

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟประสิทธิภาพสูงโดยใช้การฉีดตรง
ระบบอัดอากาศและการนำไอเสียกลับมาใช้

HIGH EFFICIENCY SI ENGINE USING DIRECT INJECTION
SUPERCHARGING AND EXHAUST GAS RECIRCULATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟประสิทธิภาพสูงโดยใช้การฉีดตรง
ระบบอัดอากาศและการนำไอเสียกลับมาใช้

HIGH EFFICIENCY SI ENGINE USING DIRECT INJECTION
SUPERCHARGING AND EXHAUST GAS RECIRCULATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HIGH EFFICIENCY SI ENGINE USING DIRECT INJECTION
SUPERCHARGING AND EXHAUST GAS RECIRCULATION



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
2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2560
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟประสิทธิภาพสูงโดยใช้การฉีดตรง ระบบอัดอากาศ
และการนำไอเสียกลับมาใช้
HIGH EFFICIENCY SI ENGINE USING DIRECT INJECTION SUPERCHARGING
AND EXHAUST GAS RECIRCULATION

ผู้จัดทำ

1. นาย วิสสุต อนันต์อื้อ รหัสประจำตัว 57011196
2. นาย วัชรพงศ์ อินทร์กลิ่น รหัสประจำตัว 57011148
3. นางสาว รชภรณ์ แผงสภา รหัสประจำตัว 57011043



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟประสิทธิภาพสูงโดยใช้การฉีดตรง ระบบอัดอากาศและการนำไอเสียกลับมาใช้

นายวิสูตร	อนันต์	57011196
นายวัชรพงศ์	อินทร์กลิ่น	57011148
นางสาวรชภรณ์	แพ่งสภา	57011043
ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2560		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาผลกระทบของระบบหมุนเวียนไอเสีย (EGR system) จากการติดตั้งระบบอัดบรรจุอากาศ (Supercharger) ในเครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (DISI engine) เนื่องจากระบบหมุนเวียนไอเสียช่วยให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ลดลง จึงมีความน่าสนใจในการถูกนำมาทำการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์ วิธีการศึกษาผลกระทบของระบบหมุนเวียนไอเสียนี้จะใช้ การควบคุมอัตราส่วนผสมอากาศ - เชื้อเพลิงและการปรับองศาการจุดระเบิด จุดมุ่งหมายของการทดลองนี้คือการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน การลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) และปรับองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสม จากการทดลองติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสีย (EGR system) และระบบอัดอากาศ (Supercharger) ในเครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (DISI engine) ทดลองที่สภาวะโหลดสูงสุด (WOT), มีบูสที่ 0.1 และ 0.3 บาร์, รอบคงที่ 1500 รอบต่อนาที, ส่วนผสมเชื้อเพลิงและอากาศที่เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ และ เพิ่มอัตราส่วน EGR จนถึง 16% ผลที่ได้คือ ที่สภาวะ บูส 0.1 บาร์, EGR 13% และจุดระเบิดที่ตำแหน่ง 27 bTDC ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) ลดลง 4.99% และประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) เพิ่มขึ้น 1.32%

HIGH EFFICIENCY SI ENGINE USING DIRECT INJECTION SUPERCHARGING AND EXHAUST GAS RECIRCULATION

Wissut Ananaue 57011196
Watcharapong Intraklan 57011148
Rachaporn Pangsapa 57011043
Ast.Prof.Dr.Chinda Charoenphonphanich Advisor
Year 2017

ABSTRACT

This research studies about effect of exhaust gas recirculation in supercharged DISI engine. The exhaust gas recirculation system will reduce the temperature of combustion chamber. This point makes EGR system interesting for doing the experiment for increasing engine efficiency. For this research, the engine efficiency is improved by controlling air-fuel ratio and advancing ignition timing. The expected results are, higher thermal efficiency, lower break specific fuel consumption and appropriate ignition timing. From installing EGR system and supercharger, this experiment was attempted at highest load (WOT), 0.1 and 0.3 bar boost conditions, constant speed at 1500 rpm, stoichiometric air-fuel ratio and additional amount of EGR% from 0% until 16%. The result is when the condition is at Boost 0.1 bar with 13% EGR and ignition timing is 27 bTDC, BSFC was decrease 4.99% otherwise thermal efficiency was increase 1.32%.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เสมอมาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ และรุ่นพี่รุ่นน้องที่เข้ามาให้ความช่วยเหลือได้แก่ นายวีรยุทธ วงศ์ภัทรวรกุล นายวทัญญู ไพโรจน์ และคนอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึง ไม่ว่าจะเป็นการสนับสนุนด้านแรงงานก็ดีด้านความรู้ก็ดี ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และชมรม Automotive ที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์และสถานที่ที่ใช้ในโครงการนี้

ท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยิ่งให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายวิสูตร

อนันต์

นายวัชรพงศ์

อินทร์ลั่น

นางสาวรชภรณ์

แพ่งสภา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ 4 จังหวะ.....	5
2.3 เครื่องยนต์แก๊สโซลีนหัวฉีดตรง.....	6
2.3.1 รูปแบบการทำงานของเครื่องยนต์หัวฉีดตรง.....	7
2.4 อัตราส่วน อากาศ – เชื้อเพลิง.....	9
2.4.1 Stoichiometric Air - Fuel Ratio.....	9
2.5 แก๊สโซลีน.....	10
2.5.1 ค่าออกเทน.....	10
2.6 แก๊สโซฮอล.....	10
2.7 ความจุความร้อนและความจุความร้อนจำเพาะ.....	10
2.8 ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ.....	11
2.9 กำลังเบรก.....	11
2.10 การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง.....	11
2.11 ค่าความร้อน.....	12
2.12 ค่าประสิทธิภาพความเชิงความร้อน.....	12
2.13 ระบบหมุนเวียนไอเสีย.....	13
2.13.1 การคำนวณหาปริมาณไอเสีย.....	14
2.14 การน็อค.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.1 วิธีลดการเกิดน้ำอืด.....	18
2.15 อองศาการจุดระเบิด.....	19
2.15.1 อองศาการจุดระเบิดที่ได้กำลังสูงสุด.....	19
2.16 ตัวอัดบรรจุก๊าซ.....	20
บทที่ 3 อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง และขั้นตอนการทดลอง.....	20
3.1 แผนผังและอุปกรณ์การทดลอง.....	20
3.1.1 เครื่องยนต์.....	20
3.1.2 กล่อง ECU.....	22
3.1.3 ชุดชุดปั๊มเปอร์ซาร์จเจอร์.....	23
3.1.4 ไดนาโมมิเตอร์.....	24
3.1.5 ระบบควบคุมและบันทึกผล.....	25
3.1.6 ระบบระบายความร้อน.....	28
3.1.7 ออกซิเจนเซนเซอร์.....	30
3.1.8 ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลลาข้อเหวี่ยง.....	32
3.1.9 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง.....	33
3.1.10 ตัวตรวจจับความดันในท่อไอดี.....	34
3.1.11 ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำมันและหม้อน้ำ.....	35
3.1.12 ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศในท่อไอดี.....	36
3.2 ขั้นตอนการทดลองในภาพรวม.....	37
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	37
3.4 ตัวชี้วัดผลการทดลอง.....	37
3.5 ข้อจำกัดของการทดลอง.....	38
บทที่ 4 ผลการทดลองและบทวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	40
4.1 ผลวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองด้วยวิธีการทางสถิติ.....	40
4.2 แรงบิด.....	44
4.3 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค.....	48
4.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน.....	52
4.5 อองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสม.....	54
4.6 อุณหภูมิไอเสีย.....	55
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	56

4.1 สรุปผลการทดลอง.....	56
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	57
เอกสารอ้างอิง.....	58
บรรณานุกรม.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงข้อดีและข้อเสียของเครื่องยนต์แต่ละประเภท.....	6
2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างการหมุนเวียนไอเสียเย็นและการหมุนเวียนไอเสียร้อน.....	12
3.1 แสดงคุณสมบัติของเครื่องยนต์.....	20
3.2 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E - 85.....	21
3.3 แสดงคุณสมบัติของ Engine Dynamo Meter.....	23
3.4 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบ EGR แบบมี และไม่มี การหล่อเย็นไอเสีย.....	29
3.5 แสดงคุณสมบัติของตัวอ่าน Oxygen Sensor.....	31
4.1 แสดง ANOVA Table วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม spss.....	40
4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของ BSFC ในสภาวะต่างๆ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม spss.....	40
4.3 แสดงแรงบิดที่ได้จากเงื่อนไขการทดลองต่างๆ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม spss.....	44
4.4 แสดงความสัมพันธ์เชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่ได้จากเงื่อนไขการทดลองต่างๆ และวิเคราะห์ ข้อมูลด้วยโปรแกรม spss.....	48
4.5 แสดงองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมที่แรงบิดสูงสุดในสภาวะ Boost ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม spss.....	54

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพความดันและปริมาตรของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ 4 จังหวะ.....	5
2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P-V และ T-S ไดอะแกรม แสดงถึงการเปรียบเทียบของ Otto cycle, Diesel cycle และ Dual cycle ที่สภาวะและอัตราส่วนกำลังอัดเดียวกัน.....	6
2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P-V และ T-S ไดอะแกรม แสดงถึงการเปรียบเทียบของ Otto cycle, Diesel cycle และ Dual cycle ที่สภาวะอุณหภูมิสูงสุดและความดันสูงสุดเดียวกัน.....	6
2.4 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องยนต์.....	7
2.5 Homogeneous and Stratified - Charge Mode.....	9
2.6 GDI Engine Operating Modes Depending on Load and Speed.....	9
2.7 แผนภาพวงจรของระบบหมุนเวียนไอเสีย.....	13
2.8 ค่า BMEP สูงสุด ที่ฟังก์ชันของร้อยละการหมุนเวียนไอเสียและองศาการจุดระเบิด.....	14
2.9 ระบบการหมุนไอเสียแบบความดันต่ำ และระบบการหมุนเวียนไอเสียแบบความดันสูง.....	15
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอดีและไอเสียกับความเร็รรอบของเครื่องยนต์.....	15
2.11 แสดงตัวอย่างวัฏจักรการเกิดน็อค.....	16
2.12 แสดงวัฏจักรการเกิดน็อค.....	16
2.13 แผนภาพความดันและปริมาตรของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ 4 จังหวะ แบบที่มีตัวอัดอากาศและไม่มีตัวอัดอากาศ.....	19
3.1 แผนผังการทดลอง.....	20
3.2 กล่อง ECU.....	22
3.3 ชุดซูปเปอร์ชาร์จเจอร์.....	23
3.4 แท่นตัวยึดจับตัวซูปเปอร์ชาร์จเจอร์.....	23
3.5 แท่นวางมอเตอร์ใช้สำหรับปั่นชุดซูปเปอร์ชาร์จเจอร์.....	24
3.6 Cooling Tower สำหรับหล่อเย็น Engine Dynamometer.....	25
3.7 Interface โดยรวมของโปรแกรม LabView.....	25
3.8 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabView ผังซ้าย.....	26
3.9 Interface ผังขวาของโปรแกรม LabView.....	27
3.10 Interface ผังขวาของโปรแกรม LabView ขยายบริเวณสภาวะการทดลอง.....	28
3.11 Interface ผังขวาของโปรแกรม LabView ขยายบริเวณเชื้อเพลิงและระบบหล่อเย็น.....	28
3.12 หม้อน้ำระบายความร้อนรถยนต์.....	29
3.13 อินเทอร์คูลเลอร์ลดความร้อนเข้าห้องไอดี.....	29
3.14 ระบบ EGR แบบ (a) Low Pressure Loop และ (b) High Pressure Loop.....	30

3.15 ส่วนประกอบของ Oxygen Sensor.....	31
3.16 Oxygen Sensor พร้อมตัวอ่าน.....	32
3.17 ความต่างศักย์ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำที่ตรวจจับได้ มีค่าเป็นบวกเมื่อแม่เหล็กเคลื่อนที่ เข้าหาขดลวด.....	33
3.18 แสดงการติดตั้งและรับข้อมูล ระหว่างกล่อง ECU กับตัวตรวจจับตำแหน่งเพลลาข้อเหวี่ยง.....	33
3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออกกับตำแหน่งเปิด - ปิดลิ้นเร่ง.....	34
3.20 แผนผังวงจรทางไฟฟ้าของตำแหน่งเปิด - ปิดลิ้นเร่ง.....	34
3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออกกับความดันในท่อไอดี.....	35
3.22 แผนผังวงจรทางไฟฟ้าของตัวตรวจจับความดันในท่อไอดี.....	35
3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ทางไฟฟ้ากับอุณหภูมิน้ำมันเครื่องยนต์.....	36
3.24 แผนผังวงจรทางไฟฟ้าของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง.....	36
3.25 แผนผังวงจรตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศในท่อไอดี.....	36
3.26 แผนผังการทดลอง.....	38
4.1 กราฟแสดง Main Effect ของ Boost ที่มีผลต่อ BSFC โดยใช้โปรแกรม spss.....	42
4.2 กราฟแสดง Main Effect ของปริมาณไอเสียที่มีผลต่อ BSFC โดยใช้โปรแกรม spss.....	42
4.3 กราฟแสดง Interaction ระหว่างปริมาณไอเสียและ Boost ที่มีผลต่อ BSFC โดยใช้ โปรแกรม spss.....	45
4.4 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างองศาการจุดระเบิดและแรงบิด ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost ต่างๆ เมื่อไม่มีการใช้ระบบ EGR โดยใช้โปรแกรม spss.....	41
4.5 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างองศาการจุดระเบิดและแรงบิด ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost 0.1 และมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ โดยใช้โปรแกรม spss.....	46
4.6 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างองศาการจุดระเบิดและแรงบิด ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost 0.3 และมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ โดยใช้โปรแกรม spss.....	47
4.7 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างองศาการจุดระเบิดและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรค ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost 0.1 และมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ โดยใช้โปรแกรม spss.....	49
4.8 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างองศาการจุดระเบิดและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรค ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost 0.3 และมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ โดยใช้โปรแกรม spss.....	50
4.9 พื่นผิวความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอเสีย Boost และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค ที่เกิดขึ้นในสภาวะต่างๆ.....	51
4.10 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอเสียและประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost 0.1 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ไม่มี Boost และไม่มี EGR.....	52

- 4.11 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอเสียและประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่เกิดขึ้นในสถานะ Boost 0.1 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ไม่มี Boost และไม่มี EGR..... 53
- 4.12 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างองศาการจุดระเบิดและอุณหภูมิไอเสีย (ก) ที่เกิดขึ้นในสถานะ Boost ต่างๆ เมื่อไม่มีการใช้ระบบ EGR และ (ข) ที่สถานะ Boost 0.1 และ (ค) 0.3 ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม spss..... 55



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเครื่องยนต์สันดาปภายในจุดระเบิดด้วยประกายไฟยังคงเป็นต้นกำลังที่นิยมใช้กันอยู่มากในด้านอุตสาหกรรม และการขนส่งเนื่องจากความสะดวกในการใช้งาน การซ่อมบำรุง ราคาที่ไม่สูงจนเกินไป และก่อให้เกิดมลพิษต่ำ ทั้งนี้ยังมีอีกหลายปัจจัยในการใช้งานเครื่องยนต์เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าจากการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิง หากเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพจริงและค่าประสิทธิภาพทางทฤษฎีของเครื่องยนต์สันดาปภายในจุดระเบิดด้วยประกายไฟแล้ว ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สันดาปภายในจุดระเบิดด้วยประกายไฟนั้นยังสามารถปรับปรุงได้อีกมาก หากแต่การเพิ่มประสิทธิภาพนั้นยังต้องมีการปรับปรุงสภาวะใดๆเพิ่มเติมเพื่อให้ได้มาซึ่งกำลังงานที่สูงขึ้น จึงเกิดเป็นความคิดริเริ่มในการศึกษาผลกระทบของระบบหมุนเวียนไอเสียจากการติดตั้งตัวอัดบรรยากาศในเครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟว่ามีผลต่อการใช้เครื่องยนต์ประเภทนี้อย่างไร

เมื่อเปรียบเทียบการทำงานของวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ วัฏจักรออตโตมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะอัตราส่วนกำลังอัดเท่ากัน เนื่องจากวัฏจักรออตโตได้เกิดการสันดาปที่สภาวะความปริมาตรคงที่ แต่ในความเป็นจริงแล้วเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ทำงานเป็นวัฏจักรออตโต ไม่สามารถเกิดการสันดาปที่ปริมาตรคงที่ และมีอัตราส่วนกำลังอัดที่สูงได้ เนื่องจาก เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ทำงานเป็นวัฏจักรออตโต มีการฉีดเชื้อเพลิงผสมกับอากาศในช่วงจังหวะอัด จึงเกิดการน็อคได้ทำให้ไม่สามารถเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดได้สูง ด้วยเหตุนี้จึงต้องปรับตำแหน่งการจุดระเบิดล่าช้า (Retard) ซึ่งทำให้การสันดาปเกิดหลังตำแหน่ง TDC ทำให้ไม่สามารถเกิดการสันดาปที่ปริมาตรคงที่ได้ ด้วยเหตุนี้ EGR เป็นวิธีที่สามารถลดการเกิดน็อคได้ ดังนั้นการติดตั้งระบบ EGR จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้โดย การเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดและการปรับตำแหน่งจุดระเบิดล่วงหน้า (Advance) เพื่อให้เกิดการสันดาปใกล้เคียงตำแหน่ง TDC มากขึ้น

เครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (DISI Engine) ในปัจจุบันเป็นที่นิยมมากเนื่องจากมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง และก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากไอเสียน้อยกว่าเครื่องยนต์หัวฉีดเชื้อเพลิงในท่อไอดี (PFI Engine) เครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (DISI Engine) สามารถทำงานได้ในสภาวะส่วนผสมบาง (Ultra-Lean Burn or Stratified Charge) ในสภาวะเครื่องยนต์ที่มีภาระโหลดต่ำหรือปานกลาง โดยหัวฉีดจะฉีดเชื้อเพลิงในช่วงปลายจังหวะอัด (Compression Stroke) โดยมีส่วนผสมน้ำมันที่หน้าบริเวณหัวเทียน (Spark Plug) และส่วนผสมน้ำมันที่บางในบริเวณอื่น จึงทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้ในอัตราส่วนผสมอากาศต่อน้ำมันที่ 25 ต่อ 1

ถึง 40 ต่อ 1 มีผลทำให้เครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงในปริมาณที่ต่ำ แต่ทำให้เกิดมลพิษปริมาณมาก เนื่องจากในห้องเผาไหม้มีอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่หลากหลาย (Air-Fuel Ratio) ที่บริเวณหัวเทียนจะมีส่วนผสมที่หนา และในตำแหน่งอื่นๆในห้องเผาไหม้มีส่วนผสมที่บาง เมื่อหัวเทียนจุดระเบิด มลพิษจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีส่วนผสมหนา

ในสภาวะภาระสูง (High Load) เครื่องยนต์จะทำงานในสภาวะเชื้อเพลิง-อากาศเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Charge) หัวฉีดจะฉีดเชื้อเพลิงในส่วนตอนต้นจังหวะอัด ทำให้เชื้อเพลิง-อากาศผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ การระเหยของเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ทำให้อุณหภูมิของไอดีเอ็นลง จึงทำให้เครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (DISI Engine) เพิ่มอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) ได้ถึง 12 ถึง 14 ส่งผลให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) มากกว่าเครื่องยนต์หัวฉีดเชื้อเพลิงในท่อไอดี (PFI Engine)

การติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสีย (EGR System) ในปัจจุบันเป็นที่นิยมอยู่มากในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากสามารถลดระดับก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ที่เกิดจากการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ ซึ่งจำเป็นต่อการผ่านมาตรฐานการปล่อยมลพิษจากไอเสีย หากแต่ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟนั้นมีการเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ในไอดีน้อยกว่าเครื่องยนต์ดีเซลอยู่แล้ว ระบบหมุนเวียนไอเสียแต่ละรุ่นนั้นส่วนใหญ่ทำงานคล้ายคลึงกัน โดยมีระบบอิเล็กทรอนิกส์สำหรับตรวจจับ และควบคุมปริมาณก๊าซ แล้วทำการหมุนเวียนก๊าซเสียกลับมาใช้เป็นปริมาณสูงสุดถึง 40% และระบบหมุนเวียนไอเสีย (EGR System) ยังช่วยลดการเกิดน็อคของเครื่องยนต์ เนื่องจากก๊าซไอดีเสียมีค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) สูงกว่าอากาศ และการลามของเปลวไฟ (Flame Speed) ช้ากว่าอากาศ ทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ลดลง จึงทำให้ลดการน็อคของเครื่องยนต์ได้ ซึ่งในทางกลับกันนั้นเป็นการเพิ่มภาระให้กับน้ำมันเครื่องในการทำหน้าที่ควบคุมปริมาณเขม่า ความร้อน และการเกิดตะกอนภายในเครื่องยนต์ ดังที่กล่าวมานี้เราสามารถแก้ไขได้ด้วยการติดตั้งระบบอัดบรรจุอากาศ และการปรับปรุงเทคนิคการติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสีย

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาและปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถติดตั้งตัวอัดบรรจุอากาศในระบบหมุนเวียนไอเสียได้

1.2.2 ศึกษาผลกระทบของระบบหมุนเวียนไอเสียจากการติดตั้งตัวอัดบรรจุอากาศในเครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ

1.2.3 เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 เครื่องยนต์ 4G93 GDI ที่ติดตั้งตัวอัดบรรจุอากาศ (Supercharger) และ ระบบหมุนเวียนไอเสีย (EGR System)

- 1.3.2 เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล E-85
- 1.3.3 ทดลองโดยใช้อุปกรณ์ Eddy Current Engine Dynamometer
- 1.3.4 ทดลองที่การเปิดลิ้นปีกผีเสื้อสูงสุด (Wide Open Throttle)
- 1.3.5 ทดลองโดยใช้ภาระโหลดสูงสุด ที่รอบคงที่ 1500 รอบต่อนาที
- 1.3.6 Boost จากตัวอัดบรรยากาศ (Supercharge) อยู่ที่ 0 ถึง 0.3 บาร์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจในการทำงานของเครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟสี่จังหวะ
- 1.4.2 มีความรู้ความเข้าใจในการทำงานของระบบอัดบรรยากาศ และระบบหมุนเวียนไอเสีย
- 1.4.3 ทราบผลกระทบของระบบหมุนเวียนไอเสียจากการติดตั้งตัวอัดบรรยากาศในเครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ
- 1.4.4 มีความรู้ความเข้าใจการทำงานของ Eddy current engine dynamometer
- 1.4.5 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์ DISI ได้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ Thomas Lattimore[6] ได้ทำการทดลองผลกระทบของระบบหมุนเวียนไอเสีย (EGR System) ต่อการเผาไหม้ และมลพิษในเครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (DISI Engine) เพื่อหาผลของความดัน และอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ องศาการจุดระเบิด และปริมาณการบริโภคเชื้อเพลิงพบว่า การใช้ระบบหมุนเวียนไอเสีย (EGR System) อย่างเหมาะสม ทำให้ความดันในกระบอกสูบเพิ่มขึ้น โดยการปรับองศาการจุดระเบิดเพื่อให้ได้องศาที่เหมาะสมที่สุด และทำให้อุณหภูมิของห้องเผาไหม้ลดลง จึงมีผลทำให้การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (ISFC) ลดลงอีกด้วย ในด้านมลพิษระบบหมุนเวียนไอเสีย (EGR System) สามารถลดการเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่ทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน (HC) มากขึ้นตามปริมาณ EGR ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kai Shen ที่ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการใช้ระบบหมุนเวียนไอเสียหล่อเย็นแบบความดันต่ำ (Low Pressure Cooled EGR System) ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนหัวฉีดตรง (GDI engine) ที่มีการติดตั้งเทอร์โบชาร์จเจอร์ (Turbocharger) ต่อประสิทธิภาพ และมลพิษ พบว่าปริมาณไอเสียที่นำกลับมาใช้อย่างเหมาะสม ช่วยลดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ เนื่องจากการเจือจางไอดีด้วยระบบหมุนเวียนไอเสีย (EGR System) ทำให้ส่วนผสมในห้องเผาไหม้มีค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) สูงขึ้น สามารถปรับเปลี่ยนองศาการจุดระเบิดให้เหมาะสมมากขึ้น จึงมีผลทำให้ได้ความดันในห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น และเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (BFSC) ลดลง

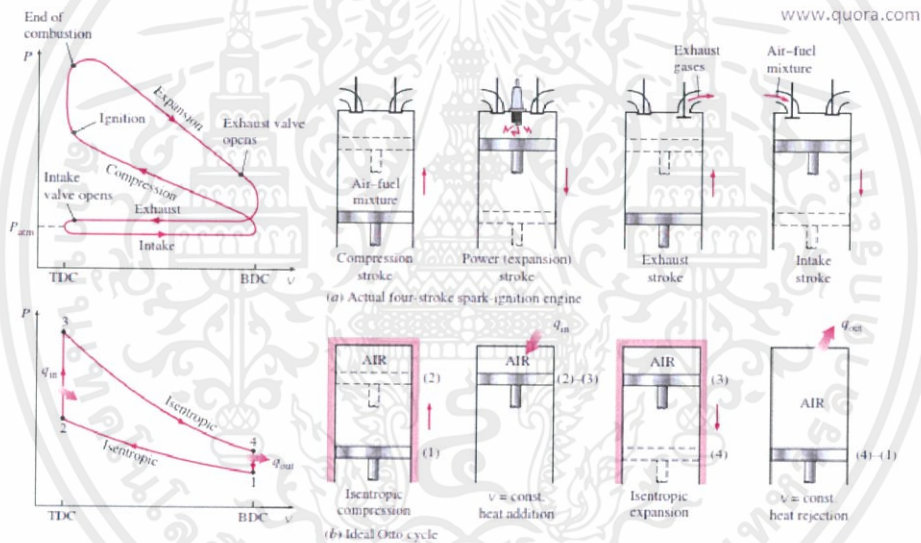
งานวิจัยของ Zhi Wang[9] ศึกษาการเกิดน็อคในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ พบว่าระบบหมุนเวียนไอเสียแบบหล่อเย็น (Cooled EGR) สามารถลดการเกิดน็อคได้ และยังเพิ่มความดันเฉลี่ยเบรค (BMEP) โดยการปรับองศาการจุดระเบิดให้เหมาะสมมากขึ้น เนื่องจากระบบหมุนเวียนไอเสียแบบหล่อเย็น (Cooled EGR) ทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ต่ำกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการน็อค จึงสามารถปรับเปลี่ยนองศาการจุดระเบิดได้กว้างมากขึ้น นอกเหนือจากนี้ในงานวิจัยของ Jianye Su[3] นี้ได้ทำการดัดแปลงเครื่องยนต์โดยการเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัด (Compression Ratio) ของเครื่องยนต์จาก 9.3 เป็น 10.3 และติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสียแบบหล่อเย็น (Cooled EGR) ผลที่ได้จากการเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัด (Compression Ratio) คือประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (Brake Thermal Efficiency) เพิ่มขึ้น 1.1 เปอเซ็นต์ ในสภาวะโหลดต่ำ แต่ลดลง 0.2 เปอเซ็นต์ ในสภาวะโหลดสูง เนื่องจากการปรับองศาการจุดระเบิดให้อ่อนลง (Retard) เพื่อไม่ให้เกิดการน็อค ผลที่ได้จากการ

ติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสียแบบหล่อเย็น (Cooled EGR) คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (Brake Thermal Efficiency) เพิ่มขึ้นทุกสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์และสูงสุด 3.3 เปอร์เซ็นต์

2.2 เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ 4 จังหวะ (4 Stroke SI Engine)

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ[7] 4 จังหวะ (4 Stroke SI Engine) คือเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยหัวเทียน หัวเทียนจะมีแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อทำให้ส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศในห้องเผาไหม้ลุกไหม้ จะมีการทำงานแบบวัฏจักรออตโต้ แต่ละวัฏจักรเป็น 4 ขั้นตอนคือ

1. ดูด (Intake) – ดูดอากาศที่ผสมกับเชื้อเพลิงแล้วเข้าห้องเผาไหม้
2. อัด (Compress) – ลดปริมาตรและเพิ่มความดันของส่วนผสมข้างต้นในห้องเผาไหม้
3. ระเบิด (Combustion) – หัวเทียนทำงานจุดระเบิดส่วนผสมข้างต้น
4. คาย (Exhaust) – คายไอเสียออก



รูปที่ 2.1 แผนภาพความดันและปริมาตรของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ 4 จังหวะ [13]

2.3 การเปรียบเทียบของ Otto cycle, Diesel cycle และ Dual cycle

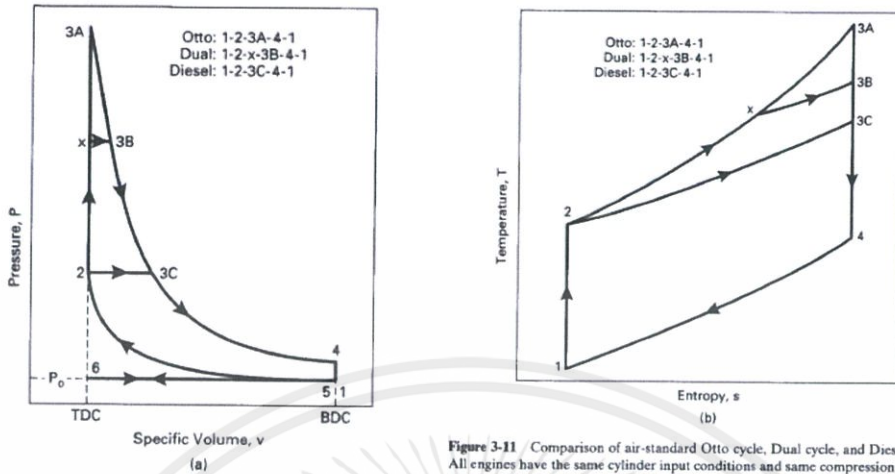


Figure 3-11 Comparison of air-standard Otto cycle, Dual cycle, and Diesel cycle. All engines have the same cylinder input conditions and same compression ratio.

รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P-V และ T-S ไดอะแกรม แสดงถึงการเปรียบเทียบของ Otto cycle, Diesel cycle และ Dual cycle ที่สภาวะและอัตราส่วนกำลังอัดเดียวกัน [7]

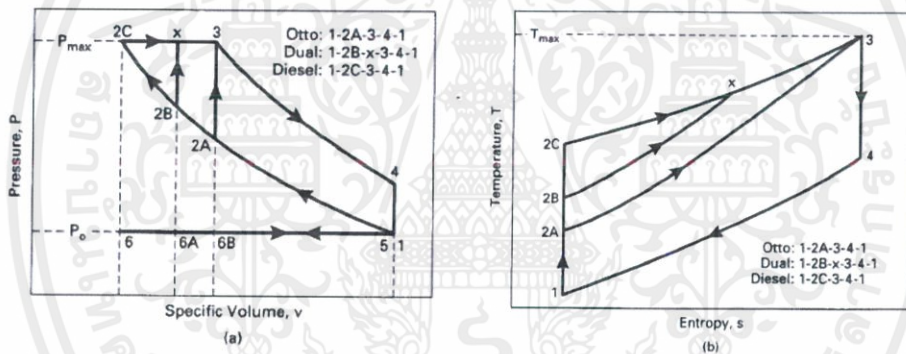


Figure 3-12 Comparison of air-standard Otto cycle, Dual cycle, and Diesel cycle. All engines have the same cylinder input conditions and the same maximum temperature and pressure.

รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P-V และ T-S ไดอะแกรม แสดงถึงการเปรียบเทียบของ Otto cycle, Diesel cycle และ Dual cycle ที่สภาวะอุณหภูมิสูงสุดและความดันสูงสุดเดียวกัน [7]

จากพื้นที่ใต้กราฟของรูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง P-V และ T-S ไดอะแกรม แสดงถึงการเปรียบเทียบของ Otto cycle, Diesel cycle และ Dual cycle ที่สภาวะและอัตราส่วนกำลังอัดเดียวกันแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal efficiency) ของ Otto cycle > Dual cycle > Diesel cycle ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบทั้ง 3 cycle ที่ไม่ติ เพราะว่า ในความเป็นจริงทั้ง 3 cycle ทำงานในสภาวะที่อัตราส่วนกำลังอัดไม่เท่ากัน ซึ่ง Diesel cycle และ Dual cycle มีอัตราส่วนกำลังอัดที่สูงกว่า เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ที่ทำงานแบบ Otto cycle ดังนั้นวิธีเปรียบเทียบทั้ง 3 cycle ควรจะเปรียบเทียบที่ความดันสูงสุดเดียวกันดังรูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์

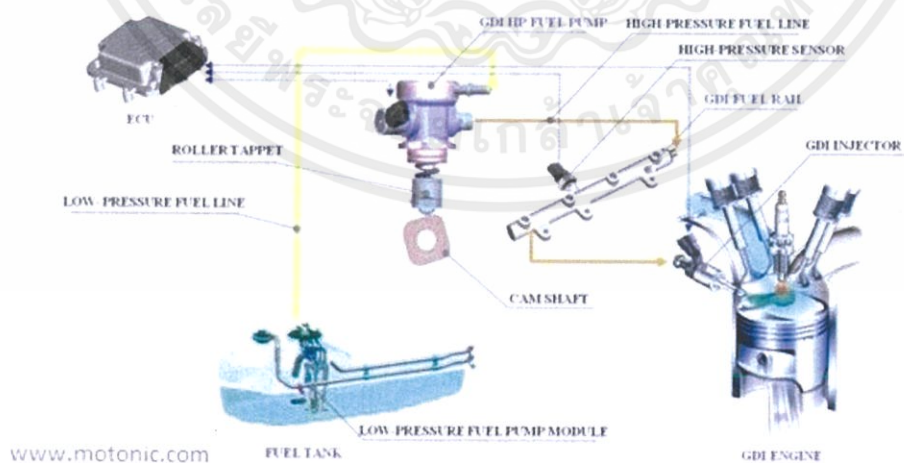
ระหว่าง P-V และ T-S ไดอะแกรม แสดงถึงการเปรียบเทียบของ Otto cycle, Diesel cycle และ Dual cycle ที่สภาวะ, อุณหภูมิสูงสุดและความดันสูงสุดเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal efficiency) ตามรูปที่ 2.3 Diesel cycle > Dual cycle > Otto cycle

จากการเปรียบเทียบระหว่าง รูปที่ 2.2 และ รูปที่ 2.3 จะสรุปได้ว่า เครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จะต้องเกิดการสันดาปที่ใกล้เคียงกับ ปริมาตรคงที่ ให้ได้มากที่สุด แต่ต้องจุดระเบิดด้วยการอัด และต้องทำงานที่สภาวะอัตราส่วนกำลังอัดที่สูง

2.4 เครื่องยนต์แก๊สโซลีนหัวฉีดตรง (GDI Engines)

ยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ GDI มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง และลดมลพิษ GDI คือเทคโนโลยีที่ใช้เชื้อเพลิงแรงดันสูง (50 - 150 บาร์) ฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง โดยควบคุมปริมาณ และความแม่นยำด้วยกล่อง ECU การฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรงทำให้ไอทีในห้องเผาไหม้เย็นลงและยังทำให้ลดการเกิดน็อคได้

หัวฉีดตรงมีความแม่นยำ และสามารถฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นละอองได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหัวฉีดในท่อร่วมไอที (PFI) ในปี ค.ศ. 1996 Mitsubishi ได้ผลิตรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ GDI เป็นเจ้าแรก และต่อมา Volkswagen ได้เปิดตัว เครื่องยนต์ GDI ที่ใช้ระบบ Fuel Stratified Injection (FSI) ในปี 2000 หลังจากนั้นได้มีเทคโนโลยีที่ก้าวหน้ามากขึ้นของเครื่องยนต์ GDI เช่น Variable Valve Timing (VVT) เทอร์โบชาร์จเจอร์ และ Stratified Lean Mode เครื่องยนต์ GDI ลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้ถึง 20 - 25% โดยการเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัด (Compression Ratio) และปรับตำแหน่งองศาการจุดระเบิดให้เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่องยนต์ [13]

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อดีและข้อเสียของเครื่องยนต์แต่ละประเภท [7]

	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

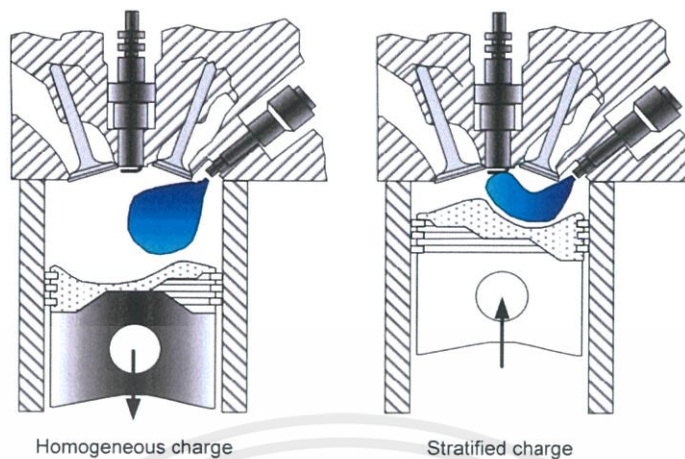
2.3.1 รูปแบบการทำงานของเครื่องยนต์หัวฉีดตรง

รูปแบบการฉีดเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยสำคัญของเครื่องยนต์หัวฉีดตรง [13] โดยควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงจากกล่อง ECU เพื่อให้ประหยัดเชื้อเพลิงสูงสุดหรือได้กำลังเครื่องยนต์สูงสุด รูปแบบการฉีดเชื้อเพลิงของระบบหัวฉีดตรงจะเปิดด้วยประกายไฟแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ คือ

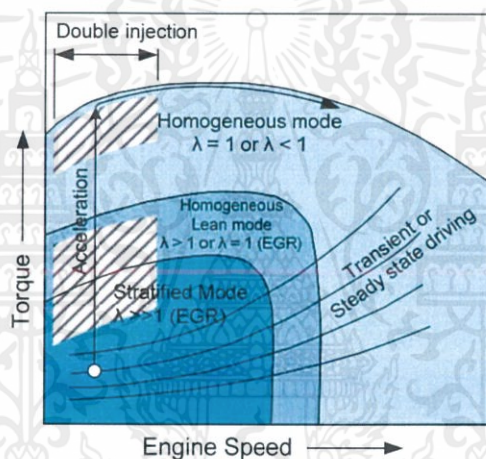
1. รูปแบบเชื้อเพลิงเป็นชั้นแบบบาง (Stratified Lean Mode) สำหรับการทำงานในสภาวะโหลดน้อยที่รอบต่ำหรือรอบคงที่ หัวฉีดจะฉีดเชื้อเพลิงในช่วงปลายจังหวะอัด ก่อนการจุดระเบิดเครื่องยนต์จึงสามารถทำงานได้ในอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงที่สูง ($\lambda > 1$) ในสภาวะโหลดสูงรูปแบบเชื้อเพลิงเป็นชั้นแบบบาง จะเกิด NOx มากขึ้น และในสภาวะที่รอบสูงจะเกิดเขม่ามากขึ้น

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

3. รูปแบบเชื้อเพลิงเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Mode) สำหรับการทำงานที่โหลดสูงหรือรอบสูง และการเร่งหัวฉีดมีการฉีดเชื้อเพลิงเช่นเดียวกับกับรูปแบบเชื้อเพลิงเป็นเนื้อเดียวกันแบบบาง (Homogeneous Lean Mode) แต่ทำงานในอัตราส่วนผสมที่เผาไหม้พอดี และส่วนผสมหนา ทำให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้ลดลงจึงลดการเกิด NOx



รูปที่ 2.5 Homogeneous and Stratified-Charge Mode [5]



รูปที่ 2.6 GDI Engine Operating Modes Depending on Load and Speed [13]

2.4 อัตราส่วน อากาศ-เชื้อเพลิง (Air-Fuel Ratio)

อัตราส่วนผสมอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้

$$A/F = \frac{\dot{m}_{\text{air}}}{\dot{m}_{\text{fuel}}} \quad (1)$$

เมื่อ \dot{m}_{air} คือ อัตราการไหลของมวลอากาศ [kg/s]

\dot{m}_{fuel} คือ อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง [kg/s]

2.4.1 Stoichiometric Air-Fuel Ratio

อัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ได้พอดี

2.5 แก๊สโซลีน (Gasoline)

แก๊สโซลีน (Gasoline) หรือน้ำมันเบนซิน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำมันดิบไปกลั่นลำดับส่วน ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปในแบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟ

2.5.1 ค่าออกเทน (Octane Number)

ค่าออกเทนเป็นการบอกด้วยตัวเลข โดยการเปรียบเทียบการชิงจุดระเบิดเมื่อใช้เชื้อเพลิงที่ต้องการทราบค่า กับการชิงจุดระเบิดเมื่อใช้เชื้อเพลิงมาตรฐาน ภายใต้สภาวะเหมือนกันเชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนสูง คือเชื้อเพลิงที่ลุกไหม้เองได้ยากเพราะฉะนั้นเครื่องยนต์ที่มีกำลังอัดสูงจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงออกเทนสูง เพื่อป้องกันการเกิดน็อก ความเร็วของเปลวไฟขณะสันดาปมีผลต่อค่าออกเทน ยิ่งความเร็วเปลวไฟสูงค่าออกเทนจะสูงตาม เพราะส่วนผสมของเชื้อเพลิงและอากาศจะถูกเผาไหม้หมดก่อนที่จะเกิด Auto-ignition จึงไม่ทำให้เกิดการน็อก (Knocking)

2.6 แก๊สโซฮอล (Gasohol)

แก๊สโซฮอลเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมแก๊สโซลีนเข้ากับเอทานอล เป็นเชื้อเพลิงหลักของเครื่องยนต์สันดาปภายในแบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟในปัจจุบันของประเทศไทย ถูกจำแนกด้วยสัดส่วนของเอทานอลที่ผสมโดยใช้เป็นค่า E ค่า E อธิบายถึงร้อยละของเอทานอลที่ผสมกับแก๊สโซลีน

2.7 ความจุความร้อนและความจุความร้อนจำเพาะ (Heat Capacity and Specific Heat Capacity)

ความจุความร้อน (C) คือปริมาณความร้อน ΔQ จูล ที่ทำให้มวลสารมวล m กิโลกรัม มีอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 เคลวิน มีหน่วยเป็นจูล/เคลวิน

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (2)$$

ความจุความร้อนจำเพาะ (c) คือปริมาณความร้อน ΔQ จูล ที่ทำให้มวลสารมวล 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 เคลวิน มีหน่วยเป็นจูล/กิโลกรัม · เคลวิน

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta t} \quad (3)$$

เมื่อ	c	คือ ความจุความร้อนจำเพาะของสาร [J/kg · K]
	ΔQ	คือ ปริมาณความร้อนที่มวลสารได้รับ [J]
	Δt	คือ อุณหภูมิของมวลสารที่เปลี่ยนไป [K]

m คือ ปริมาณมวลสาร [kg]

2.8 ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Enthalpy of Vaporization) หรือ (Heat of Vaporization)

ปริมาณของพลังงานที่สสารดูดเข้าไปเพื่อใช้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นสถานะก๊าซ เป็นคุณสมบัติเฉพาะที่ขึ้นอยู่กับชนิด อุณหภูมิ และความดันของสาร หากเป็นระบบการจ่ายน้ำมันให้ผสมอากาศในท่อร่วมไอดี การที่เชื้อเพลิงมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง จะทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง และทำให้มีความหนาแน่นสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้อากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้มากขึ้น หากเป็นระบบการจ่ายน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง การที่เชื้อเพลิงมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง จะสามารถนำไปใช้ในการลดความร้อนภายในห้องเผาไหม้ได้ แต่หากเชื้อเพลิงยังอยู่ในสถานะของเหลวขณะเริ่มการเผาไหม้ก็จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยของเชื้อเพลิงด้วยเช่นกัน

2.9 กำลังเบรก (Brake Power)

เป็นการวัดกำลังของเครื่องยนต์โดยใช้ไดนาโมมิเตอร์วัดจากเพลลาข้อเหวี่ยงหรือล้อศูนย์กลางของเครื่องยนต์ โดยค่าที่ได้จะเป็นกำลังที่นำไปใช้ได้ของเครื่องยนต์ซึ่งหักการสูญเสียพลังงานไปแล้ว

$$\dot{W} = 2\pi n\tau \quad (4)$$

เมื่อ **W** คือ กำลังของเครื่องยนต์ [kW]
n คือ รอบของเครื่องยนต์ [circle]
τ คือ แรงบิดของเครื่องยนต์ [N · m]

2.10 การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption)

การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption) จะถูกวัดเป็นอัตราการไหลเชิงมวล ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบได้จึงกำหนดในรูปแบบของการสิ้นเปลืองจำเพาะ (Specific Fuel Consumption, SFC) ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมา และเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตงานออกมา

$$sfc = \frac{\dot{m}_{fuel}}{P} \quad (5)$$

เมื่อ \dot{m}_{fuel} คือ อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง [kg/s]
P คือ กำลังของเครื่องยนต์ [kW]

โดยทั่วไปแล้วจะคำนวณในรูปการสิ้นเปลืองจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, BSFC)

$$bsfc = \frac{\dot{m}_{fuel}}{P} \quad (6)$$

เมื่อ \dot{m}_{fuel} คือ อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง [kg/s]
P คือ กำลังของเครื่องยนต์จากไดนาโมมิเตอร์ [kW]

2.11 ค่าความร้อน (Heating Value)

คือปริมาณความร้อนที่จ่ายออกมาต่อน้ำหนักเชื้อเพลิงโดยถือว่าน้ำที่ออกมาอยู่ในสถานะของแก๊ส ซึ่งจะแยกเป็น 2 ประเภทคือ ค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value) ซึ่งจะมีค่าต่ำกว่า ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value) เนื่องจาก Lower Heating Value ถือว่าน้ำที่ออกมาอยู่ในสถานะของเหลวที่จะดึงพลังงานไปได้น้อยกว่า Higher Heating Value ที่ถือว่าน้ำที่ออกมาอยู่ในสถานะของแก๊ส โดยเปรียบเทียบเป็นสมการได้ดังนี้

$$HHV = LHV + \frac{\dot{m}_{H_2O,out}}{\dot{m}_{fuel,in}} \quad (7)$$

2.12 ค่าประสิทธิภาพความเชิงความร้อน (Thermal Efficiency)

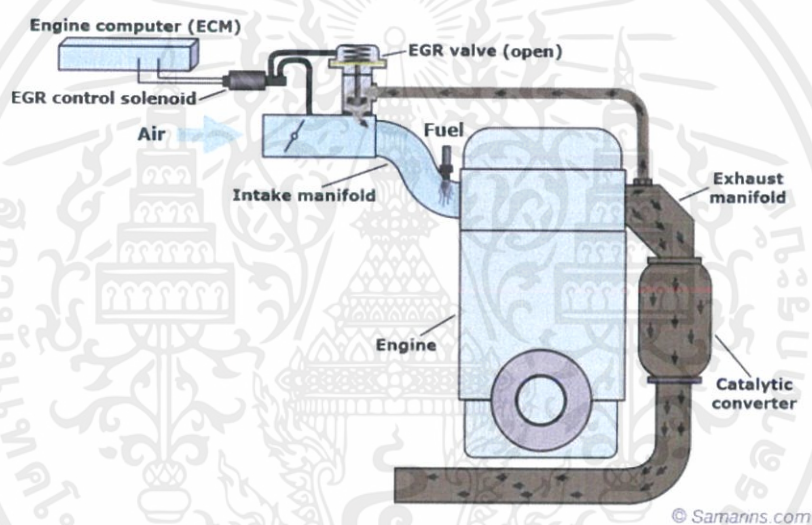
ค่าประสิทธิภาพความร้อนแสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในเชิงความร้อน ซึ่งก็คือ อัตราส่วนของพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

$$\text{Thermal efficiency} = \eta_{thermal} = \frac{\dot{W}_{eng}}{Q_{in}} = \frac{\dot{W}_{eng}}{\dot{m}_f \eta_c (LHV)} \quad (8)$$

เมื่อ \dot{m}_f คือ อัตราการฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ [kg/s]
 \dot{W}_{eng} คือ กำลังเครื่องยนต์สุทธิ มีหน่วยเป็น [kW]
LHV คือ ค่าพลังงานความร้อนขั้นต่ำ [kJ/kg]
 η_c คือ ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้

2.13 ระบบหมุนเวียนไอเสีย (Exhaust Gas Recirculation System)

ระบบหมุนเวียนไอเสีย (Exhaust Gas Recirculation System) เป็นการนำไอเสียบางส่วนมาวนเข้าท่อไอดีใหม่อีกครั้ง เพื่อที่จะลดค่าออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ซึ่งเป็นแก๊สพิษ NOx เกิดจากการที่ ไนโตรเจนกับออกซิเจนในอากาศ มาคลุกเคล้ารวมตัวกันแล้วเกิดการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ ในช่วงอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงกว่า 1,800°C (3,300°F) แก๊สทั้งสองนี้จะรวมตัวกันได้ดีในขณะที่มีอุณหภูมิการเผาไหม้สูง และมีการเผาไหม้สมบูรณ์[1] จึงได้มีการคิดค้นระบบหมุนเวียนไอเสียหรือ EGR ขึ้นมาเพื่อลดแก๊ส NOx โดยกล่อง ECU จะรับข้อมูลมาจากเซ็นเซอร์ต่างๆทั้ง อุณหภูมิแก๊สไอเสีย อัตราส่วนผสม และอื่นๆ แล้วมาประมวลผล ซึ่งถ้ากล่อง ECU ตรวจพบว่าสภาวะการเผาไหม้อาจก่อให้เกิด NOx ได้ ก็จะส่งสัญญาณไปสั่งให้ EGR เปิดวาล์ว เพื่อให้แก๊สไอเสียบางส่วนไหลกลับเข้าไปเผาไหม้ซ้ำอีกครั้ง



รูปที่ 2.7 แผนภาพวงจรของระบบหมุนเวียนไอเสีย

ไอเสียบางส่วนจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ผ่านกระบวนการหมุนเวียนไอเสียเข้าสู่ระบบไอดีเพื่อลดปริมาณอากาศเข้า ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ส่งผลให้การเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียลดต่ำลง ระบบการหมุนเวียนไอเสียสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท ได้แก่ การหมุนเวียนไอเสียร้อน คือ การที่ไอเสียถูกนำมาผ่านกระบวนการหมุนเวียนเข้าร่วมกับไอดีโดยตรง และการหมุนเวียนไอเสียเย็น คือ การที่ไอเสียถูกทำให้เย็นตัวลงก่อนนำมาผ่านกระบวนการหมุนเวียนเข้าร่วมกับไอดี การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างการหมุนเวียนไอเสียเย็น และการหมุนเวียนไอเสียร้อนสามารถทำได้ดังตารางต่อไปนี้

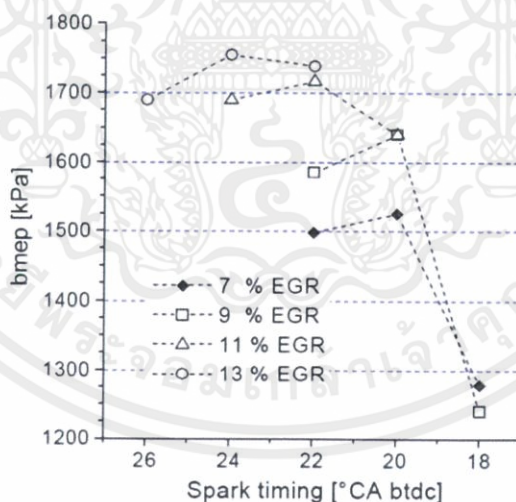
ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างการหมุนเวียนไอเสียเย็นและการหมุนเวียนไอเสียร้อน

	การหมุนเวียนไอเสียเย็น	การหมุนเวียนไอเสียร้อน
คุณสมบัติ	การเกิด NOx ต่ำกว่า	ระยะเวลาการเผาไหม้ต่ำกว่า
	ต้านการน็อคได้ดีกว่า	การเกิด HC ต่ำกว่า
	มีโครงสร้างซับซ้อน	มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน
	ค่าใช้จ่ายสูงกว่า	ค่าใช้จ่ายต่ำกว่า

2.13.1 การคำนวณหาปริมาณไอเสีย

$$R_{EGR} = \frac{CO_{2(in)} - CO_{2(air)}}{CO_{2(exh)} - CO_{2(air)}} \times 100 \tag{9}$$

เมื่อ $CO_{2(air)}$ คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ [%]
 $CO_{2(in)}$ คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในทอร่วมไอดี [%]
 $CO_{2(exh)}$ คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในทอไอเสีย [%]

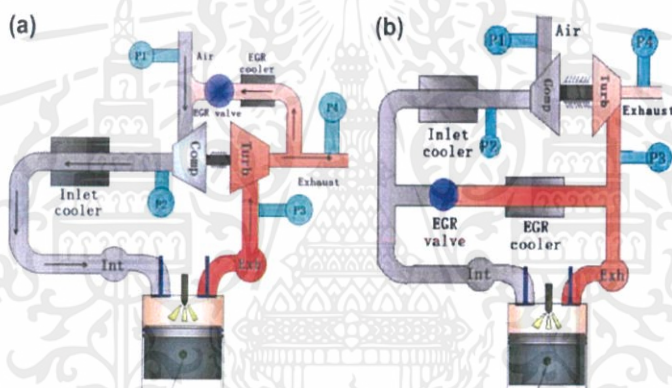


รูปที่ 2.8 ค่า BMEP สูงสุด ที่ฟังก์ชันของร้อยละการหมุนเวียนไอเสียและองศาการจุดระเบิด [1]

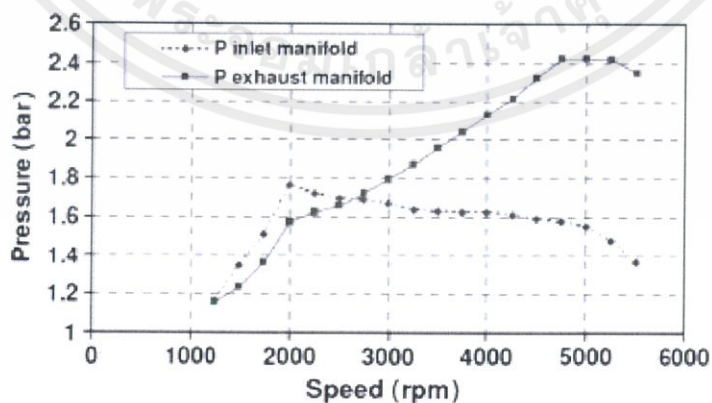
จากรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการหมุนเวียนไอเสียจะทำให้ค่า BMEP และองศาการจุดระเบิดสูงขึ้น หากแต่ค่า BMEP จะถูกจำกัดโดยการน็อคเมื่อมีการจุดระเบิดที่องศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากเกินไป การเพิ่มอัตราการหมุนเวียนไอเสียจะช่วยลดอุณหภูมิภายในกระบอกสูบ และยังทำให้ส่วนผสมสามารถเผาไหม้ได้ก่อนถึงระยะการจุดระเบิดด้วยตัวเองอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเครื่องยนต์ที่ติดตั้งเครื่องเทอร์โบชาร์จเจอร์ จะมีระบบหมุนเวียนไอเสีย 2 รูปแบบที่ต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.7 ได้แก่ ระบบแรก คือ ระบบหมุนเวียนไอเสียแบบความดันต่ำ (รูป 2.7 a) ไอเสียจะถูกส่งผ่านเทอร์โบไบน์เป็นลำดับแรกจากนั้นจึงผสมกับอากาศบริสุทธิ์ก่อนที่จะผ่านเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ นอกจากนี้ตัวทำความเย็นของระบบหมุนเวียนไอเสียจะต้องมีประสิทธิภาพสูงเพื่อรองรับประสิทธิภาพของเครื่องคอมเพรสเซอร์ มิฉะนั้นจะทำให้อากาศที่เข้ามามีความร้อนสูงเกินไปและนำไปสู่การลดลงของประสิทธิภาพเชิงปริมาตร และระบบที่สอง คือ ระบบหมุนเวียนไอเสียแบบความดันสูง (รูป 2.7 b) ไอเสียจะไหลจากช่วงต้นของเทอร์โบไบน์ไปยังช่วงปลายของเครื่องคอมเพรสเซอร์ อย่างไรก็ตามแรงดันช่วงต้นของเทอร์โบไบน์จะต้องมีค่าสูงกว่าความดันในช่วงแรก มิฉะนั้นท่อรวมไอเสียจะไม่สามารถรับไอเสียมาหมุนเวียนร่วมกับไอได้อย่างเพียงพอได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สภาวะความเร็วรอบต่ำ และภาระโหลดสูง แรงดันไอเสียจะต่ำกว่าแรงดันไอติดแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.9 ระบบการหมุนเวียนไอเสียแบบความดันต่ำ และระบบการหมุนเวียนไอเสียแบบความดันสูง [1]

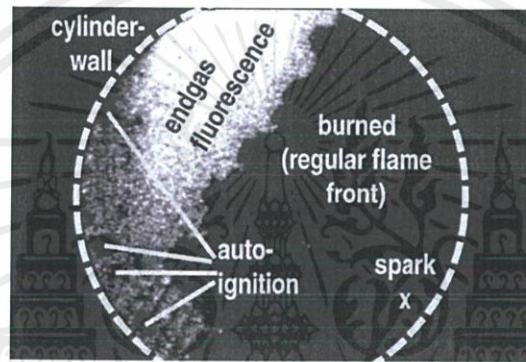


รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอติดและไอเสียกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 การน็อค (Knocking)

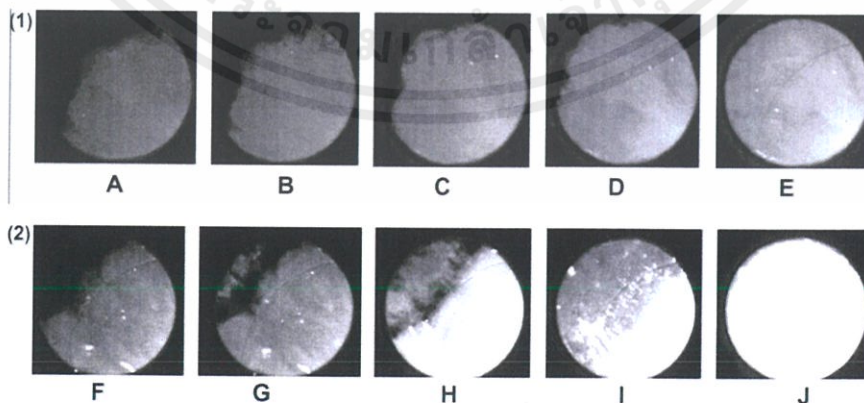
การเกิดการน็อคนั้น โดยทั่วไปมีสองทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับ คือ การน็อคเนื่องจากชิงจุดระเบิดก่อน และการน็อคเนื่องจากการจุดตัวเอง การน็อคเนื่องจากชิงจุด (Auto Ignition) นั้นเกิดขึ้นจากความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิ และความเข้มข้นของน้ำมันกับอากาศ ทำให้เกิดจุดที่ร้อนมาก (Hot Spots) และเมื่อจุดที่ร้อนมาก (Hot Spots) ถูกอัด และขยายจากผลของลูกสูบ ความร้อนจากการแพร่ขยายของไฟที่ลาม ความเย็น และความร้อนจากภายนอก ปัจจัยเหล่านี้จะทำให้จุดที่ร้อนมาก (Hot Spots) มีอุณหภูมิ และความดัน มีค่าถึงจุดจุดหนึ่ง ซึ่งจุดนี้จะทำให้เกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองได้ ไม่ว่าจะเป็นการระเบิดเพียงจุดเดียว หรือหลายจุดพร้อมกัน



Example of a LIF image pair of a knocking cycle [25].

รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างวัฏจักรการเกิดน็อค [8]

การน็อคเนื่องจากจุดตัวเอง (Detonation) การน็อคเกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของเปลวไฟที่แรงจากหัวเทียนจนทำให้เกิดคลื่นอัดแรงดันอากาศไปยังผนังของห้องเผาไหม้ แรงที่กระทบบนผนังห้องเผาไหม้จะมีเวลาสั้นๆ แต่มีขนาดใหญ่ทำให้มีความดัน และอุณหภูมิสูงขึ้น จึงเกิดการน็อคเนื่องจากจุดตัวเอง (Detonation)



Series of high-speed direct images and related in-cylinder pressure histories for both knocking and non-knocking engine cycles [24]. (1) Non-knocking engine cycle. (2) Knocking engine cycle.

รูปที่ 2.12 แสดงวัฏจักรการเกิดน็อค [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การน็อกถ้าเกิดเป็นระยะเวลาหลายๆจะทำให้

1. แหวนลูกสูบเสียหาย
2. ฝาสูบถูกกัดกร่อน
3. หัวลูกสูบถูกกัดกร่อน
4. ลูกสูบละลาย
5. จำกัดกำลังอัดของเครื่องยนต์ และประสิทธิภาพการเร่งความเร็วของรถยนต์
6. เพิ่มมลพิษทางอากาศ
7. ลดประสิทธิภาพเครื่องยนต์
8. เพิ่มอัตราการกินน้ำมันของเครื่องยนต์
9. เป็นอันตรายต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว
10. นอกจากจะเกิดความเสียหายแล้ว ยังเกิดเสียงที่รบกวนจากเครื่องยนต์

2.14.1 วิธีลดการเกิดน็อก (Knocking Suppression)

1. การลดเวลาในการเผาไหม้จะช่วยลดการสะสมของความร้อนในห้องเผาไหม้[8] โดยมี 2 วิธีด้วยกันคือ 1) การเพิ่มความเร็วในห้องเผาไหม้โดยการทำให้เกิดความปั่นป่วนในห้องเผาไหม้สูงขึ้นเพื่อให้ น้ำมัน และอากาศคลุกเคล้าได้ดี 2) ลดระยะเวลาแพร่ของเปลวไฟด้วยการออกแบบห้องเผาไหม้และหาตำแหน่งของการจุดระเบิด

2. การลดอุณหภูมิของการเผาไหม้จะช่วยให้ส่วนผสมของน้ำมัน และอากาศมีอุณหภูมิที่ยังไม่เกิดสภาวะการชิงจุด โดยใช้วิธีการปรับลดองศาการจุดระเบิดให้ช้าลง อย่างไรก็ตามการปรับลดองศาการจุดระเบิดให้ช้าลงนั้นทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์นั้นลดลงเนื่องจากเวลาในการจุดระเบิดช้าเกินไปจึงทำให้เกิดกำลังสูงสุด และปรับเปลี่ยนประเก็นฝาสูบเพื่อปรับปรุงทิศทางการไหลของน้ำหล่อเย็นให้มีการระบายความร้อนที่ดีขึ้น ทำให้ช่วยลดการเกิดน็อก

3. เนื่องจากอุณหภูมิของการเผาไหม้เป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดการน็อก และตัวแปรที่สำคัญในการเผาไหม้คืออุณหภูมิของไอดี ดังนั้นจะสามารถลดน็อกได้โดยการลดอุณหภูมิของไอดี

4. การลดกำลังอัดของเครื่องยนต์ก็จะช่วยลดอุณหภูมิในการเผาไหม้ได้ จึงช่วยลดการเกิดน็อกได้

5. การเพิ่มก๊าซเฉื่อยทำให้เพิ่มเวลาในการเผาไหม้ และยังสามารถเพิ่มองศาการจุดระเบิดที่ทำให้ได้กำลังมากที่สุดได้โดยไม่เกิดการน็อก เช่น การเติมไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ลงในเชื้อเพลิงธรรมชาติเพื่อป้องกันการเกิดน็อกได้ดี

6. การใช้ระบบหมุนเวียนไอเสียในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียนนั้นช่วยลดการน็อกแบบชิงจุด ถ้านำเอาระบบการหมุนเวียนไอเสียกลับมาใช้ใหม่จะทำให้อากาศในห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องลดอุณหภูมิของระบบหมุนเวียนไอเสียก่อนเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศในห้องเผาไหม้ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการน็อกได้

7. การฉีดเชื้อเพลิงแบบโดยตรงนั้นสามารถลดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้จากการทำให้เกิดการระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิงในกระบอกสูบ ดังนั้นจึงสามารถลดการน็อคได้ และสามารถเพิ่มกำลังอัดได้มากขึ้นโดยการใช้หัวฉีดแบบหลายรู ในการฉีดแยกหลายรูของหัวฉีดนั้นจะทำให้น้ำมันเป็นฝอยที่ละเอียดมากขึ้น สามารถลดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ได้ดีขึ้น จึงเป็นวิธีเพิ่มประสิทธิภาพในการลดน็อค

2.15 อองศาการจุดระเบิด (Spark Timing)

เมื่อส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิง และอากาศถูกจุดระเบิดด้วยประกายไฟ เปลวไฟจะไม่ลามไปทั่วห้องเผาไหม้ในทันทีทันใด แต่จะต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งในการแพร่กระจายเปลวไฟออกไป นั่นก็คือเกิดความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay) เปลวไฟที่แผ่ออกไปนี้ต้องใช้เวลาดำเนินทางก่อนที่จะกระทบกับลูกสูบซึ่งก็คือการลามของเปลวไฟ (Flame Propagation) เนื่องจากกำลังงานสูงสุดที่ได้จากเครื่องยนต์จะได้อุณหภูมิความดันสูงสุดที่ 5 - 10 องศาหลังศูนย์ตายบน[2] จากเหตุผลข้างต้นจึงต้องมีการปรับองศาการจุดระเบิดเพื่อให้ได้กำลังสูงสุดซึ่งสามารถปรับให้ได้ค่าที่เหมาะสมได้ 2 วิธี

1. การเริ่มจุดระเบิดหัวเทียนก่อนลูกสูบเคลื่อนที่สู่ศูนย์ตายบนเร็วขึ้น (Advance Ignition Timing) หากจุดระเบิดก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนนานเกินไป จะส่งผลให้เกิดแรงต้านลูกสูบในขณะที่ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ขึ้นซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนภายในห้องเผาไหม้ได้ การใช้วิธีนี้ในการจุดระเบิดควรใช้กับเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงที่ต้องการเวลาในการจุดระเบิดนานหรือก็คือเชื้อเพลิงมีความสามารถในการลามไฟต่ำ

2. การเริ่มจุดระเบิดหัวเทียนก่อนลูกสูบเคลื่อนที่สู่ศูนย์ตายบนช้าลง (Retard Ignition Timing) หากจุดระเบิดก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึงศูนย์ตายบนเร็วเกินไป จะส่งผลให้เกิดแรงดันด้านหลังลูกสูบเคลื่อนที่ออกจากศูนย์ตายบนแล้ว ซึ่งจะทำให้เสียกำลังงานของเครื่องยนต์ และส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศจะไม่สามารถสูกจุดติดได้อย่างสมบูรณ์ การใช้วิธีนี้ในการจุดระเบิดควรใช้กับเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงที่ต้องการเวลาในการจุดระเบิดสั้นหรือก็คือเชื้อเพลิงที่มีความสามารถในการลามไฟสูง

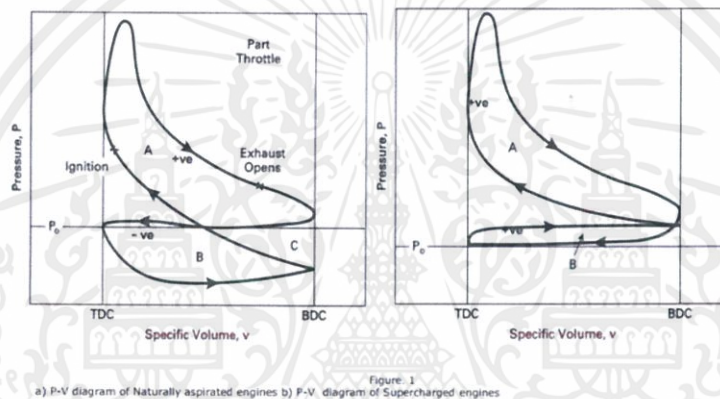
2.15.1 อองศาการจุดระเบิดที่ได้กำลังสูงสุด (Maximum Brake Torque Spark Timing)

คือการใช้องศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้เกิดกำลัง และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงสุดในที่สุด จะมีองศาการจุดระเบิดหนึ่งเสมอที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทุกสภาพการทำงาน ของเครื่องยนต์ แต่องศาการจุดระเบิดที่ได้กำลังสูงสุดนั้นจะต้องใช้งานในขณะที่ลิ้นปีกผีเสื้อเปิดสุดเท่านั้น (WOT) แต่กลับให้ผลลัพธ์ที่ไม่น่าพอใจในจังหวะเครื่องยนต์อื่น ถึงแม้ว่าองศาการจุดระเบิดนั้นจะให้กำลังสูงสุด แต่จะดีกว่าหากเพิ่มองศาการจุดระเบิดขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยเพื่อป้องกันการน็อคที่อาจเกิดขึ้น และเพื่อเป็นการเผื่อระยะความปลอดภัยอีกด้วย แต่ในปัจจุบันมีความเป็นไปได้ที่จะคำนวณองศาการจุดระเบิดที่ให้กำลังสูงสุดในทุกสภาวะของเครื่องยนต์ โดยคำนึงถึงสภาวะการทำงานทั้งหมดของเครื่องยนต์ผ่านเซ็นเซอร์ สภาวะการทำงานจะถูกกำหนดโดยตัวแปรเหล่านี้ ได้แก่ ค่า

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ภาระของเครื่องยนต์ การหมุนเวียนไอเสียภายในเครื่องยนต์ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และองศาการจุดระเบิด

2.16 ตัวอัดบรรจุก๊าซ (Supercharger)

ตัวอัดบรรจุก๊าซ (Supercharger) คืออุปกรณ์อัดอากาศเข้าห้องเผาไหม้ซึ่งทำหน้าที่เพิ่มความดันของอากาศก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพื่อสร้างกำลังเพิ่มเติมให้กับเครื่องยนต์ โดยใช้กำลังปั่นจากการหมุนของสายพานที่เพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ เป็นตัวสร้างกำลังส่งมวลอากาศเข้าเครื่องยนต์ต่อไป ซึ่งตัวอัดบรรจุก๊าซนี้สามารถตอบสนองต่อทุกระดับรอบของเครื่องยนต์ แต่ก็ทำให้เครื่องยนต์สูญเสียกำลังไปบางส่วนด้วยเช่นกัน

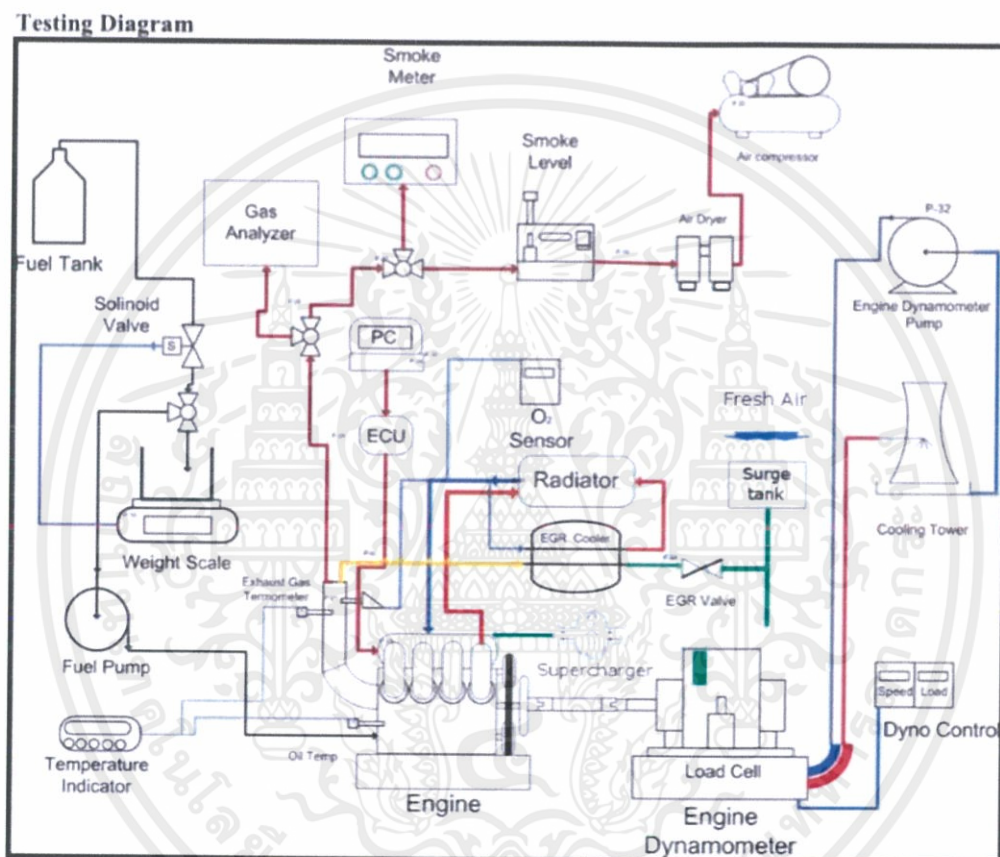


รูปที่ 2.13 แผนภาพความดันและปริมาตรของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ 4 จังหวะ แบบที่มีตัวอัดอากาศและไม่มีตัวอัดอากาศ [7]

บทที่ 3

อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง และขั้นตอนการทดลอง

3.1 แผนผังและอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 3.1 แผนผังการทดลอง [12]

3.1.1 เครื่องยนต์

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของระบบหมุนเวียนไอเสียในเครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟที่มีการติดตั้งตัวอัดบรรยากาศ โดยใช้ E-85 เป็นเชื้อเพลิงโดยเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์ Mitsubishi รุ่น 4G93 ประเภทฉีดตรงเข้าห้องเผาไหม้ โดยมีข้อมูลดังรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของเครื่องยนต์ [10]

11A-0-4 4G9 ENGINE (E-W) - General Information

4G93

Descriptions			4G93-SOHC	4G93-DOHC	4G93-DOHC-GDI
Type			In-line OHV, SOHC	In-line OHV, DOHC	In-line OHV, DOHC
Number of cylinders			4	4	4
Combustion chamber			Pentroof type	Pentroof type	Pentroof type
Total displacement dm ³			1,834	1,834	1,834
Cylinder bore mm			81.0	81.0	81.0
Piston stroke mm			89.0	89.0	89.0
Compression ratio			10.0, 9.5	10.5	11.7* ¹ , 12.0* ²
Valve timing	Intake valve	Opens (BTDC)	14°	20°	15°
		Closes (ABDC)	50°	60°	56°
	Exhaust valve	Opens (BBDC)	58°	61°	55°
		Closes (ATDC)	10°	15°	15°
Lubrication system			Pressure feed, full-flow filtration	Pressure feed, full-flow filtration	Pressure feed, full-flow filtration
Oil pump type			Trochoid type	Trochoid type	Trochoid type
Cooling system			Water-cooled forced circulation	Water-cooled forced circulation	Water-cooled forced circulation
Water pump type			Centrifugal impeller type	Centrifugal impeller type	Centrifugal impeller type

*1: Up to 1999 model

*2: From 2000 model

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E-85 เนื่องจาก เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนสูงเกิน 100 ซึ่งต้านทานการน็อคได้ดี จึงสามารถให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นได้หากถูกเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัด และเอทานอลช่วยลดอุณหภูมิไออดีได้มากขณะระเหย ทำให้จังหวะอัดมีอุณหภูมิต่ำลงเนื่องจากเอทานอลมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงกว่าแก๊สโซลีน

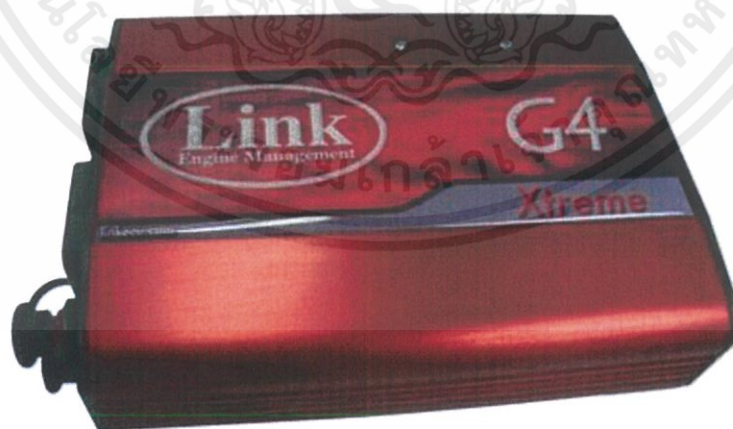
ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E – 85 [12]

Fuels properties	Gasoline [8]	E10	E20	E85	Ethanol [8]
Formula	C ₄ to C ₁₂	CH _{2.043} O _{0.015}	CH _{1.63} O _{0.065}	CH _{2.822} O _{0.425}	C ₂ H ₅ OH
Molecular weight [g/mol]	100-105		88.12	50.60	46.70
Carbon [mass%]	85-88	86.70	79.85	55.36	52.20
Hydrogen [mass%]	12-15	13.20	12.88	12.89	13.10
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
Vapor pres., kPa at 38°C	48-103	59.6	58.3	35-70	15.90
Specific heat, kJ/kg-K-1	2				2.40
Lower, heating val., 103 MJ/kg	44.00	40.97	40.60	29.50	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
Water Tolerance, Vol%	Negligible				Compl.miscible
Stoichiometric air/fuel ratio	14.70	14.05	13.51	9.87	9.03
Distillation temperature, °C					
Initial boiling point, IBP	35	36.5	37.8	41.3	77.6
10 vol%	51.5	51.6	53.5	66.6	77.8
20 vol%	56.5	55.7	57.8	74.4	77.9
30 vol%	61.8	59.7	62.5	76.8	77.9
40 vol%	68.6	63.8	66.8	77.4	77.9
50 vol%	78.2	70.2	70.8	77.5	77.9
60 vol%	91.5	99.4	73.7	77.6	77.9
70 vol%	108.6	117.9	99.9	77.7	78
80 vol%	125.2	136.1	130	77.7	78
90 vol%	154	160.2	155	77.8	78
End boiling point	197.3	187.2	184.6	80.5	80

3.1.2 กล่อง ECU

ชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่รับสัญญาณจากเครื่องยนต์มาวิเคราะห์ และทำการสั่งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้ทำงานตามทีออกแบบไว้

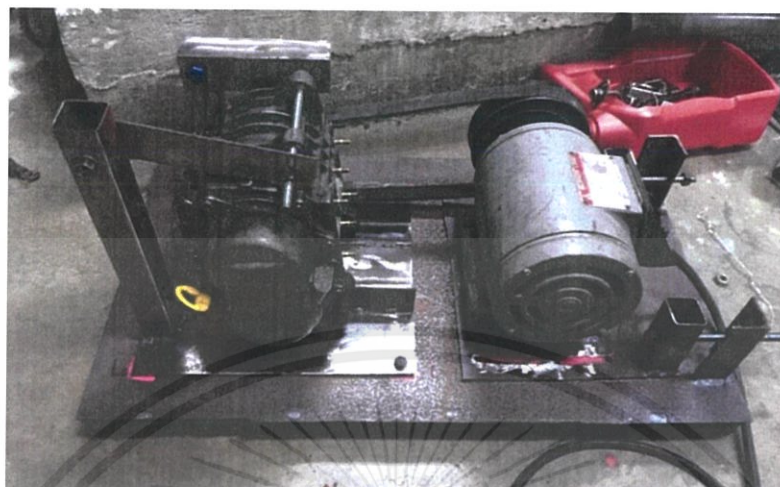
กล่อง ECU ที่ถูกเลือกมาใช้ในการทดลองนี้คือ กล่อง Standalone ยี่ห้อ Link ที่สามารถใช้แทนกล่อง ECU เดิมจากโรงงานผู้ผลิตได้



รูปที่ 3.2 กล่อง ECU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

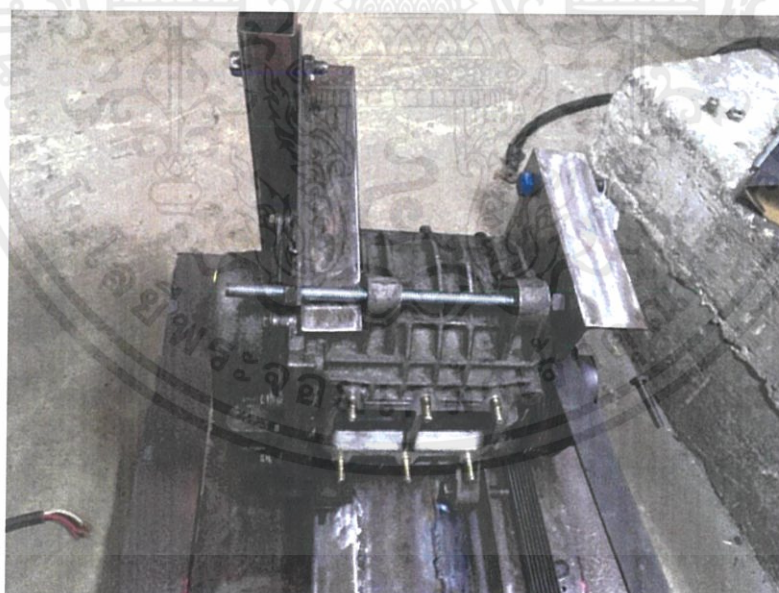
3.1.3 ชุดซูปเปอร์ชาร์จเจอร์



รูปที่ 3.3 ชุดซูปเปอร์ชาร์จเจอร์

เนื่องจากต้องการเพิ่มกำลังอัดเป็นค่าต่างๆ จึงได้มีการสร้างชุดซูปเปอร์ชาร์จเจอร์ขึ้นมาโดยมีอุปกรณ์ดังนี้

1. แทนตัวยึดจับตัวซูปเปอร์ชาร์จเจอร์



รูปที่ 3.4 แทนตัวยึดจับตัวซูปเปอร์ชาร์จเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แทนวางมอเตอร์ใช้สำหรับปั่นชุดซูเปอร์ชาร์จเจอร์



รูปที่ 3.5 แทนวางมอเตอร์ใช้สำหรับปั่นชุดซูเปอร์ชาร์จเจอร์

3.1.4 ไดนาโมมิเตอร์

ไดนาโมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ภาระ และความเร็วรอบต่างๆ โดยใช้หลักการใช้ภาระโหลดต้านกับแรงที่เครื่องยนต์สร้างขึ้นมา ไดนาโมมิเตอร์กระแสเหนี่ยวนำใช้พลังงานของเครื่องยนต์ที่ต้องการวัดหมุนจานกลมในสนามแม่เหล็กที่ควบคุมความเข้มได้ จานกลมที่หมุนจะเป็นตัวนำไฟฟ้าเคลื่อนที่ตัดเส้นแรงแม่เหล็กทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวนในจานโดยไม่มีการต่อกันกับวงจรภายนอก และถูกแปลงสภาพเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด โดยจะมีระบบน้ำหล่อเย็น และ Cooling Tower เพื่อลดความร้อนที่จะทำให้อุปกรณ์เสียหาย

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของ Engine Dynamo Meter

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

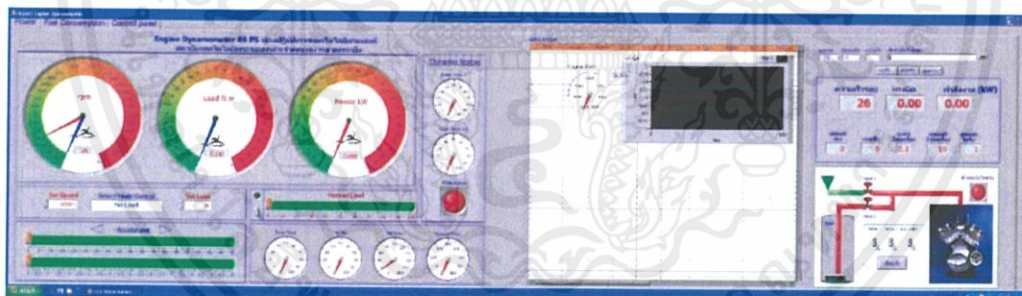
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 Cooling Tower สำหรับหล่อเย็น Engine Dynamometer

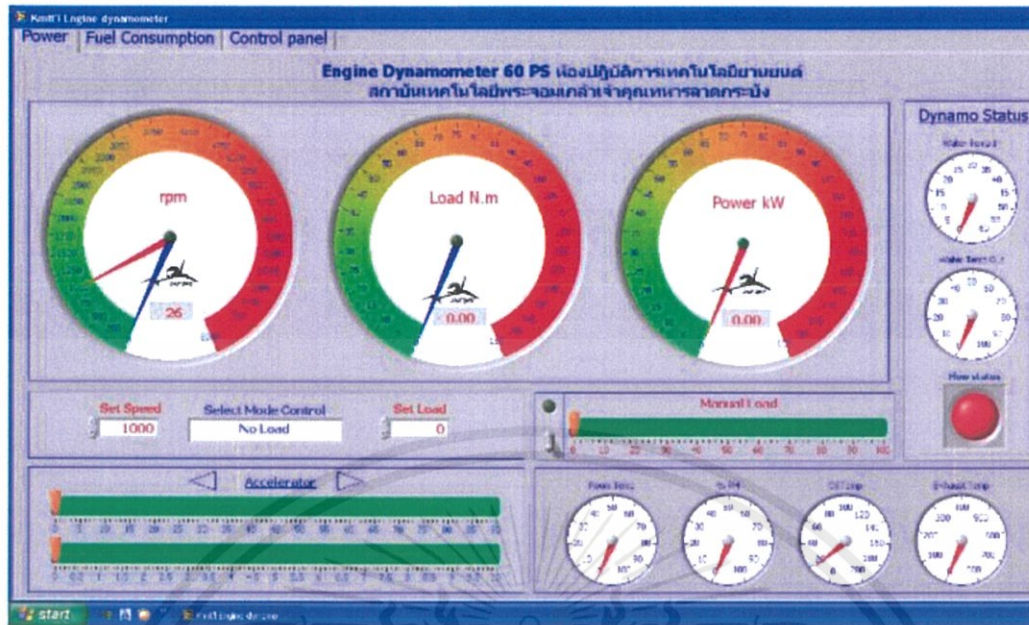
3.1.5 ระบบควบคุมและบันทึกผลจาก Engine Dynamometer

การควบคุม และบันทึกผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นที่ไดนาโมมิเตอร์นั้น ผู้จัดทำได้ใช้โปรแกรม LabView ที่ถูกติดตั้งไว้ในห้องทดลอง



