

การศึกษาสมรรถนะและปริมาณการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์
จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงโดยใช้ระบบไอเสียวนกลับ
STUDY OF PERFORMANCE AND EMISSIONS OF DIRECT INJECTION
SPARK IGNITION ENGINE USING EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การศึกษาสมรรถนะและปริมาณการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์
จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงโดยใช้ระบบไอเสียวนกลับ
STUDY OF PERFORMANCE AND EMISSIONS OF DIRECT INJECTION
SPARK IGNITION ENGINE USING EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การศึกษาสมรรถนะและปริมาณการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์
จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงโดยใช้ระบบไอเสียวนกลับ
STUDY OF PERFORMANCE AND EMISSIONS OF DIRECT INJECTION
SPARK IGNITION ENGINE USING EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

STUDY OF PERFORMANCE AND EMISSIONS OF DIRECT INJECTION SPARK
IGNITION ENGINE USING EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM



PHITAK

NARONG

PONGSATHON

SANGTHAM

WASITPON

TONHENGHOUND

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

2015

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาสมรรถนะและปริมาณการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์
จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงโดยใช้ระบบไอเสียวนกลับ
STUDY OF PERFORMANCE AND EMISSIONS OF DIRECT INJECTION
SPARK IGNITION ENGINE USING EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นายพิทักษ์ ณรงค์ รหัสประจำตัว 55010860
2. นายพงศธร แสงธรรม รหัสประจำตัว 55010795
3. นายวชิษฐ์พล ต้นเฮงฮวด รหัสประจำตัว 55011118



อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

(ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์)



การศึกษาสมรรถนะและปริมาณการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงโดยใช้ระบบไอเสียวนกลับ

นายพิทักษ์	ณรงค์	55010860
นายพงศธร	แสงธรรม	55010795
นายวชิษฐ์พล	ตันเฮงฮวด	55011118
ผศ.ดร.จินดา	เจริญพรพาณิชย์	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

เนื่องจากปัจจุบันปัญหาการติดเป็นปัญหาหลักในเมืองใหญ่ เครื่องยนต์สูญเสียดังพลังงานส่วนหนึ่งไปงานต่างๆที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อน อีกทั้งต้องใช้ในการทำงานของสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ ดังนั้นเครื่องยนต์ฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Direct Injection Spark Ignition :DISI) จึงเข้ามามีบทบาทในการแก้ปัญหาการบริโภคเชื้อเพลิงด้วยการทำงานแบบอากาศเกินอัตราส่วนผสม (lean burn) ในการฉีดแบบ สเตรติไฟด์ชาร์ท ซึ่งช่วยในการแก้ปัญหาการบริโภคเชื้อเพลิงในสภาวะภาระเครื่องยนต์ต่ำ แต่อัตราส่วนอากาศที่เกินทำให้เกิดการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนดังนั้นระบบไอเสียวนกลับ (Exhaust Gas Recirculation :EGR) จึงถูกใช้เพื่อแก้ปัญหาการปลดปล่อยมลพิษ ช่วยลดการบริโภคน้ำมัน ควบคู่กับเชื้อเพลิงเอทานอล (Ethanol 20% blended Gasoline :E20) ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถผลิตได้ในประเทศไทยที่มีคุณสมบัติที่สามารถใช้ลดข้อเสียของเครื่องยนต์ฉีดตรงและระบบไอเสียวนกลับได้

ในการศึกษาได้นำเครื่องยนต์ระบบฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟมาใช้ร่วมกับระบบไอเสียวนกลับ ใช้เชื้อเพลิงเอทานอล (E20) ในการทดลอง ทดลองโดยการควบคุมองศาการฉีดน้ำมันไว้ที่ 260 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ควบคุมภาระเครื่องยนต์ 30%(bmep =3 bar) ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที ควบคุมแรงม้าและแรงบิดโดยไดนาโมมิเตอร์ (Engine Dynamometer) ควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับโดยวาล์วควบคุมไอเสียวนกลับ และโปรแกรม Lab view เปลี่ยนค่าอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่ 0%,5%,15%,25% จากนั้นปรับองศาการจุดระเบิด และปริมาณการฉีดน้ำมันในแต่ละอัตราส่วนของไอเสียวนกลับ เพื่อรักษาความเร็วรอบเครื่องไว้ที่ 2000 รอบต่อนาที เก็บผลอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และเก็บผลการปล่อยมลพิษโดยเครื่องวิเคราะห์มลพิษ (Gas analyser)

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าไอเสียวนกลับ 5% สามารถช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิงได้ที่องศาจุดระเบิด 333 ก่อนศูนย์ตายบนและสามารถลดการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนได้ แต่ถ้าหากใส่ไอเสียวนกลับในอัตราส่วนที่มากขึ้นในจะก่อให้เกิดผลกระทบทางลบคือ ก่อให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จนทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและเกิดการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์มากขึ้น

STUDY OF PERFORMANCE AND EMISSIONS OF DIRECT INJECTION SPARK IGNITION
ENGINE USING EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM

Phitak	Narong	55010860
Pongsathon	Sangtham	55010795
Wasitpon	Tongenghound	55011118
Asst. Prof. Dr. Chinda	Charoenphonphanich	Advisor

Year 2558

ABSTRACT

Nowadays traffic jam is the main problem of city traffic. The stopping or slow going of cars in traffic jam affect to engine to waste fuel for cooling and part load such as air conditioner. Therefore using Direct Injection spark ignition engine(DISI) have important role in solving fuel wasting by lean burn strategy in stratified charge that help fuel consumption in part load condition. But the exceed air in lean burn strategy have exceed oxygen that produce NO_x emission. So Exhaust Gas Recirculation (EGR) was used to solve emission problem, improve fuel consumption and maintain performance of engine. Combination with advantage of ethanol 20% blended gasoline (E20) that can be produced in Thailand and have ability to compensate disadvantages of Direct Injection spark ignition engine and exhaust gas recirculation system

In study the Direct Injection Spark Ignition engine combined with Exhaust Gas Recirculation was tested with engine dynamometer. Ethanol 20% blended gasoline was used as main fuel. Injection timing was fixed at 260 degree bTDC, engine load was fixed at 30% (bmep = 3 bar). Engine speed 2000 RPM, torque and power were controlled by engine dynamometer. Reduction in pumping work was monitored by Manifold Absolute Pressure. EGR ratio was control by EGR valve and Lab view. EGR ratio was varied at 0%, 5%, 15%, 25%. Injection duration and spark ignition was optimized with each EGR ratio to maintain engine speed at 2000 RPM. Emission was collected by gas analyser.

From experiment EGR can improve fuel consumption at 5% EGR and spark timing 333 deg.BTDC and it can reduce NO_x emission by reduction in combustion temperature. But at more EGR ratio it causes incomplete combustion that result in more hydrocarbon , carbon monoxide emission and more fuel consumption.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่างๆ เสมอมาจากผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ผู้จัดทำขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาที่ให้ความอนุเคราะห์ในการยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ ขอขอบคุณชมรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้ ข้าพเจ้า นายพิทักษ์ ณรงค์ นายพงศธร แสงธรรม และ นายวชิษฐ์พล ตันเฮงฮวด ขอแสดงความกตัญญูทุกเวทิตาคุณแต่บิดามารดา อันได้แก่ นายนิมิต ณรงค์ และ นางไพริน ณรงค์ นายไพโรจน์ แสงธรรม และนางเนาวรัตน์ แสงธรรม ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้จัดทำมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนาม ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายพิทักษ์	ณรงค์
นายพงศธร	แสงธรรม
นายวชิษฐ์พล	ตันเฮงฮวด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	
2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วย ประกายไฟที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดเข้าที่ช่องไอดี	3
2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับผลของไอเสียวนกลับที่ส่งผลต่อการลดลงของงานในการบีบไอดี	4
2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาการผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ ตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ	4
บทที่ 3 ทฤษฎีการเผาไหม้ของเครื่องยนต์	
3.1 การผสมระหว่างอากาศ และน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้	7
3.2 การทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยประกายไฟแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง	9
3.3 ระบบควบคุมของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง	13
3.4 เชื้อเพลิงเอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์	15
3.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอล	16
3.6 การนำเอทานอลมาใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน	17
3.7 การปรับปรุงประสิทธิภาพเอทานอลเพื่อการนำมาใช้ประโยชน์	17
3.8 การสิ้นเปลืองจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, bsfc)	18
3.9 ประสิทธิภาพความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency, bte)	18
3.10 ความสัมพันธ์ของความดันยังผลเฉลี่ย	19
3.11 การปล่อยมลพิษจำเพาะและดรรชนีมลพิษ	21
3.12 กำลัง	22
3.13 กำลังเบรก	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.14 ระบบไอเสียวนกลับ	24
3.15 ไอเสียวนกลับและการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน	25
3.16 ไอเสียวนกลับสำหรับเครื่องยนต์ฉีดตรงและเครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงที่ ปลายท่อไอดี	27
3.17 การประยุกต์ใช้ไอเสียวนกลับในโหมดการเผาไหม้แบบสเตรตีไฟด์	30
บทที่ 4 วิธีการทดลองและอุปกรณ์การทดลอง	
4.1 สภาพะที่ทำการทดลอง	32
4.2 วิธีการดำเนินการทดลอง	32
4.3 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ	33
4.4 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง	34
4.5 อุปกรณ์วัดกำลังและแรงบิด	35
4.6 คอนโทรลเลอร์ควบคุมการจุดระเบิด (ECU)	36
4.7 อุปกรณ์วัดความดันท่อร่วมไอดี (MAP sensor)	37
4.8 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermo couple แบบ TYPE K)	37
4.9 มอเตอร์ควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับ	37
4.10 เครื่องวิเคราะห์หิมลพิษ (Gas Analyser)	38
4.11 โปรแกรม Labview สำหรับควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับ	39
4.12 อุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจน	40
4.13 ทรายซัง	41
4.14 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ	41
บทที่ 5 ผลการทดลอง	
5.1 ผลของไอเสียวนกลับต่อความดันในไอดี	43
5.2 ผลของไอเสียวนกลับต่อประสิทธิภาพความร้อนเบรก และการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอน	44
5.3 ผลของไอเสียวนกลับที่มีต่ออุณหภูมิไอเสีย	50
5.4 ผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์	52
5.5 ผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน	54
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	
6.1 วิจารณ์และสรุปผล	56
6.2 ข้อเสนอแนะ	57

เอกสารอ้างอิง
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก.
ภาคผนวก ข.

60

63

64



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 สภาวะที่ทำการทดลอง	32
4.2 แสดงเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นเชื้อเพลิงที่เกิดจากการผสมแก๊สโซลีน 80% และเอทานอล 20%	33
4.3 แสดงคุณสมบัติของเครื่องยนต์ทดสอบ	34



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 อัตราส่วนผสมของอากาศ และเชื้อเพลิงตามทฤษฎี	7
3.2 การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและสมรรถนะทางกำลังงาน	8
3.3 แสดงปริมาณของสารมลพิษที่อัตราส่วนอากาศ-เชื้อเพลิงต่างๆ	8
3.4 แสดงหลักการทำงานของที่ต่างกันของเครื่องยนต์แบบฉีดตรง และเครื่องยนต์แบบเดิม	9
3.5 แสดงความสามารถในการเผาไหม้แบบ Homogeneous และ stratified charge	11
3.6 แสดงระบบควบคุมของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง	13
3.7 แสดงระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงเบนซินแบบฉีดตรง	14
3.8 แสดงลักษณะหัวฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์	15
3.9 แสดง P-V ไดอะแกรมวัฏจักรออตโต	23
3.10 แสดงการติดตั้งระบบไอเสียวนกลับในรูปแบบต่างๆ	24
3.11 แสดงการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนที่องค์การจตุระเบ็ดต่างๆ	25
3.12 แสดงผลของการปลดปล่อยมลพิษกับการเพิ่มขึ้นของไอเสียวนกลับ	26
3.13 แสดงตารางผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อเครื่องยนต์ฉีดตรง	27
3.14 แสดงการประยุกต์ใช้ไอเสียวนกลับที่สถานะต่างๆของเครื่องยนต์	28
3.15 แสดงผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อเครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่พอร์ตไอ	28
3.16 การออกแบบห้องเผาไหม้ในลักษณะต่างๆเพื่อให้การเผาไหม้เป็นแบบสเตรตไฟด์	29
3.17 แสดงการออกแบบการประยุกต์ใช้ไอเสียวนกลับกับการเผาไหม้แบบสเตรตไฟด์ ในรูปแบบต่างๆ	31
4.1 รูปเครื่องยนต์ทดสอบ	34
4.2 แสดงอุปกรณ์กำลังและแรงบิด	35
4.3 แสดงคอนโทรลเลอร์ควบคุมการจตุระเบ็ด	36
4.4 อุปกรณ์วัดความดันท่อร่วมไอดี	36
4.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิไอดี ไอเสียและไอเสียวนกลับ	37
4.6 มอเตอร์ควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับ	37
4.7 เครื่องวิเคราะห์มลพิษ	38
4.8 โปรแกรม Labview สำหรับควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับ	39
4.9 แสดงอุปกรณ์วัดความเข้มข้นออกซิเจน	40
4.10 แสดงตราซัง	41
4.11 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอากาศ	41
5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันของไอดีกับอัตราส่วนไอเสียวนกลับ ที่องค์การจตุระเบ็ด 333 องค์การก่อนศูนย์ตายบน	43

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันของไอติกับอัตราส่วนไอเสียวนกลับ ที่องค์การจดทะเบียน 327 องค์การก่อนศูนย์ตายบน	44
5.3 แสดงผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรกและประสิทธิภาพความร้อนเบรกที่องค์การจดทะเบียน 333 องค์การ ก่อนศูนย์ตายบน	45
5.4 แสดงผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรกและประสิทธิภาพความร้อนเบรกที่องค์การจดทะเบียน 333 องค์การ ก่อนศูนย์ตายบน	45
5.5 แสดงผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีต่อการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอน องค์การจดทะเบียน 333 องค์การก่อนศูนย์ตายบน	46
5.6 แสดงผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรกและประสิทธิภาพความร้อนเบรกที่องค์การจดทะเบียน 327 องค์การ ก่อนศูนย์ตายบน	47
5.7 แสดงผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรกและประสิทธิภาพความร้อนเบรกที่องค์การจดทะเบียน 327 องค์การ ก่อนศูนย์ตายบน	48
5.8 แสดงผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีต่อการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอน ที่องค์การจดทะเบียน 327 องค์การก่อนศูนย์ตายบน	50
5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสีย (องศาเซลเซียส) กับอัตราส่วนไอเสียวนกลับ ที่องค์การจดทะเบียน 333 องค์การก่อนศูนย์ตายบน	51
5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสีย (องศาเซลเซียส) กับอัตราส่วนไอเสียวนกลับ ที่องค์การจดทะเบียน 333 องค์การก่อนศูนย์ตายบน	51
5.11 แสดงความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อกำลังจำเพาะเบรกกับ อัตราส่วนไอเสียวนกลับที่องค์การจดทะเบียน 333 องค์การก่อนศูนย์ตายบน	53
5.12 แสดงความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อกำลังจำเพาะเบรกกับ อัตราส่วนไอเสียวนกลับที่องค์การจดทะเบียน 327 องค์การก่อนศูนย์ตายบน	53
5.13 แสดงความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนต่อกำลังจำเพาะเบรกกับ อัตราส่วนไอเสียวนกลับที่องค์การจดทะเบียน 333 องค์การก่อนศูนย์ตายบน	54
5.14 แสดงความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนต่อกำลังจำเพาะเบรกกับ อัตราส่วนไอเสียวนกลับที่องค์การจดทะเบียน 327 องค์การก่อนศูนย์ตายบน	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากปัจจุบันปัญหาการติดเป็นปัญหาหลักสำหรับการสัญจรในเมืองใหญ่ เครื่องยนต์มีความจำเป็นที่ต้องเดินเครื่องตลอดเวลาเพื่อการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆในเมือง หรือเตรียมที่จะออกตัว หรือแม้การจอดรออยู่กับที่ที่ต้องการเครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ภาระต่ำต่างๆเช่น เครื่องปรับอากาศและไดชาร์จ ซึ่งทำให้เครื่องยนต์สูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งจากการเผาไหม้ไปโดยเปล่าประโยชน์ เช่น การสูญเสียความร้อนไปยังระบบหล่อเย็น งานในการบีบไอดีผ่านลิ้นปีกผีเสื้อ เป็นต้น

เพื่อศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง (Direct Injection Spark Ignition Engine :DISI) จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษา เนื่องจากคุณสมบัติของเครื่องยนต์ที่สามารถทำงานแบบ stratified charge ซึ่งสามารถใช้เทคนิคการฉีดเชื้อเพลิงสู่อีดีซึ่งเป็นอากาศเปล่า ในจังหวะอัดใกล้ศูนย์ตายบน ทำให้เครื่องยนต์บริโภคเชื้อเพลิงน้อยมาก เพราะเครื่องยนต์สามารถเผาไหม้ได้โดยปริมาณอากาศเกินอัตราส่วนสมมูลมาก (lean burn strategy) ซึ่งก็เพียงพอกับการใช้งานภาระต่ำ แต่การเผาไหม้กับอากาศเกินอัตราส่วนสมมูลมากนั้น ก่อให้เกิดมลพิษอันตรายคือออกไซด์ของไนโตรเจน อีกทั้ง การเผาไหม้ด้วยอากาศที่เกินอัตราส่วนสมมูลมากนั้นไม่สามารถแก้ไขปัญหาคือออกไซด์ของไนโตรเจน โดย three way catalytic converter (TWC) เพราะมีปริมาณออกซิเจนเหลือจากการเผาไหม้มาก ปัจจุบันกฎหมายมาตรฐานมลพิษที่ควบคุมสารอันตรายจากไอเสียมีความเข้มงวดขึ้นเรื่อยๆ จึงยากที่จะลดการปลดปล่อยมลพิษโดยไม่ให้กระทบประสิทธิภาพเครื่องยนต์

เพราะฉะนั้นการใช้ระบบไอเสียวนกลับ (Exhaust Gas Recirculation : EGR) จึงเข้ามามีบทบาทในการแก้ไขปัญหามลพิษและเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ระบบไอเสียวนกลับ คือการนำไอเสียวนกลับเข้ามาผสมกับไอดีก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ มีการศึกษามากมายที่บ่งบอกผลกระทบของระบบไอเสียวนกลับต่อการเผาไหม้ของเครื่องยนต์หลายประการ Zhijin Zhang และคณะ [1] ได้ศึกษาการใช้ระบบไอเสียวนกลับกับเครื่องยนต์ฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ โดยใช้เชื้อเพลิง Gasoline 93 RON พบว่า ระบบไอเสียวนกลับสามารถลดงานในการบีบไอดี (pumping work) ในสภาวะภาระต่ำได้ และระบบไอเสียวนกลับ สามารถลดการเกิด ออกไซด์ของไนโตรเจน ได้ เพราะ การลดลงของความหนาแน่นของแก๊สออกซิเจน และ คาร์บอนมอนอกไซด์ ลดลงเพราะระบบไอเสียวนกลับทำลดอุณหภูมิห้องเผาไหม้ และลดปฏิกิริยาผันกลับของคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ Thomas Lattimore [3] พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนระบบไอเสียวนกลับ ทำให้

ความดันห้องเผาไหม้ลดลง เพราะว่าไอเสียนกลับ มีค่าความจุความร้อนมากกว่าอากาศ [7], ลดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ [8] ส่งผลให้ลดแนวโน้มการเกิดการจุดระเบิดด้วยตนเอง และ ระบบไอเสียนกลับ สามารถปรับปรุงค่าการสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกและ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ได้โดยลดงานในการบีบอัด

การประยุกต์ใช้เครื่องยนต์ฉีดตรงและระบบไอเสียนกลับที่มีข้อดีทั้งด้านมลพิษและการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์นี้ จึงได้ถูกนำมาศึกษาร่วมกับเชื้อเพลิง E20 ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ [10,11] ใช้เวลาในการคลุกเคล้าน้อย [10,11] เหมาะสมกับเครื่องยนต์ระบบฉีดตรงที่ต้องการเวลาในการคลุกเคล้าเชื้อเพลิง-ไอดี อีกทั้งเชื้อเพลิงเอทานอลมีอัตราการลามไฟที่รวดเร็ว [10,11] เพื่อให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีขึ้น และปลดปล่อยไอเสียน้อยลง ซึ่งเป็นพลังงานที่ผลิตได้ในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ทำงานร่วมกับระบบไอเสียนกลับ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ทำงานร่วมกับระบบไอเสียนกลับ
- 1.2.3 เพื่อปรับปรุงการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ทำงานร่วมกับระบบไอเสียนกลับ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1 ประยุกต์ใช้ระบบไอเสียนกลับกับเครื่องยนต์ฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ
- 1.3.2 เพื่อศึกษาการปลดปล่อยมลพิษและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ทำงานร่วมกับระบบไอเสียนกลับ

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดเข้าที่ช่องไอดี

Sunyoup Lee [5] ได้ทำการทดลองนำระบบไอเสียวนกลับมาใช้กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดเข้าที่ช่องไอดี โดยใช้เชื้อเพลิงคือแก๊สค่าความร้อนต่ำซึ่งประกอบด้วย ก๊าซธรรมชาติ 40 % และแก๊สไนโตรเจน 60 % เปรียบเทียบผลของการเผาไหม้ของวิธีการเจือจางส่วนผสมอากาศ-เชื้อเพลิง 2 วิธีคือ วิธีการเจือจางด้วยปริมาณอากาศเกินทฤษฎี และวิธีการเจือจางด้วยไอเสียวนกลับโดยมีการควบคุมความเร็วรอบเครื่องยนต์ไว้ที่ 1800 รอบต่อนาที กลังเครื่องยนต์ 60 กิโลวัตต์ จากนั้นปรับการจ่ายเชื้อเพลิงและการจุดระเบิดให้เหมาะสม โดยมีการเก็บผลการทดลองคือ สัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ อัตราการปลดปล่อยความร้อน ความเร็วในการลามไฟ ประสิทธิภาพความร้อนเบรก ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน และปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย จากผลการทดลองสัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการเจือจางของทั้งสองวิธีการค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้มีค่าเพิ่มขึ้น บ่งบอกถึงถ้ายิ่งเพิ่มอัตราการเจือจางทั้งสองวิธีจะทำให้เครื่องยนต์ยิ่งเผาไหม้ไม่เสถียร แต่วิธีการเจือจางด้วยปริมาณอากาศเกินทฤษฎีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้จะมีค่าคงที่จนกระทั่งการเจือจางถึงจุดที่อัตราการเจือจางเท่ากับ 25 % ล้นปีกผีเสื้อเปิดกว้างค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้จึงจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 0.5 % เป็น 2 % ซึ่งแตกต่างจากการเจือจางด้วยไอเสียวนกลับพบว่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้เพิ่มขึ้นตั้งแต่อัตราการเจือจางด้วยไอเสียวนกลับ 7 % และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 8 % ที่อัตราการเจือจาง 15 % เพราะการเจือจางส่วนผสมอากาศ-น้ำมันทำให้ความเร็วในการลามไฟช้ากว่าการเจือจางด้วยปริมาณอากาศเกินทฤษฎีมากผลของอัตราการปลดปล่อยความร้อนมีแนวโน้มลดลง ทั้ง 2 วิธีการเจือจาง และจุดสูงสุดของการปลดปล่อยความร้อนถูกเลื่อนออกไปจากจุดศูนย์ตายบน แต่อัตราการปลดปล่อยความร้อนในการเผาไหม้ของการเจือจางด้วยไอเสียวนกลับช้ากว่าและมีค่าต่ำกว่าเมื่ออัตราการเจือจางของไอเสียวนกลับเพิ่มขึ้น เพราะความเร็วในการลามไฟช้าลงเมื่อมีการเจือจางด้วยไอเสียวนกลับเพิ่มขึ้น สำหรับผลการทดลองเรื่องประสิทธิภาพความร้อนเบรกการเจือจางส่วนผสมอากาศ-เชื้อเพลิงด้วยปริมาณอากาศเกินทฤษฎีสามารถช่วยเพิ่มค่าประสิทธิภาพความร้อนเบรกได้ด้วยการลดงานที่ใช้ในการดูดไอดีเพราะการเปิดลิ้นผีเสื้อที่กว้างขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการเจือจางด้วยอากาศ และการเพิ่มอัตราส่วนค่าความจุความร้อนจำเพาะที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการเจือจาง แต่

