อิทธิพลของเอทานอลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

Influence of Ethanol on a Diesel Engine Efficiency and Emission Characteristics

ชัชภาค ธัญญะคุณากร

ณฤดล บัวผัน

ธีรภัทร ณุวงษ์ศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของเอทานอลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

Influence of Ethanol on a Diesel Engine Efficiency and Emission Characteristics

ชัชภาค ธัญญะคุณากร

ณฤดล บัวผัน

ธีรภัทร ณุวงษ์ศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Influence of Ethanol on a Diesel Engine Efficiency and Emission Characteristics

Chatchapak Tunyakunakron

Naruedon Buapan

Teerapat Nuvongsri

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2564

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อิทธิพลของเอทานอลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

Influence of Ethanol on a Diesel Engine Efficiency and Emission Characteristics

ผู้จัดทำ

1. นายชัชภาค ธัญญะคุณากร รหัสนักศึกษา 61010227
2. นายณฤดล บัวผัน รหัสนักศึกษา 61010295
3. นายธีรภัทร ณุวงษ์ศรี รหัสนักศึกษา 61010519

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. ปรีชา การินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของเอทานอลต่อประสิทธิภาพและคุณลักษณะมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

ชัชภาค ธัญญะคุณากร 61010227
ณฤดล บัวผัน 61010295
ธีรภัทร ณุวงษ์ศรี 61010519
รศ.ดร.ปรีชา การินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการลดการปล่อยก๊าซมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีอย่างจำกัด โดยการใช้เอทานอลผสมในอัตราส่วนน้ำหนักกับเชื้อเพลิง “B20” ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย (ไบโอดีเซล 20% จากน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล 80%) เป็นเชื้อเพลิง B20E5 (95% B20 ที่มีเอทานอล 5%) และ B20E10 (90% B20 ที่มีเอทานอล 10%) เพื่อศึกษาผลลัพธ์ของสมรรถนะของเครื่องยนต์ การเผาไหม้ การปล่อยก๊าซไอเสีย และขนาดของอนุภาคเกาะตัวจากไอเสีย โดยใช้เชื้อเพลิงที่ถูกผสมนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากเชื้อเพลิง B20 พื้นฐานในเชิงพาณิชย์ โดยตัวอย่างเชื้อเพลิง ทั้งหมดจะได้รับการทดสอบด้วยเครื่องยนต์ดีเซลหัวฉีดแบบฉีดตรง 4 สูบ ที่โหลดเครื่องยนต์ที่ 56, 84, 112 และ 140 ตามลำดับด้วยรอบเครื่องยนต์ 1000, 1500 และ 2000 รอบต่อนาที เมื่อความเร็วของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น การสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงจำเพาะของเบรก (Brake Specific Fuel Consumption) ก็ลดลง และประสิทธิภาพทางความร้อนของเบรก (Brake Thermal Efficiency) ก็เพิ่มขึ้น จากการทดลอง B20E10 แสดงให้เห็นถึงการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่สภาวะเบรกมีค่าสูงสุด เนื่องจากส่วนผสมของเชื้อเพลิงมีพลังงานต่ำ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้ที่ดีขึ้น ทำให้เห็นว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล มีข้อได้เปรียบที่สำคัญในการลดการอนุภาคของเขม่าโดยเฉพาะในความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ และทำให้เห็นว่าเชื้อเพลิงผสมลดการปล่อยเขม่าและมลพิษ (CO_x, HC) และเพิ่มการปล่อย NO_x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Influence of Ethanol on a Diesel Engine Efficiency and Emission Characteristics

Chatchapak Tunyakunakron 61010227
Naruedon Buapan 61010295
Teerapat Nuvongsri 61010519
Assoc.Prof.Dr. Preechar Karin
2021

Abstract

This research was directed to reduce the diesel engine emissions and dependency of finite fossil fuel reserves. The ethanol was blended by weight ratio with Thai commercial “B20” fuel (20% palm oil’s biodiesel and 80% diesel) as B20E5 (95% B20 with 5% ethanol) and B20E10 (90% B20 with 10% ethanol). The results of engine’s performance, combustion, emission, and agglomerate particles size using blended fuels were compared with the results of base commercial B20 fuel. All fuel samples were tested on a four-cylinder direct injection diesel engine with various loads of 56, 84, 112 and 140 Nm with engine speeds of 1000, 1500 and 2000 RPM. When the engine speed increased, the brake specific fuel consumption decreased, and the brake thermal efficiency increased. The B20E10 shows the highest brake specific fuel consumption because of the low energy content of the fuel blend and highest thermal efficiency due to better combustion process. The ethanol blended fuels show higher peaks of in-cylinder pressure and heat release rate than the base B20 fuel, with B20E10 as the highest. Ethanol blended fuels have significant advantages in particulate matters reduction especially in idle engine speed. The blended fuels decreased soot and emissions (CO_x, HC) and increased NO_x emission.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถดำเนินไปได้ด้วยดีเพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลืออย่างยิ่งในด้านต่างๆ เสมอมาจาก ผศ.ดร.ปรีชา การินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำแนะนำ ตรวจสอบข้อบกพร่องของปริญญานิพนธ์เสมอมา ซึ่งต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณชมรม Automotive ที่เอื้อเฟื้อให้ใช้สถานที่ในการทำปริญญานิพนธ์ และ ขอบคุณนายวทัญญู ไพโรจน์ (พี่เบิร์ด) นายปุณณัตถ์ แท้วิริยะกุล (พี่ปาล์ม) Mr.Phyo Wai ที่ให้ความรู้และคำแนะนำ ให้ความอนุเคราะห์ในการเตรียมการ การทดสอบและการเก็บรวบรวมข้อมูลในการทำงานวิจัยและการทดลอง รวมถึงให้คำปรึกษาในองค์ความรู้ต่างๆในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดีพร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นายชัชภาค	ธัญญะคุณากร	61010227
นายณฤดล	บัวผัน	61010295
นายธีรภัทร	ณุวงษ์ศรี	61010519

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 2

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 เครื่องยนต์ดีเซล 3

2.1.1 วัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle) 3

2.1.1.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ 3

2.1.2 งานของเครื่องยนต์(Work) 6

2.1.3 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air – fuel ratio) และอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ (Fuel – air ratio) 8

2.1.4 กำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ (Power and Torque) 8

2.1.5 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption) 9

2.1.6 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption) 9

2.1.7 กำลังอินพุต (Input Power) 10

2.1.8 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (Engine efficiency) 10

2.2 มลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซล 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 เขม่าควันดำ 11
2.3 ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) 12
2.4 ไดนาโมมิเตอร์ 13
2.5 น้ำมันเชื้อเพลิง 13
2.5.1 เชื้อเพลิงไบโอดีเซล 13
2.5.2 เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล 13
2.6 มลพิษจากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบฉีดตรง 15
2.6.1 อนุภาค (Particular Matter, PM) 15
2.6.2 ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocabon) 15
2.6.3 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 16
2.6.4 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 17
2.6.5 แก๊สออกซิเจน (O_2) 17
2.6.6 แก๊สไนโตรเจน (N_2) 17
2.6.7 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) 18
บทที่ 3 แผนผังและอุปกรณ์การทดลอง 19
3.1 แผนผังและอุปกรณ์การทดลอง 19
3.1.1 เครื่องยนต์ (Engine) 19
3.1.1.1 กล่อง ECU 21
3.1.2 ไดนาโมมิเตอร์ (Eddy Current Dynamometer) 21
3.1.3 ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง 22
3.1.3.1 Fuel Tank 23
3.1.3.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Weight scale) 24
3.1.4 เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke Meter) 25
3.1.5 Carman Scan (OBD2) 25
3.1.6 Gas Analyzer 26
3.1.7 เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure sensor) 27
3.1.8 เซนเซอร์วัดองศาเพลาข้อเหวี่ยง (Crank Encoder) 28
3.2 วิธีการทดลอง 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 สภาวะที่ใช้ทดสอบ 29
3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ 30
3.2.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพ 30
3.2.2.2 การทดสอบมลพิษ 35
บทที่ 4 ผลการวิจัย 38
4.1 พฤติกรรมการเผาไหม้ 38
4.1.1 ความดันภายในกระบอกสูบเมื่อพิจารณามุมเพลาข้อเหวี่ยง 38
4.1.2 ความดันภายในกระบอกสูบเมื่อพิจารณาปริมาตรภายในกระบอกสูบ 40
4.2 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ 44
4.2.1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel consumption, $\dot{m}_f$) 45
4.2.2อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption) 46
4.2.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption 47
4.2.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) 49
4.3 พฤติกรรมการปล่อยไอเสีย 50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 55
บรรณานุกรม 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง 14

3.1 Engine Main Data and Specification 20

3.2 คุณสมบัติของ Engine Dynamometer 22

3.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง 23

3.4 คุณสมบัติของ Pressure Sensor 28

3.5 ความแม่นยำและความไม่แน่นอนของอุปกรณ์และเซ็นเซอร์ 30

3.6 ตารางบันทึกอัตราการไหลของเชื้อเพลิงในทุกสภาวะการทดสอบ 32

3.7 ตารางบันทึกประสิทธิภาพเบรกของเครื่องยนต์ขณะที่ใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 33

3.8 ตารางบันทึกประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ขณะที่ใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด 34

3.9 ตารางบันทึกปริมาณแก๊สและสารประกอบจากไอเสียของเครื่องยนต์ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 (a) P-v Diagram (b) T-s Diagram ของวัฏจักรดีเซล 3

2.2 จังหวะดูด 4

2.3 จังหวะอัด 5

2.4 จังหวะระเบิด 5

2.5 จังหวะคาย 6

2.6 มาตรฐานการปล่อยมลพิษของยุโรป 11

2.7 สัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแต่ละภาคส่วนของประเทศไทย 12

2.8 ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลในแต่ละอัตราส่วน 15

2.9 มลพิษในไอเสียที่ความเข้มข้นของไอดีมากจนออกซิเจนไม่เพียงพอสำหรับทำปฏิกิริยากับคาร์บอนของเครื่องยนต์ 16

3.1 แผนผังการทดลอง 19

3.2 เครื่องยนต์ 4JJ1-Turbocharge 20

3.3 กล่อง ECU Link G4+ Xtreme 21

3.4 Engine Dynamometer 22

3.5 แผนภาพการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง 23

3.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Weight scale) 24

3.7 เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke Meter) 25

3.8 Carman Scan (OBD2) 26

3.9 Gas Analyzer 26

3.10 Kistler Spark Plug Pressure Sensor Type 6052B 27

3.11 เซนเซอร์วัดองศาเพลาข้อเหวี่ยง 29

3.12 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ 31

3.13 ขั้นตอนการทดสอบมลพิษ 35

4.1 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมเพลาข้อเหวี่ยงของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 รอบต่อนาที ที่ชนิดของเชื้อเพลิงและภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมเพลาข้อเหวี่ยงของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 รอบต่อนาที ที่ชนิดของเชื้อเพลิงและภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน 39
4.3 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมเพลาข้อเหวี่ยงของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที ที่ชนิดของเชื้อเพลิงและภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน 40
4.4 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรกระบอกสูบของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 รอบต่อนาที ที่ชนิดของเชื้อเพลิงและภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน 41
4.5 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรกระบอกสูบของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 รอบต่อนาที ที่ชนิดของเชื้อเพลิงและภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน 41
4.6 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรกระบอกสูบของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที ที่ชนิดของเชื้อเพลิงและภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน 42
4.7 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรกระบอกสูบของเชื้อเพลิงเดียวกัน ความเร็วรอบเครื่องยนต์เดียวกันที่ 1500 รอบต่อนาที และภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน 42
4.8 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรกระบอกสูบของความเร็วรอบเครื่องยนต์เดียวกันที่ 1000 รอบต่อนาที ภาระเครื่องยนต์เดียวกันที่ 112 Nm ที่ชนิดของเชื้อเพลิงต่างกัน 43
4.9 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรกระบอกสูบของเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันและภาระเครื่องยนต์ 112Nm ที่ความเร็วรอบต่างกัน 44
4.10 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน 45
4.11 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน 46
4.12 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน 46
4.13 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน 47
4.14 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน 47
4.15 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน 49
4.16 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน 49
4.17 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน 50
4.18 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน 51
4.19 ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจน (N_2) ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน 51
4.20 ปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจน (O_2) ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน 52
4.21 ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.22 ปริมาณความหนาแน่นของควันดำ (Smoke Intensity) ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน เครื่องยนต์ดีเซลได้รับความแพร่หลายในประเทศไทย ซึ่งนิยมใช้ในการขับเคลื่อนยาน พาหนะหรือใช้กับเครื่องมือในอุตสาหกรรมหนัก เป็นส่วนใหญ่ ตัวอย่างเช่น รถบรรทุก รถโดยสารสาธารณะ เหตุผลที่เครื่องยนต์ดีเซลได้รับความนิยมนั่นคือ ให้พลังงานที่สูง ประหยัดน้ำมัน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน และทนทาน ในทางกลับกันไอเสียที่ปล่อยจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล จะประกอบไปด้วย เขม่าควันดำ แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ฝุ่นละออง และอื่นๆ ฝุ่นละอองที่เกิดจากไอเสียของรถยนต์ดีเซล โดยเฉพาะรถยนต์ดีเซล ที่มีค่าควันดำเกินมาตรฐาน ถือเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในประเทศไทยและยังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter, PM) ที่เป็นมลพิษในประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยได้มีการกำหนดมาตรฐานควันดำของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยการอัด โดยได้ดำเนินการตรวจสอบ ตรวจจับและห้ามใช้รถยนต์ดังกล่าว ซึ่งดำเนินการได้กับรถยนต์ชนิด รถกระบะ รถตู้ รถโดยสารประจำทาง เป็นต้น โดยการออกคำสั่งห้ามใช้ยานพาหนะ (ห้ามใช้ชั่วคราว, ห้ามใช้เด็ดขาด) แก่รถยนต์ที่มีค่าควันดำเกินมาตรฐานกำหนด (ร้อยละ 50 เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดเขม่าควันดำระบบกระดาษกรองหรือไม่เกินร้อยละ 45 เมื่อวัดด้วยเครื่องมือวัดเขม่าควันดำระบบวัดความทึบแสง) จึงเกิดความคิดที่จะหาเชื้อเพลิงทดแทน หรือเชื้อเพลิงชีวภาพ จะนำอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าแบบไหลผ่านบางส่วนมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Particulate Filter, DPF) เพื่อควบคุมการปล่อยมลพิษออกสู่อากาศ โดยเฉพาะเมื่อนำไปติดตั้งในท่อไอเสียของรถยนต์ดีเซล ซึ่งช่วยลดเขม่าควันดำให้มากที่สุดเพื่อให้รถยนต์สามารถวิ่งบนท้องถนนได้อย่างถูกกฎหมาย [1,2,3]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของเชื้อเพลิง “B20” ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยและเชื้อเพลิง “B20” ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ผสมเอทานอลที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนและผลลัพธ์ของเครื่องยนต์ดีเซล

2. เพื่อศึกษาลักษณะการปล่อยอนุภาคเขม่า ของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้เชื้อเพลิงที่ต่างชนิดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. การเพิ่มสัดส่วนของเอทานอลจะส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าสูงขึ้น

2. การเพิ่มสัดส่วนเอทานอลจะส่งผลให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารไฮโดรคาร์บอน (HC) ลดลงและออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่ถูกปล่อยมีปริมาณเพิ่มขึ้น

3. การเพิ่มสัดส่วนเอทานอลจะส่งผลให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ถูกปล่อยมีปริมาณลดลง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ ISUZU 4JJ1-Turbocharge ในรอบเครื่องยนต์ 1000, 1500, 2000 รอบต่อวินาที ภาระงานของเครื่องยนต์ 56, 84, 112, 140 นิวตันเมตร วัดค่าโดย EDDY CURRENT DYNAMOMETER ED-150-LC

2. ศึกษากราฟระหว่างความดันและปริมาตร (P-V diagram) ของเครื่องยนต์ ISUZU 4JJ1-Turbocharge ในรอบเครื่องยนต์ 1000, 1500, 2000 รอบต่อวินาที ภาระงานของเครื่องยนต์ 56, 84, 112 และ 140 Nm โดยใช้ KISTLER SPARK PLUG PRESSURE SENSOR TYPE 6052B

3. ศึกษาปริมาณมลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิง “B20” ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย และเชื้อเพลิงเชื้อเพลิง “B20” ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยผสมเอทานอล B20E5 และB20E10

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (Indicated thermal efficiency, ITE) และกราฟระหว่าง ความดันกับปริมาตร (P-V diagram) ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10)

2. สามารถวัดปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ก๊าซออกซิเจน (O_2), ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ถูกปล่อยออกจากเครื่องยนต์

3. มีความรู้ความเข้าใจในวัฏจักรการเผาไหม้และกระบวนการการทำงานในเครื่องยนต์ดีเซลที่มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

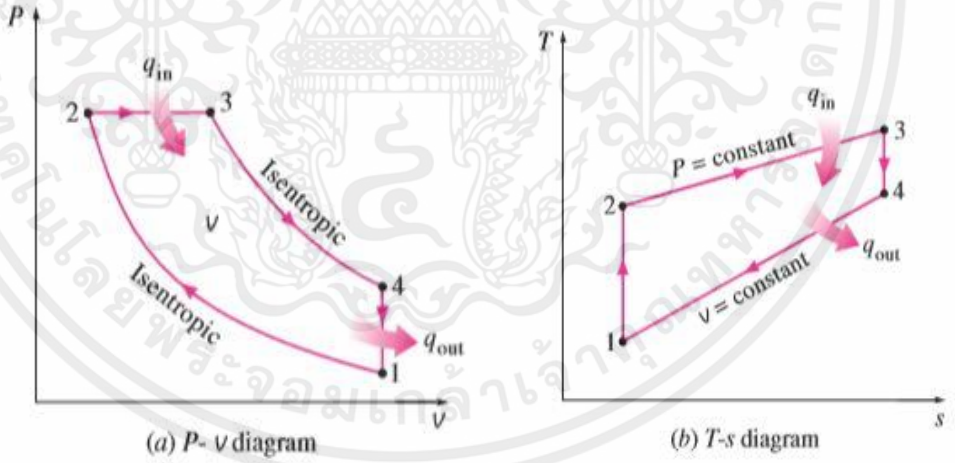
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลจุดระเบิดด้วยการอัดแบบฉีดตรง ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในรถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุก รถโดยสาร เครื่องจักรกลหนักในงานก่อสร้าง หรือกระทั่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในอาคารหรือโรงงาน อุตสาหกรรม เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อน, แรงบิด, สมรรถนะ และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟหรือเครื่องยนต์เบนซิน

2.1.1 วัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle)

วัฏจักรนี้เป็นวัฏจักรที่คล้ายคลึงกับวัฏจักรออตโต้โดยทำการเปลี่ยนกระบวนการเพิ่มความร้อนแบบปริมาตรคงที่ (Constant Volume) เป็นการเพิ่มความร้อนแบบความดันคงที่ (Constant Pressure) เข้าไปแทน โดยมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 (a) P-v Diagram (b) T-s Diagram ของวัฏจักรดีเซล

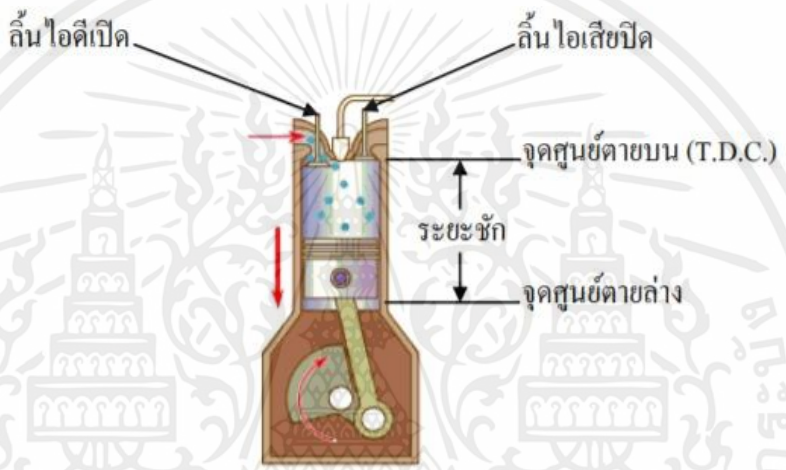
2.1.1.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ หมายถึง หลักการทำงานของเครื่องยนต์ โดยเพลาข้อเหวี่ยงจะหมุนครบ 2 รอบ หรือหมุนเป็นมุมรวม 720 องศา และได้กำลังงาน 1 ครั้ง ซึ่งลูกสูบจะเลื่อนตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น 2 ครั้ง และเลื่อนตำแหน่งลง 2 ครั้งถือเป็นการทำงานครบ 1 กลวัตรจะประกอบด้วยจังหวะการทำงานดังนี้

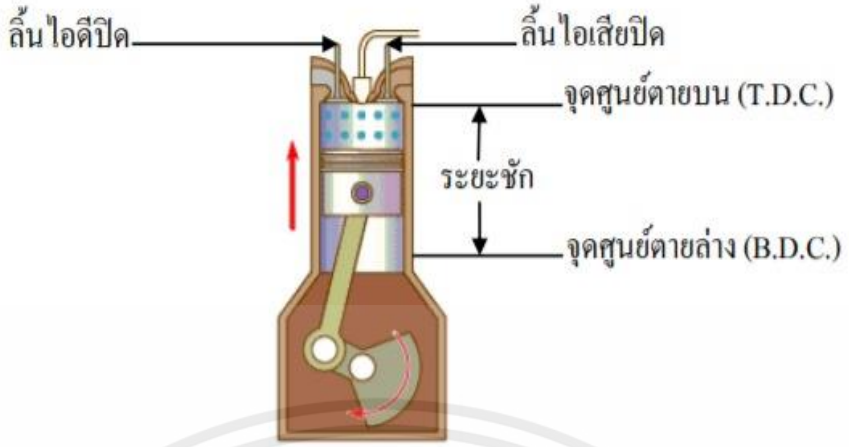
1. จังหวะดูด (Intake Stroke or Suction Stroke) เมื่อลูกสูบเลื่อนตำแหน่งขึ้นสูงสุด คือจุดศูนย์ตายบน (T.D.C. : Top Dead Center) เพลาข้อเหวี่ยงจะหมุนไปทิศทางตามเข็มนาฬิกา ทำให้ลิ้นไอดี เปิดและลิ้นไอเสียปิด ในขณะเดียวกันลูกสูบก็จะเลื่อนตำแหน่งลง อากาศจากภายนอกจะถูกดูดเข้ามา บรรจุภายในกระบอกสูบ โดยผ่านทางช่องลิ้นไอดีจนกระทั่งลูกสูบ เลื่อนตำแหน่งลงมาถึงจุดศูนย์ตายล่าง (B.D.C. : Bottom Dead Center) คือ จุดที่ลูกสูบเลื่อนตำแหน่งลงต่ำสุด ในจังหวะนี้เพลาข้อเหวี่ยงจะหมุน ไปได้ประมาณ 180 องศา



รูปที่ 2.2 จังหวะดูด

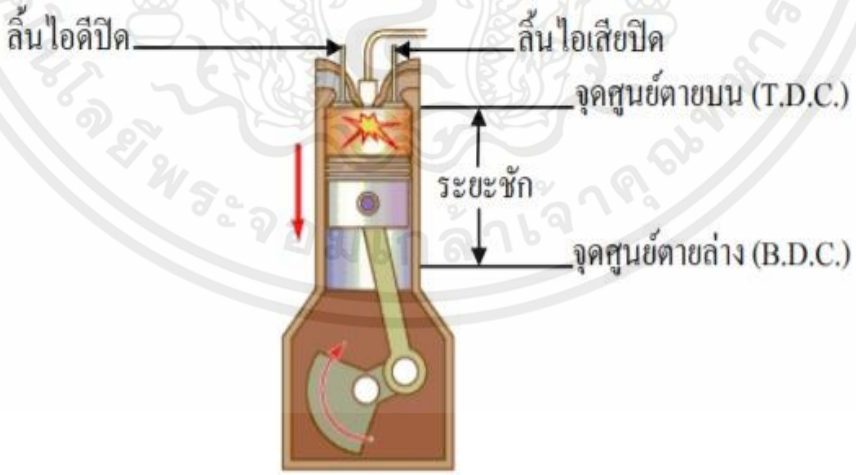
2. จังหวะอัด (Compression Stroke) ในจังหวะนั้น ลูกสูบจะเลื่อนขึ้นจากตำแหน่งจุดศูนย์ตายล่าง เพื่ออัดอากาศหรือที่เรียกว่าไอดี ในขณะเดียวกัน ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะปิดสนิท ทำให้อากาศถูกอัดตัวให้มีปริมาตรที่เล็กลงประมาณ 1 : 16 ของปริมาตรเดิม ความดันอากาศภายในกระบอกสูบสูงถึง 30-40 บาร์ อุณหภูมิไอดีประมาณ 600-700˚C เพลาข้อเหวี่ยงหมุนต่อไปอีกประมาณ 180 องศา หรือครบ 1 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 จังหวะอัด

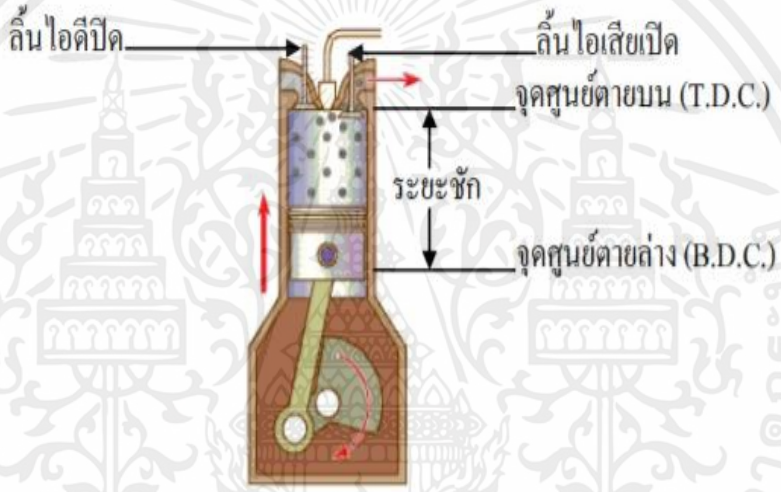
3. จังหวะระเบิดหรือจังหวะกำลัง (Power Stroke) ในตำแหน่งอัดสุดหรือที่จุดศูนย์ตายบนนี้ ลิ้นทั้งสองยังปิดสนิทอยู่ หัวฉีดจะฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นฝอยละอองเข้าไปภายในกระบอกสูบ หรือห้องเผาไหม้เพื่อผสมกับไอดี ซึ่งความร้อนของอากาศที่ถูกอัดตัวและจุดฝอยละอองของน้ำมันเชื้อเพลิงให้เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็ว อุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้ประมาณ 2,000-2,500˚C ทำให้แก๊สเกิดการขยายตัว ผลักดันลูกสูบให้เลื่อนตำแหน่งลงจากจุดศูนย์ตายบนลงสู่ศูนย์ตายล่าง การส่งกำลังที่ได้รับผ่านสลักลูกสูบและก้านสูบไปหมุนเพลาข้อเหวี่ยง ในจังหวะนี้เพลาข้อเหวี่ยงหมุนไปได้อีกประมาณ 180 องศา รวมเป็น 540 องศา



รูปที่ 2.4 จังหวะระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จังหวะคาย (Exhaust Stroke) ในจังหวะนี้ ลิ้นไอเสียจะเปิดก่อนที่ลูกสูบจะเลื่อนตำแหน่งลงถึงจุดศูนย์ตายล่างเล็กน้อย แก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกดันออกจากกระบอกสูบ ในขณะเดียวกันนี้ เพลาข้อเหวี่ยงจะยังคงหมุนต่อไป และดันลูกสูบเลื่อนตำแหน่งขึ้นสู่จุดศูนย์ตายบน เพื่อขับไล่แก๊สไอเสีย ให้ออกไปจากกระบอกสูบ เมื่อลูกสูบเลื่อนตำแหน่งขึ้นถึงจุดศูนย์ตายบน ลิ้นไอดีก็จะเริ่มเปิด ซึ่งลิ้นไอเสียยังเปิดอยู่ ณ ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่ลิ้นไอดีกำลังจะเปิด และลิ้นไอเสียกำลังจะปิดสนิท เรียกว่า จังหวะ โอเวอร์แล็ป (Over Lap) และลูกสูบยังเลื่อนตำแหน่งลงเรื่อยๆ เพื่อดูดอากาศเข้ามาบรรจุภายในกระบอก สูบเหมือนเดิม เพลาข้อเหวี่ยงหมุนต่อไปอีกประมาณ 180 องศา รวมเป็น 720 องศา หรือครบ 2 รอบ เป็นการทำงานครบ 4 จังหวะของเครื่องยนต์ 1 กลวัตร



รูปที่ 2.5 จังหวะคาย

2.1.2 งานของเครื่องยนต์ (Work)

งานคือการให้พลังงานของเครื่องยนต์ความร้อน งานในเครื่องยนตสันดาปภายในแบบลูกสูบชักหรือลูกสูบเคลื่อนที่แบบสลับทิศก็คืองานจากการขยายตัวของก๊าซในห้องเผาไหม้ งานคือผลจากการกระทำของแรงผ่านระยะทางซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากความดันที่กระทำต่อลูกสูบที่กำลังเคลื่อนที่ทำให้เกิดงานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

$$W = \int P A_p \, dx \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย P = ความดันที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้

A_p = พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ

x = ระยะเคลื่อนที่ของลูกสูบ

และ

$$A_p\,dx = dV \tag{2.2}$$

โดยมี dV เป็นปริมาตรส่วนที่ลูกสูบแทนที่ เมื่อเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง dx จึงสามารถเขียนสมการของงานได้ดังนี้

$$W = \int P dV \tag{2.3}$$

เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวนสูบมากกว่าหนึ่งสูบ หากวิเคราะห์วัฏจักรของเครื่องยนต์ต่อหน่วยมวลของก๊าซภายในกระบอกสูบจะเป็นการสะดวกกว่า โดยการใช้ปริมาตรจำเพาะ v แทนปริมาตร V และงานจำเพาะ w แทนงาน W

$$w = \frac{W}{m},\ v = \frac{V}{m},\ w = \int P dv \tag{2.4}$$

ถ้า P เป็นค่าความดันที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้เรียกงานนี้ว่า งานบ่งชี้ (Indicated work, W_i) งานที่ได้จากเพลาข้อเหวี่ยงจะน้อยกว่างานบ่งชี้เสมอเนื่องจากถูกหักล้างด้วยแรงเสียดทานของกลไกของระบบและโหลดพ่วงอื่นๆ งานที่เครื่องยนต์ให้กับเพลาข้อเหวี่ยงเรียกว่า งานเพลา (Brake work, W_b) ซึ่งมีหน่วยเป็น kJ/kg

$$w_b = w_i - w_f \tag{2.5}$$

โดย W_i = งานบ่งชี้จำเพาะ

W_f = งานจำเพาะที่เกิดจากแรงเสียดทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air – fuel ratio) และอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ (Fuel – air ratio)

ค่าความร้อน (Q_{in}) ที่ให้แก่เครื่องยนต์ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนกับออกซิเจนในอากาศซึ่งช่วยให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้น การเผาไหม้ดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออากาศหรือออกซิเจนกับเชื้อเพลิงผสมกันในสัดส่วนที่พอเหมาะเท่านั้น ดังนั้นอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (AF) และอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ (FA) เป็นตัวแปรสำคัญในการกำหนดสัดส่วนหรือความเข้มของไอดี

$$\mathrm{AF} = \frac{\mathrm{m_a}}{\mathrm{m_f}} = \frac{\dot{\mathrm{m}}_\mathrm{a}}{\dot{\mathrm{m}}_\mathrm{f}} \tag{2.6}$$

$$\mathrm{FA} = \frac{\mathrm{m_f}}{\mathrm{m_a}} = \frac{\dot{\mathrm{m}}_\mathrm{f}}{\dot{\mathrm{m}}_\mathrm{a}} = \frac{1}{\mathrm{AF}} \tag{2.7}$$

โดยที่ $\mathrm{m_a}$ = มวลของอากาศ

$\dot{\mathrm{m}}_\mathrm{a}$ = อัตราการไหลของมวลอากาศ

$\mathrm{m_f}$ = มวลเชื้อเพลิง

$\dot{\mathrm{m}}_\mathrm{f}$ = อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง

อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, ø) ในการเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศของเครื่องยนต์จริง (Actual) กับอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศสมบูรณ์ (Stoichiometric)

$$Ø = (FA)act / (FA)stoich = (AF)stoich / (AF)act \tag{2.8}$$

2.1.4 กำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์ (Power and Torque)

แรงบิด (Torque, **τ**) คือ แรงที่กระทำต่อแกนหมุน ซึ่งหน่วยคือนิวตันเมตร Nm ซึ่งตัวชี้วัดความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ แรงบิดมีความสัมพันธ์กับงานเพลาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W_b = 4\pi\tau \quad (2.9)$$

โดย W_b มีค่าเท่ากับ งานเพลาของการทำงาน 1 วัฏจักร หรือ 2 รอบการเคลื่อนที่ของเพลาข้อเหวี่ยง สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ทั้งแบบจุดระเบิดด้วยการอัดและประกายไฟ

2.1.5 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption) คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่นำไปผลิตกำลัง มีหน่วยเป็น kg/kWh

$$BSFC = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}_b} \quad (2.10)$$

โดยที่ $\dot{m}_f$ = อัตราการไหลของเชื้อเพลิง

$\dot{W}_b$ = กำลังที่ได้จากเพลา

นอกจากนี้สามารถให้คำจำกัดความของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอื่นๆ ได้อีก เช่น

Fsfc = อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเสียดทาน (Friction specific fuel consumption)

Igsfc = อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสุทธิรวบยอด (Indicated gross specific fuel consumption)

Insfc = อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสุทธิ (Indicated net specific fuel consumption)

Psfc = อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูบ (Pumping specific fuel consumption)

2.1.6 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption) คือ อัตราการใช้พลังงานของเครื่องยนต์ที่นำไปผลิตกำลัง มีหน่วยเป็น kJ/kWh

$$BSEC = Q_{LHV} \times BSFC \quad (2.11)$$

โดย Q_{LHV} (Lower heating value) คือ ค่าความร้อนต่ำ มีหน่วยเป็น kJ/kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 กำลังอินพุต (Input Power) *มีหน่วยเป็น* kW

$$\mathrm{Q_{in}} = \dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{f}} \times \mathrm{Q_{LHV}} \tag{2.12}$$

2.1.8 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (Engine efficiency)

ช่วงเวลาการสันดาปในแต่ละวัฏจักรของเครื่องยนต์ใช้เวลาที่สั้นมาก ทำให้โมเลกุลของเชื้อเพลิง ไม่สามารถจับคู่กับโมเลกุลของออกซิเจนได้อย่างครบถ้วนและอุณหภูมิบางตำแหน่งไม่เอื้ออำนวยให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวเสมอไปด้วย ดังนั้นเชื้อเพลิงส่วนหนึ่งจึงไม่ถูกเผาไหม้และถูกปล่อยออกจาก เครื่องยนต์พร้อมไอเสีย จึงใช้ประสิทธิภาพการสันดาป (Combustion efficiency, η_C) ในการกำหนด สัดส่วนเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้หากเครื่องยนต์ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ในสภาวะปกติ ประสิทธิภาพการ สันดาปจะมีค่าระหว่าง 0.95 ถึง 0.98 สำหรับการทำงานต่อหนึ่งสูบและหนึ่งวัฏจักร ความร้อนที่ได้จากการสันดาปคือ

$$\mathrm{Q_{in}} = \dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{f}} \times \mathrm{Q_{LHV}} \times \eta_{\mathrm{C}} \tag{2.13}$$

ประสิทธิภาพความร้อน (Thermal efficiency)

$$\eta_t = \frac{W}{Q_{in}} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q_{in}}} = \frac{\dot{W}}{\dot{m_f} \times Q_{LHV} \times \eta_C} = \frac{\eta_f}{\eta_C} \tag{2.14}$$

โดยที่ W = งานต่อวัฏจักร

$\dot{W}$ = กำลังของเครื่องยนต์

m_f = มวลเชื้อเพลิงต่อวัฏจักร

$\dot{m}_f$ = อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง

Q_{LHV} = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

η_C = ประสิทธิภาพการเผาไหม้

สามารถกำหนดประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สองแบบคือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสุทธิ โดยใช้กำลังสุทธิแทนค่าและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกโดยการใช้กำลังเบรกแทนค่าในสมการข้างต้นแล้วสัดส่วนของค่าทั้งสองมีค่าเท่ากับประสิทธิภาพเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\eta_m = (\eta_t)_b / (\eta_t)_i \quad (2.15)$$

โดย $(\eta_t)_b$ หรือ BTE ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (*Brake Thermal Efficiency)* คือ ปริมาณพลังงานที่ได้จากพลังงานความร้อนที่จ่ายให้กับระบบ

$$BTE = \frac{W_b}{Q_{in}} \quad (2.16)$$

2.2 มลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซล

เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลมีข้อเสียหลักคือการปล่อยมลพิษอนุภาคเขม่าจากการเผาไหม้ (Particulate Matter, PMs) ในปริมาณที่สูงเพราะการฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรงส่งผลให้การผสมกันของเชื้อเพลิงกับอากาศไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non-homogeneous) ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นในการเกิดมลพิษอนุภาคเขม่า [4]