รูปที่ 3.7 Interface โดยรวมของโปรแกรม LabView

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabView ฝังซ้าย

ส่วนประกอบของโปรแกรม LabView ฝังซ้าย ได้แก่

1. หน้าปัดขนาดใหญ่ 3 อัน ได้แก่
 - 1.1 รอบการหมุนเพลลาที่อ่านได้ เป็นรอบเครื่องยนต์ที่ผ่านการทดรอบแล้ว
 - 1.2 ค่าภาระที่เกิดขึ้นในขณะนั้น
 - 1.3 ค่ากำลังที่วัดได้ในขณะนั้น
2. กล่องทางซ้าย 3 กล่อง ได้แก่
 - 2.1 Set Speed ในการทำงานในโหมด Constant Speed จะเป็นการจ่ายภาระโดยอัตโนมัติ ให้เพลลามีรอบคงที่เท่ากับรอบที่ตั้งไว้
 - 2.2 Select Mode Control เลือกโหมดการทำงานได้แก่ No load, Constant Speed และ Constant Load
 - 2.3 Set Load สำหรับการทำงานในโหมด 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 (ไม่ถูกใช้งานตลอดการทดลอง)
 - 5.4 Exhaust Temp แสดงอุณหภูมิของไอเสีย (ไม่ถูกใช้งานตลอดการทดลอง)

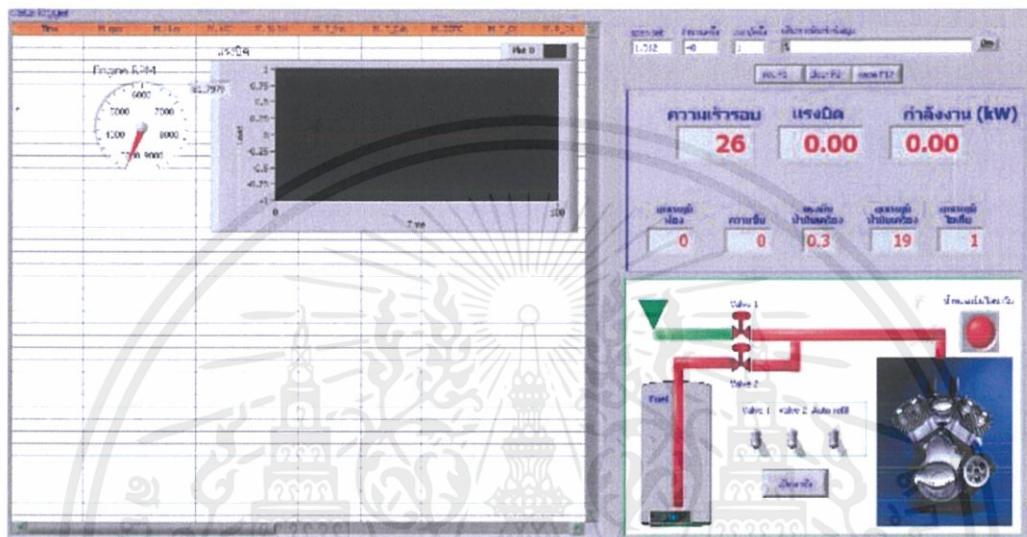
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

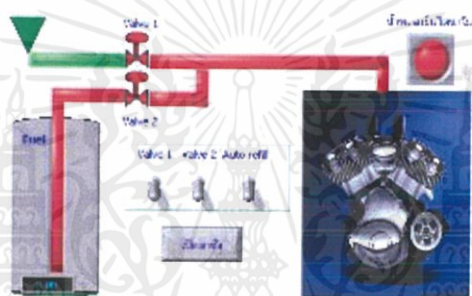
ส่วนประกอบของโปรแกรม LabView ฝั่งขวา ได้แก่

1. ตารางด้านซ้าย เป็นตารางที่จะเขียนค่าที่บันทึกได้ลงไปให้ตรวจสอบก่อนบันทึกเป็นไฟล์
2. หน้าปัดเข็มด้านซ้ายบน แสดงรอบของเครื่องยนต์ ที่เกิดจากการนำรอบการหมุนของเพลาคูณอัตราทดย้อนกลับ
3. กรอบสีดำ แสดงกราฟแรงบิดที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ใช้ประกอบการปรับจูน
4. กรอบสีขาว 4 กรอบด้านขวาบน ใช้บันทึกค่า โดย 3 กรอบแรกใช้กำหนดจำนวนครั้ง และเวลาที่บันทึก ส่วนกรอบขวาด้านขวา
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 ประกอบด้วย ความเร็วรอบ แรงบิด กำลังงาน อุณหภูมิห้อง ความชื้น แรงดันน้ำมันเครื่อง อุณหภูมิน้ำมันเครื่อง และอุณหภูมิไอดี โดยทั้ง 3 เซ็นเซอร์หลังไม่แสดงผลเนื่องจากไม่ได้เชื่อมต่ออุปกรณ์วัดเข้ากับคอมพิวเตอร์เก็บค่า



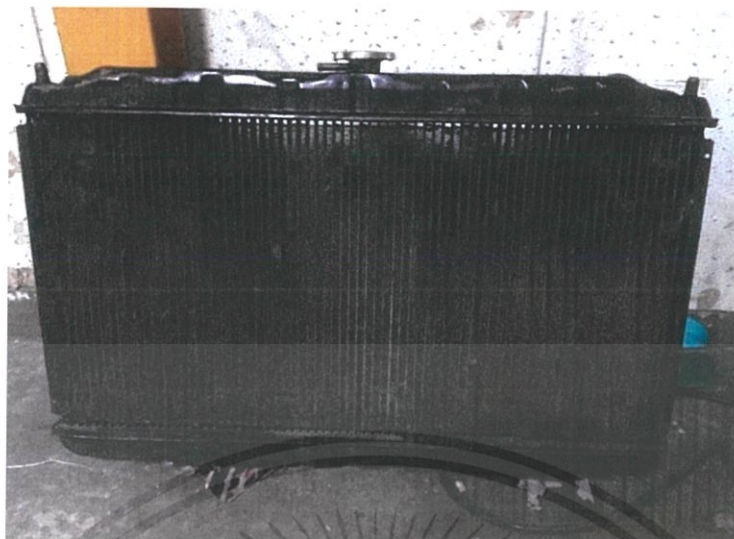
รูปที่ 3.11 Interface ฝั่งขวาของโปรแกรม LabView ขยายบริเวณเชื้อเพลิงและระบบหล่อเย็น

กลุ่มกรอบแสดงสถานะเชื้อเพลิง ประกอบด้วย

1. ฝั่งการไหลของเชื้อเพลิงสำหรับระบบ Auto Refill ซึ่งไม่ได้ถูกใช้งาน
2. สวิตช์สำหรับเปิด-ปิดระบบ Auto Refill
3. ตาชั่งสำหรับวัดน้ำหนักเชื้อเพลิง

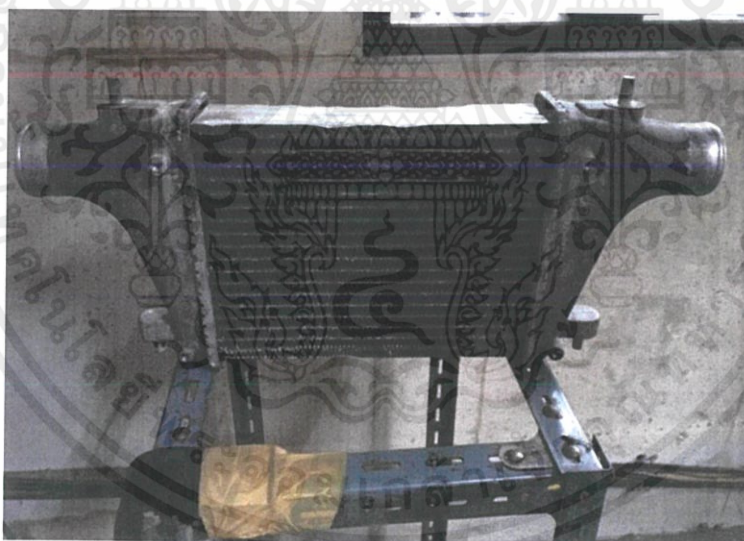
3.1.6 ระบบระบายความร้อน

1. ระบายความร้อนของเครื่องยนต์ หม้อน้ำรถยนต์ ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของเครื่องยนต์ให้มีค่าเทียบเคียงอุณหภูมิที่ใช้งาน



รูปที่ 3.12 หม้อน้ำระบายความร้อนรถยนต์

2. ลดอุณหภูมิของอากาศเข้าเครื่องยนต์โดยอาศัยอินเตอร์คูลเลอร์ หลังจากได้รับกำลังอัดจากซูเปอร์ชาร์จเจอร์ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงต้องมีอินเตอร์คูลเลอร์มาเพื่อลดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.13 อินเตอร์คูลเลอร์ลดความร้อนเข้าห้องไอดี

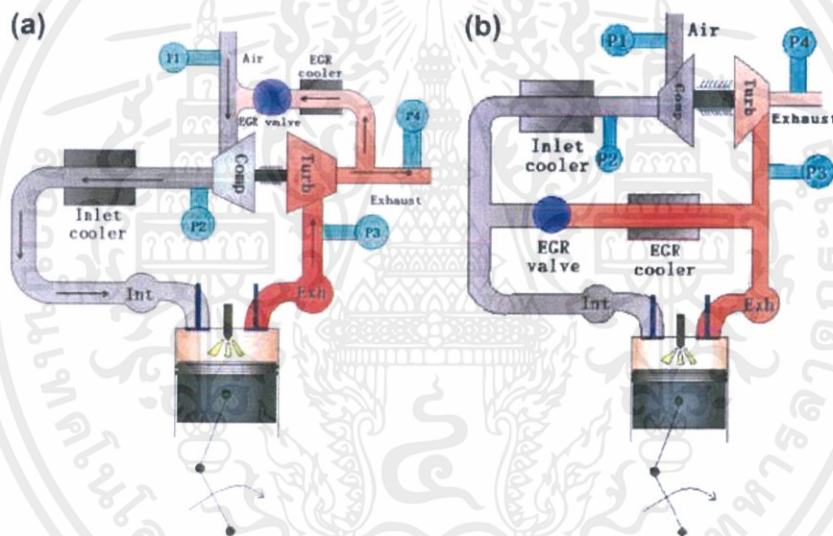
เมื่อไอเสียถูกหมุนเวียนกลับเข้ามานั้นจะทำให้อากาศในห้องไอดีเจือจางลง ซึ่งจะช่วยลดอุณหภูมิในช่วงการเผาไหม้ ส่งผลให้มลพิษคือไนโตรเจนออกไซด์นั้นลดลงไปด้วย การใช้ระบบหมุนเวียนไอเสียกลับมาเผาไหม้ใหม่นั้นสามารถแบ่งได้สองประเภทคือ มี และไม่มีการหล่อเย็นไอเสีย ซึ่งแต่ละแบบนี้ส่งผลต่อเครื่องยนต์ในแบบที่แตกต่างกันออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบ EGR แบบมี และไม่มี การหล่อเย็นไอเสีย

	มีการหล่อเย็น	ไม่มีการหล่อเย็น
คุณสมบัติ	ลดมลพิษ (ไนโตรเจนออกไซด์)	ลดมลพิษ (ไฮโดรคาร์บอน)
	ป้องกันการชิงจุดระเบิดก่อนได้ดีกว่า	ลดระยะเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง
	มีระบบที่ซับซ้อน	ระบบไม่ซับซ้อน

ระบบหมุนเวียนไอเสียกลับมาเผาไหม้ใหม่เมื่อนำมาใช้กับระบบอัดอากาศสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ แบบความดันสูง และแบบความดันต่ำในงานวิจัยนี้จะใช้แบบความดันต่ำเนื่องจากสามารถควบคุมได้ง่าย โดยไอเสียจะถูกจ่ายเข้าไปผสมกับไอดีก่อนที่จะเข้าคอมเพรสเซอร์อัดอากาศ ในระบบนั้นจำเป็นต้องมี EGR Cooler ที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อลดอุณหภูมิของไอเสียไม่ให้สูงเกินไปดังที่แสดงในรูปที่ 3.14a

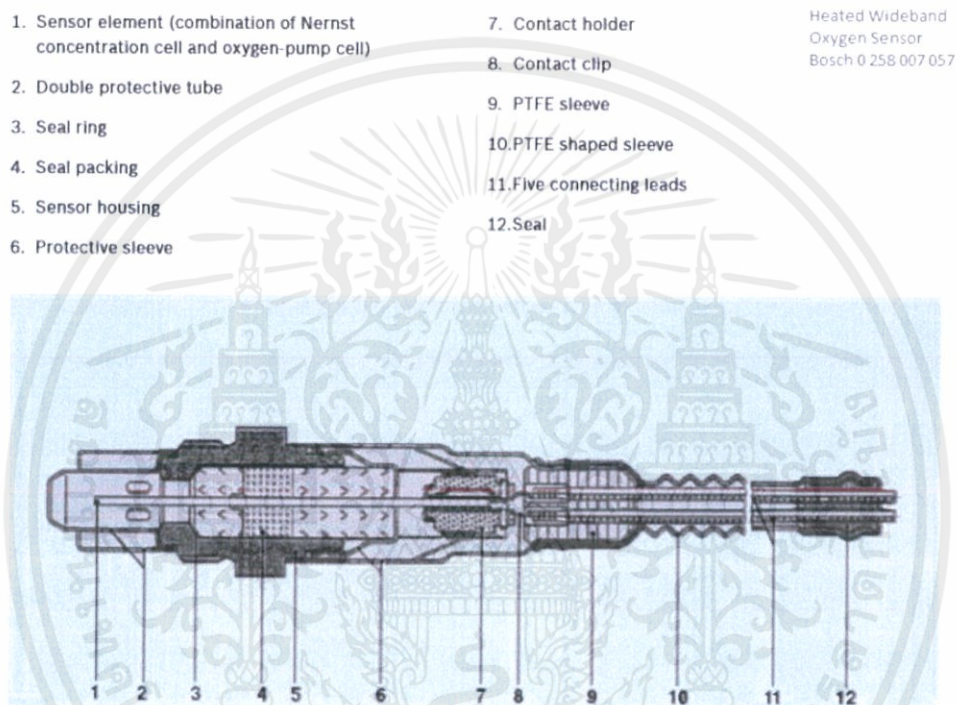


รูปที่ 3.14 ระบบ EGR แบบ (a) Low Pressure Loop และ (b) High Pressure Loop [1]

3.1.7 ออกซิเจนเซนเซอร์ (Oxygen Sensor)

เป็นอุปกรณ์ที่จะวัดอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันในเครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งในการทดลองนี้ ถูกติดตั้งไว้ที่หลังวาล์วไอเสียบริเวณคอท่อไอเสีย โดยผู้ใช้งานจะสามารถตรวจสอบได้ว่าน้ำมันที่ถูกฉีดมากหรือน้อยกว่าที่ควรจะเป็นในขณะนั้น เทียบกับปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี ซึ่งออกซิเจนเซนเซอร์ไม่สามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในอากาศได้โดยตรงแต่จะวัดความแตกต่างของความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในไอเสีย และในบรรยากาศ ออกซิเจนเซนเซอร์จะวัดอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันในเครื่องยนต์สันดาปภายใน อัตราส่วนน้ำมันหนาหรือก็คือการที่มีปริมาณน้ำมันฉีดมากเกินไปทำให้มีความต้องการออกซิเจนมากขึ้น ความต้องการนี้ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้า

เพิ่มขึ้นเนื่องจากการถ่ายเทประจุของกาออกซิเจนผ่านชั้นของเซนเซอร์อัตราส่วนน้ำมันบางซึ่งก็คือปริมาณเชื้อเพลิงน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ทำให้มีออกซิเจนเกินพอดีไหลเข้าสู่ตัวตรวจจับ ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าต่ำเนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนในไอเสียมากขึ้น ระบบควบคุมวงปิด (Closed Loop Feedback-Controlled) ของหัวฉีดสามารถปรับค่าการฉีดขึ้นอยู่กับข้อมูลของเซนเซอร์แทนที่จะฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยการใช้น้ำมันที่คำนวณไว้ล่วงหน้า ซึ่งทำให้หัวฉีดทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ เทคนิคการควบคุมนี้สามารถลดปริมาณของน้ำมันที่ไม่ถูกเผาไหม้ และการเกิดมลพิษจากการเผาไหม้



รูปที่ 3.15 ส่วนประกอบของ Oxygen Sensor [12]

ตารางที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติของตัวอ่าน Oxygen Sensor [12]

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)



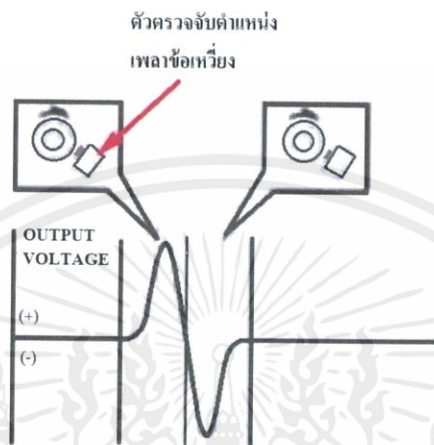
รูปที่ 3.16 Oxygen Sensor พร้อมตัวอ่าน

3.1.8 ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลลาข้อเหวี่ยง (Crank Shaft Position Sensor)

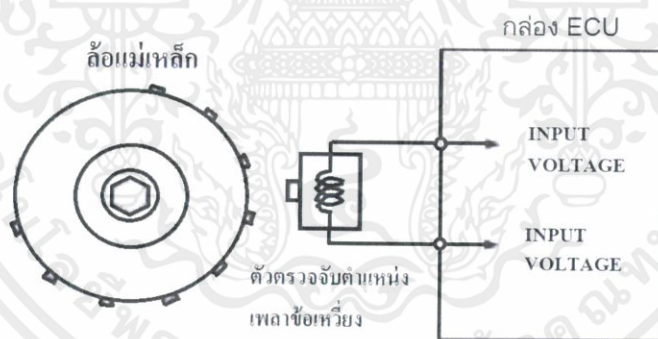
ตัวตรวจจับตำแหน่งเพลลาข้อเหวี่ยงทำด้วยขดลวดพันรอบแกน และล้อแม่เหล็กที่ยึดกับเพลลาข้อเหวี่ยง ใช้เซ็นเซอร์วัดตำแหน่ง คือเมื่อล้อแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดขดลวด ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กไฟฟ้า และสร้างแรงดันไฟฟ้าตามมา กล้อง ECU จะทำหน้าที่รับข้อมูลตำแหน่ง และความเร็วของล้อแม่เหล็กในขณะนั้น แล้วนำข้อมูลมาคำนวณเพื่อระบุความเร็วรอบเพลาคือข้อเหวี่ยง และตำแหน่งเพลาคือข้อเหวี่ยงเพื่อจ่ายเชื้อเพลิง และจุดระเบิดให้ตรงกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ตามที่ได้มีการกำหนดค่าไว้ภายในกล่อง ECU



รูปที่ 3.17 ความต่างศักย์ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำที่ตรวจจับได้ มีค่าเป็นบวกเมื่อแม่เหล็กเคลื่อนที่เข้าหาขดลวด [11]

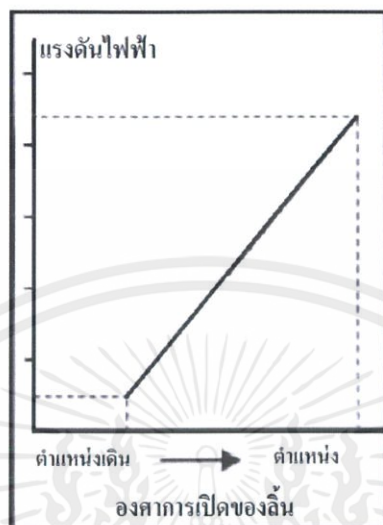


รูปที่ 3.18 แสดงการติดตั้งและรับข้อมูล ระหว่างกล่อง ECU กับตัวตรวจจับตำแหน่งเพลาคือข้อเหวี่ยง [11]

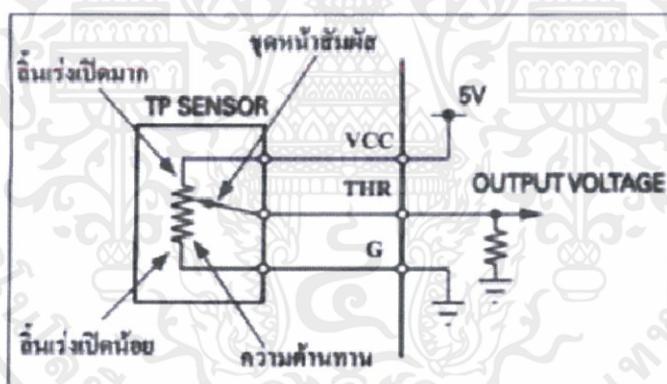
3.1.9 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง Throttle Position Sensor (TPS)

ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งทำหน้าที่ตรวจวัดตำแหน่งการเปิดของลิ้นเร่ง แล้วแปลงองศาการเปิดปิดนั้นเป็นความต้านทานทางไฟฟ้า คือเมื่อปิดสุดความต้านทานมีค่ามากที่สุด ทำให้ความต่างศักย์ขาออกมีค่าน้อยที่สุด (0.5 V) ในทางกลับกันเมื่อเปิดลิ้นเร่งสุดความต้านทานมีค่าน้อยสุด ทำให้ความต่างศักย์ขาออกมีค่ามากที่สุด (4.47 V) โดยกล่อง ECU รับข้อมูลเป็นความต่างศักย์ขาออก เพื่อนำ

ข้อมูลเปิด-ปิดตำแหน่งลิ้นเร่งไปใช้คำนวณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง และองศาจุดระเบิดตามที่ได้มีการกำหนดค่าไว้ภายในกล่อง ECU



รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออกกับตำแหน่งเปิด - ปิดลิ้นเร่ง [11]

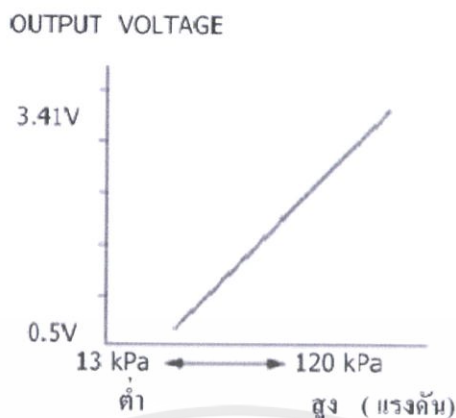


รูปที่ 3.20 แผนผังวงจรทางไฟฟ้าของตำแหน่งเปิด-ปิดลิ้นเร่ง [11]

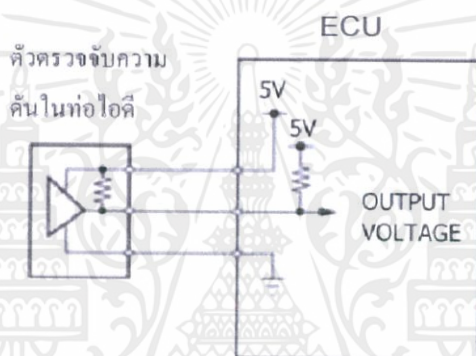
3.1.10 ตัวตรวจจับความดันในท่อไอดี Manifold Absolute Pressure Sensor (MAP)

เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจจับความดันของอากาศขาเข้าที่อยู่ภายในท่อไอดีโดยใช้หลักการยุบตัวมาก-น้อยของแผ่นไดอะแฟรมภายในตัวตรวจจับความดันเปลี่ยนเป็นความต้านทานทางไฟฟ้า ยกตัวอย่างคือเมื่อความดันในท่อไอดีต่ำ (แผ่นไดอะแฟรมยุบตัวน้อย) ความต้านทานจะมีค่ามาก ทำให้ความต่างศักย์ทางไฟฟ้าขาออกมีค่าน้อย ในทางกลับกันเมื่อความดันในท่อไอดีสูง (แผ่นไดอะแฟรมยุบตัวมาก) ความต้านทานจะมีค่าน้อย ทำให้ความต่างศักย์ขาออกมีค่ามาก กล่อง ECU จะรับข้อมูลความต่างศักย์ขาออกเพื่อใช้คำนวณมวลอากาศที่ไหลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ แล้วส่งคำสั่งเพื่อปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงให้เหมาะสมตามอัตราส่วนอากาศ - น้ำมันพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



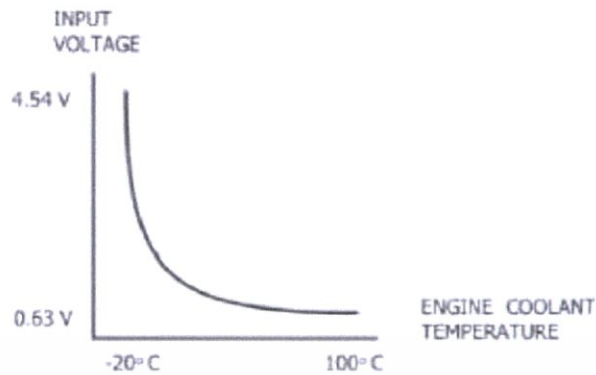
รูปที่ 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออกกับความดันในท่อไอดี [11]



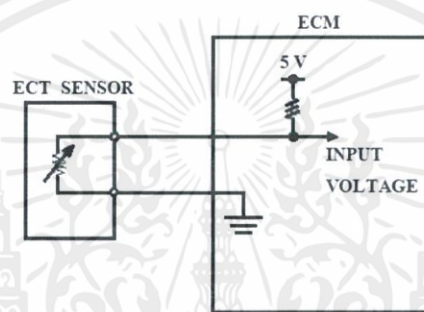
รูปที่ 3.22 แผนผังวงจรทางไฟฟ้าของตัวตรวจจับความดันในท่อไอดี [11]

3.1.11 ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำมันเครื่องยนต์ หรือ ตัวตรวจจับอุณหภูมิหม้อน้ำเครื่องยนต์ Engine Oil Temperature Sensor (EOT) หรือ Engine Coolant Temperature Sensor (ECT)

ตัวตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำมันเครื่องยนต์มีหลักการทำงานคือ ความต้านทานทางไฟฟ้าของตัวตรวจจับมีค่าเปลี่ยนแปลงผกผันกับอุณหภูมิน้ำมันเครื่องยนต์ เมื่ออุณหภูมิน้ำมันเครื่องยนต์สูงขึ้น ความต้านทานจะมีค่าน้อยลง ส่งผลให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออกมีค่าสูงขึ้น ในทางตรงข้ามหากอุณหภูมิ น้ำมันเครื่องยนต์ลดลงความต้านทานจะมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออกมีค่าน้อยลง กล้อง ECU รับข้อมูลความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออกมาคำนวณอุณหภูมิของเครื่องยนต์ แล้วส่งคำสั่งปรับเพิ่ม-ลดระยะเวลาฉีดเชื้อเพลิงเพื่อให้เครื่องยนต์มีอุณหภูมิทำงานที่เหมาะสม เช่น หากเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำกล้อง ECU จะส่งจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น สำหรับการทดลองนี้จะถูกใช้เพื่อความปลอดภัย โดยผู้ทดลองจะลดความเร็วของเครื่องยนต์หากอุณหภูมิน้ำมันเครื่องสูงเกินไป



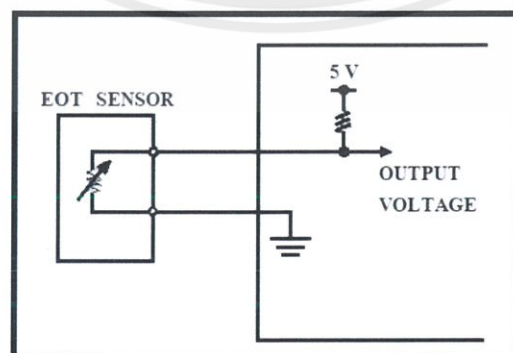
รูปที่ 3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ทางไฟฟ้ากับอุณหภูมิน้ำมันเครื่องยนต์ [11]



รูปที่ 3.24 แผนผังวงจรทางไฟฟ้าของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง [11]

3.1.12 ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศในท่อไอดี Intake Air Temperature Sensor (IAT)

เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจจับอุณหภูมิของอากาศทางเข้าที่อยู่ภายในท่อไอดี โดยใช้หลักการความต้านทานทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ กล้อง ECU จะอ่านความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงตามความต้านทานนั้นเพื่อนำข้อมูลมาคำนวณหาปริมาณอากาศที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ขณะนั้น แล้วจึงปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับปริมาณอากาศที่เปลี่ยนแปลง ยกตัวอย่างคืออากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความหนาแน่นต่ำกว่า ทำให้มวลของอากาศที่ปริมาตรเท่ากันมีค่าต่ำกว่า กล้อง ECU จะปรับลดระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงลง เพื่อให้อัตราส่วนอากาศ – น้ำมันพอดีกัน



รูปที่ 3.25 แผนผังวงจรตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศในท่อไอดี [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการทดลองในภาพรวม

3.2.1 ปรับแต่งเครื่องยนต์เพื่อรองรับการติดตั้งตัวอัดบรรจุอากาศ (Supercharger) และระบบหมุนเวียนไอเสีย (EGR system)

3.2.2 ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

3.2.3 ปรับแต่งเครื่องยนต์เพื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 เติมเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E85 ลงในภาชนะที่ถูกวางบนเครื่องชั่งน้ำหนัก

3.3.2 อุ่นเครื่องที่สภาวะไม่มีภาระ (No Load)

3.3.3 ตั้งค่าระบบไคนาโมมิเตอร์ที่ Constant Speed เพื่อตั้งรอบการทำงานไว้ที่ 1500 รอบ

3.3.4 เร่งเครื่องไปที่สภาวะล้นเร่งเปิดสุด (WOT)

3.3.5 ปรับปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงผ่านกล่อง ECU โดยการอ่านค่าอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงจากออกซิเจนเซ็นเซอร์ให้มีอัตราส่วนเผาไหม้สมบูรณ์ ($\lambda = 1$)

3.3.6 ปรับองศาการจุดระเบิดของหัวเทียนผ่านกล่อง ECU โดยอ่านค่าแรงบิดที่วัดได้จากไคนาโมมิเตอร์แล้วบันทึกค่าตำแหน่งองศาการจุดระเบิดที่ให้แรงบิดสูงสุด

3.3.7 เมื่อบันทึกค่า BSFC ต่ำสุดได้ในช่วงองศาการจุดระเบิดดังกล่าว จะสามารถเก็บค่าตัวแปรผลลัพธ์โดยอ่านค่า แรงบิด และกำลังโดยอ่านค่าจากคอมพิวเตอร์ น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ลดลง โดยอ่านค่าจากเครื่องชั่งน้ำหนัก อุณหภูมิไอเสีย รวมถึงปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสม

3.3.8 เพิ่ม Boost ไปที่ 0.1 และ 0.3 บาร์ โดยใช้ตัวอัดบรรจุอากาศ (Supercharger) และทำตามตามขั้นตอนที่ 5 ถึง 7 ซ้ำอีกครั้งในแต่ละสภาวะ Boost

3.3.9 เพิ่มการใช้ปริมาณไอเสีย (%EGR) ในแต่ละสภาวะ Boost และทำตามตามขั้นตอนที่ 5 ถึง 7 ซ้ำอีกครั้งในแต่ละ %EGR

3.3.10 ทำการทดลองตามขั้นตอน ข้อ 3 ถึงข้อ 9 อีก 2 ครั้ง

3.4 ตัวชี้วัดผลการทดลอง

ตัวแปรต่างๆที่จะใช้วัดตัวคุณสมบัติของเครื่องยนต์หลังติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสียในเครื่องยนต์หัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟที่มีการติดตั้งตัวอัดบรรจุอากาศมีดังนี้

1. Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)
2. Thermal Efficiency
3. Ignition Timing at Highest Torque
4. Torque

3.5 ข้อจำกัดของการทดลอง

3.5.1 การทดลองนี้ทดสอบเครื่องยนต์ที่สภาวะโหลดสูงสุด และรอบคงที่ 1500 รอบต่อนาที เท่านั้น

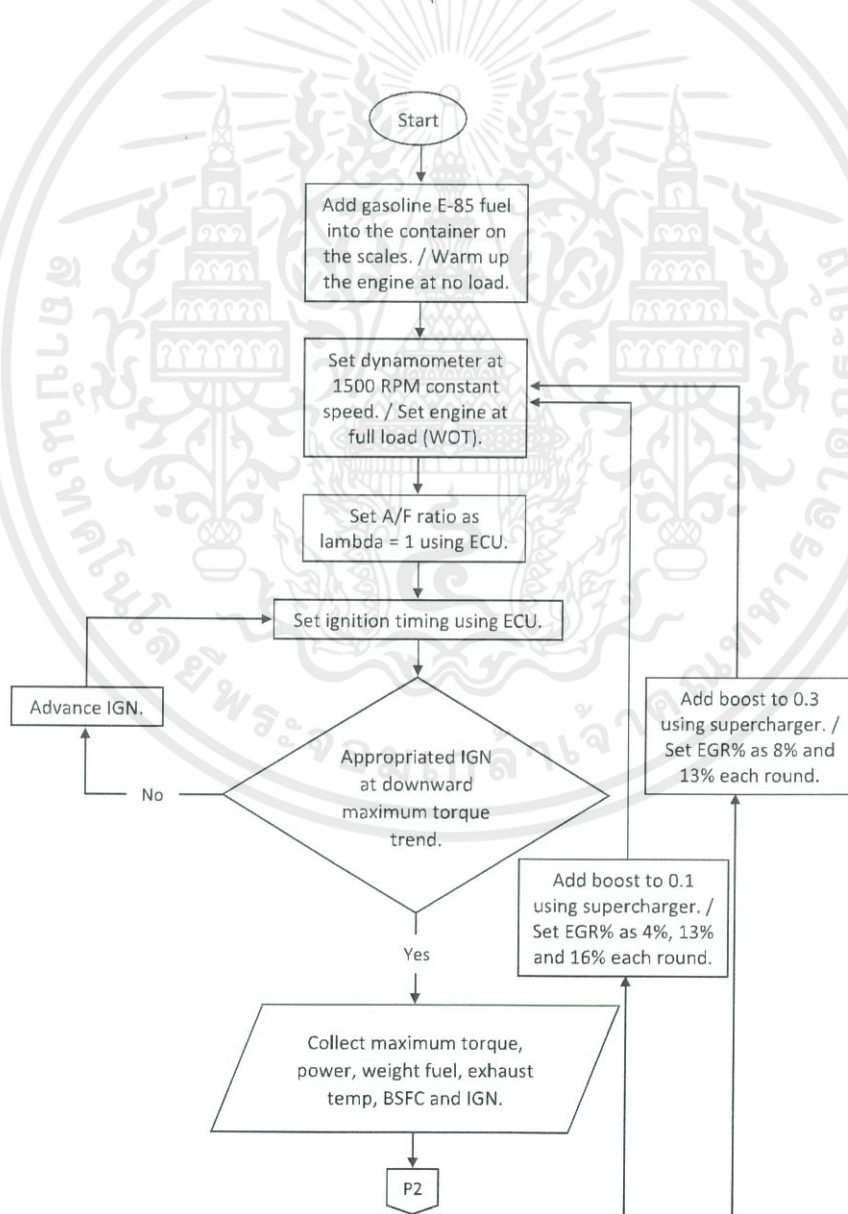
3.5.2 อุณหภูมิในห้องทดลอง ไม่สามารถควบคุมให้คงที่ทุกการทดลองได้ อาจมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

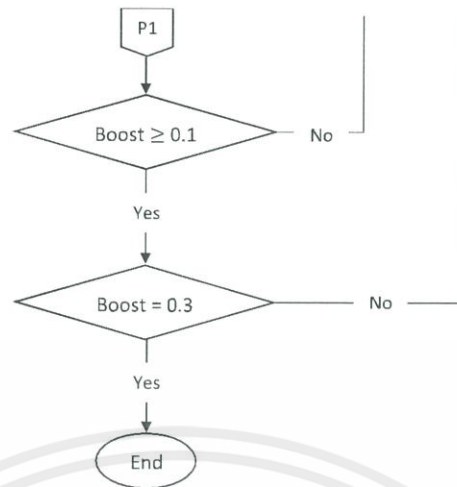
3.5.3 ไม่สามารถควบคุมปริมาณของไอเสียที่เข้าไปยังห้องเผาไหม้ได้อย่างแม่นยำ และปริมาณไอเสียที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้มีปริมาณที่จำกัด

3.5.4 อุปกรณ์ในการวัดบางอย่างมีราคาสูง จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการทดลองได้

3.5.5 ชุดเพลลาของไดนาโมมิเตอร์มีสภาพไม่สมบูรณ์ ซึ่งอาจทำให้การวัดผลมีการคลาดเคลื่อนได้

3.5.6 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนซูเปอร์ชาร์จเจอร์ไม่ได้นำมาคำนวณ





รูปที่ 3.26 แผนผังการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและบทวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองด้วยวิธีการทางสถิติ

ตารางที่ 4.1 แสดง ANOVA Table วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม spss

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable: BSFC						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	28958.912 ^a	7	4136.987	48.724	.0000000	
Intercept	44445362.446	1	44445362.446	523458.696	.0000000	
Boost	1354.252	2	677.126	7.975	.0004471	
EGR	6085.914	4	1521.479	17.919	.0000000	
Boost * EGR	19783.872	1	19783.872	233.006	.0000000	
Error	19698.448	232	84.907			
Total	55267020.630	240				
Corrected Total	48657.360	239				

a. R Squared = .595 (Adjusted R Squared = .583)

จากตารางพบว่า ค่า P-value ของทั้ง Boost และ EGR มีค่าน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงให้ทราบว่าทั้ง Boost และ EGR ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ BSFC อย่างมีนัยสำคัญ

ทั้งนี้ค่า P-value ของ Boost*EGR มีค่าน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ เช่นกัน แสดงให้ทราบว่าทั้ง Boost และ EGR มีอิทธิพลในการเปลี่ยนแปลง BSFC ร่วมกัน

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของ BSFC ในสภาวะต่างๆ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม spss

Estimated Marginal Means				
1. Boost				
Dependent Variable: BSFC				
Boost	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Boost 0	486.227 ^a	1.682	482.912	489.541
Boost 0.1	476.326 ^a	.841	474.669	477.983
Boost 0.3	481.924 ^a	.971	480.011	483.838

a. Based on modified population marginal mean.

2. EGR				
Dependent Variable: BSFC				
EGR	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
EGR 0	485.691	.971	483.777	487.605
EGR 4	480.137 ^a	1.682	476.822	483.451
EGR 8	475.510 ^a	1.682	472.195	478.825
EGR 13	478.153 ^a	1.190	475.810	480.497
EGR 16	468.277 ^a	1.682	464.962	471.591

a. Based on modified population marginal mean.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

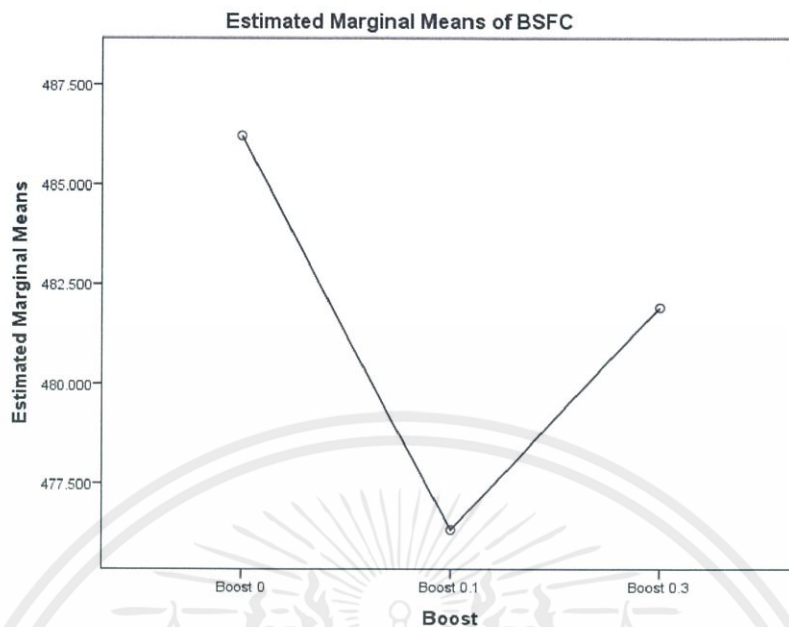
3. Boost * EGR

Dependent Variable: BSFC					
Boost		Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Boost 0	EGR 0	486.227	1.682	482.912	489.541
	EGR 4	a.			
	EGR 8	a.			
	EGR 13	a.			
	EGR 16	a.			
Boost 0.1	EGR 0	494.920	1.682	491.605	498.235
	EGR 4	480.137	1.682	476.822	483.451
	EGR 8	a.			
	EGR 13	461.970	1.682	458.655	465.285
	EGR 16	468.277	1.682	464.962	471.591
Boost 0.3	EGR 0	475.927	1.682	472.612	479.241
	EGR 4	a.			
	EGR 8	475.510	1.682	472.195	478.825
	EGR 13	494.337	1.682	491.022	497.651
	EGR 16	a.			

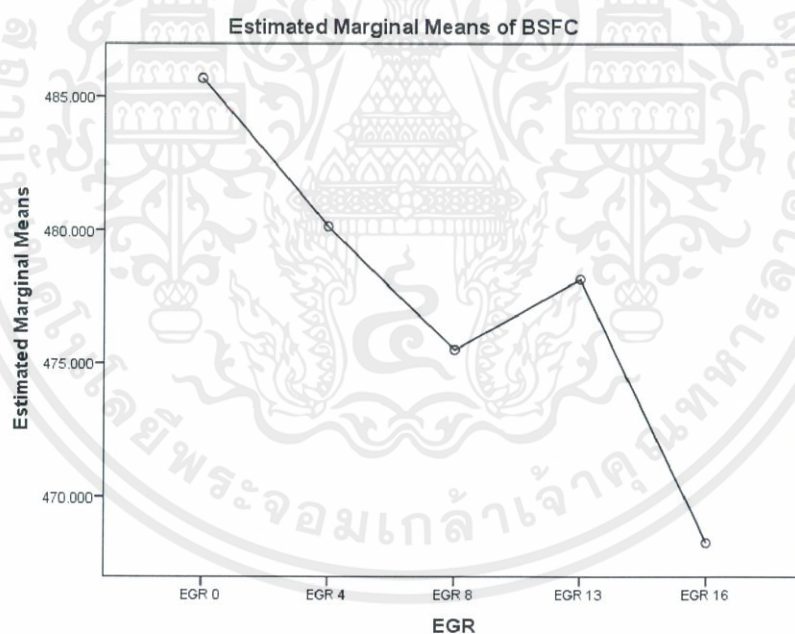
a. This level combination of factors is not observed, thus the corresponding population marginal mean is not estimable.

จากตารางพบว่า ค่า BSFC เนื่องจาก Boost มีค่าต่ำสุด 476.326 กรัมต่อกิโวลต์ชั่วโมง ที่ Boost 0.1 เนื่องจาก EGR มีค่าต่ำสุด 475.510 กรัมต่อกิโวลต์ชั่วโมง ที่ EGR 8% และเนื่องจาก Boost*EGR มีค่าต่ำสุด 461.970 กรัมต่อกิโวลต์ชั่วโมง ที่ Boost 0.1 EGR 13%

แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของ Boost*EGR ต่อการเปลี่ยนแปลงของ BSFC มีมากกว่าอิทธิพลของ Boost หรือ EGR เพียงอย่างเดียวหนึ่ง

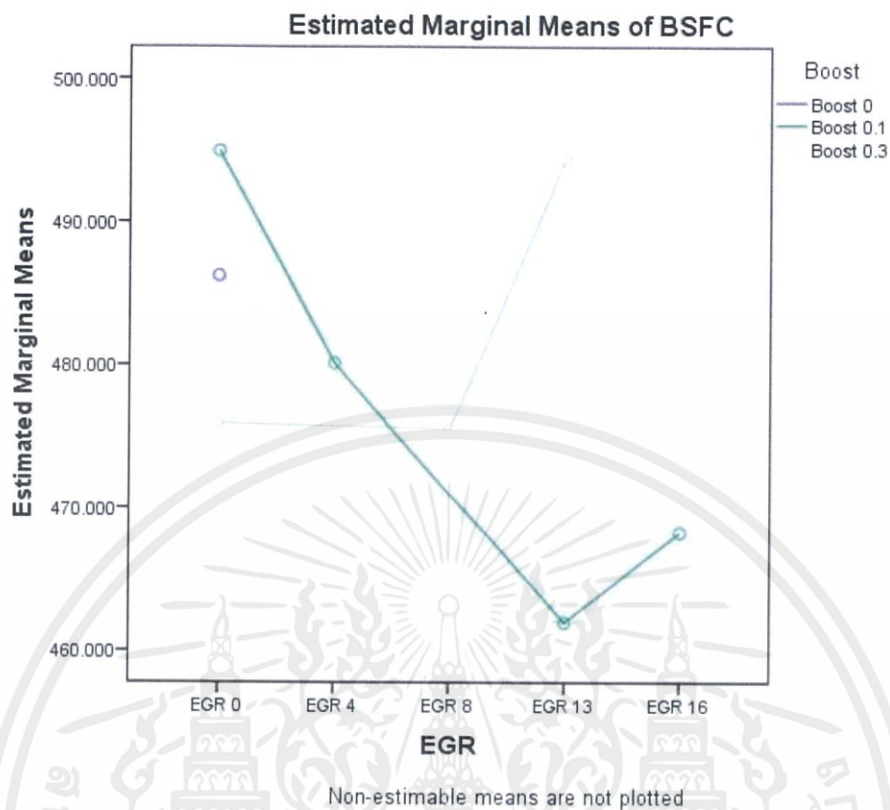


รูปที่ 4.1 กราฟแสดง Main Effect ของ Boost ที่มีผลต่อ BSFC โดยใช้โปรแกรม spss



รูปที่ 4.2 กราฟแสดง Main Effect ของปริมาณไอเสียที่มีผลต่อ BSFC โดยใช้โปรแกรม spss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



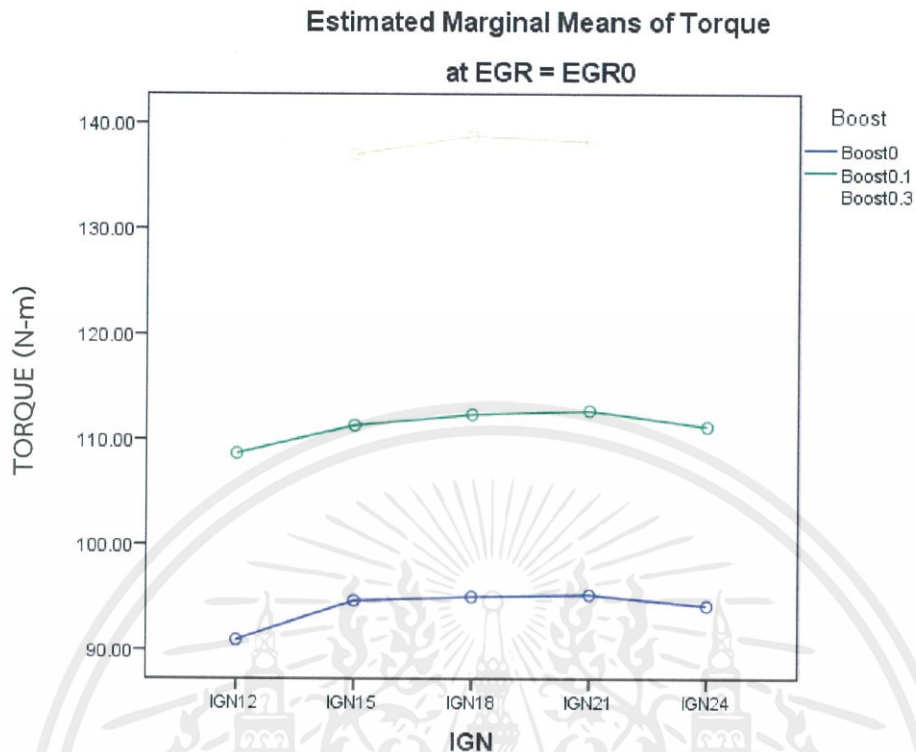
รูปที่ 4.3 กราฟแสดง Interaction ระหว่างปริมาณไอเสียและ Boost ที่มีผลต่อ BSFC โดยใช้โปรแกรม spss

4.1 แรงบิด (Torque)

ตารางที่ 4.3 แสดงแรงบิดที่ได้จากเงื่อนไขการทดลองต่างๆ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม spss

%EGR (%)	Boost					
	0.0		0.1		0.3	
	IGN (bTDC)	Torque (N·m)	IGN (bTDC)	Torque (N·m)	IGN (bTDC)	Torque (N·m)
0	12	90.9203	12	108.6610	12	
	15	94.6513	15	111.3290	15	137.0330
	18	95.0060	18	112.3530	18	138.7643
	21	95.2050	21	112.7077	21	138.1967
	24	94.1583	24	111.1913	24	
	27		27		27	
	30		30		30	
	33		33		33	
4	12		12		12	
	15		15		15	
	18		18		18	
	21		21	108.5910	21	
	24		24	109.7123	24	
	27		27	107.6930	27	
	30		30		30	
	33		33		33	
8	12		12		12	
	15		15		15	120.6393
	18		18		18	129.9283
	21		21		21	127.3760
	24		24		24	125.7327
	27		27		27	
	30		30		30	
	33		33		33	
13	12		12		12	
	15		15		15	
	18		18		18	114.2810
	21		21	102.8980	21	116.5457
	24		24	102.3810	24	117.4837
	27		27	101.5457	27	
	30		30	99.4400	30	
	33		33		33	
16	12		12		12	
	15		15		15	
	18		18		18	
	21		21	95.9623	21	
	24		24	97.3810	24	
	27		27	99.8167	27	
	30		30	98.0840	30	
	33		33	97.0913	33	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

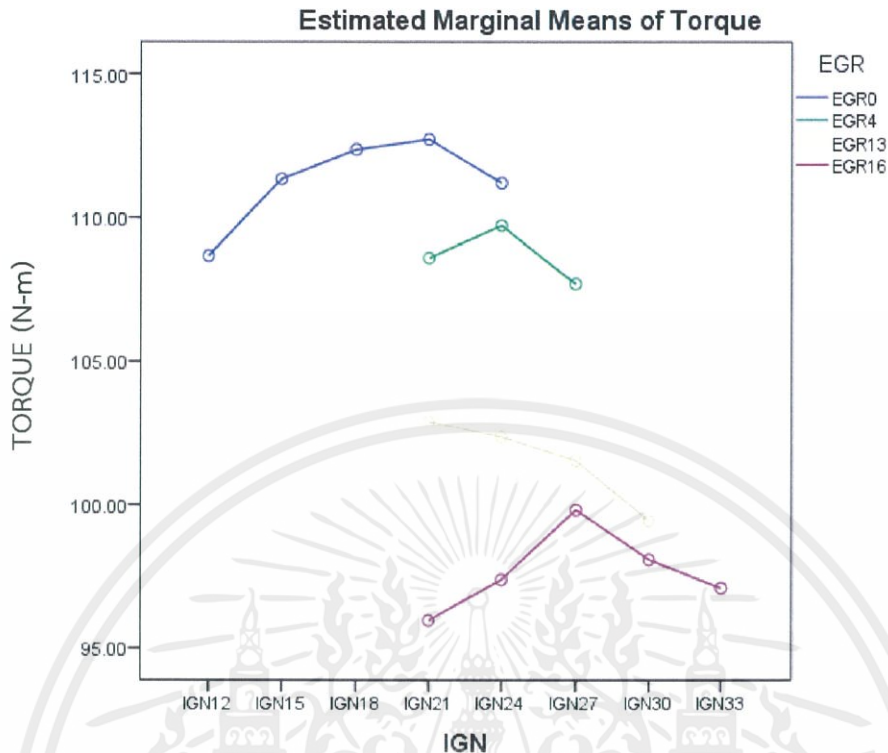


รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างองศาการจุดระเบิดและแรงบิด ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost ต่างๆ เมื่อไม่มีการใช้ระบบ EGR โดยใช้โปรแกรม spss

จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม spss พบว่า แรงบิดที่ทุกองศาการจุดระเบิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ Boost เพิ่มขึ้น และสูงสุดที่สภาวะ Boost 0.3 โดยแรงบิดจะมีค่าสูงสุดที่องศาการจุดระเบิด 21, 21, และ 18 ในสภาวะ Boost 0.0, 0.1, และ 0.3 ตามลำดับ

เมื่อเทียบค่าแรงบิดสูงสุด ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost ต่างๆ โดยไม่มีการใช้ระบบ EGR พบว่าแรงบิดที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost 0.1 และ 0.3 มีค่าเพิ่มขึ้น 15.53% และ 31.39% ตามลำดับเมื่อเทียบกับสภาวะ Boost 0.0

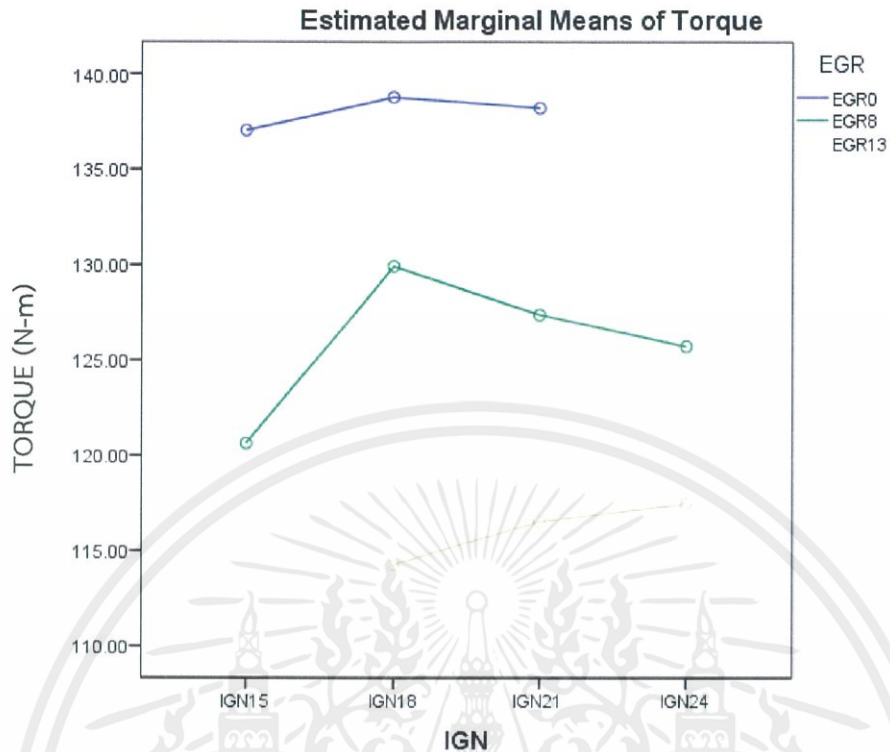
ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของแรงบิด เกิดจากการติดตั้งซูเปอร์ชาร์จเจอร์ที่มีความสามารถในการเพิ่มกำลังอัดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ส่งผลให้ปริมาณอากาศและเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้สูงขึ้น และยังทำให้ทราบว่า การติดตั้งซูเปอร์ชาร์จเจอร์ทำให้เกิดการน็อคง่ายขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความดันและอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ ส่งผลให้ตำแหน่งการจุดระเบิดแคบลง[2]



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างองศาการจุดระเบิดและแรงบิด ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost 0.1 และมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ โดยใช้โปรแกรม spss

จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม spss พบว่า แรงบิดที่ทุกองศาการจุดระเบิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียเพิ่มขึ้น และต่ำสุดที่ปริมาณไอเสีย 16% โดยแรงบิดจะมีค่าสูงสุดที่องศาการจุดระเบิด 21, 24, 21, และ 27 ในสภาวะติดตั้งระบบ EGR ที่มีปริมาณไอเสีย 0%, 4%, 13%, และ 16% ตามลำดับ

เมื่อเทียบค่าแรงบิดสูงสุด ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ ที่สภาวะ Boost 0.1 พบว่าแรงบิดที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีปริมาณไอเสีย 4%, 13%, และ 16% มีค่าลดลง 2.66%, 8.70% และ 11.44% ตามลำดับเมื่อเทียบกับสภาวะที่ไม่มีการใช้ระบบ EGR



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างองศาการจุดระเบิดและแรงบิด ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost 0.3 และมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ โดยใช้โปรแกรม spss

จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม spss พบว่า แรงบิดที่ทุกองศาการจุดระเบิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียเพิ่มขึ้น และต่ำสุดที่ปริมาณไอเสีย 13% โดยแรงบิดจะมีค่าสูงสุดที่องศาการจุดระเบิด 18, 18, และ 24 ในสภาวะติดตั้งระบบ EGR ที่มีปริมาณไอเสีย 0%, 8%, และ 13% ตามลำดับ

เมื่อเทียบค่าแรงบิดสูงสุด ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ ที่สภาวะ Boost 0.3 พบว่าแรงบิดที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีปริมาณไอเสีย 8% และ 13% มีค่าลดลง 6.37% และ 15.34% ตามลำดับเมื่อเทียบกับสภาวะที่ไม่มีการใช้ระบบ EGR

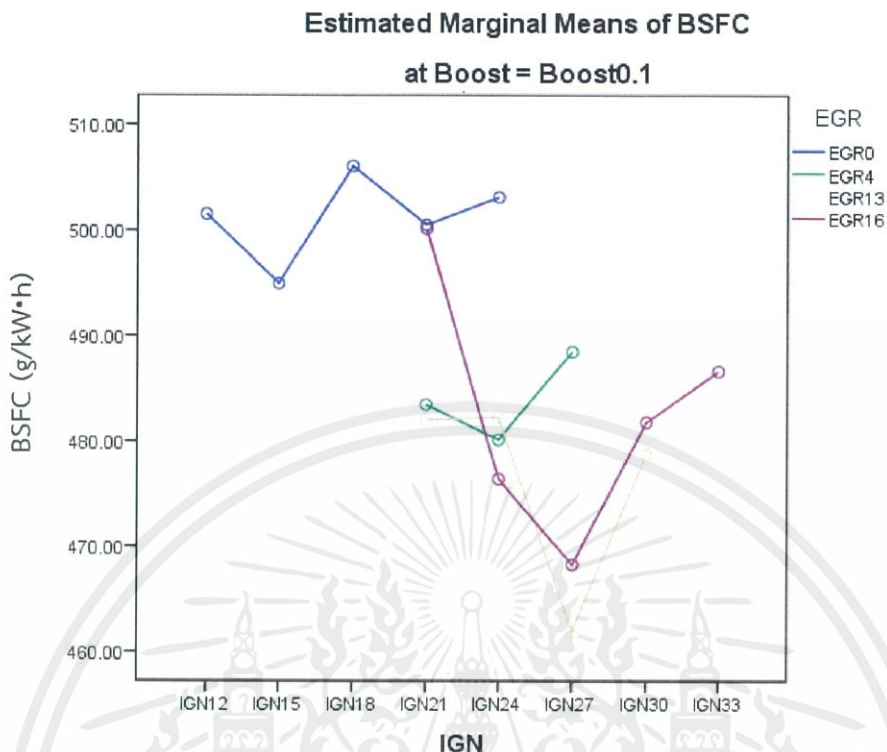
ทั้งนี้การติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสียทำให้ปริมาณไอดีบางส่วนถูกแทนที่ด้วยไอเสีย ปริมาณเชื้อเพลิงต่ออากาศที่ต้องใช้จึงลดลง[1]เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ($\lambda = 1$) แรงบิดที่ได้จึงลดลงเมื่อปริมาณไอเสียเพิ่มขึ้น และการติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสียสามารถทำให้ตำแหน่งการจุดระเบิดกว้างขึ้น[2] เนื่องจากระบบหมุนเวียนไอเสีย สามารถลดอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ซึ่งทำการเกิดการยับยั้งการเกิดน็อคได้[9]

4.2 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (Brake Specific Fuel Consumption)

ตารางที่ 4.4 แสดงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่ได้จากเงื่อนไขการทดลองต่างๆ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม spss

%EGR (%)	Boost					
	0.0		0.1		0.3	
	IGN (bTDC)	BSFC (g/kW-h)	IGN (bTDC)	BSFC (g/kW-h)	IGN (bTDC)	BSFC (g/kW-h)
0	12	506.7367	12	501.5133	12	
	15	520.0900	15	494.9200	15	497.0967
	18	495.1633	18	506.0467	18	475.9267
	21	486.2267	21	500.4833	21	490.0867
	24	508.2800	24	503.1000	24	
	27		27		27	
	30		30		30	
	33		33		33	
4	12		12		12	
	15		15		15	
	18		18		18	
	21		21	483.4633	21	
	24		24	480.1367	24	
	27		27	488.4700	27	
	30		30		30	
	33		33		33	
8	12		12		12	
	15		15		15	515.7833
	18		18		18	475.5100
	21		21		21	489.6200
	24		24		24	496.8467
	27		27		27	
	30		30		30	
	33		33		33	
13	12		12		12	
	15		15		15	
	18		18		18	517.0533
	21		21	482.0600	21	498.9667
	24		24	482.2667	24	494.3367
	27		27	461.9700	27	
	30		30	478.7433	30	
	33		33		33	
16	12		12		12	
	15		15		15	
	18		18		18	
	21		21	500.1100	21	
	24		24	476.4333	24	
	27		27	468.2767	27	
	30		30	481.7900	30	
	33		33	486.6033	33	

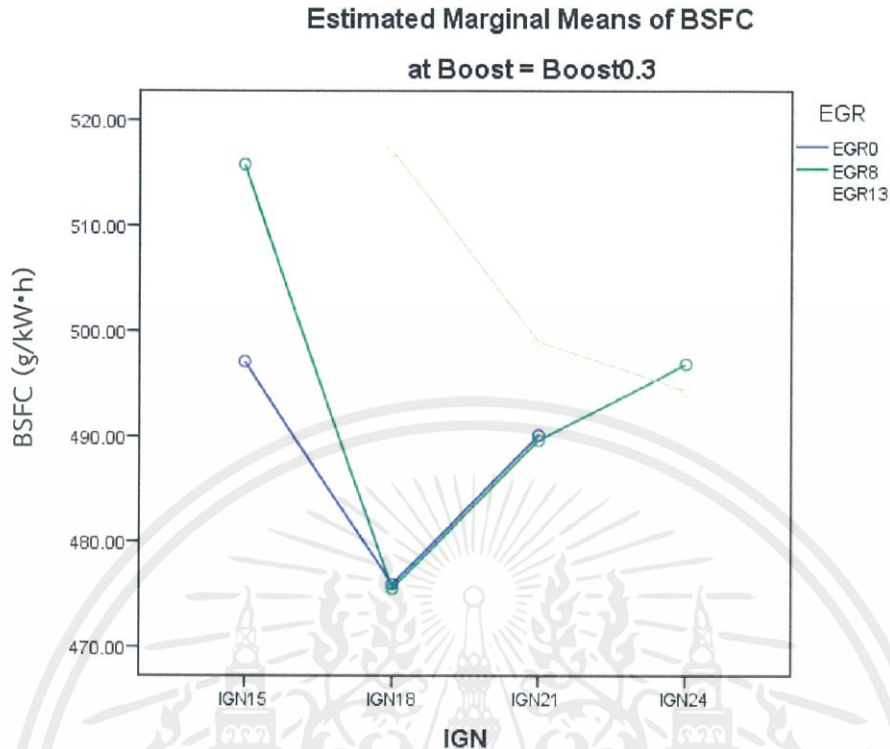
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างองศาการจุดระเบิดและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost 0.1 และมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ โดยใช้โปรแกรม spss

จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม spss พบว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่ทุกองศาการจุดระเบิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียเพิ่มขึ้น และต่ำสุดที่ปริมาณไอเสีย 13% โดยความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคจะมีค่าต่ำสุดที่องศาการจุดระเบิด 15, 24, 27, และ 27 ในสภาวะติดตั้งระบบ EGR ที่มีปริมาณไอเสีย 0%, 4%, 13%, และ 16% ตามลำดับ

เมื่อเทียบค่าความสิ้นเปลืองจำเพาะเบรคต่ำสุด ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ ที่สภาวะ Boost 0.1 พบว่าความสิ้นเปลืองจำเพาะเบรคที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีปริมาณไอเสีย 4%, 13%, และ 16% มีค่าลดลง 2.99%, 6.66% และ 5.38% ตามลำดับเมื่อเทียบกับสภาวะที่ไม่มีการใช้ระบบ EGR

