

พฤติกรรมการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง
และสัณฐานอนุภาคเขม่าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

Direct Injection Spark Ignition Engine's Combustion Behavior and
Particulate Matter Morphology using Electron Microscopy



ชาญชิต อภิสมภาร
รัฐันต์ ธรรมสิทธิ์
สราวุธ มีชัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง
และสัณฐานอนุภาคเขม่าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

Direct Injection Spark Ignition Engine's Combustion Behavior and
Particulate Matter Morphology using Electron Microscopy



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIRECT INJECTION SPARK IGNITION ENGINE'S COMBUSTION BEHAVIOR
AND PARTICULATE MATTER MORPHOLOGY USING ELECTRON MICROSCOPY



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
2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงและสัณฐานอนุภาคเขม่าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ชาญชิต	อภิสมภาร	59010314
รัฐนันต์	ธรรมสิทธิ์	59011134
สรารุช	มีชัย	59011373
รศ.ดร.ปรีชา	การินทร์	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลในปริมาณต่างกันเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และปริมาณการปล่อยไอเสีย ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าการผสมเอทานอลในแก๊สโซลีนนั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ของเครื่องยนต์ได้เนื่องจากเอทานอลมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบส่งผลให้การเผาไหม้ทำได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยที่อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกันเนื่องจากเอทานอลมีค่าความร้อนเนื่องจากการสันดาปที่ต่ำกว่าแก๊สโซลีน ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้มีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนของเอทานอลในเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ในส่วนของกราฟระหว่างความดันและปริมาตร พบว่าเมื่อเครื่องยนต์จุดระเบิดในจังหวะที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เชื้อเพลิงที่มีเอทานอลผสมในสัดส่วนที่มากขึ้นจะมีความดันสูงสุดของการเผาไหม้ในวัฏจักรการทำงานสูงขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากเอทานอลช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าแก๊สโซลีน ซึ่งการผสมเอทานอลในปริมาณที่มากขึ้นนี้มีแนวโน้มทำให้ห้องศจจุดระเบิดที่เหมาะสมล่วงหน้าก่อนจุดศูนย์ตายบนมากขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากเอทานอลมีคุณสมบัติของการล่าช้าของการจุดระเบิดที่มากกว่าแก๊สโซลีน และจากการศึกษาพฤติกรรมการปล่อยไอเสียพบว่าการผสมเอทานอลในแก๊สโซลีนนั้นส่งผลให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) มีปริมาณที่ลดลงเนื่องจากออกซิเจนอะตอมในเอทานอลช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และออกไซด์ของไนโตรเจนก็มีปริมาณที่ลดลงเช่นกันเนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ลดลงจากการที่เอทานอลมีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่สูง ส่วนการศึกษาสัณฐานอนุภาคของเขม่าพบว่าปริมาณเขม่าจากเชื้อเพลิง E100 ที่มีปริมาณต่ำกว่าเชื้อเพลิง E85, E20, E0 ประมาณ 50, 98.04 และ 98.2% ตามลำดับ เนื่องจากเอทานอลมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบมากกว่าส่งผลให้การเผาไหม้ทำได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขนาดของอนุภาคกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยมี

ขนาด 0.05 – 0.1 μm และจากการศึกษาอนุภาคจากเชื้อเพลิง EO พบว่าขนาดอนุภาคเดี่ยวส่วนใหญ่มีขนาด 21 nm ถึง 25 nm และความยาวผลึกกราฟีนส่วนใหญ่มีขนาด 0.26 nm ถึง 0.50 nm



||

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIRECT INJECTION SPARK IGNITION ENGINE'S COMBUSTION BEHAVIOR AND PARTICULATE
MATTER MORPHOLOGY USING ELECTRON MICROSCOPY

Chanchit	Apisamajan	59010314
Ratthanan	Thammasit	59011134
Sarawut	Meechai	59011373
Assoc.Prof.Dr.Preechar	Karin	

Abstract

This research studied the mixing ethanol in gasoline which affects efficiency, consumption rate and the amount of emissions. The result of the research shows that mixing ethanol in gasoline can increase the indicated thermal efficiency of the engine because ethanol is an oxygenated fuel causes in more complete in combustion and the indicate fuel consumption also increase as well because ethanol has a heating value due to combustion lower than gasoline . The indicate specific energy consumption reduced when the ratio of ethanol in the fuel increases. For the pressure and volume diagram found that when the engine ignite at the proper timing the fuel with a higher ratio of ethanol will have a higher combustion pressure in the combustion cycle due to ethanol helps in more complete combustion than gasoline. The increasing amount of ethanol mixed tends to increase the proper ignition timing before top dead center because ethanol has property in ignition delay higher than gasoline. From the study of the exhaust emission characteristic, the mixing of ethanol in gasoline causes reducing in the amount of Carbonmonoxide and Hydrocarbon due to oxygen atom in ethanol improved in more complete combustion. And nitrogen oxides also have a lower amount due to the lower temperature in the combustion chamber from the high latent heat of vaporization from ethanol. It is found that the quantity of soot from fuel E100 fuel is lower than E85, E20, E0 fuel approximately 50, 98.04 and 98.2% respectively because ethanol is an oxygenated fuel causes in more complete in combustion. Most of E0 single particle size is 21 nm to 25 nm and most of fringe length is 0.26 nm. to 0.50 nm

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก รศ.ดร.ปรีชา การินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณชมรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ และขอบคุณ นายวทีญญ ไพโรจน์ นายวิริยุทธ วงศ์ภัทรวรรกุล และ Ms.Hay Mon Oo ที่อบรมสั่งสอนและให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ ในการทำโครงการนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดีพร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

นายชาญชิต อภิสมภาร
นายรัฐนันต์ ธรรมสิทธิ์
นายสรารุช มีชัย

สารบัญ

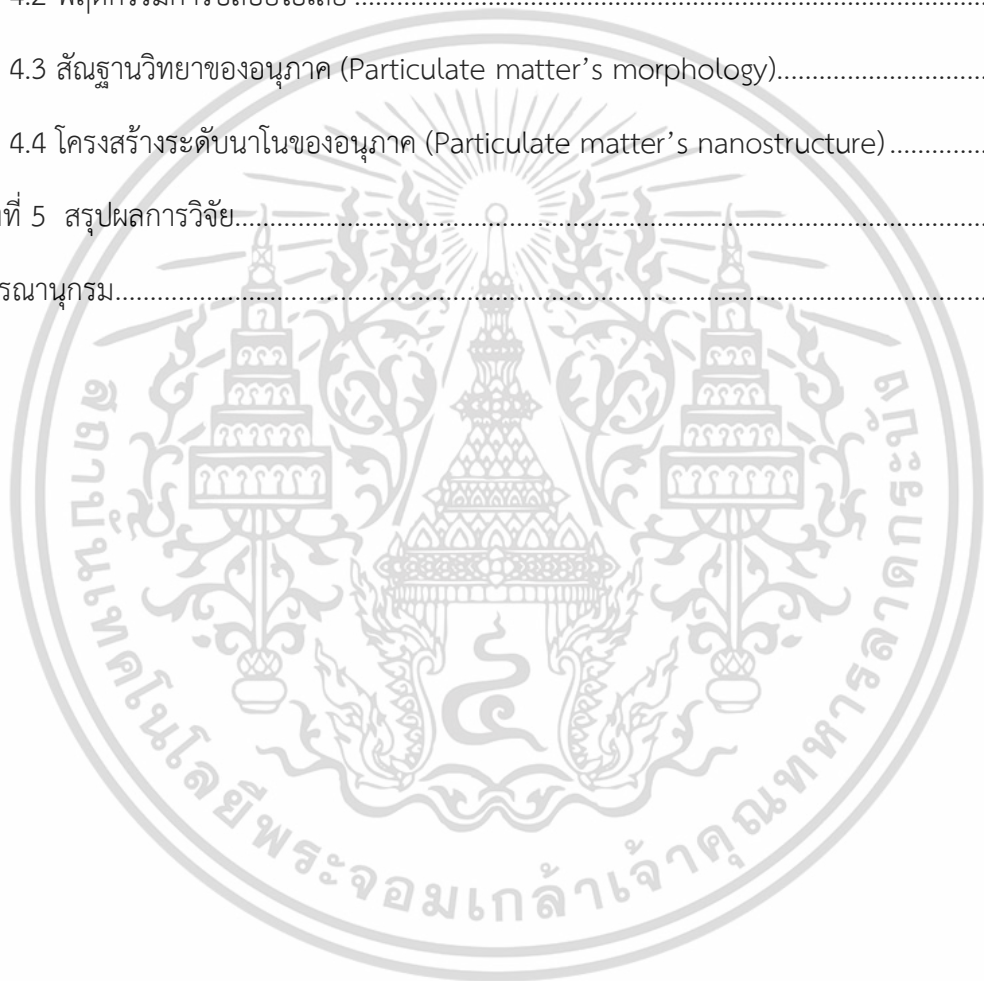
หน้า

พฤติกรรมเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงและสัณฐานอนุภาคเขม่าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	I
DIRECT INJECTION SPARK IGNITION ENGINE'S COMBUSTION BEHAVIOR AND PARTICULATE MATTER MORPHOLOGY USING ELECTRON MICROSCOPY	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.2.1 วัฏจักรออตโต้ (Otto Cycle).....	5
2.2.2 งานของเครื่องยนต์ (Work)	7
2.2.3 แรงบิดและกำลัง (Torque and Power).....	9

2.2.4 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air – fuel ratio) และอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ (Fuel – air ratio).....	10
2.2.5 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel consumption).....	11
2.2.6 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (Engine efficiency).....	13
2.3 เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง (DISI Engine)	14
2.3.1 รูปแบบการทำงานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง	15
2.3.2 รูปแบบการฉีดน้ำมันของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง	16
2.4 ไดนาโมมิเตอร์	17
2.5 น้ำมันเชื้อเพลิง.....	17
2.5.1 เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน (Gasoline fuel).....	17
2.5.2 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล (Gasohol fuel)	18
2.6 มลพิษจากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง	19
2.6.1 อนุภาค (Particular Matter, PM).....	19
2.6.2 ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon).....	19
2.6.3 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO).....	21
2.6.4 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂).....	21
2.6.5 แก๊สออกซิเจน (O ₂)	21
2.6.6 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x).....	21
2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	22
2.7.1 ทฤษฎีหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	22
2.7.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)	23
2.7.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope : TEM).....	24

บทที่ 3 แผนผังและอุปกรณ์การทดลอง.....	25
3.1 แผนผังและอุปกรณ์การทดลอง.....	25
3.1.1 เครื่องยนต์.....	26
3.1.2 น้ำมันเชื้อเพลิง.....	27
3.1.3 กล่อง ECU.....	28
3.1.4 ไดนาโมมิเตอร์.....	28
3.1.5 ระบบควบคุมและบันทึกผลจาก Engine Dynamometer.....	30
3.1.6 ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง.....	33
3.1.7 ออกซิเจนเซนเซอร์ (Oxygen Sensor).....	34
3.1.8 เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure sensor).....	36
3.1.9 เซนเซอร์วัดองศาเพลาคือเหวี่ยง (Crank Encoder).....	37
3.1.10 Gas Analyzer.....	37
3.1.11 เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke meter).....	38
3.2 วิธีการทดลอง.....	39
3.2.1 สภาพที่ใช้ทดสอบ.....	39
3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ.....	39
3.2.3 ขั้นตอนการเก็บเขม่าไอเสีย.....	44
3.2.4 วิธีการวัดขนาดและตรวจสอบโครงสร้างของอนุภาคเดี่ยวและอนุภาคกลุ่มด้วย วิธีการใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	47
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	49
4.1 พฤติกรรมการเผาไหม้.....	49
4.1.1 ความดันภายในกระบอกสูบ.....	49

4.1.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ (Indicated specific fuel consumption, ISFC).....	59
4.1.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ (Indicated specific energy consumption, ISEC).....	60
4.1.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (Indicated thermal efficiency, ITE).....	62
4.2 พฤติกรรมการปล่อยไอเสีย	63
4.3 สัณฐานวิทยาของอนุภาค (Particulate matter’s morphology).....	67
4.4 โครงสร้างระดับนาโนของอนุภาค (Particulate matter’s nanostructure).....	73
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	80
บรรณานุกรม.....	82



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อดีและข้อเสียของระบบจ่ายเชื้อเพลิงแต่ละแบบ	15
2.2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของกล้อ่งจุลทรรศน์แบบแสงและ กล้อ่งจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	22
3.1 Engine Main Data and Specification	26
3.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง	27
3.3 คุณสมบัติของ Engine Dynamometer.....	28
3.4 คุณสมบัติของตัวอ่าน Oxygen Sensor.....	35
3.5 คุณสมบัติของ Pressure Sensor.....	36
3.6 สภาพที่ใช้ในการทดสอบ	39
3.7 ตารางบันทึกประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ขณะที่ใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน	41
3.8 ตารางบันทึกปริมาณแก๊สและสารประกอบจากไอเสียของเครื่องยนต์ (g/Kw-hr).....	43

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กราฟ P-V ของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แสดงวัฏจักรออตโตอากาศมาตรฐาน อุดมคติ.....	6
2.2 กราฟ P-v ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (a) ลิ้นผีเสื้อเปิดกว้างสุด (b) ลิ้นผีเสื้อเปิด บางส่วน	8
2.3 กราฟ P-v ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ติดตั้งอุปกรณ์ช่วยประจุไอดี	9
2.4 กำลังและแรงบิดบนความเร็วของเครื่องยนต์ในรถทั่วไป	10
2.5 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเมื่อเทียบบนความเร็วของเครื่องยนต์ (N) กับอัตราส่วนการอัด (rc).....	11
2.6 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเมื่อเทียบกับอัตราส่วนสมมูล และอัตราส่วนการอัดที่แตกต่างกัน.....	12
2.7 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเมื่อเทียบกับความจุของเครื่องยนต์.....	12
2.8 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง.....	14
2.9 การทำงานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง	16
2.10 รูปแบบการฉีดน้ำมันของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง	17
2.11 มลพิษในไอเสียที่ความเข้มข้นของไอดีมากจนออกซิเจนไม่เพียงพอสำหรับทำปฏิกิริยากับคาร์บอน ของเครื่องยนต์	20
2.12 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM).....	23
2.13 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM).....	24
3.1 แผนผังการทดลอง	25
3.2 เครื่องยนต์ Mitsubishi 4G93	26
3.3 ภาระงานของเครื่องยนต์และกำลังของแต่ละรอบความเร็วที่เครื่องยนต์ทำได้	27
3.4 กล้อง ECU Link G4+ Xtreme.....	28
3.5 Engine Dynamometer.....	29

3.6 Cooling Tower สำหรับหล่อเย็น Engine Dynamometer	29
3.7 Interface โดยรวมของโปรแกรม LabView	30
3.8 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabView ฟังก์ชัน	30
3.9 Interface ฟังก์ชันของโปรแกรม LabView.....	31
3.10 Interface ฟังก์ชันของโปรแกรม LabView ขยายบริเวณสภาวะการทดลอง.....	32
3.11 Interface ฟังก์ชันของโปรแกรม LabView ขยายบริเวณเชื้อเพลิงและระบบหล่อเย็น.....	32
3.12 แผนภาพการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง	33
3.13 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Digital Weight Meter).....	33
3.14 ส่วนประกอบของ Oxygen Sensor.....	34
3.15 Oxygen Sensor พร้อมตัวอ่าน.....	35
3.16 Kistler Spark Plug Pressure Sensor Type 6052B	36
3.17 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศ.....	37
3.18 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณแก๊ส (Gas Analyzer).....	38
3.19 เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke meter).....	38
3.20 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ	40
3.21 ขั้นตอนการทดสอบมลพิษ	42
3.22 วิธีการเก็บเขม่าจากทางเดินไอเสียและท่อรวมเสีย.....	44
3.23 ตัวอย่างเขม่าที่เก็บได้จากท่อรวมไอเสียและทางเดินไอเสีย	44
3.24 แผนภาพระบบการจับเขม่าไอเสีย.....	45
3.25 ท่อวัดของเครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำกับท่อไอเสีย	46
3.26 การเก็บเขม่าโดยเครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke meter).....	46
3.27 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน	47
3.28 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด.....	47
3.29 หน้าต่างโปรแกรม ImageJ.....	48
4.1 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมข้อเหวี่ยงของเชื้อเพลิง E0 ที่ภาระงานของเครื่องยนต์ และองศาการจุดระเบิดต่างกัน	50
4.2 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมข้อเหวี่ยงของเชื้อเพลิง E20 ที่ภาระงานของเครื่องยนต์ และองศาการจุดระเบิดต่างกัน	50

4.3 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมข้อเหวี่ยงของเชื้อเพลิง E85 ที่ภาระงานของเครื่องยนต์ และองศาการจุดระเบิดต่างกัน	51
4.4 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมข้อเหวี่ยงของเชื้อเพลิง E100 ที่ภาระงานของเครื่องยนต์ และองศาการจุดระเบิดต่างกัน	51
4.5 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรภายในกระบอกสูบของเชื้อเพลิง E0 ภายใต้ภาระโหลด (ก) 30 Nm (ข) 45 Nm (ค) 60 Nm.....	53
4.6 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรภายในกระบอกสูบของเชื้อเพลิง E20 ภายใต้ภาระโหลด (ก) 30 Nm (ข) 45 Nm (ค) 60 Nm.....	55
4.7 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรภายในกระบอกสูบของเชื้อเพลิง E85 ภายใต้ภาระโหลด (ก) 30 Nm (ข) 45 Nm (ค) 60 Nm.....	57
4.8 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรภายในกระบอกสูบของเชื้อเพลิง E100 ภายใต้ภาระโหลด (ก) 30 Nm (ข) 45 Nm (ค) 60 Nm.....	59
4.9 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ที่ภาระของเครื่องยนต์, องศาการจุดระเบิด และเชื้อเพลิงต่างกัน	60
4.10 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ที่ภาระของเครื่องยนต์, องศาการจุดระเบิด และเชื้อเพลิงต่างกัน	61
4.11 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ที่ภาระของเครื่องยนต์, องศาการจุดระเบิด และเชื้อเพลิงต่างกัน	63
4.12 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂).....	64
4.13 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO).....	65
4.14 ปริมาณการปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน	66
4.15 ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO).....	67
4.16 การจับตัวของเขม่าของเชื้อเพลิงบนกระดาดากรอง (ก) E0 (ข) E20 (ค) E85 (ง) E100	68
4.17 ปริมาณความเข้มข้นของเขม่าไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	68
4.18 ภาพถ่ายการจับตัวของเขม่าของเชื้อเพลิงบนกระดาดากรองจากเครื่องวัดประสิทธิภาพควันท้าด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยใช้กำลังขยาย 30,000 เท่า (ก) E0 (ข) E20 (ค) E85 (ง) E100.....	69

4.19 ภาพถ่ายการจับตัวของเขม่าของเชื้อเพลิงบนกระดาศกรงจากเครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยใช้กำลังขยาย 5,000 เท่า (ก) E0 (ข) E20 (ค) E85 (ง) E100.....	70
4.20 ภาพถ่ายการจับตัวของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกระดาศกรงของ เชื้อเพลิง E0.....	71
4.21 ภาพถ่ายการจับตัวของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกระดาศกรงของ เชื้อเพลิง E20.....	71
4.22 ภาพถ่ายการจับตัวของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกระดาศกรงของ เชื้อเพลิง E85.....	71
4.23 ภาพถ่ายการจับตัวของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกระดาศกรงของ เชื้อเพลิง E100.....	72
4.24 ขนาดอนุภาคกลุ่มของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0, E20, E85 และ E100.....	72
4.25 ภาพถ่ายอนุภาคกลุ่มโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของเชื้อเพลิง E0.....	73
4.26 ขนาดอนุภาคเดี่ยวของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0.....	73
4.27 แบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนอะตอมกับโครงสร้างของผลึกกราฟีน.....	74
4.28 แบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระนาบของผลึกกราฟีนในแต่ละชั้น.....	75
4.29 กระบวนการวัดขนาดความยาวผลึกกราฟีนของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0 (Outer Shell) (ก) ภาพถ่ายอนุภาคเดี่ยว (ข) ภาพตัดขนาด 10x10 nm (ค) ภาพขาว-ดำของอนุภาคเดี่ยว (ง) ภาพเส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน (จ) ภาพปรับแก้เส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน.....	76
4.30 กระบวนการวัดขนาดความยาวผลึกกราฟีนของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0 (Transition Zone) (ก) ภาพถ่ายอนุภาคเดี่ยว (ข) ภาพตัดขนาด 10x10 nm (ค) ภาพขาว-ดำของอนุภาคเดี่ยว (ง) ภาพเส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน (จ) ภาพปรับแก้เส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน.....	77
4.31 กระบวนการวัดขนาดความยาวผลึกกราฟีนของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0 (Inner core) (ก) ภาพถ่ายอนุภาคเดี่ยว (ข) ภาพตัดขนาด 10x10 nm (ค) ภาพขาว-ดำของอนุภาคเดี่ยว (ง) ภาพเส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน (จ) ภาพปรับแก้เส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน.....	78
4.32 ความยาวผลึกกราฟีนของอนุภาคจากเชื้อเพลิง E0 ที่บริเวณต่างกัน.....	79

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง[10] (Direct Injection Spark Ignition engine, DISI) ใช้งานแพร่หลายมากขึ้นในประเทศไทย ซึ่งเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงมีความเหมาะสมเนื่องมาจากการฉีดเชื้อเพลิงไปยังห้องเผาไหม้โดยตรง ส่งผลให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูง และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดภายในท่อไอดีแต่เนื่องจากพฤติกรรมการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง มีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition engine, CI)[18] ซึ่งกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ชนิดนี้ก่อให้เกิดปริมาณมลพิษอนุภาค[17]ในปริมาณมาก ส่งผลต่อปัญหาสภาวะแวดล้อมเป็นพิษ (Air Pollution) ซึ่งถือเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบันของประเทศไทย เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาวิกฤต PM2.5 เราจึงสนใจทำการศึกษาขนาดของอนุภาคและปริมาณของมลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์ชนิดนี้ เพื่อเป็นข้อมูลหรือแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบบำบัดไอเสียต่อไปในอนาคต

มลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง (Particle Emission) ประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบหลัก คือ ส่วนที่เป็นของแข็ง (Solid Organic Fraction, SOL) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนแข็ง (Carbon) และขี้เถ้าของโลหะ (Metallic ash) และส่วนประกอบที่เป็นของเหลว (Soluble Organic Fraction, SOF) ซึ่งมีไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) เป็นส่วนประกอบหลัก

นอกจากนี้อีกสาเหตุหนึ่งซึ่งส่งผลต่อการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ก็คือน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอล[1][2][4]มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ได้ดีกว่าการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน อีกทั้งเอทานอลยังสามารถช่วยลดความต้องการในการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศเนื่องจากเอทานอลสามารถผลิตได้จากผลผลิตทางการเกษตร เช่น มันสำปะหลัง และอ้อยซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศไทยเอทานอลจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซออกซิเจน (O₂), ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x), สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) และอนุภาคเขม่า (PMs) ที่ถูกปล่อยออกจากเครื่องยนต์
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (Indicated thermal efficiency, ITE) และกราฟระหว่างความดันกับปริมาตร (P-V diagram) ของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน (E0), เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอลในอัตราส่วน 20 % , 85% รวมทั้งเชื้อเพลิงเอทานอล (E100)
3. เพื่อศึกษาโครงสร้างฐานวิทยาของอนุภาคกลุ่มและอนุภาคเดี่ยวที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนแบบฉีดตรง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. การเพิ่มเปอร์เซ็นต์เอทานอลจะส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้มีค่าสูงขึ้น
2. การเพิ่มเปอร์เซ็นต์เอทานอลจะทำให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารไฮโดรคาร์บอน (HC) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่ถูกปล่อยมีปริมาณลดลง
3. การเพิ่มเปอร์เซ็นต์เอทานอลจะส่งผลให้ปริมาณเขม่าที่ถูกปล่อยมีปริมาณลดลง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ MITSUBISHI 4G93 ในรอบเครื่องยนต์ 1000, 1500, 2000 rpm ภาระงานของเครื่องยนต์ 30, 45 และ 60 Nm วัดค่าโดย EDDY CURRENT DYNAMOMETER ED-150-LC
2. ศึกษากราฟระหว่างความดันและปริมาตร (P-V diagram) ของเครื่องยนต์ MITSUBISHI 4G93 ในรอบเครื่องยนต์ 1000, 1500, 2000 rpm ภาระงานของเครื่องยนต์ 30, 45 และ 60 Nm โดยใช้ KISTLER SPARK PLUG PRESSURE SENSOR TYPE 6052B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาปริมาณมลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนและเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอล E0, E20, E85, E100
4. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของอนุภาค (Particulate Matter) ที่เกิดจากเครื่องยนต์ MITSUBISHI 4G93

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (Indicated thermal efficiency, ITE) และกราฟระหว่างความดันกับปริมาตร(P-V diagram) ของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนและเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอล
2. สามารถวัดปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ก๊าซออกซิเจน (O₂), ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ถูกปล่อยออกจากเครื่องยนต์
3. เข้าใจลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของอนุภาคที่เกิดจากเครื่องยนต์แก๊สโซลีนแบบฉีดตรงที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอล

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย Investigation of Ethanol DISI Engine Performance and Emissions[4] จัดทำโดย Athiwat Butmarasri, Chinda Charoenphonphanich, Nuwong Chollacoop และ Hidenori Kosaka จาก King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของเอทานอลต่อประสิทธิภาพและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง พบว่าปริมาณการปล่อยอนุภาค, CO และ HC ของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนมีปริมาณสูงกว่าเอทานอลเนื่องจากองค์ประกอบของออกซิเจนในเอทานอลทำให้กระบวนการเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และการปล่อย CO₂ ของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนมีปริมาณสูงกว่าเอทานอลเช่นกันเนื่องจากเอทานอลมีองค์ประกอบของคาร์บอนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแก๊สโซลีน ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงเอทานอลมีค่ามากที่สุดในทุกๆเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน และเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมด้วยเอทานอลเนื่องจากค่าความร้อนต่ำของเอทานอลมีค่าที่ต่ำ แต่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกมีค่าน้อยที่สุดเนื่องจากเอทานอลมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

งานวิจัย The Impact of Injection Timing in Ethanol Fuel on Direct Injection Spark Ignition (DISI) Engine[10] จัดทำโดย Panuwat Kangkaya, Chinda Charoenphonphanich, Manida Tongroon และ Hidenori Kosaka จาก King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงองศาการจุดระเบิดและองศาการฉีดน้ำมันต่อประสิทธิภาพและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง พบว่าการเปลี่ยนแปลงจังหวะการจุดระเบิดและจังหวะการฉีดน้ำมันที่ไม่ตรงกับจังหวะที่เหมาะสมจะส่งผลให้เกิดมลพิษมากยิ่งขึ้น (stratified charge operation) อีกทั้งทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง โดยจังหวะการฉีดน้ำมันที่ช้าเกินไปในแต่ละวัฏจักรส่งผลให้ปริมาณ THC เพิ่มขึ้น และทำให้ปริมาณ CO เพิ่มขึ้น เนื่องจากการผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศที่แย่งลง แต่ก็ส่งผลให้ปริมาณ NO_x ลดลงเนื่องจากอุณหภูมิเผาไหม้ที่ลดลง

งานวิจัย Study of direct injection spark ignition (DISI) engine with high compression ratio for alternative fuel[13] จัดทำโดย Rattapoom Keskangam, Preechar Karin, Nuwong Chollacoop และ Hidenori Kosaka จาก King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang ทำการศึกษาผลกระทบของเอทานอลต่อประสิทธิภาพและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง นอกจากนี้ยังศึกษาผลกระทบของระบบการหมุนเวียนไอเสียต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ พบว่าเชื้อเพลิงที่มีเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลสูงจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกที่เพิ่มสูงขึ้น แต่มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกที่ลดต่ำลง ในด้านของมลพิษพบว่าเชื้อเพลิงที่มีเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลสูงจะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ลดลง ในส่วนของการศึกษาระบบการหมุนเวียนไอเสียพบว่า เปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วที่เหมาะสมอยู่ที่ 5 % จะส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก มีค่าต่ำที่สุดและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงที่สุด หากเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพลดต่ำลงเรื่อยๆ ในด้านของมลพิษพบว่า หากเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วมากขึ้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจะเพิ่มสูงขึ้น แต่ออกไซด์ของไนโตรเจนจะลดต่ำลง

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 วัฏจักรออตโต (Otto Cycle)

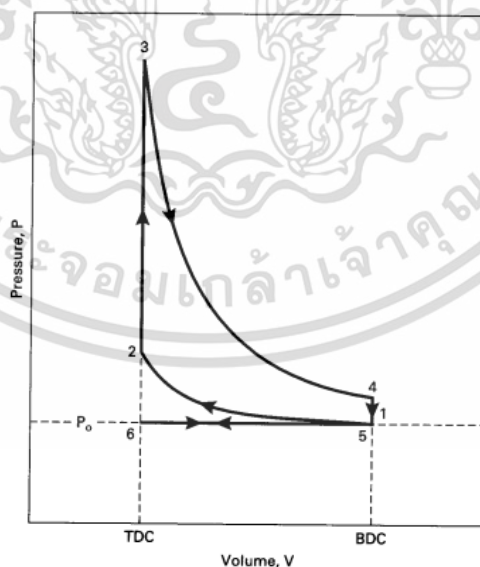
วัฏจักรออตโตเป็นวัฏจักรของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะประจุไอดีด้วยความดันบรรยากาศ ขณะสิ้นปีกผีเสื้อเปิดกว้าง เป็นวัฏจักรของเครื่องยนต์ของรถยนต์และเครื่องยนต์ 4 จังหวะทั่วไปเป็นส่วนใหญ่ สำหรับการวิเคราะห์ วัฏจักรออตโตจะถูกอนุโลมใช้วัฏจักรอากาศมาตรฐานและภาพประกอบรูปที่ 2.1 หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าวัฏจักรออตโต

จังหวะดูดของวัฏจักรออตโต เริ่มต้นที่ตำแหน่งศูนย์ตายบนของลูกสูบ เป็นกระบวนการความดันคงที่ เพื่อความดันไอดีเท่ากับความดันบรรยากาศ โดยในความเป็นจริงความดันไอดีจะต่ำกว่าเล็กน้อยจากแรงเสียดทานของก๊าซในทางเดินของไอดี อุณหภูมิของอากาศในจังหวะดูดจะสูงขึ้นจากความร้อนของท่อไอดีและที่ตำแหน่ง 1 จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศภายนอกเครื่องยนต์ประมาณ 25-35 องศาเซลเซียส

จังหวะที่ 2 คือจังหวะอัด ซึ่งเป็นการอัดก๊าซแบบไอเซนโทรพิกจากศูนย์ตายล่างสู่ศูนย์ตายบน (กระบวนการ 1-2) ซึ่งใกล้เคียงกับสภาวะของเครื่องยนต์จริงเช่นกัน ยกเว้นช่วงต้นและช่วงปลายของกระบวนการเท่านั้น ในเครื่องยนต์จริง ลิ้นไอดีจะปิดหลังจากลูกสูบผ่านศูนย์ตายล่างมาแล้วเล็กน้อย ส่วนในช่วงปลายของจังหวะอัด หัวเทียนจะปล่อยประกายไฟจุดไอดีก่อนลูกสูบจะถึงศูนย์ตายบนซึ่งไม่เพียงเป็นการเพิ่มความดันเท่านั้นแต่ยังเป็นความร้อนจากความดันที่เพิ่มขึ้นด้วย

กระบวนการ 2-3 เป็นการป้อนพลังงานความร้อนในสภาวะปริมาตรคงที่ เป็นการอนุโลมแทนการสันดาปในเครื่องยนต์จริง ซึ่งใกล้เคียงกับสภาวะปริมาตรคงที่เช่นเดียวกัน การสันดาปเริ่มขึ้นก่อนถึงตายบนเล็กน้อยและลุกไหม้ด้วยความเร็วสูงสุดใกล้เคียงศูนย์ตายบนและสิ้นสุดหลังศูนย์ตายบนเล็กน้อย ระหว่างการสันดาปหรือการให้ความร้อนพลังงานนี้ถูกป้อนให้กับก๊าซในกระบอกสูบ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นและถึงจุดสูงสุดที่ตำแหน่ง 3 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้ความดันสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่ง 3 เช่นเดียวกัน

จังหวะสุดท้ายของวัฏจักร 4 จังหวะ คือช่วงที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนถึงศูนย์ตายล่าง จังหวะขยายไอเสียเป็นกระบวนการความดันคงที่ประมาณหนึ่งบรรยากาศในช่วง 5-6 เป็นช่วงลิ้นไอดีเปิดกว้างตลอด เป็นการอนุโลมที่แม่นยำเพียงพอเพราะในเครื่องยนต์จริงความดันจะสูงกว่าบรรยากาศเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 2.1 กราฟ P-V ของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แสดงวัฏจักรออตโตอากาศ มาตรฐานอุดมคติ [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 งานของเครื่องยนต์ (Work)

งานคือการทำให้อัตราการไหลของเครื่องยนต์ความร้อน งานในเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบชักหรือลูกสูบเคลื่อนที่กลับทิศทางก็คืองานที่เกิดจากการขยายตัวของก๊าซในห้องเผาไหม้ งานคือผลจากการกระทำของแรงผ่านระยะทางซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากความดันที่กระทำต่อลูกสูบที่กำลังเคลื่อนที่ทำให้เกิดงานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

$$W = \int F dx = \int P A_p dx \quad (2-1)$$

โดย P = ความดันในห้องเผาไหม้

A_p = พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ

x = ระยะที่ลูกสูบเคลื่อนที่

และ

$$A_p dx = dV \quad (2-2)$$

โดยมี dV เป็นปริมาตรส่วนที่ลูกสูบแทนที่ เมื่อเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง dx จึงสามารถเขียนสมการของงานได้ดังนี้

$$W = \int P dV \quad (2-3)$$

เนื่องจากเครื่องยนต์ส่วนใหญ่มีจำนวนสูบมากกว่าหนึ่งสูบจึงเป็นการสะดวกกว่าหากวิเคราะห์วัฏจักรของเครื่องยนต์ต่อหน่วยมวลของก๊าซภายในกระบอกสูบ โดยการใช้ปริมาตรจำเพาะ v แทนปริมาตร V และงานจำเพาะ w แทนงาน W

$$w = \frac{W}{m} \quad v = \frac{V}{m} \quad w = \int P dv \quad (2-4)$$

ถ้า P เป็นค่าความดันในห้องเผาไหม้เรียกงานนี้ว่า งานบ่งชี้ (Indicated work, w_i) งานที่ได้จากเพลาช้อเหวี่ยงจะน้อยกว่างานบ่งชี้เสมอเนื่องจากถูกหักล้างด้วยแรงเสียดทานของกลไกและโหลดพ่วงอื่นๆ งานที่เครื่องยนต์ให้กับเพลาช้อเหวี่ยงเรียกว่า งานเพลลา (Brake work, w_b) ซึ่งมีหน่วยเป็น kJ/kg

$$w_b = w_i - w_f \quad (2-5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย w_i = งานบ่งชี้จำเพาะ

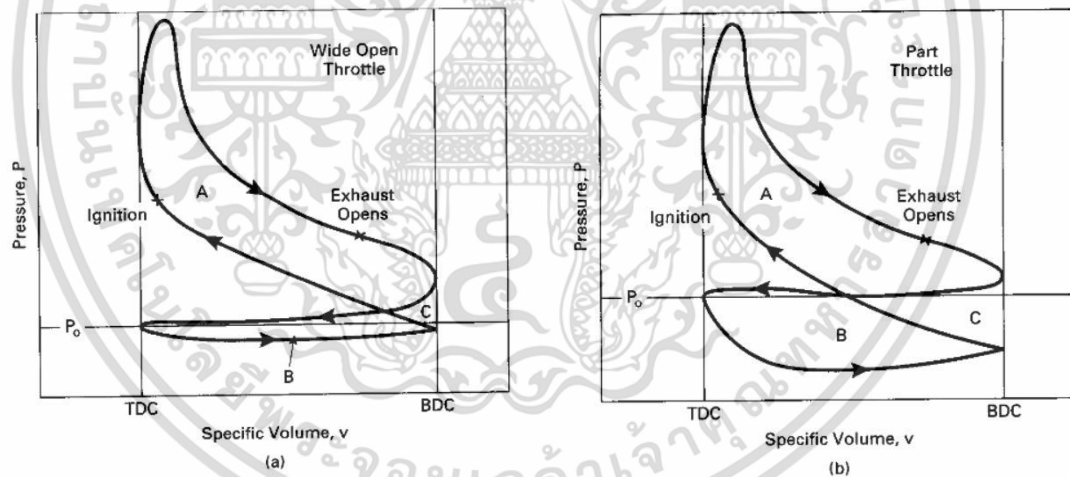
w_f = งานจำเพาะที่เกิดจากแรงเสียดทาน

พื้นที่ในช่วงบนของกราฟวัฏจักรเครื่องยนต์ในรูปที่ 2.2 คืองานที่เกิดจากจังหวะอัดและจังหวะให้กำลัง เรียกว่า งานบ่งชี้รวบยอด (gross indicated work) (พื้นที่ A และ C) พื้นที่ในช่วงล่าง คือ งานที่เกิดจากจังหวะดูดไอดีและคายไอเสีย เป็นงานที่เครื่องยนต์ใช้ไป (พื้นที่ B และ C) เรียกงานนี้ว่า งานสูบ (pump work) เพราะฉะนั้น งานบ่งชี้สุทธิ (net indicated work) คือ

$$W_{net} = W_{gross} + W_{pump} \quad (2-6)$$

แต่งานสูบ W_{pump} ของเครื่องยนต์ที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ช่วยประจุไอดีมีค่าเป็นลบ ดังนั้น

$$W_{net} = (\text{Area A}) - (\text{Area B}) \quad (2-7)$$

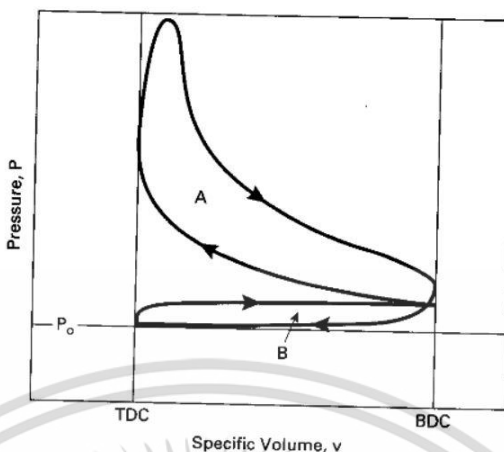


รูปที่ 2.2 กราฟ P-v ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (a) ลิ้นผีเสื้อเปิดกว้างสุด (b) ลิ้นผีเสื้อเปิดบางส่วน [18]

ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้อุปกรณ์ช่วยประจุไอดี ความดันของไอดีอาจสูงกว่าความดันไอเสียทำให้งานสูบมีค่าเป็นบวก ในกรณีนี้

$$W_{net} = (\text{Area A}) + (\text{Area B}) \quad (2-8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กราฟ P-v ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ติดตั้งอุปกรณ์ช่วยประจุไอดี [18]

เราเรียกอัตราส่วนของงานเพลลาที่ข้อเหวี่ยง ต่องานบ่งชี้ในห้องเผาไหม้ว่า ประสิทธิภาพเชิงกล (mechanical efficiency) ของเครื่องยนต์

$$\eta_m = W_b/W_i = W_b/W_i \quad (2-9)$$

2.2.3 แรงบิดและกำลัง (Torque and Power)

แรงบิด (Torque, T) คือ ตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์เป็นแรงที่กระทำต่อแกนหมุนมีหน่วยเป็น Nm

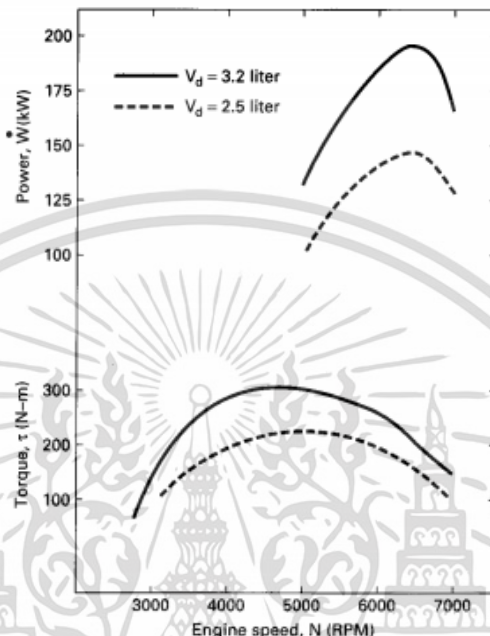
แรงบิดมีความสัมพันธ์กับงานเพลลาดังนี้

$$W_b = 4\pi T \quad (2-10)$$

โดย W_b = งานเพลลาของการทำงาน 2 รอบ หรือ 1 วัฏจักร สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

ความเร็วรอบที่เครื่องยนต์ให้แรงบิดสูงสุดเรียกว่า ความเร็วรอบแรงบิดสูงสุด (Maximum brake torque speed หรือ MBT) เป้าหมายในการออกแบบเครื่องยนต์คือ การทำให้กราฟแรงบิด จากรูปที่ 2.4 ให้เป็นเส้นแนวราบและมีค่าสูงทั้งช่วงความเร็วรอบสูงและความเร็วรอบต่ำ โดยแรงบิดสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อมีการประจุไอดีเข้าสู่กระบอกสูบได้มากและมีความดันสูง ส่วนกำลังเพลลาของเครื่องยนต์ที่ลดลงในช่วงความเร็วสูงเพราะเวลาที่ลิ้นเปิดให้ไอดีเข้าน้อยลงและแรงเสียดทานที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ส่วนเหตุผลที่ช่วงแรกแรงบิดต่ำกว่าแรงบิดสูงสุดเพราะช่วงเวลากการสูญเสียความร้อน

มากจะลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการอัดจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.4 กำลังและแรงบิดบนความเร็วของเครื่องยนต์ในรถทั่วไป [18]

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

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

$$AF = \frac{m_a}{m_f} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad (2-11)$$

$$FA = \frac{m_f}{m_a} = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} = \frac{1}{AF} \quad (2-12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ m_a = มวลของอากาศ
 \dot{m}_a = อัตราการไหลของมวลอากาศ
 m_f = มวลเชื้อเพลิง
 \dot{m}_f = อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง

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

$$\phi = (FA)_{act} / (FA)_{stoich} = (AF)_{stoich} / (AF)_{act} \quad (2-13)$$

2.2.5 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel consumption)

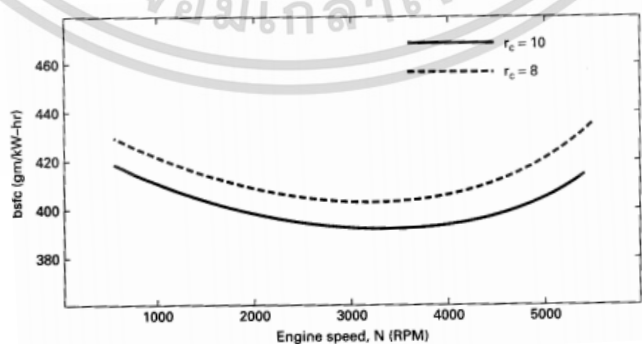
เรากำหนดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ดังนี้

$$sfc = \dot{m}_f / \dot{W} \quad (2-14)$$

โดยที่ \dot{m}_f = อัตราการไหลของเชื้อเพลิง
 \dot{W} = กำลังของเครื่องยนต์

หากใช้กำลังเพลลาในการคำนวณจะได้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption)

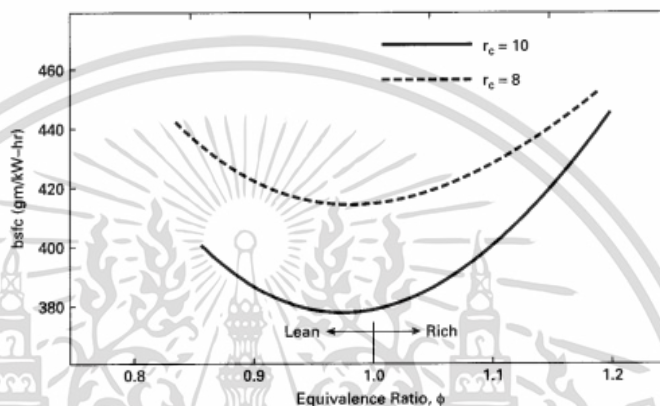
$$bsfc = \dot{m}_f / \dot{W}_b \quad (2-15)$$



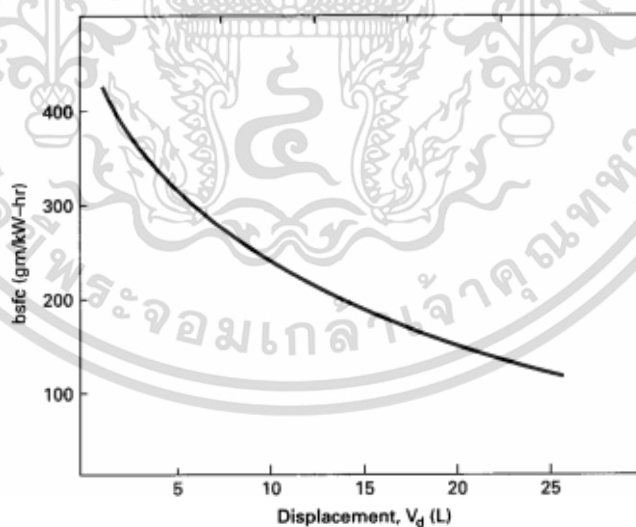
รูปที่ 2.5 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเมื่อเทียบกับอัตราส่วนการอัด (r_c) [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเร็วรอบต่ำ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกจะลดลง เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น จนถึงค่าต่ำสุดแล้วจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในย่านความเร็วรอบสูง เนื่องจากต้องใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงส่วนหนึ่งไปชดเชยกับแรงเสียดทานภายในเครื่องยนต์ขณะทำงานซึ่งเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ ส่วนที่ความเร็วรอบต่ำ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูง



รูปที่ 2.6 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมและอัตราส่วนการอัดที่แตกต่างกัน [18]



รูปที่ 2.7 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเมื่อเทียบกับความจุของเครื่องยนต์ [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกมีค่าลดลงเมื่อความจุของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นและมีค่าต่ำกว่ามากสำหรับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่เป็นผลมาจากอัตราส่วนปริมาตรต่อพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นทำให้การสูญเสียความร้อนน้อยลง

2.2.6 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (Engine efficiency)

ช่วงเวลาการสันดาปในแต่ละวัฏจักรของเครื่องยนต์ใช้เวลาที่สั้นมาก ทำให้โมเลกุลของเชื้อเพลิงไม่สามารถจับคู่กับโมเลกุลของออกซิเจนได้อย่างครบถ้วนและอุณหภูมิบางตำแหน่งไม่เอื้ออำนวยให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวเสมอไปด้วย ดังนั้นเชื้อเพลิงส่วนหนึ่งจึงไม่ถูกเผาไหม้และถูกปล่อยออกจากเครื่องยนต์พร้อมไอเสีย จึงใช้ประสิทธิภาพการสันดาป (Combustion efficiency, η_c) ในการกำหนดสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้หากเครื่องยนต์ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ในสภาวะปกติ ประสิทธิภาพการสันดาปจะมีค่าระหว่าง 0.95 ถึง 0.98 สำหรับการทำงานต่อหนึ่งสูบและหนึ่งวัฏจักรความร้อนที่ได้จากการสันดาปคือ

$$Q_{in} = m_f Q_{LHV} \eta_c \quad (2-16)$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency)

$$\eta_t = \frac{W}{Q_{in}} = \frac{\dot{W}}{Q_{in}} = \frac{\dot{W}}{m_f Q_{LHV} \eta_c} = \frac{\eta_f}{\eta_c} \quad (2-17)$$

โดยที่ W = งานต่อวัฏจักร

\dot{W} = กำลังของเครื่องยนต์

m_f = มวลเชื้อเพลิงต่อวัฏจักร

\dot{m}_f = อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง

Q_{LHV} = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

η_c = ประสิทธิภาพการเผาไหม้

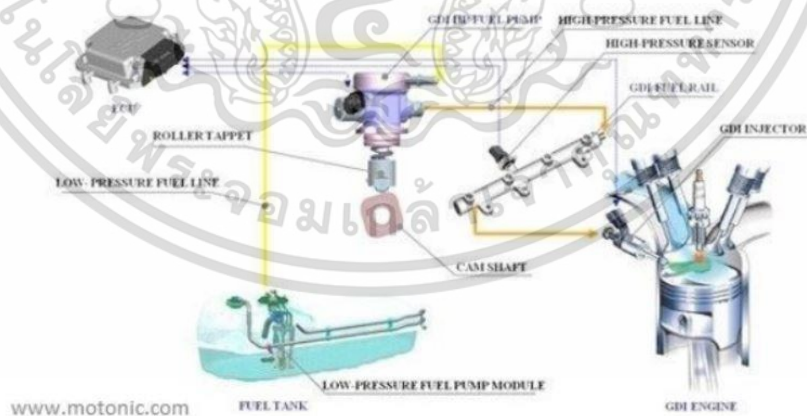
สามารถกำหนดประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้สองแบบคือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสุทธิโดยใช้กำลังสุทธิแทนค่าและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกโดยการใช้กำลังเบรกแทนค่าในสมการข้างต้นแล้ว สัดส่วนของค่าทั้งสองมีค่าเท่ากับประสิทธิภาพเชิงกล

$$\eta_m = (\eta_{pb}) / (\eta_{pi}) \quad (2-18)$$

2.3 เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง (DISI Engine)

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงเป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบทั่วไป (multiport fuel injection - MPI)

ยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ GDI มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงและลดมลพิษ GDI คือเทคโนโลยีที่ใช้เชื้อเพลิงแรงดันสูง (50 - 150 บาร์) ฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง โดยควบคุมปริมาณและความแม่นยำด้วยกล่อง ECU การฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรงทำให้ไอดีในห้องเผาไหม้เย็นลงและยังช่วยลดการเกิดน็อกได้ นอกจากนี้หัวฉีดตรงมีความแม่นยำ และสามารถฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นละอองได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ หัวฉีดในทอร่วมไอดี (PFI)



รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง [13]

ตารางที่ 2.1 ข้อดีและข้อเสียของระบบจ่ายเชื้อเพลิงแต่ละแบบ

	Advantages	Disadvantages
Carburettor	Basic fuel metering	1) No precise fuel metering 2) Bad emissions 3) Bad engine response and driveability
PFI	1) Improved fuel metering compared with carburettor 2) Three Way Catalyst (TWC) works well under steady state operation 3) Better engine response and improved driveability compared to the carburettor engine 4) Low PM emissions	1) Bad fuel metering in cold start and transient operating conditions, which affects emissions 2) potential intake valve deposit issue
GDI	1) Precise fuel metering, better fuel spray atomization, superior transient response 2) high compression ratio, high engine power output, and low fuel economy 3) Lower emissions due to faster catalyst light-off in cold start 4) More flexible choice of combustion mode	1) Issues regarding fuel economy and emission in cold start compared with hot steady state operations are still persist 2) Bad HC and PM emission compared with PFI engines 3) High requirement for high fuel quality, potential injector plugging problem 4) Piston and cylinder liner wetting thus more severe combustion chamber deposits 5) High system complexity, high manufacturing cost, and durability problem

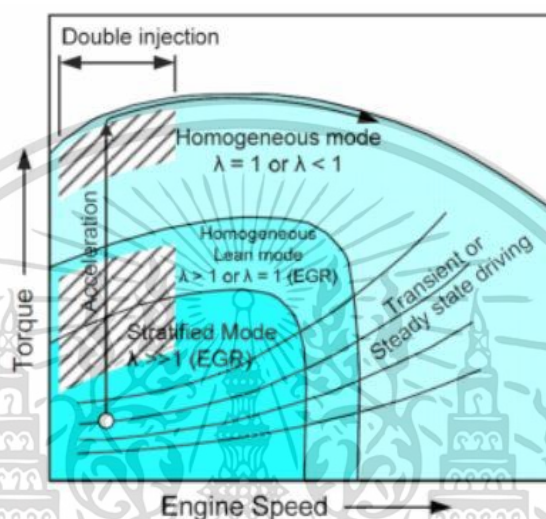
2.3.1 รูปแบบการทำงานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง

รูปแบบการฉีดเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยสำคัญของเครื่องยนต์หัวฉีดตรง โดยควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงจากกล่อง ECU เพื่อให้ประหยัดเชื้อเพลิงสูงสุดหรือได้กำลังเครื่องยนต์สูงสุด รูปแบบการฉีดเชื้อเพลิงของระบบหัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ

1. รูปแบบเชื้อเพลิงเป็นชั้นแบบบาง (Stratified Lean Mode) สำหรับการทำงานในสภาวะโหลดน้อยที่รอบต่ำหรือรอบคงที่ หัวฉีดจะฉีดเชื้อเพลิงในช่วงปลายจังหวะอัดก่อนการจุดระเบิดเครื่องยนต์จึงสามารถทำงานได้ในอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงที่สูง ($\lambda > 1$) ในสภาวะโหลดสูงรูปแบบเชื้อเพลิงเป็นชั้นแบบบางจะเกิด NO_x มากขึ้นและในสภาวะที่รอบสูงจะเกิดเขม่ามากขึ้น

2. รูปแบบเชื้อเพลิงเป็นเนื้อเดียวกันแบบบาง (Homogeneous Lean Mode) สำหรับการทำงานที่โหลดปานกลาง หัวฉีดจะฉีดเชื้อเพลิงในช่วงจังหวะดูดเพื่อทำให้เชื้อเพลิงกับอากาศคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกัน เครื่องยนต์จึงสามารถทำงานได้ในอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงที่สูงหรืออัตราส่วนเชื้อเพลิงที่เผาไหม้พอดี ($\lambda \geq 1$)

3. รูปแบบเชื้อเพลิงเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Mode) สำหรับการใช้งานที่โหลดสูงหรือรอบสูง การเร่งหัวฉีดมีการฉีดเชื้อเพลิงเช่นเดียวกับรูปแบบเชื้อเพลิงเป็นเนื้อเดียวกันแบบบาง (Homogeneous Lean Mode) แต่ทำงานในอัตราส่วนผสมที่เผาไหม้พอดี และส่วนผสมหนาทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้ลดลงจึงลดการเกิด NO_x



รูปที่ 2.9 การทำงานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง [13]

2.3.2 รูปแบบการฉีดน้ำมันของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง

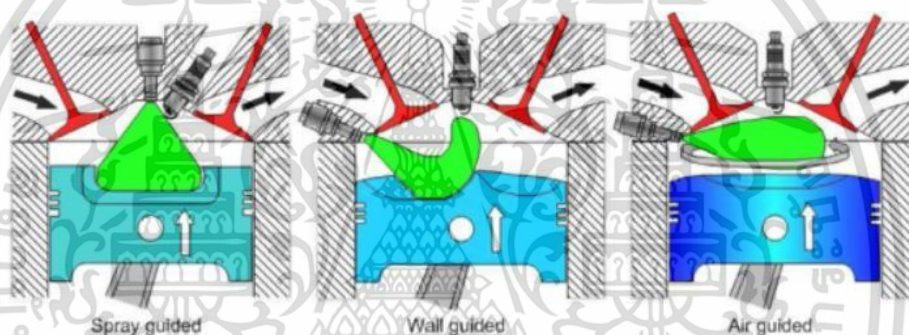
หลักการการฉีดน้ำมันของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1. ระบบ Wall Guided คือระบบที่มีการติดตั้งหัวฉีดที่ส่วนด้านข้างของห้องเผาไหม้ พร้อมด้วยการใช้ลูกสูบที่มีหลุมรูปทรงกลมที่หัวลูกสูบสำหรับการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ และช่วยในการเดินทางของเชื้อเพลิงไปยังหัวเทียน แต่เนื่องจากเชื้อเพลิงถูกฉีดไปยังพื้นผิวของลูกสูบซึ่งไม่สามารถระเหยได้ทั้งหมดจนกระทั่งเกิดการเผาไหม้ ส่งผลให้มีการเกิดเขม่าและไฮโดรคาร์บอนรวม (Total Hydrocarbon, HC) อย่างไรก็ตามระบบ Wall Guided นั้นมีข้อดีในการช่วยป้องกันการเกิดการจุดระเบิดไม่ครบสูบของการเผาไหม้

2. ระบบ Air Guided คือระบบที่ใช้การไหลของอากาศจากท่อไอดีเป็นตัวช่วยในการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ โดยที่รูปร่างและความเร็วของการไหลของอากาศถูกควบคุมโดยรูปร่าง

ของช่องอากาศสำหรับท่อไอดีและฝาปิดหม้อกรองภายในท่อร่วมไอดีสำหรับ การฉีดเชื้อเพลิงที่กล่าวมาจึงสามารถช่วยแก้ไขปัญหการเปียกของผนังกระบอกสูบและฝาลูกสูบเนื่องจากเชื้อเพลิง

3. ระบบ Spray guided มีประสิทธิภาพและการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงมากที่สุดในทุกระบบที่กล่าวมา โดยระบบนี้หัวฉีดจะอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับหัวเทียนมากกว่าสองระบบแรก ส่งผลให้เชื้อเพลิงจากหัวฉีดจะเดินทางตรงไปยังหัวเทียนโดยพลังงานจลน์ของตัวเองจึงไม่จำเป็นต้องมีการออกแบบห้องเผาไหม้หรือลูกสูบเพื่อช่วยในการเดินทางของเชื้อเพลิงและเนื่องจากระยะห่างของหัวฉีดและหัวเทียนที่น้อยส่งผลให้ระยะเวลาระหว่างการฉีดเชื้อเพลิงและการเผาไหม้นั้นสั้นมาก จึงต้องใช้หัวฉีดที่มีความดันสูงขึ้น



รูปที่ 2.10 รูปแบบการฉีดน้ำมันของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง [6]

2.4 ไดนาโมมิเตอร์

ไดนาโมมิเตอร์ คือ อุปกรณ์วัดแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ ที่โหลดและความเร็วรอบต่างๆ โดยใช้หลักการสร้างโหลดต้านกับพลังงานที่เครื่องยนต์ให้โดยพลังงานเหล่านี้จะถูกแปลงเป็นพลังงานความร้อนซึ่งไดนาโมมิเตอร์กระแสเหนี่ยวนำ (Eddy current dynamometer) ใช้พลังงานของเครื่องยนต์ที่ต้องการวัดหมุนจานกลมในสนามแม่เหล็กที่ควบคุมความเข้มได้ จานที่หมุนจะทำหน้าที่ตัวนำไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวนในจานโดยไม่มีการต่อกับวงจรภายนอกและถูกแปรสภาพเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด

2.5 น้ำมันเชื้อเพลิง

2.5.1 เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน (Gasoline fuel)

เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนหรือน้ำมันเบนซิน คือ เชื้อเพลิงที่สามารถระเหยได้ง่าย ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่น โดยกลั่นหรือตัดเอาส่วนที่เบาพอเหมาะจากส่วนต่างๆในกรรมวิธีการกลั่นแล้วจึง

นำมาผสมสารเพิ่มคุณภาพ เช่น แนฟธา (Naphtha), Isomate, Reformate หรือสารเติมแต่ง เช่น MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) ซึ่งมีหน้าที่ในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนและสามารถช่วยให้มีค่าออกเทน (Octane Number) ที่สูงขึ้น โดยค่าออกเทนในเชิงวิทยาศาสตร์หมายถึงตัวเลขที่แสดงเปอร์เซ็นต์มวลไอโซออกเทนผสมระหว่างไอโซออกเทนและเฮพเทน ตัวเลขนี้ยังใช้บ่งบอกขีดความสามารถของน้ำมัน ในการต้านทานการน็อก (Anti-knock Quality) ของเครื่องยนต์ได้เช่นเดียวกัน เครื่องยนต์แต่ละชนิดมีความต้องการออกเทนสูงไม่เท่ากัน รัฐบาลจึงแบ่งเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนออกเป็น 2 ชนิด ตามค่าออกเทน คือ น้ำมันเบนซินพิเศษ (PREMIUM MOTOR GASOLINE) ที่มีค่าออกเทนเท่ากับ 95 และน้ำมันเบนซินธรรมดา (REGULAR MOTOR GASOLINE) ที่มีค่าออกเทนเท่ากับ 91

2.5.2 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ (Gasohol fuel)

เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ คือ เชื้อเพลิงที่ได้มาจากการนำเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนมาผสมกับแอลกอฮอล์ชนิดเอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์อย่างน้อย 99.5% โดยปริมาตร เพื่อเพิ่มค่าออกเทนแทนการผสม MTBE ซึ่งสารนี้มีข้อเสีย คือ ทำให้เกิดการปนเปื้อนกับน้ำใต้ดินและน้ำดื่ม หลายๆประเทศจึงมีนโยบายในการเลิกใช้สาร MTBE แล้ว

เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์จะใช้หมายเลขต่อท้ายตัวอักษร “E” ซึ่งอธิบายถึงร้อยละของเชื้อเพลิงเอทานอลในสารผสมโดยปริมาตร เช่น E85 คือ เอทานอล 85% ผสมกับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน 15%

ซึ่งข้อดีของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์มีดังต่อไปนี้

1. ทำให้เครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เนื่องจากน้ำมันแก๊สโซฮอล์มีส่วนผสมของเอทานอลซึ่งมีโมเลกุลของออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลักชนิดหนึ่ง และส่งผลทำให้ช่วยลดมลพิษทางอากาศและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยสามารถลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ลง 20 - 25%
2. สามารถลดการนำเข้าสาร MTBE เพราะเอทานอลสามารถผลิตได้จากพืชในประเทศไทย ซึ่งเป็นการสร้างความมั่นคงทางพลังงานด้านเชื้อเพลิง ความมั่นคงทางภาคเกษตรกรรมไทย เพิ่มการสร้างงานของประชาชนและรายได้ในภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง
3. พลังงานที่เกิดจากน้ำมันแก๊สโซฮอล์เป็นพลังงานหมุนเวียน คือเป็นพลังงานที่ใช้แล้วสามารถนำพืชผลเกษตรในประเทศมาผลิตขึ้นใหม่ได้ในระยะเวลาไม่นาน จึงเป็นการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนและเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรของโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 มลพิษจากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง

2.6.1 อนุภาค (Particular Matter, PM)

อนุภาค หรือเรียกว่า PM คืออนุภาคคาร์บอนที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดการสันดาปภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งมีเชื้อเพลิงส่วนที่ขาดออกซิเจนที่เพียงพอในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ จึงเกิดเป็นอนุภาคคาร์บอนออกมาพร้อมกับไอเสีย[5] ดังแสดงในสมการ



หลังจากนั้นเม็ดคาร์บอนเหล่านี้จะถูกก๊าซที่ไหลปั่นป่วนในห้องเผาไหม้คลุกเคล้าให้ผสมกับออกซิเจนส่วนที่เหลือแล้วทำปฏิกิริยากันจนกลายเป็น CO_2



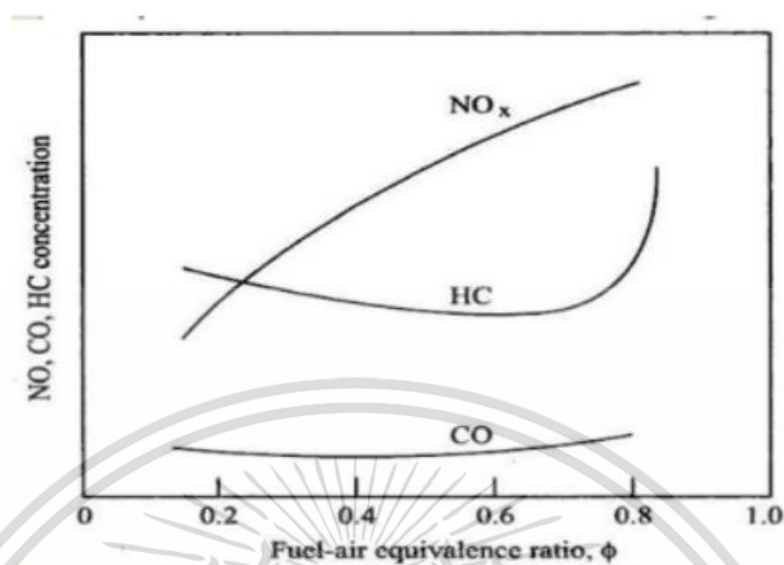
อนุภาค (Particular Matter, PM) เป็น 1 ใน 6 มลพิษที่ปลดปล่อยไปยังชั้นบรรยากาศ และยังส่งผลเสียต่อร่างกายของมนุษย์โดยตรง ผลวิจัยหลายฉบับพบว่าอนุภาคที่มีขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน (PM10) ส่งผลกระทบต่อระบบการหายใจของมนุษย์

2.6.2 ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon)

ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon, HC) คือ เชื้อเพลิงที่ไม่ได้เผาไหม้ซึ่งเกิดขึ้นแตกต่างกันไปตามชนิดของเชื้อเพลิง รูปร่างทางเรขาคณิตของห้องเผาไหม้ก็มีผลต่อไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย ซึ่งไฮโดรคาร์บอนที่ออกมาจากไอเสียจะผสมกับอากาศและส่งกลิ่นเหม็น ทำให้ก่อวิฤวะเกิดการระคายเคือง และบางส่วนก็เป็นสารก่อมะเร็ง ไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ (ยกเว้นมีเทน) สามารถทำปฏิกิริยากับ อากาศและอาจจะทำให้เกิดหมอกควัน

สาเหตุการเกิดไฮโดรคาร์บอน

1. อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์จากรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมีผลอย่างมากกับปริมาณไฮโดรคาร์บอน ไอดีที่เข้มจะขาดออกซิเจนในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนทำให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียสูง แต่ถ้าไอดีเจือจางเกินไปและการสันดาปไม่ทั่วถึงปริมาณไฮโดรคาร์บอนก็จะสูงเช่นเดียวกันและจุดวิกฤติของการสันดาปก็คือการที่ไอดีไม่สามารถถูกจุดระเบิดได้เพราะไอดีเจือจางเกินไป



รูปที่ 2.11 มลพิษในไอเสียที่ความเข้มข้นของไอดีมากจนออกซิเจนไม่เพียงพอสำหรับทำปฏิกิริยากับคาร์บอนของเครื่องยนต์ [18]

2. การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในการทำงานของเครื่องยนต์จริงถึงแม้ว่าจะเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมแก่การสันดาปที่สุด การสันดาปที่เกิดขึ้นจริงก็ไม่สมบูรณ์ทำให้มีไฮโดรคาร์บอนอยู่ในไอเสีย ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการด้วยกัน เช่น การผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศที่ไม่ทั่วถึงทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่สามารถจับคู่กับออกซิเจนได้และเปลวไฟที่ดับลงเมื่อถึงผนังกระบอกสูบก็ทำให้ไอดีบริเวณผนังกระบอกสูบไม่ถูกสันดาป ไอดีส่วนนี้มีความหนาเพียงไม่ถึงมิลลิเมตรเท่านั้นแม้จะไม่ถูกเผาไหม้โดยตรงแต่บางส่วนก็จะถูกสันดาปจากการหมุนควงและการไหลอย่างปั่นป่วนของก๊าซภายในกระบอกสูบ

3. ปริมาตรช่องแคบ ในช่วงจังหวะอัดและช่วงเริ่มต้นของการสันดาปอากาศ เชื้อเพลิงภายใต้ความดันสูงจะแทรกเข้าไปในส่วนต่างๆ ของห้องเผาไหม้ ปริมาณเชื้อเพลิงในช่องแคบดังกล่าวนี้อาจมีสัดส่วนได้ถึง 3% ในจังหวะทำงานซึ่งความดันกระบอกลดลงจนต่ำกว่าความดันในช่องแคบ ไอดีส่วนนี้จะไหลกลับมาในห้องเผาไหม้และลุกไหม้เมื่อเปลวไฟลามมาถึงแต่ก็ยังคงมีส่วนหนึ่งซึ่งยังไม่ถูกเผาไหม้เนื่องจากเปลวไฟดับลงก่อน

4. การรั่วผ่านลิ้นไอเสีย ในจังหวะอัดและช่วงที่เกิดการสันดาปซึ่งความดันในกระบอกสูบมีค่าสูง ไอดีบางส่วนจะถูกอัดแทรกตัวอยู่ส่วนขอบของลิ้นไอเสียและรั่วผ่านลิ้นไอเสียสู่ท่อร่วมไอเสีย และเมื่อลิ้นไอเสียเปิดไอดีในช่องแคบบริเวณขอบลิ้นก็จะไหลลงสู่ท่อร่วมไอเสียด้วยเช่นเดียวกันในช่วงแรกของการระบายไอเสียในแต่ละวัฏจักรจึงเป็นช่วงที่มีไฮโดรคาร์บอนในไอเสียสูงสุด

2.6.3 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

เป็นแก๊สที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบคาร์บอน โดยเฉพาะเครื่องยนต์สันดาปภายในเมื่อออกซิเจนมีไม่เพียงพอสำหรับใช้ในการสันดาป มีลักษณะเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีรส และไม่มีกลิ่น โมเลกุลประกอบไปด้วยคาร์บอนหนึ่งอะตอมและออกซิเจนหนึ่งอะตอมเชื่อมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ อาจจัดได้ว่าเป็นสารประกอบแอนไฮไดรด์อย่างหนึ่งของกรดฟอร์มิก มีความหนาแน่นที่น้อยกว่าอากาศทั่วไป เมื่อหายใจเข้าไปก๊าซนี้จะรวมตัวฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ในเม็ดเลือดแดงได้มากกว่าออกซิเจนถึง 200-250 เท่า เกิดเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (Carboxyhemoglobin) ทำให้เม็ดเลือดแดงไม่สามารถรับแก๊สออกซิเจนได้ตามปกติ ส่งผลให้หัวใจและปอดจะต้องทำงานหนัก

2.6.4 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

เป็นแก๊สไม่มีสี เกิดจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ของธาตุคาร์บอนหรือสารอินทรีย์ ซึ่งหากหายใจเอาก๊าซนี้เข้าไปในปริมาณมากจะรู้สึกเปรี้ยวที่ปาก มีความหนาแน่น 1.98 kg/m³ ซึ่งเป็นประมาณ 1.5 เท่าของอากาศ โมเลกุลประกอบไปด้วยคาร์บอนหนึ่งอะตอมและออกซิเจนสองอะตอมเชื่อมกันด้วยพันธะคู่ 2 พันธะ เป็นแก๊สที่ไม่ช่วยในการเผาไหม้ จึงสามารถใช้ประโยชน์ในทางการดับเพลิง

2.6.5 แก๊สออกซิเจน (O₂)

ออกซิเจนเป็นธาตุที่มีสัญลักษณ์ในตารางธาตุ คือ O มีเลขอะตอมเท่ากับ 8 ในสภาวะปกติออกซิเจนจะอยู่ในสถานะแก๊ส มีลักษณะเป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส สามารถละลายน้ำได้ โมเลกุลประกอบไปด้วยออกซิเจนสองอะตอมเชื่อมต่อกันด้วยพันธะคู่ มีความหนาแน่น 1.43 kg/m³ น้อยกว่าอากาศเล็กน้อย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และมีปริมาณเป็นอันดับ 2 ในส่วนประกอบของบรรยากาศโลก หรือประมาณร้อยละ 21 ของบรรยากาศโลก มีคุณสมบัติไม่ติดไฟ แต่สามารถช่วยให้ไฟติด จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับกระบวนการเผาไหม้

2.6.6 ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

เป็นก๊าซซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีของไนโตรเจนและออกซิเจน ในอัตราส่วนแตกต่างกัน ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ยกเว้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งเมื่อรวมตัวกับอนุภาคอื่นๆ ในอากาศจะเห็นเป็นชั้นสีน้ำตาลแดง สาเหตุการเกิดหลักมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ในอุณหภูมิสูง และมีออกซิเจนเพียงพอ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงเครื่องยนต์ของรถยนต์ โรงไฟฟ้า อุตสาหกรรมต่างๆ การเผาไหม้เชื้อเพลิงในครัวเรือน โดยสัดส่วนการเกิดจากรถยนต์มีสูงถึงร้อยละ 55 ของการเกิดทั้งหมด ซึ่งไนโตรเจนออกไซด์สามารถส่งผลกระทบต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อมได้ เช่น ก่อให้เกิดฝนกรด หรือกรดไนตริก

2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

2.7.1 ทฤษฎีหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนใช้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงในการตรวจสอบวัตถุแทนแสงธรรมดา เนื่องจากความยาวคลื่นของคลื่นลำอนุภาคอิเล็กตรอนนั้นสั้นกว่าความยาวคลื่นของแสงอยู่ 100,000 เท่า ทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสามารถให้ประสิทธิภาพการใช้งานด้านกำลังขยายและการแจกแจงรายละเอียดได้เหนือกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยสามารถแยกรายละเอียดของวัตถุที่เล็กขนาด 10 อังสตรอม หรือ 0.1 nm ซึ่งกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงจะแจกแจงรายละเอียดได้ประมาณ 0.2 μm จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีกำลังขยายสูงมากถึง 500,000 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 2.2

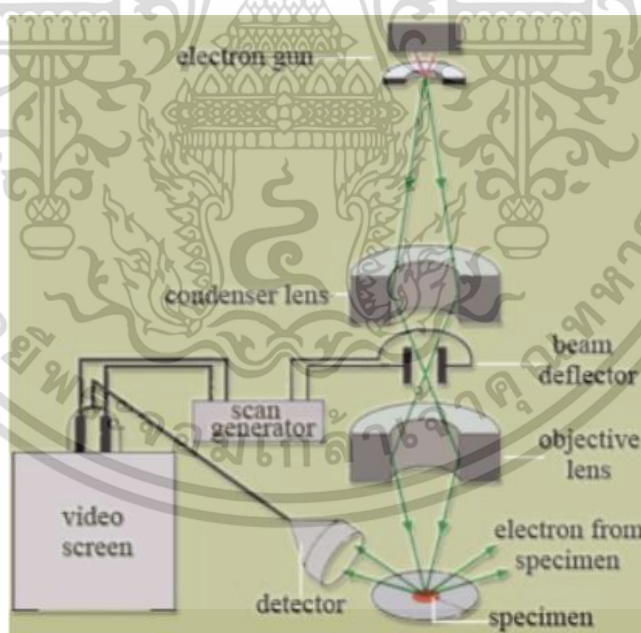
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ความสามารถของอุปกรณ์ (Capability)	กล้องจุลทรรศน์แบบแสง	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)
Source of illumination	Visible light	Electron beam	Electron beam
การแจกแจงรายละเอียดสูงสุด (Best resolution)	200 nm	3-6 nm	0.2 nm
กำลังขยาย (Magnification)	10 – 1,000x	20 – 150,000x	500 – 500,000x
ระยะชัดลึก (Depth of Field)	0.002 - 0.05 nm	0.003 – 1 nm	0.004 – 6 nm
ชนิดของเลนส์	แก้ว	Electromagnetic	Electromagnetic
ลักษณะของภาพ	ภาพ 2 มิติ	ภาพ 3 มิติ	ภาพ 3 มิติ
สภาวะ	บรรยากาศ	สุญญากาศ	สุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด หลักการทำงานกล้องประเภทนี้จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ลงไปบน ผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึกและแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ หลังจากนั้นจะถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ (Video Screen)



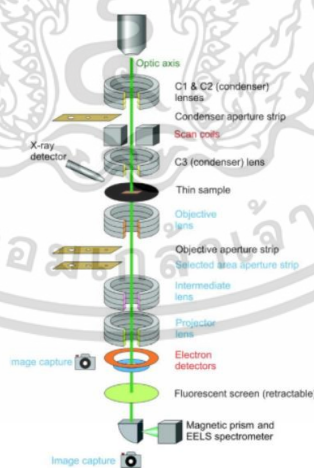
รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope : TEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน วิธีการสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างซึ่งเหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์, ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์, ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งให้ รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1 nm)

หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบโดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการหลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษา (Specimen) ซึ่งตัวอย่างที่จะศึกษาจะต้องมีลักษณะที่แบนและบางมาก (บ่อยครั้งที่พบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1-100 nm) หลังจากนั้นจะเกิดการกระเจิงของอนุภาคเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไปและอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่งนี้ก็จะถูกปรับโฟกัสของภาพโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ขยายภาพให้ได้รายละเอียดมากที่สุดจากนั้นจะได้รับการขยายด้วยเลนส์ทอดภาพไปสู่จอรับ (Projector Lens)



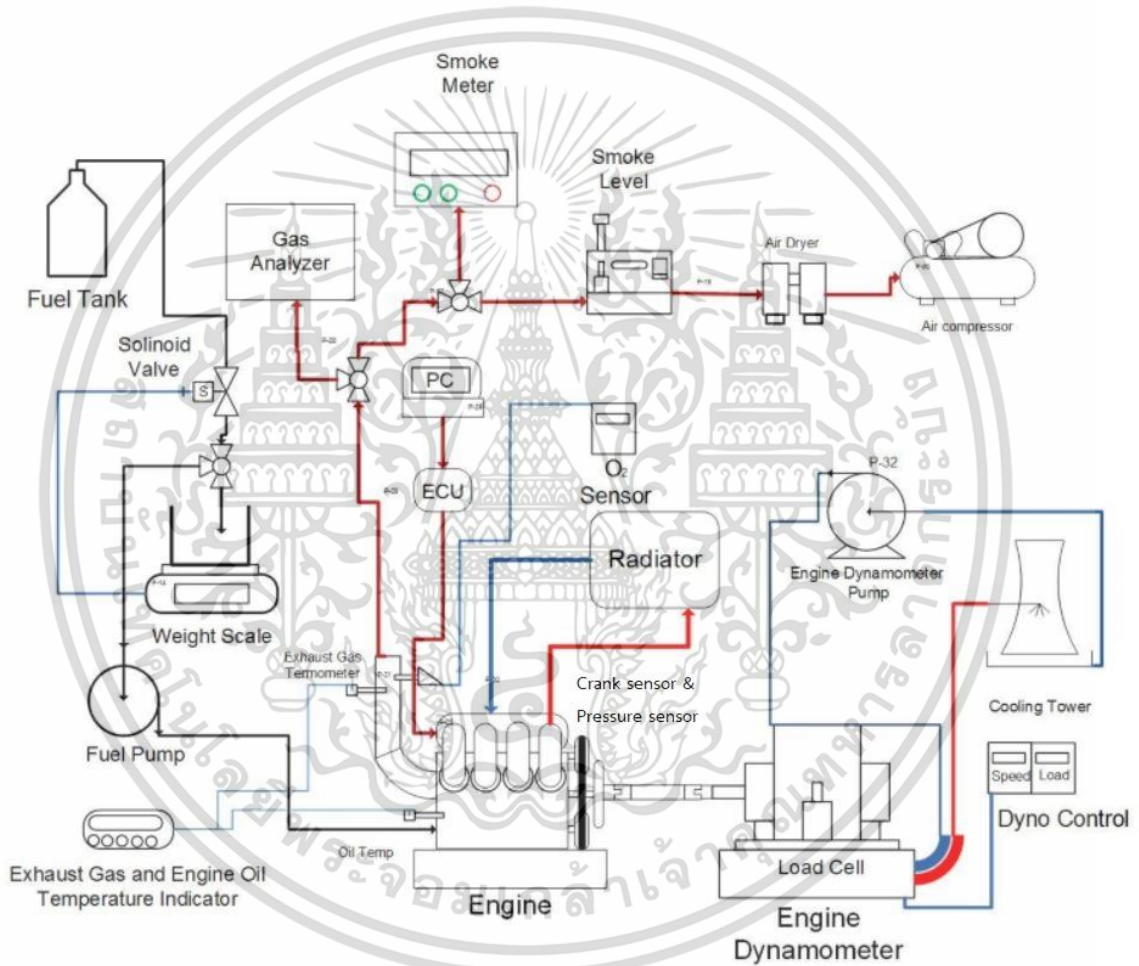
รูปที่ 2.13 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แผนผังและอุปกรณ์การทดลอง

3.1 แผนผังและอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3.1 แผนผังการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 เครื่องยนต์

ในการทดลองนี้จะทำการทดสอบเชื้อเพลิง 5 ชนิด กับเครื่องยนต์ MITSUBISHI 4G93 ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีคุณสมบัติของเครื่องยนต์เป็นไปตามตารางที่ 3.1

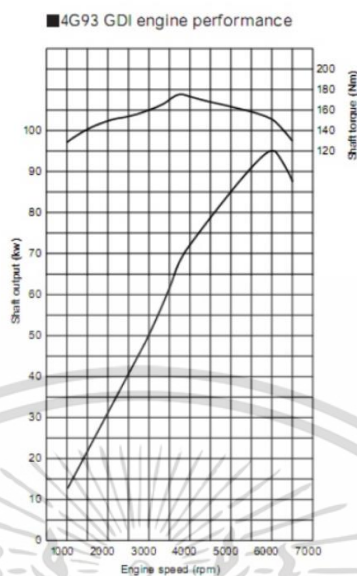


รูปที่ 3.2 เครื่องยนต์ Mitsubishi 4G93 [4]

ตารางที่ 3.1 Engine Main Data and Specification

Description	Specification
Engine Model	MITSUBISHI 4G93 GDI
Engine Type	In-Line OHV , DOHC 16 Valve
Number of Cylinder	4
Combustion Chamber	Pentroof Type
Cooling System	Water-cooled forced circulation
Displacement (cc.)	1834
Compression Ratio	10 : 1
Bore x Stroke (mm)	81.0 x 89.0
Intake Valve Open at BTDC	15°
Intake Valve Close at BTDC	56°
Exhaust Valve Open at BTDC	55°
Exhaust Valve Close at BTDC	15°
Maximum Output	96 kW at 6000 rpm
Maximum Torque	177 Nm at 3750 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ภาระงานของเครื่องยนต์และกำลังของแต่ละรอบความเร็วที่เครื่องยนต์ทำได้ [4]

3.1.2 น้ำมันเชื้อเพลิง

ในการทดลองนี้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนและเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอล E0, E20, E85, E100 จะถูกใช้ในการทดลอง โดยคุณสมบัติต่างๆของเชื้อเพลิงจะแสดงตามตาราง 3.2

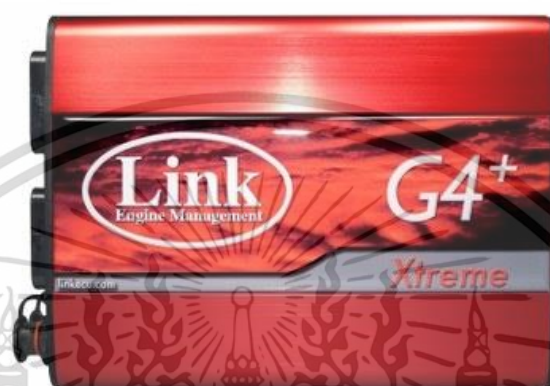
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง [13]

Fuel Property	Gasoline	E10	E20	E85	Ethanol
Formula	C_4 to C_{12}	$CH_{2.043}O_{0.015}$	$CH_{1.63}O_{0.06}$	$CH_{2.822}O_{0.425}$	C_2H_5OH
Molecular weight (g/mol)	100-105		88.12	50.60	46.70
Carbon (mass%)	88-85	86.7	79.85	55.36	52.20
Hydrogen (mass%)	12-15	13.2	12.88	12.89	13.1
Oxygen (mass%)	0	1.94	7.54	31.75	34.70
Density (kg/l) at 15°C	0.72-0.77	0.7608	0.7645		0.79
Heat of vaporization (kJ/kg)	305			610-762.5	840
Vapor Pres. (kPa) at 38°C	48-103	59.60	58.30	35-70	15.90
Lower heating value (MkJ/kg)	44.00	40.97	40.60	29.5	26.90
Research octane number	92.4	98.1	98.3	101.6	108.60
Motor octane number	81.2	82.3	84.6	91.1	92
(R+M)/2	86.8	90.2	91.45	96.35	100
Air/Fuel ratio at Stoichiometric	14.70	14.05	13.51	9.87	9.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 กล่อง ECU

ชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่รับสัญญาณจากเครื่องยนต์มาวิเคราะห์และทำการสั่งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้ทำงานตามที่ออกแบบไว้ กล่อง ECU ที่ถูกเลือกมาใช้ในการทดลองนี้คือ กล่อง Standalone ยี่ห้อ Link ที่สามารถใช้ แทนกล่อง ECU เดิมจากโรงงานผู้ผลิตได้



รูปที่ 3.4 กล่อง ECU Link G4+ Xtreme [8]

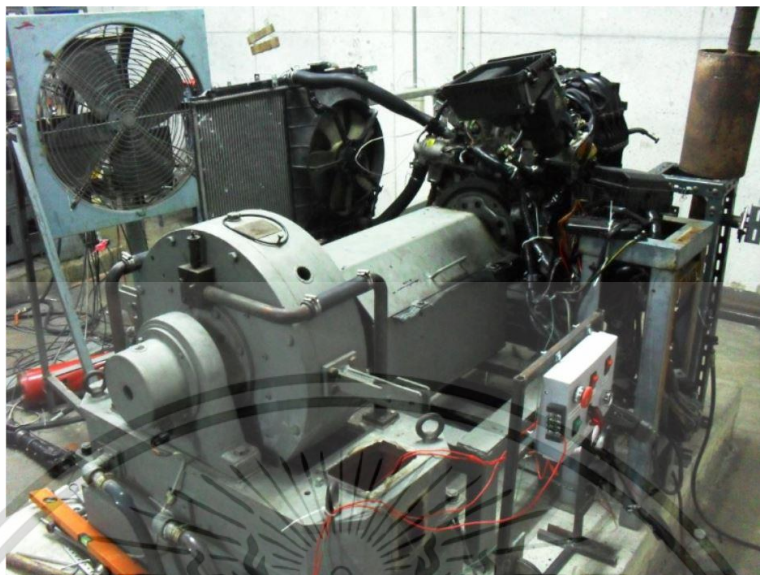
3.1.4 ไดนาโมมิเตอร์

ไดนาโมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ภาระและความเร็วรอบต่างๆ โดยใช้หลักการใช้ภาระโหลดต้านกับแรงที่เครื่องยนต์สร้างขึ้นมา ไดนาโมมิเตอร์กระแสเหนี่ยวนำใช้พลังงานของเครื่องยนต์ที่ต้องการวัดหมุนจานกลมในสนามแม่เหล็กที่ควบคุมความเข้มได้ จานกลมที่หมุนจะเป็นตัวนำไฟฟ้าเคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวนในจานโดยไม่มีการต่อกันกับวงจรรภายนอก และถูกแปลงสภาพเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด โดยจะมีระบบน้ำหล่อเย็นและ Cooling Tower เพื่อลดความร้อนที่จะทำให้อุปกรณ์เสียหาย

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของ Engine Dynamometer

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 Engine Dynamometer



รูปที่ 3.6 Cooling Tower สำหรับหล่อเย็น Engine Dynamometer

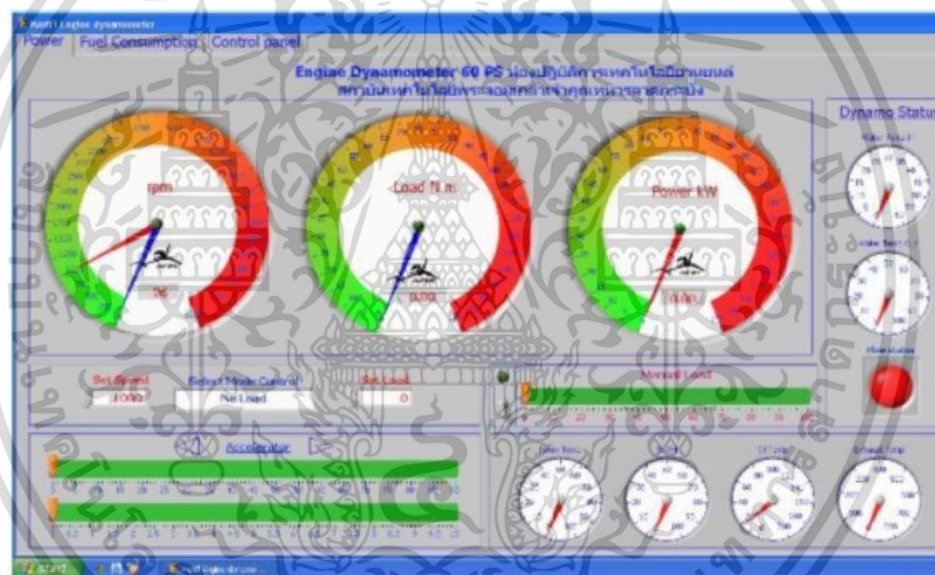
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 ระบบควบคุมและบันทึกผลจาก Engine Dynamometer

การควบคุมและบันทึกผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นที่ไดนาโมมิเตอร์นั้น ผู้จัดทำได้ใช้โปรแกรม LabView ที่ถูกติดตั้งไว้ในห้องทดลอง



รูปที่ 3.7 Interface โดยรวมของโปรแกรม LabView



รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabView ฝั่งซ้าย

ส่วนประกอบของโปรแกรม LabView ฝั่งซ้าย ได้แก่

1. หน้าปัดขนาดใหญ่ 3 อัน ได้แก่
 - 1.1 รอบการหมุนเพลลาที่อ่านได้เป็นรอบเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดรอบแล้ว
 - 1.2 ค่าภาระที่เกิดขึ้นในขณะนั้น
 - 1.3 ค่ากำลังที่วัดได้ในขณะนั้น
2. กล่องทางซ้าย 3 กล่อง ได้แก่
 - 2.1 Set Speed ในการทำงานในโหมด Constant Speed จะเป็นการจ่ายภาระโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตโนมัติ ให้เพลามีรอบคงที่เท่ากับรอบที่ตั้งไว้

2.2 Select Mode Control เลือกโหมดการทำงานได้แก่ No load, Constant Speed และ Constant Load

2.3 Set Load สำหรับการงานในโหมด Constant Load จะเป็นการจ่ายภาระตามที่มีการตั้งค่าไว้ จะทำให้รอบเครื่องยนต์ลดลงตามโหลดที่ใส่ไป

3. Accelerator (ไม่ถูกใช้งานตลอดการทดลอง)

4. Manual Load (ไม่ถูกใช้งานตลอดการทดลอง)

5. หน้าปัดขนาดเล็ก 4 หน้าปัดเรียงกันตามแนวนอนด้านล่าง

5.1 Room Temp แสดงอุณหภูมิของห้องทดลอง

5.2 RH แสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดลอง

5.3 Oil Temp แสดงน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์

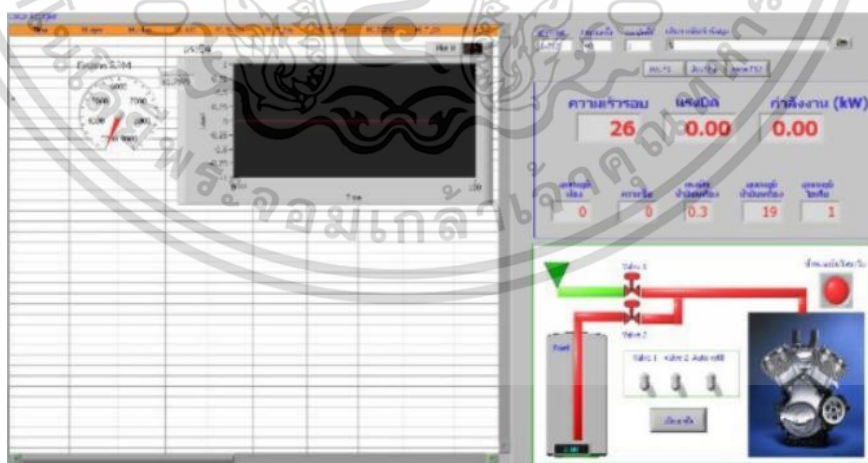
5.4 Exhaust Temp แสดงอุณหภูมิของไอเสีย

6. หน้าปัดขนาดใหญ่ 3 หน้าปัดเรียงกันตามแนวตั้งด้านขวา

6.1 Water Temp In แสดงอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าไดนาโมมิเตอร์ในขณะนั้น

6.2 Water Temp Out แสดงอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาออกไดนาโมมิเตอร์ในขณะนั้น

6.3 Flow Status ตรวจสอบว่ามีการไหลของน้ำหล่อเย็นหรือไม่ เป็นสีแดงหมายถึงไม่ถูกเปิดใช้งาน เป็นสีเขียวหมายถึงถูกเปิดใช้งาน

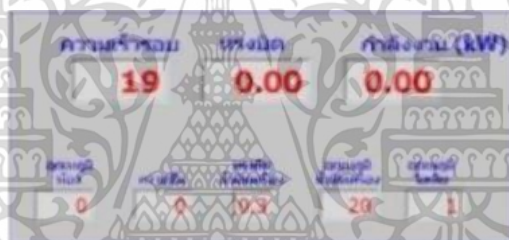


รูปที่ 3.9 Interface ฝั่งขวาของโปรแกรม LabView

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของโปรแกรม LabView ฝั่งขวา ได้แก่

1. ตารางด้านซ้าย เป็นตารางที่จะเขียนค่าที่บันทึกได้ลงไปให้ตรวจสอบก่อนบันทึกเป็นไฟล์
2. หน้าปัดเข็มด้านซ้ายบน แสดงรอบของเครื่องยนต์ที่เกิดจากการนำรอบการหมุนของเพลลา คูณ อัตราทดย้อนกลับ
3. กรอบสีดำ แสดงกราฟแรงบิดที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ใช้ประกอบการปรับจูน
4. กรอบสีขาว 4 กรอบด้านขวาบน ใช้บันทึกค่า โดย 3 กรอบแรกใช้กำหนดจำนวนครั้งและ เวลาที่บันทึก
5. ปุ่ม 3 ตำแหน่งด้านขวาบน
 - 5.1 Rec (F1) ใช้การเริ่มบันทึกค่า ค่าที่บันทึกจะปรากฏลงในตาราง
 - 5.2 Clear (F2) ใช้ล้างค่าตารางเพื่อรอการบันทึกค่ากลุ่มถัดไป
 - 5.3 Save (F12) ใช้บันทึกค่าในตารางเป็นไฟล์ Excel



รูปที่ 3.10 Interface ฝั่งขวาของโปรแกรม LabView ขยายบริเวณสถานะการทดลอง

กลุ่มกรอบแสดงสถานะการทดลอง ประกอบด้วยความเร็วรอบ แรงบิด กำลังงาน อุณหภูมิห้อง ความชื้น แรงดันน้ำมันเครื่อง อุณหภูมิน้ำมันเครื่อง และอุณหภูมิไอเสีย



รูปที่ 3.11 Interface ฝั่งขวาของโปรแกรม LabView ขยายบริเวณเชื้อเพลิงและระบบหล่อเย็น

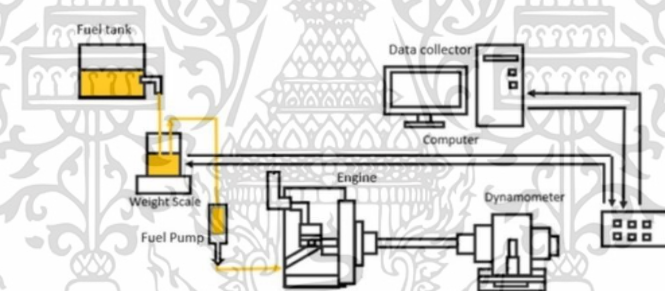
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มกรอบแสดงสถานะเชื้อเพลิง ประกอบด้วย

1. ผังการไหลของเชื้อเพลิงสำหรับระบบ Auto Refill
2. สวิตช์สำหรับเปิด-ปิดระบบ Auto Refill
3. ตาชั่งสำหรับวัดน้ำหนักเชื้อเพลิง

3.1.6 ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง

ปั๊มจ่ายเชื้อเพลิงใช้ในการปัมน้ำมันเชื้อเพลิงจากภาชนะบรรจุเพื่อนำไปป้อนให้กับเครื่องยนต์ตามรูปที่ 3.12 ก่อนที่ระบบจ่ายเชื้อเพลิงจะส่งเชื้อเพลิงไปยังห้องเผาไหม้ ในลำดับถัดไป โดยจะใช้เครื่องชั่งน้ำหนักใช้ในการวัดน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ลดลงไปในขณะเครื่องยนต์กำลังเดินเครื่อง โดยที่เครื่องชั่งน้ำหนักจะส่งค่าที่วัดได้ไปที่ระบบจัดเก็บข้อมูล ในการทดลองใช้ตาชั่งยี่ห้อ AND ความละเอียดในการวัด 0.01 g พิกัดในการวัด 3100 g ใช้ในการเก็บค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ก่อนที่จะส่งสัญญาณ output ไปยัง Data Acquisition Card เพื่อเก็บข้อมูลใน Data logger มีหลักการทำงานโดยอาศัยความต่างของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากน้ำหนักที่กดทับลงบน Strain Gauge



รูปที่ 3.12 แผนภาพการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง

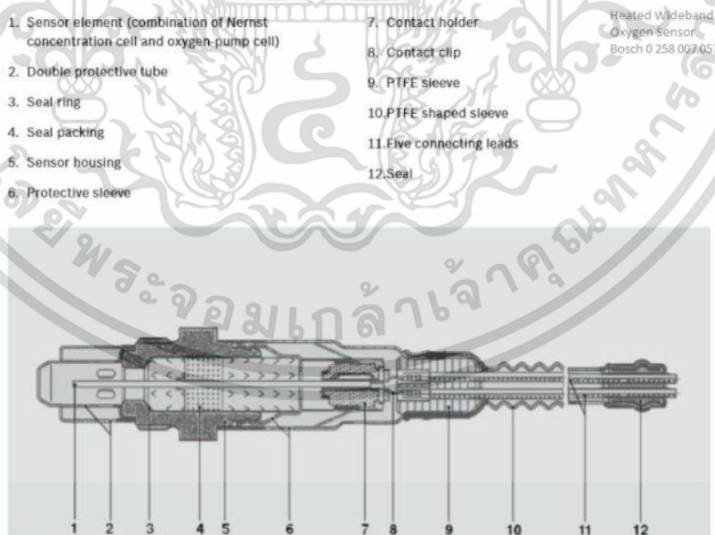


รูปที่ 3.13 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Digital Weight Meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 ออกซิเจนเซนเซอร์ (Oxygen Sensor)

เป็นอุปกรณ์ที่จะวัดอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันในเครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งในการทดลองนี้ ถูกติดตั้งไว้ที่หลังวาล์วไอเสียบริเวณคอท่อไอเสีย โดยผู้ใช้งานจะสามารถตรวจสอบได้ว่าน้ำมันที่ถูกฉีดมากหรือน้อยกว่าที่ควรจะเป็นในขณะนั้น เทียบกับปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎีซึ่งออกซิเจนเซนเซอร์ไม่สามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในอากาศได้โดยตรงแต่จะวัดความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในไอเสียและในบรรยากาศ ออกซิเจนเซนเซอร์จะวัดอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันในเครื่องยนต์สันดาปภายใน อัตราส่วนน้ำมันหนักก็คือการที่มีปริมาณน้ำมันฉีดมากเกินไปมีความต้องการออกซิเจนมากขึ้น ความต้องการนี้ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการถ่ายเทประจุของก๊าซออกซิเจนผ่านชั้นของเซนเซอร์อัตราส่วนน้ำมันบางซึ่งก็คือปริมาณเชื้อเพลิงน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ทำให้มีออกซิเจนเกินพอดีไหลเข้าสู่ตัวตรวจจับ ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าต่ำเนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนในไอเสียมากขึ้น ระบบควบคุมวงปิด (Closed Loop Feedback-Controlled) ของหัวฉีดสามารถปรับค่าการฉีดขึ้นอยู่กับข้อมูลของเซนเซอร์แทนที่จะฉีด น้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้ตารางที่คำนวณไว้ล่วงหน้า ซึ่งทำให้หัวฉีดทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ เทคนิคการควบคุมนี้สามารถลดปริมาณของน้ำมันที่ไม่ถูกเผาไหม้และการเกิดมลพิษจากการเผาไหม้



รูปที่ 3.14 ส่วนประกอบของ Oxygen Sensor [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 Oxygen Sensor พร้อมตัวอ่าน

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของตัวอ่าน Oxygen Sensor [3]

Oxygen Sensor Bosch 0 258 007 057	
Power	
Power requirements	Single Channel 8-14 Volt / 2 A (max, 1 A nominal) Dual Channel 8-14 Volt / 4 A (max, 2 A nominal)
Serial Communication	
Serial Port Speed	19.2 kbit/sec
Packet/Logging Speed	81.92 msec/sample packet
Sample Resolution	10 bits (0.5V at 0.1% resolution)
OBD-II (US Spec vehicles)	
Number of Channels	16 (max)
Supported protocols	ISO 157650 (CAN), J1850PWM, J1850VPW, ISO 9141, ISO 14230 (KWP2000)
USB Specifications	
Protocol Version	2.0
Supported OSs	Windows 2000, XP, Vista, 7, and 8
Temperature	
Max Operating Temperature	-20 to +80 deg Celsius
Recording	
Memory Card	SD 4GB or smaller. File format : FAT or FAT16 (SDHC cards are not compatible)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 เซนเซอร์วัดความดัน (Pressure sensor)

เซนเซอร์วัดความดันที่ใช้จะถูกติดตั้งเข้ากับหัวเทียนของเครื่องยนต์ โดยจะใช้วัดความความดันภายในห้องเผาไหม้ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน ความดันที่วัดได้จะถูกส่งเข้าโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์และแสดงผลออกมาในรูปของกราฟระหว่างความดันภายในห้องเผาไหม้และปริมาตรของกระบอกสูบ ซึ่งเซนเซอร์วัดความดันที่ใช้ในการทดสอบ คือ Kistler Pressure Sensor Type 6052B

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของ Pressure Sensor [7]

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



รูปที่ 3.16 Kistler Spark Plug Pressure Sensor Type 6052B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.9 เซนเซอร์วัดองศาเพลาค้อเหวี่ยง (Crank Encoder)

อุปกรณ์ CDM-720 Encoder ใช้สำหรับการวัดองศาเพลาค้อเหวี่ยงเพื่อคำนวณปริมาตรห้องเผาไหม้ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง โดยอุปกรณ์จะถูกติดตั้งบริเวณท้ายของเพลาดินาโมมิเตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมแซม ซึ่งสัญญาณที่วัดจะมีทั้งหมด 720 ครั้ง แต่แต่ละครั้งจะแบ่งเป็น 0.5 องศาของเพลาค้อเหวี่ยง โดยอาศัยหลักการคือเมื่อแสงส่องผ่านช่องที่เจาะรูไว้เซนเซอร์จะรับสัญญาณแล้วแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.17 เซนเซอร์วัดองศาเพลาค้อเหวี่ยง

3.1.10 Gas Analyzer

เครื่องวิเคราะห์ปริมาณแก๊สใช้สำหรับวัดมลพิษที่มีอยู่ในไอเสียของเครื่องยนต์ โดยใช้ท่อต่อเข้ากับท่อไอเสียของเครื่องยนต์เพื่อให้ไอเสียที่ถูกปล่อยจากเครื่องไหลเข้าสู่เครื่องวัด จากนั้นเครื่องจะทำการวิเคราะห์ปริมาณมลพิษแต่ละชนิดแล้วแสดงค่าออกมาบนหน้าจอ



รูปที่ 3.18 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณแก๊ส (Gas Analyzer)

3.1.11 เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke meter)

เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำใช้ทดสอบไอเสียที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ในสภาวะการทำงานที่ต่างกันโดยใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำแบบทึบแสง (OKUDA DSM-240, 0-100%, $\pm 3\%$ accuracy) ซึ่งประเมินค่าของเขม่าบนตัวกรองกระดาษด้วยวิธีการสะท้อนแสง



รูปที่ 3.19 เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 สภาวะที่ใช้ทดสอบ

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพและมลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงสี่สูบเรียง สี่จังหวะ ขนาดเครื่องยนต์ 1834 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน (E0) และน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนผสมเอทานอล (E10, E20, E85, E100) ที่รอบเครื่องยนต์ 2000 rpm ภายใต้สภาวะที่ไม่มีภาระเครื่องยนต์และภาระเครื่องยนต์ 30, 45, 60 Nm

การทำงานของหัวฉีดจะถูกควบคุมให้อยู่ในโหมดอากาศเชื้อเพลิงผสมเป็นเนื้อเดียวกัน องศาการฉีดน้ำมันถูกตั้งให้อยู่ที่ 60° CAD BTDC องศาการจุดระเบิดจะถูกปรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ให้แรงบิดสูงสุด (Maximum Brake Torque)

ทุกสภาวะที่ใช้ทดสอบจะกำหนดให้ lambda มีค่าเท่ากับ 1

ตารางที่ 3.6 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

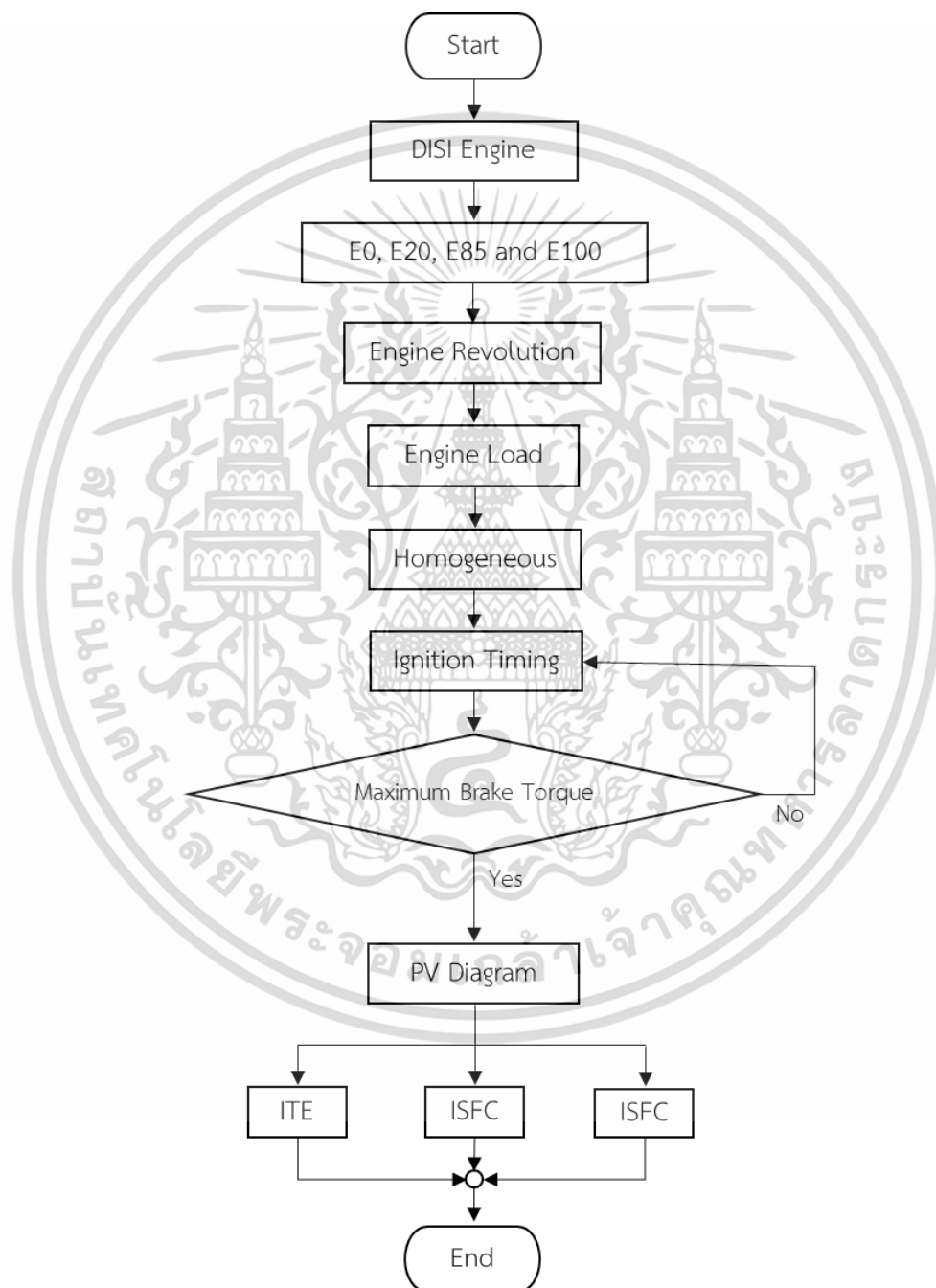
Description	E0 , E20 , E85 , E100
Engine Speed (rpm)	2000
Ambient Temperature (°C)	25
Coolant Temperature (°C)	82
Engine Load (Nm)	30 , 45 , 60
Engine Operation	Homogeneous
Lambda	1
Injection Timing (CAD BTDC)	60°
Ignition Timing (CAD BTDC)	At maximum brake torque

3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

3.2.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์วัดโดยใช้ไดนาโมมิเตอร์และเซ็นเซอร์วัดความดันซึ่งวัดความดันภายในห้องเผาไหม้ โดยไดนาโมมิเตอร์จะถูกใช้ในการควบคุมรอบของเครื่องยนต์ตามที่ต้องการ

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงถูกควบคุมให้ค่า λ มีค่า 1 องศาฉีดน้ำมันถูกตั้งไว้ที่ 60° BTDC จากนั้นปรับองศาจุดระเบิดให้อยู่ตำแหน่งที่เครื่องยนต์ให้แรงบิดสูงสุด เมื่อได้กราฟระหว่างความดันและปริมาตร ทำการคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ อัตราสิ้นเปลืองพลังงานบ่งชี้และประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้



รูปที่ 3.20 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

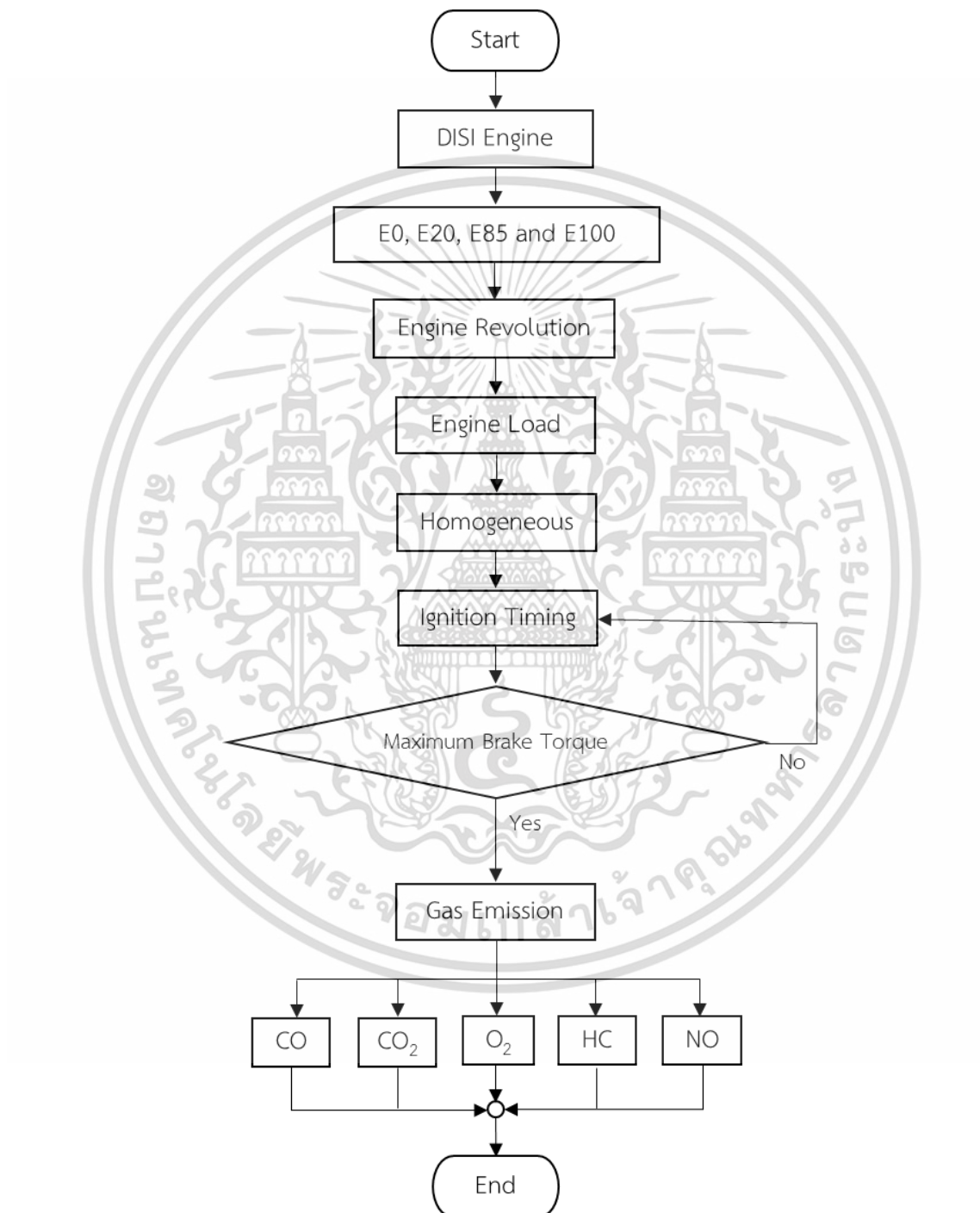
ตารางที่ 3.7 ตารางบันทึกประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ขณะที่ใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน

เชื้อเพลิง	ค่าที่ทำกรวัด	Ignition Timing (CAD BTDC)	ความเร็วรอบ (RPM)		
			2000		
			30 Nm	45 Nm	60 Nm
E0	ITE (%)	25			
		28			
		31			
		34			
		37			
E20	ITE (%)	25			
		28			
		31			
		34			
		37			
E85	ITE (%)	25			
		28			
		31			
		34			
		37			
E100	ITE (%)	25			
		28			
		31			
		34			
		37			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 การทดสอบมลพิษ

การทดสอบมลพิษจะใช้วิธีการทดลองเหมือนกับการทดสอบประสิทธิภาพ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊ส (Gas Analyzer) ในการวัดปริมาณมลพิษต่างๆ ในไอเสีย



รูปที่ 3.21 ขั้นตอนการทดสอบมลพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ตารางบันทึกปริมาณแก๊สและสารประกอบจากไอเสียของเครื่องยนต์ (g/Kw-hr)

เชื้อเพลิง	ค่าที่ทำการวัด	ความเร็วรอบ (rpm)		
		2000		
		30 Nm	45 Nm	60 Nm
E0	CO			
	CO ₂			
	O ₂			
	NO _x			
	HC			
E20	CO			
	CO ₂			
	O ₂			
	NO _x			
	HC			
E85	CO			
	CO ₂			
	O ₂			
	NO _x			
	HC			
E100	CO			
	CO ₂			
	O ₂			
	NO _x			
	HC			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ขั้นตอนการเก็บเขม่าไอเสีย

การเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าเพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างโดยวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านทำได้โดยการเก็บตัวอย่างเขม่าบริเวณทางเดินไอเสียและท่อร่วมไอเสียในสถานะที่เตรียมไว้จากนั้นเก็บไว้ในพื้นที่แห้งและความชื้นต่ำ เพื่อเตรียมไปใช้ในการตรวจสอบในลำดับต่อไป



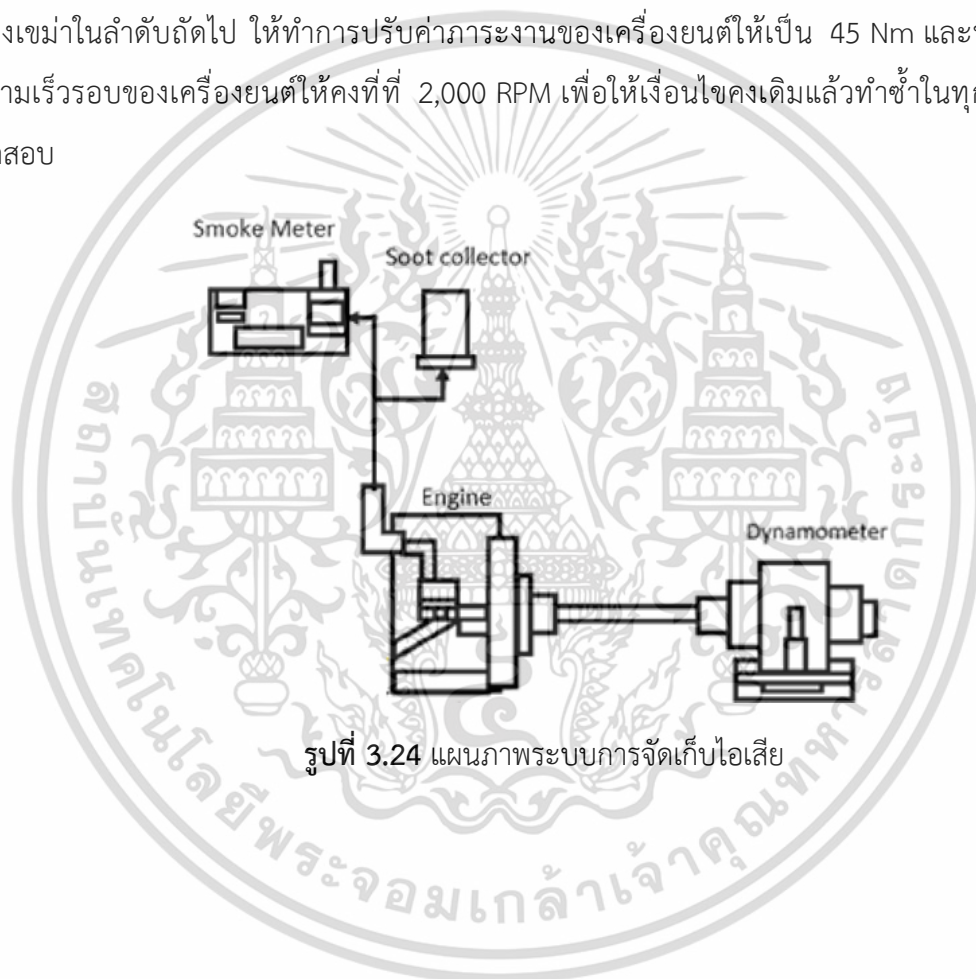
รูปที่ 3. 22 วิธีการเก็บเขม่าจากทางเดินไอเสียและท่อร่วมเสีย



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างเขม่าที่เก็บได้จากท่อร่วมไอเสียและทางเดินไอเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าเพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบปริมาณเขม่าเมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ โดยวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งสามารถทำการเก็บตัวอย่างเขม่าได้โดยใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke meter) ทำการเก็บตัวอย่างเขม่าของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ จากบริเวณท่อไอเสียลงบนกระดาษกรอง หลังจากได้กระดาษกรองที่ผ่านการดักจับไอเสียแล้วนำกระดาษกรองที่ดักจับเขม่าจากไอเสียไปวัดค่าความเข้มข้นเขม่าที่เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ โดยเปรียบเทียบผลของการสะท้อนแสงที่ได้กับค่าเดิมของกระดาษกรองก่อนนำไปดักจับเขม่าเพื่อหาผลลัพธ์ความหนาแน่นของเขม่าในลำดับถัดไป ให้ทำการปรับค่าภาระงานของเครื่องยนต์ให้เป็น 45 Nm และทำการรักษาความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้คงที่ที่ 2,000 RPM เพื่อให้เงื่อนไขคงเดิมแล้วทำซ้ำในทุกเชื้อเพลิงที่ทดสอบ



รูปที่ 3.24 แผนภาพระบบการดักจับไอเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 ท่อวัดของเครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำกับท่อไอเสีย



รูปที่ 3.26 การเก็บเขม่าโดยเครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 วิธีการวัดขนาดและตรวจสอบโครงสร้างของอนุภาคเดี่ยวและอนุภาคกลุ่มด้วยวิธีการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

นำเขม่าไอเสียที่เตรียมไว้จากการเก็บรวบรวมนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านตามรูปที่ 3.22 และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดตามรูปที่ 3.23 เพื่อดูโครงสร้างของอนุภาค และปริมาณของเขม่าจากเชื้อเพลิงแต่ละชนิด จากนั้นใช้โปรแกรม ImageJ ในการวัดขนาดของอนุภาค



รูปที่ 3.27 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน [15]

รูปที่ 3.28 กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 หน้าต่างโปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

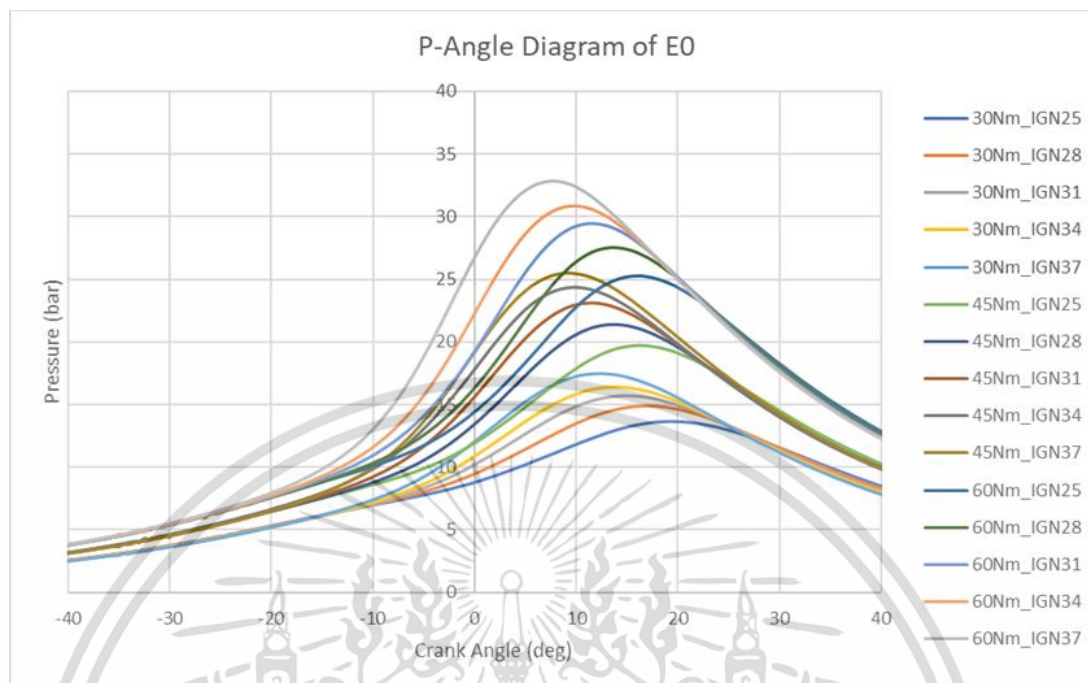
บทที่ 4

ผลการวิจัย

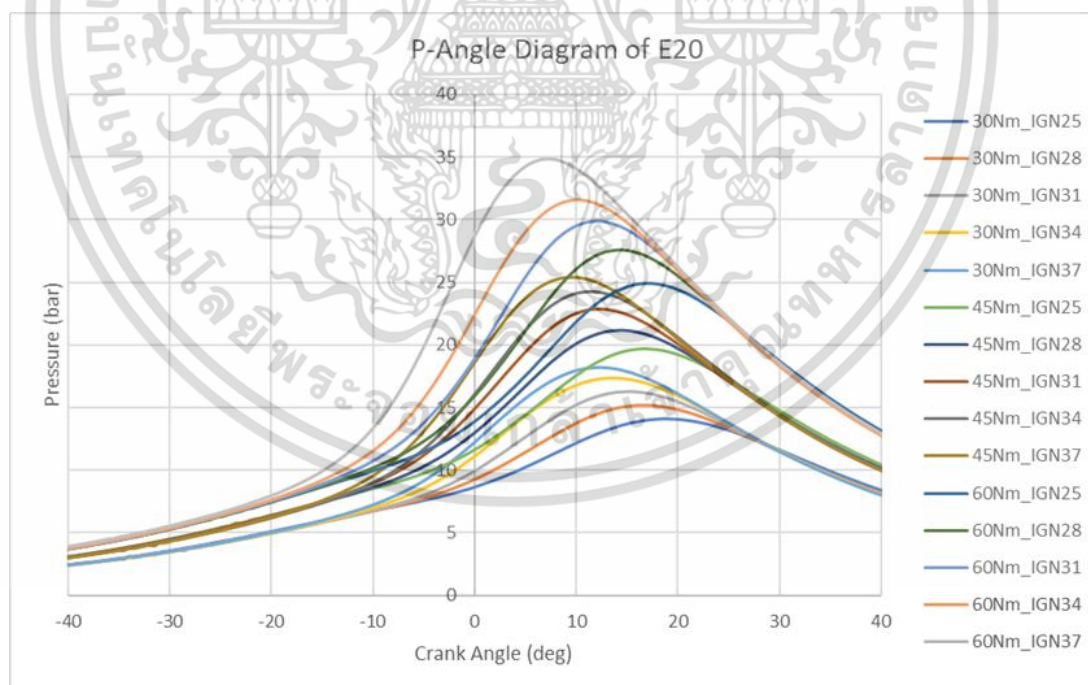
4.1 พฤติกรรมการเผาไหม้

4.1.1 ความดันภายในกระบอกสูบ

ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมข้อเหวี่ยงจากการทดลองนี้เป็นไปตามรูปที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 โดยภาระของเครื่องยนต์มีค่าเท่ากับ 30 Nm, 45 Nm และ 60 Nm ทดสอบที่องศาการจุดระเบิด 25, 28, 31, 34 และ 37 (Ignition Timing BTDC) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 2000 รอบต่อนาที เมื่อพิจารณาสำหรับการเปลี่ยนแปลงของภาระของเครื่องยนต์ที่มากกระทำต่อเครื่องยนต์พบว่าความดันสูงสุดของเชื้อเพลิงทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามภาระเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาสำหรับแต่ละเชื้อเพลิงพบว่าการผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนส่งผลให้ค่าความดันสูงสุดมีค่าสูงขึ้นเนื่องมาจากเอทานอลมีออกซิเจนอะตอมเป็นส่วนประกอบส่งผลให้การเผาไหม้ทำได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และการผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนยังส่งผลให้ความดันที่เพิ่มขึ้นก่อนที่จะถึงความดันสูงสุดเริ่มต้นเกิดเร็วขึ้นเช่นกัน ซึ่งเกิดมาจากผลกระทบของปริมาณออกซิเจนในน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นทำให้เกิดการเผาไหม้ที่เร็วขึ้น เมื่อพิจารณาทางด้านองศาการจุดระเบิดนั้นพบว่าเมื่อเพิ่มองศาการจุดระเบิดให้ล่วงหน้ามากขึ้นจะส่งผลให้มีความดันสูงสุดเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยมีสาเหตุมาจากการจุดระเบิดนั้นต้องการระยะเวลาที่เพียงพอเพื่อให้เกิดการลามไฟจนถึงจุดวาบไฟสมบูรณ์ที่ตำแหน่งจุดศูนย์ตายบน

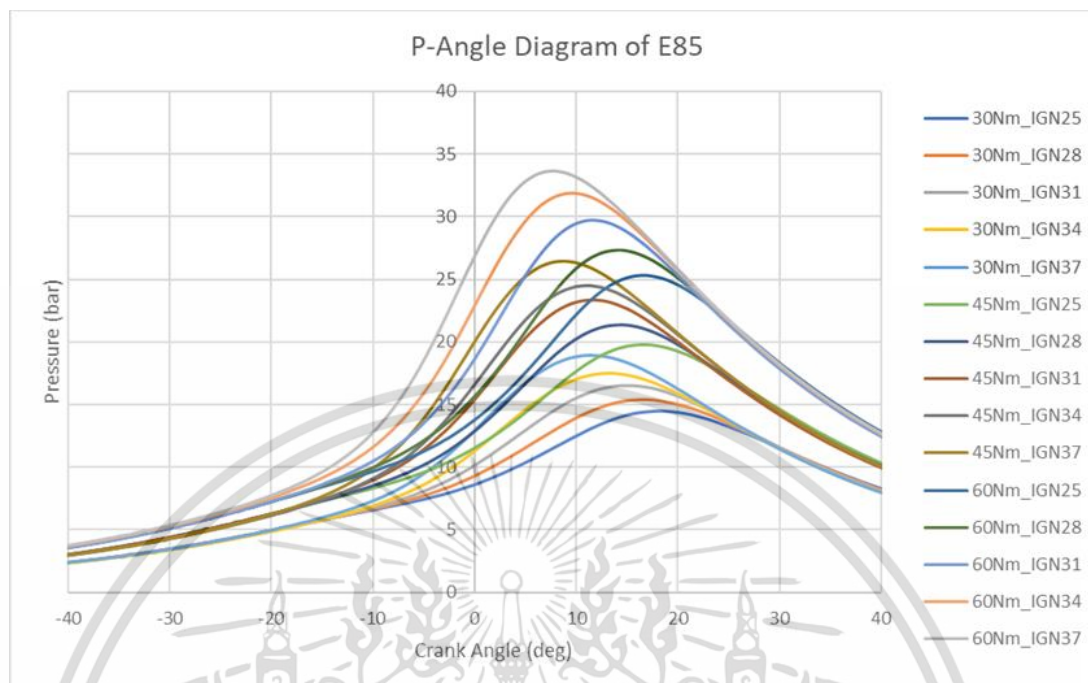


รูปที่ 4.1 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมข้อเหวี่ยงของเชื้อเพลิง E0 ที่ภาระงานของเครื่องยนต์และองศาการจุดระเบิดต่างกัน

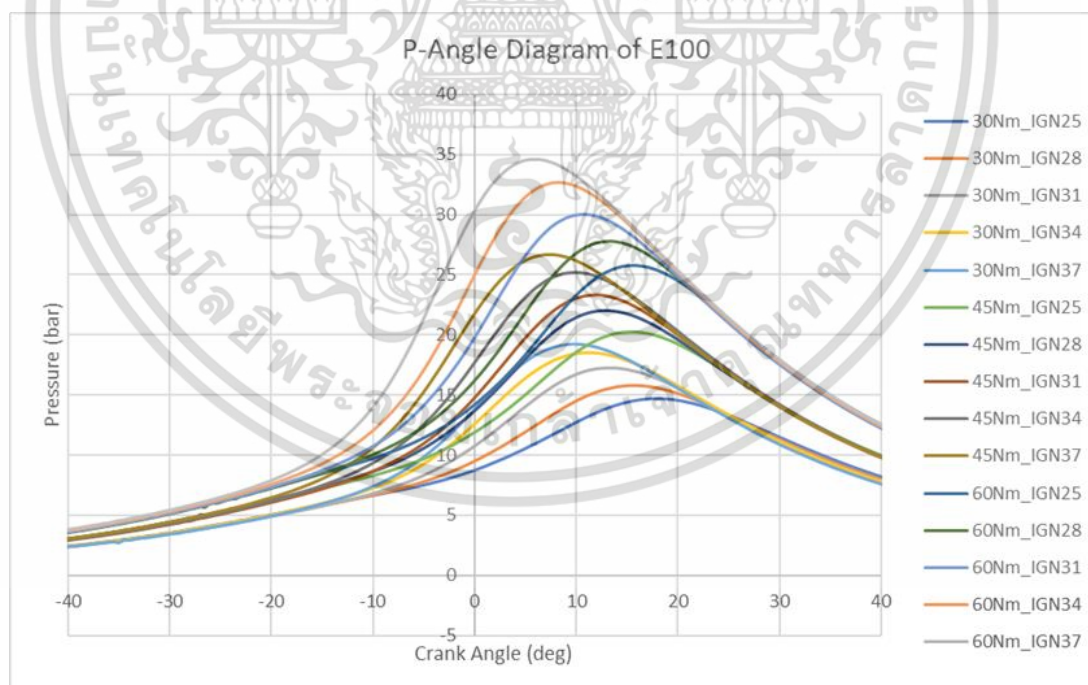


รูปที่ 4.2 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมข้อเหวี่ยงของเชื้อเพลิง E20 ที่ภาระงานของเครื่องยนต์และองศาการจุดระเบิดต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



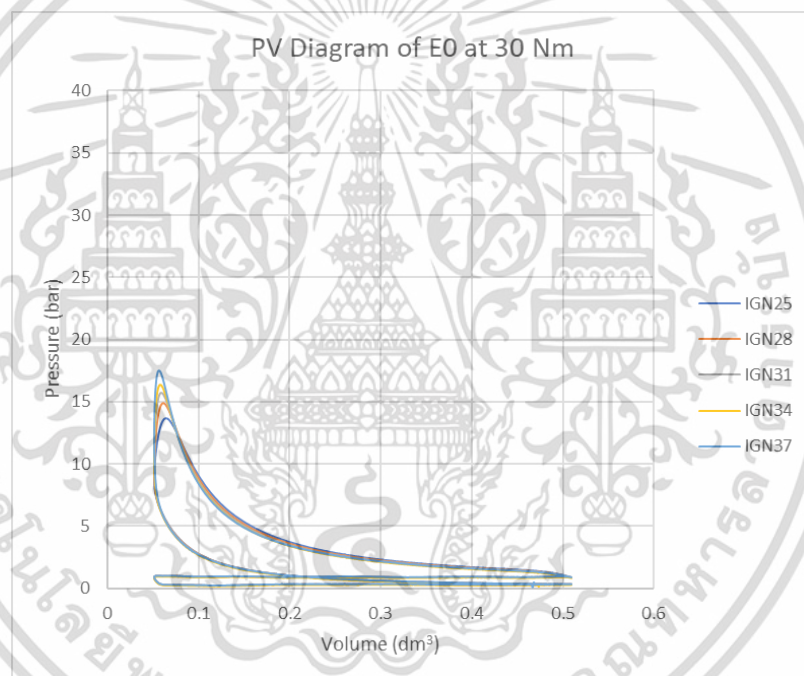
รูปที่ 4.3 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมข้อเหวี่ยงของเชื้อเพลิง E85 ที่ภาระงานของเครื่องยนต์ และองศาการจุดระเบิดต่างกัน



รูปที่ 4.4 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับมุมข้อเหวี่ยงของเชื้อเพลิง E100 ที่ภาระงานของเครื่องยนต์ และองศาการจุดระเบิดต่างกัน

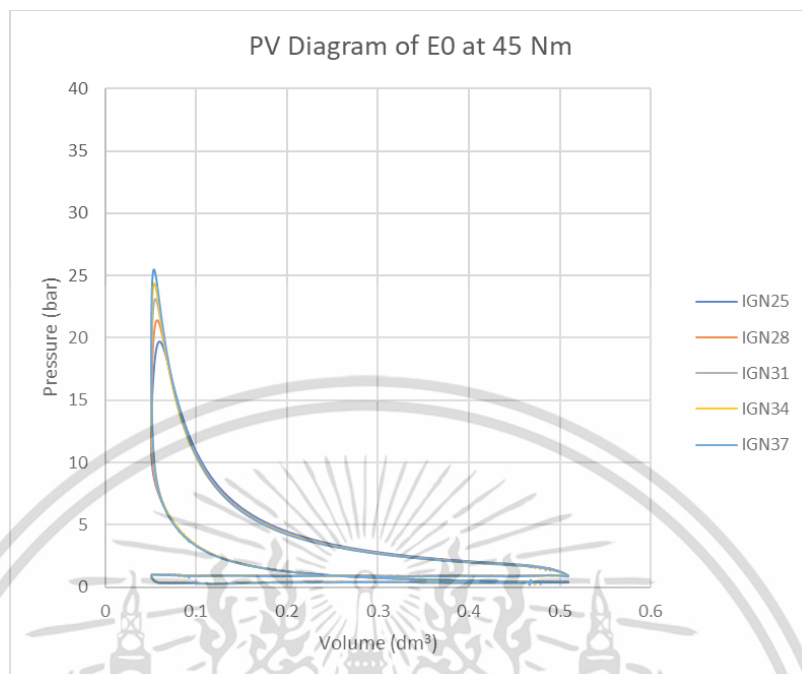
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรภายในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงชนิด E0, E20, E85 และ E100 แสดงในรูปที่ 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ตามลำดับ โดยภาระของเครื่องยนต์มีค่าเท่ากับ 30 Nm , 45 Nm และ 60 Nm ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 2000 รอบต่อนาที ที่ห้องศากการจุดระเบิดเท่ากับ 25-37 องศา BTDC พบว่าความดันสูงสุดของเชื้อเพลิงทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามภาระเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาสำหรับแก๊สโซฮอล์พบว่าความดันสูงสุดมีค่ามากกว่าของแก๊สโซลีน และความดันที่เพิ่มขึ้นก่อนที่จะถึงความดันสูงสุดก็เกิดขึ้นก่อนแก๊สโซลีนเช่นกัน ซึ่งเกิดมาจากผลกระทบของปริมาณออกซิเจนในน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นทำให้เกิดการเผาไหม้เร็วขึ้น

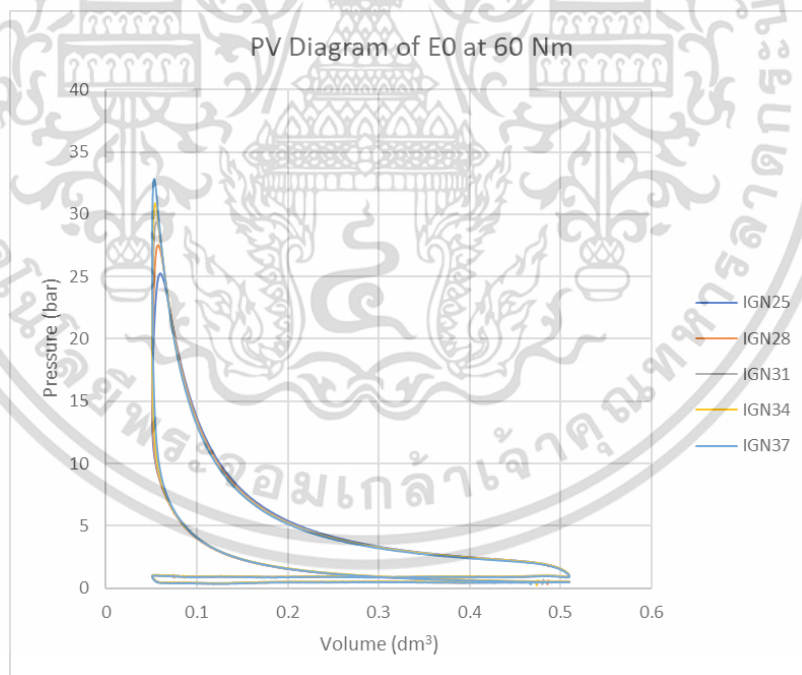


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



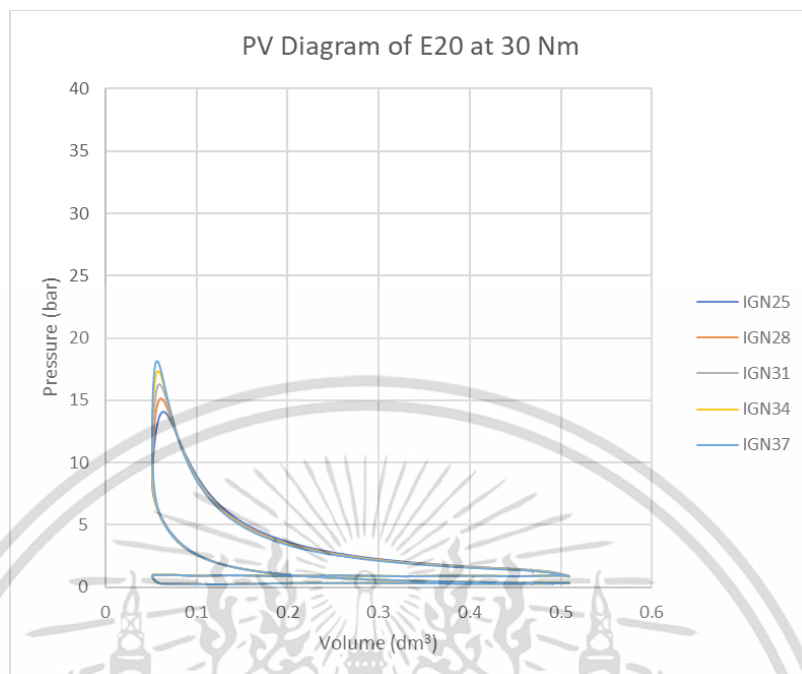
(ข)



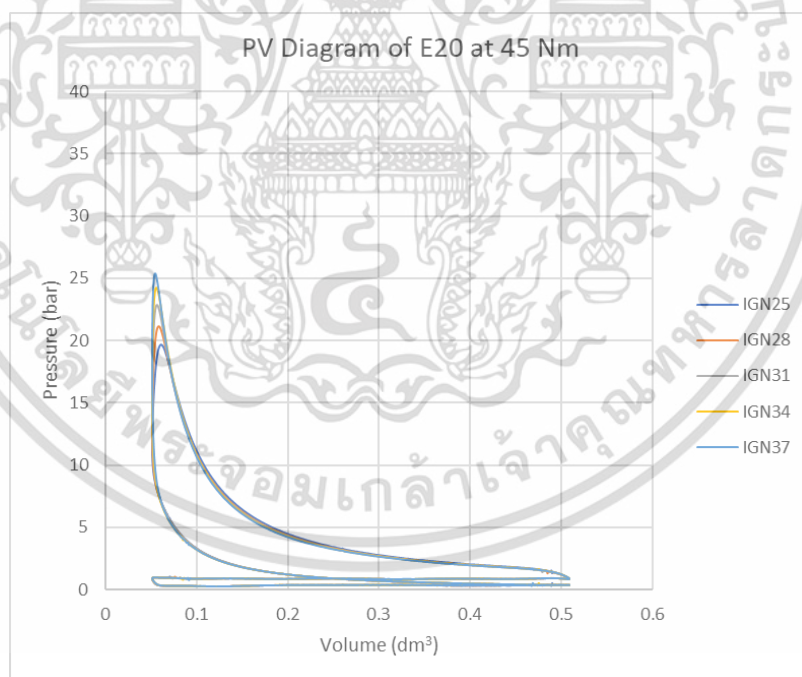
(ค)

รูปที่ 4.5 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรภายในกระบอกสูบของเชื้อเพลิง E0 ภายใต้ภาระ โหลด (ก) 30 Nm (ข) 45 Nm (ค) 60 Nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

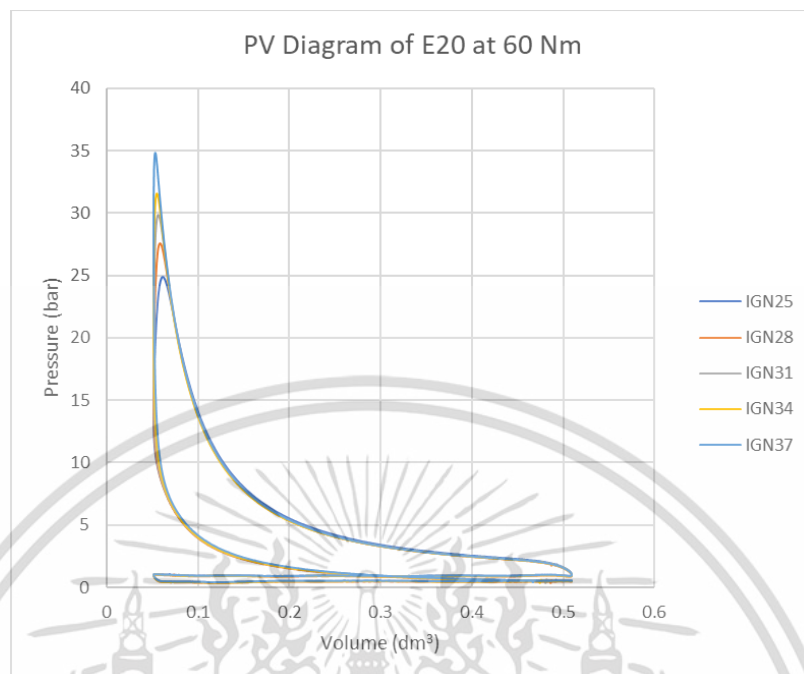


(ก)



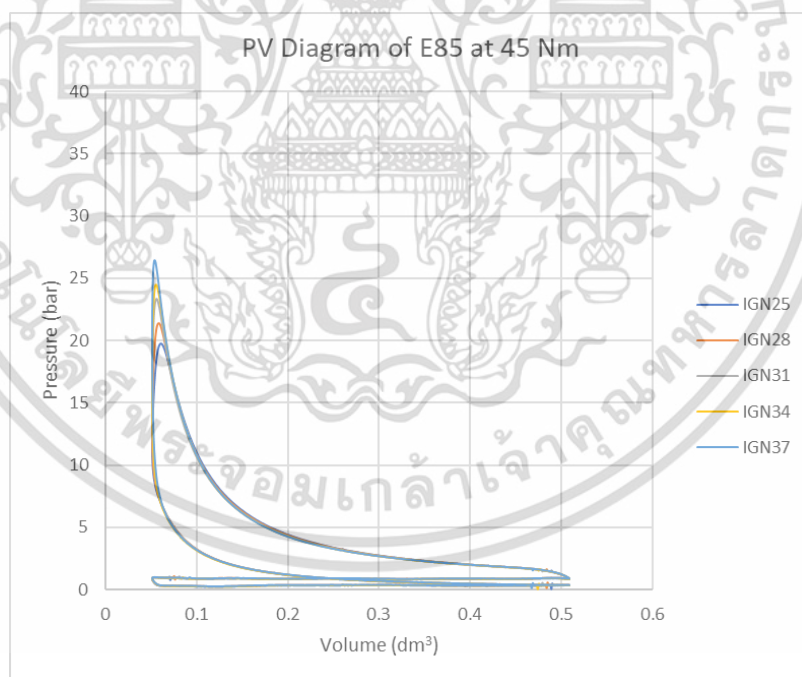
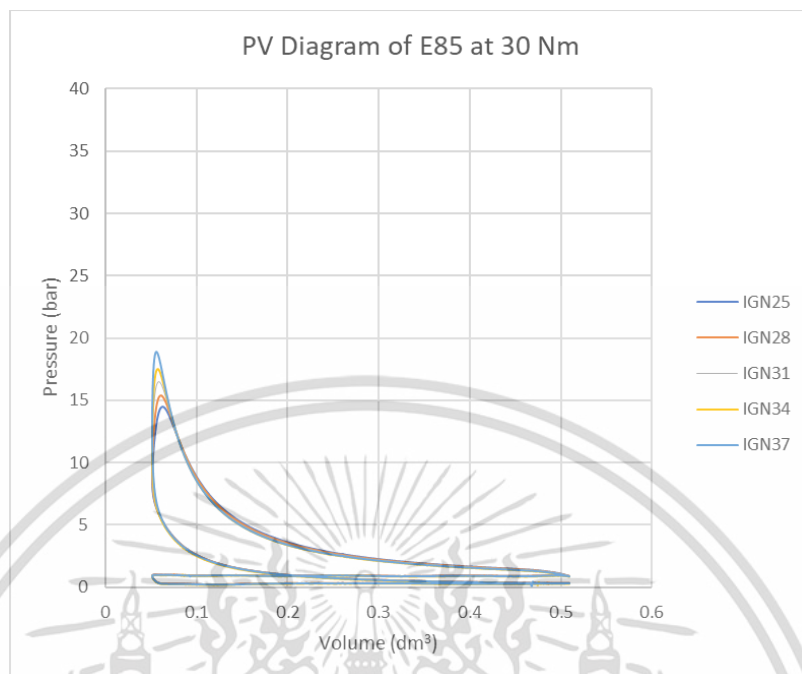
(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

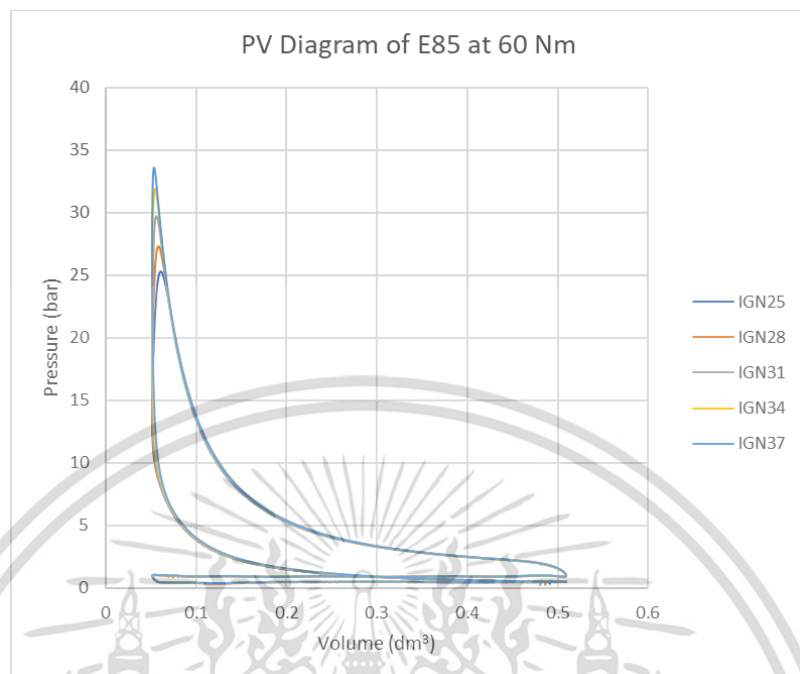


(ค)

รูปที่ 4.6 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรภายในกระบอกสูบของเชื้อเพลิง E20 ภายใต้ภาระโหลด (ก) 30 Nm (ข) 45 Nm (ค) 60 Nm

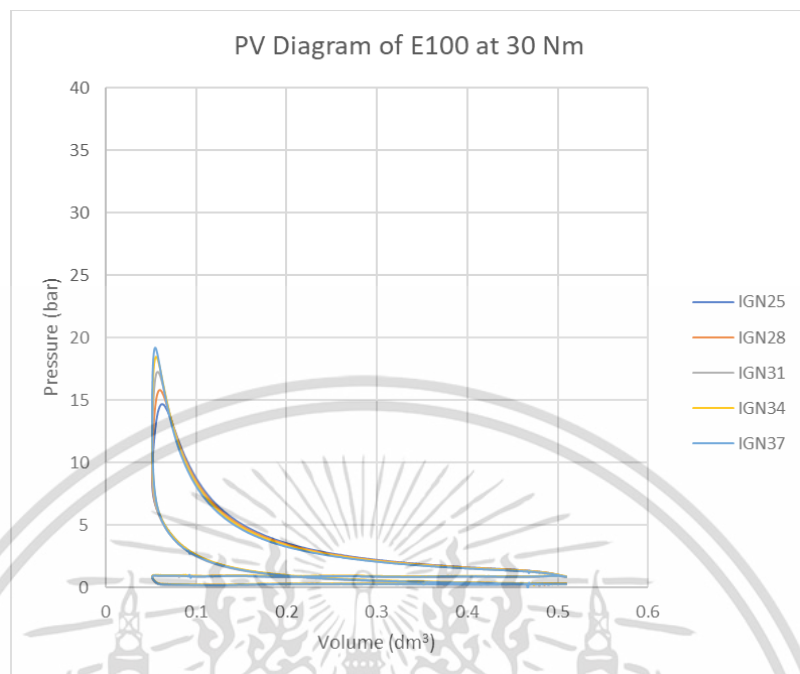


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

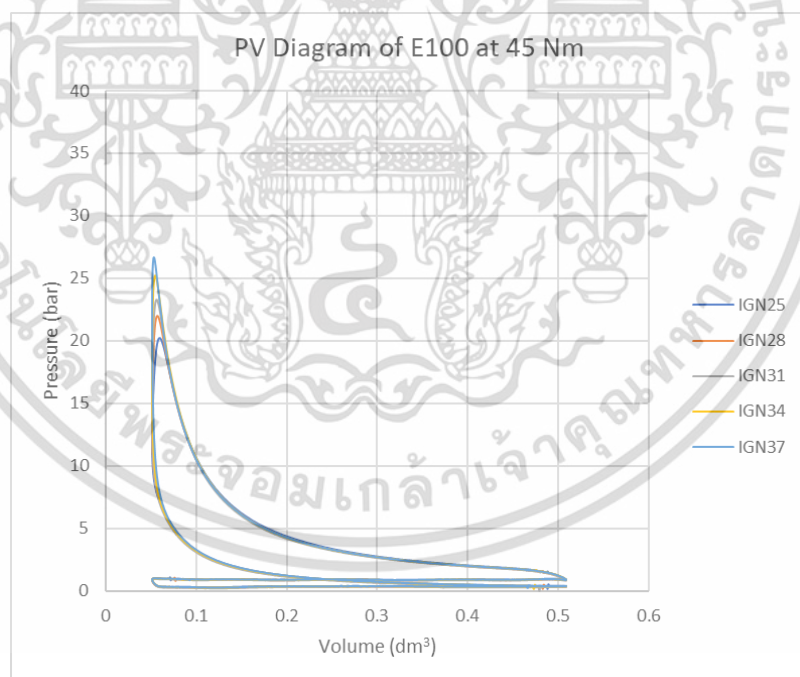


(ค)

รูปที่ 4.7 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรภายในกระบอกสูบของเชื้อเพลิง E85 ภายใต้ภาระโหลด (ก) 30 Nm (ข) 45 Nm (ค) 60 Nm

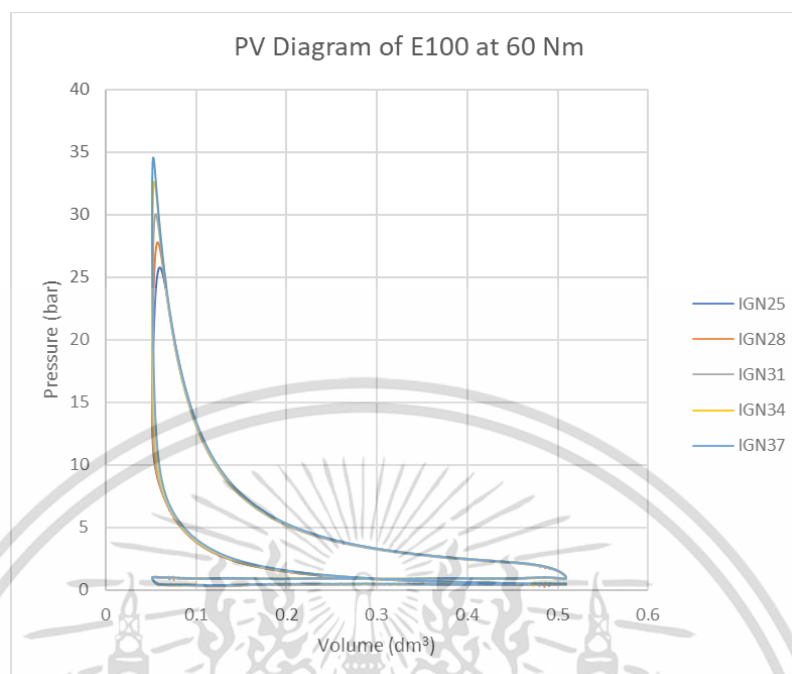


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



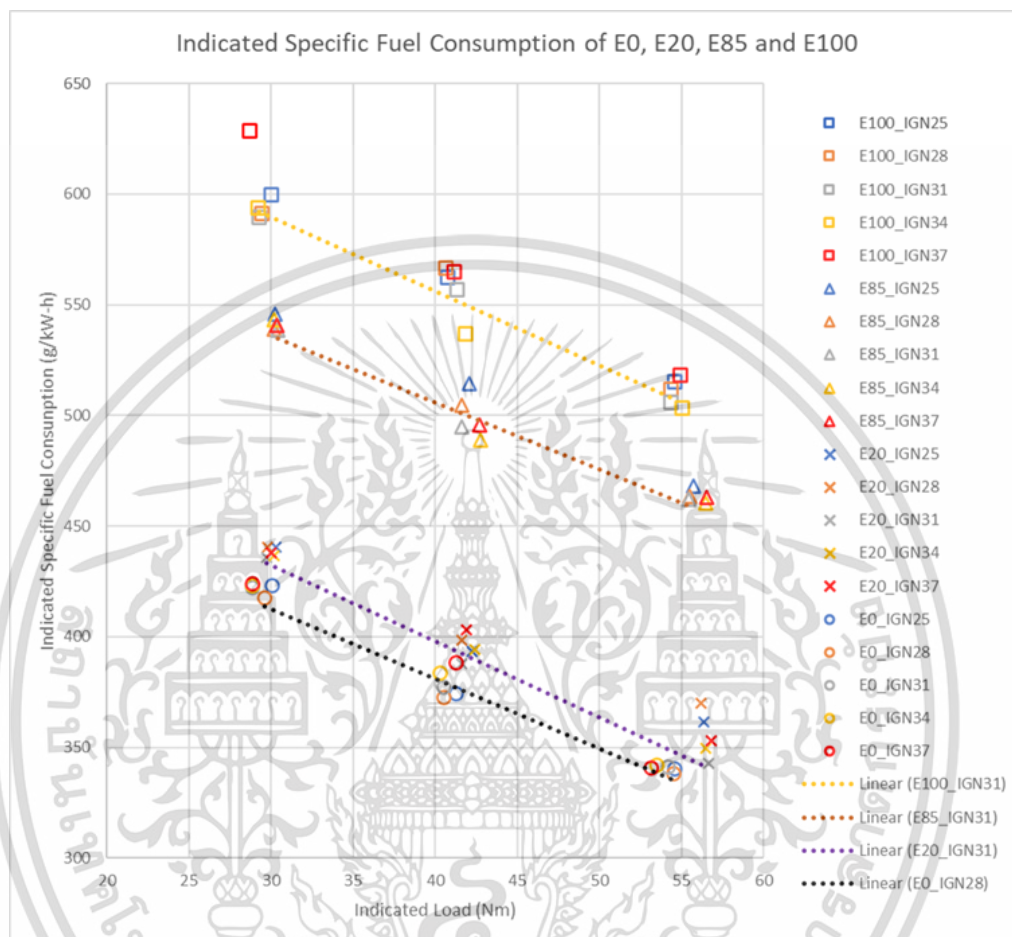
(ค)

รูปที่ 4.8 ความดันภายในกระบอกสูบเทียบกับปริมาตรภายในกระบอกสูบของเชื้อเพลิง E100 ภายใต้ภาระโหลด (ก) 30 Nm (ข) 45 Nm (ค) 60 Nm

4.1.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ (Indicated specific fuel consumption, ISFC)

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ของการทดลองนี้เป็นไปตามรูปที่ 4.9 ถ้าสังเกตเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของภาระของเครื่องยนต์ที่มากกระทำต่อเครื่องยนต์โดยให้ความเร็วรอบ 2000 รอบ พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้มีแนวโน้มลดลงในขณะที่ภาระงานของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ลดลงอาจมาจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศทำได้สมบูรณ์และปลดปล่อยพลังงานออกมาได้มากกว่า จึงทำให้ใช้เชื้อเพลิงลดลงในขณะที่ได้งานในปริมาณที่เท่าเดิม ส่วนการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ของเชื้อเพลิงทั้งหมดจะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ของแก๊สโซฮอลล์นั้นมีค่าสูงกว่าแก๊สโซลีนในทุกสภาวะภาระของเครื่องยนต์เนื่องจากแก๊ส

โซฮอล์มีค่าความร้อนเนื่องจากการสันดาปที่ต่ำกว่าแก๊สโซลีน ส่งผลให้ปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ของแก๊สโซฮอล์จะต้องมีค่ามากยิ่งขึ้นเพื่อให้ได้งานที่เท่ากัน

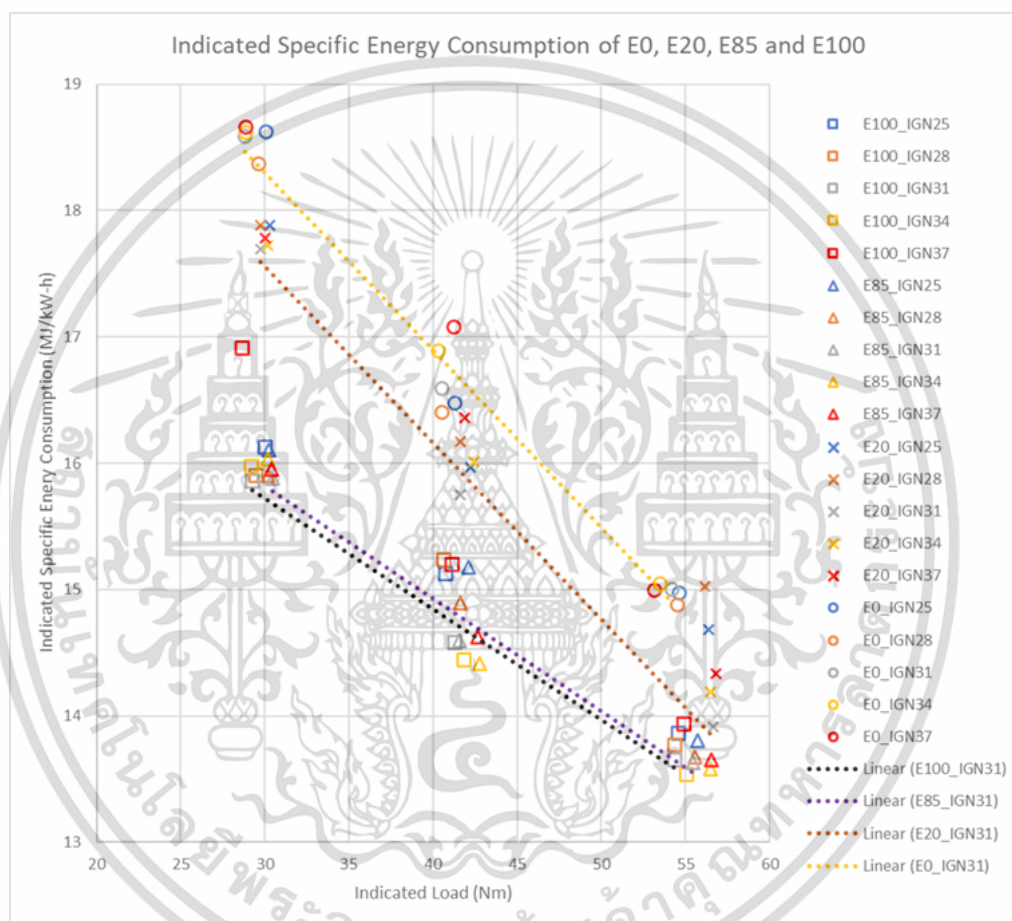


รูปที่ 4.9 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ที่ภาระของเครื่องยนต์, องศาการจุดระเบิด และเชื้อเพลิงต่างกัน

4.1.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ (Indicated specific energy consumption, ISEC)

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ของการทดลองนี้เป็นไปตามรูปที่ 4.10 ถ้าสังเกตเฉพาะการเปลี่ยนแปลงภาระของเครื่องยนต์ที่มากกว่าต่อเครื่องยนต์โดยให้ความเร็วรอบ 2000 รอบ จะสังเกตเห็นได้ว่าถ้าภาระของเครื่องยนต์ที่มากกว่าต่อเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ลดลงในทุกกรณี ซึ่งสาเหตุที่ทำให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

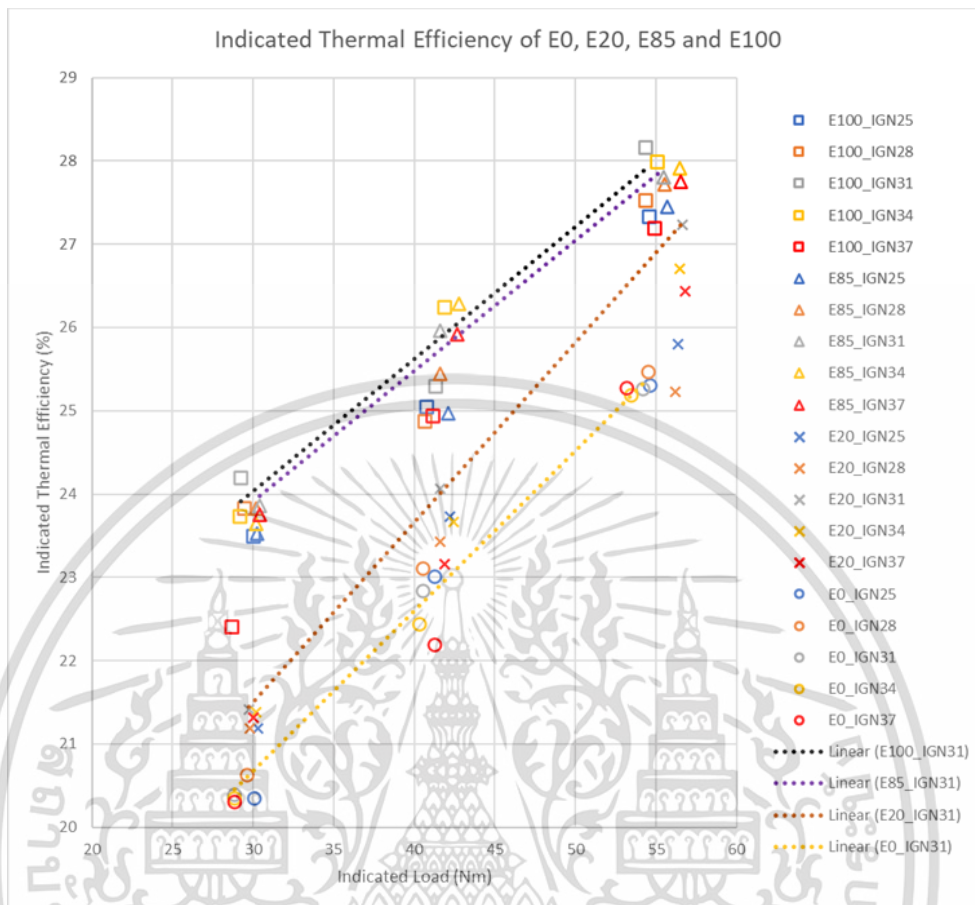
จำเพาะบ่งชี้ลดลงอาจมาจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศทำได้สมบูรณ์และปลดปล่อยพลังงานออกมาได้มากกว่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ของเชื้อเพลิงทั้งหมดพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ของแก๊สโซฮอล์ต่ำกว่าแก๊สโซลีนเพราะออกซิเจนอะตอมในโมเลกุลเอทานอลทำให้เผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้นจึงมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานลดลง



รูปที่ 4.10 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ที่ภาระของเครื่องยนต์, องศาการจุดระเบิด และเชื้อเพลิงต่างกัน

4.1.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (Indicated thermal efficiency, ITE)

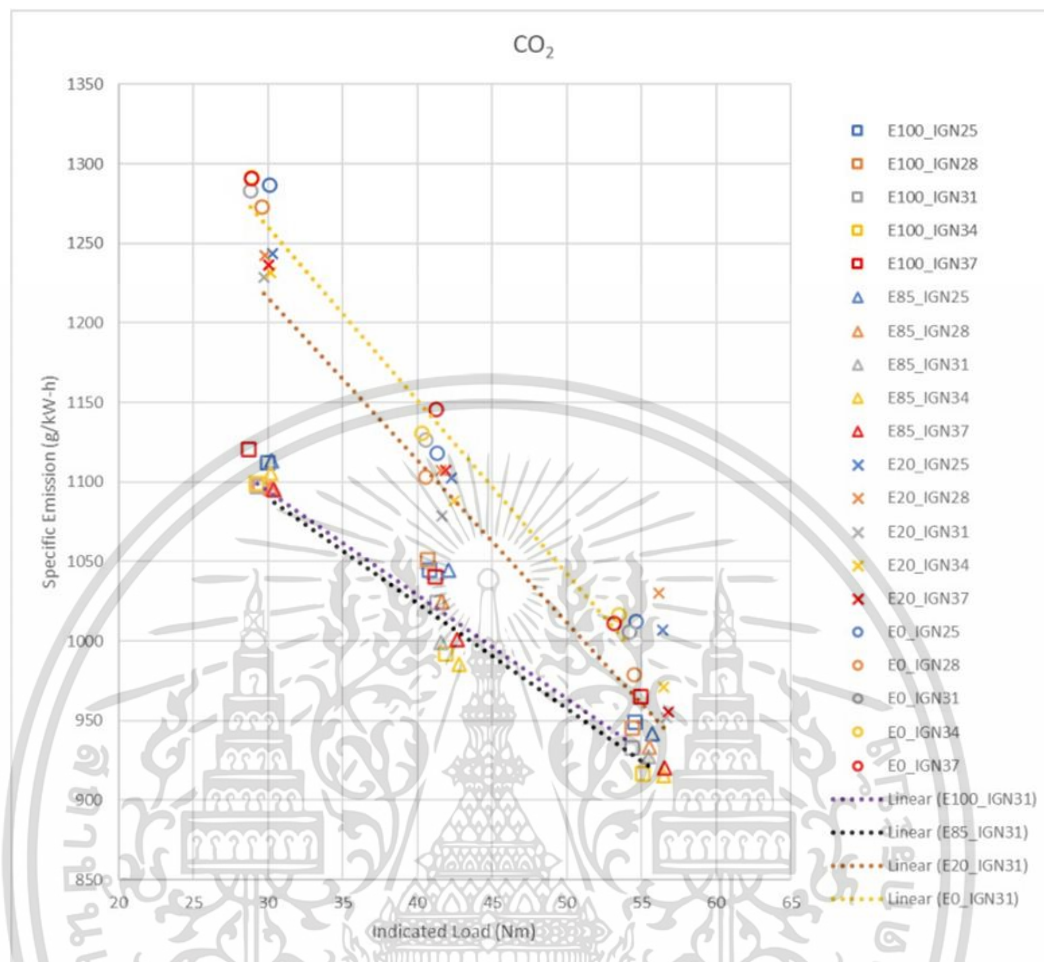
การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ของการทดลองสามารถดูได้จากรูปที่ 4.11 เมื่อพิจารณาเฉพาะภาระของเครื่องยนต์ที่มากกระทำต่อเครื่องยนต์ พบว่าเมื่อภาระของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้เพิ่มขึ้นเช่นกันในทุกกรณี ซึ่งการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่สูงขึ้นส่งผลให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศทำได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณาทางด้านความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ของเชื้อเพลิงทั้งหมดเห็นได้ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ของแก๊สโซฮอล์นั้นมีค่าสูงกว่าแก๊สโซลีนในทุกสภาวะภาระของเครื่องยนต์เนื่องมาจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง เช่นส่วนผสมของออกซิเจนภายในเชื้อเพลิงจากออกซิเจนอะตอมของเอทานอลที่มากขึ้น ซึ่งสามารถส่งเสริมให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ในส่วนขององศาการจุดระเบิดพบว่าการผสมเอทานอลในปริมาณที่มากขึ้นมีแนวโน้มทำให้องศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมล่วงหน้าก่อนจุดศูนย์ตายบนมากขึ้นเช่นกัน เนื่องจากเอทานอลมีคุณสมบัติของการล่าช้าของการจุดระเบิด (Ignition Delay) ที่มากกว่าแก๊สโซลีน โดยค่าองศาการจุดระเบิดที่ส่งผลให้เกิด ITE สูงที่สุดสำหรับเชื้อเพลิง E0 เท่ากับ 28, 28, 28 เชื้อเพลิง E20 เท่ากับ 31, 31, 31 เชื้อเพลิง E85 เท่ากับ 31, 34, 34 และเชื้อเพลิง E100 เท่ากับ 31, 34, 34 สำหรับภาระเครื่องยนต์ 30 Nm, 45 Nm, 60 Nm ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ที่ภาระของเครื่องยนต์, องศาการจุดระเบิด และเชื้อเพลิงต่างกัน

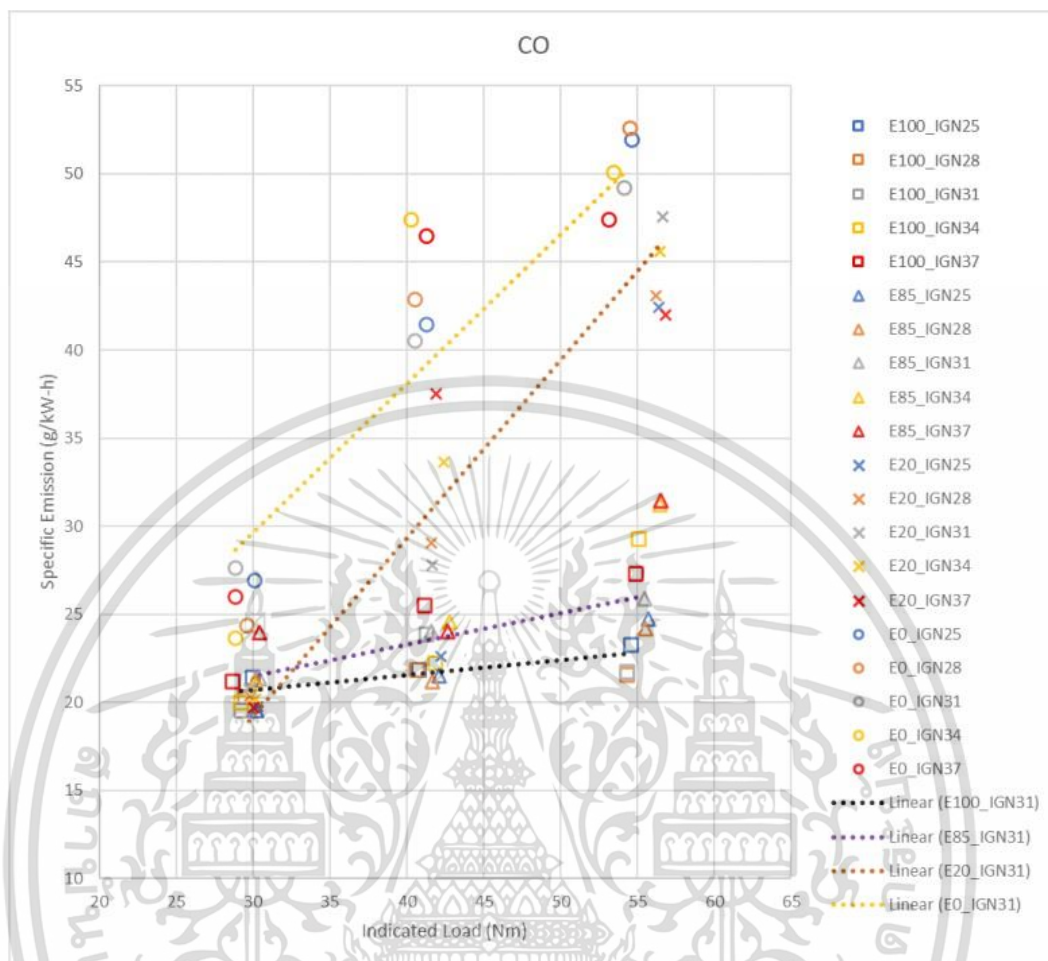
4.2 พฤติกรรมการปล่อยไอเสีย

ปริมาณการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์แสดงดังรูปที่ 4.12 จากกราฟปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีปริมาณที่ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในแก๊สโซลีนมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเอทานอลมีปริมาณคาร์บอนที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับแก๊สโซลีน และมีแนวโน้มของปริมาณการปล่อยที่ลดลงเมื่อมีภาระเครื่องยนต์ที่มากขึ้น ส่วนในด้านองศาการจุดระเบิดนั้นพบว่าไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อย่างมีนัยสำคัญ



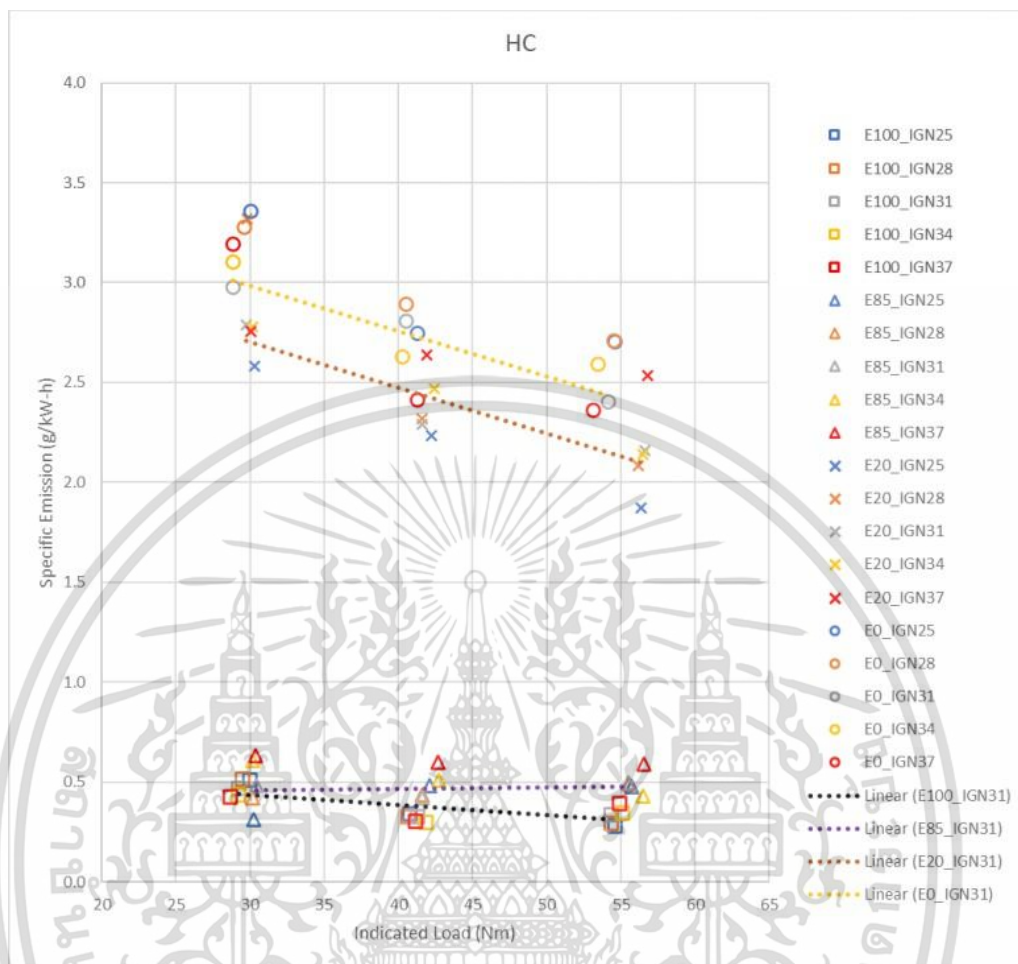
รูปที่ 4.12 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

จากกราฟดังรูปที่ 4.13 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีปริมาณที่ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในแก๊สโซลีนมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากออกซิเจนอะตอมในเอทานอลช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น และมีแนวโน้มของปริมาณการปล่อยที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีภาระเครื่องยนต์ที่มากขึ้น ส่วนในด้านองศาการจู่ระเปิดนั้นพบว่าไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.13 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

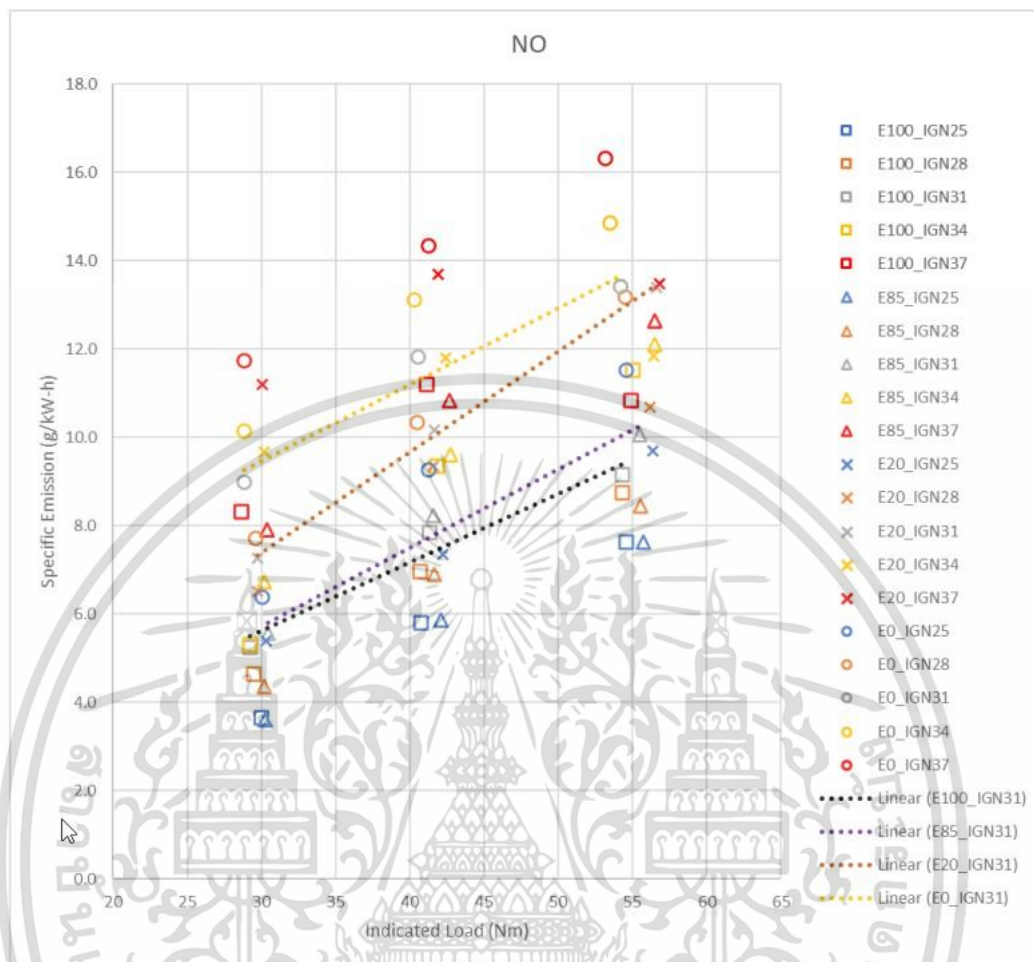
จากกราฟดังรูปที่ 4.14 ปริมาณการปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน พบว่าปริมาณการปล่อย HC มีปริมาณที่ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในแก๊สโซลีนมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากออกซิเจนอะตอมในเอทานอลช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และมีแนวโน้มของปริมาณการปล่อยที่ลดลงเมื่อมีภาระเครื่องยนต์ที่มากขึ้นส่วนในด้านองศาการจุดระเบิดนั้นพบว่าไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.14 ปริมาณการปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

จากกราฟดังรูปที่ 4.15 ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO) พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO) มีปริมาณที่ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในแก๊สโซลีนมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ลดลงจากการที่เอทานอลมีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง และมีแนวโน้มของปริมาณการปล่อยที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีภาระเครื่องยนต์ที่มากขึ้นส่วนในด้านองศาการจุดระเบิดนั้นพบว่าเมื่อเพิ่มองศาการจุดระเบิดให้ล่วงหน้ามากขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ที่มากขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

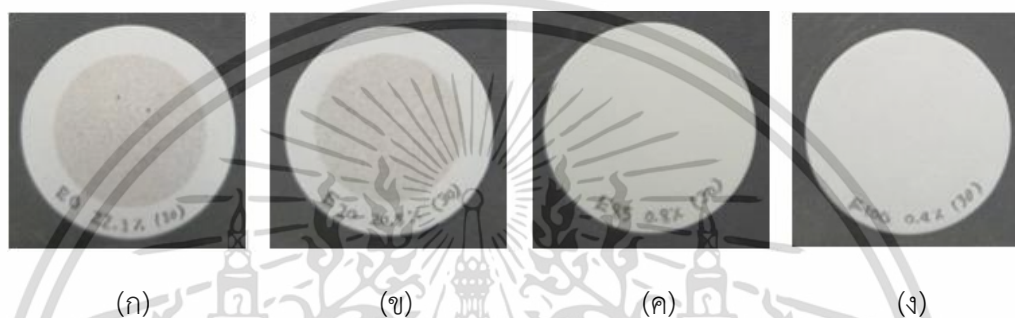


รูปที่ 4.15 ปริมาณการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO)

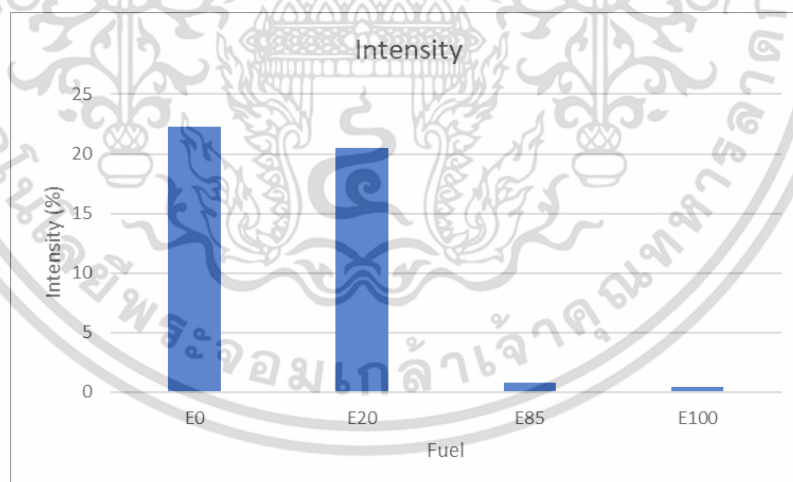
4.3 สัณฐานวิทยาของอนุภาค (Particulate matter's morphology)

การเก็บตัวอย่างอนุภาคเขม่าเพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบปริมาณเขม่าเมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ โดยวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งสามารถทำการเก็บตัวอย่างเขม่าได้โดยการใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ (Smoke meter) ทำการเก็บตัวอย่างเขม่าของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ จากบริเวณท่อไอเสียลงบนกระดาษกรองดังรูปที่ 4.16 หลังจากได้กระดาษกรองที่ผ่านการดักจับไอเสียแล้ว นำกระดาษกรองที่ดักจับเขม่าจากไอเสียไปวัดค่าความเข้มข้นเขม่าที่เครื่องวัดประสิทธิภาพควันดำ โดยเปรียบเทียบผลของการสะท้อนแสงที่ได้กับค่าเดิมของกระดาษกรองก่อนนำไปดักจับเขม่าเพื่อหาผลลัพธ์

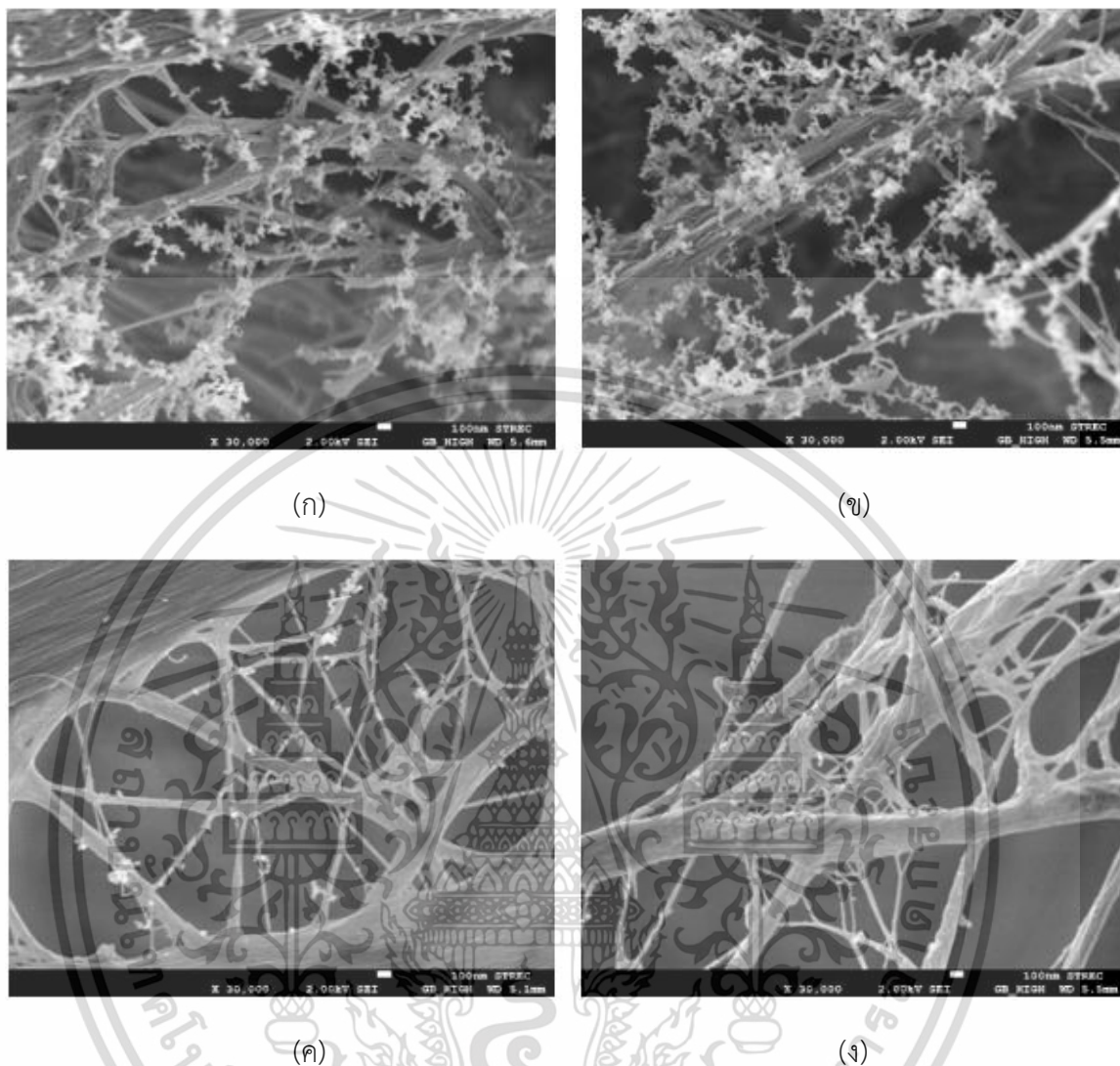
ความหนาแน่นของเขม่าได้ปริมาณความเข้มข้นของเขม่าไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 4.17 จากกราฟจะพบว่าปริมาณความเข้มข้นเขม่าของเชื้อเพลิง E100 ลดลง 50, 98.04 และ 98.2% เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิง E85, E20 และ E0 ตามลำดับ และเมื่อนำกระดาษกรองไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope : SEM) โดยใช้กำลังขยายอยู่ที่ 5,000 เท่า และ 30,000 เท่า จะพบลักษณะการจับตัวของกลุ่มอนุภาคที่จับตัวกันบนกระดาษกรองดังรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.16 การจับตัวของเขม่าของเชื้อเพลิงบนกระดาษกรอง (ก) E0 (ข) E20 (ค) E85 (ง) E100

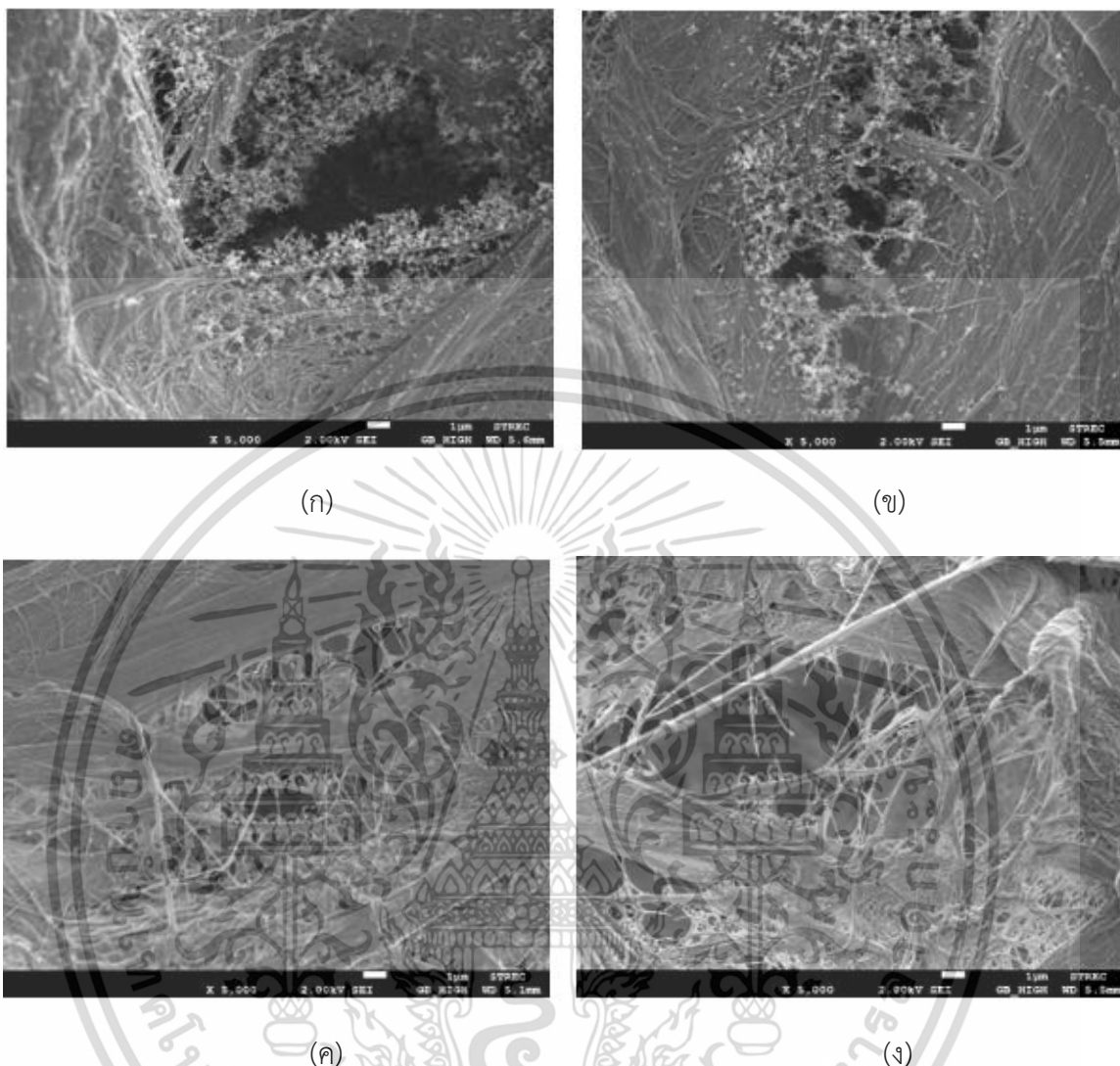


รูปที่ 4.17 ปริมาณความเข้มข้นของเขม่าไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายการจับตัวของเส้นใยของเชื้อเพลิงบนกระดาษกรองจากเครื่องวัดประสิทธิภาพควันท้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยใช้กำลังขยาย 30,000 เท่า (ก) E0 (ข) E20 (ค) E85 (ง) E100

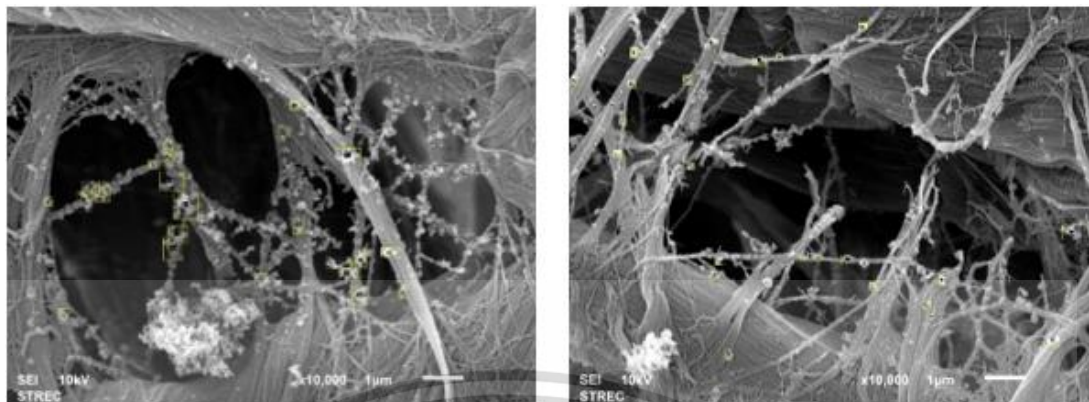
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



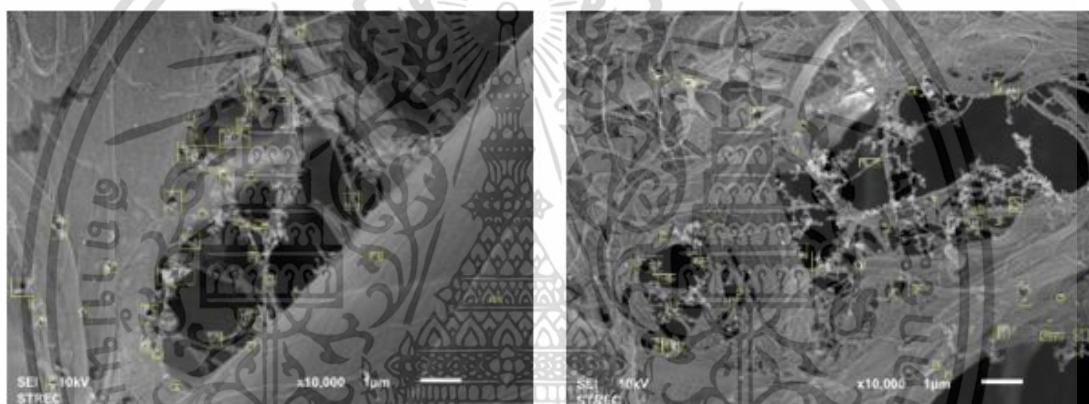
รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายการจับตัวของเขม่าของเชื้อเพลิงบนกระดาศกรงจากเครื่องวัดประสิทธิภาพควันท้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยใช้กำลังขยาย 5,000 เท่า (ก) E0 (ข) E20 (ค) E85 (ง) E100

เมื่อนำเขม่าจากไอเสียของเครื่องยนต์จากเชื้อเพลิง E0, E20, E85 และ E100 ไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope : SEM) จะพบลักษณะการจับตัวของกลุ่มอนุภาคที่จับตัวกันบนกระดาศกรงดังรูปที่ 4.20, 4.21, 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ

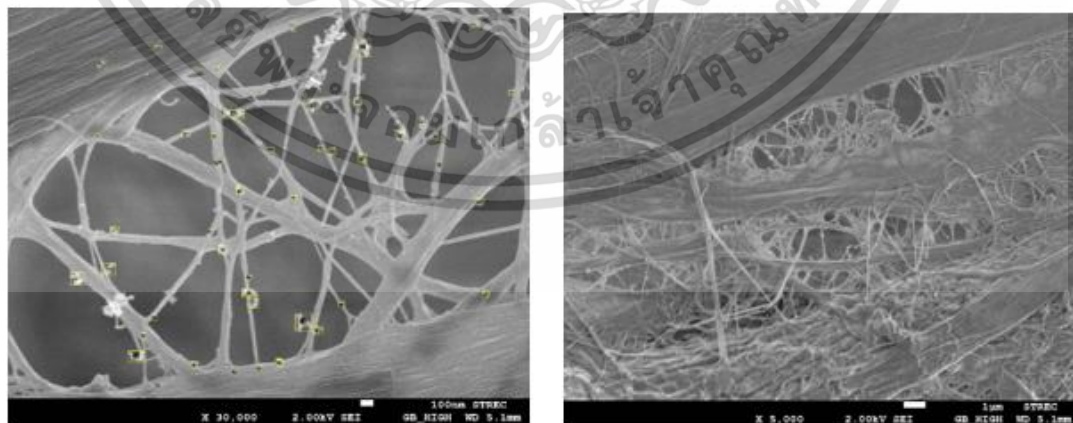
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายการจับตัวของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกระดาษกรองของเชื้อเพลิง E0

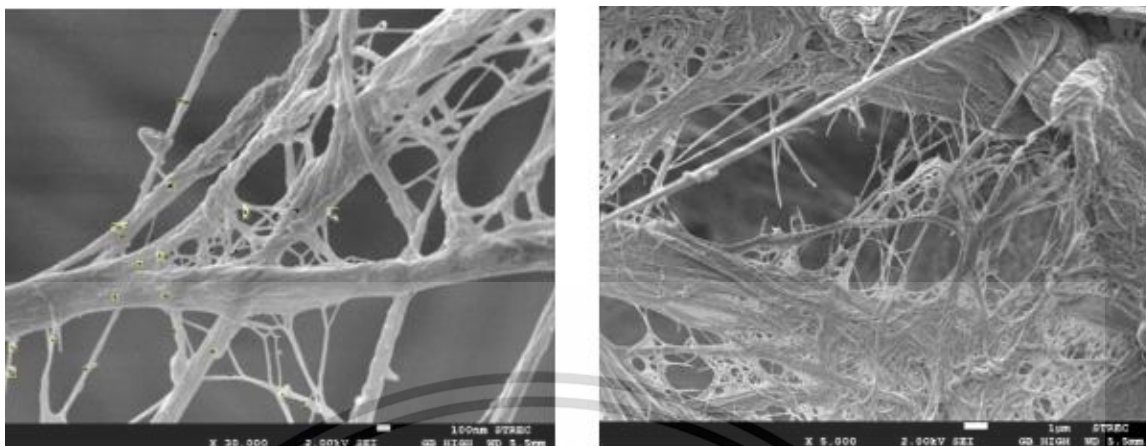


รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายการจับตัวของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกระดาษกรองของเชื้อเพลิง E20



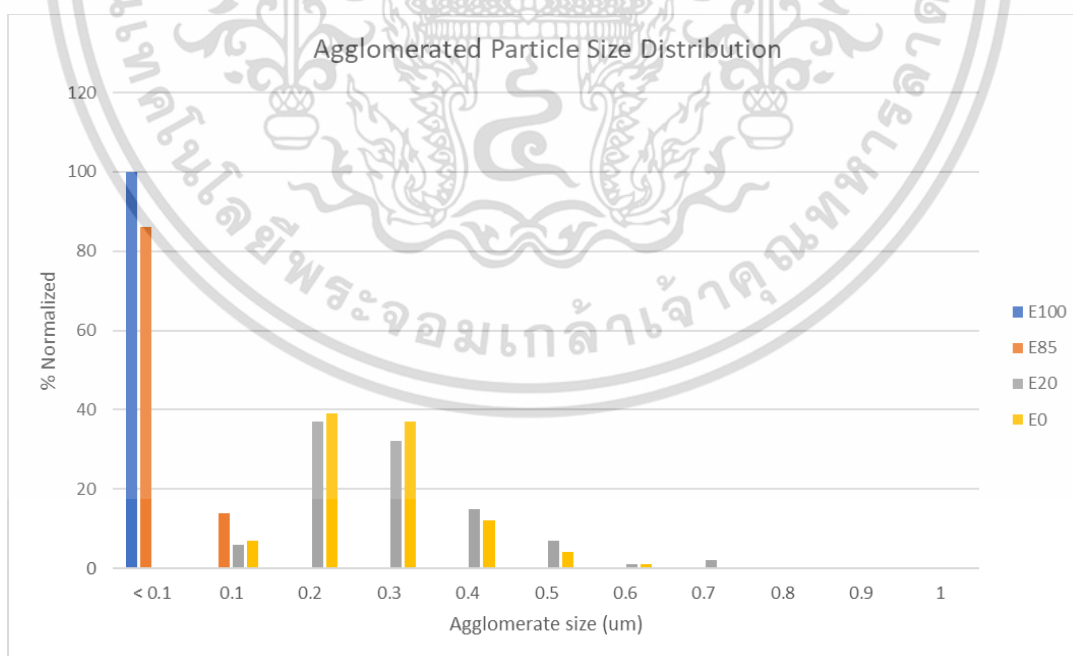
รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายการจับตัวของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกระดาษกรองของเชื้อเพลิง E85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายการจับตัวของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในกระดาศกรองของเชื้อเพลิง E100

จากการวัดขนาดอนุภาคกลุ่มของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0, E20, E85 และ E100 ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.24 พบว่าโดยส่วนใหญ่ขนาดอนุภาคกลุ่มของเขม่าจากเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลมากขึ้น จะส่งผลให้ขนาดของอนุภาคกลุ่มของเขม่ามีขนาดเล็กมากยิ่งขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากคุณสมบัติของเอทานอล มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลจึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นขนาดอนุภาคกลุ่มจึงมีขนาดเล็กลง[12] โดยขนาดของอนุภาคมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.7 μm

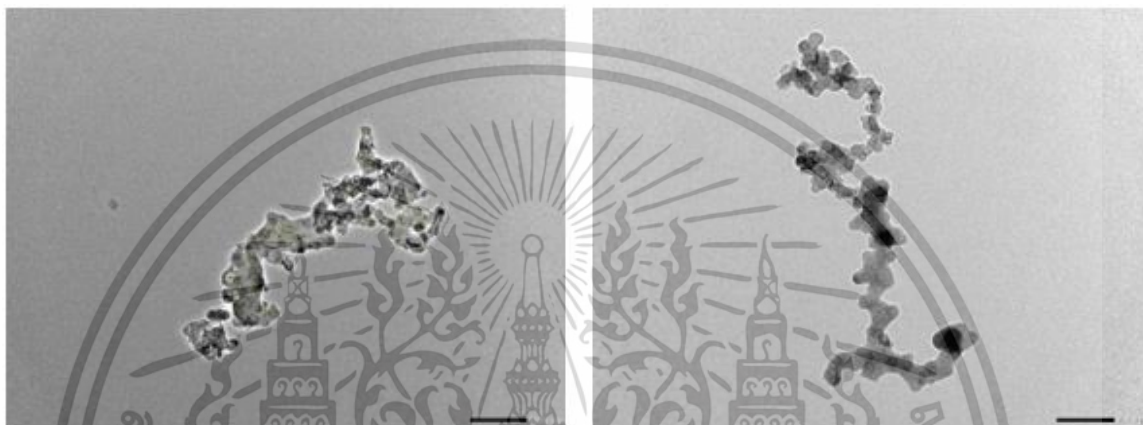


รูปที่ 4.24 ขนาดอนุภาคกลุ่มของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0, E20, E85 และ E100

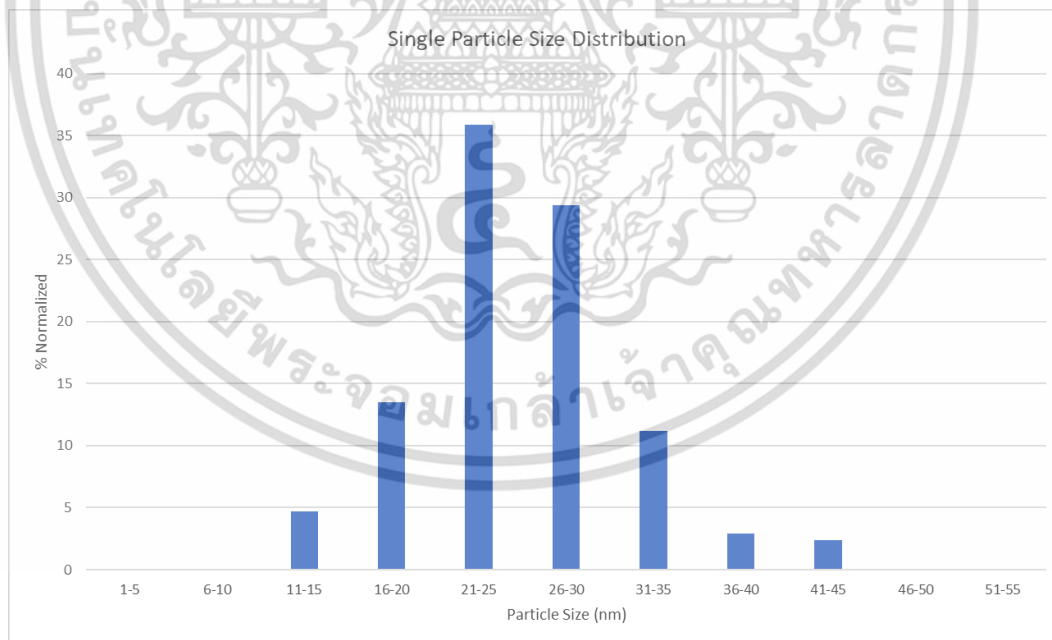
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 โครงสร้างระดับนาโนของอนุภาค (Particulate matter's nanostructure)

จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านเพื่อใช้ในการศึกษาอนุภาคเดี่ยว โดยทำการวิเคราะห์และประมวลผลด้วยโปรแกรม "Image J" จากภาพถ่ายที่มีกำลังขยาย 30,000 เท่า ซึ่งจากการวัดขนาดอนุภาคเดี่ยวของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0 แสดงในรูปที่ 4.26 พบว่าขนาดอนุภาคเดี่ยวส่วนใหญ่มีขนาด 21 nm ถึง 25 nm



รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายอนุภาคกลุ่มโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของเชื้อเพลิง E0

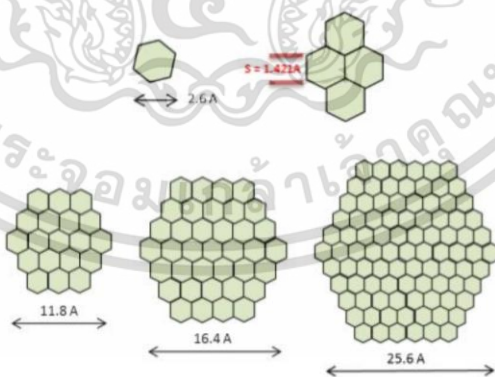


รูปที่ 4.26 ขนาดอนุภาคเดี่ยวของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0

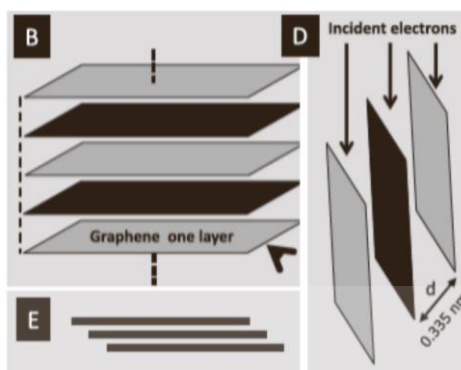
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองอนุภาคของ V. Fernandez-Alos [16] ในรูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างผลึกกราฟีนที่ประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์บอน ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่เป็นไปได้โมเลกุลดังกล่าวจะรวมตัวกันเป็นโครงสร้างผลึกของคาร์บอน จากนั้นกลายเป็นผลึกกราฟีนโดยมีระยะตามทฤษฎีของคาร์บอนที่อยู่ติดกันในวงแหวนหกเหลี่ยมที่ 1.421 Å หรือ 0.1421 นาโนเมตร ดังนั้นการอ้างอิงรูปทรงเรขาคณิตหกเหลี่ยมอย่างง่ายจึงสามารถกำหนดความยาวผลึกต่ำสุดที่เป็นไปได้เนื่องจากโครงสร้างชั้นต่ำของอะตอม C-6 ที่ประมาณความยาวได้ 2.6 Å หรือ 0.26 nm เมื่อโครงสร้างหกเหลี่ยมโตขึ้นขนาดของวงแหวนและความยาวของผลึกจะถูกกำหนดเป็นภาพที่มองเห็นได้และเนื่องจากผลึกกราฟีนมีรูปร่างเป็นชั้นเรียบส่วนของกิ่งก้านที่แตกออกมาจึงไม่ได้ถูกพิจารณาในงานวิจัยนี้

ตามแบบจำลองแนวคิดของ Lipkea [16] สันนิษฐานว่าระยะห่างระหว่างผลึกกราฟีนอยู่ที่ประมาณ 0.35–0.36 นาโนเมตร อย่างไรก็ตามจากการวัดระยะห่างของผลึกกราฟีนที่อยู่ติดกันพบว่ามีระยะห่างประมาณ 0.3 - 0.4 นาโนเมตร นั้นหมายความว่าภาพโครงร่างของผลึกกราฟีน ในกรณีนี้สอดคล้องกับ 1 เส้นขอบต่อ 1 โครงสร้างผลึกกราฟีน จึงทำให้ประมาณได้ว่าสายยาวที่ยาวขึ้นจะมีวงแหวนคาร์บอนจำนวนมากขึ้นในโครงสร้างของผลึกกราฟีน แนวคิดนี้ยังสอดคล้องกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านสมัยใหม่ S. Akhtar [14] อธิบายวิธีวิเคราะห์ภาพจาก TEM ของผลึกกราฟีนดังแสดงในรูปที่ 4.28 ระยะห่างระหว่างระนาบผลึกกราฟีนอยู่ที่ประมาณ 0.335 นาโนเมตร ชั้นผลึกกราฟีนที่พบได้จะขนานกับลำอิเล็กตรอนที่ตกกระทบซึ่งแต่ละชั้นมีเส้นสีดำที่มีระยะห่างประมาณ 0.335 นาโนเมตร

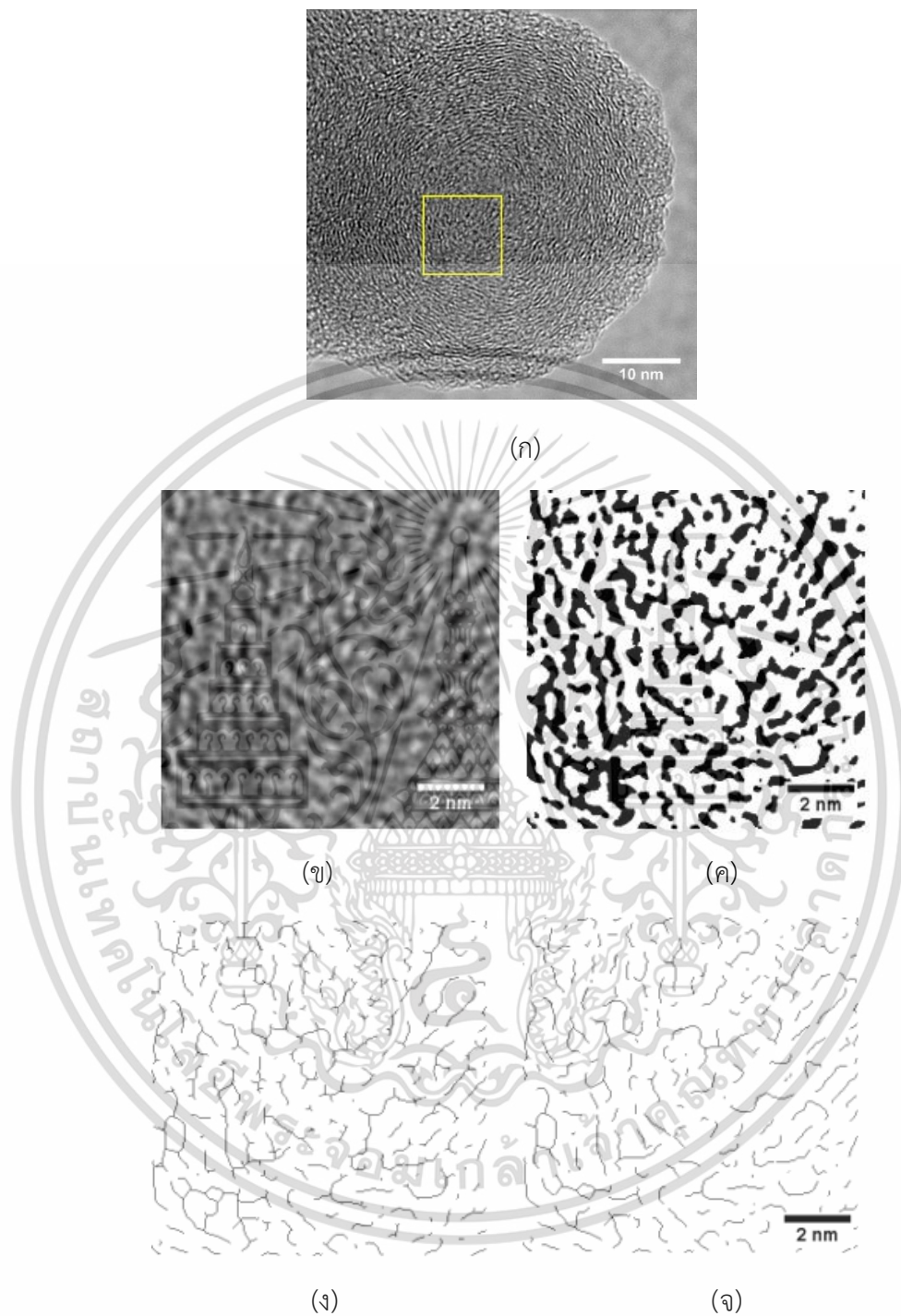


รูปที่ 4.27 แบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนอะตอมกับโครงสร้างของผลึกกราฟีน [16]



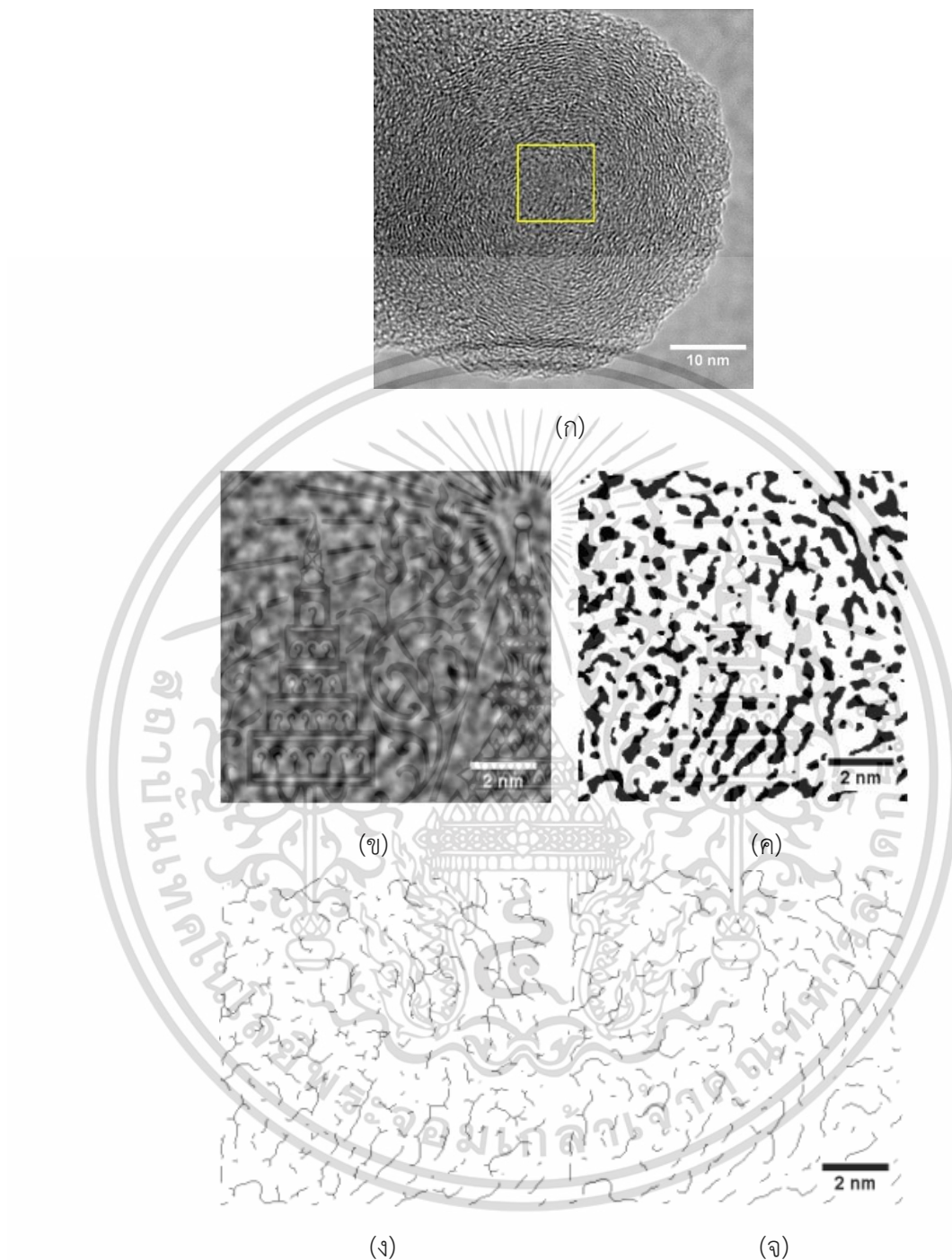
รูปที่ 4.28 แบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระนาบของผลึกกราฟีนในแต่ละชั้น [11]

จากแบบจำลองที่กล่าวมาพบว่าภายในอนุภาคเดี่ยวประกอบด้วยผลึกกราฟีนจำนวนมาก โดยผลึกกราฟีนจากภาพถ่ายจะถูกประมวลผลโดยวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นลำดับไปตามรูปที่ 4.29, 4.30 และ 4.31 จะแสดงภาพของอนุภาคเดี่ยวของเชื้อเพลิง E0 บนพื้นที่ที่สนใจด้วยการวิเคราะห์และประมวลผลภาพจากแบบจำลองด้วยโปรแกรม “Image J” [11][12] ซึ่งสามารถนำความยาวของผลึกกราฟีนที่ได้มาสามารถนำไปคาดการณ์ถึงจำนวนหรือความหนาแน่นของคาร์บอนภายในอนุภาคได้แล้วเมื่อได้จำนวนคาร์บอนมาสามารถนำไปคาดการณ์ถึงน้ำหนัก พฤติกรรม ลักษณะ การไหลภายในท่อไอเสียหรือความแข็งแรงของอนุภาคได้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบอุปกรณ์กำจัดหรือดักกรองอนุภาคภายในเครื่องยนต์ต่อไป



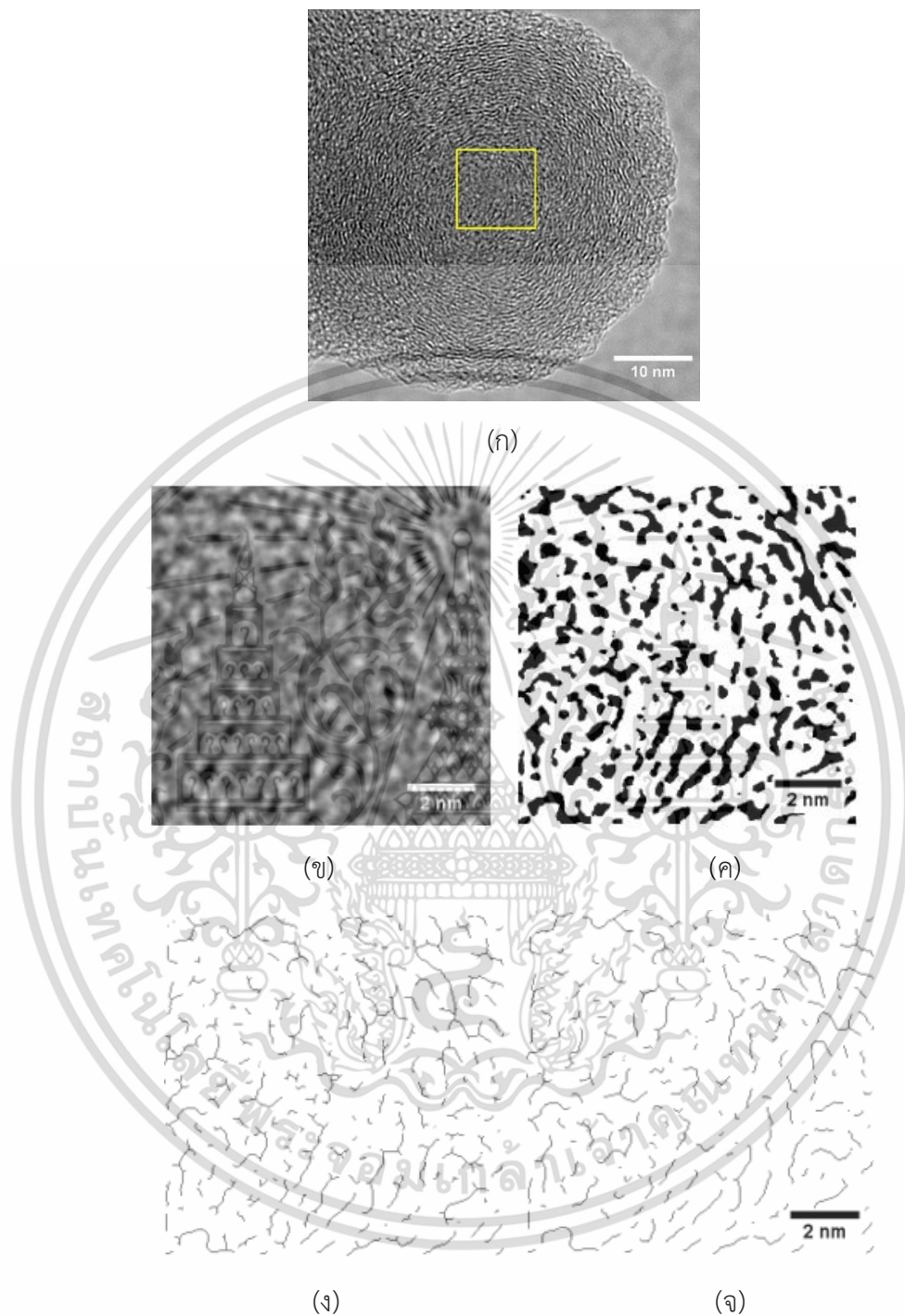
รูปที่ 4.29 กระบวนการวัดขนาดความยาวผลึกกราฟีนของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0 (Outer Shell)
 (ก) ภาพถ่ายอนุภาคเดี่ยว (ข) ภาพตัดขนาด 10x10 nm (ค) ภาพขาว-ดำของอนุภาคเดี่ยว
 (ง) ภาพเส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน (จ) ภาพปรับแก้เส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 กระบวนการวัดขนาดความยาวผลึกกราฟีนของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0 (Transition Zone)
 (ก) ภาพถ่ายอนุภาคเดี่ยว (ข) ภาพตัดขนาด 10x10 nm (ค) ภาพขาว-ดำของอนุภาคเดี่ยว
 (ง) ภาพเส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน (จ) ภาพปรับแก้เส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน

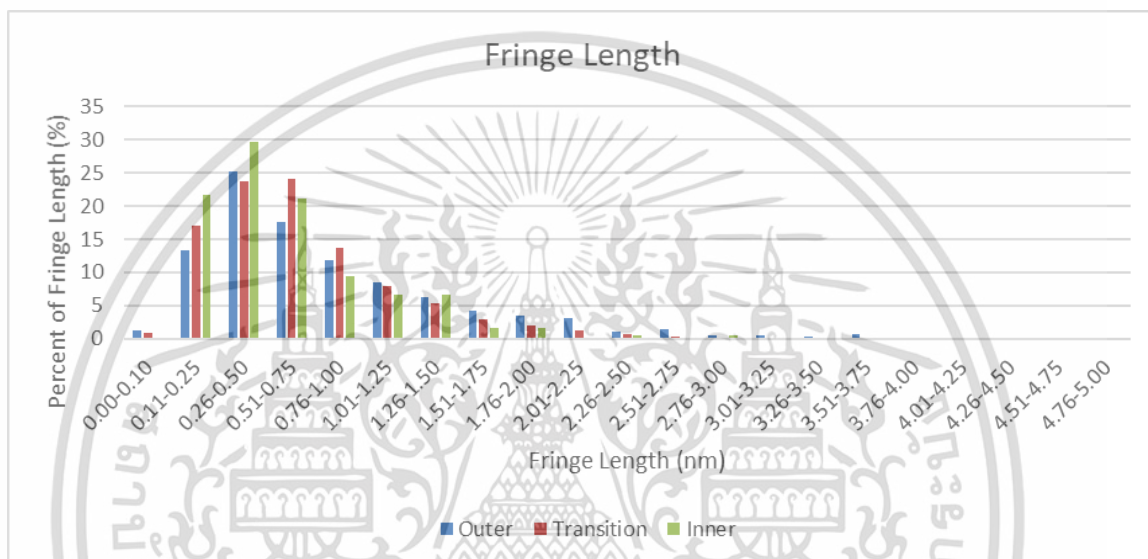
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 กระบวนการวัดขนาดความยาวผลึกกราฟีนของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0 (Inner core)
 (ก) ภาพถ่ายอนุภาคเดี่ยว (ข) ภาพตัดขนาด 10×10 nm (ค) ภาพขาว-ดำของอนุภาคเดี่ยว
 (ง) ภาพเส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน (จ) ภาพปรับแก้เส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกระบวนการวัดขนาดความยาวผลึกกราฟีนของเขม่าจากเชื้อเพลิง EO พบว่าการความยาวผลึกกราฟีนบริเวณ Outer Shell ส่วนใหญ่มีความยาว 0.26 nm ถึง 0.50 nm ความยาวผลึกกราฟีนบริเวณ Transition zone ส่วนใหญ่มีความยาว 0.51 nm ถึง 0.75 nm และความยาวผลึกกราฟีนบริเวณ Inner core ส่วนใหญ่มีขนาด 0.26 nm ถึง 0.50 nm ดังแสดงในรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 ความยาวผลึกกราฟีนของอนุภาคจากเชื้อเพลิง EO ที่บริเวณต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สรุปได้ว่าการเพิ่มอัตราส่วนของเอทานอลในเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (ITE) เพิ่มขึ้นและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบ่งชี้ (ISFC) ต่ำลง เนื่องจากเอทานอลมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบในโมเลกุลส่งผลให้การเผาไหม้ทำได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ถึงแม้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงบ่งชี้ (Indicate specific fuel consumption, ISFC) ของเชื้อเพลิงที่มีเอทานอลผสมในสัดส่วนที่มากขึ้นจะมีค่ามากขึ้นเพราะเพราะค่าความร้อนเนื่องจากการสันดาปต่ำกว่าแก๊สโซลีน แต่อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะบ่งชี้ (Indicate specific energy consumption, ISEC) มีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนของเอทานอลในเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเนื่องจากแก๊สโซลีนมีค่าความร้อนเนื่องจากการสันดาปเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่มากกว่าเอทานอล

การผสมเอทานอลในปริมาณที่มากขึ้นยังมีแนวโน้มทำให้ห้องศจจุดระเบิดที่ส่งผลให้เกิดค่า ITE สูงที่สุดล่วงหน้าก่อนจุดศูนย์ตายบนมากขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากเอทานอลมีคุณสมบัติของการล่าช้าของการจุดระเบิดที่มากกว่าแก๊สโซลีน ในส่วนของกราฟระหว่างความดันและปริมาตร (P-V diagram) พบว่าเมื่อเครื่องยนต์จุดระเบิดในจังหวะที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เชื้อเพลิงที่มีเอทานอลผสมในสัดส่วนที่มากขึ้นจะส่งผลให้ความดันสูงสุดของการเผาไหม้ภายในวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากเอทานอลสามารถช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ในด้านองศาการจุดระเบิดพบว่าเมื่อเพิ่มองศาการจุดระเบิดให้ล่วงหน้ามากขึ้นจะส่งผลให้มีค่าความดันสูงสุดเพิ่มขึ้นเช่นกันเนื่องมาจากการจุดระเบิดนั้นต้องการระยะเวลาที่เพียงพอเพื่อให้เกิดการลามไฟจนถึงจุดวาบไฟสมบูรณ์ที่ตำแหน่งจุดศูนย์ตายบน

จากปริมาณการปล่อยไอเสียพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีปริมาณที่ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในแก๊สโซลีนมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากออกซิเจนอะตอมในเอทานอลช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น ปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) มีปริมาณที่ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในแก๊สโซลีนมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากออกซิเจนอะตอมในเอทานอลช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ส่วนออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ก็มีปริมาณที่ลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การผสมเอทานอลในแก๊สโซลีนมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกันเนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่ลดลงจากการที่เอทานอลมี

ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง ในด้านองศาการจุดระเบิดพบว่าองศาการจุดระเบิดนั้นไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณการปล่อยไอเสียอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มองศาการจุดระเบิดให้สูงขึ้นจะส่งผลให้มีปริมาณการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนที่มากขึ้นเช่นกัน เพราะช่วงเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้นานขึ้น

การศึกษาสัณฐานอนุภาคของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0, E20, E85 และ E100 พบว่าขนาดอนุภาคกลุ่มของเขม่าที่เชื้อเพลิงมีส่วนผสมของเอทานอลมากขึ้น จะส่งผลให้ปริมาณอนุภาคกลุ่มของเขม่ามีปริมาณลดลงตามไปด้วย เนื่องจากคุณสมบัติของเอทานอล มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลจึงทำให้การเผาไหม้ สมบูรณ์ขึ้นปริมาณอนุภาคกลุ่มจึงลดลง

ขนาดอนุภาคเดี่ยวมีขนาดประมาณ 21 ถึง 25 nm และจากกระบวนการวัดขนาดความยาวผลึกกราฟีนของเขม่าจากเชื้อเพลิง E0 พบว่าการความยาวผลึกกราฟีนบริเวณ Outer Shell ส่วนใหญ่มีความยาว 0.26 nm ถึง 0.50 nm ความยาวผลึกกราฟีนบริเวณ Transition zone ส่วนใหญ่มีความยาว 0.51 nm ถึง 0.75 nm และความยาวผลึกกราฟีนบริเวณ Inner core ส่วนใหญ่มีขนาด 0.26 nm ถึง 0.50 nm

บรรณานุกรม

- [1] ชงชัย พรรณสวัสดิ์. 2550. **น้ำมันแก๊สโซฮอล์**. กรุงเทพฯ : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน.
- [2] ยศพล พิมล, วรณชิต ทรัพย์ขำ, วัชรินทร์ ห้วยหงษ์ทอง. 2562. **ผลกระทบของไบโอดีเซลต่อคุณลักษณะมลพิษอนุภาคเขม่าเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบคอมมอนเรล**. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] BOSCH. **Heated wideband oxygen sensor**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://www.boschautoparts.com/documents/101512/0/0/f078fbbf-1c7b-4d83-af73-b81804d09e4b> (25 พฤศจิกายน 2562)
- [4] A. Butmarasri. 2016. **Investigation of Ethanol DISI Engine Performance and Emissions**. Bangkok : King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- [5] C. L. MYUNG, A. KO and S. PARK. 2014. **Review On Characterization Of Nano-Particle Emission And PM Morphology From Internal Combustion Engines**. Korea University.
- [6] F. Zhao, M.-C. Lai and D.L. Harrington. 1999. **Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines**. United Kingdom : Elsevier Science Oxford.
- [7] Kistler Pressure Sensor Type 6052B. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://intertechnology.com/Kistler/pdfs/ACC_6517B_Spark_Plug_Adaptor.pdf (25 พฤศจิกายน 2562)
- [8] Link G4+ Extreme ECU. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://car.boxzaracing.com/accessory/2102/> (30 พฤศจิกายน 2562)
- [9] M. Raza, L. Chen, F. Leach and S. Ding. 2018. **A Review of Particulate Number (PN) Emissions from Gasoline Direct Injection (GDI) Engines and Their Control Techniques**. Beihang University.

- [10] P. Kangkaya. 2016. **The Impact of Injection Timing in Ethanol Fuel on Direct Injection Spark Ignition Engine.** Bangkok : King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
- [11] P. Karin, P. Watanawongskorn, J. Boonsakda, E. Saenkhumvong, S. Rungsritanapaisan, S. Srivarocha, C. Charoenphonphanich. 2017. **Impact of Biodiesel on Small CI Engine Combustion Behavior and Particle Emission Characteristic.** SAE Technical Papers No.2017-32-0094
- [12] P. Karin, W. Amornprapa, P. Khamrsisuk, P. Budsayahem, P. Chammana, K. Sriprapha and K. Hanamura. 2017. **Effect of Biofuel and Soot on Metal Wear Characteristic Using Electron Microscopy and 3D Image Processing.** SAE Technical Papers No.2017-32-0095
- [13] R. Keskgam. 2016. **Study of direct injection spark ignition (DISI) engine with high compression ratio for alternative fuel.** Bangkok : King Mongkut' s Institute of Technology Ladkrabang.
- [14] S. Akhtar. 2012. **Transmission Electron Microscopy of Graphene and Hydrated Biomaterial Nanostructures.** Uppsala, Acta Universitatis Upsaliensis.
- [15] **Scanning and Transmission Electron Microscopy (SEM & TEM).** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://kanokwan09.wordpress.com/nano/sem/> (30 พฤศจิกายน 2562)
- [16] V. Fernandez-Alos, J. Watson, R. Vander Wal, and J. Mathews. 2011. **Soot and char molecular representations generated directly from HRTEM lattice fringe images using Fringe3D.** Combustion and Flame, 158(9), pp.1807-1813,
- [17] W. Piock, G. Hoffmann, A. Berndorfer, P. Salemi and B. Fusshoeller. 2011. **Strategies Towards Meeting Future Particulate Matter Emission Requirements in Homogeneous Gasoline Direct Injection Engines.** Luxembourg : Delphi Powertrain Systems.

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้