เมื่อเพิ่มอัตราการเจือจางด้วยอากาศจนถึง 30% แล้วค่าประสิทธิภาพความร้อนเบรกลดลงเนื่องจากระยะเวลาในการเผาไหม้ลดลง ส่วนการเจือจางด้วยไอเสียวนกลับค่าประสิทธิภาพความร้อนเบรกจะมีค่าต่ำกว่าการเจือจางด้วยปริมาณอากาศเกินทฤษฎี เพราะปริมาณออกซิเจนที่สามารถใช้ในการเผาไหม้ได้น้อยและทำให้การเผาไหม้ช้ากว่าการเจือจางด้วยอากาศเกินปริมาณทฤษฎีจึงทำให้ค่าประสิทธิภาพความร้อนจำเพาะเบรกลดลงน้อยกว่าการเจือจางด้วยปริมาณอากาศเกินทฤษฎี ส่วนผลการทดลองในด้านการปลดปล่อยมลพิษในไอเสีย การเจือจางด้วยไอเสียวนกลับสามารถลดออกไซด์ของไนโตรเจนได้ดีเพราะไอเสียวนกลับลดปริมาณออกซิเจนส่วนเกินในการเผาไหม้ สำหรับการเจือจางด้วยปริมาณอากาศเกินทฤษฎีก็สามารถลดปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนได้เช่นกันเพราะการลดลงของอุณหภูมิการเผาไหม้

2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับผลของไอเสียวนกลับที่ส่งผลต่อการลดลงของงานในการบีบอัด

Simssoo Park [4] ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับผลของไอเสียวนกลับในด้านความเสถียรในการเผาไหม้ ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และการปลดปล่อยมลพิษในไอเสีย โดยทดลองกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาด 1.5 ลิตร ซึ่งได้ผลการทดลองจากการเก็บผลความดันและปริมาตรภายในกระบอกสูบของการทำงานแต่ละจังหวะของเครื่องยนต์ พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการเจือจางส่วนผสมอากาศ-น้ำมันด้วยไอเสียวนกลับทำให้งานที่ใช้ในการบีบอัดลดลงเนื่องจากเมื่อเพิ่มการเจือจางส่วนผสมอากาศ-น้ำมันด้วยไอเสียวนกลับทำให้ต้องเปิดลิ้นปีกผีเสื้อเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความเป็นสุญญากาศหลังลิ้นปีกผีเสื้อลดลงจึงทำให้งานที่เครื่องต้องใช้ในการบีบอัดลดลง แต่งานพื้นที่ของงานที่ได้จากการเผาไหม้ในกราฟความดันและปริมาตรในกระบอกสูบก็ลดลงเช่นกันเนื่องจากไอเสียวนกลับทำให้อัตราการปลดปล่อยความร้อนลดลง ความดันสูงสุดในกระบอกสูบลดลง และอัตราเร็วในการลามไฟและการเผาไหม้ลดลง

2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาการผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อการเผาไหม้ในเครื่องยนต์แบบฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ

Haiqiao Wei [2] ทำการทดลองผลของระบบไอเสียวนกลับกับเครื่องยนต์แบบฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟในด้านคุณลักษณะ ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ และการปลดปล่อยมลพิษ โดยมีการนำระบบไอเสียวนกลับมาผสมกับอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้เพิ่มขึ้นตามอัตราการเจือจางอากาศด้วยไอเสียวนกลับแบบเย็น เพราะไอเสียวนกลับแบบเย็นผสมกับอากาศได้ไม่ดีเท่าไอเสียวนกลับแบบร้อน ไอดีการเจือจางด้วยไอเสียวน

ลับแบบร้อนผสมกับอากาศได้ดีกว่าจึงทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ต่ำกว่า จึงทำให้การเผาไหม้แบบการเจือจางอากาศด้วยไอเสียวนกลับแบบร้อนเสถียรกว่าการเผาไหม้แบบการเจือจางอากาศด้วยไอเสียวนกลับแบบเย็น ผลของการทดลองในด้านอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนของการเผาไหม้โดยใช้ไอดีที่เกิดจากการเจือจางอากาศด้วยไอเสียวนกลับ และการใช้ปริมาณอากาศเกินทฤษฎีพบว่า อัตราการปลดปล่อยความร้อนของการเผาไหม้โดยไอดีที่มีการเจือจางอากาศด้วยไอเสียมีค่าต่ำกว่าการเผาไหม้โดยไอดีที่เป็นอากาศเกินปริมาณทางทฤษฎี เพราะไอเสียวนกลับก่อให้เกิดการลามไฟช้า จึงทำให้อัตราเร็วในการเผาไหม้ช้ากว่า แต่ผลการทดลองในด้านความดันภายในกระบอกสูบพบว่า การเผาไหม้โดยไอดีที่มีการเจือจางอากาศด้วยไอเสีย วนกลับมีค่าสูงกว่าการเผาไหม้โดยไอดีที่มีปริมาณอากาศเกินทฤษฎี เพราะไอเสียวนกลับลดอุณหภูมิการเผาไหม้จึงทำให้ลดแนวโน้มในการเกิดการจุดระเบิดเอง เมื่อปรับการฉีดน้ำมันและการจุดระเบิดให้เหมาะสมแล้ว จึงทำให้ความดันภายในกระบอกสูบที่เกิดจากการเผาไหม้โดยไอดีที่มีการเจือจางด้วยไอเสียวนกลับมีค่าสูงกว่า ซึ่งผลจากทดลองของแนวโน้มในการจุดระเบิดเองจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการเจือจางอากาศด้วยไอเสียวนกลับ ทำให้สามารถปรับการจุดระเบิดให้เหมาะสมแล้วมีค่าความดันยังผลเฉลี่ยเบรกมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราการเจือจางด้วยไอเสียวนกลับเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความดันยังผลเฉลี่ยเบรกมีค่าเพิ่มขึ้นไปด้วย

Thomas Lattimore [3] ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของไอเสียวนกลับที่มีผลต่อการเผาไหม้และการปลดปล่อยมลพิษสำหรับเครื่องยนต์แบบฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟ ได้มีผลการทดลองเกี่ยวกับความดันที่เกิดจากการเผาไหม้ในกระบอกสูบพบว่า การเพิ่มอัตราการเจือจางด้วยไอเสียวนกลับสามารถช่วยลดแนวโน้มการเกิดการจุดระเบิดเองได้ จึงทำให้ที่ภาวะเครื่องยนต์สูง การเพิ่มอัตราการเจือจางด้วยไอเสียวนกลับทำให้สามารถเพิ่มองศาการจุดระเบิดโดยที่ไม่เกิดการจุดระเบิดเองได้ เพราะไอเสียวนกลับมีคุณสมบัติคือ มีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงกว่าอากาศ [], ความเร็วในการลามไฟช้า [], สามารถลดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ได้ [], เมื่อปรับองศาการจุดระเบิดให้เหมาะสมโดยที่ไม่มีการจุดระเบิดเองแล้วแล้วทำให้ค่าความดันยังผลเฉลี่ยเบรกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลง

Zhijin Zhang [1] ได้ทำการทดลองผลของระบบไอเสียวนกลับในด้านกาเผาไหม้และการปลดปล่อยมลพิษในไอเสียที่ทำงานกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน 93 RON เจือจางอากาศในไอดีด้วยไอเสียวนกลับ และได้เก็บผลการทดลองความดันและปริมาตรภายในกระบอกสูบพบว่า เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของการเจือจางด้วยไอเสียวนกลับงานที่ใช้ในการบีบไอดีมีค่าลดลง และความดันเริ่มต้นก่อนจังหวะอัดมีค่าเพิ่มขึ้นในแต่ละการทดลองของงานที่ใช้ในการบีบไอดี ส่วนผลการทดลองในด้านการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกพบว่ามีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการเจือจางด้วยไอเสียวนกลับ ในด้านการปลดปล่อยมลพิษพบว่า ปริมาณการ

ปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนต่อกำลังเครื่องยนต์มีค่าลดลงเนื่องจากไอเสียนกลับลดอุณหภูมิ การเผาไหม้และลดความเข้มข้นของออกซิเจนจึงทำให้การเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง การปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนต่อกำลังเบรกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามการเพิ่มขึ้นของอัตราการเจือจางอากาศ ในไอดีด้วยไอเสียนกลับ เนื่องจากไอเสียนกลับลดอุณหภูมิในการเผาไหม้และทำให้เกิดบริเวณที่ไม่ติดไฟ จึงทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนเผาไหม้ไม่หมด ในด้านการปลดปล่อยคาร์บอนมอนออกไซด์ต่อกำลังเบรกพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการเจือจางด้วยไอเสียนกลับทำให้ค่าการปลดปล่อยคาร์บอนมอนออกไซด์ต่อกำลังเบรกมีค่าลดลง จนถึงจุดที่อัตราส่วนการเจือจางด้วยไอเสีย 15% เนื่องจากไอเสียนกลับทำให้เกิดการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าและลดปฏิกิริยาผ่นกลับได้ของคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนออกไซด์ แต่หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนไอเสียนกลับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะเริ่มทำให้ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนมอนออกไซด์ต่อกำลังเบรกมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพราะไอเสียนกลับทำให้การเผาไหม้ช้าลงจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนมอนออกไซด์



บทที่ 3

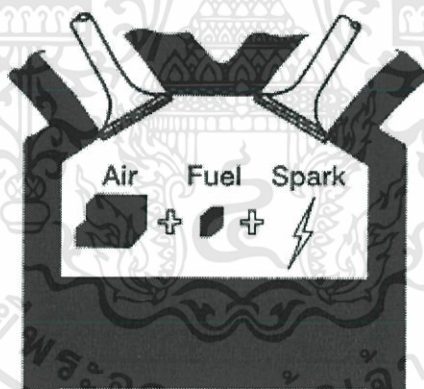
ทฤษฎีการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

3.1 การผสมระหว่างอากาศ และน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้

3.1.1 อัตราส่วนผสมของอากาศ และน้ำมันเชื้อเพลิงพอดี (Theoretical air-fuel ratio) คือ อัตราส่วนผสมที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยมีค่าอัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 14.7:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งหมายถึงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม ผสมกับ อากาศ น้ำหนัก 14.7 กิโลกรัม

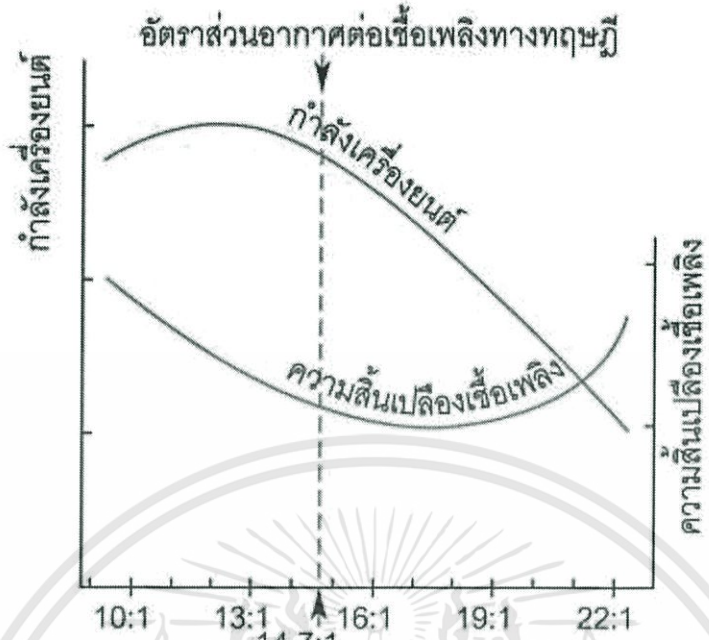
3.1.2 อัตราส่วนผสมหนา (Rich mixture) คือ อัตราส่วนผสมที่มีปริมาณเชื้อเพลิงสูงกว่าอัตราส่วนผสมที่พอดี เช่น 12:1 คือ มีอากาศอยู่ 12 ส่วน และเชื้อเพลิง 1 ส่วน โดยมวล

3.1.3 อัตราส่วนผสมบาง (Lean mixture) คือ อัตราส่วนผสมที่มีปริมาณเชื้อเพลิงต่ำกว่าอัตราส่วนผสมที่พอดี เช่น 18:1 คือ มีอากาศอยู่ 18 ส่วน และเชื้อเพลิง 1 ส่วน โดยมวล

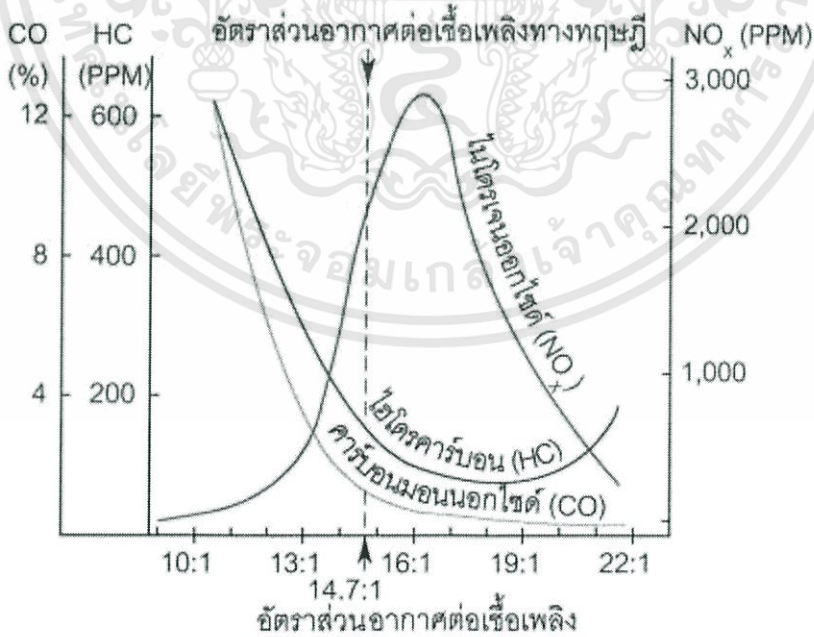


รูปที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของอากาศ และเชื้อเพลิงตามทฤษฎี

ซึ่งอัตราส่วนผสมต่างๆ จะมีผลต่อความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง กำลังของเครื่องยนต์ และปริมาตรสารพิษของไอเสีย ดังรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุดจะอยู่ที่ส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ประมาณ 16:1 และจากรูปที่ 3.2 สมรรถนะทางด้านกำลังสูงสุดอยู่ที่ส่วนผสมของน้ำมัน เชื้อเพลิงที่ประมาณ 12-13:1 โดยน้ำหนัก



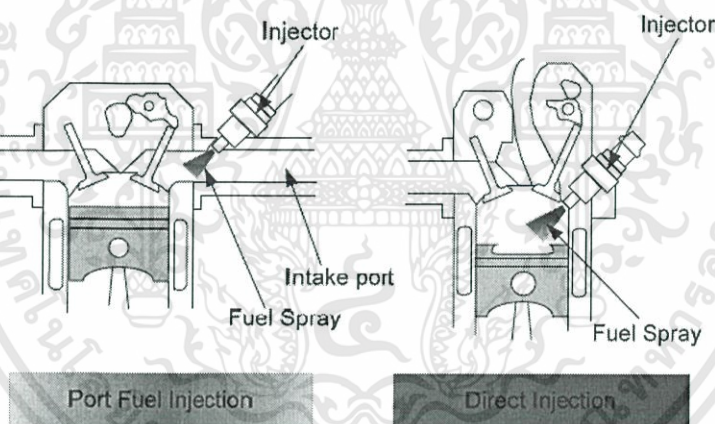
รูปที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงน้ำมันเชื้อเพลิงและสมรรถนะทางกำลังงาน



รูป 3.3 แสดงปริมาณของสารมลพิษต่างๆในไอเสีย ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อมีส่วนผสมที่บางปริมาณ CO และ HC ลดลง ส่วน NO_x จะสูงที่ปริมาณส่วนผสมที่พอดีหรือบางเล็กน้อย

3.2 การทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยประกายไฟแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง

สิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับผู้ผลิตรถยนต์ในปัจจุบัน คือการนำเสนอเครื่องยนต์ซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ประหยัดเชื้อเพลิงเป็นเยี่ยมมีสมรรถนะสูง มลพิษต่ำ และสามารถขับขี่ได้ง่ายซึ่งผู้ผลิตรถยนต์ต่างๆ ก็ได้พยายามคิดค้นหาเครื่องยนต์ชนิดใหม่ซึ่งสามารถตอบสนองได้โดยคำนึงถึงมลภาวะที่เกิดขึ้นเป็นหลักใหญ่ เป็นที่ทราบกันดีว่าเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเป็นเครื่องยนต์ซึ่งพัฒนาขึ้นมาใหม่ล่าสุด และได้นำออกจำหน่ายในช่วงปี ค.ศ. 2000 ที่ผ่านมานี้ซึ่งน่าจะเป็นคำตอบของผู้ผลิตรถยนต์ที่จะตอบสนองความต้องการต่างๆ ข้างต้นได้อย่างครอบคลุม โดยเฉพาะด้าน ประสิทธิภาพ และมลพิษ ส่วนในด้านผู้ผลิต เครื่องยนต์ชนิดใหม่นี้มีต้นทุนในการผลิตแทบจะไม่ต่างจากเครื่องยนต์แบบเดิม และสามารถนำเข้าสู่กระบวนการผลิตแบบการผลิตจำนวนมากได้ไม่ยาก และด้วยเทคโนโลยีของเครื่องยนต์ที่ฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรงที่มีอยู่มากมายในปัจจุบันนี้ จึงทำให้สามารถพัฒนาเทคนิคและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยง่าย และยังสามารถพัฒนาต่อไปได้ในอนาคต [17]



รูปที่ 3.4 แสดงหลักการทำงานที่ต่างกันของเครื่องยนต์แบบฉีดตรง และเครื่องยนต์แบบเดิม [17]

พื้นฐานของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง

เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง คือเครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยประกายไฟแบบหนึ่ง ที่มีระบบการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง เช่นเดียวกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบฉีดตรง (Diesel Direct Injection Engine) จึงทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์แบบเดิมที่จ่ายเชื้อเพลิงบริเวณท่อไอดี (Multi Port Injection) ระบบการเผาไหม้สองแบบ ในการขับขี่โดยทั่วไป เครื่องยนต์แบบเดิมจะปรับอัตราการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงตามภาระที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ โดยใช้ระยะเวลาในการทำงานของหัวฉีดเป็นตัวแปรที่ใช้กำหนดปริมาณของเชื้อเพลิง ซึ่งจะมีอยู่เพียง

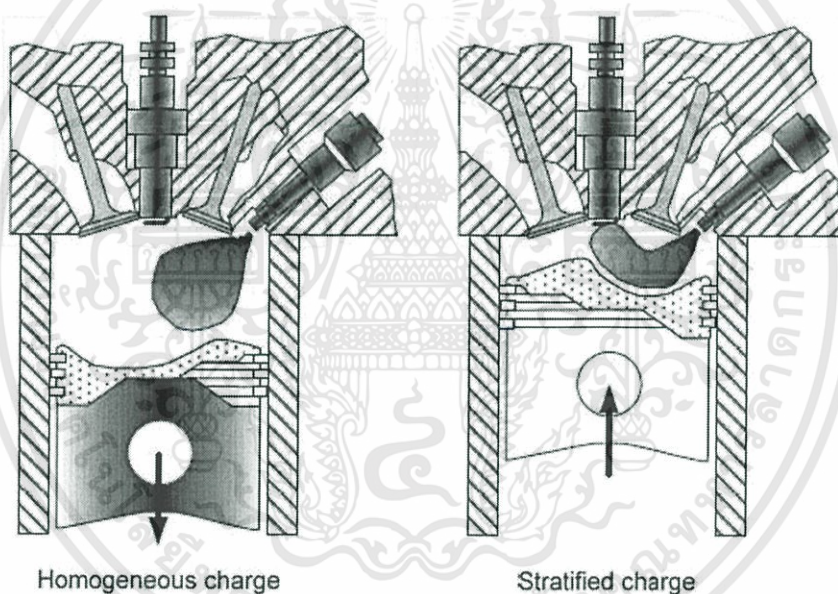
ระบบเดี่ยวแต่ใน เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรง จะสามารถแบ่งการทำงานของระบบฉีดจ่ายเชื้อเพลิงออกได้เป็น 2 ระบบ คือ ส่วนผสมบางเป็นพิเศษ (Stratified charge) และส่วนผสมเป็นเนื้อเดียว(Homogenous Charge) ในสภาวะการขับขี่โดยทั่วไปเมื่อความเร็วคงที่และไม่ต้องการเร่งอย่างฉับพลัน เครื่องยนต์ GDI จะปรับตัวเองเข้าสู่ระบบส่วนผสมบางเป็นพิเศษ เพื่อเป็นการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยจะฉีดน้ำมันลงไปที่หัวลูกสูบในช่วงจังหวะอัด ผลที่ได้คือเชื้อเพลิงและอากาศจะผสมกันเฉพาะบริเวณรอบๆ หัวเทียน โดยจะใช้เชื้อเพลิงแค่พอให้เครื่องยนต์สามารถดำรงภาระที่มีอยู่ได้ ระบบนี้จะทำให้ระเหยเชื้อเพลิงและมีประสิทธิภาพสูงเทียบเท่าวัฏจักรของดีเซล เมื่อมีการเร่งเครื่องหรือมีภาระเพิ่มแบบทันทีทันใด เครื่องยนต์จะปรับเข้าสู่ระบบส่วนผสมเป็นเนื้อเดียว โดยเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบครั้งแรกในจังหวะประจุไอดีเป็นผลให้อากาศและเชื้อเพลิงผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

(คล้ายกับในเครื่องยนต์หัวฉีดแบบ MPI) เป็นผลให้ได้กำลังอย่างเต็มที่ และเนื่องจากการฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงจึงสามารถกำหนดปริมาณของเชื้อเพลิงที่เข้าได้แม่นยำกว่า เป็นผลให้ได้กำลังสูงกว่า

ระบบการควบคุมอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่แม่นยำกว่า ระบบการควบคุมของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง สามารถควบคุมส่วนผสมได้แม่นยำกว่า โดยที่ละอองของเชื้อเพลิงและอากาศจะถูกควบคุมให้อยู่เฉพาะบริเวณที่กำหนดได้นานกว่าเครื่องยนต์แบบเดิม เป็นผลให้เชื้อเพลิงและอากาศมีเวลาผสมกันมากขึ้นจึงทำให้การผสมเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า ในระบบส่วนผสมบางเป็นพิเศษ เชื้อเพลิงจะถูกฉีดลงไปตามส่วนโค้งของลูกสูบซึ่งออกแบบมาเป็นพิเศษ โดยจะบังคับให้ละอองเชื้อเพลิงตรงไปหัวลูกสูบ หลังจากนั้นแก๊สที่ถูกผสมแล้วจะถูกลูกสูบดันตัวขึ้นไปในบริเวณใกล้หัวเทียนเพื่อเตรียมที่จะจุดระเบิด จุดที่เหนือกว่าระบบเดิมเป็นอย่างมากคือระบบนี้สามารถควบคุมอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิง ในบริเวณหัวเทียนได้อย่างแม่นยำกว่า อีกจุดที่มีการพัฒนาคือท่อไอดีถูกออกแบบมาให้เป็นท่อตรงและสามารถประจุอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ อากาศที่เข้าไอดีจะถูกดูดเข้าสู่กระบอกสูบอย่างเป็นระเบียบในทิศทางที่กำหนด โดยจะพุ่งตรงลงสู่หัวลูกสูบซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการหมุนวนในแนวตั้งขึ้นอย่างรุนแรง ซึ่งจะช่วยให้เชื้อเพลิงเข้าไปสู่หัวเทียนได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกทางหนึ่งด้วย และยังใช้หัวฉีดพิเศษแรงดันสูง ตอบสนองได้รวดเร็ว ซึ่งทำให้ละอองเชื้อเพลิงมีการหมุนควงและมีความเร็วของการหมุนสูง ทำให้สามารถส่งเชื้อเพลิงออกไปได้กว้างและเร็ว จึงไม่ทำให้เชื้อเพลิงพุ่งไปติดตามส่วนที่ไม่ต้องการ เช่น ผนังลูกสูบหรือหัวลูกสูบ ในระบบส่วนผสมเป็นเนื้อเดียว เชื้อเพลิงจะถูกฉีดในช่วงประจุไอดีซึ่งลูกสูบกำลังเคลื่อนตัวลงสู่ศูนย์ตายล่าง ความดันในกระบอกสูบต่ำ เชื้อเพลิงจะเกิดการระเหยตัวไปพร้อมๆ กับอากาศที่ถูกลูกสูบดูดลง เป็นผลให้การผสมตัวเป็นไปอย่างสมบูรณ์กว่าและเชื้อเพลิงยังไม่เกิดการระเหยขวางมวลของอากาศเหมือนกับเครื่องยนต์แบบเดิมจึงทำให้อากาศประจุได้เต็มที่กว่า สิ่งสำคัญอีกประการคือ การเลือกจังหวะในการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงให้สัมพันธ์กับสภาวะการไหลของอากาศในกระบอกสูบ ซึ่ง

จะไม่ทำให้เชื้อเพลิงไปสัมผัสกับชิ้นส่วนใดๆ ในกระบอกสูบเลยเชื้อเพลิงจึงมีการแพร่และผสมกับอากาศเป็นเนื้อเดียวได้อย่างหมดจดสมบูรณ์

ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงสูงขึ้น จากแนวคิดในข้อที่ผ่านมา ทำให้การจุดระเบิดโดยใช้ส่วนผสมที่บางมากเป็นไปได้ ส่งผลให้เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงมีเสถียรภาพสูงในการจุดระเบิดที่สภาวะส่วนผสมบางมาก ทำให้สามารถประหยัดเชื้อเพลิงลงได้ และยังสามารถเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดในห้องเผาไหม้ได้สูงขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากการออกแบบทั้งหมดไม่มีส่วนใดเอื้อให้เกิดการน็อก (Knock) ร่วมด้วยการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงอย่างแม่นยำ การน็อกจึงไม่เกิดขึ้น ซึ่งแทบจะเป็นไปไม่ได้สำหรับเครื่องยนต์แบบเดิมที่กำลังอัดเท่ากัน ทำให้เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ประหยัดน้ำมันขึ้นถึง 33% จากการทดสอบการขับในญี่ปุ่น [17]



รูปที่ 3.5 แสดงความสามารถในการเผาไหม้แบบ Homogeneous และ stratified charge [17]

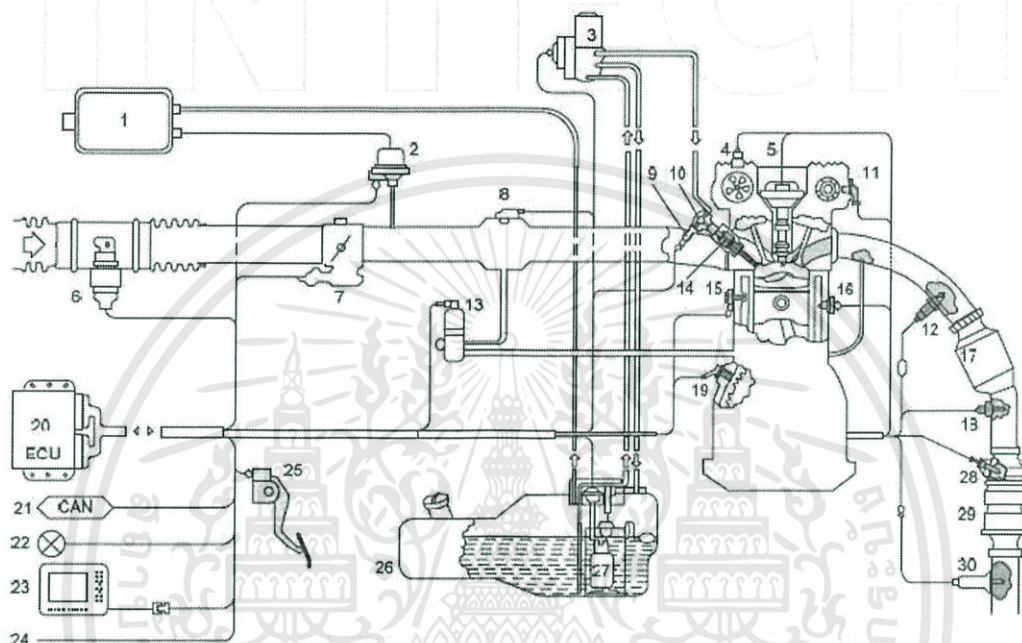
ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น ในช่วงที่เครื่องยนต์รับภาระสูงระบบฉีดเชื้อเพลิงปรับเข้าสู่ระบบส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวทำให้เกิดส่วนผสมที่เป็นเนื้อเดียวทั่วทั้งห้องเผาไหม้ ซึ่งโดยผิวเผินแล้วจะคล้ายกับเครื่องยนต์แบบเดิม แต่ในความเป็นจริงมีความแตกต่างบางอย่างเกิดขึ้น ส่งผลให้กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงมีค่าสูงกว่า เหตุผลหลักประการแรกคือการที่เชื้อเพลิงถูกฉีดออกมาเป็นวงกว้างในทิศทางที่ถูกต้องและพุ่งตรงเข้ากระบอกสูบทำให้เกิดการระเหยตัวเป็นไอในสภาวะนี้อากาศจะสูญเสียความร้อนบางส่วนเพื่อที่จะทำให้เชื้อเพลิงเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอทำให้ไอติดเครื่องยนต์ลง เพิ่มความสามารถในการประจุไอได้ดีมากขึ้นและยัง

ช่วยป้องกันการเกิดการน็อก อีกเหตุผลหนึ่งคือ เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเกิดการน็อกได้ยากกว่าเครื่องยนต์หัวฉีดแบบธรรมดา ในเครื่องแบบธรรมดาจะเกิดการน็อกอย่างรุนแรงระหว่างจังหวะการเร่ง สาเหตุเนื่องมาจากมีเชื้อเพลิงบางส่วนถูกฉีดไปติดอยู่กับท่อไอดี ส่วนของเชื้อเพลิงที่มีค่าอ็อกเทนต่ำจะถูกดูดเข้าไปในกระบอกสูบอย่างทันทีทันใด เมื่อผสมกันอากาศจะเกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองจึงทำให้เกิดการน็อกอย่างรุนแรง แต่กับเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง เชื้อเพลิงจะถูกฉีดโดยตรงเข้าสู่กระบอกสูบ และเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ด้วยประกายไฟจากหัวเทียนโดยไม่มีเชื้อเพลิงไปติดอยู่ตามผนังกระบอกสูบ และเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ด้วยประกายไฟจากหัวเทียนโดยไม่มีเชื้อเพลิงไปติดอยู่ตามผนังกระบอกสูบหรือหัวลูกสูบเลย จึงสามารถป้องกันการเกิดการน็อกได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้ได้กำลังที่สูงกว่า

การลดมลพิษ ในสภาวะการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวของเชื้อเพลิงอาจมีบางส่วนที่ผสมตัวอย่างไม่สมบูรณ์เต็มที่ อาจทำให้เกิดเขม่าขึ้นในกระบอกสูบจึงได้มีการปรับปรุงเทคนิคใหม่ในการฉีดน้ำมัน โดยแบ่งการฉีดเป็น 2 ครั้ง ในการฉีดครั้งแรกจะฉีดด้วยปริมาตรหนึ่งในสี่ของปริมาตรเชื้อเพลิงรวม ซึ่งจะฉีดในจังหวะประจุไอดี ซึ่งมันจะทำให้เกิดส่วนผสมที่บางมากในห้องเผาไหม้และบางเกินไปที่จะจุดระเบิดในสภาวะปกติ เชื้อเพลิงส่วนที่เหลือจะถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบในช่วงจังหวะอัดเมื่อความดันในห้องเผาไหม้มีค่า 500 kPa จึงทำให้เกิดส่วนผสม 2 ส่วน คือส่วนที่ส่วนผสมบางมากและส่วนที่มีส่วนผสมหนา การน็อกมักจะเกิดที่ส่วนผสมที่พอดี แต่ทว่าในกระบอกสูบขณะนี้มีแต่ส่วนผสมที่หนาเกินไปและบางเกินไปที่จะเกิดการน็อก และส่วนผสมที่หนาเกินไปนี้ก่อตัวเพียงช่วงระยะสั้นๆ ก่อนที่จะเกิดการจุดระเบิดเพียงเล็กน้อย ซึ่งช่วงเวลาเพียงเท่านี้ไม่เพียงพอที่เชื้อเพลิงจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งเป็นสาเหตุของการน็อก และยังไม่ก่อให้เกิดเขม่า สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดเขม่า เมื่อส่วนผสมของอากาศและน้ำมันก่อตัวขึ้นแต่เกิดส่วนผสมที่หนาเกินไปเขม่าจะก่อตัวขึ้นดังเช่นในเครื่องยนต์ดีเซล แต่กับระบบฉีดเชื้อเพลิงสองจังหวะส่วนผสมหนาจะเกิดขึ้นแค่บางส่วนในห้องเผาไหม้ ซึ่งเมื่อมันจุดระเบิดมันจะส่งผลให้บริเวณที่มีส่วนผสมบางมากซึ่งไม่สามารถจุดระเบิดได้ในสภาวะปกติสามารถจุดระเบิดได้ เมื่อบริเวณที่มีส่วนผสมบางจุดระเบิดจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีดำเนินย้อนกลับไปสู่บริเวณที่มีส่วนผสมหนา ทำให้เกิดการจุดระเบิดซ้ำอีกครั้งซึ่งจะเห็นได้ว่าจะข้ามกระบวนการการเกิดเขม่าไปได้

ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งคือการลดมลพิษ โดยใช้การควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงที่แม่นยำ เราสามารถลดคาร์บอนมอนอกไซด์ลงได้ไม่ยาก ตอนนี้เราจึงมุ่งประเด็นสนใจไปยังการลดไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ โดยใช้ระบบอุ่นตัวกรองไอเสียให้ถึงอุณหภูมิทำงานเร็วขึ้นโดยในช่วงที่เครื่องยนต์เพิ่งจะเริ่มทำงาน อุณหภูมิของตัวกรองไอเสียต่ำกว่า 250 C จะมีการฉีดเชื้อเพลิง

เพิ่ม ในจังหวะคายไอเสียเพื่อให้มีการเผาไหม้ร่วมไปกับไอเสีย เป็นผลให้อุณหภูมิไอเสียสูงขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิของตัวกรองไอเสียถึงจุดที่จะทำงานได้เร็วขึ้น ซึ่งเป็นไปไม่ได้เลย สำหรับเครื่องยนต์แบบเก่าร่วมด้วยการใช้ EGR Control Valve ที่มีประสิทธิภาพ จึงสามารถลดมลพิษที่เกิดขึ้นได้มากกว่าเครื่องยนต์แบบเก่า [17]

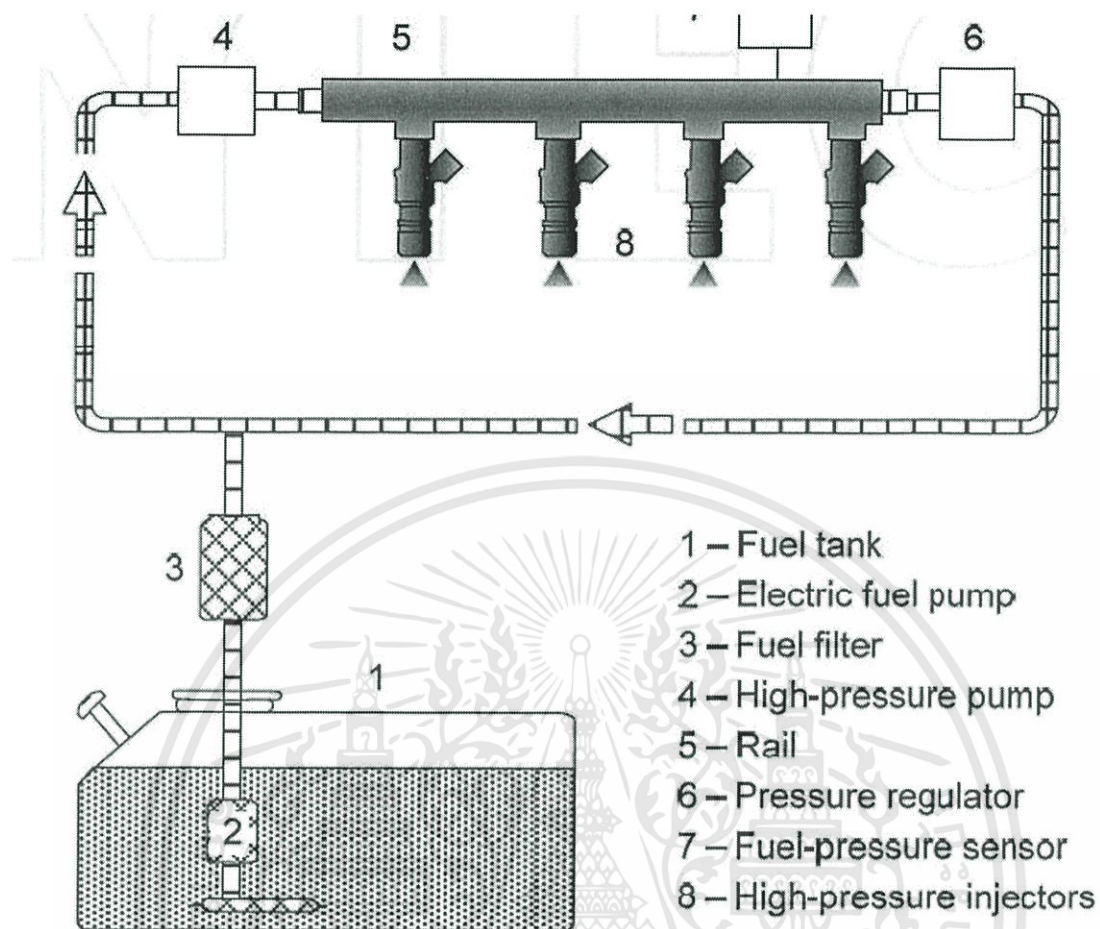


รูปที่ 3.6 แสดงระบบควบคุมของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง [17]

3.3 ระบบควบคุมของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง

ระบบควบคุมของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง จะอาศัยพื้นฐานของระบบควบคุมแบบ MPI ซึ่งจะมีตัวตรวจจับแบบต่างๆ ใกล้เคียงกัน เพียงแต่จะมีระบบควบคุมสำหรับอุปกรณ์พิเศษที่เพิ่มเติมขึ้นมา โดยระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติม มีดังนี้

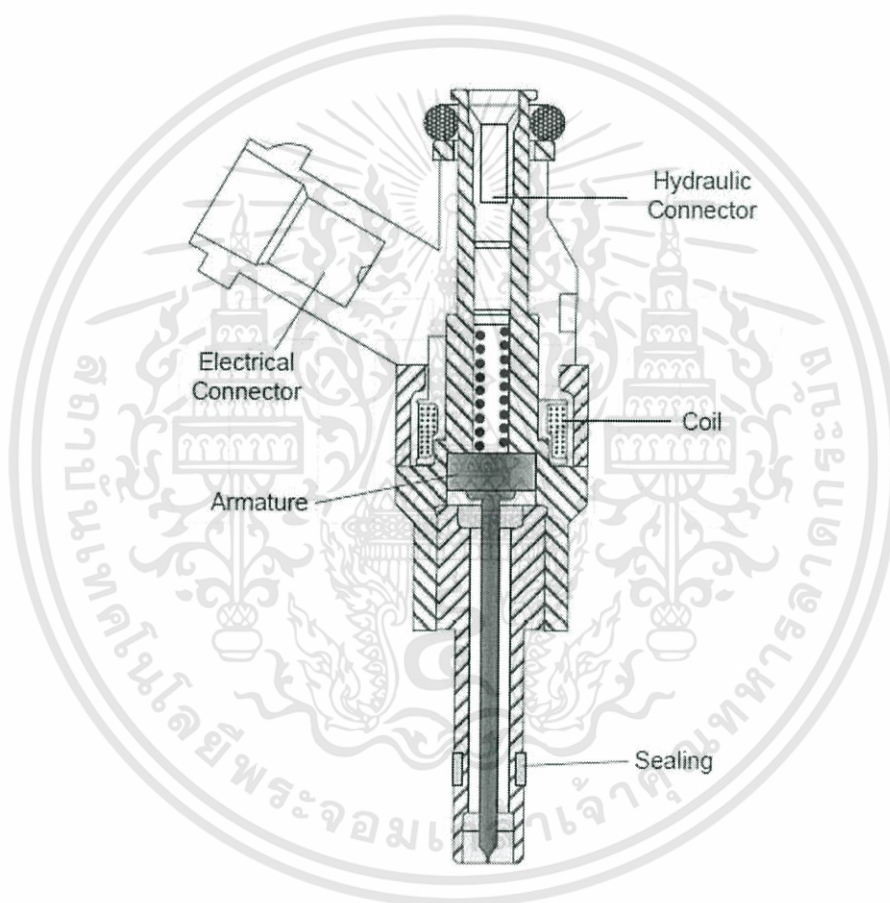
ระบบเชื้อเพลิง จะมีปั๊มแรงดันต่ำ และปั๊มแรงดันสูงต่ออนุกรมกันอยู่ในระบบจ่ายเชื้อเพลิง โดยมีตัวควบคุมแรงดัน เป็นตัวกำหนดแรงดันสูงสุด และช่วยทำให้แรงดันมีค่าคงที่ อุปกรณ์ควบคุมแรงดันนี้ ทำงานด้วยระบบกลไก แต่มีตัวตรวจวัดแรงดันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นมาจากระบบ MPI เพื่อใช้กำหนดระยะเวลาในการจ่ายเชื้อเพลิงให้แม่นยำยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.7 แสดงระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงเบนซินแบบฉีดตรง [17]

ระบบควบคุมการทำงานของหัวฉีด หัวฉีดของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรงนี้เป็นหัวฉีดแรงดันสูง ซึ่งสามารถทำงานได้ที่ความดันเชื้อเพลิงถึง 7000 kPa และสามารถตอบสนองได้เร็วถึง 0.3 ms ซึ่งเหนือกว่าหัวฉีด MPI เป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้พลังงานในการยกหัวเข็มสูงกว่าเดิมมาก ทางผู้ผลิตจึงได้เพิ่มวงจรควบคุมในลักษณะของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อใช้ในการเปิดปิดหัวฉีด โดยยังต้องรับสัญญาณจากกล่องควบคุมอยู่ แต่ความต่างศักย์ที่จ่ายสู่หัวฉีดจะสูงกว่า คือใช้ที่ 100 Volt และความต้านทานของตัวหัวฉีดก็จะมีค่าต่ำเพียง 0.9 Ohm เท่านั้น เพื่อให้ได้กระแสที่สูงกว่า หรืออีกนัยหนึ่งคือพลังงานที่เพียงพอต่อการยกหัวเข็มต้านแรงดันของเชื้อเพลิงในระยะเวลาที่รวดเร็ว

ระบบจุดระเบิด การควบคุมการจุดระเบิดจะกระทำโดยตรงจากกล่องควบคุมซึ่งแต่ละสูบจะเป็นอิสระจากกันโดยสิ้นเชิง โดยจะมีคอยล์จุดระเบิดของแต่ละสูบรับสัญญาณโดยตรงจากกล่องควบคุมสัญญาณการจุดระเบิดของแต่ละสูบจะเริ่มต้นที่องศาต่างกัน ซึ่งแตกต่างจากเครื่องยนต์แบบ MPI เป็นอย่างมาก เป็นผลให้กล่องควบคุมสามารถกำหนดองศาจุดระเบิดให้จุดระเบิดได้เร็วกว่าปกติ ในบางสูบจึงทำให้ได้กำลังสูงขึ้น วงจรที่ใช้ในการควบคุมคอยล์จุดระเบิดนี้จะต้องใช้พลังงานสูงกว่าในระบบ MPI เช่นกัน ทางผู้ผลิตจึงได้เชื่อมต่อวงจรควบคุมเข้ากับวงจรขยายสัญญาณ ในลักษณะของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อใช้ในการจุดระเบิดในแต่ละสูบ [17]



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะหัวฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ GDI [17]

3.4 เชื้อเพลิงเอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ (C_2H_5OH)

เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการนำเอาพืชมาหมักเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล จากนั้นจึงเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ โดยใช้เอนไซม์หรือกรดบางชนิดช่วยย่อย เมื่อทำให้เป็น

แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 95% โดยการกลั่น ส่วนใหญ่ผลิตจากพืช สองประเภทคือ พืชประเภทน้ำตาล เช่นอ้อย บีทรูท และพืชจำพวกแป้งเช่น มันสำปะหลัง ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น

3.5 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอล

3.5.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอลมีข้อดีดังต่อไปนี้

3.5.1.1. เอทานอลเผาไหม้ได้สมบูรณ์

3.5.1.2. เชื้อเพลิงเอทานอลมีการเผาไหม้ที่รวดเร็วเนื่องจากมีค่าเปอร์เซนของออกซิเจนที่ผสมอยู่ในตัวเชื้อเพลิงตามเปอร์เซนของเอทานอลที่ผสมอยู่ในเบนซิน อีกทั้ง ขนาดของโมเลกุลของเอทานอลที่มีเปอร์เซนของคาร์บอนที่ผสมอยู่น้อยกว่าเบนซินจึงทำการไหม้ติดไฟที่มีความเร็วในการลามของเปลวไฟที่เร็วขึ้น และอุณหภูมิของเปลวไฟ (Adiabatic flame temperature) ของเอทานอลมีค่าน้อยกว่าเบนซินทำค่าการสูญเสียความร้อนออกไปสู่สภาวะแวดล้อมที่น้อยกว่าทำให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีกว่า

3.5.1.3. เมื่อค่าความเร็วของเปลวไฟเร็วขึ้น ช่วงเวลาในการเผาไหม้ที่ลดลง และความดันสูงสุดในการเผาไหม้สูงขึ้นเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้วัฏจักรการออดโตมีพื้นที่ได้กราฟที่มากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้กำลังและสมรรถนะของเครื่องยนต์สูงขึ้นตลอดจนค่ามลพิษที่เกิดจากช่วงเวลาในเผาไหม้ลดลง

3.5.1.4. ค่าออกเทน (Octane) ค่าออกเทนเป็นตัวเลขที่ใช้บอกคุณสมบัติด้านทานทานการน็อกของเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ เชื้อเพลิงเอทานอลมีค่าออกเทนสูงกว่าแก๊สโซลีน ซึ่งสามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดได้ ซึ่งการศึกษาทดลองใช้ในบราซิล พบว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์ได้ถึง 18:1 (สำหรับเอทานอล 99.5%) แต่ในการใช้งานจริงจะอยู่ที่ประมาณ 12:1

3.5.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงเอทานอลมีข้อเสียดังต่อไปนี้

3.5.2.1. เอทานอลมีคุณสมบัติเป็นโพลาร์ (Polar) ซึ่งมีปฏิกิริยาสูงกว่าแก๊สโซลีน จึงทำให้มีอำนาจในการกัดกร่อนสูงกว่าแก๊สโซลีน ซึ่งจะส่งผลการกัดกร่อนต่อชิ้นส่วนที่เป็นโลหะและพลาสติก ดังนั้นการนำเอาเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนจึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนวัสดุหรือการเคลือบสารที่ด้านทานทานการกัดกร่อนของเอทานอลในชิ้นส่วนที่ต้องสัมผัสกับเอทานอล

3.5.2.2. เชื้อเพลิงเอทานอลและเอทานอลผสมเบนซินนั้นจำเป็นจะต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่มากกว่าเบนซินเพื่อชดเชยค่าความร้อนของเอทานอลที่มีค่าน้อยกว่าเบนซิน

3.5.2.3 การสมดุลสมการทางเคมีเชื้อเพลิงทั้งสองที่การเผาไหม้สมบูรณ์ (Stoichiometric) แก๊สโซลีนจะได้ A/F ประมาณ 14.6 ในขณะที่เอทานอลมีค่าเพียง 9 เพราะฉะนั้นถ้าเอทานอลใช้อัตราส่วนเดียวกับแก๊สโซลีนก็จะทำให้ส่วนผสมของเอทานอลกับอากาศที่ได้บางมากทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างลำบากและทำให้การสตาร์ทติดยาก เพราะฉะนั้นจะต้องเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงที่เข้าห้องเผาไหม้

3.5.2.4. การที่เอทานอลต้องใช้ความร้อนในการระเหยตัวที่มากกว่าทำให้สภาวะที่อุณหภูมิในบรรยากาศต่ำ การระเหยตัวของเอทานอลเป็นไปได้ยากทำให้มีปัญหาในการสตาร์ทเครื่องในขณะอากาศเย็น ซึ่งเอทานอลสามารถกลายเป็นไอเพื่อการเผาไหม้ได้ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 10°C และจะมีปัญหาเกี่ยวกับการสตาร์ทในสภาวะอากาศเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 4°C

3.6 การนำเอทานอลมาใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน

ประเทศบราซิลจัดได้ว่าเป็นประเทศหนึ่งที่เป็นผู้นำด้านแก๊สโซฮอลล์ และมีการส่งเสริมการใช้ อย่างจริงจัง เริ่มจากความพยายามที่จะลดการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศที่สูงถึงร้อยละ 80 โดยรัฐบาลได้จัดตั้งแผนงานว่าด้วยแอลกอฮอล์แห่งชาติ หรือเรียกย่อๆ PROALCOOL ขึ้น เพื่อสนับสนุนการผลิตเอทานอล เพื่อทดแทนน้ำมันในยุคที่ราคาน้ำมันดิบพุ่งขึ้นสูงในช่วงปี พ.ศ. 2517-2518 ประกอบกับประเทศบราซิลมีพื้นที่กว้างใหญ่มากและมีเป็นผู้ผลิตอ้อยและน้ำตาลเป็นอันดับหนึ่งของโลก การส่งเสริมอย่างจริงจังทำให้มีการก่อสร้างโรงกลั่นเอทานอลทั่วประเทศ โดยบราซิลใช้ อ้อยเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล ซึ่งในเวลาต่อมาได้มีการผลิตรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลทั้งรถยนต์ส่วนตัวและเพื่อการพาณิชย์ ทำให้รถยนต์ที่ผลิตในประเทศบราซิลใช้แก๊สโซฮอลล์เป็นเชื้อเพลิง โดยเอทานอลที่ผสมกับน้ำมันมีสัดส่วนตั้งแต่ร้อยละ 20 หรือ E20 ขึ้นไป และได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง

3.7 การปรับปรุงประสิทธิภาพเอทานอลเพื่อการนำมาใช้ประโยชน์

เครื่องยนต์เบนซินที่ใช้เอทานอลเป็นทางเลือกนั้นเครื่องยนต์เบนซินนั้นสิ่งที่จำเป็นที่สุดต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้คือ ต้องเพิ่มปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงเพราะเมื่อนำเอทานอลจะมีใช้ทำให้ส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศบางแต่เมื่อชดเชยค่าพลังงานความร้อนของเอทานอลที่มีน้อยกว่าโดย

การขยายช่วงเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงทำให้พื้นที่การลามของเปลวไฟเพิ่มขึ้นและช่วงเวลาที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเบนซินที่ค่าอัตราส่วนสมมูลเท่ากัน

3.8 การสิ้นเปลืองจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, bsfc)

คือ อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังเบรกที่ให้ออกมา

$$bsfc = \frac{\dot{m}}{Pe}$$

$bsfc$ คือ การสิ้นเปลืองจำเพาะเบรก (g/kW-hr)

Pe คือ กำลังเบรกจากเครื่องยนต์ (kW)

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (g/hr)

3.9 ประสิทธิภาพความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency, bte)

คือ อัตราส่วนระหว่างงานที่ได้ต่อวัฏจักรกับพลังงานเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปต่อวัฏจักร โดยพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถปล่อยออกมาจากการเผาไหม้จะหาได้จากมวลของเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าไปในเครื่องยนต์ต่อวัฏจักรคูณด้วยค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

$$bte = \frac{3600}{bsfc \times LHV}$$

bte คือ ประสิทธิภาพความร้อนเบรก (%)

$bsfc$ คือ การสิ้นเปลืองจำเพาะเบรก (g/kW-hr)

LHV คือ ค่าความร้อนสูงสุดของเชื้อเพลิง (kJ/Kg)

ในการทดสอบเครื่องยนต์ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะถูกวัดเป็นอัตราการไหลของมวล ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบได้จึงกำหนดในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมาและเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตงานออกมา

ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะยิ่งต่ำก็ยิ่งดี และโดยทั่วไปแล้วจะคำนวณในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก คือเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังเบรกที่ให้ออกมาที่ดีที่สุดสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟจะมีค่าประมาณ $75 \mu\text{g}/\text{J}$ ซึ่งเท่ากับ $270 \text{ g}/(\text{kWh})$ และสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ค่า bsfc ที่ดีที่สุดจะต่ำกว่า และสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดใหญ่อาจมีค่าต่ำกว่า $55 \mu\text{g}/\text{J}$ หรือ $200 \text{ g}/(\text{kWh})$

เนื่องจากค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเป็นค่าที่มีหน่วย ทำให้ไม่สะดวกในการนำไปใช้ จึงได้มีการกำหนดค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในรูปของค่าที่ไม่มีหน่วยขึ้น ซึ่งก็คืออัตราส่วนระหว่างงานที่ได้ต่อวัฏจักรกับพลังงานเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปต่อวัฏจักร โดยพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถปล่อยออกมาจากการเผาไหม้จะหาได้จากมวลของเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าไปในเครื่องยนต์ต่อวัฏจักรคูณด้วยค่าความร้อนของเชื้อเพลิง อัตราส่วนดังกล่าวนี้เรียกว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง

3.10 ความสัมพันธ์ของความดันยังผลเฉลี่ย (Mean Effective Pressure)

$$nmep = gmep + pmep$$

$$bmep = nmef - fmep$$

$$bmep = imep - fmep$$

indicated mean effective pressure (imep) คือ ความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้

friction mean effective pressure(fmep) คือ ความดันยังผลเฉลี่ยเสียดทาน

pump mean effective pressure(pmep) คือ ความดันยังผลเฉลี่ยในการปั๊ม

net mean effective pressure(nmep) คือ ความดันยังผลเฉลี่ยสุทธิ

ความดันยังผลเฉลี่ย

ในขณะที่ทอร์คเป็นการวัดความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ แต่ทอร์คจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องยนต์ (เครื่องยนต์ใหญ่ให้ทอร์คสูง เครื่องยนต์เล็กให้ทอร์คต่ำ) จึงมีการกำหนดการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบขึ้นโดยได้จากการหางานต่อวัฏจักรด้วยปริมาตรกระจัดต่อวัฏจักรค่าที่ได้มีหน่วยเป็น แรงต่อพื้นที่ จึงเรียกว่าความดันยังผลเฉลี่ยซึ่งจากสมการ

งานต่อวัฏจักรจะได้ความดันยังผลเฉลี่ยเป็น

$$W = \frac{Pn_R}{N}$$

โดย V_d

เป็นปริมาตรกระจัดในหน่วยเอสไอจะได้เป็น

$$mep = \frac{Pn_R}{V_d N}$$

ค่าความดันยังผลเฉลี่ยจากสมการ จะขึ้นอยู่กับกำลังที่ใช้ในการหา ถ้าใช้กำลังบ่งชี้ก็ได้เป็นความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ และถ้าใช้เป็นกำลังเบรกก็น่าจะเป็นความดันยังผลเฉลี่ยเบรก

ความดันยังผลเฉลี่ยเบรกสูงสุดสำหรับเครื่องยนต์แต่ละชนิดที่ถูกออกแบบอย่างดี มักจะมีค่าเกือบคงตัวตลอดช่วง ของขนาดเครื่องยนต์และมีการกำหนดค่าทั่วไปไว้ ดังนั้นจึงสามารถนำความดันยังผลเฉลี่ยเบรกที่กำหนดไว้นี้ไปใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จริงเพื่อประเมินว่าผู้ออกแบบได้ใช้ปริมาตรกระจัดของเครื่องยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด และยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบเบื้องต้นเพื่อหาปริมาตรกระจัดที่ต้องการสำหรับทอร์คหรือกำลังที่อัตราเร็วรอบที่กำหนดหนึ่งๆด้วย [18]

ค่าทั่วไปของความดันยังผลเฉลี่ยเบรก จะมีดังต่อไปนี้ [18]

1. สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบนำไอดีเข้าโดยธรรมชาติจะมีค่า bmep อยู่ในช่วง 850 ถึง 1050 kPa ที่อัตราเร็วเครื่องยนต์ที่ได้ทอร์คสูงสุด และจะต่ำลงร้อยละ 10 ถึง 15 เมื่อกำลังที่กำหนดสูงสุด
2. สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบเทอร์โบชาร์จที่ใช้กับรถยนต์จะมีค่า bmep สูงสุดอยู่ในช่วง 1250 ถึง 1700 kPa และที่กำลังที่กำหนดสูงสุดจะมีค่าอยู่ในช่วง 900 ถึง 1400 kPa\
3. สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลสี่จังหวะแบบนำไอดีเข้าโดยธรรมชาติจะมีค่า bmep สูงสุดอยู่ในช่วง 700 ถึง 900 kPa และที่กำลังที่กำหนดสูงสุดจะมีค่าประมาณ 700 kPa
4. สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลสี่จังหวะแบบเทอร์โบชาร์จจะมีค่า bmep สูงสุดอยู่ในช่วง 1000 ถึง 1200 kPa และถ้าเป็นเครื่องยนต์เทอร์โบชาร์จที่มีการหล่อเย็นหลังการอัด ค่าสูงสุดจะมีค่าอยู่ในช่วง 850 ถึง 950 kPa
5. สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลสองจังหวะจะมีค่า bmep เพียงเคียงได้กับเครื่องยนต์สี่จังหวะ แต่ถ้าเป็นเครื่องยนต์ดีเซลสองจังหวะหมุนช้าขนาดใหญ่อาจมีค่า bmep สูงสุดถ้าประมาณ 1600 kPa

3.11 การปล่อยมลพิษจำเพาะและดรรชนีมลพิษ

ในการทำงานของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในจะมีการปล่อยไอเสียหรือผลที่เกิดจากการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศออกจากเครื่องยนต์ ซึ่งมีส่วนประกอบที่ถือว่าเป็นมลพิษ คือ ออกไซด์ของไนโตรเจน (ได้แก่ ไนตริกออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่นิยมเรียกรวมกันเป็น NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้ และสารระลอก

ความเข้มข้นของแก๊สที่เป็นมลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์มักจะถูกวัดเป็น ส่วนในล้านส่วน ppm หรือร้อยละโดยปริมาตร แต่พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะพิจารณาเป็น 2 ลักษณะคือ อัตราการไหลของมวลมลพิษต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมา ที่เรียกว่า การปล่อยมลพิษจำเพาะ [18]

$$NO_x = \frac{\dot{m} NO_x}{P}$$

$$CO = \frac{\dot{m} CO}{P}$$

$$HC = \frac{\dot{m} HC}{P}$$

\dot{m} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของมลพิษ (g/hr)

P คือ กำลังเบรคจากเครื่องยนต์ (kW)

3.12 กำลัง

กำลังเป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในและเป็นค่าที่กำหนดความต้องการของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่จะใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับกำลังมีอยู่หลายตัวคือ กำลังบ่งชี้ กำลังความเสียหาย และกำลังที่ต้องการใช้ในการขับเคลื่อน [18]

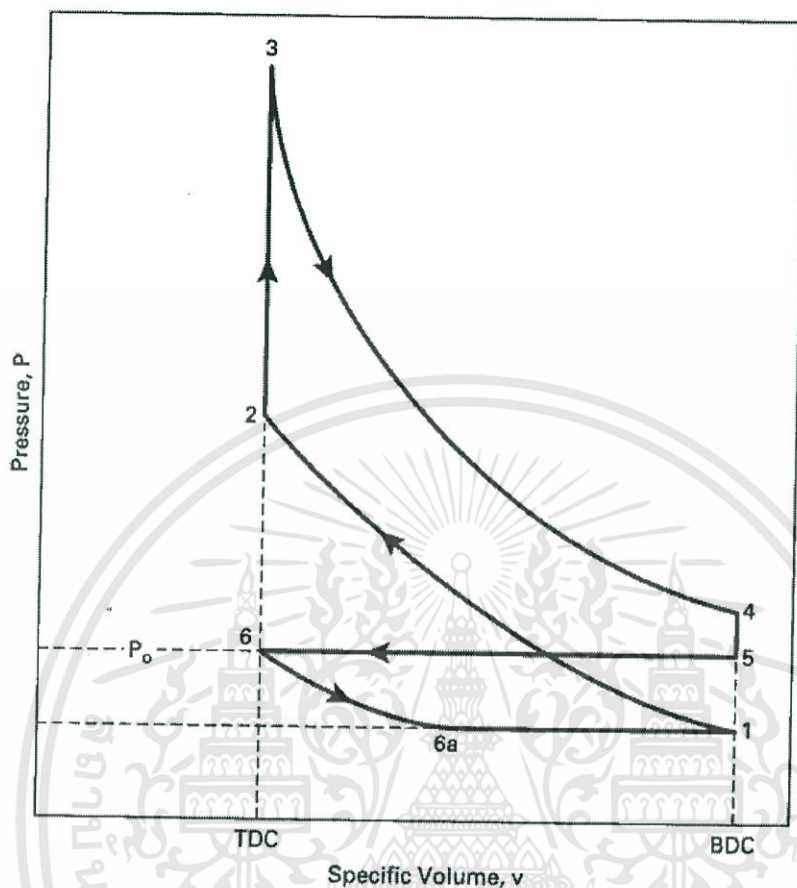
กำลังบ่งชี้

กำลังบ่งชี้ เป็นกำลังที่ถ่ายทอดจากแก๊สภายในกระบอกสูบไปสู่ลูกสูบ กำลังบ่งชี้หาได้จากงานที่แก๊สถ่ายทอดไปสู่ลูกสูบ ต่อวัฏจักรการทำงานที่ได้จากอินทิเกรตโดยรอบกราฟระหว่างความดันและปริมาตรกระบอกสูบตลอดวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์

1. งานบ่งชี้ต่อวัฏจักรรวบยอด เป็นงานที่แก๊สในกระบอกสูบให้แก่ลูกสูบเมื่อคิดเฉพาะจังหวะอัดและจังหวะขยายตัวเท่านั้น
2. งานบ่งชี้ต่อวัฏจักรสุทธิ เป็นงานที่แก๊สในกระบอกสูบให้แก่ลูกสูบเมื่อคิดทั้งสี่จังหวะ

งานที่ถ่ายทอดระหว่างลูกสูบกับแก๊สในกระบอกสูบในระหว่างจังหวะดูดและจังหวะคาย มักจะเรียกว่า งานในการบีบ ซึ่งจะเกิดขึ้นเป็น 2 กรณี คือ

1. ถ้าความดันในช่วงจังหวะดูดน้อยกว่าความดันในช่วงจังหวะคาย ก็จะเป็นงานที่ถ่ายทอดไปยังแก๊สในกระบอกสูบ ซึ่งเป็นสภาวะของเครื่องยนต์ที่นำไอดีเข้าโดยธรรมชาติ
2. ถ้าความดันในช่วงจังหวะดูดมากกว่าความดันในช่วงจังหวะคาย ก็เป็นงานที่ถ่ายทอดแก๊สไปสู่ลูกสูบ ซึ่งเป็นกรณีของเครื่องยนต์ซูเปอร์ชาร์จ



รูปที่ 3.9 แสดง P-V ไดอะแกรมวัฏจักรออตโต [16]

3.13 กำลังเบรก

กำลังเบรก เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาคอเหวี่ยงหรือล้อตุนกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งานได้นั่นเอง การวัดกำลังเบรกจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งมีอยู่หลายชนิดโดยจะวัดออกมาในรูปของทอร์กและรอบการหมุนของเครื่องยนต์ ซึ่งจะได้ทอร์ก [18]

$$T = Fb$$

และกำลังเบรก

$$P_b = 2\pi TN$$

โดย N เป็นรอบการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง ซึ่งในหน่วย SI จะได้ P_b (หน่วยเป็น kW) = $2\pi TN$ (หน่วยเป็น rev/s) T (หน่วยเป็น Nm)

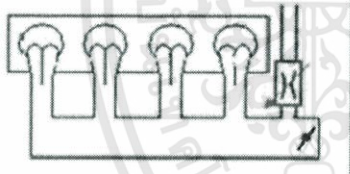
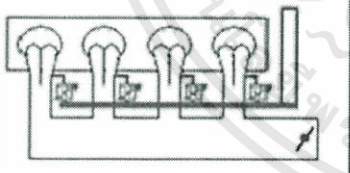
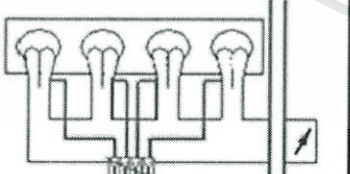
3.14 ระบบไอเสียวนกลับ (Exhaust Gas Recirculation: EGR)

การประยุกต์ใช้ไอเสียวนกลับในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในสามารถแบ่งได้เป็น ไอเสียในกลับภายใน และไอเสียวนกลับภายนอก

ไอเสียวนกลับภายนอกนั้นไอเสียจะถูกนำมาจากพอร์ตไอเสียและถูกส่งเข้าสู่พอร์ตไอดี

ไอเสียวนกลับภายในจะทำได้โดยการเพิ่มจังหวะ NVO ในจังหวะคายไอเสียซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงแคมที่สามารถปรับเปลี่ยนโปรไฟล์แคมได้อย่างรวดเร็วเพื่อความเป็นอิสระเป็นอิสระและมีประสิทธิภาพการในการควบคุมอัตราส่วน EGR

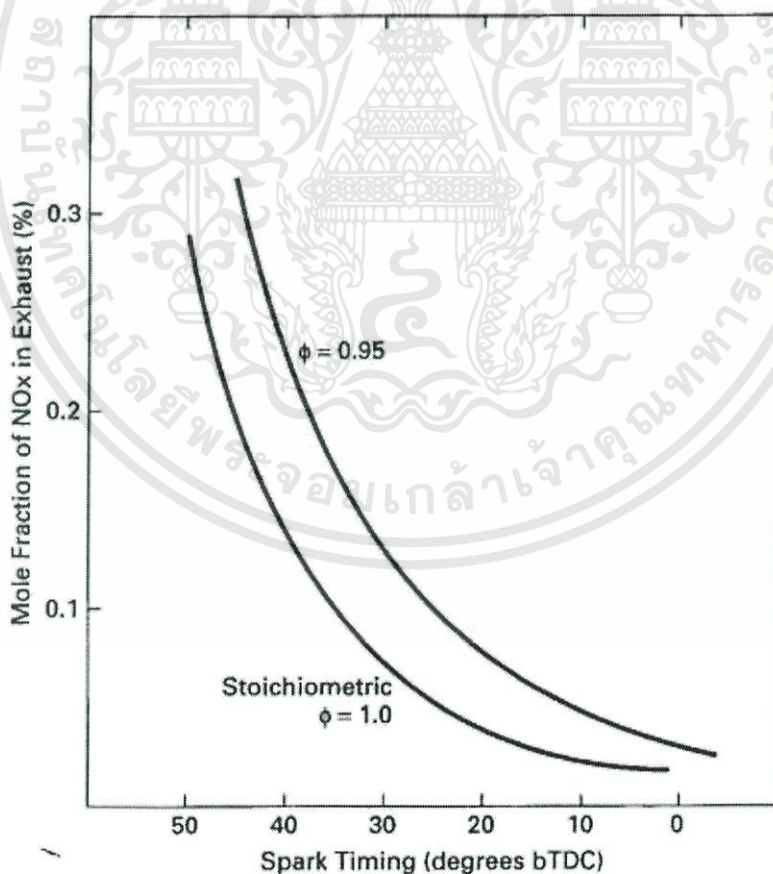
ปัจจุบันไอเสียวนกลับภายนอกนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะมีราคาติดตั้งถูกและใช้อุปกรณ์น้อยชิ้นเพียงแค่ลิ้นควบคุมไอเสียวนกลับที่สามารถควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับให้สามารถควบคุมให้ทำงานได้กับทุกสภาวะเครื่องยนต์และระบบท่อไอเสียวนกลับ [19-22]

	EGR supply	Number of EGR valves
	central	1
	decentral	1 per cylinder
	decentral	1 multiple valve

รูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งระบบไอเสียวนกลับในรูปแบบต่างๆ [19]

ระบบไอเสียกลับประกอบด้วยท่อไอเสียวนกลับ วาล์วไอเสียวนกลับและระบบหล่อเย็นไอเสียวนกลับ ไอเสียจะเดินทางผ่านท่อและระบบหล่อเย็นและเข้าสู่ท่อร่วมไอดี วาล์วควบคุมไอเสียวนกลับสามารถปรับระดับไอเสียวนกลับได้หลายระดับ ท่อไอเสียต้องอาจจะทำด้วยสแตนเลสตีลซึ่งต้องติดตั้งเพื่อหลีกเลี่ยงการสันสะเทือนจากเครื่องยนต์เข้าสู่ระบบไอเสียวนกลับและระบบการวัด [] สำหรับเครื่องยนต์หลายสูบตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบไอเสียวนกลับคือการทำให้ไอเสียวนกลับมีความเป็นเนื้อเดียวกันและเหมือนกันในแต่ละสูบและมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงระดับไอเสียวนกลับในแต่ละสถานะที่ดีเมื่อไอเสียวนกลับถูกป้อนเข้าไปสู่เครื่องยนต์ ไอดีที่เข้าสู่เครื่องยนต์จะประกอบด้วยอากาศและไอเสีย อัตราส่วนไอเสียวนกลับส่วนใหญ่จะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของไอเสียวนกลับในไอดีทั้งหมด [19-22]

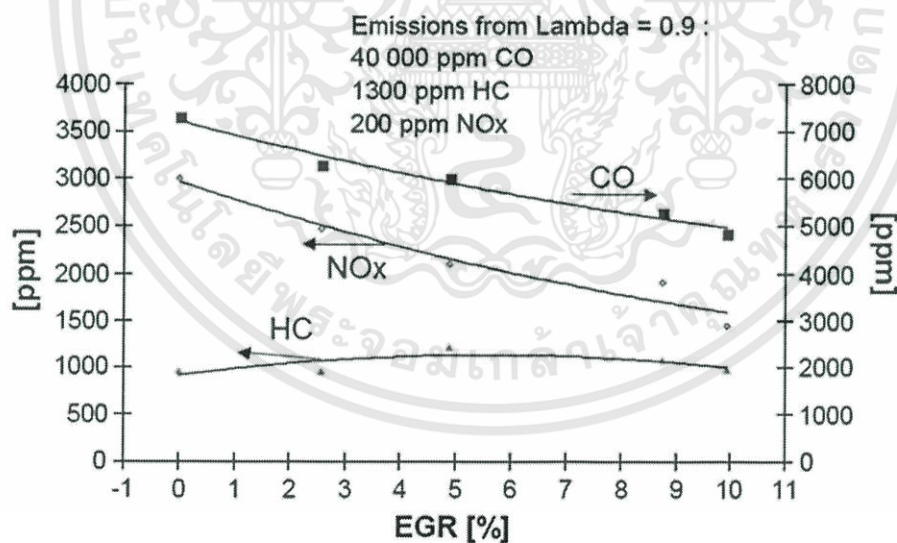
3.15 ไอเสียวนกลับและการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน



รูปที่ 3.11 แสดงการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนที่ห้องศากการจุดระเบิดต่างๆ [16]

การปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียนั้นเกิดจากเผาไหม้ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและมีออกซิเจนเกินอัตราส่วนสมมูล การปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียในเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้นส่วนใหญ่จะปลดปล่อย NO แต่ก็สามารถออกซิไดซ์จนเป็น NO₂ ได้อย่างรวดเร็วเมื่อเจอกับอากาศ การฟอร์มตัวของ NO นั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแบบฟังก์ชันเอ็นโพเนนเชียลเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 1800 K อัตราการฟอร์มตัวของ NO จะน้อยแต่จะรวดเร็วมากที่อุณหภูมิ 2000 K ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าทุกๆการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 100 K การก่อตัวของ NO จะเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณ กลไกการก่อตัวของ NO นั้นต่างจาก HC และ CO เพราะมันไม่ได้เกิดจากการการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรือส่วนผสมไม่ดี แต่มันมีกลไกที่ซับซ้อน โดยพื้นฐานไนโตรเจนไม่ได้มีอยู่ในแก๊สโซลีน การก่อตัวของ NO_x นั้นเกิดจากปฏิกิริยาทางความร้อนของแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจน ในอากาศที่มีอุณหภูมิสูง NO เกิดการก่อตัวในห้องเผาไหม้ในกระบวนการ post-flame combustion ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง [29-31]

ในเครื่องยนต์ที่เผาไหม้โดยใช้แก๊สโซลีนมีกลวิธีมากมายที่ใช้ในการลดการก่อเกิด NO_x ส่วนประกอบหลักของไอเสียนกลับคือ แก๊สไนโตรเจน น้ำ แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นที่รู้จักกันดีว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลต่อการเผาไหม้คือ



รูปที่ 3.12 แสดงผลของการปลดปล่อยมลพิษกับการเพิ่มขึ้นของไอเสียนกลับ [2]

3.10.1 ผลกระทบในด้านความร้อน : ไอเสียประกอบด้วยแก๊สที่มี 2 หรือ 3 อะตอม และค่าความร้อนของแก๊ส 3 อะตอมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในกระบวนการเผาไหม้ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าความจุความร้อนของตัวออกซิไดซ์ เพราะฉะนั้นอุณหภูมิเปลวไฟจะลดต่ำลง

3.10.2 ผลกระทบของการเจือจาง : เป็นผลจากการลดอัตราส่วนของออกซิเจนในตัวออกซิไดซ์

3.10.3 ผลกระทบในด้านเคมี เพราะคาร์บอนไดออกไซด์เป็นพวก active species และมีส่วนในกระบวนการเผาไหม้

3.16 ไอเสียวนกลับสำหรับเครื่องยนต์ฉีดตรงและเครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงที่ปลายท่อไอตี

สำหรับเครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงที่ปลายท่อไอนั้นจะทำงานในส่วนผสมที่อัตราส่วนตามทฤษฎีและไอเสียวนกลับจะเข้ามามีบทบาทในการลดงานในการบีบไอตีที่ภาวะโหลดกลางเพื่อลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และประการที่สองเพื่อลดการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน เพื่อรักษากำลังและแรงบิดที่ส่งออกมาจากเครื่องยนต์หลังจากการใช้ไอเสียวนกลับในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน การเปิดลิ้นปีกผีเสื้อเพิ่มขึ้นคือสิ่งที่ช่วยให้รักษาแรงบิดและกำลังนั้นได้ ซึ่งช่วยลดงานในการบีบไอตีและลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่ใช้ไอเสียวนกลับ ผลจากการใช้ไอเสียวนกลับที่ช่วยการปรับปรุงการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้นั้นมาจาก 3 ปัจจัยคือ [19,23]

Table 1
The basic differences between EGR systems for the different applications.

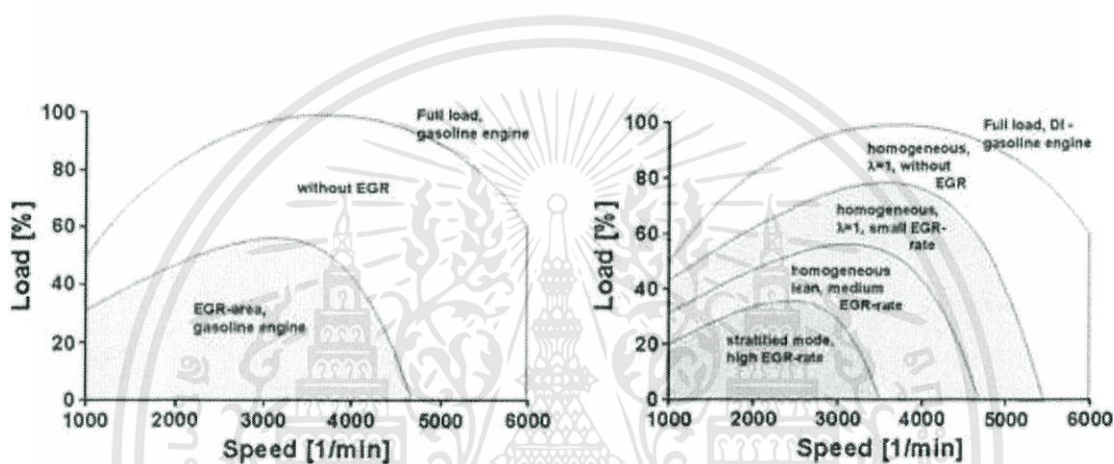
	EGR System for GDI Engines
Target	First, reduction in nitrogen oxides Second, reduction in fuel consumption
Max. EGR rate	<ul style="list-style-type: none"> • 50%, Stratified mode • 25%, Homogeneous mode
Max. exhaust temperature in the operating range	<ul style="list-style-type: none"> • 450 °C • (650 °C, homogeneous mode)
EGR cooling	Under discussion
Other requirements	<ul style="list-style-type: none"> • Good dynamics • Good resolution capability • Good distribution

รูปที่ 3.13 แสดงตารางผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อเครื่องยนต์ฉีดตรง [2]

ประการแรกคือการลดงานในการบีบอัดในขณะไอเสียวนกลับถูกใช้เพิ่มขึ้นขณะที่ควบคุมโหลดให้คงที่นั้น(อัตราการไหลของอากาศและน้ำมันคงที่แต่ความดันของไอนั้นเพิ่มขึ้น)

ประการที่สองคือการลดการถ่ายเทความร้อนสู่ผนังกระบอกสูบในขณะไอเสียวนกลับที่อุณหภูมิแก๊สที่เผาไหม้นั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด

ประการที่สามการลดของ degree of dissociation ของแก๊สร้อนอุณหภูมิสูงซึ่งส่งผลให้เชื้อเพลิงเป็นพลังงานเคมีเป็น sensible energy เมื่อเข้าใกล้ศูนย์ตายบน



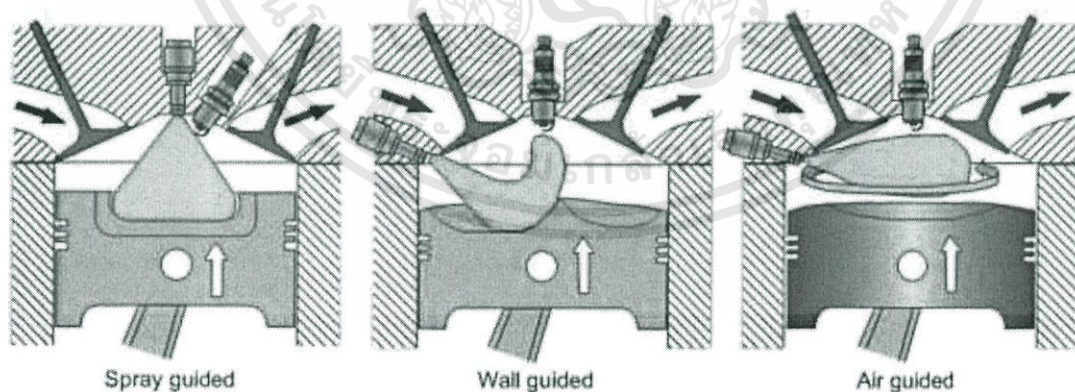
รูปที่ 3.14 แสดงการประยุกต์ใช้ไอเสียวนกลับที่สถานะต่างๆของเครื่องยนต์ [35]

EGR System for PFI Engines	
Target	First, reduction in fuel consumption Second, reduction in nitrogen oxides
Max. EGR rate	25%
Max. exhaust temperature in the operating range	650 °C
EGR cooling	Required
Other requirements	Reduction in power losses at high EGR ratios

รูปที่ 3.15 แสดงผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อเครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่พอร์ตไอดี [2]

ความสำคัญในการตระหนักถึงว่าเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าพอร์ตไอดีที่ทำงานที่ภาระโหลดสูงนั้นลิ้นปีกผีเสื้อจะเปิดสุด ลิ้นปีกผีเสื้อจะเปิดเพิ่มมากกว่านั้นไม่ได้อีกเพื่อที่จะเพิ่มความหนาแน่นไอดี การบูสไอดีมีความสำคัญในการเพิ่มความดันไอดีเพื่อที่จะรักษาแรงบิดและกำลังให้เหมือนเดิม ถ้าหากว่าซูเปอร์ชาร์จไม่ได้ถูกใช้เพื่อเพิ่มความดันในไอดี กำลังที่สูญเสียไปสามารถเพิ่มได้ด้วยการใช้ไอเสียในกลับที่ภาระเครื่องยนต์สูงสุด ยิ่งไปกว่านั้นการใช้ไอเสียวนกลับกับเครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่พอร์ตไอดีมีผลต่อความเสถียรในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เนื่องจากไอเสียวนกลับส่งผลต่อความเร็วในการลามไฟ

โดยทั่วไปการลดลงของการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนถูกค้นพบว่าสามารถลดลงได้จากการใช้ไอเสียวนกลับในเครื่องยนต์ฉีดตรงจุดระเบิดด้วยประกายไฟมากกว่าในเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่พอร์ตไอดี ระยะเวลาผนการผสมเชื้อเพลิง-อากาศนั้นนานกว่าเครื่องยนต์ดีเซล และไอเสียวนกลับนั้นสามารถลดการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนได้ เนื่องจากในเครื่องยนต์ฉีดตรงไม่มีผลกระทบจาก throttle effect เมื่อเครื่องยนต์นั้นทำงานที่สภาวะ ultra-lean burn เมื่ออัตราส่วนอากาศ-เชื้อเพลิงนั้นมีค่าสูง เมื่อไอเสียวนกลับนั้นถูกเข้ามาแทนที่อากาศส่วนเกินนั้น ที่แรงบิดและกำลังนั้นๆ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกป้อนเข้าไปต้องคงที่ แต่อัตราส่วนอากาศ-เชื้อเพลิงลดลงเนื่องจากไอเสียวนกลับ ซึ่งทำให้สามารถลดการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยิ่งไปกว่านั้นอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่สูงสามารถรักษาอัตราส่วนอากาศ-เชื้อเพลิงไว้ได้ และ TWC สามารถช่วยลดการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ได้



รูปที่ 3.16 การออกแบบห้องเผาไหม้ในลักษณะต่างๆ เพื่อให้การเผาไหม้เป็นแบบสเตรติไฟด์ [17]

3.17 การประยุกต์ใช้อิเสียนกลับในโหมตการเผาไหม้แบบสเตรตีไฟด์ [2]

ทั้งในเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าสู่พอร์ตไอดีและเครื่องยนต์ฉีดตรง ส่วนผสมแบบเนื้อเดียวของไอเสียนกลับจะลดความเร็วในการลามไฟ ส่งผลให้การเผาไหม้ในแต่ละวัฏจักรไม่เสถียร และยากต่อการควบคุม [] ในการเจือจางด้วยไอเสียนกลับที่อัตราสูงในโหมตสเตรตีไฟด์นั้นเพื่อที่จะแยกส่วนผสมอากาศ-เชื้อเพลิงในจังหวะดูดและอัดสามารถใช้ได้ดี ในไอเสียนกลับแบบสเตรตีไฟด์เนื่องจากเพื่อต้องการลดไอเสียนบริเวณหัวเทียน เพื่อรักษาอัตราเร็วในการลามไฟดังนั้นการออกแบบห้องเผาไหม้จึงมีความซับซ้อน และประการที่สองคือการรักษาการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้เป็นแบบสเตรตีไฟด์

การใช้งานไอเสียนกลับในห้องเผาไหม้ในลักษณะต่างๆนั้นประกอบด้วย

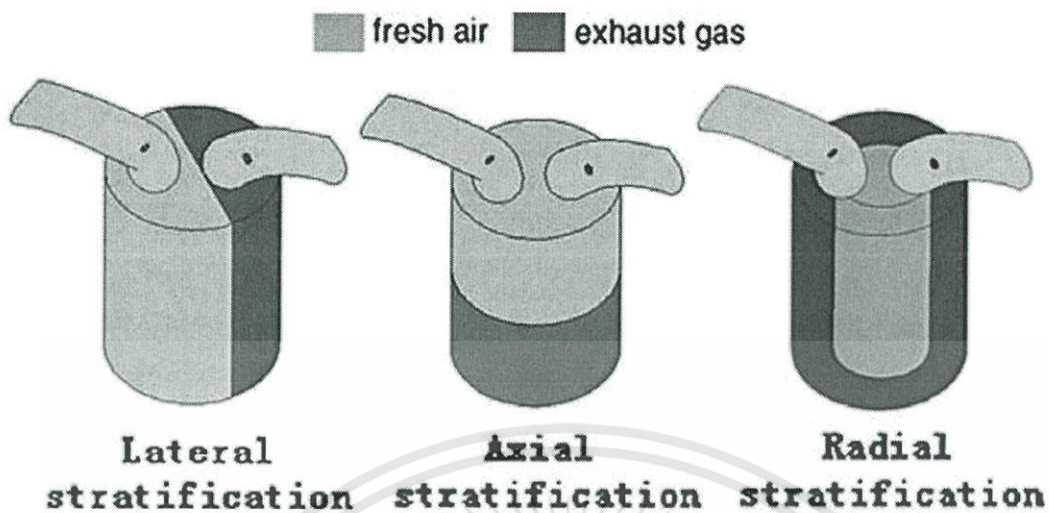
- Radical stratification
- Lateral stratification
- Axial stratification

Lateral stratification นั้นประกอบด้วยจะแบ่งฝั่งของส่วนผสมอากาศ—เชื้อเพลิงไว้ด้านหนึ่งและไอเสียนกลับไว้อีกด้านหนึ่ง อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ต้องการ tumble ที่แข็งแรงเพื่อรักษาโมเมนตัมของการไหลในแนวระดับ

Axial stratification แบ่งส่วนไว้เป็นด้านบน และด้านล่าง การฉีดเชื้อเพลิงถูกแบ่งไว้โดยเฉพาะเพื่อการเผาไหม้ในส่วนนี้ การเผาไหม้ลักษณะนี้อาศัยหลักการ tumble และ squeeze เพื่อให้ส่วนผสม ผสมกันได้ดี

Radical stratification มีความเหมาะสมสำหรับการไหลในจังหวะการอัด เพราะ central air–fuel cylinder และ the outer EGR tubular เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นในจังหวะอัด Radical stratification สามารถรักษาเวลาในส่วนท้ายของจังหวะอัด [32-34]

กล่าวโดยสรุปคือ Radical stratification มีความเหมาะสมที่สุดในการประยุกต์ใช้อิเสียนกลับกับการเผาไหม้แบบสเตรตีไฟด์



รูปที่ 3.17 แสดงการออกแบบการประยุกต์ใช้ไอเสียวนกลับกับการเผาไหม้แบบสเตรติไฟต์ในรูปแบบต่างๆ [2]



บทที่ 4

วิธีการทดลองและอุปกรณ์การทดลอง

4.1 สภาพะที่ทำการทดลอง

ตารางที่ 4.1 สภาพะที่ทำการทดลอง

เงื่อนไขในการทดลอง	
เชื้อเพลิง	เอทานอล20%ผสมแก๊ส โซลีน80% (E20)
ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก	3 บาร์
ความเร็วรอบ (rpm)	2000
จังหวะการฉีด	260 deg.bTDC
องศาการจุดระเบิด	327,333 deg.bTDC
อัตราส่วนอากาศต่อน้ำมัน(λ)	1
อัตราส่วนไอเสียวนกลับ (EGR)	No EGR,5%,15%,25%

การทดลองกำหนดที่ 4 สภาพะ ที่รอบเครื่องยนต์ 2000 รอบต่อนาที ที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 3 บาร์ เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองและการปลดปล่อยมลพิษ ทดลองที่อุณหภูมิ 310 K. ความชื้นสัมพัทธ์ 60 % ทำการอุ่นเครื่องยนต์และอุปกรณ์การทดลอง ก่อนทำการทดลองเป็นเวลา 30 นาที เมื่อเริ่มทำการทดลอง ปรับลิ้นปีกผีเสื้อ การจ่ายน้ำมันและอัตราส่วนไอเสียวนกลับจนถึงแต่ละสภาพะที่กำหนด

4.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

4.2.1. นำเครื่องยนต์และอุปกรณ์ครบชุดมาติดตั้งบนไดนาโมมิเตอร์ (engine dynamometer) ใช้เชื้อเพลิง E20 ในการทดสอบ อัตราส่วนอากาศต่อน้ำมัน $\lambda = 1$ จังหวะการฉีดเชื้อเพลิงที่ 260 deg.bTDC ในโหมดสแตดิไฟด์ พร้อมติดตั้งอุปกรณ์วัดค่ามลพิษ และอุปกรณ์วัดค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

4.2.2. ทดสอบเครื่องยนต์ตามสภาพะที่กำหนดโดยไมใส่อัตราส่วนไอเสียวนกลับ ทำการเก็บค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ความดันทอร่วมไอดี อุณหภูมิไอเสีย และวัดปริมาณมลพิษ

4.2.3. จากนั้นใช้การวนกลับของไอเสีย (EGR) โดยใช้คอมพิวเตอร์และโปรแกรม Labview ควบคุมมอเตอร์ควบคุมไอเสียวนกลับที่อัตราส่วน 5% 15% 25% ตามลำดับ พร้อมทั้งทำการปรับลิ้นปีกผีเสื้อ และปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงโดยใช้อุปกรณ์วัดความเข้มข้นออกซิเจนในหมวดการวัดค่าอัตราส่วนสมมูลให้เท่ากับ 1 เพื่อคงความเร็วรอบเครื่องยนต์ไว้ที่ 2000รอบต่อนาที หลังจากนั้นวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษ ความดันท่อร่วมไอดี อุณหภูมิไอเสีย และวัดปริมาณมลพิษ เช่นเดิม

4.2.4. นำข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

4.3 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

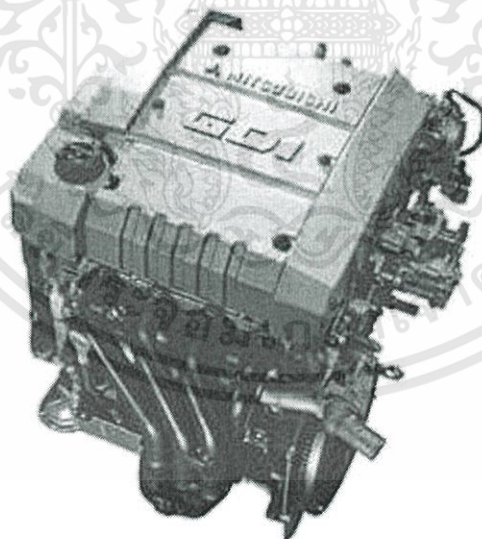
ตารางที่ 4.2 แสดงเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นเชื้อเพลิงที่เกิดจากการผสมแก๊สโซลีน 80% และเอทานอล 20%

Fuels properties	E 20
Formula	$C_{1.63}H_{0.065}$
Mw.[g/mol]	88.12
Carbon[mass%]	79.85
Hydrogen[mass%]	12.88
Oxygen[mass%]	7.54
Density,kg/l at 15°C	0.7645
RVP at 37.8°C , kPa	58.30
LHV,MkJ/kg	40.60
HOV,kJ/kg	-
RON	98.3
MON	84.6
Stoichiometric air/fuel ratio	13.51
Distillation temperature , °C	42.1
Initial boiling point , IBP	54.3
10 vol%	70.5
50 vol%	150.9
90 vol%	182.8
End boiling point	

4.4 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง

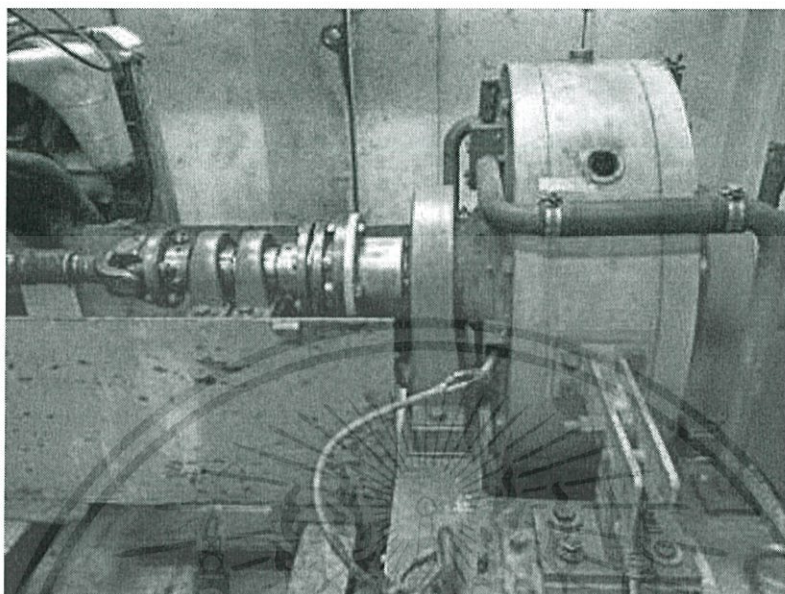
ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติของเครื่องยนต์ทดสอบ

ชื่อเครื่องยนต์	Mitsubishi 4G93 GDI
ความจุ (cc.)	1834
จำนวนลูกสูบ	4
ระบบจุดระเบิด	4-coil Direct Ignition
อัตราส่วนการอัด	11:1
ความโตกระบอกสูบ (mm.) x ช่วงชัก (mm.)	81.0 x 89.0



รูปที่ 4.1 รูปเครื่องยนต์ทดสอบ

4.5 อุปกรณ์วัดกำลังและแรงบิด



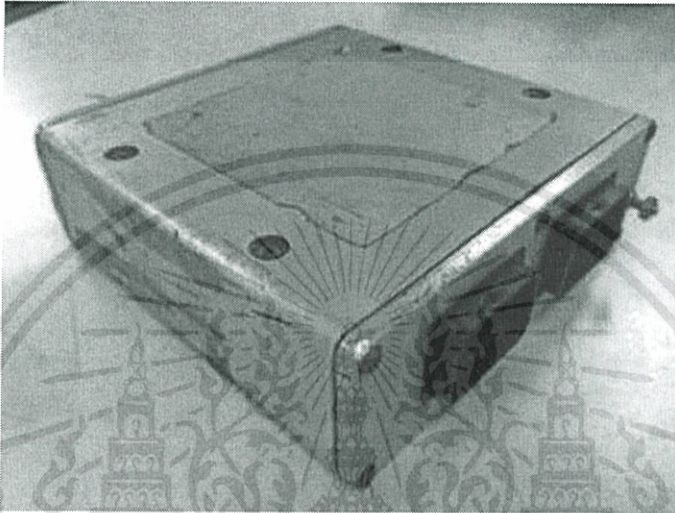
รูปที่ 4.2 แสดงอุปกรณ์กำลังและแรงบิด

ในการทดลองเครื่องยนต์จะถูกติดตั้งกับอุปกรณ์วัดกำลังและแรงบิดโดยเพลาส่งกำลังที่ถูกติดตั้งไว้โดยตรงกับเพลงข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ อุปกรณ์วัดกำลังและแรงบิดใช้เพื่อควบคุมภาระเครื่องยนต์ให้คงที่ และใช้ร่วมกับตราชั่งวัดน้ำหนักเชื้อเพลิงเพื่อคำนวณการสิ้นเปลืองจำเพาะเบรก

- อุปกรณ์วัดกำลังและแรงบิด - ผู้ผลิต EDDY current dynamometer
- รุ่น Model ED-150-LC
 - รหัส 6344-1
 - วันที่ผลิต FEB.1989
 - ความสามารถ MAX BHP 150PS/3000R.P.M
 - ความสามารถ MAX BREAK TORQUE 35.81 kg*m
 - ความสามารถ MAX RPM 8000 R.P.M

4.6 คอนโทรลเลอร์ควบคุมการจุดระเบิด (ECU)

The DTA fast S60 Pro คือ คอนโทรลเลอร์แบบ standalone สำหรับการทดสอบเครื่องยนต์ DISI ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณ และระยะเวลาในการจุดระเบิด ด้วยความเร็ว 0.01ms และมีความแม่นยำ 0.1CAD



รูปที่ 4.3 แสดงคอนโทรลเลอร์ควบคุมการจุดระเบิด

4.7 อุปกรณ์วัดความดันท่อร่วมไอดี (MAP sensor)

อุปกรณ์วัดความดันท่อร่วมไอดี หรือ manifold absolute pressure sensor คืออุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งในท่อร่วมไอดี หลังลิ้นปีกผีเสื้อ สำหรับการทดลองใช้ในการวัดความดันในท่อร่วมไอดีหลังลิ้นปีกผีเสื้อเพื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นของความดันท่อร่วมไอดีขณะที่เพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับในอัตราส่วนต่างๆ ที่ส่งผลต่อการลดลงของงานในการบีบไอดี



รูปที่ 4.4 อุปกรณ์วัดความดันท่อร่วมไอดี

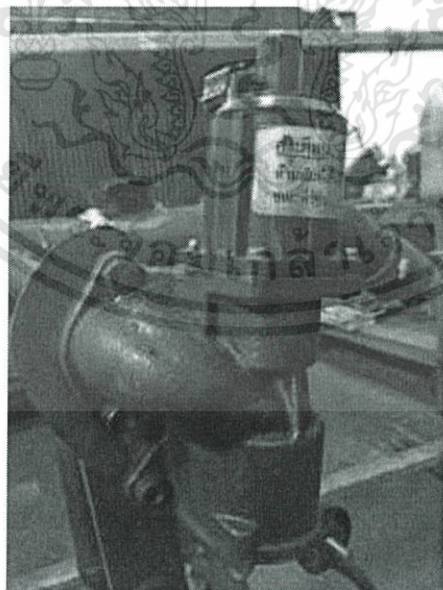
4.8 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermo couple แบบ TYPE K)



รูปที่ 4.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิไอตี ไอเสียและไอเสียวนกลับ

คืออุปกรณ์ที่ถูกฝังไว้บริเวณท่อไอตี ท่อไอเสีย และท่อไอเสียวนกลับเพื่อใช้ในการสังเกต เก็บค่า และควบคุมอุณหภูมิ สำหรับตัวที่ถูกฝังไว้ที่ท่อร่วมไอเสีย ใช้สำหรับศึกษาการลดลงของอุณหภูมิไอเสีย เมื่อเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับสู่การเผาไหม้

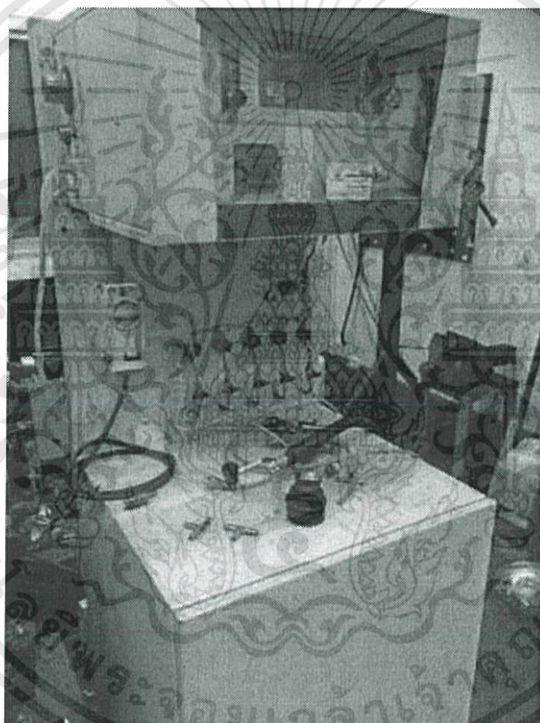
4.9 มอเตอร์ควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับ



รูปที่ 4.6 มอเตอร์ควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับ

มอเตอร์ควบคุมไอเสียวนกลับ คืออุปกรณ์ที่ถูกถอดออกมาจากชุดควบคุมไอเสียวนกลับของเครื่องยนต์ดีเซล และถูกนำมาใช้สำหรับการทดลองเพื่อควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับโดยการรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ทำงานผ่านโปรแกรม Labview โดยที่โปรแกรม Labview จะคำนวณอัตราส่วนไอเสียวนกลับจากความเข้มข้นในอากาศ อดี และไอเสียวนกลับ ซึ่งรับค่ามาจากอุปกรณ์วัดความเข้มข้นออกซิเจนในตำแหน่งต่างๆ เมื่อคำนวณได้แล้วโปรแกรม Labview ก็จะสั่งให้มอเตอร์ควบคุมเพื่อให้ได้อัตราส่วนไอเสียวนกลับในอดีตามที่กำหนด

4.10 เครื่องวิเคราะห์มลพิษ (Gas Analyser)



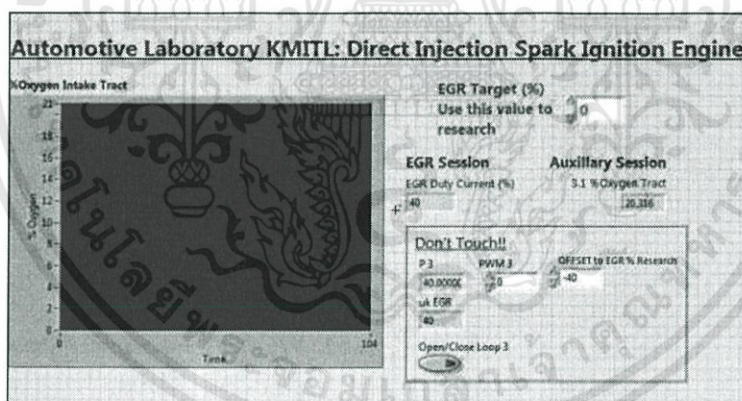
รูปที่ 4.7 เครื่องวิเคราะห์มลพิษ

ในการทดลองไอเสียส่วนหนึ่งจะถูกส่งมาที่เครื่องวิเคราะห์มลพิษโดยสายส่งที่เชื่อมต่อกับท่อรวมไอเสีย เครื่องวิเคราะห์มลพิษจะวิเคราะห์ปริมาณมลพิษแยกประเภทออกมาเป็น ไฮโดรคาร์บอน ออกไซด์ของไนโตรเจน โพรเพน คาร์บอนมอนอกไซด์ โดยแสดงผลออกมาในหน่วยหน่วยในล้านหน่วย (ppm) โมดูลอินฟราเรดและอิเล็กโตรเคมีเซนเซอร์ มักทำงานใน SWG 200-1 ได้ ถูกนำมาใช้วิเคราะห์ส่วนประกอบได้หลากหลาย อย่างมีประสิทธิภาพในทุกที่ที่จำเป็นต้องใช้โซลูชัน Mehrkomponenten-Analysator ภายในชุดอุปกรณ์ขนาดเล็กขนาด , อินฟราเรดแบบโมดูลที่ใช้

งานอยู่ (CO + CO₂ + CH₄) , H₂ แบบไฮโดรเจนเซนเซอร์ (TCD) และเซนเซอร์แบบ EC (H₂S + O₂) วัดได้อย่างต่อเนื่อง ปรับสภาพด้วยก๊าซไอเสียให้เสร็จสมบูรณ์ โดยใช้วิธีการในการทำงานทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความเย็นพร้อม แก๊สไฟฟ้าแก๊สอุปกรณ์ทำความเย็นด้วย คอนเดนเสทให้ สะเด็ดน้ำมันปั๊มอัตโนมัติที่มี คุณภาพสูงพร้อมระบบการกรองก๊าซตัวอย่างสำหรับการ แยกน้ำ , น้ำมันดินและสิ่งสกปรกด้วย การตรวจสอบการไหลตัวอย่างและการเตือนภัยให้ กับการปรับแต่งการ ตั้งค่าเป็นศูนย์อัตโนมัติจะถูก processorcontrolled และการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับ RS 485 สำหรับการสื่อสารข้อมูล และเอาต์พุตแบบอะนาล็อก 8 ช่อง 4 ... 20 mA

4.11 โปรแกรม Labview สำหรับควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับ

โปรแกรม Labview คือโปรแกรมที่ใช้สำหรับควบคุมซึ่งในที่นี้ถูกใช้ในการเขียนวงจรเพื่อ ควบคุมมอเตอร์เพื่อควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับ โดยรับค่าความเข้มข้นออกซิเจนมาจากอุปกรณ์ วัดความเข้มข้นของออกซิเจนในตำแหน่งต่างๆมาคำนวณ เพื่อให้ได้อัตราส่วนไอเสียวนกลับในไอดีที่ ต้องการแล้วสั่งการไปยังมอเตอร์ควบคุมเพื่อให้ความเข้มข้นของ ออกซิเจนในไอดีตรงกับอัตราส่วนไอ เสียวนกลับนั้นๆ



รูปที่ 4.8 โปรแกรม Labview สำหรับควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับ

สูตรการคำนวณอัตราส่วนไอเสียวนกลับสำหรับโปรแกรม Labview

$$\%EGR = \frac{[O_{2,amb}] - [O_{2,man}]}{[O_{2,amb}] - [O_{2,exh}]}$$

$O_{2,amb}$ คือ อัตราส่วนออกซิเจนในอากาศ (%)

$O_{2,man}$ คือ อัตราส่วนออกซิเจนในไอดี (%)

$O_{2,exh}$ คือ อัตราส่วนออกซิเจนในไอเสียวนกลับ (%)

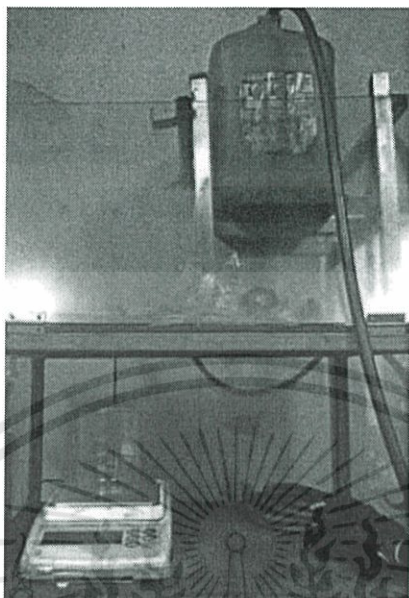
4.12 อุปกรณ์วัดปริมาณออกซิเจน



รูปที่ 4.9 แสดงอุปกรณ์วัดความเข้มข้นออกซิเจน

- (ก) อุปกรณ์วัดความเข้มข้นออกซิเจนแบบอ่านค่าได้โดยตรง ถูกติดตั้งไว้บริเวณท่อร่วมไอเสีย เพื่อวัดค่าอัตราส่วนสมมูลจากไอเสียเพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงเพื่อให้อัตราส่วนสมมูล = 1
- (ข) อุปกรณ์วัดความเข้มข้นออกซิเจนแบบอ่านค่าได้และส่งค่าได้ ซึ่งทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ และมอเตอร์ควบคุมไอเสียวนกลับสำหรับควบคุมอัตราส่วนไอเสียวนกลับ

4.13 ตราซิ่ง



รูปที่ 4.8 แสดงตราซิ่ง

ใช้ทำงานร่วมกับไดนาโมมิเตอร์เพื่อวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

4.14 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

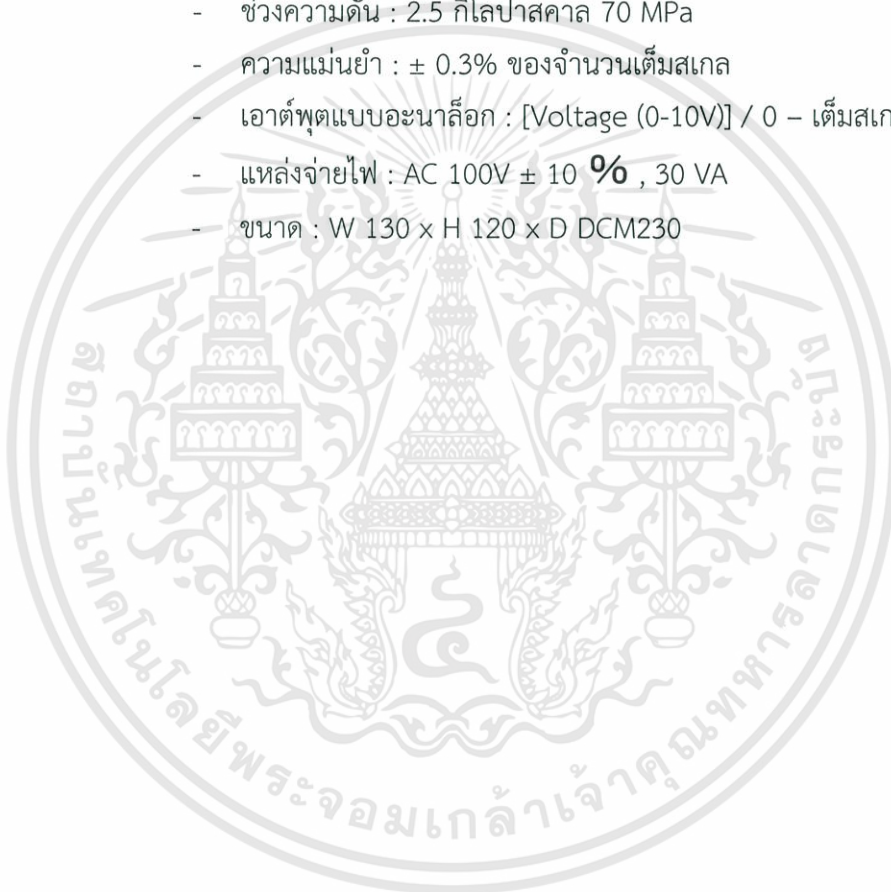


รูปที่ 4.9 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอากาศ

เป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศในหน่วยของความดัน (KPa) ถูกติดตั้งไว้บริเวณหน้าสุดของท่อดูดอากาศก่อนผสมกับไอเสียนกลับเพื่อใช้ในการสังเกตและเก็บผลปริมาณการใช้อากาศในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

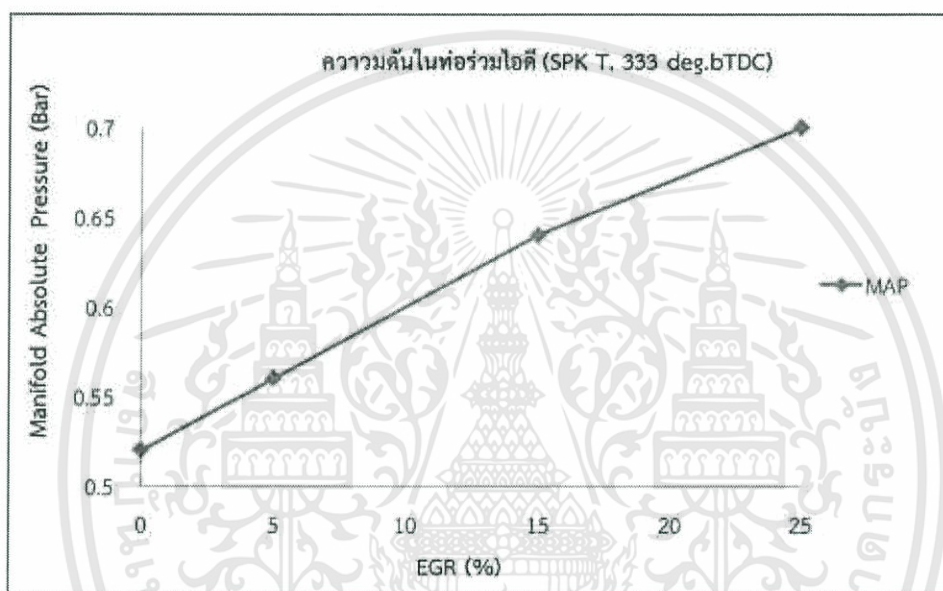
- รุ่น Sokken มิเตอร์วัดการไหลของอากาศแบบ Laminar ขนาด 20X25 LFE ทำหน้าที่ Digital manometer (PZ 77) ทางเข้าวัดอัตราการไหลของมวลอากาศ
- ช่วงความดัน : 2.5 กิโลปาสคาล 70 MPa
- ความแม่นยำ : $\pm 0.3\%$ ของจำนวนเต็มสเกล
- เอาต์พุตแบบอะนาล็อก : [Voltage (0-10V)] / 0 – เต็มสเกล
- แหล่งจ่ายไฟ : AC 100V $\pm 10\%$, 30 VA
- ขนาด : W 130 x H 120 x D DCM230



บทที่ 5

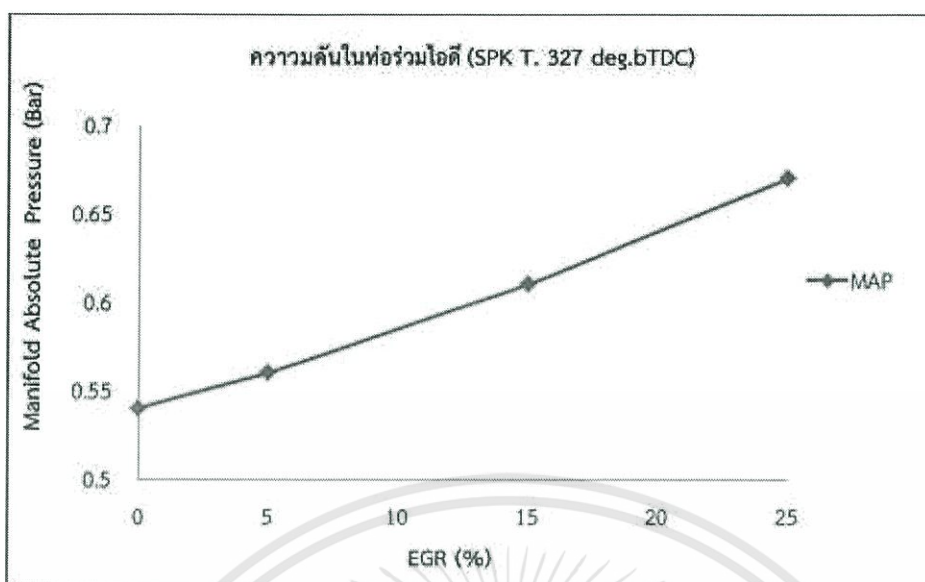
ผลการทดลอง

5.1 ผลของไอเสียวนกลับต่อความดันในไอดี



รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันของไอดีกับอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่อัตราการจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

จากรูปที่ 5.1 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับในไอดีมากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้ความดันในท่อร่วมไอดีในจังหวะดูดมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลจากการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อกว้างขึ้น ซึ่งในการทดลองของ Zhijin Zhang [1] ที่มีการวิเคราะห์ความดันภายในกระบอกสูบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเผาไหม้ (Combustion Analyser) พบว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับไปพร้อมๆ กับเปิดลิ้นปีกผีเสื้อเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ความดันในไอดีในจังหวะดูดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็นผลทำให้งานในการบีบอัดลดลง เพราะฉะนั้นผลของการวิจัยที่ผ่านมานี้จึงสามารถใช้วิเคราะห์ได้ว่าเมื่อความดันในท่อร่วมไอดีเพิ่มขึ้น งานในการบีบอัดก็สามารถลดลงได้

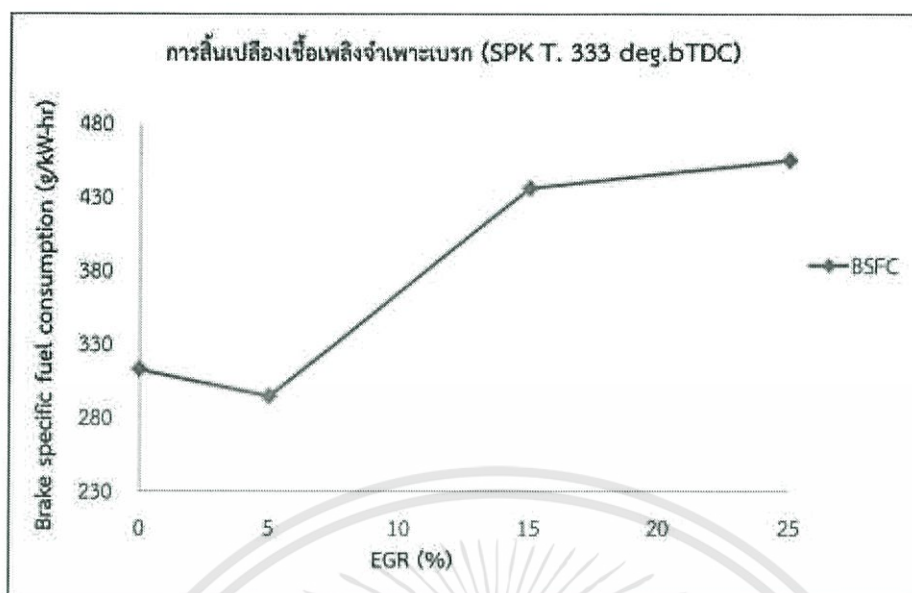


รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันของไอดีกับอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่ห้องศากการจุดระเบิด 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

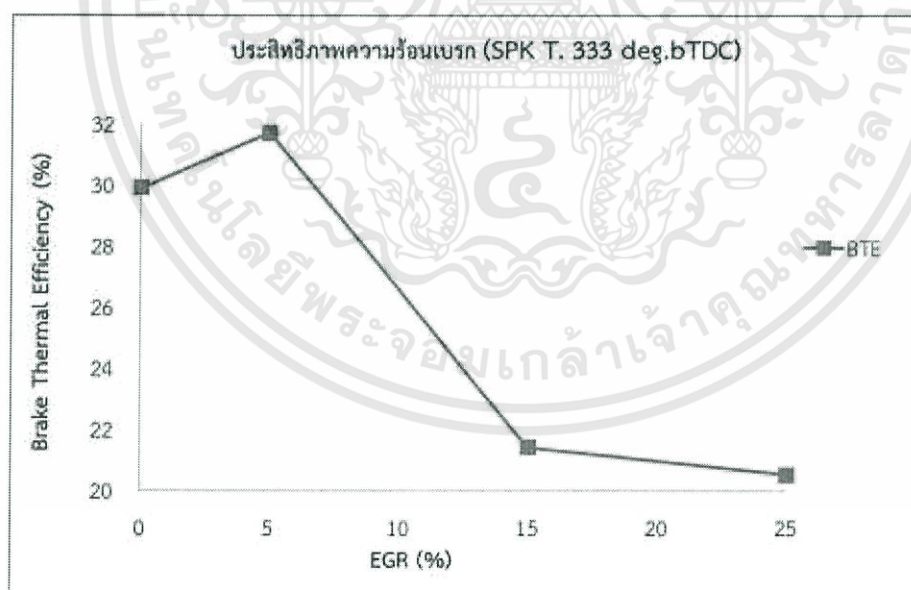
จากรูปที่ 5.2 เป็นผลการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงองศาการจุดระเบิดเป็น 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบนหรือก็คือมีการจุดระเบิดก่อนศูนย์ตายบนมากขึ้น ซึ่งให้ผลการทดลองมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของความดันในท่อร่วมไอดีเดียวกันกับที่ห้องศากการจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน คือมีความดันในท่อร่วมไอดีที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่เพิ่มมากขึ้น แต่ในแต่ละระดับของไอเสียวนกลับจะมีการเพิ่มขึ้นของความดันในท่อไอดีต่างกันตาม ระดับของการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อและความดันของไอเสียที่วนกลับมา ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ในขณะนั้น

5.2 ผลของไอเสียวนกลับต่อประสิทธิภาพความร้อนเบรก การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอน

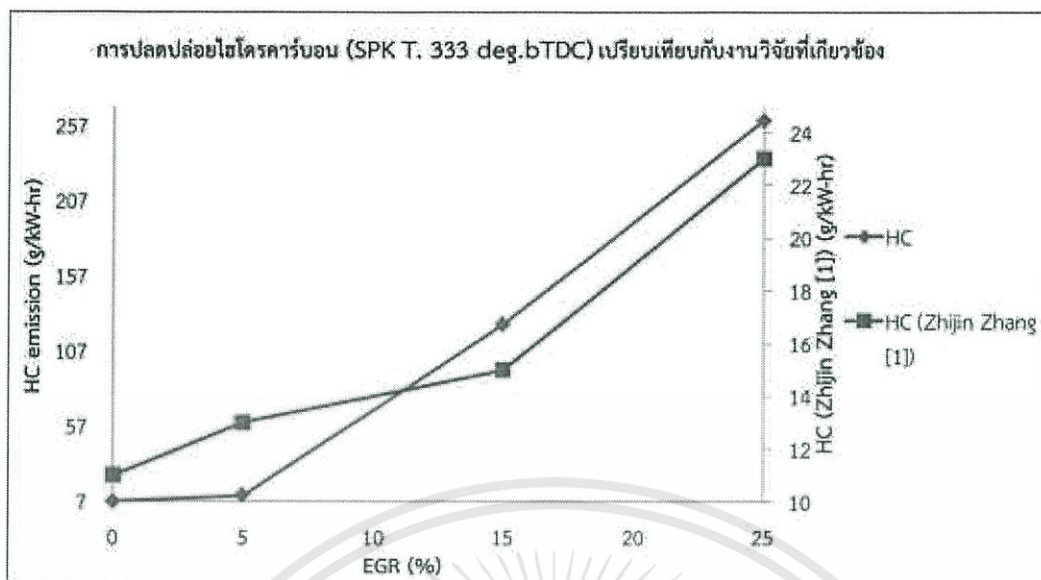
จากผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อประสิทธิภาพจำเพาะเบรกที่ห้องศากการจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน จึงไม่ได้มีการปรับเปลี่ยนองศาการฉีดเชื้อเพลิงและองศาการจุดระเบิดจากเดิม จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนไอเสียวนกลับ 5% สามารถลดงานในการบีบไอดีได้จากการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อเพิ่มขึ้น [1] ทำให้ความดันในท่อร่วมไอดีเพิ่มขึ้นจาก 0.52 เป็น 0.56 บาร์ ซึ่งก็คือลดงานที่เสียไปในแต่ละวัฏจักรได้ อีกทั้งที่อัตราส่วนไอเสียวนกลับ 5% ไอเสียวนกลับไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้มากนัก สังเกตได้จากรอบเครื่องยนต์ที่สูงขึ้นเมื่อเปิดลิ้น



รูปที่ 5.3 แสดงผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและประสิทธิภาพความร้อนเบรกที่องศาการจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ปีกผีเสื้อเพิ่มขึ้นขณะเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับไปที่ 5% ทำให้ต้องปรับการจ่ายเชื้อเพลิงให้น้อยลงกว่าเดิมได้เพื่อรักษาความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้เท่าเดิม และควบคุมเงื่อนไขในการทดลองให้คงเดิม



รูปที่ 5.4 แสดงผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและประสิทธิภาพความร้อนเบรกที่องศาการจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

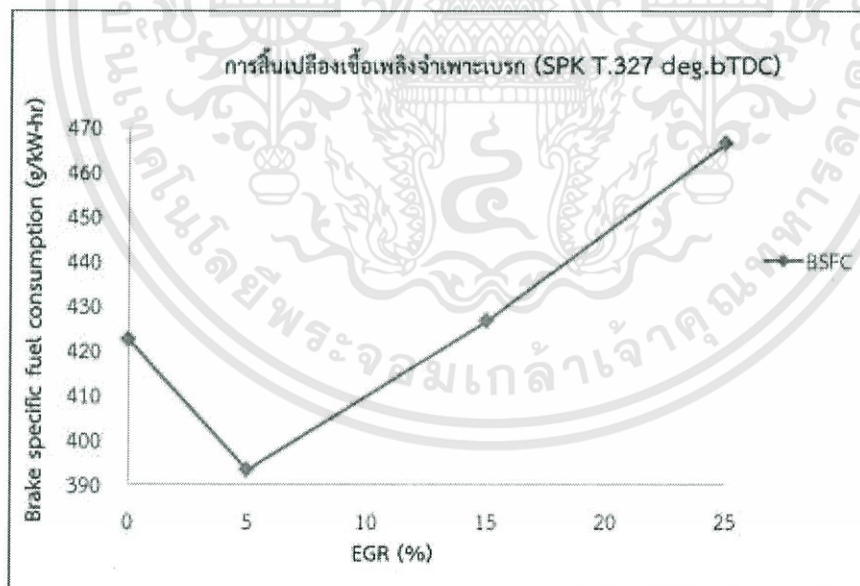


รูปที่ 5.5 แสดงผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีต่อการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนของศากการจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

เมื่อเครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงน้อยลงแต่เครื่องยนต์สามารถทำงานที่ภาระโหลดเท่าเดิมทำให้ประสิทธิภาพความร้อนจำเพาะเบรกเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนไอเสียวนกลับ 5% เป็นผลทำให้การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกลดลงและมีการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพราะไอเสียวนกลับปริมาณเพียงเล็กน้อยไม่ทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนภายในห้องเผาไหม้เปลี่ยนแปลงมากนัก จึงส่งผลกระทบต่อการเผาไหม้ไม่มาก หลังจากนั้นที่อัตราส่วนไอเสียวนกลับ 15% ค่าประสิทธิภาพความร้อนจำเพาะเบรกลดลงมาก ซึ่งเกิดจากเชื้อเพลิงไม่เผาไหม้หรือเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งมีสาเหตุมาจากหลายประการ สาเหตุหนึ่งเกิดจากผลของเอทานอลในเชื้อเพลิง E20 ที่มีค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยสูงกว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน [11] ซึ่งดูดซับความร้อนภายในห้องเผาไหม้และผนังห้องเผาไหม้ [14] ซึ่งส่งผลเสริมกับไอเสียวนกลับมีคุณสมบัติคือ มีค่าความจุความร้อนสูง สามารถดูดซับความร้อนได้ดี จึงเป็นไปได้ว่าปริมาณไอเสียวนกลับปริมาณมากดูดซับความร้อนจากการเผาไหม้ให้สะสมภายในห้องเผาไหม้ลดลง ทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้และบริเวณผนังกระบอกสูบลดลง [3] ซึ่งทำให้เชื้อเพลิงระเหยและคลุกเคล้าไม่เหมาะสม อาจส่งผลให้เชื้อเพลิงบางส่วนบริเวณโดยรอบห้องเผาไหม้และผนังกระบอกสูบไม่เกิดการเผาไหม้อีกทั้งไอเสียวนกลับปริมาณมากมีผลกระทบคือทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนน้อยเกินไป ทำให้โอกาสที่จะเกิดการเผาไหม้ยากขึ้น อุณหภูมิการเผาไหม้ลดลง ปฏิริยาการเผาไหม้ช้าลงและการลามไฟช้าลง [3] อีกทั้งเชื้อเพลิง E20 ซึ่งมีค่าความต้านทานในการจุดระเบิดสูง [11] จึงส่งผลเสริมกันที่จะทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่เผาไหม้ เผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรือเผาไหม้ไม่ทันในจังหวะจุดระเบิด

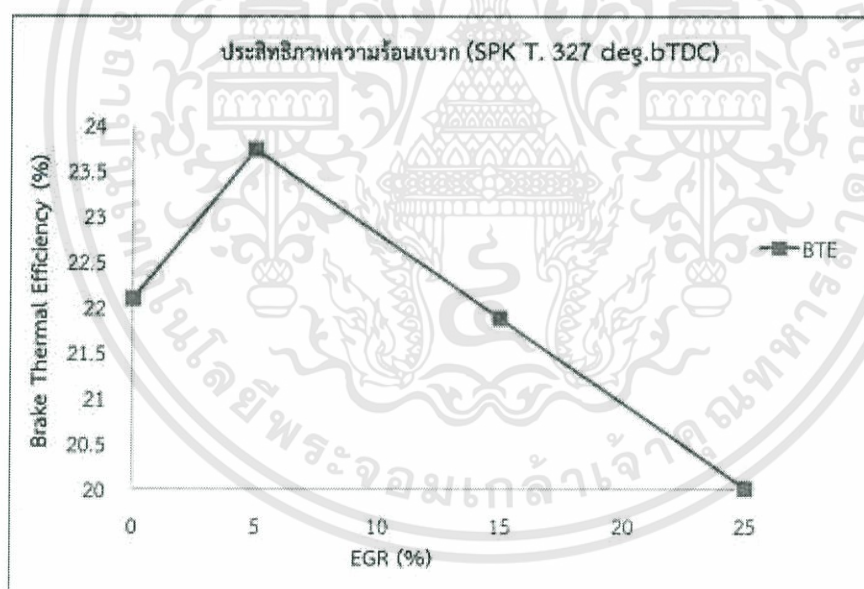
ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อการเผาไหม้สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดแบบสเตรติไฟด์คือ ความสัมพันธ์ขององศาการฉีดเชื้อเพลิงและองศาการจุดระเบิด [15] เพราะพฤติกรรมการเผาไหม้แบบสเตรติไฟด์มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งไวต่อองศาการฉีดเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนไป ซึ่งการฉีดเชื้อเพลิงแบบสเตรติไฟด์ส่วนผสมแต่ละจุดในห้องเผาไหม้มีอัตราส่วนอากาศ-เชื้อเพลิงไม่เท่ากัน ซึ่งในการทดลองไม่ได้ปรับองศาการฉีดเชื้อเพลิงและองศาการจุดระเบิดให้เหมาะสม เพราะต้องการสังเกตผลกระทบของอัตราส่วนไอเสียวนกลับต่อการเผาไหม้เพียงอย่างเดียว ซึ่งถ้าหากความสัมพันธ์ขององศาการฉีดเชื้อเพลิงและองศาการจุดระเบิดไม่ได้ทำให้เกิดการจุดระเบิดในขณะที่ส่วนผสมเหมาะสมที่สุดก็จะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลงได้ ถึงแม้ว่าที่อัตราส่วนไอเสียวนกลับ 15%

สามารถเพิ่มความดันในห้องร่วมไอได้จาก 0.56 เป็น 0.64 บาร์ หรือสามารถลดงานในการบีบไอได้ แต่ก็ไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพความร้อนเบรกได้ เนื่องจากต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นจากการที่ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ต่ำลงจากสาเหตุหลายปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น จากการที่มีปริมาณเชื้อเพลิงจำนวนมากไม่เผาไหม้และถูกคายทิ้งไปในจังหวะคายไอเสีย จึงทำให้ออกซิเจนในห้องเผาไหม้ไม่ถูกใช้ในการเผาไหม้ด้วย ซึ่งการควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงในการทดลองนั้นควบคุมตามปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ ซึ่งใช้เซ็นเซอร์วัดความหนาแน่นของออกซิเจนในห้องไอเสียแสดงผลออกมาเป็นค่าอัตราส่วนสมมูล เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจจับว่ามีออกซิเจนเหลือมากขึ้น



รูปที่ 5.6 แสดงผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและประสิทธิภาพความร้อนเบรกที่องศาการจุดระเบิด 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

อุปกรณ์ก็จะแสดงผลว่ามีค่าอัตราส่วนสมมูลมากขึ้น จึงต้องเพิ่มการฉีดน้ำมันเพิ่มขึ้นไปอีกเพื่อลดความเข้มข้นของออกซิเจนในไอเสียเพื่อรักษาตัวแปรควบคุมให้อัตราส่วนสมมูลเป็น 1 เท่าเดิม จึงทำให้เกิดเชื้อเพลิงที่ไม่ถูกเผาไหม้เป็นจำนวนมากถูกปลดปล่อยออกมาที่ท่อไอเสีย ดังที่แสดงในผลของการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนที่ปริมาณมากที่อัตราส่วนไอเสียวนกลับ 15% ในรูปที่ 5.5 ส่งผลให้ประสิทธิภาพความร้อนเบรกลดลงอย่างมากและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงขึ้นมากที่อัตราส่วนไอเสียวนกลับ 25% มีการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อเพิ่มขึ้นเพื่อรับไอเสียวนกลับปริมาณมากทำให้ความดันในท่อไอเสียสูงขึ้น ซึ่งสามารถลดงานที่เสียไปกับการบีบอัดได้มากขึ้น แต่ผลที่ได้จากการทดลองไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพความร้อนดีขึ้น เนื่องจากปริมาณไอเสียวนกลับที่มากขึ้นทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นอีก จากสาเหตุหลายประการที่ได้กล่าวไปข้างต้นทำให้เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ปริมาณมากถูกคายทิ้ง และทำให้ออกซิเจนปริมาณมากไม่ถูกใช้เพื่อเผาไหม้เช่นกัน ทำให้ความหนาแน่นของออกซิเจนในท่อไอเสียเพิ่มขึ้น จึงต้องเพิ่มการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อรักษาอัตราส่วนสมมูลให้เท่ากับ 1 ตามวิธีการทดลอง ซึ่งส่งผลต่อการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนปริมาณมากขึ้นดังที่แสดงในรูปที่ 5.5 และส่งผลให้ประสิทธิภาพความร้อนเบรกลดลง การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น



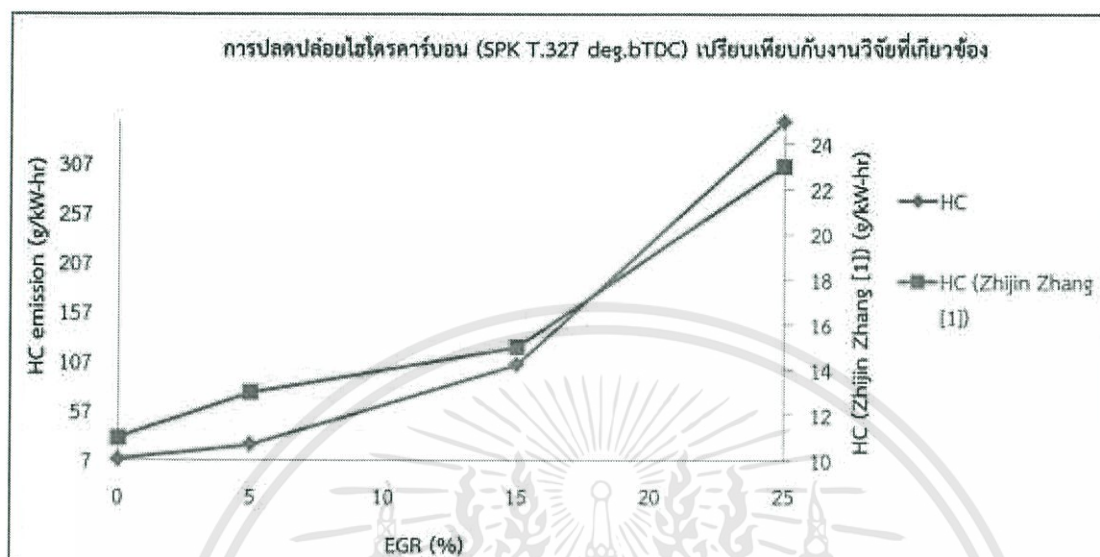
รูปที่ 5.7 แสดงผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคและประสิทธิภาพความร้อนเบรคที่ห้องศากการจุดระเบิด 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

จากผลการทดลองในรูปที่ 5.6 และ 5.7 เป็นผลการทดลองของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่ส่งผลกระทบต่อ การสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกและประสิทธิภาพความร้อนเบรกที่ห้องศากการจุดระเบิด 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบนพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่สภาวะนี้ ทำให้เกิดผลการทดลองในด้านการสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกและประสิทธิภาพความร้อนเบรกที่มีแนวโน้มเดียวกันกับสภาวะที่มีความร้อนในการระเหย ทำให้เชื้อเพลิงจึงต้องเวลาในการระเหย ดังนั้นการที่ปรับองศาการจุดระเบิดให้ไกลออกมาจากศูนย์ตายบนมากขึ้นเรื่อยๆ อาจทำให้เชื้อเพลิงไม่มีเวลาในการระเหยหรือระเหยไม่ดี ซึ่งมีผลทำให้การคลุกเคล้าไม่เพียงพอ ทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่เกิดการเผาไหม้ ส่งผลให้การสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกและประสิทธิภาพความร้อนเบรกโดยรวม ของสภาวะที่มีองศาจุดระเบิด 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบน แย่กว่าสภาวะที่มีองศาจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

ผลของไอเสียวนกลับที่สภาวะนี้ส่งผลเหมือนกันกับสภาวะที่มีองศาจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน คือมีประสิทธิภาพความร้อนเบรกและการสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกดีที่สุดที่ 5% เช่นเดิม เพราะการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับ และความดันของไอเสียวนกลับที่ใส่เพิ่มเข้ามาในไอดี ทำให้ความดันในไอดีเพิ่มขึ้นส่งผลให้งานในการบีบไอดีลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพความร้อนดีขึ้น ถึงแม้ว่าจะเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์สังเกตได้จากมลพิษไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 5.8 แต่ก็ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อ การเผาไหม้

หลังจากนั้นที่อัตราส่วนไอเสียวนกลับ 15% และ 25% สามารถเพิ่มความดันในท่อร่วมไอดีได้จาก 0.56 เป็น 0.61 บาร์ และ 0.61 และ 0.64 บาร์ หรือสามารถลดงานในการบีบไอดีได้ แต่ก็ไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพความร้อนเบรกได้ เนื่องจากต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นจากการที่ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ต่ำลงจากสาเหตุหลายปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น จากการที่มีปริมาณหลังจากนั้นที่อัตราส่วนไอเสียวนกลับ 15% และ 25% สามารถเพิ่มความดันในท่อร่วมไอดีได้จาก 0.56 เป็น 0.61 บาร์ และ 0.61 และ 0.64 บาร์ หรือสามารถลดงานในการบีบไอดีได้ แต่ก็ไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพความร้อนเบรกได้ เนื่องจากต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นจากการที่ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ต่ำลงจากสาเหตุหลายปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น จากการที่มีปริมาณเชื้อเพลิงจำนวนมากไม่เผาไหม้และถูกคายทิ้งไปในจังหวะคายไอเสีย จึงทำให้ออกซิเจนในห้องเผาไหม้ไม่ถูกใช้ในการเผาไหม้ด้วย ซึ่งการควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงในการทดลองนั้นควบคุมตามปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ ซึ่งใช้เซ็นเซอร์วัดความหนาแน่นของออกซิเจนในห้องไอเสีย แสดงผลออกมาเป็นค่าอัตราส่วนสมมูล เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจจับว่ามีออกซิเจนเหลือมากขึ้น อุปกรณ์ก็จะแสดงผลว่ามีค่าอัตราส่วนสมมูลมากขึ้น จึงต้องเพิ่มการฉีดน้ำมันเพิ่มขึ้นไปอีกเพื่อลดความเข้มข้นของออกซิเจนในไอเสียเพื่อรักษาตัวแปรควบคุมให้อัตราส่วนสมมูลเป็น 1 เท่าเดิม จึงทำให้เกิดเชื้อเพลิงที่ไม่ถูกเผาไหม้เป็นจำนวนมากถูกปลดปล่อยออกมาที่ท่อไอเสีย ดังที่แสดงในผลของการปลดปล่อย

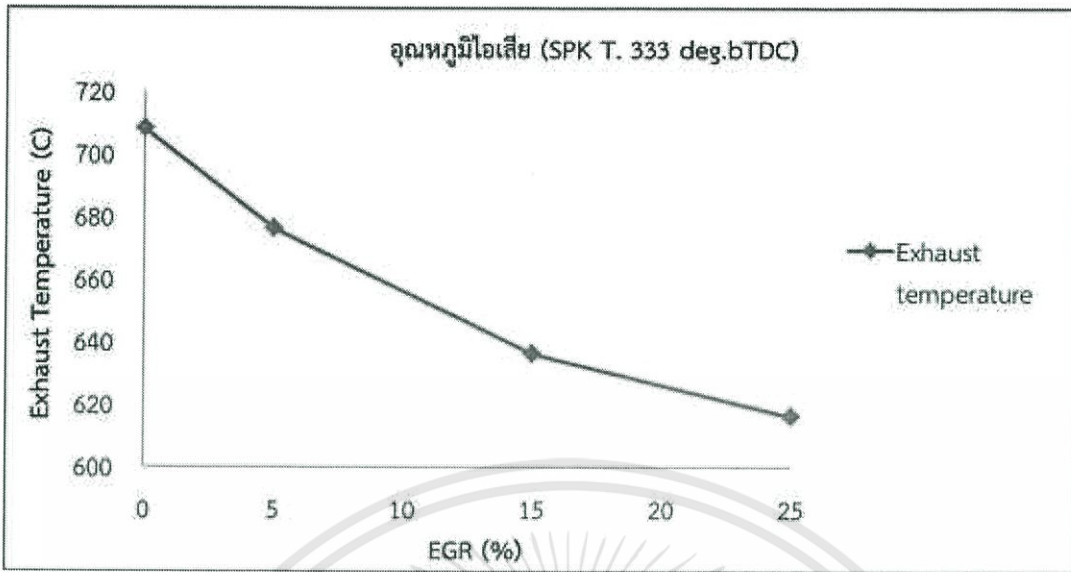
ไฮโดรคาร์บอนที่ปริมาณมากที่อัตราส่วนไอเสียวนกลับ 15% และ 25% ในรูปที่ 5.8 ส่งผลให้ประสิทธิภาพความร้อนเบรกลดลงอย่างมากและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงขึ้นมาก



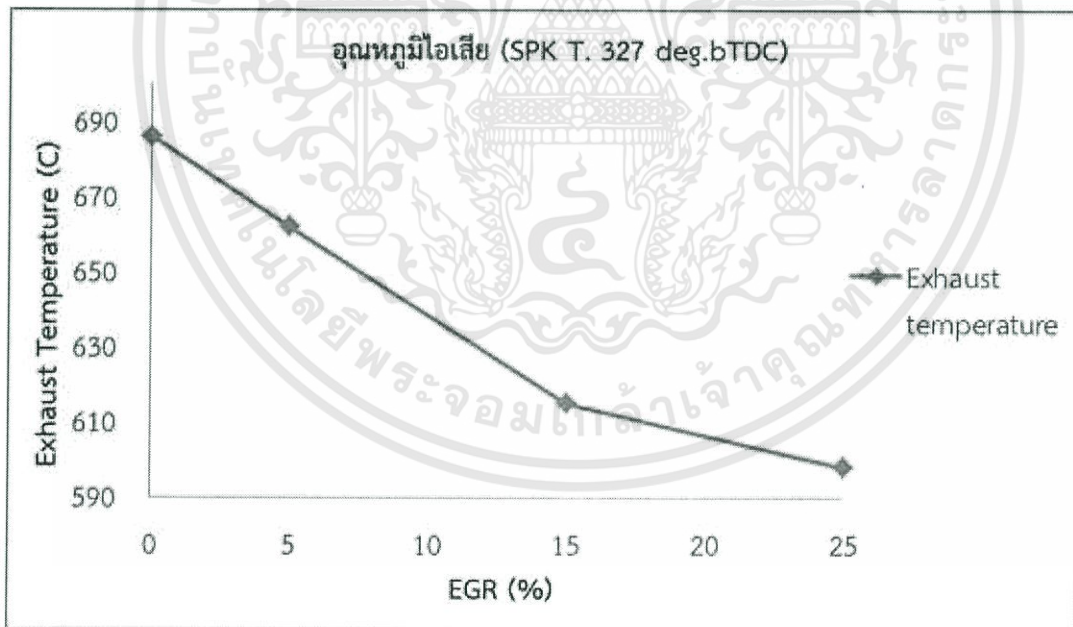
รูปที่ 5.8 แสดงผลของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีต่อการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนที่ห้องศากการจุดระเบิด 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

5.3 ผลของไอเสียวนกลับที่มีต่ออุณหภูมิไอเสีย

จากรูปที่ 5.9 เป็นผลการทดลองเพื่อศึกษาผลของไอเสียวนกลับที่ห้องศากการจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน พบว่าอุณหภูมิไอเสียลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Jose Manuel Lujan [6] ซึ่งไอเสียวนกลับซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายแก๊สเฉื่อยคือไม่เกิดปฏิกิริยาในการเผาไหม้อีกทั้งยังแทรกตัวระหว่างออกซิเจนและเชื้อเพลิงซึ่งห่วงวงปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้มีความรุนแรงลดลงและช้าลง ทำให้ความดันจึงลดลงตามปริมาณไอเสียวนกลับ อีกทั้งไอเสียวนกลับมีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูง จึงทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ลดลงไปด้วย สาเหตุหนึ่งเกิดจากผลของเอทานอลในเชื้อเพลิง E20 ที่มีค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยสูงกว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน [11] ซึ่งดูดซับความร้อนภายในห้องเผาไหม้และผนังห้องเผาไหม้ [14] ซึ่งส่งผลเสริมกับไอเสียวนกลับมีคุณสมบัติคือ มีค่าความจุความร้อนสูง สามารถดูดซับความร้อนได้ดี จึงเป็นไปได้ว่าปริมาณไอเสียวนกลับปริมาณมากดูดซับความร้อนจากการเผาไหม้ให้สสมภายในห้องเผาไหม้ลดลง ทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้และบริเวณผนังกระบอกสูบลดลง [3] ซึ่งทำให้เชื้อเพลิง



รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสีย (องศาเซลเซียส) กับอัตราส่วนไอเสียวนกลับ ที่ห้องศากการจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน



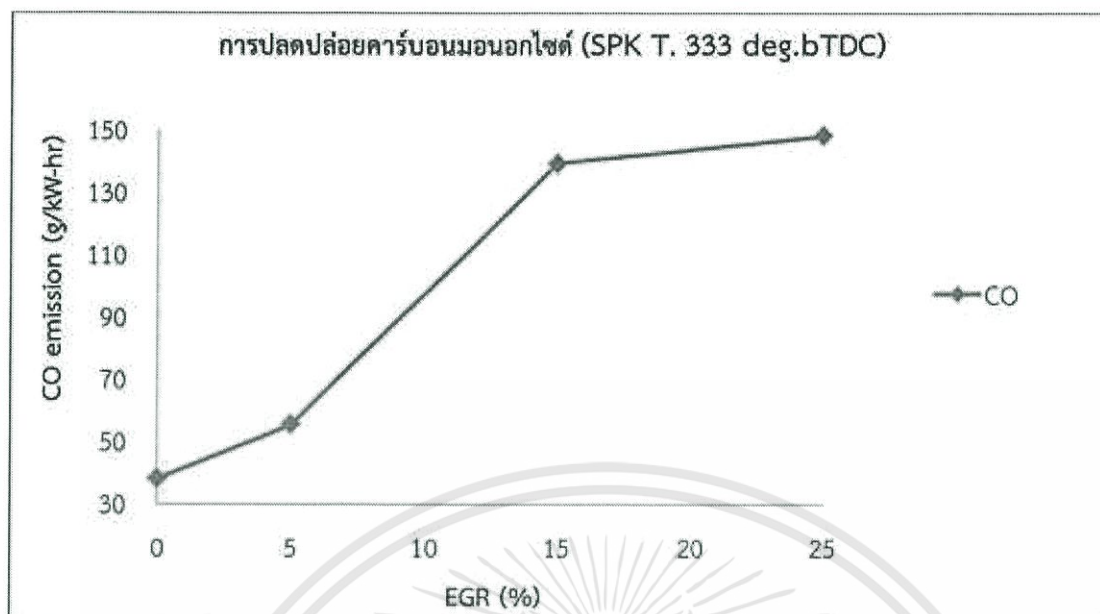
รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิไอเสีย (องศาเซลเซียส) กับอัตราส่วนไอเสียวนกลับ ที่ห้องศากการจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

ระเหยและคลุกเคล้าไม่เหมาะสม อาจส่งผลให้เชื้อเพลิงบางส่วนบริเวณโดยรอบห้องเผาไหม้ และผนัง กระจกบอกลูกสูบไม่เกิดการเผาไหม้อีกทั้งไอเสียวนกลับปริมาณมากมีผลกระทบคือทำให้ความเข้มข้นของ ออกซิเจนน้อยเกินไป ทำให้โอกาสที่จะเกิดการเผาไหม้ยากขึ้น อุณหภูมิการเผาไหม้ลดลงแต่เนื่องจาก ผลการทดลองได้จากการวัดอุณหภูมิไอเสียบริเวณท่อร่วมไอเสียซึ่งมีระยะห่างจากห้องเผาไหม้ จึงทำ ให้อุณหภูมิที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิไอเสียค่าจริงที่ได้จากห้องเผาไหม้

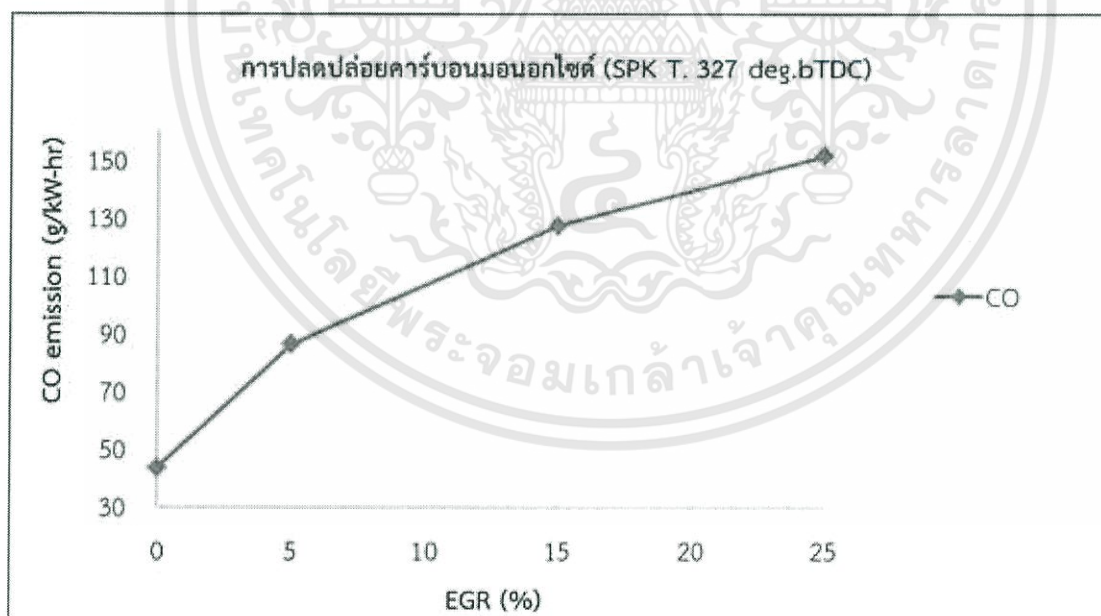
จากรูปที่ 5.10 แสดงผลของการทดลองเพื่อศึกษาผลของไอเสียวนกลับที่ห้องสภาวะจุดระเบิด 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบน พบว่าอุณหภูมิไอเสียลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับ ซึ่งมีแนวโน้มของผลการทดลองเหมือนกับห้องสภาวะจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน แต่อุณหภูมิ โดยรวมทั้งหมดจะต่ำกว่าที่ห้องสภาวะจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน นั้นมีสาเหตุมาจากการปรับ ห้องสภาวะจุดระเบิดให้ไกลจากศูนย์ตายบนมากยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสามารถในการเผาไหม้ ที่ห้องสภาวะจุดระเบิด 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบนพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่สภาวะนี้ ทำให้เชื้อเพลิงจึงต้องเวลาในการระเหย ดังนั้นการที่ปรับห้องสภาวะจุดระเบิดให้ไกลออกมาจากศูนย์ ตายบนมากขึ้นเรื่อยๆ อาจทำให้เชื้อเพลิงไม่มีเวลาในการระเหยหรือระเหยไม่ดีซึ่งมีผลทำให้การ คลุกเคล้าไม่เพียงพอ ทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่เกิดการเผาไหม้ ความรุนแรงในการจุดระเบิดลดลง อุณหภูมิและความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้ลดลง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิไอเสียของสภาวะที่มี องศาจุดระเบิด 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ต่ำกว่าสภาวะที่มีห้องสภาวะจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตาย บน

5.4 ผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น เกิดจากไอเสียวนกลับขัดขวางการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงและ ออกซิเจน และเมื่อไม่มีออกซิเจนเพียงพอในการทำปฏิกิริยากับคาร์บอนให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ เชื้อเพลิงบางส่วนจึงไม่ถูกเผาไหม้ และทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ ทำให้ผลการ ทดลองที่ได้มีแนวโน้มที่จะเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนไอเสียวนกลับ ซึ่งปริมาณการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์นั้น จะเกิดขึ้นมากขึ้นขึ้นอยู่กับเวลาที่เชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่ สมบูรณ์ ดังแสดงในผลการทดลองจากรูปที่ 5.11 และ 5.12

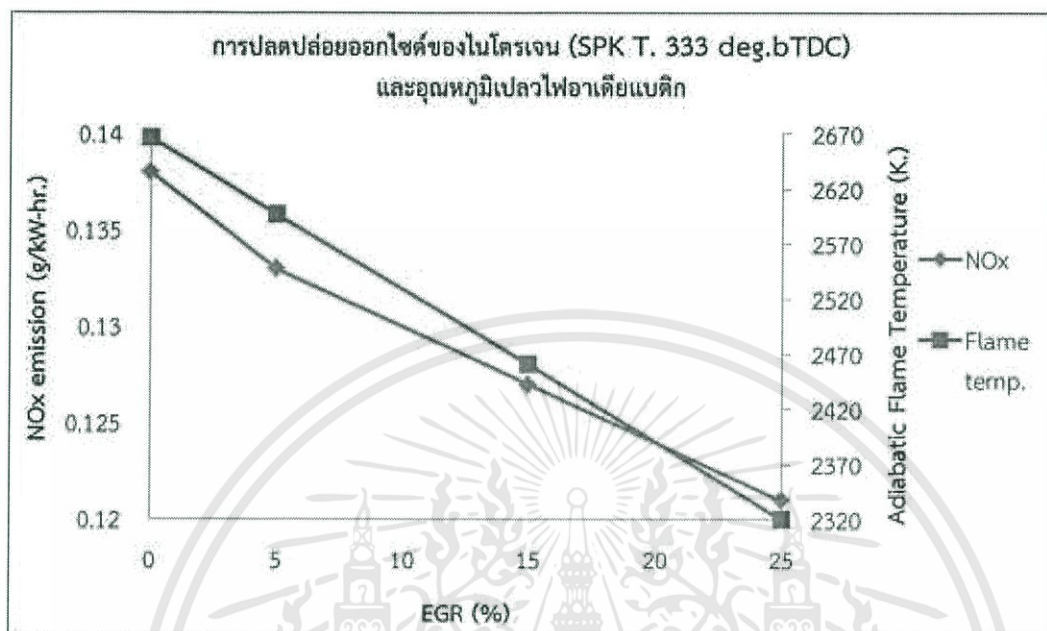


รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อกำลังจำเพาะเบรกกับอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่องศาการจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน



รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อกำลังจำเพาะเบรกกับอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่องศาการจุดระเบิด 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

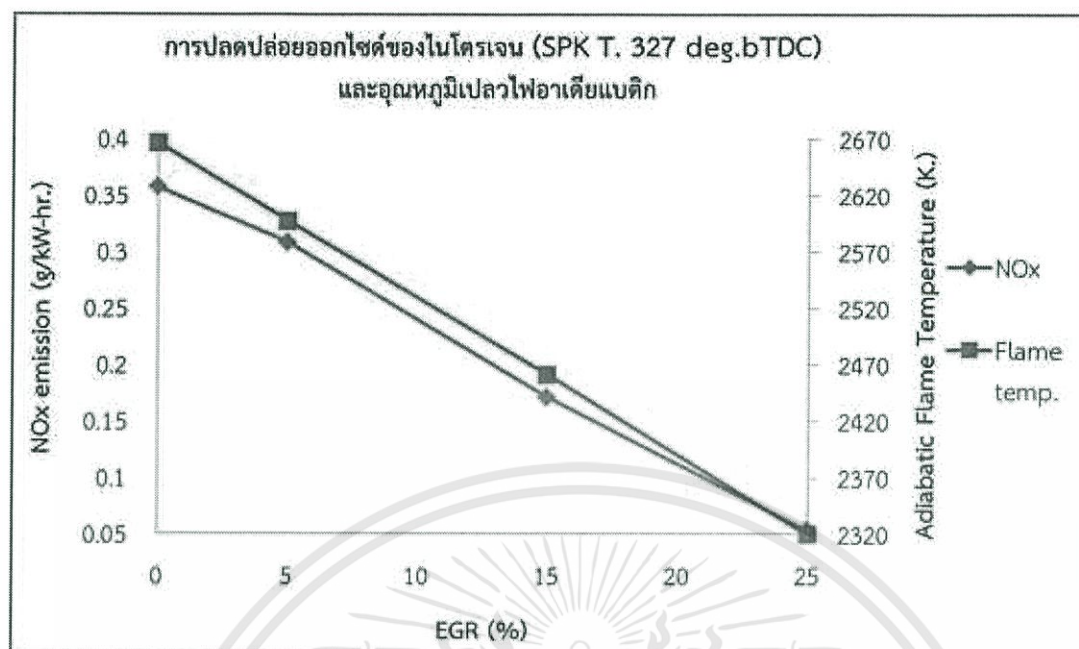
5.5 ผลของไอเสียวนกลับที่มีต่อการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน



รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนต่อกำลังจำเพาะเบรกกับ อัตราส่วนไอเสียวนกลับที่ห้องศากการจุดระเบิด 333 องศาอนศูนย์ตายบน

จากรูปที่ 5.13 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของการเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีผลต่อการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนที่ห้องศากการจุดระเบิด 333 องศาอนศูนย์ตายบน พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับทำให้การปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับการทดลองของ Zhijin Zhang [1] พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับลดความหนาแน่นของออกซิเจนทำให้ออกาสที่จะเกิดการเผาไหม้ลดลง ดังนั้นอุณหภูมิจากการเผาไหม้จึงลดลง ส่งผลให้ปฏิกิริยาการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง

จากรูปที่ 5.14 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของการเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มีผลต่อการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนที่ห้องศากการจุดระเบิด 327 องศาอนศูนย์ตายบน จากผลของไอเสียวนกลับพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับทำให้การปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนลดลงซึ่งมีแนวโน้มเดียวกันกับการทดลองที่ห้องศากการจุดระเบิด 333 องศาอนศูนย์ตายบนในรูปที่ 5.13 แต่มีข้อแตกต่างคือปริมาณการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนในอัตราส่วนไอเสียวนกลับระดับต่ำจนถึงไม่มีไอเสียวนกลับที่ห้องศากการจุดระเบิด 327 องศาอนศูนย์ตายบน มีการปลดปล่อยออกไซด์ของ



รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ของการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนต่อกำลังจำเพาะเบรกกับอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่ห้องศากจตุระเบิด 327 องศาอนศูนย์ตายบน

ไนโตรเจนมากกว่าเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มากกว่าที่ห้องศากจตุระเบิด 333 องศาอนศูนย์ตายบน สังเกตจากประสิทธิภาพความร้อนที่ลดลง จึงทำให้มีปริมาณออกซิเจนหลงเหลือมากขึ้น อีกทั้งอุณหภูมิการเผาไหม้ยังใกล้เคียงกับที่ห้องศากจตุระเบิด 333 องศาอนศูนย์ตายบน ซึ่งสังเกตได้จากอุณหภูมิไอเสียที่ ใกล้เคียงกัน แต่ที่อัตราส่วนไอเสียวนกลับ 25% ที่ห้องศากจตุระเบิด 327 องศาอนศูนย์ตายบน ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มาก ทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ลดลงมาก ส่งผลต่อการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนที่ลดลง

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 วิจารณ์และสรุปผล

6.1.1 สรุปผลการทดลองด้านการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

6.1.1.1 การเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับสามารถลดงานในการบีบไอดีได้และที่องศาการจุดระเบิด 333 และ 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบนสามารถก่อให้เกิดการลดงานในการบีบไอดีที่มีค่าใกล้เคียงกัน

6.1.1.2 อัตราส่วนไอเสียวนกลับและองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนเบรกได้เป็นผลทำให้การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลง และอัตราส่วนไอเสียวนกลับที่มากเกินไปและองศาการจุดระเบิดที่ไม่เหมาะสมทำให้ประสิทธิภาพความร้อนเบรกแย่งจากเดิมได้ ซึ่งเป็นผลทำให้การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากขึ้น

6.1.1.3 การเปลี่ยนแปลงขององศาการจุดระเบิดมีผลต่อความสามารถในการเผาไหม้ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพความร้อนเบรกและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ซึ่งสภาวะที่ทำการทดลององศาการจุดระเบิด 333 องศา ก่อนศูนย์ตายบน มีประสิทธิภาพความร้อนดีกว่าที่องศาการจุดระเบิด 327 องศา ก่อนศูนย์ตายบน

6.1.2 สรุปผลการทดลองด้านการปลดปล่อยไอเสีย

6.1.2.1 ระบบไอเสียวนกลับสามารถลดอุณหภูมิไอเสียได้ ซึ่งหมายถึงอุณหภูมิในการเผาไหม้ลดลง ส่งผลให้การปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง

6.1.2.2 การเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับทำให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสียมีเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเชื้อเพลิงบางส่วนไม่เกิดการเผาไหม้

6.1.2.3 การเพิ่มอัตราส่วนไอเสียวนกลับทำให้การปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากไอเสียวนกลับทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

6.1.2.4 การเปลี่ยนแปลงองศาการจุดระเบิดส่งผลต่อความสามารถในการเผาไหม้ ซึ่งก่อให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ขึ้นได้ เป็นผลทำให้ที่สภาวะที่ทำการทดลองที่องศาการจุดระเบิด 327

องศาก่อนศูนย์ตายบน ก่อให้เกิดการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนมากกว่าที่องศาการจุดระเบิด 333 องศาก่อนศูนย์ตายบน

จุดที่อัตราส่วนไอเสียวนกลับเหมาะสมที่สุดที่สภาวะที่ทำการทดลองคือ 5% และที่องศาการจุดระเบิด 333 องศาก่อนศูนย์ตายบน เพราะเป็นจุดที่มีการเผาไหม้ดีและมีประสิทธิภาพความร้อนเบรคสูง ซึ่งส่งผลให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยที่สุด และปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนลดลงจากความสามารถของไอเสียวนกลับที่สามารถลดอุณหภูมิในการเผาไหม้ได้ ถึงแม้ว่าจะมีการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนมอนอกไซด์ แต่ก็สามารถใช้ three way catalytic converter (TWC) กำจัดได้ [5]

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 การควบคุมอัตราส่วนสมมูลโดยใช้อุปกรณ์วัดอัตราส่วนออกซิเจนวัดปริมาณออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ในท่อไอเสียเพียงอย่างเดียวอาจไม่เหมาะสมกับการทดลองในลักษณะนี้ เพราะการใช้ไอเสียวนกลับทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ซึ่งทำให้ออกซิเจนเหลือจากการเผาไหม้เป็นจำนวนมาก ทำให้อัตราส่วนสมมูลที่อุปกรณ์วัดความเข้มข้นออกซิเจนวัดได้ไม่ใกล้เคียงค่าความจริง เป็นผลให้ผลการทดลองในด้านประสิทธิภาพความร้อน การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และการปลดปล่อยไฮโดรคาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงมาก

6.2.2 การศึกษาในหัวข้อการวิจัยนี้มีความเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการเผาไหม้ จึงควรใช้อุปกรณ์วิเคราะห์การเผาไหม้ในการศึกษา เพื่อให้ได้สาเหตุของผลการทดลองที่ชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Zhijin Zhang, “Effects of tumble combined with EGR (exhaust gas recirculation) on the combustion and emissions in a spark ignition engine at part loads”.,ScienceDirect, Energy.,22 Dec 2013.
- [2] Haiqiao Wei, Tianyu Zhu, Gequn Shu , Linlin Tan, Yuesen Wang,“Gasoline engine exhaust gas recirculation” .,ScienceDirect, Energy., 10 June 2012
- [3] Thomas Lattimore , Chongming Wang, Hongming Xu , Miroslaw L. Wyszynski , Shijin Shuai,,” Investigation of EGR Effect on Combustion and PM Emissions in a DISI Engine” .,ScienceDirect, Applied Energy.,22 October 2015.
- [4] Simsoo Park,,” The effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on combustion stability, engine performance and exhaust emissions in a gasoline engine”., Journal of Mechanical Science and Technology., October 2001
- [5] Sunyoup Lee , Seunghyun Park , Changgi Kim , Young-Min Kim , Yongrae Kim ,Cheolwoong Park,,” Comparative study on EGR and lean burn strategies employed in an SI engine fueled by low calorific gas”., ScienceDirect, Applied Energy.,26 April 2014
- [6] Jose Manuel Lujan, Hector Climent*, Ricardo Novella, Manuel Eduardo Rivas-Perea , Influence of a low pressure EGR loop on a gasoline turbocharged direct injection engine ., ”.,ScienceDirect, Energy.,22 Dec 2013.

- [7] Francqueville L, Michel J. On the effects of EGR on spark-ignited gasoline combustion at high load. *SAE Int J Eng* 2014;7(4):1808–23.
- [8] Rhodes D, Keck J. Laminar burning speed measurements of indolene-air diluent mixtures at high pressures and temperatures. *SAE technical paper* 850047; 1985.
- [9] Galloni E, Fontana G, Palmaccio R. Effects of exhaust gas recycle in a downsized gasoline engine. *Appl Energy* 2013;105:99–107.
- [10] Sementa, P., Vaglieco, B.M. and Catapano, F. (2012). Thermodynamic and optical characterizations of a high performance GDI engine operating in homogeneous and stratified charge mixture conditions fueled with gasoline and bio-ethanol, *Fuel*, vol.96, pp. 204-219.
- [11] Thummarat T., Chonchada T., Umaporn W. and Pakasit M. (2010). Thailand Fuel Performance and Emissions in Flex Fuel Vehicles, *SAE Technical Paper* 2010-01-2132.
- [14] Gurumoorthy S. Hebbar, Anantha Krishna Bhat., “Diesel Emission Control by Hot EGR and Ethanol Fumigation; an Experimental Investigation”., *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), Energy*.,4 July 2012.
- [15] Z. Huang., “Effect of Fuel Injection Timing Relative to Ignition Timing on the Natural-Gas Direct-Injection Combustion”., *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*., July 2003.
- [16] Willard W. Pulkrabek. (2004). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*: Pearson Prentice Hall.

- [17] Mustafa Bahattin Çelik and Bulent Ozdalyan (2010). Gasoline Direct Injection, Fuel Injection, Daniela Siano (Ed.), ISBN: 978-953-307-116-9, InTech
- [18] เฮย์วูด, จอห์น บี (ผู้เขียน). วีรศักดิ์ ทรัพย์วิเชียร (ผู้แปล). เครื่องยนต์สันดาปภายใน ทฤษฎีและการคำนวณ. กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์, 2544
- [19] Abd-Alla GH. Using exhaust gas recirculation in internal combustion engines: a review. *Energy Convers Manage* 2002;43:1027–42.
- [20] Sarikoc Fatih, Kettner Maurice, Velji Amin, Spicher Ulrich. Potential of reducing the NOX emission in a spray guided DI gasoline engine by stratified exhaust gas recirculation (EGR). SAE paper 2006-01-1261; 2006.
- [21] Fontana G, Galloni E. Variable valve timing for fuel economy improvement in a small spark-ignition engine. *Appl Energy* 2009;86:96–105.
- [22] Bai Yun-long, Wang/ Zhi, Wang Jian-xin. Part-load characteristics of direct injection spark ignition engine using exhaust gas trap. *Appl Energy* 2010;87:2640–6.
- [23] Ladommatos N, Abdelhalim SM, Zhao H, Hu Z. The dilution, chemical and thermal effects of exhaust gas recirculation on diesel engine emission-part 4:effect of carbon dioxide and water vapour. SAE paper 971660; 1997.
- [24] Agarwal Deepak, Singh Shrawan Kumar, Agarwal Avinash Kumar. Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on performance, emission, deposits and durability of a constant speed compression ignition engine. *Appl Energy* 2011;88:2900–7.
- [25] Vianna JN de S, Reis A do V, Oliveira AB de S. Reduction of pollutants emission on SI engines – accomplishments with efficiency increase. ABCM; 2005.
- [26] Benson RS, Whitehouse ND. Internal combustion engines. Oxford: Pergamon; 1979.
- [27] Lavoie GA, Heywood JB, Keck JC. Experimental and theoretical study of nitric oxide formation in internal combustion engines. *Combust Sci Technol*1970;1:313–26.
- [28] Heywood JB. Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw-Hill; 1998.
- [29] Lake T. Simulation and development experience of a stratified charge gasoline direct injection engine. SAE paper 962014; 1996.
- [30] Sasaki S. Effects of EGR on direct injection gasoline combustion. *J Am Soc Echocardiogr* 1997;971:333–6.
- [31] Huang Bin, Hu Erjiang, Huang/ Zuohua, Zheng Jianjun, Liu Bing, Jiang Deming. Cycle-by-cycle variations in a spark ignition engine fueled with natural gas–hydrogen blends combined with EGR. *Int J Hydrogen Energy*

2009;34:8405–14.

- [32] Xu Min, Chen Grant, Daniels Chao, Dong Mike. Numerical Study on Swirl-Type High-Dilution Stratified EGR Combustion System. SAE paper 2000-01-1949; 2000.
- [33] Dong Mike, Chen Grant, Xu Min, Daniels Chao. A preliminary CFD investigation of in-cylinder stratified EGR for spark ignition engines. SAE paper 2002-01-1734; 2002.
- [34] Jackson NS. Understanding the CVCVS stratified EGR combustion system, SAE Paper 960837; 1996.
- [35] Blank Helmut, Dismon Heinrich, Kochs Michael W, Sanders Michael. EGR and Air Management for Direct Injection Gasoline Engines. SAE paper 2002-01-0707; 2002.

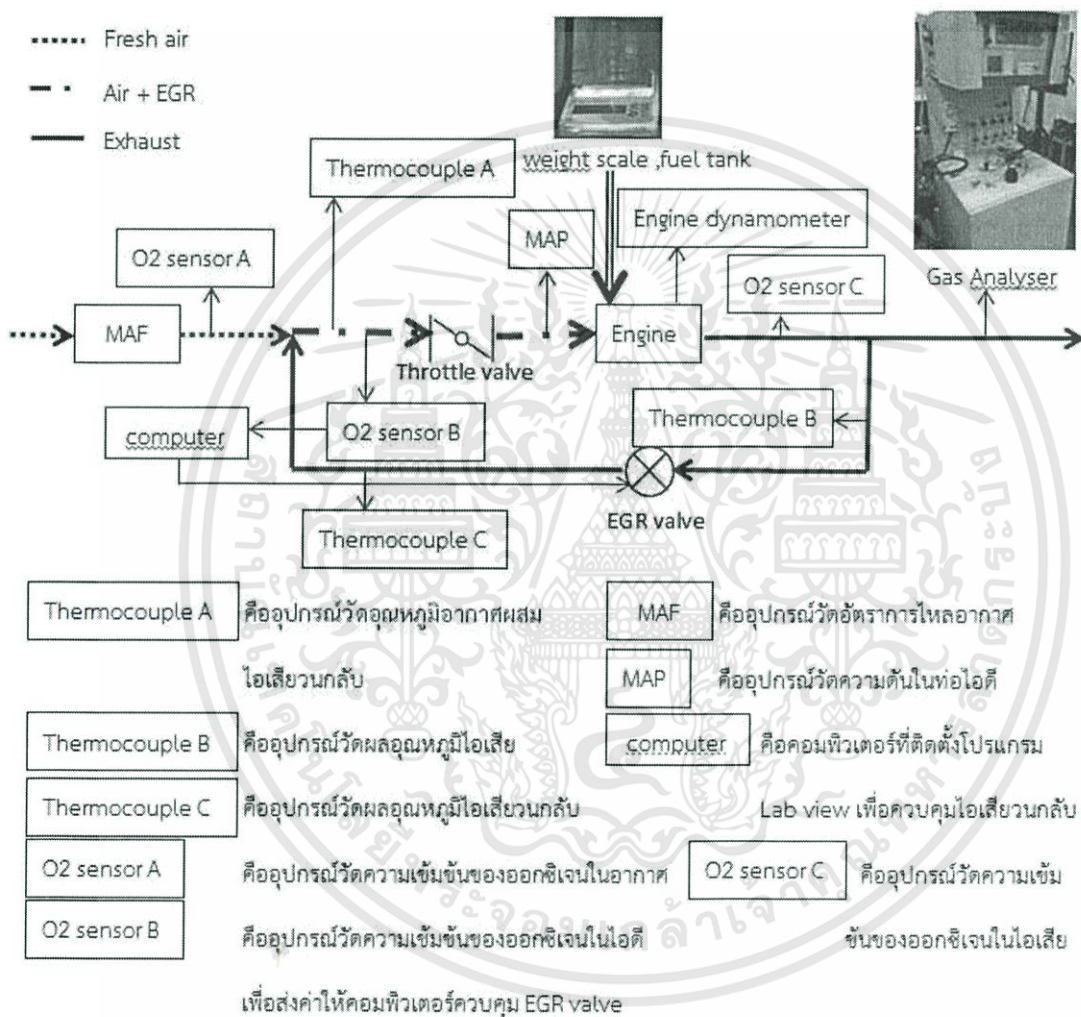




ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง



ภาคผนวก ข.

รูปการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