European emission standards for passenger cars (Category M),[a] g/km

Tier	Date (type approval)	Date (first registration)	CO	THC	VOC	NO_x	$HC+NO_x$	P	PN [#/km]
Diesel									
Euro 1[b]	July 1992	January 1993	2.72 (3.16)	-	-	-	0.97 (1.13)	0.14 (0.18)	-
Euro 2	January 1996	January 1997	1.0	-	-	-	0.7	0.08	-
Euro 3	January 2000	January 2001	0.66	-	-	0.50	0.56	0.05	-
Euro 4	January 2005	January 2006	0.50	-	-	0.25	0.30	0.025	-
Euro 5a	September 2009	January 2011	0.50	-	-	0.180	0.230	0.005	-
Euro 5b	September 2011	January 2013	0.50	-	-	0.180	0.230	0.0045	6×10^{11}
Euro 6b	September 2014	September 2015	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10^{11}
Euro 6c	-	September 2018	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10^{11}
Euro 6d-Temp	September 2017	September 2019	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10^{11}
Euro 6d	January 2020	January 2021	0.50	-	-	0.080	0.170	0.0045	6×10^{11}

รูปที่ 2.6 มาตรฐานการปล่อยมลพิษของยุโรป [5]

2.2.1 เขม่าควันดำ

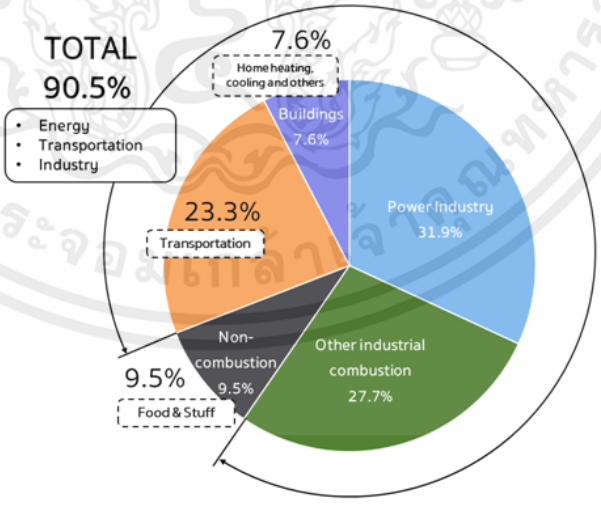
ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีการปล่อยเขม่าหรือฝุ่นละออง มีส่วนประกอบหลักเป็นคาร์บอน ผสมกับส่วนประกอบอื่นเล็กน้อยเช่น เถ้าของโลหะที่มาจากสารหล่อลื่นและเชื้อเพลิงที่ไม่ถูกเผาไหม้ ที่ควบแน่นเป็นของเหลวบนผิวของเขม่าคาร์บอน เขม่าที่ออกมาจากท่อไอเสียสามารถเห็นได้ในรูปควันที่มีสีดำและจะมีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เขม่าจะเกิดขึ้นบริเวณที่มีเชื้อเพลิงผสมหนา (Rich Combustion) ขณะเผาไหม้ เนื่องจากเชื้อเพลิงมีส่วนประกอบของคาร์บอน ละอองคาร์บอนนี้จะมีความเข้มข้นสูงเมื่อเครื่องยนต์มีภาระการทำงานที่สูงขึ้น เป็นผลมาจากเครื่องยนต์มีการฉีดเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่มากขึ้น ละอองของคาร์บอนเหล่านี้เมื่อรวมตัวเกาะกันเป็นก้อนคาร์บอนและมีสถานะเป็นของแข็งมีขนาดตั้งแต่ 10 ถึง 80 นาโนเมตร แต่ส่วนใหญ่เขม่าในเครื่องยนต์ดีเซลจะมีขนาด 15 ถึง 30 นาโนเมตร ก้อนคาร์บอนเหล่านี้จะดูดซับไฮโรคาร์บอนและสารประกอบอื่นๆ ไว้ที่ผิวได้

2.3 ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality)

ความเป็นกลางทางคาร์บอน หมายถึง การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิให้เป็นศูนย์ตามเจตนารมณ์ของประชาคมโลกที่ปรากฏในเป้าหมายของความตกลงปารีส และมีแนวทางสองแนวทางด้วยกัน แนวทางแรกคือการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาโดยการชดเชยคาร์บอนเครดิต (Carbon Offset) แนวทางที่สองคือ การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดร์ออกไซด์คือการยุติการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบพลังงานหมุนเวียน 100% และขยายประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยมีการยกระดับในทุกภาคส่วนรวมถึง การขนส่งที่เป็นกิจกรรมหลักของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดร์ออกไซด์ โดยการดำเนินการเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อป้องกันผลกระทบทางวิกฤตสภาพอากาศ เพื่อจำกัดอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกไม่ให้เกิน 1.5 องศาเซลเซียส (เทียบกับยุคก่อนปฏิวัติอุตสาหกรรม หรือในคริสต์ศตวรรษที่ 18) และรวบรวมข้อมูลซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อาทิเช่น การใช้พลังงาน (Energy consumption) ผลิตภัณฑ์มวลรวมประเทศ (Gross Domestic Product; GDP) การเผาไหม้เชื้อเพลิง ยานพาหนะ เป็นต้น



รูปที่ 2.7 สัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแต่ละภาคส่วนของประเทศไทย[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ไดนาโมมิเตอร์

ไดนาโมมิเตอร์ คือ อุปกรณ์วัดแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ ที่โหลดและความเร็วรอบต่างๆ โดยใช้หลักการสร้างโหลดต้านกับพลังงานที่เครื่องยนต์ให้โดยพลังงานเหล่านี้จะถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด

ไดนาโมมิเตอร์แบบที่ทำงานอย่างง่ายที่สุดคือแบบที่ใช้แรงเสียดทานเชิงกลในการเบรคการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงแต่ไม่มีความแม่นยำเพียงพอสำหรับเครื่องยนต์ยุคนี้

ไดนาโมมิเตอร์ของเหลวหรือไดนาโมมิเตอร์ไฮดรอลิก จะดูดซับพลังงานจากเครื่องยนต์โดยให้ของเหลว เช่น น้ำหรือน้ำมันไหลผ่านช่องแคบหรือไม่ก็อาศัยแรงเสียดทานของการหมุนใบพัดในของเหลว จึงสามารถรับพลังงานค่าสูงได้เหมาะสำหรับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่มาก

ไดนาโมมิเตอร์กระแสเหนี่ยวนำ (Eddy current dynamometer) ใช้พลังงานของเครื่องยนต์ที่ต้องการวัดหมุนจานกลมในสนามแม่เหล็กที่ควบคุมความเข้มได้ จานที่หมุนจะทำหน้าที่ตัวนำไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวนในจานโดยไม่มีการต่อกับวงจรภายนอกและถูกแปรสภาพเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด

ไดนาโมมิเตอร์ไฟฟ้า (Electric dynamometer) เป็นไดนาโมมิเตอร์ซึ่งดูดซับพลังงานจากเครื่องยนต์ด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นอกจากสามารถวัดค่าพลังงานความร้อนได้อย่างแม่นยำแล้วยังสามารถปรับโหลดได้ง่ายๆ โดยปรับค่าความต้านทานในวงจรไฟฟ้าที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไดนาโมมิเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่สามารถทำงานในทางตรงกันข้ามได้ โดยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องยนต์โดยไม่มีการจุดระเบิด ช่วยให้เราวัดแรงเสียดทานเชิงกลและแรงเสียดทานจากการดูดและคายก๊าซของเครื่องยนต์ซึ่งค่านี้วัดขณะที่เครื่องยนต์ทำงานปกติได้ยากมาก

2.5 น้ำมันเชื้อเพลิง

2.5.1 เชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล หมายถึง เชื้อเพลิงทดแทนประเภทดีเซลจากธรรมชาติ โดยการนำเอาน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ มาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่าทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterifcation) โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (Ethanol หรือ Methanol) และมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะได้ผลิตผลเป็นเอสเตอร์ (Ester) และผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้กลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเราจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเตอร์นี้ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล

การใช้เอทานอลผสมในอัตราส่วนน้ำหนักกับเชื้อเพลิง “B20” ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย (ไบโอดีเซล 20% จากน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล 80%) เป็นเชื้อเพลิง B20E5 (95% B20 ที่มีเอทานอล 5%) และ B20E10 (90% B20 ที่มีเอทานอล 10%) และตารางที่3.2 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเกี่ยวกับ ค่าความร้อนของเอทานอล (E100) จะต่ำกว่าเชื้อเพลิง B20 ประมาณ 50% ดังนั้น การเติมเอทานอลในเชื้อเพลิงB20 ทำให้ค่าความร้อนจะลดลงตามสัดส่วนน้ำหนักของเอทานอล เช่นเดียวกับค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดที่ลดลงแต่ยังอยู่ในขอบเขตจำกัดของเครื่องยนต์ดีเซล เอทานอลประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์บอนและออกซิเจนที่น้อยกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

ตารางที่2.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

Properties	Test method	Diesel(B7)	B100	B20	E100	B20E5	B20E10
Calorific Value (MJ/kg)	Bomb Calorimeter	46.18	39.53	44.95	28.33	43.95	42.72
Density (g/cm^3)	ASTM D4052	0.845	0.875	0.827	0.789	0.824	0.822
Viscosity (mm^2/s)	ASTM D445	3.0	4.5	3.1	1.2	2.69	2.49
Carbon (% mass)	CHNS	85.1	74.5	82.62	52.2	-	-
Hydrogen (% mass)	CHNS	14.0	12.5	13.45	13.0	-	-
Oxygen (% mass)	CHNS	0.9	13.0	3.49	34.8	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลในแต่ละอัตราส่วน

2.6 มลพิษจากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบฉีดตรง

2.6.1 อนุภาค (Particular Matter, PM)

อนุภาค หรือ Particular Matter คืออนุภาคของคาร์บอนที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดการสันดาปภายในห้องเผาไหม้รูปแบบต่างๆ ซึ่งมีเชื้อเพลิงส่วนที่ขาดออกซิเจนที่เพียงพอต่อที่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ จึงเกิดเป็นอนุภาคคาร์บอนออกมาพร้อมกับไอเสีย [10] ดังแสดงในสมการการเผาไหม้

$$C_xH_y + \text{Air} \rightarrow aCO_2 + bH_2O + cCO + dC(s) + mHC(2) + nNO_x$$

หลังจากนั้นอนุภาคคาร์บอนเหล่านี้จะถูกก๊าซที่ไหลปั่นป่วนในห้องเผาไหม้คลุกเคล้าให้ผสมกับ ออกซิเจนส่วนที่เหลือแล้วทำปฏิกิริยากันจนกลายเป็น CO_2

$$aC(s) + O_2 \rightarrow CO$$

อนุภาค (Particular Matter, PM) เป็น 1 ใน 6 มลพิษที่ปลดปล่อยไปยังชั้นบรรยากาศ และยังส่งผลเสียต่อร่างกายของมนุษย์โดยตรง ผลวิจัยหลายฉบับพบว่าอนุภาคที่มีขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน (PM10) ส่งผลกระทบอย่างมากต่อระบบการหายใจของมนุษย์

2.6.2 ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocabon)

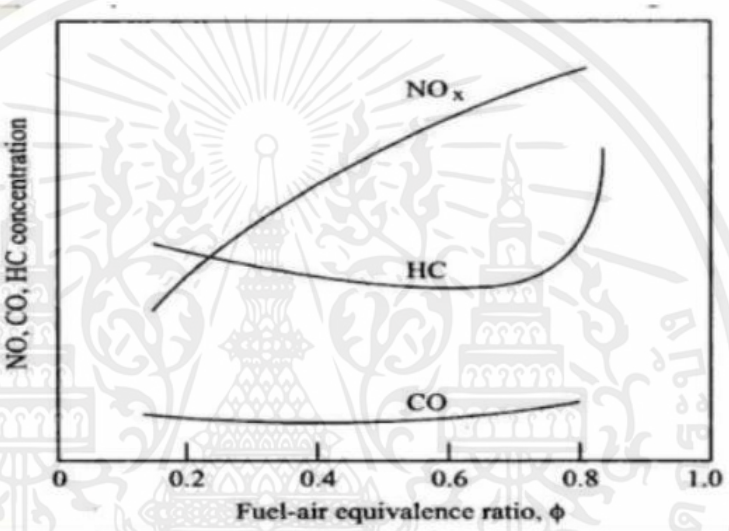
ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon, HC) คือ เชื้อเพลิงที่ไม่ได้เกิดการเผาไหม้ซึ่งแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของเชื้อเพลิง รูปร่างทางเรขาคณิตของห้องเผาไหม้ก็มีผลต่อไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย ซึ่ง ไฮโดรคาร์บอนที่ออกมาจากไอเสียจะผสมกับอากาศและส่งกลิ่นเหม็น ทำให้อวัยวะเกิดการระคาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคืองและบางส่วนก็เป็นสารก่อมะเร็ง ไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ (ยกเว้นมีเทน) สามารถทำปฏิกิริยากับอากาศและอาจจะทำให้เกิดหมอกควัน

สาเหตุการเกิดไฮโดรคาร์บอน

1. จากรูปที่ 2.9 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีผลอย่างมากกับปริมาณไฮโดรคาร์บอน ไอดีที่เข้มจะขาดออกซิเจนในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียสูง แต่ถ้าไอดีเจือจางเกินไปและการสันดาปไม่ทั่วถึง ปริมาณไฮโดรคาร์บอนก็จะสูงเช่นเดียวกันและจุดวิกฤติของการสันดาปก็คือการที่ไอดีไม่สามารถถูกจุดระเบิดได้เพราะไอดีเจือจางเกินไป



รูปที่ 2.9 มลพิษในไอเสียที่ความเข้มข้นของไอดีมากจนออกซิเจนไม่เพียงพอสำหรับทำปฏิกิริยากับคาร์บอนของเครื่องยนต์

2. การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในการทำงานของเครื่องยนต์จริง ทำให้มีไฮโดรคาร์บอนปนอยู่ในไอเสียอยู่ ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการด้วยกัน เช่น การผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศที่ไม่ทั่วถึงทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่สามารถจับคู่กับออกซิเจนได้และเปลวไฟที่ดับลงเมื่อถึงผนังกระบอกสูบก็ทำให้ไอดีบริเวณผนังกระบอกสูบไม่ถูกสันดาป ไอดีส่วนนี้มีความหนาเพียงไม่ถึงมิลลิเมตรเท่านั้นแม้จะไม่ถูกเผาไหม้โดยตรงแต่บางส่วนก็จะถูกสันดาปจากการหมุนควงและการไหลอย่างปั่นป่วนของก๊าซภายในกระบอกสูบ

3. ปริมาตรช่องแคบ ในช่วงจังหวะอัดและช่วงเริ่มต้นของการสันดาป เชื้อเพลิงภายใต้ความดันสูงจะแทรกเข้าไปในส่วนต่างๆ ของห้องเผาไหม้ ปริมาณเชื้อเพลิงในช่องแคบดังกล่าวนี้อาจมีสัดส่วนได้ถึง 3% ในจังหวะการทำงานซึ่งความดันกระบอกลดลงจนต่ำกว่าความดันในช่องแคบ ไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนนี้จะไหลกลับมาในห้องเผาไหม้และลุกไหม้เมื่อเปลวไฟลามมาถึง แต่ก็ยังคงมีส่วนหนึ่งซึ่งยังไม่ถูกเผาไหม้เนื่องจากเปลวไฟดับลงก่อน

4. การรั่วผ่านลิ้นไอเสียในจังหวะอัดและช่วงที่เกิดการสันดาป ซึ่งความดันภายในกระบอกสูบมีค่าสูง ไอดีบางส่วนที่ถูกอัดจะแทรกตัวอยู่ที่บริเวณขอบของลิ้นไอเสีย และรั่วผ่านลิ้นไอเสียสู่ท่อร่วมไอเสีย เมื่อลิ้นไอเสียเปิดไอดีในช่องแคบบริเวณขอบลิ้นก็จะไหลลงสู่ท่อร่วมไอเสียด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นในช่วงแรกของการระบายไอเสียในแต่ละวัฏจักรจึงเป็นช่วงที่มีไฮโดรคาร์บอนในไอเสียสูงสุด

2.6.3 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

เป็นแก๊สที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบคาร์บอน โดยเฉพาะเครื่องยนต์สันดาปภายในเมื่อมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอสำหรับใช้ในการสันดาป แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีลักษณะเป็นก๊าซที่ไม่มีสี และไม่มีกลิ่น โมเลกุลประกอบไปด้วยคาร์บอนหนึ่งอะตอมและออกซิเจนหนึ่งอะตอม ซึ่งเชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ อาจจัดได้ว่าเป็นสารประกอบแอนไฮไดรด์อย่างหนึ่งของกรดฟอร์มิก มีความหนาแน่นที่น้อยกว่าอากาศทั่วไป และเมื่อหายใจเข้าไปก๊าซนี้จะรวมตัวเข้ากับฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ในเม็ดเลือดแดงได้มากกว่าออกซิเจนถึง 200-250 เท่า เกิดเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (Carboxyhemoglobin) ทำให้เม็ดเลือดแดงไม่สามารถรับแก๊สออกซิเจนได้ตามปกติ ซึ่งจะส่งผลเสียต่อร่างกาย เพราะทำให้หัวใจและปอดต้องทำงานหนัก

2.6.4 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

เป็นแก๊สไม่มีสี เกิดจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ของธาตุคาร์บอนหรือสารอินทรีย์ มีความหนาแน่น 1.98 kg/m3 ซึ่งเป็นประมาณ 1.5 เท่าของอากาศ โมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประกอบไปด้วยคาร์บอนหนึ่งอะตอมและออกซิเจนสองอะตอมเชื่อมกันด้วยพันธะคู่ 2 พันธะ เป็นแก๊สที่ช่วยยับยั้งโอกาสในการเกิดกระบวนเผาไหม้ จึงสามารถใช้ประโยชน์ในทางการดับเพลิง นอกจากนี้ยังเป็นแก๊สที่ทำหน้าที่กักความร้อนบนผิวเปลือกโลกไม่ให้ออกสู่ชั้นบรรยากาศ จึงทำให้โลกของเรามีอุณหภูมิสูงขึ้น แก๊ส CO_2 จะถูกปลดปล่อยผ่านกิจกรรมของมนุษย์โดยตรง เช่น การตัดไม้ทำลายป่า การเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล และการปลดปล่อยจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงในธรรมชาติ เช่น การหายใจของสิ่งมีชีวิต และการระเบิดของภูเขาไฟ เป็นต้น

2.6.5 แก๊สออกซิเจน (O_2)

ออกซิเจน (Oxygen) คือ แก๊สที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของทั้งพืชและสัตว์ รวมถึงมนุษย์เราด้วย เพราะถ้าร่างกายขาดออกซิเจนเพียงไม่กี่นาที สามารถเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ออกซิเจนเป็นธาตุที่มีสัญลักษณ์ คือ O มีเลขอะตอมเท่ากับ 8 มีความหนาแน่น 1.43 kg/m3 หนักกว่าอากาศเล็กน้อย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และมีปริมาณเป็นอันดับ 2 ในส่วนประกอบของบรรยากาศโลก อากาศที่เราใช้หายใจจะมีออกซิเจนประมาณ 21% รองมาจากแก๊สในโตรเจนที่มีอยู่ประมาณ 78% ออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากจะอยู่ในอากาศแล้วยังพบอยู่รวมกับธาตุชนิดอื่นๆ รอบตัวเราอีกด้วย เช่น น้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะปกติออกซิจนจะอยู่ในสถานะก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสชาติ ไม่ติดไฟ แต่ทว่าออกซิเจนเป็นสารที่ช่วยให้ติดไฟ นั่นคือถ้าไม่มีออกซิเจนก็จะไม่สามารถติดไฟได้

2.6.6 แก๊สไนโตรเจน (N_2)

ไนโตรเจนเป็นธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ คือ N ซึ่งมีเลขอะตอมเท่ากับ 7 เป็นอโลหะที่มีสถานะเป็นแก๊สที่มีอยู่ทั่วไป โดยปกติไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส โดยอากาศที่เราหายใจเข้าไปจะมีปริมาณของก๊าซไนโตรเจนอยู่มากที่สุดคือประมาณ 75% ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อย จึงทำให้ถูกใช้ในการป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร การเกิดสนิมในอุปกรณ์อิเล็คโทรนิกส์ รวมถึงสารเคมีหน่วงไฟ

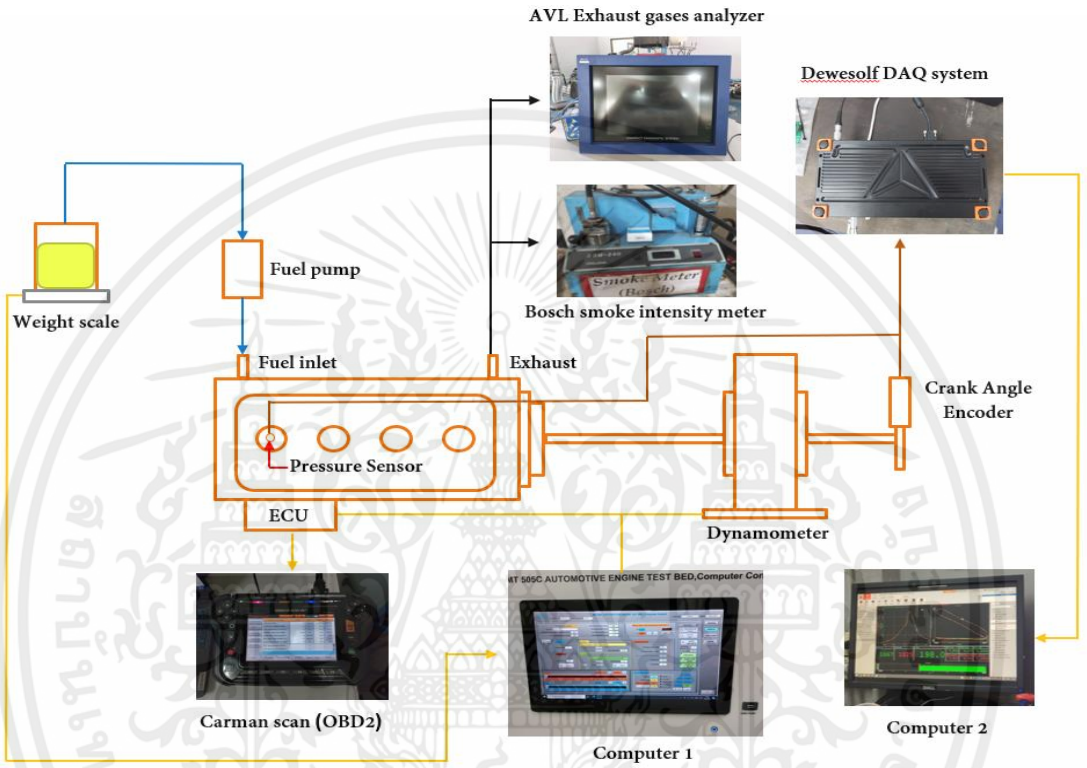
2.6.7 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

เป็นก๊าซซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีของไนโตรเจนและออกซิเจนในอัตราส่วนแตกต่างกัน ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ยกเว้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อรวมตัวกับอนุภาคอื่นๆในอากาศจะเห็นเป็นชั้นสีน้ำตาลแดง สาเหตุการเกิดหลักมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆในอุณหภูมิสูงที่มีออกซิเจนเพียงพอ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงเครื่องยนต์ของรถยนต์ โรงไฟฟ้า อุตสาหกรรมต่างๆ การเผาไหม้เชื้อเพลิงในครัวเรือน โดยสัดส่วนการเกิดไนโตรเจนออกไซด์จากรถยนต์มีสูงถึงร้อยละ 55 ของการเกิดทั้งหมด ซึ่งไนโตรเจนออกไซด์สามารถส่งผลกระทบต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมได้ เช่น ก่อให้เกิดฝนกรด กรดไนตริก หรือสภาวะเรือนกระจก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
แผนผังและอุปกรณ์การทดลอง

3.1 แผนผังและอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3.1 แผนผังการทดลอง

3.1.1 เครื่องยนต์ (Engine)

ในการทดลองนี้ จะทำการทดสอบเชื้อเพลิง 3 ชนิด กับเครื่องยนต์ ISUZU 4JJ1-Turbocharge ซึ่งมีคุณสมบัติของเครื่องยนต์เป็นไปตามตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 เครื่องยนต์ 4JJ1-Turbocharge

ตารางที่ 3.1 Engine Main Data and Specification

Description	Specification
Engine Model	ISUZU 4JJ1-Turbocharge
Engine Type	In-line, DOHC 16 Valve
Number of Cylinder	4
Injection System	Common Rail
Displacement (cc.)	3000
Compression Ratio	18.3 : 1
Bore * Stroke (mm.)	95.4 * 104.9
Intake Valve Open at BTDC	13°
Intake Valve Close at BTDC	41°
Exhaust Valve Open at BTDC	52°
Exhaust Valve Close at BTDC	6°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Output	130 kW at 3600 rpm
Maximum Torque	380 Nm at 3000 rpm

3.1.1.1 กล่อง ECU

ชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่รับสัญญาณจากเครื่องยนต์มาวิเคราะห์และทำการสั่งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้ทำงานตามที่ออกแบบไว้ กล่อง ECU ที่ถูกเลือกมาใช้ในการทดลองนี้คือกล่อง Stand alone ยี่ห้อ Link ที่สามารถใช้ แทนกล่อง ECU เดิมจากโรงงานผู้ผลิตได้

รูปที่ 3.3 กล่อง ECU Link G4+ Xtreme

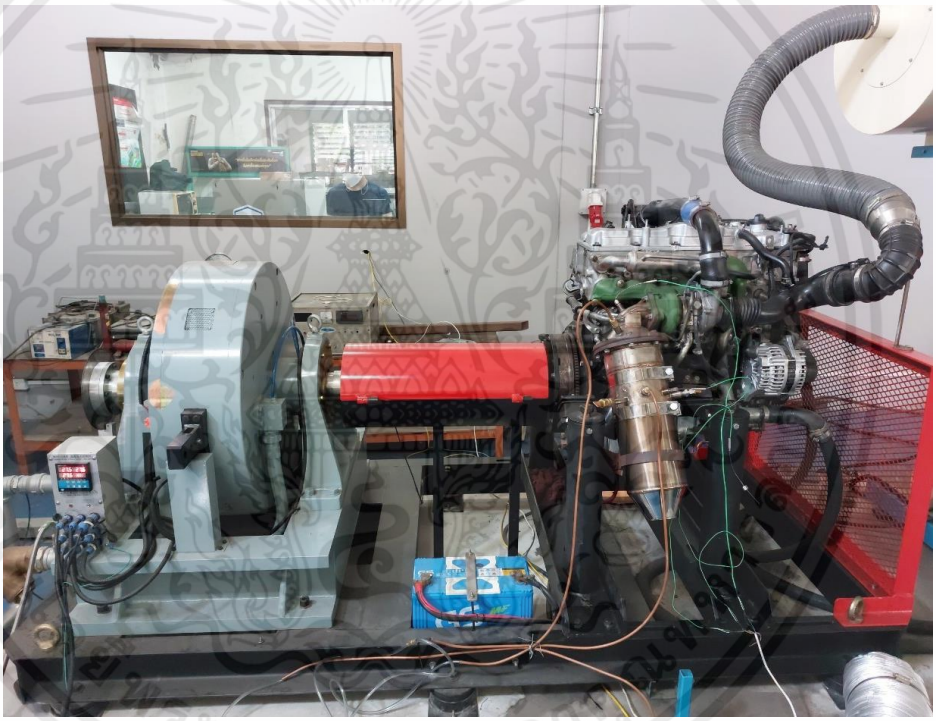
3.1.2 ไดนาโมมิเตอร์ (Eddy Current Dynamometer)

ไดนาโมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ภาระและความเร็วรอบต่างๆ โดยใช้หลักการใช้ภาระโหลดต้านกับแรงที่เครื่องยนต์สร้างขึ้นมา ไดนาโมมิเตอร์กระแสเหนี่ยวนำใช้พลังงานของเครื่องยนต์ที่ต้องการวัดหมุนจานกลมในสนามแม่เหล็กที่ควบคุมความเข้มได้ จานกลมที่หมุนจะเป็นตัวนำไฟฟ้าเคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวนในจานโดยไม่มีการต่อกันกับวงจรภายนอก และถูกแปลงสภาพเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของ Engine Dynamometer

คุณสมบัติของไดนาโมมิเตอร์	
รุ่น	ED – 150 - LC
กำลังสูงสุดที่รับได้	150 PS @ 3000 RPM
แรงบิดสูงสุดที่รับได้	35.81 kg·m
รอบเครื่องสูงสุดที่รับได้	8000 RPM

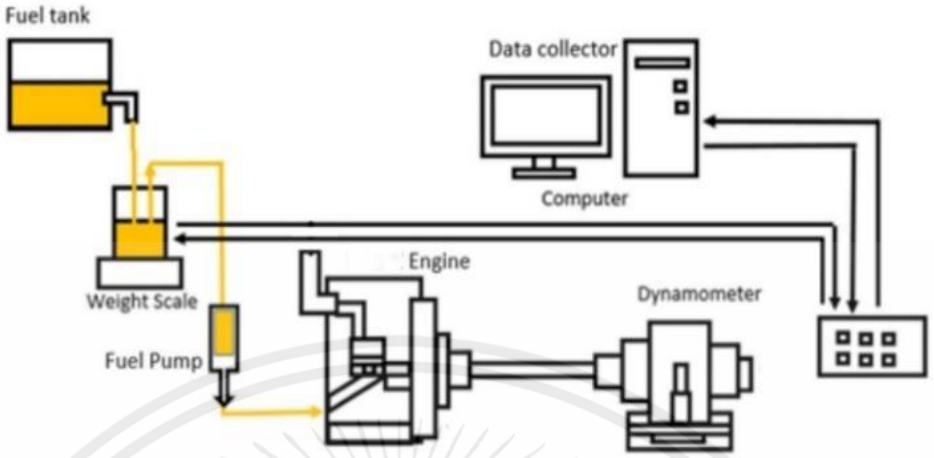


รูปที่ 3.4 Engine Dynamometer

3.1.3 ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง

ปั๊มจ่ายเชื้อเพลิงใช้ในการปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงจากภาชนะบรรจุเพื่อนำไปป้อนให้กับเครื่องยนต์ ตามรูปที่ 3.6 ก่อนที่ระบบจ่ายเชื้อเพลิงจะส่งเชื้อเพลิงไปยังห้องเผาไหม้ ในลำดับถัดไป โดยจะใช้เครื่องชั่งน้ำหนักใช้ในการวัดน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ลดลงไปในขณะเครื่องยนต์กำลังเดินเครื่อง โดยที่เครื่องชั่งน้ำหนักจะส่งค่าที่วัดได้ไปที่ระบบจัดเก็บข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผนภาพการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง

3.1.3.1 Fuel Tank

ในการทดสอบจะมีบีกเกอร์ในการบรรจุเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล B20, B20E5, B20E10 โดยคุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงจะแสดงตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง [7]

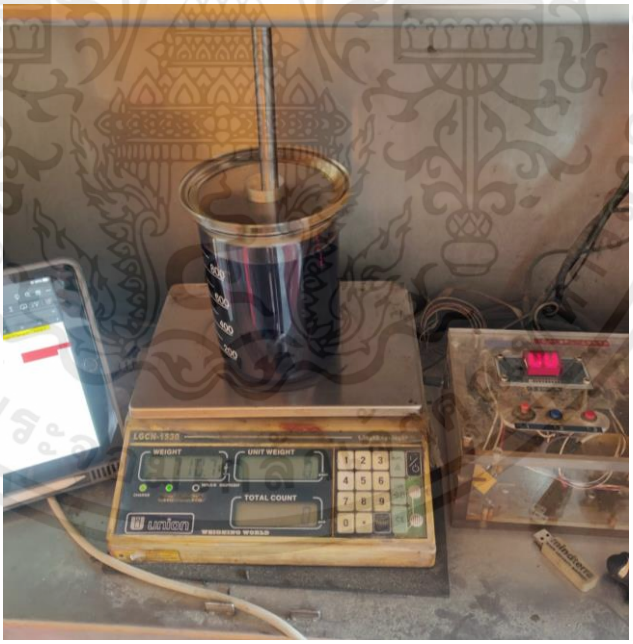
Description	Test Method	Unit	B20	B20E5	B20E10
Diesel	-	%(weight)	80	75	70
Methyl Ester	-	%(weight)	20	20	20
Bioethanal	-	%(weight)	0	5	10
Calorific Value	Bomb Calorimeter	(MJ/kg)	3.74	3.33	2.98
Density	ASTM D4052	g/(cm^3)	859.6	856	852.1
Viscosity	ASTM D445	(mm^2)/s	43.89	43.12	42.25
Carbon	CHNS	%mass	82.62	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hydrogen	CHNS	%mass	13.45	-	-
Oxygen	CHNS	%mass	3.49	-	-
Distillation	ASTM D86	˚C	-	-	-
T10	-	-	177.4	-	-
T90	-	-	348.4	-	-

3.1.3.2 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Weight scale)

ในการทดลองใช้ตาชั่งยี่ห้อ UNION ความละเอียดในการวัด 0.1 กรัม ในการเก็บค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ก่อนที่จะส่งสัญญาณ output ไปยัง Data Acquisition Card เพื่อเก็บข้อมูลใน Data logger มีหลักการทำงานโดยอาศัยความต่างของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากน้ำหนักที่กดทับลงบน Strain Gauge



รูปที่ 3.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Weight scale)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke Meter)

เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำใช้ทดสอบไอเสียที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ในสภาวะการทำงานที่ต่างกันโดยใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำแบบทึบแสง (OKUDA DSM-240, 0-100%, ± 3% accuracy) ซึ่งประเมินค่าของเขม่าบนตัวกรองกระดาษด้วยวิธีการสะท้อนแสง

รูปที่ 3.7 เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke Meter)

3.1.5 Carman Scan (OBD2)

เครื่องมือที่ใช้ในการวินิจฉัยความผิดพลาดของเครื่องยนต์จาก ECU (Electronic Control Unit)โดยจะแจ้งให้เราทราบบนหน้าจอที่สามารถบอกรายละเอียดต่างๆและแสดงสถานะการทำงานของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 Carman Scan (OBD2)

3.1.6 Gas Analyzer

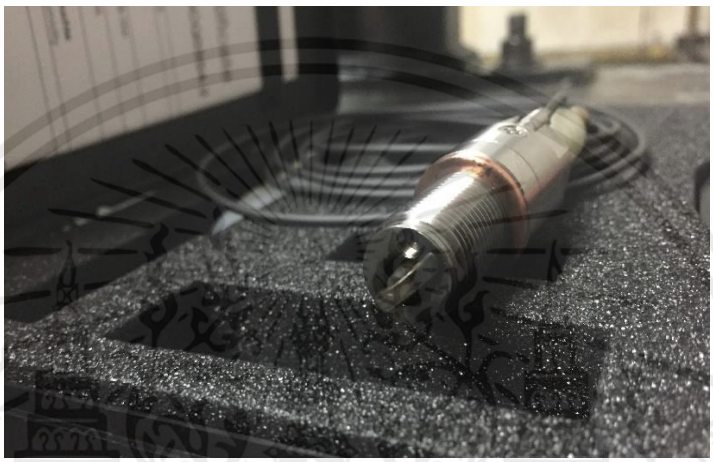
เครื่องวิเคราะห์ปริมาณแก๊สใช้สำหรับวัดมลพิษที่มีอยู่ในไอเสียของเครื่องยนต์ โดยใช้ท่อต่อเข้ากับท่อไอเสียของเครื่องยนต์เพื่อให้ไอเสียที่ถูกปล่อยจากเครื่องไหลเข้าสู่เครื่องวัด จากนั้นเครื่องจะทำการวิเคราะห์ปริมาณมลพิษแต่ละชนิดแล้วแสดงค่าออกมาบนหน้าจอ

รูปที่ 3.9 Gas Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure Sensor)

เซนเซอร์วัดความดันที่ใช้จะถูกติดตั้งเข้ากับหัวเทียนของเครื่องยนต์ โดยจะใช้วัดความความดันภายในห้องเผาไหม้ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน ความดันที่วัดได้จะถูกส่งเข้าโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์และแสดงผลออกมาในรูปของกราฟระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้และปริมาตรของกระบอกสูบ ซึ่งเซนเซอร์วัดความดันที่ใช้ในการทดสอบ คือ Kistler Pressure Sensor Type 6052B



รูปที่ 3.10 Kistler Spark Plug Pressure Sensor Type 6052B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

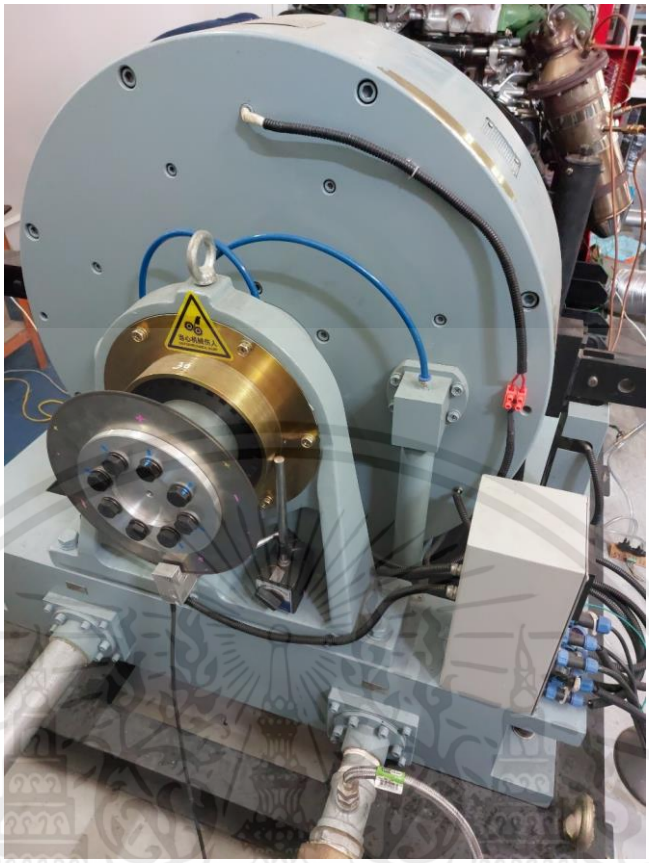
ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของ Pressure Sensor

Range	bar	0 ... 250
Overload	bar	300
Acceleration sensitivity		
axial	bar/g	0,0002
radial	bar/g	0,0005
Operating temperature range	°C	–50 ... 400
Torque setting for sensor	Nm	1,5
Torque setting for spark plug with flat seal, gray cast iron and aluminium	Nm	25
Torque setting for spark plug with tapered seat gray cast iron	Nm	25
aluminium	Nm	20
Sensitivity shift produced by tightening spark plug	20 ... 30 Nm	<0,5 %
Plug insulation resistance at room temperature (between central electrode and body at 1 000 V	MΩ	>100
Weight with sensor	g	42
Maximum ignition voltage	kV	<30

3.1.8 เซนเซอร์วัดองศาเพลาข้อเหวี่ยง (Crank Encoder)

อุปกรณ์ CDM-720 Encoder ใช้สำหรับการวัดองศาเพลาข้อเหวี่ยงเพื่อคำนวณปริมาตรห้องเผาไหม้ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง โดยอุปกรณ์จะถูกติดตั้งบริเวณท้ายของเพลาไดนาโมมิเตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมแซม ซึ่งสัญญาณที่วัดจะมีทั้งหมด 720 ครั้ง แต่ละครั้งจะแบ่งเป็น 0.5 องศาของเพลาข้อเหวี่ยง โดยอาศัยหลักการคือเมื่อแสงส่องผ่านช่องที่เจาะรูไว้เซนเซอร์จะรับสัญญาณแล้วแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 เซนเซอร์วัดองศาเพลาข้อเหวี่ยง

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 สภาวะที่ใช้ทดสอบ

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพและมลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดการอัดแบบฉีดตรงสี่สูบเรียง สี่จังหวะ ขนาดเครื่องยนต์ 3000 cc ด้วย น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B20) และน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B205, B20E10) ที่รอบเครื่องยนต์ 1000, 1500, 2000 rpm ภายใต้สภาวะที่ภาระเครื่องยนต์ 56, 84, 112, 140 Nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ความแม่นยำและความไม่แน่นอนของอุปกรณ์และเซ็นเซอร์

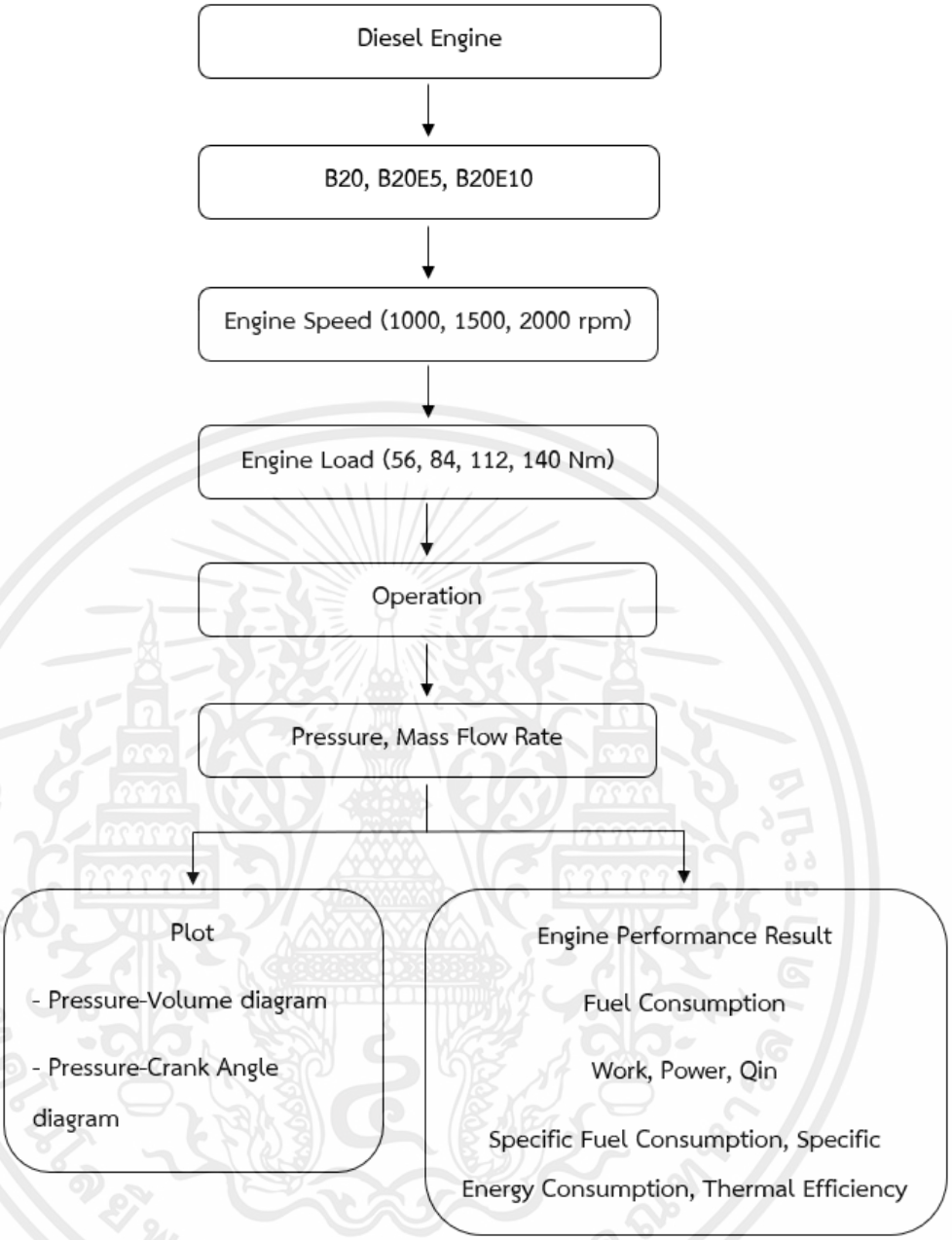
Types	Accuracy	Uncertainty (%)
Eddy current dynamometer (rpm)	±5	0.5
Eddy current dynamometer (Load %)	±0.8%	0.8
Weight Scale (g)	±0.15	0.03
Pressure Sensor (bar)	±0.5	0.91
Crank Angle encoder (deg)	±0.2	0.01
Thermo Couple (℃)	±2.2	1.58
Bosch smoke meter (%)	±3%	3
AVL accuracy	-	-
CO_2 (% vol)	±0.3%	2.54
O_2 (% vol)	±0.02	2
HC (ppm)	±4	9
NO (ppm)	±5	17.67

3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

3.2.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ วัดโดยใช้ไดนาโมมิเตอร์และเซ็นเซอร์วัดความดัน ซึ่งวัดความดันภายในห้องเผาไหม้ โดยให้ค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์และภาระเครื่องยนต์ตามที่กำหนด จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรและ ความดันกับองศาเพลาข้อเหวี่ยง จากนั้นคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ขณะที่ใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ตารางบันทึกอัตราการไหลของเชื้อเพลิงในทุกสภาวะการทดสอบ

Engine speed (rpm)	Engine Load (Nm)	Time (s)			Weight (g)			Fuel Flow Rate (g/s)			
		1^{st}	2^{nd}	3^{rd}	1^{st}	2^{nd}	3^{rd}	1^{st}	2^{nd}	3^{rd}	AVG
1000	56										
	84										
	112										
	140										
1500	56										
	84										
	112										
	140										
2000	56										
	84										
	112										
	140										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 ตารางบันทึกประสิทธิภาพเบรกของเครื่องยนต์ขณะที่ใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด

Engine speed (rpm)	Engine load(Nm)	Wb(kW)	BFSC(kg/kWh)	BSEC(kg/kWh)	Qin	BTE(%)
1000	56					
	84					
	112					
	140					
1500	56					
	84					
	112					
	140					
2000	56					
	84					
	112					
	140					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

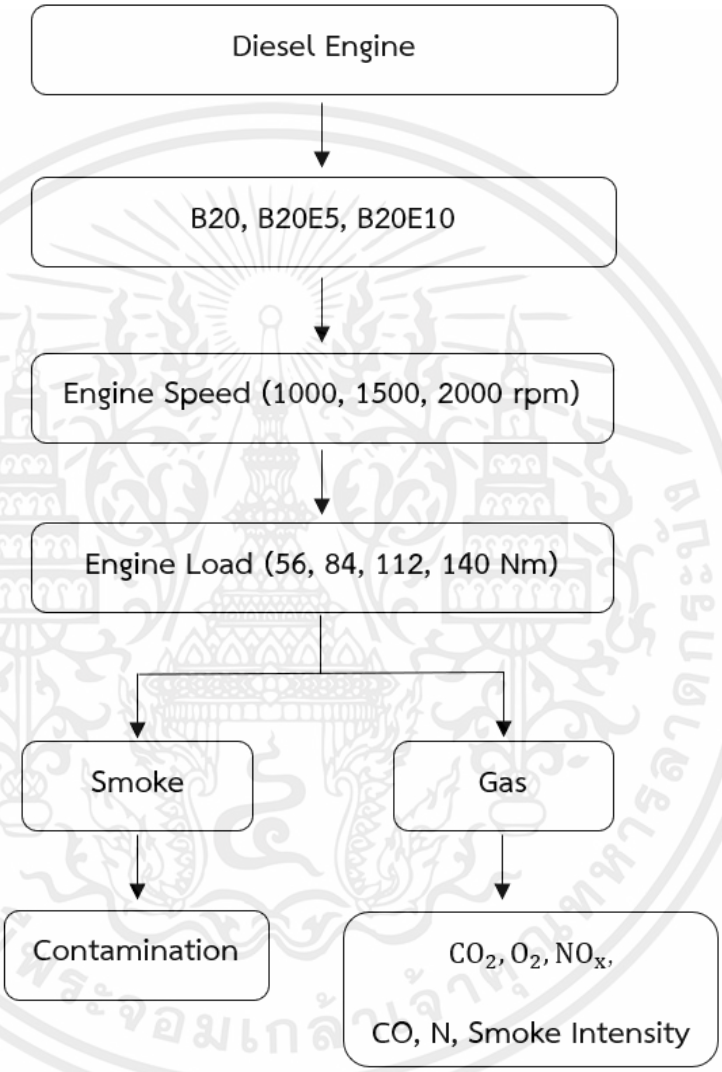
ตารางที่ 3.8 ตารางบันทึกประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ขณะที่ใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด

Engine speed(rpm)	Engine load(Nm)	Wi (kW)	IFSC (kg/kWh)	ISEC(kg/kWh)	Qin	ITE(%)
1000	56					
	84					
	112					
	140					
1500	56					
	84					
	112					
	140					
2000	56					
	84					
	112					
	140					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 การทดสอบมลพิษ

การทดสอบมลพิษจะใช้วิธีการทดลองในลักษณะที่คล้ายคลึงการทดสอบประสิทธิภาพ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) ในการวัดปริมาณมลพิษต่างๆ ในไอเสียและใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke Meter) ในการทดสอบไอเสียที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการทดสอบมลพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 ตารางบันทึกปริมาณแก๊สและสารประกอบจากไอเสียของเครื่องยนต์ (g/Kw-hr)

เชื้อเพลิง	ค่าที่ทำการวัด	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)											
		1000				1500				2000			
		โหลดของเครื่องยนต์ (Nm)											
		56	84	112	140	56	84	112	140	56	84	112	140
B20	CO												
	CO_2												
	O_2												
	HC												
	NO_X												
	Smoke Intensity												
B20E5	CO												
	CO_2												
	O_2												
	HC												
	NO_X												
	Smoke Intensity												
	CO												
	CO_2												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B20E10	O_2												
	HC												
	NO_X												
	Smoke Intensity												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

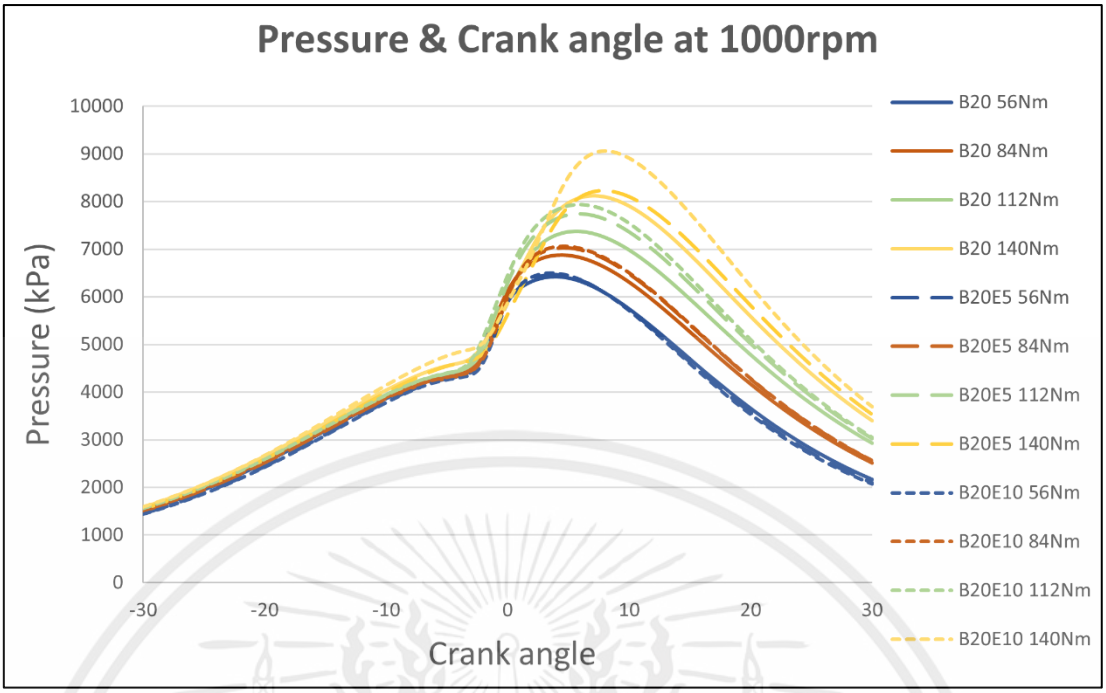
บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 พฤติกรรมการเผาไหม้

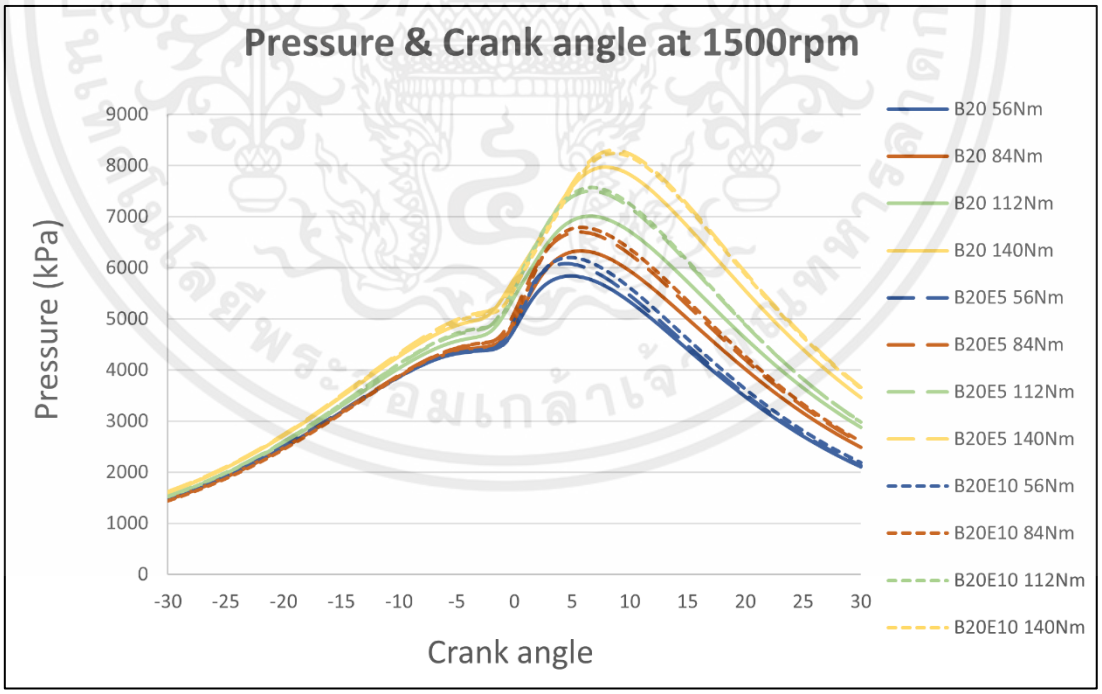
4.1.1 ความดันภายในกระบอกสูบเมื่อพิจารณามุมเพลาข้อเหวี่ยง

ความดันที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบเมื่อเทียบกับมุมเพลาข้อเหวี่ยงจากการทดลองนี้เป็นไปตามรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 โดยภาระของเครื่องยนต์มีค่าเท่ากับ 56, 84, 112, 140 นิวตันเมตร ทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000, 1500, 2000 รอบต่อนาที เมื่อทำการพิจารณาตามการเปลี่ยนแปลงของภาระเครื่องยนต์ที่มากระทำต่อเครื่องยนต์ตามความเร็วรอบที่กำหนด พบว่าความดันสูงสุดของเชื้อเพลิงทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามภาระของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาสำหรับแต่ละเชื้อเพลิง พบว่าการผสมเอทานอลในเชื้อเพลิง “B20” ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยส่งผลให้ความดันสูงสุดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันเนื่องจาก เอทานอลมีอะตอมของออกซิเจนเป็นส่วนประกอบมากถึง 34.8% ส่งผลให้การเผาไหม้สมบูรณยิ่งขึ้น และการผสมเอทานอลในเชื้อเพลิง “B20” ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ยังส่งผลให้ความดันสูงสุดของเชื้อเพลิงทั้งหมดนั้น เกิดขึ้นห่างจากจุดศูนย์ตายบน (Top Dead Center) มากขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้น ทำให้สามารถตีความได้ว่าระยะการเผาไหม้จะนานขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากมีการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้มากขึ้น จากการผสมเอทานอลทำให้ความหนาแน่นและความหนืดของน้ำมันดีเซลลดลงและสามารถเป็นละอองได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับการฉีดน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้ด้วยแรงดันเท่ากันกับเชื้อเพลิงที่มีความหนืดสูง จากการเป็นละอองได้ดีขึ้นเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดจะสามารถผสมคลุกเคล้ากับอากาศได้ดีขึ้นทำให้การเผาไหม้นานขึ้น ความดันในห้องเผาไหม้จึงเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

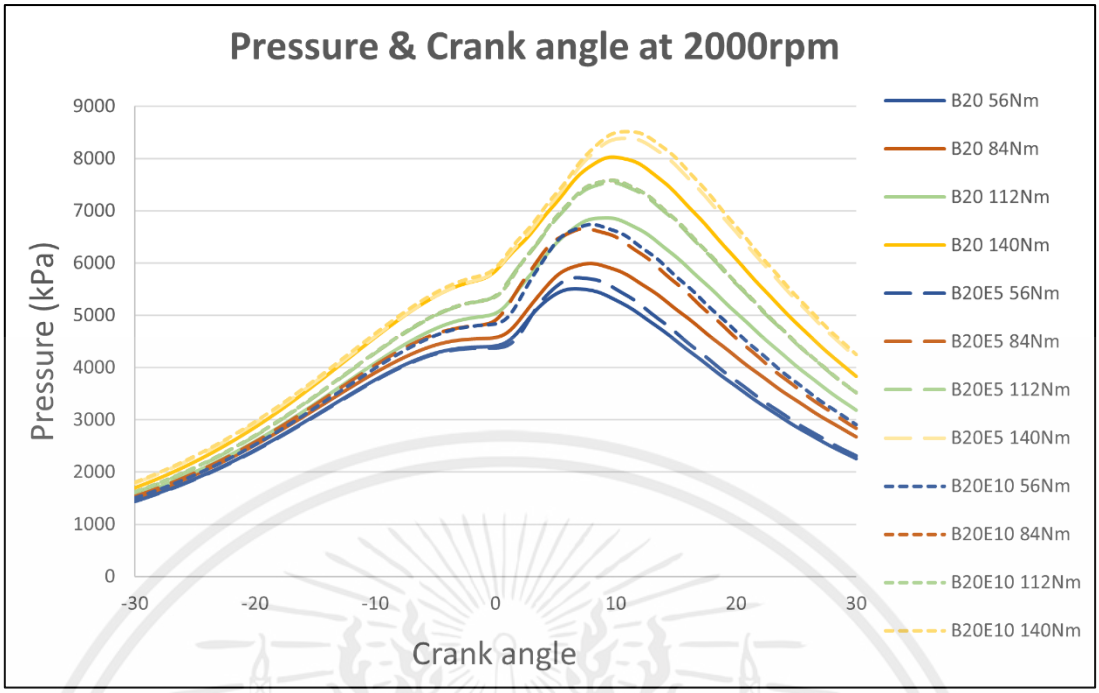


รูปที่ 4.1 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมเพลาข้อเหวี่ยงของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 รอบต่อนาที ที่ชนิดของเชื้อเพลิงและภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน



รูปที่ 4.2 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมเพลาข้อเหวี่ยงของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 รอบต่อนาที ที่ชนิดของเชื้อเพลิงและภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

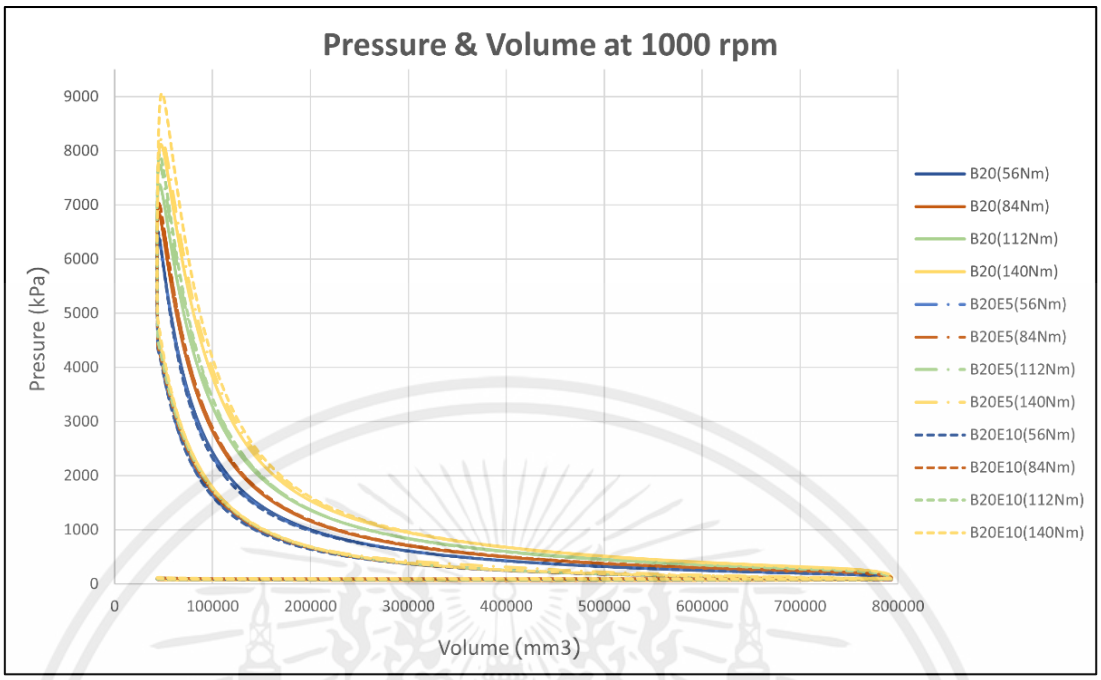


รูปที่ 4.3 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมเพลาข้อเหวี่ยงของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที ที่ชนิดของเชื้อเพลิงและภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน

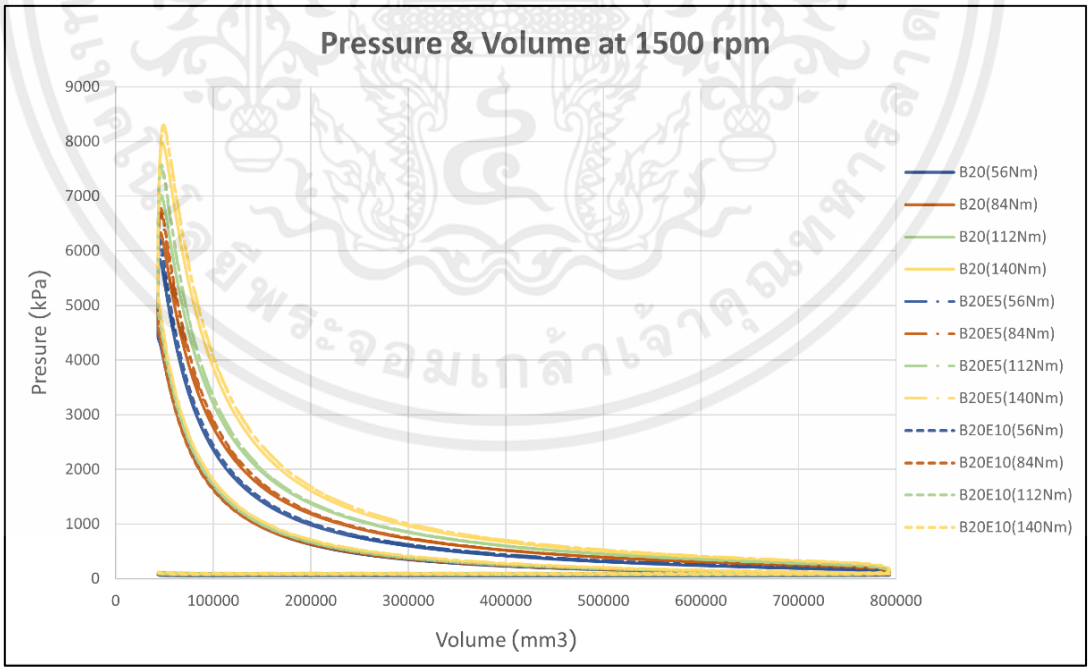
4.1.2 ความดันภายในกระบอกสูบเมื่อพิจารณาปริมาตรภายในกระบอกสูบ

ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรภายในกระบอกสูบ (P-V diagrams) ตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1000, 1500, 2000 รอบต่อนาที ตามที่แสดงในรูป 4.4, 4.5, 4.6 ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิง B20, B20E5, B20E10 และมีภาระของเครื่องยนต์ 56, 84, 112, 140 นิวตันเมตร โดยสามารถอธิบายได้ 3ประเด็น คือ 1.เมื่อใช้เชื้อเพลิงเดียวกัน ความเร็วรอบเครื่องยนต์เดียวกันที่ภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน จากรูปที่ 4.7 พบว่าความดันสูงสุดของเชื้อเพลิงทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามภาระของเครื่องยนต์ เนื่องจากต้องการสร้างกำลังเพื่อทดแทนภาระของเครื่องจึงต้องจ่ายน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้มากขึ้นทำให้เกิดปริมาตรการเผาไหม้มากขึ้นความดันจึงเพิ่มขึ้น 2. เมื่อใช้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์และภาระของเครื่องยนต์เดียวกัน เมื่อเชื้อเพลิงที่ใช้ต่างกัน จากรูปที่4.8 พบว่าความดันสูงสุดของเชื้อเพลิงทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเอทานอล เนื่องจากค่าความร้อนต่ำสุด (Low Heating Value) ของเชื้อเพลิง “B20” ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์นั้นลดลงทำให้เมื่อต้องการผลิตพลังงานใน1หน่วยจึงต้องใช้เชื้อเพลิงที่มากขึ้น ส่งผลให้ความดันในห้องเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลเพิ่มขึ้น 3. เมื่อใช้เชื้อเพลิงและภาระของเครื่องยนต์เดียวกัน ที่ความเร็วรอบต่างกัน จากรูปที่4.9 พบว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ (รอบเดินเบา) เชื้อเพลิงจะมีระยะเวลาในการผสมคลุกเคล้านานกว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่สูง ทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้ได้สมบูรณ์และความดันสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

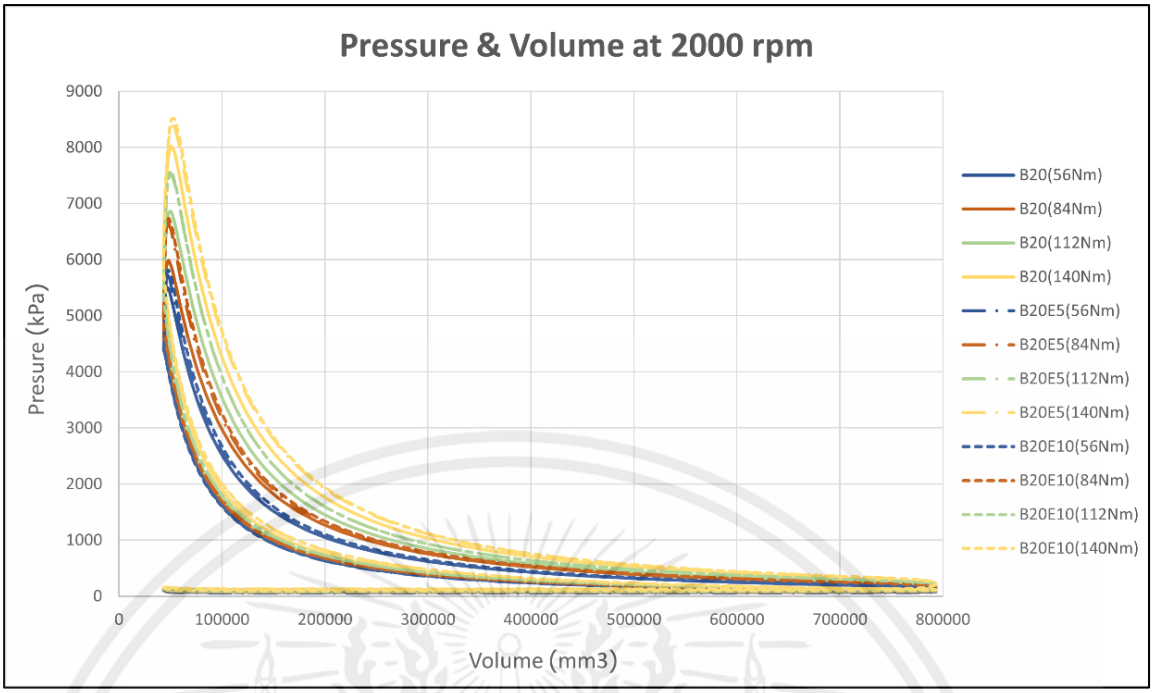


รูปที่ 4.4 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรกระบอกสูบของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 รอบต่อนาที ที่ชนิดของเชื้อเพลิงและภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน

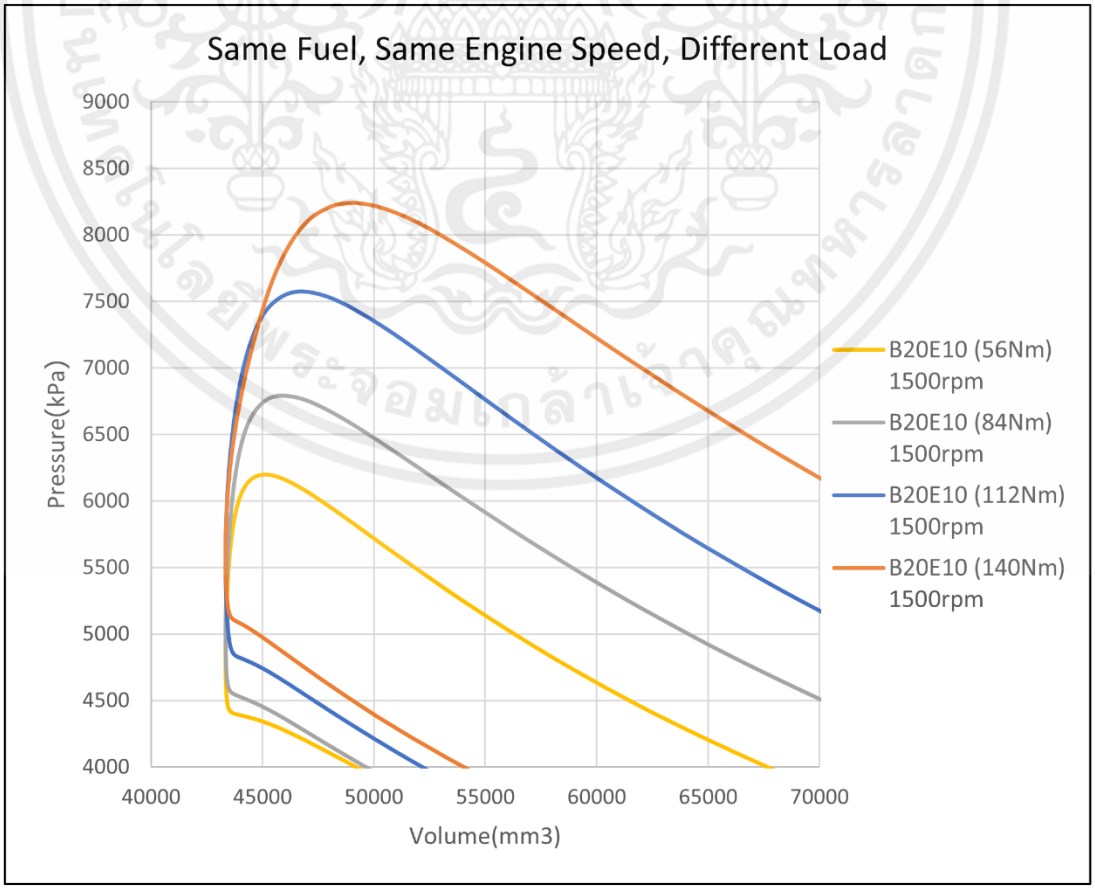


รูปที่ 4.5 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรกระบอกสูบของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 รอบต่อนาที ที่ชนิดของเชื้อเพลิงและภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

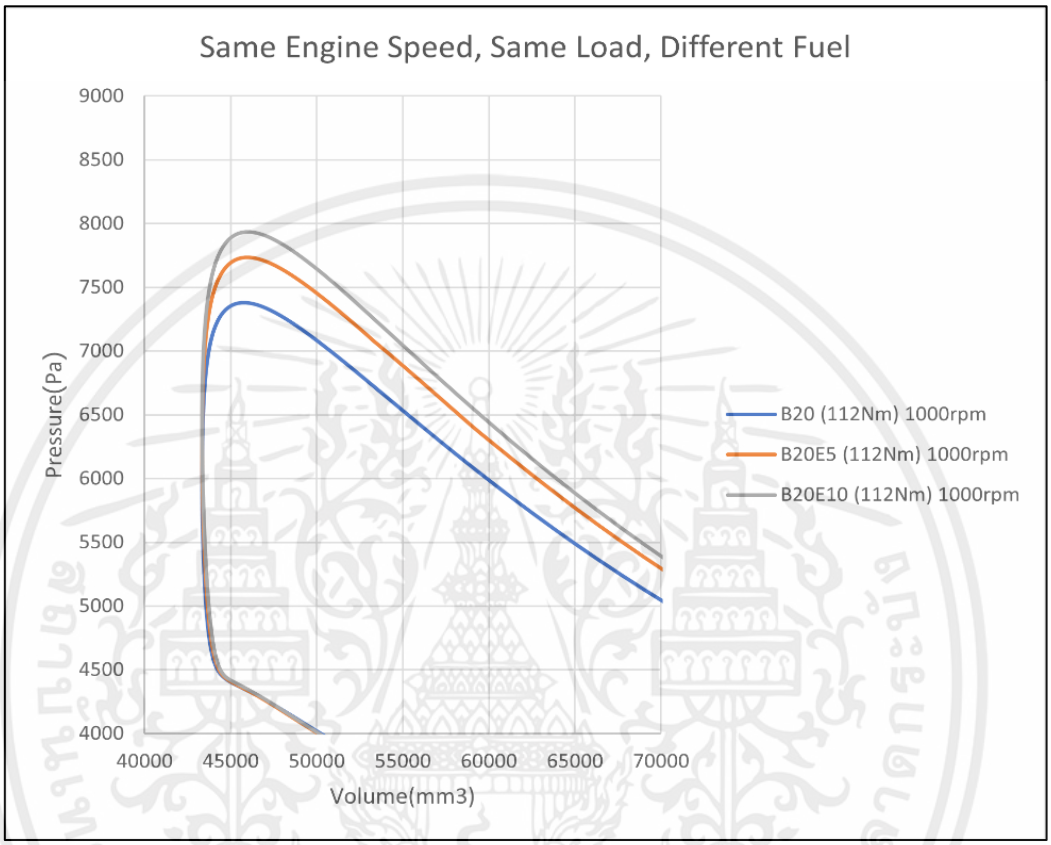


รูปที่ 4.6 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรกระบอกสูบของความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที ที่ชนิดของเชื้อเพลิงและภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน



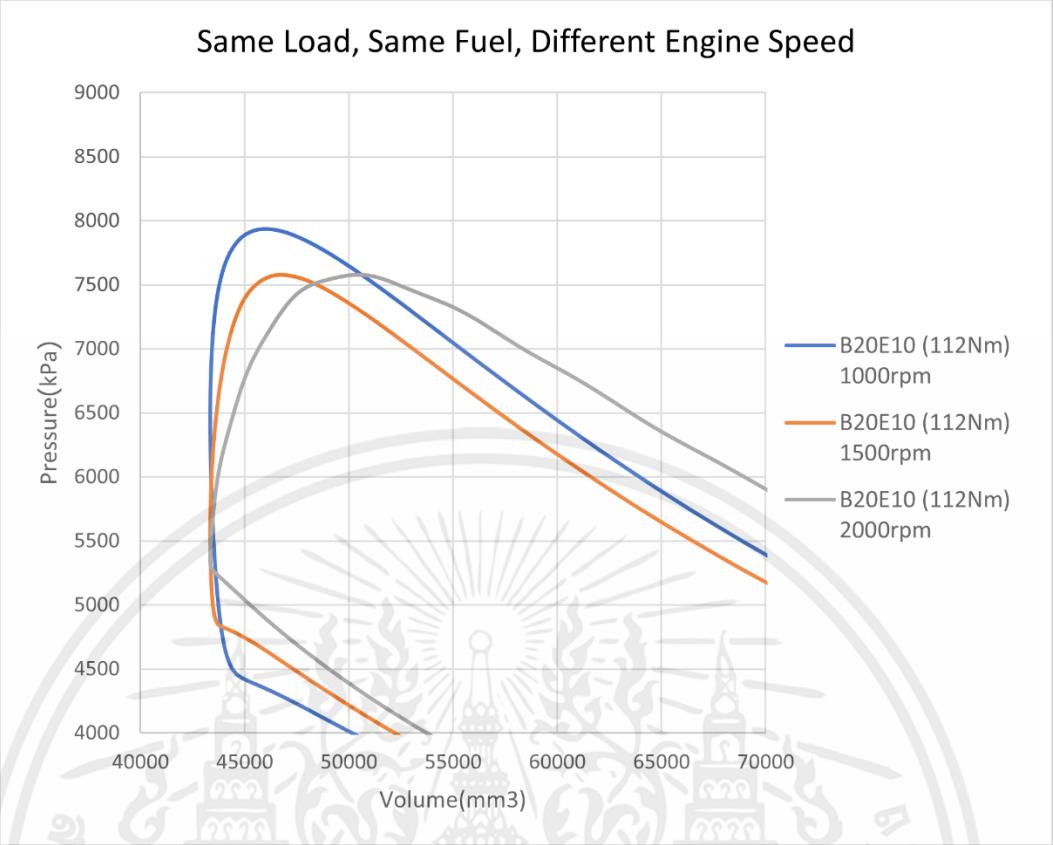
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรกระบอกสูบของเชื้อเพลิงเดียวกัน ความเร็วรอบเครื่องยนต์เดียวกันที่ 1500 รอบต่อนาที และภาระเครื่องยนต์ที่ต่างกัน



รูปที่ 4.8 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรกระบอกสูบของความเร็วรอบเครื่องยนต์เดียวกันที่ 1000 รอบต่อนาที ภาระเครื่องยนต์เดียวกันที่ 112 Nm ที่ชนิดของเชื้อเพลิงต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



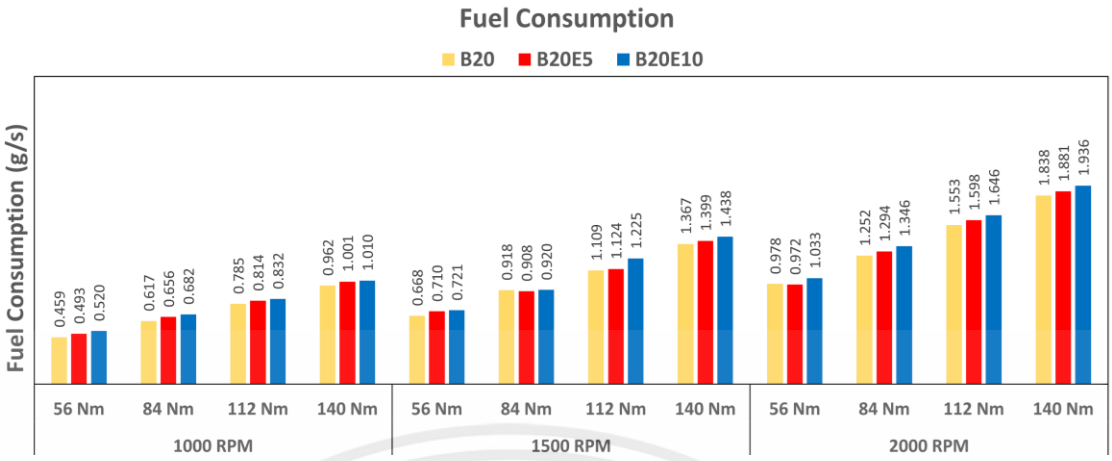
รูปที่ 4.9 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรกระบอกสูบของเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันและภาระเครื่องยนต์ 112Nm ที่ความเร็วรอบต่างกัน

4.2 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

4.2.1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel consumption, $\dot{m}_f$)

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของการทดลองนี้เป็นไปตามรูปที่ 4.10 นั้นคืออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อภาระเครื่องยนต์ และรอบเครื่องสูงขึ้น เมื่อสังเกตเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของชนิดเชื้อเพลิง โดยภาระเครื่องยนต์และความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงนั้นเพิ่มขึ้น เพราะสัดส่วนของเอทานอลที่เพิ่มเข้าไปในน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, Q_{LHV}) ลดลง นั่นคือ เพื่อให้ค่าความร้อนขั้นต่ำที่เท่ากัน น้ำมันที่มีส่วนผสมของเอทานอลจะต้องใช้ปริมาณที่มากกว่าในการเผาไหม้ เมื่อเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



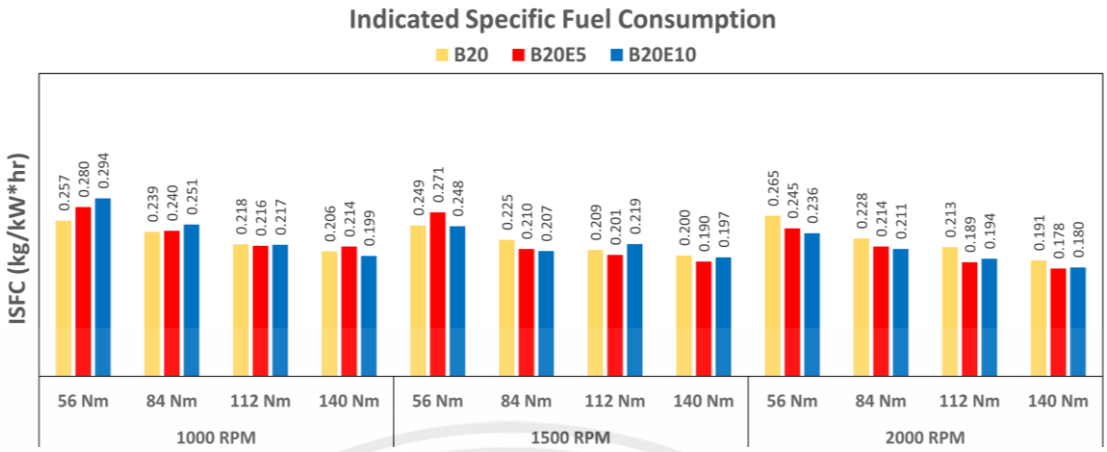
รูปที่ 4.10 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน

4.2.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption)

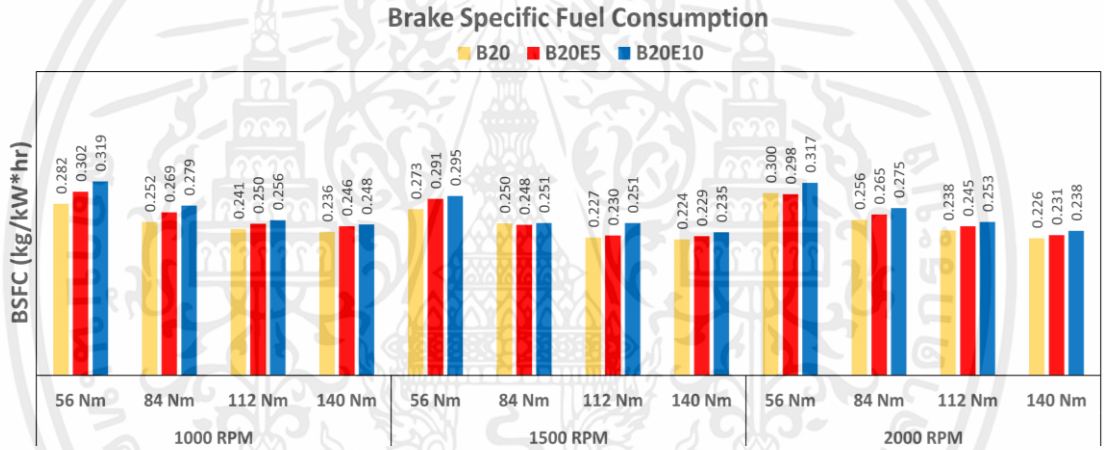
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) ของการทดลองนี้เป็นไปตามรูปที่ 4.12 เมื่อสังเกตเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิง โดยภาระเครื่องยนต์และความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่มีการผสมของเอทานอล มีอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้มากกว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลแบบปกติ ส่วนการเปรียบเทียบของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ ภาระเครื่องยนต์เพิ่มขึ้ม พบว่ามีแน้วโน้มลดลง เพราะการเปลี่ยนแปลงของภาระเครื่องยนต์มากกว่าเมื่อเทียบกับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และพบว่าเชื้อเพลิง B20E10 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกมากที่สุด ตามด้วย เชื้อเพลิง B20E5 และ B20 ตามลำดับ

เมื่อสังเกตอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ (ISFC) ของการทดลองนี้เป็นไปตามรูปที่ 4.11 หากภาระเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้นในขณะที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์นั้นคงที่ พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะบ่งชี้ (ISFC) มีแนวโน้มลดลงเพราะ สัดส่วนการเพิ่มขึ้นของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกำลังบ่งชี้ที่ได้จากระบบที่เพิ่มขึ้น เชื้อเพลิง B20E10 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน



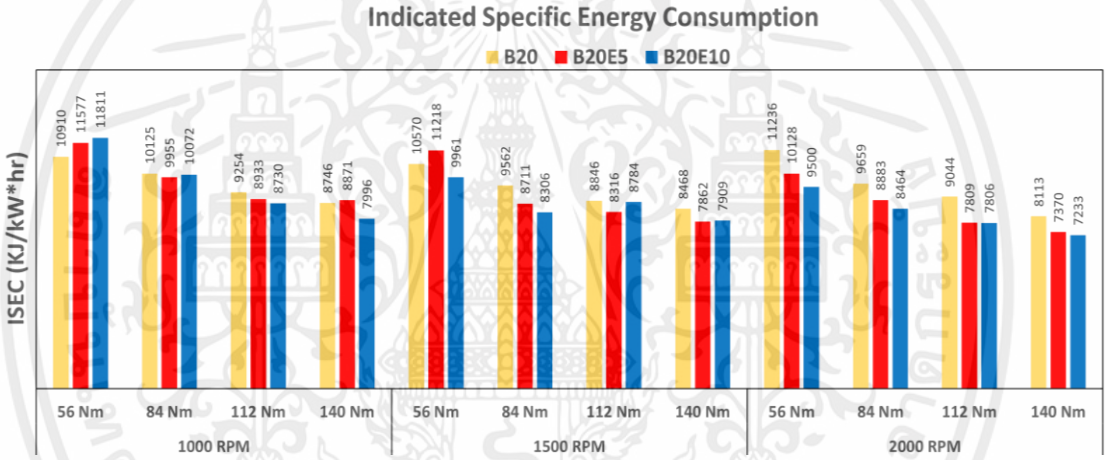
รูปที่ 4.12 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน

4.2.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption)

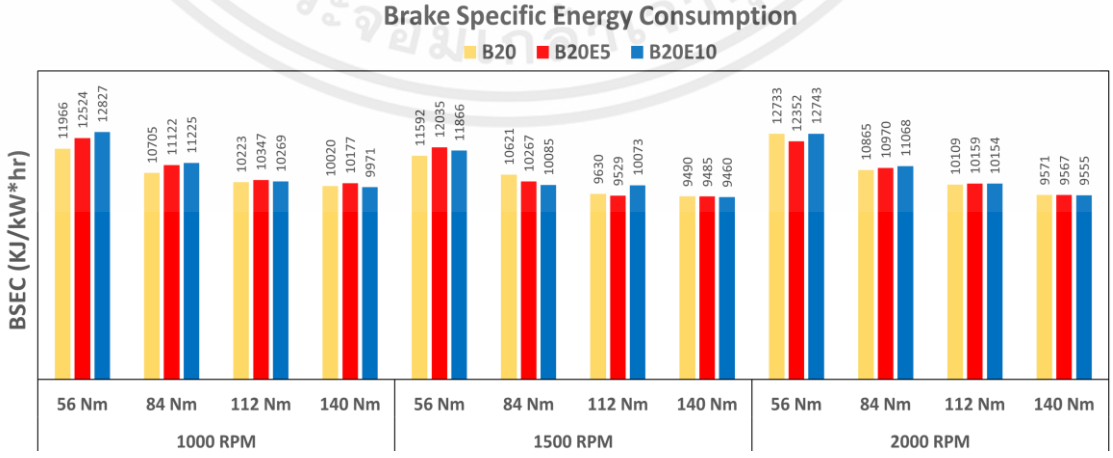
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC) ของการทดลองนี้เป็นไปตามรูปที่ 4.14 เมื่อสังเกตเฉพาะความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ เมื่อภาระของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น พบว่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC) มีแนวโน้มลดลง และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอทานอลลงในเชื้อเพลิงไบโอดีเซล พบว่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกลดลงเช่นกัน นั่นคือ เพื่อให้ได้กำลัง 1 หน่วย จะใช้พลังงานน้อยลงเมื่อสัดส่วนของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ (ISEC) เมื่อพิจารณาจากความเร็วรอบคงที่ แต่ภาระของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้น พบว่าค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ (ISFC) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสาเหตุที่ทำให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ลดลง อาจมาจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้นั้นสูงขึ้น ส่งผลให้กระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศทำได้สมบูรณ์และปลดปล่อยพลังงานออกมาได้มากกว่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ของเชื้อเพลิงทั้งหมดพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ของน้ำมันไบโอดีเซล (B20) มีค่าสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ (B20) นั้นมีค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value, Q_{LHV}) ที่มากกว่าเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่มากกว่าของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10)



รูปที่ 4.13 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน



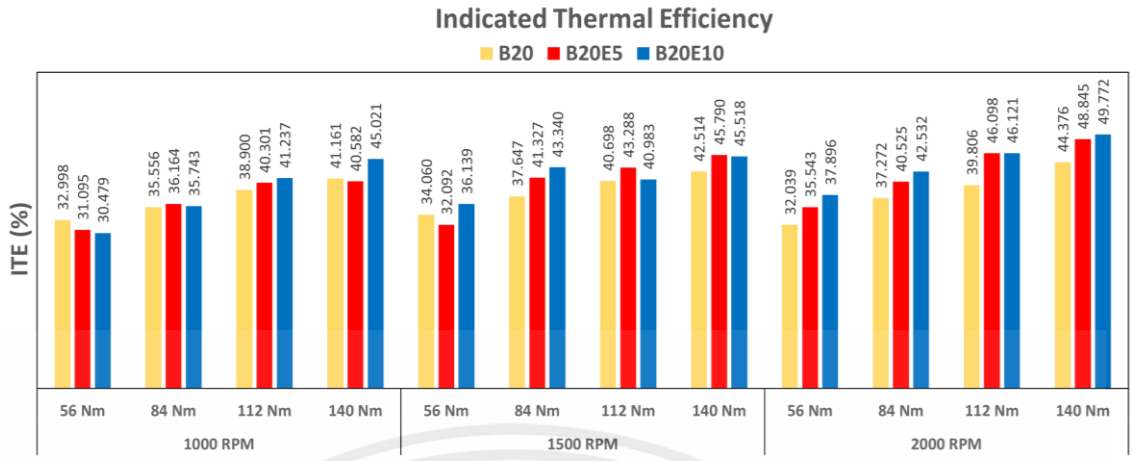
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน

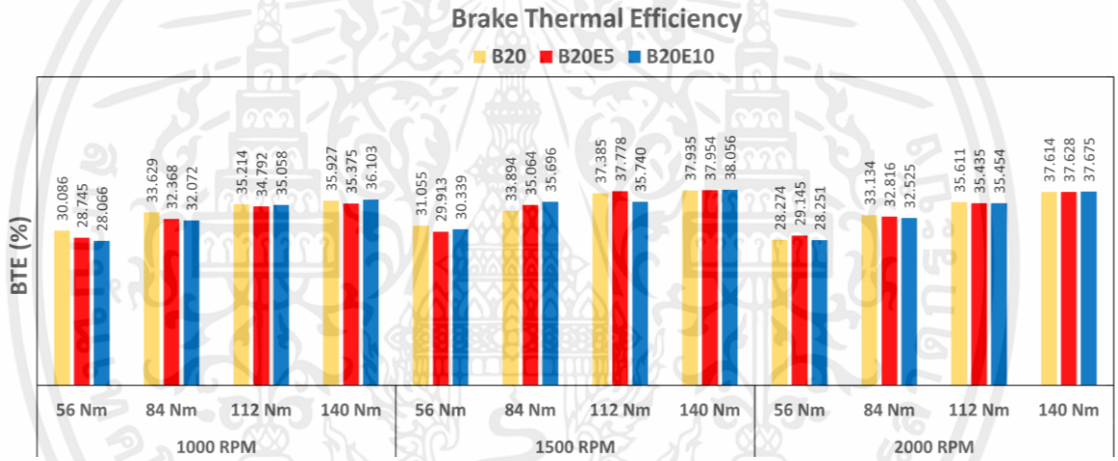
4.2.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency)

จากการคำนวณค่าทั้งประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (ITE) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) ของการทดลองสามารถดูได้จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 เมื่อพิจารณาเฉพาะภาระของเครื่องยนต์ที่มากระทำต่อเครื่องยนต์ พบว่าเมื่อภาระของเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้ทั้งค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (ITE) เพิ่มขึ้นเช่นกันในทุกกรณี ซึ่งการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเชิงความร้อนทั้ง 2 ค่าอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่สูงขึ้นส่งผลให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศทำได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณาทางด้านความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (ITE) ของเชื้อเพลิงทั้งหมด พบว่าที่รอบความเร็วเครื่องยนต์ต่ำ (1000 รอบต่อนาที)ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (ITE) ของน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ (B20) นั้นมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5,B20E10) ในรอบเครื่องยนต์ปานกลางถึงสูง (2000-3000 รอบต่อนาที) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (ITE) ของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) นั้นมีค่าสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ (B20) ในทุกสภาวะภาระของเครื่องยนต์เนื่องมาจากน้ำมันไบโอดีเซลที่มีส่วนผสมของเอทานอลจะให้กำลังจากเผาไหม้ที่มากขึ้น หรือสามารถกล่าวได้ว่า ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (ITE) กับประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) จากความสัมพันธ์ดังสมการ 2.5 ($\mathbf{w_b + w_f = w_i}$) นั่นคือ เชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่มีส่วนผสมของเอทานอล จะมีส่วนต่างระหว่างงานเพลากับงานบ่งชี้ที่มากกว่า ซึ่งนั่นคืองานจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระบบและกลไกต่างๆ เพราะค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5 และ B20E10) นั้นน้อยกว่าน้ำมันไบโอดีเซล (B20) แต่ยังเป็นค่าความหนืดที่ยอมรับได้และยังอยู่ในขอบเขตจำกัดของเครื่องยนต์ดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน

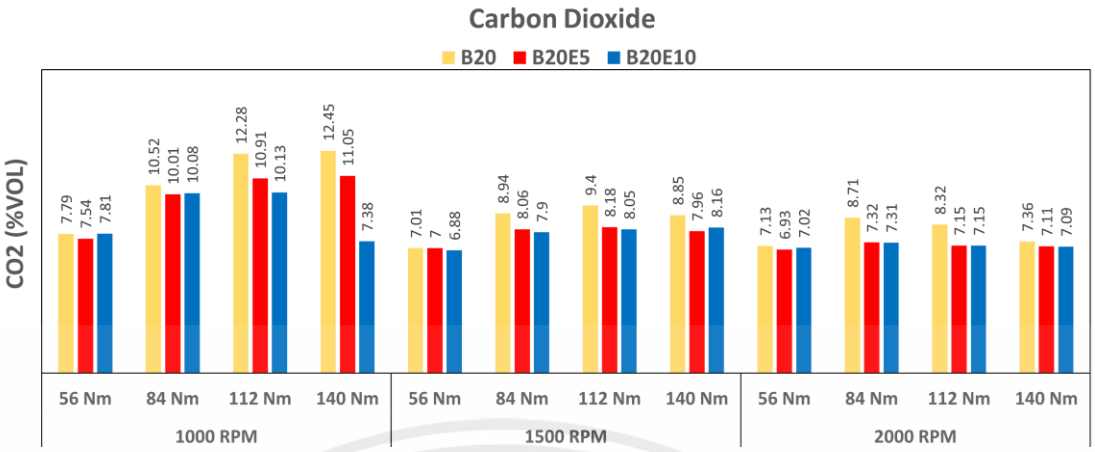


รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน

4.3 พฤติกรรมการปล่อยไอเสีย

ปริมาณการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์แสดงดังรูปที่ 4.17 จากกราฟพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีปริมาณที่ลดลง เมื่อภาระของเครื่องยนต์ รอบความเร็วเครื่องยนต์ และเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) มีปริมาณคาร์บอนที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ (B20)

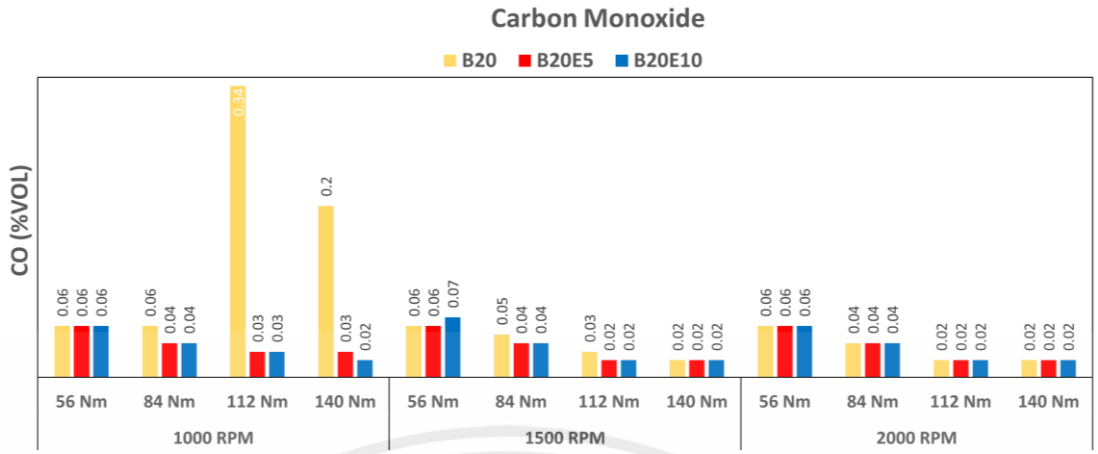
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทุกสภาวะเครื่องยนต์และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน

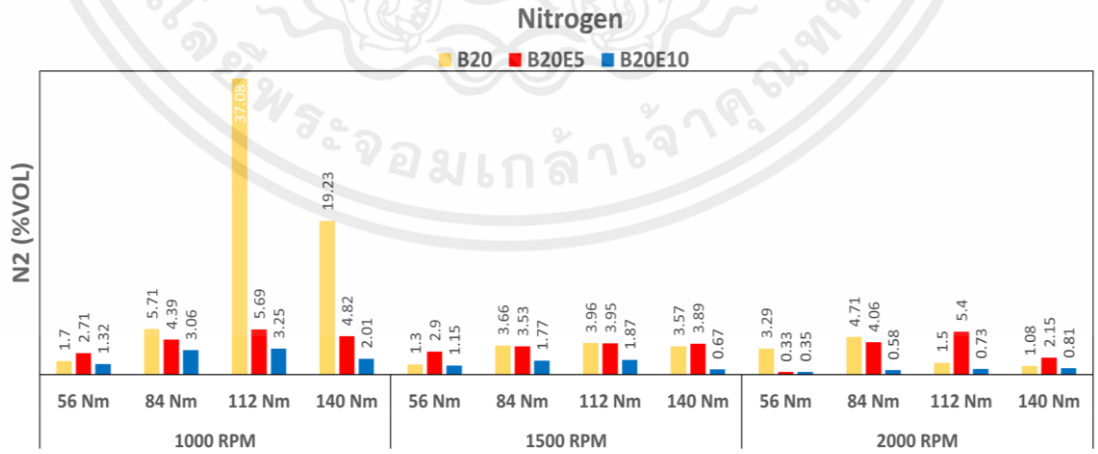
จากกราฟดังรูปที่ 4.18 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) พบว่ามีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ลดลง เมื่อมีภาระของเครื่องยนต์และเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) ที่มากขึ้นในรอบความเร็วเครื่องยนต์ต่ำ (1000-1500รอบต่อนาที) แต่จะมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เท่าเดิม เมื่อมีภาระของเครื่องยนต์และเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) ที่มากขึ้นในรอบความเร็วเครื่องยนต์ปานกลาง (2000 รอบต่อนาที) เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) นั้นมีออกซิเจนที่มากกว่าในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ (B20) อะตอมออกซิเจนของในเอทานอลที่มากขึ้นจะช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน

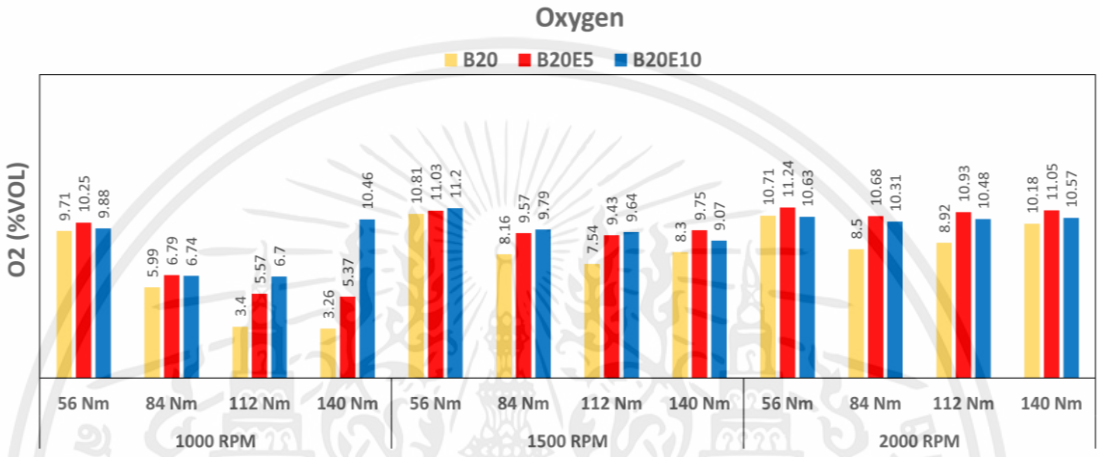
จากกราฟดังรูปที่ 4.19 ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจน (N_2) พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจน (N_2) มีปริมาณที่ลดลง เมื่อมีภาระของเครื่องยนต์ รอบความเร็วเครื่องยนต์ และเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ลดลงจากการที่เอทานอลมีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง และการเกิดปฏิกิริยากันระหว่างก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) เกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)



รูปที่ 4.19 ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจน (N_2) ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

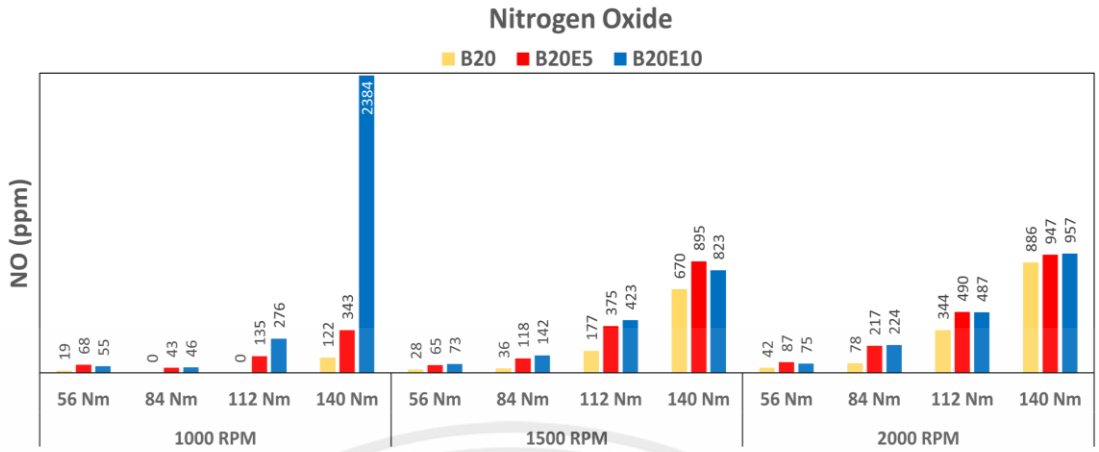
จากกราฟดังรูปที่ 4.20 ปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจน (O_2) พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจน (O_2) มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามภาระของเครื่องยนต์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) ที่มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการฉีดเชื้อเพลิงที่มากขึ้น และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) นั้นมีออกซิเจนที่มากกว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ (B20)



รูปที่ 4.20 ปริมาณการปล่อยก๊าซออกซิเจน (O_2) ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน

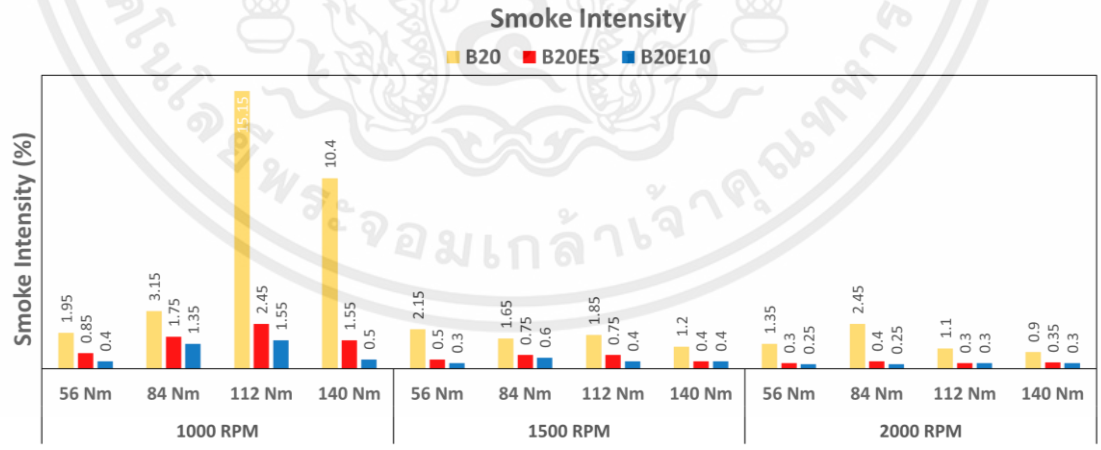
จากกราฟดังรูปที่ 4.21 ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีภาระของเครื่องยนต์ รอบความเร็วเครื่องยนต์ และเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของการเผาไหม้ที่สูงและเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) นั้นมีออกซิเจนที่มากกว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์ (B20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน

จากกราฟดังรูปที่ 4.22 ปริมาณความหนาแน่นของควันดำ (Smoke Intensity) พบว่า ปริมาณความหนาแน่นของควันดำ (Smoke Intensity) มีปริมาณที่ลดลง เมื่อภาระของเครื่องยนต์ รอบความเร็วเครื่องยนต์ และเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (B20E5, B20E10) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่เข้มข้นในเอทานอลจะช่วยควบคุมปฏิกิริยาการเกิดของเขม่า



รูปที่ 4.22 ปริมาณความหนาแน่นของควันดำ (Smoke Intensity) ทุกสภาวะเครื่องยนต์ และเชื้อเพลิงที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความแตกต่างของกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยวิธีการอัด และกระบวนการปล่อยไอเสียจากการผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลในอัตราส่วน 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราส่วนของเอทานอลนั้นส่งผลให้เกิดความแตกต่างของลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์และเขม่าที่ปล่อยออกมาจากท่อไอเสีย โดยจะแบ่งการอธิบายเป็น 3 หัวข้อคือ 1.ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ 2.ลักษณะของการเผาไหม้ 3.ลักษณะของการปล่อยมลพิษ

ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สามารถพิจารณาได้จากผลลัพธ์ของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, BSFC) อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะเบรก (Brake specific energy consumption, BSEC) และประสิทธิภาพความร้อนเฉพาะเบรก (Brake thermal efficiency, BTE) โดยผลที่ได้จากงานวิจัยสามารถทำการสรุปได้ว่า BSFC และ BSEC มีค่าลดลงเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นในขณะที่ ค่าBTE มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาถึงการใช้เชื้อเพลิงที่ต่างกัน อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความร้อนขั้นต่ำ (Low Heating Value: Q_{LHV}) ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ผสมเอทานอลมีค่าลดลงตามสัดส่วนของเอทานอลที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉพาะเบรกมีค่าลดลงเล็กน้อย เนื่องจากพลังงานในการผลิตกำลังในหนึ่งหน่วย มีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้นในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสม ดังนั้น B20E10 แสดงประสิทธิภาพความร้อนจำเพาะเบรก (BTE) สูงสุดตามด้วย B20E5 และ B20 ตามลำดับ

ลักษณะของการเผาไหม้สามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูลความดันในกระบอกสูบและมุมข้อเหวี่ยง (Crank angle) ที่ภาระของเครื่องยนต์ 56, 84, 112 และ 140 นิวตันเมตรที่ความเร็วรอบต่างๆ สำหรับเชื้อเพลิง B20, B20E5 และ B20E10 จะพบว่าจุดที่มีความดันสูงสุดห่างจากจุดศูนย์ตายบน (Top dead center, TDC) มากขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ผสมเอทานอลทั้งหมดจะแสดงค่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบมีค่ามากกว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซล B20 ในทุกภาระของเครื่องยนต์ และB20E10 แสดงค่าความดันสูงสุด ระยะเวลาในการเผาไหม้จะนานขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่เพิ่มมากขึ้น ด้วยสัดส่วนของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ความล่าช้าในการจุดระเบิดจะนานขึ้นสำหรับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล เนื่องจากอุณหภูมิในการจุดไฟอัตโนมัติจะมีค่าที่สูงขึ้น รวมถึงการผสมเอทานอลจะลดความหนาแน่นและความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลแต่สามารถกระจายเป็นละอองได้ดีขึ้น เมื่อเทียบกับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉีดด้วยแรงดันเท่ากันกับเชื้อเพลิงที่มีความหนืดสูง เนื่องจากการเป็นละอองได้ดีขึ้น รวมถึงการเผาไหม้ที่นานขึ้น เชื้อเพลิงมีการผสมคลุกเคล้ากับอากาศได้ดีขึ้น ความดันจึงมีค่าเพิ่มขึ้น ในส่วนของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตร (P-V diagram) พบว่าเครื่องยนต์เกิดกระบวนการจุดระเบิดที่จังหวะเดียวกัน เมื่อมีความเร็วรอบเครื่องยนต์และภาระของเครื่องยนต์เดียวกันที่เชื้อเพลิงต่างกัน แต่การผสมเอทานอลผสมในสัดส่วนที่มากขึ้นจะส่งผลทำให้ความดันสูงสุดของการเผาไหม้ภายในวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเอทานอลสามารถช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ลักษณะการปล่อยมลพิษสามารถวิเคราะห์ได้จากค่าความเข้มเขม่าของเชื้อเพลิงที่ทดสอบทั้งหมดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 1500 และ 2000 รอบต่อนาที ที่ภาระเครื่องยนต์ 140 นิวตันเมตร พบว่าการผสมเอทานอลมีผลอย่างมากต่อการลดเขม่าไอเสีย เนื่องจากพันธะออกซิเจนในเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนที่ผสม เพราะเอทานอลประกอบด้วยออกซิเจนประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่าค่าความเข้มข้นของเขม่าไอเสียสามารถพิสูจน์ได้ว่าลดลงมากกว่า 90% ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เดินเบา (1000รอบต่อนาที) และมีค่าลดลงประมาณ 50% ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ปานกลาง (1500และ2000รอบต่อนาที) โดยการผสมเอทานอลในน้ำมัน ไบโอดีเซลB20 การปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงและความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณคาร์บอนมีค่าต่ำ และโมเลกุลของออกซิเจนมีค่าสูงในเชื้อเพลิงเอทานอลเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล B20 อย่างไรก็ตามที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น เชื้อเพลิงจำนวนมากขึ้นจะถูกเผาไหม้ด้วยปริมาณอากาศเท่าเดิม ทำให้มีสัดส่วนของอากาศในการสร้าง CO_2 ลดลง และในทางกลับกันทำให้การปล่อยก๊าซออกซิเจน (O_2) เพิ่มขึ้นในเหตุผลเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] P. Karin, P. Watanawongskorn, J. boonsakda, E. Saenkhumvong, S. Rungsritanapaisan, S. Srivarocha, C. Charoenphonphanich. **Impact of biodiesel on small CI Engine Combustion Behavior and Particle Emission Characteristic**. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

[2] Preechar Karin, Aphichai Tripatara, Chinda Charoenphonphanich, Nuwong Chollacoop, Hidenori Kosaka Preechar Karin, Aphichai Tripatara, Chinda Charoenphonphanich, Nuwong Chollacoop, Hidenori Kosaka.b. **Influence of Ethanol-Biodiesel Blends on a Small Diesel Engine's Combustion Behavior and Particulate Matter Physicochemical Characteristics**.

[3] P. Kanokkhanarat, P. Karina, N. Depaiwaa, C. Srisurangkulb, and M. Yamakitac. **Influence of ethanol biodiesel blends on a diesel engine's efficiency and exhaust emission characteristics**. King Mongkut' s Institute of Technology Ladkrabang, 2021

[4] **การลดปริมาณอนุภาคเขม่าครันดำจากไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอล-ไบโอดีเซล-ดีเซลและอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่า**. สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

[5] Willard W. Pulkrabek. **Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine**. Prentice Hall, New Jersey.

[6] นิตยสาร Green Network. **เรื่องรับกระบวนทัศน์การพัฒนาเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนของสังคมไทย [ระบบออนไลน์]**. แหล่งที่มา https://www.greennetworkthailand.com/ เข้าดูเมื่อวันที่ 21/11/2564

[7] P. Waia1, P. Karina, W. Phairotea, N. Chollacoopb, H. Kosakac, and W. Po-ngend. **Experimental Investigation of the Impact Ethanol-Biodiesel-Diesel Blended Fuels on Combustion, Emission, and Performance of Compression Ignition Diesel Engine**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้