PRO-MEC
259
2543
ก.2

# การวิเคราะห์ไอเสียจากเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องทดสอบ

# EXHAUST ANALYSIS FROM ENGINE BY TESTER

นายนันทวุฒิ ญาติบำเรอ
นายปรินทร์ วิเศษเขตรการณ์
นายสมชัย เล็กวิลัย

ศิริ ส.ค. 2544

โครงงานวิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2543

| | |
|---|---|
| หัวข้อโครงการวิศวกรรมศาสตร์ | การวิเคราะห์ไอเสียจากการเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องทดสอบ |
| โดย | นายนันทวุฒิ ญาติบำเรอ |
| | นายปรินทร์ วิเศษเขตรการณ์ |
| | นายสมชัย เล็กวิลัย |
| ภาควิชา | วิศวกรรมเครื่องกล |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์บัญชา ค้งตระกูล |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงการวิศวกรรมศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

_____คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รศ. ดร. ศักดิ์ กองสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

_____ประธานกรรมการ

(อาจารย์ บัญชา ค้งตระกูล)

_____กรรมการ

(ผศ. วิชิต บัวแก้ว)

_____กรรมการ

(อาจารย์ เกียรติชัย รักษาชาติ)

_____กรรมการ

(อาจารย์ สำรวย คะระนันท์)

**การวิเคราะห์ไอเสียจากเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องทดสอบ**

**ปีการศึกษา 2543**


โดย

นายนันทวุฒิ ญาติบำเรอ

นายปรินทร์ วิเศษเขตรการณ์

นายสมชัย เล็กวิลัย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์บัญชา ค้งตระกูล


## บทคัดย่อ


โครงงานวิศวกรรมศาสตร์ ฉบับนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ไอเสียที่เกิดจากการสันดาปของเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องทดสอบวิเคราะห์ไอเสีย เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เช่น การทดสอบระบบไฟชาร์จ ระบบสตาร์ท ระบบจุดระเบิด ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งวินิจฉัยข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นในระบบการทำงานของเครื่องยนต์

การทดสอบแต่ละหัวข้อเป็นการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้ กับ ค่าที่กำหนดตามมาตรฐานของเครื่องทดสอบเพื่อนำไปวิเคราะห์ และสรุปผลการทดสอบ รวมทั้งแนวทางแก้ไข

เพื่อให้ค่าที่วัดได้จากเครื่องทดสอบมีความถูกต้องมากที่สุด จะต้องมีการบำรุงรักษาเครื่องทดสอบตามกำหนด

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| บทที่ | |
| ผลการทดลองที่ 3.11 เรื่องปริมาณไอเสียของเครื่องยนต์เบนซินโดยใช้เครื่องทดสอบโอลิเวอร์ ( OLIVER ) | 107 |
| 5. สรุปผลการทดลอง | 109 |
| บรรณานุกรม | 110 |
| ภาคผนวก | |
| ภาคผนวก 1. แสดงภาพถ่ายของเครื่องทดสอบ | 111 |
| ภาคผนวก 2. การบำรุงรักษาเครื่องทดสอบ | 114 |
| ภาคผนวก 3. การเปรียบเทียบผลการวัดปริมาณควันดำจากเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้เครื่องทดสอบ บอสช์ ( BOSCH ) และเครื่องทดสอบเทคโนเทส ( TECHNOTEST ) | 120 |
| การเปรียบเทียบ ผลการวัดปริมาณก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์เบนซินโดยใช้เครื่องทดสอบ บอสช์ ( BOSCH ) และเครื่องทดสอบโอลิเวอร์ ( OLIVER ) | |

# EXHAUST ANALYSIS FROM ENGINE BY TESTER

Academic Year 2000

By

Mr. Nanthawut Yartbamrer

Mr. Parin Visesketgarn

Mr. Somchai Lakvilai

Project Report Advisor

Mr. Bancha Kongtragool

## ABSTRACT

The project is education analysis exhaust from the engine combustion. By use the machine tester exhaust analysis. The experimental is education effect with to combustion process. Such charger systems ignition systems electronic control unit systems and combination diagnosis troubles in the engine systems.

The experimental is measurement value equivalent with standard value by machine tester use for guideline analysis and the result combine solution problems. The measurement value from the machine tester has been accuracy very much .The machine tester have should maintenance.

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือจากท่าน อาจารย์บัญชา ค้งตระกูล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และคณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ รวมทั้งขอขอบคุณ วิทยากรพิเศษ คุณปรีชา บุญฉัตร จาก บริษัทบอสช์ จำกัด ซึ่งช่วยให้คำแนะนำ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำโครงงานวิศวกรรมศาสตร์ ในครั้งนี้

ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ค |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ง |
| กิตติกรรมประกาศ | จ |
| สารบัญ | ฉ |
| สารบัญตาราง | ฌ |
| สารรูปภาพ | ญ |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ | ฐ |
| **บทที่** | |
| 1. บทนำ | |
| ความเป็นมาของโครงงานวิศวกรรมศาสตร์ | 1 |
| วัตถุประสงค์ของโครงงานวิศวกรรมศาสตร์ | 1 |
| ขอบเขตของของโครงงานวิศวกรรมศาสตร์ | 1 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 2. ทฤษฎี | |
| เครื่องยนต์แก๊สโซลีนสี่จังหวะ | 3 |
| เครื่องยนต์แก๊สโซลีนสองจังหวะ | 4 |
| เครื่องยนต์ดีเซล | 6 |
| ระบบสตาร์ทเครื่องยนต์ | 7 |
| ระบบจ่ายเชื้อเพลิง | 8 |
| ระบบจุดระเบิด | 14 |
| น้ำมันเบนซิน | 18 |
| น้ำมันดีเซล | 22 |
| ขบวนการเผาไหม้และสมการเคมี | 25 |
| หลักการวิเคราะห์ไอเสียของเครื่องยนต์ | 27 |
| อุปกรณ์วัดมลพิษ | 34 |
| 3. หัวข้อการทดลอง | |
| 3.1 การทดลองเรื่องปริมาณกระแสไฟที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์ของแต่ละสูบ | 41 |

| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| | 3.2 การทดลองเรื่องระบบจุดระเบิด | 46 |
| | 3.3 การทดลองเรื่องระบบฉีดเชื้อเพลิง | 54 |
| | 3.4 การทดลองเรื่องการวัดปริมาณไอเสียของเครื่องยนต์เบนซิน | 61 |
| | 3.5 การทดลองเรื่องระบบไฟชาร์จ | 66 |
| | 3.6 การทดลองเรื่องกำลังอัดเครื่องยนต์แต่ละสูบ | 70 |
| | 3.7 การทดลองเรื่องความสม่ำเสมอของความเร็วรอบเดินเบา | 73 |
| | 3.8 การทดลองเรื่องระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องของเครื่องยนต์เบนซิน หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ | 75 |
| | 3.9 การทดลองเรื่องการวัดปริมาณควันดำที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ | 79 |
| | 3.10 การทดลองเรื่องการวัดปริมาณควันดำโดยใช้เครื่อง เทคโนเทส (TECHNOTEST ) | 83 |
| | 3.11 การทดลองเรื่องปริมาณไอเสียของเครื่องยนต์เบนซินโดยใช้เครื่องทดสอบโอลิเวอร์ ( OLIVER ) | 88 |
| 4. ผลการทดลอง | | |
| | ผลการทดลองที่ 3.1 เรื่องการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์แต่ละสูบ | 93 |
| | ผลการทดลองที่ 3.2 เรื่องระบบจุดระเบิด | 94 |
| | ผลการทดลองที่ 3.3 เรื่องระบบฉีดเชื้อเพลิง | 99 |
| | ผลการทดลองที่ 3.4 เรื่องการวัดปริมาณไอเสียของเครื่องยนต์ | 100 |
| | ผลการทดลองที่ 3.5 เรื่องระบบไฟชาร์จ | 101 |
| | ผลการทดลองที่ 3.6 เรื่องกำลังอัดของเครื่องยนต์แต่ละสูบ | 102 |
| | ผลการทดลองที่ 3.7 เรื่องความสม่ำเสมอของความเร็วรอบเดินเบา | 103 |
| | ผลการทดลองที่ 3.8 เรื่องระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องในเครื่องยนต์หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ | 104 |
| | ผลการทดลองที่ 3.9 เรื่องการวัดปริมาณควันดำที่เกิดจากเครื่องยนต์ | 105 |
| | ผลการทดลองที่ 3.10 เรื่องการวัดปริมาณควันดำโดยใช้เครื่องทดสอบ | 106 |

# สารบัญตาราง

หน้า


ตารางที่

2.1 ส่วนผสมของอากาศ 26

2.2 น้ำหนักโมลของสารต่างๆ 27

2.3 ส่วนประกอบไอเสียเมื่อมีอัตราการส่งอากาศต่อเชื้อเพลิงพอดี 28

2.4 แสดงการรบกวนของก๊าซที่เกิดในเครื่อง NDIR 39

4.1 แสดงผลการทดลองเรื่ององศาจุดระเบิด 97

ตารางภาคผนวกที่

3.1 ผลการวัดปริมาณควันดำ 121

3.2 ผลการวัดปริมาณก๊าซในไอเสียเครื่องยนต์เบนซิน 122

# สารบัญรูป

หน้า

รูปที่


2.1 แสดงหลักการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ 3

2.2 แสดงลักษณะและการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ แบบแก๊สโซลีน 4

2.3 แสดงการเกิด Distortion 7

2.4 แสดงระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดอยู่ที่ช่องลิ้น 9

2.5 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดอยู่ที่เสื้อคันเร่ง 10

2.6 แสดงการทำงานของคาร์บูเรเตอร์ขณะเครื่องยนต์เดินเบา 11

2.7 แสดงการทำงานของคาร์บูเรเตอร์ขณะเครื่องยนต์มีความเร็วรอบสูง 11

2.8 แสดงไดอะแกรมพื้นฐานของระบบฉีดเชื้อเพลิง 12

2.9 แสดงระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาหรือแบบใช้แบตเตอรี่ 15

2.10 แสดงโครงสร้างวงจรจุดระเบิดแบบธรรมดา 16

2.11 แสดงส่วนของจานจ่ายและการจุดประกายไฟเขี้ยวหัวเทียน 17

2.12 แสดงโครงสร้างของวงแหวนเบนซิน 18

2.13 แสดงโครงสร้างของวงแหวนโทลูอีน 19

2.14 แสดงโครงสร้างของไอโซออกเทน 20

2.15 แสดงความเข้มข้นของสารมลพิษที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่างๆ 29

2.16 แสดงความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ที่สภาวะสมดุลเผาไหม้ที่เมื่อปริมาตรคงที่ 30

2.17 แสดงความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ (NO) แปรตามเวลา 31

2.18 แสดงการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไนโตรเจนออกไซด์ ($NO_x$) ต่ออัตราการไหลอากาศ 32

2.19 แสดงการก่อตัวของสารมลพิษในลำน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในอากาศหมุนวน 33

2.20 การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) 34

2.21 เครื่อง NDIR ขณะที่มีการฉายรังสีอินฟราเรดผ่านหลอดบรรจุก๊าซ 35

2.22 เครื่อง NDIR ขณะที่ใบพัดตัดลำแสงอินฟราเรดไม่ให้ฉายเข้าไปในหลอดบรรจุก๊าซ 36

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่


2.23 เครื่อง NDIR ที่ติดตั้งตัวกรองเพื่อลดการรบกวนจากก๊าซอื่น 37

2.24 ผลของความยาวของหลอดตัวอย่างที่มีผลต่อการรบกวนของ ($NO_2$) 40

2.25 ผลของความเข้มข้นของไอน้ำที่มีต่อการรบกวน 40

3.1 แสดงวงจรระบบสตาร์ท 42

3.2 แสดงระบบสตาร์ท 42

3.3 แสดงลักษณะของสายสัญญาณคอยล์จุดระเบิด ( Terminal 1/15 ) 43

3.4 แสดงลักษณะของสายสัญญาณแบตเตอรี่ 43

3.5 แสดงลักษณะของสายแคมป์แอมป์ (1000 A) 43

3.6 แสดงลักษณะของแท่งวัดอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง 44

3.7 แสดงลักษณะของสายสัญญาณทริกเกอร์ (Trigger) 44

3.8 แสดงลักษณะของสายสัญญาณ KV 44

3.9 แสดงลักษณะของสายแคมป์แอมป์ (20 A) 45

3.10 แสดงส่วนประกอบของระบบจุดระเบิด 46

3.11 แสดงส่วนประกอบของคอยล์ 47

3.12 แสดงการทำงานของระบบจุดระเบิด 48

3.13 แสดงส่วนประกอบของระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ 55

3.14 แสดงระบบอีเอฟไอ แบบดี 56

3.15 แสดงระบบอีเอฟไอ แบบแอล 56

3.16 แสดงแผนภูมิโครงสร้างพื้นฐานการฉีดเชื้อเพลิง 57

3.17 แสดงระบบเชื้อเพลิง 58

3.18 แสดงระบบประจุอากาศ 58

3.19 แสดงแผนภูมิอัตราส่วนผสมตามทฤษฎี 61

3.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)และอัตราส่วนผสม 62

3.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไฮโดรคาร์บอน (HC)และอัตราส่วนผสม 63

3.22 แสดงวงจรไฟชาร์จ 67

3.23 แสดงการทำงานของระบบไฟชาร์จ 67

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

3.24 แสดงอัตราส่วนการอัดในกระบอกสูบ 70
3.25 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของลิ้น ISC 73
3.26 แสดงสัญญาณ " CHECK ENGINE " 75
3.27 แสดงช่วงการกระพริบของหลอดไฟตรวจสอบเครื่องยนต์ 76
3.28 แสดงลำดับการกระพริบของหลอดไฟ 76
3.29 แสดงลักษณะของสายสัญญาณ Electronic Test 78
3.30 แสดงการก่อตัวของสารมลพิษในลำน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในอากาศหมุนวน 79
3.31 แสดงลักษณะของสายสัญญาณวัดความเร็วรอบ 80
3.32 แสดงการต่อสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์ 81
3.33 แสดงหลักการทำงานของเครื่องวัดควันดำ 84
3.34 แสดงขั้นตอนการวัดควันดำ 86
3.35 แสดงแผนภูมิอัตราส่วนผสมตามทฤษฎี 88
3.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และส่วนผสม 89
3.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไฮโดรคาร์บอนและส่วนผสม 90

รูปภาคผนวกที่

1.1 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบบอสช์ (BOSCH) 112
1.2 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบโอลิเวอร์ (OLIVER) 112
1.3 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบเทคโนเทส (TECHNOTEST) 113

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| สัญลักษณ์ | ความหมาย | หน่วย |
|---|---|---|
| A | ปริมาณกระแสไฟฟ้า | Ampere |
| CO | คาร์บอนมอนอกไซด์ | % Vol |
| $CO_2$ | คาร์บอนไดออกไซด์ | % Vol |
| $^0C$ | อุณหภูมิ | Celsius |
| $^0CS$ | องศามุมเพลาข้อเหวี่ยง | Degree |
| KV | ปริมาณแรงเคลื่อนของกระแสไฟ | Kilo Voltage |
| HC | ไฮโดรคาร์บอน | % Vol |
| $N_2$ | ไนโตรเจน | % Vol |
| $NO_x$ | ไนโตรเจนออกไซด์ | % Vol |
| $O_2$ | ออกซิเจน | % Vol |
| RPM | ความเร็วรอบ | Round Per Minute |
| ms | เวลา | 1/1000 sec |

# บทที่ 1

# บทนำ

## ความสำคัญและความเป็นมาของโครงงาน

ในปัจจุบันนี้ รถยนต์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์การใช้รถยนต์มีแนวโน้มการขยายตัวสูงขึ้นทุกปี มนุษย์จึงเริ่มให้ความสนใจและเป็นห่วงสภาวะแวดล้อมมากขึ้นการใช้รถยนต์เป็นการเพิ่มมลพิษในอากาศอย่างหนึ่งโดยเฉพาะไอเสียจากเครื่องยนต์ จึงเป็นหัวข้อที่นำมาศึกษาและวิเคราะห์โดยใช้เครื่องทดสอบเพื่อควบคุมและลดมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ซึ่งภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับเรื่องนี้เป็นอย่างยิ่ง จึงเปิดวิชาวิศวกรรมยานยนต์ และได้มีห้องปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ พร้อมชุดทดสอบวิเคราะห์ไอเสียจากเครื่องยนต์เพื่อนำมาเป็นส่วนประกอบสำหรับการเรียนการสอน

## วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาการใช้งานของเครื่องทดสอบวิเคราะห์ไอเสียยี่ห้อ บอสช์ (BOSCH)
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์

## ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาและวิเคราะห์ไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์เบนซิน และดีเซล
2. ศึกษาหลักการใช้งานของเครื่องทดสอบวิเคราะห์ไอเสียยี่ห้อ บอสช์ (BOSCH)
3. จัดทำเอกสารประกอบการทดลองการทำงานของเครื่องยนต์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ไอเสียทุกฟังก์ชัน

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน**

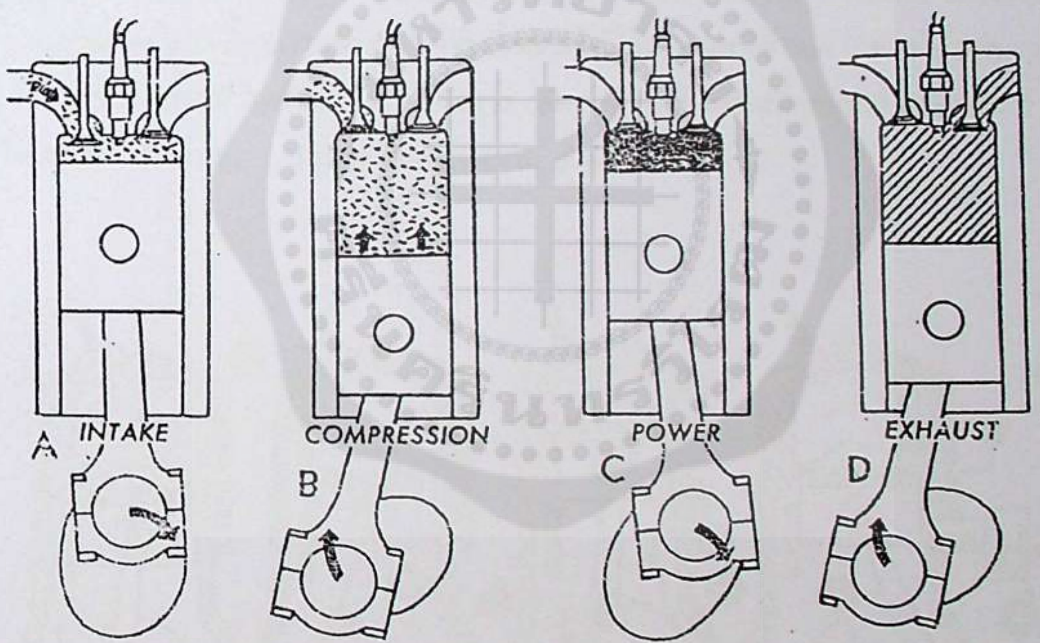
1. ได้เห็นความแตกต่างของปริมาณไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซล
2. ได้รู้ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อไอเสียจากเครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซล
3. ใช้เป็นข้อมูลประกอบการเรียนวิชาวิศวกรรมยานยนต์

# บทที่ 2

# ทฤษฎี

## เครื่องยนต์แก๊สโซลีนสี่จังหวะ

เครื่องยนต์แก๊สโซลีน ( Gasoline ) ที่ทำงานเป็นแบบ 4 จังหวะนี้ บางทีก็เรียกว่า ออตโตไซเคิล ( Otto Cycle ) รายละเอียดการทำงานของเครื่องยนต์แบบนี้ดูได้จากรูปที่ 2.1




**รูปที่ 2.1** แสดงหลักการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

(1) = ลูกสูบ (Piston) (2) = ก้านสูบ (Connecting Rod)

(3) = กระบอกสูบ (Cylinder) (4) = เพลาข้อเหวี่ยง (Crank Shaft)

(5) = ลิ้นไอดี (Inlet Valve ) (6) = ลิ้นไอเสีย (Exhaust Valve)

(7) = หัวเทียน (Spark plug)

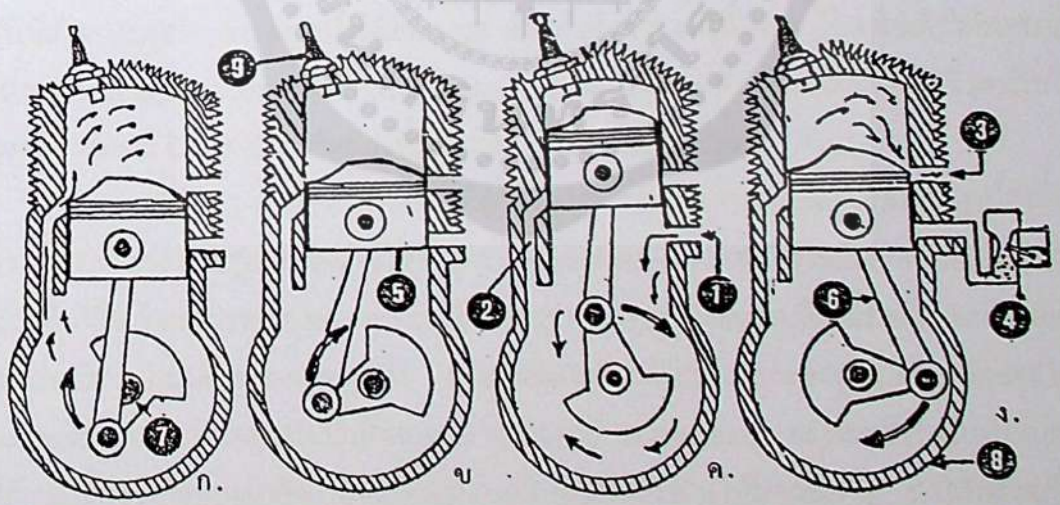
T.D.C. = ศูนย์ตายบน (Top Dead Center)

B.D.C. = ศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center)

เมื่อสิ้นสุดจังหวะงาน กระบอกสูบนั้นจะเริ่มจังหวะคาย คือ ก่อนที่ลูกสูบจะถึง B.D.C. 40° ลิ้นไอเสียจะเปิด ตอนนี้ไอเสียจะออกไปทางท่อไอเสียด้วยความดันของมันเอง เมื่อลูกสูบเลื่อนถึง B.D.C. และเริ่มใหม่ ลูกสูบจะทำการไล่ไอเสียอีกทีหนึ่ง การไล่ไอเสียจะดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ จนลูกสูบเลย T.D.C. ไป 10 จึงจะหยุด รวมระยะที่ลิ้นไอเสียเปิดนาน 230 แต่ก่อนที่ลูกสูบจะถึง T.D.C. 5 ลิ้นไอดีจะเปิด

**เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 2 จังหวะ**

การทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ ก็คล้ายกับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ คือ มีการดูด, อัด, ระเบิดและคายเหมือนกัน ต่างกันแต่เพียงว่า เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นเพียงครั้งเดียวจะเกิดจังหวะดูดและอัดรวมกัน และเมื่อลูกสูบเลื่อนลงนั้นจะเกิดจังหวะงาน และจังหวะคายรวมกัน การที่เครื่องยนต์ชนิดนี้สามารถทำงานได้เช่นนี้เพราะไม่มีลิ้น แต่จะใช้ Port ( ช่อง ) แทน เราพอจะให้คำจำกัดความได้ว่าเครื่องยนต์ 2 จังหวะ คือ เครื่องยนต์ชนิดที่ลูกสูบเลื่อนขึ้นลง 2 ครั้ง หรือเพลาข้อเหวี่ยงหมุน 1 รอบจะเกิดจังหวะงาน 1 ครั้ง




**รูปที่ 2.2** แสดงลักษณะและการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ แบบแก๊สโซลีน รูป ก. และรูป ข. ลูกสูบเลื่อนขึ้นครั้งเดียวจะเกิดจังหวะดูดและจังหวะอัด ส่วนรูป ค. และ ง. ลูกสูบเลื่อน ลงอีกหนึ่งครั้งจะเกิดจังหวะระเบิดและคายรวมกัน

(1) = ช่องไอดี (Inlet Port)
(2) = ช่องส่งไอดี (Transfer Port)
(3) = ช่องไอเสีย (Exhaust Port)
(4) = คาร์บูเรเตอร์ (Carburetor)
(5) = ลูกสูบ (Piston)
(6) = ก้านสูบ (Connecting Rod)
(7) = เพลาข้อเหวี่ยง (Crank Shaft)
(8) = ห้องแคร้ง (Crank Case)
(9) = หัวเทียน (Spark Plug)

**หลักการทำงาน**

รูปที่ 2.2 ก. ลูกสูบเปิดช่องส่งไอดี (Transfer Port) ส่วนผสมอากาศกับน้ำมันที่เก็บในห้องแคร้ง (Crank Case) จะถูกอัดให้มีความดัน และไหลขึ้นไปตามช่องส่งไอดีเข้าไปในกระบอกสูบซึ่งก็คือ จังหวะดูด

รูปที่ 2.2 ข. เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นไปอีกเล็กน้อย ทั้งสองข้างของลูกสูบจะเปิดช่องส่งของไอดี (Transfer Port) และช่องไอเสีย (Exhaust Port) เมื่อลูกสูบเลื่อนต่อไปจะทำให้เกิดจังหวะอัดจะเห็นว่าขณะที่ลูกสูบเลื่อนขึ้นไปเพียงครั้งเดียว จะทำให้เกิดจังหวะดูดและจังหวะอัดรวมกัน

รูปที่ 2.2 ค. เมื่ออัดสูงสุดหัวเทียนจะเกิดประกายไฟ จุดส่วนผสมอากาศกับน้ำมันจะทำให้เกิดการระเบิด ดันลูกสูบให้เลื่อนลงมา ซึ่งก็คือจังหวะงานนั่นเอง ในขณะเดียวกันจะเห็นว่า ส่วนล่างของลูกสูบเปิดช่องไอดี (Inlet Port) ส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันจะนำเข้ามาเก็บในห้องแคร้ง (Crank Case) เพื่อเตรียมส่งขึ้นไปส่วนบนของกระบอกสูบ

รูปที่ 2.2 ง. เมื่อส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเกิดการระเบิด จะดันลูกสูบให้เลื่อนลงมา ปลายล่างของลูกสูบจะเปิดช่องไอเสีย (Exhaust Port) ก่อน ทำให้ไอเสียออกนอกกระบอกสูบไป ซึ่งก็คือ จังหวะคายนั่นเอง จะเห็นได้ชัดเจนว่า ลูกสูบเลื่อนลงมาเพียงครั้งเดียวจะทำให้เกิดจังหวะระเบิด และจังหวะคายรวมกัน และในขณะเดียวกันส่วนล่างของลูกสูบก็จะปิดช่องไอดี (Inlet Port) ส่วนผสมอากาศกับน้ำมันจาก คาร์บูเรเตอร์ (Carburetor) จะไหลเข้าไปในห้องแคร้งไม่ได้และเมื่อสูบเลื่อนลงมาอีก ก็จะอัดส่วนผสมอากาศกับน้ำมันให้มีความดัน ทำให้พร้อมที่จะส่งขึ้นไปส่วนบนของกระบอกสูบ เพื่อให้เกิดจังหวะอีกต่อไป

ต่อจากนั้นจะเริ่มจังหวะดูดใหม่ติดต่อกันเช่นนี้เรื่อยไป จะเห็นว่าเครื่องยนต์ชนิดนี้ลูกสูบเลื่อนขึ้นลง 2 ครั้ง หรือเท่ากับเพลาข้อเหวี่ยงหมุน 1 รอบ จะเกิดจังหวะงานหรือระเบิด 1 ครั้ง เรียกเครื่องยนต์ที่ทำงานแบบนี้ว่า เครื่องยนต์ 2 จังหวะ

**เครื่องยนต์ดีเซล**

เครื่องยนต์ดีเซล หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Compression Ignition Engine มีหลักการทำงานที่สำคัญคือไม่ใช้การจุดระเบิดด้วยประกายไฟฟ้าแต่ใช้อากาศ ซึ่งมีความอัดตัวสูงในกระบอกสูบเป็นเครื่องจุดระเบิด ในจังหวะดูดลูกสูบจะดูดเฉพาะอากาศบริสุทธิ์เท่านั้น เข้าไปในกระบอกสูบ เนื่องจากมีอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) สูงมาก ( อาจสูงถึง 25 : 1 ) เพราะฉะนั้นความอัดในกระบอกสูบจึงมากเป็นผลทำให้เกิดความร้อนเดียวกัน( อาจสูงถึง 1,000 F) เพราะฉะนั้นเมื่อฉีดน้ำมันเข้าไปน้ำมันจะติดไฟเอง คุณสมบัติต่อไปนี้จะเป็นเครื่องบอกว่าเครื่องยนต์นั้นเป็นเครื่องยนต์ดีเซล คือ

1. ใช้น้ำมันโซล่าเป็นเชื้อเพลิง
2. ในจังหวะดูดจะดูดเฉพาะอากาศบริสุทธิ์เท่านั้น เข้าไปในกระบอกสูบ
3. ใช้ปั๊มเชื้อเพลิงความดันสูง
4. ใช้หัวฉีด (Injector) เป็นเครื่องฉีดน้ำมัน
5. มีอัตราส่วนอัดสูง

**ข้อดีของเครื่องยนต์ดีเซล**

1. สามารถใช้น้ำมันเลว ๆ และราคาถูกได้
2. เมื่อเครื่องมีขนาดเท่ากัน เครื่องยนต์ดีเซลจะมีกำลังมากกว่า เพราะเครื่องยนต์ดีเซลสามารถสร้างให้มีอัตราส่วนอัดได้สูงกว่า
3. ไม่ต้องมีระบบจุดระเบิดทำให้ลดความเอาใจใส่ลงได้มาก
4. สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดชิงจุด (Pre – Ignition) ได้โดยสิ้นเชิง
5. มีการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่า

**ข้อเสียของเครื่องยนต์ดีเซล**

1. มีน้ำหนักต่อกำลังมาก
2. มีราคาแพง เพราะต้องสร้างให้มีความแข็งแรงเป็นพิเศษ
3. เครื่องมีการสั่นสะเทือนมาก
4. ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาแพงมาก และต้องเอาใจใส่เป็นพิเศษต่อปั๊มหัวฉีดและหัวฉีด
5. เมื่อเครื่องเกิดสึกหรอ หรือเสียความอัด เครื่องจะติดยาก

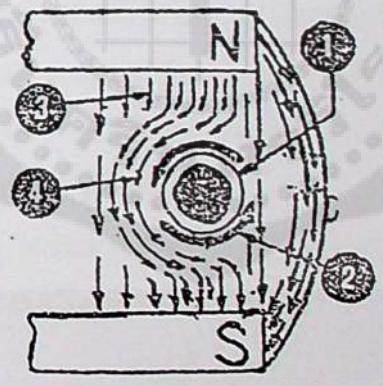
**ระบบสตาร์ทเครื่องยนต์**

ระบบสตาร์ทมีหน้าที่หมุนเครื่องยนต์เพื่อให้เครื่องยนต์ติด เมื่อเครื่องยนต์ติดแล้ว ระบบนี้จะไม่ทำงานประกอบด้วยสิ่งต่อไปนี้ คือ

1. แบตเตอรี่ (Battery)
2. สตาร์ทเตอร์ (Starter)
3. สวิตซ์โซลินอยด์ (Starting Solinoid)
4. สวิตซ์สตาร์ท (Starting Switch)

วงจรและการต่อของระบบสตาร์ทนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ทเตอร์นั้น ๆ

สตาร์ทเตอร์ คือ มอเตอร์ชนิดหนึ่งและเป็นมอเตอร์ (Motor) แบบพิเศษ ที่ออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้กับงานหนัก ๆ และกินกระแสมาก หลักการของสตาร์ทเตอร์นั้นจะตรงกันข้ามกับไดนาโม ไดนาโมนั้นเมื่อหยุดขดลวดตัดสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นมา ส่วนสตาร์ทเตอร์นั้น ถ้าปล่อยกระแสไฟฟ้าไปที่ขดลวด จะทำให้ขดลวดหมุนได้ ถ้าดูรูปที่ 2.3 ประกอบจะเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น




**รูปที่ 2.3** แสดงการเกิด Distortion ของสนามแม่เหล็กด้านขวามือจะไม่มีแรงกระทำ ส่วนด้านซ้ายมือสนามแม่เหล็กเสริมกำลังกัน ทำให้ผลักดันนำไปทางขวาผลก็คือ ตัวนำจะหมุน

(1) คือ ตัวนำ (Conductor 1)

(2) คือ สนามแม่เหล็กเกิดจากตัวนำ

(3) คือ สนามแม่เหล็กเกิดจากขั้วแม่เหล็ก

(4) คือ Distortion ของสนามแม่เหล็ก

**หลักการทำงาน**

จากรูปที่ 2.3 เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ตัวนำ (Conductor) ในทิศทางไหลเข้าหาตัวผู้อ่าน กระแสไฟฟ้าจะทำให้ตัวนำมีสนามแม่เหล็ก ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก เนื่องจากตัวนำลูกศรโค้งเส้นใหญ่ ส่วนขั้วแม่เหล็กจะส่งเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้ว N ไปยังขั้ว S จากรูปจะเห็นว่าสนามแม่เหล็กเกิด Distortion ทางขวามือของตัวนำทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจะหักล้างกัน นั่นคือไม่มีแรงกระทำที่ด้านขวามือของตัวนำเลย ส่วนทางด้านซ้ายมือของตัวนำทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจะเสริมกันและมีแรงกระทำที่ด้านนี้มาก เพราะฉะนั้นสนามแม่เหล็กจะผลักตัวนำไปทางขวามือ และถ้าจัดให้ตัวนำนี้มีจุดหมุนคล่องตัว ตัวนำนี้จะหมุนได้ ซึ่งเป็นหลักของมอเตอร์

**วิธีการขับเครื่องยนต์ (Drive Mechanism)**

มอเตอร์จะมีหน้าที่ทำให้เกิดการหมุนเพียงอย่างเดียว การที่จะนำกำลังของการหมุนไปขับเครื่องยนต์นั้น จะต้องใส่ชุดของเฟืองขับลงไปบนเพลาอาเมเจอร์อัตราส่วนของการขับนี้โดยมากจะใช้ 15 : 1 คือ ถ้าเพลาอาเมเจอร์หมุน 15 รอบ เพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์จะหมุน 1 รอบ เพราะฉะนั้นถ้าต้องการให้เครื่องยนต์หมุน 200 รอบ/นาที เพลาของสตาร์ทเตอร์จะหมุน 3,000 รอบ/นาที ชุดของเฟืองขับนี้จะต้องออกแบบให้ถอยหลังกลับอย่างรวดเร็ว เมื่อเครื่องยนต์ติดแล้ว ถ้าเฟืองค้างเพียงแต่เครื่องยนต์หมุนด้วยความเร็ว 1,000 รอบ/นาที เพลาของสตาร์ทเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วสูง 15,000 รอบ/นาที ซึ่งเป็นอันตรายต่อสตาร์ทเตอร์มากวิธีการขับเคลื่อนที่นิยมใช้กันมากในรถเก๋งปัจจุบัน มีดังนี้คือ

1. แบบโอเวอร์รันนิ่งคลัท (Over Running Clutch)
2. แบบแบนดิคไดร์ฟ (Bendix Drive)

**<u>ระบบจ่ายเชื้อเพลิง</u>**

เครื่องยนต์แก๊สโซลีนใช้คาร์บูเรเตอร์สำหรับผสมน้ำมันกับอากาศเป็นอุปกรณ์มาตรฐานจนถึงปัจจุบันเนื่องจากโครงสร้างของคาร์บูเรเตอร์ค่อนข้างง่ายไม่ซับซ้อน แต่เนื่องจากปัญหามลพิษของไอเสียรถยนต์ การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และการขับขี่ที่มีสมรรถนะที่ดี ฯลฯ ทำให้คาร์บูเรเตอร์ที่ใช้ในปัจจุบันมีระบบที่ซับซ้อนยุ่งยากมาก จึงได้มีการพัฒนาระบบฉีดเชื้อเพลิงขึ้นเพื่อสนองความต้องการดังกล่าว

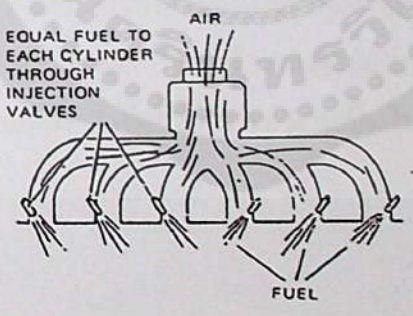
ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบต่าง ๆ ระบบฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้พัฒนามาเป็นเวลานานพอสมควรแล้ว มีทั้งระบบที่ควบคุมด้วยกลไก ระบบไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ฉีดเชื้อเพลิงส่วนมากจึงเป็นกลไก ปัจจุบันนี้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ได้พัฒนารวดเร็วมาก จึงได้นำระบบอิเล็กทรอนิกส์ช่วบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงทำให้การทำงานเป็นไปอย่างเที่ยงตรงและแม่นยำ ฉะนั้นจึงจะขอกล่าวเฉพาะระบบที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น

ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Fuel – Injection System, EFI) ได้มีการจำแนกชนิดของระบบฉีดเชื้อเพลิงต่าง ๆ กันหลายแบบ แต่ที่นิยมใช้ในปัจจุบันจำแนกโดยตำแหน่งที่ติดตั้งหัวฉีดและวิธีฉีดเชื้อเพลิง ดังนี้

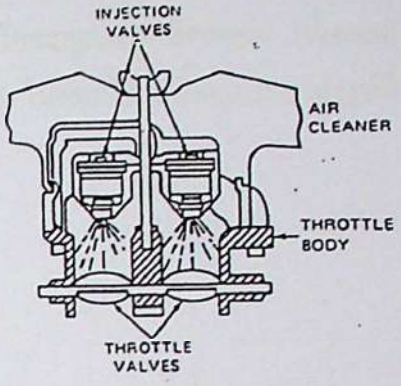
**จำแนกโดยตำแหน่งของหัวฉีด แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ**

1. หัวฉีดอยู่ที่ช่องลิ้น (Port Injection) ดังรูป 2.4 หัวฉีดอยู่ที่ช่องลิ้นไอดี จะมีหัวฉีดเท่ากับจำนวนสูบของเครื่องยนต์ น้ำมันจะถูกฉีดเข้าไปช่องลิ้นไอดี

2. หัวฉีดอยู่ที่เสื้อลิ้นคันเร่ง (Throttle Body Injection) ดังรูปที่ 2.5 เสื้อลิ้นคันเร่งก็เหมือนกับส่วนล่างของคาร์บูเรเตอร์ซึ่งจะมีลิ้นคันเร่ง (Throttle Valve) เท่านั้น หัวฉีดจะมีเพียงตัวเดียวหรือ 2 ตัว ฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปผสมกับอากาศแล้วจ่ายให้กับกระบอกสูบทุก ๆ สูบ




**<u>รูปที่ 2.4</u>** แสดงระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดอยู่ที่ช่องลิ้น




รูปที่ 2.5 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดอยู่ที่เสื้อคันเร่ง

จำแนกโดยวิธีการฉีดเชื้อเพลิง แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. ฉีดเป็นจังหวะ (Timed or Pulse Injection)
2. ฉีดตลอดเวลา (Continuos Injection)

ระบบฉีดเป็นจังหวะหรือมีเวลาฉีดที่แน่นอนนั้น หัวฉีดจะฉีดเชื้อเพลิงเมื่อได้รับสัญญาณจากชุดควบคุมหรือคอมพิวเตอร์ สำหรับระบบฉีดแบบฉีดตลอดเวลา หัวฉีดจะฉีดน้ำมันอยู่ตลอดเวลาที่เครื่องยนต์ทำงาน ระบบฉีดเชื้อเพลิงทั้ง 2 แบบที่กล่าวมาแล้วข้างต้นอาจออกแบบให้ฉีดเชื้อเพลิงเป็นจังหวะ หรือฉีดตลอดเวลาก็ได้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ เชื้อเพลิงที่ฉีดออกไปจะถูกควบคุมโดยความเร็วรอบและภาระ (Load) ของเครื่องยนต์ในแต่ละช่วงของการทำงาน โดยการใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวควบคุม จึงทำให้การทำงานเป็นไปอย่างเที่ยงตรงทุกช่องความเร็วและทุกสภาพภาระ

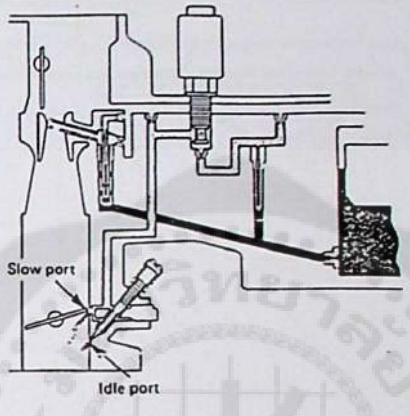
**เปรียบเทียบการทำงานของคาร์บูเรเตอร์และระบบฉีดเชื้อเพลิง**

ถึงแม้ว่าจุดประสงค์ของคาร์บูเรเตอร์และระบบฉีดเชื้อเพลิงจะเหมือนกัน แต่วิธีการผสมน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับสภาพของการทำงานต่าง ๆ นั้นแตกต่างกันคือ

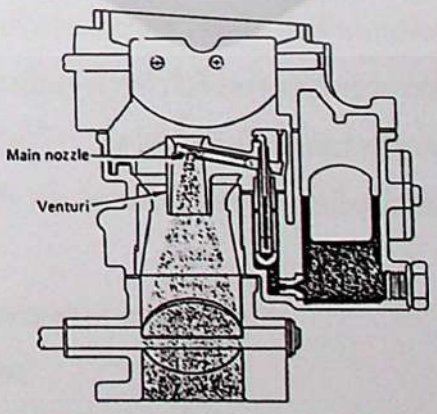
1. การผสมน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ

คาร์บูเรเตอร์ ที่ความเร็วเดินเบา ปริมาณของอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบโดยสุญญากาศที่ช่องปอร์ทความเร็วต่ำ (Slow Runnig Port) และความเร็วเดินเบา (Idle Port) ช่องปอร์ททั้งสองนี้อยู่ใกล้กับลิ้นเร่ง (Throttle Valve) เชื้อเพลิงจะถูกดูดออกจากช่องทั้งสองนี้ดังรูป

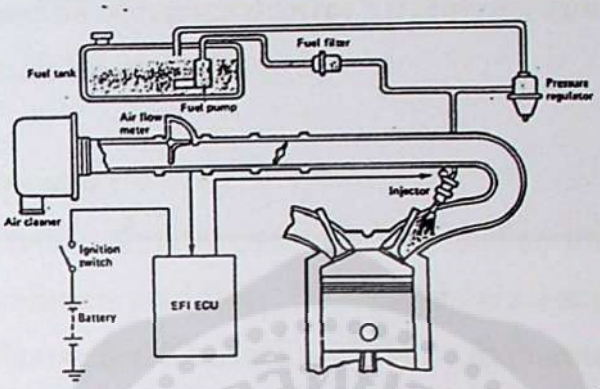
2.6 ในขณะที่เครื่องยนต์มีความเร็วสูงแล้ว ( ลิ้นเร่งเปิดกว้าง ) ปริมาณของอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบของเครื่องยนต์จะวัดโดยสุญญากาศที่คอคอด (Venturi) น้ำมันจากคาร์บูเรเตอร์จะถูกดูดออกทางหัวฉีด (Main Nozzle) ในอัตราส่วนที่พอเหมาะ ดังรูปที่ 2.7




**รูปที่ 2.6** แสดงการทำงานของคาร์บูเรเตอร์ขณะเครื่องยนต์เดินเบา




**รูปที่ 2.7** แสดงการทำงานของคาร์บูเรเตอร์ขณะเครื่องยนต์มีความเร็วรอบสูง




<u>รูปที่ 2.8</u> แสดงไดอะแกรมพื้นฐานของระบบฉีดเชื้อเพลิง

ระบบฉีดเชื้อเพลิง ที่ความเร็วเดินเบา ระบบฉีดเชื้อเพลิงจะมีอุปกรณ์อยู่ 2 ชุด เพื่อวัดปริมาณของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่จะฉีดเข้าไปบรรจุในกระบอกสูบ ปริมาณของอากาศวัดโดยมาตรวัดอากาศ (Air Flow Meter) ในชุดมาตรวัดอากาศมีอุปกรณ์สัญญาณ (Sensor) ซึ่งจะส่งสัญญาณที่สอดคล้องกับปริมาณอากาศที่ไหลผ่านไปยังคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะคำนวณหาว่าน้ำมันเชื้อเพลิงควรจะฉีดเข้าไปเท่าไรจึงจะพอดีกับอากาศที่วัดได้ คอมพิวเตอร์จะกำหนดเวลาลิ้นหัวฉีดจะเปิดนานเท่าไร เพื่อให้น้ำมันฉีดได้อัตราส่วนผสมกับอากาศได้ถูกต้องตามความต้องการของเครื่องยนต์ รูปที่ 2.8 ไดอะแกรมของระบบฉีดเชื้อเพลิง

**สภาพการขับขี่และอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิง**

ขณะสตาร์ทเครื่อง

คาร์บูเรเตอร์ ขณะสตาร์ทเครื่องอัตราส่วนผสมจะต้องหนา (Rich Mixture) เพื่อให้ สตาร์ทง่ายในขณะที่เครื่องเย็น ทั้งนี้เพราะความแข็งแรงของอากาศที่ผ่านคาร์บูเรเตอร์จะไหลช้า และเนื่องจากอากาศเย็นเชื้อเพลิงจึงกลายเป็นไอได้ยาก วิธีการของคาร์บูเรเตอร์ที่จะทำให้

ส่วนผสมหนาคือปิดลิ้นเร่ง เมื่อเครื่องยนต์ติดแล้วจะค่อย ๆ เปิดลิ้นโช้คและจะต้องเปิดเต็มที่เมื่อเครื่องยนต์ร้อนแล้ว

ระบบฉีดเชื้อเพลิง ขณะสตาร์ทเครื่องจะมีสัญญาณจากมอเตอร์สตาร์ทซึ่งจะไปควบคุมให้ฉีดเชื้อเพลิงเพิ่มพิเศษโดยมีหัวฉีดอยู่หนึ่งหัว หัวฉีดนี้จะทำงานเมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำ ซึ่งจะทำให้ฉีดเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นขณะสตาร์ทเครื่อง หัวฉีดจะออกแบบให้ฉีดเชื้อเพลิงเป็นฝอยละเอียดมากเพื่อให้จุดระเบิดได้ง่าย

ขณะอุณหภูมิต่ำ

คาร์บูเรเตอร์ เนื่องจากการระเหยเป็นไอได้ไม่มีเมื่ออุณหภูมิต่ำจึงจำเป็นต้องปรับอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงของอากาศให้หนา วิธีการก็คือใช้เร่งช่วยขณะสตาร์ท เมื่ออุณหภูมิต่ำจะต้องให้ลิ้นโช้กปิดให้แคบจะโดยใช้มือหรืออัตโนมัติก็ได้ ถ้าเป็นแบบใช้มือเมื่อเครื่องยนต์ติดแล้วจะต้องค่อย ๆ เปิดลิ้นโช้คให้กว้างขึ้นให้เหมาะสมกับการอุ่นเครื่องของเครื่องยนต์ ถ้าเป็นโช้กอัตโนมัติลิ้นโช้กจะเปิดเองโดยอัตโนมัติให้กว้างขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ผลดีก็คืออัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศจะค่อย ๆ กลับสู่อัตราปกติ

ระบบฉีดเชื้อเพลิง จะต้องมีตัววัดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น (Water Thermo Sensor) ตัววัดอุณหภูมิจะมีเทอร์มีสเตอร์ (Thermister) ซึ่งค่าความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงมาก เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังคอมพิวเตอร์

ขณะเร่งเครื่อง

คาร์บูเรเตอร์ เมื่อเร่งเครื่องจากความเร็วเดินเบา ปริมาณของอากาศเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงหนักกว่าอากาศ น้ำมันเชื้อเพลิงจึงไหลช้ากว่า ในสภาพเช่นนี้อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศจะบางกว่าปกติ และสภาพเช่นนี้จะเห็นชัดเจนเมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำเนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงระเหยเป็นไอได้ยาก

เพื่อป้องกันส่วนผสมบางขณะเร่งเครื่องจึงจำเป็นต้องมีวงจรปั๊มน้ำมันช่วย คาร์บูเรเตอร์ส่วนใหญ่มีวงจรช่วยอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบกลไกและระบบสุญญากาศ สำหรับระบบกลไกจะมีปั๊มต่ออยู่กับคันเร่ง เมื่อเหยียบคันเร่งน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกดันผ่านท่อทางภายในคาร์บูเรเตอร์ฉีดเข้าไปในท่อร่วมไอดีเพื่อชดเชยความล่าช้าของน้ำมันที่เข้าไปกับอากาศไม่ทัน

เมื่ออุณหภูมิต่ำมากท่อทางร่วมไอดีจะเย็นจัด ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงระเหยยากมาก จึงทำให้ส่วนผสมขณะเร่งเครื่องยิ่งบางมากเพราะเชื้อเพลิงเข้าบรรจุไม่ทัน ด้วยเหตุนี้คาร์บูเรเตอร์

สมัยใหม่ส่วนมากจึงมีปั๊มเร่งช่วย (Auxiliary Accelerating Pump, AAP) ซึ่งปั๊มตัวนี้จะทำงานเฉพาะขณะอากาศเย็นมาก ซึ่งเป็นการแก้ไขเฉพาะบางกรณีนี้เท่านั้น

ระบบฉีดเชื้อเพลิง ระบบฉีดเชื้อเพลิงจะไม่มีอุปกรณ์แก้ปัญหาขณะเร่งเครื่องยนต์ เช่น คาร์บูเรเตอร์ ระบบคาร์บูเรเตอร์มีปัญหาเพราะเชื้อเพลิงถูกดูดจากคาร์บูเรเตอร์โดยสูญญากาศ จึงต้องมีวงจรปั๊มเร่ง แต่สำหรับระบบเชื้อเพลิงน้ำมันที่มีกำลังดัน ( ประมาณ 2.55 กก. / ซม$^2$. ) จะฉีดผ่านหัวฉีดเข้าไปผสมกับอากาศเหมาะสมกับปริมาณอากาศขณะนั้น ทำให้ละอองน้ำเข้าผสมและกระบอกสูบของเครื่องยนต์โดยไม่มีการล่าช้า

สำหรับคาร์บูเรเตอร์ น้ำมันระเหยเป็นไอยากขณะอากาศเย็น จึงจำเป็นต้องแก้ไขข้อบกพร่องนี้โดยมีปั๊มเร่ง ดังกล่าวแล้วส่วนระบบฉีดเชื้อเพลิงก็คำนึงถึงปัญหานี้เหมือนกันโดยใช้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นและการเคลื่อนที่ของคันเร่งเป็นตัวกำหนดสัญญาณ สัญญาณนี้จะเป็นตัวช่วยเพิ่มปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่จะฉีดให้ผสมกับอากาศ ทำให้ส่วนผสมหนาขึ้น

ขณะทำงานกำลังงานสูง

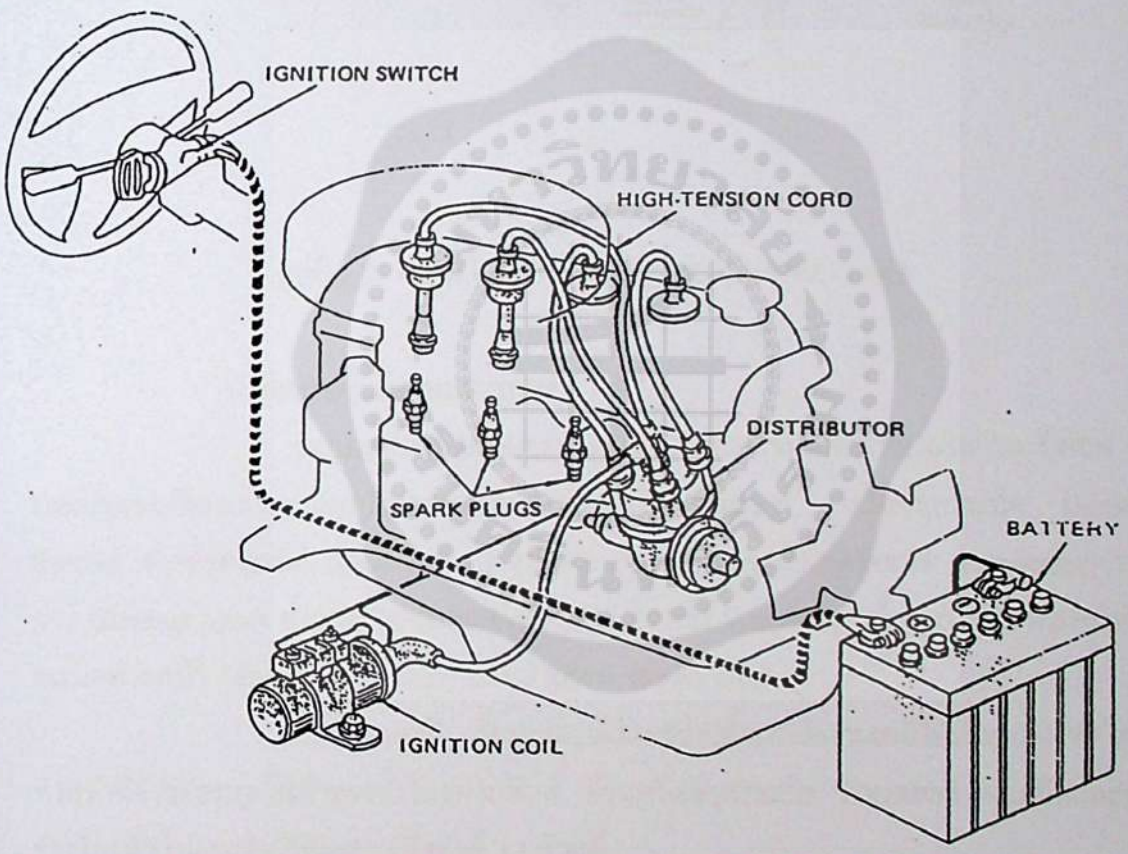
คาร์บูเรเตอร์ เมื่อขับรถบนถนนเรียบได้ระดับที่ความเร็วสูง อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศค่อนข้างบาง ถ้าความเร็วเพิ่มขึ้นหรือแล่นแซงรถคันอื่น ทำให้ภาระของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศที่ค่อนข้างบางจะทำให้กำลังงานไม่พอเพียงสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้คาร์บูเรเตอร์ก็จะต้องมีวงจรกำลัง (Power Circuit) วงจรกำลังจะทำงานโดยสูญญากาศในท่อร่วมไอดีจะลดลงทำให้ลิ้นกำลัง (Power Valve) เปิดให้น้ำมันเข้ามาก ทำให้ส่วนผสมหนาขึ้น

ระบบฉีดเชื้อเพลิง ตำแหน่งของคันเร่งจะเป็นตัวกำหนดภาระของเครื่องยนต์จะมีตัวส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังคอมพิวเตอร์ เมื่อเหยียบคันเร่งมากขึ้นจะทำให้ฉีดเชื้อเพลิงมากขึ้น ซึ่งจะทำให้อัตราส่วนผสมหนา

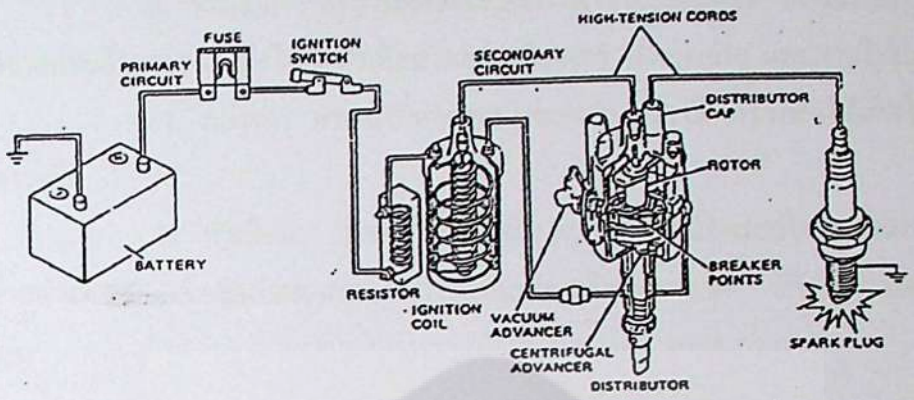
<u>ระบบจุดระเบิด</u>

เครื่องยนต์สันดาปภายใน เช่น เครื่องยนต์แก๊สโซลีน ได้พลังงานกลโดยการเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ ระหว่างอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงในกระบอกสูบเครื่องยนต์แก๊สโซลีน มีระบบจุดระเบิดที่ทำให้เกิดแรงดันไฟสูงพอที่จะเกิดประกายไปและเป็นตัวจุดส่วนผสมไอดีในจังหวะจุดระเบิด ประกายไฟแรงสูงนี้จะเกิดประกายขึ้นที่เขี้ยวหัวเทียนตามกำหนดเวลา และสัมพันธ์กันกับจังหวะงานของเครื่องยนต์ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้นอากาศจะ

ถูกอัดตัวในกระบอกสูบในจังหวะอัดจนมีความดันสูง หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นฝอยละเอียด กระทบกับอากาศอัดเกิดการเผาไหม้ขึ้น




**<u>รูปที่ 2.9</u>** แสดง ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาหรือแบบใช้แบตเตอรี่




<u>รูปที่ 2.10</u> แสดงโครงสร้างวงจรจุดระเบิดแบบธรรมดา

**ระเบิดจุดระเบิดแบบธรรมดา**

ระบบจุดระเบิดแบบธรรมดา เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายใน 20 ปีก่อน ซึ่งระบบจุดระเบิดแบบธรรมดาประกอบด้วย แบตเตอรี่ (Battery) สวิตซ์จุดระเบิด (Ignition Switch) คอยล์จุดระเบิด (Ignition Coil) จานจ่าย (Distributor) คอนเดนเซอร์ (Condenser) ทองขาว (Breaker point) ฝาจานจ่าย (Distributor Cap) โรเตอร์ (Rotor) ลูกเบี้ยว (Cam) ตัวเร่งไฟจุดระเบิดล่วงหน้า (Vacuum Advancer) และหัวเทียน (Spark plug)

1. แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าแรงต่ำไหลผ่านฟิวส์ ผ่านสวิตซ์จุดระเบิด ผ่านคอยล์จุดระเบิดและจานจ่ายโดยทั่วไปแรงดันไฟแบตเตอรี่จะใช้ 12 โวลต์

2. สวิตซ์จุดระเบิด ทำหน้าที่ปิด – เปิด วงจรจุดระเบิดและวงจรอื่น ๆ โดยทั่วไปนิยมใช้กับสวิตซ์กุญแจ ซึ่งจะมีตั้งแต่ 2 ขั้ว ถึง 5 ขั้ว และขั้วจะมีเครื่องหมายกำกับอยู่เพื่อสะดวกในการต่อวงจร

3. บาลาสรีซีสเตอร์ ใส่เข้าในวงจรเพื่อกำจัดกระแสไหลในขดลวดไพรมารี่ให้อยู่ในค่ามาตรฐานทุกความเร็ว เพื่อป้องกันการเสียหายที่หน้าทองขาวด้วย

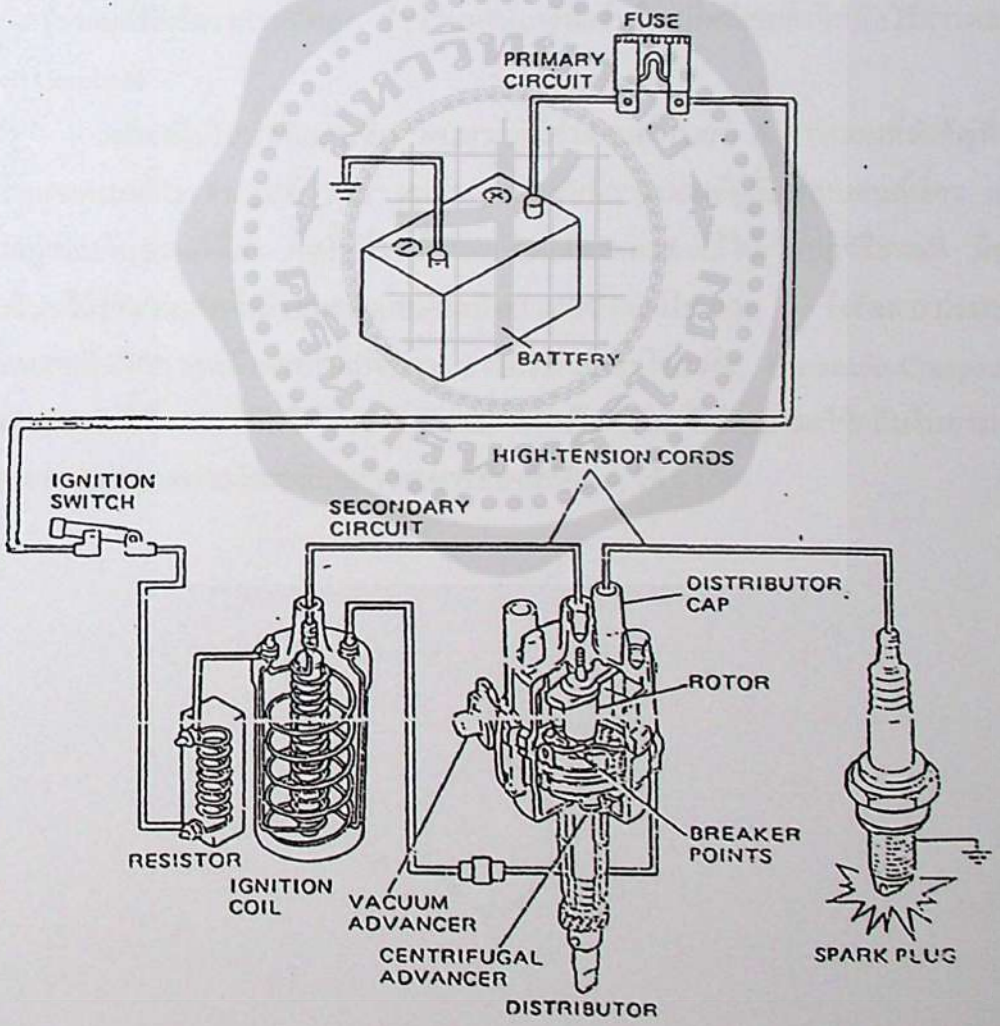
4. คอยล์จุดระเบิด ทำหน้าที่แปลงไฟแรงต่ำที่มาจากแบตเตอรี่ ให้เป็นไฟแรงสูงส่งผ่านจ่าย ไปยังหัวเทียนเพื่อจุดประกายไฟ

5. คอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่เก็บประจุไฟและป้องกันไม่ให้กระโดดข้ามหน้าทองขาวในขณะเกิดไฟแรงสูงในคอยล์จุดระเบิด

6. จานจ่าย ทำหน้าที่ต่อวงจรไฟแรงต่ำจากแบตเตอรี่ พร้อมส่งผ่านไฟแรงสูงที่ได้รับจากคอยล์จุดระเบิด ส่งไปยังหัวเทียนโดยผ่านโรเตอร์ ฝาจานจ่าย และสายไฟแรงสูง

7. ทองขาว ทำหน้าที่ต่อวงจรไฟแรงต่ำ และตัดวงจรเพื่อให้เกิดไฟแรงสูงที่คอยล์จุดระเบิด

8. หัวเทียน ทำหน้าที่ให้ไฟแรงสูงจากคอยล์จุดระเบิดจุดประกายไฟขึ้นระหว่างเขี้ยวหัวเทียน เพื่อจุดส่วนผสมระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ ให้เกิดการเผาไหม้ในกระบอกสูบ



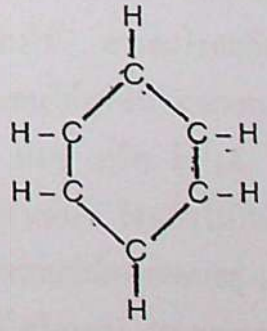

**รูปที่ 2.11** แสดงส่วนของจานจ่ายและการจุดประกายไฟเขี้ยวหัวเทียน

**น้ำมันเบนซินหรือน้ำมันแก๊สโซลีน**

น้ำมันเบนซินหรือน้ำมันแก๊สโซลีนเป็นน้ำมันที่ได้จากการปรุงแต่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันโดยตรง และอาจได้จากการแยกก๊าซธรรมชาติเหลวหรือแก๊สโซลีนธรรมชาติ น้ำมันเบนซินจะผสมสารเพิ่มคุณภาพเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน เช่น สารเพิ่มค่าออกเทน สารเคมีสำหรับป้องกันสนิมป้องกันการกัดกร่อนในถังน้ำมันและท่อทางน้ำมัน รวมทั้งสารเคมีที่ช่วยทำความสะอาดคาร์บูเรเตอร์ จึงเหมาะที่จะใช้กับยานพาหนะ เช่น รถยนต์ รถจักรยานยนต์ หรือเครื่องยนต์ทั่วไป เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องปั่นไฟฟ้าขนาดเล็ก เป็นต้น

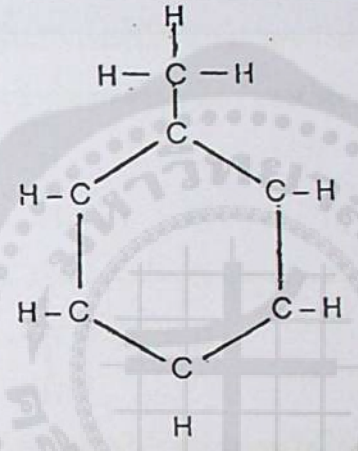
ในปัจจุบันน้ำมันเบนซินที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์ทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ ชนิดธรรมดาซึ่งมีค่าออกเทนสูงกว่า 83 ใช้สำหรับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดต่ำ และอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า ชนิดพิเศษหรือที่เรียกว่าซูเปอร์ น้ำมันชนิดนี้มีค่าออกเทนสูงกว่า 95 เหมาะกับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนอัดสูง สำหรับน้ำมันซูเปอร์หรือชนิดพิเศษยังมีชนิดไร้สารตะกั่ว (Unleaded Gasoline)

พลังเสริมในน้ำมันเบนซิน วงแหวนที่มีจำนวนคาร์บอน 6 คาร์บอนที่สำคัญที่สุด คือ โมเลกุลของเบนซิน จากรูปที่ 2.12 จะเห็นว่าเบนซินมีสามบอนด์คู่กับสามบอนด์เดี่ยว และเป็นบอนด์คู่สลับกับบอนด์เดี่ยว ดังนั้นจึงทำให้เบนซินเสถียรและทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี มีสารประกอบอินทรีย์จำนวนมากซึ่งมีวงแหวนเบนซินเป็นส่วนหนึ่งของโมเลกุล จึงจัดสารประกอบเหล่านี้ทั้งหมดเป็นอีกพวกหนึ่งต่างหากเรียกว่า สารประกอบอะโรแมติก (Aromatic Compound) สารประกอบเหล่านี้เป็นสารที่มีกลิ่นหอม (Aroma) อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถใช้กลิ่นในการแยกประเภทของสารประกอบอะโรแมติกออกจากสารอินทรีย์อื่น ๆ ได้



**รูปที่ 2.12** แสดงโครงสร้างของวงแหวนเบนซิน

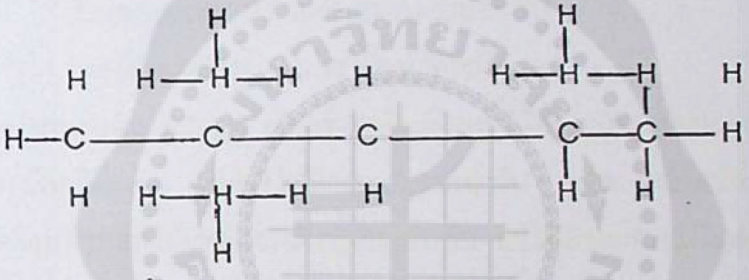
อะตอมคาร์บอนหรือโซ่คาร์บอนอาจเกาะที่อะตอมคาร์บอนของวงแหวนหนึ่งตำแหน่งหรือมากกว่าได้ อะตอมที่มาเกาะนั้นเรียกว่า โซ่ข้าง (Side Chain) สารอะโรแมติกอย่างง่ายซึ่งมีคาร์บอน 1 อะตอมมาเกาะกับวงแหวนเบนซิน โดยคาร์บอนอะตอมนั้นมีไฮโดรเจน 3 อะตอมเกาะอยู่ เช่น โมเลกุลของโทลูอีน (Toluene) ซึ่งมีค่าออกเทน 115 ดังในรูปที่ 2.13



<u>รูปที่ 2.13</u> แสดงโครงสร้างของวงแหวนโทลูอีน

สารประกอบอะโรแมติกที่มีสูตรอย่างง่าย เช่น เบนซิน โทลูอีน และไซลีน สารเหล่านี้บางทีอาจจะเรียกว่า เชื้อเพลิงอะโรแมติก หรือ เบนซินเครื่องบิน หรือแก๊สโซลีนเครื่องบิน ที่เรียกเช่นนี้เพราะสามารถใช้กับเครื่องบินได้ สารอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ใช้เติมในน้ำมันแก๊สโซลีนชนิดพิเศษเพื่อเพิ่มค่าออกเทนให้สูงขึ้น ออกเทนซึ่งมีคาร์บอนอยู่ 8 อะตอม จะมีการจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนได้ 18 แบบ หรือ มี 18 ไอโซเมอร์ ไอโซเมอร์ต่าง ๆ มีคุณสมบัติต่างกันเล็กน้อย เช่น จุดเดือดต่างกัน โดยทั่วไปโมเลกุลที่มีโครงสร้างเป็นโซ่กิ่งจะมีจุดเดือดต่างจากโครงสร้างที่มีโซ่ตรงหมายความว่ามีออกเทนอยู่ 18 ชนิดในหนึ่งโมเลกุลของออกเทนแต่ละชนิดก็มีคาร์บอน 8 อะตอมและมีไฮโดรเจน 18 อะตอม ออกเทนแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปเล็กน้อย

ออกเทนในน้ำมันเบนซิน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำมันเบนซินนั้นส่วนใหญ่จะประกอบด้วย เฮปเทน และออกเทน สารเหล่านี้เมื่อได้รับความร้อนจะสามารถลุกติดไฟได้ ถ้าทำให้น้ำมันระเหยแล้วเป็นไอแล้วผสมกับอากาศที่ถูกอัดด้วยกระบอกสูบและจุดประกายด้วยไฟจะทำให้เกิดการระเบิดได้ เนื่องจากไอโซเมอร์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำมันมันมีคุณสมบัติแตกต่างกัน จึงทำให้ไอโซเมอร์เหล่านั้นติดไฟไม่พร้อมกัน สารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นแบบโซ่ตรงจะติดไฟง่ายกว่าสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นแบบโซ่กิ่งเล็กน้อย สมมติว่าในน้ำมันประกอบด้วยนอร์มัลเฮปเทนเพียงอย่างเดียว เมื่อเกิดการเผาไหม้ในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จะเกิดการระเบิดเร็วเกินไป ทำให้เกิดการกระแทกก่อนจังหวะงานในกระบอกสูบ ซึ่งเรียกว่าการน็อกหรือการเคาะ ทำให้เครื่องยนต์เดินไม่เรียบ มีผลต่อชิ้นส่วนและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ สารไอโดคาร์บอนหนึ่งออกเทน ในโมเลกุลจะมีกิ่งเล็ก ๆ 3 กิ่งแยกจากโซ่คาร์บอน ดังในรูปที่ 2.14



**รูปที่ 2.14** แสดงโครงสร้างของไอโซออกเทน

ไอของไอโซออกเทนที่ผสมกับอากาศและถูกจุดระเบิดในเครื่องยนต์จะมีการระเบิดกว่าการใช้นอร์มัลเฮปเทน จึงมีการตั้งอัตราออกเทน (Octane Rating) สำหรับน้ำมันเบนซินเพื่อใช้เป็นหลักในการวัดคุณภาพในการติดไฟของน้ำมันเบนซิน หรือวัดปริมาณการน็อกของเครื่องยนต์ โดยให้อัตราของออกเทนนอร์มัลเฮปเทนมีค่าเท่ากับ 0 และให้อัตราออกเทนของไอโซออกเทนมีค่าเท่ากับ 100 ในการกำหนดอัตราออกเทนน้ำมันเบนซินชนิดใด ๆ ทำได้โดยการเปรียบเทียบการเผาไหม้ของน้ำมันเบนซินนั้น ๆ กับของผสมที่มีนอร์มัลเฮปเทนกับไอโซออกเทน เช่น น้ำมันเบนซินชนิดหนึ่งมีค่าอัตราออกเทน 85 หมายความว่าเมื่อการเผาไหม้น้ำมันเบนซินนั้นจะมีผลในการเผาไหม้เหมือนกับส่วนผสมของนอร์มัลเฮปเทน 15 เปอร์เซ็นต์ กัน ไอโซออกเทน 85 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันเบนซินที่มีค่าออกเทนสูงเหมาะที่จะใช้กับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) สูง

สารไฮโดรคาร์บอนบางตัวอาจจะทำให้เครื่องยนต์เกิดการน็อกยิ่งกว่านอร์มัลเฮปเทนก็มี หรือมีอัตราออกเทนติดลบ และสารไฮโดรคาร์บอนบางตัวก็มีประสิทธิภาพยิ่งกว่าไอโซออกเทน หรือมีอัตราออกเทนเกิน 100 การที่จะแยกเอาเฉพาะไอโซออกเทนมาใช้เป็นน้ำมัน

หอสมุดมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
107 ถนนรังสิต-นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120



เบนซินโดยไม่มีนอร์มัลเฮปเทนปนอยู่เลยนั้น ทำได้ยากและมีราคาแพงจึงมีการผสมสารบางอย่างลงไปในน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มค่าออกเทนซึ่งมีการทำอยู่หลายวิธี วิธีที่รู้จักกันดี คือ การเติมสารประกอบของตะกั่วที่เรียกว่า เตตระเอทิลเลด ( Tetra – Ethyl Lead ) ลงในน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มค่าออกเทน แต่การเติมสารนี้มีขีดจำกัด เนื่องจากสารนี้มีตะกั่วเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

ค่าออกเทนน้ำมันเบนซิน อัตราออกเทนมีหน่วยเป็นออกเทนนัมเบอร์หรือ ON เป็นตัวเลขที่แสดงถึงความสามารถในการต้านทานการน็อกในเครื่องยนต์เมื่อมีการเผาไหม้ เกิดขึ้น เช่น น้ำมันที่มีค่า ออกเทนนัมเบอร์ 95 (ON 95) คุณสมบัตินี้จะหาได้โดยเปรียบเทียบจากน้ำมันเชื้อเพลิงมาตรฐานที่มีส่วนประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์ 2 ชนิด คือ ไอโซออกเทนและนอร์มัลเฮปเทน โดยมีอัตราส่วนดังนี้

ไอโซออกเทน 95 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

นอร์มัลเฮปเทน 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ไอโซออกเทน ($C_8H_{18}$) เป็นเชื้อเพลิงบริสุทธิ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมัน มีคุณสมบัติในการต้านทานการน็อกดีที่สุด กำหนดให้มีค่าออกเทนเท่ากับ 100 สำหรับนอร์มัลเฮปเทน ($C_7H_{16}$) เป็นเชื้อเพลิงบริสุทธิ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันเช่นกัน แต่ไม่มีคุณสมบัติในการต้านทานการน็อกเลย จึงกำหนดให้มีค่าอัตราออกเทนเท่ากับ 0 ถ้าต้องการน้ำมันให้มีค่า ON เกิน 100 กระทำได้โดยการเติมสารเพิ่มคุณภาพ เช่น เตตระเอทิลเลด (TEL) และเตตระเมทิลเลด (TML)

เตตระเอทิลเลด (TEL) มีคุณสมบัติในการต้านทานการน็อกได้ดี มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสีเป็นอันตรายมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 392 องศาฟาเรนไฮต์ ความถ่วงจำเพาะ 1.62 TEL ผลิตได้จากการให้ความร้อนแก่เลดโซเดียมอัลลอยด์ ( Lead Sodium Alloy ) กับเอทิลคลอไรด์ ( Ethyl Chloride ) แล้วนำมาแยกเอา เตตระเอทิลเลด (TEL) ออกโดยการกลั่น การเติมสารเตตระเอทิลเลด (TEL) เพียงเล็กน้อยลงไปในน้ำมันเบนซินจะทำให้สามารถเพิ่มค่า ออกเทนนัมเบอร์ ON ให้สูงขึ้นได้ แต่ก็มีขีดจำกัดในการเติมคือ ต้องไม่เกิน 6 ลูกบาศก์เซนติเมตร / น้ำมัน 1 แกลลอน

ในการหาค่า ON ของน้ำมันเบนซินที่มีการเติม TEL สำหรับน้ำมันที่มีค่า ON เกิน 100 หาได้จากสมการที่ 2.1

$$ON = 100 + \frac{28.28T}{1.0 + 0.736T + 1.01.472T - 0.035216T} \qquad (2.1)$$

เมื่อ T คือปริมาณของเตตระเอทิลเลด (TEL) (cm / gal)

การเติมสารตะกั่วเป็นอันตราย จึงอาจเติมสารพวกเอทิลโบรไมด์ผสมลงไปในน้ำมันเมื่อเผาไหม้แล้วจะกลายเป็นตะกั่วโพรไมด์ปนออกมากับไอเสีย สารไฮโดรคาร์บอนที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญคือ เอทิลีนไดโบรไมด์ (Ethylene Dibromide) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 2 อะตอม คาร์บอนแต่ละอะตอมมีโบรมีนเกาะอยู่ตำแหน่งละ 1 อะตอม เอทิลีนไดโบรไมด์มีประโยชน์ในการใช้เติมลงไปในน้ำมันเบนซินที่มีเตตระเอทิลเลดเพื่อจำกัดสารตะกั่ว เนื่องจากอะตอมของตะกั่วในน้ำมันเบนซินที่เผาไหม้แล้วจะแยกตัวมาอยู่ในเครื่องยนต์และเป็นอันตรายต่อชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ แต่ถ้ามีเอทิลีนไดโบรไมด์อยู่ใกล้ ๆ อะตอมของตะกั่วจะรวมตัวกับอะตอมของโบรมีน กลายเป็นตะกั่วโบรไมด์ (Lead Bromide) ซึ่งอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ต้องสูงพอที่จะทำให้ตะกั่วโบรไมด์กลายเป็นไอได้ และถูกขับมาพร้อมกับไอเสีย จึงเป็นการกำจัดอะตอมของตะกั่ว

การหาค่าออกเทนของน้ำมันเบนซินโดยนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ CFR Engine จนได้ค่าอัตราส่วนการอัดสูงสุดแล้ว นำเชื้อเพลิงมาตรฐานมาทดสอบกับ CFR Engine ตามสภาพที่ได้ปรับแต่งไว้ขณะทดสอบกับน้ำมันเบนซินที่ต้องการหาค่าออกเทน เชื้อเพลิงมาตรฐานจะมีส่วนผสมของไอโซออกเทนกับนอร์มัลเฮปเทน ตัวอย่างเช่น ถ้าน้ำมันเบนซินที่นำมาทดสอบหาค่าออกเทนมีค่าตรงกับน้ำมันเชื้อเพลิงมาตรฐานที่มีส่วนผสมของไอโซออกเทน 95 เปอร์เซ็นต์กับนอร์มัลเฮปเทน 5 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าน้ำมันเบนซินที่นำมาทดสอบนั้นมีค่าออกเทนเท่ากับ 95

<u>น้ำมันดีเซล</u>

น้ำมันดีเซล (Diesel Fuel) เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ แต่จะมีช่วงจุดเดือดและความข้นใสสูงกว่าน้ำมันเบนซิน เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีมูลฐานการทำงานแตกต่างจากเครื่องยนต์เบนซิน การจุดระเบิดของเครื่องยนต์เดีเซลให้ความร้อนที่เกิดจากการอัดอากาศอย่างมากภายในกระบอกสูบ แล้วฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปเพื่อทำการเผาไหม้ไม่ใช่เป็นการจุดระเบิดจากหัวเทียนเหมือนในเครื่องยนต์เบนซิน เครื่องยนต์ดีเซลในสมัยแรก ๆ นั้นมีขนาดใหญ่โตมาก เพราะต้องการให้ทนความร้อนและแรงอัดสูง ๆ ได้ เครื่องยนต์ดีเซลสมัยก่อนก็นำไปใช้เป็นเครื่องต้นกำลัง เช่น ใช้เป็นต้นกำลังในการผลิตกระแสไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม และใช้ในเรือ ต่อมาได้มีการพัฒนาสร้างเครื่องยนต์ให้มีขนาดเล็กลงแต่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ใช้เป็นเครื่องต้นกำลังของเครื่องมือและอุปกรณ์หลายชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น รถไฟ รถบรรทุก รถแทร็กเตอร์ เรือประมง เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดีเซลให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่ใช้งานนั้น ๆ

ชนิดของน้ำมันดีเซล ดังได้กล่าวมาแล้วว่าเครื่องยนต์ดีเซลสามารถนำไปใช้งานได้หลายด้าน จึงมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดีเซลแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง ๆ สำหรับในบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ก็ได้แบ่งชนิดของน้ำมันดีเซลไว้หลายชนิด และก็มีหลายสถาบันที่ทำงานเกี่ยวกับด้านเชื้อเพลิงหรืองานด้านอุตสาหกรรมได้กำหนดเกรดน้ำมันดีเซลไว้หลายชนิดตามมาตรฐาน เช่น

1. ASTM ได้แบ่งเกรดของน้ำมันดีเซลออกเป็น 3 ชนิด คือ
   น้ำมันดีเซล No. 1-D
   น้ำมันดีเซล No. 2-D
   น้ำมันดีเซล No. 4-D
2. FS ( Federal Specification ) ได้แบ่งเกรดน้ำมันดีเซลออกเป็น 4 ชนิด คือ
   DF-A ( Arctic )
   DF-1 ( Winter )
   DF-2 ( Regular )
   DF-4 ( Heavy )
3. USBM ได้แบ่งน้ำมันดีเซลออกเป็น 4 เกรด คือ
   เกรด 1 ใช้สำหรับรถโดยสาร หรือรถและเครื่องยนต์ประเภทเดียวกับรถโดยสาร
   เกรด 2 ใช้สำหรับรถบรรทุก รถแทรกเตอร์ หรือเครื่องยนต์ประเภทนี้ทั่วไป
   เกรด 3 ใช้สำหรับรถไฟที่เครื่องยนต์ดีเซล
   เกรด 4 ใช้สำหรับเรือเดินทะเล หรือสำหรับโรงผลิตไฟฟ้า

สำหรับน้ำมันดีเซลที่ใช้อยู่ในประเทศไทยมีอยู่ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์รอบสูง ( Automotive Diesel Oil )
- น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำ ( Industrial Diesel Oil )

น้ำมันดีเซลที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายบริษัท เช่น ปตท. เอสโซ่ เชลล์ ฯลฯ ตัวอย่างน้ำมันที่เป็นของ ปตท. ได้แก่ High Speed Diesel, Diesel Fuel 49, Special Diesel Fuel Oil ของเอสโซ่ได้แก่ เอสโซ่ดีเซลหรือเอสโซ่เอดีโอ ( Esso Diesel หรือ Esso Automotive Diesel Oil ; ADO) หรือที่เรียกว่าโซล่า สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบเร็ว ซึ่งส่วนมากใช้กับยานยนต์เรือขนาดเล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และอุปกรณ์ก่อสร้างหรือจะใช้เผาไหม้ให้ความร้อนในงาน

อุตสาหกรรม หรือใช้ต้มน้ำร้อนในโรงแรมก็ได้ น้ำมันดีเซลมีสีเหลืองอ่อนในตัวเองโดยธรรมชาติ แสตนดีเซลหรือ IDO ( Standiesel หรือ Esso Industrial Oil ; IDO ) บางครั้งเรียกว่าน้ำมันขี้โล้ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบช้าและดีเซลรอบช้าและปานกลาง ซึ่งนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมและเรือขนาดใหญ่หรือใช้เผาไหม้ให้ความร้อนก็ได้เหมือนกัน น้ำมันชนิดนี้มีสีเข้มกว่าชนิด ADO เป็นต้น

**คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล**

คุณสมบัติที่สำคัญที่ควรคำนึงถึงของน้ำมันดีเซลมีดังนี้คือ

1. การติดไฟ( Ignition Quality ) คุณสมบัติในการติดไฟของน้ำมันดีเซล จะแสดงถึงในการติดเครื่องยนต์ได้เร็วเมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำการป้องกันการน็อกในเครื่องยนต์ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบ การเผาไหม้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง คุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้อาจแสดงออกมาเป็นค่าดัชนีซีเทน หรือค่าจากซีเทนนัมเบอร์ ( CN )

2. ความสะอาด ( Cleanliness ) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญ น้ำมันดีเซลจะต้องมีความสะอาดทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ เช่น จะต้องมีตะกอน น้ำ กากถ่าน หรือเขม่าน้อยที่สุดที่จะทำได้สำหรับน้ำมันดีเซลเนื่องจากระบบเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องใช้ปั๊มและหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

3. การกระจายเป็นฝอย ( Fluidity – Automization ) คุณสมบัติอันนี้อยู่ที่ความหนืดหรือความข้นใสของน้ำมันดีเซล ความหนืดที่พอเหมาะจะทำให้การกระจายเป็นฝอยได้ดี ในขณะที่หัวฉีดได้ฉีดน้ำมันในช่วงเริ่มการเผาไหม้ และความหนืดของน้ำมันดีเซลมีผลต่อระบบปั๊มของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย เพราะน้ำมันจะทำหน้าที่หล่อลื่นลูกสูบปั๊ม ( Plunger ) ไปในตัวด้วย

4. การระเหยตัว ( Volatility ) ความสามารถในการระเหยตัวของน้ำมันจะมีผลต่อจุดเดือด ( Boiling Point ) จุดวาบไฟ ( Flash Point ) และจุดติดไฟ ( Fire Point ) ของน้ำมันดีเซลด้วยช่วงจุดเดือดของน้ำมันดีเซลทั่วไปมีค่าประมาณ 280 – 725 องศาฟาเรนไฮต์ ( 138-185 องศาเซลเซียส )

5. อัตราซีเทน ( Cetane Number ) จะแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลขหรือที่เรียกว่าซีเทนนัมเบอร์ ( CN ) ซีเทนนัมเบอร์ควรให้สูงพอกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งจะทำให้การติดเครื่องง่าย ไม่เกิดการน็อกในเครื่องยนต์ และเป็นการประหยัดการใช้เชื้อเพลิงด้วย

**ขบวนการเผาไหม้และสมการทางเคมี**

ขบวนการเผาไหม้ คือ การเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง อาจเป็นเชื้อเพลิงแข็ง เหลว หรือก๊าซก็ได้หลังจากการเผาไหม้แล้ว ก็คือพลังงานความร้อนออกมา ซึ่งอาจนำไปแปลงเป็นพลังงานรูปอื่นตามต้องการได้ในกระบวนการสันดาป ต้องการหาวิธีที่ทำได้ง่าย และหลังสันดาปแล้วให้พลังงานมากและสามารถควบคุมพลังงานนั้นได้ด้วย

ในการสันดาปนั้น เป็นการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของสารขึ้น ซึ่งมี 2 แบบ คือ

Exothermic Reaction คือ การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแล้วมีการคายหรือจ่ายพลังงานออกจากกระบวนการ

Endothermic Reaction คือ การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีโดยมีการดูดพลังงานความร้อนเข้าไปเพื่อทำปฏิกิริยา

อากาศ ในการเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงนั้น จำเป็นต้องมีออกซิเจนเข้าช่วยในการทำปฏิกิริยา ออกซิเจนที่นำมาใช้ในกระบวนการก็มักจะเป็นออกซิเจนอากาศธรรมในอากาศทั่วไปนั้นนอกจากจะมีออกซิเจนแล้ว ยังมีสารอื่นปนอยู่ด้วย คือ ไนโตรเจน อาร์กอน ฮีเลียม คริปทอน ซีนอน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ แต่ส่วนผสมส่วนใหญ่จะเป็น $O_2$ และ $N_2$ ส่วนสารอื่น ๆ ดังกล่าวข้างต้นนั้นมีน้อยมาก

สมการของการเผาไหม้ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงก็ใช้ปฏิกิริยาเคมีธรรมดา โดยเขียนสมการเคมีขึ้นแล้วก็ Balance สมการให้เกิดการสมดุลกัน เช่น

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

$$CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

$$C_6H_{14} + O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 7H_2O$$

ถ้าใช้อากาศ ก็เขียนได้ดังนี้

| | เชื้อเพลิง | | อากาศ | | ไอเสีย |
|---|---|---|---|---|---|
| | C | $+ O_2$ | $+ 3.76\ N_2$ | $\rightarrow$ | $CO_2 + 3.76\ N_2$ |
| โดยจำนวนโมล | 1 | 1 | 3.76 | | 1 3.76 |
| โดยน้ำหนัก | 12 | 32 | 3.76 (28) | | (12+32) + 3.76 (28) |

หลังจากสมดุลย์ สมการแล้ว จะเห็นว่า ถ้าใช้ C 1 mol จะต้องใช้อากาศ คือ $O_2$ 1 โมล + $N_2$ 3.76 โมล และทำให้เกิดไอเสีย คือ $CO_2$ 1 โมล + $N_2$ 3.76 โมล

อาจจะคิดโดยน้ำหนักได้โดยเอาน้ำหนักโมเลกุลของสารนั้นคูณเข้ากับจำนวนโมล เช่น C 1 โมล มีน้ำหนัก โมล = 12 C = 12 × 1 = 12

ทำนองเดียวกันอากาศที่ใช้มีน้ำหนัก = 32 + 3.76 โมล / อากาศ

อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง $\frac{32+3.67(28)}{12}=\frac{11.5}{1}$ kg อากาศ/kg เชื้อเพลิง

หมายความว่าถ้าใช้เชื้อเพลิง 1 kg ก็ต้องใช้อากาศ 11.5 kg โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมของอากาศ

| สาร | มวล | ปริมาตร |
|---|---|---|
| $N_2$ | 75.53 | 78.09 |
| $O_2$ | 23.14 | 20.95 |
| $CO_2$ | 0.05 | 0.03 |
| Ar | 1.28 | 0.93 |

ในกระบวนการเผาไหม้ จะใช้อากาศโดยตรงเข้าไปช่วยในการเผาไหม้โดยไม่แยก $N_2$ ออกด้วยเหตุที่ $N_2$ เป็นก๊าซเฉื่อย ไม่เกิดปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง แต่ก็มีผลเสีย คือ ทำให้เกิดปฏิกิริยาช้าลงเนื่องจากกีดขวางทางในการทำปฏิกิริยาทางเชื้อเพลิงกับ $O_2$ นอกจากนั้น $N_2$

อย่างไรก็ดี ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในอุปกรณ์ที่ใช้ในปัจจุบัน เราก็ไม่ต้องการทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วและไม่ต้องการให้อุณหภูมิสูงเกินไป เพราะจะทำให้การควบคุมพลังงานที่ได้ยากแล้วอุณหภูมิสูง ยังจะทำให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เป็นโลหะเกิดการเสียหายได้ จึงเป็นการเหมาะสมที่จะใช้อากาศธรรมดาเข้าไปช่วยในการสันดาปของเชื้อเพลิง

อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะคิดเฉพาะ $N_2 : O_2$

อัตราส่วนโดยปริมาตร 79 : 21

อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 77 : 23

$\frac{N_2}{O_2}$ โดยปริมาตร $\frac{79}{21}=3.7$

สามารถเขียนสมการอากาศได้ = $O_2 + 3.76\ N_2$

ตารางที่ 2.2 น้ำหนักโมลของสารต่าง ๆ

| สาร | สัญลักษณ์ | น้ำหนักโมล |
|---|---|---|
| คาร์บอน | C | 12 |
| ออกซิเจน | $O_2$ | 32 |
| ไฮโดรเจน | $H_2$ | 2 |
| ไนโตรเจน | $N_2$ | 28 |
| คาร์บอนมอนอกไซด์ | CO | 28 |
| คาร์บอนไดออกไซด์ | $CO_2$ | 44 |
| ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ | $SO_2$ | 64 |
| มีเทน | $CH_2$ | 16 |
| ไอน้ำ | $H_2O$ | 18 |

ดังที่ทราบกันว่าประเทศไทยมีก๊าซธรรมชาติ และจะเริ่มใช้โดยตรงในโรงไฟฟ้าในปี 2534 และจะแยกแก๊ส LPG (Liquid – Fied Petroleum Gas) ออกมาในเร็ว ๆ นี้ LPG เป็นเชื้อเพลิงที่น่าสนใจสำหรับใช้แทน Gasoline ได้ นอกจากนั้น ยังมีข้อดี คือ ก๊าซเหล่านี้สามารถผสมกับอากาศได้ดีกว่า Gasoline มีการกระจายที่ดีกว่าและเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เกิด Droplets ใช้ A/F ratio สูง ๆ ได้ ซึ่งจะลดค่า HC และ CO จากท่อไอเสีย HC ที่เหลือจะเป็น Saturated Chain Hydro ดังนั้น จะมีค่า Reactivity ต่ำในบรรยากาศ และเมื่อใช้ A-F สูงสามารถจะลดค่า $NO_x$ ได้ด้วย ในการใช้ก๊าซ LPG, LNG หรือ CNG จะต้องปรับปรุงเครื่องยนต์ และติดตั้งอุปกรณ์เพิ่ม

หลักการวิเคราะห์ไอเสียของเครื่องยนต์

เชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์เบนซินจะเป็นน้ำมันเบนซินหรือก๊าซหุงต้มก็ได้ซึ่งเชื้อเพลิงจะถูกดูดเข้าไปในคาร์บูเรเตอร์ผสมกับอากาศเป็นอย่างดีแล้วจึงแจกจ่ายไปยังห้องเผาไหม้ในกระบวนการเผาไหม้คาร์บอนไดออกไซด์ $CO_2$ และน้ำ $H_2O$ จะเกิดขึ้นแน่ แต่เนื่องจากอากาศมีปริมาณไนโตรเจน $N_2$ อยู่ด้วยร้อยละ 79 ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงก็อาจจะทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ $NO_x$ ได้ ( ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไนโตรเจนออกไซด์ NO และไนโตรเจนไดออกไซด์ $NO_2$) ก็อาจจะเกิดได้เนื่องจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ แต่ถ้าได้ออกซิเจน $O_2$ เพิ่มขึ้น ก็จะเปลี่ยน

เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ $CO_2$ ต่อไป ในขณะเดียวกันไฮโดรคาร์บอน HC ก็อาจเกิดขึ้นได้หากการสันดาปไม่สมบูรณ์ และจะปล่อยออกมาในจังหวะคาย ดังนั้น ไอเสียจะมีส่วนประกอบต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการเผาไหม้และแฟคเตอร์อื่นๆที่สัมพันธ์กันส่วนประกอบไอเสียในขณะที่มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงพอดี (Stoichiometric) และเผาไหม้ตามปกตินั้นอาจเป็นไปตามตารางข้างล่าง

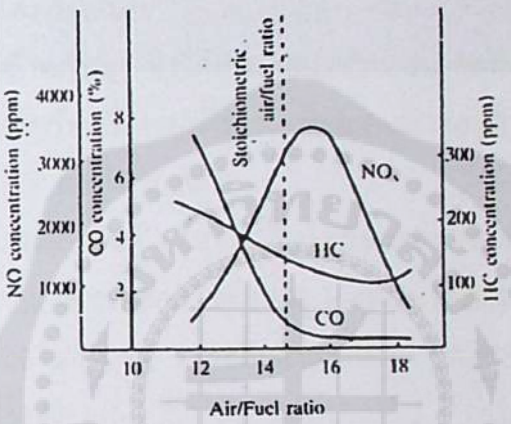
**ตารางที่ 2.3** ส่วนประกอบไอเสียเมื่อมีอัตราการส่งอากาศต่อเชื้อเพลิงพอดี

| ส่วนประกอบ | ปริมาณ % |
|---|---|
| $N_2$ | 83.5 |
| $O_2$ ( รวม argon ด้วย ) | 22.2 |
| $CO_2$ | 13.0 |
| $H_2$ | 0.23 |
| CO | 0.97 |
| HC | 205 ppm |
| NO | 2900 ppm |
| $NO_2$ | 18 ppm |

หมายเหตุ
1. เชื้อเพลิงเบนซินมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 14.7
2. ค่าต่าง ๆ ไม่รวมความชื้นและน้ำ
3. 1% = 10,000 ppm

1. คาร์บอนมอนอกไซด์ ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ CO ในสภาวะสมดุลย์ สภาวะสมดุลย์ คือ อุณหภูมิของความดันคงที่ขณะหนึ่ง ๆ จะลดลงอย่างรวดเร็วหากเพิ่มอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงและอุณหภูมิของก๊าซที่เผาไหม้ก็จะลดลงด้วยและหากปฏิกิริยาทางเคมีสมดุลย์ความเข้มข้นของที่อุณหภูมิของไอเสียจะต่ำเมื่อมีส่วนผสมบางและจะมีปริมาณออกซิเจน $O_2$ เหลือเฟือ แต่ในความเป็นจริงแล้ว ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ CO ไม่เป็นไปตามภาวะสมดุลย์คาร์บอนมอนอกไซด์ CO จะเข้มข้นกว่าทำให้อุณหภูมิและความดันของไอเสียไม่เป็นไปตามอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของคาร์บอนมอนอกไซด์ CO หยุดไปเฉย ๆ จึงทำให้เกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ CO เข้มข้นมากในจังหวะคายกระบอกสูบ

ความเข้มของคาร์บอนมอนอกไซด์ CO ในไอเสียเกือบจะเป็นผลโดยตรงจากอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ( เบนซิน ) น้อยกว่า 16 ความเข้มข้นคาร์บอนมอนนอกไซด์ ( CO ) จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ( รูปที่ 2.15 ) และหากส่วนผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกันดีหรือระบบหล่อเย็นทำให้การเผาไหม้หยุดชะงักจะทำให้ความเข้มข้นคาร์บอนมอนนอกไซด์ ( CO ) เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงต้องจัดค่าของอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงที่เหมาะสม




**รูปที่ 2.15** แสดงความเข้มข้นของสารมลพิษที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่าง ๆ

2. ไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูง ความเร็วในการทำปฏิกิริยาของไฮโดรคาร์บอน HC จะเร็วมากโดยทั่วไปเชื่อว่าไฮโดรคาร์บอน HC ที่เกิดในไอเสียเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์โดยเฉพาะส่วนผสมหนา สาเหตุของไฮโดรคาร์บอน HC ที่ไม่เผาไหม้นั้น ค่อนข้างยุ่งยาก ธรรมดาผนังห้องเผาไหม้จะมีอุณหภูมิต่ำ และเปลวจะไม่ลามไปที่ที่มีส่วนผสมน้อย ( ตรงบริเวณผนังห้องเผาไหม้ ) ดังนั้นส่วนผสมตรงนั้นจะไม่เผาไหม้เลย ยังคงเป็นไฮโดรคาร์บอน HC อยู่และเคลื่อนที่ออกจากผนังในจังหวะคายและผสมกับก๊าซที่เผาไหม้แล้วที่อุณหภูมิสูงและหากมีปริมาณออกซิเจน $O_2$ เหลือมาก จะเห็นว่าขังเผาไหม้ได้ต่อไป และหากอุณหภูมิไอเสียสูง การเผาไหม้อาจเผาไปเรื่อย ๆ จนวาล์วไอเสียเปิดแล้วเผาต่อไปในท่อไอเสีย อย่างไรก็ดีปริมาณไฮโดรคาร์บอน HC จะเพิ่มหากอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงลดลงเพราะปริมาณ $O_2$ ช่วยในการเผาไหม้ไม่พอ

ความหนาของส่วนผสมที่ติดผนังห้องเผาไหม้ (Flame Extinguishing Bed) จะน้อยมากหากส่วนผสมหนาเล็กน้อย ( มากกว่าที่ Stoichiometric) และความหนาจะเพิ่มขึ้นเมื่อส่วนผสมหนากว่าหรือบางกว่า ยิ่งกว่านั้น ความหนาของส่วนผสมที่ติดผนังยังเป็นอัตราส่วนกลับ

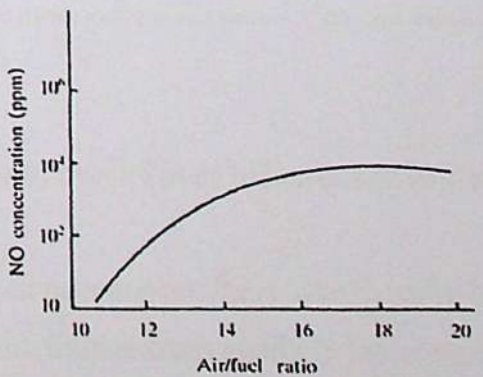
กับความดัน หากอัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาณของห้องเผาไหม้สูง อัตราการไหลของส่วนผสมเข้าผนังจะมากขึ้น และจะสูญเสียความร้อนไป เป็นผลให้อุณหภูมิของก๊าซที่เผาไหม้ลดลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอน HC เพิ่มขึ้น การหยุดลามของเปลวตามช่วงที่ติดผนังห้องเผาไหม้ทั้งด้านข้างและด้านบนของลูกสูบเป็นสาเหตุของการเกิดไฮโดรคาร์บอน HC ทั้งสิ้น

ในกรณีของส่วนผสมบางมาก การลามของเปลวไฟช้า การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์แม้ว่าวาล์วไอเสียจะเปิดแล้ว ดังนั้นการเดินเครื่องในขณะที่ส่วนผสมบางมาก ๆ จะทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน (HC)มากนอกจากว่าหากค่าส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันดีมากจะมีการเผาไหม้ที่ดีขึ้นลดไฮโดรคาร์บอน( HC ) ลงไปได้บ้าง

ปริมาณของก๊าซค้างสูง ทำให้ส่วนผสมแปรปรวน จะทำให้เปลวไฟอาจจะไม่ลามต่อไปในเครื่องยนต์สองจังหวะหรือเครื่องยนต์โรตารี่ขณะความเร็วรอบต่ำ ในจังหวะคาย จะมีปริมาณ ไฮโดรคาร์บอน( HC ) มากในไอเสีย

3. ไนโตรเจนออกไซด์ ( $NO_x$ ) ไนโตรเจนออกไซด์จากเครื่องยนต์เบนซินส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบของไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) และไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ ) เล็กน้อย และหากไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) ถูกปล่อยออกไปในอากาศ จะทำปฏิกิริยาต่อไปทันทีเป็นไน-โตรเจนไดออกไซด์ ( $NO_2$ )

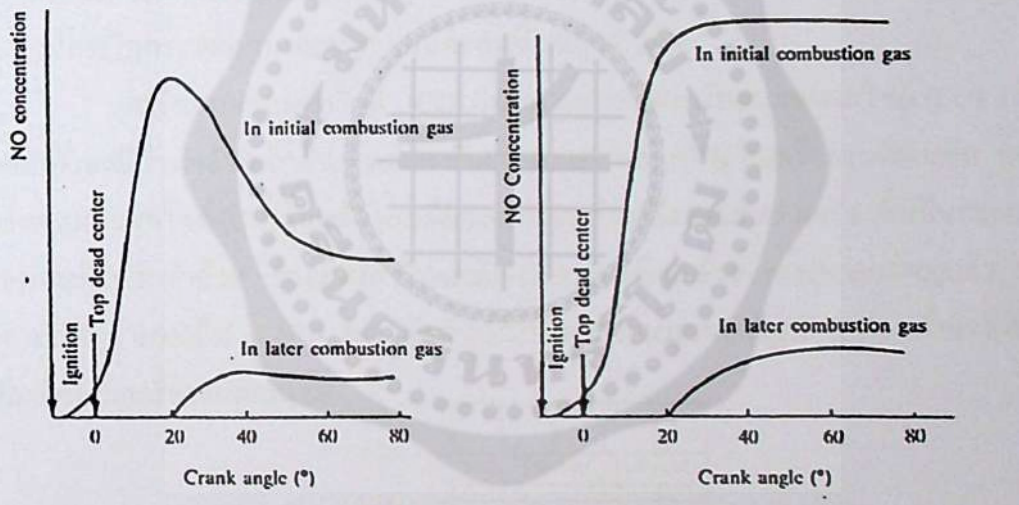
ความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) ในไอเสียขึ้นโดยตรงกับอุณหภูมิสูงสุดของการสันดาปและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) ที่ภาวะสมดุลระหว่างการเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่นั้นจะสูงสุดที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (เบนซิน) = 18 ไม่รวมการสูญเสียความร้อนไป ( รูปที่ 2.16 )




<u>รูปที่ 2.16</u> แสดงความเข้มของไนโตรเจนออกไซด์ NO ที่ภาวะสมดุลเผาไหม้เมื่อปริมาตรคงที่

หากใช้ส่วนผสมหนาจะเห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) ลดลงเร็วมาก ความเข้มข้นของ NO ในไอเสียเครื่องยนต์จริงจะสูงกว่ามากไม่เป็นไปตามภาวะสมดุล เป็นผลกระทบต่ออุณหภูมิความดันระหว่างจังหวะคายด้วย ความเร็วของการทำปฏิกิริยาของไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) จะช้ามาก

การเกิดไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) ในเครื่องยนต์ เนื่องจากส่วนผสมบางอยู่ในภาวะอุณหภูมิสูงนานเกินไปไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) เกิดขึ้นเรื่อย ๆ ในก๊าซที่เผาไหม้แล้วจนถึงขีดสูงสุดของความเข้มข้นในภาวะสมดุล หลังจากนั้นไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) จะแตกตัวในจังหวะคาย ความเข้มข้นจะลดลงไปเล็กน้อยอย่างไรก็ดี การแตกตัวของไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) ช้ามาก ความเข้มข้นลดลงน้อยมากเทียบกับอุณหภูมิที่ลดลง ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) ที่ออกในไอเสียจึงสูง ( รูปที่ 2.17 )




(1) Rich mixture (in the vicinity of 12 air/fuel ratio) (2) Lean mixture (in the vicinity of 18 air/fuel ratio)

**<u>รูปที่ 2.17</u>** แสดงความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ NO แปรตามเวลา

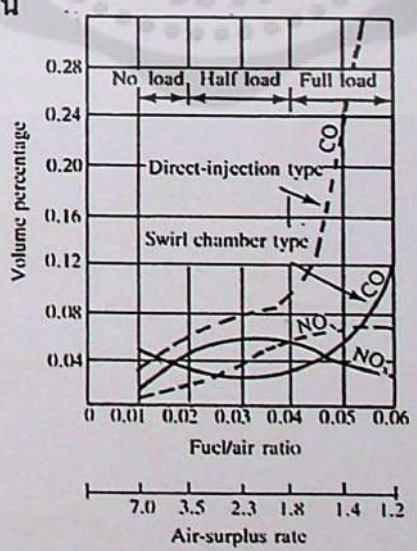
ในกรณีของส่วนผสมบางจะเห็นว่า เมื่อปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) ขึ้นสูงสุดแล้วจะไม่ลดลงอีกต่อไปทั้งนี้เนื่องจากหลังจากเกิดไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) แล้ว ความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) ไม่เป็นไปตามอุณหภูมิแล้ว และไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) แตกตัวช้ามาก เลยทำให้ความเข้มข้นไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) คงที่ตลอด

สำหรับส่วนผสมบางส่วนที่เผาไหม้ที่หลังนั้น เนื่องจากอุณหภูมิของการสันดาปลดลงแล้วและเวลาของแก๊สก็อยู่ในห้องเผาไหม้ไม่นาน ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) จากแก๊สส่วนหลังจึงน้อยมาก กระบวนการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) ในห้องเผาไหม้นั้น ยังต้องศึกษาทำวิจัยอีกมากกระบวนการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) บางส่วนยังไม่สามารถอธิบายได้ ที่มาแล้วจะพิสูจน์ได้คือความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ ( NO ) ในภาวะสมดุลเท่านั้น

<u>ไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซล</u>

ในเครื่องยนต์ดีเซลสารมลพิษจากเครื่องยนต์ที่มีปริมาณมากที่สุดจากไอเสียคือไนโตรเจนออกไซด์ ( $NO_x$ )และอนุภาคของเขม่า ( ควันดำ ) มีไฮโดรคาร์บอน HC และคาร์บอนมอนนอกไซด์ ( CO ) บ้าง แล้วแต่กรณี นอกจากนั้นภาวะมลพิษที่ถือว่าร้ายแรงอีกคือกลิ่นและเสียง และแอลดีไฮด์ จะเห็นว่าแตกต่างจากเครื่องยนต์เบนซิน ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการทำงานการสันดาปภายในกระบอกสูบ และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงต่างกัน

คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) กระบวนการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในเครื่องยนต์ดีเซลมีส่วนคล้ายคลึงกับการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในเครื่องยนต์เบนซิน กล่าวคือคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในเครื่องยนต์ดีเซลมีส่วนคล้ายคลึงลดอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกระบวนการของการเกิดควันดำด้วย ธรรมดาทั่วไปจะเดินเครื่องยนต์ดีเซลด้วยอากาศมากกว่าอยู่แล้ว คืออัตราการให้อากาศจะเป็น 1.2-10 เท่า ดังนั้นปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เกิดจึงน้อยมากเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์เบนซิน




**<u>รูปที่ 2.18</u>** แสดงการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ ( CO ) และไนโตรเจนออกไซด์ ( $NO_x$ ) ต่ออัตราการให้อากาศ

ไฮโดรคาร์บอน (HC) เครื่องยนต์ดีเซลจะปล่อยไฮโดรคาร์บอน (HC) ออกมาน้อยมากด้วยเหตุผลเดียวกับการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ ( CO ) แต่ปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) จะเพิ่มด้วยเหตุอื่นอีก คือ

ก. ส่วนผสมของอากาศ และเชื้อเพลิงที่หนาจะสัมผัสผนังเสื้อสูบที่อุณหภูมิต่ำซึ่งเหตุให้เกิด HC ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจน( $O_2$ )และไม่เกิดการเผาไหม้เลย

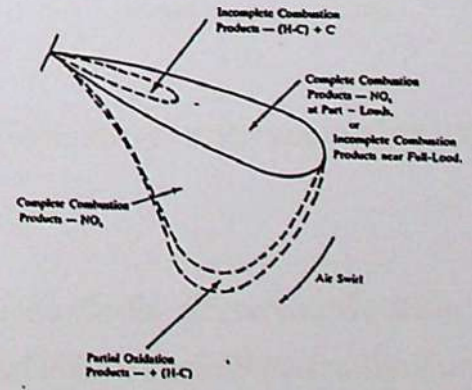
ข. หากส่วนผสมบางมากเกินไปเปลวไฟจะดับ ทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน(HC) มาก

ค. น้ำมันเหลือหลังหัวฉีดฉีดแล้ว ส่วนที่เหลือเป็นหยดนี้ไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้ ทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน (HC)

ง. เชื้อเพลิงหล่อลื่นในเสื้อสูบและกระบอกสูบเผาไหม้ไม่หมด จะทำให้เกิด HC

ไนโตรเจนออกไซด์ ( $NO_x$ ) การเกิดไนโตรเจนออกไซด์ ( $NO_x$ ) ก็เกิดทำนองเดียวกับเครื่องยนต์เบนซินเป็นการยากที่จะบอกว่าไนโตรเจนออกไซด์ ( $NO_x$) เกิดมากน้อยเท่าไร และเกิดจากที่ไหนในกระบอกสูบ เนื่องจากอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงกับอุณหภูมินั้นเปลี่ยนแปรตามกันอย่างซับซ้อนมาก ระหว่างช่องของการเกิดการสันดาปในกระบอกสูบที่มีออกซิเจน( $O_2$ )มาก จะเป็นการสันดาปที่ดี การเผาไหม้จะสมบูรณ์และรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิสูงมาก และอุณหภูมิจะสูงอยู่ ไนโตรเจนออกไซด์ ( $NO_x$) จะเกิดในช่องนี้มาก

ควันดำ แกนกลางของลำน้ำมันที่ฉีดเข้ากระบอกสูบ แยกกระจายออกไปได้ยาก และมีความหนาแน่นสูง เมื่อแกนน้ำมันนี้ปะทะอุณหภูมิสูงในกระบอกสูบและขาดออกซิเจน ( $O_2$ ) ช่วยในการสันดาปเนื่องจากออกซิเจน ( $O_2$ ) ถูกใช้หมดไปแล้ว จะทำให้เกิดละอองคาร์บอนขึ้นเป็นผลให้เกิดควันดำ




<u>รูปที่ 2.19</u> แสดงการก่อตัวของสารมลพิษในลำน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในอากาศหมุนวน

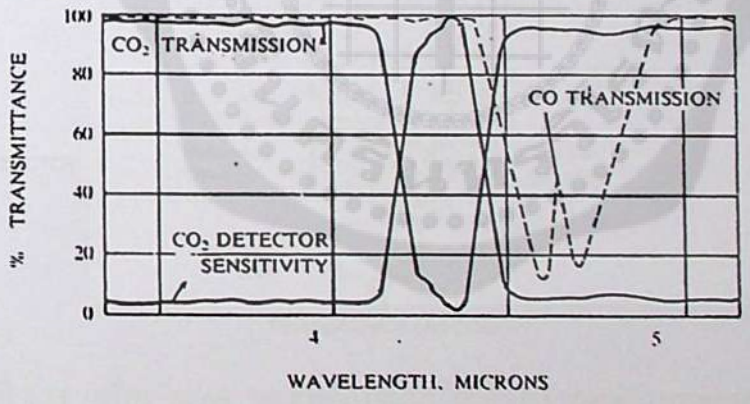
**อุปกรณ์วัดมลพิษ**

**เครื่อง NON – DISPERSIVE INFRARED ANALYZER (NDIR)**

เครื่อง NDIR นี้ใช้ในการวัดความเข้มข้นของ CO และ NC ในก๊าซไอเสียรถยนต์ปล่อยออกมาจากท่อไอเสีย

หลักการทำงาน

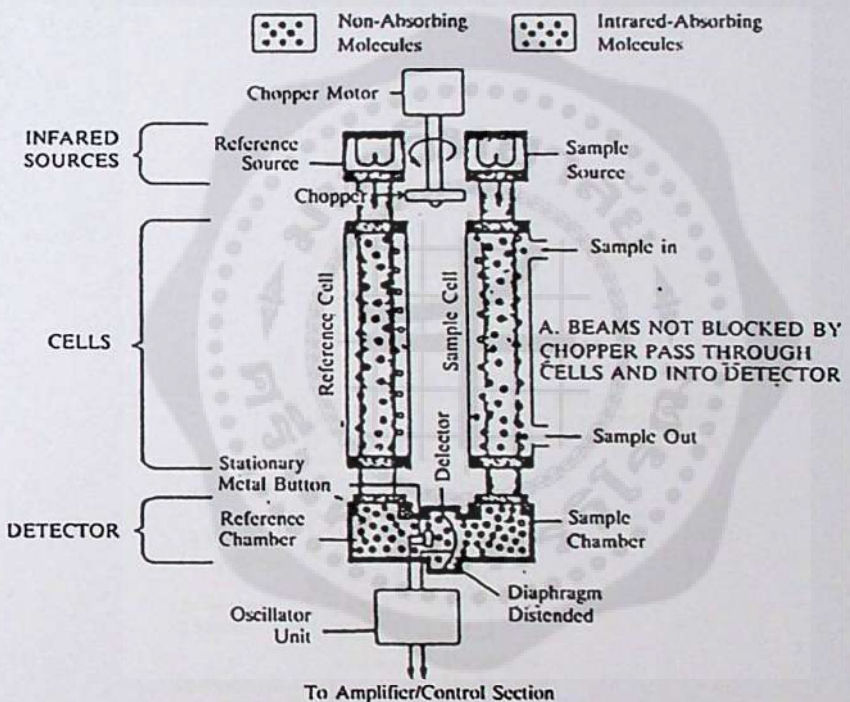
ใช้หลักการที่ว่ารังสีอินฟราเรด (Infrared) จะถูกดูดกลืนโดยสารต่างชนิดกันได้ไม่เท่ากันสารต่างชนิดกันจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างกันดังเช่นคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) จะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 4 ถึง 4.5 ไมครอน และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 4.5 ถึง 5 ไมครอน




**รูปที่ 2.20** การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด ($CO_2$)

การทำงานของเครื่องมือ ลักษณะของเครื่องมือวัด จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.21 ซึ่งจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดซึ่งมีลักษณะเหมือนกันสองอัน แหล่งกำเนิดรังสีนี้จะฉายรังสีอินฟราเรดผ่านหลอดซึ่งบรรจุก๊าซไว้ โดยแหล่งกำเนิดแต่ละอันจะฉายรังสีอินฟราเรดผ่าน

หลอดแต่ละหลอดแยกกันโดยเด็ดขาด หลอดหนึ่งจะบรรจุก๊าซเฉื่อยไว้ ซึ่งก๊าซเฉื่อยนี้จะไม่ดูดกลืนรังสีอินฟราเรดซึ่งหลอดนี้เรียกว่าหลอดอ้างอิง (Reference Cell) ส่วนหลอดอีกหลอดหนึ่งซึ่งแสงอินฟราเรดฉายผ่านนั้นจะปล่อยให้แก๊สไอเสียที่ต้องการวิเคราะห์ไหลผ่าน แก๊สไอเสียที่จะถูกวิเคราะห์นั้นเรียกว่า ก๊าซตัวอย่าง ดังนั้นหลอดนี้จึงถูกเรียกว่า หลอดตัวอย่าง (Sample Cell) หลังจากที่รังสีอินฟราเรดได้ฉายผ่านหลอดทั้งสองแล้ว รังสีที่ผ่านออกไปจะถูกตรวจจับโดยตัวตรวจจับ (Detector) ซึ่งได้ติดตั้งไว้ที่ปากทางออกของหลอดทั้งสอง ที่ตัวตรวจจับนี้ภายในจะเป็นห้อง (Chamber) ส่วนที่รับแสงอินฟราเรดจากหลอดอ้างอิงจะเรียกว่าห้องอ้างอิง (Reference Chamber) และส่วนที่รับแสงอินฟราเรดจากหลอดตัวอย่างเรียกว่า

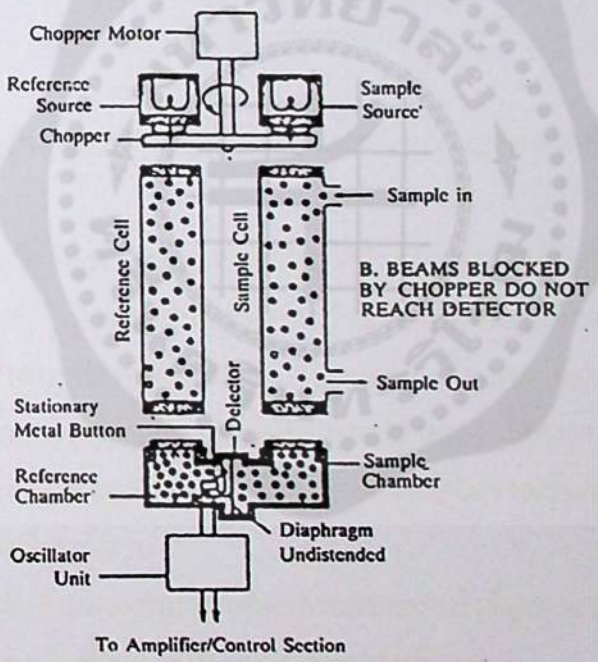



**รูปที่ 2.21** เครื่อง NDIR ขณะที่มีการฉายรังสีอินฟราเรดผ่านหลอดบรรจุก๊าซ

ห้องตัวอย่าง (Sample Chamber) ห้องสองห้องนี้มีลักษณะเหมือนกันทุกอย่าง และถูกแยกออกจากกันด้วยแผ่นบาง ๆ ซึ่งยืดหยุ่นได้ แผ่นบางนี้เรียกว่า แผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm) ที่ห้องอ้างอิงและห้องตัวอย่างจะถูกบรรจุไว้ด้วยก๊าซซึ่งสามารถจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดไว้ได้

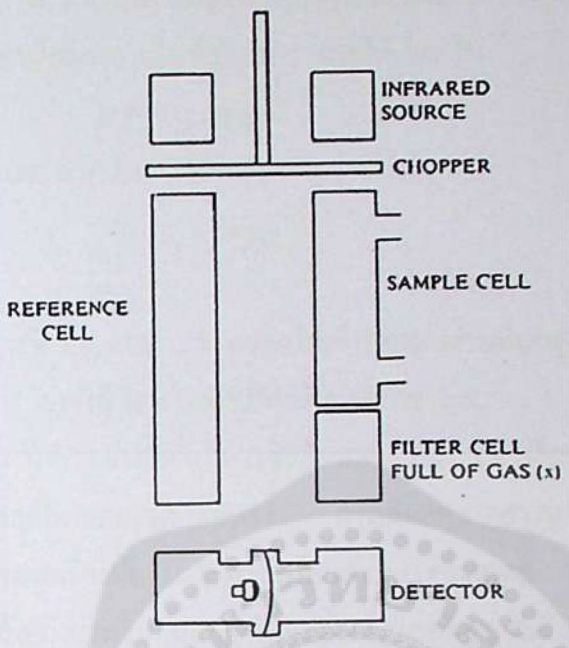
เมื่อรังสีอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดฉายผ่านหลอดทั้งสองซึ่งในหลอดทั้งสองได้บรรจุก๊าซไว้เรียบร้อยแล้ว แสงอินฟราเรดที่ออกจากหลอดทั้งสองมีปริมาณที่ไม่เท่ากัน ถ้าในหลอดตัวอย่าง มีสารที่ต้องการวัดความเข้มข้นอยู่ เนื่องจากสารตัวอย่างจะทำการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดไป ปริมาณมากน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของสารนั้น ดังนั้น แสงอินฟราเรดที่ออกจาก

หลอดอ้างอิงจึงมีปริมาณมากกว่าแสงอินฟราเรดที่ออกจากหลอดตัวอย่าง จึงทำให้อุณหภูมิในห้องตัวอย่างต่ำกว่าอุณหภูมิในห้องอ้างอิง ดังนั้น ความดันในห้องอ้างอิงจึงสูงกว่าความดันในห้องตัวอย่างด้วย และที่แผ่นไดอะแฟรมได้ติดตั้งปุ่มโลหะไว้ด้วย แต่ปุ่มโลหะนี้จะอยู่กับที่ไม่เคลื่อนย้ายไปไหน แต่แผ่นไดอะแฟรมจะขยืดออกตามความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นจึงทำให้เกิดระยะแตกต่างขึ้นระหว่างแผ่นไดอะแฟรมและปุ่มโลหะ ระยะห่างที่แตกต่างกันเมื่อความดันที่แต่ละความดันนี้ จะให้ค่าความจุทางไฟฟ้า (Capacitance) ต่างกันด้วย และจากค่าคาปาซีแตนซ์หรือค่าความจุที่ได้นี้ เราสามารถใช้แทนค่าความเข้มข้นของสารตัวที่ต้องการวัดได้ แต่ในการทำงานจริง ๆ นั้น จะต้องทำให้ค่าความจุที่ปรากฏออกมานี้เป็นสัญญาณแบบสลับ (Alternative Signal) เสียก่อน เพื่อจะนำไปเข้าเครื่องขยายสัญญาณได้ การจะทำให้สัญญาณกลายเป็นสัญญาณสลับก็สามารถทำได้โดยติดตั้งใบพัด




<u>รูปที่ 2.22</u> เครื่อง NDIR ขณะที่ใบพัดตัดลำแสงอินฟราเรดไม่ให้ฉายเข้าไปในหลอดบรรจุก๊าซ

เพื่อเอาไว้ตัดลำแสงอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดทั้งสองอันไม่ให้ฉายเข้าไปในหลอดทั้งสองหลอด อุณหภูมิและความดันในห้องของตัวตรวจจับก็จะลดลงสู่สภาวะเหมือนไม่มีสารอะไรในหลอดทั้งสองหลอด ค่าความจุก็จะแสดงตามนั้น แล้วใบพัดก็จะหมุนปล่อยลำแสงอินฟราเรดฉายตามปกติอีก สัญญาณความจุก็จะเพิ่มขึ้น ใบพัดนี้จะต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้า ทำให้มันหมุนอยู่เช่นนี้ตลอด การวัดสัญญาณความจุที่ได้ จึงได้ออกมาเป็นสัญญาณสลับ




**รูปที่ 2.23** เครื่อง NDIR ที่ติดตั้งตัวกรอง เพื่อลดการรบกวนจากก๊าซอื่น

การปรับแต่ง การปรับแต่งสามารถทำได้โดยทำการผ่านก๊าซซึ่งทราบความเข้มข้นเข้าไปที่หลอดตัวอย่าง แล้วจึงทำการปรับสเกลและปรับศูนย์ได้ด้วยแก๊สที่ทราบความเข้มข้นร่วมด้วยมิเตอร์ก็จะสามารถสร้างกราฟสำหรับปรับแต่ง (Calibration Curve) ขึ้นมาได้ ในทางปฏิบัติกราฟจะถูกเขียนระหว่างจุดสองจุดและจะสมมติว่าเป็นกราฟเส้นตรง โดยการ Interpotation แบบเส้นตรง ความยาวของหลอดจะถูกเลือก ดังนั้นสเกลจะอยู่ในช่วงเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างเข้มข้นและการดูดกลืนพลังงาน

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ตกกระทบและพลังที่ถูกดูดกลืน ความยาวของหลอด และความเข้มข้นของสารที่ต้องการวัดจะเป็นดังสมการที่ 2.2

$$E = E_1(1-e^{-kcl})$$

เมื่อ E = พลังงานที่ถูกดูดกลืน

$E_1$ = พลังงานที่ตกกระทบ

k = ค่าคงที่ของการดูดกลืน

c = ความเข้มข้นของสารที่สนใจ

L = ความยาวของหลอด

สมการที่ 2.2 สามารถทำให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้ ซึ่งจะได้ค่าออกมาเป็นประมาณ โดยถ้าค่าของ kcL มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับ 1 ภายใต้เงื่อนไข

$$e^{-kcl} = 1 - kcl \tag{2.3}$$

และสมการที่ 2.2 จะเป็น

$$E_a = E_1 * kcl \tag{2.4}$$

สมการที่ 2.3 และ 2.4 แสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ถูกดูดกลืน จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น C ภายใต้เงื่อนไขเดียวเท่านั้น นั่นคือ kcL = 1 สิ่งที่แสดงว่า ถ้าความเข้มข้น "c" มีค่าสูง ความยาวของหลอดก็ควรจะสั้นและ kcL มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ 1 เพื่อจะได้สมมติว่าสเกลเป็นสเกลแบบเส้นตรง การเลือกความยาวของหลอด ควรเลือกโดยพิจารณาจากความไวของเครื่องมือ และความเป็นเส้นตรงของสเกล หรืออีกอย่างหนึ่งก็คือจะใช้เวลามากในการถ่ายแก๊สเก่าออกไป และการตอบสนองของสัญญาณชั่วขณะ (Transients) ไม่เร็วพอ

การวัดไฮโดรคาร์บอนซึ่งเผาไหม้ไม่หมดในไอเสียของเครื่องยนต์

ไฮโดรคาร์บอนซึ่งเผาไหม้ไม่หมดในไอเสียมีถึงประมาณ 200 ชนิด ที่ส่วนประกอบแตกต่างกันออกไปและจำนวนคาร์บอนอะตอมและไฮโดรเจนอะตอมก็แตกต่างกันด้วย เป็นสิ่งที่เป็นไปไม่ได้ที่จะตรวจจับไฮโดรคาร์บอนซึ่งเผาไหม้ไม่หมดทีละตัว ความเข้มข้นทั้งหมดของไฮโดรคาร์บอนซึ่งเผาไหม้ไม่หมดจะสามารถหาได้โดยวัดกับความเข้มข้นสมมาตรของ n-Hexane และ $C_6H_{14}$ ดังนั้นที่ห้องตรวจจับของเครื่อง NDIR จะถูกบรรจุด้วย n-Hexane

การรบกวนจากก๊าซอื่นจะส่งผลให้ค่าความผิดพลาดในเครื่อง NDIR จะเพิ่มขึ้นถ้าไอเสียตัวอย่างประกอบไปด้วยแก๊สอื่น ซึ่งจะดูดกลืนการแผ่รังสีที่ความถี่เดียวกันกับที่แก๊สในตัวตรวจจับดูดกลืน ตัวอย่างเช่น เครื่องวิเคราะห์รังสีอินฟราเรดซึ่งบรรจุ Normal Hexane ไว้ใน Detector จะตอบสนองแก๊สอื่นมากกว่า n-hexane เช่น $CO_2$, CO และ $H_2O$ แก๊สทั้งหมดที่อยู่ในไอเสียของเครื่องยนต์สันดาปภายใน ทางหนึ่งที่จะลดการรบกวนให้น้อยลงสามารถทำได้โดยติดตั้ง ตัวกรอง (Filter) ซึ่งบรรจุด้วยแก๊สซึ่งทำให้เกิดการรบกวนที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นและการรบกวนอื่น ๆ ในแก๊สตัวอย่าง จะมีการเบี่ยงเบนน้อยเมื่อเทียบกับผลของความเข้มข้นซึ่งสูงมากในตัวกรอง

ในตารางที่ 2.4 แสดงค่าที่อ่านได้จากเครื่อง NDIR เมื่อแก๊สตัวอย่าง $N_2$ มีความเข้มข้นแตกต่างจาก CO, $CO_2$ และ $H_2O$ ได้รับการทดสอบ การรบกวนที่สูงที่สุดจะเนื่องมาจาก $H_2O$

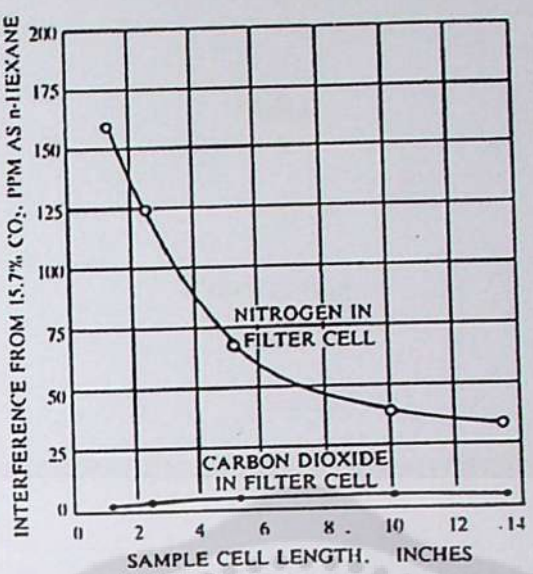
และต่ำที่สุดโดย CO, $CO_2$ 17.7% ใน $N_2$ จะเป็นเหตุให้เกิดการรบกวนที่ระหว่าง 10 ถึง 175 ppm เหมือน n-hexane เมื่อใช้คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) เป็นตัวกรองจะเป็นเหตุให้การรบกวนลดลงจากช่วง 10 ถึง 175 ppm และ 1 ถึง 15 ขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้

<u>ตารางที่ 2.4</u> แสดงการรบกวนของก๊าซที่เกิดในเครื่อง NDIR

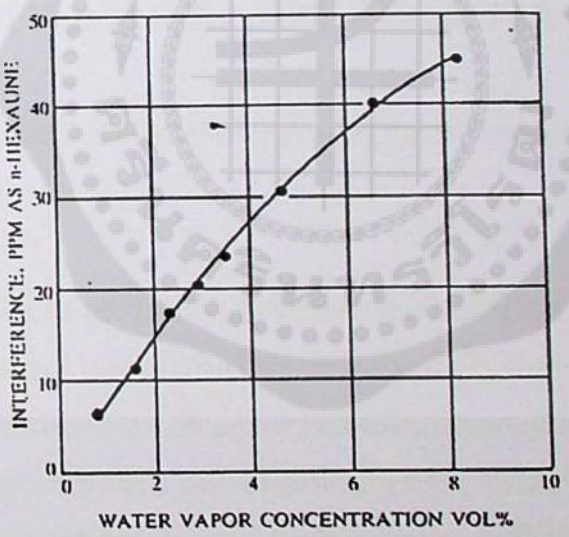
| Sample Cell Gas | Filter Cell Gas | Interference ppm as n- Hexane | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Minimum | Median | Maximum |
| 7.3 % CO in $N_2$ | $N_2$ | 0 | 1 | 3 |
| 15.7 % $CO_2$ in $N_2$ | $N_2$ | 10 | 45 | 175 |
| | $CO_2$ | 1 | 3 | 15 |
| 4.8 % $H_2O$ in $N_2$ | $N_2$ | 20 | 32 | 350 |
| ( Saturated at 90 $^0$F ) | $CO_2$ | 20 | 32 | 350 |
| | $H_2O$ in $CO_2$ | 17 | 28 | 340 |

ผลของการเปลี่ยนความยาวของหลอดตัวอย่างโดยมีการรบกวนจากคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.24 การเพิ่มความยาวของหลอดจะลดผลของการรบกวนลงซึ่งเกิดจาก $CO_2$ 15.7% ผลของการเพิ่มตัวกรองซึ่งบรรจุ $CO_2$ ในการลดการรบกวนได้แสดงไว้ในรูปเดียวกัน

การเพิ่มตัวกรองซึ่งบรรจุแก๊สรบกวน จะไม่มีผลในกรณีของน้ำ จากข้อมูลของตารางที่ 2.4 เราสามารถเห็นได้ว่า การรบกวนของไอน้ำ จะไม่ต่ำกว่าถ้าใช้ตัวกรองไอน้ำ ผลของความเข้มข้นของไอน้ำที่มีต่อการรบกวนได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.25




**รูปที่ 2.24** ผลของความยาวของหลอดตัวอย่างที่มีผลต่อการรบกวนของ $NO_2$




**รูปที่ 2.25** ผลของความเข้มข้นของไอน้ำที่มีต่อการรบกวน

ทางหนึ่งที่จะแก้ไขในกรณีที่เกิดการรบกวนจากน้ำสามารถทำได้โดยหักจำนวนที่พอเหมาะออกจากการอ่านมิเตอร์คำตอบที่ดีกว่าคือการทำความเย็นแก๊สตัวอย่างลงที่อุณหภูมิ $32^{\circ}F$ ซึ่งความดันไอของน้ำมีค่า 0.089 psia ถ้าแก๊สตัวอย่างมีความดัน 14.7 psia เปอร์เซ็นต์ของไอน้ำจะเป็น 0.089/14.7×100 หรือ 0.65% จะทำให้ได้ค่าคงที่ ( 7 ppm ในรูปที่ 2.25 ) ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยอัตโนมัติถ้าแก๊สที่ใช้ปรับแต่งถึงจุดเดือดก่อนน้ำอิ่มตัวและถูกทำให้เย็นลงไปที่ $32^{\circ}F$

# บทที่ 3

## หัวข้อการทดลอง

### 3.1 การทดลองเรื่องการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์ของแต่ละสูบ

**วัตถุประสงค์การทดลอง**

1 เพื่อให้รู้จักวิธีการทดลองเรื่องการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์แต่ละสูบ

2 เพื่อให้เห็นความแตกต่างของปริมาณกระแสไฟที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์แต่ละสูบ

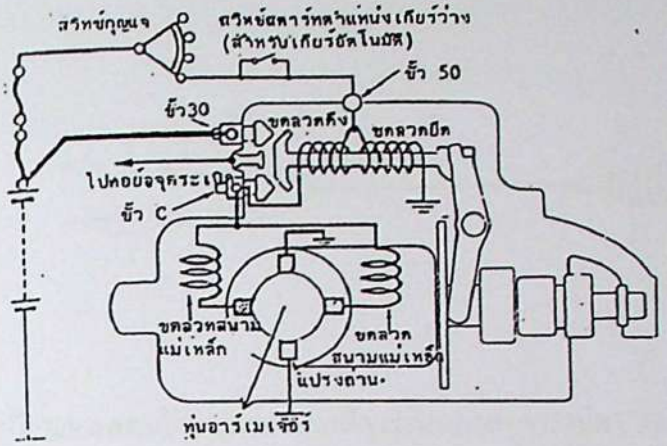
3 เพื่อให้สามารถวิเคราะห์และหาผลสรุปจากการทดลอง

**บทนำ**

การทดลองการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์ของแต่ละสูบในครั้งแรกเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งเป็นการเช็คประสิทธิภาพการใช้งานของแบตเตอรี่และสตาร์ทเตอร์ได้โดยไม่ต้องนำออกมา เช็คและตรวจสอบด้านนอกของตัวเครื่องยนต์ ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีการนี้สามารถทราบค่าแรงดัน และกระแสที่แน่นอนข้อมูลที่ได้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับมาตราฐานการใช้ปริมาณกระแสของมอเตอร์สตาร์ท และ แรงดันที่ใช้ในแบตเตอรี่ได้เป็นอย่างดี

**ทฤษฎี**

หน้าที่ระบบสตาร์ท คือ หมุนเครื่องยนต์ในช่วงเริ่มแรกของการทำงาน เมื่อเครื่องยนต์ติดแล้วเครื่องยนต์จะสามารถหมุนได้ด้วยกำลังของการจุดระเบิดจึงเป็นอันสิ้นสุดการสตาร์ท

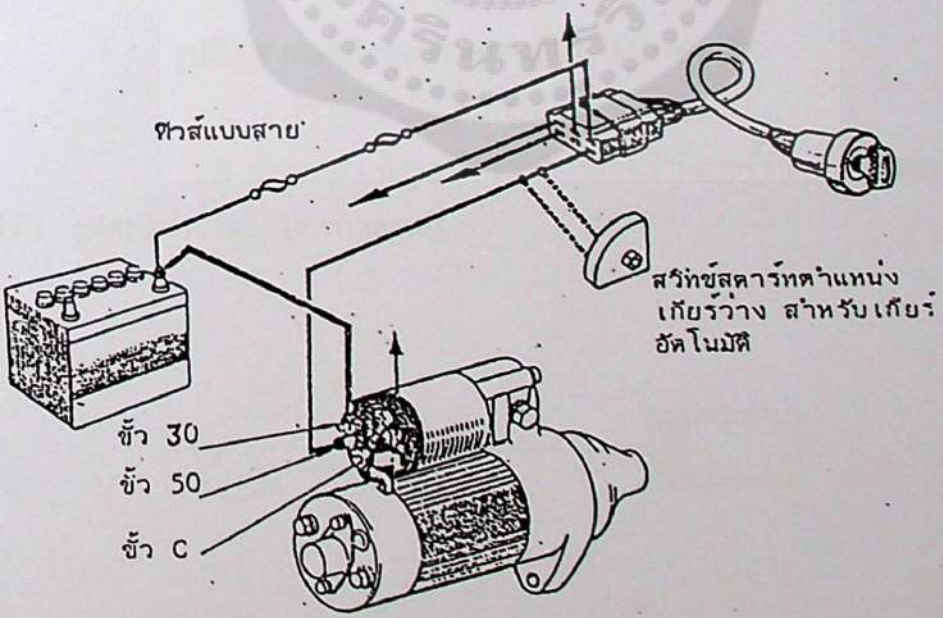



**<u>รูปที่ 3.1</u>** แสดงระบบสตาร์ท

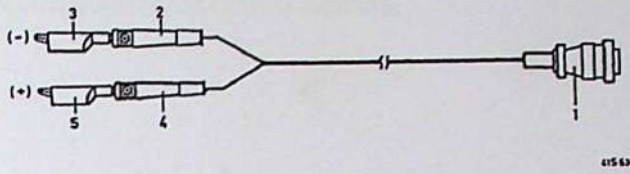
ส่วนประกอบของระบบสตาร์ท

1. แบตเตอรี่
2. สวิตซ์จุดระเบิด
3. ชุดมอเตอร์สตาร์ท ประกอบด้วย
   - 3.1 มอเตอร์สตาร์ทต้นกำลังหมุนเครื่องยนต์
   - 3.2 โซลินอยล์ เป็นสวิตซ์ตัด ต่อไฟเข้ามอเตอร์สตาร์ท

หลักการทำงานของระบบสตาร์ท

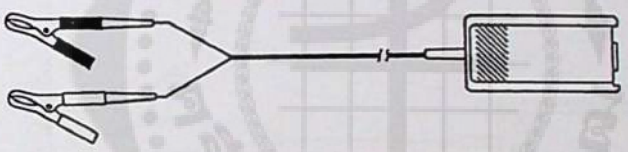



**<u>รูปที่ 3.2</u>** แสดงระบบสตาร์ท



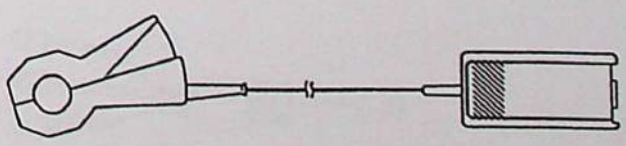

<u>รูปที่ 3.3</u> แสดงลักษณะของสายสัญญาณคอยล์จุดระเบิด ( Term 1/15 )

3.2 ต่อสายสัญญาณแบตเตอรี่ สายสีแดงเข้าที่ขั้วบวก ( + ) ของแบตเตอรี่ และสายสีดำต่อเข้าที่ขั้วลบ ( - ) ของแบตเตอรี่



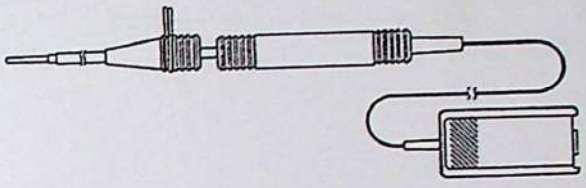
<u>รูปที่ 3.4</u> แสดงลักษณะของสายสัญญาณแบตเตอรี่

3.3 นำสายแคมป์แอมป์ ( 100 A )ครองเข้าที่สายขั้วบวกของมอเตอร์สตาร์ท โดยให้หัว ลูกศรชี้เข้าขั้วบวก ( + ) แบตเตอรี่



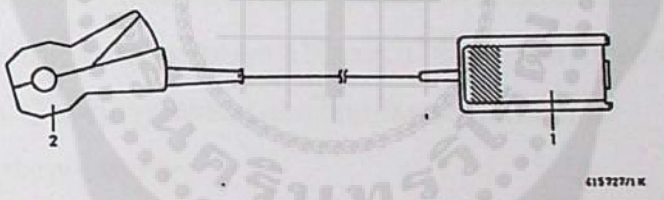
<u>รูปที่ 3.5</u> แสดงลักษณะของสายแคมป์แอมป์ ( 100A )

3.4 ต่อแท่งวัดอุณหภูมิของน้ำมันเครื่อง โดยดึงที่วัดระดับน้ำมันเครื่องออกแล้วต่อแท่ง สัญญาณเข้าไปแทนที่ ก่อนใส่แท่งสัญญาณเข้าไปจะต้องวัดระยะความยาวของแท่งสัญญาณเทียบกับที่วัดระดับน้ำมันเครื่องให้มีขนาดเท่ากัน



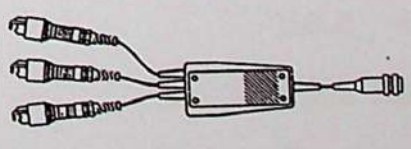
<u>รูปที่ 3.6</u> แสดงลักษณะของแท่งวัดอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง

3.5 นำสายสัญญาณทริกเกอร์ ( Trigger )คร้องเข้าที่สายหัวเทียนสูบที่ 1



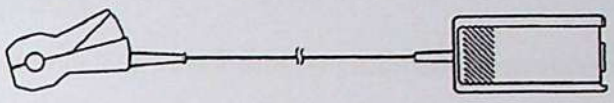

<u>รูปที่ 3.7</u> แสดงลักษณะของสายสัญญาณทริกเกอร์ ( Trigger )

3.6 ต่อสายสัญญาณ kV เข้ากับสายไฟแรงสูงที่ออกคอยล์ต่อไปยังจานไฟ



<u>รูปที่ 3.8</u> แสดงลักษณะของสายสัญญาณ kV

3.7 นำแคมป์แอมป์ ( 20 A ) ไปคร้องที่สายไฟของคอยล์ขั้วบวก



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของแคมป์แอมป์ (20 A )

4. เลือก Menu ไปที่ Diagnossis แล้วกดปุ่ม Enter

5. เลือก Engine Test แล้วกดปุ่ม Enter

6. ทำการสตาร์ทเครื่องยนต์รอจนกว่าเครื่องยนต์จะติด

7. เมื่อเครื่องยนต์ติดค่าต่างๆที่เครื่องทดสอบวัดได้จะแสดงค่าออกมาที่จอภาพ แสดงว่า การ ทดลองการเปรียบเทียบปริมาณการใช้กระแสไฟในการสตาร์ทเครื่องยนต์เสร็จ สิ้น

8. นำค่าที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

9. สรุปผลการทดลอง

**ผลการทดลอง**

**Battery/starter**

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | > | 150 | /min |
| Oil temperature | | 10.0 | 120.0 | C |
| Battery voltage | | > | 9.5 | V |
| Starter current | | -150.0 | -50.0 | A |

| Cylinder | 1 | 3 | 4 | 2 | < Set val. > |
|---|---|---|---|---|---|
| Compression | | | | | A |

## 3.2 การทดลองเรื่อง ระบบจุดระเบิด

**วัตถุประสงค์การทดลอง**

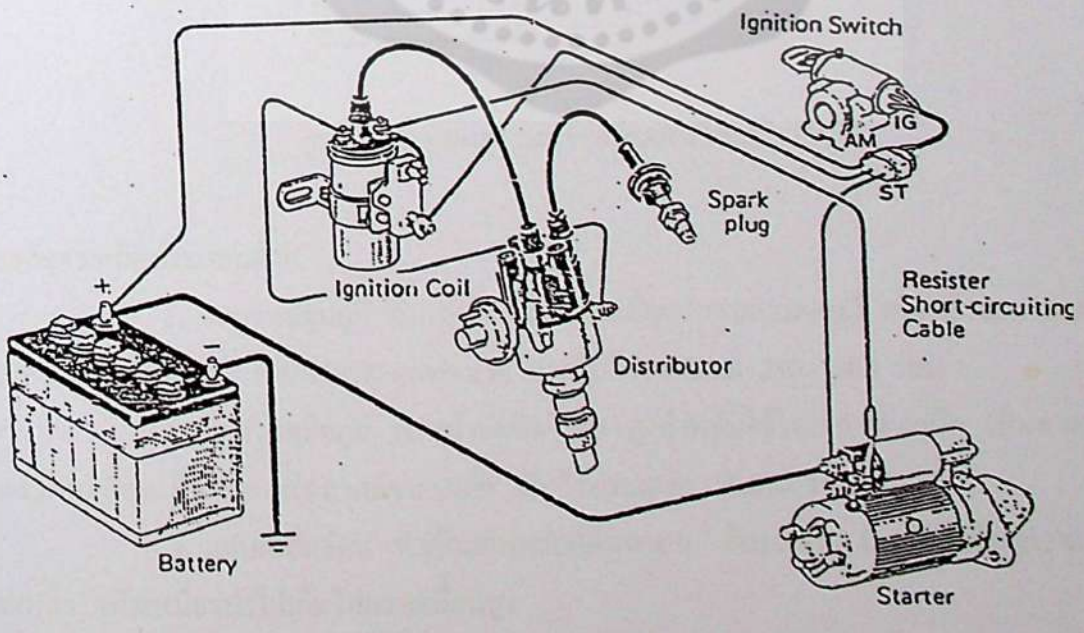
1. เพื่อให้ทราบค่าแรงเคลื่อน และ กระแสที่เกิดขึ้นในขดลวดไฟแรงต่ำ และขดลวดไฟแรงสูงในระบบจุดระเบิด
2. สามารถเช็ค และ ตรวจจับองศาจุดระเบิดที่ผิดพลาดของเครื่องยนต์ได้
3. นำค่าที่ได้จากการวัดของเครื่องทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน และวิเคราะห์สรุปผลได้

**บทนำ**

การทดลองระบบจุดระเบิด เป็นการศึกษาเกี่ยวกับค่าแรงดัน และ กระแสที่เกิดขึ้นในขดลวดไฟแรงต่ำ และ ขดลวดไฟแรงสูงที่เกิดขึ้นในคอยล์ รวมทั้งองศาการจุดระเบิดที่มีผลสำคัญต่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ดังนั้นการทดลองจะสามารถแสดงค่าต่างๆ ที่เกียวข้องกับระบบจุดระเบิดที่เครื่องทดสอบสามารถวัดได้ออกมาบนจอภาพเพื่อให้เห็นความแตกต่างของแต่ละสภาวะในการทำงานของเครื่องยนต์

**ทฤษฎี**

ระบบจุดระเบิด




**รูปที่ 3.10** แสดงส่วนประกอบของระบบจุดระเบิด

หน้าที่ระบบจุดระเบิด

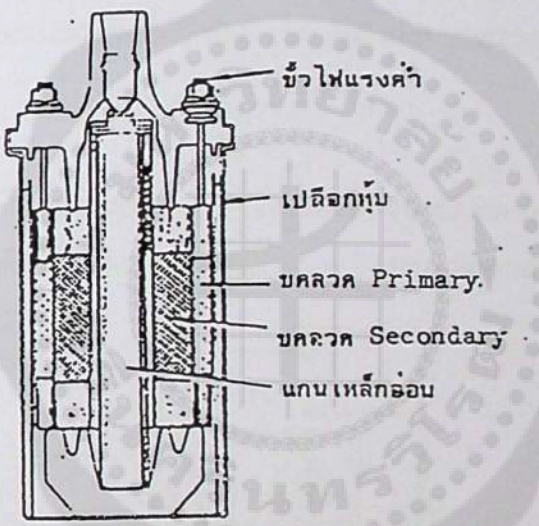
1. สร้างประกายไฟแรงสูงสำหรับเผาไหม้ไอดีภายในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์แกสโซลีน

2. กำหนดเวลาจุดระเบิดให้ได้เหมาะสมกับจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์

3. เพิ่มเวลาในการจุดระเบิดให้มากขึ้นเมื่อเครื่องยนต์ความเร็วรอบสูงขึ้นโดยการทำงานของระบบเร่งจังหวะจุดระเบิดแบบสูญญากาศ และแบบกลไก

คอยล์จุดระเบิด

ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าแรงเคลื่อนต่ำให้เป็นแรงเคลื่อนสูงสำหรับจุดระเบิดให้ห้องเผาไหม้




<u>รูปที่ 3.11</u> แสดงส่วนประกอบของคอยล์

คอยล์จุดระเบิดประกอบด้วย

1. ขดลวดปฐมภูมิ ทำหน้าที่รับไฟแรงเคลื่อนต่ำจากแบตเตอรี่ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กให้แกนเหล็กอ่อน เป็นลวดทองแดงขนาดใหญ่พันไว้ประมาณ 250 - 300 รอบ

2. ขดลวดทุติยภูมิ ทำหน้าที่ผลิตไฟแรงสูงสำหรับใช้ในการจุดระเบิด เป็นลวดทองแดงเคลือบ อีนาเมล เส้นลวดมีขนาดเล็ก พันไว้ประมาณ 20,000 รอบ

3. แกนเหล็กอ่อน ทำเป็นเส้นหรือแผ่นบาง ๆ อัดรวมกัน มีหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดไฟแรงเคลื่อนสูง

4. เปลือกหุ้ม ทำหน้าที่เป็นตัวห่อหุ้มอุปกรณ์ของคอยล์ เปลือกหุ้มจะปิดแน่น เพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอก

5. น้ำมันหล่อเย็น มีคุณสมบัติเป็นฉนวน ใช้สำหรับหล่อเย็น ป้องกันคอยล์ร้อน อันเป็นเหตุทำให้คอยล์เสื่อมคุณภาพเร็วกว่าปกติ ( บรรจุอยู่ภายในคอยล์ )

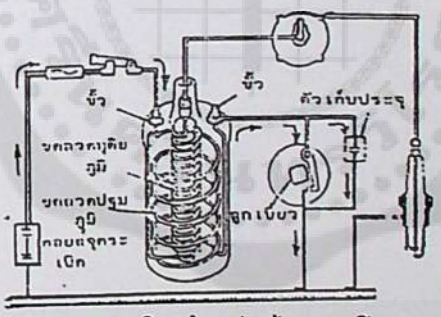
หลักการทำงาน

เมื่อหน้าทองขาวที่จานจ่ายต่อกัน ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะไหลเข้าขั้วบวกของคอยล์ จุดระเบิดผ่านขดลวดปฐมภูมิครบวงจรที่หน้าทองขาวทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่แกนเหล็กอ่อน เมื่อลูกเบี้ยวหมุนต่อไป จะเตะหน้าทองขาวให้แยกจากกัน ไฟฟ้าถูกตัดวงจร เป็นผลให้สนามแม่เหล็กยุบตัว เกิดการเหนี่ยวนำตัวเอง ทำให้เกิดกำลังดันไฟฟ้าขึ้นขดลวดปฐมภูมิ และ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำร่วม ผลิตกำลังไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิ ซึ่งอยู่กับจำนวนรอบของขดลวด โดยสามารถกำหนดอัตราส่วนของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตได้ ต่อจำนวนรอบของขดลวดดังนี้

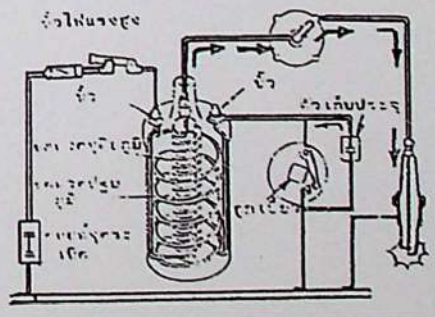
$$E_2 = E_1 * \frac{N_2}{N_1}$$

$E_1$ = แรงเคลื่อนไฟที่เข้าขดปฐมภูมิ , $N_1$ = จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

$E_2$ = แรงเคลื่อนไฟที่ผลิตได้ที่ขดลวดทุติยภูมิ , $N_2$ = จำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิ




ระบบจุดระเบิด ( ตำแหน่งหน้าทองขาวปิด )




ระบบจุดระเบิด ( ตำแหน่งหน้าทองขาวเปิด )

**รูปที่ 3.12** แสดงการทำงานระบบจุดระเบิด

**อุปกรณ์การทดลอง**

1. เครื่องทดสอบระบบจุดระเบิด ยี่ห้อบอสช์ ( BOSCH ) รุ่น FSA 560
2. เครื่องยนต์
3. แบตเตอรี่

**3.2.1 การทดลองเรื่อง ไฟแรงต่ำของระบบจุดระเบิด**

วิธีการทดลอง

1. จากการทดลองหัวข้อที่ 3.1 เสร็จสิ้นให้กด F12 1 ครั้งเป็นการเข้าสู่ขบวนการทดลองขดลวดไฟแรงต่ำของระบบจุดระเบิด
2. บิดสวิตซ์กุญแจไปตำแหน่ง ON
3. สตาร์ทเครื่องยนต์ระหว่างสตาร์ท ให้กด F12
4. ปรับความเร็วเครื่องยนต์ให้อยู่ในช่วง 700 – 900 rpm
5. เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบในช่วง 2900 – 3100 rpm
6. วิเคราะห์ และ สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

Primary ignition

Ignition on

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | = | 0 | /min |
| Oil temperature | | 10.0 | 120.0 | °C |
| Battery voltage | | 12.0 | 14.0 | V |
| Voltage Term.15 | | 11.0 | 14.0 | V |
| Voltage Term.1 | | 11.0 | 14.0 | V |
| Primary current | | < | 0.1 | A |
| Dwell angle | | | | ° |

Start

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | > | 150 | /min |
| Oil temperature | | 10.0 | 120.0 | °C |
| Battery voltage | | > | 9.5 | V |
| Voltage Term.15 | | 9.0 | 12.0 | V |
| Voltage Term.1 | | 1.0 | 9.0 | V |
| Primary current | | 4.0 | 9.0 | A |
| Dwell angle | | 10.0 | 20.0 | ° |

Idle speed

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | °C |
| Battery voltage | | 12.0 | 15.1 | V |
| Voltage Term.15 | | 11.0 | 15.1 | V |
| Voltage Term.1 | | 1.0 | 12.0 | V |
| Primary current | | 4.0 | 9.0 | A |
| Dwell angle | | 10.0 | 20.0 | ° |

Increased rpm

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | 2900 | 3100 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | °C |
| Battery voltage | | 12.0 | 15.1 | V |
| Voltage Term.15 | | 11.0 | 15.1 | V |
| Voltage Term.1 | | 1.0 | 12.0 | V |
| Primary current | | 3.0 | 9.0 | A |
| Dwell angle | | 25.0 | 40.0 | ° |

### 3.2.2 การทดลองเรื่อง ไฟแรงสูงของระบบจุดระเบิด

วิธีการทดลอง

1. หลังจากเสร็จสิ้นการทดลองที่ 3.2.1 ให้กด F12 1 ครั้ง เป็นการเข้าสู่ขบวนการทดลองเรื่องไฟแรงสูงของระบบจุดระเบิด
2. ปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้อยู่ในช่วง 700 – 900 rpm
3. เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบมากกว่า 3900 rpm
4. วิเคราะห์ และ สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

Secondary ignition

Idle speed

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 900 | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | C |
| Δ Secondary voltage | | < | 4 | kV |
| Δ Combustion voltage | | < | 1.0 | kV |
| Δ Combustion period | | < | 0.50 | ms |

| Cylinder | 1 | 3 | 4 | 2 | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Secondary voltage | | | | | 6 | 16 | kV |
| Combustion voltage | | | | | 0.5 | 3.0 | kV |
| Combustion period | | | | | 0.50 | 3.00 | ms |

Gas blast

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm minimum | 880 | 700 | 900 | /min |
| Rpm maximum | 3903 | > | 3900 | /min |

| Cylinder | 1 | 3 | 4 | 2 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Secondary voltage | | | | | kV |
| Combustion voltage | | | | | kV |
| Combustion period | | | | | ms |

Difference

| Cylinder | 1 | 3 | 4 | 2 | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Secondary voltage | | | | | < | 9 | kV |
| Combustion voltage | | | | | < | 4.0 | kV |
| Combustion period | | | | | -1.30 | 0.00 | ms |

### 3.2.3 การทดลองเรื่อง องศาจุดระเบิด

วิธีการทดลอง

1. หลังจากเสร็จสิ้นการทดลองที่ 3.2.2 ให้กด F12 1ครั้ง เป็น การเข้าสู่ขบวนการทดลองเรื่อง องศาจุดระเบิด

2. ต่อขั้ว T กับ E1 เข้าด้วยกัน แล้วกด F12 นำไทมิ่งไลท์ ( Timing light ) ไปส่องที่พูลเล่ย์หน้าเครื่องยนต์ แล้วปรับให้มาร์คมาอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศาของเพลาข้อเหวี่ยง กด F12 จากนั้นแยกขั้ว F กับ E1 ออกจากกันกดF12 อีกครั้ง

3. ปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้อยู่ในช่วง 700 – 900 rpm นำไทมิ่งไลท์ ( Timing light ) ไปส่องที่พูลเล่ย์หน้าเครื่องยนต์ แล้วปรับให้มาร์คมาอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศาของเพลาข้อเหวี่ยง แล้วกด F12

4. เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบ อยู่ในช่วง 3450 – 3550 rpm นำไทมิ่งไลท์ ( Timing light ) ไปส่องที่พูลเล่ย์หน้าเครื่องยนต์ แล้วปรับให้มาร์คมาอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศาของเพลาข้อเหวี่ยง

5. วิเคราะห์ และ สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

## Ignition point

### Basic setting

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | °C |
| Ignition point | | 9.0 | 11.0 | °CS |
| Vacuum | | | | mbar |
| Valve | closed | | | |

### Ignition timing 1

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 860 | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | °C |
| Ignition point | | 14.0 | 18.0 | °CS |
| Ignition timing | | | | °CS |
| Vacuum | | | | mbar |
| Valve | closed | | | |

### Ignition timing 2

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | 3450 | 3550 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | °C |
| Ignition point | | 30.0 | 50.0 | °CS |
| Ignition timing | | | | °CS |
| Vacuum | | | | mbar |
| Valve | closed | | | |

## 3.3 การทดลองเรื่อง ระบบฉีดเชื้อเพลิง

**วัตถุประสงค์การทดลอง**

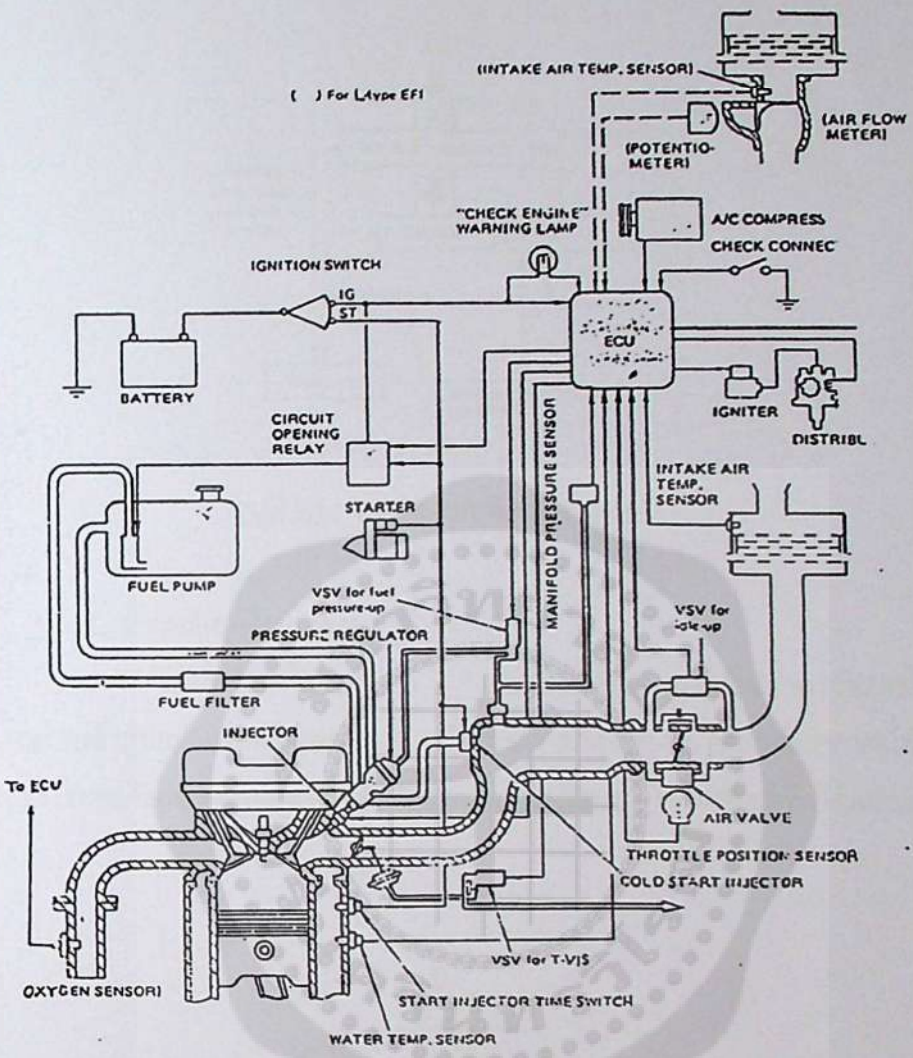
1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานพื้นฐานของระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ (EFI)
2. เพื่อศึกษาแรงดันของระบบไฟที่ใช้ในระบบการฉีดเชื้อเพลิงในแต่ละสภาวะความเร็ว รอบของเครื่องยนต์
3. เปรียบเทียบค่าที่วัดได้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงกับค่ามาตรฐานที่เครื่องทดสอบกำหนดของเครื่องยนต์แต่ละรุ่น

**บทนำ**

การทดลองระบบระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการวัดค่า แรงเคลื่อนของกระแสไฟที่ใช้ส่งไปหล่อเลี้ยงระบบฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์อิเล็กทรอนิกส์ (EFI) ที่มีตำแหน่งแต่สภาวะความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกันออกไป โดยใช้เครื่องทดสอบเป็นตัวตรวจ เช็ค ค่าแรงดันของกระแสไฟที่ใช้ในระบบฉีดเชื้อเพลิง และค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบ ค่าดังกล่าวสามารถตรวจเช็คดูได้จากจอภาพที่ประมวลผล

**ทฤษฎี**

ระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ ( EFI )ของรถยนต์สมัยใหม่ ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดออกจากหัวฉีดเพื่อผสมกับอากาศที่ท่อไอดี จะถูกควบคุมการฉีดด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นไปตามสัญญาณที่ได้รับจากตัวตรวจจับสัญญาณ ( Sensors ) ของอุณหภูมิไอดีความเร็วรอบของเครื่องยนต์ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ตำแหน่งของลิ้นเร่ง ออกซิเจนภายในท่อไอเสีย และ สภาวะที่จำเป็นต่าง ๆ โดยคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ และ ควบคุมปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิง ทำให้อัตราส่วนของอากาศ และ เชื้อเพลิงสมบูรณ์ ถูกต้องทุกความเร็วรอบ และ ภาระที่เครื่องยนต์ได้รับ



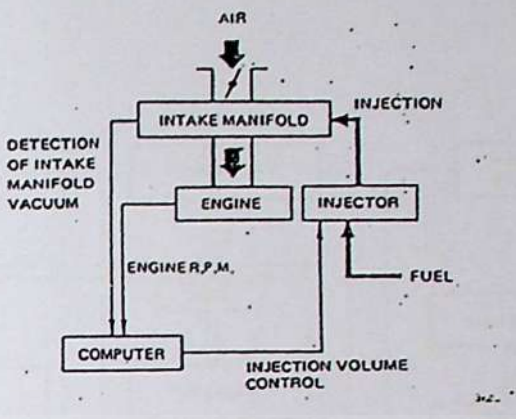

**<u>รูปที่ 3.13</u>** แสดงส่วนประกอบของระบบฉีดเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์

ประเภทของอีเอฟไอ

ระบบอีเอฟไอ ถูกออกแบบเพื่อใช้ควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงได้อย่างสอดคล้องกันกับปริมาณของอากาศ และปริมาณของอากาศจะวัดได้ ด้วยตัวตรวจจับความดันของอากาศในท่อร่วมไอดี ( แบบดี ) หรือวัดด้วยมาตรวัดการไหลของอากาศ ( แบบแอล ) ซึ่งการวัดปริมาณของอากาศที่นำมาใช้ในเครื่องยนต์ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. ระบบอีเอฟไอแบบดี

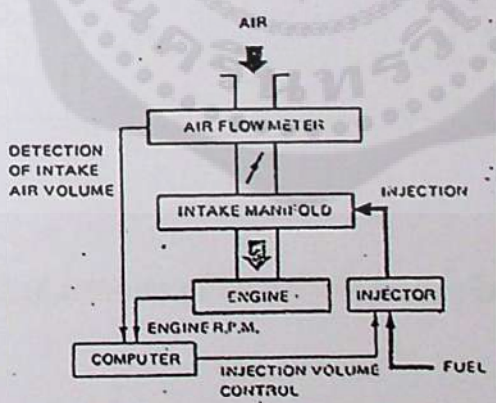
อีเอฟไอแบบดี จะวัดความดันของอากาศภายในท่อร่วมไอดี ด้วยตัวตรวจจับความดัน ทำให้รู้ปริมาณของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์




**รูปที่ 3.14** แสดงระบบอีเอฟไอ แบบดี

2. ระบบอีเอฟไอแบบแอล

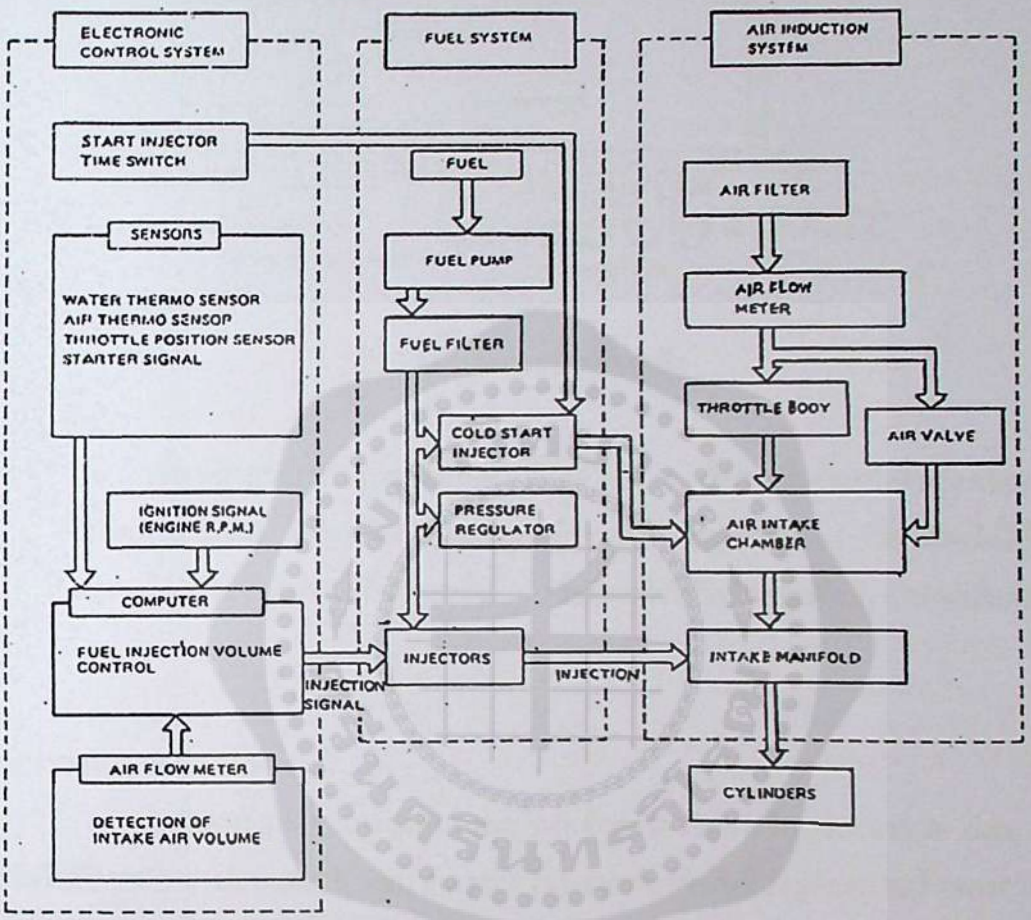
ระบบอีเอฟไอแบบแอล จะวัดปริมาณอากาศด้วยมาตรวัดการไหลของอากาศที่ไหลผ่านเข้าสู่ท่อร่วมไอดีโดยตรง เนื่องจากว่ามาตรวัดการไหลของอากาศนี้ทำงานได้อย่างเที่ยงตรง ระบบอีเอฟไอแบบแอล จึงสามารถควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงได้อย่างแม่นยำ




**รูปที่ 3.15** แสดงระบบอีเอฟไอ แบบแอล

โครงสร้างพื้นของฐานระบบอีเอฟไอ

ระบบอีเอฟไอประกอบด้วยโครงสร้างการทำงานอยู่สามส่วนคือ ระบบเชื้อเพลิง ระบบประจุอากาศ และ ระบบควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์

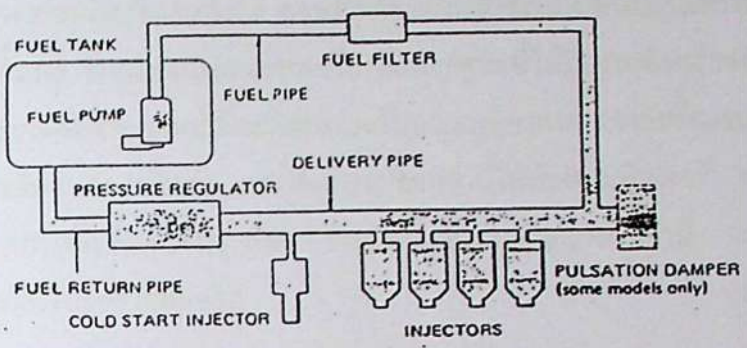



**<u>รูปที่ 3.16</u>** แสดงแผนภูมิโครงสร้างพื้นฐานการฉีดเชื้อเพลิง

ระบบเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงถูกดูดจากถังเชื้อเพลิงด้วยปั๊มเชื้อเพลิง และ ถูกส่งด้วยความดันไปยังกรองเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงที่ผ่านการกรองจนสะอาดแล้วจะถูกส่งต่อไปยังหัวฉีด และหัวฉีดสตาร์ทเย็น

ความดันของเชื้อเพลิงที่อยู่ในท่อเชื้อเพลิง จะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมความดันเชื้อเพลิงซึ่งความดันน้ำมันในท่อทางจะถูกปรับให้คงที่ ที่ความดัน 2.9 ก.ก/ซม$^2$ หรือ 41 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว น้ำมันส่วนที่เกินความต้องการจะถูกส่งกลับไปยังถังเชื้อเพลิง โดยทางท่อเชื้อเพลิงไหลกลับ ส่วนการกระเพื่อมของน้ำมัน ที่เกิดจากการฉีดเชื้อเพลิงจะถูกดูดไว้ด้วยตัวกันกระเพื่อม



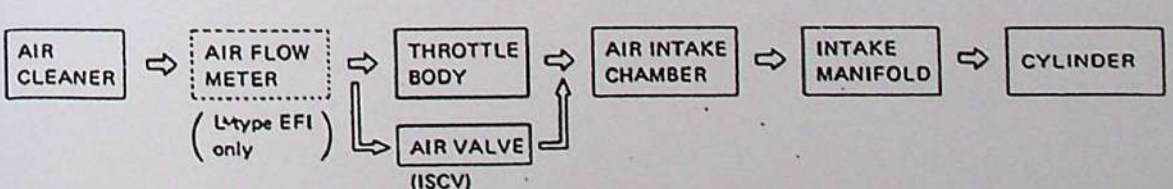

รูปที่ 3.17 แสดงระบบเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าสู่ท่อร่วมไอดี ด้วยหัวฉีด ซึ่งการฉีดนี้จะต้องสอดคล้องกับสัญญาณการฉีดที่ได้รับจาก อีซียู หรือ คอมพิวเตอร์สำหรับฉีดสตาร์ทเย็น ฉีดเชื้อเพลิงให้กับห้องประจุอากาศโดยตรง ในขณะที่อากาศเย็น เพื่อที่จะทำให้เครื่องยนต์สามารถสตาร์ทติดได้ง่ายขึ้น

ระบบประจุอากาศ

อากาศบริสุทธิ์จากกรองอากาศจะไหลเข้าสู่มาตรวัดการไหลของอากาศ และ ดันแผ่นวัดให้เปิดออก ( แบบแอล ) ขนาดความกว้างของแผ่นวัดนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศปริมาณของอากาศที่ไหลเข้าสู่ท่อร่วมไอดี และ ตรงไปยังห้องเผาไหม้

ถ้าในขณะเครื่องยนต์เย็นอยู่ ลิ้นอากาศจะเปิดให้อากาศไหลเข้าสู่ห้องประจุอากาศโดยตรง แม้ว่าลิ้นเร่งจะปิดสนิท ลิ้นอากาศนั้นให้อากาศจำนวนที่พอเพียงเข้าสู่ห้องประจุอากาศ รอบเดินเบาจึงเพิ่มขึ้น




รูปที่ 3.18 แสดงระบบประจุอากาศ

ระบบควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์

ระบบควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยตัวตรวจจับ ( Sensors ) เพื่อตรวจจับสภาพการทำงานของเครื่องยนต์และ คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่กำหนดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง และ จังหวะการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสม และสอดคล้องกับสัญญาณที่ได้รับจากตัวตรวจจับต่าง ๆ

ตัวตรวจจับต่าง ๆ เหล่านี้จะคอยตรวจจับอุณหภูมิอากาศ รอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง และ ส่งสัญญาณเหล่านี้ให้กับคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะคำนวณหาช่วงเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ถูกต้อง โดยมีพื้นฐานจากสัญญาณเหล่านี้ จากนั้นจึงส่งสัญญาณการฉีดที่จำเป็นไปยังหัวฉีดต่อไป

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องยนต์
2. เครื่องทดสอบระบบฉีดเชื้อเพลิง ยี่ห้อบอสช์ ( BOSCH ) รุ่น FSA 560

วิธีการทดลอง

1. หลังจากการทดลองหัวข้อที่ 3.2.3 เสร็จ ให้กด F12 1 ครั้ง เป็นการเข้าสู่การทดลองระบบฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์หัวฉีดเบนซิน EFI
2. นำ มัลติมิเตอร์ 2 ต่อเข้ากับ ออกซิเจนเซ็นเซอร์ ของเครื่องยนต์ และมัลติมิเตอร์ 1 ต่อที่หัวฉีด แล้วกด F12
3. นำหัวตรวจจับไอเสียใส่เข้าที่ท่อไอเสีย แต่ก่อนจะใส่ต้องรอให้เครื่องปรับค่าเป็นศูนย์ ( Calibrate )เสร็จเสียก่อน
4. ปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ให้อยู่ในช่วง 700 – 900 rpm
5. เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบอยู่ในช่วง 2900 – 3100 rpm
6. วิเคราะห์ และ สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

Injection

First measurement

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | °C |
| CO | | < | 0.50 | %vol |
| Lambda voltage | | 0.35 | 0.60 | V |
| Δ Lambda voltage | | 0.60 | 1.00 | V |

Second measurement

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | °C |
| CO | | < | 0.50 | %vol |
| Injection period | | 1.50 | 3.00 | ms |

Third measurement

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | 2900 | 3100 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | °C |
| CO | | < | 0.50 | %vol |
| Lambda voltage | | 0.35 | 0.60 | V |
| Δ Lambda voltage | | 0.60 | 1.00 | V |

Fourth measurement

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | 2900 | 3100 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | °C |
| CO | | < | 0.50 | %vol |
| Injection period | | 1.50 | 3.00 | ms |

## 3.4 การทดลองเรื่อง การวัดปริมาณไอเสียของเครื่องยนต์เบนซิน

**วัตถุประสงค์การทดลอง**

1. เพื่อศึกษาการใช้เครื่องทดสอบ วิเคราะห์ไอเสียของเครื่องยนต์
2. เพื่อศึกษาส่วนประกอบของไอเสียที่ทำให้เกิดมลพิษในอากาศ
3. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์สภาพของเครื่องยนต์

**บทนำ**

การทดลองการวิเคราะห์ปริมาณไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เป็นสิ่งที่มีผลต่อสภาพแวดล้อม และการทดลองนี้สามารถแสดงให้ทราบ ถึงปริมาณของก๊าซต่าง ๆ ที่รวมอยู่ในไอเสียที่เกิดจากขบวณการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ในแต่ละความเร็วรอบ ข้อมูลที่ได้จะนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตราฐานเพื่อหาแนวทางแก้ไขต่อไป

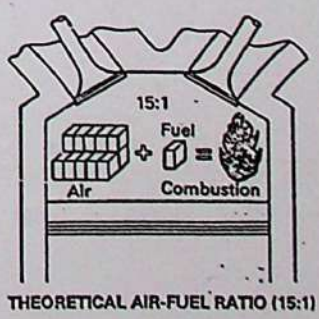
**ทฤษฎี**

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและอากาศที่สมบูรณ์จะต้องมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ที่ใช้ออกเทนเป็นเชื้อเพลิงจะเป็นอัตรา 15 : 1 โดยนำหนัก และมีสมการเคมีดังนี้

$$2\,C_8H_{18} + 25\,O_2 \rightarrow 16\,CO_2 + 18\,H_2O$$

ในน้ำมันเบนซินไม่ได้มีออกเทนเพียงอย่างเดียว แต่มีไฮโดรคาร์บอนสูตรอื่นรวมอยู่ด้วย ฉะนั้นอัตราส่วนผสมตามทฤษฎีจะอยู่ระหว่าง 14.4 – 15.0 : 1

ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศ และ เชื้อเพลิงต่ำกว่าอัตราส่วนทางทฤษฎี เช่น 10 : 1 เรียกว่า ส่วนผสมหนา ส่วนผสมหนาแสดงว่าอากาศมีน้อยกว่าปกติ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนในน้ำมันเชื้อเพลิงไม่พอเพียง การเผาไหม้จึงไม่สมบูรณ์




รูปที่ 3.19 แสดงแผนภูมิอัตราส่วนผสมตามทฤษฎี

ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง สูงกว่าอัตราส่วนทางทฤษฎี เช่น 20 : 1 เรียกว่าส่วนผสมบาง ทำให้ออกซิเจนเหลือเกินกว่าที่จะทำปฏิกิริยา

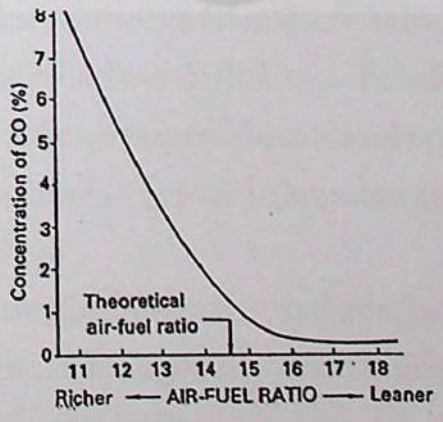
การเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์เนื่องจากออกซิเจน ($O_2$) มีไม่เพียงพอ เช่น เกิดจากส่วนผสมหนา เป็นต้น โดยทางทฤษฎีแล้ว แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไม่ควรจะเกิดถ้าส่วนผสมบาง แต่โดยความเป็นจริงแล้วแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้นแม้ส่วนผสมบาง การเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพราะเหตุต่าง ๆ ผลดังนี้

1. การกระจายส่วนผสมของอากาศ และเชื้อเพลิงไม่ทั่วถึง และเท่ากันทุกส่วนของห้องเผาไหม้ทำให้บางส่วนเผาไหม้สมบูรณ์ แต่บางส่วนเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เพราะขาดออกซิเจน

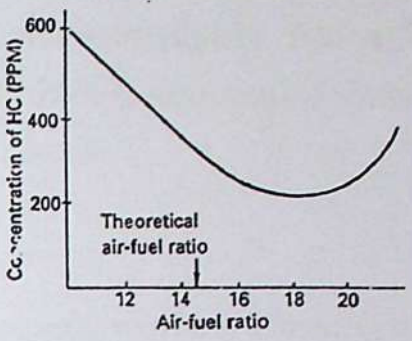
2. อุณหภูมิโดยรอบห้องเผาไหม้ซึ่งอยู่ติดกับโลหะจะต่ำ ทำให้เปลวไฟจากการลุกไหม้เข้าไปไม่ถึงอุณหภูมิขณะเผาไหม้ต่ำทำให้เผาไหม้ไม่สมบูรณ์

3. แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)สามารถเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) ได้ จากสมการ $2\,CO + O_2 \rightarrow 2\,CO_2$ แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นช้า ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$)ได้หมดในแต่ละพลวัตร การทำงานแม้ส่วนผสมจะบางมีออกซิเจน ($O_2$) อยู่เพียงพอก็ตาม

ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในไอเสียจะเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนผสมของอากาศ และ เชื้อเพลิงดังในกราฟ อัตราส่วนผสมที่หนาจะเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มาก และ จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อส่วนผสมบางลง




**<u>รูปที่ 3.20</u>** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และอัตราส่วนผสม




<u>รูปที่ 3.21</u> แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไฮโดรคาร์บอน (HC) และอัตราส่วนผสม

การเกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอน ในการเผาไหม้นั้นน้ำมันเชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะเผาไหม้ แต่จะมีน้ำมันบางส่วนไม่เผาไหม้ในบางจังหวะ สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้เผาไหม้จะกลายเป็นแก๊สออกไปกับไอเสีย สาเหตุเกิดจาก

1. อัตราส่วนผสมไม่ถูกต้อง ถ้าส่วนผสมหนาจะทำให้ขาดออกซิเจนไปทำปฏิกิริยาเคมีน้ำมันทั้งหมดจึงเหลือเป็นไฮโดรคาร์บอนออกมาแม้ว่าอัตราผสมบางแก๊สไฮโดรคาร์บอนก็เกิดได้เช่นเดียวกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการที่เชื้อเพลิงมีน้อย ทำให้ความเร็วในการแพร่กระจายของ เปลวไฟลดลง เชื้อเพลิงบางส่วนเผาไหม้ไม่ทันก็ระบายออกไปในจังหวะคาย

2. กำลังอัดของกระบอกสูบต่ำ ในขณะที่ขับรถช้าหรือเหยียบเบรกลิ้นคันเร่งของคาร์บูเรเตอร์จะปิดแคบทำให้อากาศเข้าบรรจุกระบอกสูบน้อย กำลังอัดต่ำ และ ในเวลาเดียวกันวงจรเดินเบาของคาร์บูเรเตอร์จะทำงานทำให้เกิดส่วนผสมหนาทั้งกำลังอัดต่ำ และ ขาดออกซิเจนในไอดีทำให้การจุดระเบิดอาจไม่เกิดขึ้นในบางครั้งจึงเหลือแก๊สไฮโดรคาร์บอนปนออกมา

3. การเปิดร่วมกันของลิ้นไอดี และ ลิ้นไอเสีย ในการทำงานของลิ้นจะมีช่วงที่ไอเสีย และ ลิ้นไอดีเปิดร่วมกันอยู่ชั่วขณะหนึ่งในช่วงปลายจังหวะคาย และ เริ่มต้นจังหวะดูดไอดีซึ่งเป็นส่วนผสมของอากาศกับน้ำมัน ถูกดูดเข้ามาในกระบอกสูบ จะมีบางส่วนออกไปทางลิ้นไอเสียระบายออกไปสู่บรรยากาศ

4. อุณหภูมิต่ำได้กล่าวแล้ว ว่าแก๊สที่อยู่ในห้องเผาไหม้ติดกับส่วนที่เป็นโลหะจะมีอุณหภูมิ ต่ำทำให้ เปลวไฟมีอุณหภูมิต่ำลง การเผาไหม้ที่บริเวณนี้จึงเกิดยากทำให้เหลือแก๊สไฮโดรคาร์บอนระบายออกไปพร้อมไอเสีย

การเกิดแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ที่ปนออกมากับไอเสีย ประมาณ 95 % จะเป็นไนตริกออกไซด์ ซึ่งไนโตรเจนจะรวมตัวกับออกซิเจนดังสมการ $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$ โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน $1800^{\circ}$ ซ. ไนโตรเจนออกไซด์จะเกิดมากถ้าการเผาไหม้สมบูรณ์ ปัจจัยที่ทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ก็คืออุณหภูมิในห้องเผาไหม้ และ อัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องทดสอบวิเคราะห์ไอเสีย ยี่ห้อบอสช์ ( BOSCH ) รุ่น FSA 560
2. เครื่องยนต์
3. แบตเตอรี่

วิธีการทดลอง

1. หลังจากการทดลองหัวข้อที่ 3.3 เสร็จให้กด F12 1 ครั้ง เป็นการเข้าสู่การทดลอง การวัดปริมาณไอเสียจากเครื่องยนต์
2. ปรับความเร็วเครื่องยนต์ให้มีความเร็วอยู่ในช่วง 750 - 850 รอให้เครื่องทดสอบจะวัดค่าเสร็จ กด F12
3. เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบในช่วง 2900 – 3100 rpm
4. วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

Exhaust gas

First measurement

| | Actual | < Set val. > | |
|---|---|---|---|
| Rpm | 750 | 850 | /min |
| Oil temperature | 80.0 | 120.0 | °C |
| CO | < | 0.50 | %vol |
| HC | < | 100 | ppmvol |
| $CO_2$ | > | 9.0 | %vol |
| $CO_{vrai}$ | < | 0.5 | %vol |

Second measurement

| | Actual | < Set val. > | |
|---|---|---|---|
| Rpm | 2900 | 3100 | /min |
| Oil temperature | 80.0 | 120.0 | °C |
| CO | < | 0.50 | %vol |
| HC | < | 100 | ppmvol |
| $CO_2$ | > | 9.0 | %vol |
| $CO_{vrai}$ | < | 0.5 | %vol |

## 3.5 การทดลองเรื่อง ระบบไฟชาร์จ

**วัตถุประสงค์ การทดลอง**

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบไฟชาร์จ
2. นำค่าแรงเคลื่อน และ กระแสที่วัดได้จากเครื่องทดสอบ ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตราฐาน เพื่อประเมินประสิทธิภาพ และสภาพของเจนเนอเรเตอร์ ( Generator )
3. รู้จักการใช้เครื่องทดสอบในการวัดกระแส และ แรงดันของระบบไฟชาร์จของเครื่องยนต์

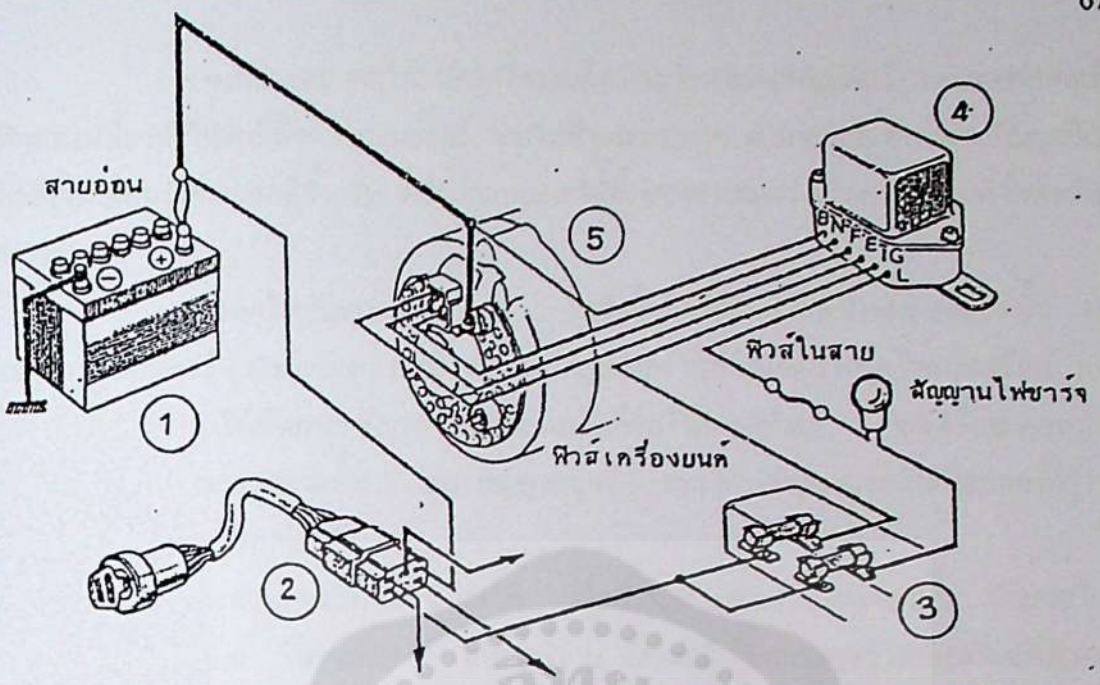
**บทนำ**

การทดลองระบบไฟชาร์จ เป็นการศึกษา ค่ากระแส แรงดัน ของระบบเก็บ และจ่ายไฟ ของเจนเนอเรเตอร์ ( Generator ) ของเครื่องยนต์ในแต่ละความเร็วรอบ โดยใช้เครื่องทดสอบวัดค่าแรงดันและกระแสเทียบกับค่ามาตราฐาน ที่เครื่องทดสอบกำหนด ซึ่งการทดลองนี้สามารถหาข้อสรุปเกี่ยวกับสมรรถนะของระบบไฟชาร์จได้

**ทฤษฎี**

วงจรระบบไฟชาร์จมีหน้าที่

1. ชาร์จหรือประจุไฟป้อนเข้าแบตเตอรี่
2. ควบคุมปริมาณไฟฟ้าที่ประจุเข้าแบตเตอรี่
3. สร้างสัญญาณเตือนให้ทราบว่ามีการประจุไฟในระบบหรือไม่

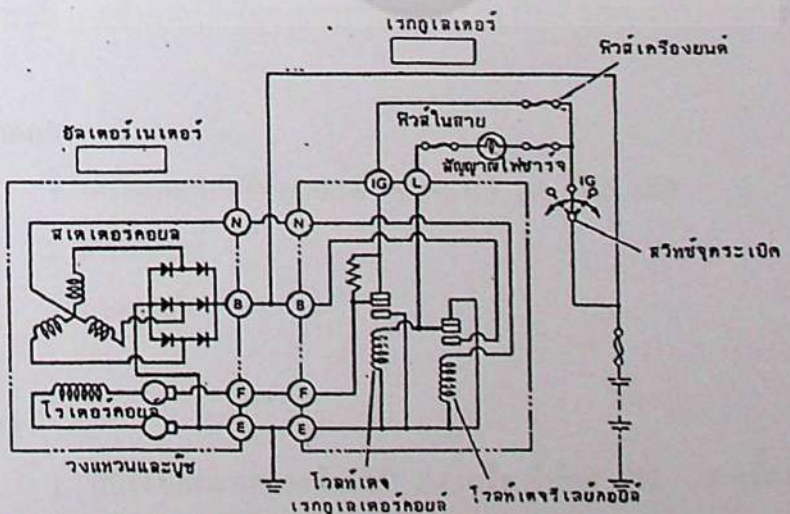



รูปที่ 3.22 แสดงวงจรไฟชาร์จ

ส่วนประกอบ

1. แบตเตอรี่ต้นกำลัง
2. สวิตช์ ตัด – ต่อวงจร
3. แผงฟิวส์ป้องกันความเสียหายจากการใช้ไฟเกิน
4. เร็กกูเลเตอร์ควบคุมไฟสัญญาณ และ ปริมาณไฟที่ประจุเข้าแบตเตอรี่
5. เจนเนอเรเตอร์ ( Generator ) ผลิต และแปลงไฟสำหรับประจุเข้าแบตเตอรี่

หลักการทำงานของระบบไฟชาร์จรถยนต์




รูปที่ 3.23 แสดงการทำงานของระบบไฟชาร์จ

การผลิต และ จ่ายไฟ เมื่อเครื่องยนต์ทำงานโรเตอร์จะหมุนตัดกับขดลวดสเตเตอร์ เกิดการเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์ จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ผ่านชุดแปรงกระแสเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงจ่ายออกที่ขั้ว B ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ที่ขั้วบวกครบวงจรที่ขั้วลบแบตเตอรี่ซึ่งต่อกับกราวด์

การตัดไฟสัญญาณเตือนชาร์จ ไฟฟ้าที่ผลิตได้อีกส่วนหนึ่งจะจ่ายออกที่ขั้ว N ของ เจนเนอเรเตอร์ ( Generator ) เข้าขั้ว N ของเร็กกูเลเตอร์ไหลผ่านขดลวดชุดโวลท์เตจรีเลย์ ลงกราวด์ที่ขั้ว E ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำอำนาจแม่เหล็กที่ชุดโวลท์เตจรีเลย์ แม่เหล็กจะดูดหน้าทองขาว L ให้แยกออกจากขั้ว E วงจรสัญญาณถูกตัด หลอดไฟสัญญาณจะดับเพื่อบอกให้รู้ว่าขณะนั้นมีไฟชาร์จเข้าแบตเตอรี่

การควบคุมปริมาณการจ่ายไฟ เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น ปริมาณไฟชาร์จเข้าแบตเตอรี่มาก ในขณะเดียวกันไฟจากขั้ว N ซึ่งจ่ายเข้าที่ขดลวดชุดโวลท์เตจรีเลย์ก็มีมากพอที่จะดูดให้หน้าทองขาว L มาสัมผัสกับหน้าทองขาว ขั้ว B ไฟจากขั้ว B ซึ่งรออยู่แล้วจะถูกจ่ายผ่านขดลวดชุดโวลท์เตจเร็กกูเลเตอร์เหนี่ยวนำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก และแม่เหล็กจะดูดหน้าทองขาว F ให้แยกออกจาก IG ทำให้ไฟจาก IG ต้องไหลผ่านความต้านทานไปยังขั้ว F เพื่อป้อนขดลวดโรเมอร์ ปริมาณไฟป้อนและ ความเข้มของสนามแม่เหล็กลดลงส่งผลให้ไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ และ ไฟที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่น้อยลง อันเป็นการควบคุมปริมารไฟที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่

การตัดกระแสไฟชาร์จ แม้จะควบคุมปริมาณไฟชาร์จเข้าแบตเตอรี่แล้วก็ตาม เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้นอีก ทำให้ไฟชาร์จเข้าแบตเตอรี่มาก ในขณะเดียวกันไฟป้อนขดลวดชุดโวลท์เตจเร็กกูเลเตอร์มีมากเช่นเดียวกับแม่เหล็กจะดูดหน้าทองขาวของขั้ว F ให้สัมผัสกับหน้าทองขาวขั้ว E ทำให้กระแสไฟไหลลงกราวด์ จึงไม่มีไฟป้อนเข้าชุดโรเตอร์ ทำให้ไฟชาร์จถูกตัด เพื่อป้องกันการเสียหายซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการที่กระแสไฟชาร์จเข้าแบตเตอรี่มากเกินไป

**อุปกรณ์การทดลอง**

1. เครื่องทดสอบยี่ห้อบอสช์ ( BOSCH ) รุ่น FAS 560
2. เครื่องยนต์
3. แบตเตอรี่

**วิธีการทดลอง**

1. หลังจากการทดลองหัวข้อที่ 3.4 เสร็จ ให้กด F12 1 ครั้ง เป็นการเข้าสู่การทดลองระบบไฟชาร์จ

2. ย้ายแคมป์แอมป์จากขั้วบวกของแบตเตอรี่ มาจับที่ขั้ว B ของเจนเนอเรเตอร์ (Generator) โดยให้ลูกศรชี้เข้าหา เจนเนอเรเตอร์ ( Generator )

3. เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบอยู่ในช่วง 2900 – 3000 rpm

4. วิเคราะห์ และ สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

Generator

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | 2900 | 3100 | /min |
| Battery voltage | | 12.5 | 15.1 | V |
| Generator current | | 0.1 | 25.0 | A |
| Undulation | | < | 10.0 | % |

## 3.6 การทดลองเรื่อง กำลังอัดของเครื่องยนต์แต่ละสูบ

**วัตถุประสงค์การทดลอง**

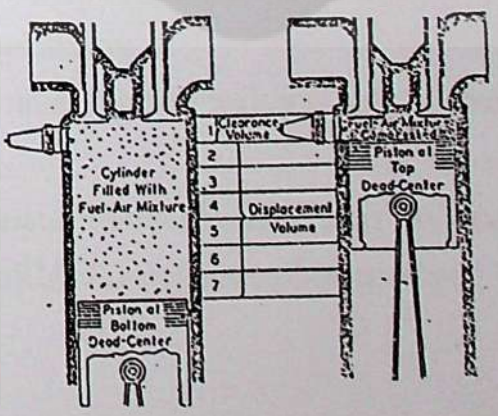
1. เพื่อศึกษาการใช้งานเครื่องทดสอบกำลังอัดของเครื่องยนต์
2. ทดสอบเปรียบเทียบกำลังอัดของแต่ละสูบของเครื่องยนต์
3. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน และวิเคราะห์ผลการทดลอง

**บทนำ**

การทดลองกำลังอัดของเครื่องยนต์แต่ละสูบ เป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของแต่ละสูบ ซึ่งมีผลต่อขบวณการเผาไหม้ของเครื่องยนต์แต่ละความเร็วรอบที่เปลี่ยนไป ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะแสดงให้เห็นค่าความแตกต่างเด่นชัดเจนตามลำดับ

**ทฤษฎี**

อัตราส่วนการอัดในกระบอกสูบ อัตราส่วนการอัดในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ก็คือการวัดว่าไอดีถูกอัดตัวมากเท่าไร นั่นคือปริมาตรในกระบอกสูบเมื่อลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายล่างหารด้วยปริมาตรของมันเมื่อลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายบน ปริมาตรบนหัวสูบเมื่อลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายบนเรียกว่า ปริมาตรของช่องว่าง เนื่องจากเป็นช่องว่างที่อยู่เหนือลูกสูบเมื่อลูกสูบที่ศูนย์ตายบน




รูปที่ 3.24 แสดงอัตราส่วนการอัดในกระบอกสูบ

อัตราส่วนการอัดในกระบอกสูบเป็นตัวประกอบที่สำคัญ สำหรับสมรรถนะของเครื่องยนต์ ในความคิดง่าย ๆ การเพิ่มอัตราส่วนการอัดในกระบอกสูบจะทำให้กำลังงานออกของเครื่องยนต์ เพิ่มขึ้นโดยตัวประกอบอื่น ๆ เท่าเดิม เครื่องยนต์รุ่นใหม่ ๆ มีอัตราส่วนการอัดสูงขึ้นบางรุ่นสูงกว่า 10 : 1 อัตราส่วนการอัดในกระบอกสูบที่สูง ๆ เหล่านี้มีข้อดีก็คือ ไอดีถูกอัดมากกว่าที่จุดเริ่มต้นจังหวะกำลัง ดังนั้นความดันจากการเผาไหม้จะสูงเมื่อเริ่มต้นจังหวะกำลังทำให้ไอดีที่เผาไหม้จะขยายตัวมากกว่า จึงมีแรงผลักดันบนลูกสูบมากกว่ากำลังที่ได้รับจากจังหวะกำลังแต่ละครั้งจึงมากกว่าด้วย และเป็นการลดความสูญเสียทางความร้อน

การเพิ่มอัตราส่วนการอัดในกระบอกสูบก็ทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา เช่น เกิดเสียงเคาะหรือ น็อคเพิ่มขึ้น เกิดการสะสมของคาร์บอนในกระบอกสูบ ซึ่งทำให้อัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นสูงกว่าปกติจะทำให้เกิดการน็อคได้ ดังนั้นเครื่องยนต์เหล่านี้จึงต้องได้รับการเอาใจใส่ในการบำรุงรักษาด้วยความระมัดระวัง

**อุปกรณ์การทดลอง**

1. เครื่องทดสอบกำลังอัดของเครื่องยนต์ ยี่ห้อบอสช์ ( BOSCH ) รุ่น FSA 560
2. เครื่องยนต์
3. แบตเตอรี่

**วิธีการทดลอง**

1. หลังจากการทดลองหัวข้อที่ 3.5 เสร็จ ให้กด F12 1 ครั้ง เป็นการเข้าสู่การทดลองกำลังอัดของเครื่องยนต์แต่ละสูบ
2. เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วอยู่ในช่วง 1500 – 1700 rpm แล้วกด F4 เครื่องทดสอบจะวัดค่าออกมาให้
3. เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบอยู่ในช่วง 700 – 900 rpm และกด F6
4. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

**Cylinder comparison**

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | 1500 | 1700 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | °C |

| Cylinder | 1 | 3 | 4 | 2 | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Δ Rpm | | | | | -17.4 | -28.9 | % |

Idle speed stabilization

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | °C |
| Δ Rpm / LLS | | < | 12.1 | % |

## 3.7 การทดลองเรื่อง ความสม่ำเสมอของความเร็วรอบเดินเบา

**วัตถุประสงค์การทดลอง**

1. เพื่อศึกษาช่วงการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์
2. รู้จักวิธีการใช้เครื่องทดสอบในการวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์
3. นำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

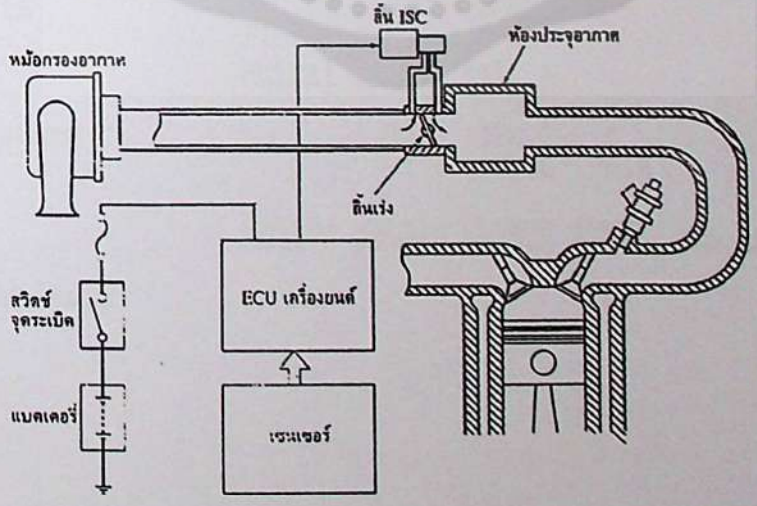
**บทนำ**

จากการทดลองการวัดความสม่ำเสมอของความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ เป็นสิ่งที่ยากในการตรวจเช็คโดยไม่ใช้เครื่องทดสอบ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งความไม่สม่ำเสมอนี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์นั้น ๆ มีข้อบกพร้องเกิดขึ้น

**ทฤษฎี**

ในการใช้งานบางครั้งก็จำเป็นจะต้องติดเครื่องยนต์อยู่กับที่ไม่ฉุดลากโดยเครื่องยนต์หมุนเพื่อเอาชนะความฝืด และ แรงเฉื่อยของชิ้นส่วนเท่านั้น จึงจำเป็นต้องให้เครื่องยนต์หมุนช้า เพื่อให้ประหยัด ดังนั้นเครื่องยนต์จึงมีระบบควบคุมความเร็วรอบเดินเบา

การควบคุมความเร็วรอบเดินเบา ( ISC ) จะควบคุมความเร็วรอบเดินเบาโดยใช้ลิ้น ISC เปลี่ยนแปลงปริมาณของอากาศที่ไหลผ่านช่องทางบายพาสของลิ้นปีกผีเสื้อตามสัญญาณจากชุด ECU




**รูปที่ 3.25** แสดงโครงสร้างพื้นฐานของลิ้น ISC

ลิ้น ISC จะติดตั้งอยู่ที่ห้องบรรจุอากาศหรือที่ตัวเรือนลิ้นปีกผีเสื้อ เพื่อควบคุมความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ขณะเดินเบาให้คงที่ โดยการเพิ่มหรือลดปริมาณของอากศที่ไหลเข้าไปในเครื่องยนต์ผ่านช่องทางบายพาสของลิ้นปีกผีเสื้อ เมื่อมีลิ้น ISC สกรูปรับแต่งรอบเดินเบาจะอยู่ในตำแหน่งปิดสนิท

**อุปกรณ์การทดลอง**

1. เครื่องทดสอบความเร็วรอบ ยี่ห้อบอสช์ (BOSCH) รุ่น FSA 560
2. เครื่องยนต์
3. แบตเตอรี่

**วิธีการทดลอง**

1. หลังจากการทดลองหัวข้อที่ 3.6 เสร็จ ให้กด F12 1 ครั้ง เป็นการเข้าสู่การทดลองการวัดความสม่ำเสมอของความเร็วรอบเดินเบา
2. ทำการปรับตั้ง ความเร็วรอบเครื่องยนต์อยู่ในช่วง 700 – 900 rpm จากนั้นกด F12 หนึ่งครั้ง
3. นำค่าที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์ และ สรุปผลการทดลอง

**ผลการทดลอง**

Rpm analysis

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | | 80.0 | 120.0 | C |
| Δ Rpm | | < | 80 | /min |

| Cylinder | 1 | 3 | 4 | 2 | < Set val. > | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Δ Rpm | | | | | > -10.0 | /min |
| Secondary voltage | | | | | | kV |

## 3.8 การทดลองเรื่อง ระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องของเครื่องยนต์เบนซินหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์

**วัตถุประสงค์การทดลอง**

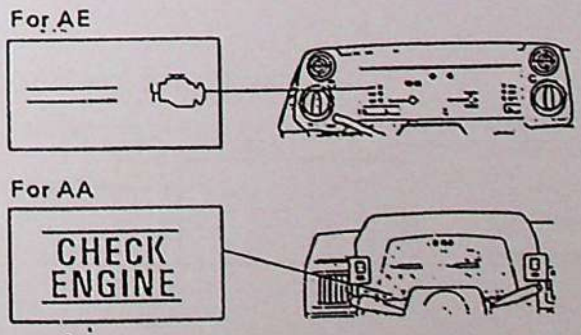
1. เพื่อศึกษาวิธีการใช้เครื่องทดสอบในการวินิจฉัยข้อขัดข้องของเครื่องยนต์หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์
2. สามารถหาสาเหตุข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์
3. สามารถนำผลจากการทดลองมาสรุป และวิเคราะห์ได้

**บทนำ**

การทดลองระบบการวินิจฉัยข้อขัดข้องของเครื่องยนต์โดทั่วไปในเครื่องยนต์หัวฉีด EFI จะมีชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ( ECU ) คอยตรวจจับสัญญาณในตัว แต่การทดลองนี้เป็นการตรวจเช็คสัญญาณ โดยอาศัยเครื่องทดสอบหาข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นภายในระบบ การทำงานของเครื่องยนต์พร้อมกันทุกจุดซึ่งเครื่องทดสอบสามารถวินิจฉัยข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นได้อย่างแม่นยำ และสะดวกในการตรวจเช็ค

**ทฤษฎี**

การวินิจฉัยข้อขัดข้องของเครื่องยนต์หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ โดยอาศัยการตรวจเช็คข้อขัดข้องที่เกิดขึ้น จากเครื่องทดสอบนั้นสามารถวินิจฉัยข้อขัดข้องที่เกิดจากเครื่องยนต์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่สำหรับเครื่องยนต์หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนใหญ่จะมีหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ( ECU ) ควบคุม ซึ่งจะมีระบบการวินิจฉัยข้อขัดข้องเครื่องยนต์ สำหรับคอยตรวจจับปัญหาข้อขัดข้องของเซ็นเซอร์ ( Sensor ) และแสดงผลข้อขัดข้องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นออกทางหลอดไฟ "CHECK ENGINE" ที่ติดตั้งไว้บนแผงหน้าปัทม์ เมื่อมีความผิดปกติขึ้นในระบบ หลอดไฟจะติดสว่างขึ้นให้ผู้ขับขี่รถยนต์ทราบ

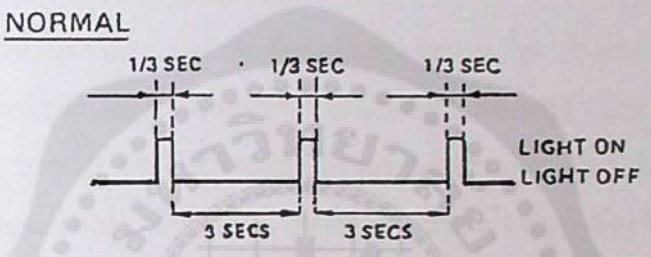



รูปที่ 3.26 แสดงสัญญาณ "CHECK ENGINE"

ชุดควบคุม ( ECU ) จะเก็บข้อมูลความผิดปกติที่ตรวจจับไว้ในหน่วยความจำ และข้อมูลนี้จะอยู่ในหน่วยความจำตลอดไปจนกว่าจะมีการลบข้อมูลออก โดยการถอดขั้วแบตเตอรี่ออก

รหัสข้อขัดข้อง ( DIAGNOSIS CODE )

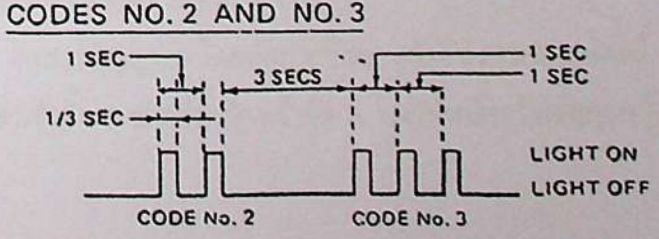
ข้อมูลความผิดปกติที่ ชุดควบคุม ( ECU ) ตรวจจับได้ จะถูกแสดงออกเป็นรหัสในลักษณะของจำนวนครั้งในการกระพริบ ของหลอดไฟตรวจสอบเครื่องยนต์ ( CHECK ENGINE ) ดังแสดงในรูป




รูปที่ 3.27 แสดงช่วงกระพริบของหลอดไฟตรวจสอบเครื่องยนต์

จากรูปเป็นรหัสที่แสดงถึงการทำงานอยู่ในสภาวะปกติ คือไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้นในระบบ หลอดไฟตรวจสอบเครื่องยนต์ จะกระพริบขึ้นทุก 3 วินาที กล่าวคือ หลอดไฟจะสว่าง 1/3 วินาที และ ดับ 3 วินาที สลับกันไป

สำหรับกรณีที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นหลายจุด หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะแสดงรหัสข้อขัดข้องที่มีค่าน้อยออกมาก่อนเป็นอันดับแรก และจะแสดงรหัสต่อไปเรียงจากรหัสที่มีค่าน้อยไปหาค่ามากตามลำดับดังแสดงในรูป




รูปที่ 3.28 แสดงลำดับการกระพริบของหลอดไฟ

จากรูป เป็นการแสดงรหัสข้อขัดข้องหมายเลข 2 และ 3 หลอดไฟตรวจสอบเครื่องยนต์จะกระพริบ 2 ครั้ง เพื่อแสดงรหัสหมายเลข 2 และดับเป็นเวลา 3 วินาที จากนั้นจะกระพริบอีก 3 ครั้ง เพื่อแสดงรหัสหมายเลข 3 ถ้าหากมีความผิดปกติเพียง 2 จุด หลอดไฟตรวจสอบเครื่องยนต์ก็จะกระพริบ 2 ครั้งและ 3 ครั้ง ต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าจะมีการตัดกระแสไฟที่ป้อนเข้ากล่อง ECU

หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะแสดงรหัสข้อขัดข้องใน 2 กรณี ดังต่อไปนี้

1. ขณะเครื่องยนต์ทำงาน แล้วมีความผิดปรกติเกิดขึ้นกับสัญญาณต่างๆ จากตัวตรวจจับสัญญาณ (sensor) หลอดไฟ " CHECK ENGINE " จะสว่างขึ้นซึ่งทำให้ผู้ขับขี่รถยนต์ทราบว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นต้องนำรถเข้าตรวจซ่อม

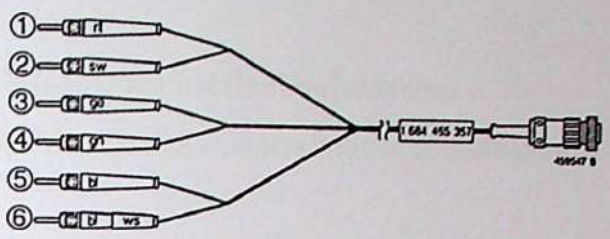
2. กรณีที่ต้องการตรวจสอบหาข้อขัดข้องของระบบเมื่อเครื่องยนต์ทำงานผิดปรกติ กรณีนี้จะกระทำในขณะเครื่องยนต์ดับ และสวิตช์จุดระเบิดอยู่ในตำแหน่ง ON หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะมีขั้ว T และ E1 สำหรับลัดวงจรเพื่อเรียกข้อมูลความผิดปกติ ที่เก็บในหน่วยความจำออกมาแสดงผลทางหลอดไฟกระพริบ แล้วนำรหัสที่ได้ไปแปลเป็นข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์

**อุปกรณ์การทดลอง**

1. เครื่องทดสอบ ยี่ห้อบอสช์ ( BOSCH ) รุ่น FSA 560
2. เครื่องยนต์

**วิธีการทดลอง**

1. เปิดเครื่องไปที่ Diagnosis แล้ว Enter
2. เลือก Eletronics test แล้วเลือกยี่ห้อรถที่จะทดสอบ ในที่นี้เลือก OPEL แล้ว กด Enter
3. เลือก Engine Control กด Enter
4. ต่อสายสัญญาณ โดยต่อสายสีแดง เข้าที่ขั้วบวกแบตเตอรี่ สายสีดำเข้าขั้วลบแบตเตอรี่ สายสีเขียวเข้าขั้ว G สายสีเหลืองเข้าขั้ว B จากนั้นบิดสวิตช์กุญแจไปตำแหน่ง ON กด Enter




รูปที่ 3.29 แสดงลักษณะของสายสัญญาณ Electronic test

5. เลือก Motronic ML 4.1 แล้วกด F12

6. เลือก Error memory กด F12 เครื่องทดสอบจะแสดงข้อมูลออกมา เป็นการเสร็จสิ้นการทดลอง

7. กด ESC เพื่อออกจากโปรแกรม

8. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

Diagnosis/electronics test OPEL

Systems available (Engine control)

Motronic ML4.1 1

Control unit Motronic ML4.1

Identity

Hardware version Manufacturer FB90233741
Software version Manufacturer

Error memory No. of errors Code Actual

## 3.9 การทดลองเรื่อง การวัดปริมาณควันดำที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์

### วัตถุประสงค์

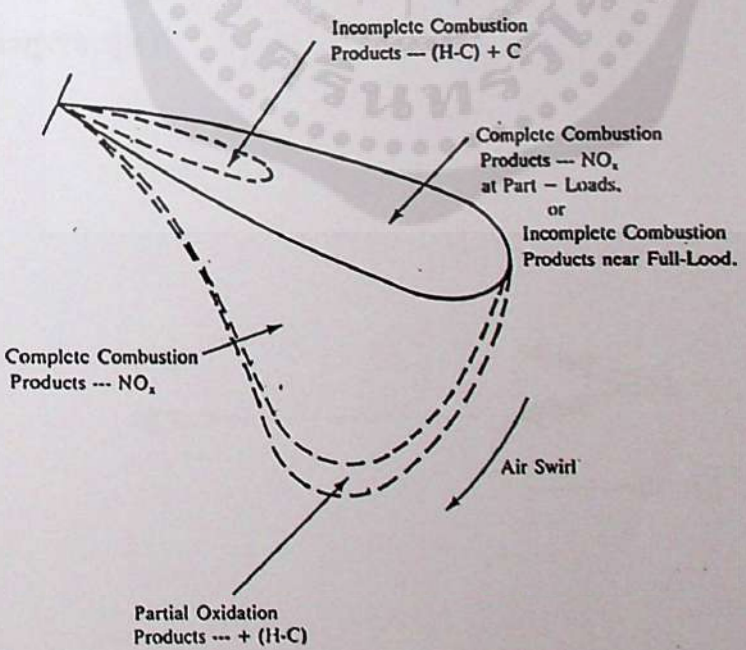
1. เพื่อรู้จักการวัดควันดำโดยใช้เครื่องทดสอบ
2. เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้

### บทนำ

ในเครื่องยนต์ดีเซล มีสารมลพิษจากการเผาไหม้ ที่มีความสำคัญคือ อนุภาคแข็ง หรือควันดำนั่นเอง ซึ่งจะต้องควบคุมไม่ให้มีปริมาณมากเกินไปดังนั้นจึงต้องมีการตรวจวัดปริมาณควันดำที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมา

### ทฤษฎี

ควันดำเกิดจาก แกนกลางของลำน้ำมันที่ฉีดเข้ากระบอกสูบ แยกกระจายออกไปได้ยาก และ มีความหนาแน่นสูง เมื่อแกนน้ำมันนี้ปะทะอุณหภูมิสูงในกระบอกสูบ และขาดออกซิเจน ช่วยในการสันดาป เนื่องจากออกซิเจนถูกใช้ไปหมดแล้ว จะทำให้เกิดละอองคาร์บอนขึ้น เป็นผลให้เกิดควันดำ




**รูปที่ 3.30** แสดงการก่อตัวของสารมลพิษในลำน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในอากาศหมุนวน

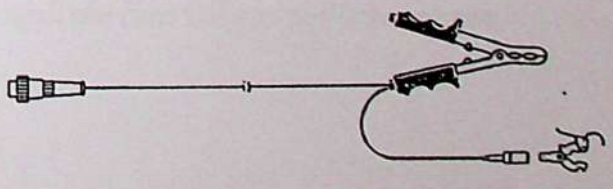
ทำนองเดียวกัน เชื้อเพลิงที่ฉีดมาแตะผนังกระบอกสูบ หัวลูกสูบ และเชื้อเพลิงหยดหลังการฉีดน้ำมันจะทำให้เกิดเป็นควันดำด้วย ในกรณีที่เครื่องยนต์ใช้มาเป็นเวลานาน เครื่องยนต์เกิดการสึกหรอทำให้อัตราส่วนการอัดต่ำ อุณหภูมิต่ำ และ ออกซิเจนไม่เพียงพอ จึงทำให้เผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดควันดำ

**อุปกรณ์การทดลอง**

1. เครื่องวัดควันดำ ยี่ห้อบอสช์ ( BOSCH ) รุ่น FSA 560
2. เครื่องยนต์

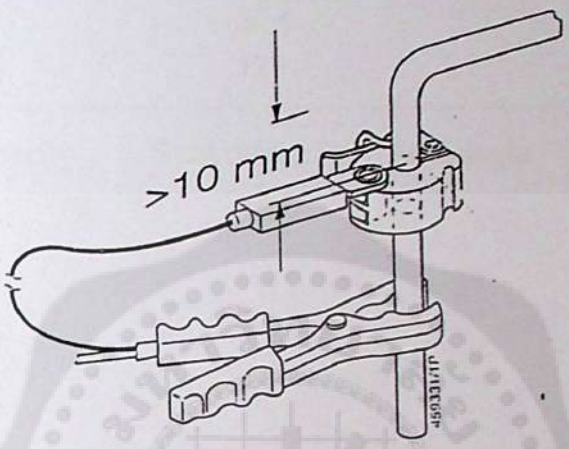
**วิธีการทดลอง**

1. เมื่อเปิดเครื่องทดสอบที่หน้าจอแรกให้ เลือก Diagnosis แล้วกด Enter
2. ไปที่ EGA PC กด Enter
3. กด Enter อีก 2 ครั้ง
4. ต่อสายวัดอุณหภูมิเข้าแทนที่ อุปกรณ์วัดระดับน้ำมันเครื่อง โดยต้องปรับความยาวของสายวัดอุณหภูมิให้เท่ากับความยาวของอุปกรณ์วัดระดับน้ำ
5. ต่อสายสัญญาณวัดความเร็วรอบแต่ที่เครื่องทดสอบไม่มีสายสัญญาณวัดความเร็วต่ออยู่ต้องนำสายสัญญาณวัดความเร็วรอบต่อเข้าเครื่องทดสอบโดยต่อแทนที่ของสายสัญญาณ ไฟแรงสูงของสูบ 1



<u>รูปที่ 3.31</u> แสดงลักษณะของสายสัญญาณวัดความเร็วรอบ

การต่อสายสัญญาณวัดความเร็วรอบเข้ากับเครื่องยนต์ โดยนำอุปกรณ์จับสัญญาณไปจับที่แป๊บหัวฉีดสูบ ที่ 1 บริเวณใกล้กับปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ต้องทำความสะอาดแป๊บหัวฉีดบริเวณที่จะจับสัญญาณเสียก่อน หลังจากนั้นต่อสายสัญญาณเข้ากับอุปกรณ์จับสัญญาณ ดังแสดงในรูป




**รูปที่ 3.32** แสดงการต่อสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์

5. ต่อสายสัญญาณ แบตเตอรี่จากเครื่องทดสอบเข้าที่ขั้วแบตเตอรี่ โดยสายสีแดงต่อขั้วบวก สายสีดำต่อขั้วลบ

6. สตาร์ทเครื่องยนต์ รอจนอุณหภูมิของเครื่องยนต์ถึงอุณหภูมิทำงาน

7. เร่งเครื่องยนต์ให้รอบสูงสุด ขณะเดียวกัน กด F6 เครื่องทดสอบจะบันทึกค่าปริมาณควันดำไว้

8. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ และ สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลอง

| | | |
|---|---|---|
| Date of test: | 26.08.2000 | 14:10 |
| Registr. number | 1 | |
| Odometer Reading | 500000 | |
| Vehicle manufacturer | isuzu | |
| Type | 4fc1 | |
| Vehicle Ident Number | 123 | |

| Speed | Opacity | Start deliv. | Adv. angle |
|---|---|---|---|
| rpm | % | °CS | - |

## 3.10 การทดลองเรื่อง การวัดปริมาณควันดำโดยใช้เครื่องเทคโนเทส ( TECHNOTEST)

**วัตถุประสงค์**

1. เพื่อรู้จักการวัดควันดำโดยใช้เครื่องทดสอบ
2. เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้

**บทนำ**

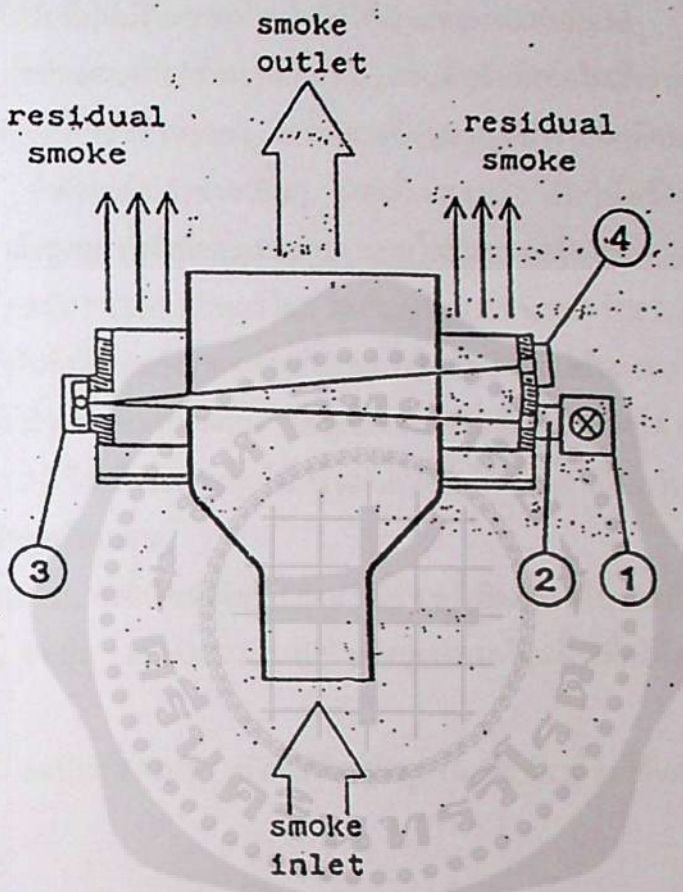
ในเครื่องยนต์ดีเซล มีสารมลพิษจากการเผาไหม้ ที่มีความสำคัญคือ อนุภาคแข็ง หรือควันดำนั่นเอง ซึ่งจะต้องควบคุมไม่ให้มีปริมาณมากเกินไปดังนั้นจึงต้องมีการตรวจวัดปริมาณควันดำที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมา

**ทฤษฎี**

หลักการทำงานของเครื่องวัดควันดำ

หลอดไฟ ( 1 ) ทำหน้าที่ให้กำเนิดแสงไฟส่องผ่านชุดเลนส์รวมแสง ( 2 ) ให้เข้มและพุ่งไปเป็นลำแสงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 มิลลิเมตร ลำแสงนี้จะพุ่งผ่านห้องวัดควันดำหมายเลข ( 3 ) แล้วสะท้อนกลับไปยังตาไฟฟ้า ( 4 ) ระยะทางที่ลำแสงเคลื่อนที่มีผลต่อการวัดค่าควันดำจะประมาณ 40 เซนติเมตร คือห้องวัดควันดำกว้าง 20 เซนติเมตร ด้านข้างห้องวัดควันดำมีช่องว่างระบายอากาศด้วยพัดลม เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกไปเกาะติดบนกระจก หลอดไฟ และตาไฟฟ้าซึ่งถ้ามีสิ่งสกปรกไปเกาะติดอุปกรณ์ดังกล่าจะทำให้ผลการวัดไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง นอกจากนี้แล้วยังมีแผ่นสไลด์ใสๆ เพื่อป้องกันสิ่งอื่นๆ เข้าไปในอุปกรณ์ดังกล่าวอีกด้วย

ตาไฟฟ้าจะทำหน้าที่รับสัญญาณแสง แล้วประมวลผลและแสดงผลของควันดำโดยไมโครโพรเซสเซอร์




รูปที่ 3.33 แสดงหลักการทำงานของเครื่องวัดควันดำ

**วิธีการทดลอง**

การวัดควันดำจะวัดค่าควันดำ 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา ซึ่งมีขั้นตอนการวัดดังนี้

1. กดปุ่มตั้งค่าศูนย์อัตโนมัติ เพื่อปรับตั้งค่าศูนย์

2. กดปุ่มทดสอบความเฉียบไวเพื่อตรวจสอบค่าความเฉียบไวบนจอว่าเท่ากับ 50 หรือไม่ ถ้าไม่เท่าให้ปรับที่ปุ่มปรับความเฉียบไวให้ได้ตัวเลขบนจอเท่ากับ 50

3. ต่อท่ออ่อนของเครื่องทดสอบ (วัด) ควันดำเข้ากับท่อไอเสียรถยนต์

4. ติดเครื่องยนต์ให้อุณหภูมิเครื่องยนต์ถึงอุณหภูมิทำงานปกติของเครื่องยนต์

5. ย้ำคับเร่งในช่วงเวลาสั้นๆ ติดต่อกันสามครั้ง เพื่อให้เครื่องยนต์เร่งขึ้นไปถึงความเร็วรอบที่ให้กำลังสูงสุด ทั้งนี้เพื่อความสะอาดระบบไอเสียของเครื่องยนต์

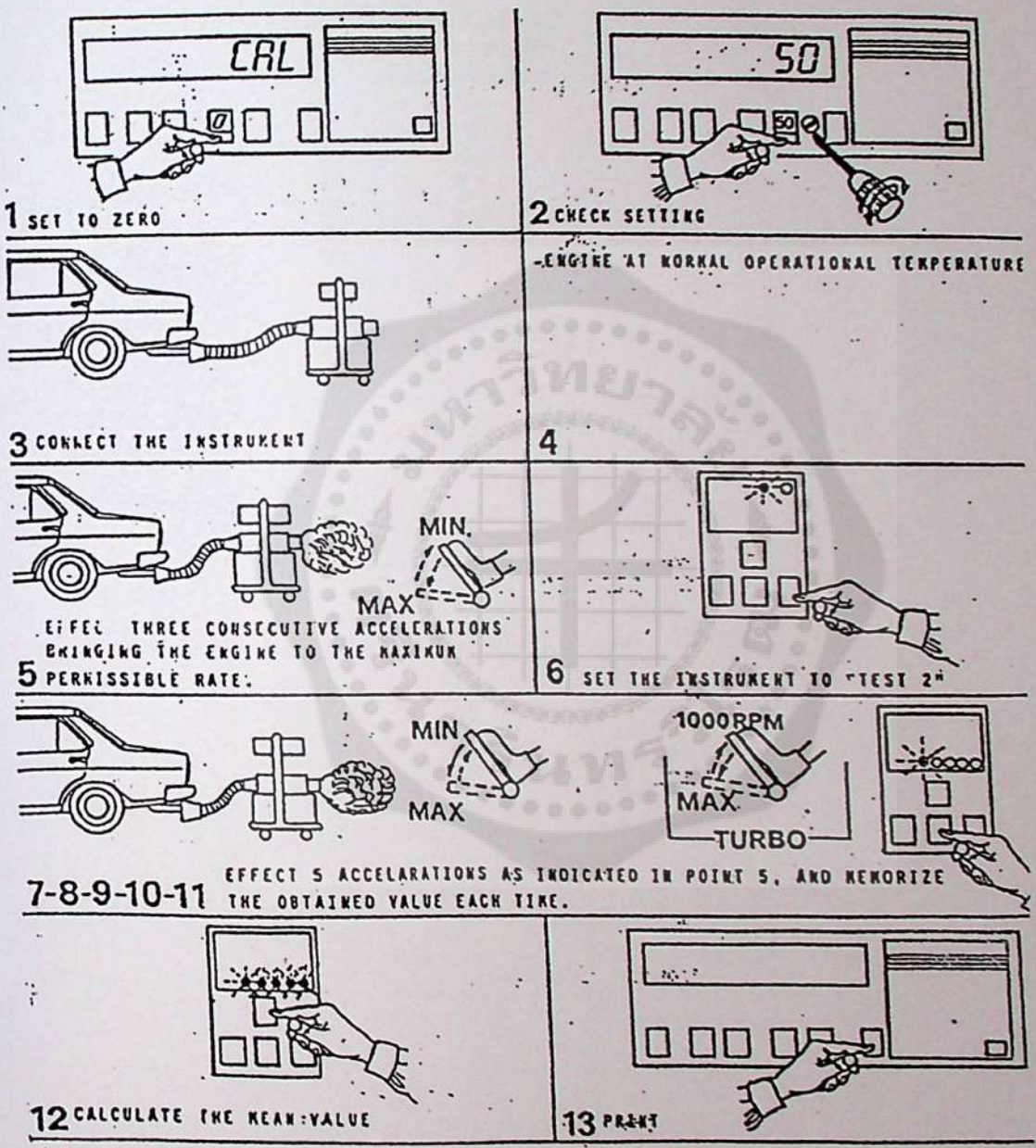
6. กดปุ่ม " TEST 2 " บนรีโมท ไฟสัญญาณการทำงาน " TEST 2 " ติด

7. ทันทีทันใดหลังจากย้ำคันเร่งสามครั้งในข้อ 5 แล้วให้ปล่อยความเร็วรอบเครื่องยนต์ลด ลงถึงความเร็วรองเดินเบา กดปุ่ม " MEMORY " หรือปุ่มจำค่าที่วัดได้ เพื่อให้เครื่องจดจำที่วัดได้ไว้ ควรรอสัก 2-3 วินาที ก่อนกดปุ่มให้เครื่องจำค่าที่วัดได้ ทั้งนี้เพื่อให้ควันส่วนใหญ่ออกไปจากห้องวัดควันดำของเครื่องก่อน

8,9,10,11. ทำซ้ำในหัวข้อที่ 5 และ 7 อีก 4 ครั้งติดต่อกันไปรวมเป็น 5 ครั้ง

12. กดปุ่ม " MEAN VALUE " หรือปุ่มแสดงค่าเฉลี่ย เพื่อให้เครื่องคำนวนหาค่าเฉลี่ย

13. กดปุ่ม " PRINT " หรือปุ่มพิมพ์ข้อมูล เพื่อพิมพ์ค่าที่วัดได้แต่ละครั้งและค่าเฉลี่ย




1 SET TO ZERO

2 CHECK SETTING

-ENGINE AT NORMAL OPERATIONAL TEMPERATURE

3 CONNECT THE INSTRUMENT

4

EFFECT THREE CONSECUTIVE ACCELERATIONS BRINGING THE ENGINE TO THE MAXIMUM
5 PERMISSIBLE RATE.

6 SET THE INSTRUMENT TO "TEST 2"

7-8-9-10-11 EFFECT 5 ACCELARATIONS AS INDICATED IN POINT 5, AND MEMORIZE THE OBTAINED VALUE EACH TIME.

12 CALCULATE THE MEAN VALUE

13 PRINT

14 IN THE EVENT OF ENGINES EQUIPPED WITH AIR SUPER-CHARGING SYSTEMS WHICH CAN BE DISENGAGED BY THE DRIVE. EFFECT THE TESTS BOTH WITH THE SYSTEM ENGAGED AND DISENGAGED.

**รูปที่ 3.34** แสดงขั้นตอนการวัดควันดำ

**ผลการทดลอง**

```
.. T E C N O T E S T ..
.                     .
. SMOKE METER MOD. 490 .
.                     .
.     HOMOLOGATION:   .
.     3631/4103/82    .
.     921/4103/8-L    .
...                 ...

 1)        %
 2)        %
 3)        %
 4)        %
 5)        %

OPAC. MED.

      %

CAR:

DATE:

...      GARAGE     ...
.                     .
.                     .
```

## 3.11 การทดลองเรื่องปริมาณไอเสียของเครื่องยนต์เบนซินโดยใช้เครื่องทดสอบโอลิเวอร์(OLIVER)

**วัตถุประสงค์การทดลอง**

1. เพื่อศึกษาการใช้เครื่องทดสอบ วิเคราะห์ไอเสียของเครื่องยนต์
2. เพื่อศึกษาส่วนประกอบของไอเสียที่ทำให้เกิดมลพิษในอากาศ
3. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์สภาพของเครื่องยนต์

**บทนำ**

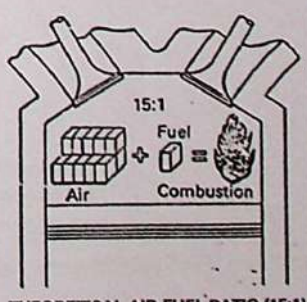
การทดลองการวิเคราะห์ปริมาณไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เป็นสิ่งที่มีผลต่อสภาพแวดล้อม และการทดลองนี้สามารถแสดงให้ทราบ ถึงปริมาณของก๊าซต่าง ๆ ที่รวมอยู่ในไอเสียที่เกิดจากขบวณการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ในแต่ละความเร็วรอบ ข้อมูลที่ได้จะนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตราฐานเพื่อหาแนวทางแก้ไขต่อไป

**ทฤษฎี**

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและอากาศที่สมบูรณ์จะต้องมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ที่ใช้ออกเทนเป็นเชื้อเพลิงจะเป็นอัตรา 15 : 1 โดยนำหนัก และมีสมการเคมีดังนี้

$$2\,C_8H_{18} + 25\,O_2 \rightarrow 16\,CO_2 + 18\,H_2O$$

ในน้ำมันเบนซินไม่ได้มีออกเทนเพียงอย่างเดียว แต่มีไฮโดรคาร์บอนสูตรอื่นรวมอยู่ด้วย ฉะนั้นอัตราส่วนผสมตามทฤษฎีจะอยู่ระหว่าง 14.4 – 15.0 : 1 ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศ และ เชื้อเพลิงต่ำกว่าอัตราส่วนทางทฤษฎี เช่น 10 : 1 เรียกว่า ส่วนผสมหนา ส่วนผสมหนาแสดงว่าอากาศมีน้อยกว่าปกติ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยากับคาร์บอนในน้ำมันเชื้อเพลิงไม่พอเพียง การเผาไหม้จึงไม่สมบูรณ์




รูปที่ 3.35 แสดงแผนภูมิอัตราส่วนผสมตามทฤษฎี

ถ้าอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงสูงกว่าอัตราส่วนทางทฤษฎีเช่น 20 : 1 เรียกว่าส่วนผสมบาง ทำให้ออกซิเจนเหลือเกินกว่าที่จะทำปฏิกิริยา

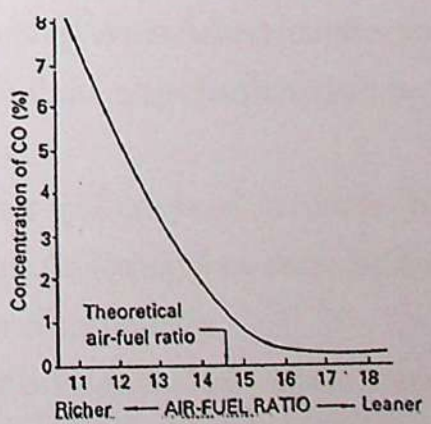
การเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์เนื่องจากออกซิเจน ($O_2$) มีไม่เพียงพอ เช่น เกิดจากส่วนผสมหนา เป็นต้น โดยทางทฤษฎีแล้ว แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ไม่ควรจะเกิดถ้าส่วนผสมบาง แต่โดยความเป็นจริงแล้วแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้นแม้ส่วนผสมบาง การเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพราะเหตุต่าง ๆ ผลดังนี้

1. การกระจายส่วนผสมของอากาศ และ เชื้อเพลิงไม่ทั่วถึง และ เท่ากันทุกส่วนของห้องเผาไหม้ทำไหม้บางส่วนเผาไหม้สมบูรณ์ แต่บางส่วนเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เพราะขาดออกซิเจน

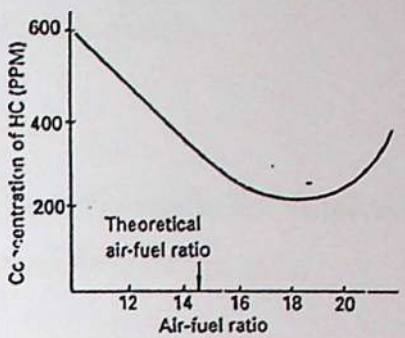
2. อุณหภูมิโดยรอบห้องเผาไหม้ซึ่งอยู่ติดกับโลหะจะต่ำ ทำให้เปลวไฟจากการลุกไหม้เข้าไปไม่ถึงอุณหภูมิขณะเผาไหม้ต่ำทำให้เผาไหม้ไม่สมบูรณ์

3. แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)สามารถเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$)ได้ จากสมการ $2\,CO + O_2 \rightarrow 2\,CO_2$ แต่ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นช้า ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$)ได้หมดในแต่ละพลวัตร การทำงานแม้ส่วนผสมจะบางมีออกซิเจน ($O_2$) อยู่เพียงพอก็ตาม

ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในไอเสียจะเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงดังในกราฟอัตราส่วนผสมที่หนาจะเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มาก และ จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อส่วนผสมบางลง




<u>รูปที่ 3.36</u> แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และอัตราส่วนผสม




**รูปที่ 3.37** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไฮโดรคาร์บอน ( HO) และอัตราส่วนผสม

การเกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอน ในการเผาไหม้นั้นน้ำมันเชื้อเพลิงส่วนใหญ่จะเผาไหม้ แต่จะมีน้ำมันบางส่วนไม่เผาไหม้ในบางจังหวะ สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้เผาไหม้จะกลายเป็นแก๊สออกไปกับไอเสีย สาเหตุเกิดจาก

1. อัตราส่วนผสมไม่ถูกต้อง ถ้าส่วนผสมหนาจะทำให้ขาดออกซิเจนไปทำปฏิกิริยาเคมีน้ำมันทั้งหมด จึงเหลือเป็นไฮโดรคาร์บอนออกมา แม้ว่าอัตราผสมบางแก๊สไฮโดรคาร์บอนก็เกิดได้เช่นเดียวกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะการที่เชื้อเพลิงมีน้อย ทำให้ความเร็วในการแพร่กระจายของ เปลวไฟลดลง เชื้อเพลิงบางส่วนเผาไหม้ไม่ทันก็ระบายออกไปในจังหวะคาย

2. กำลังอัดของกระบอกสูบต่ำในขณะที่ขับรถช้าหรือเหยียบเบรกลิ้นคันเร่งของคาร์บูเรเตอร์จะปิดแคบทำให้อากาศเข้าบรรจุกระบอกสูบน้อย กำลังอัดต่ำ และ ในเวลาเดียวกันวงจรเดินเบาของคาร์บูเรเตอร์จะทำงานทำให้เกิดส่วนผสมหนา ทั้งกำลังอัดต่ำ และ ขาดออกซิเจนในไอดีทำให้การจุดระเบิดอาจไม่เกิดขึ้นในบางครั้งจึงเหลือแก๊สไฮโดรคาร์บอนปนออกมา

3. การเปิดร่วมกันของลิ้นไอดี และลิ้นไอเสีย ในการทำงานของลิ้นจะมีช่วงที่ไอเสีย และลิ้นไอดีเปิดร่วมกันอยู่ชั่วขณะหนึ่งในช่วงปลายจังหวะคาย และ เริ่มต้นจังหวะดูด ไอดีซึ่งเป็นส่วนผสมของอากาศกับน้ำมัน ถูกดูดเข้ามาในกระบอกสูบ จะมีบางส่วนออกไปทางลิ้นไอเสียระบายออกไปสู่บรรยากาศ

4. อุณหภูมิต่ำได้กล่าวแล้วว่า แก๊สที่อยู่ในห้องเผาไหม้ ติดกับส่วนที่เป็นโลหะจะมีอุณหภูมิต่ำทำให้เปลวไฟมีอุณหภูมิต่ำลง การเผาไหม้ที่บริเวณนี้จึงเกิดยาก ทำให้เหลือแก๊สไฮโดรคาร์บอนระบายออกไปพร้อมไอเสีย

การเกิดแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ที่ปนออกมากับไอเสียประมาณ 95% จะเป็นไนตริกออกไซด์ ซึ่งไนโตรเจนจะรวมตัวกับออกซิเจนดังสมการ $N_2 + O_2 \rightarrow 2\,NO$ โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน $1800^0$ ซ. ไนโตรเจนออกไซด์จะเกิดมาก

ถ้าการเผาไหม้สมบูรณ์ ปัจจัยที่ทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ก็คืออุณหภูมิในห้องเผาไหม้ และอัตราส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง

**อุปกรณ์การทดลอง**

1. เครื่องทดสอบวิเคราะห์ไอเสีย ยี่ห้อโอลิเวอร์ ( OLIVER )
2. เครื่องยนต์ยี่ห้อโตโยต้า รุ่น 4AGE

**วิธีการทดลอง**

1. เปิดเครื่องทดสอบ รอ 4 นาที เพื่อให้เครื่องทดสอบพร้อม
2. เครื่องทดสอบ ปรับค่าเป็นศูนย์ใช้เวลา 30 วินาที
3. ไปที่ Calibrate กด Enter
4. ไปที่ Leak test กด Enter แล้วนำท่อยางมาสวมที่หัวตรวจจับไอเสีย ( เพื่อปิดรูที่ หัวตรวจจับไอเสีย ) ถ้าผ่านให้ไปที่ OK ( แต่ถ้าไม่ผ่านต้องทำซ้ำ ) กด Enter แล้วอีก 30 วินาที จากนั้นไปที่ Exite กด Enter
5. ต่อสายวัดอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง โดยใส่แทนที่ของอุปกรณ์วัดระดับน้ำมันเครื่อง
6. นำอุปกรณ์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ จับที่สายหัวเทียนสูบที่ 1
7. ติดเครื่องยนต์ ให้อุณหภูมิเครื่องยนต์ถึง อุณหภูมิทำงานปกติของเครื่องยนต์
8. นำหัวตรวจจับไอเสียใส่ ที่ท่อไอเสียของเครื่องยนต์
9. ปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ให้มีความเร็วรอบ 700 – 900 rpm กด F12 เพื่อให้เครื่องแสดงปริมาณก๊าซต่าง ๆ ที่ตรวจจับได้ แล้วกด F 7 เพื่อพิมพ์ข้อมูลออกมา
10. ปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้อยู่ในช่วง 2900 – 3100 rpm แล้วกด F 7

ผลการทดลอง

Phone :
VTS :

ROL K9000 - Analyser Software Version = V3.05

Date:02/09/00 GAS VALUES PRINTOUT T

| | | | Actual Values |
|---|---|---|---|
| HC Hexane | ppm | VOL | |
| CO | % | VOL | |
| CO2 | % | VOL | |
| O2 | % | VOL | |
| NO | ppm | VOL | NOT FITTED |
| Oil Temp | oC | | |
| RPM | | | |
| AFR | N:1 | | |

# บทที่ 4

## ผลการทดลอง

**ผลการทดลองที่ 3.1 เรื่องการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์แต่ละสูบ**

**Battery/starter**

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 231 | > | 150 | /min |
| Oil temperature | 34.0 | 10.0 | 120.0 | C |
| Battery voltage | 9.9 | > | 9.5 | V |
| Starter current | -141.2 | -150.0 | -50.0 | A |

| Cylinder | 1 | 3 | 4 | 2 | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Compression | 92.8 | 95.6 | 91.3 | 95.4 | 84.4 | 107.8 | A |

สรุป

การทดลองการเปรียบเทียบ ปริมาณกระแสไฟที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์แต่ละสูบ ในขณะทำการสตาร์ท ซึ่งในช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ใช้ปริมาณกระแสไฟมากที่สุด เพราะมอเตอร์สตาร์ทต้องฉุดเครื่องยนต์ ให้หมุนมีความเร็วรอบมากพอที่จะติดและทำงานต่อไปได้

ในการทดลอง เครื่องทดสอบจะกำหนดค่าของ อุณหภูมิน้ำมันเครื่อง ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ แรงเคลื่อนของแบตเตอรี่ และกระแสไฟที่ใช้ในการสตาร์ทของเครื่องยนต์แต่ละรุ่นไว้แล้ว

ผลจากการทดลอง ได้ค่าแรงเคลื่อนของแบตเตอรี่ 9.9 V กระแสไฟที่ใช้ในการสตาร์ทเท่ากับ – 141.2 A ซึ่งอยู่ในช่วงที่กำหนด แสดงว่าแบตเตอรี่ และมอเตอร์สตาร์ท อยู่ในสภาพดีค่าของกระแสไฟมีค่าเป็นลบ เพราะเป็นปริมาณกระแสไฟที่จ่ายออก

เมื่อเปรียบเทียบกระแสที่ใช้ในการสตาร์ทของแต่ละสูบ มีความแตกต่างกันน้อย (ความแตกต่างอยู่ในช่วงที่กำหนด) แสดงว่าแต่ละสูบมีกำลังอัดใกล้เคียงกัน

## ผลการทดลองที่ 3.2 ระบบจุดระเบิด

### การทดลองที่ 3.2.1 เรื่องไฟแรงต่ำ

Primary ignition

Ignition on

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 0 | = | 0 | /min |
| Oil temperature | 34.7 | 10.0 | 120.0 | C |
| Battery voltage | 12.1 | 12.0 | 14.0 | V |
| Voltage Term.15 | 11.7 | 11.0 | 14.0 | V |
| Voltage Term.1 | 11.7 | 11.0 | 14.0 | V |
| Primary current | 0.0 | < | 0.1 | A |
| Dwell angle | ---- | | | |

Start

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 230 | > | 150 | /min |
| Oil temperature | 34.9 | 10.0 | 120.0 | C |
| Battery voltage | 9.7 | > | 9.5 | V |
| Voltage Term.15 | 9.8 | 9.0 | 12.0 | V |
| Voltage Term.1 | 4.3 | 1.0 | 9.0 | V |
| Primary current | 5.5 | 4.0 | 9.0 | A |
| Dwell angle | 43.1 | 10.0 | 20.0 | |

Idle speed

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 900 | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | 80.0 | 80.0 | 120.0 | C |
| Battery voltage | 12.9 | 12.0 | 15.1 | V |
| Voltage Term.15 | 12.8 | 11.0 | 15.1 | V |
| Voltage Term.1 | 8.5 | 1.0 | 12.0 | V |
| Primary current | 5.5 | 4.0 | 9.0 | A |
| Dwell angle | 20.5 | 10.0 | 20.0 | |

Increased rpm

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 2950 | 2900 | 3100 | /min |
| Oil temperature | 82.6 | 80.0 | 120.0 | C |
| Battery voltage | 13.4 | 12.0 | 15.1 | V |
| Voltage Term.15 | 13.5 | 11.0 | 15.1 | V |
| Voltage Term.1 | 9.3 | 1.0 | 12.0 | V |
| Primary current | 5.5 | 3.0 | 9.0 | A |
| Dwell angle | 40.0 | 25.0 | 40.0 | |

สรุป

การทดลองนี้เป็นการทดสอบแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นในขดลวดปฐมภูมิ ( Primary Coil ) และขดลวดทุติยภูมิ ( Secondary Coil )

ผลจากการทดลอง ค่าแรงดัน และกระแสไฟฟ้าของคอยล์ ทั้งสามช่วงอยู่ในช่วงที่กำหนด แสดงว่าคอยล์อยู่ในสภาพปกติ

## การทดลองที่ 3.2.2 เรื่องไฟแรงสูงของระบบจุดระเบิด

Secondary ignition

Idle speed

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 850 | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | 80.0 | 80.0 | 120.0 | C |
| Δ Secondary voltage | 1 | < | 4 | kV |
| Δ Combustion voltage | 0.1 | < | 1.0 | kV |
| Δ Combustion period | 0.24 | < | 0.50 | ms |

| Cylinder | 1 | 3 | 4 | 2 | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Secondary voltage | 9 | 9 | 10 | 9 | 6 | 16 | kV |
| Combustion voltage | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 1.8 | 0.5 | 3.0 | kV |
| Combustion period | 1.94 | 1.99 | 1.75 | 1.82 | 0.50 | 3.00 | ms |

Gas blast

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm minimum | 850 | 700 | 900 | /min |
| Rpm maximum | 3923 | > | 3900 | /min |

| Cylinder | 1 | 3 | 4 | 2 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Secondary voltage | 7 | 7 | 7 | 7 | kV |
| Combustion voltage | 1.9 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | kV |
| Combustion period | 1.45 | 1.71 | 1.88 | 1.42 | ms |

Difference

| Cylinder | 1 | 3 | 4 | 2 | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Secondary voltage | -2 | -2 | -3 | -2 | < | 9 | kV |
| Combustion voltage | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | < | 4.0 | kV |
| Combustion period | -0.49 | -0.28 | 0.13 | -0.40 | -1.30 | 0.00 | ms |

สรุป

ผลจากการทดลอง ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิสร้างขึ้นและเวลาที่ใช้ในการกระโดดข้ามเขี้ยวหัวเทียนมีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด แสดงว่าคอยล์ด้านไฟแรงสูงปกติดี

ช่วงความแตกต่างของเวลาที่ไฟแรงสูงใช้ในการกระโดดข้ามเขี้ยวหัวเทียน มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนด ที่เป็นเช่นนี้เพราะในสูบที่สี่ใช้เวลาในการกระโดดข้ามเขี้ยวหัวเทียนมาก สาเหตุเกิดมาจากหัวเทียนอาจสกปรก หรือระยะห่างเขี้ยวหัวเทียนมากเกินไป ซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบ และแก้ไขต่อไป

## การทดลองที่ 3.2.3 เรื่ององศาจุดระเบิด

Ignition point

Basic setting

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 810 | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | 80.8 | 80.0 | 120.0 | °C |
| Ignition point | 10.2 | 9.0 | 11.0 | °CS |
| Vacuum | -6 | | | mbar |
| Valve | closed | | | |

Ignition timing 1

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 820 | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | 81.2 | 80.0 | 120.0 | °C |
| Ignition point | 14.7 | 14.0 | 18.0 | °CS |
| Ignition timing | 4.5 | | | °CS |
| Vacuum | -6 | | | mbar |
| Valve | closed | | | |

Ignition timing 2

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 3470 | 3450 | 3550 | /min |
| Oil temperature | 81.3 | 80.0 | 120.0 | °C |
| Ignition point | 38.7 | 30.0 | 50.0 | °CS |
| Ignition timing | 28.5 | | | °CS |
| Vacuum | -6 | | | mbar |
| Valve | closed | | | |

สรุป

ผลจากการทดลองค่าองศาจุดระเบิดที่ความเร็วรอบเดินเบา และที่ความเร็วรอบ 3450 – 3550 rpm มีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนด แสดงว่าการเร่งองศาจุดระเบิดล่วงหน้าถูกต้อง

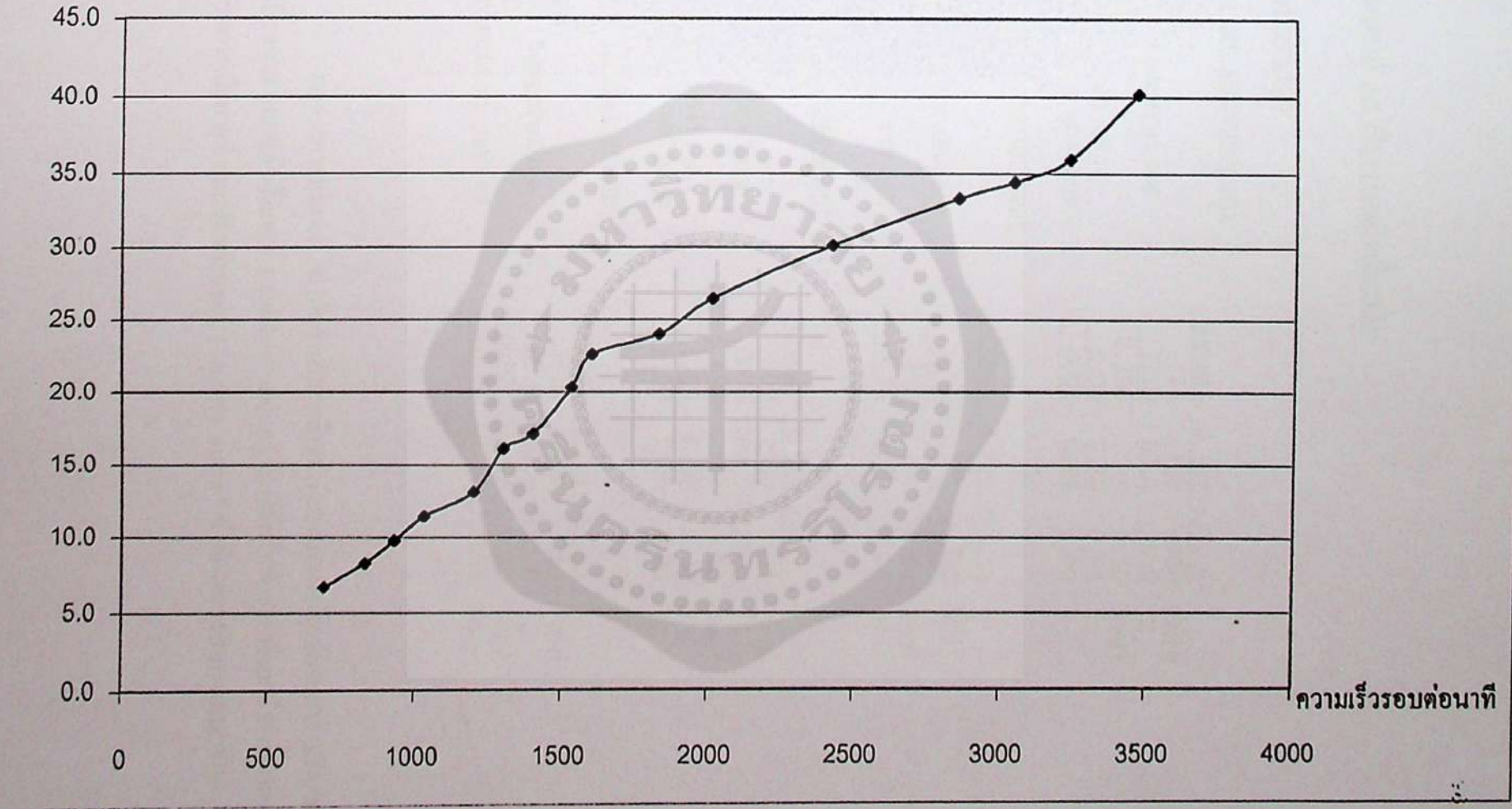
การเร่งองศาจุดระเบิดล่วงหน้า สำหรับเครื่องยนต์เบนซินหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ จะใช้ชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ( ECU ) ในการเร่งองศาจุดระเบิดล่วงหน้า โดยรับสัญญาณจาก ความเร็วรอบเครื่องยนต์ สำหรับเครื่องยนต์เบนซินธรรมดา จะใช้กลไกในการเร่งองศาจุดระเบิดล่วงหน้า

**ตารางที่ 4.1** แสดงผลการทดลองเรื่ององศาจุดระเบิด

| ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (RPM) | มุมองศาจุดระเบิด (BTDC) |
|---|---|
| 690 | 6.7 |
| 830 | 9.0 |
| 930 | 9.8 |
| 1030 | 11.4 |
| 1200 | 13.1 |
| 1300 | 16.1 |
| 1400 | 17.1 |
| 1500 | 20.3 |
| 1600 | 22.6 |
| 1830 | 24.0 |
| 2010 | 26.4 |
| 2420 | 30.1 |
| 2850 | 33.3 |
| 3040 | 34.4 |
| 3230 | 35.9 |
| 3460 | 40.2 |

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาจุดระเบิดกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ยี่ห้อโตโยต้า รุ่น 4AGE (หัวฉีดอิเล็กทรอนิค)



**ผลการทดลองที่ 3.3 เรื่องระบบฉีดเชื้อเพลิง**

Injection

First measurement

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 770 | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | 77.9 | 80.0 | 120.0 | °C |
| CO | 0.186 | < | 0.50 | %vol |
| Lambda voltage | 0.00 | 0.35 | 0.60 | V |
| Δ Lambda voltage | 0.01 | 0.60 | 1.00 | V |

Second measurement

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 770 | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | 78.2 | 80.0 | 120.0 | °C |
| CO | 0.213 | < | 0.50 | %vol |
| Injection period | 0.16 | 1.50 | 3.00 | ms |

Third measurement

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 3000 | 2900 | 3100 | /min |
| Oil temperature | 80.6 | 80.0 | 120.0 | °C |
| CO | 0.699 | < | 0.50 | %vol |
| Lambda voltage | 0.00 | 0.35 | 0.60 | V |
| Δ Lambda voltage | 0.00 | 0.60 | 1.00 | V |

Fourth measurement

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 3010 | 2900 | 3100 | /min |
| Oil temperature | 82.2 | 80.0 | 120.0 | °C |
| CO | 0.921 | < | 0.50 | %vol |
| Injection period | 0.34 | 1.50 | 3.00 | ms |

**สรุป**

ผลจากการทดลอง จะเห็นว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากกว่า ปริมาณที่กำหนด เนื่องจาก แลมบ์ด้าเซ็นเซอร์ ( Lambda sensor ) มีแรงดันไฟฟ้าออกน้อยกว่าค่าที่กำหนด แสดงว่าเกิดการเสียหายที่ แลมบ์ด้าเซ็นเซอร์ ( Lambda sensor ) ซึ่งต้องตรวจสอบ และแก้ไข

**ผลการทดลองที่ 3.4 เรื่องการวัดปริมาณไอเสียของเครื่องยนต์**

Exhaust gas

First measurement

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 860 | 750 | 860 | /min |
| Oil temperature | 91.8 | 80.0 | 120.0 | °C |
| CO | 1.321 | < | 0.50 | %vol |
| HC | 421 | < | 100 | ppmvol |
| $CO_2$ | 11.49 | > | 9.0 | %vol |
| $O_2$ | 4.40 | < | 0.5 | %vol |
| Lambda | 1.165 | 0.98 | 1.02 | |
| $CO_{vrai}$ | 1.548 | < | 0.5 | %vol |

Second measurement

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 2990 | 2900 | 3100 | /min |
| Oil temperature | 91.9 | 80.0 | 120.0 | °C |
| CO | 3.067 | < | 0.50 | %vol |
| HC | 218 | < | 100 | ppmvol |
| $CO_2$ | 13.11 | > | 9.0 | %vol |
| $O_2$ | 0.85 | < | 0.5 | %vol |
| Lambda | 0.942 | 0.98 | 1.02 | |
| $CO_{vrai}$ | 3.069 | < | 0.5 | %vol |

สรุป

การทดลองนี้เป็นการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซไอเสีย ที่เกิดจากการสันดาปของเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกซิเจน ($O_2$) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ค่าที่วัดมาได้จะเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ค่าที่ได้จากการทดลอง ปริมาณก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ($CO_2$) อยู่ในช่วงที่กำหนด แต่ปริมาณของก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ ไฮโดรคาร์บอน (HC) มากกว่าที่กำหนด สาเหตุเกิดจาก คาตาไลติก (Catalytic) ทำงานไม่ปกติ หรือเกิดการเสียหาย และ แลมบ์ด้าเซ็นเซอร์ ( Lambda sensor ) เกิดการเสียหายดังจะเห็นได้จากการทดลองที่ 3.3 จึงทำให้การฉีดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงผิดพลาดไป

**ผลการทดลองที่ 3.5 เรื่องระบบไฟชาร์จ**

**Generator**

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 2950 | 2900 | 3100 | /min |
| Battery voltage | 13.6 | 12.5 | 15.1 | V |
| Generator current | 36.3 | 0.1 | 25.0 | A |
| Undulation | 9.0 | < | 10.0 | % |

สรุป

การทดลองนี้ เป็นการวัดค่ากระแสไฟชาร์จ ที่เจนเนอเรเตอร์ผลิตออกไปใช้ในระบบ และชาร์จให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งจะถูกควบคุมโดยเรกูเรเตอร์

ผลจากการทดลอง ค่ากระแสไฟของเจนเนอเรเตอร์มากกว่า ช่วงที่กำหนด สาเหตุเกิดจาก ตัวเจนเนอเรเตอร์เอง หรือเรกูเรเตอร์ทำงานผิดปกติ

กรณีที่ค่าของกระแสไฟที่เจนเนอเรเตอร์ผลิตได้ เกินช่วงที่กำหนดควรจะตรวจสอบว่าเกิดจากสาเหตุใดและแก้ไข เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเสียหายแก่ อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้

## ผลการทดลองที่ 3.6 เรื่องกำลังอัดของเครื่องยนต์แต่ละสูบ

Cylinder comparison

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 1570 | 1500 | 1700 | /min |
| Oil temperature | 84.8 | 80.0 | 120.0 | C |

| Cylinder | 1 | 3 | 4 | 2 | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Δ Rpm | -22.4 | -22.9 | -21.8 | -22.0 | -16.7 | -27.8 | % |

Idle speed stabilization

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 750 | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | 82.2 | 80.0 | 120.0 | C |
| Δ Rpm / LLS | 19.0 | < | 11.1 | % |

## สรุป

การทดลองจะวัดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 - 1700 rpm เครื่องทดสอบจะตัดการจุดระเบิดทีละสูบ และเครื่องทดสอบจะวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่หายไปออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ทำเช่นนี้จนครบทุกสูบ และทำเช่นเดียวกันนี้ที่ความเร็วรอบเดินเบา 700 – 900 rpm

ผลจากการทดลอง ที่ความเร็วรอบ 1500 – 1700 rpm ค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่กำหนด แสดงว่ากำลังอัดของแต่ละสูบมีค่าใกล้เคียงกัน และเครื่องยนต์ยังใช้งานได้ แต่ไม่สมบูรณ์เต็มที่ เพราะค่าที่วัดได้จากความเร็วรอบเดินเบานั้น ความเร็วที่หายไปมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนด แสดงว่าเครื่องยนต์มีการสึกหรอไปพอสมควร

## ผลการทดลองที่ 3.7 เรื่องความสม่ำเสมอของความเร็วรอบเดินเบา

Rpm analysis

| | Actual | < Set val. > | | |
|---|---|---|---|---|
| Rpm | 760 | 700 | 900 | /min |
| Oil temperature | 81.9 | 80.0 | 120.0 | C |
| Δ Rpm | 12 | < | 80 | /min |

| Cylinder | 1 | 3 | 4 | 2 | < Set val. > | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Δ Rpm | -3.0 | -3.0 | 7.0 | -1.0 | > -10.0 | /min |
| Secondary voltage | 9 | 9 | 10 | 8 | | kV |
| Combustion voltage | 1.5 | 1.5 | 1.7 | 1.6 | | kV |
| Combustion period | 1.90 | 1.82 | 1.73 | 1.83 | | ms |

สรุป

การทดลองนี้เครื่องทดสอบจะวัดค่าความสม่ำเสมอความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์

ผลจากการทดลองค่าความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้น และลงอยู่ในช่วงที่กำหนดแสดงว่าเครื่องยนต์มีความเร็วรอบเดินเบาสม่ำเสมอดี

**ผลการทดลองที่ 3.8 เรื่องระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องในเครื่องยนต์หัวฉีด อิเล็กทรอนิกส์**

Diagnosis/electronics test OPEL

Systems available (Engine control)

Motronic ML4.1 1

Control unit Motronic ML4.1

Identity

| | | |
|---|---|---|
| Hardware version | Manufacturer FB90233741 | Bosch 0261200100 |
| Software version | Manufacturer | Bosch 1267355541 |

| Error memory No. of errors 1 | Code | Actual | < Set > | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. CO potentiometer signal too low error static | 65 | 0.06 | 0.25 | 4.80 | V |
| Engine speed | 440 | rpm | | | |
| Engine temperature sensor | 54 | °C | | | |

สรุป

ผลจากการทดลองพบข้อบกพร่องที่มาตรวัดอากาศ อาการที่เสียคือ มีค่าแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าช่วงที่กำหนด สาเหตุเกิดจากสายขาด หรือมาตรวัดอากาศเสีย จะต้องมีการตรวจสอบและแก้ไข

## ผลการทดลองที่ 3.9 เรื่องการวัดปริมาณควันดำที่เกิดจากเครื่องยนต์

BOSCH ESA

Workshop executing the test

**Srinakharinwirot University** **Huakrabue,Ongkarak,Nakonnayok**
**Faculty of Engineering** **Tel.:(02)6641000 ext.2055**
**Dept of Mechanical Engineering** **Fax.:(037)322609**

Date of test: 14.10.2000 12:01

Registr. number
Odometer Reading
Vehicle manufacturer
Type
Vehicle Ident Number

| Speed | Opacity | Start deliv. | Adv. angle | Measuring mode |
|---|---|---|---|---|
| 2560 rpm | 87.6 % | — °CS | — | A (Filtering time t < 0.5s) |
| 2520 rpm | 84.8 % | — °CS | — | A (Filtering time t < 0.5s) |
| 1760 rpm | 36.7 % | — °CS | — | A (Filtering time t < 0.5s) |
| 2930 rpm | 85.3 % | — °CS | — | A (Filtering time t < 0.5s) |
| 2110 rpm | 54.6 % | — °CS | — | A (Filtering time t < 0.5s) |
| MEAN | 85.9 % | | | |

สรุป

การทดสอบนี้ เป็นการวัดค่าปริมาณควันดำที่เกิดขึ้น จากการสันดาปของเครื่องยนต์ดีเซล

ผลการทดลองพบว่า ค่าปริมาณควันดำที่วัดได้มีปริมาณมากกว่าค่าที่กำหนด ( ค่ามาตรฐาน จะต้องมีปริมาณควันดำไม่เกิน 40 % ) สาเหตุเกิดจาก เครื่องยนต์สึกหรอมากจนทำให้เครื่องยนต์มีกำลังอัดของเครื่องยนต์น้อยกว่าปกติจนทำให้อุณหภูมิต่ำ และออกซิเจนไม่เพียงพอ หรือหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงไม่เป็นฝอยทำให้เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดควันดำ ซึ่งจะต้องตรวจสอบแก้ไข เพราะก่อให้เกิดมลพิษ และสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมาก

**ผลการทดลองที่ 3.10 เรื่องการวัดปริมาณควันดำโดยใช้เครื่องเทคโนเทส**

**( TECHNOTEST)**

สรุป

ค่าที่ได้จากการทดลองพบว่ามีปริมาณควันดำถึง 86 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน ( ค่ามาตรฐาน จะต้องมีปริมาณควันดำไม่เกิน 40 % ) ทั้งนี้สาเหตุเกิดจากเครื่องยนต์มีการสึกหรอมาก เมื่อเครื่องยนต์อัดอากาศ อากาศจึงรั่วออกไปมาก ทำให้กำลังอัดของเครื่องยนต์ต่ำ เมื่อกำลังอัดต่ำก็ทำให้อุณหภูมิ และขาดออกซิเจน ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เกิดควันดำออกมามาก ดังนั้นจะต้องมีการแก้ไข้ให้เครื่องยนต์กลับมาอยู่ในสภาพปกติ

**ผลการทดลองที่ 3.11 การทดลองเรื่อง ปริมาณไอเสียของเครื่องยนต์เบนซิน โดยใช้เครื่องทดสอบโอลิเวอร์ ( OLIVER )**

ROL K9000 - Analyser Software Version = V3.05

Date:01/09/00 GAS VALUES PRINTOUT

| | | | Actual Values |
|---|---|---|---|
| HC Hexane | ppm | VOL | 346 |
| CO | % | VOL | 1.34 |
| CO2 | % | VOL | 13.70 |
| O2 | % | VOL | 1.81 |
| NO | ppm | VOL | NOT FITTED |
| Oil Temp | oC | | 86 |
| RPM | | | 859 |
| AFR | N:1 | | 14.41 |

Date:02/09/00 GAS VALUES PRINTOUT

| | | | Actual Values |
|---|---|---|---|
| HC Hexane | ppm | VOL | 181 |
| CO | % | VOL | 1.66 |
| CO2 | % | VOL | 14.60 |
| O2 | % | VOL | 0.46 |
| NO | ppm | VOL | NOT FITTED |
| Oil Temp | oC | | 80 |
| RPM | | | 2981 |
| AFR | N:1 | | 13.46 |

Testers Name : THAMRONG

สรุป

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) มีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนด ( ค่ามาตรฐานของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต้องน้อยกว่า 0.5 % โดยปริมาตร และก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ต้องน้อยกว่า 100 ppm ) สาเหตุที่ทำให้ปริมาณก๊าซในไอเสียของเครื่องยนต์ตัวนี้ เกินค่ามาตรฐานเพราะคาตาไลติก ( Catalytic ) ทำงานไม่ปกติหรือเกิดการเสียหาย และแลมบ์ด้าเซ็นเซอร์ ( Lambda sensor ) เกิดการเสียหายจึงทำให้การฉีดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงผิดพลาด ส่งผลให้ปริมาณก๊าซไอเสียมากกว่าปกติ

# บทที่ 5

## สรุปผลการทดลอง

<u>สรุปโครงงานวิศวกรรมศาสตร์</u>

การจัดทำโครงงานวิศวกรรมศาสตร์ เป็นการทดสอบและวิเคราะห์ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์โดยใช้เครื่องทดสอบ ค่าที่วัดได้จากการทดสอบจะมีค่ามาตรฐานในการปรับเทียบ และเป็นการศึกษาการใช้เครื่องทดสอบวิเคราะห์ไอเสียทุกฟังก์ชัน เช่น การทดสอบเครื่องยนต์เบนซินจะมีการทดลองการปรับเทียบปริมาณกระแสไฟที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์ในแต่ละสูบ การทดลองระบบจุดระเบิด การทดลองระบบฉีดเชื้อเพลิง การทดลองการวัดปริมาณไอเสียของเครื่องยนต์ การทดลองการวัดความดันสุญญากาศที่ท่อร่วมไอดี การทดลองระบบไฟชาร์จ การทดลองการวัดกำลังอัดกระบอกสูบแต่ละสูบ การทดลองการวัดความสม่ำเสมอของความเร็วรอบเดินเบาสำหรับการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลจะมีการทดลองการวัดปริมาณควันดำที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง สำหรับการทดลองการวินิจฉัยข้อขัดข้องในระบบการทำงานจะใช้ทดลองร่วมกับเครื่องยนต์หัวฉีดเบนซินอิเล็กทรอนิกส์ และได้มีวิธีการติดตั้งการปรับเทียบออกซิเจนเซ็นเซอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมในการทดลอง ผลที่ได้จากการทดลองทุกฟังก์ชันโดยใช้เครื่องทดสอบจะนำไปสู่การปรับปรุงและวินิจฉัยข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นรวมทั้งทราบถึงประสิทธิภาพอายุการใช้งานของเครื่องยนต์

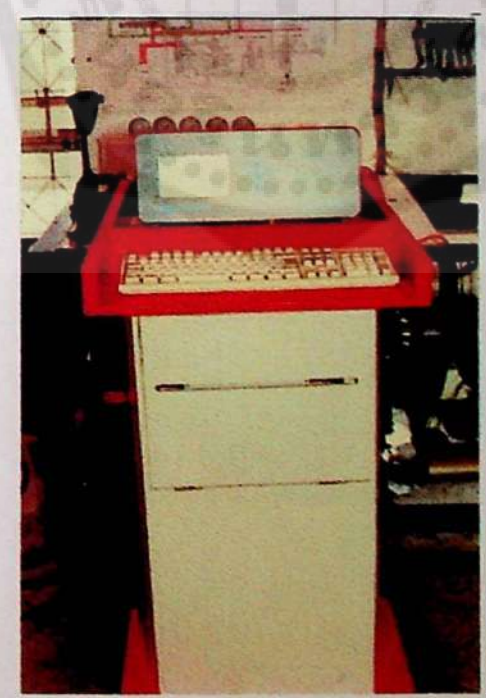
ในการจัดทำโครงงานวิศวกรรมการวิเคราะห์ไอเสียโดยใช้เครื่องทดสอบเพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนตามสาขารายวิชา เช่น รายวิชาวิศวกรรมยานยนต์ รายวิชาการสันดาปภายใน ซึ่งจะช่วยทำให้การเรียนการสอนเป็นไปอย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เนื่องจากผลการทดลองจะช่วยนำไปสู่การสรุปและวิเคราะห์ผลรวมทั้งแนวทางการแก้ไขและปรับปรุงระบบการทำงานของเครื่องยนต์ให้สมบูรณ์

# บรรณานุกรม


1. เธียรชัย บุณยะกุล, เครื่องยนต์เบนซิน , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)กรุงเทพมหานคร, 2541
2. บริษัท บอสช์ จำกัด, คู่มือการใช้เครื่องวิเคราะห์ไอเสียจากเครื่องยนต์ยี่ห้อบอสช์กรุงเทพมหานคร, 2539
3. ประเสริฐ เทียนนิมิตร, เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น ,สำนักพิมพ์บริษัทซีเอ็ดยูนิเคชั่น จำกัด(มหาชน) , 2539
4. พลูพร แสงบางปลา, ไอเสียจากเครื่องยนต์และการควบคุม , กรุงเทพมหานคร,สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย , 2537
5. สุเทพ ญาณวัฒน์, เครื่องยนต์สันดาปภายใน , โรงพิมพ์เจริญธรรมกรุงเทพมหานคร,2538
6. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), เทคโนโลยียานยนต์ , กรุงเทพมหานคร,2540
7. สุวิทย์ อภิกุลชัยสุทธิ์, ทฤษฎีและวิธีปรับแต่งเครื่องยนต์, สถาบันเทคโนโลยี – ราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร, 2539

# ภาคผนวกที่ 1
# แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบ

<u>รูปภาคผนวกที่ 1.1</u> แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบ บอสช์ ( BOSCH )



<u>รูปภาคผนวกที่ 1.2</u> แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบ โอลิเวอร์ (OLIVER)

<u>รูปภาคผนวกที่ 1.3</u> แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบเทคโนเทส ( TECHNOTEST )

# ภาคผนวกที่ 2
# การบำรุงรักษาเครื่องทดสอบ

**การเปลี่ยนออกซิเจนเซนเซอร์ ( $O_2$ sensor )**

1. คลายสกรูฝาครอบ ออกซิเจนเซนเซอร์ออก แล้วถอดฝาครอบออก
2. ดึงสายไฟที่ต่อกับ ออกซิเจนเซนเซอร์ออก
3. ถอดออกซิเจนเซนเซอร์ตัวเก่าออก
4. เปิดซองที่บรรจุออกซิเจนเซนเซอร์ตัวใหม่ แล้วทิ้งไว้ประมาณ 10 – 15 นาที
5. นำออกซิเจนเซนเซอร์ตัวใหม่ ใส่แทนที่ตัวเก่าโดยขันให้แน่นพอตึงมือ
6. ต่อสายไฟ

**การปรับเทียบสำหรับการเปลี่ยนออกซิเจนเซนเซอร์ตัวใหม่ ( Recalibrate )**

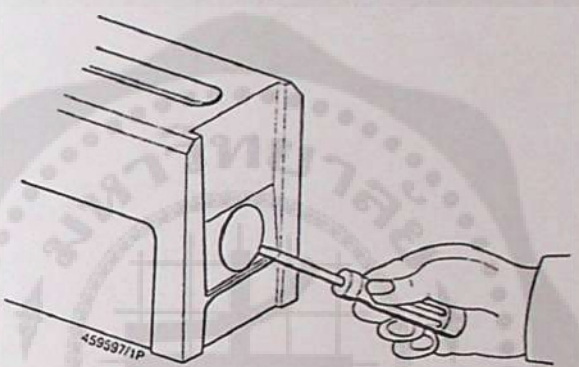
1. เปิดเครื่อง แล้วไปที่ Configulation กด Enter
2. ไปที่ Exhaust กด Enter
3. ไปที่ Test function กด Enter
4. ไปที่ Installing new $O_2$ sensor กด F12 เครื่องทดสอบจะแสดงแรงดันไฟฟ้า ของ ออกซิเจนเซนเซอร์ตัวใหม่ ออกมาให้ เป็นการเสร็จสิ้นการปรับเทียบ
5. กด ESC เพื่อออกจากโปรแกรม

**การบำรุงรักษาอุปกรณ์ตรวจวัดควันดำ (RTM 430 )**

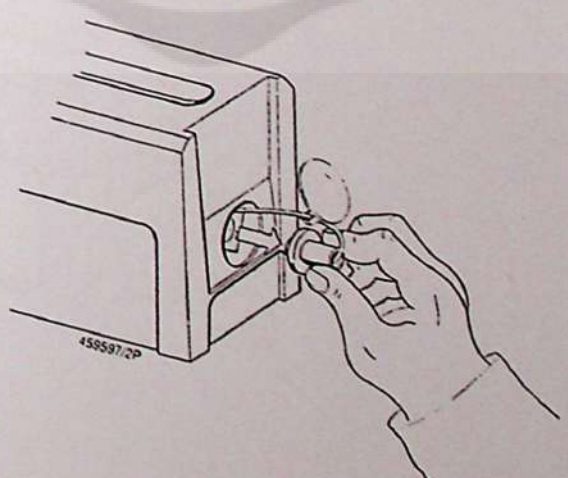
จะต้องทำความสะอาดประมาณ 1 – 2 เดือน ต่อครั้ง หรือเมื่อเครื่องทดสอบแสดงข้อความให้ทำความสะอาด " ANALYSER NOT READY FOR MEASUREMENT PLEASE CLEAN"

1. ทำความสะอาดห้องตรวจวัด และออพทิคัล เฮด ( Optical heads )

1.1 ถอดฝาปิดออกโดยใช้ ไขควง

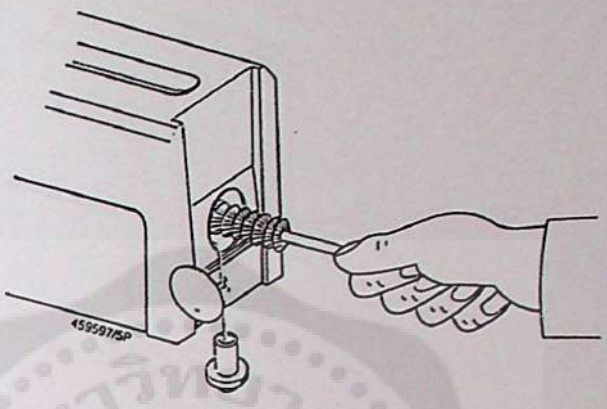



1.2 ดึงออพทิคัล เฮด ( Optical heads ) ออก

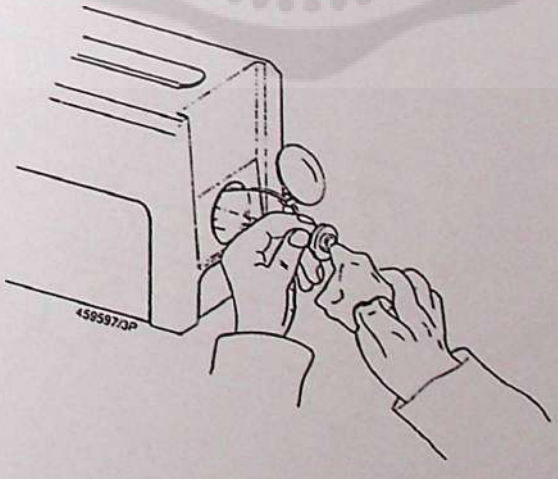



1.3 ทำความสะอาดห้องตรวจวัด โดยใช้แปรงปัด

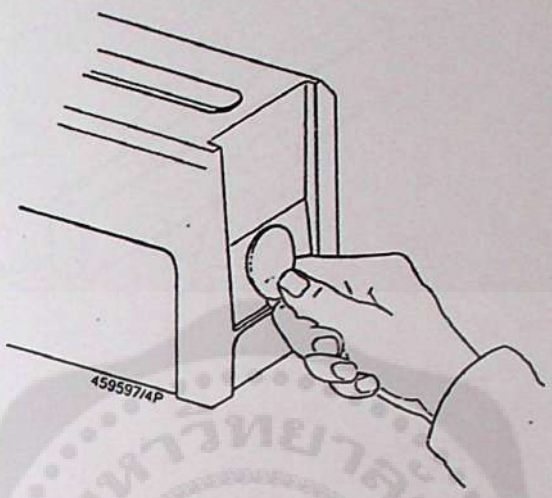
1.3 ทำความสะอาดห้องตรวจวัด โดยใช้แปรงปัด




1.4 ทำความสะอาดออพทิคัล เฮด ( Optical heads ) โดยใช้ผ้าฝ้ายเช็ดเช็ดในลักษณะวนเป็นวง



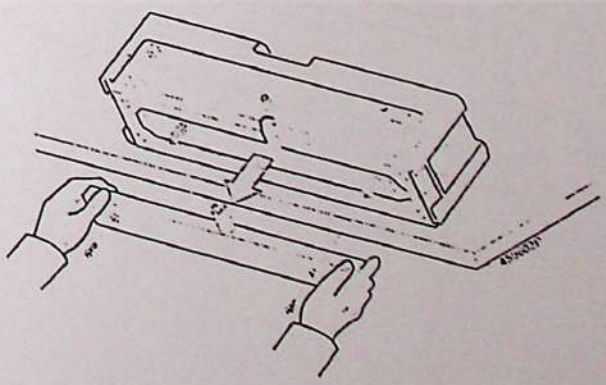
1.5 ใส่ออพทิคัล เฮด ( Optical heads ) เข้าที่ และใส่ฝาปิด



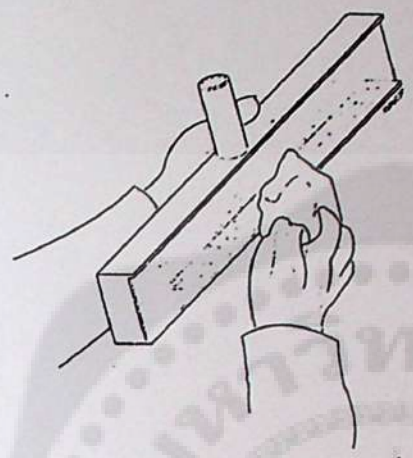

2. การทำความสะอาดห้องเก็บ ต้องทำความสะอาดทุก 6 เดือนต่อครั้ง

2.1 ถอดสายไฟที่ต่อกับ อุปกรณ์ตรวจวัดควันดำ (RTM 430 ) ออก

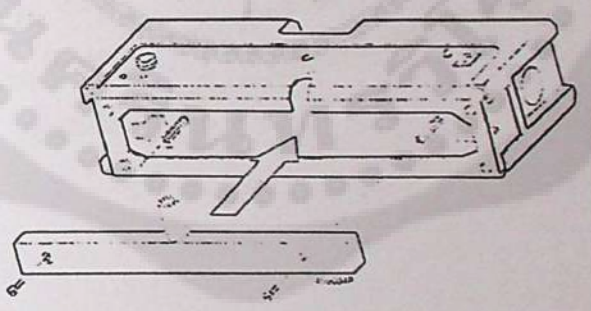
2.2 วางอุปกรณ์ตรวจวัดควันดำ (RTM 430 ) เอียงประมาณ 45° คลายสกรูออก แล้วดึงฝาครอบออก



2.3 ทำความสะอาดเขม่า ที่ติดอยู่ออก



2.4 ประกอบกลับเข้าที่เดิม



# ภาคผนวกที่ 3

## การเปรียบเทียบผลการการวัดปริมาณควันดำจากเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้เครื่องทดสอบบอสช์ (BOSCH) และเครื่องทดสอบเทคโนเทส (TECHNOTEST)

## การเปรียบเทียบผลการวัดปริมาณก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์เบนซิน โดยใช้เครื่องทดสอบ บอสช์ (BOSCH) และเครื่องทดสอบโอลิเวอร์ (OLIVER)

**การเปรียบเทียบผลการวัดปริมาณควันดำจากเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้เครื่องทดสอบ บอสช์ ( BOSCH ) และเครื่องทดสอบเทคโนเทส ( TECHNOTEST )**

**ตารางภาคผนวกที่ 3.1** ผลการวัดปริมาณควันดำ

| เครื่องทดสอบ | ปริมาณควันดำ ( Opacity ) ( % ) |
|---|---|
| บอสช์ ( BOSCH ) | 85.9 |
| เทคโนเทส ( TECHNOTEST ) | 86.0 |

ค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบบอสช์ ( BOSCH ) มีค่า เท่ากับ 85.9 % ส่วนค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบเทคโนเทส ( TECHNOTEST ) มีค่าเท่ากับ 86.0 % จะเห็นว่าผลจากเครื่องทดสอบบอสช์ ( BOSCH )มีค่ามากกว่าผลที่ได้จากเครื่องทดสอบเทคโนเทส ( TECHNOTEST ) อยู่ 0.1 % ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อย

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเครื่องทดสอบทั้งสอง สามารถวัดปริมาณควันดำถูกต้อง เชื่อถือได้

**การเปรียบเทียบ ผลการวัดปริมาณก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์เบนซิน โดยใช้เครื่องทดสอบ บอสช์ ( BOSCH ) และเครื่องทดสอบโอลิเวอร์ ( OLIVER )**

**ตารางภาคผนวกที่ 3.2** ผลการวัดปริมาณก๊าซในไอเสียเครื่องยนต์เบนซิน

| ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ( rpm ) | ก๊าซ | เครื่องทดสอบ | | หน่วย |
|---|---|---|---|---|
| | | บอสช์ | โอลิเวอร์ | |
| 750 - 860 | CO | 1.321 | 1.34 | % VOL |
| | HC | 421 | 346 | ppm VOL |
| | $CO_2$ | 11.49 | 13.7 | % VOL |
| | $O_2$ | 4.4 | 1.81 | % VOL |
| 2900 – 3100 | CO | 3.067 | 1.66 | % VOL |
| | HC | 218 | 181 | ppm VOL |
| | $CO_2$ | 13.11 | 14.60 | % VOL |
| | $O_2$ | 0.85 | 0.46 | % VOL |

การเปรียบเทียบผลการวัดปริมาณก๊าซในไอเสียของเครื่องยนต์เบนซิน โดยใช้เครื่องทดสอบ บอสช์ และเครื่องทดสอบ โอลิเวอร์เป็นการวัดจากเครื่องยนต์เดียวกัน ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันบ้าง แต่ไม่มากนักสามารถยอมรับได้

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้เครื่องทดสอบทั้งสองในการวัดปริมาณก๊าซต่างๆ ในไอเสียของเครื่องยนต์เบนซินนั้น ค่าที่ได้ออกมามีความถูกต้อง และเชื่อถือได้

## ประวัติผู้เขียน

**ชื่อ – สกุล** นายนันทวุฒิ ญาติบำเรอ

**เกิด** 14 กุมภาพันธ์ 2519

**การศึกษา**
- 2538 จบการศึกษา ปวช. สาขาช่างยนต์
  วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด
- 2540 จบการศึกษา ปวส. สาขาช่างจักรกลหนัก
  สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
  นครราชสีมา

**ปัจจุบัน**
- นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
  คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

**ชื่อ – สกุล** นายปรินทร์ วิเศษเขตรการณ์

**เกิด** 23 กันยายน 2513

**การศึกษา**
- 2531 จบการศึกษา ปวช. สาขาช่างยนต์
  วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา
- 2533 จบการศึกษา ปวส. สาขาช่างยนต์
  สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
  นครราชสีมา

**ปัจจุบัน**
- นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
  คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

| | |
|---|---|
| ชื่อ – สกุล | นายสมชัย เล็กวิลัย |
| เกิด | 16 พฤษภาคม 2517 |
| การศึกษา | - 2535 จบการศึกษา ปวช. สาขาช่างยนต์<br>วิทยาลัยเทคนิคเพชรบุรี<br>- 2537 จบการศึกษา ปวส. สาขาช่างยนต์<br>วิทยาลัยเทคนิคเพชรบุรี |
| ปัจจุบัน | - นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล<br>คณะวิศวกรรมศาสตร์<br>มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |