542.

- E. Sukjit, J.M. Herreros, K. Dearn, A. Tsolakis, Improving ethanol-diesel blend through the use of hydroxylated biodiesel, **SAE Tech. Pap.** 2014-01-2776 (2014).
- E. Sukjit, P. Liplap, S. Maithomklang, W. Arjharn, Experimental investigation on a DI diesel engine using waste plastic oil blended with oxygenated fuels, **SAE Tech. Pap.** 2017-24-0116 (2017).
- E. Sukjit, et al. (2014). Improving Ethanol-Diesel Blend Through the Use of Hydroxylated Biodiesel. **SAE Technical Paper Series.**
- engine operating with EGR and oxidation catalyst." *Applied Thermal Engineering* 28(13): 1589-1595.
- Geo, V. E., et al. (2010). "Studies on improving the performance of rubber seed oil fuel for diesel engine with DEE port injection." **Fuel.** 89(11): 3559-3567.
- Geo, V. E., et al. (2017). "Studies on performance, combustion and emission of a single cylinder diesel engine fuelled with rubber seed oil and its biodiesel along with ethanol as injected fuel." **Fuel.** 209: 733-741.
- Heywood, J. B. (1988). "Internal Combustion Engine Fundamentals."
- Huang, H., et al. (2019). "Effects of EGR rates on combustion and emission characteristics in a diesel engine with n-butanol/PODE3-4/diesel blends." **Applied Thermal Engineering.** 146: 212-222.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals.* McGraw-Hill, New York.
- Ibrahim, A. (2016). "Investigating the effect of using diethyl ether as a fuel additive on diesel engine
- Killol, A., et al. (2019). "Experimental studies of a diesel engine run on biodiesel n-butanol blends." **Renewable Energy.** 135: 687-700.
- Kumar, S., et al. (2013). "Advances in diesel-alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22: 46-72. performance and combustion." **Applied Thermal Engineering.** 107: 853-862.
- 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.
- M.A. Fayad, A. Tsolakis, D. Fernández-Rodríguez, J.M. Herreros, F.J. Martos, M. Lapuerta, Manipulating modern diesel engine particulate emission characteristics through butanol fuel blending and fuel injection strategies for efficient diesel oxidation catalysts, **Apply Energy.** 190 (2017) 490-500.

- M. Lapuerta, O. Armas, R. García-Contreras, Effect of ethanol on blending stability and diesel engine emissions, **Energ Fuel**. 23 (2009) 4343-4354.
- M. Lapuerta, J.J Hernández, J. Rodríguez-Fernández, J. Barba, A. Ramos, D. Fernández-Rodríguez, Emission benefits from the use of n-butanol blends in a Euro 6 diesel engine. **Int J Engine Res**. (2017). In press. DOI: 10.1177/1468087417742578.
- M. Lapuerta, O. Armas, J. Rodríguez-Fernández, Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions, **Prog. Energ. Combust.** 34 (2008) 198–223.
- M. Das, M. Sarkar, A. Datta, A.K. Santra, An experimental study on the combustion, performance and emission characteristics of diesel engine fuelled with diesel-castor oil biodiesel blends, **Renew Energy**. 119 (2018) 174-184.
- Pulkrabek, W. W. (2004). "Engineering Fundamental of the Internal Combustion Engine."
- Pradelle, F., et al. (2019). "Performance and combustion characteristics of a compression ignition engine running on diesel-biodiesel-ethanol (DBE) blends – Potential as diesel fuel substitute on an Euro III engine." **Renewable Energy**. 136: 586-598.
- P. Pepiot-Desjardins, H. Pitsch, R. Malhotra, S.R. Kirby, A.L. Boehman, Structural group analysis for soot reduction tendency of oxygenated fuels, **Combust. Flame**. 154 (2008) 191–205.
- Suksompong, P. (2559). "The Optimisation of Dimethyl-Ether Fuel Injection Strategy on Small Diesel Engine."
- Shamun, S., et al. (2018). "Performance and emissions of diesel-biodiesel-ethanol blends in a light duty compression ignition engine." **Applied Thermal Engineering** 145: 444-452.
- Sarjovaara, T. and M. Larmi (2015). Dual fuel diesel combustion with an E85 ethanol/gasoline blend, **Fuel**, vol. 139, pp. 704-714.
- S. Nanda, D. Golemi-Kotra, J.C. McDermott, A.K. Dalai, I. Gökalp, J.A. Kozinsk, Fermentative production of butanol: Perspectives on synthetic biology, **New Biotechnol**. 37 (2017) 210-221.
- S.Y. Lee, J.H. Park, S.H. Jang, L.K. Nielsen, J. Kim, K.S. Jung, Fermentative butanol production by Clostridia, **Biotechnol Bioeng**. 101 (2008) 209-228.
- Sarjovaara, T. and M. Larmi (2015). Dual fuel diesel combustion with an E85 ethanol/gasoline blend, **Fuel**, vol. 139, pp. 704-714.

Sarjovaara, T., et al. (2015). "Effect of charge air temperature on E85 dual-fuel diesel combustion."

Fuel. 153: 6-12.

V. Makarevicienė, K. Kazancev, I. Kazanceva, Possibilities for improving the cold flow properties of biodiesel fuel by blending butanol, **Renew Energ.** 75 (2015) 805-807

Willard W. Pullkrabek. (2003). **Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine.**

Pearson Education Inc, New Jersey

Ying, W. and Z. Longbao (2008). "Experimental study on exhaust emissions from a multi-cylinder

DME .



ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

ณัฐพล ที่รัก, เอกกรงค์ สุขจิต, ชีรภัทร์ ่องอาจ และทรงเกียรติ เพ็ยศักดิ์, (2561). **คุณลักษณะมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงร่วมด้วยการฉีดแก๊สโซฮอลล์ที่พอร์ท**. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (ENETT 14). โรงแรมโนโวเทล จังหวัดระยอง, 13 – 15 มิถุนายน 2561.

Ekarong Sukjit, Somkiat Maithomklang, Natthaphon Trirak, and Niti Klinkaew, "Emission Benefits from the Use of Castor Oil in a Compression Ignition Engine Fuelled with Diesel-Ethanol Blends," *International Journal of Electrical Energy*, Vol. 6, No. 2, pp. 57-63, December 2018. doi: 10.18178/ijoe.6.2.57-63.

ณัฐพล ที่รัก, สมเกียรติ หมาถมกลาง และเอกกรงค์ สุขจิต (2561). **ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจนต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลและมลพิษ**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 5 (FEAT 5). โรงแรมเจริญธานี จังหวัดขอนแก่น, 14 ธันวาคม 2561.

คุณลักษณะมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงร่วมด้วยการฉีดแก๊สโซฮอล์ที่พอร์ท Emission Characteristics of Dual Fuel Diesel Engine with Gasohol Port Injection

ณัฐพล ธีร์ภัก¹, เอกรงค์ สุขจิต^{1*}, อธิภัทร องอาจ² และทรงเกียรติ เพี้ยศักดิ์²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

² สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย อ.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

*ผู้ติดต่อ: ekarong@sut.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 0-4422-4770

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของการฉีดน้ำมันผสมเอทานอลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลและมลพิษ ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ และมลพิษไอเสีย โดยการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิง ร่วมกับน้ำมันดีเซลที่ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง 20, 40, 60, 80 และ 100 ms ตามลำดับ ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 2,500 รอบต่อนาที ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระกรรม 25 และ 75 นิวตันเมตร ตามลำดับ ผลจากการทดสอบพบว่า การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง E85 ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) มีแนวโน้มลดลง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) มีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล นอกจากนี้การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และเขม่าควันดำ (Smoke) ขณะที่ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

คำหลัก: เอทานอล, แก๊สโซฮอล์, ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง

Abstract

Effects of ethanol blend port-fuel-injection on diesel engine performance and emissions was investigated in this research, which focused on engine performance and emissions. By use of gasohol E85 is combined with diesel fuel at fuel injection timing of 20, 40, 60, 80 and 100 ms, respectively. 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 25 and 70 N-m, respectively. The experimental results showed that increase of fuel injection timing of gasohol E85 led to a reduction in brake specific fuel consumption and an increase in brake thermal efficiency when compared with diesel fuel. The emission benefits of the reduction in NO_x and smoke emissions was obtained by increase of fuel injection timing of gasohol E85. While an increase in CO and HC was obtained with respect to diesel fuel combustion.

Keywords: Ethanol, Gasohol, Fuel injection timing

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลการสำรวจในช่วง 8 เดือนแรกของปี 2560 การใช้น้ำมันดีเซลปรับตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.34 โดยอัตราการใช้น้ำมันดีเซลในช่วงเดือนสิงหาคมเพิ่มขึ้น [1] จากความต้องการใช้พลังงานที่มากขึ้นทำให้ประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ในปีที่ผ่านมา มีการนำเข้าพลังงานมูลค่ารวมสูงถึง 1.42 ล้านล้านบาท ซึ่งพลังงานที่มีการนำเข้ามากที่สุดคือน้ำมันดิบ 1.07 ล้านล้านบาท

ทั้งนี้สาเหตุที่ประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันดิบจำนวนมาก เนื่องจากแหล่งพลังงานในประเทศสามารถผลิตได้เองประมาณ 150,000 บาร์เรลต่อวันเท่านั้น ส่งผลให้ต้องนำเข้าอีก 850,000 บาร์เรลต่อวัน [2]

เป็นที่ทราบกันว่าประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีผลผลิตทางการเกษตร รวมถึงผลผลิตที่เหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพสามารถใช้เป็นพลังงานได้ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น โดยการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงยกตัวอย่างเช่น กากน้ำตาล น้ำอ้อย และมันสำปะหลัง

สำหรับใช้ผลิตเอทานอล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงประเภทหนึ่งที่ถูกนำมาผสมกับเชื้อเพลิงเบนซินหรือที่เรียกว่า “แก๊สโซฮอล์” สำหรับใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ และแก๊สโซฮอล์ถือได้ว่าเป็นพลังงานทดแทนอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง จากงานวิจัยผ่านมาพบว่า เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซลสามารถนำเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกได้ ซึ่งเอทานอลมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนเชื้อเพลิงดีเซลโดยทั่วไปคือ มีสถานะเป็นของเหลวที่สภาวะความดันปกติ อีกทั้งเชื้อเพลิงเอทานอลมีองค์ประกอบของออกซิเจนอยู่ด้วยส่งผลให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยคาดการณ์ว่าเชื้อเพลิงเอทานอลจะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาหลักของเครื่องยนต์ดีเซลที่มีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxide) และฝุ่นละออง (Particulate Matter) ที่สูงซึ่งมลพิษเหล่านี้ส่วนเป็นอันตรายต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม

ดังนั้น เพื่อให้เกิดความกระจ่างในการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์เป็นเชื้อเพลิงร่วมสำหรับใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์เข้าไปยังห้องรวมไอต์ สำหรับปัญหาด้านมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล และจากราคาของเชื้อเพลิงเอทานอลความบริสุทธิ์สูงมีราคาค่อนข้างแพง ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เชื้อเพลิงเอทานอลที่มีขายในท้องตลาดคือ เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเชื้อเพลิงเอทานอล 85 เปอร์เซ็นต์ และเชื้อเพลิงเบนซิน 15 เปอร์เซ็นต์ หรือที่เรียกว่า “E85” โดยศึกษาผลกระทบจากการฉีดเชื้อเพลิง E85 เข้าไปยังห้องรวมไอต์ต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ และมลพิษไอเสีย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอทานอล (Ethanol)

เชื้อเพลิงเอทานอล (C_2H_5OH) คือ แอลกอฮอล์เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยธาตุออกซิเจนในโมเลกุล คุณสมบัติโดยทั่วไปเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟง่าย โดยแปรรูปมาจากพืชจำพวกแป้งและน้ำตาล รวมทั้งเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสโดยผ่านกระบวนการหมัก (Fermentation) วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ผลิตเอทานอลมีอยู่ด้วยกันหลายหลายชนิด อาทิ อ้อย ข้าว ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นต้น น้ำมันแก๊สโซฮอล์เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเบนซิน เกิดจากการผสมของน้ำมันเบนซินกับเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 หรือเอทิลแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ การผสมแอลกอฮอล์ลงในน้ำมันเบนซินในข้างต้นเป็นในลักษณะของสารเติมแต่งปรับปรุงค่า Oxygenates และออกเทนของน้ำมันเบนซิน ซึ่งสามารถใช้ทดแทนสารเติมแต่งคือ Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE) [3] โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) Hydrus Ethanol คือ เอทานอลที่มีน้ำผสมอยู่ประมาณ 5% หรือเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำที่ 95%

2) Anhydrous Ethanol คือ เอทานอลที่มีน้ำผสมอยู่น้อยมากหรือเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ 99% ขึ้นไป ซึ่งสามารถใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้

ทั้งนี้เอทานอลกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลที่สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ และออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำมันเชื้อเพลิงทำให้การเผาไหม้ในเครื่องยนต์มีความสะอาดมากขึ้น ช่วยลดพิษ CO และเขม่าคาร์บอน (Particulate Matter) ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ เขม่าคาร์บอนหรืออนุภาคคาร์บอนขนาดเล็กถือว่าเป็นมลพิษที่ต้องควบคุม [4-5]

2.2 กระบวนการผลิตเอทานอล

การผลิตเอทานอลจะประกอบด้วยกระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล กระบวนการหมัก และการแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลและการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบนั้น ถ้าเป็นประเภทแป้งหรือเซลลูโลส เช่น มันสำปะหลังและธัญพืช จะต้องนำไปผ่านกระบวนการย่อยแป้งหรือเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลก่อนด้วยการใช้กรดหรือเอนไซม์ ส่วนวัตถุดิบประเภทน้ำตาล เช่น กากน้ำตาลหรือน้ำอ้อย ในกระบวนการหมักจะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ยีสต์ การเลือกใช้ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่นำมาหมักจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหมัก น้ำหมักที่ได้จากกระบวนการหมักจะนำมาแยกเอทานอลออกโดยใช้กระบวนการกลั่นลำดับส่วน ซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 โดยปริมาตร และนำเข้าสู่กรรมวิธีในการแยกน้ำโดยการใช้น้ำโมเลกุลลาซีฟ ทำให้เอทานอลที่ได้ออกมามีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 เอทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 สามารถนำมาใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

- 1) ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรงเพื่อทดแทนน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล
- 2) ใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินเรียกว่า “แก๊สโซฮอล์” หรือผสมกับน้ำมันดีเซลเรียกว่า “ดีเซลโซฮอล์”
- 3) ใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันดีเซลให้กับเครื่องยนต์ โดยการเปลี่ยนรูปเอทานอลมาเป็นสาร ETBE สามารถทดแทนสาร MTBE

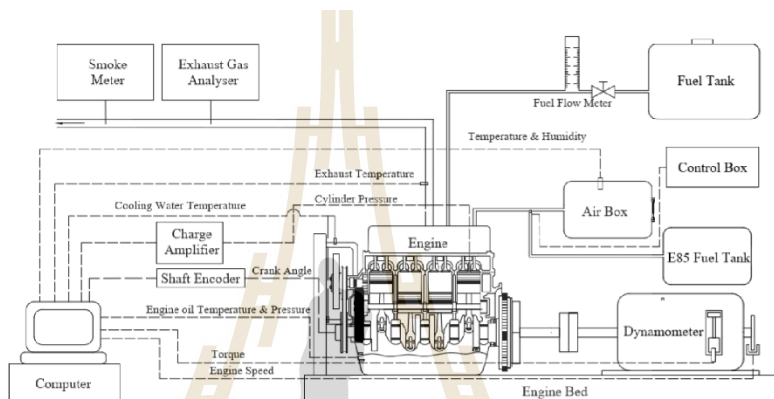
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ ได้แก่ น้ำมันดีเซล เอทานอล และน้ำมันเบนซิน ผลการศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น ความหนืด ความถ่วงจำเพาะ จุดวาบไฟ เป็นต้น สามารถแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ

คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง	วิธีทดสอบ	Diesel	Ethanol	Gasoline
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (cSt)	ASTM D445	4.63	1.13 ^[6]	0.8
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6 °C	ASTM D1298	0.830	0.789 ^[6]	0.72
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15.6 °C (kg/m ³)	ASTM D1298	829	789 ^[6]	720
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D93	76	13.5 ^[6]	-30
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (MJ/kg)	ASTM D240	45.39	26.83 ^[6]	44.00
เลขซีเทน	ASTM D613	53.9 ^[6]	8 ^[6]	-
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)	-	243 ^[6]	858 ^[6]	305



รูปที่ 1 การติดตั้งเครื่องยนต์สำหรับการทดสอบ

3.2 การติดตั้งและทดสอบเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ 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 ซึ่งต้องเข้ากับจรรยาบรรณควบคุมความเร็วรอบและภาระกรรม รวมทั้งเก็บข้อมูลอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น น้ำมันเครื่อง อดี และไอเสีย โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K การวัดค่าอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงวัดโดยใช้ชุดตวงวัดเทียบกับ รวมถึงเครื่องมือวิเคราะห์ไอเสียจากเครื่องยนต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสียอีห้อ Testo รุ่น Testo 350, อีห้อ Horiba รุ่น MEXA-584L และเครื่องมือวัดเคมีอีห้อ MAHA รุ่น MDO 2 LON โดยการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแสดงดังรูปที่ 1

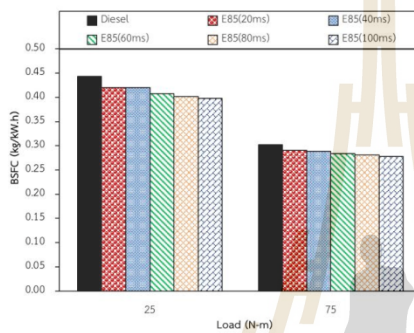
การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ และตรวจวัดมลพิษไอเสีย โดยทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2,500 รอบต่อนาที ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรม 25 และ 75 นิวตันเมตร โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ในการฉีดเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง 20, 40, 60, 80 และ 100 ms ตามลำดับ ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่างๆ ในการทดสอบ ได้แก่ อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง

อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ และมลพิษไอเสีย ซึ่งประกอบด้วย ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC) และเขม่าควันดำ (Smoke)

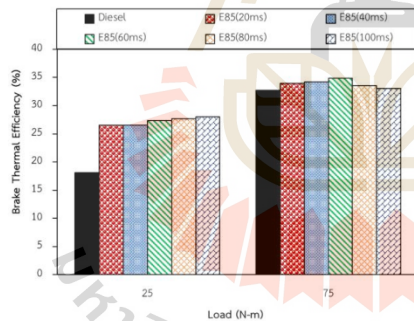
4. ผลการวิจัย

ผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์และมลพิษไอเสีย โดยใช้น้ำมันดีเซลเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ระยะเวลาการฉีดน้ำมันต่างๆ ซึ่งแสดงผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์



รูปที่ 2 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับภาระกรรม



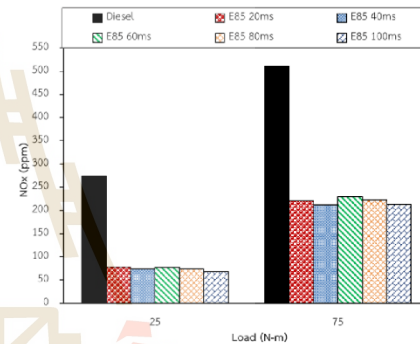
รูปที่ 3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกกับภาระกรรม

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, BSFC) คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวลต่อกำลังหนึ่งหน่วยที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ภายในระยะเวลาหนึ่งหน่วย [7] โดยจากรูปที่ 2 สังเกตได้ว่า BSFC มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับ

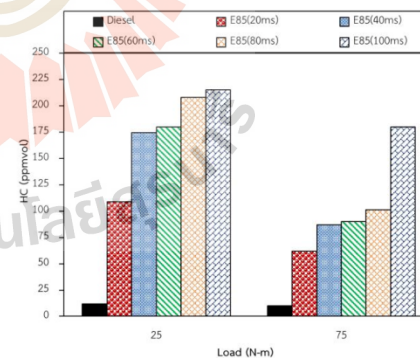
เครื่องยนต์ ทั้งนี้การใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า BSFC มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงมากขึ้น เนื่องจากการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ที่พร้อมไอดีทำให้อากาศกับเชื้อเพลิงผสมกันได้ดีขึ้นส่งผลให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่สูงขึ้น

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency, BTE) คือ ความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล [7] จากรูปที่ 3 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของภาระกรรมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ BTE ของน้ำมันดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วม พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงมากขึ้น BTE จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลจึงช่วยเกิดการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

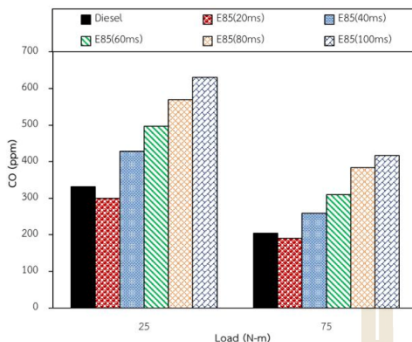
4.2 มลพิษไอเสีย



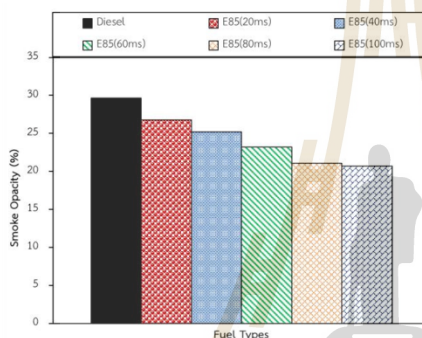
รูปที่ 4 ไนโตรเจนออกไซด์กับภาระกรรม



รูปที่ 5 ไฮโดรคาร์บอนกับภาระกรรม



รูปที่ 6 คาร์บอนมอนอกไซด์กับภาระกรรม



รูปที่ 7 เขม่าควันดำกับภาระกรรม

ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีองค์ประกอบหลักๆ โดยประกอบด้วยไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) อยู่น้อยส่วนน้อย [7] จากรูปที่ 4 พบว่า เมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ปริมาณของ NO_x จะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิการเผาไหม้ และความดันในกระบอกสูบที่สูงขึ้น เมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วม พบว่ามีปริมาณ NO_x ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 มีค่าที่สูงทำให้การเปลี่ยนสถานะของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 จากของเหลวกลายเป็นไอต้องใช้พลังงานความร้อนที่สูงส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่าลดลง

ไฮโดรคาร์บอน (HC) เป็นมลพิษไอเสียซึ่งเกิดจากอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ และไอตีที่มีความเข้มข้นก่อให้เกิดการขาดออกซิเจน ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ [8] จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าปริมาณ HC ที่ภาระกรรมต่ำมีค่าสูงกว่าที่ภาระกรรมสูง เนื่องจากที่ภาระกรรมต่ำจะมี

อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ต่ำ ประกอบกับความล่าช้าในการเผาไหม้ (Ignition Delay) ของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ส่งผลให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่สั้น [9] จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ถือว่าเป็นมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อสารผสมเผาไหม้มีออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะเผาไหม้คาร์บอนทั้งหมดในเชื้อเพลิงให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) [10] ซึ่งจากการทดสอบดังรูปที่ 6 พบว่า การเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ส่งผลให้ CO มีปริมาณลดลง เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิง แก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วม พบว่า CO มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่มากขึ้น เนื่องจากความล่าช้าในการเผาไหม้ (Ignition Delay) ของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85ทำให้ลดระยะเวลาในการเผาไหม้ในหนึ่งวัฏจักรมีค่าลดลง

เขม่าควันดำที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล ดังรูปที่ 7 พบว่า การใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 เป็นเชื้อเพลิงร่วม ก่อให้เกิดเขม่าควันดำต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล สาเหตุมาจากเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุล จึงช่วยในการออกซิไดส์เขม่าคาร์บอนและยับยั้งการเกิดเขม่า

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์เป็นเชื้อเพลิงร่วมสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์เข้าไปยังท่อร่วมไอดีที่ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงต่างๆ สามารถสรุปได้ว่า

- การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง E85 ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (BSFC) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล
- การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง E85 ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (BTE) มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล
- การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และเขม่าควันดำ (Smoke) ขณะที่ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจากศูนย์ความเป็นเลิศทางชีววมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนและเอื้อเฟื้อน้ำมัน

ขยะพลาสติกสำหรับการทดสอบในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ
 เจ้าหน้าที่อาคารเครื่องมือ ศูนย์เครื่องมือและเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับเครื่องมือและอุปกรณ์ใน
 การดำเนินงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560). *สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้าของไทย ช่วง 8 เดือนแรกของปี 2560*. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 12/02/2561.
- [2] ศูนย์ข้อมูลพลังงานไทย กระทรวงพลังงาน (2560). *ปริมาณและมูลค่าการนำเข้า ส่งออก น้ำมันเชื้อเพลิง*. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 25/01/2560.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2560). *คู่มือการพัฒนาและลงทุนการผลิตเอทานอล*. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/04/2561.
- [4] วรวิทย์ จุฬาลักษณ์นกุล (2558). *เชื้อเพลิงชีวภาพด้วยตัวเร่งชีวภาพ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [5] สมาคมการค้าผู้ผลิตเอทานอลไทย (2018). *กระบวนการผลิตเอทานอล*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.thai-ethanol.com>, เข้าดูเมื่อวันที่ 6/05/2561.
- [6] Sukjit, E., et al. (2014). Improving Ethanol-Diesel Blend Through the Use of Hydroxylated Biodiesel. SAE Technical Paper Series.
- [7] ชัยยง ศิริพรมงคลชัย (2558). *เครื่องยนต์สันดาปภายใน*, กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- [8] Willard W. Pullkrabek. (2003). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Pearson Education Inc, New Jersey.
- [9] Sarjovaara, T. and M. Larmi (2015). Dual fuel diesel combustion with an E85 ethanol/gasoline blend, *Fuel*, vol. 139, pp. 704-714.
- [10] Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill, New York.

Emission Benefits from the Use of Castor Oil in a Compression Ignition Engine Fuelled with Diesel-Ethanol Blends

Ekarong Sukjit, Somkiat Maithomklang, Natthaphon Trirak, and Niti Klinkaew
 Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand
 Email: ekarong@sut.ac.th, somkiat_mai@outlook.co.th, {nut_teeruk, niti_nick}@hotmail.com

Abstract—Castor oil which is produced from non-food crop and contains high proportion of ricinoleic acid was added to ethanol-diesel blend, forming the ternary blend. The extremely high viscosity and good lubricating properties of castor oil were expected to restore the substantial reduction in such fuel properties due to the presence of ethanol in the blend. The basic physical and chemical properties of the test fuels were measured according to ASTM standards and the engine test was conducted on a four-cylinder direct injection diesel engine with naturally aspirated and water-cooled system. The experimental results showed that the high viscosity, density, flash point of castor oil can help to improve the properties of the fuel blend due to some poor properties of ethanol leading to keep the fuel properties of the ternary blend under the limit of diesel fuel specifications. The emission benefits of the reduction in CO, NOx and smoke emissions were obtained by the combustion of the ternary blend without the significant increase in THC emissions at high engine operating loads, compared to diesel fuel combustion. It is evident that the incorporation of castor oil and ethanol as blend components to reduce the use of diesel fuel for compression ignition engines is a feasible alternative for next generation fuels.

Index Terms—castor oil, ethanol, compression ignition engine

I. INTRODUCTION

Alternative and renewable fuels have been proven to replace the use of conventional fuels in both spark ignition engines and compression engines. Among these fuels, advanced biofuels such as bioalcohol and second-generation biodiesel which are derived from waste, agriculture residues and non-food crops have been receiving more attention as sustainable alternative to fossil fuels. Oxygen present in fuel molecules of bioalcohol and biodiesel can participate in a cleaner combustion process, resulting in a reduction of engine-out emissions to meet increasingly stringent vehicle emission standards. Bioalcohol, especially ethanol and n-butanol, can be produced from waste or lignocellulosic materials through advanced production techniques such as acetobutylicum fermentation, genetic engineering of *Clostridium thermocellum* and Guerbet reaction, and can

reduce the life-cycle greenhouse emissions which depends on biological production processes [1]-[3]. Although, alcohols are usually used in spark ignition engines there is an increasing interest in using them as blend component for diesel fuel in Compression Ignition (CI) engines [4]-[5]. Alcohol blends shows a potential way to decrease Particulate Matter (PM) emissions compared to diesel fuel, while may increase Total Hydrocarbon (THC) at low engine operating condition and there is no consensus about Carbon monoxide (CO) and Nitrogen Oxide (NOx) emissions [6]-[8]. However, some poor chemical and physical fuel properties of alcohols such as viscosity, cetane number, flash point, calorific value, miscibility and lubricity can limit the use of alcohol with high percentage in compression ignition engines.

To restore such poor fuel properties, biodiesel with the absence of aromatic content, higher viscosity, higher solubility with alcohol and higher flash point is an interesting option to use with alcohols for promoting new biofuels to replace the use of conventional fuels. Previous studies have reported that the presence of mixtures of several fatty acids in biodiesel, especially fatty acid with long carbon-chain length, tends to increase lubricating film thickness, resulting in the better lubricity of biodiesel. This will introduce a reduction in friction and wear of moving contact surfaces of fuel system components [9]-[11]. On the other hand, alcohol can improve the low temperature properties of biodiesel such as cold filter plugging point, cloud point, pour point and freezing point [12]. In term of emissions, a clear reduction in particulate matter emissions is obtained by the combustion of biodiesel while an increase in oxides of nitrogen is challenging for diesel engines operating with biodiesel [13], [14]. Therefore, the synergistic effect of the incorporation of alcohol and biodiesel may be found for developing new biofuels to meet increasingly stringent emission regulations.

Biodiesel derived from non-edible feedstock is more attractive to use as sustainable fuels in diesel engines to avoid the competition with human food or animal feed. Non-food crop and excellent lubricity are promising factors for castor oil as an alternative feedstock of biodiesel. Biodiesel derived from castor oil is a unique biodiesel with more oxygen atom of hydroxyl group

Manuscript received March 9, 2018; revised July 23, 2018.

compared to other biodiesel feedstocks. The major fatty acid composition of castor oil is ricinoleic acid (hydroxylated fatty acid). Extremely high viscosity of methyl ricinoleate (C18:1 OH) is caused to fail the use of castor oil methyl ester (COME) as biodiesel fuel in diesel engines according to the European biodiesel standard, EN 14214. However, this drawback of castor oil is expected to recover a substantial reduction of viscosity due to the addition of alcohol to diesel fuel. The utilisation of COME as blend component to extend the use of alcohol-diesel blend were studied in previous works [15], [16]. The results showed that the combination of alcohols with COME improved the most relevant fuel properties of the blends which influence the combustion process closer to diesel fuel. The presence of the hydroxyl group in both alcohol and COME was to be beneficial in terms of engine-out emissions which the improvement of NO_x-soot trade-off was obtained.

Instead of studying the effect of biodiesel on the diesel-ethanol blends, the addition of crude castor oil to ethanol blends was investigated in this study. The basic physical and chemical properties of the tested fuels were measured according to ASTM standards and engine experiments were conducted to evaluate the combustion and engine-out emissions of the triblend (diesel-ethanol-castor oil) compared to diesel fuel combustion.

II. MATERIALS AND METHODS

A. Test Fuels

The presence of 10% of anhydrous ethanol by volume in the diesel fuel was selected to study the effect of castor

oil on fuel properties, combustion characteristics and engine-out emissions. With preliminary work on lubricity experiment, the addition of 10% castor oil was enough to restore the lubricity of the ethanol blends, there was no significant improvement on the blend lubricity after this percentage of castor oil. Consequently, the fuel blend of 10% castor oil, 10% ethanol and 80% diesel fuel (D80E10C10) was used to operate with the engine. The fatty acid profile of castor oil was detailed in Table I and it can be confirmed that the majority of fatty acid present in castor oil is ricinoleic acid with more than 85% wt. The basic physical and chemical properties of test fuels were measured according to ASTM standards and was shown in Table II.

TABLE I. FATTY ACID PROFILES OF CASTOR OIL

Fatty acid		% wt
Lauric	C12:0	0.02
Myristic	C14:0	0.06
Palmitic	C16:0	1.63
Stearic	C18:0	1.66
Oleic	C18:1	3.85
Ricinoleic	C18:1 OH	85.6
Linoleic	C18:2	6.04
Linolenic	C18:3	0.43
Arachidic	C20:0	0.08
Gadoleic	C20:1	0.58
Eicosadienoic	C20:2	0.05

TABLE II. BASIC PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF TEST FUELS

Fuel Properties	Units	Test Method	Diesel	Ethanol	Castor oil	D80E10C10
Kinematic viscosity @40 °C	cSt	ASTM D445	3.54	1.26	289	4.06
Flash point	°C	ASTM D93	78	13.5	282	158
Specific gravity @15.6 °C	-	ASTM D1298	0.828	0.785	0.950	0.836
Density @15.6 °C	kg/m ³	ASTM D1298	827.2	784.2	949.1	835.2
Cetane index	-	ASTM D976	60.18	8 ^{CN}	48 ^{CN}	55.2
Gross Calorific Value	(MJ/kg)	ASTM D240	45.39	26.83	36.16	42.23

B. Experimental Setup for Engine Test

A four-cylinder direct injection diesel engine with naturally aspirated and water-cooled system was used for the engine test to evaluate combustion characteristics and exhaust emissions of the triblend fuel, which were compared to that of diesel fuel. The engine specification is shown in Table III. The experimental installation is drawn schematically in Fig. 1. A hydraulic dynamometer equipped with a load cell was used to load the engine. The engine was tested at 2000 and 2500 rpm with varying

five engine operating loads (30, 50, 70, 90 and 110 N.m) which represents the range of the engine operating condition from low to high levels. A Kistler 6052C pressure transducer mounted at glow plug adapter and connected via a Kistler 5064C charge amplifier to a data acquisition board was employed to record in-cylinder pressure traces. To calculate the combustion chamber volume at any crank angle, a Kistler 2164CK1 crank angle encoder set was mounted on the crankshaft adapter to measure the crankshaft position. Other standard engine test rig instrumentations were installed to monitor

temperatures (intake air and exhaust gas), pressure (lubricating oil), humidity (intake air) and mass flow rate (intake air and fuel). Engine-out emissions were measured by standard exhaust gas analysers: Testo 350 for CO and NOx, Horiba Mexa-584L for HC and Testo 308 for smoke emissions. In each condition tested, the engine was stabilized by the observation of exhaust temperatures and exhaust emissions.

TABLE III. SPECIFICATION OF TEST ENGINE

Engine type	4-Stroke, 4 - Cycle, Direct Injection, Water Cooled, Naturally aspirated
Number of cylinder – Bore x Stroke	4 – 93.0 x 92.0 mm.
Total piston displacement	2.449 m ³
Compression ratio	18.4
Fuel injection timing (bTDC)	14°
Rated power	64.9 kW @4000 rpm
Max.Torque	171.5 N-m @2000 rpm

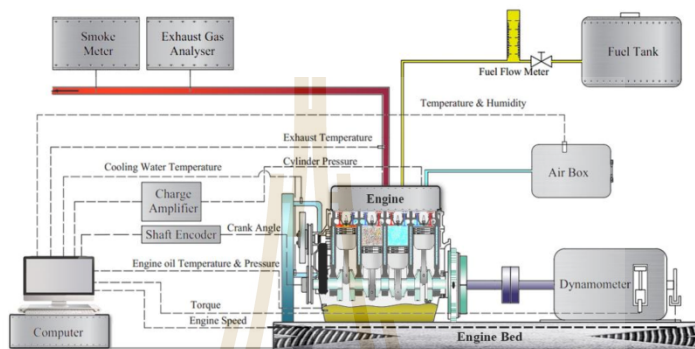


Figure 1. Schematic diagram of the experimental installation

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. Engine Performance

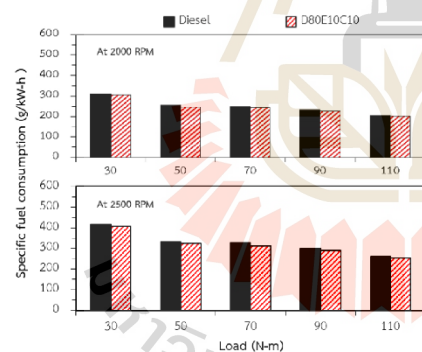


Figure 2. Brake specific fuel-consumption

Fig. 2 shows the brake specific fuel consumption (bsfc) of engine under the test. It can be seen that the bsfc decreases as the engine operating loads increase. The higher engine speed results in the higher bsfc. The lower bsfc implies that less amount of fuel is needed to generate unit power output. The incorporation of castor oil-ethanol blend shows the improvement of brake specific fuel consumption at all engine operating loads tested (Fig. 2). Although, some poor properties of the ternary blend such

as lower calorific value (more fuel needed to produce same power) and higher viscosity (higher surface tension affecting poor fuel atomisation) tend to increase bsfc with respect to diesel fuel, the better lubricating properties of castor oil can play a role to reduce the power lost by friction leading to the lower bsfc found in case of the castor oil blend. This positive factor to bsfc may have more effect when the engine is operated at high loads due to more fuel containing castor oil will be injected to the combustion chamber [17]. The brake thermal efficiency which is inversely proportional to bsfc is shown in Fig. 3. The lower bsfc obtained from the triblend fuel results in the higher thermal efficiency compared to diesel fuel for all engine loads tested

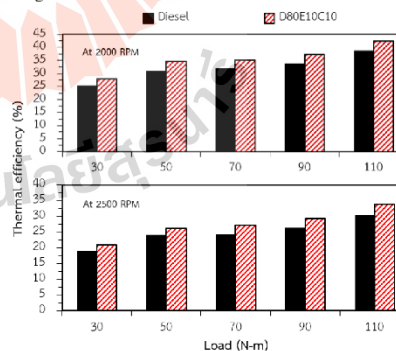


Figure 3. Engine thermal efficiency

B. Combustion Characteristics

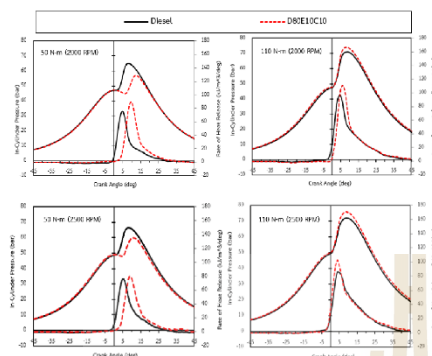


Figure 4. In-cylinder pressure and heat release rate

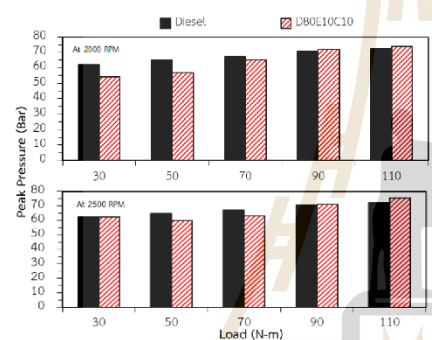


Figure 5. Peak of in-cylinder pressure

In-cylinder pressure and rate of heat release (ROHR) at 50 N.m and 110 N.m which is represented to mid and high engine operating loads for both engine speeds tested are shown in Fig. 4. The heat release rate was calculated through the first law of thermodynamics and isentropic relations, which was described in our previous work [18]. The peak of in-cylinder pressure increases as the engine load increases for both engine speeds. The combustion of more fuel which is needed to generate more power output at higher engine loads can be used to justify the increase in peak pressure inside the combustion chamber (Fig. 5). The addition of castor oil to ethanol-diesel blend tends to retard in the start of combustion (increase in ignition delay) with respect to diesel fuel. This can be attributed to the lower cetane index of castor oil and ethanol [16]. Consequently, the higher proportion of premixed combustion than in the case of diesel fuel due to the longer ignition delay of the blended fuel is observed. With longer ignition delay, there is a higher volume of premixed mixture ready to combust when combustion starts. The ignition delay due to the combustion of ternary blend decreases as the engine load increases. The similar start of combustion with diesel fuel is found with the use

of the ternary blend at high engine loads (110 N.m) and the higher peak pressure in the combustion chamber is obtained. The presence of oxygen in both ethanol and castor oil which may assist the combustion process can be the reason for the higher peak of in-cylinder pressure than that of diesel fuel.

C. Engine-out Emissions

Unburnt Hydrocarbon (UHC) or Total Hydrocarbon (THC) emissions is a parameter to evaluate the combustion efficiency. More hydrocarbon emissions more incomplete combustion. The increase in engine operating loads can reduce THC emissions (Fig. 6). The higher thermal efficiency when the engine is operated at higher engine loads (Fig. 3) can be used to justify such reduction in THC emissions. The delay in the start of combustion with using the castor oil-ethanol blend leads to the increase in THC emissions compared to diesel fuel due to less available time for complete combustion to oxidise hydrocarbons. In addition, the high heat of vaporisation of ethanol can be a factor to promote the THC emissions. As ethanol was vaporised, the combustion chamber was cooled down weakening the combustion process, especially at low engine load conditions [19]. Also, the high viscosity of castor oil with high surface tension can affect the poor atomisation resulting in the high THC emissions. Although, oxygen present in both castor oil and ethanol can participate in the more complete and cleaner combustion leading to the reduction in THC emissions the effect of late start of combustion, high heat vaporisation and high viscosity seems to overcome the presence of oxygen in the ternary blend. As a consequence, the higher THC emissions can be obtained from the combustion of the ternary blend with respect to diesel fuel.

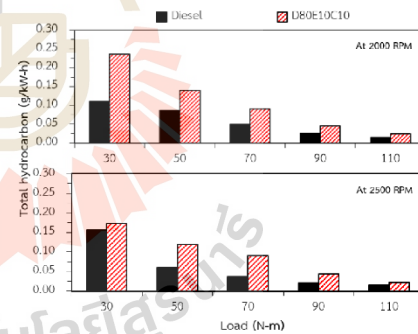


Figure 6. Unburnt hydrocarbon emissions

Another parameter used to evaluate the combustion performance is CO emissions. The increase in CO emissions implies the more incomplete combustion occurred. The higher combustion efficiency at higher engine loads leads to the decrease in CO emissions for both fuels tested (Fig. 7). In contrast to THC emissions for the high engine loads tested, the incorporation of castor oil and ethanol as blend component in diesel fuel

shows the lower CO emissions compared to diesel fuel. This is likely to a consequence of the lower C/H ratio of the ternary blend by the replacement of diesel fuel with ethanol. It is suggested that this effect compensates for the potential increase in CO emissions due to the high heat of vaporization and the retard in start of combustion obtained by the ternary blend [4].

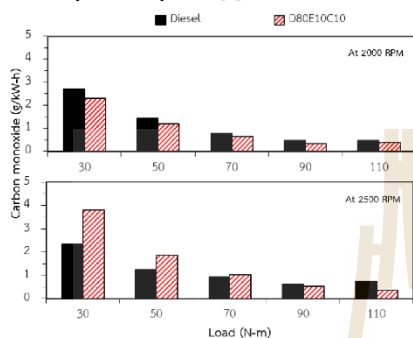


Figure 7. Carbon monoxide emissions

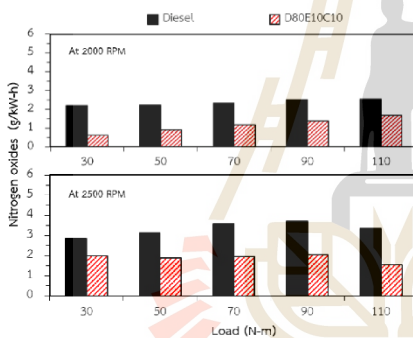


Figure 8. Nitrogen oxide emissions

Usually, the formation of NOx emissions is highly dependent on the in-cylinder pressure and the peak of heat release rate belonging to the premixed combustion phase. It is clear that the increase in NOx emissions is found with increasing the engine loads. This is mainly due to more fuels needed for producing higher power outputs at higher engine loads leading to the higher combustion temperature which help to promote the NOx formation (Fig. 8). There are some factors affecting the NOx formation and can be used to support the trend of NOx emissions by the combustion of the ternary blend. The oxygen present in fuel molecules can improve the combustion process resulting in the increase in the combustion temperature and the retard in start of combustion due to low cetane number can promote the high peak of premixed combustion, which is more favourable the NOx formation. Conversely, the reduction

in NOx emissions can be obtained from combustion of fuels with high heat of vaporisation because more heat can be absorbed during the mixing process with the air, resulting in the low combustion temperature. In case of the ternary blend which is used to operate the engine under the test conditions, the higher heat of vaporization of ethanol is prominent to reduce the NOx formation. Consequently, the lower NOx emissions of the ternary blend than that of diesel fuel can be obtained. In addition, the higher viscosity of the ternary blend than diesel fuel can cause the difficulty of fuel atomization which may reduce the charge temperature and is effective to NOx mitigation [20].

The smoke emissions obtained by the combustion of diesel fuel and ternary blend is shown in Fig. 9. The increase in smoke emissions with increasing the engine operating loads for both engine speeds tested is found. This is attributed to the high overall equivalence ratio and the number of fuel rich regions in the combustion chamber when the engine is operated at high load, resulting in the high critical conditions for soot formation which relates to the increase in smoke emissions [15]. The addition of castor oil and ethanol in diesel fuel tends to decrease the smoke emissions at all conditions tested. This reduction is likely to be a consequence of the presence of oxygen in fuel molecules of both castor oil and ethanol. It has been previously reported that the hydroxyl group which belongs to both castor oil and ethanol in this study can improve the suppression of soot formation [21], [22]. In addition, the incorporating ethanol into the fuel blend reduces carbon content which decreases the possibility of soot formation.

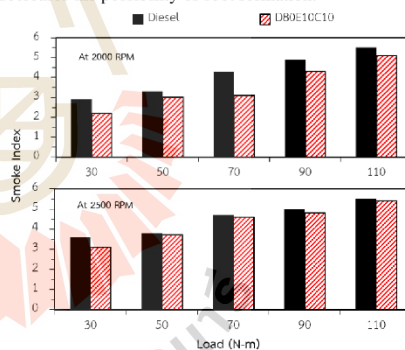


Figure 9. Smoke emissions

IV. CONCLUSIONS

The incorporation of castor oil and ethanol as blend components to reduce the use of diesel fuel in a compression ignition engine was investigated in this study. The following conclusions can be drawn.

- The high viscosity, density, flash point of castor oil can compensate the substantial reduction of such properties of ethanol leading to keep the fuel

properties of the ternary blend under the limit of diesel fuel specifications.

- The better lubricating properties of the ternary blend due to castor oil can participate in the less friction loss of moving engine components, resulting in the lower brake specific fuel consumption and higher thermal efficiency with respect to diesel fuel.
- The lower cetane index of the ternary blend tends to extend the start of combustion with respect to diesel fuel but the difference is smaller when the engine is operated at high engine loads.
- The retard in start of combustion, poor atomisation and high heat of vaporisation with ethanol blend can be used to justify the higher THC emissions from the combustion of the ternary blend with respect to diesel fuel combustion, especially at low engine loads.
- The low C/H ration with ethanol blend and the presence of oxygen in fuel molecules can be used to explain the reduction in CO emissions from the use of the ternary blend.
- The clear benefits of NOx emissions was found with the combustion of the ternary blend at all conditions tested, as a consequence of the high heat of vaporisation of ethanol.
- The presence of oxygen and the effective of hydroxyl group belonging to castor oil and ethanol to inhibit the soot formation can be reasons to support the lower smoke emissions by the ternary blend compared to diesel fuel.

The conclusions of the experimental results mentioned above indicates that the combination of castor oil and ethanol in fuel blend shows the synergistic effect in the improvement of engine-out emissions and can be a feasible alternative for next generation fuels.

ACKNOWLEDGEMENT

Suranaree University of Technology (SUT), Nakhon Ratchasima, Thailand is gratefully acknowledged for the financial support to this research.

REFERENCES

- [1] B. Ndaba, I. Chiyanzu, and S. Marx, "n-Butanol derived from biochemical and chemical routes: A review," *Biotechnol.*, vol. 8, pp. 1-9, 2015.
- [2] S. Nanda, D. Golemi-Kotra, J. C. McDermott, A. K. Dalai, I. Gökalp, and J. A. Kozlinsk, "Fermentative production of butanol: Perspectives on synthetic biology," *New Biotechnol.*, vol. 37, pp. 210-221, 2017.
- [3] S. Y. Lee, J. H. Park, S. H. Jang, L. K. Nielsen, J. Kim, and K. S. Jung, "Fermentative butanol production by Clostridia," *Biotechnol Bioeng.*, vol. 101, pp. 209-228, 2008.
- [4] E. Sukjit, J. M. Herreros, K. D. Dearn, R. García-Contreras, and A. Tsolakis, "The effect of addition of individual methyl esters on the combustion and emissions of ethanol and butanol-diesel blends," *Energy*, vol. 42, pp. 364-374, 2012.
- [5] M. A. Fayad, A. Tsolakis, D. Fernández-Rodríguez, J. M. Herreros, F. J. Martos, and M. Lapuerta, "Manipulating modern diesel engine particulate emission characteristics through butanol fuel blending and fuel injection strategies for efficient diesel oxidation catalysts," *Apply Energy*, vol. 190, pp. 490-500, 2017.
- [6] M. Lapuerta, O. Armas, and R. García-Contreras, "Effect of ethanol on blending stability and diesel engine emissions," *Energy Fuel*, vol. 23, pp. 4343-4354, 2009.
- [7] M. Lapuerta, J. J. Hernández, J. Rodríguez-Fernández, J. Barba, A. Ramos, and D. Fernández-Rodríguez, "Emission benefits from the use of n-butanol blends in a Euro 6 diesel engine," *Int. J. Engine Res.*, in press, 2017.
- [8] D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos, R. G. Papagiannakis, and D. C. Kyritsis, "Combustion heat release analysis of ethanol or n-butanol diesel fuel blends in heavy-duty DI diesel engine," *Fuel*, vol. 90, pp. 1855-1867, 2011.
- [9] E. Sukjit, A. Tsolakis, and K. D. Dearn, "Interrogating the surface: The effect of blended diesel fuels on lubricity," *SAE Int. J. Fuel & Lubricant Technologies*, vol. 5, pp. 154-162, 2012.
- [10] E. Sukjit, P. Poapongsakorn, K. D. Dearn, M. Lapuerta, and J. Sánchez-Valdepeñas, "Investigation of the lubrication properties and tribological mechanisms of oxygenated compounds," *Wear*, vol. 376, pp. 836-842, 2017.
- [11] M. Lapuerta, J. Sánchez-Valdepeñas, D. Bolonio, and E. Sukjit, "Effect of fatty acid composition of methyl and ethyl esters on the lubricity at different humidities," *Fuel*, vol. 184, pp. 202-210, 2016.
- [12] V. Makarevicienė, K. Kazancev, and I. Kazanceva, "Possibilities for improving the cold flow properties of biodiesel fuel by blending butanol," *Renewable Energy*, vol. 75, pp. 805-807, 2015.
- [13] A. Tsolakis, A. Megaritis, M. L. Wyszynski, and K. Theinnoi, "Engine performance and emissions of a diesel engine operating on diesel-RME (rapeseed methyl ester) blends with EGR (exhaust gas recirculation)," *Energy*, vol. 32, pp. 2072-80, 2007.
- [14] M. Lapuerta, O. Armas, and J. Rodríguez-Fernández, "Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions," *Prog. Energy Combust.*, vol. 34, pp. 198-223, 2008.
- [15] E. Sukjit, J. M. Herreros, J. Piaszyk, K. D. Dearn, and A. Tsolakis, "Finding synergies in fuels properties for the design of renewable fuels – hydroxylated biodiesel effects on butanol-diesel blends," *Environ. Sci. Technology*, vol. 47, pp. 3535-3542, 2013.
- [16] E. Sukjit, J. M. Herreros, K. Dearn, and A. Tsolakis, "Improving ethanol-diesel blend through the use of hydroxylated biodiesel," *SAE Tech.*, pap. 2014-01-2776, 2014.
- [17] M. Das, M. Sarkar, A. Datta, and A. K. Santra, "An experimental study on the combustion, performance and emission characteristics of diesel engine fuelled with diesel-castor oil biodiesel blends," *Renewable Energy*, vol. 119, pp. 174-184, 2018.
- [18] E. Sukjit, P. Liplap, S. Maitiomklang, and W. Arjham, "Experimental investigation on a DI diesel engine using waste plastic oil blended with oxygenated fuels," *SAE Tech.*, pap. 2017-24-0116, 2017.
- [19] D. C. Rakopoulos, C. D. Rakopoulos, E. G. Giakoumis, A. M. Dimaratos, and D. C. Kyritsis, "Effects of butanol-diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine," *Energ. Convers. Manage.*, vol. 51, pp. 1989-1997, 2010.
- [20] A. V. Bueno, M. P. B. Pereira, J. V. D. Oliveira Pontes, F. M. T. D. Luna, and C. L. Cavalcante, "Performance and emissions characteristics of castor oil biodiesel fuel blends," *Apply Thermal Energy*, vol. 125, pp. 559-566, 2017.
- [21] P. Pepiot-Desjardins, H. Pitsch, R. Malhotra, S. R. Kirby, and A. L. Boehman, "Structural group analysis for soot reduction tendency of oxygenated fuels," *Combust. Flame*, vol. 154, pp. 191-205, 2008.
- [22] C. K. Westbrook, W. J. Pitz, and H. J. Curran, "Chemical kinetic modeling study of the effects of oxygenated hydrocarbons on soot emissions from diesel engines," *J. Physics Chemistry A*, vol. 110, pp. 6912-6922, 2006.



Ekarong Sukjit is a lecturer in School of Mechanical Engineering at Suranaree University of Technology (SUT). He obtained a Ph.D. on Synergistic Effects of Alcohol-based Renewable Fuels: Fuel Properties and Emissions from University of Birmingham (UoB) in 2013. He was appointed to a lectureship in September 2006. He was awarded the outstanding master student from the Thailand Graduate Institute of Science and

Technology (TGIST) in 2006, the FK Bannister Prize in 2013 and the Austin Rover Prize in 2014 from UoB. His research activities focus primarily on investigating alternative fuels for internal combustion engines, fuel lubricity, combustion characteristics, exhaust emissions and computational fluid dynamics.



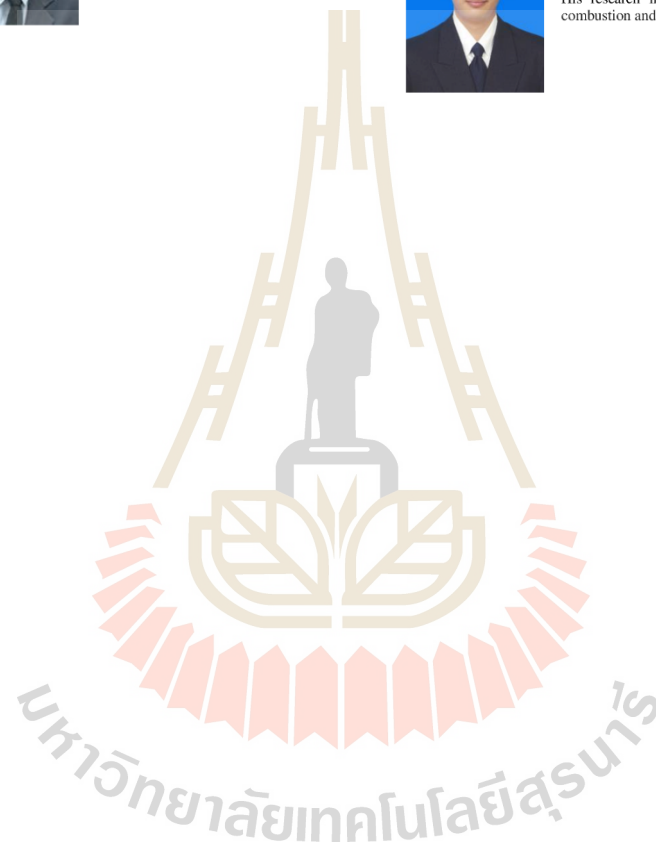
Somkiat Maithomklang graduated with a Bachelor's Degree in Automotive Engineering from SUT in 2014. He received his Master's degree in Mechanical and Process System Engineering also from SUT in 2017. His research interests include alternative fuels, combustion and emissions.



Natthaphon Trirak is a graduate student in School of Mechatronics Engineering at SUT. He received his Bachelor's Degree in Automotive Engineering from the same university in 2015. His research interests include alternative fuels, combustion and emissions.



Niti Klunkaew is a graduate student in School of Mechanical Engineering at SUT. He received a Bachelor's Degree in Automotive Engineering from the same university in 2016. His research interests are alternative fuels, combustion and emissions.





การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 5
14 ธันวาคม 2561 ณ โรงแรมเจริญธานี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจนต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลและมลพิษ Effect of Oxygenated Fuels Blend Port - Fuel - Injection on Diesel Engine Performance and Emission

ณัฐพล ทิรัก¹, สมเกียรติ หมายถมกลาง² และ เอกรงค์ สุขจิต²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

*ติดต่อ: ekarong@sut.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 0-4422-4770

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการเผาไหม้และผลกระทบของปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย โดยการใช้เชื้อเพลิงออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซลที่ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง 40, 60 และ 80 ms ตามลำดับ ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 2,500 RPM ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระกรรม 30, 50, 70, 90 และ 110 N-m ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจน ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) มีแนวโน้มลดลง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ทั้งนี้ทำให้ความดันภายในกระบอกสูบสูงสุด และอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจนช่วยลดปริมาณการปลดปล่อย NO_x ขณะที่การปลดปล่อย CO, HC และเขม่าควันดำมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

คำหลัก: เชื้อเพลิงออกซิเจน, ระยะเวลาฉีดเชื้อเพลิง, การเผาไหม้

Abstract

Effect of oxygenated fuels blend port-fuel-injection on diesel engine performance and emission was investigated in this research, which focused on engine performance, combustion characteristic and emissions. By use of oxygenated fuels is combined with diesel fuel at fuel injection timing of 40, 60 and 80 ms, respectively. The engine test was carried out on 4-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, respectively. The experimental results showed that increase of fuel injection timing of oxygenated fuels led to a reduction in Brake specific fuel consumption (BSFC) and an increase in Brake thermal efficiency (BTE) when compared with diesel fuel. The addition of oxygenated fuels decreased more in-cylinder pressure and rate of heat release compared to diesel fuel. The emission benefits of the reduction in NO_x emissions was obtained by increase of fuel injection timing of oxygenated fuels. While an increase in CO, HC and smoke was obtained with respect to diesel fuel combustion.

Keywords: Oxygenated fuels, Fuel injection timing, Combustion



การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 5
14 ธันวาคม 2561 ณ โรงแรมเจริญธานี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

1. บทนำ

เครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปถือว่าเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion engines) ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางไปทั่วโลก สาเหตุเนื่องจากมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูง ความทนทานต่อการใช้งาน และมีความน่าเชื่อถือ [1] อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันเครื่องยนต์ดีเซลต้องใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานหลัก ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีแนวโน้มลดลงและจะหมดสิ้นไปในอนาคต ทั้งนี้ยังพบอีกว่าความต้องการใช้พลังงานยังคงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังผลรายงานสถานการณ์พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ที่คาดการณ์ว่าการใช้พลังงานของประเทศไทยใน ปี พ.ศ. 2561 จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.1 [2] ด้วยเหตุนี้ การวิจัยเพื่อหาแหล่งพลังงานทางเลือก (Alternative fuels) จากวัตถุดิบอื่นๆ จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้น

เป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นฐานทางเกษตรกรรม ซึ่งในแต่ละปีมีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมากมาย ดังนั้นพลังงานทางเลือกจากพลังงานชีวมวล จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความเหมาะสมกับประเทศไทย เนื่องจากวัตถุดิบในการผลิตพลังงานชีวมวลนั้นได้มาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยผลผลิตที่ได้จากกระบวนการแปรรูปเป็นพลังงานชีวมวลนั้น ส่วนหนึ่งจะอยู่รูปของพลังงานเชื้อเพลิงที่เรียกว่า "เชื้อเพลิงออกซิเจน (Oxygenated fuels)" โดยทั่วไปแล้วเชื้อเพลิงที่ถือว่าเป็นเชื้อเพลิงออกซิเจน ได้แก่ แอลกอฮอล์ อีเทอร์ และไบโอดีเซล [3] ซึ่งผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ การเผาไหม้ และมลพิษ เช่น ปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในโมเลกุลและหมู่ฟังก์ชันของเชื้อเพลิงออกซิเจนสามารถช่วยลดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ในทางตรงกันข้ามจะส่งผลให้ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) สูงขึ้น [4]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของเชื้อเพลิงออกซิเจน ซึ่งประกอบไปด้วยเอทานอล ความบริสุทธิ์สูง บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ ที่มีหมู่ฟังก์ชันโมเลกุลที่แตกต่างกันเป็นเชื้อเพลิงร่วมสำหรับใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยการฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจนเข้าไปยังท่อร่วมไอดี ต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสีย เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทางเลือก และส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลจากวัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากการเกษตร

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เชื้อเพลิงออกซิเจน (Oxygenated Fuel)

แอลกอฮอล์ (Alcohol)

แอลกอฮอล์ เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ต่อกับอะตอมคาร์บอน (C) โดยสูตรทั่วไปของแอลกอฮอล์คือ C_nH_{2n+1}OH ผลิตได้จากกระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งได้รับความสนใจในการพัฒนาเป็นพลังงานทดแทน เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล เนื่องจากสามารถนำมาดัดแปลงหรือใช้ในเครื่องยนต์ได้โดยตรง ไบโอดีเซลที่มีความสำคัญสำหรับการทำมาเป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ ได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และบิวทานอล [5] อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ที่ได้รับความสนใจในภาคอุตสาหกรรมยานยนต์ และในเครื่องยนต์ดีเซลมีอยู่ 2 ประเภท คือ เอทานอลและบิวทานอล โดยใช้ระบบเชื้อเพลิงสองชนิดสำหรับการเผาไหม้ร่วมกันของเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์และน้ำมันดีเซล ซึ่งวิธีที่นิยมใช้คือ การฉีดเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์บริเวณท่อร่วมไอดี และการฉีดเชื้อเพลิงที่ผสมระหว่างแอลกอฮอล์กับน้ำมันดีเซลเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง [6]

อีเทอร์ (Ethers)

อีเทอร์ คือ สารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันอีเทอร์ โดยอะตอมของออกซิเจน (O) ต่อกับอะตอมของหมู่ฟังก์ชันอัลคิล (alkyl) หรือหมู่ฟังก์ชันอาริล (aryl) ซึ่งมีสูตรโมเลกุล R-O-R' โดย R และ R' แสดง



การประจําวิชาการวิศวกรรมพาริมและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 5
14 ธันวาคม 2561 ณ โรงแรมเจริญธานี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ถึงหมุ่ฟังกัซันแอลคิลหรือหมุ่ฟังกัซันอาร์ล และมีสูตรโมเลกุลเหมือนแอลกอฮอล์และฟีนอล จึงเป็นไอโซเมอร์โครงสร้างกับแอลกอฮอล์และฟีนอล เช่น ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether) เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในฐานะพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) เนื่องจากสามารถผลิตได้จากเอทานอลโดยผ่านกระบวนการดีไฮเดรชัน และไดเมทิลอีเทอร์ (Dimethyl ether) มีคุณสมบัติคล้ายกันกับไดเอทิลอีเทอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล เช่น อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเองที่ต่ำ จำนวนซีเทนที่สูง ความหนาแน่นของพลังงานที่เหมาะสม ซัดจำกัดความไวไฟที่กว้าง ปริมาณออกซิเจนที่สูง และการระเหยกลายเป็นไอที่สูง เป็นต้น [7]

2.2 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล

การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ดีเซลสามารถกำหนดและอธิบายได้จากการศึกษาภาพถ่ายของกระบวนการเผาไหม้และการวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้วจะใช้อัตราการปลดปล่อยความร้อน (Rate of heat release, ROHR) ที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 1 เป็นตัวกำหนดรูปแบบของการเผาไหม้ซึ่งอัตราการปลดปล่อยความร้อนดังกล่าวคือ อัตราของพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกมาโดยกระบวนการเผาไหม้

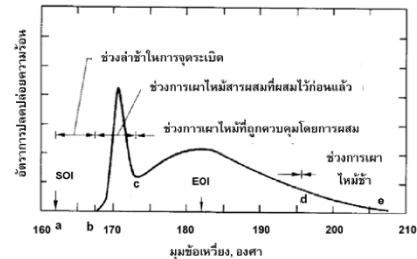
$$\frac{\partial Q}{\partial \theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{\partial V}{\partial \theta} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{\partial P}{\partial \theta} \quad (1)$$

เมื่อ $\frac{\partial Q}{\partial \theta}$ คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อน, J/°CA

P คือ ความดันในกระบอกสูบ, Bar

V คือ ปริมาตรในห้องเผาไหม้, m³

θ คือ องศาเพลลาข้อเหวียง, °CA



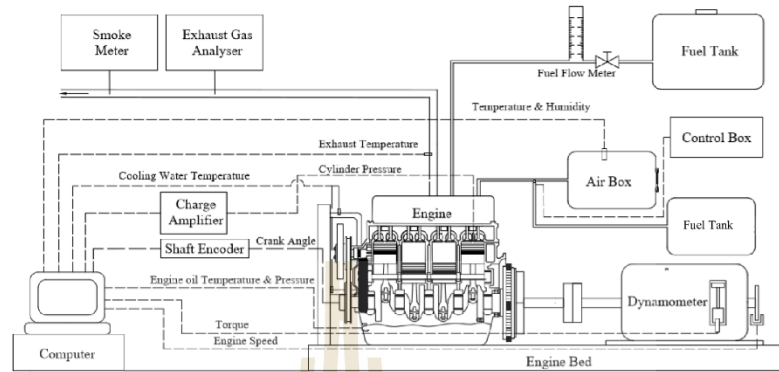
รูปที่ 1 แผนภาพอัตราการปลดปล่อยความร้อน

ช่วงของกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ดังรูปที่ 1 สามารถอธิบายโดยสังเขปได้ดังนี้

- 1) ช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition delay period, a-b) เป็นช่วงระหว่างการเริ่มต้นของการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้และการเริ่มต้นการเผาไหม้
- 2) ช่วงการเผาไหม้ของสารผสม (Premixed combustion phase, b-c) ในช่วงนี้เป็น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศในช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด โดยการเผาไหม้ก็จะเผาไหม้เกือบพร้อมกัน ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วและเป็นผลให้มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนในช่วงนี้สูง
- 3) ช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม (Mixing-controlled combustion phase, c-d) เป็นการเผาไหม้หลังจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ถูกผสมกับอากาศในช่วงล่าช้าในการจุดระเบิดได้ถูกเผาไหม้จนหมด ในช่วงนี้จะถูกควบคุมโดยปริมาณเชื้อเพลิงที่พร้อมเผาไหม้ อัตราการปลดปล่อยความร้อนช่วงนี้จะต่ำกว่าในช่วงการเผาไหม้ของสารผสม
- 4) ช่วงการเผาไหม้ช้า (Late combustion phase, d-e) เป็นช่วงที่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ยังคงหลงเหลืออยู่ในห้องเผาไหม้เล็กน้อย และเป็น การเผาไหม้การไหม้ของเขม่า มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ต่ำ ในจังหวะที่มีการขยายตัวภายในกระบอกสูบ [8]



การประชุมวิชาการวิศวกรรมพาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 5
 14 ธันวาคม 2561 ณ โรงแรมเจริญธานี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น



รูปที่ 2 การติดตั้งเครื่องยนต์สำหรับการทดสอบ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์การทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ชนิดฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ ซึ่งแสดงข้อมูลโดยทั่วไปของเครื่องยนต์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 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 ไอดี และไอเสีย โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K

การวัดค่าอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงวัดโดยใช้ชุดตวงวัดเทียบกับเวลา เก็บข้อมูลความดันในกระบอกสูบและองศาเพลลาข้อเหวี่ยงด้วยชุดเก็บข้อมูล รวมถึงเครื่องมือวิเคราะห์ไอเสียจากเครื่องยนต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสียยี่ห้อ Testo รุ่น Testo 350, ยี่ห้อ Horiba รุ่น MEXA-584L และเครื่องมือวัดเขม่ายี่ห้อ Testo รุ่น Testo 308 โดยการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2 และข้อมูลเครื่องมือวิเคราะห์หิมลพิษ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลจำเพาะเครื่องมือวิเคราะห์หิมลพิษ

Measured Quantity	Measuring Range (ppm)	Resolution (ppm)	Accuracy (ppm)
TESTO 350			
NO	0 to 4000	1	± 5
NO ₂	0 to 500	0.1	± 5
CO	0 to 10000	1	± 5
HORIBA MEXA-584L			
HC	0 to 20000	1	-
TESTO 308			
Smoke Index	0 to 6	0.1	-

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และตรวจวัดมลพิษไอเสียที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 2,500 RPM ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงภาระกรรม 30, 50, 70, 90 และ 110 N-m



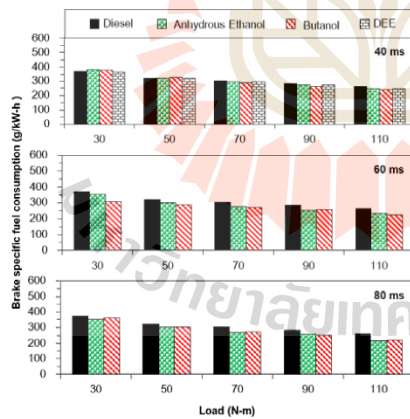
การประชุมวิชาการวิศวกรรมพาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 5
 14 ธันวาคม 2561 ณ โรงแรมเจริญธานี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ตามลำดับ โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงออกซิเจน ได้แก่ เอทานอลความบริสุทธิ์สูง (Anhydrous ethanol, AE) บิวทานอล (Butanol, BU) และไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether, DEE) สำหรับการฉีดเป็นเชื้อเพลิงร่วมที่ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง 40, 60 และ 100 ms ตามลำดับ ทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่างๆ ในการทดสอบ ได้แก่ อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เก็บข้อมูลความดันภายในกระบอกสูบ และองศาเพลลาข้อเหวี่ยง (1,500 วัฏจักร) และมลพิษไอเสีย ซึ่งประกอบด้วยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC) และเขม่าควันดำ (Smoke)

4. ผลการวิจัย

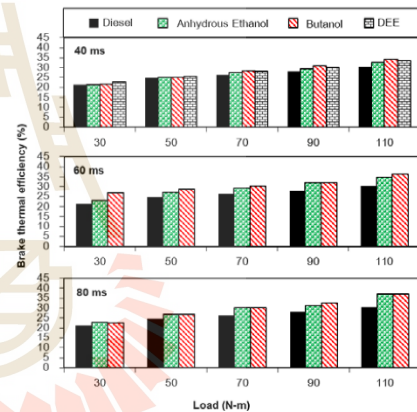
ผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ คุณลักษณะการเผาไหม้ และผลตรวจวัดมลพิษไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยใช้ น้ำมันดีเซล และเชื้อเพลิงออกซิเจน (เอทานอลความบริสุทธิ์สูง, บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์) ซึ่งแสดงผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์



รูปที่ 3 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC)

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC) คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวลต่อกำลังหนึ่งหน่วยที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ภายในระยะเวลาหนึ่งหน่วย [7] โดยจากรูปที่ 3 สังเกตได้ว่า BSFC มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลกับการใช้เชื้อเพลิงออกซิเจน (AE, BU และ DEE) เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า BSFC มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ทั้งนี้การเพิ่มเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงร่วมที่ 40, 60 และ 80 ms ตามลำดับ พบว่า BSFC มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉีดมากขึ้น เนื่องจากการฉีดเชื้อเพลิงที่ต่อรวมได้ดีทำให้อากาศกับเชื้อเพลิงผสมกันได้ดีขึ้น ส่งผลให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่สูงขึ้น



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) คือ ความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานกล [7] จากรูปที่ 4 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของภาระกรรมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ BTE ของน้ำมันดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงออกซิเจน (AE, BU และ DEE) เป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการฉีดเชื้อเพลิงมากขึ้น BTE จะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงออกซิเจนที่ฉีด

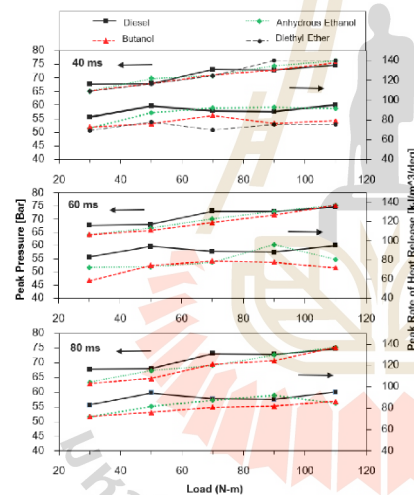


การประจําวิชาการวิศวกรรมพารมและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 5
 14 ธันวาคม 2561 ณ โรงแรมเจริญธานี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ร่วมมือออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลจึงช่วยเกิดการเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.2 คุณลักษณะการเผาไหม้

ความดันภายในกระบอกสูบ (ICP) และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (ROHR) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการบ่งชี้ถึงคุณลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ ดังรูปที่ 5 แสดงความดันภายในกระบอกสูบสูงสุดและอัตราการปลดปล่อยความร้อนจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์จะส่งผลให้ ICP และ ROHR มีค่าสูงขึ้น [6] เมื่อเปรียบเทียบความดันภายในกระบอกสูบสูงสุดในแต่ละภาระกรรมพบว่า ความดันในกระบอกสูบสูงสุดของน้ำมันดีเซลจะมีแนวโน้มมากกว่าเชื้อเพลิงออกซิเจน

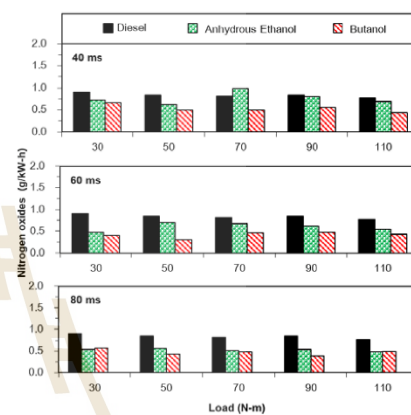


รูปที่ 4 ความดันภายในกระบอกสูบสูงสุดและอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุด

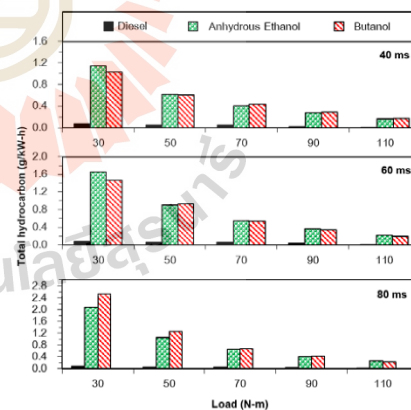
นอกจากนี้การใช้เชื้อเพลิงออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมจะมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ในช่วงภาระกรรมที่ต่ำและจะมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดใกล้เคียงการใช้น้ำมันดีเซลที่ภาระกรรมสูง อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์สามารถใช้

เชื้อเพลิงไดเอทิลอีเทอร์ (DEE) เป็นเชื้อเพลิงร่วมในการฉีดได้เฉพาะช่วงเวลากการฉีดเชื้อเพลิงที่ 40 ms เท่านั้น เนื่องจากเครื่องยนต์เกิดการชิงจุดระเบิดก่อนโดยสาเหตุหลักน่าจะมาจากค่าเลขซีเทนที่สูงของไดเอทิลอีเทอร์ ส่งผลให้เครื่องยนต์เกิดการชิงจุดระเบิด (ดังนั้นจึงไม่ได้แสดงผลในการเพิ่มช่วงเวลากการฉีดเชื้อเพลิงที่ 60 และ 80 ms)

4.3 มลพิษไอเสีย



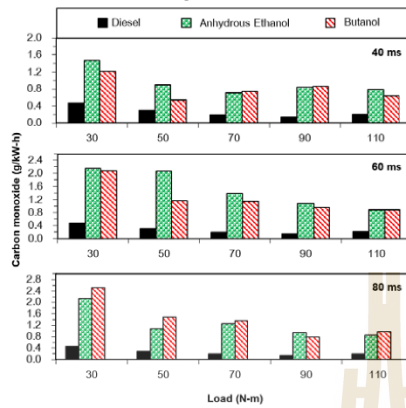
รูปที่ 5 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)



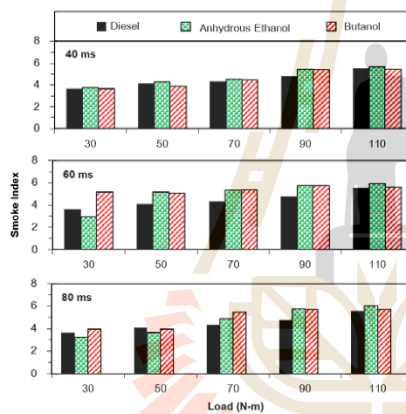
รูปที่ 6 ไฮโดรคาร์บอน (HC)



การประชุมนานาชาติวิศวกรรมพาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 5
 14 ธันวาคม 2561 ณ โรงแรมเจริญธานี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น



รูปที่ 7 คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)



รูปที่ 8 เขม่าควันดำ

ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีองค์ประกอบหลักๆ ประกอบด้วยไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ปนอยู่เป็นส่วนใหญ่ [9] จากรูปที่ 5 พบว่า เมื่อเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ ปริมาณของ NO_x จะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิการเผาไหม้และความดันในกระบอกสูบที่สูงขึ้น เมื่อใช้เชื้อเพลิงออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า มีปริมาณ NO_x ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากค่าความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงออกซิเจนที่มีค่าสูง

ทำให้การเปลี่ยนสถานะของเชื้อเพลิงออกซิเจนจากของเหลวกลายเป็นไอต้องใช้พลังงานความร้อนที่สูง ส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้มีค่าลดลง

ไฮโดรคาร์บอน (HC) เป็นมลพิษไอเสียซึ่งเกิดจากอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์และไอตีที่มีความเข้มข้นก่อให้เกิดการขาดออกซิเจนทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ [10] จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าปริมาณ HC ที่ภาระกรรมต่ำจะมีค่าสูงกว่าที่ภาระกรรมสูง เนื่องจากที่ภาระกรรมต่ำจะมีอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ต่ำ ประกอบกับความล่าช้าในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงออกซิเจน ส่งผลให้ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่สั้น [11] จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ถือว่าเป็นมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ โดยเกิดขึ้นเมื่อสารผสมหนาทำให้มีออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะเผาไหม้คาร์บอนทั้งหมดในเชื้อเพลิงให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) [12] ซึ่งจากผลการทดสอบ ดังรูปที่ 7 พบว่า การเพิ่มภาระกรรมให้กับเครื่องยนต์ส่งผลให้ CO มีปริมาณลดลง เมื่อพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมพบว่า CO มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงที่มากขึ้น เนื่องจากความล่าช้าในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงออกซิเจน ทำให้ลดระยะเวลาในการเผาไหม้ในหนึ่งวัฏจักรมีค่าลดลง

เขม่าควันดำที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล ดังรูปที่ 8 พบว่า การใช้เชื้อเพลิงออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมก่อให้เกิดเขม่าควันดำเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล สาเหตุน่าจะมาจากเชื้อเพลิงออกซิเจนมีสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile organic compounds) เป็นองค์ประกอบจึงทำให้เกิดเขม่าควันดำเพิ่มมากขึ้น

5. บทสรุป

จากศึกษาการใช้เชื้อเพลิงเชื้อเพลิงออกซิเจนได้แก่ เอทานอล ความบริสุทธิ์สูง บิวทานอล และไดเอทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมสำหรับ



การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 5
14 ธันวาคม 2561 ณ โรงแรมเจริญธานี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

เครื่องยนต์ดีเซล โดยการฉีดเข้าไปยังห้องไออดี
ที่เวลาในการฉีดเชื้อเพลิงต่างๆ สามารถสรุปได้ว่า

- การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจน
ส่งผลให้ความดันเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก
(BSFC) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ
น้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังทำให้ประสิทธิภาพเชิง
ความร้อนเบรก (BTE) มีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ
น้ำมันดีเซล

- คุณลักษณะการเผาไหม้พบว่า เมื่อฉีดเชื้อเพลิง
ออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับไออดี ทำให้ความดัน
ภายในกระบอกสูบลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมัน
ดีเซล และมีอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดต่ำ
กว่าการใช้น้ำมันดีเซล

- การเพิ่มระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจน
ช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์
(NO_x) อย่างไรก็ตาม ส่งผลให้ปริมาณการปลดปล่อย
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และ
เขม่าควันดำ (Smoke) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามระยะเวลา
การฉีดเชื้อเพลิงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดีเนื่องจาก
ได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจากศูนย์ความเป็นเลิศ
ทางชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุน
และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบงานวิจัยครั้งนี้
และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำอาคารเครื่องมือ
ศูนย์เครื่องมือและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
สุรนารี สำหรับเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Kumar, S., et al. (2013). "Advances in diesel-
alcohol blends and their effects on the
performance and emissions of diesel engines."
Renewable and Sustainable Energy Reviews 22:
46-72.

[2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.)
กระทรวงพลังงาน (2560), สถานการณ์พลังงาน

ปี 2560 และแนวโน้มปี 2561. [ระบบออนไลน์],
แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th>, เข้าดูเมื่อวันที่
19/10/2561.

[3] Awad, O. I., et al. (2018). "The impacts of
compression ratio on the performance and
emissions of ice powered by oxygenated fuels:
A review." Journal of the Energy Institute 91(1):
19-32.

[4] Demirbas, A. (2005). "Bioethanol from
Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel
from Biomass." Energy Sources 27(4): 327-337.

[5] Christensen, E., et al. (2011). "Renewable
Oxygenate Blending Effects on Gasoline
Properties." Energy & Fuels 25(10): 4723-4733.

[6] สมเกียรติ หมายถกกลาง (2560). การใช้ไขมัน
ขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์
จุดระเบิดด้วยการอัด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[7] 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.

[8] พอเจตน์ สุขสมพงษ์ (2560). การศึกษารูปแบบ
การฉีดเชื้อเพลิงไคเมทิลอีเทอร์ที่เหมาะสมใน
เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าพระนครเหนือ.

[9] ชัยยง ศิรพรมงคลชัย (2558). เครื่องยนต์สันดาป
ภายใน, กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

[10] Willard W. Pullkrabek. (2003). Engineering
Fundamentals of the Internal Combustion Engine.
Pearson Education Inc, New Jersey.

[11] Sarjoavaara, T. and M. Larmi (2015). Dual fuel
diesel combustion with an E85 ethanol/gasoline
blend, Fuel, vol. 139, pp. 704-714.

[12] Heywood, J. B. (1988). Internal combustion
engine fundamentals. McGraw-Hill, New York.

ประวัติผู้เขียน

นายณัฐพล ที่รัก เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2536 ที่อำเภอรัฐประศาสน์ จังหวัดสระแก้ว สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว ในปีการศึกษา 2555 และสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีการศึกษา 2558 ในช่วงที่กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ได้มีโอกาสศึกษาเกี่ยวกับพลังงานเชื้อเพลิงทางเลือก และการทดสอบเครื่องยนต์ จึงทำให้เกิดแรงจูงใจในการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษาทางด้านวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ เพื่อพัฒนาความรู้ของตนเอง จึงได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทหลักสูตรวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2559 โดยระหว่างการศึกษามีโอกาสเป็นผู้สอนรายวิชาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ได้แก่ การเขียนแบบวิศวกรรม 1 เขียนแบบทางกล ปฏิบัติการทางพลศาสตร์และระบบควบคุมในยานยนต์ และปฏิบัติการระบบในยานยนต์

ซึ่งช่วยให้ผู้วิจัยได้มีทักษะและความรู้ที่ได้จากการสอนมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้วิจัยและวิจัยร่วมกับคณาจารย์จนมีผลงานตีพิมพ์เผยแพร่จำนวน 3 เรื่อง ได้แก่

ผลงานทางวิชาการเรื่อง “คุณลักษณะมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงร่วมด้วยการฉีดแก๊สโซฮอล์ที่พอร์ท.” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (ENETT 14). โรงแรมโนโวเทล จังหวัดระยอง, 13 – 15 มิถุนายน 2561.

ผลงานทางวิชาการเรื่อง "Emission Benefits from the Use of Castor Oil in a Compression Ignition Engine Fuelled with Diesel-Ethanol Blends," International Journal of Electrical Energy, Vol. 6, No. 2, pp. 57-63, December 2018.

ผลงานทางวิชาการเรื่อง “ผลกระทบของการฉีดเชื้อเพลิงออกซิเจนต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลและมลพิษ.” การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 5 (FEAT 5). โรงแรมเจริญธานี จังหวัดขอนแก่น, 14 ธันวาคม 2561.