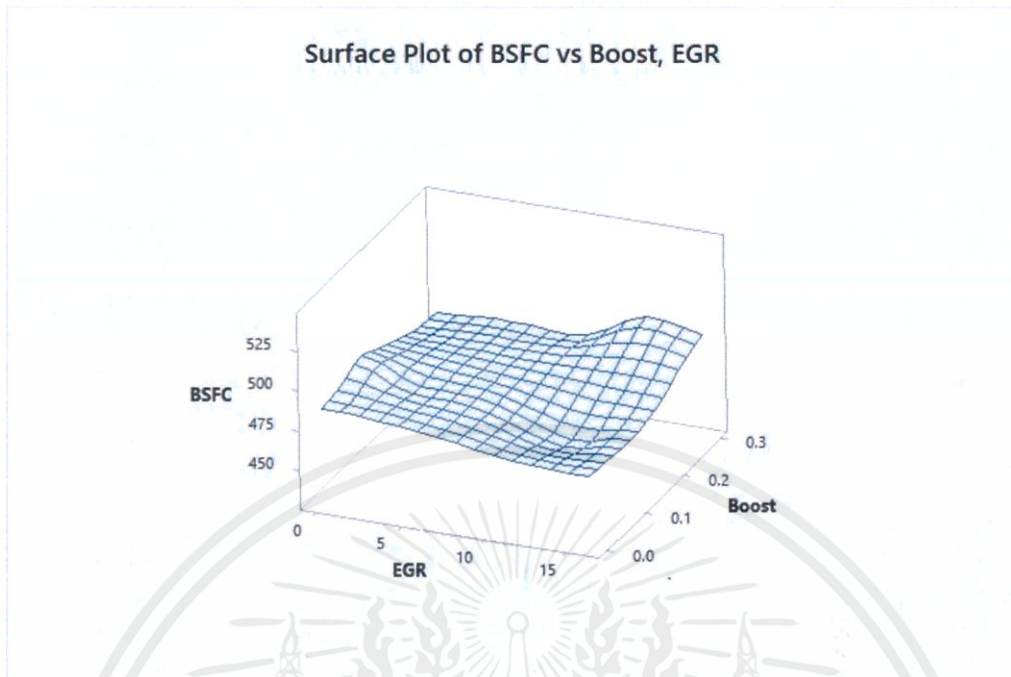


รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างองศาการจุดระเบิดและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost 0.3 และมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ โดยใช้โปรแกรม spss

จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม spss พบว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคจะมีค่าต่ำสุดที่ปริมาณไอเสีย 8% โดยความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคจะมีค่าต่ำสุดที่องศาการจุดระเบิด 18, 18, และ 24 ในสภาวะติดตั้งระบบ EGR ที่มีปริมาณไอเสีย 0%, 8%, และ 13% ตามลำดับ

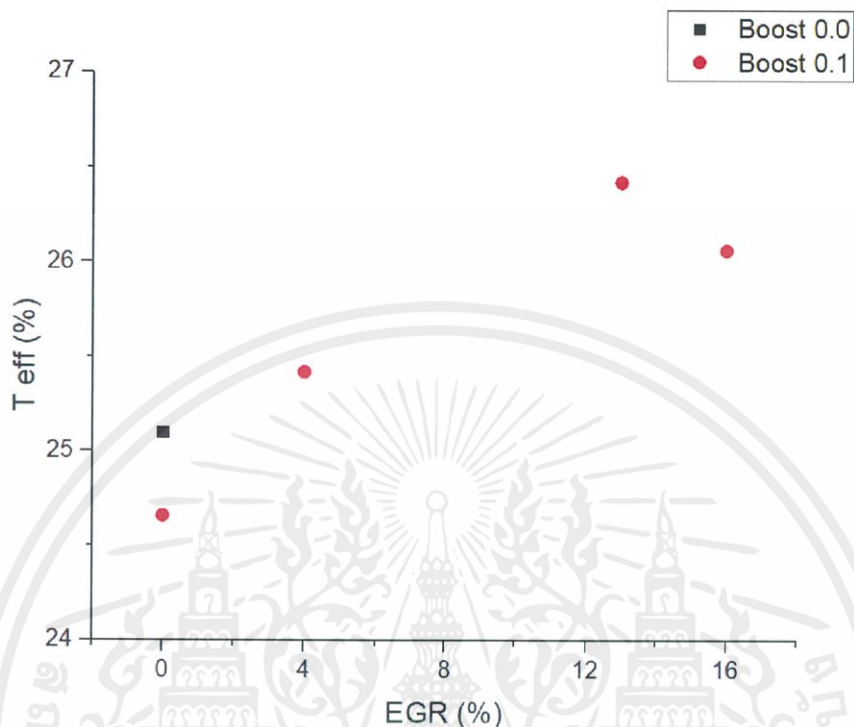
เมื่อเทียบค่าความสิ้นเปลืองจำเพาะเบรคต่ำสุด ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ระบบ EGR ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ ที่สภาวะ Boost 0.3 พบว่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีปริมาณไอเสีย 8% มีค่าลดลง 0.09% และที่มีปริมาณไอเสีย 13% มีค่าเพิ่มขึ้น 3.87% เมื่อเทียบกับสภาวะที่ไม่มีการใช้ระบบ EGR

เนื่องจากการติดตั้งระบบ EGR สามารถลดอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ลงได้ ซึ่งช่วยยับยั้งการเกิดน็อค[9] จึงทำให้มีองศาการจุดระเบิดที่กว้าง และสามารถจุดไฟแก่ (Advance) ได้มากขึ้น มีผลทำให้ลด BSFC ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.9 พื้นผิวความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอเสีย Boost และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่เกิดขึ้นในสถานะต่างๆ

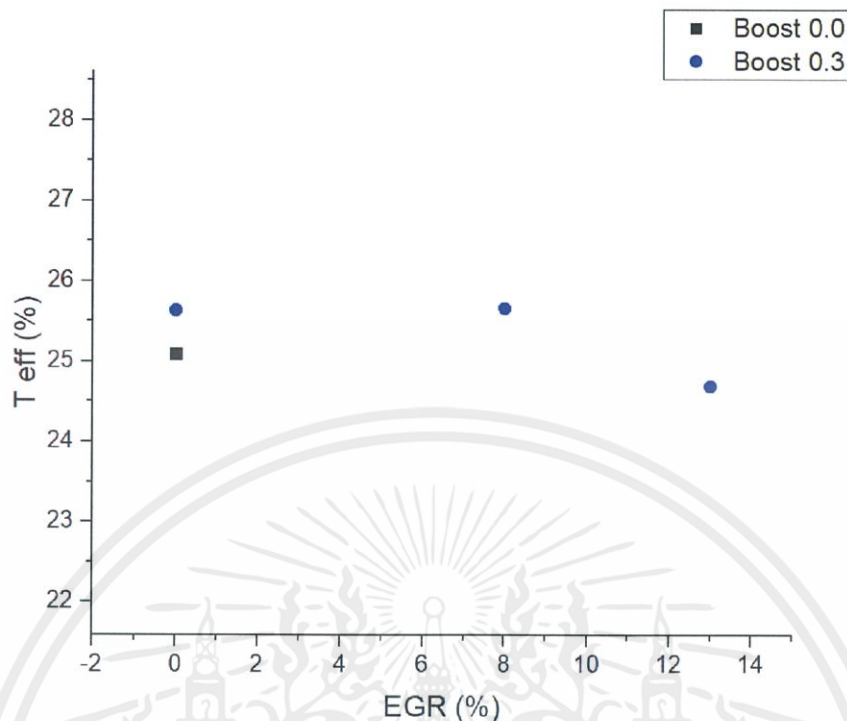
4.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency)



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอเสียและประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost 0.1 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ไม่มี Boost และไม่มี EGR

จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม spss พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ไม่มี Boost และไม่มี EGR มีค่า 25.10% เครื่องยนต์ที่ Boost 0.1 และไม่มี EGR มีค่า 24.66% และเครื่องยนต์ที่ Boost 0.1 และมี EGR 13% มีค่า 26.42%

เมื่อเทียบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่เกิดขึ้นในสภาวะต่างๆ ระหว่างเครื่องยนต์ที่ไม่มี Boost และไม่มี EGR กับ เครื่องยนต์ที่ Boost 0.1 และไม่มี EGR มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดลดลง 0.44% หากแต่เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ Boost 0.1 และ EGR 13% จะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเพิ่มขึ้น 1.32%



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอเสียและประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost 0.3 เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ไม่มี Boost และไม่มี EGR

จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม spss พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ไม่มี Boost และไม่มี EGR มีค่า 25.10% เครื่องยนต์ที่ Boost 0.3 และไม่มี EGR มีค่า 25.64% และเครื่องยนต์ที่ Boost 0.3 และ EGR 8% มีค่า 25.66%

เมื่อเทียบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่เกิดขึ้นในสภาวะต่างๆ ระหว่างเครื่องยนต์ที่ไม่มี Boost และไม่มี EGR กับ เครื่องยนต์ที่ Boost 0.1 และไม่มี EGR มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเพิ่มขึ้น 0.54% และเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ Boost 0.3 และ EGR 8% และ มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเพิ่มขึ้น 0.56%

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แม้การเพิ่ม Boost 0.3 ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ใน boost 0.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าลดลง และการติดตั้งระบบ EGR พร้อมทั้งปรับปรุงการจุดระเบิดอย่างเหมาะสม[2] สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ทุกสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เมื่อเพิ่ม Boost ติดตั้งระบบ EGR และปรับปรุงการจุดระเบิดอย่างเหมาะสมแล้ว จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้มากกว่าการเพิ่ม Boost เพียงอย่างเดียว

4.4 องศาการจุดระเบิดที่เหมาะสม (Optimum Ignition Timing)

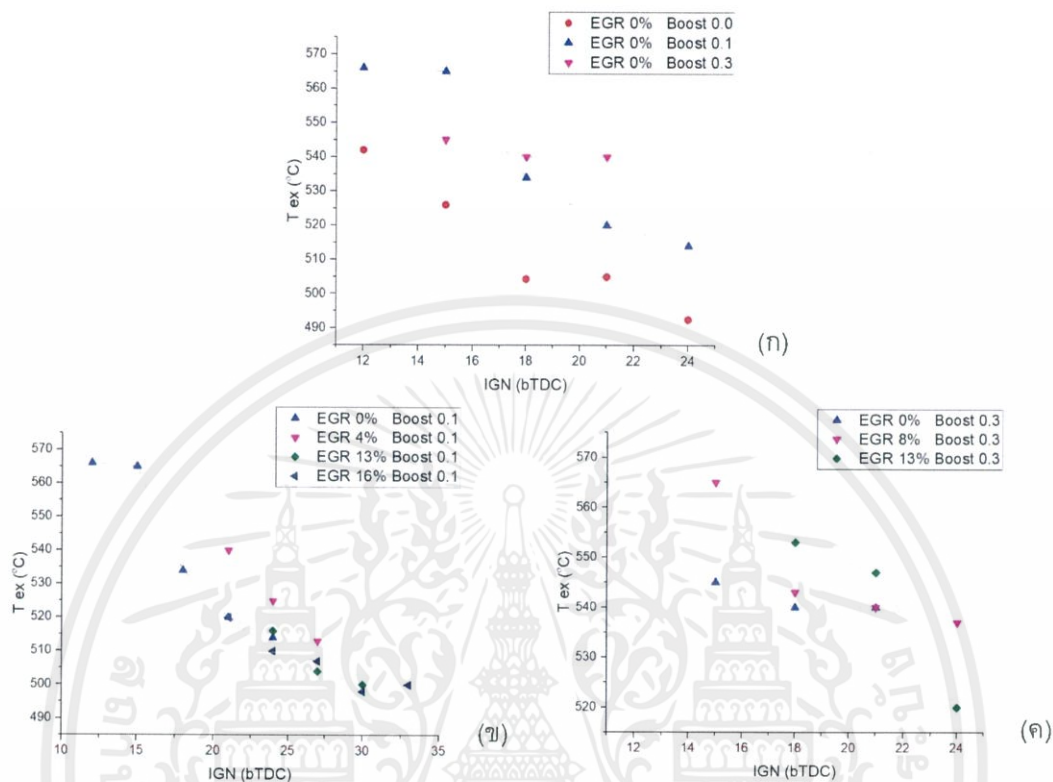
ตารางที่ 4.5 แสดงองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมที่แรงบิดสูงสุด ในสภาวะ Boost ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม spss

Boost (bar)	EGR Add (%)				
	0	4	8	13	16
0.0	21	-	-	-	-
0.1	21	24	-	21	27
0.3	18	-	18	24	-

จากการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม spss พบว่า เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะ Boost 0.0, 0.1 และ 0.3 โดยไม่มีการติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสีย เครื่องยนต์จะมีองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมที่ 21, 21 และ 18 bTDC ตามลำดับ โดยเมื่อมีการติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสียที่สภาวะ Boost 0.1 สามารถเพิ่มองศาการจุดระเบิดไปที่ 24, 27 และ 27 bTDC ที่ปริมาณไอเสีย 4%, 13% และ 16% ตามลำดับ และที่สภาวะ Boost 0.3 สามารถเพิ่มองศาการจุดระเบิดไปที่ 18 และ 24 bTDC ที่ปริมาณไอเสีย 8% และ 13% ตามลำดับ

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสีย[4] เมื่อมีการเพิ่มปริมาณไอเสียขึ้นให้สูงขึ้นส่งผลให้สามารถเพิ่มองศาการจุดระเบิด (Advance) ได้กว้างมากขึ้น และการเพิ่ม Boost จะช่วยเพิ่มความดัน และอุณหภูมิของห้องเผาไหม้[3] ซึ่งทำให้เกิดการน็อคง่ายขึ้น จึงต้องปรับองศาการจุดระเบิดแคบลง[2]

4.5 อุณหภูมิไอเสีย (Exhaust Temperature)



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างองศาการจุดระเบิดและอุณหภูมิไอเสีย (ก) ที่เกิดขึ้นในสภาวะ Boost ต่างๆ เมื่อไม่มีการใช้ระบบ EGR และ (ข) ที่สภาวะ Boost 0.1 และ (ค) 0.3 ที่ปริมาณไอเสียต่างๆ

อุณหภูมิไอเสียที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ที่องศาการจุดระเบิดเพิ่มขึ้น การปรับองศาการจุดระเบิดเกิดขึ้นเพื่อต้องการให้พลังงานถูกปล่อยในช่วงใกล้ๆ กับ TDC พลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง จะต้องถูกปล่อยในช่วงจังหวะขยายของกระบอกสูบ เพราะฉะนั้นเมื่อพลังงานที่ถูกปล่อยเกิดการสูญเสียน้อยจะสามารถทำให้อุณหภูมิไอเสียลดลงด้วย[2]

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปฏิญานินพณ์เล่มนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สันดาปภายใน 4 จังหวะ ชนิดหัวฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟซึ่งมีการติดตั้งระบบอัดบรรจุก๊าซ และระบบ หมุนเวียนไอเสีย (EGR) ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาเปรียบเทียบทั้งหมดในการทดสอบ ได้แก่ สภาวะที่ไม่มี Boost, Boost 0.1 และ Boost 0.3 โดยใช้ความเร็วรอบเครื่องคงที่ 1500 รอบต่อนาที ที่ภาระโหลด สูงสุด (WOT) และปรับอัตราส่วนผสม อากาศ – เชื้อเพลิง ที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์พอดี ($\lambda = 1$)

ในการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม spss ที่สภาวะ Boost 0.1 ได้ผลว่า ที่ EGR 13 % องศาการจุดระเบิด 27 bTDC เครื่องยนต์มีแรงบิดต่ำกว่าที่ EGR 0% องศาการจุดระเบิด 15 bTDC อยู่ 8.79% อย่างไรก็ตามที่สภาวะ EGR 13% มี Thermal efficiency สูงกว่าที่ สภาวะ EGR 0% อยู่ 1.76% ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ได้จากการทดลองในสภาวะ Boost 0.1 นี้ และในการ ทดสอบที่สภาวะ Boost 0.3 ได้ผลว่า ที่ EGR 8 % องศาการจุดระเบิด 18 bTDC เครื่องยนต์มี แรงบิดต่ำกว่าที่ EGR 0% องศาการจุดระเบิด 18 bTDC อยู่ 6.37% อย่างไรก็ตามที่สภาวะ EGR 8% มี Thermal efficiency สูงกว่าที่สภาวะ EGR 0% อยู่ 0.02% ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ได้จากการทดลองใน สภาวะ Boost 0.3 นี้

เมื่อนำข้อมูลที่ EGR 0% ในสภาวะ Boost ต่างๆมาเปรียบเทียบกันพบว่า ที่ EGR 0% Boost 0.1 มี Thermal efficiency น้อยกว่า ที่ EGR 0% Boost 0.0 อยู่ 0.44% แต่ในทางกลับกัน ที่ EGR 0% Boost 0.3 กลับมี Thermal efficiency เพิ่มจากเดิม 0.54% ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อมี การเพิ่ม Boost ซึ่งเพิ่มมวลอากาศในห้องเผาไหม้ให้มากขึ้น [4] ก็ไม่สามารถทำให้ Thermal efficiency เพิ่มขึ้นได้เสมอไป หากแต่การเพิ่ม Boost นั้นส่งผลทำให้แรงบิดสูงขึ้นเนื่องจากเมื่อห้อง เผาไหม้มีมวลอากาศมากขึ้นจะต้องเพิ่มการฉีดเชื้อเพลิงมากขึ้นเพื่อคงสภาพอัตราส่วนระหว่าง อากาศ-เชื้อเพลิงให้เกิดการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ ($\lambda = 1$) เมื่อตั้งองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสม และ ติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสีย[1] โดยที่ไอเสียมีค่าความร้อนมากกว่าอากาศ และไอเสียยัง สามารถลดระยะเวลาในการลามของเปลวไฟในห้องเผาไหม้ได้ จึงทำให้ยับยั้งการเกิดน็อคได้ ซึ่งทำให้ สามารถเพิ่มองศาการจุดระเบิดให้จุดก่อน TDC ได้มากขึ้นในแต่ละสภาวะ Boost[2] ผลที่ออกมา นั้น ทำให้ค่า Thermal efficiency สูงขึ้นเพราะช่วงที่ระเบิดนั้นเป็นช่วงที่ใกล้จุด TDC และใกล้เคียงวัฏ จักร Otto มากกว่าตอนที่ยังไม่ได้ติดตั้งระบบหมุนเวียนไอเสีย และในการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อ

ติดตั้งระบบ EGR ทำให้ไอเสียเข้าไปแทนที่อากาศดี จึงต้องปรับอัตราส่วน อากาศ-เชื้อเพลิงที่แลมบ์ดา เท่ากับ 1 ส่งผลให้แรงบิดที่ได้นั้นลดลงจากเดิมที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ EGR

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เพิ่มการติดตั้งอุปกรณ์ Pressure sensor เพื่อวัดความดันภายในห้องเผาไหม้ และดูแนวโน้มการเกิดน็อคเมื่อมีการเพิ่มองศาการจุดระเบิด

5.2.3 เนื่องจากไดนาโมมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีอายุการใช้งานยาวนาน จึงอาจทำให้ค่าที่บันทึกได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากที่ควรจะเป็น หากอุปกรณ์ดังกล่าวมีสภาพที่สมบูรณ์ จะสามารถเพิ่มสภาวะการทดลองให้หลากหลายยิ่งขึ้นได้ ได้แก่ การเพิ่มความเร็วรอบ หรือภาระโหลดในการทดสอบ



เอกสารอ้างอิง

- [1] Haiqiao Wei, Tianya Zhu, Gequn Shu, Linlin Tan, Yuesen Wang. **Gasoline engine exhaust gas recirculation – A review**. State Key Laboratory of Engines, Tianjin University, 92 Weijin Road, Tianjin 300072, China. 2012.
- [2] J. Zareei & A. H. Kakaee. **Study and the effects of ignition timing on gasoline engine performance and emissions**. 1 November 2011. Accepted: 31 March 2013. Published online: 25 April 2013.
- [3] Jianye Su, Min Xu, Tie Li, Yi Gao, Jiasheng Wang. **Combined effects of cooled EGR and a higher geometric compression ratio on thermal efficiency improvement of a downsized boosted spark-ignition direct-injection engine**. National Engineering Laboratory for Automotive Electronic Control Technology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China. 2013.
- [4] Kai Shen, Fangbo Li, Zhendong Zhang, Yuedong Sun, Congbo Yin. **Effects of LP and HP Cooled EGR on Performance and Emissions in Turbocharged GDI Engine**. 2017.
- [5] S.P. Chincholkar, Dr. J. G. Suryawanshi. **Gasoline Direct Injection: An Efficient Technology**. 5th International Conference on Advances in Energy Research, ICAER 2015 Mumbai, India, 15-17 December 2015.
- [6] Thomas Lattimore, Chongming Wang, Hongming Xu, Mirosław L. Wyszynski, Shijin Shuai. **Investigation of EGR Effect on Combustion and PM Emission in a DISI Engine**. University of Birmingham, Birmingham B15 2TT, UK. State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing, China. 2016.
- [7] Willard W. Pulkrabek. **Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine**. 2nd. Pearson Education Limited, Harlow 2014.
- [8] Xudong Zhen, Yang Wang, Shuaiqing Xu, Yongsheng Zhu, Chengjun Tao, Tao Xu, Mingzhi Song. **The engine knock analysis – An overview**. State Key Laboratory of Engines, Tianjin University, Tianjin 300072, China. 2011.

- [9] Zhi Wang, Hui Liu, Rolf D Reitz. **Knocking combustion in spark-ignition engines**. Beijing, China, WI, USA. 2017.
- [10] คู่มือ MITSUBISHI ENGINE 4G9 SERIES (E-W) Workshop Manual. Bangkok.
- [11] บ. ๓. พ. ๓. ๓. จำกัด, **ทฤษฎีและหลักการจูนกล่อง ECM STANALONE TUNER**. กรุงเทพฯ.
- [12] BOSCH. (3January). **Heated wideband oxygen sensor**. Available: <https://www.boschauto parts.com/documents/101512/0/0/f078fbbf-1c7b-4d83-af73-b81804d09e4b>
- [13] Mustafa Bahattin Celik, Bulent Ozdalyan. **Gasoline direct injection**. Turkey. 2010



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้