

257

2543

ร.2

ผลกระทบของอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่มีต่อการเกิดก๊าซไอเสีย

EFFECT OF AIR-FUEL RATIO ON EXHAUST GAS FORMATION

นายธีรพงศ์ รัตนบุรี
นายประยุทธ์ บุญฤทธิ์
นายพิเชฐ จิตตารมย์

โครงการวิศวกรรมศาสตร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2543

18 ต.ค. 2544

หัวข้อโครงการวิศวกรรมศาสตร์

โดย

ภาควิชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผลกระทบของอัตราส่วนผสมของอากาศ
และเชื้อเพลิงที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไอเสีย

นาย ชำรงค์ รัตนบุรี

นาย ประยุทธ์ บุญฤทธิ์

นาย พิเชฐ จิตตารมย์

วิศวกรรมเครื่องกล

อ. ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงการ
วิศวกรรมศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรมศาสตร์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ไพศาล นาสล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ มนัส แป้งใส)

..... กรรมการ

(อาจารย์ กิตติ สถาพรประเสริฐ)

..... เลขานุการ

(อาจารย์ ดำรงค์ พูลคำรห์)

ผลกระทบของอัตราส่วนผสมของอากาศ
และเชื้อเพลิงที่มีผลต่อการเกิดก๊าซไอเสีย
ปีการศึกษา 2543

โดย

นาย ชำรงค์ รัตนบุรี
นาย ประยูทธ บุญฤทธิ์
นาย พิเชฐ จิตตารมย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการหาผลกระทบของอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่มีผลกระทบต่อการเกิดก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนที่ใช้คาร์บูเรเตอร์ ซึ่งได้นำเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย มาใช้ในการวัดปริมาณของก๊าซไอเสีย โดยปรับคาร์บูเรเตอร์ให้มีอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงให้ หนา/บาง ในช่วง AFR 10:1 – 17:1 ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ และนำข้อมูลที่ได้จากการวัดไปตรวจวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย ปรากฏว่าปริมาณของก๊าซไอเสียจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิง (AFR) ที่ส่วนผสมหนาก๊าซไอเสียจะมี HC และ CO มาก มีปริมาณของ O_2 และ CO_2 ต่ำ ที่อัตราส่วนผสมอากาศพอดีกับเชื้อเพลิง (Stoichiometric) ปริมาณของ CO_2 มาก ปริมาณของ HC , CO และ O_2 ต่ำ ที่ส่วนผสมบางปริมาณของ HC และ O_2 มาก ปริมาณของ CO_2 และ CO ต่ำ นอกจากนี้ในทุก ๆ ส่วนผสมที่ความเร็วรอบต่ำปริมาณของ HC , CO และ O_2 มาก ปริมาณของ CO_2 ต่ำ ที่ความเร็วรอบสูงปริมาณของ HC , CO และ O_2 ต่ำ ปริมาณของ CO_2 มาก

Effect of Air – Fuel Ratio on Exhaust Gas Formation

Academic Year 2000

BY

Mr. Thamrong Ratanaburee

Mr. Prayut Bunrit

Mr. Pichet Jittarom

Project Report Advisor

Mr. Prachasanti Thaiyasuit

ABSTRACT

The aim of this project is study about the effect of air-fuel ratio on exhaust gas formation of carburetor gasoline engines. Using exhaust gas analyser to measure exhaust gas formation by adjust the air – fuel ratio of the carburetor in the range AFR 10:1 – 17:1 of rich and lean at each engine speed. Finally information from measuring was analyzed.

The experiment shows that the amount of exhaust gas depend on the air – fuel ratio. For the rich , exhaust gas will expose high in HC and CO and low in O₂ and CO₂ . For stoichiometric air – fuel ratio, exposing high in CO₂ and low in HC , CO and O₂ . For lean, exposing high in HC and O₂ and low in CO₂ and CO. Besides , at high engine speed of every air – fuel ratio will expose high in HC , CO and O₂ and low in CO₂ and expose low in HC , CO and O₂ and high in CO₂ at low engine speed .

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือจาก ท่านอาจารย์ประชาสันติ ไตรยสุทธิ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ดำรงค์ พูลคำริห์ และคณะ อาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล รวมถึงกำลังใจจากครอบครัวและเพื่อน ๆ จนงานได้ บรรลุล่วงสู่ประสงค์

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ คุณธรรมรัตน์ พลาขุม จาก Kinetics corporation ltd. ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาการใช้งานเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย เจ้าหน้าที่กรมควบคุมมลพิษ และเจ้าหน้าที่การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย รวมถึงทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ที่สนใจในงานด้านนี้



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	
ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการวิศวกรรมศาสตร์	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิศวกรรมศาสตร์	1
ขอบเขตของโครงการวิศวกรรมศาสตร์	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
เครื่องยนต์สันดาปภายใน	4
เครื่องยนต์ก๊าซโซลีน	4
เครื่องยนต์ดีเซล	5
การเผาไหม้	5
การเผาไหม้และการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์เบนซิน	6
การเผาไหม้และการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซล	19
ข้อแตกต่างของเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล	24
ระบบการฉีดเชื้อเพลิง	35
ตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่องยนต์	39
การเผาไหม้แบบอากาสพอดี้กับเชื้อเพลิง	47
ผลกระทบของมลพิษต่อสาร พืช คน และสัตว์	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. การคำนวณ	56
ตัวอย่างการคำนวณผลปฏิกิริยาการเผาไหม้รวมของน้ำมันเบนซิน	57
ตัวอย่างการคำนวณผลปฏิกิริยาการเผาไหม้รวมของน้ำมันดีเซล	61
4. การทดลองและผลการทดลอง	70
อุปกรณ์การทดลอง	70
วิธีการทดลอง	70
ผลการทดลอง	76
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	85
สรุปผล	85
ข้อเสนอแนะ	88
บรรณานุกรม	
ภาคผนวกที่	90
1. ตารางมาตรฐานการระบายไอเสีย	91
2. ข้อมูลคุณภาพน้ำมัน	97
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงปริมาณของออกซิเจนในอากาศโดยปริมาตรและโดยน้ำหนัก	6
2.2 แสดงส่วนประกอบไอเสียเมื่อมีอัตราส่งอากาศต่อเชื้อเพลิงพอดี	12
2.3 แสดงข้อแตกต่างของเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล	25
2.4 แสดงสรุปผลดีผลเสียของห้องเผาไหม้แบบต่างๆ	35
2.5 แสดงผลของการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำ	50
2.6 แสดงโรคของพืชที่เกิดจากมลพิษ	53
2.7 แสดงผลการวิจัยของมลพิษชนิดต่าง ๆ ต่อสุขภาพคน	55
2.8 แสดงสรุปโรคต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับสารพิษ	56
2.9 แสดงคุณสมบัติของอากาศระดับแอนดราย	57
2.10 แสดงข้อบังคับสารมลพิษจากเครื่องยนต์ของ ECE ที่ 15	58
4.1 แสดงค่าก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 800 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA	76
4.2 แสดงค่าก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 1000 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA	76
4.3 แสดงค่าก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA	77
4.4 แสดงค่าก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 2000 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA	77
4.5 แสดงค่าก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 2500 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA	78
4.6 แสดงค่าก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 3000 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA	78
4.6 แสดงค่าก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ที่ส่วนผสม AFR 12.85 : 1	79
4.8 แสดงค่าก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนผสม อากาศพอดีกับเชื้อเพลิง AFR 14.76 : 1	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 แสดงค่าก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ที่ส่วนผสมบาง AFR 16 : 1	80
ตารางภาคผนวกที่	
1.1 แสดงการกำหนดมาตรฐานการระบายไอเสียจากรถยนต์ใหม่เครื่องยนต์เบนซิน	91
1.2 แสดงการกำหนดมาตรฐานการระบายไอเสียจากรถยนต์ใหม่ขนาดเล็กที่ใช้ เครื่องยนต์ดีเซล	92
1.3 แสดงการกำหนดมาตรฐานการระบายไอเสียจากรถยนต์ใหม่ขนาดใหญ่ที่ใช้ เครื่องยนต์ดีเซล	93
1.4 แสดงค่ามาตรฐานและวิธีการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะที่ใช้งาน	94
1.5 แสดงรายงานผลการติดตามการตรวจสอบสถานการณ์ปัญหามลพิษจากยานพาหนะที่ ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล	95
2.1 แสดงข้อมูลคุณภาพน้ำมันเบนซิน	98
2.2 แสดงข้อมูลคุณภาพน้ำมันดีเซล	99

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงเครื่องยนต์สันดาปภายในปล่อยมลพิษจากส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์	3
2.2 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเปลวเชื้อเพลิงจำเพาะและอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมัน	8
2.3 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของคาร์บูเรเตอร์	9
2.4 แสดงความสัมพันธ์การลามของเปลวและความดัน	10
2.5 แสดงความเข้มข้นของสารมลพิษที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่าง ๆ	13
2.6 แสดงความเข้มข้นของ NO ที่ภาวะสมดุลเผาไหม้เมื่อปริมาตรคงที่	15
2.7 แสดงความเข้มข้นของ NO แปรตามเวลา	16
2.8 แสดงความสัมพันธ์ของอัตรามลพิษ สมรรถนะและส่วนผสม	17
2.9 แสดงความสัมพันธ์ของการเกิด NO _x การจุดระเบิดและส่วนผสม	18
2.10 แสดงความสัมพันธ์ NO _x ต่อความเร็วรอบและกำลังเพลลา	19
2.11 แสดงกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล	22
2.12 แสดงการเพิ่มความดันต่อช่วงจุดไฟล่า	22
2.13 แสดงผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อ Ignition delay ของเชื้อเพลิง	23
2.14 แสดงปริมาณความเข้มข้นของ Aldehydes และ Peroxydes ในช่วงจุดไฟล่า	23
2.15 แสดง P – t Curve ของเครื่องเบนซินและดีเซล	24
2.16 แสดงอุณหภูมิและความดันเพิ่มต่อการสันดาป	26
2.17 แสดง Heat Release ต่อการสันดาป	27
2.18 แสดงการเกิด CO และ NO _x ต่ออัตราการให้อากาศ	27
2.19 แสดงการก่อตัวของสารมลพิษในน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในอากาศหมุนวน	28
2.20 แสดงการเผาไหม้ของลำน้ำมันและอุณหภูมิ ความดันในกระบอกสูบ	29
2.21 แสดงตัวอย่างของเครื่องยนต์ Direct Injection	30
2.22 แสดงการหมุนเวียนของอากาศมากขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงถูกฉีดมากระแทกที่ผนังรอบนูน	30
2.23 แสดงตัวอย่างของเครื่องยนต์ Indirect injection	32
2.24 แสดงห้องเผาไหม้แบบ Lanova	32
2.25 แสดง P – t Curve ของเครื่องยนต์ดีเซล	34
2.26 แสดงตัวอย่างผลกระทบของห้องเผาไหม้ต่อ NO _x และกำลัง	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาตรห้องเผาไหม้ช่วยต่อ NO_x กวันดำ และอัตราส่วนกำลังอัด	35
2.28 แสดงผลของการตั้งเวลาการฉีดต่อ NO และตัวแปรอื่นๆ	36
2.29 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของเครื่องแบบฉีดโดยตรงและโดยอ้อม เมื่อตั้งเวลาฉีดค่า	37
2.30 แสดงผลกระทบการหมุนวนของอากาศต่อสมรรถนะต่อเครื่องยนต์ (DI)	38
2.31 แสดงผลกระทบของอัตราส่วนกำลังอัด	39
2.32 แสดงผลกระทบของภาระและอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมัน	40
2.33 แสดงการเปลี่ยน NO เนื่องจากความเร็วรอบ และความดันประสิทธิผลเฉลี่ย	41
2.34 แสดงอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงตามทฤษฎี	42
2.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อความสิ้นเปลือง น้ำมันเชื้อเพลิงและกำลังงานของเครื่องยนต์	43
2.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อ สารประกอบของก๊าซไอเสีย	44
2.37 แสดงการฟูก่อนของเหล็กเนื่องจาก SO_2	52
2.38 แสดงผลกระทบของ CO ต่อสุขภาพคน	54
3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϕ และ mole fraction (y_i) ของเชื้อเพลิงเบนซิน C_7H_{17}	64
3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϕ และ mole fraction (y_i) ของเชื้อเพลิงดีเซล $\text{C}_{14.4}\text{H}_{24.9}$	69
4.1 แสดงเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน	72
4.2 แสดงเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย	72
4.3 แสดงก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย	73
4.4 แสดงก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย	74
4.5 แสดง Bench data และ Analyser data	75
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง AFR และปริมาณก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 800 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA	80
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง AFR และปริมาณก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 1000 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง AFR และปริมาณก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA	81
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง AFR และปริมาณก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 2000 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA	82
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง AFR และปริมาณก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 2500 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA	82
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง AFR และปริมาณก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 3000 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA	83
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียที่ส่วนผสมหนา AFR 12.85 : 1	83
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียที่อัตราส่วนผสมอากาศพอดีกับเชื้อเพลิง AFR 14.76 : 1	84
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียที่ส่วนผสมบาง AFR 16 : 1	84

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
AFR	อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง โดย โมล	mole of air/mole of fuel
BDC	จุดศูนย์ตายล่าง	-
C	คาร์บอน	mole
CO	คาร์บอนมอนอกไซด์	mole
CO ₂	คาร์บอนไดออกไซด์	mole
C ₃ H ₈	โพรเพน	mole
C ₄ H ₁₀	บิวเทน	mole
C ₇ H ₁₇	เชื้อเพลิงเบนซิน	mole
C _{14.4} H _{24.9}	เชื้อเพลิงดีเซล	mole
ECE	Economic Commission for Europe	-
F	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง	-
F _s	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทฤษฎี	-
H ₂	ไฮโดรเจน	mole
HC	ไฮโดรคาร์บอน	mole
H ₂ O	น้ำ	mole
N ₂	ไนโตรเจน	mole
NO	ไนตริกออกไซด์	mole
NO _x	ไนโตรเจนออกไซด์	mole
O ₂	ออกซิเจน	mole
SO ₂	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	mole
TDC	จุดศูนย์ตายบน	-
X _s	mass faction	mole
Y _s	mole faction	mole

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
α	จำนวนอะตอมของคาร์บอน	Mole
β	จำนวนอะตอมของไฮโดรเจน	Mole
γ	จำนวนอะตอมของออกซิเจน	Mole
δ	จำนวนอะตอมของไนโตรเจน	Mole
ϕ	อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง	-
λ	ต่ออัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงทฤษฎี	-
$\in$	Lambda	-
v_i	Molar fuel – air ratio	-
	Product composition	mole

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการวิศวกรรมศาสตร์

ในเมืองใหญ่ที่มีการจราจรที่คับคั่งอย่างกรุงเทพมหานคร ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องยนต์หรือเครื่องจักรสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมกันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้ส่วนใหญ่เป็นยานยนต์ตามท้องถนนซึ่งเรามีพื้นที่การจราจรที่จำกัดและไม่ได้สัดส่วนกับจำนวนของรถยนต์ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ประกอบกับการใช้เครื่องยนต์ที่มีอายุการใช้งานที่นานเกินไป หรือไม่ได้รับการบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดีรวมทั้งการปรับแต่งเครื่องยนต์ที่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและออกซิเจนจากอากาศ เกิดการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ ส่งผลให้เกิดก๊าซไอเสียขึ้นทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ

ลักษณะของก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ รวมถึงผลเสียที่จะเกิดขึ้นทางด้านเศรษฐกิจด้วย การที่จะป้องกันไม่ให้เกิดก๊าซไอเสียจำเป็นต้องกระทำที่ต้นเหตุก็คือ การปรับปรุงกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ให้มีอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงที่เหมาะสม ทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ลงได้

ดังนั้นจึงได้ทำโครงการทางด้านการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยศึกษาถึงผลกระทบของอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงที่มีต่อการเกิดสารมลพิษ ซึ่งมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของโครงการวิศวกรรมศาสตร์

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงที่มีผลกระทบกับปริมาณการเกิดก๊าซไอเสีย
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ อันที่จะส่งผลให้เกิดก๊าซไอเสียปริมาณน้อยที่สุด
3. คำนวณและเปรียบเทียบค่าของก๊าซไอเสียที่ได้จากการทดสอบกับค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ

ขอบเขตของโครงการวิศวกรรมศาสตร์

1. ทำการศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนผสมอากาศและเชื้อเพลิงต่อการเกิดก๊าซไอเสียโดยทำการวัดและวิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่อัตราส่วนผสมอากาศและเชื้อเพลิง (AFR) ที่ค่าต่าง ๆ และที่ความเร็วรอบต่าง ๆ
2. สารมลพิษที่ต้องการวัดมี CO และ HC
3. เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนที่ใช้คาร์บูเรเตอร์ TOYOTA CORONA 1500 CC 4 สูบ 4 จังหวะ
4. เครื่องวัดก๊าซไอเสีย OLIVER K9000

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

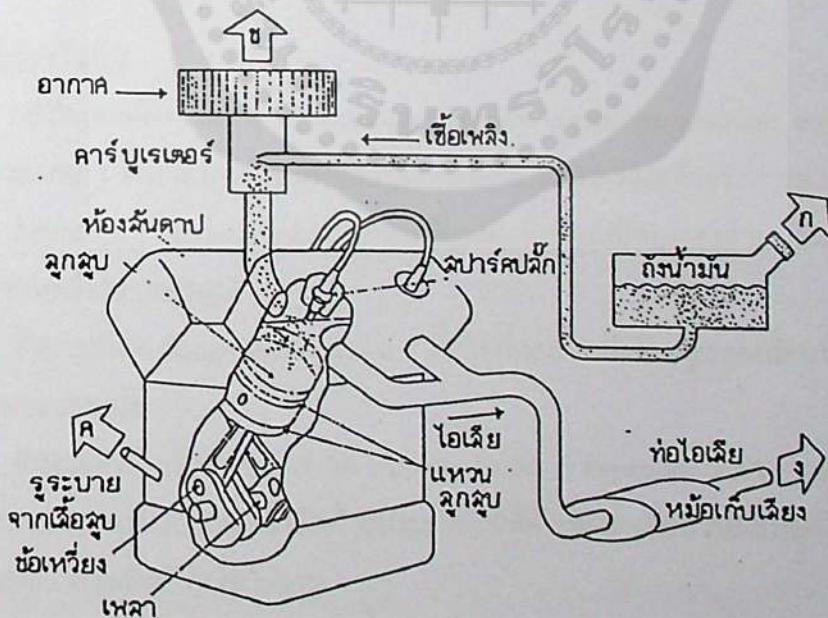
1. ทราบถึงผลของอัตราส่วนผสมอากาศและเชื้อเพลิงที่มีผลต่อการเกิดก๊าซต่าง ๆ ในไอเสีย
2. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเผาไหม้และทำให้เครื่องยนต์มีปริมาณมลพิษต่ำสุด
3. ผลที่ได้จากโครงการนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ยานยนต์ซึ่งเป็นตัวกำเนิดของมลพิษในอากาศได้แก่ รถยนต์ รถประจำทางและรถบรรทุกที่ใช้ น้ำมัน ก๊าซโซลีนหรือน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษในอากาศที่สำคัญ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น

รถยนต์เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษในอากาศที่สำคัญ 4 ชนิดคือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจนออกไซด์ และสารประกอบตะกั่ว มลพิษถูกปล่อยจากรถยนต์ทางท่อไอเสียและส่วนอื่นๆ ของรถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 1 สำหรับรถยนต์ที่ไม่มีเครื่องควบคุมการปล่อยมลสารมีไฮโดรคาร์บอนออกทางท่อไอเสีย 65% ระเหยจากถังน้ำมันและคาร์บูเรเตอร์ 15% และมาจากเสื้อสูบ (ไอเสียซึ่งลอดผ่านแหวนลูกสูบ) 20% ส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์และสารประกอบตะกั่ว มาจากท่อไอเสียเกือบทั้งหมด



รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องยนต์สันดาปภายในปล่อยมลพิษจากส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์
ก. ระเหยจากถังน้ำมัน ข. ระเหยจากคาร์บูเรเตอร์
ค. ไอเสียลอดเข้าเสื้อสูบและออกทางรุกระบาย ง. ไอเสียจากท่อไอเสีย

เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion engine)

เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ในรถยนต์ทั่วไป มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในตัวเครื่องยนต์ ส่วนเครื่องยนต์สันดาปภายนอก (External combustion engine) ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรไอน้ำซึ่งใช้พลังงานไอน้ำที่ได้จากหม้อไอน้ำที่อยู่นอกเครื่องยนต์

เครื่องยนต์สันดาปภายใน แบ่งได้เป็น แบบลูกสูบเคลื่อนแนวตรง (Reciprocating) หรือแบบโรตารี (Rotary) รถยนต์ส่วนใหญ่ใช้เครื่องยนต์แบบแรก มีจำนวนน้อยมากที่ใช้เครื่องยนต์แบบโรตารี

เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบเคลื่อนแนวตรง ทำงานแบบวงจร 4 จังหวะหรือวงจร 2 จังหวะ เครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะใช้ทั่วไปในรถยนต์และยานพาหนะทางบกอื่น ๆ เครื่องยนต์แบบวงจร 2 จังหวะใช้ในรถสามล้อเครื่อง รถจักรยานยนต์บางยี่ห้อ รถยนต์ขนาดเล็ก และเรือยนต์ เครื่องยนต์แบบ 4 จังหวะ และแบบ 2 จังหวะ มีขบวนการใน 4 ขั้นตอนในการทำงานซึ่งจุดระเบิดส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ ให้เกิดพลังงานความร้อน แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานขับเคลื่อนลูกสูบ ขบวนการ 4 ขั้นตอนคือ ดูดไอดี อัดส่วนผสม ถ่ายทอดกำลัง และปล่อยไอเสีย เกิดขึ้นหมุนเวียนตลอดเวลาที่เครื่องยนต์ทำงาน

เครื่องยนต์ก๊าซโซลีน

เครื่องยนต์ก๊าซโซลีน (Sparking ignition engine or gassoline engine) มีทั้งแบบ 2 จังหวะ และ 4 จังหวะ แต่ส่วนมากมักเป็น 4 จังหวะ ซึ่งประกอบด้วยจังหวะต่างๆ ดังต่อไปนี้
 จังหวะดูด (Suction stroke) ลูกสูบเลื่อนลง ลิ้นไอดีเปิดดูดเอาส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิง และอากาศเข้ากระบอกสูบ

จังหวะอัด (Compression stroke) ลิ้นไอดีและไอเสียปิด ลูกสูบเลื่อนขึ้นโดยอัดส่วนผสมภายในกระบอกสูบ

จังหวะกำลังหรือจังหวะระเบิด (Power stroke or expansion stroke) เมื่อลูกสูบอัดสูงสุดแล้ว ส่วนผสมภายในจะถูกจุดระเบิดด้วยประกายไฟที่หัวเทียน เมื่อส่วนผสมลุกไหม้ก็จะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงและส่งกำลังไปใช้งาน

จังหวะคาย (Exhaust stroke) ลิ้นไอเสียเปิด

เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel engine)

หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล (Compression ignition engine or diesel engine) แตกต่างจากเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนซึ่งมีหลักการของ Otto cycle ในเครื่องยนต์ดีเซล อากาศที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบไม่มีน้ำมันเชื้อเพลิงผสมอยู่ในจังหวะอัดอากาศจะมีแต่อากาศอย่างเดียว น้ำมันดีเซลจะถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบตอนปลายของจังหวะอัดอากาศด้วยอัตราส่วนการอัดตัวที่สูงกว่า จนสามารถที่จะให้ความร้อนพอที่จะจุดระเบิดเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้ามาในกระบอกสูบได้

เครื่องยนต์ดีเซลปล่อยมลพิษหลายชนิด คือ ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ อัลลิไฮด์ กวีนดำและกลิ่น เครื่องยนต์ดีเซลปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ เพียง 1/10 ของเครื่องยนต์เบนซิน ส่วนไฮโดรคาร์บอนมีปริมาณพอ ๆ กัน เครื่องยนต์ดีเซลไม่มีไอเสียจากเตี๊ยม เนื่องจากในกระบอกสูบมีแต่อากาศในจังหวะอัดอากาศ การระเหยของน้ำมันมีน้อยมาก เพราะน้ำมันดีเซลมีจุดเดือดสูง 175 – 400 °C เทียบกับจุดเดือด ของน้ำมันก๊าซโซลีน 32 – 200 °C และเครื่องยนต์ใช้ระบบฉีดน้ำมันแบบปั๊ม

เครื่องยนต์ดีเซลปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ปริมาณสูง และการควบคุมทำได้ยาก การหมุนเวียนไอเสียและการฉีดน้ำช่วยลดปริมาณไนตริกออกไซด์ได้ แต่เพิ่มปริมาณไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนมอนอกไซด์ในเวลาเดียวกัน

ประเทศไทยมีข้อกำหนดควันทด้าไว้ไม่เกิน 40% ของเครื่องวัดระบบบอช สหรัฐอเมริกา ให้อไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลลดการส่องผ่านของแสงได้ไม่เกิน 20% ในสภาวะการทดลองที่กำหนดไว้ หรือไม่เกิน 40% ขณะเร่งเครื่อง

เครื่องยนต์ดีเซลสามารถที่จะควบคุมปริมาณมลพิษตามข้อบังคับได้ไม่ยาก เมื่อใช้ความดันฉีดน้ำมันสูงและรักษาสภาพเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ดีเซลจะไม่มีควันทด้าหรือกลิ่นเหม็น แต่รบบรทุกหรือรตมส์ซึ่งใช้เครื่องยนต์ดีเซลไม่มีการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ และอาจมีการปรับเครื่องยนต์ให้กินน้ำมันมากเพื่อที่จะได้กำลังสูง ทำให้เกิดควันทด้ามาก

การเผาไหม้

การเผาไหม้ คือ การที่ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับสารเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ขึ้น และให้ความร้อนออกมา ปริมาตรของออกซิเจนที่ต้องการเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้นสามารถหาได้จากสมการทางเคมี

สารเชื้อเพลิงที่สำคัญที่ใช้ในการเผาไหม้ก็คือ คาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H_2) บางทีก็มีซัลเฟอร์หรือกำมะถันเข้าร่วมด้วย ดังนั้นในการหาปริมาณของอากาศที่จะมาใช้ในการเผาไหม้เราก็คิดจากปริมาณออกซิเจนที่จะมาทำปฏิกิริยากับคาร์บอน หรือไฮโดรเจน หรือซัลเฟอร์อย่างสมบูรณ์ แล้วนำปริมาณของออกซิเจนจำนวนนั้นไปหาปริมาณของอากาศที่ต้องการอีกทีหนึ่ง น้ำหนักของอากาศที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้เราดูจากปริมาณของออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศ ซึ่งปริมาณของออกซิเจนในอากาศโดยปริมาตรและน้ำหนัก จะมีอยู่เป็นจำนวนตามตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณของออกซิเจนในอากาศโดยปริมาตรและโดยน้ำหนัก

ส่วนประกอบ	สัญลักษณ์	น้ำหนักโมเลกุล	ส่วนประกอบ	
			โดยปริมาตร	โดยน้ำหนัก
ออกซิเจน	O_2	32	21	23.3
ไนโตรเจน	N_2	28	79	76.7
อากาศ	-	28.95	100	100

การเผาไหม้และการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์เบนซิน

เครื่องยนต์เบนซินหรือที่เรียกว่า Gasoline engine นั้นใช้น้ำมันเบนซิน (Gasoline) หรือ ก๊าซหุงต้ม (Liquefied petroleum gas - LPG) เป็นเชื้อเพลิง การจุดระเบิดต้องใช้หัวเทียนในการช่วยจุดไฟ ให้อัตราส่วนเป็นสารผสมของเชื้อเพลิงและอากาศที่มีอัตราส่วนเหมาะสมก่อนถูกดูดเข้าเครื่องยนต์ ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันเบนซินหรือก๊าซหุงต้ม เป็นสารผสมของไฮโดรคาร์บอน คือมีธาตุ C และ H_2 ทั้งนี้ เพียงแต่ส่วนผสมต่างกัน ในน้ำมันเบนซินต่างๆ ไปในตลาดจะมีส่วนผสมต่างกันไปเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับกระบวนการกลั่นของแต่ละบริษัท โดยทั่วไป น้ำมันเบนซินจะประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated Hydrocarbon) ร้อยละ 45 - 60 อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน Aromatic Hydrocarbon ร้อยละ 30 - 50 และโอลฟินไฮโดรคาร์บอน (Olefin Hydrocarbon) ร้อยละ 5 - 10 น้ำมันเบนซินจะเป็นของเหลว เมื่อถูกดูดผ่านเข้าคาร์บูเรเตอร์จะกลายเป็นไอผสมกับอากาศเป็นสารผสมอย่างดีก่อนเข้าเครื่องยนต์ส่วนก๊าซหุงต้มนั้นเป็นสารผสมของโพรเพน (C_3H_8)

และบิวเทน (C_4H_{10}) ที่ขายตามท้องตลาดจะมีอัตราส่วนต่างกันมาก อาจจะมีปริมาณของโพรเพนผสมอยู่ตั้งแต่ร้อยละ 10 - 90 แล้วแต่บริษัทที่ส่งก๊าซเข้ามาจากต่างประเทศว่าประเทศนั้น ๆ จะมีก๊าซชนิดใดเหลือใช้มากน้อย โดยเฉพาะในฤดูหนาวในประเทศทางยุโรป ปริมาณโพรเพนจะใช้ในการให้ความอบอุ่นมาก ก๊าซที่ส่งออกต่างประเทศจะมีปริมาณโพรเพนน้อย ส่วนใหญ่จะเป็น บิวเทน สำหรับก๊าซหุงต้มจากโรงกลั่นในประเทศไทยนั้น จะมีปริมาณโพรเพนประมาณร้อยละ 15 - 30 โดยเฉพาะโรงแยกก๊าซของปตท. จะมีการควบคุมให้มีคุณภาพเป็นมาตรฐาน โดยมีอัตราส่วนโพรเพนต่อบิวเทน 30 และ 70 ตามลำดับ หากปริมาณโพรเพนยิ่งมาก ค่าความร้อนของก๊าซก็จะสูงขึ้น ก๊าซหุงต้มที่ใช้ในรถยนต์นั้นจะมีสถานะเป็นของเหลวโดยการอัดเพื่อสะดวกในการเก็บและขนย้าย ก่อนจะนำก๊าซนี้ผสมกับอากาศในคาร์บูเรเตอร์ จะต้องผ่านหม้อต้ม (Vaporizer) เพื่อให้เป็นไอ ก่อน จะได้สารผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันดีโดยที่ไม่เกิดน้ำแข็งเกาะที่คาร์บูเรเตอร์

ส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่เหมาะสมจากคาร์บูเรเตอร์จะถูกดูดเข้าห้องเผาไหม้ แล้วถูกอัดจนถึงอัตราส่วนกำลังอัดที่กำหนดหัวเทียนจะช่วยจุดทำให้เกิดระเบิดและเกิดการสันดาปขึ้น

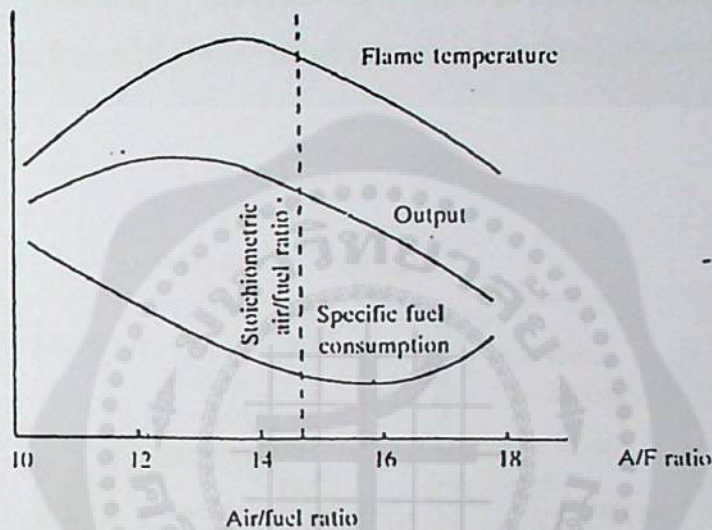
การเผาไหม้ในเครื่องยนต์เบนซิน

การสันดาปในเครื่องยนต์เบนซินจะมีประสิทธิภาพดีและให้มลพิษที่เป็นพิษน้อยนั้น มีแฟกเตอร์ที่จะต้องควบคุมหลายตัว และบางตัวจะมีความสัมพันธ์หรือผลกระทบต่อกัน นอกจากนั้น รูปแบบห้องเผาไหม้ จังหวะการจุดระเบิด และตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ยังมีผลกระทบต่อการสันดาปด้วย ซึ่งในทางปฏิบัติ จะต้องพิจารณาแต่ละค่าให้เหมาะสม (Optimum) เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีมลพิษที่อยู่ในขีดจำกัดด้วย

1. อัตราส่วนอากาศและน้ำมัน การจุดระเบิดและการสันดาปที่ดีนั้น จะมีผลเนื่องมาจากอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงมาก โดยเฉพาะต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อการลามของเปลวและอุณหภูมิของเปลว

การลามของเปลวในเครื่องยนต์เบนซินที่เหมาะสมนั้น จะต้องมียัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (น้ำมันเบนซิน) ในช่วง 10 - 17 อุณหภูมิเปลวสูงสุคนั้นจะเกิดเมื่อส่วนผสมหนาเล็กน้อย คืออยู่ในช่วงประมาณ 13.5 หรือ 14 (ส่วนผสมที่พอดี หรือ Stoichiometric ratio นั้น ประมาณ 14.6 ขึ้นอยู่กับกระบวนการกลั่นของน้ำมันจากโรงกลั่น) และอุณหภูมิเปลวจะลดลงเมื่อส่วนผสมหนาขึ้นหรือบางลง และอุณหภูมิจะต่ำสุดเมื่อถึงอัตราส่วนของสารผสมน้ำมันและอากาศที่เปลวไม่สามารถจะลามต่อไป

ความเร็วสูงสุดของเปลวจะเกิดที่อัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงต่ำกว่า อยู่ในช่วงประมาณหรือ 13 และลดลงไม่ว่าอัตราส่วนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามแบบกราฟของอุณหภูมิสำหรับกำลังจากเครื่องยนต์นั้นจะเพิ่มหรือลดตามกราฟของความเร็วของอุณหภูมิเปลว



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเปลวเชื้อเพลิงจำเพาะและอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมัน

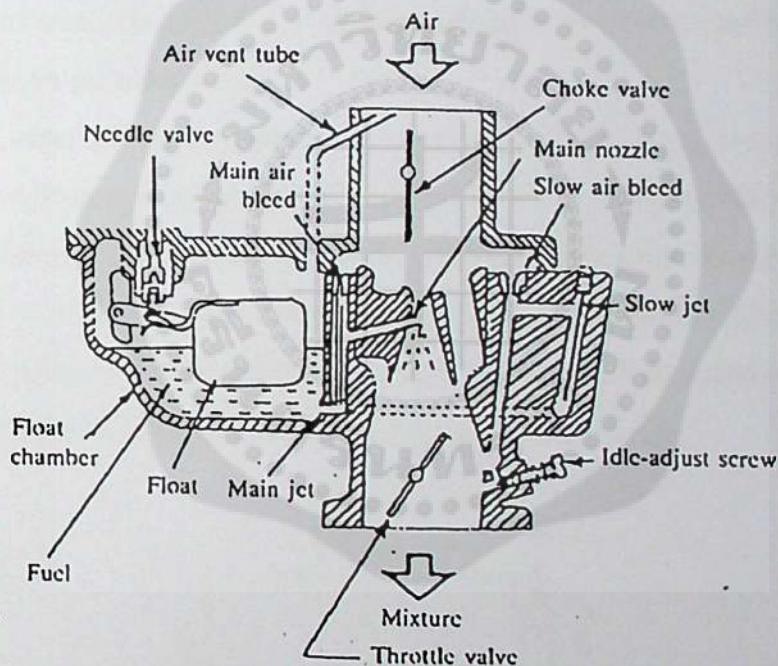
อย่างไรก็ดี ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนอากาศเชื้อเพลิงมีค่า 16 ซึ่งเป็นค่าที่มีส่วนผสมบาง ดังนั้น อัตราการกินน้ำมันจำเพาะซึ่งเป็นส่วนกลับกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนจึงมีค่าต่ำสุดที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 16 รูปที่ 2.2

สำหรับการเร่งเครื่องยนต์ในขณะที่มีภาระสูงนั้น จะต้องเพิ่มส่วนผสมให้หนาขึ้น ซึ่งนักขับรถทราบดีก็คือ เร่งความเร็วรถโดยการเหยียบคันเร่ง ซึ่งจะเป็นผลให้เกิด CO และ HC เนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

2. การผสมและการแจกจ่ายส่วนผสม (Formation and distribution) เครื่องยนต์เบนซินทั่วไปโดยเฉพาะที่ใช้ในรถยนต์จะต้องสามารถปรับตัวให้เข้ากับความเร็วมอเตอร์และภาระตามที่ต้องการในการนี้ การรูเรเตอร์จะทำหน้าที่ผสมเชื้อเพลิงและอากาศให้หนา / บาง เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานได้ตามต้องการ กำลังของเครื่องยนต์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อเพลิงในส่วนผสม

ซึ่งถูกควบคุมโดยสัญญาณจากกระบอกสูบ ชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณจากกระบอกสูบ คือลิ้นผีเสื้อ (Throttle) ในคาร์บูเรเตอร์นั่นเอง

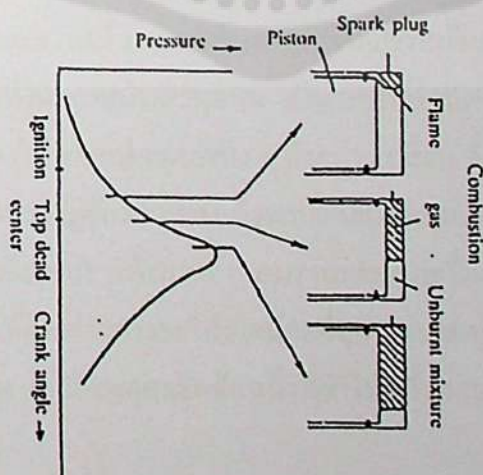
คาร์บูเรเตอร์แบบง่าย ๆ ธรรมดาไม่สามารถให้ส่วนผสมปรับไปเพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานตามภาระและความเร็วที่ต้องการได้ จึงต้องเพิ่มส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อตอบสนองการเปลี่ยนแปลงการดูดอากาศเข้าและผสมเชื้อเพลิงให้ได้ส่วนผสมตามต้องการ อย่างไรก็ตาม ระหว่างการเติมเครื่องยนต์ ก็ยังเป็นปัญหา เนื่องจากคาร์บูเรเตอร์ยังไม่สามารถจะปรับคุณสมบัติของส่วนผสมให้เหมาะสมและทันการได้ ได้มีการเพิ่มชิ้นส่วนต่าง ๆ และปรับปรุงคาร์บูเรเตอร์เพื่อแก้ปัญหานี้ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของคาร์บูเรเตอร์

ปัญหาอีกข้อหนึ่งของส่วนผสมคือ คาร์บูเรเตอร์ไม่สามารถจะทำให้เชื้อเพลิงที่ดูดเข้ามาทั้งหมดกลายเป็นไอหมดได้ จะมีบางส่วนยังเป็นของเหลวอยู่ เนื้อของส่วนผสมจะมีคุณสมบัติต่างกัน ดังนั้นเมื่อใช้คาร์บูเรเตอร์เดียว จะแจกจ่ายส่วนผสมไปตามสูบต่าง ๆ หลายสูบ จะทำให้ส่วนผสมที่เข้าไปในแต่ละสูบมีคุณสมบัติต่างกัน คือมีส่วนผสมหนาบางต่างกัน โดยเฉพาะสูบที่อยู่ไกลคาร์บิวจะมีส่วนผสมบางกว่าในการนี้ได้มีการแก้ไขโดยให้แต่ละสูบมีส่วนผสมหนาบาง $\pm(0.5 \sim 1)$ ของอากาศและเชื้อเพลิงนั้นและขณะเดียวกันก็ให้ความร้อนที่ท่อไอดีเพื่อให้น้ำมันสามารถระเหยได้ดีขึ้น เป็นไอทั้งหมดจะได้ผสมกับอากาศเป็นเนื้อเดียวกัน ผลเสียที่เกิดจากการอุ่นท่อไอดีคือ ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นของส่วนผสมจะน้อยลง ทำให้ได้เนื้อน้อย กำลังขาออกก็จะลดลง ยังต้องมีการปรับปรุงคาร์บูเรเตอร์อีกเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของสารผสมดีกว่าที่เป็นอยู่ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมเมื่อความร้อนต่ำ ขณะเริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์และขณะที่เครื่องยนต์เพิ่มความเร็วและลดความเร็ว

3. กระบวนการลามของเปลว การลามของเปลวในส่วนผสมต้องการเวลา ดังนั้นจึงต้องตั้งไฟให้จุดก่อนลูกสูบถึงจุดศูนย์กลางบน และต้องให้ไฟลามและสันดาปไปตามเวลาที่กำหนด เมื่อเริ่มจุดไฟที่หัวเทียน เปลวจะเริ่มลามออกจากปลายจุดที่หัวเทียนออกไปหาส่วนผสมดังคลื่นเคลื่อนออกไป (รูปที่ 2.4) เปลวไฟจะเคลื่อนไปข้างหน้าส่วนผสมที่เผาแล้วก็จะอัดมาด้านหลัง เปลวดังนั้นความดันจะเพิ่มขึ้นเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับการลามของเปลวหรืออัตราความเร็วของเปลว ซึ่งถือเป็นแฟกเตอร์ที่สำคัญที่สุดในการสันดาปในเครื่องยนต์เบนซิน



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์การลามของเปลวและความดัน

ความเร็วของเปลวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของส่วนผสมความดัน ปริมาณแก๊สต่างใน กระบอกสูบ และอัตราส่วนของส่วนผสมด้วย และที่มีผลกระทบมากคือ ความไม่แน่นอนของส่วนผสมซึ่งเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความเร็วรอบบนเครื่องยนต์ ดังนั้นจะเห็นว่า ความเร็วของการลามของเปลวจะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับความเร็วรอบบนของเครื่องยนต์ ส่วนผสมต่าง ๆ กันนั้นจะถูกแจกจ่ายจากคาร์บูเรเตอร์เข้าไปตามสูบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ ซึ่งครอบคลุมความเร็วรอบตั้งแต่ 600 - 6000 รอบต่อนาที ดังนั้นเพื่อให้ได้การเผาไหม้ที่มีประสิทธิภาพ ได้มีการปรับตั้งเวลาการจุดระเบิดเพื่อให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ดังกล่าว การจุดระเบิดที่เร็วเกินไปหรือล่าช้าเกินไปจะก่อให้เกิดความดันที่ไม่เหมาะสมในกระบอกสูบ ดังนั้น เวลาการจุดระเบิดที่ถูกต้องเท่านั้นที่จะให้กำลังสูงสุดจากเครื่องยนต์ การตั้งเวลาการจุดที่ถูกต้องนั้นค่อนข้างจะทำให้ยาก เพราะขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์หลายตัวที่มีความสัมพันธ์ต่อกันด้วยคืออัตราส่วนอากาศต่อน้ำมัน งานที่ใช้ในการดูไอดี ความเร็วรอบ และอื่นๆ ดังกล่าวมาแล้ว ที่สามารถตั้งเวลาการจุดในปัจจุบัน ทำเพียงตั้งค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่านั้น

กำลังไฟจากหัวเทียนที่ใช้จุดระเบิดนั้น จะใช้น้อยที่สุดเมื่อส่วนผสมหนากว่าที่ควรจะเป็น (Stoichiometric) เล็กน้อย และกำลังไฟจะใช้มากขึ้นหากส่วนผสมบางลง และอาจต้องขยายความห่างของขั้วหัวเทียนด้วย

4. การแปรปรวนของวัฏจักรต่อวัฏจักร (Cyclic variation) เป็นการยากมากที่จะควบคุมให้ส่วนผสมที่เข้าสู่สูบทุกครั้งคงที่ตลอด เพราะส่วนผสมแต่ละครั้งที่ถูกอัดเข้านั้นขึ้นอยู่กับ การดูดของไอดี จังหวะการอัด การขยายของลูกสูบ การปล่อยไอเสีย ซึ่งควบคุมให้คงที่ไม่ได้ นอกจากนั้น ทั้งรูปแบบของเปลวและความเร็วในการสันดาปยังขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซต่างและเวลาของการผสมนั้น รวมทั้งหยดน้ำมันที่ไม่ระเหยในส่วนผสม เป็นเหตุให้ส่วนผสมไม่แน่นอน กระบวนการลามของเปลวจะเปลี่ยนแปลงไปหากแฟกเตอร์ต่าง ๆ ดังกล่าวเปลี่ยน ดังนั้นความดันในกระบอกสูบจึงแปรปรวนตลอดและในแต่ละวัฏจักรความดันก็จะเปลี่ยนแปลงและต่างกันไปด้วย

หากการเผาไหม้แปรปรวนไปมาก สมรรถนะของเครื่องยนต์ก็จะตกและเครื่องจะไม่เรียบ สภาพของการเผาไหม้ดังกล่าวควรจะให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด การเผาไหม้ที่แปรปรวนไปมานี้ส่วนใหญ่จะเกิดเมื่อส่วนผสมบาง นี่ก็คือเหตุผลอีกข้อหนึ่งที่ทำให้เครื่องยนต์เบนซินทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควรในขณะที่ส่วนผสมบาง

มลพิษจากเครื่องยนต์เบนซิน

ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์เบนซินจะเป็นน้ำมันเบนซินหรือก๊าซหุงต้มก็ได้ซึ่งเชื้อเพลิงจะถูกดูดเข้าไปในคาร์บูเรเตอร์ผสมกับอากาศเป็นอย่างดีแล้วจึงแจกจ่ายต่อไปยังห้องเผาไหม้ในกระบวนการเผาไหม้ CO_2 และ H_2O จะเกิดขึ้นแน่ แต่เนื่องจากในอากาศมีปริมาณ N_2 อยู่ด้วยร้อยละ 79 ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงก็อาจทำให้เกิด NO_x ได้ (ส่วนใหญ่จะเป็น NO และ NO_2) CO ก็อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ แต่ถ้าได้ O_2 เพิ่มขึ้น ก็จะเปลี่ยนเป็น CO_2 ต่อไป ในขณะที่เดียวกัน HC ก็อาจเกิดขึ้นได้หากการสันดาปไม่สมบูรณ์ และจะปล่อยออกมาในจังหวะคาย ดังนั้น ไอเสียจะมีส่วนประกอบต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการเผาไหม้และแฟกเตอร์อื่นๆ ที่สัมพันธ์กัน ส่วนประกอบของไอเสียในขณะที่มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงพอดี (Stoichiometric) และเผาไหม้ตามปกตินั้นอาจเป็นไปตามตารางข้างล่าง

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบไอเสียเมื่อมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงพอดี

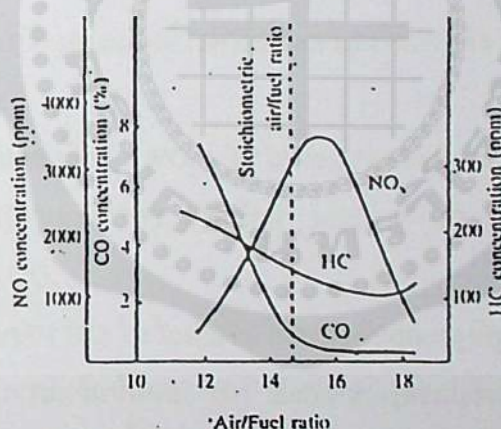
ส่วนประกอบ	ปริมาตร%
N_2	83.5
O_2 (รวม argon ด้วย)	2.22
CO_2	13.0
H_2	0.23
CO	0.97
HC	205 ppm*
NO	2900 ppm*
NO_2	18 ppm*

- หมายเหตุ 1. เชื้อเพลิงเบนซินที่มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 14.7 : 1
 2. ค่าต่างๆ ไม่รวมความชื้นและน้ำ
 3. 1% = 10000 ppm

1. คาร์บอนมอนอกไซด์ ความเข้มข้นของ CO ในสภาวะสมดุล (Equilibrium คือ อุณหภูมิและความดันคงที่ที่ขณะหนึ่ง) จะลดลงอย่างรวดเร็วหากเพิ่มอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง และ อุณหภูมิของก๊าซที่เผาไหม้ก็จะลดลงด้วย และหากปฏิกิริยาทางเคมีสมดุลด้วย ความเข้มข้นของ CO ที่อุณหภูมิไอเสียจะต่ำเมื่อส่วนผสมบางและจะมีปริมาณ O_2 เหลือเพื่อ

แต่ความจริงแล้ว ความเข้มข้นของ CO ไม่เป็นไปตามภาวะสมดุล CO จะเข้มข้นกว่า ทำให้อุณหภูมิและความดันของไอเสียไม่เป็นไปตามอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงเนื่องจาก ความเร็วในการ Oxidize ของ CO หดไปเลย ๆ จึงทำให้เกิด CO เข้มข้นมากในจังหวะคายของ ลูกสูบ

ความเข้มข้นของ CO ในไอเสียเกือบจะเป็นผลโดยตรงจากอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (เบนซิน) น้อยกว่า 16 ความเข้มข้น CO จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และหากส่วนผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกันดี หรือระบบหล่อเย็นทำให้การเผาไหม้หยุดชะงัก จะทำให้ความเข้มข้น CO เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงต้องจัดค่าของอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงที่เหมาะสม



รูปที่ 2.5 แสดงความเข้มข้นของสารมลพิษที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่างๆ

2. ไฮโดรคาร์บอน ที่อุณหภูมิสูง ความเร็วในการ Oxidize ของ HC จะเร็วมาก โดยทั่วไปเชื่อว่า HC ที่เกิดในไอเสียเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์โดยเฉพาะส่วนผสมหนา สาเหตุของ HC ที่ไม่เผาไหม้นั้น ค่อนข้างยุ่งยาก ธรรมดาผนังห้องเผาไหม้จะมีอุณหภูมิต่ำ และเปลวจะไม่ลามไปที่ที่มีส่วนผสมน้อย (ตรงบริเวณผนังห้องเผาไหม้) ดังนั้นส่วนผสมตรงนั้นจะไม่เผาไหม้เลย ยังคงเป็น HC อยู่ และเคลื่อนที่ออกจากผนังในจังหวะคายและผสมกับก๊าซที่เผาไหม้แล้วที่อุณหภูมิสูง และหากยังมีปริมาณ O_2 เหลือในกระบอกสูบมาก จะเห็นว่ายังเผาไหม้ได้ต่อไป และหากอุณหภูมิไอเสียสูง การเผาไหม้อาจเผาไปเรื่อย ๆ จนวาล์วไอเสียเปิดแล้วยังเผาต่อไปในท่อไอเสีย

อย่างไรก็ดีปริมาณ HC จะเพิ่มหากอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงลดลงเพราะปริมาณ O_2 ช่วยในการเผาไหม้ไม่พอ

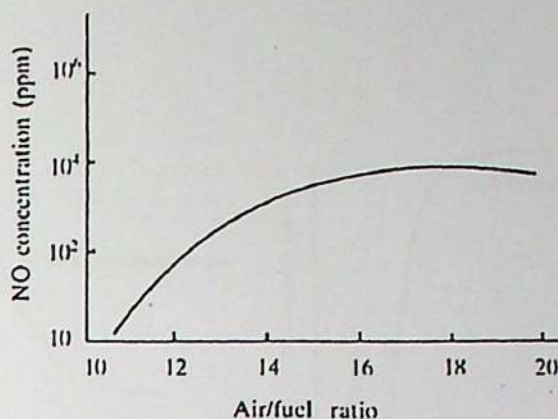
ความหนาของส่วนผสมที่ติดผนังห้องเผาไหม้ (Flame extinguishing bed) จะน้อยมากหากส่วนผสมหนาเล็กน้อย (มากกว่าที่ Stoichiometric) และความหนาจะเพิ่มขึ้นเมื่อส่วนผสมหนากว่าหรือบางกว่า ยิ่งกว่านั้น ความหนาของส่วนผสมที่ติดผนังยังเป็นอัตราส่วนกลับกับความดัน หากอัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาตร (S / V Ratio) ของห้องเผาไหม้สูง อัตราการไหลของส่วนผสมเข้าผนังจะมากขึ้น และจะสูญเสียความร้อนไป เป็นผลให้อุณหภูมิของก๊าซที่เผาไหม้ลดลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณ HC เพิ่มขึ้น การหยุดลามของเปลวตามช่วงที่ติดผนังห้องเผาไหม้ทั้งด้านข้างและด้านบนของลูกสูบเป็นสาเหตุของการเกิด HC ทั้งสิ้น

ในกรณีของส่วนผสมบางมาก การลามของเปลวช้า การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์แม้ว่าวาล์วไอดีจะเปิดแล้ว ดังนั้นการเดินเครื่องในขณะส่วนผสมบางมาก ๆ จะทำให้เกิด HC มาก นอกจากว่าหากส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันดีมากจะมีการเผาไหม้ที่ดีขึ้นลด HC ลงไปได้บ้าง

ปริมาณของก๊าซค้างสูง ทำให้ส่วนผสมแปรปรวน จะทำให้เปลวอาจจะไม่ลามต่อไป ในเครื่องยนต์สองจังหวะหรือเครื่องยนต์โรตารีซึ่งความเร็วรอบต่ำ ในจังหวะคาย จะมีปริมาณ HC มากในไอดี

3. ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ไนโตรเจนออกไซด์จากเครื่องยนต์เบนซินส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบของ NO และมี NO_2 เล็กน้อย และหาก NO ถูกปล่อยออกไปในอากาศ จะ Oxidize ต่อไปที่นั่นเป็น NO_2

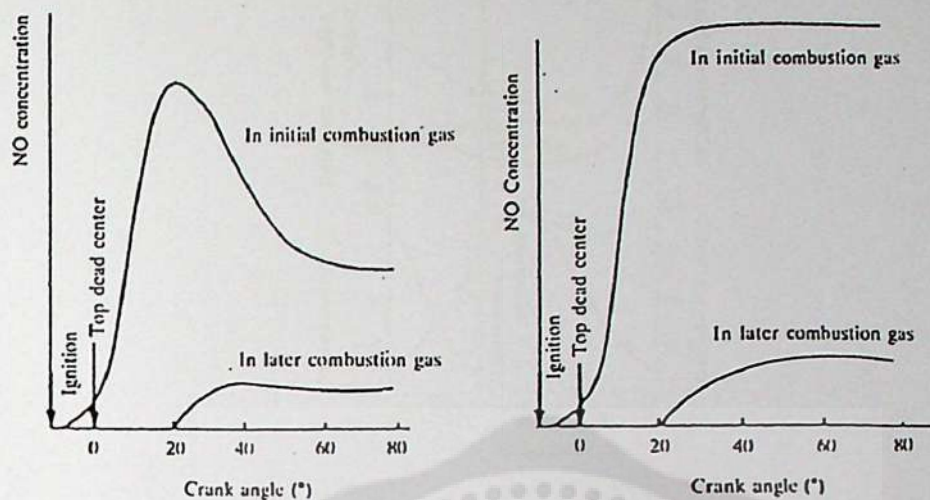
ความเข้มข้นของ NO ในไอดีขึ้นโดยตรงกับอุณหภูมิสูงสุดของการสันดาปและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ความเข้มข้นของ NO ที่ภาวะสมดุลระหว่างการเผาไหม้แบบปริมาตรคงที่นั้นจะสูงสุดที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (เบนซิน) เท่ากับ 18 ไม่รวมการสูญเสียความร้อนไป (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 แสดงความเข้มข้นของ NO ที่ภาวะสมดุลเผาไหม้เมื่อปริมาตรคงที่

หากใช้ส่วนผสมหาจะเห็นว่า ปริมาณ NO ลดลงเร็วมาก ความเข้มข้นของ NO ในไอเสียจากเครื่องยนต์จริงจะสูงกว่ามากไม่เป็นไปตามภาวะสมดุล เป็นผลกระทบต่ออุณหภูมิความดันระหว่างจังหวะคายด้วย ความเร็วของการ Oxidize ของ NO จะช้ามาก

การเกิด NO ในเครื่องยนต์ เนื่องจากส่วนผสมบางส่วนอยู่ในภาวะอุณหภูมิสูงนานเกินไป NO เกิดขึ้นเรื่อย ๆ ในก๊าซที่เผาไหม้แล้วจนถึงขีดสูงสุดของความเข้มข้นในภาวะสมดุล หลังจากนั้น NO จะแตกตัวในจังหวะคาย ความเข้มข้นจะลดลงไปเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม การแตกตัวของ NO ช้ามาก ความเข้มข้นลดลงน้อยมากเทียบกับอุณหภูมิที่ลด ปริมาณ NO ที่ออกในไอเสียจึงสูง (รูปที่ 2.7)



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

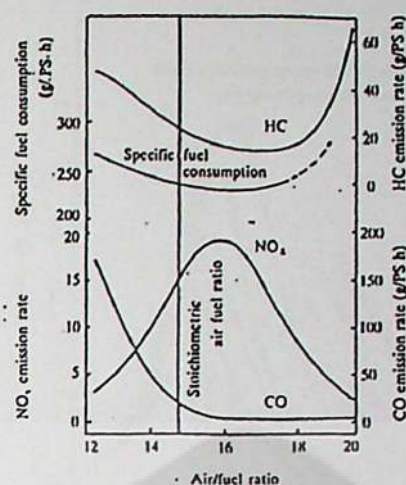
(2) Lean mixture (in the vicinity of 18 air/fuel ratio)

รูปที่ 2.7 แสดงความเข้มข้นของ NO เปลี่ยนตามเวลา

ในกรณีของส่วนผสมบางจะเห็นว่า เมื่อปริมาณ NO ขึ้นสูงสุดแล้วจะไม่ลดอีกต่อไป ทั้งนี้เนื่องจากหลังจากเกิด NO แล้ว ความเข้มข้นของ NO ไม่เป็นไปตามอุณหภูมิแล้ว และ NO แตกตัวช้ามาก เลยทำให้ความเข้มข้น NO คงที่ตลอด

สำหรับส่วนผสมบางส่วนที่เผาไหม้ทีหลังนั้น เนื่องจากอุณหภูมิของการสันดาปลดลงแล้ว และเวลาของแก๊สที่อยู่ในห้องเผาไหม้ไม่นาน ปริมาณ NO จากแก๊สส่วนหลังจึงน้อยมาก

กระบวนการเกิด NO ในห้องเผาไหม้นั้น ยังต้องศึกษาทำการวิจัยอีกมาก กระบวนการเกิด NO บางส่วนยังไม่สามารถอธิบายได้ ที่ทำมาแล้วจะพิสูจน์ได้คือความเข้มข้นของ NO ในภาวะสมดุลเท่านั้นซึ่งทำการทดลองที่อุณหภูมิของเปลวไฟ ความเข้มข้น NO จะสูงสุดเมื่อการเผาไหม้เกิดที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 16 และหากส่วนผสมหนาหรือบางกว่านี้ ปริมาณ NO ก็จะลดลงอย่างรวดเร็วในภาวะสมดุลยังแสดงให้เห็นผลกระทบของอุณหภูมิต่อความเข้มข้นของ NO ได้ชัดเจน



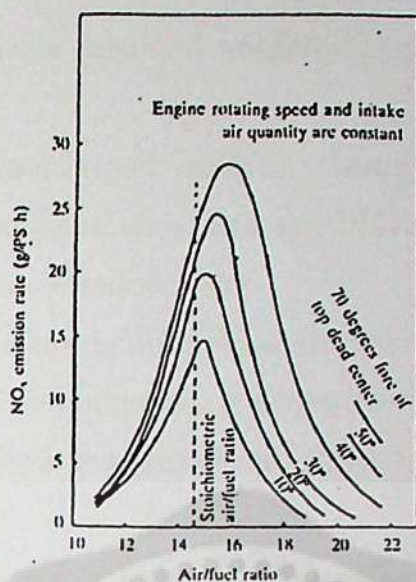
รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนผสม สมรรถนะและส่วนผสม

แฟกเตอร์ที่มีผลต่อมลพิษจากเครื่องยนต์เบนซิน

แฟกเตอร์ที่มีผลต่อมลพิษทั้งปริมาณและอัตรานั้นส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์กันทั้งสิ้นในการพิจารณาจึงจะเน้นเฉพาะส่วนที่มีผลกระทบจริง ๆ สำหรับความสัมพันธ์และผลกระทบของแฟกเตอร์ต่าง ๆ ต่อกันนั้นจะสรุปพอสังเขป

1. อัตราส่วนผสม (อากาศต่อเชื้อเพลิง) โดยทั่วไปความเข้มข้นของมลพิษจากไอเสียแปรตามส่วนผสม CO เกือบจะพูดได้ว่า แปรตามอัตราส่วนผสมโดยตรง แฟกเตอร์อื่นมีผลน้อยมาก แต่ปริมาณ HC และอัตราเชื้อเพลิงจำเพาะจะเพิ่มถ้าส่วนผสมบางไปเนื่องจากการลามของเปลวไม่สมบูรณ์และการเผาไหม้ที่ผิดเวลา ปริมาณ NO จะสูงสุดที่ส่วนผสม 16 และจะลดลงอย่างรวดเร็วหากส่วนผสมหมดหรือบางกว่านี้

2. เวลาจุดระเบิด เวลาจุดระเบิดต่ำ ความเข้มข้นของ NO_x จะลดลงอย่างรวดเร็วจากค่าอัตราส่วนผสมดี ในเครื่องยนต์ทั่วไปที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมมลพิษ หากตั้งการจุดระเบิดล่าช้าไป 10° CA ความเข้มข้นของ NO_x จะลดลงร้อยละ 30 – 40 และกำลังขาออกลดลงด้วย อัตราการเกิด NO_x จะลดลงร้อยละ 30 – 40 และกำลังขาออกลดลงด้วย อัตราการเกิด NO_x จะลดลงร้อยละ 30 – 40 และกำลังขาออกลดลงด้วย อัตราการเกิด NO_x จะลดลงร้อยละ 20 อัตราการเกิด NO_x เป็นผลจากอุณหภูมิของการบำรุงรักษาระบบจุดระเบิดการเกิด NO_x จะลดลงเร็วกว่าทางด้านของส่วนผสมหนา (รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ของการเกิด NO_x การจุดระเบิดและส่วนผสม

การจุดระเบิดต่ำจะลดปริมาณ HC ด้วย เนื่องจากเผาไหม้ไม่ทัน ทำให้เผาต่อไปใน จังหวะคายและอาจเผาต่อไปในท่อไอเสีย อุณหภูมิไอเสียอาจเพิ่มขึ้น ดังนั้นหากส่วนผสมบาง ปริมาณ HC จะน้อยแม้ว่าจะจุดต่ำไป

3. สภาพะไอดี อุณหภูมิไอดีสูงจะทำให้เพิ่ม NO_x และทำให้อากาศเข้าห้องเผาไหม้เบา ลงทำให้กำลังตกด้วย สำหรับผลกระทบของอุณหภูมิไอดีต่อ HC นั้นน้อยมาก แต่ความดันไอดีต่ำ จะลดปริมาณ NO_x แต่เพิ่ม HC ความชื้นในอากาศมากจะทำให้ NO_x ลดเนื่องจากทำให้อุณหภูมิ เปลวต่ำลงจะเห็นได้ชัดมากขึ้นหากส่วนผสมบาง

4. ก๊าซค้าง หากมีก๊าซค้างในกระบอกสูบมาก จะทำให้อุณหภูมิก๊าซที่เผาไหม้ต่ำลง ปริมาณ HC จะเพิ่ม และ NO_x ด้วย ในเครื่องยนต์ 2 จังหวะจะเห็นว่ามีความ NO_x เพราะการค้าง จะมากในกระบอกสูบอยู่แล้ว

5. ความดันกลับจากไอเสีย ความดันกลับจากไอเสียเนื่องจากไอเสียออกไม่สะดวก หรือออกไม่ทัน จะทำให้เกิดความดันกลับขึ้น ทำให้มีก๊าซค้างในกระบอกสูบมากขึ้น ลดปริมาณ NO_x แต่มีผลต่อ HC น้อยมาก

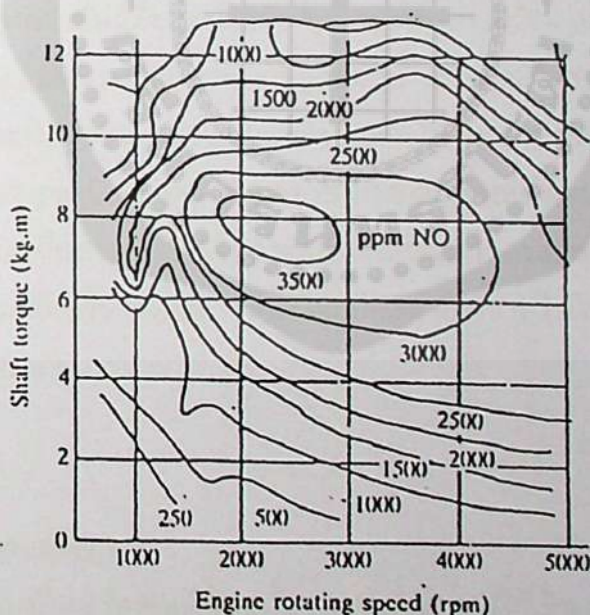
6. อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงขึ้นจะช่วยลด HC ได้เล็กน้อยแต่ขณะเดียวกันก็เพิ่มปริมาณ NO_x

7. ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ โดยทั่วไป รูปแบบห้องเผาไหม้ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวของผนังต่อปริมาตรห้องเผาไหม้ (S/V ratios) น้อย จะทำให้ปริมาณ HC น้อย ปริมาณ NO_x มาก ทั้งนี้ขึ้นกับตำแหน่งของการวางหัวเทียนด้วย

8. อัตราส่วนกำลังอัดสูง จะให้กำลังดี และประสิทธิภาพสูง บางกรณีอัตราส่วนกำลังสูงจะเพิ่ม HC และลด NO_x แต่หากใช้ส่วนผสมบาง ปริมาณ NO_x จะเพิ่มขึ้น

9. ปริมาตรช่วงชักเพิ่ม จะลด HC และ NO_x ทำนองเดียวกับอัตราส่วนช่วงชักต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง

10. สภาพการใช้งาน ความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีผลต่อ CO HC และ NO_x น้อยมาก ภาระสูงจะให้ NO_x มาก ภาระต่ำ รอบต่ำจะให้ HC และ CO สูง ความเข้มข้นของ NO_x จะเปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วรอบและกำลังเพลและแปรตามส่วนผสมและเวลาจุดระเบิดด้วย (รูปที่ 2.10)



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ NO_x ต่อความเร็วรอบและกำลังเพล

11. ชนิดของเชื้อเพลิง เครื่องยนต์เบนซินที่ใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง จะให้ HC ต่ำกว่า เครื่องที่ใช้เบนซินมาก และ NO_x ก็จะสูงกว่ามาก ทั้งนี้เพราะ LPG สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกับอากาศได้ดี การลุกไหม้สมบูรณ์กว่า จึงไม่มี HC เหลือมากนัก และการเผาไหม้ที่ดีก็จะเพิ่มอุณหภูมิก๊าซเผาไหม้ ทำให้ปริมาณ NO_x เพิ่มขึ้น

การเผาไหม้และการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซล

กระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เบนซินนั้นแตกต่างกันมาก ในเครื่องยนต์เบนซินสารผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงจะถูกดูดเข้าในจังหวะดูด และสารผสมนี้จะถูกอัดจนลูกสูบเคลื่อนที่จนเกือบถึงจุดศูนย์ตายบน หัวเทียนจะช่วยจุดไฟเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ สารผสมนี้ต้องไม่ติดไฟเองไม่ว่าก่อนหรือหลังหัวเทียนจุด มิฉะนั้นจะเกิดการน็อกขึ้น ซึ่งทำให้เครื่องเสียบำลึงประสิทธิภาพตก ส่วนในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นในจังหวะดูดจะดูดแต่อากาศเพียงอย่างเดียว แล้วอากาศนี้จะถูกอัดจนลูกสูบเกือบถึงจุดศูนย์ตายบนอากาศนี้จะมี ความดันและอุณหภูมิสูง เมื่อน้ำมันถูกฉีดเข้ามา หยดของน้ำมันที่มีขนาดไม่เท่ากัน ก็จะได้รับความร้อน และผิวของหยดน้ำมันนั้นก็ จะระเหยออก ไอของน้ำมันจะผสมกับอากาศที่ถูกอัดนั้น และเกิดเป็นสารผสมขึ้น สารผสมที่เกิดขึ้นในลูกสูบนี้จะมีอัตราส่วนอากาศและเชื้อเพลิงต่างกันไปในแต่ละแห่งและแต่ละเวลา การเผาไหม้จะเกิดขึ้นเองเมื่ออุณหภูมิและอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงพอดีกัน ธรรมชาติของน้ำมันขนาดต่าง ๆ ที่ถูกฉีดเข้ามาจะกระจายไปทั่วกระบอกสูบและในกระบอกสูบอากาศก็จะหมุนเวียนวนไป ทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้นได้หลาย ๆ แห่งไม่แน่นอน แต่ทั่ว ๆ ไปไฟจะติดหลาย ๆ จุดรอบ ๆ บริเวณที่ฉีดน้ำมันเข้ามาก่อน

การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล

การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วง คือ

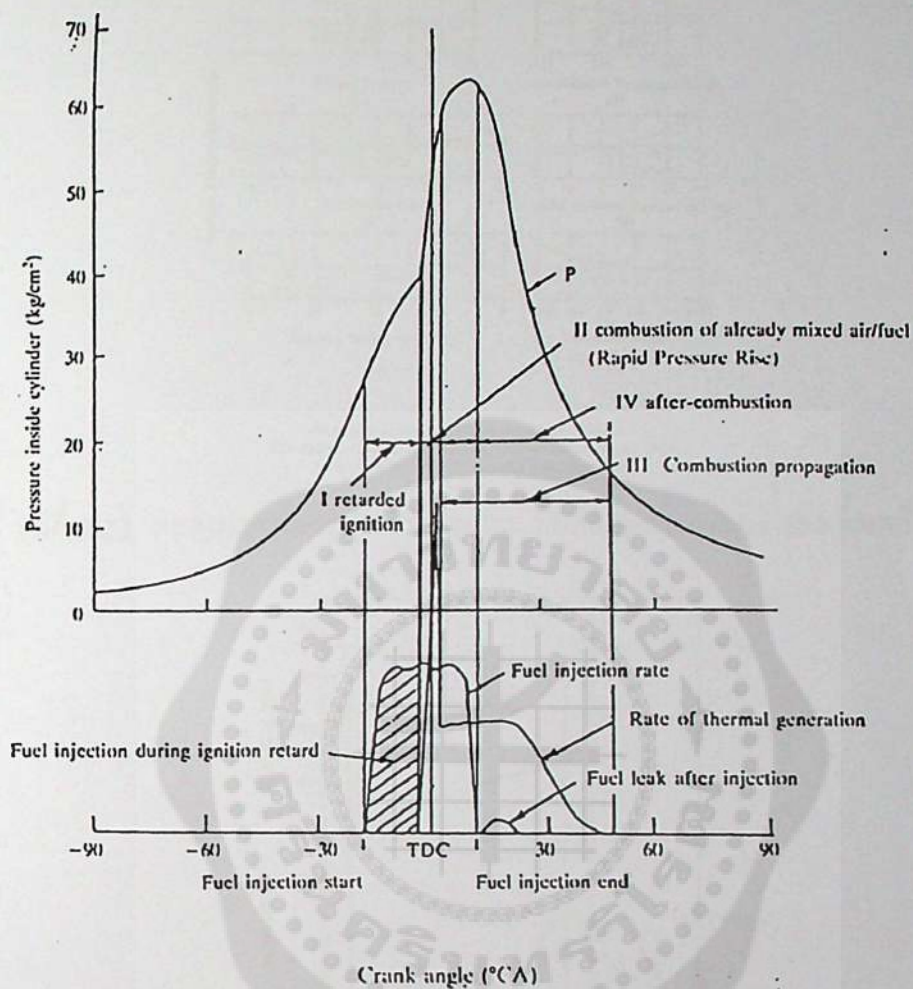
1. ช่วงจุดไฟล่า (Delay period หรือ Ignition delay) คือ ช่วงเวลาระหว่างที่เริ่มฉีดน้ำมันจนถึงจุดที่เริ่มติดไฟ ช่วงนี้มีความสำคัญมากต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ รวมทั้งมีผลกระทบอย่างมากต่อเสียงการสั่นสะเทือนและไอเสีย เมื่อช่วงจุดไฟล่าสั้น การเผาไหม้จะนุ่มนวล การสั่นสะเทือนจะน้อย เสียงค้องและ NO_x จากไอเสียจะน้อย ช่วงจุดไฟล่านี้ขึ้นอยู่กับ Cetane number ของเชื้อเพลิงอุณหภูมิและความดันของการอัด การตั้งเวลาการฉีด และการหมุนเวียนของก๊าซใน

กระบอกสูบ ช่วงนี้จะสั้นเมื่อ Cetane number สูง ความดันและอุณหภูมิสูง ตั้งการฉีดน้ำมันเข้า (ก่อน TDC ไม่นาน)

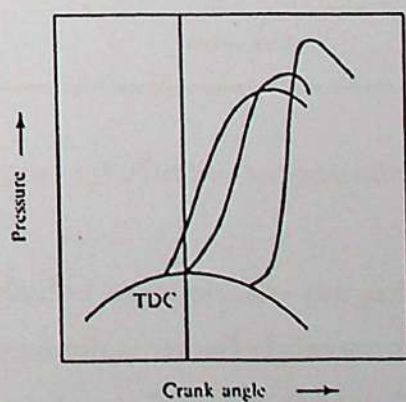
Delay period นี้เป็นผลรวมของ Physical delay และ Chemical delay คือในช่วงของ Physical delay น้ำมันที่ถูกฉีดเข้ามาจะแตกตัวออกเป็นหยด และเมื่อได้รับความร้อนจะระเหย แล้วรวมตัวกับอากาศเป็นสารผสม หลังจากนั้นจะเป็นช่วงของ Chemical delay ในช่วงนี้ไฮโดรคาร์บอนหนักในสารผสมจะแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนเบาแล้วเกิดการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศขึ้น

ธรรมดาแล้ว Physical delay จะสั้นมาก โดยเฉพาะถ้าเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้ว จะเห็นว่าช่วงเวลาที่น้ำมันดีเซลระเหยนี้ใช้เวลาเพียง $\frac{1}{3}$ หรือ $\frac{1}{2}$ เท่าของน้ำมันเบนซินเท่านั้น แล้วแต่อุณหภูมิไอติดนั้นจะเห็นว่า Physical delay มีผลน้อยมากต่อ Delay period ดังนั้นผลของการเผาไหม้จึงเป็นผลส่วนใหญ่เนื่องมาจาก Chemical delay

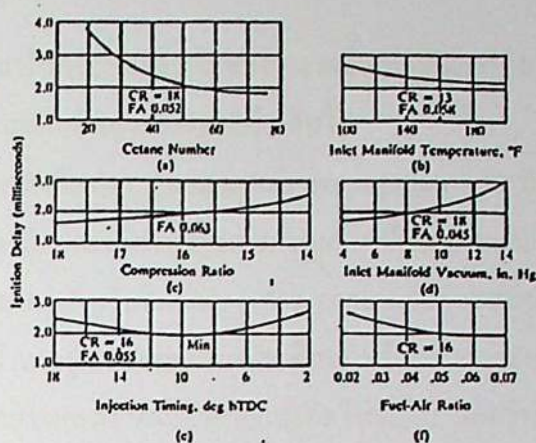
ได้มีการค้นคว้าและทดลองเกี่ยวกับ Chemical delay มาเป็นเวลานานหลายสิบปี แต่ก็ยังไม่มีข้อมูลที่แน่นอนพอที่จะยืนยันถึงการเกิดปฏิกิริยาของไฮโดรคาร์บอนกับออกซิเจน อย่างไรก็ตามก็ได้มีการทดลองยืนยันว่าในช่วงจุดไฟนี้เองที่เกิดสารมลพิษ



รูปที่ 2.11 แสดงกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล

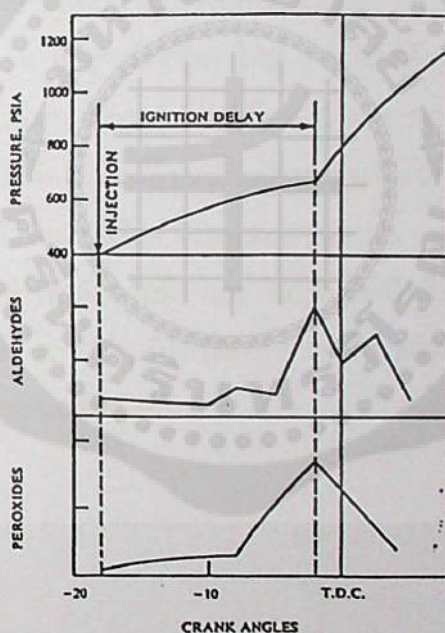


รูปที่ 2.12 แสดงการเพิ่มความดันต่อช่วงจุดไฟ



Effect of operation variables on the Ignition delay in a CFR engine. (900 rpm, 212°F jacket, 150°F and 24 in. Hg manifold, 62 octane PRF, 13°b TDC injection.) (K. McCauley)

รูปที่ 2.13 แสดงผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อ Ignition delay ของเชื้อเพลิง



Concentration of intermediate compounds during the combustion process.

รูป 2.14 แสดงปริมาณความเข้มข้นของ Aldehydes และ Peroxydes ในช่วงจุดไฟล่า

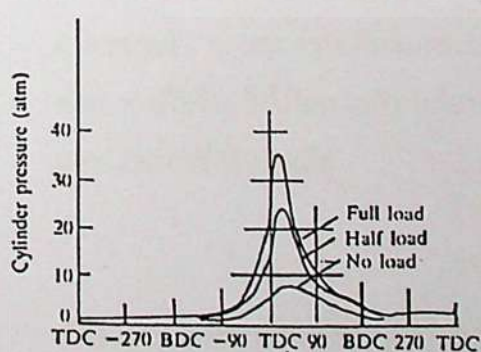
2. ช่วงความดันขึ้นเร็ว (Rapid pressure rise period) คือช่วงเวลาที่เริ่มคิดไปจนถึงความดันสูงสุด หรือช่วงที่ความดันเพิ่มอย่างรวดเร็วถ้าอัตราความดัน (dp / dt) ขึ้นเร็วเกินไป จะทำให้เครื่องยนต์เกิดการสั่น กำลั่งของเครื่องจะตกจะมีสารถพิษในไอเสียมาก อัตราความดันจะดีก็ต่อเมื่อช่วงจุดไฟล่าสั้นเหมาะสม ถ้าช่วงยังยาวอัตราความดันจะยังสูงทั้งนี้เพราะถ้าช่วงจุดไฟล่ายาว

ปริมาณเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้ามาในกระบอกสูบจะสะสมมากขึ้นเมื่อเกิดการติดไฟ ก็จะติดหลาย ๆ จุด ขึ้นพร้อม ๆ กัน ทำให้ความดันเพิ่มสูงอย่างรวดเร็วเกินไป

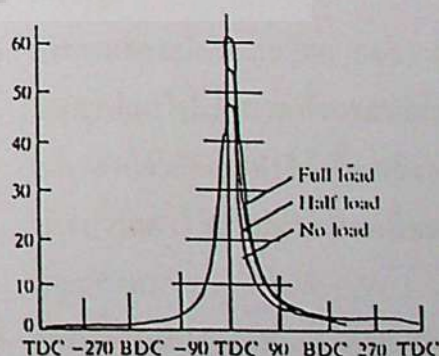
3. ช่วงการเผาไหม้ลาม (Combustion propagation) ความเจริญแล้วการเผาไหม้นั้น เกิดขึ้นในช่วงที่ (2) แล้ว เมื่อมีการติดไฟขึ้นแล้วการเผาไหม้ก็จะลามทันที แต่ในช่วง (2) นั้น การเผาไหม้ลามอย่างรวดเร็วมาก สำหรับในช่วง (3) การลามจะค่อยสม่ำเสมอขึ้นแล้วก็ช้าลง ทั้งนี้ เพราะเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้ามาอยู่รอบๆ จะระเหยและดึงความร้อนจากกระบอกสูบ เชื้อเพลิงที่ระเหยจะกระจายไปทั่วกระบอกสูบและผสมกับอากาศและติดไฟต่อไป แต่การติดไฟที่สมบูรณ์จะใช้เวลา นานขึ้น เพราะสารผสมกระจายไปสม่ำเสมอและปริมาณ O_2 ในกระบอกสูบก็ลดลง แก๊สไอเสียที่ เกิดก็เพิ่มขึ้นและวนเวียนไปรบกวนการเผาไหม้ในกรณีเช่นนี้ เชื้อเพลิงที่ยังไม่เผาจะมีความร้อนสูง แต่ขาด O_2 กระบวนการเช่นนี้ทำให้เกิดอนุภาคของแข็ง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นธาตุคาร์บอน กระบวนการเช่นนี้เรียกว่า Thermal decomposition หรือ Polymerization

4. ช่วง Blow-down หรือหลังการเผาไหม้ ช่วงนี้น้ำมันหยุดฉีดแล้ว แต่การเผาไหม้ยัง ลามต่อไป เชื้อเพลิงที่กระจายไปรอบๆ กระบอกสูบที่ขาด O_2 และสารอนุภาคของแข็งที่เกิดก็จะลาม ติดไฟอย่างช้า ๆ แม้ว่าลิ้นที่หัวฉีดจะปิดแล้วแต่ก็จะเกิดน้ำมันรั่วออกมาอีกเนื่องจากความดันที่ค้าง ในท่อน้ำมันส่วนของน้ำมันที่รั่วนี้บางทีเรียก Secondary Injection (การฉีดตกค้าง) จะไม่สามารถ เผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ซึ่งจะทำให้เกิดควันดำ และ HC ในไปเสียที่ออกมา

ในช่วง Blow - down นี้ งานที่ให้น้อยมากทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ ฉะนั้น ในช่วงนี้จึงมีแต่การเพิ่มอุณหภูมิไอเสียเท่านั้น



Crank angle (°CA)
(1) Gasoline engine



Crank angle (°CA)
(2) Diesel engine

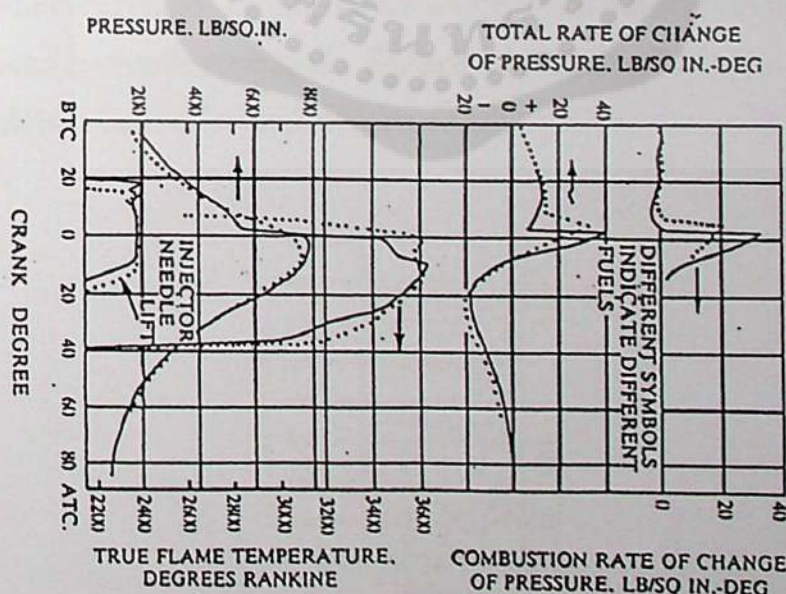
รูปที่ 2.15 แสดง P-t Curve ของเครื่องเบนซินและดีเซล

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อแตกต่างของเครื่องเบนซินและเครื่องดีเซล

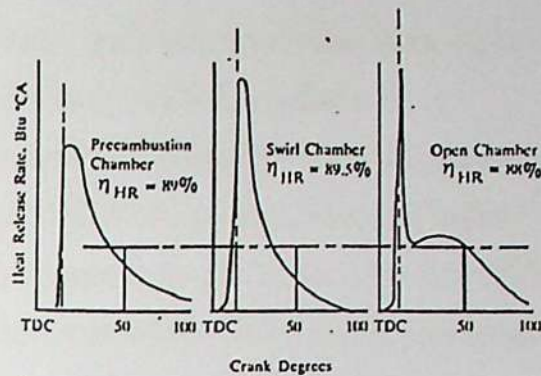
ลำดับ	เบนซิน	ดีเซล
1	อัตราส่วนอากาศเกินเชื้อเพลิงจะอยู่ระหว่าง 0.8 - 1.5 และจะคงที่ทุกครั้งและทุกแห่งในกระบอกสูบ	อากาศเกินเชื้อเพลิงต่ำสุดคือ 1.2 ที่ภาระต่ำมาก ๆ อาจเป็น 10 ก็ได้ แสดงว่าในดีเซลจะเป็นส่วนผสมบางตลอดเวลาเพราะอากาศที่เข้าคงที่ตลอดน้ำมันจะฉีดมากขึ้นขึ้นอยู่กับภาระ
2	ที่อัตราส่วนอากาศ/เชื้อเพลิงค่อนข้างคงที่ทั่วกระบอกสูบและเชื้อเพลิงระเหยได้ดีกว่าและเป็นสารผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันดีกว่า	น้ำมันดีเซลที่ระเหยยากกว่าเบนซินเมื่อถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ จะต้องระเหยอย่างรวดเร็วและผสมกับอากาศ เป็นเชื้อเพลิงที่หนืดกว่าและไม่เป็นเนื้อรวมกันอย่างดีแบบในเครื่องเบนซิน แม้ว่าจะมีอากาศเกิดพอ อัตราส่วนผสมจะเปลี่ยนแปลงไปทั่วกระบอกสูบ
3	การจุดไฟจะจุดที่หัวเทียนแล้วค่อย ๆ แผ่กระจายลามออกไป	ติดไฟได้ทุกแห่งที่มีภาวะเหมาะสม ที่ติดไฟไม่คงที่และอาจติดพร้อมกันหลายจุด
4	เปลวลามช้า ๆ และความดันในกระบอกสูบค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ไม่เกิดควันดำ แต่อาจมี HC และ CO เหลือในไอเสีย	การลามของเปลวหมุนโดย Swirl การสันดาปแผ่ไปเร็วมากทั่วกระบอกสูบแต่เวลาก่อกัดเลขทำให้เชื้อเพลิงผสมบางส่วนเผาไหม้ไม่ทันกลายเป็นควันดำและ HC
5	อัตราส่วนอากาศเกินเชื้อเพลิงน้อยกว่ามาก ดังนั้นอุณหภูมิสูงสุดจะสูง แต่ความดันจะต่ำกว่าและประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่า (ประมาณ 28%) ยิ่งกว่าใช้ที่ภาระ ต่ำ ๆ ค่ายิ่งต่ำมาก	การเผาไหม้มีอัตราส่วนอากาศเกินเชื้อเพลิงมาก อุณหภูมิสูงสุดจะต่ำกว่าในเครื่องเบนซิน แต่ความดันมากกว่าเมื่ออัตราส่วนการอัดสูงกว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะดีกว่า

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อแตกต่างของเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล (ต่อ)

ลำดับ	เบนซิน	ดีเซล
6	อัตราส่วนกำลังอัดสูงจะทำให้เกิด Knock ธรรมดาอยู่ระหว่าง 8-9	อัตราส่วนกำลังอัดสูง เครื่องวิ่งเดินเรียบ มีค่าอยู่ระหว่าง 15-20
7	ความดันค่อย ๆ เพิ่มมีเสียงน้อยกว่า	การเพิ่มความดันเร็วและมีความดันสูงกว่า จึงเกิดการสั่นสะเทือนและเสียงดัง
8	เครื่องเบา ๆ เดินเรียบ ประสิทธิภาพต่ำ	เครื่องหนักและแข็งแรง เพราะต้องทนความ ความดันสูง แต่กำลังมากกว่าเครื่อง เบนซิน 50-60 % ถ้ามีความจุเท่ากัน ส่วนใหญ่จะคิดกำลังค่อนน้ำหนักเครื่อง



รูปที่ 2.16 อุณหภูมิและความดันเพิ่มต่อการสันดาป

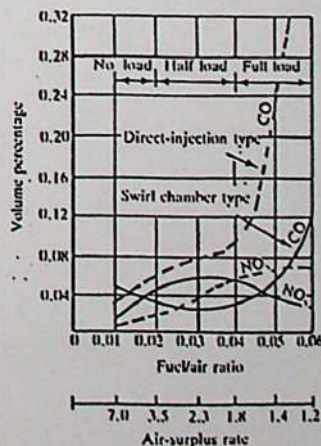


รูปที่ 2.17 แสดง Heat Release ต่อการสันดาป

มลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล

ในเครื่องยนต์ดีเซล สารมลพิษจากเครื่องยนต์ที่มีปริมาณมากที่สุดจากไอเสียคือ NO_x และอนุภาคของแข็ง (ควันดำ) มี HC และ CO บ้าง แล้วแต่กรณี นอกจากนี้ภาวะมลพิษที่ถือว่าร้ายแรงอีกคือกลิ่นและเสียง และแอสดีไฮด์ จะเห็นว่าแตกต่างจากเครื่องยนต์เบนซิน ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการทำงานการสันดาปภายในกระบอกสูบ และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงต่างกัน

1. คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) กระบวนการเกิด CO ในเครื่องยนต์ดีเซลมีส่วนคล้ายคลึงกับการเกิด CO ในเครื่องยนต์เบนซิน กล่าวคือ CO จะเกิดมากหากอัตราการให้อากาศให้อากาศเพิ่มและลดอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกระบวนการของการเกิดควันดำด้วย ธรรมดาทั่วไปจะเดินเครื่องยนต์ดีเซลด้วยอากาศที่มากกว่าอยู่แล้ว คืออัตราการให้อากาศจะเป็น 1.2 - 10 เท่า ดังนั้นปริมาณ CO ที่เกิดจึงน้อยมากเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์เบนซิน



รูปที่ 2.18 แสดงการเกิด CO และ NO_x ต่ออัตราการให้อากาศ

2. ไฮโดรคาร์บอน (HC) เครื่องยนต์ดีเซลจะปล่อย HC ออกมาน้อยมากด้วยเหตุผลเกี่ยวกับการปล่อย CO แต่ปริมาณ HC จะเพิ่มด้วยเหตุอื่นอีก คือ

2.1 ส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่หนาจะสัมผัสกับเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นเหตุให้เกิด HC ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับ O_2 และไม่เกิดการเผาไหม้เลย

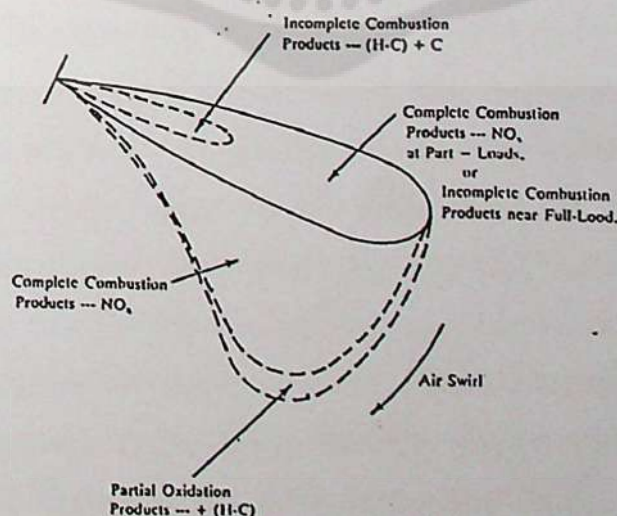
2.2 หากส่วนผสมบางมากเกินไป เปลวไฟจะดับทำให้เกิด HC มาก

2.3 น้ำมันเหลือหลังหัวฉีดฉีดแล้ว ส่วนที่เหลือเป็นหยดนี้ไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้ทำให้เกิด HC

2.4 เชื้อเพลิงหล่อลื่นในเสื้อสูบและกระบอกสูบเผาไหม้ไม่หมด จะทำให้เกิด HC

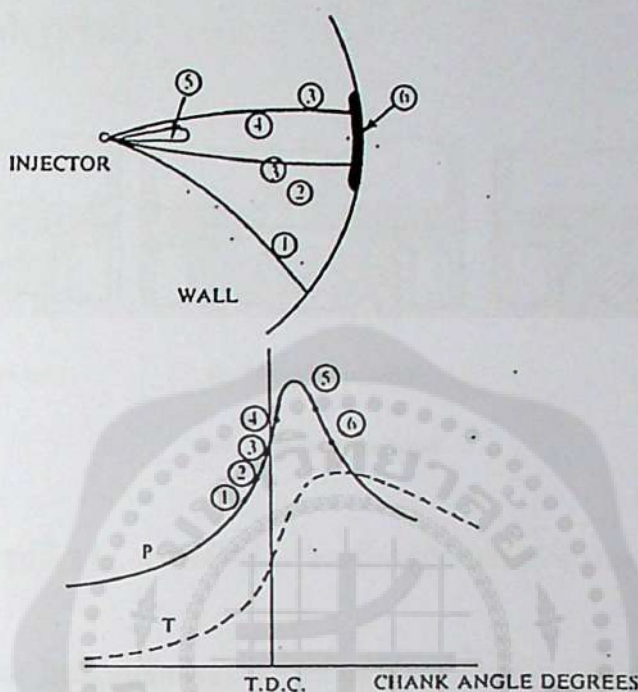
3. ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) การเกิด NO_x ก็ทำนองเดียวกับเครื่องยนต์เบนซินเป็นการยากที่จะบอกว่า NO_x เกิดมากน้อยเท่าไรและเกิดจากที่ไหนในกระบอกสูบเนื่องจากอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงกับอุณหภูมินั้นเปลี่ยนแปลงตามกันอย่างซับซ้อนมากระหว่างช่องของการเกิดการสันดาปในกระบอกสูบที่มี O_2 มาก จะเป็นการสันดาปที่ดี การเผาไหม้จะสมบูรณ์และรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิสูงมาก และอุณหภูมิจะสูงอยู่นาน NO_x จึงเกิดในช่องนี้มาก

4. คาร์บอนดำ แกนกลางของลำน้ำมันที่ฉีดเข้ากระบอกสูบ แยกกระจายออกไปได้ยากและมีความหนาแน่นสูง เมื่อแกนน้ำมันนี้ปะทะอุณหภูมิสูงในกระบอกสูบและขนาด O_2 ช่วยในการสันดาปเนื่องจาก O_2 ถูกใช้หมดแล้ว จะทำให้เกิดละอองคาร์บอนขึ้นเป็นผลให้เกิดควันดำ



รูปที่ 2.19 แสดงการก่อตัวของสารมลพิษในลำน้ำมันที่ฉีดเข้าไปในอากาศหมุนวน

ทำนองเดียวกัน เชื้อเพลิงที่ฉีดมาแต่ละกระบอกสูบ เสื้อสูบ และเชื้อเพลิงหยดหลังการฉีดน้ำมันจะทำให้เกิดเป็นควันดำด้วย

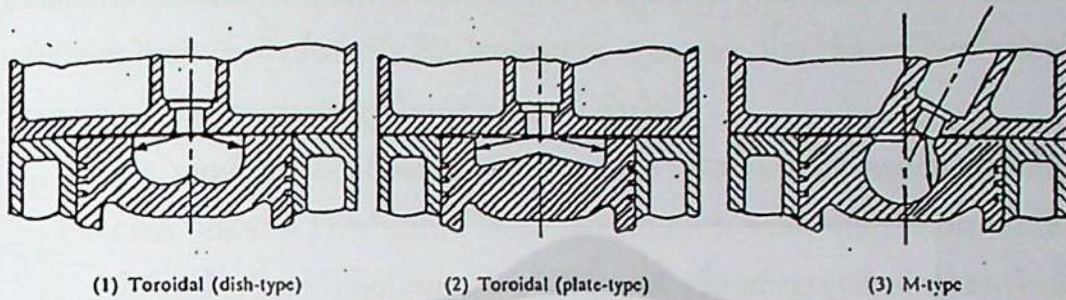


รูปที่ 2.20 แสดงการเผาไหม้ของน้ำมันและอุณหภูมิ ความดันในกระบอกสูบ

แฟกเตอร์ที่มีผลต่อมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล

แฟกเตอร์ที่มีผลกระทบต่อมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลที่สำคัญนั้น ก็รูปแบบของห้องเผาไหม้ดังได้กล่าวมาแล้ว การเผาไหม้ที่ดีในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น จะต้องพยายามให้อากาศที่ถูกอัดเข้าไบนั้นได้ใช้มากที่สุด เพื่อให้เกิดการผสมของเชื้อเพลิงและอากาศอย่างเป็นเนื้อเดียวกัน ให้มีการสูญเสียความร้อนจากผนังเสื้อสูบน้อยที่สุด ในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีรอบต่ำ แต่ละช่องชักจะมีเวลานานพอที่จะให้อากาศและเชื้อเพลิงผสมกันได้ดี ส่วนใหญ่จะใช้ห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยตรง (Direct Injection type – DI) สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีรอบสูง จะมีเวลาในช่องการสันดาปสั้นมาก ฉะนั้นให้อากาศและเชื้อเพลิงได้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ได้มีการออกแบบให้ฉีดน้ำมันให้กระจาย และห้องเผาไหม้ก็ต้องออกแบบให้อากาศได้หมุนเวียนอย่างดี เพื่อเกิดการผสมที่เป็นเนื้อเดียวกันจะได้ถูกไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ รูปแบบห้องเผาไหม้ชนิดต่าง ๆ อาจแยกได้ดังนี้

1. แบบหัวฉีดโดยตรง (Direct injection type) ช่องว่างบนหัวลูกสูบคือห้องเผาไหม้ เชื้อเพลิงจะถูกฉีดกระจายเข้าหาลูกสูบจากหัวฉีดแบบหลาย ๆ รูซึ่งวางอยู่ในตำแหน่งตรงกลางของห้องเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 2.21

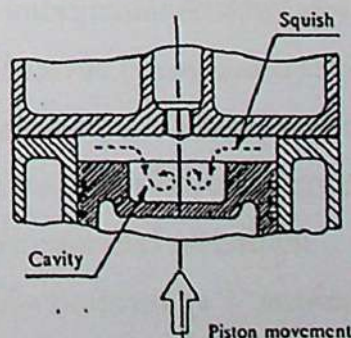


Some Examples of DI Engine

รูปที่ 2.21 แสดงตัวอย่างของเครื่องยนต์ Direct injection

ในห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยตรง การสันดาปของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นเป็นลำดับดังนี้ คือ

1. ท่อไอดีและวาล์วไอดีจะทำหน้าที่หมุนอากาศให้ผสมกับเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้ามา
2. รอยปุ่มตรงกลางของหัวลูกสูบเพื่อเสริมให้เกิดการผสมและการเผาไหม้ที่ดีขึ้น
3. รอยปุ่มยังทำให้เกิดการไหลอย่างรุนแรงในช่วงของลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดศูนย์กลางตามบน โดยแก๊สจะถูกผลักออกและดูดเข้าอย่างรวดเร็วทำให้การสันดาปดีขึ้น
4. เมื่อเชื้อเพลิงถูกฉีดมากระแทกที่ผนังรอยปุ่ม จะเกิดการหมุนเวียนของอากาศมากขึ้น ทำให้เกิดการผสมดีขึ้น (รูปที่ 2.22)



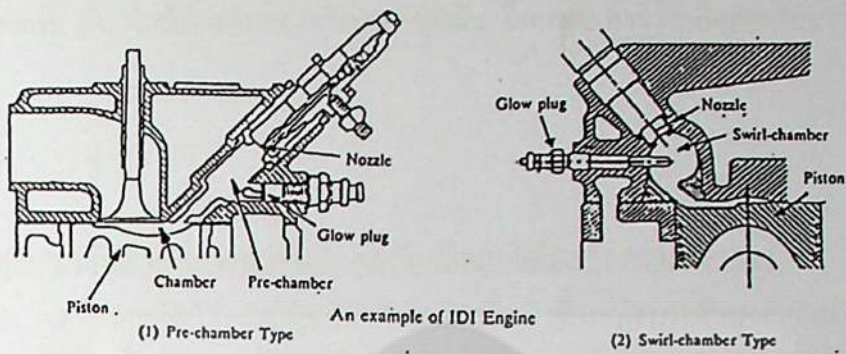
รูปที่ 2.22 แสดงการหมุนเวียนของอากาศมากขึ้นเนื่องจากเชื้อเพลิงถูกฉีดมากระแทกที่ผนังรอยปุ่ม

สำหรับห้องเผาไหม้ชนิดโดยตรงแบบ Quiescent นั้น เป็นห้องเผาไหม้ที่อากาศเคลื่อนไหวน้อยมากดังนั้นหัวฉีดนอกจากจะมีหลายรูแล้วยังต้องออกแบบให้การฉีดน้ำมันกระจายตัวเป็นละอองให้มากที่สุดด้วย ไม่ให้น้ำมันไปกระทบผิวดูดซับหรือผนังกระบอกสูบก่อนการจุดระเบิด หากเกิดกระทบบ่อนเผาไหม้ จะทำให้ไม่สามารถเผาไหม้ได้เพราะขาดอากาศ ทำให้เกิดเป็นยางและบางส่วนจะไหลลงก้นอ่างห้องเผาไหม้ชนิดโดยตรงแบบ Quiescent นี้จะใช้เฉพาะกับเครื่องยนต์ที่มีรอบต่ำมากและมีขนาดกระบอกสูบใหญ่กว่า 200 มม. ขึ้นไป

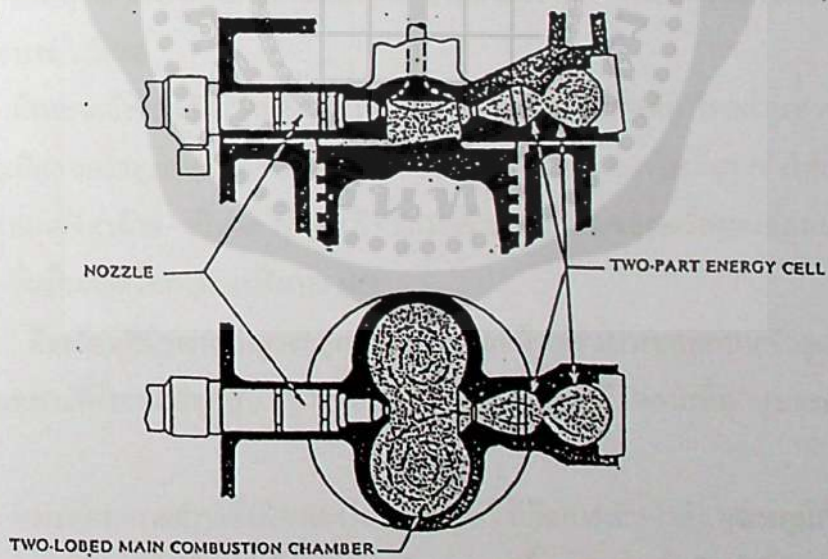
2. แบบฉีดโดยอ้อม (Indirect injection type - IDI) แบบฉีดโดยอ้อมจะเพิ่มห้องเผาไหม้ช่วย (Sub - chamber) อีกห้องหนึ่ง โดยมีทางต่อเชื่อมกันระหว่างห้องเผาไหม้ทั้งสองห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยอ้อมนี้จะทำให้เกิดสทวนเวียนได้ดีขึ้นมาก เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ช่วยก่อน และบางส่วนจะถูกเผาโดย Glow plug ทำให้อุ่นไหม้ และความดันในห้องเผาไหม้ช่วยสูงมากเป็นผลให้สทวนกระแทกส่วนผสมและน้ำมันเข้าห้องเผาไหม้หลัก (Main chamber) อย่างแรงไปตามทางต่อเชื่อม (Tunnel) ทำให้เกิดการสทวนอย่างสมบูรณ์ขึ้นในห้องเผาไหม้หลัก ห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยอ้อมแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

2.1 แบบห้องเผาไหม้ล่วงหน้า (Pre-chamber - PC) ห้องเผาไหม้ช่วยแบบล่วงหน้าจะมีปริมาตรประมาณร้อยละ 30 - 40 ของปริมาตรอัด และเชื้อเพลิงประมาณร้อยละ 25 - 35 ของเชื้อเพลิงที่ฉีดเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าจะถูกเผาในห้องเผาไหม้ส่วนเชื้อเพลิงส่วนที่เหลือที่ฉีดเข้ามานั้นก็จะถูกกระแทกอย่างแรงจากห้องเผาไหม้ล่วงหน้าผ่านทางต่อเชื่อม (Tunnel) เข้าห้องเผาไหม้หลัก ซึ่งจะเกิดการผสมอย่างดี และเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ต่อไป ทางต่อเชื่อมจะมีพื้นที่หน้าตัดประมาณร้อยละ 0.3 - 0.7 ของขนาดลูกสูบ หากทางต่อเชื่อมเล็กเกินไป จะทำให้เกิดการสูญเสียทางความร้อนมากขึ้น

2.2 แบบห้องเผาไหม้หมุนวน (Swirl-chamber - SC) ห้องเผาไหม้ช่วยแบบหมุนวนนี้มีลักษณะเป็นทรงกลมหรือวงกลมหมุนวนต่อเชื่อมกับห้องเผาไหม้หลัก ห้องเผาไหม้หมุนวนจะมีปริมาตรประมาณร้อยละ 50 ของปริมาตรอัด (Compression volume) จะเกิดการหมุนอย่างรุนแรงในห้องเผาไหม้หมุนวนระหว่างช่องอัดของลูกสูบ และจะเกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงประมาณครึ่งหนึ่งที่ห้องเผาไหม้หมุนวน (Lyn) ส่วนที่เหลือจึงเผาต่อไปในห้องเผาไหม้หลัก การหมุนเวียนของแก๊สในห้องเผาไหม้หมุนวนจะสูงขึ้นหากความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ดังนั้นห้องเผาไหม้หมุนวนนี้จึงเหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูง ทางต่อเชื่อมของห้องเผาไหม้หมุนวนและห้องเผาไหม้หลักจะมีพื้นที่หน้าตัดประมาณร้อยละ 1 - 3 ของขนาดลูกสูบ



รูปที่ 2.23 แสดงตัวอย่างของเครื่องยนต์ Indirect injection

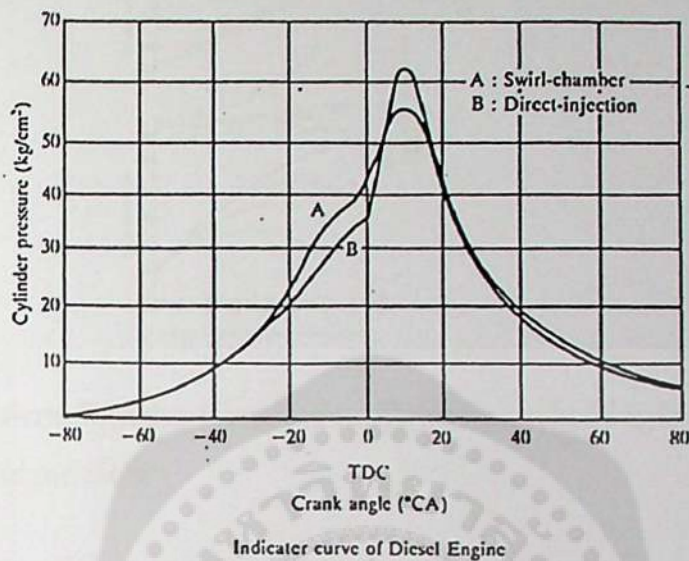


รูปที่ 2.24 แสดงห้องเผาไหม้แบบ Lanova

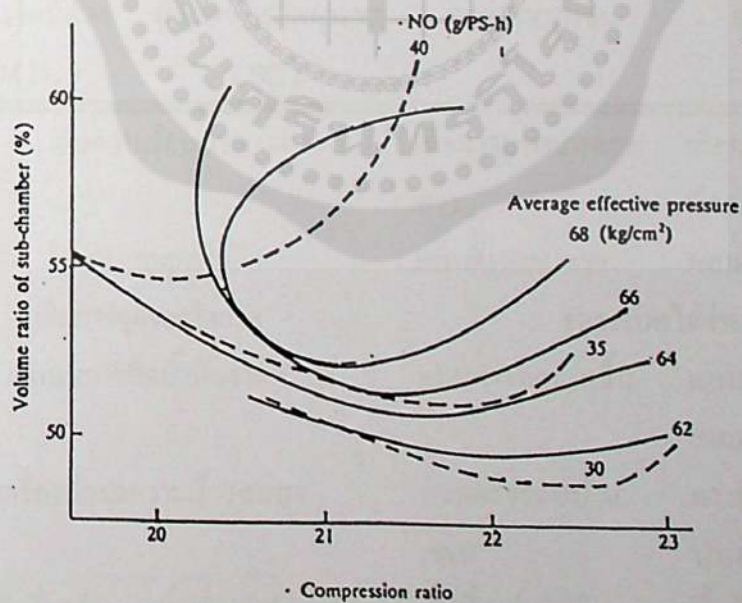
สำหรับห้องเผาไหม้แบบ Lanova นั้น เป็นห้องเผาไหม้ที่สร้างขึ้น Simulate ห้องเผาไหม้แบบหมุนเพื่อประโยชน์ในการถ่ายรูปแบบการสันดาปในกระบอกสูบ ผลของความดันในห้องเผาไหม้แบบ Lanova นั้น ใกล้เคียงกับของจริงมาก ฉะนั้น จึงเหมาะที่จะใช้เพื่อการศึกษาวิจัยการเผาไหม้ได้

เปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องยนต์ที่มีห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยอ้อมและโดยตรง

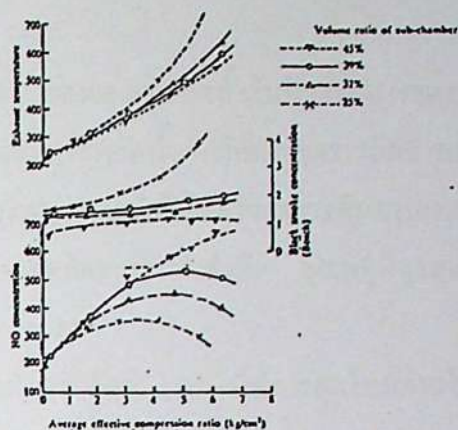
1. เครื่องยนต์ที่มีห้องเผาไหม้ฉีดโดยอ้อมนั้น เชื้อเพลิงบางส่วนจะถูกเผาในห้องเผาไหม้ช่วยและส่วนผสมนั้นทั้งหมดจะถูกอัดผ่านทางต่อเชื่อมเข้าห้องเผาไหม้หลัก ซึ่งอากาศในห้องเผาไหม้หลักจะถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ การเผาไหม้จะนุ่มนวลกว่า อัตราการเพิ่มความดันจะต่ำกว่าอุณหภูมิ และความดันสูงสุดต่ำกว่า ปริมาณ NO_x จะน้อยกว่า เสียงจะดังกว่า เครื่องจะทำให้ลดน้ำหนักได้เพราะไม่ต้องดันความดันสูง (รูปที่ 2.24)
2. ส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่เหลือในห้องเผาไหม้ช่วย จะถูกเผาจนหมดเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์เพราะมีอากาศเกินพอในเครื่องยนต์ดีเซล ทำให้ควันดำน้อยลง และปริมาณ HC เกือบจะไม่มีเลย
3. เนื่องจากก๊าซถูกอัดจากห้องเผาไหม้ช่วยเข้าห้องเผาไหม้หลัก โดยผ่านทางต่อเชื่อมมีปริมาณมากและมีความเร็วสูงมาก อัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรของห้องเผาไหม้สูง ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนผ่านผนังสูงด้วย เป็นผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ลดลงประมาณร้อยละ 10 - 20 ซึ่งเป็นผลดีในการลดปริมาณ NO_x
4. ก๊าซร้อนที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกอัดจากห้องเผาไหม้ช่วยกระแทกบนหัวลูกสูบ ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงเฉพาะที่โอกาสที่ลูกสูบ ทำให้เกิดอุณหภูมิสูงเฉพาะที่โอกาสที่ลูกสูบจะเกิดรอยร้าวง่ายขึ้น
5. ขณะอัดอากาศผ่านเข้าห้องเผาไหม้ช่วย ทำให้เกิดการเสียดสีกำลัง อุณหภูมิห้องเผาไหม้ช่วยเย็นลงเนื่องจากน้ำหล่อเย็นด้วย ทำให้อุณหภูมิในการจุดเชื้อเพลิงต่ำ ซึ่งต้องใช้ glow plug ในการช่วยจุดไฟ
6. อัตราส่วนปริมาตรของห้องเผาไหม้หลักต่อห้องเผาไหม้ช่วย และขนาดของทางต่อเชื่อมมีผลกระทบต่อไอเสียมาก ถ้าอัตราส่วนห้องเผาไหม้ช่วยน้อย จะทำให้ปริมาณ NO_x แต่ก้ทำให้ความดันประสิทธิภาพผลเสียต่ำลง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะน้อยลง และจะเพิ่มควันดำ ดังนั้นจึงต้องมีเกณฑ์จำกัดการลดขนาดห้องเผาไหม้ช่วย (รูปที่ 2.26)



รูปที่ 2.25 แสดง P - t curve ของเครื่องยนต์ดีเซล



รูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่างผลกระทบของห้องเผาไหม้ต่อ NO_x และกำลัง



รูปที่ 2.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปริมาตรห้องเผาไหม้ช่วยต่อ NO_x คิวน์ดำและอัตราส่วนกำลังอัด

ตารางที่ 2.4 แสดงสรุปผลดีผลเสียของห้องเผาไหม้แบบต่างๆ

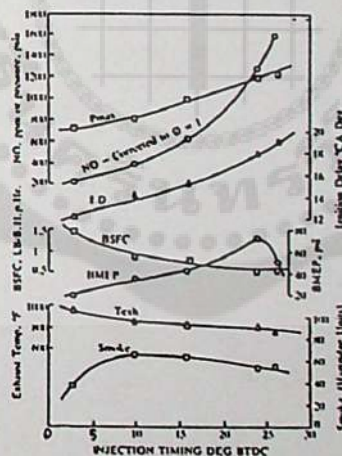
ลำดับ	แบบฉีดโดยอ้อม (IDI)		แบบฉีดโดยตรง	
	ห้องเผาไหม้ปล่อง หน้า (PC)	ห้องเผาไหม้หมุนวน (SC)	อากาศหมุนวน	อากาศนิ่ง
1	เสียดความร้อนมาก		เสียดความร้อนพอสมควร	เสียดความร้อนน้อย
2	ใช้อากาศผสมได้ดี		ผสมดีพอสมควร	ผสมได้พอดี
3	เริ่มการจุดระเบิดยาก		จุดระเบิดได้ง่าย	
4	แบบการฉีดน้ำมันง่าย		แบบการฉีดยากขึ้น	แบบอากาศฉีดยุ่งยากมาก
5	เครื่องต้องมีความเร็วรอบสูง		ความเร็วรอบปานกลาง	ความเร็วรอบต่ำ/ปานกลาง
6	มีข้อจำกัดที่วาล์ว	พื้นที่หน้าตัดวาล์วจำกัด	พื้นที่วาล์วไม่มีปัญหา	พื้นที่วาล์วดีมาก
7	เสียงงานผ่านช่องทางเชื่อม	เสียงงานบางส่วน	ไม่มีการเสียงงาน	
8	ความดันในห้องเผาไหม้หลักไม่สูงมาก		ความดันในห้องเผาไหม้หลักสูงมาก	

ระบบการฉีดเชื้อเพลิง

1. การตั้งเวลาฉีด เวลาของการฉีดน้ำมันมีผลต่อการจุดระเบิดของเครื่องยนต์มีการฉีดน้ำมันเข้าเพื่อให้ได้กำลังมากและประหยัดนั้นทำให้การจุดระเบิดช้าลงเพราะความดันและอุณหภูมิระหว่างช่วงจุดระเบิดขึ้นสูงมาก และทำให้เวลาของการสันดาปส่วนผสมน้อยลงด้วย (NO_x) ก็น้อยลง การฉีดน้ำมันช้าลงจะลดอัตราส่วนกำลังอัด อุณหภูมิสูงสุดจะลดลง และช่วงเวลาของอุณหภูมิสูงนี้จะน้อย NO_x จะน้อยลง

อย่างไรก็ดี การตั้งเวลาฉีดช้า จะทำให้การลุกไหม้ลามไปนานยิ่งขึ้น เป็นเหตุให้เกิดควันดำ โดยเฉพาะในห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยตรง อัตราส่วนการขยายตัวของก๊าซ จะลดลงในขณะที่เกิดการสันดาป ในช่วงของลูกสูบเคลื่อนที่ลง ซึ่งจะเป็นเหตุให้ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลง เปลืองน้ำมันมากขึ้นกำลังลดลง

ในเครื่องยนต์ที่ห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยอ้อมนั้น ควันดำจะมีไม่มากแม้ว่าจะฉีดน้ำมันช้าลง แต่ปริมาณ NO_x ก็ลดไม่มาก แต่จะสิ้นเปลืองน้ำมันขึ้นมาก (รูปที่ 2.28)



รูปที่ 2.28 แสดงผลของการตั้งเวลาการฉีดต่อ NO และตัวแปรอื่น ๆ (สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดโดยตรง 1 สูบจากการทดลอง)

2. อัตราการฉีดน้ำมัน ปริมาณของน้ำมันที่ฉีดเข้ากระบอกสูบต่อหน่วยเวลา (หรือต่อองศาเพลลา CA) คืออัตราการฉีดน้ำมัน ซึ่งมีผลกระทบต่อการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ การเผาไหม้และการลามของเปลวรวมถึงการเกิด NO_x เสียงและการน็อกของเครื่องยนต์ด้วย

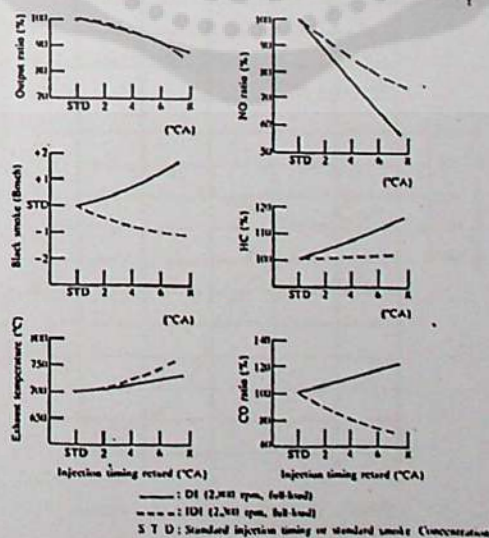
อัตราการฉีดเชื้อเพลิง โดยเฉพาะในช่วงของการจุดระเบิดล่าช้า มีผลต่อ NO_x มาก การฉีดที่ไม่สมบูรณ์ จะทำให้เกิดการเผาไหม้ล่าช้า ส่วนใหญ่จะเนื่องจากการออกแบบปริมาตรของช่วงในหัวฉีด (Nozzle Sack) หรือคลื่นความดันในท่อส่งน้ำมัน ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดควันดำ CO และ HC

ถ้าต้องการเพิ่มอัตราการฉีด ทำได้โดยเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางของ Plunger และหรือเพิ่มปริมาตรช่วงในหัวฉีด ผลที่เกิดขึ้นคือ ช่วงเวลาการฉีดจะสั้นลง เชื้อเพลิงจะฟุ้งมากขึ้นหากแรงดันเพิ่มขึ้นและเชื้อเพลิงฟุ้งนี้จะเกาะไปไกลด้วย อย่างไรก็ตาม ผลต่าง ๆ ดังกล่าว จะกระทบการฉีดแบบโดยอ้อมน้อยมากผลกระทบที่สรุปได้ จากอัตราการฉีดต่อเครื่องยนต์ คือ

2.1 ควันดำจะเกิดระหว่างช่วงของการลามของเปลวหากเพิ่มอัตราการฉีด ปริมาณในช่วงของการจุดระเบิดล่าช้า จะมากขึ้นจะไปรวมกับส่วนผสมเดิมทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้นอีก การลามของเปลวจะช้าลงดังนั้นจะเป็นผลให้ลดควันดำ แต่ NO_x จะเพิ่มขึ้น

2.2 เมื่อปริมาณน้ำมันที่เข้ามาฟุ้งมาก พื้นผิวของหยดน้ำมันก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะผสมกับอากาศได้ดีขึ้น ปฏิกิริยาจะเป็นเชิง Oxidization มากกว่าแบบ Thermal decomposition หากหยดน้ำมันเล็กลง โดยเพิ่มความดันในการฉีด และลดขนาดของช่องหัวฉีดลง ควันดำก็จะลดลง

2.3 ความเร็วในการฉีดจะเป็นอัตราส่วนโดยตรง การเพิ่มอัตราการฉีดจะทำให้เชื้อเพลิงที่ถูกฉีดไปได้ไกลกว่า และมักจะไปกระทบกับผนังห้องเผาไหม้ ทำให้เกิดการไหลตามผนัง ซึ่งจะเป็นผลดีในการผสมกับอากาศได้ดีขึ้น



รูปที่ 2.29 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของเครื่องแบบฉีดโดยตรงและโดยอ้อม เมื่อตั้งการฉีดล่าช้า

ระบบไอดี

1. การหมุนเวียนของอากาศในห้องเผาไหม้ ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ธรรมชาติจะมีอากาศเกินพออยู่แล้ว แต่จะมีบางแห่งในห้องเผาไหม้ที่มีเชื้อเพลิงมากจะแฉะ ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดควันดำ CO และ HC ได้ การขจัดปัญหานี้ทำได้โดย ต้องพยายามให้เชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไป แล้วทำปฏิกิริยาเร็วที่สุด อากาศที่หมุนวนอยู่ในห้องเผาไหม้ จะเป็นประโยชน์เมื่อเข้าผสมกับเชื้อเพลิง การหมุนวนของอากาศเกิดจากระบบไอดี และการอัดบีบของอากาศจะเกิดที่หัวของลูกสูบ ดังนั้นขนาดและรูปแบบของห้องเผาไหม้ รวมทั้งตำแหน่งและขนาดของหัวฉีด จะมีผลต่อการหมุนเวียนทั้งสิ้น ถ้าอากาศหมุนเวียนไม่ดี เชื้อเพลิงก็จะไม่กระจายส่วนผสมก็จะเลวลง แต่หากให้หมุนวนมากเกินไป เชื้อเพลิงที่ฟุ้งมากนั้นจะผสมกันเอง และไม่ไปรวมกับอากาศรอบนอก ซึ่งจะทำให้ใช้อากาศอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงควรเลือกค่าต่างๆ ให้เหมาะสมซึ่งต้องอาศัยความชำนาญและการทดสอบวิจัยมาช่วยมาก (รูปที่ 2.30)



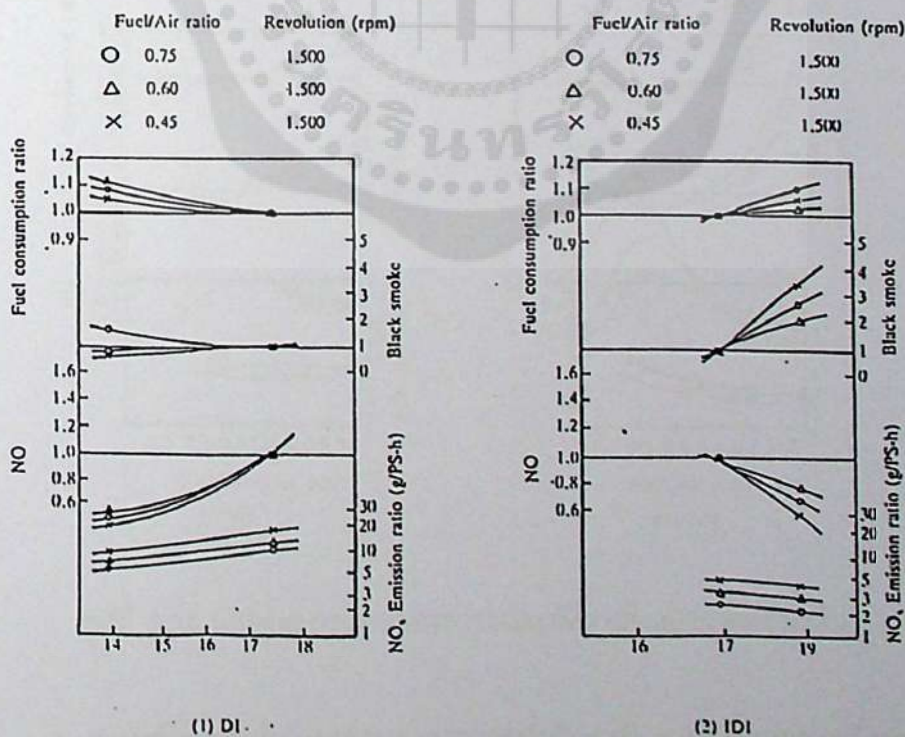
รูปที่ 2.30 แสดงผลกระทบการหมุนวนของอากาศต่อสภาวะต่อเครื่องยนต์ (DI)

2. ปริมาตรไอดี แม้ในเครื่องยนต์ดีเซลจะมีปริมาตรอากาศมากเกินพออยู่แล้ว แต่การอัดอากาศเพิ่มขึ้น อาจใช้เทอร์โบชาร์จเจอร์จะช่วยให้ลดควันดำ ลดปริมาณ CO และ HC ได้

3. คุณภาพไอดี ความชื้นในอากาศมีผลต่อไอเสียมาก ความชื้นยิ่งสูง ปริมาณ NO_x ยิ่งมาก และหากอุณหภูมิไอดีสูง NO_x สูง แต่ควันดำจะเพิ่มเล็กน้อยและกำลังตกเพราะมวลอากาศน้อยลง

4. ก๊าซค้าง หากมีก๊าซเก่าค้างในกระบอกสูบ จะทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้ต่ำลง NO_x จะลดลง แต่ขณะเดียวกันปริมาณ O_2 ในการเผาไหม้ก็น้อยลง ซึ่งจะทำให้เกิดควันดำมากขึ้น ความจริงก๊าซค้างในเครื่องยนต์ดีเซลไม่เป็นปัญหาเลย เพราะในก๊าซไอเสียที่ค้างนั้นจะมีปริมาณ O_2 มากอยู่แล้ว และหากมีก๊าซค้าง ปริมาณ NO_x ที่ลดลงก็น้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณทั้งหมด

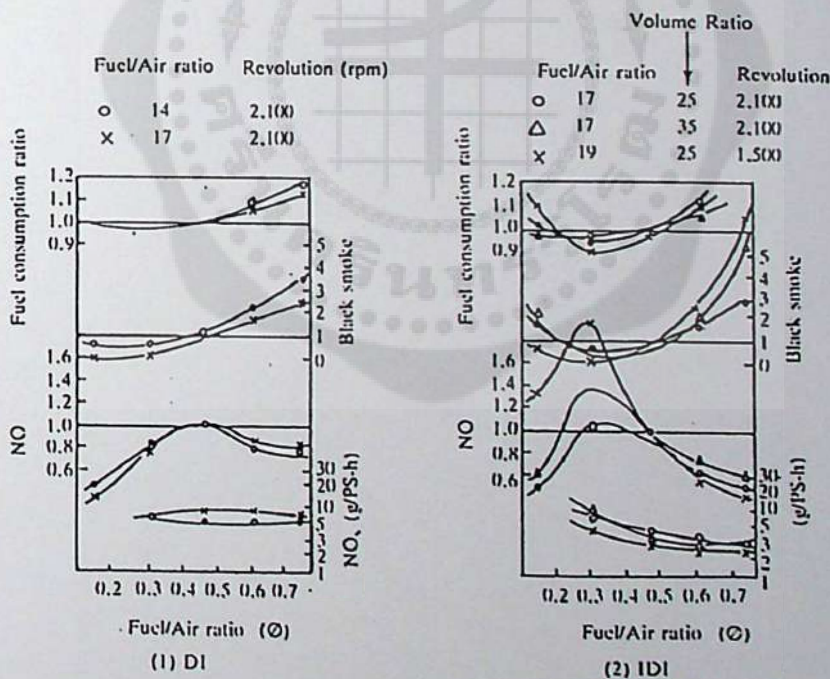
5. อัตราส่วนกำลังอัด อัตราส่วนกำลังอัดสูง จะทำให้อุณหภูมิสูงของไอดีที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้เร็วขึ้น ปริมาณ HC จะลดลงหากอัตราส่วนกำลังอัดสูงขึ้น และ NO_x จะลดลงด้วยสำหรับ ในห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยอ้อม แต่ในห้องเผาไหม้แบบฉีดโดยตรงปริมาณ HC ลด และ NO_x เพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.31)



รูปที่ 2.31 แสดงผลกระทบของอัตราส่วนกำลังอัด

ตัวแปรต่าง ๆ ของเครื่องยนต์

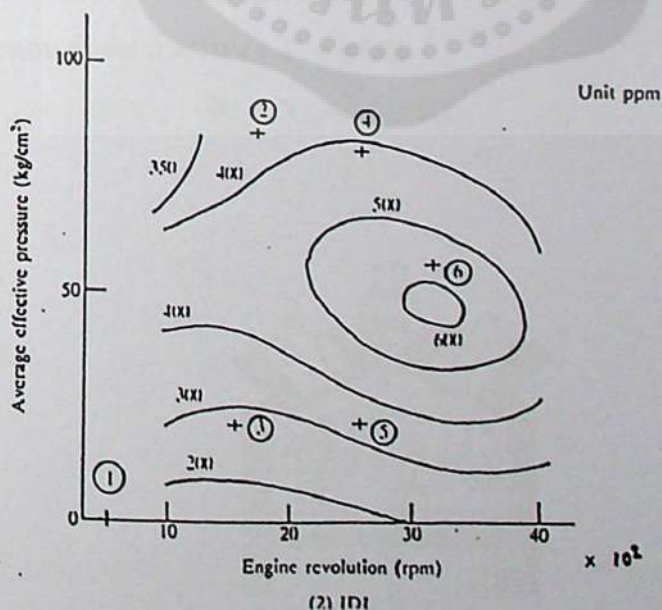
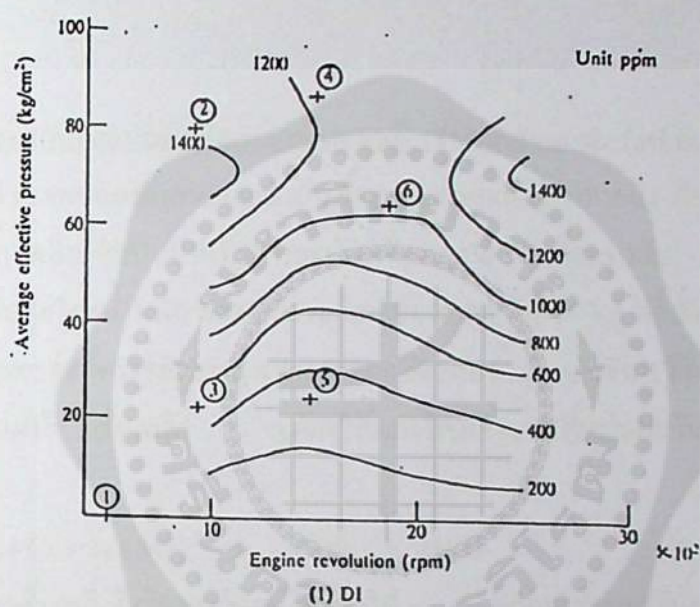
1. ภาระในเครื่องยนต์ดีเซล ปริมาณน้ำมันที่ฉีดเข้าเครื่องยนต์ขึ้นอยู่กับ ภาระที่เปลี่ยนไปของเครื่องยนต์ ดังนั้นอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันจึงเปลี่ยนตามภาระด้วย เมื่ออัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเพิ่มขึ้นอุณหภูมิก๊าซเพิ่มและ NO_x เพิ่มขึ้นด้วย แต่จะเพิ่มเรื่อย ๆ จนถึงค่าหนึ่งเมื่ออัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเพิ่มขึ้นแล้ว NO_x จะลดลงเนื่องจากความเข้มข้นของ O_2 ลดลง ค่าของอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันที่ทำให้เกิด NO_x สูงสุดนั้น เปลี่ยนตามรูปแบบของห้องเผาไหม้ และการตั้งเวลาการฉีดน้ำมัน (รูปที่ 2.32) ควันทา และ CO จะเพิ่มขึ้น และจะเพิ่มอย่างรวดเร็วมากที่ค่าหนึ่ง ของอัตรากำลังอากาศต่อน้ำมัน ที่ภาระสูงหรือสูงสุด ปริมาณอากาศเพียง 1.2 หรือ 1.5 เท่านั้น แต่อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงมาก และปริมาณ O_2 ในอากาศบางลง ค่าจุดระเบิดล้าน้อยลง เปลวจะลามได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นผลให้เพิ่มความดัน และเช่นกัน ที่ความเร็วรอบต่ำและภาระต่ำ ซึ่งปริมาณอากาศเกินพอกมาก อุณหภูมิของก๊าซจะต่ำ ทำให้ปริมาณ HC เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.32 แสดงผลกระทบของภาระและอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมัน

2. ความเร็วรอบ ถ้าอัตราส่วนอากาศและน้ำมันคงที่ การเปลี่ยนความเร็วรอบจะทำให้ค่า NO_x และควันทาเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

3. สภาพการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ในเครื่องดีเซลควบคุมการขับเคลื่อน (หรือภาระของเครื่องยนต์) โดยปรับปริมาณน้ำมันที่ฉีดเข้าเท่านั้น ไม่เหมือนในเครื่องยนต์เบนซิน ซึ่งปรับภาระโดยการเหยียบคันเร่ง ซึ่งจะเพิ่มอัตราส่วนอากาศน้ำมัน ทำให้ HC และ CO เพิ่ม ในเครื่องดีเซลอาจไม่ใช่เทอร์โบชาร์จเจอร์ ปริมาณน้ำมันจะถูกควบคุมโดยภาระอยู่แล้ว ปริมาณ HC CO และ NO_x จะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่บางทีจะเกิดควันดำเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอากาศเข้าไม่ทันเมื่อเพิ่มความเร็ว ๆ เกินไป



รูปที่ 2.33 แสดงการเปลี่ยน NO เนื่องจากความเร็วรอบ และความดันประสิทธิผลเฉลี่ย

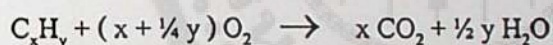
พอจะสรุปได้ว่าในเครื่องยนต์ดีเซล ถ้าความเร็วรอบสูงภาระสูง ความเข้มข้น NO_x มาก รถบรรทุกแม้จะขับขึ้นที่ความเร็วรอบต่ำ แต่ก็ใช้ภาระสูงตลอด NO_x ก็เพิ่มด้วย เมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มความเร็วรอบสูง NO_x CO ภาระสูง และควันดำจะเพิ่มหมด

4. เชื้อเพลิง ค่าครรชนีซีเทน จะมีผลต่อการจุดไฟล่า และมีผลต่อ NO_x ด้วย แต่ธรรมดาที่ขายในตลาดก็มีผลน้อยอยู่แล้ว โดยเฉพาะค่าควันดำ หากเชื้อเพลิงที่เดิม แเบเรียบจะทำให้ควันดำเพิ่มขึ้น สำหรับคุณสมบัติตัวอื่นของเชื้อเพลิง ก็มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์และมลพิษเช่นกัน

อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (Theoretical air-fuel ratio)

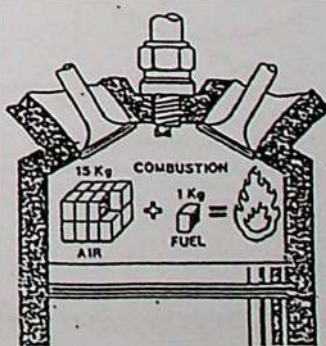
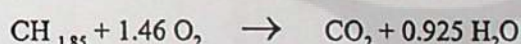
อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี หมายถึง อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.7 : 1 หรือประมาณ 15 : 1 เมื่อคิดโดยน้ำหนัก กล่าวคือ จะต้องใช้อากาศหนัก 15 Kg ต่อน้ำมันเบนซิน 1 Kg หรือถ้าคิดโดยปริมาตร จะต้องใช้อากาศจำนวน 10,000 ลิตรต่อน้ำมันเบนซิน 1 ลิตร

ในการเผาไหม้เชื้อเพลิง จะต้องใช้ออกซิเจนจำนวนที่แน่นอนในการสันดาปอย่างสมบูรณ์ ดังสมการ



น้ำมันเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนโดยทั่วไป มีอัตราส่วนคาร์บอนหนึ่งอะตอมต่อ

ไฮโดรเจน 1.85 อะตอม ดังนั้น สำหรับ $x = 1, y = 1.85$



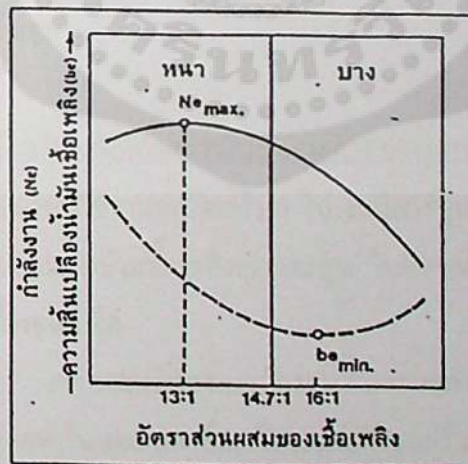
รูปที่ 2.34 แสดงอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงตามทฤษฎี

ส่วนผสมหนาและส่วนผสมบาง (Rich and lean mixture)

อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี ถือว่าเป็นอัตราส่วนผสมที่พอดีสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ถ้าอัตราส่วนผสมมากกว่า 14.7 : 1 เช่น 16 : 1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ใช้อากาศมากกว่าทฤษฎี จะเรียกว่า ส่วนผสมบาง (Lean mixture) และในทางตรงกันข้าม หากอัตราส่วนผสมน้อยกว่า 14.7 : 1 เช่น 13 : 1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ใช้แก๊สน้อยกว่าทฤษฎี จะเรียกว่าส่วนผสมหนา (Rich mixture)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อความดันเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงและกำลังงานของเครื่องยนต์

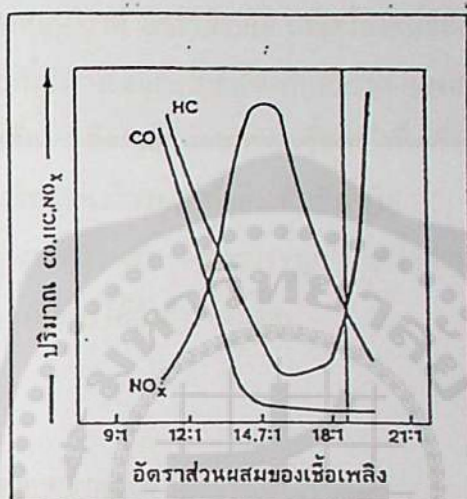
จากกราฟอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ประมาณ 16 : 1 (be_{min}) เป็นอัตราส่วนผสมที่มีการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุดและที่อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงประมาณ 12-13 : 1 (Ne_{max}) จะเป็นอัตราส่วนผสมที่ให้กำลังงานสูงสุด และในช่วงอัตราส่วนผสมที่หนากว่าอัตราส่วนผสมตามทฤษฎี (14.7:1) จะเป็นช่วงที่ให้อัตราการเร่งดี เนื่องจากกราฟกำลังงานพุ่งขึ้นสู่ค่าสูงสุด



รูปที่ 2.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อความดันเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงและกำลังงานของเครื่องยนต์

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อส่วนประกอบของไอเสีย

ในก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ จะประกอบด้วยสารประกอบต่าง ๆ ที่เป็นพิษต่อร่างกายของมนุษย์ คือ HC, CO และ NO_x จากกราฟเป็นการแสดงถึงปริมาณของ HC, CO และ NO_x ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ จะเห็นว่าที่อัตราส่วนผสมหนา ก๊าซไอเสียจะมี HC, CO มาก



รูปที่ 2.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่อสารประกอบของก๊าซไอเสีย

อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ต้องการในสภาวะการทำงานต่างๆ

เครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้งานอยู่โดยทั่ว ๆ ไป จะมีคาร์บูเรเตอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับทำหน้าที่จ่ายส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ากระสูบ ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ คือ

1. **ขณะสตาร์ท** เครื่องยนต์ต้องการอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง ที่ค่อนข้างหนา (ประมาณ 8 : 1) เนื่องจากในขณะสตาร์ทเครื่องยนต์มีความเร็วรอบต่ำ ดังนั้น อากาศที่ไหลผ่านคอคออด (Venturi) ของคาร์บูเรเตอร์จึงมีความเร็วต่ำด้วย ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงไม่สามารถเป็นฝอยละเอียดได้ดี พร้อมทั้งเครื่องยนต์ยังมีความเสียดสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่หนากว่าปกติมาก เพื่อให้ได้กำลังงานในการขับเคลื่อนชิ้นส่วนมากขึ้นและเป็นการชดเชยการเป็นฝอยละเอียดของน้ำมันที่ยังไม่ดี

2. **ขณะเดินเบา** เครื่องยนต์มีความเร็วรอบประมาณ 600 – 750 รอบต่อนาที ซึ่งยังเป็นความเร็วรอบที่ต่ำ ดังนั้น เครื่องยนต์จึงยังต้องการส่วนผสมที่หนา (ประมาณ 10 : 1) เพื่อให้

เครื่องยนต์สามารถทำงานอยู่ได้โดยไม่สตูดหรือดับไปเนื่องจากความฝืดของชิ้นส่วน และเพื่อเป็นการลดเชยการเป็นฝอยละอองของน้ำมันที่ยังไม่ค่อยดีนัก

3. ขณะอุณหภูมิต่ำ เครื่องยนต์ต้องการอัตราส่วนผสมหนา เพราะความเย็นจะทำให้ฝอยละอองของน้ำมันบางส่วนกลั่นตัวเป็นหยดน้ำมันติดตามผนังท่อไอดีและผนังกระบอกสูบ

4. ขณะใช้งานตามปกติ เครื่องยนต์รับภาระปานกลาง (Part Load) ความเร็วรอบประมาณ 1,000 – 2,000 รอบต่อนาที อัตราส่วนผสมที่เครื่องยนต์ต้องการจะอยู่ในช่วง 15 : 1 ถึง 16 : 1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ประหยัดและใกล้เคียงกับอัตราส่วนผสมตามทฤษฎี

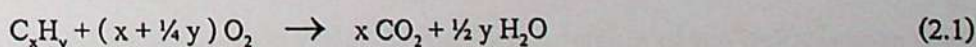
5. ขณะเร่งเครื่อง อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ต้องการจะหนากว่าปกติ เพื่อให้ได้กำลังงานสำหรับเพื่อความเร็วรอบได้อย่างทันทีทันใด

6. ขณะใช้กำลังงานสูง เช่น ขณะบรรทุก เครื่องยนต์จะต้องการส่วนผสมหนา (ประมาณ 12 : 1 ถึง 13 : 1) เพื่อให้ได้กำลังงานสูงสุด

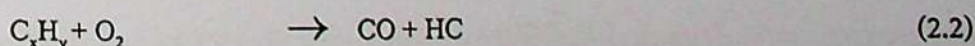
ที่มาของมลพิษในอากาศจากรถยนต์

การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ทำให้เกิดมลพิษในอากาศ ผลจากการสันดาปที่สมบูรณ์ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์จะให้ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้ นอกจากนี้ ในน้ำมันยังมีสารเจือปนที่สำคัญ คือ ซัลเฟอร์และไนโตรเจน ซึ่งทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ กลายเป็นก๊าซ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ยังเกิดได้จากปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนและไนโตรเจนที่อุณหภูมิสูงของห้องสันดาป สารเจือปนในน้ำมันที่สำคัญอีกอย่าง คือ ตะกั่วจะถูกปล่อยออกมากับไอเสีย

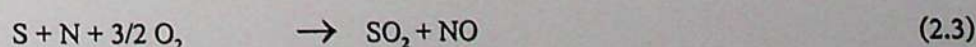
ผลจากการสันดาปสมบูรณ์



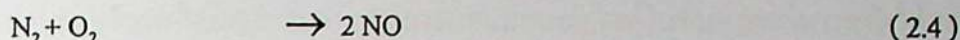
ผลจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์



ผลจากสารเจือปน



ปฏิกิริยาของอากาศที่อุณหภูมิสูง



ตะกั่วในน้ำมัน



มลพิษในอากาศที่มาจากสารเจือปน เช่น ซัลเฟอร์ และตะกั่วสามารถกำจัดได้โดยการลดปริมาณสารนั้นในน้ำมันที่ใช้ แต่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ มาจากการสันดาประหว่างน้ำมันกับอากาศ ซึ่งสามารถลดปริมาณมลพิษโดยการควบคุมประสิทธิภาพการสันดาปหรือบำบัดไอเสียที่เกิดขึ้น

การควบคุมไอเสียรถยนต์

การควบคุมไอเสียรถยนต์ มี 3 แนวทางคือ การปรับปรุงระบบป้อนน้ำมัน การปรับปรุงระบบเผาไหม้ การบำบัดไอเสีย

1. การปรับปรุงระบบป้อนน้ำมัน

ระบบป้อนน้ำมันที่ดีมีความสำคัญต่ออัตราส่วนผสมอากาศ/เชื้อเพลิง ซึ่งช่วยให้การสันดาปเชื้อเพลิงสมบูรณ์ ระบบป้อนน้ำมันที่ใช้กันทั่วไป มี 2 แบบ คือ แบบคาร์บูเรเตอร์ ซึ่งอาศัยแรงดูดของอากาศ ในการกำหนดอัตราไหลของน้ำมัน และการฉีดน้ำมันซึ่งอาศัยระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมปริมาณฉีดน้ำมัน

2. การปรับปรุงระบบเผาไหม้

การปรับปรุงระบบเผาไหม้เพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์และปล่อยไอเสียน้อยลงสามารถทำได้หลายวิธี คือ ลดพื้นที่ผิวห้องสันดาป ใช้ระบบ STRATIFIED CHARGE เพิ่มอุณหภูมิเผาไหม้ และจุดระเบิดก่อนเพื่อเพิ่มเวลาเผาไหม้ การลดพื้นที่ผิวห้องสันดาป หรือลดสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของห้องสันดาป (S/V ratio) ทำให้ห้องสันดาปมีพื้นที่ผิวน้อยลงในการถ่ายเทความร้อน (ทำให้ส่วนผสมอากาศ/เชื้อเพลิงเย็นและไม่เผาไหม้) ไฮโดรคาร์บอนไม่ตกค้างจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศในจังหวะปล่อยไอเสีย

3. การบำบัดไอเสีย

การลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนอกไซด์ในชั้นแรกสามารถทำได้ผล โดยการปรับปรุงแบบเครื่องยนต์และการป้อนน้ำมัน ในส่วนของไอเสีย การป้อนอากาศเข้าท่อไอเสียใกล้กับลิ้นไอเสีย ณ ที่ไอเสียมีอุณหภูมิสูงสุดจะเพิ่มการออกซิเดชันของเชื้อเพลิง ซึ่งยังสันดาปไม่สมบูรณ์ เครื่องสองชนิดที่กำลังได้รับการพัฒนาได้แก่ Thermal reactor และ Catalytic converter

การวิเคราะห์ไอเสียเชิงมวล

การวิเคราะห์เชิงมวลของไอเสีย โดยใช้มวลของโมเลกุลของไอเสียเป็นหลักในการวิเคราะห์ ซึ่งเราทราบว่ามวลสารเชื้อเพลิงรวมกับมวลอากาศหรือออกซิเจนก่อนการสันดาปจะต้องเท่ากับมวลไอเสียภายหลังการสันดาป การวิเคราะห์ไอเสียควรวิเคราะห์ทั้งก่อนและภายหลังการสันดาปสารเชื้อเพลิงนั้นๆ เนื่องจากสารเชื้อเพลิงในสภาพจริงแล้วอาจไม่ประกอบเพียงแต่ไฮโดรเจนกับคาร์บอนเท่านั้น แต่อาจมีธาตุหรือสารอื่นปนอยู่ด้วย เช่น กำมะถัน (S) ออกซิเจน O_2 ในโตรเจน (N_2) เป็นต้น

การวิเคราะห์ไอเสียเชิงปริมาตร

ในกรณีที่เชื้อเพลิงอยู่ในสถานะที่เป็นก๊าซ การวิเคราะห์เชิงปริมาตรเป็นวิธีที่สะดวกที่สุด โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ก็คล้ายกับการวิเคราะห์เชิงมวล คือ หาปริมาตรออกซิเจนที่ต้องการในการสันดาปอย่างสมบูรณ์ หากเชื้อเพลิงมีออกซิเจนปนอยู่ให้นำมาลบออกจากปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการสันดาป ส่วนไอเสียที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง เช่น หากมีส่วนผสมของคาร์บอน ผลผลิตที่ได้อาจเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์หรือคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับไฮโดรเจนจะได้น้ำ และซัลเฟอร์จะได้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น

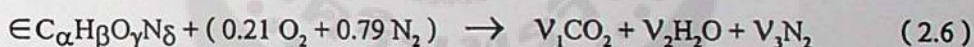
อากาศส่วนเกิน (Excess air)

ในเครื่องยนต์บางประเภทการนำอากาศเข้าไปสันดาปกับเชื้อเพลิงอย่างเหลือเฟือนั้นมีส่วนเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ แต่เครื่องยนต์บางประเภทการนำอากาศเข้าไปมากเกินไปอาจมีผลทางลบมากกว่า คือ ส่วนผสมบางเกินไปจนอาจทำให้เครื่องยนต์ร้อนจัด ประสิทธิภาพการทำงานลดลงได้ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์ในปัจจุบันมีการออกแบบห้องเผาไหม้ที่ซับซ้อนตลอดจนความเร็วรอบในการทำงานสูง จึงจำเป็นต้องเพิ่มไอดีโดยให้มีความดันและปริมาณสูงกว่าปกติเพราะไอดีบางส่วนต้องกวาดล้างไอเสีย และตามไอเสียออกไปด้วยการป้อนไอดีให้มีความดันสูงกว่าปกติโดยทั่วไปใช้อุปกรณ์ช่วย คือ เทอร์โบชาร์จเจอร์ และซูเปอร์ชาร์จเจอร์

การเผาไหม้แบบอากาศพอดีกับเชื้อเพลิง

Stoichiometry and fuel – air – residual composition

สูตรทางเคมีของเชื้อเพลิง $C_\alpha H_\beta O_\gamma N_\delta$ สำหรับปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศ 1 โมล แบบสมบูรณ์หรือแบบอากาศพอดีกับเชื้อเพลิง จะได้ปฏิกิริยาการเผาไหม้ดังนี้ (ผลของปฏิกิริยาประกอบไปด้วย CO_2 , H_2O , N_2)



สำหรับค่าของ $\in$ เป็นอัตราส่วนของ เชื้อเพลิง – อากาศ แทนด้วย V_i ($i = 1, 2, 3$) จากผลของปฏิกิริยา เมื่อรู้จำนวนของโมเลกุล สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} C & \quad \in \alpha & = V_1 \\ H & \quad \in \beta & = 2V_2 \\ O & \quad \in \gamma + 2(0.21) & = 2V_1 + V_2 \\ N & \quad \in \delta + 2(0.79) & = 2V_3 \end{aligned}$$

สำหรับ V_i เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} V_1 &= 0.210\alpha / (\alpha + 0.25\beta - 0.5\gamma) \\ V_2 &= 0.105\beta / (\alpha + 0.25\beta - 0.5\gamma) \\ V_3 &= 0.790 + 0.105\delta / (\alpha + 0.25\beta - 0.5\gamma) \end{aligned}$$

ค่า Molar fuel – air ratio หาได้จากสมการ

$$\epsilon = 0.210 / (\alpha + 0.25\beta - 0.5\gamma) \quad (2.7)$$

อัตราส่วนของ fuel – air ที่พอดีโดยมวล

$$F_s = \frac{\epsilon (12.01\alpha + 1.008\beta + 16.00\gamma + 14.01\delta)}{28.85} \quad (2.8)$$

ค่า Mole Fractions หาได้จากสมการ

$$Y_s = \frac{\epsilon}{1 + \epsilon} \quad (2.9)$$

ค่า Mass Fractions หาได้จากสมการ

$$X_s = \frac{F_s}{1 + F_s} \quad (2.10)$$

การสมดุลของอัตราส่วนของ fuel – air ที่กำหนดโดยอัตราส่วนของอากาศ - เชื้อเพลิง
จริงต่ออัตราส่วนของ fuel – air พอดีทางทฤษฎี

$$\phi = \frac{F}{F_s} \quad (2.11)$$

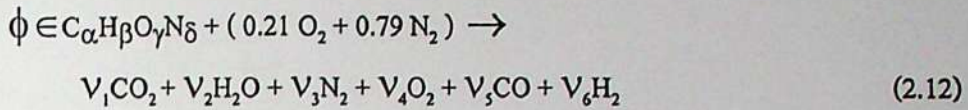
เชื้อเพลิงต่ออากาศทฤษฎี หมายถึง กระบวนการเผาไหม้ทางทฤษฎีที่เป็นกระบวนการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ระหว่างอากาศปริมาตรต่ำสุดกับเชื้อเพลิง และในผลของปฏิกิริยานั้นไม่มี O_2 หลงเหลืออยู่ อากาศปริมาตรต่ำที่สุดนี้เรียกว่า อากาศทฤษฎี (Theoretical air)

ถ้า $\phi < 1$ เรียกส่วนผสมของ เชื้อเพลิง / อากาศ (F/A) ว่าส่วนผสมบาง

ถ้า $\phi > 1$ เรียกส่วนผสมของ เชื้อเพลิง / อากาศ (F/A) ว่าส่วนผสมหนา

ถ้า $\phi = 1$ เรียกส่วนผสมของ เชื้อเพลิง / อากาศ (F/A) ว่าอากาศพอดีกับเชื้อเพลิง

ที่อุณหภูมิต่ำ ผลของปฏิกิริยาจากการเผาไหม้รวม คือ



ใช้ในกรณีการเผาไหม้อุณหภูมิต่ำ ถ้าปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง N_2 จะทำปฏิกิริยากับ O_2 เกิดเป็น NO_x หรือไนโตรเจนออกไซด์

ถ้า $C/O > 1$ ผลของปฏิกิริยา จะมีเทอมของ CS หรือ คาร์บอนในรูปของแข็ง บวกเข้าไปในผลของปฏิกิริยาด้วย (นั่นคือในก๊าซไอเสียจะมีเขม่าสีดำของคาร์บอนออกมา) ในกรณี

$$\phi < 1 \quad V_5 = V_6 = 0$$

$$\phi > 1 \quad V_4 = 0$$

สำหรับกรณีที่ส่วนผสมหนาของการสมดุลของสมการ คือ



ในกรณีที่ $\phi > 1$ ซึ่งเป็นส่วนผสมหนา V_5 ไม่ให้ค่ามาต้องคำนวณโดยใช้สมการ

$$K = \frac{V_2 V_5}{V_1 V_6} \quad (2.13)$$

ตารางที่ 2.4 แสดงผลของการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำ (moles / mole of air)

I	SPECIES	$\phi \leq 1$	$\phi > 1$
1	CO_2	$\alpha\phi \in$	$\alpha\phi \in - V_5$
2	H_2O	$\beta\phi \in / 2$	$0.42 - \phi \in (2\alpha - \gamma) + V_5$
3	N_2	$0.79 + \delta\phi \in / 2$	$0.79 + \delta\phi \in / 2$
4	O_2	$0.21(1 - \phi)$	0
5	CO	0	V_5
6	H_2	0	$0.42(\phi - 1) - V_5$

ในกรณีส่วนผสมหนา ค่าของ V_s ได้มาจากสมการ

$$V_s = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (2.14)$$

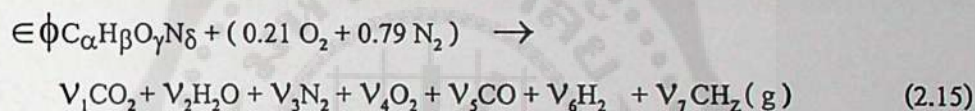
เมื่อ

$$a = 1 - K$$

$$b = 0.42 - \phi \in (2\alpha - \gamma) + K [0.42(\phi - 1) + \alpha\phi \in]$$

$$c = -0.42\alpha\phi \in (\phi - 1)K$$

การวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย (Exhaust gas analysis)



เมื่อ $CH_2(g)$ แสดง gaseous hydrocarbons

การคำนวณย้อนกลับเพื่อที่จะหาค่า Equivalence ratio (ϕ) โดยใช้สมการ

$$\phi = \frac{2\left(1 + \frac{1}{4}\frac{\beta}{\alpha} - \frac{1}{2}\frac{\gamma}{\alpha}\right)(y_1 + y_5 + y_7)}{2y_1 + y_2 + 2y_4 + y_5} \quad (2.16)$$

การคำนวณค่าของ Dry concentration ของไอเสียแต่ละชนิดโดยใช้สมการ

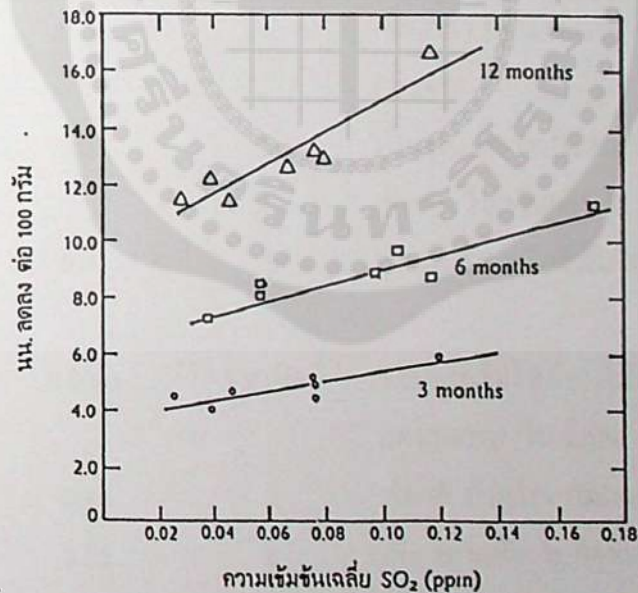
$$y_i^o = \frac{y_i}{1 - y_2} \quad (2.17)$$

เมื่อ $i = 2$ (dry water)

ผลกระทบของมลพิษต่อสาร พืช คนและสัตว์

จากข้อพิสูจน์ต่างๆ ได้พบว่ามลพิษในอากาศมีผลกระทบต่อสุขภาพของคนและสัตว์เป็นอันตรายต่อพืชผลธัญญาหารต่างๆ ทำให้เครื่องอุปโภคต่างๆ เสียหาย ทำให้อากาศเป็นพิษหมอกมัว และกั้นการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ การวัดความเสียหายต่อสิ่งต่างๆ จากมลพิษนั้นยากมาก ไม่สามารถจะชี้ขาดลงไปได้ แต่ก็มีข้อพิสูจน์ต่างๆ ที่พอจะชี้ให้เห็นได้ดังตัวอย่างที่นำมาลงไว้ ณ ที่นี้จากนักวิจัยต่างๆ ทั่วโลก

ผลกระทบของมลพิษต่อสาร (Yocum & Mc Caldin 1968) สารบางอย่างอาจจะเปื่อยยุ่ยเนื่องจากการทำปฏิกิริยาทางเคมี เช่น พวกเส้นใยผ้า หรือไนลอน โลหะต่างๆ เช่น นิกเกิล, ทองแดง, ทองเหลือง จะเป็นสนิมเนื่องจากมลพิษที่เป็นสารกรดและด่างซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารประกอบของพวกซัลเฟอร์หรือ NO_x และบางทีก็ทำให้สีลอกได้ สารโอโซนจะทำให้พวกยางเปื่อย (Jaffe 1967) รายละเอียดของผลของมลพิษต่อสารนั้นอาจศึกษาได้จากเอกสารงานวิจัยของ Yocum และ Mc Caldin 1968



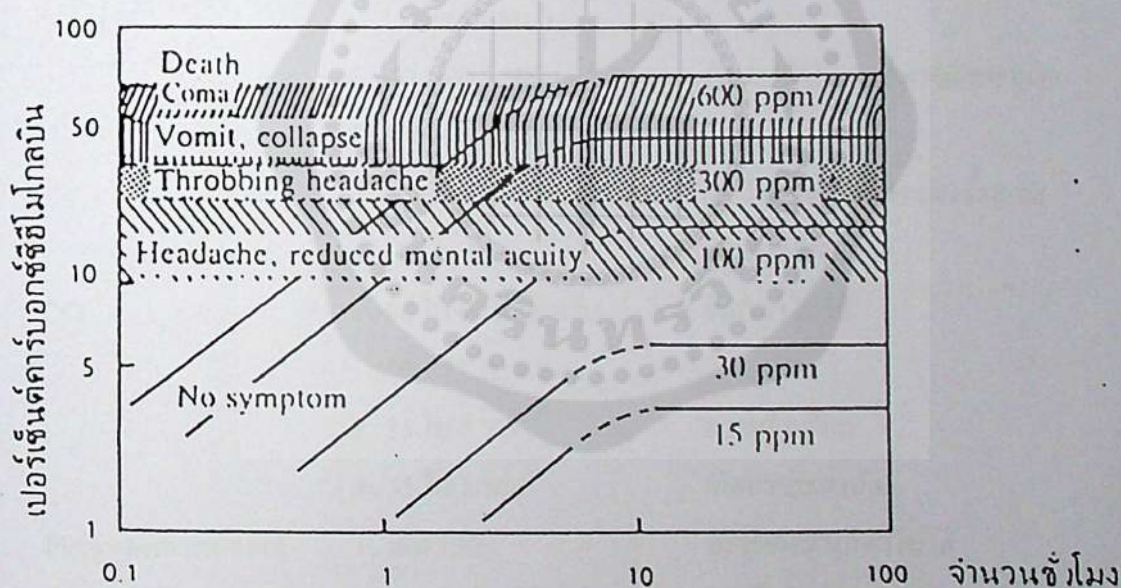
รูปที่ 2.37 แสดงการผุกร่อนของเหล็ก เนื่องจาก SO_2

ผลกระทบของมลพิษต่อพืช พืชสาร Phototoxicants ที่ถือว่าเป็นอันตรายและทำความเสียหายให้กับพืชมากขึ้น ได้แก่ สารประกอบของ SO_2 และ Peroxyacetyl nitrate และ ethylene ซึ่งเป็น oxide ของพวก Photochemical นอกจากนั้น สารที่ก่อความเสียหายต่อพืชอีกคือ สารประกอบคลอไรด์ ไฮโดรเจนคลอไรด์ แอมโมเนีย และปรอท ธรรมชาติซึ่งจะรับสารมลพิษเหล่านี้โดยการหายใจเข้าเมื่อสารมลพิษเหล่านี้โดยการหายใจเข้าเมื่อสารพิษเหล่านี้เข้าสู่ใบ ก็จะทำลายคลอโรฟิลล์ (ส่วนสีเขียวของพืช) และหยุดการสังเคราะห์ เป็นเหตุให้พืชไม่เจริญเติบโตและบางทีอาจถึงตายได้ ส่วนใหญ่อาการมักจะเกิดที่ใบก่อน และถ้าไม่รีบปรับปรุงแก้ไขก็อาจจะตายในที่สุด ซึ่งรายละเอียดการปรับปรุงต่างๆ อาจศึกษาได้จากเอกสารการวิจัยของ Brandt et Heck 1968, Hindawi 1970 และ Jackson et Hill 1970

ตารางที่ 2.5 โรคของพืชที่เกิดจากมลพิษ (Hindawi 1970)

สารพิษ	ปริมาณ ppm	เวลาที่รับ ชม.	อาการ
O_3 (Ozone)	0.03	4	เหี่ยวเฉา สีจาง เป็นจุด ไม่เติบโต ต้นเร็ว ลีบ และตาย
SO_2	0.03	8	เป็นจุด สีจางบริเวณเส้น คลอโรฟิลล์ถูกทำลาย ไม่เจริญเติบโต ไม่ให้ผล
PAN (Peroxy acethyl nitrate)	0.01	6	เป็นมันใส หรือสีเงินใต้ใบ
HF	0.0001	5 อาทิตย์	ขอบและริมไหม้ ไม่สังเคราะห์คลอโรฟิลล์ แกร่งแกรน ใบเล็กลง ไม่ให้ผลผลิต
Cl_2	0.10	2	ฟอกสี ก้านใบแกร่งแกรน ไม่เติบโต
C_2H_4 (Etnylene)	0.05	6	เหี่ยวเฉาแห้ง ใบผิดปกติ ดอกเฉา หรือไม่ออกดอกเลย

ผลกระทบของมลพิษต่อคน มลพิษจากอากาศจะเข้าสู่คนโดยการหายใจ ระบบหายใจตอนบนได้แก่ จมูก เชื้อจมูก ปาก คอ และหลอดลม หลอดเสียง จะทำปฏิกิริยากับ SO_2 ทำให้เกิดน้ำมูกเสมหะอักเสบและปอดบวมได้ทำให้ทางเดินหายใจไม่สะดวกสำหรับระบบหายใจตอนล่างได้แก่ปอดและหลอด Alveoli ซึ่งรับอากาศเข้าฟอกโลหิต เมื่อมีสารละอองที่มีขนาดเกิน 0.02 cm. ก็จะทำให้หลอด Alveoli อุดตันและบวม ทำให้การฟอกโลหิตไม่สะดวกเท่าที่ควร นอกจากนั้น สาร NO_x และ CO ยังสามารถแทรกซึมเข้าในถุงลมและผ่านเข้าในโลหิต ผสมกับโลหิตเป็นเป็น COHb ซึ่งขัดขวางทางเดินของ O_2 ในการฟอกโลหิต ทำให้เกิดอาการต่างๆ อาจถึงตายได้ พวกสารตะกั่วก็เป็นอันตรายต่อโลหิตเช่นกัน และถ้ามีมากกว่า 60% ขึ้นไปก็จะสะสมอยู่ในร่างกายทำลายประสาท กระดูก และเชื้อต่างๆ



รูปที่ 2.38 แสดงผลกระทบของ CO ต่อสุขภาพของคน

ตารางที่ 2.7 แสดงผลวิจัยของมลพิษชนิดต่างๆ ต่อสุขภาพคน

สารพิษ	ปริมาณ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	อาการ
SO ₂ และสารระคาย	1. 80 – 100 เฉลี่ยต่อปี	คนสูงอายุเกิน 50 การเพิ่มทำให้เกิด
	2. SO ₂ และสารระคาย อย่างละ 130	อาการอักเสบของทางเดินหายใจ ของนักเรียนอย่างแรง
	3. SO ₂ 190 และ สารระคาย 177	เป็นพิษต่อทางเดินหายใจของ นักเรียน
	4. SO ₂ 105 – 265 และ สารระคาย 185	เป็นพิษต่อทางเดินหายใจและปอด
	5. SO ₂ 140 – 260 (เฉลี่ย 24 ชม.)	คนสูงอายุป่วยและเป็นโรคปอด
	6. SO ₂ 300 – 500 สารระคายน้อยมาก	เพิ่มคนป่วยแผนกทางเดินหายใจ
	7. สารระคาย 300 และ SO ₂ 630	คนป่วยปอดอักเสบเพิ่มขึ้นและ มีอาการร้ายแรง
CO	1. 58 ใน 90 นาที หรือ 10 – 17 ใน 8 ชม.	จับเวลาไม่ได้
	2. 35 ใน 8 ชม.	ความจำเสื่อม
	3. 35 ใน 8 ชม.	เกิดอาการตามัว
Photochem Oxidants	1. เกิน 130	นักเรียนเล่นกีฬาไม่ได้
O ₃ PeroxyOrganic	1. 490 ต่อวัน	หายใจขัดข้อง
Nitrate	2. 200 ต่อวัน	ตาอักเสบ

ตารางที่ 2.8 แสดงสรุปโรคต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับสารพิษ (Lave & Seskin 1970)

โรค	สารพิษ	ความสัมพันธ์
ปอดอักเสบ	SO ₂	ถ้าลดสารประกอบซัลเฟอร์ลงจะลดคนป่วยปอดอักเสบ ลง 25 – 50% ขึ้นอยู่กับสถานที่และปริมาณสารพิษ
เนื้องอกในปอด	ควันต่าง ๆ	จากสถิติคนในกรุงจะเป็นเนื้องอกในปอดมากกว่าคนใน ต่างจังหวัด 1.5 เท่า
เนื้องอกที่อื่น(นอก จากทางเดินหายใจ)	สารละออง และควัน	เนื้องอกในกระเพาะอาหารจะพบสารละอองจำนวนหนึ่ง เสมอ
Cardio vascular	ควันพิษต่างๆ	เมื่อลดควันพิษลง อัตราคนตายจะลดลง 10 – 15% โดย เฉพาะเนื่องจากโรคหัวใจ
โรคทางเดินหายใจ	สารละออง และซัลเฟอร์	การเป็นหวัดคัดจมูก นิวโมเนีย และโรคปอดอักเสบเกิด จากสารละออง และซัลเฟอร์
อัตราการตาย	สารละออง และซัลเฟอร์	ลดสารละออง 10% จะลดอัตราการตาย 0.5% ลดสารซัลเฟอร์ 10% จะลดอัตราการตาย 0.4%

มาตรฐานและกฎหมาย

ตารางที่ 2.9 แสดงคุณสมบัติของอากาศระดับอันตราย * (EPA 1971)

สารพิษ	ระดับเตือน		ระดับฉุกเฉิน		ระดับอันตราย	
	Ppm	ช่วงเวลา	ppm	ช่วงเวลา	ppm	ช่วงเวลา
		วัด เฉลี่ย ชม		วัด เฉลี่ย ชม		วัด เฉลี่ย ชม
สารละออง	625	24	875	24	1000	24
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		$\mu\text{g}/\text{m}^3$		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
SO ₂	0.6	24	0.8	24	1.0	24
ออกไซด์	0.4	1	0.6	1	0.7	1
Photochem	-	-	-	-	0.6	2
	-	-	-	-	0.4	4
SO ₂ ผสมสาร	261x10 ³	24	393x10 ³	24	490x10 ³	24
ละออง	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		$\mu\text{g}/\text{m}^3$		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
NO ₂	1.2	1	-	-	2.0	1
	0.3	24	0.4	24	0.5	24
CO	30	8	40	8	50	8
	-	-	-	-	75	4
	-	-	-	-	125	1

* แบ่งเป็น 3 ระดับ ระดับเตือน Warning Levels

ระดับฉุกเฉิน Emergency Levels

ระดับอันตราย Significant Harm Levels

มาตรฐานและกฎหมายควบคุมมลพิษจากเครื่องยนต์และโรงงานอุตสาหกรรมของแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันแล้วแต่สถานการณ์และความเหมาะสม มีการเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงอยู่เสมอ

ตารางที่ 2.10 แสดงข้อบังคับสารมลพิษจากเครื่องยนต์ของ ECE ที่ 15

น้ำหนัก รถ (kg)	750	850	1020	1250	1470	1700	1930	2150	มากกว่า
CO g/test	100	109	112	234	152	167	186	203	220
HC g/test	8.0	8.4	8.7	9.4	10.1	10.8	11.4	14.1	12.8

หมายเหตุ 1 test cycle ของ ECE = 4.05 km. (2.54 ไมล์)

สำหรับรถใหม่ ขณะที่ติดเครื่องเฉยๆ และเครื่องร้อน ปริมาณ CO < 4.5 %

บทที่ 3

การคำนวณ

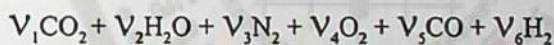
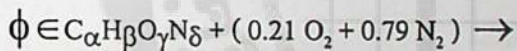
ขอบเขตของการคำนวณ

- สารเชื้อเพลิงที่ใช้ คือ น้ำมันเบนซิน (C_7H_{17}) และน้ำมันดีเซล ($C_{14.4}H_{24.9}$)
- การคำนวณใช้การวิเคราะห์ไอเสียเชิงปริมาตร

ตัวอย่างการคำนวณ

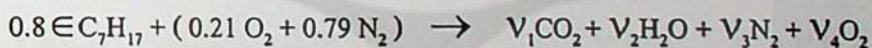
ตัวอย่างที่ 1 ผลของปฏิกิริยาจากการเผาไหม้รวมของน้ำมันเบนซิน C_7H_{17} โดยกำหนดให้ $\phi = 0.8$

จากสมการที่ (2.12)



เมื่อ $\phi = 0.8$, $\alpha = 7$, $\beta = 17$, $\gamma = 0$, $\delta = 0$, $V_5 = 0$, $V_6 = 0$

แทนค่าในสมการ



จากสมการที่ (2.7)

$$\epsilon = 0.210 / (\alpha + 0.25\beta - 0.5\gamma)$$

$$= 0.210 / (7 + 0.25(17) - 0.5(0))$$

$$= 0.0187$$

จากตารางที่ 2.3

$$V_1 = \alpha \phi \epsilon$$

$$= (7)(0.8)(0.0187)$$

$$= 0.1047$$

moles / mole of air

$$V_2 = \beta \phi \epsilon / 2$$

$$= (17)(0.8)(0.0187) / 2$$

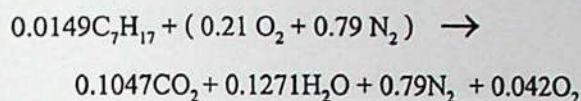
$$= 0.1271$$

moles / mole of air

$$\begin{aligned}
 v_3 &= 0.79 + \delta\phi \in/2 \\
 &= 0.79 \qquad \text{moles / mole of air}
 \end{aligned}$$

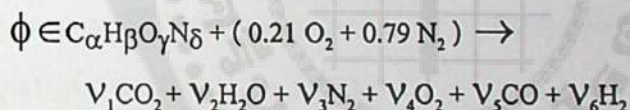
$$\begin{aligned}
 v_4 &= 0.21(1 - \phi) \\
 &= 0.21(1 - 0.8) \\
 &= 0.042 \qquad \text{moles / mole of air}
 \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการ



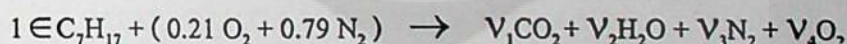
$\therefore$ น้ำมันเบนซิน 0.0149 โมล เผาไหม้กับอากาศ 1 โมล จะได้ผลปฏิกิริยาการเผาไหม้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ 0.1047 moles / mole of air , น้ำ 0.1271 moles / mole of air , ไนโตรเจน 0.79 moles / mole of air , ออกซิเจน 0.042 moles / mole of air

ตัวอย่างที่ 2 ผลของปฏิกิริยาจากการเผาไหม้รวมของน้ำมันเบนซิน C_7H_{17} โดยกำหนดให้ $\phi = 1$ จากสมการที่ (2.12)



เมื่อ $\phi = 1$, $\alpha = 7$, $\beta = 17$, $\gamma = 0$, $\delta = 0$, $v_5 = 0$, $v_6 = 0$

แทนค่าในสมการ



จากสมการที่ (2.7)

$$\begin{aligned}
 \in &= 0.210 / (\alpha + 0.25\beta - 0.5\gamma) \\
 &= 0.210 / (7 + 0.25(17) - 0.5(0)) \\
 &= 0.0187
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 2.3

$$\begin{aligned}
 v_1 &= \alpha\phi\in \\
 &= (7)(1)(0.0187) \\
 &= 0.1309 \qquad \text{moles / mole of air}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_2 &= \beta \phi \epsilon / 2 \\
 &= (17)(1)(0.0187) / 2 \\
 &= 0.15895 \quad \text{moles / mole of air} \\
 v_3 &= 0.79 + \delta \phi \epsilon / 2 \\
 &= 0.79 \quad \text{moles / mole of air} \\
 v_4 &= 0.21(1 - \phi) \\
 &= 0.21(1 - 1) \\
 &= 0 \quad \text{moles / mole of air}
 \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการ

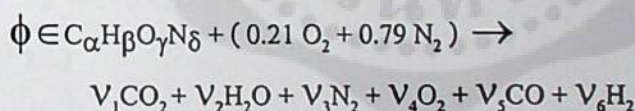


$\therefore$ น้ำมันเบนซิน 0.0187 โมล เผาไหม้กับอากาศ 1 โมล จะได้ผลปฏิกิริยาการเผาไหม้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ 0.1309 moles / mole of air , น้ำ 0.1589 moles / mole v_5 of air ไนโตรเจน 0.79 moles / mole of air

ตัวอย่างที่ 3 ผลของปฏิกิริยาจากการเผาไหม้รวมของน้ำมันเบนซิน C_7H_{17} โดยกำหนดให้ $\phi = 1.2$

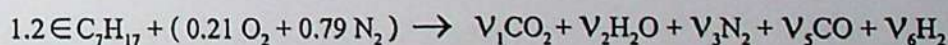
กำหนดให้อุณหภูมิการเผาไหม้ ($T = 1200 \text{ K}$)

จากสมการที่ (2.12)



เมื่อ $\phi = 1.2$, $\alpha = 7$, $\beta = 17$, $\gamma = 0$, $\delta = 0$, $v_4 = 0$

แทนค่าในสมการ



จากสมการที่ (2.7)

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= 0.210 / (\alpha + 0.25\beta - 0.5\gamma) \\
 &= 0.210 / (7 + 0.25(17) - 0.5(0)) \\
 &= 0.0187
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 2.3

$$\begin{aligned} V_1 &= \alpha \phi \epsilon - V_s \\ &= (7)(1.2)(0.0187) - 0.0430 \\ &= 0.1140 \quad \text{moles / mole of air} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= 0.42 - \phi \epsilon (2\alpha - \gamma) + V_s \\ &= 0.42 - (1.2)(0.0187)(2(7) - 0) + 0.0430 \\ &= 0.1488 \quad \text{moles / mole of air} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_3 &= 0.79 + \delta \phi \epsilon / 2 \\ &= 0.79 \quad \text{moles / mole of air} \end{aligned}$$

หาค่าจากสมการที่ 2.14

$$V_s = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (2.14)$$

เมื่อ

$$a = 1 - K$$

$$b = 0.42 - \phi \epsilon (2\alpha - \gamma) + K [0.42(\phi - 1) + \alpha \phi \epsilon]$$

$$c = -0.42\alpha \phi \epsilon (\phi - 1)K$$

จากสมการที่ 2.13

$$K = \frac{V_2 V_s}{V_1 V_6} \quad (2.13)$$

$$\ln K = 2.743 - 1.761/t - 1.611/t^2 + 0.2803/t^3$$

เมื่อ

$$t = T/1000$$

$$= 1200/1000$$

$$= 1.2$$

$$\therefore \ln K = 2.743 - 1.761/1.2 - 1.611/(1.2)^2 + 0.2803/(1.2)^3$$

$$= 0.3198$$

$$K = 1.3768$$

$$a = (1 - 1.3768)$$

$$= -0.3768$$

$$b = 0.42 - (1.2)(0.0187)(2(7) - 0)$$

$$+ 1.3768 [0.42(1.2-1) + (7)(1.2)(0.0187)]$$

$$= 0.4377$$

$$c = -0.42(7)(1.2)(0.0187)(1.2-1)1.3768$$

$$= -0.0181$$

$$V_s = \frac{(-0.4377) + \sqrt{(0.4377)^2 - (4)(-0.3768)(-0.0181)}}{2(-0.3768)}$$

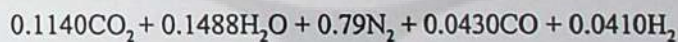
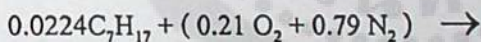
$$V_s = 0.043 \quad \text{moles / mole of air}$$

$$V_6 = 0.42(\phi - 1) - V_s$$

$$= 0.42 - (1.2-1) - 0.0430$$

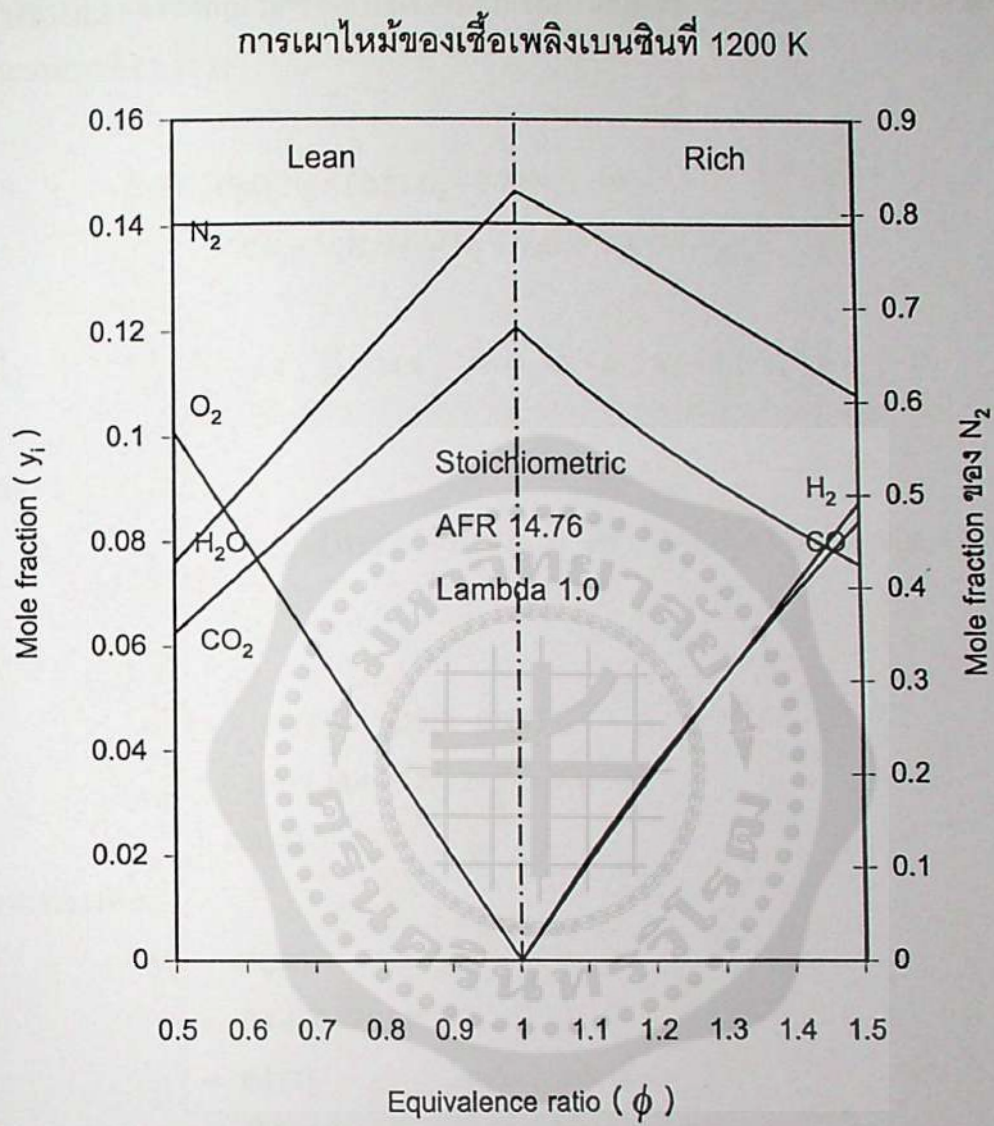
$$= 0.0410 \quad \text{moles / mole of air}$$

แทนค่าในสมการ



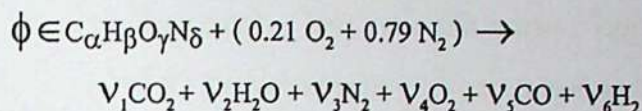
∴ น้ำมันเบนซิน 0.0224 โมล เผาไหม้กับอากาศ 1 โมล จะได้ผลปฏิกิริยาการเผาไหม้

คือ คาร์บอนไดออกไซด์ 0.1140 moles / mole of air , น้ำ 0.1488 moles / mole of air ไนโตรเจน 0.79 moles / mole of air , คาร์บอนมอนอกไซด์ 0.043 moles / mole of air ไฮโดรเจน 0.0410 moles / mole of air



รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϕ และ mole fraction (y_i) ของเชื้อเพลิงเบนซิน C_7H_{17}

ตัวอย่างที่ 4 ผลของปฏิกิริยาจากการเผาไหม้รวมของน้ำมันดีเซล $C_{14.4}H_{24.9}$ โดยกำหนดให้ $\phi = 0.8$
จากสมการที่ (2.12)



เมื่อ $\phi = 0.8$, $\alpha = 14.4$, $\beta = 24.9$, $\gamma = 0$, $\delta = 0$, $v_5 = 0$, $v_6 = 0$

แทนค่าในสมการ



จากสมการที่ (2.7)

$$\begin{aligned} \epsilon &= 0.210 / (\alpha + 0.25\beta - 0.5\gamma) \\ &= 0.210 / (14.4 + 0.25(24.9) - 0.5(0)) \\ &= 0.0102 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 2.3

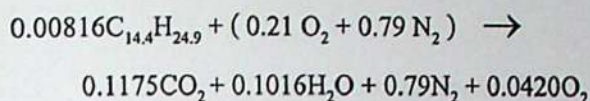
$$\begin{aligned} V_1 &= \alpha\phi\epsilon \\ &= (14.4)(0.8)(0.0102) \\ &= 0.1175 \quad \text{moles / mole of air} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= \beta\phi\epsilon/2 \\ &= (24.9)(0.8)(0.0102)/2 \\ &= 0.1016 \quad \text{moles / mole of air} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_3 &= 0.79 + \delta\phi\epsilon/2 \\ &= 0.79 \quad \text{moles / mole of air} \end{aligned}$$

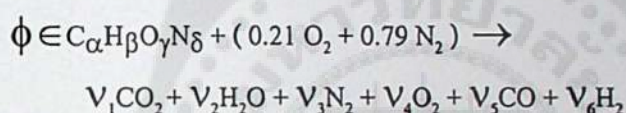
$$\begin{aligned} V_4 &= 0.21(1 - \phi) \\ &= 0.21(1 - 0.8) \\ &= 0.042 \quad \text{moles / mole of air} \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการ



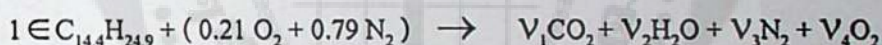
$\therefore$ น้ำมันดีเซล 0.00516 โมล เผาไหม้กับอากาศ 1 โมล จะได้ผลปฏิกิริยาการเผาไหม้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ 0.1175 moles / mole of air , น้ำ 0.1016 moles / mole of air , ไนโตรเจน 0.79 moles / mole of air , ออกซิเจน 0.0420 moles / mole of air

ตัวอย่างที่ 5 ผลของปฏิกิริยาจากการเผาไหม้รวมของน้ำมันดีเซล $C_{14.4}H_{24.9}$ โดยกำหนดให้ $\phi = 1$ จากสมการที่ (2.12)



เมื่อ $\phi = 1$, $\alpha = 14.4$, $\beta = 24.9$, $\gamma = 0$, $\delta = 0$, $V_5 = 0$, $V_6 = 0$

แทนค่าในสมการ



จากสมการที่ (2.7)

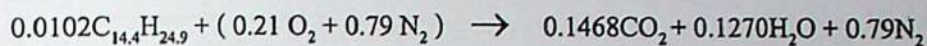
$$\begin{aligned} \epsilon &= 0.210 / (\alpha + 0.25\beta - 0.5\gamma) \\ &= 0.210 / (14.4 + 0.25(24.9) - 0.5(0)) \\ &= 0.0102 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 2.3

$$\begin{aligned} V_1 &= \alpha\phi\epsilon \\ &= (14.4)(1)(0.0102) \\ &= 0.1468 \quad \text{moles / mole of air} \\ V_2 &= \beta\phi\epsilon/2 \\ &= (24.9)(1)(0.0102) / 2 \\ &= 0.1270 \quad \text{moles / mole of air} \\ V_3 &= 0.79 + \delta\phi\epsilon/2 \\ &= 0.79 \quad \text{moles / mole of air} \end{aligned}$$

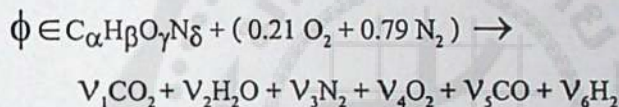
$$\begin{aligned}
 V_4 &= 0.21(1 - \phi) \\
 &= 0.21(1 - 1) \\
 &= 0 \quad \text{moles / mole of air}
 \end{aligned}$$

แทนค่าในสมการ



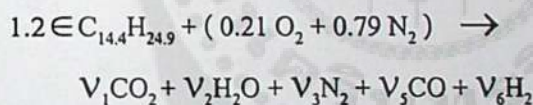
$\therefore$ น้ำมันดีเซล 0.0102 โมล เผาไหม้กับอากาศ 1 โมล จะได้ผลปฏิกิริยาการเผาไหม้ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ 0.1468 moles / mole of air , น้ำ 0.1270 moles / mole of air , ไนโตรเจน 0.79 moles / mole of air

ตัวอย่างที่ 6 ผลของปฏิกิริยาจากการเผาไหม้รวมของน้ำมันดีเซล $C_{14.4}H_{24.9}$ โดยกำหนดให้ $\phi = 1.2$ จากสมการที่ (2.12)



เมื่อ $\phi = 1.2$, $\alpha = 14.4$, $\beta = 24.9$, $\gamma = 0$, $\delta = 0$, $V_4 = 0$

แทนค่าในสมการ



จากสมการที่ (2.7)

$$\begin{aligned}
 \epsilon &= 0.210 / (\alpha + 0.25\beta - 0.5\gamma) \\
 &= 0.210 / (14.4 + 0.25(24.9) - 0.5(0)) \\
 &= 0.0102
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 2.3

$$\begin{aligned}
 V_1 &= \alpha\phi\epsilon - V_5 \\
 &= (14.4)(1.2)(0.0102) - 0.0501 \\
 &= 0.1261 \quad \text{moles / mole of air} \\
 V_2 &= 0.42 - \phi\epsilon (2\alpha - \gamma) + V_5 \\
 &= 0.42 - (1.2)(0.0120)(2(14.4) - 0) + 0.0501 \\
 &= 0.1176 \quad \text{moles / mole of air}
 \end{aligned}$$

$$v_3 = 0.79 + \delta\phi \in / 2$$

$$= 0.79 \quad \text{moles / mole of air}$$

จากสมการที่ (2.14)

$$v_s = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (2.14)$$

$$a = 1 - K$$

$$b = 0.42 - \phi \in (2\alpha - \gamma) + K [0.42(\phi - 1) + \alpha\phi \in]$$

$$c = -0.42\alpha\phi \in (\phi - 1)K$$

จากสมการที่ 2.13

$$K = \frac{v_2 v_3}{v_1 v_6} \quad (2.13)$$

$$\ln K = 2.743 - 1.761/t - 1.611/t^2 + 0.2803/t^3$$

เมื่อ

$$t = T / 1000$$

$$= 1200/1000 = 1.2$$

$$\therefore \ln K = 2.743 - 1.761/1.2 - 1.611/(1.2)^2 + 0.2803/(1.2)^3$$

$$= 0.3198$$

$$K = 1.3768$$

$$a = (1 - 1.3768) = -0.3768$$

$$b = 0.42 - (1.2)(0.0102)(2(14.4) - 0)$$

$$+ 1.3768 [0.42(1.2 - 1) + (14.4)(1.2)(0.0102)]$$

$$= 0.4258$$

$$c = -0.42(14.4)(1.2)(0.0102)(1.2 - 1)1.3768$$

$$= -0.0204$$

$$v_s = \frac{(-0.4258) + \sqrt{(0.4258)^2 - (4)(-0.3768)(-0.0204)}}{2(-0.3768)}$$

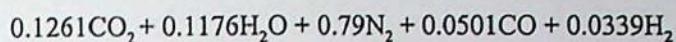
$$v_s = 0.0501 \quad \text{moles / mole of air}$$

$$v_6 = 0.42(\phi - 1) - v_s$$

$$= 0.42(1.2 - 1) - 0.0501$$

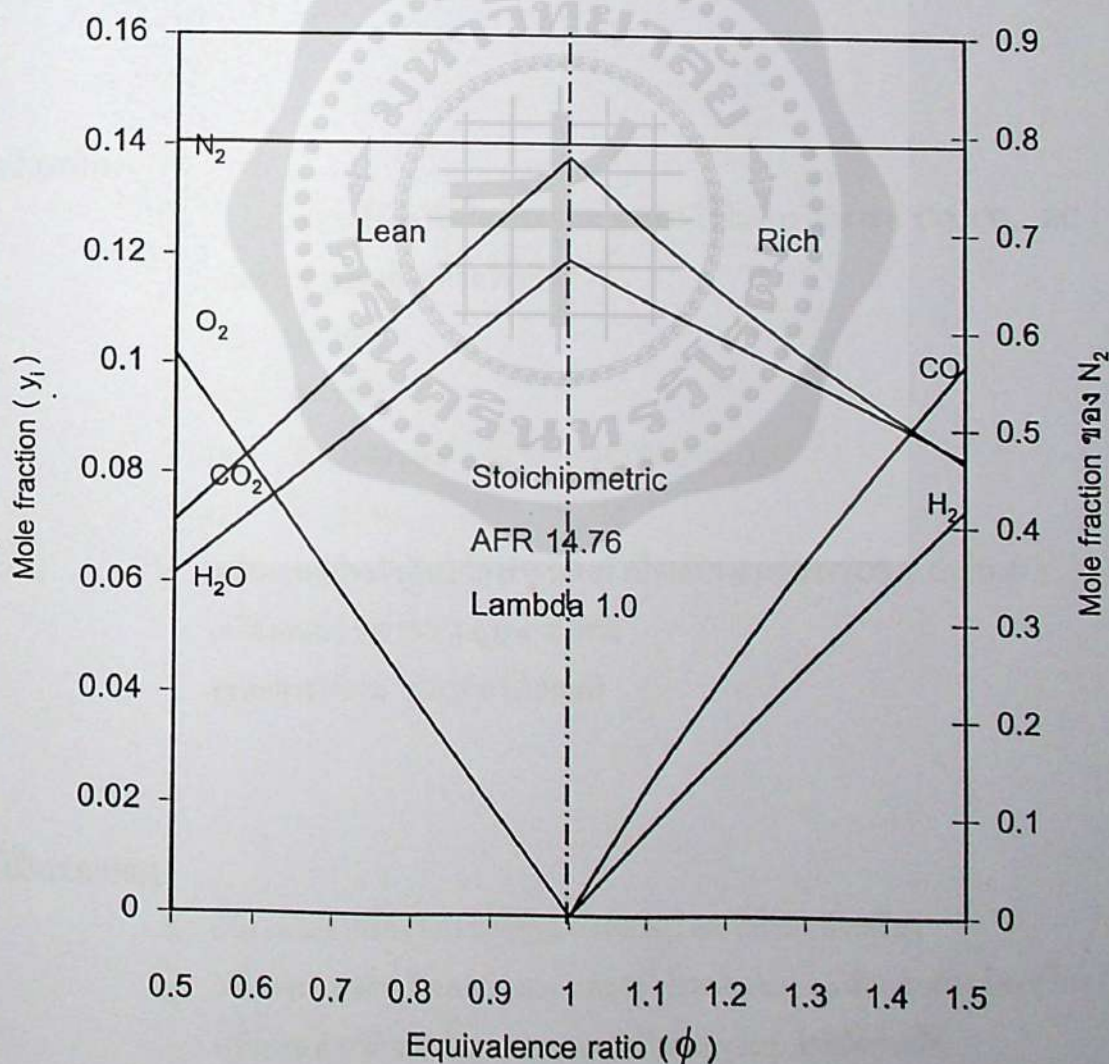
$$= 0.0339 \quad \text{moles / mole of air}$$

แทนค่าในสมการ



∴ น้ำมันดีเซล 0.0122 โมล เผาไหม้กับอากาศ 1 โมล จะได้ผลปฏิกิริยาการเผาไหม้
คือ คาร์บอนไดออกไซด์ 0.1261 moles / mole of air , น้ำ 0.1176 moles / mole of air
ไนโตรเจน 0.79 moles / mole of air , คาร์บอนมอนอกไซด์ 0.0501 moles / mole of air
ไฮโดรเจน 0.0339 moles / mole of air

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลที่ 1200 K



รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϕ และ mole fraction (y_i) ของเชื้อเพลิงดีเซล $\text{C}_{14.4}\text{H}_{24.9}$

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบและผลการทดสอบ การใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย วัดปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียที่อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงในช่วง 10 : 1 – 17 : 1 และความเร็วรอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนที่ใช้คาร์บูเรเตอร์ทำหน้าที่ผสมอากาศและเชื้อเพลิงให้มีส่วนผสม หนา / บาง เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียชนิดต่าง ๆ

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย OLIVER K9000 ใช้ในการวิเคราะห์ CO , CO_2 , HC และ O_2 ช่วงของก๊าซที่วัดได้เป็นดังนี้
 CO 0 – 10 %
 CO_2 0 – 20 %
 HC 0 – 2000 ppm (1 % = 10,000 ppm)
 O_2 0 – 22 %
2. เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนใช้คาร์บูเรเตอร์ เป็นเครื่องยนต์ TOYOTA CORONA
เครื่องยนต์ 1500 CC 4 สูบ 4 จังหวะ
ระยะทางใช้งาน 280,000 กิโลเมตร

วิธีการทดลอง

1. เปิด switch เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย on / off ที่ด้านหลังเครื่อง
2. เครื่องจะแสดงหน้าจอ Standby และจะใช้เวลา warm up สำหรับการเปิดเครื่อง
ครั้งแรก ¹⁵ นาที จากนั้น Analyser จะปรับ Gas zero โดยอัตโนมัติ
3. ที่เมนูหลัก STANDBY/CALIBRATION เลือก Calibration จะแสดงเมนูย่อยดังนี้

- Gas zero
- Leak test
- HC check

ให้ทำการ Calibrated ทุกขั้นตอนตามลำดับเมื่อเริ่มต้นการใช้งาน เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียทุกครั้ง ยกเว้น Gas zero ซึ่งเครื่องทำเองโดยอัตโนมัติ ซึ่งปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

- 3.1) เลือก Leak test แล้วนำตัว block มาอุดที่ปลาย Sample probe ใช้เวลา 40 วินาที ในการเช็ค leak ของระบบ จากนั้นดึงดึง block ออก
- 3.2) เลือก HC check ให้เลือกไปที่ in free air
4. ที่เมนูหลัก Sample (F2) แสดงตัวอย่างของก๊าซต่าง ๆ ที่มีอยู่ในบรรยากาศ
5. ที่เมนูหลัก Print gas values (F7) ใช้ในการ printout ค่าก๊าซที่วัดได้ออกมา
6. นำเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียมาติดตั้งกับเครื่องยนต์ ดังนี้
 - 6.1) ให้ความยาวของ Oil temperature probe มีความยาวเท่ากับความยาวของตัววัดระดับของน้ำมันหล่อลื่น
 - 6.2) นำตัววัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (Auto – sense RPM probe) มาติดตั้งที่สายหัวเทียนสูบไคสูบหนึ่งของเครื่องยนต์
 - 6.3) นำ Sample probe ใส่ในท่อไอเสีย
7. ปรับคาร์บูเรเตอร์ให้มีอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง (AFR) ในช่วง 10:1 - 17:1 ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์
8. เลือกเมนูหลัก Sample (F2) จะแสดงค่า AFR , ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ , CO , CO₂ , HC , O₂ และ Oil temperature ตามลำดับ
9. เลือกเมนูหลัก Print gas values (F7) เพื่อ Printout ค่าก๊าซต่าง ๆ ออกมา



รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน



รูปที่ 4.2 แสดงเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย OLIVER K9000

SRINAKARINWIROT UNIVERSITY
ONGKHARAK
NAKORNNAAYOK

ROL K9000 - Analyser Software Version = V3.05

Date: 06/09/00

GAS VALUES PRINTOUT

Time: 13:06:48

			Actual Values
HC Hexane	ppm	VOL	547
CO	%	VOL	5.88
CO2	%	VOL	10.50
O2	%	VOL	1.13
NO	ppm	VOL	NOT FITTED
Oil Temp	oC		36
RPM			2025
AFR	N: 1		12.49

Testers Name : THAMRONG

			Actual Values
HC Hexane	ppm	VOL	462
CO	%	VOL	2.91
CO2	%	VOL	12.80
O2	%	VOL	1.34
NO	ppm	VOL	NOT FITTED
Oil Temp	oC		35
RPM			2052
Ar R	N: 1		13.56

Testers Name : THAMRONG

			Actual Values
HC Hexane	ppm	VOL	468
CO	%	VOL	1.97
CO2	%	VOL	13.30
O2	%	VOL	1.41
NO	ppm	VOL	NOT FITTED
Oil Temp	oC		37
RPM			2029
AFR	N: 1		14.00

Testers Name : THAMRONG

รูปที่ 4.3 แสดงก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย

SRINAKARINWIROT UNIVERSITY
ONGKHARAK
NAKORNNAAYOK

ROL K9000 - Analyser Software Version = V3.05

Date: 06/09/00

GAS VALUES PRINTOUT

Time: 13:16:22

				Actual Values
HC Hexane	ppm	VOL		613
CO	%	VOL		1.07
CO2	%	VOL		13.40
O2	%	VOL		1.95
NO	ppm	VOL		NOT FITTED
Oil Temp	oC			36
RPM				2001
AFR	N:1			14.71

Testers Name : THAMRONG

				Actual Values
HC Hexane	ppm	VOL		644
CO	%	VOL		0.34
CO2	%	VOL		13.10
O2	%	VOL		3.23
NO	ppm	VOL		NOT FITTED
Oil Temp	oC			36
RPM				1998
AFR	N:1			15.87

Testers Name : THAMRONG

				Actual Values
HC Hexane	ppm	VOL		636
CO	%	VOL		0.36
CO2	%	VOL		12.80
O2	%	VOL		3.50
NO	ppm	VOL		NOT FITTED
Oil Temp	oC			36
RPM				2071
AFR	N:1			16.15

Testers Name : THAMRONG

รูปที่ 4.4 แสดงก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย

SRINAKARINWIROT UNIVERSITY
ONGKHARAK
NAKORNNAIYOK

ROL K9000 - Analyser Software Version = V3.05

Date:11/09/00

DIAGNOSTIC PRINTOUT

Time:11:28:37

BENCH DATA		ANALYSER DATA	
HC	= 23		
CO	= 0.00		
CO2	= 0.00		
O2	= 22.15		
NO	= NOT FITTED		
Pressure	= 1007.2 mBar		
Ref	= 1	Methane Bottle Value	= 1.000 % vol
		Methane MEF	= 14.820
AmbientTemp	= 40.40 oC	Methane Cal Date	= 28/01/99
LampTemp	= 45.07 oC		
DetectorTemp	= 55.70 oC	Last Leak Test Date	= 11/09/00
		Last Leak Test Time	= 11:20:57
WarmUp in Progress	: No	Last HC Check Date	= 11/09/00
Low Flow	: No	Last HC Check Time	= 10:13:26
Zero Needed	: No		
Bad O2 Transducer	: Yes	HC Option	= Hexane
		Lambda/AFR .option	= AFR
Bench Internal Error	: No	Temp Option	= Centigrade
NDIR Beam Strength Error	: No	Video Mode	= Normal
O2 Off Volts Warning	: No	Language	= ENGLISH
		Keyboard Frequency	= 12.1 KHz
Bench PEF	= 0.499	O2 Install Date	= 17/11/99
Bench Software Version	= 3.549	NO Install Date	= NOT FITTED
Bench Serial Number	= 30353	NO Install uV/PPM	= NOT FITTED
Total Switch-Ons	= 86	NO Bottle Span	= NOT FITTED
Average Warmup Time (Mins)	= 4.41	NO Span Date	= NOT FITTED
		NO Span Voltage	= NOT FITTED
All Zeros ok		NO Span Pressure	= NOT FITTED
O2 Call needed		NO Zero Volts	= NOT FITTED
All 2pt Cals ok			
Oil ADC failed		Printer Type	= IBM ProPrinter
		Printer Width	= 80
Calibration Interval	= 6 Months	Printer Length	= 270
Last Calibration	= 31/08/00	Printer Top Gap	= 8
HC Bottle Value	= 2036ppm		
CO Bottle Value	= 3.52% vol	Pump Test	= 100
CO2 Bottle Value	= 14.60% vol	Pump Test Date	= 20/01/99
		Internal Voltage	= 12.41V
		External Voltage	= 12.77V

รูปที่ 4.5 แสดง Bench data และ Analyser data

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าก๊าซไอเสียต่างๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 800 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA

AFR	12.85	13.51	14.23	14.47	14.72	15.2	15.9	16.5	17.02
Lambda	0.871	0.915	0.964	0.98	0.997	1.03	1.145	1.118	1.153
(λ)									
HC(ppm)	3868	3605	3050	2888	2539	3181	3464	3875	3984
CO (%)	6.38	5.50	3.07	2.85	2.32	2.11	2.01	1.98	1.92
CO ₂ (%)	8.75	9.03	11.30	11.5	11.65	10.5	6.8	5.6	5.21
O ₂ (%)	3.12	3.10	3.12	3.52	3.71	4.13	4.45	4.65	4.85

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าก๊าซไอเสียต่างๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 1000 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA

AFR	12.75	13.41	14.24	14.51	14.73	15.7	16.16	17.29	17.75
Lambda	0.864	0.909	0.965	0.983	0.998	1.06	1.095	1.171	1.206
(λ)									
HC(ppm)	2120	1567	1801	1783	1813	2060	2420	3160	3050
CO (%)	5.92	4.46	2.95	2.31	2.20	1.12	6.23	5.77	5.76
CO ₂ (%)	9.10	10.40	11.10	11.60	11.40	11.5	4.00	3.40	3.20
O ₂ (%)	3.07	2.80	3.43	3.53	3.80	4.51	9.03	10.04	10.41

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA

AFR	11.92	12.26	13.83	14.18	15.53	14.7	15.3	16.01	17.79
Lambda	0.808	0.831	0.937	0.961	0.984	0.99	1.037	1.087	1.206
(λ)									
HC(ppm)	1110	699	688	676	686	660	809	955	1086
CO (%)	7.59	6.64	3.48	2.56	1.58	1.25	1.08	0.85	0.36
CO ₂ (%)	8.90	10.0	11.70	12.50	13.10	13.5	12.75	11.10	11.3
O ₂ (%)	1.83	1.64	2.34	2.35	2.38	2.86	3.40	4.66	5.73

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 2000 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA

AFR	12.49	13.16	13.56	14.00	14.44	14.7	15.21	15.87	16.15
Lambda	0.846	0.892	0.919	0.949	0.978	0.99	1.030	1.075	1.094
(λ)									
HC(ppm)	547	482	462	468	701	613	612	644	636
CO (%)	5.88	4.19	2.91	1.97	1.39	1.07	0.51	0.34	0.36
CO ₂ (%)	10.50	11.70	12.80	13.30	13.30	13.4	13.50	13.10	12.80
O ₂ (%)	1.13	1.22	1.34	1.41	1.90	1.95	2.31	3.23	3.50

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 2500 rpm
ของเครื่องยนต์ TOYOTA

AFR	11.5	11.78	13.01	13.09	14.40	14.5	14.66	14.74	14.92
Lambda	0.788	0.801	0.881	0.887	0.976	0.98	0.993	0.999	1.011
(λ)									
HC(ppm)	645	537	402	411	442	370	286	355	378
CO (%)	8.29	7.55	4.08	4.10	0.75	0.87	0.43	0.48	0.45
CO ₂ (%)	9.00	9.6	12.20	12.10	14.30	14.1	14.50	14.30	14.10
O ₂ (%)	1.07	1.02	1.07	1.33	1.52	1.52	1.73	1.84	1.99

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าก๊าซไอเสียต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่องวัดก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 3000 rpm
ของเครื่องยนต์ TOYOTA

AFR	11.82	12.01	12.51	13.00	13.34	13.87	14.0	14.19	14.34
Lambda	0.800	0.814	0.848	0.880	0.904	0.940	0.95	0.961	0.972
(λ)									
HC(ppm)	444	411	343	301	289	271	240	212	216
CO (%)	7.50	7.03	5.44	4.32	3.23	2.05	1.65	0.99	0.82
CO ₂ (%)	9.60	9.90	11.30	11.90	12.80	13.50	13.8	14.40	14.40
O ₂ (%)	0.93	0.91	0.93	0.930	1.00	1.14	1.05	1.14	1.21

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ ที่ส่วนผสมหนา

AFR 12.85 : 1

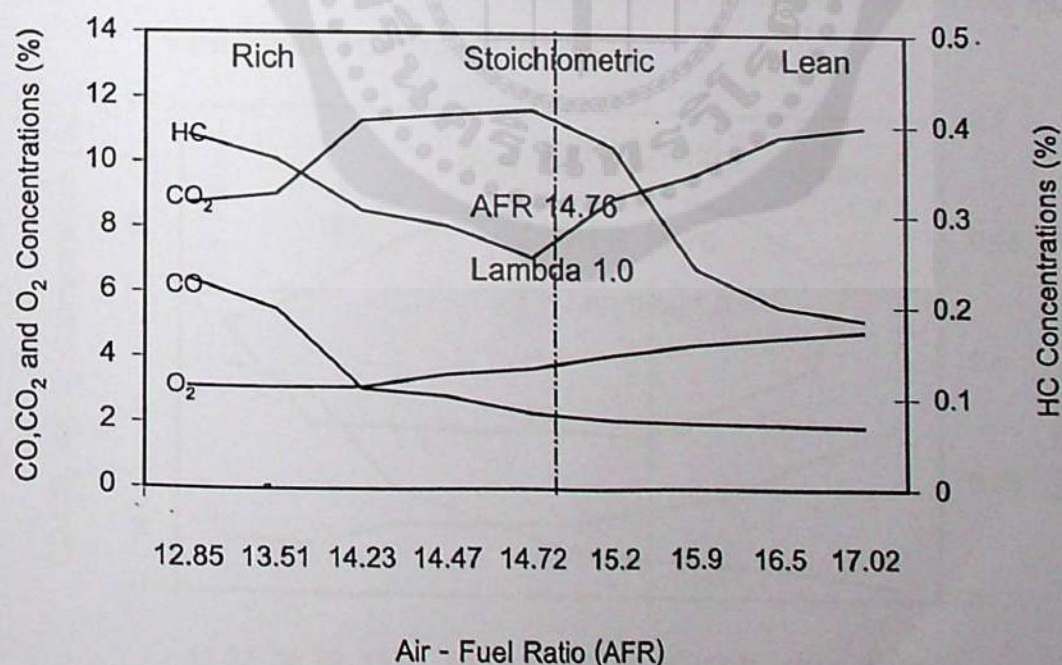
Engine speed (rpm)	800	1000	1500	2000	2500	3000
HC(ppm)	3868	2036	695	512	420	314
CO (%)	6.38	5.7	5.45	4.97	4.53	4.66
CO ₂ (%)	8.75	9.3	10.64	11.14	11.86	11.72
O ₂ (%)	3.12	3.03	1.90	1.18	1.06	0.93

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนผสมอากาศพอดีกับเชื้อเพลิง AFR 14.76 : 1

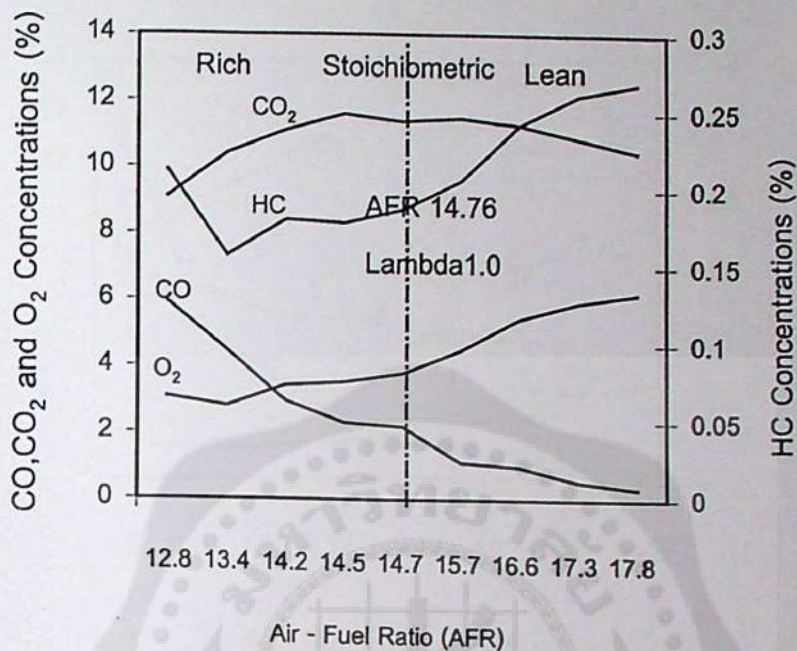
Engine speed (rpm)	800	1000	1500	2000	2500	3000
HC(ppm)	2593	1821	680	613	358	217
CO (%)	2.30	2.17	2.14	1.00	0.47	0.78
CO ₂ (%)	11.55	11.41	12.76	13.41	14.28	14.4
O ₂ (%)	3.75	3.82	2.36	1.99	1.86	1.23

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องยนต์ ที่ส่วนผสมบาง AFR 16 : 1

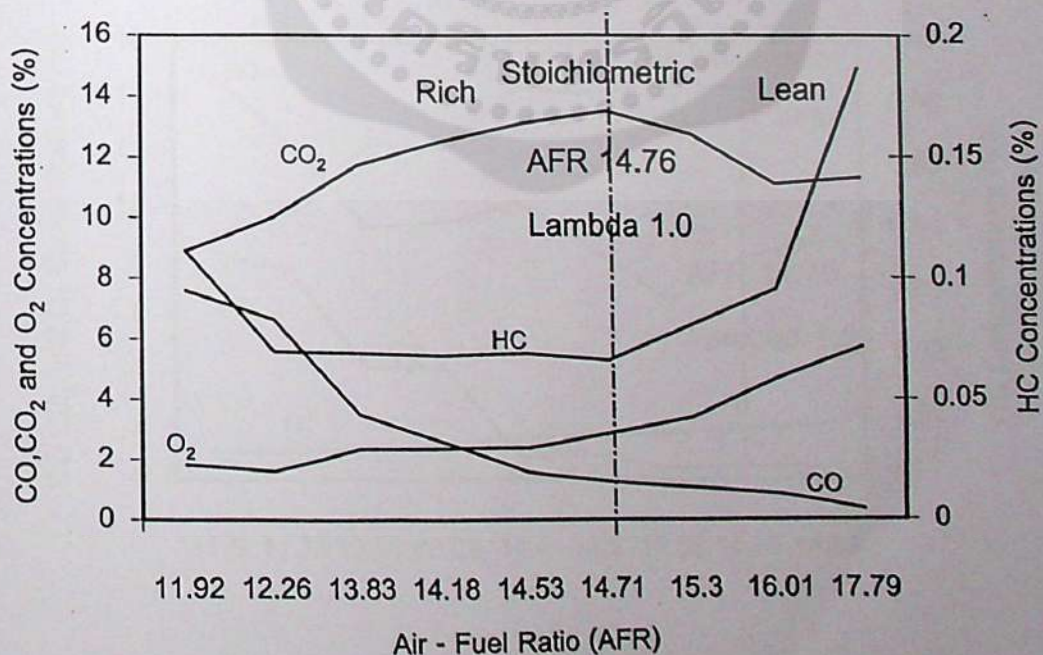
Engine speed (rpm)	800	1000	1500	2000	2500	3000
HC(ppm)	3533	2295	955	640	381	216
CO (%)	2.09	4.45	0.85	0.35	0.44	0.80
CO ₂ (%)	6.6	6.61	11.10	12.96	14.07	14.4
O ₂ (%)	4.48	7.46	4.66	3.36	2.01	1.22



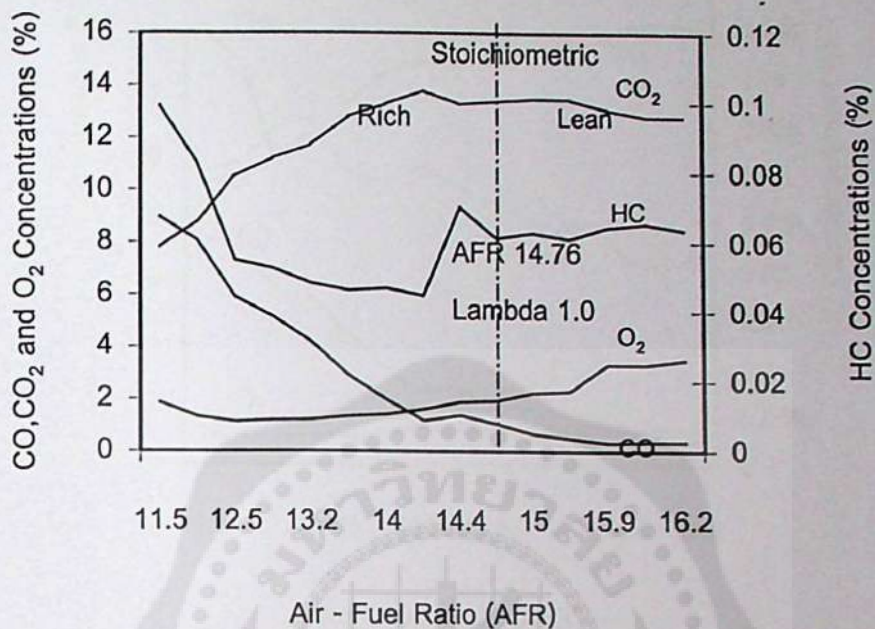
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง AFR และปริมาณก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 800 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA



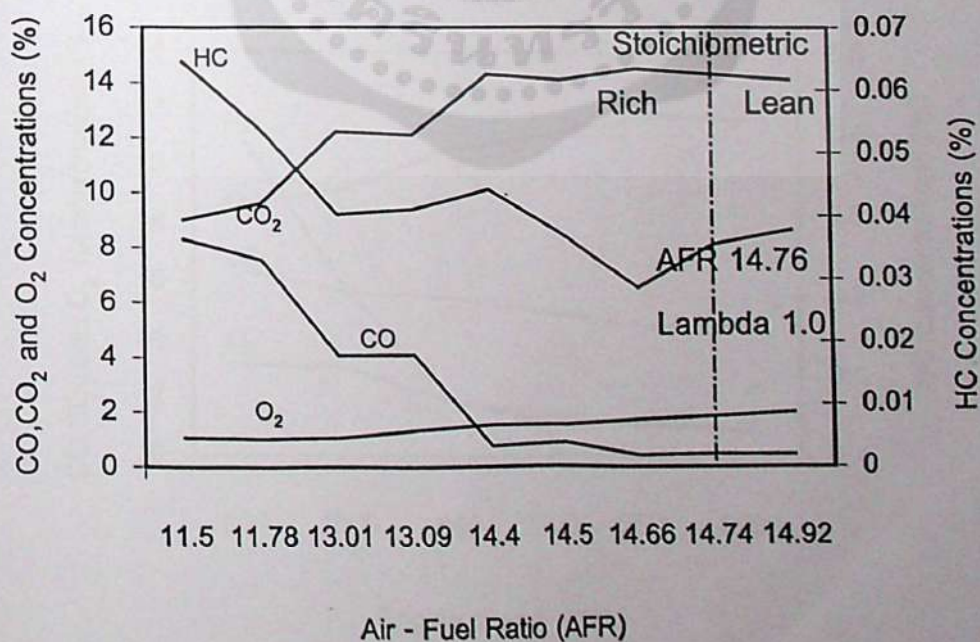
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง AFR และปริมาณก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 1000 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA



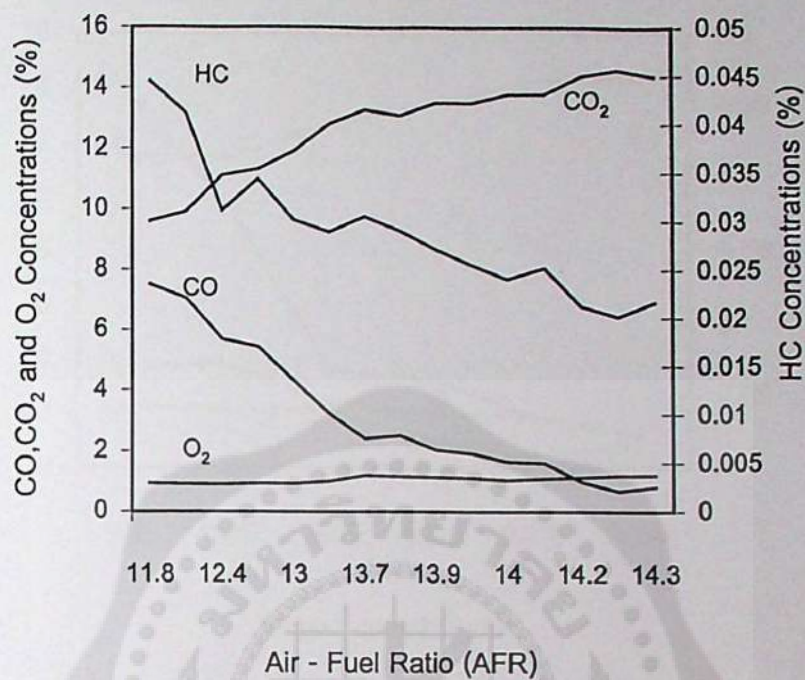
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง AFR และปริมาณก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA



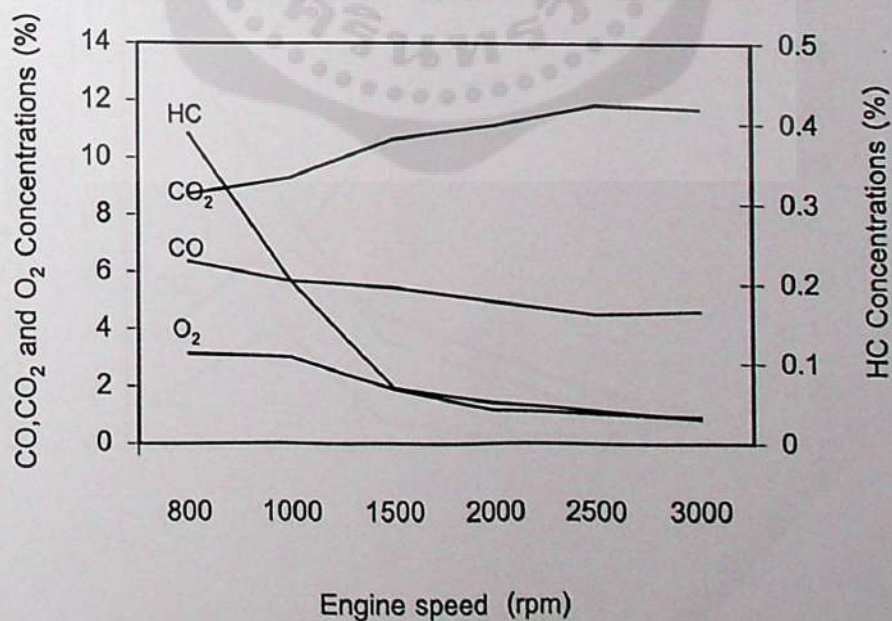
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง AFR และปริมาณก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 2000 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA



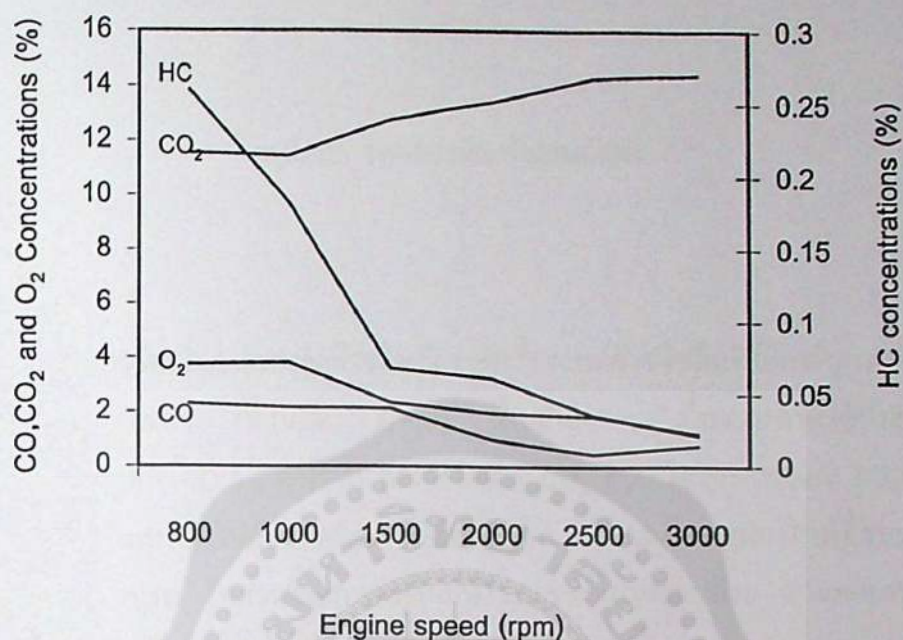
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง AFR และปริมาณก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 2500 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA



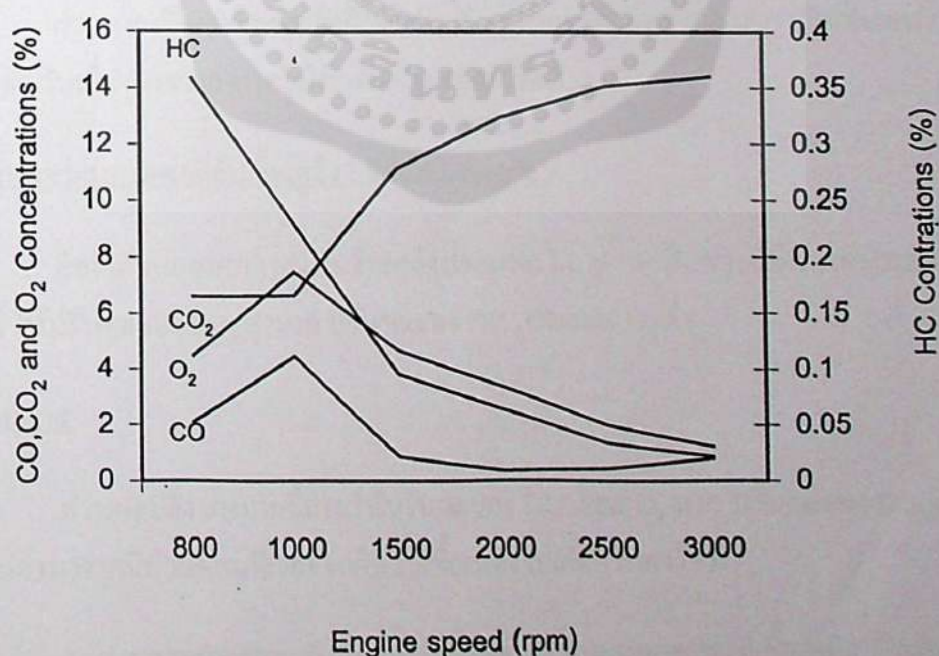
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง AFR และปริมาณก๊าซไอเสียที่ความเร็วรอบ 3000 rpm ของเครื่องยนต์ TOYOTA



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียที่ส่วนผสม AFR 12.85 : 1



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียที่อัตราส่วนผสมอากาศพอดีกับเชื้อเพลิง AFR 14.76 : 1



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียที่ส่วนผสมบาง AFR 16 : 1

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการวัดปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนที่ใช้คาร์บูเรเตอร์ ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย OLIVER K9000 ก๊าซต่าง ๆ ที่สามารถวัดได้ประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) , คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) , ไฮโดรคาร์บอน (HC) และ ออกซิเจน (O_2) ในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ในส่วนของการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ประกอบด้วย ส่วนผสมหนา และ ส่วนผสมบาง ซึ่งปริมาณของไอเสียจะแปรเปลี่ยนไปตามอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิง (AFR) ต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนผสมหนา

ส่วนผสมที่หนาเกินไปจะมีปริมาณของ HC และ CO มาก ปริมาณของ CO_2 และ O_2 ต่ำ อันเนื่องมาจากอากาศไม่เพียงพอในการเผาไหม้

อัตราส่วนผสมอากาศพอดีกับเชื้อเพลิง (Stoichiometric)

อัตราส่วนผสมอากาศและเชื้อเพลิงประมาณ 14.76 : 1 เป็นช่วงที่มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ให้ปริมาณของ CO_2 สูงมาก ปริมาณของ HC , CO และ O_2 ต่ำ

ส่วนผสมบาง

ส่วนผสมบางเกินไปจะให้ปริมาณของ HC และ O_2 มาก ปริมาณของ CO_2 และ CO ต่ำ อันเนื่องมาจากมีส่วนผสมที่เจือจางเกินไปเชื้อเพลิงไม่เกิดการเผาไหม้

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง (AFR) และ ปริมาณก๊าซไอเสีย ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ เป็นดังนี้

1. ออกซิเจน (O_2) เป็นออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ ซึ่ง O_2 เป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ที่ดีเยี่ยม ถ้าปริมาณของ O_2 สูงขึ้น CO_2 ก็จะต่ำลง จากกราฟที่ส่วนผสมหนาปริมาณ O_2 จะต่ำ และมีปริมาณต่ำสุดที่อัตราส่วนผสมอากาศพอดีกับเชื้อเพลิง (AFR 14.76 : 1) ส่วนผสมที่บางมากปริมาณของ O_2 ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย จากการทดสอบที่ความเร็วรอบ 1000 rpm ปริมาณ O_2 อยู่ในช่วง 2.8 – 10.40 % ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm ปริมาณ O_2 อยู่ในช่วง 1.13 – 3.32 % ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm ปริมาณ O_2 อยู่ในช่วง 0.9 – 1.2 % ดังนั้นปริมาณของ O_2 จะมากที่ความเร็วรอบต่ำ

2. คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ปริมาณที่สูงของ CO เกิดขึ้นมากที่ส่วนผสมหนา แสดงว่ามี O_2 ไม่พอในช่วงของการเผาไหม้ จากกราฟที่ AFR < 16 ปริมาณของ CO จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนผสมที่บางมาก ๆ CO จะมีปริมาณต่ำมาก

3. ไฮโดรคาร์บอน (HC) เกิดจากเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้หรือเผาไหม้บางส่วน HC จะมีปริมาณสูงที่ส่วนผสมหนามาก ๆ และส่วนผสมบางมาก ๆ HC มีปริมาณต่ำสุดที่อัตราส่วนผสมอากาศพอดีกับเชื้อเพลิง (Stoichiometric) จากการทดสอบที่ความเร็วรอบต่ำปริมาณ HC มาก และจะมีปริมาณลดลงที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น

4. คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการทดสอบการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะให้ปริมาณ CO_2 สูงสุด ในช่วง AFR 14.76 : 1 ความเร็วรอบที่สูงจะให้ปริมาณ CO_2 สูง ที่ความเร็วรอบ 3000 rpm อยู่ในช่วง 9.6 – 14.6 % ความเร็วรอบต่ำ CO_2 ต่ำด้วย

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและปริมาณก๊าซไอเสียที่ส่วนผสมหนา, อัตราส่วนผสมอากาศพอดีกับเชื้อเพลิง และส่วนผสมบางตามลำดับ ดังนี้

1. ส่วนผสมหนา (Rich) พิจารณาที่ AFR 12.85 : 1 ทดสอบที่ความเร็วรอบต่ำ ปริมาณของ HC, CO และ O_2 มาก ปริมาณของ CO_2 ต่ำ ทดสอบที่ความเร็วรอบสูง ปริมาณของ CO_2 สูง ปริมาณของ HC, CO และ O_2 ต่ำ

2. อัตราส่วนผสมอากาศพอดีกับเชื้อเพลิง (Stoichiometric) พิจารณาที่ AFR 14.76 : 1 ทดสอบที่ความเร็วรอบต่ำ ปริมาณของ HC, CO และ O_2 มาก ปริมาณของ CO_2 ต่ำ ทดสอบที่ความเร็วรอบสูง ปริมาณของ CO_2 มาก ปริมาณของ HC, CO และ O_2 ต่ำ

3. ส่วนผสมบาง (Lean) พิจารณาที่ AFR 16 : 1 ทดสอบที่ความเร็วรอบต่ำ ปริมาณของ HC , CO และ O₂ มาก ปริมาณของ CO₂ ต่ำ ทดสอบที่ความเร็วรอบสูง ปริมาณของ CO₂ มาก ปริมาณของ HC , CO และ O₂ ต่ำ

ความเร็วรอบต่ำเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ การเผาไหม้จึงไม่สมบูรณ์ปริมาณของ HC CO และ O₂ มาก ปริมาณของ CO₂ ต่ำ ความเร็วรอบสูงเครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูง O₂ มีการไหลแบบ Turbulent ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ปริมาณของ HC,CO และ O₂ ต่ำ ปริมาณของ CO₂ มาก

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงและปริมาณก๊าซไอเสียที่วัดได้จริงจากเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนตรงตามทฤษฎีสมการการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง C₇H₁₇ ในบทที่ 3

จากตารางภาคผนวกที่ 4 เป็นค่ามาตรฐานและวิธีการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะที่ใช้งาน สำหรับรถยนต์เบนซินที่จดทะเบียนก่อน 1 พย. 2536 ตรวจวัดขณะเครื่องยนต์เดินเบาอยู่กับที่ ค่ามาตรฐาน CO 4.5 % โดยปริมาตร และค่ามาตรฐาน HC 600 ppm จากการทดสอบมลพิษที่ได้เกินมาตรฐาน คือ CO ค่าสูงสุดที่ 8.29 % และ HC ค่าสูงสุดที่ 3989 ppm ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ปริมาณการเกิดก๊าซไอเสียด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย OLIVER K9000 ให้มีประสิทธิภาพจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการ Calibrated ที่ถูกต้องตามมาตรฐานเพื่อที่จะได้ข้อมูลที่ถูกต้องในการวัดปริมาณก๊าซไอเสียและต้องปฏิบัติตามคู่มือการใช้งานอย่างเคร่งครัด มีการฝึกฝนการใช้งานอย่างสม่ำเสมอและรู้วิธีการแก้ไขปัญหาเมื่อเครื่องปฏิบัติงานไม่ได้ การใช้งานเครื่องวัดก๊าซไอเสียต้องทำในบริเวณที่มีการระบายอากาศที่ดีเพราะก๊าซไอเสียเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย OLIVER K9000 ได้มีการออกแบบมาเพื่อวัดก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้กับเครื่องยนต์ชนิดอื่น เพราะจะทำให้เกิดความเสียหายได้ และไม่สามารถตรวจวัดปริมาณของ NO_x ได้

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ จะต้องปรับอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงได้ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนที่ใช้คาร์บูเรเตอร์ เป็นเครื่องยนต์รุ่นเก่า ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ ECU (Electronic control unit) ในปัจจุบัน ที่สามารถปรับ A / F ratio จากการลดหรือเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงที่จะถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบ โดยเมื่อ O_2 sensor นั้นตรวจจับได้ว่าส่วนผสมนั้นหนาเกินไป มันจะสั่งให้ฉีดเชื้อเพลิงน้อยลง ในทางกลับกันถ้าส่วนผสมบางเกินไป มันก็จะเพิ่มปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง ส่วนคาร์บูเรเตอร์ A / F ratio จะถูกควบคุมโดยปริมาณอากาศที่เข้าสู่ Air bleeder ซึ่งต่างจากระบบหัวฉีดที่ควบคุมปริมาณเชื้อเพลิง

บรรณานุกรม

อดุลย์ จิรากร และคณะ , เครื่องยนต์สันดาปภายใน , บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด ,
กรุงเทพฯ : 2535

วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ , มลภาวะอากาศ , สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
กรุงเทพฯ : 2540

นภดล เวชวิฐาน , เครื่องยนต์หัวฉีด EFI , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น) ,
กรุงเทพฯ : 2535

ธำรง โชตะมั่งสะ , สุจิตต์ สนองคุณ , เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น , พิมพ์ที่
เมื่อดทรายพริ้นติ้ง , กรุงเทพฯ

พลพร แสงบางปลา , ไอเสียจากเครื่องยนต์และการควบคุม , สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,
กรุงเทพฯ : 2537

Colin R. Ferguson , Internal Combustion Engines , JOHN WILEY & SONS,
Canada : 1986



ภาคผนวกที่ 1

ตารางมาตรฐานการระบายไอเสีย

ตารางภาคผนวกที่ 1.1 แสดงการกำหนดมาตรฐานการระบายไอเสียจากรถยนต์ใหม่เครื่องยนต์เบนซิน

มาตรฐาน (เลขที่ มอก)	เทียบเท่า มาตรฐาน	ครอบคลุม ประเภทรถ	CO	HC + NO _x	NO _x	วันบังคับ ใช้
ระดับที่ 1 (1085- 2535)	ECE 15-04	รถยนต์นั่งไม่ เกิน 9 ที่นั่ง	58 – 110 g/test	19 – 28 g/test	-	-
ระดับที่ 2 (1120 – 2538)	ECE R 83 (B)	รถยนต์นั่งไม่ เกิน 6 ที่นั่ง	25 – 45 g/test	6.5 – 15 g/test	3.5 – 6 g/test	30 มี.ค. 38
		รถยนต์นั่งเกิน 6 ที่นั่ง	58 – 110 g/test	19 – 28 g/test	-	
ระดับที่ 3 (1280- 2538)	ECE R 83-01(B)	รถยนต์นั่งไม่ เกิน 6 ที่นั่ง	2.72 g/km	0.97 g/km	-	24 มี.ค. 39
		รถยนต์นั่งเกิน 6 ที่นั่ง	58 – 110 g/test	19 – 28 g/test	-	
ระดับที่ 4 (1365-2539)	93/59/ EEC	รถยนต์นั่งไม่ เกิน 6 ที่นั่ง	2.72 g/km	0.97 g/km	-	1 ม.ค. 40
		รถยนต์นั่งเกิน 6 ที่นั่ง	2.72 – 6.90 g/km	0.97 – 1.70 g/km	-	

ตารางภาคผนวกที่ 1.2 แสดงการกำหนดมาตรฐานการระบายไอเสียจากรถยนต์ใหม่
ขนาดเล็กที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล

มาตรฐาน เลขที่ มอก	เทียบเท่า มาตรฐาน	ครอบคลุม ประเภท รถ	CO	HC +NO _x	NO _x	PM	วันบังคับ ใช้
ระดับที่ 1 (1140- 2536)	ECE R 83 (C)	รถยนต์นั่ง ไม่เกิน 6 ที่นั่ง	30-45 g/test	8-15 g/test	6 g/test	-	29 ม.ค. 38
		รถยนต์นั่ง เกิน 6 ที่ นั่ง	58-110 g/test	19-28 g/test	-	-	
ระดับที่ 2 (1285- 2538)	ECE R 83- 01(C)	รถยนต์นั่ง ไม่เกิน 6 ที่นั่ง	2.72 g/km	0.97 g/km	-	0.14 g/km	23 ก.พ. 40
		รถยนต์นั่ง เกิน 6 ที่ นั่ง	58-110 g/test	19-28 g/test	-	-	
ระดับที่ 3 (1370- 2539)	93/59/EEC	รถยนต์นั่ง ไม่เกิน 6 ที่นั่ง	2.72 g/km	0.97 g/km	-	0.14 g/km	1 ม.ค. 40
		รถยนต์นั่ง เกิน 6 ที่ นั่ง	2.72- 6.90 g/km	0.97- 1.70 g/km	-	0.14- 0.25 g/km	

ตารางภาคผนวกที่ 1.3 แสดงการกำหนดมาตรฐานการระบายไอเสียจากรถยนต์ใหม่ขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล

มาตรฐาน เลขที่ มอก.	เทียบเท่า มาตรฐาน	ครอบคลุม ประเภทรถ	CO	HC	NO _x	PM	วันบังคับ ใช้
ระดับที่ 1 (1180- 2536)	ECE R 49- 01	รถยนต์และรถ บรรทุกที่มีมวล มากกว่า 3500 kg	11.2 g/kwh	2.4 g/kwh	14.4 g/kwh	-	-
ระดับที่ 2 (1290- 2538)	EURO I หรือ 91/542 (A)/EEC	รถยนต์นั่งเกิน 9 ที่ นั่งและรถบรรทุกที่ มีมวลมากกว่า 3500 kg	4.5 g/kwh	1.1 g/kwh	8.0 g/kwh	0.36 g/kwh	12 พ.ค. 41
ระดับที่ 3 (1295- 2538)	EURO II หรือ 91/542 (B)/EEC	รถยนต์นั่งเกิน 9 ที่ นั่งและรถบรรทุกที่ มีมวลมากกว่า 3500 kg	4.0 g/kwh	1.1 g/kwh	7.0 g/kwh	0.15 g/kwh	1 ม.ค. 42

ตารางภาคผนวกที่ 1.4 แสดงค่ามาตรฐานและวิธีการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะที่ใช้งาน

ประเภท มาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด	CO	HC	ควันดำ	วันบังคับ ใช้
รถยนต์เบนซินที่ จดทะเบียนก่อน 1 พย.36	เครื่องยนต์เดินเบาอยู่ กับที่	4.5 % โดยปริมาตร	600 ppm	-	23 กย.40
รถยนต์เบนซินที่ จดทะเบียนหลัง 1 พย. 36		1.5 % โดยปริมาตร	200 ppm	-	
รถจักรยานยนต์	เครื่องยนต์เดินเบาอยู่ กับที่	4.5 % โดยปริมาตร	-	-	7 ตค.37
		-	10,000 ppm	-	1 มค. 39
รถยนต์ดีเซล	1. แบบไม่มีภาระ ระบบกระดาศกรอง ระบบวัดความทึบ แสง	- - -	- - -	50% 45 %	23 กย.40
	2. แบบมีภาระ ระบบกระดาศกรอง ระบบวัดความทึบ แสง	- - -	- - -	40 % 35 %	

ตารางภาคผนวก 1.5 รายงานผลการติดตามการตรวจสอบสถานการณ์ปัญหามลพิษจากยานพาหนะ ที่ใช้งานในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ประจำปี 2541
ฝ่ายมลพิษทางอากาศจากยานพาหนะ
กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง
กรมควบคุมมลพิษ

1. รถยนต์เบนซิน

ประเภทรถยนต์เบนซิน	ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์		ก๊าซไฮโดรคาร์บอน		ระดับเสียง	
	ค่าเฉลี่ย (%)	เกินมาตรฐาน (%)	ค่าเฉลี่ย (ppm)	เกินมาตรฐาน (%)	ค่าเฉลี่ย (dBA)	เกินมาตรฐาน (%)
รถยนต์เบนซิน						
- ติดตั้ง Catalytic Converter	0.31	6.04	43	2.35	86.9	0
- ไม่ได้ติดตั้ง Catalytic Converter	2.1	6.5	184	2.1	87.9	0.84
รถยนต์เบนซิน รับจ้าง Taxi						
- ติดตั้ง Catalytic Converter	1.24	25.32	195	29.11	86.57	0.25
- ไม่ได้ติดตั้ง Catalytic Converter	2.23	15.25	280	7.5	87.8	1.25

2. รถจักรยานยนต์

ประเภทรถจักรยานยนต์	ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์		ก๊าซไฮโดรคาร์บอน		ระดับเสียง	
	ค่าเฉลี่ย (%)	เกินมาตรฐาน (%)	ค่าเฉลี่ย (%)	เกินมาตรฐาน (%)	ค่าเฉลี่ย (dBA)	เกินมาตรฐาน (%)
รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ	3.93	31.05	7987	21.46	95.23	7.46
รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ	1.94	14.92	1445	0	94.16	2.99

ตารางภาคผนวกที่ 1.5 รายงานผลการติดตามการตรวจสอบสถานการณ์ปัญหามลพิษจากยาน
พาหนะที่ใช้งานในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ประจำปี 2541 (ต่อ)

3. รถยนต์ดีเซล

ประเภทรถยนต์ดีเซล	ควันดำ		ระดับเสียง	
	ค่าเฉลี่ย (%)	เกินมาตรฐาน (%)	ค่าเฉลี่ย (dBA)	เกินมาตรฐาน (%)
รถยนต์ดีเซลบรรทุก				
- บรรทุกขนาดเล็ก	46.4	32.98	95.01	5.56
- บรรทุกขนาดใหญ่	39.72	13.52	95.95	9.55
รถยนต์ดีเซลรับจ้างไม่ประจำทาง				
- ใช้เครื่องยนต์เก่า	64	67.96	105.2	72.82
- ใช้เครื่องยนต์ใหม่	41	22.86	105.8	75.71

หมายเหตุ

1. รถยนต์เบนซินที่ติดตั้ง Catalytic Converter มีค่ามาตรฐาน CO ไม่เกิน 1.5 % และ HC ไม่เกิน 200 ppm
2. รถยนต์เบนซินที่ไม่ได้ติดตั้ง Catalytic Converter มีค่ามาตรฐาน CO ไม่เกิน 4.5 % และ HC ไม่เกิน 600 ppm
3. รถจักรยานยนต์ มีค่ามาตรฐาน CO ไม่เกิน 4.5 % และ HC ไม่เกิน 10,000 ppm
4. รถยนต์ดีเซล มีค่ามาตรฐานควันดำ ไม่เกิน 50 % (เครื่องยนต์ไม่มีภาระ ระบบกระดาศกรอง)
5. รถยนต์ทุกประเภท มีค่ามาตรฐานระดับเสียง ไม่เกิน 100 dBA (ที่ระยะ 0.5 เมตร ทำมุม 45 องศา กับปลายท่อไอเสีย)

PEER REVIEW AUTHORITY OF THAILAND

www.prat.or.th

www.prat.or.th

www.prat.or.th

www.prat.or.th

www.prat.or.th

www.prat.or.th

www.prat.or.th





PETROLEUM AUTHORITY OF THAILAND

QUALITY CONTROL DIVISION, TERMINAL OPERATIONS, PT OIL

2 ARDNARONG RD., KLONGTOEY BANGKOK 10250, THAILAND TEL. 239-7143 FAX 239-7149

TYPICAL TEST RESULT

PET PERFORMA GOLD

JULY - SEPTEMBER 1999

PROPERTY	RESULT	SPECIFICATION	TEST METHOD
API Gravity @ 60 °F	53.3	---	ASTM D 1298
Specific Gravity @ 15.6/15.6 °C	0.7657	---	ASTM D 1298
Octane Number, Research Method	97.5	min 95.0	ASTM D 2699
Octane Number, Motor Method	86.0	min 84.0	ASTM D 2700
Lead Content, g/L	0.032	max 0.015	ASTM D 3116 or Equivalent
Oxidation Stability, minutes	>360	min 360	ASTM D 525
Reid Vapour Pressure @37.8 °C, kPa(100 °F, psi)	57.7	max 62	ASTM D 4953
Existent Gum, mg/100 mL	1.4	max 4.0	ASTM D 381
Sulphur Content, % wt	0.04	max 0.10	ASTM D 4294 or Equivalent
Copper Strip Corrosion (3h @ 50 °C)	No.1	max No.1	ASTM D 130
Distillation :			ASTM D 86
Initial Boiling Point, °C	34.7		
10 % vol evaporated, °C (°F)	56.2	max 70	
50 % vol evaporated, °C (°F)	102.1	70 -110	
90 % vol evaporated, °C (°F)	157.9	max 170	
End Point, °C (°F)	193.8	max 200	
Residue, % vol	1.1	max 2.0	
Colour	Yellow		ASTM D 1500 or D 2392
Benzene, % vol	1.63	max 3.5	ASTM D 3606
Aromatic, % vol	41.4	max 50	ASTM D 4420
Oxygenated Compound (MTBE), % vol	6.84	5.5 - 11.0	ASTM D 4315

THESE RESULTS CONFORM TO "UNLEADED GASOLINE OCTANE 95" SPECIFICATION OF MINISTRY OF COMMERCE, THAILAND

Reland Ch

QUALITY CONTROL DIVISION MANAGER

PETROLEUM AUTHORITY OF THAILAND

Date Issue : October 14, 1999



PETROLEUM AUTHORITY OF THAILAND

QUALITY CONTROL DIVISION TERMINAL OPERATIONS, PTT OIL

100/100, QING PO, 4LD 071 BANGKOK 10251 THAILAND TEL: 233-7142 FAX: 234-7143

TYPICAL TEST RESULT

HIGH SPEED DIESEL

JULY - SEPTEMBER 1999

PROPERTY	RESULT	SPECIFICATION	TEST METHOD
API Gravity @ 60 °F	37.8	----	ASTM D 1258
Specific Gravity @ 15.6/15.6 °C	0.8358	0.81 - 0.87	ASTM D 1298
Calculated Cetane Index	56.34	min 47	ASTM D 976
Viscosity, Kinematic, @ 40 °C, cSt	3.491	1.8 - 4.5	ASTM D 445
Pour Point, °C	-4	max 10	ASTM D 97
Sulphur Content, % wt	0.04	max 0.05	ASTM D 4294
Copper Strip Corrosion (3h @ 50 °C)	No.1	max No.1	ASTM D 130
Carbon Residue, % wt	0.02	max 0.05	ASTM D 4530
Water & Sediment, % vol	Tr	max 0.05	ASTM D 2709
Ash, % wt	0.001	max 0.01	ASTM D 432
Flash Point (P.M.), °C	74	min 52	ASTM D 93
Distillation :			ASTM D 86
Initial Boiling Point, °C	184.7		
10 % vol recovered, °C	223.9		
50 % vol recovered, °C	258.6		
90 % vol recovered, °C	333.7	max 357	
Colour	L 0.5	max 2.0	ASTM D 1500

THESE RESULTS CONFORM TO "HIGH SPEED DIESEL" SPECIFICATION OF MINISTRY OF COMMERCE, THAILAND

QUALITY CONTROL DIVISION MANAGER
PETROLEUM AUTHORITY OF THAILAND

Date Issue : October 14, 1999

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

1. นายธำรงค์ รัตนบุรี

ที่อยู่ : 59/1 ม.1 ต. ควนกรด อ. ห้วยสูง จ. นครศรีธรรมราช 80110
 ว.ค.ป. เกิด : 3 กรกฎาคม 2519
 การศึกษา : - ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างกลโลหะ
 วิทยาลัยการอาชีพนครศรีธรรมราช
 - ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างกลโลหะ
 วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช

2. นายประยุทธ์ บุญฤทธิ์

ที่อยู่ : 50/410 ซอยบุญส่งโสพิศ ถนนนวมินทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม
 กรุงเทพฯ 10240
 ว.ค.ป. เกิด : 29 กันยายน 2519
 การศึกษา : - ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างกลโลหะ
 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
 - ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างโลหะ
 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี
 ประวัติการทำงาน : บริษัท SPG ENGINEERING GROUP จำกัด

3. นายพิเชฐ จิตตารมย์

ที่อยู่ : 6 หมู่ 2 ต.กระเปาะ อ. ฉวาง จ. นครศรีธรรมราช 80260
 ว.ค.ป. เกิด : 30 กันยายน 2517
 การศึกษา : - ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างยนต์
 โรงเรียนเทคโนโลยีไทยสุริยะ รามอินทรา
 - ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างยนต์
 โรงเรียนสงขลาเทคโนโลยี
 ประวัติการทำงาน : บริษัท โซนี่ เชมิกอนดักเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด