สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการกระจายตัวของก๊าซธรรมชาติที่ออกจากหัวฉีดโดยวิธีชูรีเลนน์

STUDY ON BEHAVIOUR OF INJECTED NATURAL GAS (IN ENGINE MODEL) BY SCHLIEREN METHOD

นายวรวิทย์ บุญมาหล้า
นายวโรรส อินทรศิริพงษ์
นายสราวุฒิ แสนโคตร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42449
วัน, เดือน, ปี 23 พ.ค. 2545
.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการกระจายตัวของก๊าซธรรมชาติที่ออกจากหัวฉีดโดยวิธีชูรีเลนน์

STUDY ON BEHAVIOUR OF INJECTED NATURAL GAS (IN ENGINE MODEL) BY SCHLIFREN METHOD

โดย

นายวรวิทย์ บุญมาหล้า

นายวโรรส อินทรศิริพงษ์

นายสราวุฒิ แสนโคตร

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์จินดา เจริญพรพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการกระจายตัวของก๊าซธรรมชาติที่ออกจากหัวฉีดโดยวิธีชูรีเลนน์

STUDY ON BEHAVIOUR OF INJECTED NATURAL GAS (IN ENGINE MODEL)

BY SCHLIEREN METHOD

ผู้จัดทำ

1.นาย วรวิทย์ บุญมาหล้า รหัสประจำตัว 40010682

2.นาย วโรรส อินทรศิริพงษ์ รหัสประจำตัว 40010699

3.นาย สราวุฒิ แสนโคตร รหัสประจำตัว 40010825

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการกระจายตัวของก๊าซธรรมชาติที่ออกจากหัวฉีดโดยวิธีชูรีเลนน์

นายวรวิทย์ บุญมาหล้า 40010682
นายวโรรส อินทรศิริพงษ์ 40010699
นายสราวุฒิ แสนโคตร 40010825
อ.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการกระจายตัวของแก๊สธรรมชาติที่ออกจากหัวฉีดโดยวิธีชูรีเลนน์ (Schlieren) ซึ่งอาศัยหลักการเกิดเงาของแก๊สที่มีความหนาแน่นต่างกันทำให้เกิดการหักเหของแสงไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้สามารถสังเกตการกระจายของแก๊สได้โดยจะพิจารณาที่ความดันแตกต่างกันเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาห้องเผาไหม้ที่เหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมการฉีดแก๊สในรถยนต์ที่ใช้ระบบเชื้อเพลิงแก๊ส ซึ่งจะเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่ประหยัดและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study on behaviour of injected Natural Gas (in engine model) by Schlierlen Method

Worrawit Boonmarlar

Waroros Intarasiripong

Sarawut Saenkhote

Dr. Chinda Charoenphonphanich Advisor

ABSTRACT

This project is studying on behaviour of natural gas form the injector by Schlieren method, which has the concept that differrent shade of the unequal density natural gas. We see the injected natural gas from the injector and study on behaviour of natural gas by vary pressure. And then we can use these data to design and develop the new effective type of combustion chamber and control injection for higher engine efficiency. That useful purpose to use economic fuel and nontoxin.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณและเคารพอย่างสูงแด่บิดามารดาที่ได้ให้กำเนิดและให้โอกาสในการศึกษาที่ดีแก่พวกกระผม นอกจากนี้ยังมีผู้มีพระคุณที่ได้ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนจากบุคคลต่างๆหลายๆท่าน

ขอขอบคุณอาจารย์ จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติให้คำปรึกษาด้านต่างๆอย่างเต็มที่

ขอขอบคุณ พี่ มณฑา เทียมเมือง ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่ โก้ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่ เด่อ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องโปรแกรมคอมพิวเตอร์และคอยให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณ พี่ ชโลธร ที่ให้ยืมกล้องวีดีโอและคำปรึกษาที่ดี

ขอขอบคุณ เปิ้ล เอก แคง ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาด้านวงจร

ขอขอบคุณ พี่โต ใหม่ ป๊อง ชิต หนึ่ง แจ็ค นิ่ม คล พร เซียง ที่มีส่วนช่วยให้โปรเจคนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและคอยให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณน้องๆชมรมอีสานที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆชมรมบอลที่ให้ความอบอุ่นเสมอมา

ขอขอบคุณบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำงาน

ขอขอบคุณเพื่อนๆในกลุ่มทุกคนที่ตั้งใจทำงานและร่วมกันแก้ปัญหามาโดยตลอดจนทำให้งานประสปผลสำเร็จลุล่วงมาด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ แผ่นดินสยาม แผ่นดินเกิดที่สงบร่มเย็น และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังแหล่งประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่พวกเรา

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ชูรีเลนน์	3
2.1 Shadow Graph Method	3
2.2 Schliren Method	3
2.3 การติดตั้งอุปกรณ์ชูรีเลนน์	7
บทที่ 3 ระบบฉีดน้ำมัน (Injection System)	14
3.1 Indirect Injection (IDI)	14
3.2 Direct Injection (DI)	19
บทที่ 4 เชื้อเพลิงก๊าซ	23
4.1 ก๊าซธรรมชาติอัด (CNG)	26
4.2 ก๊าซ LPG (Liquefied Petroleum Gas) หรือ ก๊าซหุงต้ม	30
บทที่ 5 การนำก๊าซ CNG และ LPG มาใช้ในรถยนต์	33
5.1 การนำก๊าซธรรมชาติอัดมาใช้ในรถยนต์	33
5.2 การนำก๊าซ LPG มาใช้ในรถยนต์	37
บทที่ 6 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	52
6.1 แบบจำลองและอุปกรณ์การทดลอง	52
6.2 หลักการทำงานของชุดทดลองและวิธีการทดลอง	60
6.3 วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 7 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	62
7.1 ผลการทดลอง	62
7.2 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	68
7.3 สรุปปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหาสำหรับการพัฒนาต่อไป	68
ภาคผนวก	70
บรรณานุกรม	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
4.1 แสดงสูตรทางเคมีและคุณสมบัติของแก๊ส	26
4.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติอัดกับเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ	27
4.3 แสดงข้อดี ข้อเสียของการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดกับเครื่องยนต์เบนซิน	29
4.4 แสดงข้อดี ข้อเสียของการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดกับเครื่องยนต์ดีเซล	29
4.5 แสดงมาตรฐานของก๊าซ LPG ที่ใช้กับรถยนต์	31
5.1 ผลเฉลี่ยของรถยนต์หลายชนิดที่เปลี่ยนแปลงมาใช้เชื้องเพลิงก๊าซ	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้าที่
2.1 แสดงชุดทดลอง Shadow Graph	3
2.2 แสดงชุดทดลอง Schliren	4
2.3 แสดงการเบี่ยงเบนของแสงที่จุด K	5
2.4 แสดงการเบี่ยงเบนของแสงเมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นรูปสี่เหลี่ยม	6
2.5 แสดงตัวอย่างชุดทดลองตามวิธีชูรีเลนน์	7
2.6 แสดงการจับตามวิธีชูรีเลนน์	8
2.7 ตัวเรือนของแหล่งกำเนิดแสง	9
2.8 การจัดวางกระจก	10
2.9 กระจกเว้าและกระจกราบ	11
2.10 แสดงส่วนประกอบชุดติดตั้งกล้อง	12
3.1 แสดงการพัฒนาระบบการฉีดน้ำมัน	14
3.2 แสดงการฉีดแบบ TBI	15
3.3 แสดงการฉีดแบบ MPI	15
3.4 แผนภาพแสดงตัวรับสัญญาณซึ่งส่งข้อมูลเข้า ECU	16
3.5 แสดงระบบลำเลียงน้ำมันเชื้อเพลิง	17
3.6 แสดงโครงสร้างของหัวฉีดซึ่งใช้โซลีนอยด์กระตุ้นการทำงาน	17
3.7 แสดงการจัดกลุ่มของวาล์วหัวฉีด	18
3.8 แสดง Timing ของวาล์วหัวฉีดสำหรับเครื่องยนต์ 6 สูบ	18
3.9 แสดงลักษณะการฉีดแบบ GDI	19
3.10 In-cylinder Airflow ใน GDI Engine มี Upright Straight In The Port	20
3.11 ลักษณะห้องเผาไหม้	21
3.12 แสดงการเปรียบเทียบการฉีดของระบบ 2 ระบบและการไหลวนของน้ำมัน	21
3.13 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างเครื่องยนต์ GDI และเครื่องยนต์ปัจจุบัน	22
5.1 แสดงอุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับรถยนต์เบนซินที่ดัดแปลงไปใช้ CNG	33
5.2 ภาพแสดงการติดตั้งก๊าซธรรมชาติอัดและน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล	35
5.3 แสดงการติดตั้งหัวพ่นแก๊ส	39
5.4 แสดงตำแหน่งปรับต่างๆของหม้อต้ม	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้าที่
5.5 แสดงส่วนประกอบของหม้อต้ม	42
5.6 แสดงภาพด้านหน้าเมื่อเปิดไดอาแฟรมแผ่นแรก	43
5.7 แสดงภาพแผ่นไดอาแฟรมแผ่นที่ 2	43
5.8 แสดงให้เห็นแผ่นไดอาแฟรมแผ่นหลัง	43
5.9 แสดงภาพด้านหน้าเมื่อเปิดดูไดอาแฟรมแผ่นแรก	44
5.10 แสดงให้เห็นไดอาแฟรมแผ่นหลังของหม้อต้มอีกแบบ	45
5.11 แสดงให้เห็นรูปร่างของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า	45
5.12 แสดงตัวอย่างถังแก๊ส LPG	46
5.13 แสดงตัวกรองและลิ้นปิด-เปิดแก๊ส	47
5.14 แสดงให้เห็นชิ้นส่วนต่างๆของลิ้นปิด-เปิดแก๊ส	47
5.15 แสดงให้เห็นถึงชิ้นส่วนตัวกรองแก๊ส	49
5.16 แสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ของตัวกรองแก๊ส	49
5.17 แสดงให้เห็นรูปร่างและลักษณะคาบูเรเตอร์แก๊ส	50
6.1 แสดงแบบจำลองของชุดทดลอง	52
6.2 แสดงลักษณะ Power Supply	54
6.3 แสดงลักษณะของ Light Source	55
6.4 แสดงลักษณะของ Concave Mirror	55
6.5 แสดงลักษณะของ Reflect Mirror	56
6.6 แสดงลักษณะของ Knife Edge System	56
6.7 แสดงลักษณะของถังแก๊ส LPG	57
6.8 แสดงลักษณะของห้องเผาไหม้จำลอง	57
6.9 แสดงลักษณะของถังไนโตรเจน	58
6.10 แสดงลักษณะของ Vacuum Pump	58
6.11 แสดงลักษณะของชุด Pressure Gage	59
6.12 แสดงลักษณะของอินเตอร์เฟสและวงจรควบคุมการฉีดและถ่ายภาพ	59
7.1 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีด 0.6 บาร์	62
7.2 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีด 1.2 บาร์	63
7.3 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีด 1.8 บาร์	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้าที่
7.4 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีด 2.4 บาร์	63
7.5 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีด 0.6 บาร์ ด้วยโปรแกรมภาษา Visual Basic	64
7.6 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีด 1.2 บาร์ โปรแกรมภาษา Visual Basic	65
7.7 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีด 1.8 บาร์ ด้วยโปรแกรมภาษา Visual Basic	66
7.8 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีด 2.4 บาร์ ด้วยโปรแกรมภาษา Visual Basic	67
รูปภาคผนวกที่	
ผ.1 แสดงวงจรอินเตอร์เฟส	71
ผ.2 แสดง ISA BUS	71
ผ.3 แสดงผังของไอซีที่ใช้ในวงจรอินเตอร์เฟส	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

จากปัจจุบันมีการตื่นตัวที่จะพัฒนายานยนต์ให้ประหยัดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมทำให้มี การศึกษาและพัฒนารถยนต์ให้ใช้ก๊าซเพื่อการคมนามขนส่งแทนน้ำมันเบนซินและดีเซลที่นับวันจะมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ และยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งก๊าซธรรมชาติจะประหยัดกว่าและสะอาดกว่าการใช้น้ำมันมาก เพราะในการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ แต่การใช้ก็ยังอยู่ในวงจำกัด ซึ่งข้อมูลที่จะศึกษาและพัฒนามีน้อยมาก มีบางประเทศได้ให้ความสำคัญที่จะใช้รถยนต์ก๊าซมาก เช่น ประเทศอาร์เจนตินามีรถที่ใช้ก๊าซกว่า 500,000 คันซึ่งมากที่สุดในโลกและพบว่าปัญหามลพิษลดลงและประหยัดค่าใช้จ่ายลงมาก

สำหรับในประเทศไทยปัจจุบันมีการเริ่มนำ LPG มาใช้กันมากขึ้นแต่ก็ยังอยู่ในวงจัดกัด ส่วน CNG ก็ได้มีการทดลองมาใช้กับรถประจำทางขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพฯ ในเขตการเดินรถสำโรง ปู่เจ้า สมิงพราย และทาง ปตท.มีโครงการที่จะทดลองใช้ CNG กับรถยนต์ที่วิ่งใช้งานอยู่ตามแนวท่อก๊าซธรรมชาติด้วย จากที่ได้กล่าวมาแล้วถึงแม้ว่าเริ่มมีการหันมาใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงกันบ้างแล้วแต่เมื่อศึกษาถึงปริมาณรถยนต์ที่ใช้แก๊สยังน้อยอยู่และอยู่ในวงจำกัด เพราะคนทั่วไปยังขาดความรู้และข้อมูลที่จะทำให้ตัดสินใจที่จะเปลี่ยนมาใช้แก๊ส หากมีการศึกษาและพัฒนาอย่างจริงจังแล้วทำการเผยแพร่ให้คนทั่วไปได้รู้ถึงข้อดีของก๊าซธรรมชาติแล้ว เชื่อว่าในอนาคตรถยนต์ที่ใช้ก๊าซจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประหยัดพลังงานและลดปัญหามลพิษ

ปัจจุบันไทยสั่งน้ำมันดิบเข้าประเทศเป็นจำนวนมากและนับวันจะยิ่งเพิ่มสูงขึ้น ถ้ามีการพัฒนารถยนต์ให้ใช้ก๊าซซึ่งสามารถผลิตได้ภายในประเทศจะสามารถประหยัดและลดการนำเข้าน้ำมันได้เป็นอย่างดี

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเคยมีผู้ศึกษาเกียวกับรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติมาบ้างแล้วแต่ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพและการปรับปรุงรถยนต์ที่เปลี่ยนจากการใช้น้ำมันเป็นก๊าซธรรมชาติ ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการศึกษาในแง่การกระจายตัวของก๊าซธรรมชาติที่ออกจากหัวฉีด ซึ่งแต่เดิมที่ใช้กันมากมีแต่เฉพาะคาร์บูเรเตอร์ รถยนต์แก๊สที่ใช้หัวฉีดยังมีน้อย และในขั้นตอนการศึกษาจะศึกษาการกระจายตัวของก๊าซธรรมชาติโดยวิธีโดยวิธี ชูลิเรนน์ ซึ่งเป็นครั้งแรกที่นำวิธีนี้มาศึกษาเพราะเห็นว่าจะสามารถเห็นภาพการกระจายตัวได้โดยตรงอย่างชัดเจนโดยไม่ต้องมีการเติมสี เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาและนำไปสู่การพัฒนารถยนต์ใช้ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งการใช้วิธีชูรีเลนน์

หากมีการพัฒนาที่จะนำก๊าซมาใช้แทนน้ำมันอย่างจริงจังแล้ว จากข้อดีของก๊าซที่สะอาดไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและประหยัดเชื่อว่ารถยนต์ที่ใช้ก๊าซจะมาแทนที่รถยนที่ใช้น้ำมันในอนาคตอันใกล้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีดด้วยวิธีชูริเลนน์
2. นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของแก๊สที่ความดันต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาและพัฒนาในการควบคุมการฉีดแก๊สในรถยนต์ที่ใช้ระบบแก๊สได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการกระจายตัวของแก๊สในห้องเผาไหม้จำลองที่สามารถปรับควบคุมความดันในห้องเผาไหม้ได้
2. ใช้แก๊ส LPG เป็นตัวอย่างเชื้อเพลิงแก๊สในการศึกษาวิจัยเพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษา CNG ต่อไป
3. ใช้หัวฉีดแก๊สที่ทนความดันได้สูงสุด 2.6 bar

1.4 วิธีการดำเนินงาน

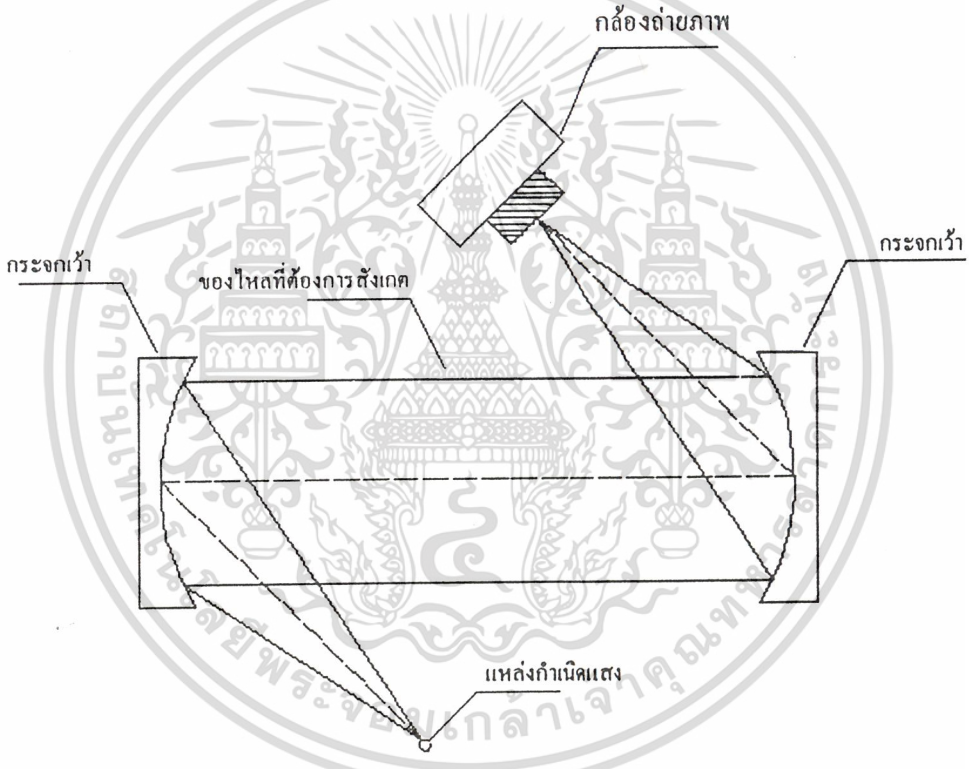
1. งานวิจัยในโครงงานนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งมีเรื่องหลัก ๆ คือ ทฤษฎีชูริเลนน์ วิธีใช้อุปกรณ์ชูริเลนน์ เชื้อเพลิงแก๊สที่นิยมใช้ในรถยนต์ (LPG และ CNG) และวงจรทางอิเลกทรอนิกส์ที่จะนำมาใช้ควบคุมเวลาซึ่งรายละเอียดจะแสดงในบทที่ 2 ,3 ,4 และ 5
2. สร้างและจัดหาอุปกรณ์ที่จะนำมาทดลองศึกษาการกระจายตัวของแก๊สธรรมชาติ
   2.1 ห้องเผาไหม้จำลอง
   2.2 ชุดอุปกรณ์ชูริเลนน์
   2.3 ชุดวงจรควบคุมการฉีดและถ่ายภาพ
   2.4 ชุดถังแก๊ส
   2.5 Vacuum pump และถังแก๊สไนโตรเจน
   2.6 หัวฉีดแก๊สธรรมชาติ
   2.7 Personal computer
3. ทำการทดลอง สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองซึ่งจะแสดงรายละเอียดในบทที่ 6 และ บทที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ชูรีเลนน์

2.1 Shadow Graph Method

หลักการ คือ การใช้การหักเหของแสงผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นของของไหล (ตัวกลาง)ไม่สม่ำเสมอทั้งตัวกลางซึ่งผลที่แสดงนั้นจะเห็นเป็นภาพเงา ดังแสดงในรูปที่ 2.1

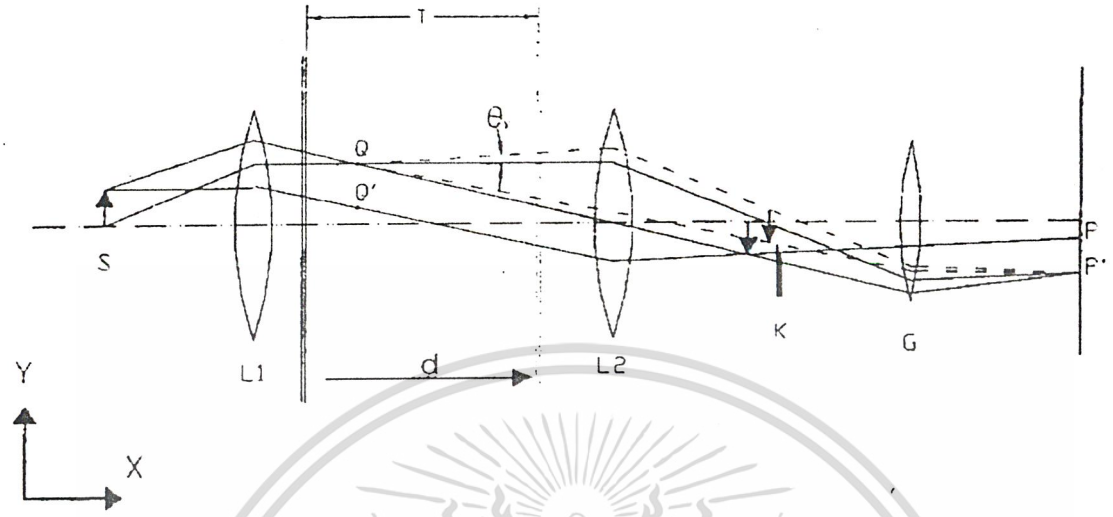


รูปที่ 2.1 แสดงชุดทดลอง Shadow Graph

2.2 Schlieren Method

หลักการคล้ายกับ Shadow Graph แต่มีความละเอียดสูงกว่าและเห็นภาพได้ชัดเจนกว่า คำว่าSchlieren เป็นภาษาเยอรมัน หมายถึง การผิดเพี้ยนของภาพที่เกิดจากการเบี่ยงเบนของแสงดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงชุดทดลอง Schieren

แหล่งกำเนิดแสง (S) วางอยู่ที่จุดโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 1 (L1) และในช่วงที่ทดสอบ (T) จะอยู่ระหว่างเลนส์ตัวที่ 1 (L1) กับเลนส์ตัวที่ 2 (L2) ซึ่งมีระยะ d เมตร จะเห็นว่าแสงที่ออกจากเลนส์ตัวที่ 1 จะเป็นแสงขนานผ่านช่วงที่ทดสอบ (T) ไปยังเลนส์ตัวที่ 2 และแสงจะรวมกันที่จุดโฟกัสของเลนส์ตัวที่ 2 (จุด k) และที่จุด k ก็ยังเป็นจุดโฟกัสของกล้อง (G) อีกด้วย เลนส์ของกล้อง (G) จะทำให้แสงที่ผ่านมาเป็นแสงขนานและไปทำให้เกิดภาพบนฉาก (Screen)

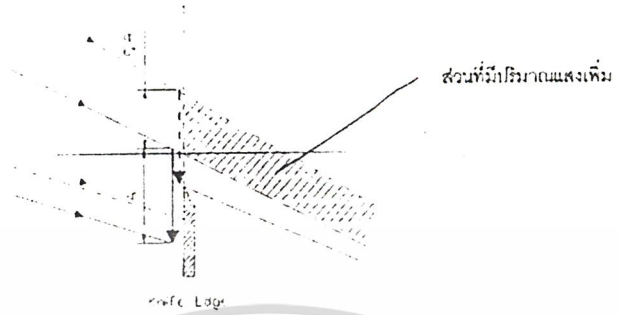
ถ้าความหนาแน่นของของไหล (ตัวกลาง) ในช่วงที่ทดสอบ (T) มีความสม่ำเสมอ โดยลำแสงจะผ่านจุด Q และ Q' (เส้นเต็ม) จะมารวมกันที่จุด k พอดี และภาพที่ได้จะเป็นภาพที่ชัดเจน

แต่ถ้าในช่วง T มีความหนาแน่นของของไหล (ตัวกลาง) ไม่สม่ำเสมอลำแสงจะเกิดการเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิม พิจารณาที่จุด G แสงจะเบี่ยงเบนไปจากแนวเดิมเป็นมุม θ_y (เส้นประ) และรูปที่เกิดขึ้นที่จุด k ก็จะเบี่ยงเบนไปด้วย โดยระยะที่เบี่ยงเบนจะมีค่าเท่ากับ $F_2\theta_y$ ดังแสดงในรูปที่ 2.3

โดย F_2 = Focus of lens 2

θ_y = มุมของการเบี่ยงเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการเบี่ยงเบนของแสงที่จุด k

ถ้าเราใช้แหล่งกำเนิดแสงรูปสี่เหลี่ยมและเราวาง Knife edge ไว้ที่จุด k และความหนาแน่นของของไหล (ตัวกลาง) ในช่วง T มีความสม่ำเสมอแล้ว Knife edge จะตัดลำแสงบางส่วนออกไปทำให้เกิดภาพที่เกิดบนฉากหายไปบางส่วน โดยมีความเข้มของแสงสม่ำเสมอทั้งภาพ

แต่ถ้าในกรณีที่ช่วง T มีความหนาแน่นของตัวกลางไม่สม่ำเสมอ ลำแสงจะเกิดการเบี่ยงเบนตามรูปที่ 2.3 (เส้นประ) ลำแสงที่เบี่ยงเบนเลื่อนขึ้นไปเหนือ Knife edge ลำแสงที่ผ่าน Knife edge จะไปตกบนฉากมากขึ้นทำให้ตำแหน่งนี้มีความสว่างมากกว่าจุดอื่นแต่ถ้าลำแสงเบี่ยงเบนลงมาให้ขอบของ Knife edge ความสว่างในจุดนั้นจะลดลง

โดยความสว่างที่เพิ่มขึ้นนั้นสามารถหาได้จากสมการ

$$\frac{\Delta I}{I} = \frac{F_2 \theta_y}{A}$$

เมื่อ ΔI = ความสว่างที่เปลี่ยนไป

I = ความสว่าง

A = ความสูงของแหล่งกำเนิด

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเห็นว่าเราสามารถเพิ่มความไว (Sensitivity) ของ Schlieren ได้โดย

- เพิ่มระยะ F2 ให้ Source มีขนาดเล็ก

ข้อจำกัด : ขนาดของ Source (A) ที่เล็กที่สุดนั้นจะสามารถหาได้จากสมการ

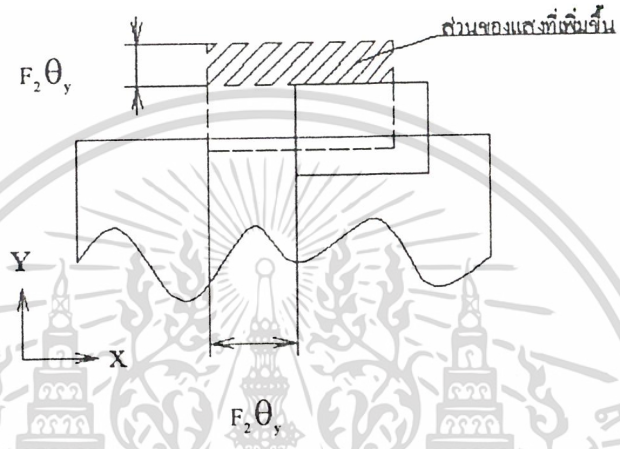
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_{min} = \frac{\lambda F_2}{2S}$$

เมื่อ (= ความยาวคลื่นแสง

S = ความสูงของช่องแคบตัดแสง (Slip)

- ให้มุมเบี่ยงเบน θ_y เพิ่มขึ้นโดยเพิ่มระยะ d



รูปที่ 2.4 แสดงการเบี่ยงเบนของแสงเมื่อใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นรูปสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่า Knife edge จะไม่มีอิทธิพลต่อการเบี่ยงเบนในแนวแกน X ดังนั้นการวาง Knife edge จึงต้องพิจารณา มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นในแนวแกนไหนบ้าง และต้องพิจารณาในแนวแกนไหนจึงจะได้ประสิทธิภาพสูงสุด

ชุดทดลองในรูปที่ 2.5 เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุดโดยจะใช้กระจกเว้าเพราะผลิตได้ง่าย ไม่ดูดกลืนแสง หรือสี และเนื่องจากการผลิตเลนส์ที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีจุด Focus ยาวๆ นั้นทำได้ยากกว่ากระจกเว้ามาก

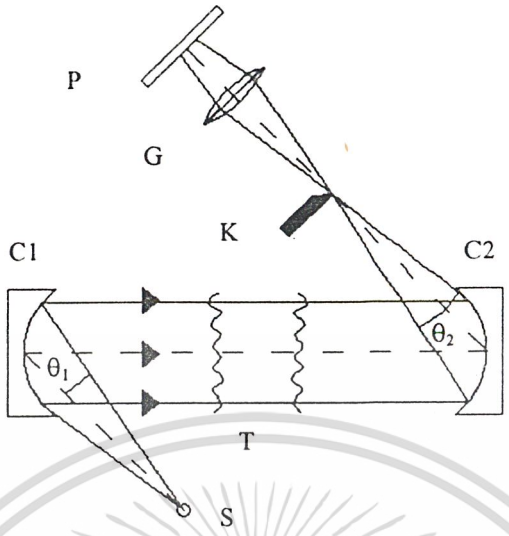
ในรูปใช้กระจกเว้า C1 และ C2 โดยมีความโค้งเป็น Parabola แต่ถ้ากระจกมีขนาดเล็กจะใช้เป็นกระจกโค้งรัศมีวงกลมก็ได้

สำหรับการจัดชุดอุปกรณ์ทดลองนั้น มุม q1 และ q2 ควรจะมีขนาดเล็กเพื่อป้องกันการผิดเพี้ยนของแสง ซึ่งควรจะเล็กกว่า 7 องศา และระยะห่างระหว่าง C1 และ C2 ควรจะมากกว่า 2 เท่าของความยาวโฟกัส บางครั้งอาจนำเอากระจกรูปมาใช้เพื่อย่นระยะทางได้ สำหรับระยะ d นั้นควรจะยาวกว่าความยางโฟกัสของ C2

C1 และ C2 ควรจะอยู่ในระนาบเดียวกันหันตรงเข้าหากัน โดยมีความสมมาตรรอบจุดศูนย์กลางของกระจกทั้ง 2 ตัว

การนำเอา Color Filter มาแทน Knife edge ทำให้รูปที่ได้เป็นสี Color Schlieren และสามารถคำนวณค่าความหนาแน่นของบริเวณนั้น ๆ ได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างชุดทดลอง

2.3 การตั้งอุปกรณ์ชูรีเลนน์

2.3.1. ระบบการมองเห็น

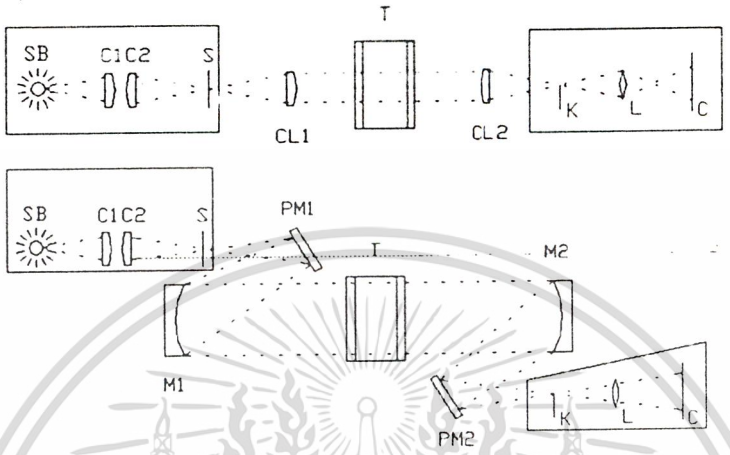
ระบบชูรีเลนน์โดยใช้กระจกเว้า

ระบบชูรีเลนน์โดยใช้กระจกเว้าวิธีนี้อุปกรณ์จะมีราคาปานกลาง เราสามารถที่จะปรับอุปกรณ์เพื่อใช้งานได้ในหลายจุดประสงค์โดยง่าย โดยระบบชูรีเลนน์โดยใช้กระจกเว้านั้นจะแสดงดังในรูปที่ 1 โดยมีหลักการทำงานดังนี้

1. ลำแสงจะผ่านมาจาก pin hole ของแหล่งกำเนิดแสง
2. แสงที่ผ่านออกมาจะตกกระทบกระจกราบ PM1 และสะท้อนกระจก PM1 ออกมา
3. แสงที่ออกมาจากข้อ 2. จะมาเข้าที่กระจกเว้า M1
4. กระจกเว้า M1 จะรวมแสงที่กระจายให้เป็นแสงขนาน
5. แสงที่ผานกระจกเว้า M1 จะผ่านไปที่กระจกเว้าตัวที่สอง M2
6. แสงจากข้อ 5. จะถูกรวมจะเป็นที่ลู่เข้าหากันและจะไปสะท้อนที่กระจกราบตัวที่สอง PM2
7. ในที่นี้เราจะทำการตั้งชุดใบมีดไว้ที่โฟกัส
8. จากนั้นแสงจะผ่านเลนส์ L และตกกระทบที่ฉาก C เกิดเป็นภาพขึ้น

โดยที่บริเวณที่เราทดลองนั้นจะอยู่บริเวณกระจกเว้า M1 และ M2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.6 แสดงการจัดตามวิธีชูริเลนน์

2.3.2 ฐานสำหรับการติดตั้ง

ระบบชูรีเลนน์นี้จะค่อนข้างไวต่อการสั่นสะเทือนค่อนข้างมากดังนั้นเราจึงควรวางในที่ที่ไม่มีการเคลื่อนไหว อย่างไรก็ตามเราไม่ต้องสนใจเรื่องการสั่นสะเทือนมากนักถ้าเราใช้ระบบชูรีเลนน์กับกล้องที่มีความเร็วสูง

2.3.3 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบชูรีเลนน์โดยใช้กระจกเว้า

1. แหล่งกำเนิดแสงและแหล่งกำลัง ประกอบด้วย

1.1 ตัวเรือนแหล่งกำเนิดแสง

โดยตัวเรือนของแหล่งกำเนิดแสงนี้จะมีหลอกไฟสองหลอดอยู่ภายใน หลอดหนึ่งคือ หลอดไฟ Xenon 300w และอีกหลอดคือหลอดไฟปรอทความดันสูง 200w เราสามารถหมุนกระจกเพื่อรับแสงของตัวใดตัวหนึ่ง ถ้าคุณต้องการแสงจาก หลอดไฟ Xenon (หรือหลอดไฟปรอทความดันสูง) คุณก็หมุนที่ลูกบิดไปที่สัญลักษณ์ Xe (หรือเป็น Hg) โดยแสงที่ออกจากหลอดไปจะไปตกกระทบกระจกและสะท้อนผ่านเลนส์เว้า แสงที่ผ่านออกมาจากเลนส์เว้าจะมารวมกันที่โฟกัสนั่นก็คือที่ pin hole พอดี โดย pin hole จะมีอยู่ 3 ชนิดซึ่งจะต่างกันตามาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง คุณสามารถได้ลำแสงที่ขนานกันมากขึ้นโดยการเลือกขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่เล็กลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แหล่งจ่ายกำลัง

โดยแหล่งกำลังนี้จะมีอยู่ 2 ชนิดเช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดแสง ตัวแรกสำหรับหลอด Xe ตัวที่สองสำหรับหลอด Hg โดยสายที่ต่อกันระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและแหล่งกำลังจะไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงควรสังเกตให้ดี

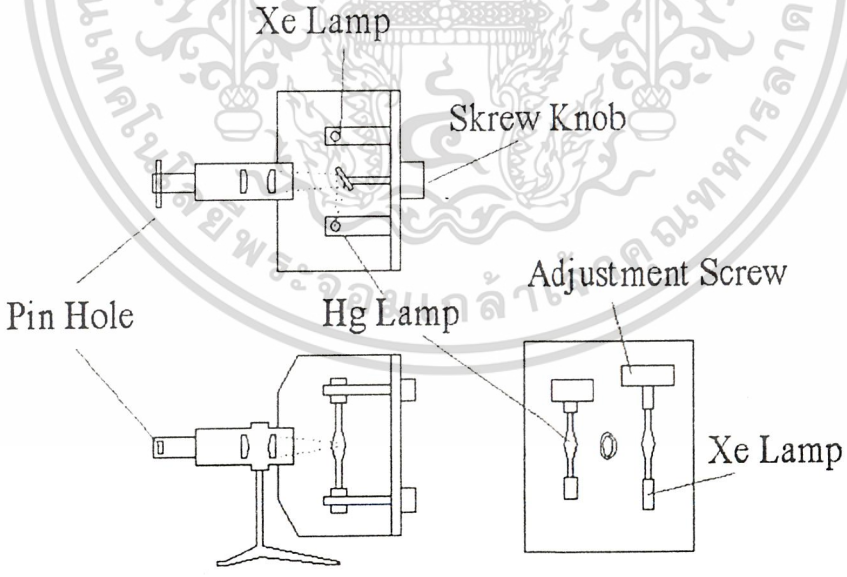
เมื่อคุณต่อสายเรียบร้อยแล้วเปิดสวิตช์ จะมีไฟแสดงขึ้นมาโดยหลอด Hg หรือ Xe จะติดก็ต่อเมื่อคุณได้กดสวิตช์สตาร์ท คุณจะสามารถเห็นแสงกลมบนฉากกระดาษสีขาวตรงหน้าของ pin hole ถ้าคุณพบการสั่นไหวของความชัดเจนของแสงในฉากรับแล้วแสดงว่าคุณได้จัด pin hole ในตำแหน่งที่ผิด โดยคุณจะต้องพยายามปรับให้การสั่นไหวนั่นหายไป

2.3 การซ่อม

ในกรณีที่เรากดสวิตช์แหล่งกำเนิดแสงถูกต้องตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่พบว่าไม่มีแสงออกมาจากแหล่งกำเนิด นั่นหมายความว่าหลอดไฟอาจจะหมดอายุแล้ว โดยหลอด Hg จะมีอายุใช้งานเฉลี่ยประมาณ 200 ชั่วโมง และหลอด Xe ประมาณ 1200 ชั่วโมง บางครั้งอายุการใช้งานอาจจะยาวนานกว่านั้น ดังนั้นบางครั้งคุณอาจจะลองกดสวิตช์สตาร์ทหลาย ๆ ครั้งก็ได้

คุณสามารถเปลี่ยนหลอดไฟโดยถอดฝาหลังออกและไขนอตที่ฝาบนออก ต่อไปก็เอาหลอดไฟออก โดยในขณะที่เปลี่ยนหลอดไฟนี้ห้ามสัมผัสแก้วที่หลอดไฟเด็ดขาด

คุณจะปรับหลอดไฟในตำแหน่งที่ถูกต้องได้โดยดูจากแสงที่ออกจาก pin hole ที่ความคมชัด ไม่มีการสั่น โดยเราสามารถปรับขึ้นลง ซ้ายขวาได้จากสกรูที่ด้านหลังของฝาหลัง

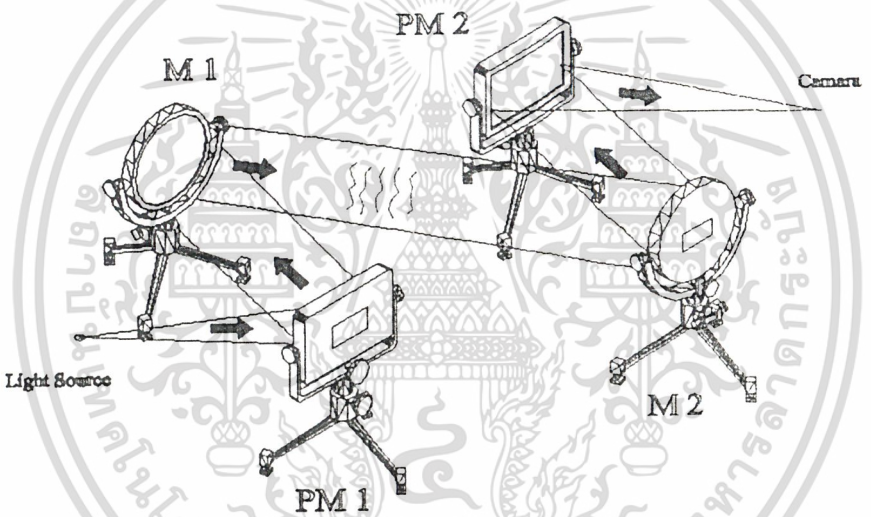


รูปที่ 2.7 ตัวเรือนของแหล่งกำเนิดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การปรับกระจกเว้า

การปรับกระจกเว้าทำได้โดยเริ่มจากหันกระจกทั้งสองเข้าหากัน จัดวางแหล่งกำเนิดแสงทำมุมประมาณ 20 องศาเข้าหาจุดศูนย์กลางกระจกโดยระยะระหว่าง pin hole กับกระจกเว้านี้คือระยะโฟกัส ต่อมาจึงเปิดแหล่งกำเนิดแสงให้ตกระทบกระจกโดยคุณจะต้องแน่ใจว่าแสงจะเข้าที่กลางของกระจกเว้าตัวแรกนี้ จากนั้นปรับให้แสงจากกระจกเว้าตัวแรกสะท้อนไปยังตัวที่สอง จากนั้นสังเกตุว่าขนาดของแสงที่ปรากฏที่กระจกเว้าตัวที่สองกับตัวแรกมีขนาดเท่ากันหรือไม่ ถ้าไม่แสดงว่าลำแสงที่ผ่านกระจกเว้าตัวแรกมาไม่ขนานกัน สามารถปรับได้โดยเลื่อนกระจกเว้าตัวที่ 1 เข้าหาหรือออกจาก pin hole (โดยเราแนะนำว่าคุณควรพยายามทำให้แสงในกระจกทั้งสองมีขนาดใกล้เคียงกันที่สุด) เมื่อได้แสงที่ขนานแล้ว แสงที่ออกจากกระจกเว้าตัวที่สองจะมารวามกันที่จุกโฟกัส ให้วางชุดมีดไว้ที่โฟกัสนี้จากนั้นคุณก็ติดตั้งกล้อง หรือถ้าคุณใช้ฉากขาวแทนกล้องคุณก็จะได้ภาพในลักษณะเดียวกัน โดยในกรณีที่ได้ภาพไม่เหมือนกันให้ปรับที่แหล่งกำเนิดแสง



รูปที่ 2.8 การจัดวางกระจก

หมายเหตุ กระจกเว้านี้ได้ทำการเคลือบสารเคมีเพื่อเพิ่มความแข็งแรงหลังจากผ่านการขัดและเคลือบอลูมิเนียม แต่กระจกอาจจะไม่แข็งแรงเท่ากับกระจกทั่วไปที่ผ่านการฉาบด้วยทอง ดังนั้นจึงไม่ควรจับที่กระจก ในกรณีที่พื้นผิวกระจกสกปรกอันเนื่องมาจากฝุ่นละออง รอยนิ้วมือ น้ำมัน คุณสามารถเช็ดด้วยผ้าชุบน้ำมันเบนซินหรือทินเนอร์แล้วก็ทำให้แห้ง โดยในกรณีที่มีสิ่งสกปรกเกาะอยู่เล็กน้อยก็สามารถทำการถ่ายถาพได้ตามปกติ แต่ถ้าเป็นรอยขีดข่วนนั้นคุณควรจะนำกระจกไปเคลือบผิวอีกครั้ง

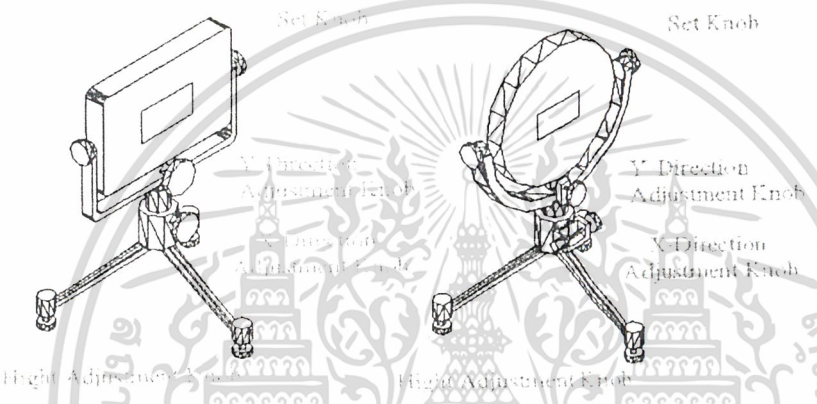
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในกรณีที่ใช้กระจกราบ

ในบางกรณีอาจมีอุปสรรค์ในทางเดินของแสงระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับกระจกเว้าตัวที่หนึ่งหรือระหว่างกระจกเว้าตัวที่สองกับชุดมีด เราขอแนะนำคุณให้ใช้กระจกราบเพื่อเปลี่ยนทางเดินของแสง โดยพยายามจัดวางกระจกราบให้มุมที่เข้าสู่ศูนย์กลางของกระจกเว้ามีขนาดเล็กที่สุด

4. วิธีการใช้งานกระจกราบและกระจกเว้า

คุณสามารถจัดทิศทางของหน้ากระจกโดยที่หมุนปรับแกน X ที่หมุนปรับแกน Y ที่หมุนปรับความสูงและที่หมุนเซ็ท



รูปที่ 2.9 กระจกเว้าและกระจกราบ

2.3.4 การทดสอบ

1. การทดสอบเบื้องต้น

ทำได้โดยการวางไม้ขีดหรือโลหะร้อนที่บริเวณทดสอบ (ระหว่างกระจกเว้าสองตัว) และคุณลองสังเกตเงาของความร้อน ต่อมาลองปรับที่ชุดมีดที่ไมโครมิเตอร์เพื่อตัดลำแสงออกไป โดยความคมชัดของภาพจะสัมพันธ์ที่การปรับชุดมีด โดยภาพที่สมบูรณ์นั้นจะมีลวดลายของความสว่างและความมืด

2. การทดสอบหลัก (เพื่อหาระยะโฟกัส)

เราทำได้โดยปรับที่ระยะของกล้องโดยหมุนปรับให้กล้องเลื่อนเข้าออกไปมาอย่างช้า ๆ และละเอียดเพื่อหาตำแหน่งที่ได้ภาพชัดเจนที่สุด

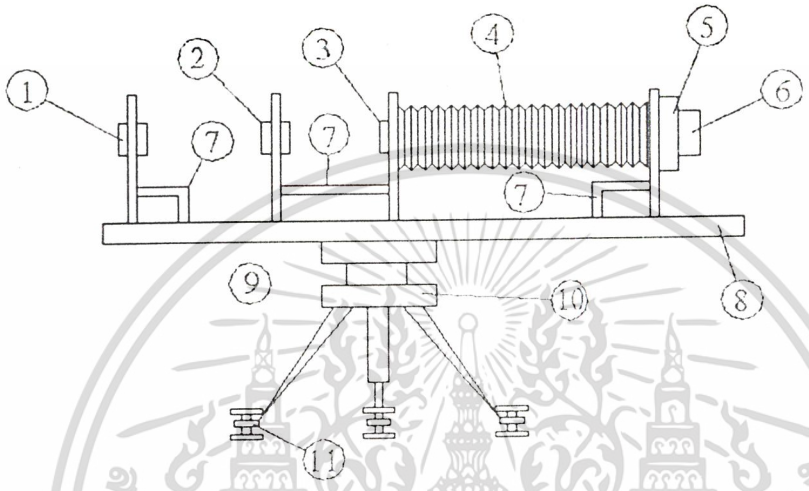
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ชุดสังเกต

1. โครงร่าง

ชุดสังเกตุนี้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อถ่ายภาพของวิธีชูริเลนน์หรือการแทรกสอด โดยจะมีอยู่สองรุ่นคือ รุ่น III (กล้อง 35 มม.) และรุ่น IV (กล้องโพลารอยด์หรือกล้อง 35 มม.)

2. โครงสร้าง



รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบชุดติดตั้งกล้อง

3. คำอธิบายในแต่ละส่วน

3.1 ชุดมีด(มีดคู่)

ลำแสงจะถูกตัดโดยการหมุนปรับที่ไมโครมิเตอร์ของชุดมีด โดยที่สกรูอีกตัวไม่จำเป็นต้องปรับก็ได้ โดยลำแสงแตกต่างที่ถูกตัดทั้งหมดขึ้นอยู่กับความสว่างของความหนาแน่นของแสง ดังนั้นเราจึงไม่สามารถอธิบายแสงที่ถูกตัดทั้งหมดในที่นี้ได้ คุณจะควบคุมการตัดแสงทั้งหมดขึ้นอยู่กับการทดลอง พูดง่าย ๆ ก็คือ คุณควรตัดแสงเยอะ ๆ ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นมาก ๆ และควรตัดแสงน้อย ๆ ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของแสงน้อย

หมายเหตุ ทิศทางการตัดแสงจะตรงข้ามกับการไหล

3.2 เลนส์กล้อง 55 มม.

เลนส์กล้องจะทำหน้าที่รวมแสงที่ผ่านเลนส์ให้ไปตกลงบนฟิล์ม อย่างไรก็ตามเราสามารถเลือกความยาวโฟกัสของเลนส์กล้องได้ตามแต่จุดประสงค์ที่เราต้องการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ชัตเตอร์ (ไม่จำเป็นสำหรับรุ่น III)

ความเร็วชัตเตอร์สูงสุดคือ 1/400 การเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วของงานที่จะทดลอง

3.4 แท่นเลื่อน

เมื่อทำการติดตั้งชุดทดลองชุรีเลนน์เสร็จ ชุดมีดอาจจะยังไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยจะสามารถปรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องได้โดยการปรับที่แท่นเลื่อน (รวมไปถึงการปรับกล้องและเลนส์กล้อง) การปรับเราจะปรับได้ทั้งใช้มือปรับโดยตรงหรือใช้สกรูปรับละเอียด ถ้าต้องการให้ตำแหน่งที่ถูกต้องไม่เคลื่อนย้ายแล้วก็สามารถปรับล็อคที่สต็อปเปอร์สกรู

4. การติดตั้ง

ลำแสงจะผ่านจากจุดทดสอบ และผ่านมากระจกเว้าและรวมที่จุดโฟกัสของกระจกเว้าตัวที่สอง ติดตั้งชุดมีดที่ตำแหน่งโฟกัสดังกล่าว ชุดมีดสามารถปรับเลื่อนได้จาก 7

จากนั้นทำการปรับโฟกัสกล้องให้ชัดเจน แล้วมาปรับที่ชุดมีด โดยจะปรับให้ตัดแสงมากน้อยเพียงใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับงานของคุณที่ทดสอบมีลักษณะเช่นไร

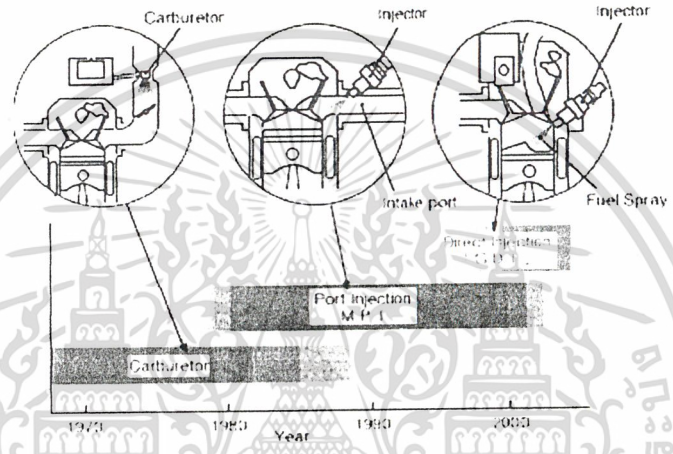
5. การถ่ายภาพ

เปิดสวิตช์ของของไฟและควรแน่ใจว่าการปรับติดตั้งอุปกรณ์ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้ทำอย่างสมบูรณ์แล้ว จากนั้นตั้งความเร็วชัตเตอร์และกดชัตเตอร์ภาพก็จะถูกถ่าย โดยที่ความเร็วชัตเตอร์ขึ้นอยู่กับความสว่างของการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระบบการฉีดน้ำมัน (Injection System)

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาระบบการจ่ายน้ำมันแบบหัวฉีด(Injection System) มาใช้แทนคาร์บูเรเตอร์ ซึ่งการใช้หัวฉีดน้ำมันนั้นจะทำให้ควบคุมปริมาณการฉีดน้ำมันได้ดีกว่าซึ่งการพัฒนาการฉีดน้ำมันดูได้จากรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการพัฒนาระบบการฉีดน้ำมัน

ระบบการฉีดน้ำมันปัจจุบัน แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

3.1 Indirect Injection (IDI)

เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนที่ใช้ระบบหัวฉีดจะมีช่องวาล์วปีกผีเสื้อ (Throttle Body) ติดตั้งอยู่บนท่อรวมไอดี ซึ่งมีลักษณะคล้ายช่องวาล์วปีกผีเสื้อที่ส่วนล่างของคาร์บูเรเตอร์

วาล์วปีกผีเสื้อจะขยับเคลื่อนที่เมื่อผู้ขับขี่กดคันเร่ง เพื่อยอมให้อากาศผ่านไปได้มากหรือน้อย

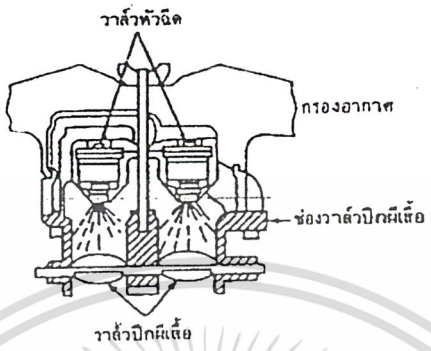
ในลักษณะเดียวกันระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยปริมาณที่เหมาะสมเพื่อผสมกับอากาศและได้ส่วนผสมที่เหมาะสมกับการเผาไหม้ การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

3.1.1 การฉีดเข้าช่องวาล์วปีกผีเสื้อ (Throttle Body Injection, TBI)

หรือเรียกว่าการฉีดจุดเดียว น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดที่จุดเดียว (Single Point Injection) บนวาล์วปีกผีเสื้อ ก่อนที่อากาศจะผ่านวาล์วเข้าสู่ท่อร่วมไอดี ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

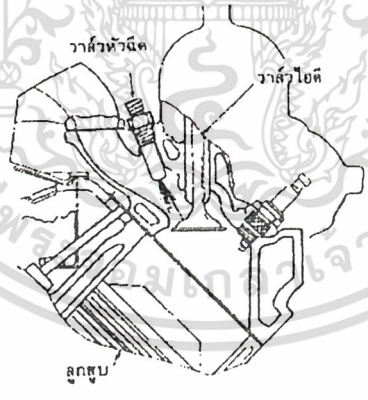
หรือเรียกว่าการฉีดจุดเดียว น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดที่จุดเดียว (Single Point Injection) บนวาล์วปีกผีเสื้อ ก่อนที่อากาศจะผ่านวาล์วเข้าสู่ท่อร่วมไอดี ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงการฉีดแบบ TBI

3.1.2 การฉีดเข้าช่องไอดี (Port Injection) หรือการฉีดหลายจุด (Multi-point Injection,MPI)

การฉีดแบบนี้น้ำมันเชื้อเพลิงจะฉีดที่ตำแหน่งต่างๆ ในท่อร่วมไอดีก่อนทางเข้าห้องเผาไหม้ของแต่ละกระบอกสูบ ดังรูปที่ 3.3



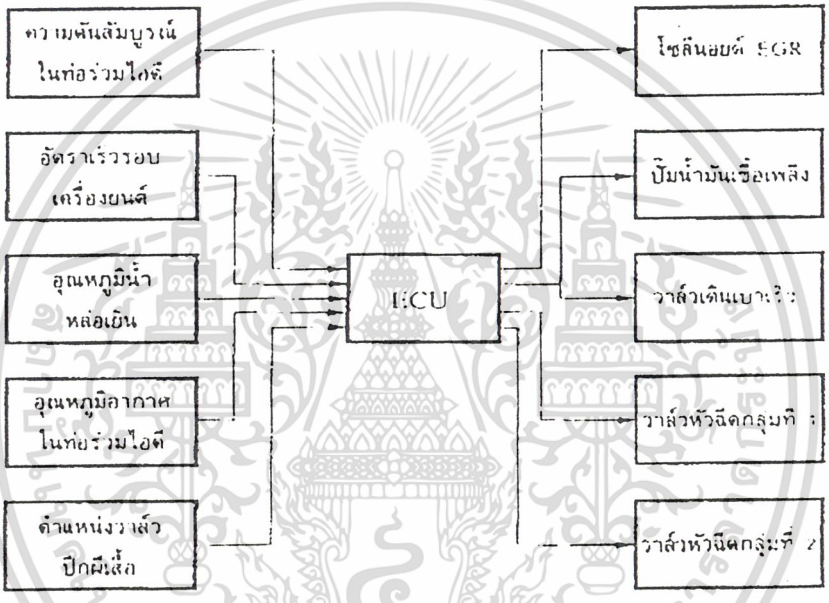
รูปที่ 3.3 แสดงการฉีดแบบ MPI

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาระบบอีเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Unit) มาความคุมการฉีดน้ำมัน ทำให้การฉีดน้ำมันเป็นไปอย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFI : Electronic Fuel-Injection System

ระบบหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ (EFI) ประกอบด้วยชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU-Electronic Control Unit) และตัวรับสัญญาณต่าง ๆ มากมาย ตัวรับสัญญาณจะส่งสัญญาณไปยัง ECU ตามสภาพการทำงานต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ เช่น อัตราเร็วรอบ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ตำแหน่งวาล์วปีกผีเสื้อ และอื่น ๆ ECU จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านั้นและสั่งการให้วาล์วหัวฉีดน้ำมันป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยปริมาณที่เหมาะสมกับสภาพการทำงานขณะนั้นดังรูปที่ 3.4

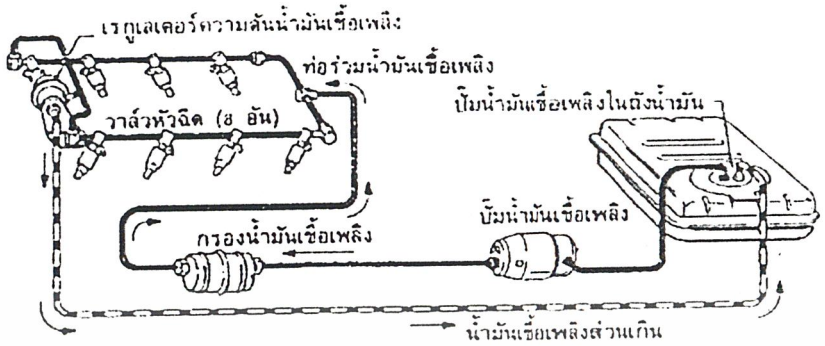


รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงตัวรับสัญญาณซึ่งส่งข้อมูลเข้า ECU
ECU จะสั่งการไปยังส่วนอื่นๆ ของระบบ

ระบบ EFI รุ่นใหม่จะมีตัวรับสัญญาณออกซิเจนด้วย โดยจะทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียแล้วส่งข้อมูลไปยัง ECU ถ้ามีออกซิเจนมากเกินไปแสดงว่าส่วนผสมบางเกินไป แต่ถ้ามีออกซิเจนน้อยเกินไป แสดงว่าส่วนผสมหนาเกินไป ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดก็ตาม ECU จะปรับอัตราส่วนผสมให้เหมาะสมโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

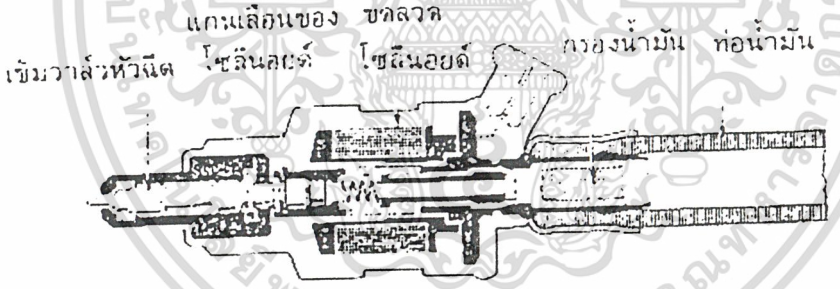
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3.5 แสดงระบบลำเลียงน้ำมันเชื้อเพลิง

ระบบลำเลียงน้ำมันเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 3.5 ภายในระบบลำเลียงน้ำมันเชื้อเพลิงของระบบ EFI ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงลำเลียงน้ำมันเชื้อเพลิงผ่านกรองน้ำมันเชื้อเพลิงไปยังวาล์วหัวฉีด วาล์วหัวฉีดแต่ละอันทำงานได้โดยโซลีนอยด์ไฟฟ้าขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงโครงสร้างของหัวฉีดซึ่งใช้โซลีนอยด์กระตุ้นการทำงาน

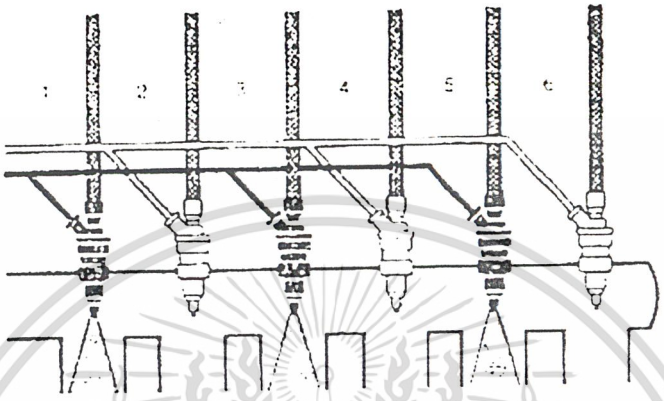
เมื่อโซลีนอยด์ต่อกับแบตเตอรี่โดยผ่าน ECU โซลีนอยด์จะดึงเข็มวาล์วเลื่อนถอยหลัง น้ำมันเชื้อเพลิงจึงถูกฉีดออกจากวาล์ว วาล์วหัวฉีดจะถูกเปิดนานเท่าใดขึ้นอยู่กับคำสั่งจาก ECU เช่น ถ้าต้องการเร่งเครื่องยนต์วาล์วจะต้องถูกเปิดแช่ไว้เป็นเวลานานขึ้น เพื่อให้เครื่องยนต์ได้รับน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างเพียงพอ

Timing ของวาล์วหัวฉีด (เมื่อวาล์วเปิด) หาได้จากตัวรับสัญญาณอัตราเร็วซึ่งติดตั้งอยู่ภายในจานจ่าย ซึ่งประกอบด้วย Reed Switch 2 ชุด และแม่เหล็ก 2 ตัว ทุกครั้งที่แม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านรีดสวิทช์ หน้าสัมผัสจะสวิตช์จะชนกัน สิ่งนี้จะเป็นสัญญาณให้ ECU กระตุ้นการทำงานของวาล์วหัวฉีดกลุ่มหนึ่ง แต่เมื่อหน้าสัมผัสของอีกสวิตช์หนึ่งชนกัน จะกระตุ้นให้วาล์วหัวฉีดอีกกลุ่มหนึ่งทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

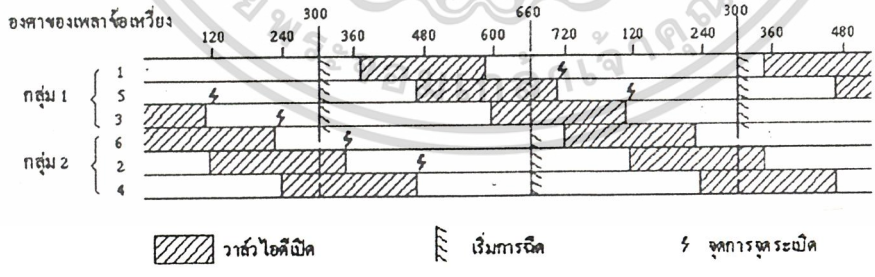
42449

วาล์วหัวฉีดทั้งหมดไม่ได้ถูกกระตุ้นแต่ละอันอย่างอิสระแต่ถูกกระตุ้นเป็น 2 กลุ่ม สำหรับเครื่องยนต์ 4 สูบ แต่ละกลุ่มจะมีวาล์วหัวฉีด 2 ตัว แต่สำหรับเครื่องยนต์ 6 สูบแต่ละกลุ่มจะมีวาล์วหัวฉีด 3 ตัว และในเครื่องยนต์ 8 สูบจะมีวาล์วหัวฉีด 4 ตัว



รูปที่ 3.7 แสดงการจัดกลุ่มของวาล์วหัวฉีด

จากรูปที่3.7 แสดงกลุ่มของวาล์วหัวฉีดสำหรับเครื่องยนต์ 6 สูบ วาล์วหัวฉีดสำหรับกระบอกสูบ 1,3 และ 5 จะเปิดพร้อมกันและฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าท่อร่วมไอดี ต่อไปวาล์วหัวฉีดเหล่านี้จะปิดและวาล์วหัวฉีดสำหรับการบอกสูบ 2,4 และ6 จะเปิดแทน



รูปที่ 3.8 แสดง Timing ของวาล์วหัวฉีดสำหรับเครื่องยนต์ 6 สูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

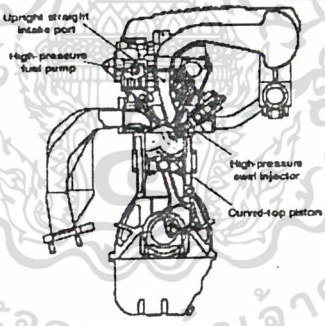
จากรูปที่ 3.8 แสดงกลุ่มของวาล์วหัวฉีดสำหรับเครื่องยนต์ 6 สูบ วาล์วไอดีแต่ละอันเปิดด้วยเวลาต่างกัน(ตามองศาของเพลาข้อเหวี่ยง) หลังจากมีการฉีดแล้ว เช่น พิจารณาที่เส้นบนของรูปสำหรับกระบอกสูบ 1 การฉีดเกิดขึ้นที่องศาเพลาข้อเหวี่ยงเท่ากับ 300 แต่ว่าวาล์วไอดีเปิดออกที่องศา 360 ซึ่งอยู่ห่างจากองศาของการฉีดเท่ากับ 60 องศา กระบอกสูบ 5 จะเกิดขึ้นต่อไปคือวาล์วไอดีจะเปิดที่องศา 480 ซึ่งอยู่ห่างองศาการฉีดเท่ากับ 180 ส่วนวาล์วไอดีของกระบอกสูบที่ 3 จะเปิดออกที่องศา 600 ซึ่งอยู่ห่างจากองศาการฉีดเท่ากับ 300 สนช่วงรอการเปิดของวาล์วไอดีเหล่านี้น้ำมันจะสะสมที่ช่องไอดี

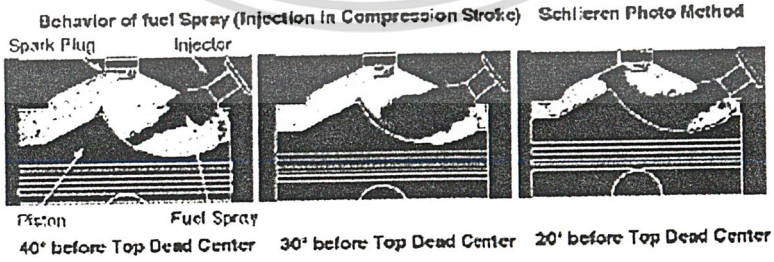
การจัดแบ่งกลุ่มของวาล์วหัวฉีดแบ่งเป็น 2 กลุ่มดังกล่าว ช่วยทำให้ระบบง่ายขึ้น เครื่องยนต์จะสูญเสียสมรรถภาพไปเล็กน้อยเนื่องจากการสะสมของน้ำมันเชื้อเพลิงในช่องไอดี แต่ช่วงเวลาที่เกิดขึ้นนี้ห่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

3.2 Direct Injection (DI)

การฉีดโดยตรงหรือ Direct Injection เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาโดย บริษัท Mitsubishi Motor โดยตั้งชื่อระบบนี้ว่า GDI (Gasoline Direct Injection) ซึ่งมีเป้าหมายที่สำคัญคือ

- ต้องการให้มีอัตราการสูญเสียน้ำมันน้อยลง (Ultra - Low Fuel Consumption)
- ต้องการให้มีกำลัง และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น (Superior Power to Convectional Engine)





รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะการฉีดแบบ GDI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

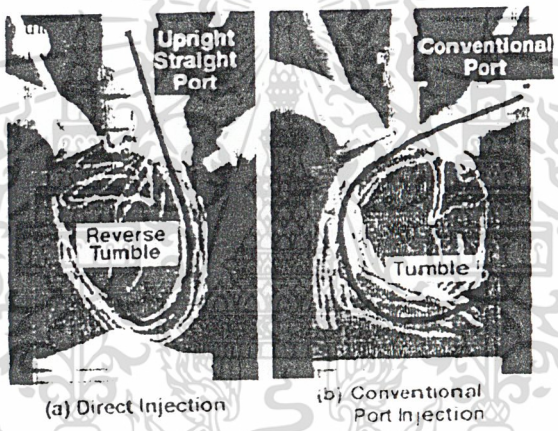
3.2.1 ลักษณะที่สำคัญของระบบ GDI (Mojor characteristics of GDI engine)

ลักษณะพื้นฐานของ แสดงได้ดังรูป 3.9 ซึ่งแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

1. Upright straight intake ports for optimal airflow control on the cylinder
2. Curve-top pistons for better combustion
3. High pressure swirl injectors for optimum air-fuel mixture
4. High pressure fuel pump to feed pressurised fuel into the injectors

ลักษณะดังกล่าวมีผลกระทบกับการไหลเวียนของน้ำมันในห้องเผาไหม้โดยมีรายละเอียดดังนี้

- In-cylender Airflow ใน GDI engine มี Upright straight in the port ซึ่งต่อจากแบบเก่าซึ่งเป็นแบบ horizontal intake port ซึ่งการมี Upright straight in the port นั้นจะช่วยอากาศไหลเข้าไปกระทบกับด้านบนของลูกสูบซึ่งมีลักษณะช่วยให้อากาศไหลวนได้ดีดังรูปที่ 3.10

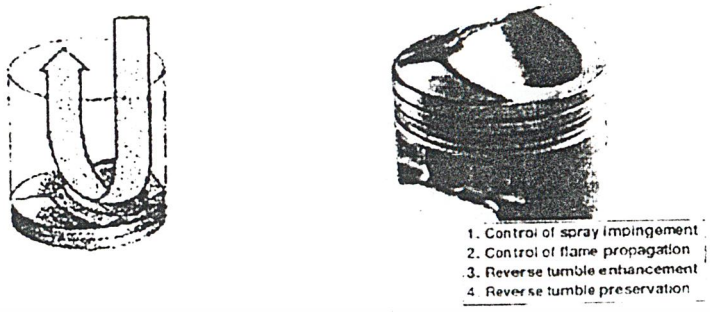


รูปที่ 3.10 In-cylender Airflow ใน GDI engine มี Upright straight in the port

- Fuel Spray การฉีดจะเป็นแบบ High pressure swirl ซึ่งความดันที่ใช้ประมาณ 50 bar การใช้ความดันสูงจะทำให้น้ำมันกระจายตัวและ swirl ได้ดี (ซึ่งลักษณะการฉีดจะแบ่งได้เป็น 2 mode ดังที่จะกล่าวต่อไป)

- Combustion chamber การออกแบบห้องเผาไหม้นั้นลักษณะของลูกสูบจะเป็นดังรูป ซึ่งจะช่วยให้อากาศไหลวนได้ดีขึ้นและอากาศรวมตัวกับน้ำมันได้ดีด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



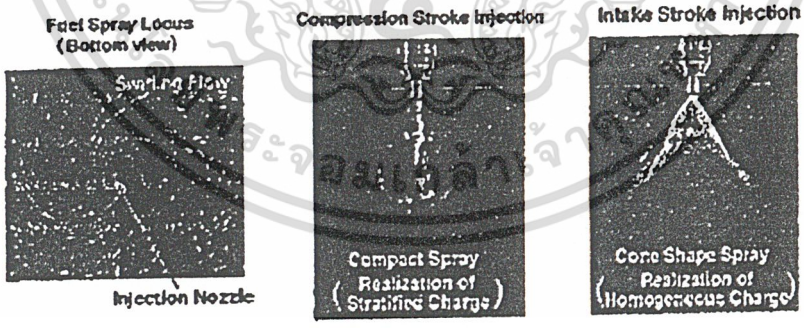
รูปที่ 3.11 ลักษณะห้องเผาไหม้

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันต่ำลง (Low Fuel Consumption)

การฉีดน้ำมันของ GDI จะขึ้นกับความเร็วของเครื่องยนต์และภาระที่เครื่องยนต์ได้รับ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

- **Ultra-Lean Combustion** : ระบบนี้จะใช้ในขณะที่รถมีความเร็วคงที่(0-120 Km/h) หรือมีภาระของเครื่องยนต์น้อย น้ำมันจะฉีดในจังหวะอัด (Compression stroke) และจุดระเบิดเมื่อการฉีดสิ้นสุดลง ซึ่งการทำแบบนี้สามารถได้ A/Fประมาณ 30-40:1 (35-55:1 เมื่อใช้ EGR)

- **Superior Output Mode** : เมื่อเครื่องยนต์มีภาระมาก หรือต้องการอัตราเร่งสูง การฉีดน้ำมันจะฉีดในจังหวะดูด (Intake stroke) ซึ่งการทำแบบนี้จะทำให้เชื้อเพลิงผสมกับอากาศได้หมดและไอดี(น้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ) มีอุณหภูมิไม่สูงมาก ซึ่งเป็นการลด NO และได้กำลังสูงด้วย

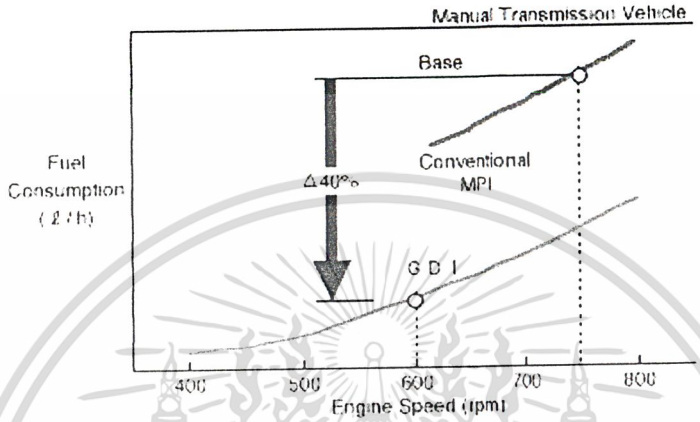


รูปที่ 3.12 แสดงการเปรียบเทียบการฉีดของระบบ 2 ระบบ และการไหลวนของน้ำมัน

ในเครื่องยนต์พื้นฐานรุ่นแรกๆ เป็นการยากที่จะทำให้ไอดี (Air-fuel mixture) กระจายตัวอยู่รอบ ๆ หัวเทียน และในเครื่องยนต์ปัจจุบันจะมีขอบเขตจำกัดของ A/F ratio ต้องไม่มากจนเกินไป (ประมาณ 20:1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเครื่องยนต์ สามารถทำให้น้ำมันมีการกระจายตัวในทิศทางที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ และสามารถได้ ถึง 30-40 : 1 (35 - 55 : 1 เมื่อใช้ EGR) และเครื่องยนต์สามารถเดินเรียบในความเร็วรอบต่ำได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ปัจจุบันแล้วซึ่งประหยัดกว่าถึง 40 % ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ระหว่างเครื่องยนต์ GDI และเครื่องยนต์ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
เชื้อเพลิงก๊าซ

เชื้อเพลิงก๊าซ (Gaseous Fuel) หมายถึง ก๊าซทุกชนิดที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเกิดการเผาไหม้ทำให้ได้พลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ก๊าซที่นำมาใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซไฮโดรคาร์บอน ซึ่งก๊าซแต่ละชนิดจะให้ความร้อนจากการเผาไหม้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญ เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน กำมะถัน ฯลฯ

ก๊าซที่นำมาใช้เพลิงและวัตถุดิบสำหรับสำหรับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ส่วนใหญ่ได้จากธรรมชาติ นอกจากนี้ก็สามารถได้จากกระบวนการผลิตโดยตรง เช่น พวกก๊าซสังเคราะห์ หรืออีกทางหนึ่งอาจจะเป็นผลพลอยได้มาจากกระบวนการผลิตสิ่งอื่นและได้ก๊าซมาโดยไม่ได้ตั้งใจ เช่น ก๊าซหุงต้มจากการถลุงเหล็ก เป็นต้น

ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่ง โดยที่ธาตุคาร์บอนกับธาตุไฮโดรเจนจับตัวกันเป็นโมเลกุลเช่นเดียวกับน้ำมัน ธาตุสองชนิดนี้จะรวมตัวกันในสัดส่วนของอะตอมที่แตกต่างกันด้วย โดยเริ่มตั้งแต่ก๊าซมีเทน ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอมและไฮโดรเจน 4 อะตอม ถ้ามีคาร์บอน 2 อะตอมและไฮโดรเจน 6 อะตอมจะได้สารประกอบที่มีชื่อว่า อีเทน เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งระดับคาร์บอนเพิ่มเป็น 8 อะตอม และไฮโดรเจน 18 อะตอม ได้สารประกอบที่มีชื่อว่า ออกเทน

ชนิดของก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ ๆ ได้ 2 ชนิดคือ ก๊าซธรรมชาติแห้ง (Dry Natural Gas) และก๊าซธรรมชาติชื้นหรือเปียก (Wet Natural Gas)

ก๊าซธรรมชาติแห้ง มีส่วนประกอบของก๊าซมีเทนและก๊าซอีเทน แต่ปริมาณของก๊าซมีเทนมากกว่า มีสถานะเป็นไอหรือก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทพาราฟิน (Lighter Paraffin Hydrocarbon) ก่อนการนำไปใช้งานจะต้องมีการแยกสารมลทินออกเสียก่อน การขนส่งอาจใช้วิธีขนส่งไปตามท่อหรือถ้ามีปริมาณมากก็ต้องแปรสภาพให้มีเป็นก๊าซเหลว (Liquefied Natural Gas หรือ LNG) โดยทำให้เย็นจัดที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งถึง –161 องศาเซลเซียส แล้วบรรจุลงถังอะลูมิเนียมที่ความดุมความเย็นเป็นพิเศษ วิธีนี้จะสามารถส่งก๊าซชนิดนี้ไปจำหน่ายตามที่ต่าง ๆ ได้ แต่ต้องสิ้นเปลืองเงินลงทุนจำนวนมาก

ประโยชน์ของก๊าซธรรมชาติแห้ง มีดังต่อไปนี้คือ

1. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ในกรณีที่ผลิตก๊าซธรรมชาติได้มากเกินความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเมทานอล ปุ๋ยไนโตรเจนประเภทต่าง ๆ เช่น เกลือแอมโมเนีย และผลิตภัณฑ์เคมีปิโตรเลียมต่าง ๆ เป็นอันมาก

3. ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแทนน้ำมันเตา และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

ก๊าซธรรมชาติชื้น ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนัก (Heavier Paraffin Hydrocarbon) คือ ประกอบด้วย โพรเพน (C_3H_8) และบิวเทน (C_4H_{10}) และอาจมีสารประกอบอย่างอื่นบ้าง เช่น เพนเทน (C_5H_{12}) เฮกเซน (C_6H_{14}) และ เฮปเทน (C_7H_{16}) ก๊าซชนิดนี้มีสถานะเป็นไอหรือก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเช่นเดียวกับก๊าซแห้ง แต่สามารถกลั่นตัวเป็นของเหลวได้โดยลดความดันลงให้เหลือเพียง 70 ปอนด์/ตารางนิ้ว แล้วแยกออกจากก๊าซธรรมชาติอัดใส่ถังเป็นก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG)

ประโยชน์ของก๊าซธรรมชาติชื้น มีดังต่อไปนี้

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์
2. ใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือน
3. ใช้กับระบบตู้เย็นและระบบทำความเย็น
4. ใช้เป็นวัตถุดิบปั๊อนโรงกลั่นแทนน้ำมันบางส่วน
5. ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์เคมีชนิดต่าง ๆ

สำหรับก๊าซธรรมชาติที่พบในอ่าวไทยนั้น ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ทั้ง 3 ส่วนดังนี้

1. ส่วนที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (ที่จะติดไฟ) ที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและพลังงาน ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ และก๊าซธรรมชาติเหลวในสัดส่วนเฉลี่ยสูงกว่า 70 เปอร์เซ็นต์
2. ส่วนเจือปน (ที่ไม่ติดไฟและไม่เผาไหม้) ได้แก่ ก๊าซเฉื่อยหรือไนโตรเจนประมาณ 0.9 – 1 % คาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 5- 25 % และไอน้ำ ซึ่งต้องมีการควบคุมปริมาณให้พอเหมาะด้วย
3. ส่วนมลทิน ได้แก่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และกำมะถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนอะตอม	ก๊าซ	สูตรโมเลกุล	อุณหภูมิที่จะเป็นของเหลว($^{\circ}$ c)	สถานะที่ความดันและอุณหภูมิปกติ	สัดส่วนเฉลี่ยที่พบในอ่าวไทย (%)	การนำไปใช้ประโยชน์
1	มีเทน	CH_4	-161.5	ก๊าซแห้ง	60-80	-เป็นเชื้อเพลิง -เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยไนโตรเจนและปุ๋ยเคมี -เป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์ -เป็นวัตถุดิบผลิตก๊าซ LNG เพื่อส่งขายต่างประเทศ
2	อีเทน	C_2H_6	-88.5	ก๊าซแห้ง	10-4	-เป็นวัตถุผลิตเคมีภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น พลาสติก
3	โพรเพน	C_3H_8	-42.2	ก๊าซชื้น	5-3	-ผลิตก๊าซ LPG โดยอัดใส่ถังด้วยสัดส่วนของโพรเพน 70 % และบิวเทน 30 % -เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้มในครัวเรือน -เป็นเชื้อเพลิงรถยนต์และป้อนโรงกลั่น
4	ไอโซบิวเทน นอร์มัลบิวเทน	C_4H_{10}	-12.1 -0.5	ก๊าซชื้น ก๊าซชื้น	1-0.5 1-.05	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนอะตอม	ก๊าซ	สูตรโมเลกุล	อุณหภูมิที่จะเป็นของเหลว($^{\circ}$ c)	สถานะที่ความดันและอุณหภูมิปกติ	สัดส่วนเฉลี่ยที่พบในอ่าวไทย (%)	การนำไปใช้ประโยชน์
5	ไอโซเพนเทน นอร์มัลเพนเทน	C_5H_{12}	27.9 36.1	ก๊าซธรรมชาติเหลว	พบก๊าซธรรมชาติเหลว ในแหล่งก๊าซธรรมชาติ	-เป็นวัตถุดิบป้อนโรงกลั่นและผลิตเคมีภัณฑ์ -เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะที่ใช้น้ำมันเบนซิน

ตารางที่ 4.1 แสดงสูตรทางเคมีและคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติ

4.1 ก๊าซธรรมชาติอัด

ก๊าซธรรมชาติอัด หมายถึง ก๊าซที่แยกออกมาจากก๊าซธรรมชาติประเภทก๊าซธรรมชาติแห้ง ซึ่งมีส่วนประกอบของมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ก็ยังมีอีเทน โพรเพน บิวเทน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ และอาจมีคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และสารอื่น ๆ เจือปนบ้างเล็กน้อย เนื่องจากก๊าซมีเทนมีน้ำหนักเบากว่าอากาศ เบากว่าโพรเพน และบิวเทนมาก ดังนั้นต้องเก็บก๊าซธรรมชาติอัดหรือ CNG (Compressed Natural Gas) ไว้ในถังที่สามารถรับความดันของก๊าซได้สูงกว่า 2400 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรือประมาณ 163 เท่าของบรรยากาศ ซึ่งเมื่อนำค่าความดันนี้ไปเปรียบเทียบกับความดันในถังก๊าซ LPG จะเห็นว่าก๊าซ CNG จะต้องใช้ความดันสูงกว่าประมาณ 8 เท่า (LPG ประมาณ120 ปอนด์/ตารางนิ้ว) จึงเป็นสาเหตุให้ไม่มีผู้นิยมใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบหลักเป็นมีเทนในอุตสาหกรรมและยานพาหนะทั่วไป

ถึงแม้ในถังมีความดันสูงมาก แต่ก๊าซ CNG ก็ยังคงสภาพความเป็นก๊าซอยู่ได้ ดังนั้นเมื่อนำออกมาใช้จึงสะดวกและมีสภาพเป็นไอได้ดีกว่าก๊าซหุงต้มหรือก๊าซ LPG เพราะเมื่อก๊าซ LPG ถูกอัดอยู่ในถังจะมีสภาพเป็นของเหลว และจะมีสภาพเป็นไอเมื่อปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก ดังนั้นสภาพการเป็นไอของก๊าซ CNG จึงดีกว่า หากนำก๊าซ CNG มาใช้กับรถยนต์จะต้องใช้ถังสำหรับเก็บก๊าซ CNG ที่มีความหนาของถังมากจึงจะทนต่อการอัดก๊าซ CNG บรรจุลงในถัง และจึงจะสามารถบรรจุก๊าซ CNG ได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยกำลังอยู่ในช่วงติดตั้งให้ฟรีโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายใด ๆ จำนวน 100 คัน และจะเพิ่มโครงการขยายให้มากขึ้นในอนาคตอันใกล้

การที่ก๊าซ CNG มีกลิ่นฉุนเพราะว่ามีการเติมสารเมอร์แคปลงไป เพื่อจะได้ทราบจากกลิ่นเมื่อมีการรั่วจากถังหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ได้โดยง่าย ก๊าซ CNG ต่างกับน้ำมันเบนซินตรงที่ก๊าซไม่ใช่ของเหลว จึงทำให้การเผาไหม้ก๊าซ CNG ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และสะอาดกว่า เกิดเขม่าน้อยกว่า และไม่มีตะกั่วไอเสีย เนื่องจากก๊าซ CNG มีค่าออกเทนสูงกว่าโดยไม่ต้องเติมสารตะกั่ว มีอุณหภูมิจุดติดไฟสูงถึง 704 องศาเซลเซียส ดังนั้นโอกาสที่จะทำให้เกิดการชิงจุดระเบิดก่อนในเครื่องยนต์จึงไม่มี อย่างไรก็ตาม การใช้ก๊าซ CNG กับรถยนต์อาจทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และอัตราเร่าต่ำลงไปกว่าเดิมเล็กน้อย เนื่องจากมีค่าทางความร้อนทางเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันเบนซินและก๊าซ LPG เมื่อเทียบกับปริมาตร (ที่มีสภาพเป็นไอ) เท่ากัน

คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติอัด (CNG)

1. สถานะปกติมีสภาพเป็นก๊าซ
2. เบากว่าอากาศ ดังนั้นเวลาก๊าซรั่วออกมา จึงกระจายไปในอากาศอย่างรวดเร็ว
3. ค่าออกเทนโดยทั่วไปจะสูงกว่า 120 จึงสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้เป็นอย่างดี
4. เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน จึงเติมกลิ่นลงไปเพื่อเตือนให้รู้ว่ามีการรั่วเกิดขึ้น

เนื่องจากการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดสามารถทดแทนได้ทั้งเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล ดังนั้นเราจึงควรทราบถึงข้อดีข้อเสียของการใช้ก๊าซธรรมชาติชนิดนี้ด้วย รายละเอียดแสดงได้ดังตารางข้างล่าง

คุณสมบัติ	เบนซิน	ดีเซล	ก๊าซหุงต้ม	ก๊าซธรรมชาติ
สถานะปกติ	ของเหลว	ของเหลว	ก๊าซ	ก๊าซ
ความหนาแน่นที่ 15 $^{\circ}$ c (kg/ litre)	0.73	0.83	0.64	0.14
จุดเดือด ($^{\circ}$ c)	25-100	150-360	-50-0	-162
ความร้อนจำเพาะ (MJ/kg)	43.5	42.5	46.1	47.7
อุณหภูมิระเบิดในอากาศ ($^{\circ}$ c)	220	220	400	540
ช่วงติดไฟ ค่าสูง	8	6.5	15	15
อากาศ (% โดยปริมาตร) ค่าต่ำ	0.6	0.6	1.5	5
อากาศที่ใช้ในการสันดาป (kg/kg เชื้อเพลิง)	14.8	14.5	15.5	17.2
ค่าออกเทน	91	-	105	120

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติอัดกับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ประหยัดค่าน้ำมันเชื้อเพลิง จากข้อมูลของประเทศต่าง ๆ พบว่าราคาของก๊าซธรรมชาติอัดเมื่อเทียบกับค่าสมดุลความร้อนเท่ากับน้ำมันเบนซิน 1 ลิตร จะมีราคาถูกกว่าประมาณ 50 %	1. ขีดจำกัดในระยะทางวิ่งเมื่อเทียบปริมาตรความจุของก๊าซธรรมชาติอัดกับน้ำมันเบนซินที่ปริมาตรเดียวกัน น้ำมันเบนซินเมื่อกลายเป็นไอจะได้ปริมาตรมากกว่าซึ่งถ้าต้องการให้วิ่งได้ในระยะทางเท่ากันจึงต้องใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในปริมาณที่มากกว่า
2. ลดค่าบำรุงรักษาและยืดอายุเครื่องยนต์ เนื่องจากก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซจึงเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ไม่มีเขม่าเกาะที่ลูกสูบและไม่มีเขม่าไปรวมตัวกันที่น้ำมันเครื่อง ซึ่งจากสถิติพบว่าสามารถยืดอายุน้ำมันเครื่องได้ 15,000 กิโลเมตร/ครั้ง และยืดอายุเครื่องยนต์ได้ถึง 2 เท่า	2. ปัญหาในการไม่สะดวกในการหาแหล่งเติมก๊าซธรรมชาติอัด เนื่องจากประเทศเรายังไม่มีระบบท่อก๊าซธรรมชาติมากพอจึงเป็นอุปสรรคสำคัญในการสร้างสถานีบริการตามแนวท่อ นอกจากนี้สถานีบริการแม่กับลูกต้องมีเงินลงทุนสูง
3. ลดมลภาวะเนื่องจากก๊าซธรรมชาติสามารถเกิดการเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์และในเชื้อเพลิงไม่มีสารตะกั่วเจือปนจึงช่วยลดมลพิษได้ถึง 90 %	3. กำลังเครื่องยนต์ลดลงประมาณ 10-15% เนื่องจากค่าความร้อนของก๊าซธรรมชาติเมื่อเทียบเท่ากับน้ำมันเชื้อเพลิงจะต่ำกว่าประมาณ 10- 15%
4. เครื่องยนต์เดินได้เรียบและติดเครื่องง่ายกว่าขณะอากาศเย็นเนื่องจากก๊าซธรรมชาติอัดจะมีสถานะเป็นก๊าซจึงทำให้ติดเครื่องได้ง่าย แม้ในขณะที่อากาศเย็นก็สามารถติดเครื่องได้ เพราะเครื่องยนต์ไม่ต้องการความร้อนในการติดเครื่อง นอกจากนี้ค่าออกเทนของก๊าซธรรมชาติอัดยังสูงกว่าซึ่งมีผลในการป้องกันการน๊อกในเครื่องยนต์ได้	4. ราคาอุปกรณ์ค่อนข้างสูงเนื่องจากจำเป็นต้องใช้วัสดุที่ทนความดันสูง และมีมาตรฐานความปลอดภัยซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ยังหายากอยู่
5. มีความปลอดภัยสูงเนื่องจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ออกแบบมาเพื่อให้มีความทนทานต่อความดันสูง และในกรณีที่ก๊าซรั่ว ก๊าซธรรมชาติมีคุณสมบัติ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี	ข้อเสีย
เบากว่าอากาศจึงกระจายตัว สู่บรรยากาศแทนที่จะขังตัวอยู่ในที่ต่ำเหมือนเชื้อเพลิงอื่น ๆ นอกจากนี้ช่วงการติดไฟของก๊าซธรรมชาติอัดอยู่ในช่วง 5-15 % โดยปริมาตรและที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 ° F ถ้าเป็นน้ำมันเบนซินจะมีค่าประมาณ 0.6-8 % โดยปริมาตรที่อุณหภูมิ 800 ° F	

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อดีข้อเสียของการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดกับเครื่องยนต์เบนซิน

ข้อดี	ข้อเสีย
1. กำลังของเครื่องยนต์ยังคงเท่าเดิม 2. เมื่อเปรียบเทียบในรูปพลังงาน จะมีความสิ้นเปลือง น้อยลง 3. ควันดำลดลงประมาณ 40-50 % 4. การดัดแปลงไม่ยุ่งยากนัก และค่าดัดแปลงถูกกว่าการดัดแปลงมาใช้กับการก๊าซธรรมชาติอัดล้วน ๆ	1. ลักษณะปัญหาคล้าย ๆกับการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในเครื่องยนต์เบนซิน แต่กำลังเครื่องยนต์จะเหมือนเดิม 2. การทดแทนน้ำมันดีเซลไม่สามารถทดแทนได้เต็มที่ คือ สามารถทดแทนได้เพียง 25-40 % เท่านั้น

ตารางที่ 4.4 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดกับเครื่องยนต์ดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ก๊าซ LPG (Liquefied Petroleum Gas) หรือก๊าซหุงต้ม

LPG หรือก๊าซหุงต้ม เป็นก๊าซที่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซโพรเพนและก๊าซบิวเทน ก๊าซหุงต้มที่ใช้กันในปัจจุบันนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบหรือที่ได้จากการ กลั่นน้ำมันดิบหรือที่เรียกว่า ก๊าซปิโตรเลียมเหลว อันเป็นส่วนประกอบของก๊าซโพรเพนและบิวเทน ในอัตราส่วน 30 : 70

คุณสมบัติของก๊าซ LPG

คุณสมบัติของก๊าซ LPG ที่สำคัญและเกี่ยวข้องเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อการนำไปใช้งานมีดังนี้คือ

1. ก๊าซ LPG เป็นก๊าซไม่มีสี เมื่อเกิดการรั่วเราจึงไม่สามารถที่จะสังเกตุเห็นก๊าซที่รั่วออกมาได้
2. ก๊าซชนิดนี้จะไม่เป็นพิษ เมื่อนำไปเผาไหม้อย่างสมบูณ์จะไม่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์หรือก๊าซพิษ
3. เป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่น จึงมีความจำเป็นต้องใส่สารที่มีกลิ่นฉุนลงไปเพื่อเตือนเมื่อเกิดอาการรั่ว สารที่นิยมเติมลงไป เอทิลเมอร์แคปแทน (C_2H_5SH) หรือ Thiophanc
4. เป็นก๊าซที่เบากว่าน้ำและหนักกว่าอากาศ เมื่อก๊าซอยู่ในสถานะที่เป็นของเหลว ก๊าซจะมีน้ำหนักครึ่งหนึ่งของน้ำ เมื่ออยู่ในสถานะเป็นไอ ไอก๊าซจะหนักเป็นสองเท่าของอากาศ ดังนั้นเมื่อเกิดอาการรั่ว ก๊าซจะเคลื่อนตัวไหลไปรวมกับอากาศที่บริเวณที่ต่ำกว่า
5. จุดเดือดของก๊าซจะต่ำ มีจุดเดือดประมาณ 0 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิของบ้านเราเฉลี่ยประมาณ 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อก๊าซถูกปล่อยออกจากภาชนะบรรจุก็จะเดือด โดยจะเปลี่ยนจากสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอได้ทันที
6. ความข้นใส ก๊าซนี้จะมีความข้นใสต่ำ จึงทำให้รั่วได้ง่ายดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้กับก๊าซจึงต้องออกแบบให้แข็งแรง ทนต่อความดันสูง ดังนั้นการใช้ภาชนะ เช่น ถังบรรจุก๊าซที่ไม่ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้อาจจะเกิดอุบัติเหตุร้ายแรงขึ้นได้
7. ก๊าซ LPG มีอัตราอัตราขยายตัวสูง ดังนั้นการเติมแก๊สใส่ลงไปในภาชนะจึงไม่ควรเติมให้เต็ม อัตราการขยายตัวจากก๊าซที่สถานะของเหลวกลายเป็นก๊าซที่สถานะไอคือ ก๊าซเหลว 1 หน่ายปริมาณจะเปลี่ยนเป็นไอก๊าซได้ประมาณ 200 หน่วยปริมาณ
8. ส่วนผสมของก๊าซกับอากาศมีที่ทำให้ติดไฟได้ อัตราส่วนของก๊าซในอากาศที่ทำให้ติดไฟ คือ ประมาณ 1.5 -9 ส่วนผสมใน 100 ส่วน หากมีอากาศน้อยกว่าหรือมากกว่าสัดส่วนดังกล่าวก๊าซจะไม่ติดไฟ

คุณสมบัติของก๊าซ LPG ที่ใช้กับเครื่องยนต์ในรถยนต์

การนำก๊าซ LPG มาใช้กับเครื่องยนต์ของรถยนต์เบนซินได้พัฒนามานานกว่า 30 ปีแล้ว เนื่องจากปัจจุบันราคาน้ำมันเบนซินหรือแก๊สโซลีนมีราคาสูงขึ้นมาก จึงมีผู้หันมาใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์มากขึ้น เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสำหรับเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ลดลงต่อระยะทางวิ่งเท่ากัน

ในการเลือกก๊าซ LPG เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ คุณสมบัติต่าง ๆ ที่จำเป็นมีดังนี้

- มีความดันไอที่เหมาะสม ซึ่งอยู่ระหว่าง 1-10 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมในเรื่องการป้องกันการเกิดอาการน็อก (antiknock)
- มีสารไฮโดรคาร์บอนจำพวกโอลิฟินน้อย
- มีปริมาณกำมะถันน้อย
- มีสารจำพวกน้ำมันดิบเจือปนอยู่น้อย

คุณสมบัติ		เบอร์ 1	เบอร์ 2
อุณหภูมิที่ระเหย ($^{\circ}$ c)	95 %	ต่ำกว่า 0	ต่ำกว่า 0
	100 %	ต่ำกว่า +2	ต่ำกว่า +2
ความถ่วงจำเพาะของของเหลว (15/4 $^{\circ}$ c)		055-0.56	0.56-0.58
ความดันไอที่ 37.8 $^{\circ}$ c (kg/ cm^2)		5.0-8.5	3.0-5.5
ปริมาณกำมะถัน (% โดยน้ำหนัก)		ต่ำกว่า 0.01	ต่ำกว่า 0.01
ปริมาณความชื้น		--	--
การกัดกร่อนแผ่นทองแดงที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}$ c นาน 1 ชั่วโมง		ต่ำกว่า 1	ต่ำกว่า 1
ส่วนประกอบ (% โดยน้ำหนัก)	โพรเพน	20-60	0-20
	บิวเทน	80-40	100-80
	บิวทิลีนและอื่น ๆ	ต่ำกว่า 5	ต่ำกว่า 5
เถ้าที่เหลือ (% โดยน้ำหนัก)		ต่ำกว่า 0.5	ต่ำกว่า 0.5

ตารางที่ 4.5 แสดงมาตรฐานของก๊าซ LPG ที่ใช้กับรถยนต์

หมายเหตุ เบอร์ 1 เหมาะที่จะใช้ในหน้าหนาว (พ.ย.- มี.ค) และสำหรับเบอร์ 2 เหมาะที่จะใช้ในฤดูร้อน (เม.ย.-ต.ค.)

ข้อดีและข้อเสียของการใช้ก๊าซ LPG ในเครื่องยนต์

ข้อดี

1. ก๊าซ LPG มีค่าออกเทนประมาณ 85 –108 (ตามอัตราส่วนผสมของก๊าซโพรเพนและบิวเทน) จึงเหมาะที่จะใช้กับเครื่องยนต์เบนซินหรือเครื่องยนต์แก๊สโซลีนในปัจจุบัน ที่มีอัตราส่วนการอัดประมาณ 8.5-9.2 ซึ่งมีผลทำให้เครื่องยนต์เดินเรียบและมีประสิทธิภาพในการใช้งานของเครื่องยนต์ได้ดี
2. ราคาของก๊าซ LPG ต่ำกว่าราคาของน้ำมันเบนซิน ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำให้เครื่องยนต์สะอาดกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน เช่น ที่คาร์บบูเรเตอร์จะไม่มีคราบน้ำมันเบนซินเกาะอยู่ภายในเครื่องยนต์ โดยเฉพาะในห้องเผาไหม้จะสะอาดกว่า เนื่องจากก๊าซ LPG เมื่อถูกเผาไหม้แล้วจะมีคราบเขม่าน้อยกว่า
4. ทำให้หัวเทียนสะอาด มีเขม่าเกาะจับน้อย เป็นผลให้อายุการใช้งานของหัวเทียนยาวนานขึ้น
5. การติดเครื่องยนต์ง่ายกว่า ถ้าอากาศเย็นเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซจะสตาร์ตได้ง่ายกว่า และจะไม่มีอาการเชื้อเพลิงท่วมคาร์บูเรเตอร์หรือลูกลอยน้ำมันค้าง
6. ทำให้น้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์สะอาดกว่าและใช้งานได้นานกว่า เพราะเขม่าเครื่องยนต์มีน้อยกว่า จึงทำให้น้ำมันเครื่องสกปรกช้า
7. ก๊าซ LPG ไม่มีสารตะกั่วเหมือนน้ำมันแก๊สโซลีนหรือเบนซิน ดังนั้นไอเสียจึงไม่มีการตะกั่วที่จะทำให้เกิดมลภาวะหรืออากาศเป็นพิษ นอกจากนั้นก๊าซ LPG ยังเผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่า ทำให้ไอเสียมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าเครื่องยนต์เบนซินมาก

ข้อเสีย

1. ไม่เหมาะที่จะใช้กับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดค่อนข้างต่ำ แต่จะเหมาะสำหรับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนของการอัดสูง
2. มีแนวโน้มที่จะทำให้ประสิทธิภาพทางปริมาตรต่ำ
3. จะต้องบรรจุในภาชนะที่สามารถทนแรงดันได้สูงถึง 250 ปอนด์ / ตารางนิ้วเกจ (psig)
4. เป็นเชื้อเพลิงที่ไม่มีขายตามท้องตลาด
5. ถ้ามีการรั่วมาก ๆ ถึงแม้จะมีกลิ่นเตือนให้ทราบก็อาจทำให้ผู้ใช้หน้ามืดเป็นลมได้

อันตรายที่เกิดจากก๊าซ LPG ถ้ามีการนำก๊าซ LPG มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน ในอุตสาหกรรม หรือในยานพาหนะ อันตรายอาจเกิดขึ้นได้เสมอ ฉะนั้นเพื่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้ จึงควรจะปฏิบัติตามคำแนะนำของหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับด้านนี้โดยตรง เช่น ปตท. เป็นต้น

การเก็บรักษาถังก๊าซ

1. ที่ตั้งถังก๊าซควรจะอยู่นอกชายคาบ้านเพื่อป้องกันอันตรายเมื่อเกิดระเบิดหรือไม่ให้ไฟลุกไหม้บ้านเรือนได้
2. จัดวางถังก๊าซให้เป็นระเบียบไม่กีดขวางทางเข้าออก
3. ควรปิดฝาครอบลิ้นของถังใหญ่เสมอ ไม่ว่าถังนั้นจะมีก๊าซหรือไม่ก็ตาม
4. บริเวณที่เก็บถังก๊าซควรใช้วัสดุทนไฟ
5. ไม่ควรเก็บถังก๊าซไว้ในห้องใต้ดิน เพราะว่าก๊าซหนักกว่าอากาศเมื่ออยู่ในสถานะก๊าซอาจจะเป็นอันตรายได้เมื่อรั่ว
6. อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้บริเวณเก็บถังก๊าซ ควรเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ทำให้เกิดประกายไฟได้
7. ควรมีอุปกรณ์เครื่องมือคับเพลิงใกล้ถังก๊าซและหยิบใช้ได้สะดวก
8. ควรมีป้าย "ห้ามสูบบุหรี่" บริเวณเก็บถังก๊าซและหยิบใช้ได้สะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

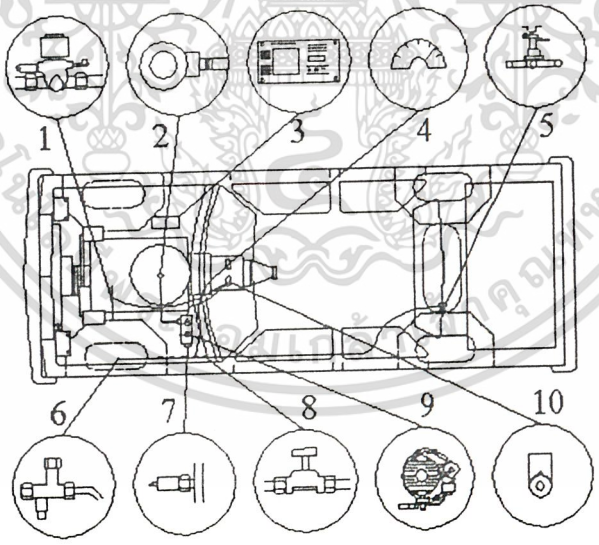
บทที่ 5
การนำก๊าซ CNG และ LPG มาใช้ในรถยนต์

5.1 การนำก๊าซธรรมชาติอัดมาใช้ในรถยนต์

จากคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติอัด ทำให้ทราบว่าก๊าซอัดสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์เพื่อทดแทนน้ำมัน และน้ำมันดีเซล ซึ่งต่างประเทศได้มีการพัฒนาการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในรถยนต์ประเทศแล้ว สามารถสรุปการใช้ประโยชน์ของรถยนต์ก๊าซธรรมชาติอัด คือ

5.1.1 การใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในเครื่องยนต์เบนซิน มี 2 วิธี คือ

1) การดัดแปลงเครื่องยนต์เบนซินมาใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเพียงอย่างเดียว
2) การดัดแปลงเครื่องยนต์เบนซิน ให้สามารถเลือกใช้ระหว่างน้ำมันเบนซินและก๊าซธรรมชาติอัด(Dual Type) การดัดแปลงเครื่องยนต์แบบนี้ จะมีความสะดวกในการใช้งานกว่าแบบแรกมาก เพราะสามารถใช้เชื้อเพลิงได้ทั้งน้ำมันเบนซินและก๊าซธรรมชาติอัด ในกรณีที่ก๊าซธรรมชาติอัดหมด สามารถสับสวิทช์มาใช้ น้ำมันเบนซินได้ นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการดัดแปลงเครื่องยนต์ที่สามารถใช้ได้ทั้งน้ำมันเบนซิน และก๊าซธรรมชาติอัด คือ



รูปที่ 5.1 แสดงอุปกรณ์เพิ่มเติมสำหรับรถยนต์เบนซินที่ดัดแปลงไปใช้ CNG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

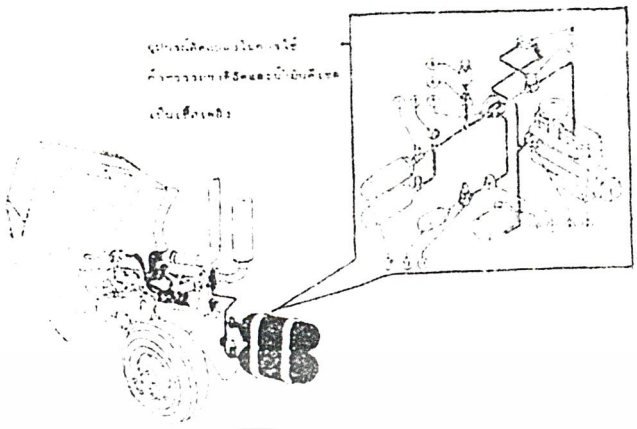
อุปกรณ์สำคัญที่ต้องติดตั้งเพิ่มเติมสำหรับรถยนต์เบนซินที่ดัดแปลงไปใช้ CNG

1. วาล์วไฟฟ้าที่ใช้กับน้ำมันเบนซิน (Gasoline Solenoid Valve) ทำหน้าที่ปิด-เปิดการไหลของน้ำมัน
2. ตัวผสมก๊าซ – อากาศ (Natural Gas-Air Mixer)
3. เครื่องมือตั้งองศาการจุดระเบิด (Dual Curve Ignition Box)
4. มาตรวัดปริมาณเชื้อเพลิงบรรจุ (Fuel Gauge)
5. ถังบรรจุก๊าซธรรมชาติอัด
6. หัวบรรจุสำหรับเติมก๊าซธรรมชาติอัด (Filling Connection)
7. ตัวลดความดัน (Pressure Transducer)
8. ตัวปิด-เปิด ก๊าซ (Master Shut-off valve)
9. ตัวปรับความดัน (Injection Pump)
10. ปุ่มเลือกใช้เชื้อเพลิง (Selector Switch)

5.1.2 การใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในเครื่องยนต์ดีเซล มีแนวทางการใช้อยู่ 2 วิธี ซึ่งในขณะนี้ยังอยู่ในขั้นการทดลอง และวิจัยในประเทศต่าง ๆ ทั้งนี้สรุปได้ คือ

1) ดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างก๊าซธรรมชาติอัดและน้ำมันดีเซลควบกัน (Mixed fuel type) วิธีการนี้ การดัดแปลงไม่ยุ่งยากเพียงตั้งอัตราการฉีดของปั๊มเชื้อเพลิงและติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อใช้ก๊าซธรรมชาติอัด สำหรับอัตราส่วนการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดทดแทนน้ำมันดีเซลนั้น มีตั้งแต่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด 25 % จนถึง 40 % ซึ่งการใช้อัตราส่วนก๊าซธรรมชาติที่ทดแทนแตกต่างกันนี้อยู่ที่การตั้งระบบปั๊มฉีดน้ำมัน
2) ดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลมาใช้ก๊าซธรรมชาติอัดล้วน ในกรณีนี้จะมีความยุ่งยากในการดัดแปลงและเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีแรก ระบบการจุดระเบิดจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นแบบจุดระเบิดโดยใช้หัวเทียน ซึ่งการดัดแปลงเครื่องยนต์นี้ อุปกรณ์ต่าง ๆ จะเหมือนกับการใช้อุปกรณ์ก๊าซธรรมชาติอัดในเครื่องยนต์เบนซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2

ภาพแสดงการติดตั้งก๊าซธรรมชาติอัดและน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

อุปกรณ์สำคัญที่ต้องติดตั้งเพิ่มเติมสำหรับรถยนต์ดีเซลที่ดัดแปลงไปใช้ CNG

1. ตัวปิด-เปิด ก๊าซ (Master Shut-off valve)
2. เกย์วัดความดัน (Gauge)
3. หน่วยลดความดัน (Pressure Reducing Unit)
4. วาล์วกันการไหลกลับ (Non-Return Valve)
5. ตัวเติมก๊าซธรรมชาติอัด (CNG-Fill Point)
6. สวิทช์สตาร์ทเครื่อง (Switch)
7. วาล์วไฟฟ้า (Solenoid Valve)
8. ตัวเครื่องยนต์ (Engine)
9. ตัวปั๊มฉีดน้ำมัน (Injection Pump)
10. ถังเก็บน้ำมันดีเซล (Diesel Tank)
11. วาล์วลดความดัน (Pressure Reducing Vavle)
12. ถังเก็บลม (Reservior)
13. ถังบรรจุก๊าซธรรมชาติอัด (CNG – Tanks)

ผลการดัดแปลงเครื่องยนต์มาใช้ก๊าซธรรมชาติอัด

<u>ในเครื่องยนต์เบนซิน</u>

1. กำลังของเครื่องยนต์จะต่ำกว่าเครื่องยนต์เบนซินประมาณ 10-15 %
2. ประหยัดค่าน้ำมันเชื้อเพลิงได้ประมาณ 25 % โดยราคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเครื่องยนต์ดีเซล

1) เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลควบกับก๊าซธรรมชาติอัด (2 ระบบ)

1. **กำลังเครื่องยนต์เหมือนเดิม**
2. **ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง คิดในรูปพลังงานจะสิ้นเปลืองลดลงประมาณ 3-5 % ของเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเชื้อเพลิงระบบควบกันนี้ แต่ควันดำลดลงประมาณ 40-50**

2) เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซดีเซลเพียงอย่างเดียว

1. กำลังของเครื่องยนต์รอบสูงสุดจะเท่าเดิม แต่ที่ความเร็วรอบต่ำกำลังจะเพิ่มขึ้น
2. ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เทียบในรูปพลังงานจะสิ้นเปลืองกว่า ประมาณ 10 %
3. ความดันลดลงมาก ไอเสียต่าง ๆ ลดลงอาจถึง 50 % และเสียงจะลดลง 30 เดซิเบล

จากการศึกษาข้อมูลวิจัยต่างประเทศเกี่ยวกับการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในรถยนต์ ได้ประมวลผลความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และสภาพไอที่ออกมาจากรถชนิดต่าง ๆ สรุปได้ดังนี้ คือ

อัตราการใช้เชื้อเพลิง

จากผลการทดลองของต่างประเทศปรากฏว่าในรถยนต์เบนซินชนิดเดียวกันและคันเดียวกัน มีอัตราการใช้น้ำมันเบนซินเฉลี่ย 10 กม./ ลิตร เมื่อดัดแปลงมาใช้ CNG เป็นเชื้อเพลิง ไม่แตกต่างกับรถยนต์เบนซินมากนัก โดยถ้าใช้ CNG ในปริมาณที่มีค่าพลังงาน (ความร้อน) เท่ากับ น้ำมันเบนซิน 1 ลิตรในการทดสอบ

ดังนั้นจากราคา CNG ในต่างประเทศ 5.90 บาทต่อลิตร (เทียบค่าพลังงานเท่ากับน้ำมันเบนซิน) และในขณะที่ราคาน้ำมันเบนซินเท่ากับ 10.70 บาทต่อลิตร จะเห็นว่า เมื่อเสียค่าใช้เชื้อเพลิงสำหรับ CNG = 10.70 บาท รถที่ดัดแปลงมาใช้ CNG จะสามารถวิ่งได้ระยะทางที่มากกว่ารถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินเกือบเท่าตัว

หมายเหตุ การเปรียบเทียบเชื้อเพลิงต่าง ๆ คิดเปรียบเทียบค่าพลังงานเทียบเท่าน้ำมันเบนซิน 1 ลิตร โดยก๊าซธรรมชาติให้พลังงาน 1000 BTU/ ลบ.ฟุต หรือประมาณ 0.75 ลบ.ฟุต ต่อน้ำมัน 1 ลิตร

ผลการวิเคราะห์ไอเสีย (หน่วย กรัม : กม.)

	เบนซิน	ก๊าซหุงต้ม	ก๊าซธรรมชาติอัด
คาร์บอนไดออกไซด์	96.0	7.2	4.8
ก๊าซไฮโดรคาร์บอน	12.0	6.6	1.6
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	3.6	3.6	1.2
สารตะกั่ว	0.09	--	--

ตารางที่ 5.1 ผลเฉลี่ยของรถยนต์หลาย ๆ ชนิด ที่เปลี่ยนแปลงมาใช้เชื้อเพลิงก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใช้จ่ายในการดัดแปลงเครื่องยนต์มาใช้ก๊าซธรรมชาติ

จากการศึกษาถงราคาการดัดแปลงเครื่องยนต์มาใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในต่างประเทศ สามารถสรุปค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

1. ในเครื่องยนต์เบนซิน (ใช้ 2 ระบบ)

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดประมาณ 17,500- 30,000 บาท ประกอบด้วย

- ค่าถังบรรจุก๊าซธรรมชาติอัด ราคาประมาณ 24 – 30 % ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด
- ค่าอุปกรณ์และค่าแรงประมาณ 61- 75 % ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด

2. ในเครื่องยนต์ดีเซล (ระบบผสม)

ค่าใช้จ่ายในการดัดแปลงทั้งหมดประมาณ 45,000-50,000 บาท ประกอบด้วย

- ค่าถังบรรจุก๊าซธรรมชาติอัด ราคาประมาณ 30-35 % ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด
- ค่าอุปกรณ์และค่าแรงประมาณ 65-70 % ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด

หมายเหตุ ราคาค่าแรงที่กล่าวมานี้เป็นอัตราค่าแรงในต่างประเทศซึ่งสูงกว่าค่าแรงในประเทศไทย 5-6 เท่า

3. ในเครื่องยนต์ดีเซล (ดัดแปลงมาใช้ก๊าซธรรมชาติ 100%)

จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 2 เท่า ของการใช้เชื้อเพลิงระบบผสมโดยค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น จะเป็นค่าใช้จ่ายของถังบรรจุก๊าซที่เพิ่มขึ้น

การเปรียบเทียบค่าสมดุลย์ทางความร้อนของก๊าซธรรมชาติและเชื้อเพลิงอื่น ๆ

โดยที่ค่าเฉลี่ยความร้อนของก๊าซธรรมชาติในประเทศไทยประมาณ 1000 BTU ต่อ ลบ. ฟุต (ค่าเฉลี่ยจากหลุมก๊าซ) ดังนั้น

น้ำมันเบนซิน 1 ลิตร จะมีค่าความร้อนเทียบเท่าก๊าซธรรมชาติประมาณ 0.75 ลูกบาศก์เมตร

น้ำมันดีเซล 1 ลิตร จะมีค่าความร้อนเทียบเท่าก๊าซธรรมชาติประมาณ 0.90 ลูกบาศก์เมตร

ก๊าซหุงต้ม 1 ลิตร จะมีค่าความร้อนเทียบเท่าก๊าซธรรมชาติประมาณ 0.63 ลูกบาศก์เมตร

5.2 การนำก๊าซ LPG มาใช้ในรถยนต์

การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับเครื่องยนต์ในระบบใช้ก๊าซ LPG

อุปกรณ์ที่สำคัญได้แก่ ถังแก๊ส และหม้อต้ม โดยเริ่มจากการติดตั้งถังเป็นอันดับแรก ถังแก๊สส่วนมากนิยมติดตั้งไว้ที่กระโปรงหลังด้านใน ติดกับเบาะหลัง แล้วเดินท่อจากถังไปเข้าหม้อต้มซึ่งติดอยู่หน้ารถ ท่อแก๊สอาจจะใช้ท่อเหล็ก หรือท่อทองแดงหุ้มด้วยท่อพลาสติก ส่วนใหญ่การติดตั้งจะใช้ท่อทองแดงเพราะจะติดตั้งง่ายกว่าแต่รับแรงได้น้อยกว่า ตังถังจะมีท่ออยู่สองท่อ ท่อหนึ่งมีไว้สำหรับเติมแก๊ส อีกท่อหนึ่งก็เป็นท่อเดินจากถึงแก๊สมาเข้าที่หม้อต้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

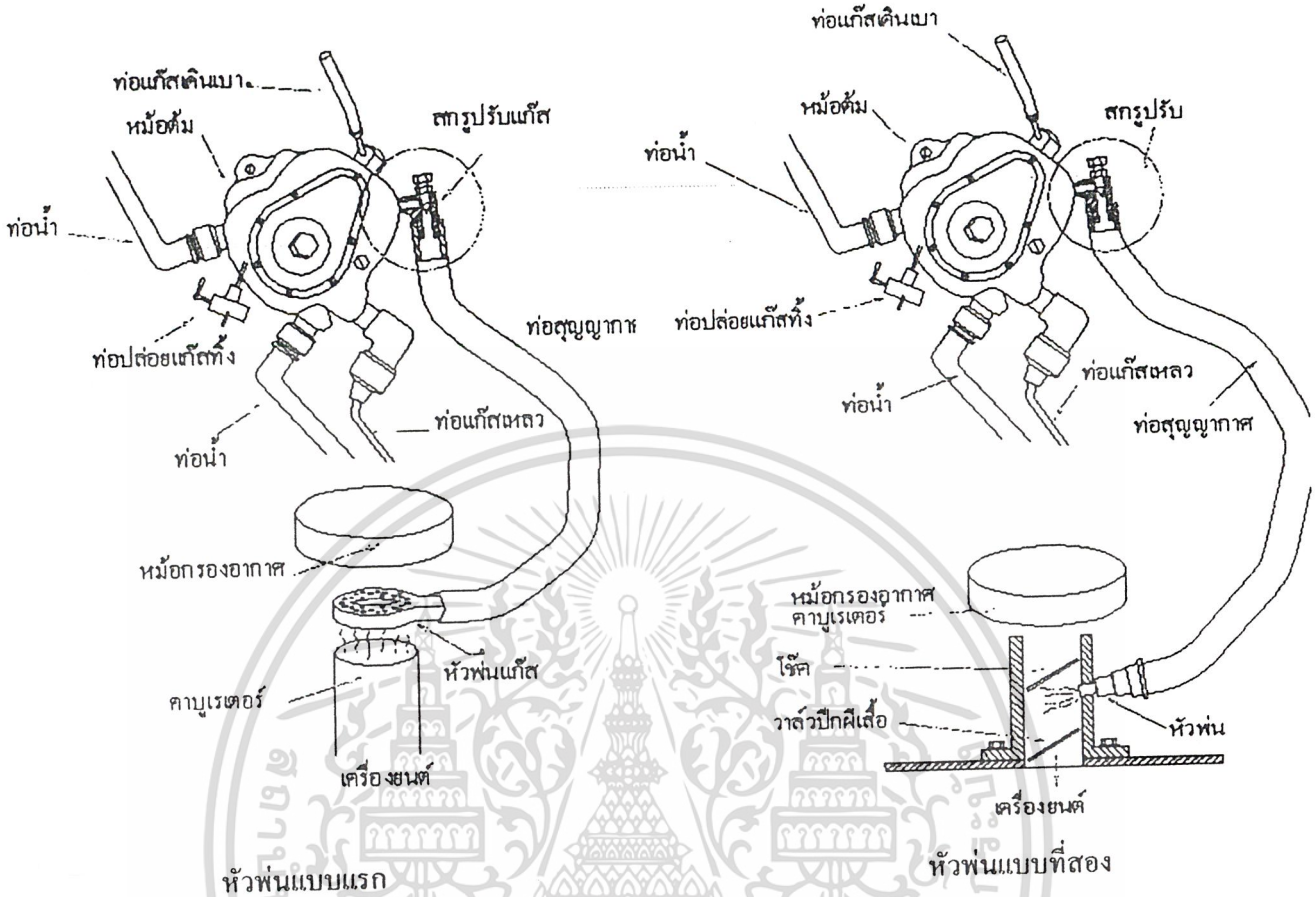
เมื่อเดินท่อมาถึงด้านหน้าของรถ ก็เดินท่อเข้ากับตัวกรองแก๊สก่อน จากตัวกรองก็มาเข้าตัวเปิด - ปิดแก๊สเข้าหม้อต้ม ขั้นต่อมาคือจัดการใช้ท่อน้ำเดินท่อเข้าหม้อต้ม เพื่อใช้น้ำร้อนเข้าไปต้มแทนแก๊ส นอกจากนี้ยังมีท่อที่ยังไม่ได้ทำการกล่าวถึงคือ

- ท่อสุญญากาศที่มีไว้เพื่อควบคุมการจ่ายแก๊สของหม้อต้ม
- ท่อปล่อยแก๊สทิ้ง มีลักษณะคล้ายท่อประปามาก มีเพื่อปล่อยแก๊สทิ้ง

การเดินท่อแก๊สจากหม้อต้มเข้าสู่เครื่องยนต์ เมื่อเราติดตั้งถังแก๊ส เดินท่อเข้าหม้อต้ม เดินท่อน้ำเข้าต้มแก๊ส เดินท่อสุญญากาศจากเครื่องมาต่อกับท่อสุญญากาศของหม้อต้มแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการเดินทางของท่อแก๊สสู่เครื่องยนต์ เมื่อพิจารณาจากหม้อต้มจะพบว่าท่อแก๊สเข้าเครื่องยนต์นั้นเป็นท่อใหญ่ ขนาดเท่ากับสองท่อข้างล่าง (ท่อน้ำเข้า-ออก) ส่วนท่อแก๊สเข้าเครื่องยนต์จะเป็นท่อขนาดใหญ่เช่นกันแต่อยู่ด้านบนใช้ท่อยางแบบอ่อนตัวได้ แต่ถ้าถามว่าควรใช้ท่อยางแบบใด ใช้ท่อยางที่ว่าเดินจากหม้อต้มเข้าเครื่องยนต์เริ่มลงมือเดินจากหม้อต้ม ก่อนอื่นถ้าดูจากรูปจะพบว่า ณ จุดมีสกรูปรับอยู่ตัวหนึ่งเป็นสกรูปรับแก๊สให้เข้ามามากน้อยตามต้องการ ถ้าหม้อต้มที่เราซื้อมายังไม่มี เราต้องรับจัดการเจาะรูทำเกลียวใส่ให้เรียบร้อย จะเห็นว่าแก๊สจะเข้าเครื่องมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับสกรูตัวนี้ ดังนั้นก่อนจะเดินท่อทางของแก๊สต่อไปให้ทำสกรูปรับตัวที่ได้กล่าวมาให้เสร็จเรียบร้อยเสียก่อน สมมติว่าสกรูปรับแก๊สเราได้ทำเสร็จเรียบร้อยแล้วขั้นต่อไปคือการเดินท่อจากสกรูปรับตัวนี้เข้ากับเครื่อง ซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้

การเดินท่อจากสกรูปรับเข้าเครื่องยนต์ ใช้ท่อยางชนิดอ่อนเดินท่อจากสกรูปรับเข้าเครื่องยนต์ แต่ก่อนเข้าเครื่องยนต์จะต้องมีวิธีว่าเราจะให้ท่อแก๊สของเราเข้า ณ จุด หรือส่วนใดของคาร์บูเรเตอร์ ให้พิจารณาจากภาพจะพบว่ารูปแบบการเดินท่อเข้าคาร์บูเรเตอร์มีอยู่ 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงการติดตั้งหัวพ่นแก๊ส

แบบแรก (ดูภาพประกอบ) จะเห็นว่าท่อแก๊สจะต่อกับอุปกรณ์ตัวหนึ่งมีลักษณะคล้ายเตาแก๊ส แก๊สจากหม้อต้มจะไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้ แล้วจึงถูกเครื่องยนต์ดูดเข้าไป จะเห็นว่าการออกแบบออกแบบได้ดี เพราะเลียนแบบมาจากเตาแก๊ส ทำให้แก๊สมีการแผ่กระจายได้ดีมาก แต่มีข้อเสียอยู่ตรงที่ว่า จะต้องซื้ออุปกรณ์ที่ว่านี้แพงกว่าแบบที่สองมาก(ซึ่งจะกล่าวถัดไป) และข้อเสียอีกประการหนึ่งคือการติดตั้งยากกว่าในรถบางยี่ห้อ และข้อเสียอีกอย่างคือเมื่อเราหยุดใช้แก๊ส แต่ไปใช้ในระบบน้ำมัน (การติดตั้งอุปกรณ์แก๊สจะสามารถใช้ในระบบน้ำมันได้อย่างเดิมเพื่อป้องกันปัญหาในกรณีที่ไม่มีสถานีบริการแก๊ส) จะเห็นว่าอุปกรณ์ที่รูปร่างเหมือนเตาแก๊สดังกล่าวจะวางอยู่เหนือคาร์บูเรเตอร์ จึงทำให้ช่องทางเดินอากาศลดลง อากาศจึงเข้าได้น้อยลง

แบบที่สอง (พิจารณารูปประกอบ) จะพบว่าคล้ายกับแบบแรก จะต่างกันก็ตรงที่แบบที่สิงนั้นท่อแก๊สจะถูกเจาะฝังอยู่ด้านล่างของคาร์บูเรเตอร์ การเจาะฝังก็ใช้วิธีทำเกลียวฝังลงไป และตัวที่ฝังลงไปนี้ใช้แป๊ปทองเหลืองเจาะรูประมาณ 2 หุน ทำเกลียวที่คาร์บูเรเตอร์ให้เข้ากันกับแป๊ปทองเลืงทีเรากลึงด้านหนึ่งฝังติดกับบริเวณด้านล่างของคาร์บูเรเตอร์ ด้านหนึ่งต่อเข้ากับท่อแก๊สจากหม้อต้มเป็นอันว่าใช้ได้ อุปสรรค์ที่มักพบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

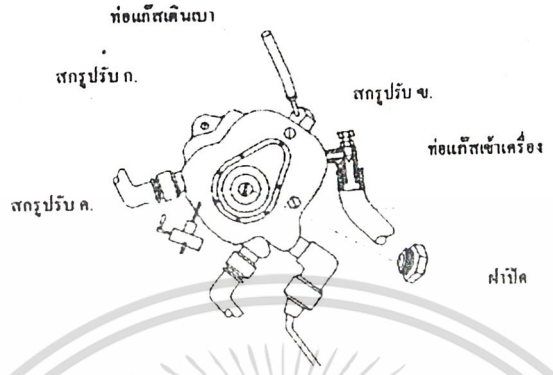
การทำเกลียวที่คาร์บูเรเตอร์จะทำได้ยาก หากทำเกลียวไม่ได้ผลขอแนะนำว่าให้ใช้กาวที่ใช้ติดโลหะติดอัดเข้าไป และข้อเสียอีกประการคือแก๊สจะพุ่งออกมาไม่เป็นฝอยแบบแบบแรก

เป็นอันว่าเราได้ติดตั้งอุปกรณ์แก๊สเข้ากับเครื่องยนต์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการเริ่มทดลองติดเครื่องก่อนทำการติดเครื่องเราจำเป็นต้องตรวจสอบรอยรั่วตามข้อต่อต่างๆก่อน ทำได้โดยใช้ฟองสบู่ทาตรงบริเวณที่สงสัยว่าจะมีการรั่วแล้วทำการเปิดแก๊ส ถ้ามีแก๊สรั่วเราจะเห็นฟองสบู่ให้เห็นปุด ๆ ตลอดเวลา จากนั้นเราก็ทำการซ่อมแซมให้เรียบร้อย ขั้นตอนต่อไปให้ทำการเปิดสวิตช์กุญแจ แล้วตรวจสอบรอยรั่วทุก ๆ จุดที่สงสัย ใช้วิธีการเดียวกับตอนแรก เมื่อแน่ใจว่าไม่มีรอยรั่วแล้วก็เตรียม สตาร์ทเครื่องยนต์ หากเครื่องยนต์ยังไม่ติดแสดงว่าจะต้องมีสิ่งแก้ไขจัดการถอดสายไฟที่ลิ้นปิด-เปิดแก๊สออก (เพื่อไม่ให้ลิ้นปิด-เปิดทำงาน) ขณะสตาร์ทเครื่องมาถึงตอนนี้ลืมบอกท่านผู้อ่านไปว่า ตอนนี้เรากำลังทดลองระบบแก๊สอยู่ เพราะฉะนั้นระบบน้ำมันต้องถูกตัดออกโดยสิ้นเชิง กล่าวคือ จะต้องถอดท่อน้ำมันไม่ให้เข้าเครื่องนั่นเอง เมื่อราเจอปัญหาจากระบบแก๊สสตาร์ทเครื่องปรากฏว่าเครื่องติดทำงานได้เรียบร้อย หากเครื่องไม่ติดต้องแก้ไขให้เรียบร้อยเสียก่อน คือเราใช้ระบบน้ำมันเป็นหลักหมายความว่าเครื่องเราจะต้องติดด้วยน้ำมันให้เป็นที่เรียบร้อยเสียก่อน แล้วจึงติดด้วยระบบแก๊ส สมมติว่าในระบบน้ำมันเครื่องยนต์ติดเป็นที่เรียบร้อยนั่นก็หมายความว่าระบบน้ำมันไม่มีสิ่งใดบกพร่องเครื่องยนต์ปกติดีทุกอย่างตัดตอนน้ำมันอีกครั้งหนึ่งเพื่อทดลองติดด้วยระบบแก๊สอีกครั้งปล่อยให้เครื่องติดจนน้ำมันหมด แล้วจึงต่อสายไปของลิ้นปิด-เปิดแก๊ส ให้ลิ้นปิด-เปิดทำงาน ขณะสตาร์ทเครื่องอีกครั้งหนึ่ง เริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์ใหม่อีกครั้ง ถ้าเครื่องยนต์ไม่ติดลองเปิดสวิตช์สตาร์ททิ้งไว้ ให้ลิ้นเปิด-ปิดแก๊สเปิดแก๊สทิ้งไว้นั่นเอง แล้วถอดสายท่อแก๊สที่ต่อจากหม้อต้มด้านที่ต่อกับหัวพ่นแก๊ส สังเกตว่ามีเปลวแก๊สพุ่งออกมาหรือเปล่า ถ้ามีเปลวแก๊สจะสังเกตได้จากมีกลิ่น และมองเห็นเปลวแก๊สได้ลางๆ เหมือนเปลวความร้อนแสดงว่าแก๊สจากถังได้ผ่านอุปกรณ์ต่างมาเป็นที่เรียบร้อยแล้วเพียงแต่ว่าผ่านมาด้วยจำนวนมากน้อยเท่านั้นเอง จัดการปรับสกรูปรับแก๊ส ให้แก๊สเข้าเครื่องยนต์ให้เหมาะสม เมื่อปรับไปปรับมาจะมีจุดหนึ่งที่เครื่องยนต์ควรจะติด ขอให้ลองปรับสกรูตัวที่ว่านี้ให้ดีๆ จะมีจุดที่เหมาะสมที่เครื่องยนต์จะติดทุกครั้งที่ผ่านจุดปรับอันนี้

สมมติว่าการติดเครื่องด้วยเชื้อเพลิงแก๊สเป็นไปอย่างเรียบร้อยแล้ว ขอให้ย้อนกลับมาดูหม้อต้มอีกครั้งหนึ่งว่ามีจุดปรับกี่จุด เพื่อที่จะเป็นข้อคิดในการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้ดีขึ้น ตัวปรับตัวแรกได้แก่สกรูปรับ ข. เพราะเราจะต้องปรับเข้าออกหลายครั้งก่อนติดเครื่องยนต์ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในข้อความตอนบน ตัวปรับตัวต่อไปได้แก่ตัวปรับ ค. (ดูรูปประกอบ) ตัวปรับตัวนี้เราต้องถอดฝาปิดออกมาก่อน แล้วจึงใช้ไขควงขนาดโตสักหน่อยหมุนเข้า-ออกตามต้องการ ถ้าหมุนเข้าจะทำให้ตัวหมุนไปดันสปริงมีความแข็งมากขึ้น แก๊สจะออกมาจากหม้อต้มได้จำนวนมากกว่าสปริงอ่อน ถ้ารถขนาดเล็ก เราอาจจะต้องถลายออก แต่ถ้ารถขนาดใหญ่เราจะต้องหมุนเข้า แต่ตามความเป็นจริงแล้วตัวปรับตัวที่ว่านี้หากไม่จำเป็นเราก็ไม่ต้องไปปรับมัน เพราะผู้สร้างเขาได้ตั้งมาพอดีแล้ว ตัวปรับรัวสุดท้ายได้แก่ ตัวปรับ ก. ตัวปรับ ก. นั้นเป็นสกรูตัวเล็กๆ รองรับด้วยสปริง คล้ายๆสกรูเดินเบาของเครื่องยนต์เมื่อเราหมุนสกรูตัวนี้ไปมาเครื่องจะเร่งขึ้นหรือเบาลงตามจะหวะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มือเราหมุน ดังนั้นสกรูตัวนี้จึงควรเป็นตัวปรับเล็กน้อยเป็นครั้งสุดท้าย เพื่อให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เป็นไปตามความต้องการของเรา หรือของเจ้าของรถ



รูปที่ 5.4 แสดงตำแหน่งปรับต่าง ๆ ของหม้อต้ม

การใช้เชื้อเพลิงสองระบบ

เชื้อเพลิง 2 ระบบที่ว่านี้หมายถึงการใช้ระบบแก๊สระบบเบนซิน จากที่กล่าวมาแล้วตอนต้นเราสามารถใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงได้แล้ว และใช้เบนซินก็ได้แล้วเช่นเดียวกัน เหลือเพียงแต่ว่าทำอย่างไรเราจึงจะเลือกใช้ทั้งสองระบบได้อย่างสะดวก เพราะก่อนติดเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงแก๊สเราได้ตัดท่อน้ำมันจากถังโดยสิ้นเชิง ถ้าไม่ตัดท่อน้ำมันจากถึงออก เมื่อเครื่องติดปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินก็จะปั๊มน้ำมันเข้าสู่เครื่องอยู่ตลอดเวลา อันนี้คือเหตุผลที่เราจำเป็นต้องตัดท่อทางเดินของน้ำมันออก ในทางกลับกันถ้าเราจะใช้น้ำมันเบนซิน เราจำเป็นต้องตัดท่อทางเดินของแก๊สออก ซึ่งอันนี้กระทำได้ไม่ยากเพียงแต่ปิดสวิตช์กุญแจ เราก็สามารถตัดหรือปิดลิ้นแก๊สได้สำเร็จแล้วปัญหาจึงอยู่ที่ว่าทำอย่างไรเราจึงตัดตอนทางเดินของน้ำมันได้เหมือนกรณีของแก๊ส

วิธีการก็สามารถกระทำได้โดยเดินท่อจากถึงเบนซินผ่านเข้าปั๊มไฟฟ้าที่หามาแทนของเดิม ส่วนท่ออื่นๆ ก็คงเดิมไว้ ถ้าถามว่าทำไมเราต้องใช้ปั๊มไฟฟ้า ใช้ปั๊มตัวเดิมไม่ได้หรือ คำตอบก็คือ ปั๊มไฟฟ้าเราปิดเปิดสวิตช์จากภายในรถได้ แต่ปั๊มแบบเดิมเราควบคุมจากในรถไม่ได้

เมื่อเราได้ดำเนินการมาถึงขั้นนี้แล้ว เราจะเห็นว่าการควบคุมการใช้งาน 2 ระบบ ก็ง่ายขึ้น คือเราเพียงแต่โยกสวิตช์ว่าจะใช้แก๊สหรือใช้น้ำมันเท่านั้นเอง

อนึ่ง ถ้าเราไม่ใช้ทั้งสองระบบ เราก็โยกไปที่ตำแหน่ง "ว่าง" คือตำแหน่งตรงกลางทำให้สวิตช์โยกตัดการทำงานของทั้งสองระบบได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

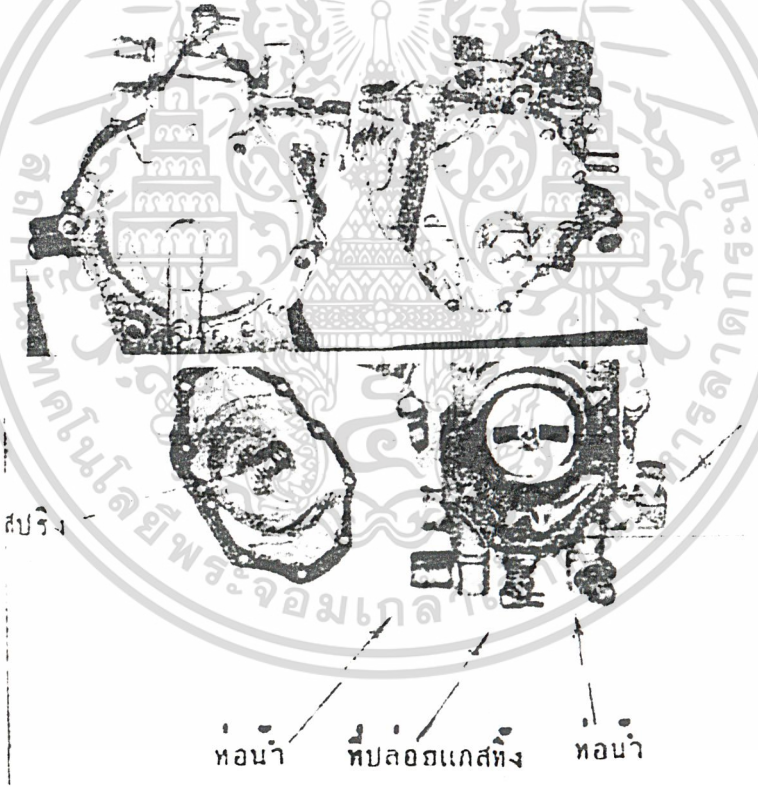
5.2.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์แก๊ส

จะกล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆ ที่ท่านผู้อ่านควรจะทราบ เพื่อเป็นแนวทางการซ่อมหรือค้นหาสาเหตุที่เครื่องขัดข้อง อุปกรณ์ที่จะกล่าวถึงได้แก่

1. หม้อต้ม

ส่วนประกอบของหม้อต้ม

หากพิจารณาดูจากภาพจะเห็นว่าที่นิยมใช้กันในปัจจุบันนี้นั้นส่วนมากจะเป็นแบบที่มาจากประเทศญี่ปุ่นเสียเป็นส่วนใหญ่ แบบแรกเป็นแบบเหลี่ยมหากมองจากด้านหน้า ถ้ามองจากด้านหลังจะเป็นรูปกลมด้านฐานเป็นมุมแหลม (ดูรูปประกอบ) จากรูปได้เปรียบเทียบให้เห็นทั้งด้านหน้าและด้านหลังของหม้อต้มชนิดเดียวกัน แบบนี้ช่างบางคนกล่าวว่าเป็นแบบที่ดีกว่าแบบที่สอง เพราะมีแผ่นไดอาแฟรม เพียง 2 แผ่น ส่วนแบบที่สองนั้นจะมีแผ่นไดอาแฟรมถึง 4 แผ่น การออกแบบของแบบแรกจึงถูกหลักเศรษฐกิจมากกว่า



รูปที่ 5.5 แสดงส่วนประกอบของหม้อต้ม

พิจารณารูปต่อไปถ้าเราต้องการดูแผ่นไดอาแฟรม ก็สามารถดูได้โดยการคลายสกรูเล็กๆ จำนวน 10 ตัวด้านหน้า แล้วยกฝาครอบด้านหน้าออก จะเห็นสปริงกดแผ่นไดอาแฟรมอยู่ สปริงตัวนี้ถ้าเราปรับให้แข็งมัน

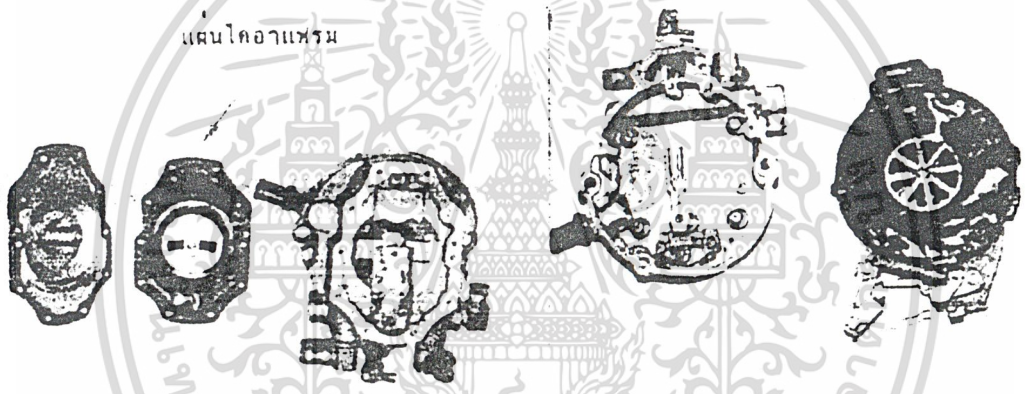
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็จะกดแผ่นไดอาแฟรมมาก แก๊สก็จะออกมาก ในทางกลับกัน ถ้าเราคลายตัวปรับให้สปริงอ่อนแก๊สก็จะออกน้อย

ดูรูปที่ 5.6 จะเห็นว่าแผ่นไดอาแฟรมสามารถดึงออกมาได้ หากเราต้องการจะเปลี่ยนหรือทำความสะอาดก็ย่อมจะทำได้ เมื่อพูดถึงหม้อต้มชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ภายในมีชิ้นส่วนที่จะชำรุดเสียหายได้น้อยมาก จะมีตรวจซ่อมหรือเปลี่ยนก็ได้แก่แผ่นไดอาแฟรมนี้เอง

รูปที่ 5.7 เมื่อเปิดด้านหลังออก จะเห็นแผ่นไดอาแฟรมอีกแผ่นหนึ่ง มีลักษณะต่างกับแบบแรก รูปที่ 5.8 เป็นการแสดงการถอดเปลี่ยนแผ่นไดอาแฟรมด้านหลัง หากเกิดชำรุดเสียหาย

แบบแรกจึงเป็นหม้อต้มที่มีแผ่นไดอาแฟรมเพียง 2 แผ่นเท่านั้น การตรวจซ่อมจึงง่ายกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่สอง



รูปที่ 5.6 เมื่อเปิดด้านหน้าจะเห็นไดอาแฟรมแผ่นแรก

รูปที่ 5.7 เมื่อเปิดด้านหลังจะเห็นไดอาแฟรมแผ่นที่สอง

รูปที่ 5.8 แสดงให้เห็นแผ่นไดอาแฟรมแผ่นหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อต้มแบบที่สอง

แบบที่สองนี้ เมื่อดูรูปร่างแล้วจะสวยกว่าแบบแรก เมื่อดูจากด้านหน้าเพียง 8 ตัวเท่านั้น การปรับความแข็งสปริงเพื่อให้แก๊สออกมามากน้อยจะต้องเปิดฝาสปริงเสียก่อน

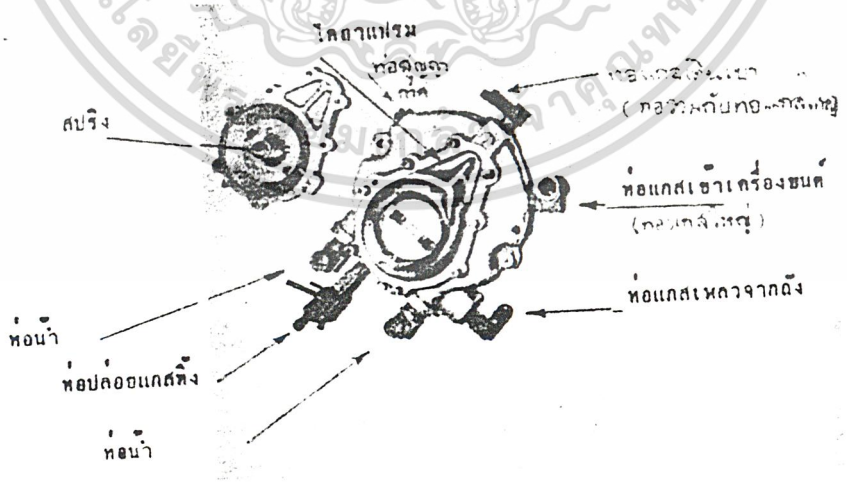
หากจะถอดแผ่นไดอาแฟรมก็ให้คลายสกรูยึดฝาครอบด้านหน้า ก็จะมองเห็นแผ่นไดอาแฟรมซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5.9 จะเห็นว่าแผ่นไดอาแฟรมมีรูปร่างเหมือนตัวฝาครอบนั่นเอง โดยแผ่นนี้เป็นแผ่นด้านหน้า

เราทราบกันแล้วว่าแผ่นไดอาแฟรมของหม้อต้มแบบนี้ จะมีแผ่นไดอาแฟรมรวมกันทั้งหมด 4 แผ่นด้วยกัน (ใหญ่ 2 แผ่น เล็ก 2 แผ่น)

รูปที่ 5.10 เป็นการแสดงให้เป็นแผ่นไดอาแฟรมแผ่นหลัง ซึ่งเป็นแผ่นใหญ่กว่าแผ่นอื่นๆ ถ้าเราดึงแผ่นไดอาแฟรมแผ่นที่ใหญ่ที่ว่านี้ออก ก็จะมองเห็นแผ่นไดอาแฟรมแผ่นเล็กๆ อีก 2 แผ่นวางอยู่ที่เรามองเห็นเป็นวงกลมเล็กๆ อีกสองวงนั่นเอง ถ้าจะถอดแผ่นเล็กๆ สองแผ่นนี้ ก็ให้คลายสกรูยึดออกอีก 8 ตัว

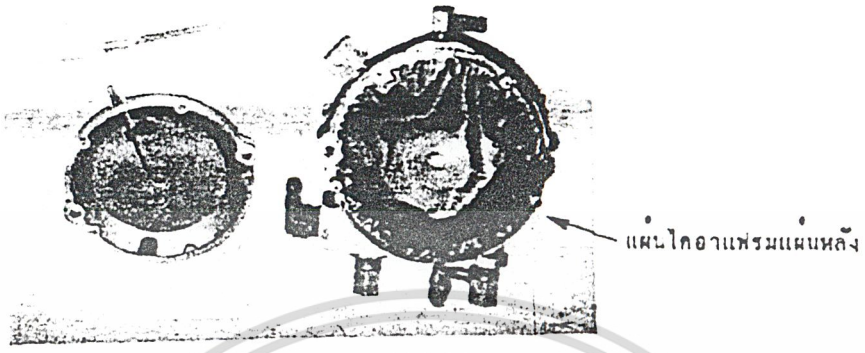
เมื่อพูดถึงหม้อต้ม อาจจะมีหลายอย่างที่จะกล่าว ผู้เขียนอยากอธิบายขั้นตอนต่างๆ ที่แก๊สเริ่มออกจากถัง เข้าหม้อต้มผ่านช่องเล็กน้อย ผ่านลิ้นควบคุมแก๊ส ลิ้นควบคุมแก๊สถูกบังคับด้วยแผ่นไดอาแฟรมให้ท่านผู้อ่านเข้าในอย่างชัดเจน แต่ติดปัญหาอยู่ที่ผู้เขียนใช้สื่อความหมายด้วยภาพ ไม่ใช่ของจริงจึงยากที่จะทำให้เห็นได้ จึงอธิบายคร่าวๆ ว่าขณะที่เครื่องเดินเบาสุญญากาศจะมากกว่าตอนเร่งเครื่อง สุญญากาศจะดูดแผ่นไดอาแฟรม ดันกระเดื่องซึ่งติดกับแผ่นไดอาแฟรมจะเคลื่อนที่ทำให้ไปบังคับลิ้นปิดเปิดแก๊สเหลวให้เข้าหม้อต้ม ภายในหม้อต้มแก๊สเหลวจะเปลี่ยนเป็นแก๊สโดยเอาความร้อนรอบๆ และบริเวณใกล้เคียงทำให้หม้อต้มเย็นลง ต้องอาศัยความร้อนจากเครื่องยนต์ เช่น น้ำ หรือ น้ำมันเข้าไปต้มแก๊ส ดังได้กล่าวมาแล้ว

หม้อต้มบางแบบมีแผ่นไดอาแฟรมเป็นแบบผสมระหว่างแบบที่หนึ่งกับแบบที่สอง คือมีไดอาแฟรมเพียง 3 แผ่น ซึ่งการทำงานก็คล้ายๆกันนั่นเอง



รูปที่ 5.9 เปิดด้านหน้าเพื่อดูไดอาแฟรมแผ่นแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แสดงให้เห็นไดอาแฟรมแผ่นหลังของหม้อต้มอีกแบบหนึ่ง

2.ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงไฟฟ้า

รูปที่ 5.11 แสดงให้เห็นรูปร่างของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า

ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง

ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงที่อาศัยการทำงานของไฟจากแบตเตอรี่นั้น สมัยก่อนเรารู้จักในชื่อของ " ปั้มติก" เพราะเมื่อเวลาทำงานจะมีเสียงที่ว่านี้ แต่ในสมัยปัจจุบันปั้มที่ว่านี้มีราคาแพงขึ้นมาก ประกอบกับการทำงานต้องอาศัยสะพานไฟปิด-เปิด เมื่อใช้ไปนานๆ หน้าสัมผัสอาจจะสกปรก หรือสปริงอ่อนทำให้มีปัญหา ปั๊มสมัยใหม่จากประเทศญี่ปุ่นจึงถูกนำมาใช้แทน ปั๊มที่แสดงในรูปเป็นปั๊มที่ไม่มีหน้าสัมผัสที่ว่า จังสามารถแก้ปัญหาที่กล่าวในตอนต้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำไปใช้งานนั้นสะดวกมากมาย เพราะมีท่อน้ำมันเข้า-ออกบอกไว้ด้วยเครื่องหมายลูกศร และมีสายไฟเพียง 2 สายคือ บวกและลบเท่านั้นเอง เพียงแต่ต่อไฟผ่านสวิตช์เท่านั้นเองก็เป็นอันว่าใช้ได้

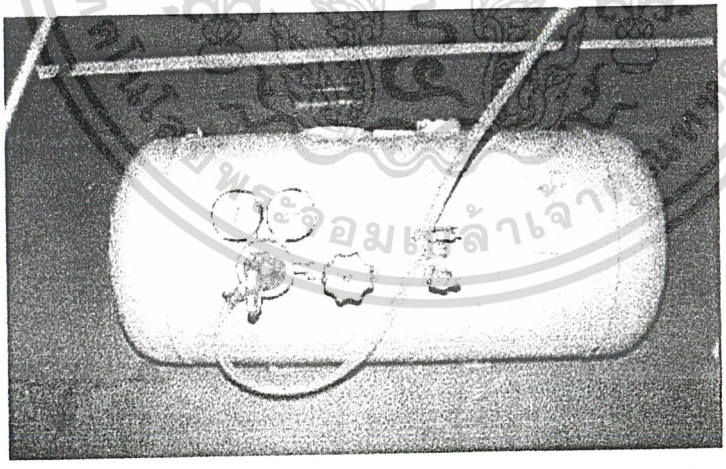
ก่อนซื้อจากร้านผู้ซื้อจะต้องให้ทางร้านต่อขั้วไฟให้ดูพร้อมกับจับท่อดูว่ามีแรงส่งแรงดูดก็เป็นอันว่าใช้งานได้ ส่วนขนาดตัวโตตัวเล็กก็เลือกตามขนาดของรถกล่าวคือ ถ้ารถเราใหญ่เราก็ต้องเลือกตัวใหญ่ ถ้ารถเราเล็กเราก็ต้องเลือกตัวเล็ก บางครั้งผู้ขายฉลาดทั้งๆที่ตัวใหญ่ตัวเล็กราคาเท่ากัน แต่ถ้าเดาใจเราออกว่าเราต้องการตัวใหญ่ ผู้ขายมักจะโก่งราคาว่าตัวใหญ่แพงกว่ามาก ทั้งที่บางทีราคาใกล้เคียงกัน

3.ถังแก๊ส

ได้มีผู้ถกเถียงกันมากมายถึงอันตรายจากการใช้แก๊สติดรถยนต์ และอันตรายที่มักจะกล่าวถึงก็มักจะพาดพิงมาถึงถังบรรจุแก๊สด้วยเสมอ

ปกติถึงแก๊สก่อนนำออกมาใช้ผู้ผลิตได้ทดสอบแรงดัน (Test Pressure) ไว้ก่อนแล้ว ปกติถังที่ใช้ตามบ้านจะทนแรงดันได้ประมาณ 480 P.S.I. และถังแก๊สที่ใช้สำหรับติดตั้งกับรถยนต์ก็จะผ่านการทดสอบแรงดันซึ่งจะทนได้ประมาณ 480 P.S.I. เช่นเดียวกัน

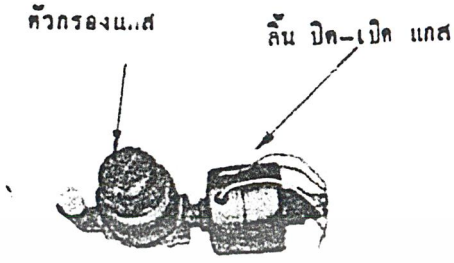
ปกติถังแก๊สอยู่เฉยๆ ไม่น่าจะระเบิด เว้นเสียแต่ว่าถังนั้นเก่ามากๆ การจะระเบิดขึ้นได้จะต้องมีการชนเกิดขึ้นก่อน เมื่อการชนเกิดขึ้นท่อทางเดินของแก๊สรั่วเนื่องจากการกระแทก ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่อาจจะเดินลัดวงจรทำให้เกิดเพลิงไหม้ดันรถยังผลให้การลุกไหม้เกิดขึ้น ความร้อนจากการเผาไหม้มีผลให้ถังแก๊สถูกเผาไหม้ไปด้วย ถ้าถังแก๊สไม่รั่วเสียก่อนหากได้รับความร้อนมากๆ ก็จะระเบิดได้



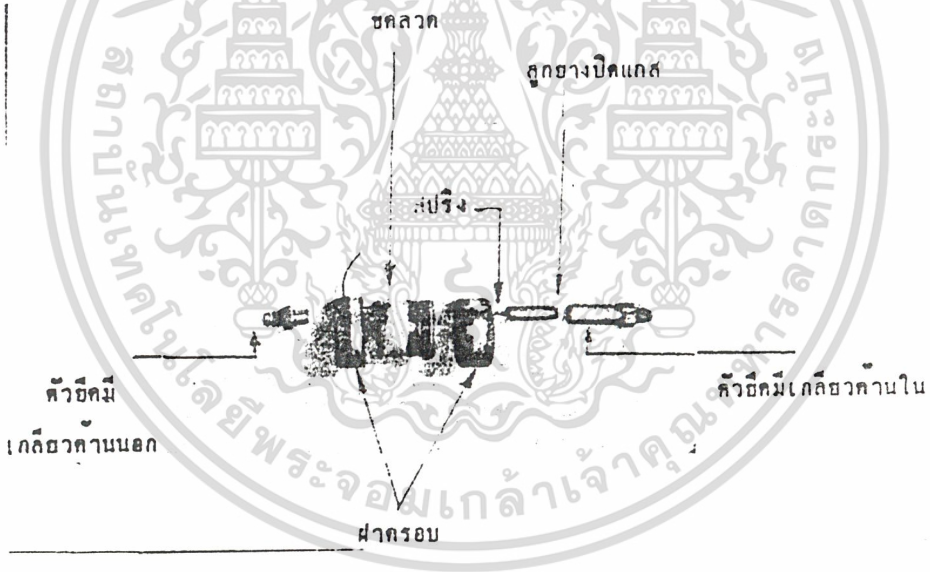
รูปที่ 5.12 แสดงตัวอย่างถังแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลิ้นปิด-เปิดแก๊ส และกรองแก๊ส



รูปที่ 5.13 แสดงให้เห็นตัวกรอง และลิ้นปิด-เปิด แก๊ส



รูปที่ 5.14 แสดงให้เห็นชิ้นส่วนต่างๆ ของลิ้นปิด-เปิดแก๊ส

ตัวกรองและลิ้นปิด-เปิดแก๊ส

จากรูปที่ 5.13 แสดงให้เห็นตัวกรองแก๊ส และลิ้นปิด-เปิดแก๊สอยู่ติดกัน ลิ้นปิด-เปิดแก๊สจะมีขั้วสายไฟออกมา 2 สาย คือขั้วบวกกับขั้วลบ การต่อใช้งานจึงต่อใช้งานได้ง่ายเพียงแต่ต่อผ่านสวิตช์เท่านั้นเอง

ถ้าเราจะถอดชิ้นส่วยของปิด-เปิดแก๊สออกดังรูป 5.14 จะเห็นว่ามีชิ้นส่วนสำคัญอยู่ 6 ชิ้นส่วนด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงาน เมื่อเปิดสวิตช์ให้กระแสไฟเข้าขดลวด ขดลวดก็จะเป็นแม่เหล็กดึงลูกยางปิดแก๊สออกมาหา ทำให้แก๊สเหลวผ่านท่อจากตัวกรองเข้าหม้อต้มได้ เมื่อปิดสวิตช์ไฟจากแบตเตอรี่ไม่ไหลเข้าขดลวดก็จะไม่มีอำนาจแม่เหล็ก สปริงก็จะดันลูกยางปิดแก๊สไปปิดทางเดินของแก๊ส ทำให้แก๊สไม่สามารถผ่านลิ้นไปได้

ชิ้นส่วนที่จะชำรุดเสียหายที่มักพบบ่อยๆ ได้แก่ ขดลวดและลูกยางสึก

ขดลวด เสียหายอาจจะสาเหตุมาจากรอยต่อขาด หรือลวดขาด หรือลวดไหม้ หากลวดขาดก็จัดการตรวจหาด้วยโอมห์มีเตอร์ หากลวดไหม้ก็จัดการพันใหม่ การพันขดลวดใหม่ไม่เป็นการยากเลย เพียงแค่ถอดออกมาแล้วนับจำนวนขดลวดที่พันอยู่เดิมว่ามีกี่ขด จากนั้นก็หาขนาดลวดให้เดท่าเดิมหรือใกล้เคียงมากที่สุดมาพันให้เท่าจำนวนรอบที่เรานับ จัดการพันกระดาษหรือผ้ากันฉนวนให้เรียบร้อยก็เป็นอันใช้ได้ ถ้าให้ดีก็อาบด้วยน้ำยาวานิช แล้วอบด้วยความร้อนก็จะดีที่สุด

ลูกยาง มักจะพบบ่อยมากที่ลูกยางสึกแล้วปิดแก๊สไม่อยู่ วิธีแก้ก็ง่ายนิดเดียว เพียงแต่ท่านจัดการหายางลูกยางเบรครถยนต์มาลูกหนึ่ง จัดการใช้ตุ๊ดตู่ (hollow punch) หรือตัวทำรูทำขนาดลูกใหม่เข้าแทน ในกรณีที่ลูกยางปิดแก๊สเป็นแบบมีร่องก็จับเข้าร่องได้เลย แต่ในกรณีที่ลูกยางปิดแก๊สเป็นแบบใช้กาวติดเราก็ใช้การติดเทคนิคอันหนึ่งก็คือ ความหนาของลูกยางที่ยื่นออกมาต้องให้เท่ากับความหนาเดิม มิเช่นนั้นจะทำให้การทำงานของลูกยางปิด-เปิดแก๊สอาจไม่ถูกต้องตามตำแหน่ง ในกรณีที่ลูกยางหนาน้อยไป เราต้องรองให้ความหนาเพิ่มขึ้น และถ้าลูกยางหนามากๆ เราต้องเลือกความหนาของลูกยางใหม่

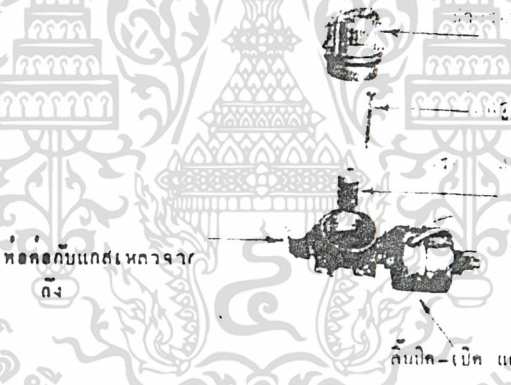
เมื่อประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าที่ให้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็ลองปิด-เปิดแก๊สจากถึงดู กล่าวคือ ในจังหละที่เปิดแก๊สจากถึงและไม่ต่อทางไฟเข้า (ลิ้นปิด) ดูว่าแก๊สผ่านลิ้นปิดนี้ได้หรือไม่ วิธีการให้ใช้ฟองสบู่มาปิดท่อแก๊ส ถ้าแก๊สรั่วก็จะปรากฏฟองให้เป็น ถ้าแก๊สยังรั่วอยู่ก็ต้องแก้ไขให้เรียบร้อยก่อน ก่อนที่จะเดินท่อเข้าหม้อต้มต่อไป

และถ้าในกรณีที่ต่อทางไฟเข้าลิ้นปิด-เปิดแก๊ส (ลิ้นเปิด) แก๊สเหลวจะพุ่งออกทันที ตอนนี้ต้องเตรียมเครื่องดับเพลิงและอุปกรณ์ดับเพลิงไว้ให้พร้อม และต้องอยู่ห่างจากเปลวไฟอย่างน้อย 5 เมตร จึงจะปลอดภัย เดียวกับตัวเราก็ต้องระวังตัวไว้ด้วย เพราะแก๊สอาจจะพุ่งเข้าตาหรือจมูกได้ พึงหลีกเลี่ยงการสูดกลิ่นแก๊สเข้าร่างกาย เพราะจะทำให้อ่อนเพลียได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกรองแก๊ส

รูปที่ 5.15 ภาพแสดงให้เห็นถึงชิ้นส่วนของตัวกรองแก๊ส



รูป5.16 แสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ของตัวกรองแก๊ส

รูปที่ 5.15 แสดงให้เห็นถึงชิ้นส่วนของตัวกรองแก๊ส ตัวกรองแก๊สฝาครอบปกติจะหมุนออกได้ด้วยมือ แต่ตอนหมุนออกก็ระวังแก๊สเหลวจะพุ่งออก เนื่องจากแก๊สเหลวจะค้างอยู่ในท่อแม้ว่าเราจะปิดแก๊สแล้วก็ตาม

รูปที่ 5.16 แสดงให้เห็นถึงการถอดเปลี่ยนตัวกรองแก๊ส จะเห็นว่าเพียงแค่คลายสกรูเพียงตัวเดียวก็สามารถถอดเปลี่ยนได้ การทำงานของตัวกรองแก๊สทำหน้าที่กรองพวกผงสกปรกต่างๆ ที่อยู่ในแก๊สเหลวไว้ไม่ให้เข้าหม้อต้ม นานๆครั้งจึงควรถอดดูตัวกรองแล้วทำความสะอาดเอาผงและสิ่งสกปรกที่ตัวกรองกักเก็บไว้ออกทิ้งไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

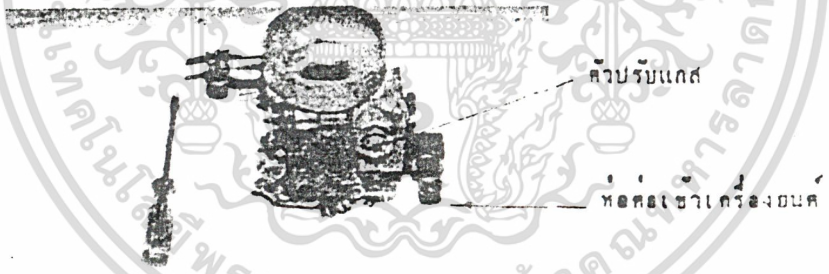
คาบูเรเตอร์แก๊ส คาบูเรเตอร์แก๊ส หรือเรียกสั้นๆว่า คาบิวแก๊ส คาบูเรเตอร์นั้นสมัยก่อนเมื่อเราซื้ออุปกรณ์แก๊สครบชุด เราขอแถมคาบิวแก๊สได้หนึ่งลูก แต่เดี๋ยวนี้ไม่ได้แล้ว จะต้องซื้อขายแยกกันในราคาลูกละประมาณ 200-300 กว่าบาท

แต่ในบางกรณีที่รถบางคันต้องการติดอุปกรณ์แก๊ส ต้องการ 2 ระบบคือทั้งระบบแก๊สและระบบน้ำมัน ซึ่งวิธีนี้รถนั่งส่วนมากต้องการ ช่างผู้ติดตั้งจึงมีความจำเป็นที่จะต้องไม่ใช้คาบิวแก๊ส แต่ใช้คาบิวที่ติดกับรถที่มีอยู่แล้ว เพียงแต่จะเจาะรูเพิ่ม หรือซื้ออะแดปเตอร์หัวพ่นแก๊สมาต่อ ดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น

เมื่อพิจารณาชิ้นส่วนของคาบิวแก๊สจะเห็นว่าชิ้นส่วนที่สำคัญมากที่สุด ได้แก่ ท่อแก๊สกับตัวปรับแก๊ส ตัวปรับแก๊สมีหน้าที่อย่างไร ท่านผู้อ่านก็ได้ผ่านมาแล้ว ส่วนท่อแก๊สที่จะต่อเข้าเครื่องยนต์ก็เช่นกันท่านผู้อ่านจะทราบว่ามีไว้เพื่ออะไร

จากรูปถ้าดูจากภายนอกจะไม่รู้ว่าท่อแก๊สเข้าเครื่องยนต์นั้นถูกควบคุมด้วยตัวปรับแก๊สอีกต่อหนึ่ง แต่ถ้าดูของจริงแล้วจะเห็นว่าท่อแก๊สเข้าเครื่องยนต์นี้นต้องผ่านสกรูปรับตัวนี้เพื่อปรับตัวจำนวนแก๊สที่เหมาะสมให้เข้าเครื่องยนต์

5. คาบูเรเตอร์แก๊ส



รูปที่ 5.17 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างและลักษณะของคาบูเรเตอร์แก๊ส

เกจวัดเปอร์เซนต์แก๊ส

อุปกรณ์ที่ว่านี้ติดอยู่ที่ถังแก๊ส เป็นอุปกรณ์บอกเปอร์เซนต์ของแก๊สที่มีอยู่ในถังว่ามีแก๊สเหลืออยู่กี่เปอร์เซนต์ การทำงานของเข็มวัดแก๊ส ท่านผู้อ่านอาจะมีความสังสัยว่าเข็มที่กล่าวนั้นสามารถทำงานได้อย่างไร และมีหลักการทำงานอย่างไร หากท่านสงสัยผู้เขียนจะขออธิบายในหลักการดังนี้ สมมติว่าท่านมีแม่เหล็กอยู่แท่งหนึ่งกับเศษเหล็กแผ่นบางๆ ให้ท่านวางแผ่นเหล็กไว้บนโต๊ะ แล้วใช้แม่เหล็กเคลื่อนที่ไปมาใต้โต๊ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะไรจะเกิดขึ้นกับแผ่นเหล็กอันนั้น คำตอบก็คือ แผ่นเหล็กจะเคลื่อนที่ตามแม่เหล็กตามที่ทางที่แม่เหล็กเคลื่อนที่ (ดูรูปประกอบ)

รูปต่อไปสมมติว่าเรานำแผ่นเหล็กอันนั้นมาติดไว้ที่เกจหน้าปัทม์ตัวเลข แล้วหมุนแม่เหล็กไปมา ผลที่เกิดขึ้นก็จะทำให้เข็มตัวเลขชี้ไปชี้มาตามอาการเคลื่อนที่ของแม่เหล็ก ถ้าเรานำความคิดตอนต้นมาใช้งานในถังแก๊สเหลว เราจำเป็นต้องมีลูกลอยและฟันเฟือง เมื่อลูกลอยลอยตัวขึ้นหรือลงก็จะหมุนฟันเฟืองให้หมุนไปมา ปลายด้านหนึ่งของฟันเฟืองจะมีแม่เหล็กติดอยู่ก็จะทำให้แม่เหล็กหมุนตาม จากการเคลื่อนทีของแม่เหล็กจะทำให้เข็มชี้บอกเปอร์เซนต์ของแก๊สหมุนตามไปด้วยเราจึงสามารถอ่านค่าจำนวนแก๊สที่เหลือในถังได้

เข้มชี้บอกจำนวนน้ำมันเบนซินในถังน้ำมันทำงานต่างกับของแก๊สคือ จะใช้การทำงานของลูกลอยโดยมีหลักการดังนี้

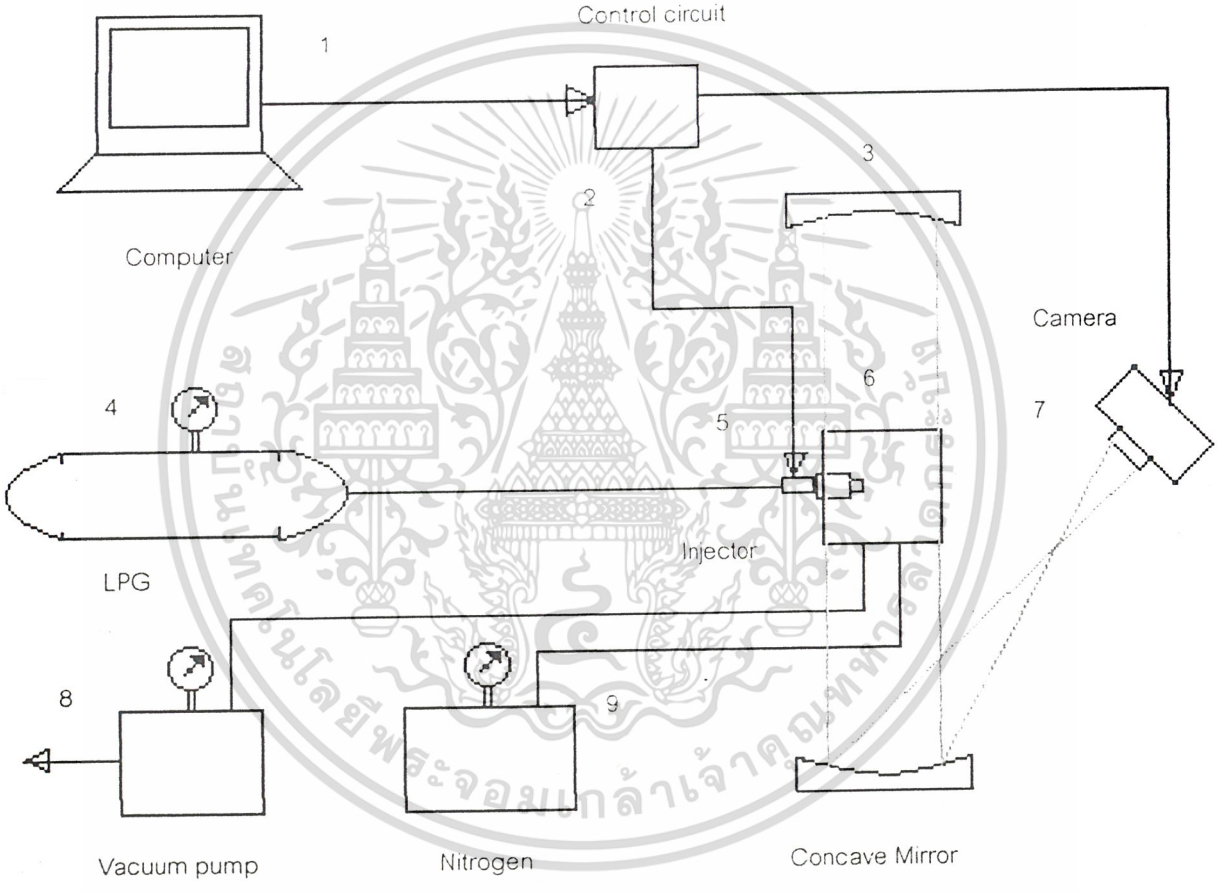
เมื่อเปิดสวิตช์ไฟจากแบตเตอรี่ก็จะไหลผ่านเข้าอุปกรณ์วัด แล้วลงดินครบวงจร แต่ถ้าสังเกตุให้ดีจะเห็นว่าที่ที่ลงดินนั้นมี 2 แห่งคือ ที่เกจวัดและที่ลูกลอยในถึง ที่ลูกลอยในถังก็มีที่ลงดิน 2 ที่เช่นเดียวกัน ทำไมจังเป็นเช่นนั้น ลองสังเกตุดูดี ๆ ตะพบว่าถ้าน้ำมันในถังไม่มีเลยกระแสไฟจากแบตเตอรี่จะวิ่งผ่านขดลวดเพียงขดเดียว คือขดลวดด้านซ้ายมือแล้วไปลงดินที่ลูกลอย ไม่ผ่านความต้านทานที่ชุดลูกลอย เมื่อกระแสไฟไหลเข้าคอยล์หรือขดลวดทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก อำนาจแม่เหล็กซึ่งเกิดจากแกนเหล็กในขดลวดก็จะดูดเข็มขี้เข้าใกล้ขดลวด เข็มก็จะชี้บอกเราว่าน้ำมันเหลือน้อย เมื่อน้ำมันเต็มถังลูกลอยลอยตัวสูงขึ้น กระแสไฟจากแบตเตอรี่ที่จะไปลงดินที่ก้านลูกลอยต้องผ่านความต้านทาน ซึ่งเมื่อเทียบกันแล้วจะมีค่ามากกว่าความต้านทานของขดลวดด้านขวามือ การะแสไฟจึงเดินไฟลงดินที่ที่ขดลวดด้านขวามือแทน แม่เหล็กซึ่งเกิดจากแกนเหล็กในขดลวดด้านขวามือจึงดึงเข็มชี้บอกมาทางด้านขวามือ ทำให้เราทราบจำนวนน้ำมันเบนซินในถังได้ถูกต้องในกรณที่น้ำมันเหลือครึ่งถัง กระแสไฟจากแบตเตอรี่ก็จะไหลไปลงดินทั้งที่ขดลวดด้านขวามือและที่ชุดลูกลอย กระแสจึงถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ทำให้กระแสน้อยลงกว่าเดิม อำนาจแม่เหล็กจากขดลวดขวามือก็ลดลง มีผลให้เข็มชี้บอกมาอยู่ตำแหน่งตรงกลาง

ในกรณีของชุดลูกลอยในถึงแก๊ส ก็อาศัยหลักการอันเดียวกัน กล่าวคือ อุปกรณ์เกจวัดบอกเปอร์เซนต์แก๊สจะมีชุดความต้านทานอยู่ด้วย เมื่อลูกลอยลอยตัวขึ้นมาหมุนแม่เหล็กถาวร แม่เหล็กถาวรจะดูดเข็มชี้ เข็มชี้ก็จะหมุนไป แต่ขณะที่หมุนไปนั้นก็จะมีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกันกับชุดลูกลอยข้างบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

6.1 แบบจำลองและอุปกรณ์ของชุดทดลอง



รูปที่ 6.1 แสดงแบบจำลองของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7.1 เป็นแผนผังแสดงการจัดวางอุปกรณ์ชูรีเลนน์และชุดทดลองการฉีดแก๊สโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. Computer ซึ่งมีวงจรอินเตอร์เฟสทำหน้าที่แปลงคำสั่งจาก Computer มาเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนให้วงจรควบคุม
2. วงจรควบคุมการฉีดและถ่ายภาพ
3. ชุดอุปกรณ์ชูรีเลนน์(ในรูปจะแสดงเพียงส่วนของ Concave Mirror และ ลำแสง ส่วนชุดอุปกรณ์ทั้งหมดดูได้ที่ภาคผนวก)
4. กล้องถ่ายภาพที่สามารถสั่งงานได้ด้วยไฟฟ้า
5. ถังแก๊ส LPG
6. หัวฉีดแก๊สที่ทนความดันได้สูงสุด 2.6 bar
7. ห้องเผาไหม้จำลอง
8. Vacuum pump
9. ถังแก๊สไนโตรเจน

รายละเอียดชุดอุปกรณ์ทดลอง Schlieren

ในส่วนของ Specification ของชุดอุปกรณ์ Schlieren ทั้งหมดมีรายละเอียดดังนี้

1. Power Supply
   1.1 Xenon Lamp Supply
      - Voltage 220 V.
      - Frequency 50 HZ.
      - Current 4 A.
   1.2 Mercury Lamp Supply
      - Voltage 220 V.
      - Frequency 50 HZ.
      - Current 2 A.

2. Light Source
   2.1 Xenon Lamp
      - Power 300 W.
      - Current 15 A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

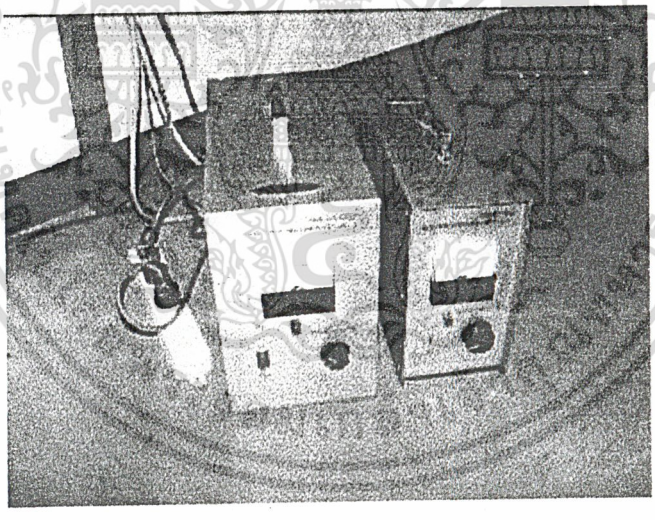
- Power 200 W.
- Current 3.5 A.

3. Concave Mirror
   - Diameter 200 mm.
   - Focus 3960 mm.

4. Reflect Mirror
   - Size 150 x 200 mm.

5. Knife Edge System
   - ITOU KOKEN CO., Ltd. Japan.

รูปแสดงชุดอุปกรณ์ชูรีเลนน์

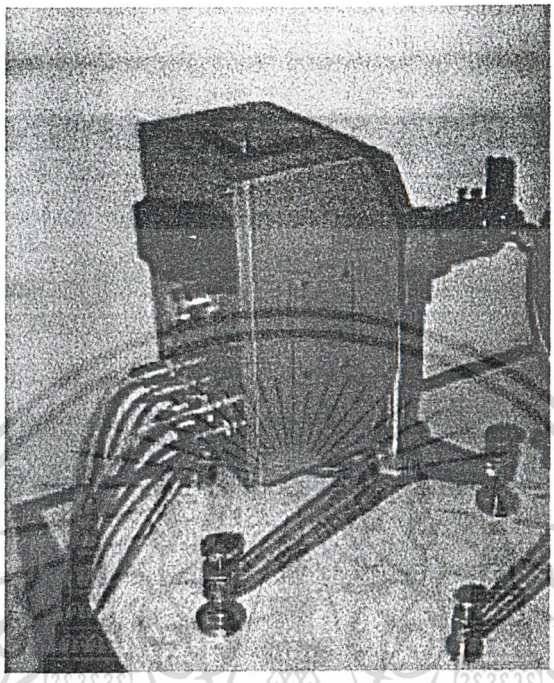


รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะของ Power Supply

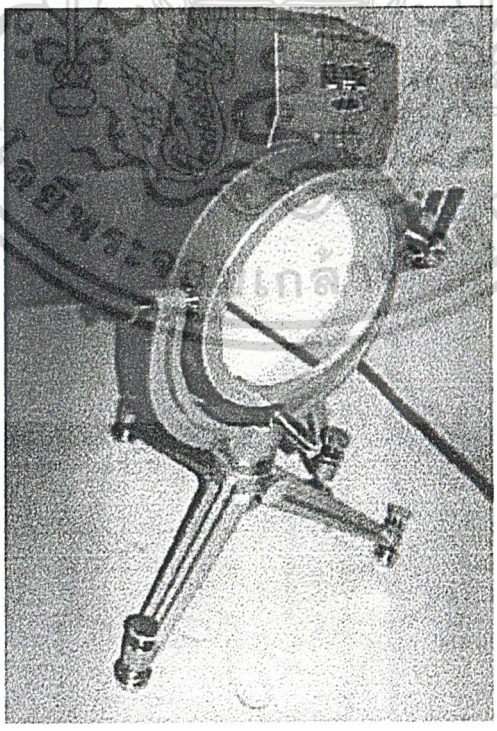
ซ้าย Mercury Lamp Supply

ขวา Xenon Lamp Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

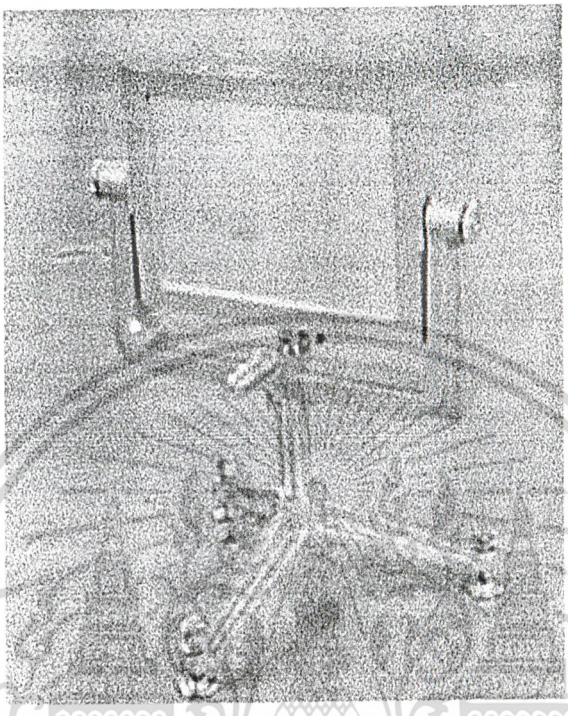


รูปที่ 6.3 แสดงลักษณะของ Light source



รูปที่ 6.4 แสดงลักษณะของ Concave Mirror

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

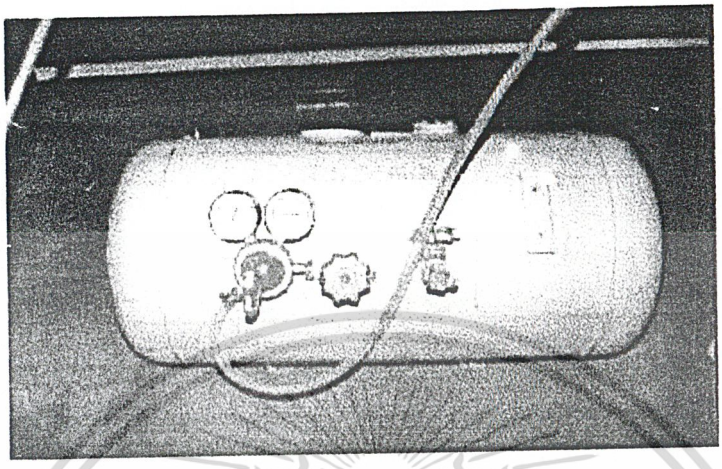


รูปที่ 6.5 แสดงลักษณะของ Reflect mirror

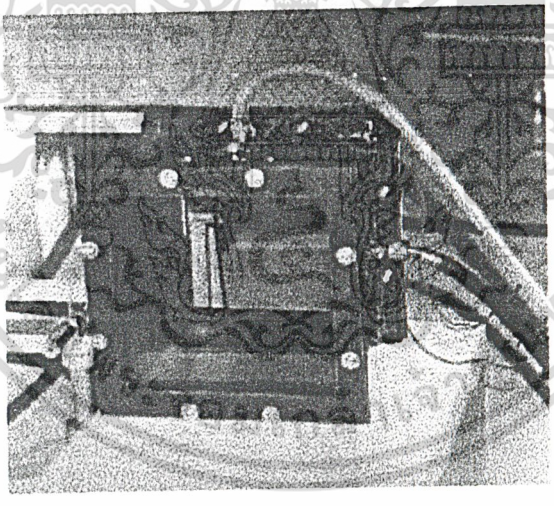
รูปที่ 6.6 แสดงลักษณะของ Knife Edge System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดชุดอุปกรณ์ฉีดแก๊ส

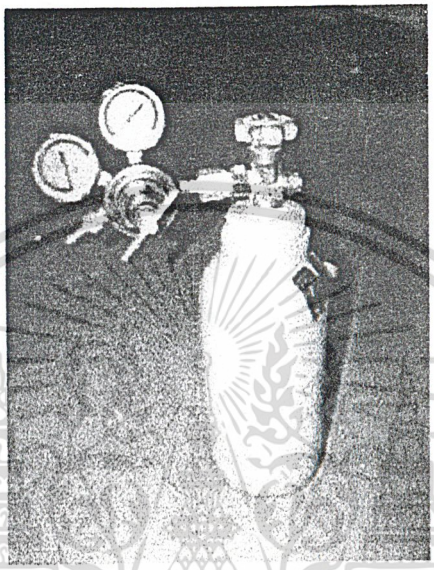


รูปที่ 6.7 แสดงลักษณะของถังแก๊ส LPG

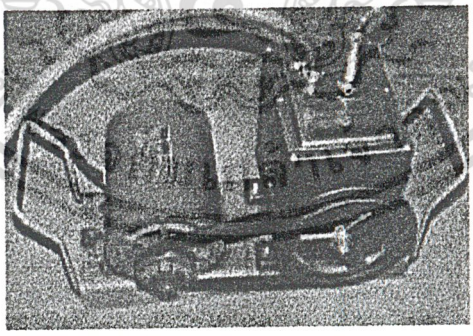


รูปที่ 6.8 แสดงลักษณะของห้องเผาไหม้จำลองและหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

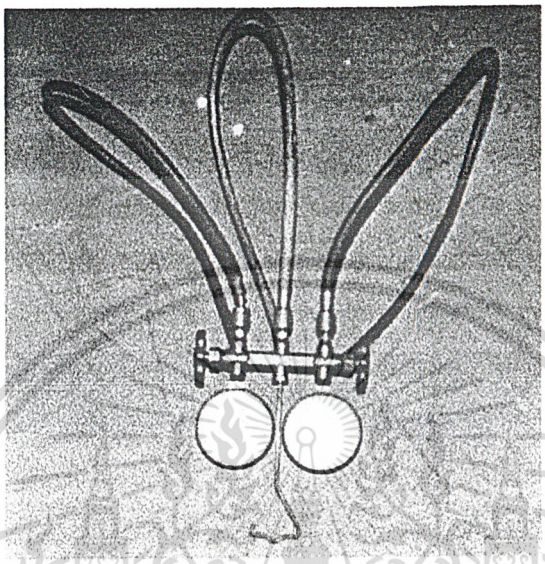


รูปที่ 6.9 แสดงลักษณะของถังแก๊สไนโตรเจน

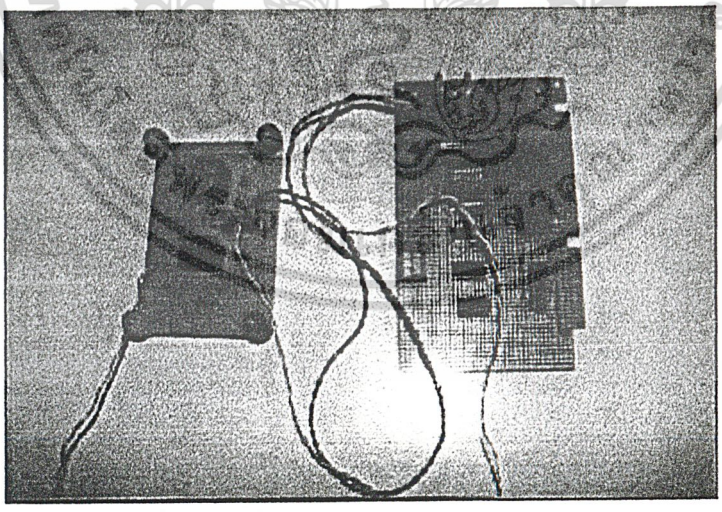


รูปที่ 6.10 แสดงลักษณะของ Vacuum pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 แสดงลักษณะของชุด Pressure Gage



รูปที่ 6.13 แสดงวงจรอินเตอเฟสและวงจรควบคุมการฉีดและถ่ายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 หลักการทำงานของชุดทดลองและวิธีการทดลอง

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะอุปกรณ์ส่วนที่ควบคุมการฉีดและถ่ายภาพดังนี้คือ

1.วงจรอินเตอร์เฟส

จะทำหน้าที่ติดต่อระหว่าง Computer กับอุปกรณ์ Hard ware ภายนอกโดยวงจรนี้ออกแบบเพิ่มเติมกับเครื่องไอบีเอ็มพีซีตระกูล 8088 ผ่านทางสล็อตบนเมนบอร์ด ที่เรียกว่าสล็อต ISA ซึ่งมีขาทั้งสิ้น 62 ขาแบ่งเป็น 2 ข้างๆละขาดังแสดงไว้ในภาคผนวกพร้อมกับผังแสดงการต่อวงจรอินเตอร์เฟส

2.วงจรควบคุมหัวฉีดและกล้อง

จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากวงจรอินเตอร์เฟสสั่งงานให้หัวฉีดทำการฉีดและกล้องถ่ายภาพตามคำสั่งจากComputer ซึ่งรายละเอียดของวงจรแสดงไว้ในภาคผนวก

3. การทำงานของโปรแกรมควบคุมการฉีดและถ่ายภาพ

โปรแกรมที่ 1 เขียนด้วยภาษา Assembly ซึ่งในส่วนของ Source Code ได้จัดแสดงไว้ในภาคผนวก

การทำงานของโปรแกรมที่ 1

จะรับInputจากผู้ใช้โปรแกรมเป็นจำนวนเต็ม 3 ค่า(1 = 1/18 sec)คือ

1. ระยะเวลาในการฉีด
2. เวลาที่หัวฉีดเริ่มฉีดหลังรับ Input ครบ 3 ค่า
3. เวลาที่ให้กล้องถ่ายภาพหลังรับ Input ครบ 3 ค่า

โปรแกรมที่ 2 ที่เขียนด้วยภาษา Visual basic ซึ่งในส่วนของ Source Code ได้จัดแสดงไว้ในภาคผนวก

การทำงานของโปรแกรมที่ 2

จะรับInputจากผู้ใช้โปรแกรมเป็นจำนวนเต็ม 3 ค่า(1 = 1 ms)คือ

1 เวลาที่ให้กล้องถ่ายภาพหลังรับ Input ครบ 3 ค่า

2 ระยะเวลาในการฉีด

3 เวลาที่หัวฉีดเริ่มฉีดหลังรับ Input ครบ 3 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง

วัตถุประสงค์

- ศึกษาพฤติกรรมของแก๊สที่ออกจากหัวฉีดที่ความดันต่างๆ
- นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์การกระจายตัวของแก๊สที่ความดันต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาและพัฒนาในการควบคุมการฉีดแก๊สในรถยนต์ที่ใช้ระบบเชื้อเพลิงแก๊สอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการทดลอง

หลังจากจัดตั้งอุปกรณ์ชูลีเลนน์ให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสมตามทฤษฎีแล้ว ทำการฉีดและถ่ายภาพโดยป้อนคำสั่งในโปรแกรม

ในการทดลองจะทดลองที่ความดันของแก๊สต่างๆกันคือ 0.6 bar , 1.2 bar, 1.8 bar, 2.4 bar ตามลำดับซึ่งในการฉีดแต่ละครั้งจะควบคุมความดันในห้องเผาไหม้ให้คงที่เป็น 0 bar

โดยโปรแกรมที่ใช้คือโปรแกรมที่ 1 ซึ่งระยะเวลาในการฉีดเป็น 4/18 sec โดยจะบันทึกภาพที่เวลา 1/18 sec, 2/18 sec , 3/18 sec ตามลำดับ และโปรแกรมที่ 2 ซึ่งระยะเวลาในการฉีดเป็น 5 ms โดยจะบันทึกภาพที่เวลา 1 ms, 2 ms ,3 ms, 4 ms ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

7.1 ผลการทดลอง

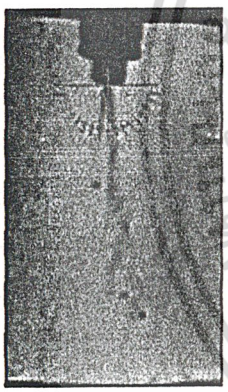
จากการทดลองเราได้ภาพพฤติกรรมการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีดซึ่งจัดแสดงเป็นFrame ตามรายการดังนี้คือ

- ความดัน 0.6 bar
- ความดัน 1.2 bar
- ความดัน 1.8 bar
- ความดัน 2.4 bar

ซึ่งผลการทดลองได้จาก 2 โปรแกรมคือ

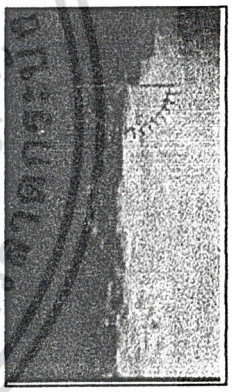
1. ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมที่ 1 ระยะเวลาในการฉีด 4/18 sec

Time after injection 1/18 sec



Time after injection 2/18 sec

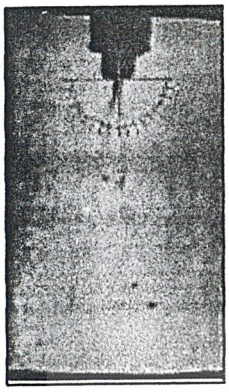
Time after injection 3/18



รูปที่ 7.1 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีดที่ความดัน 0.6 bar

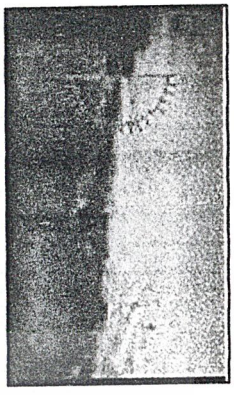
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Time after injection 1/18 sec



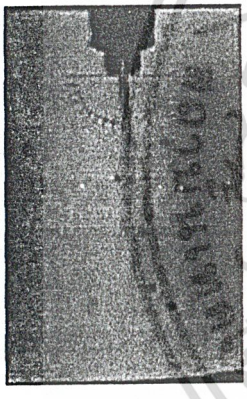
Time after injection 2/18 sec

Time after injection 3/18



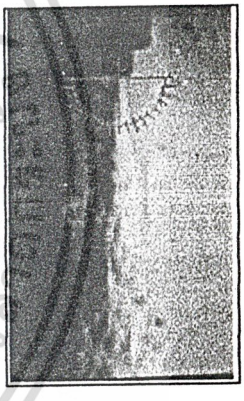
รูปที่ 7.2 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีดที่ความดัน 1.2bar

Time after injection 1/18 sec



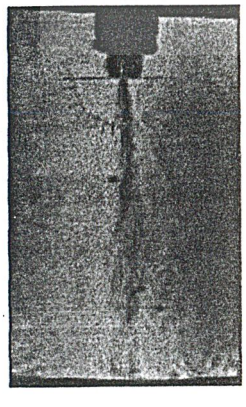
Time after injection 2/18 sec

Time after injection 3/18

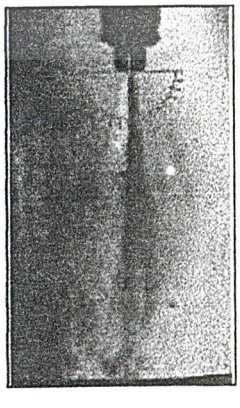


รูปที่ 7.3 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีดที่ความดัน 1.8 bar

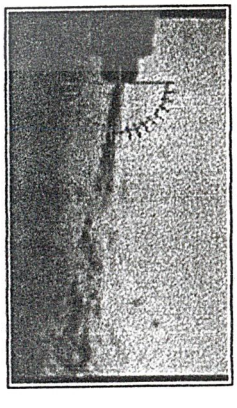
Time after injection 1/18 sec



Time after injection 2/18 sec



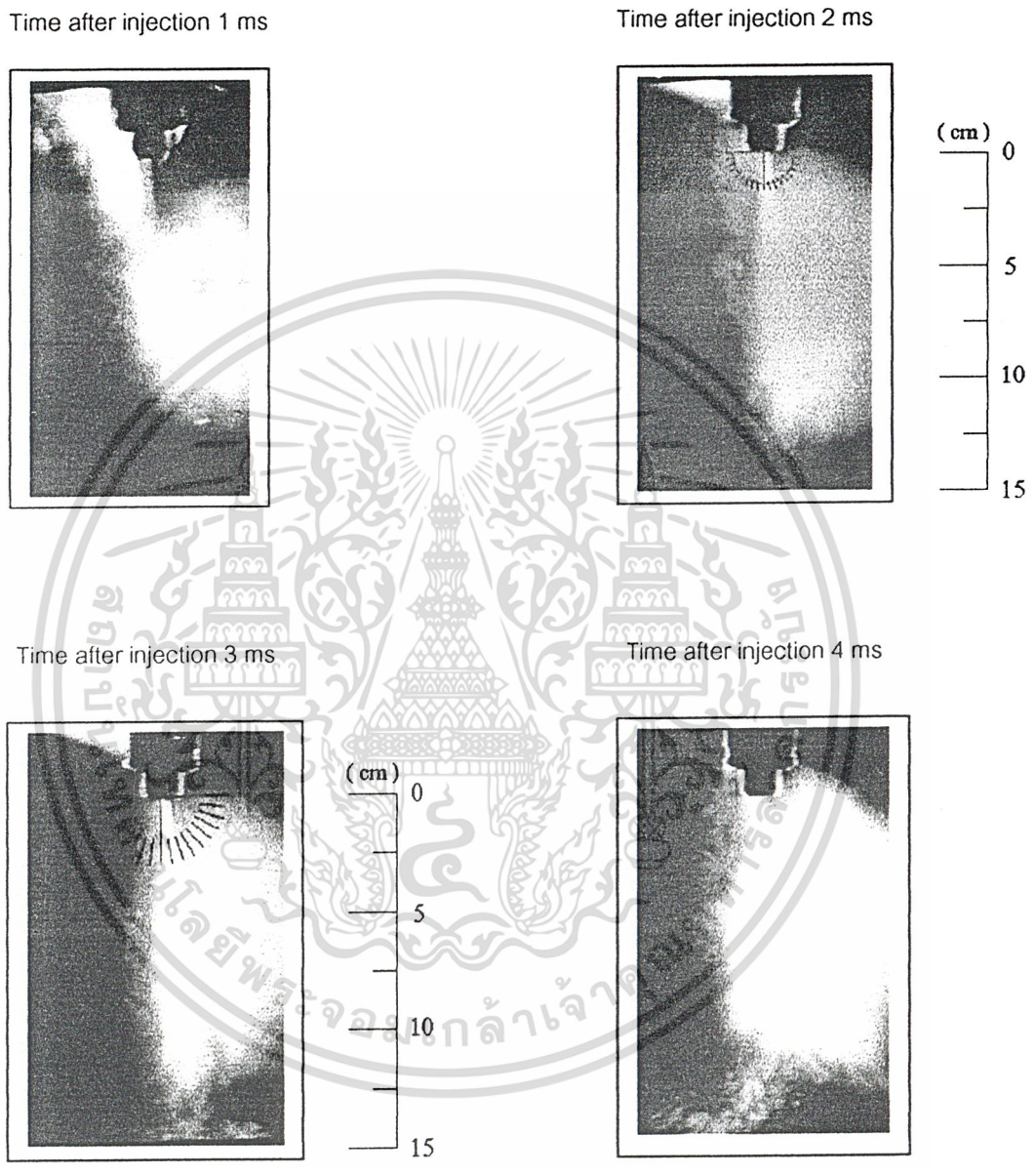
Time after injection 3/18 sec



รูปที่ 7.4 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีดที่ความดัน 2.4 bar

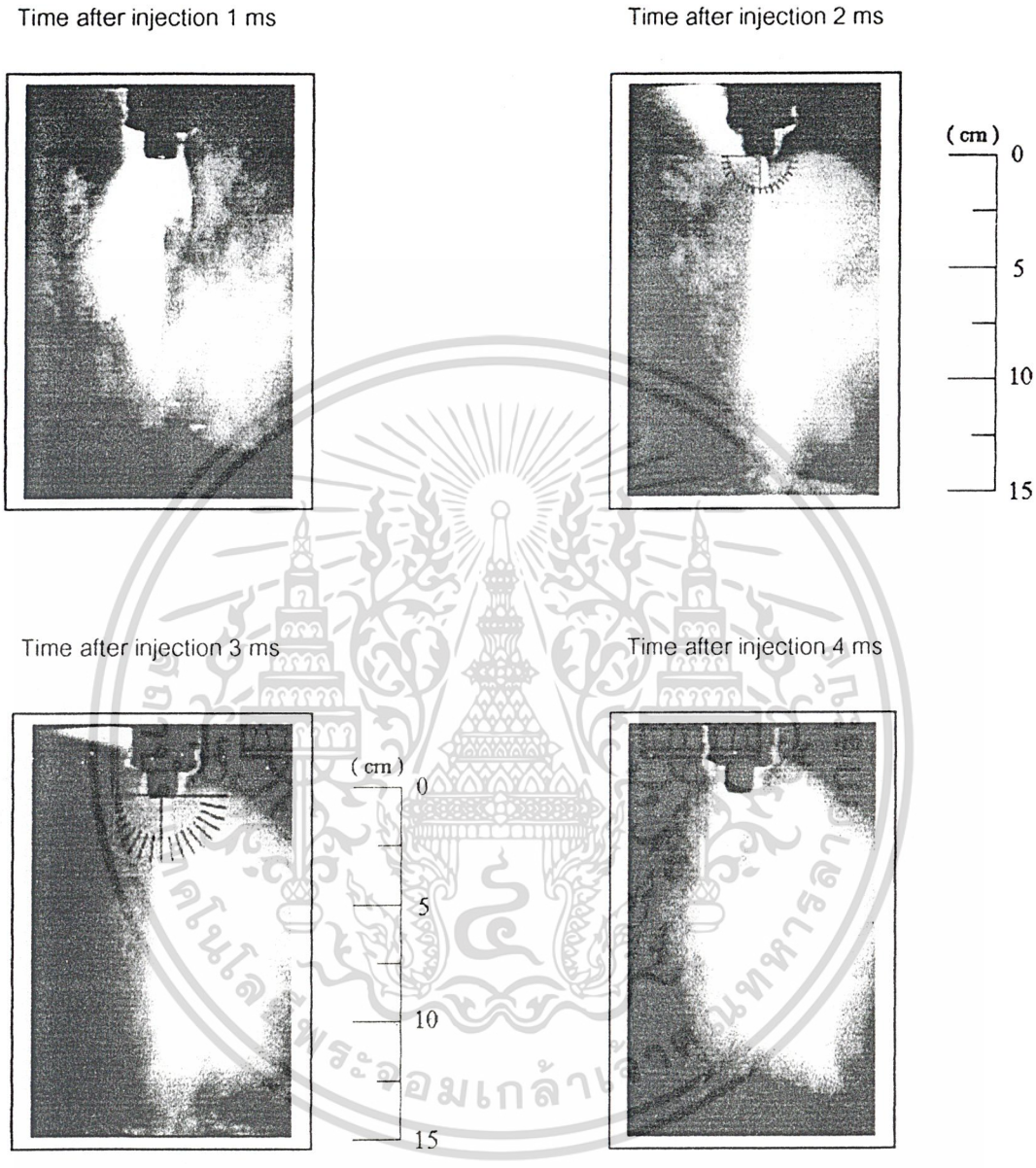
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมที่ 2 ระยะเวลาในการฉีด 5 ms



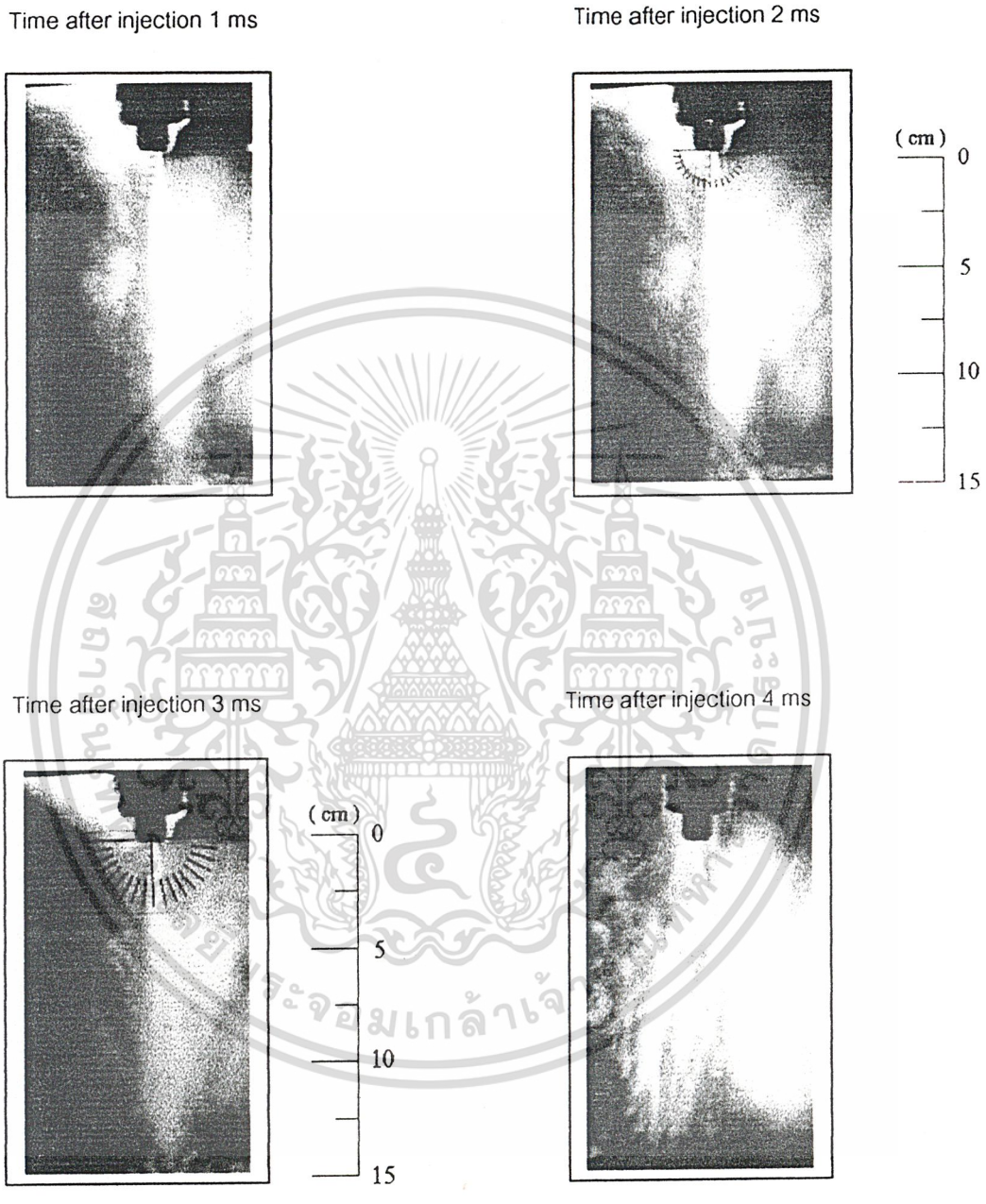
รูปที่ 7.5 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีดที่ความดัน 0.6 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



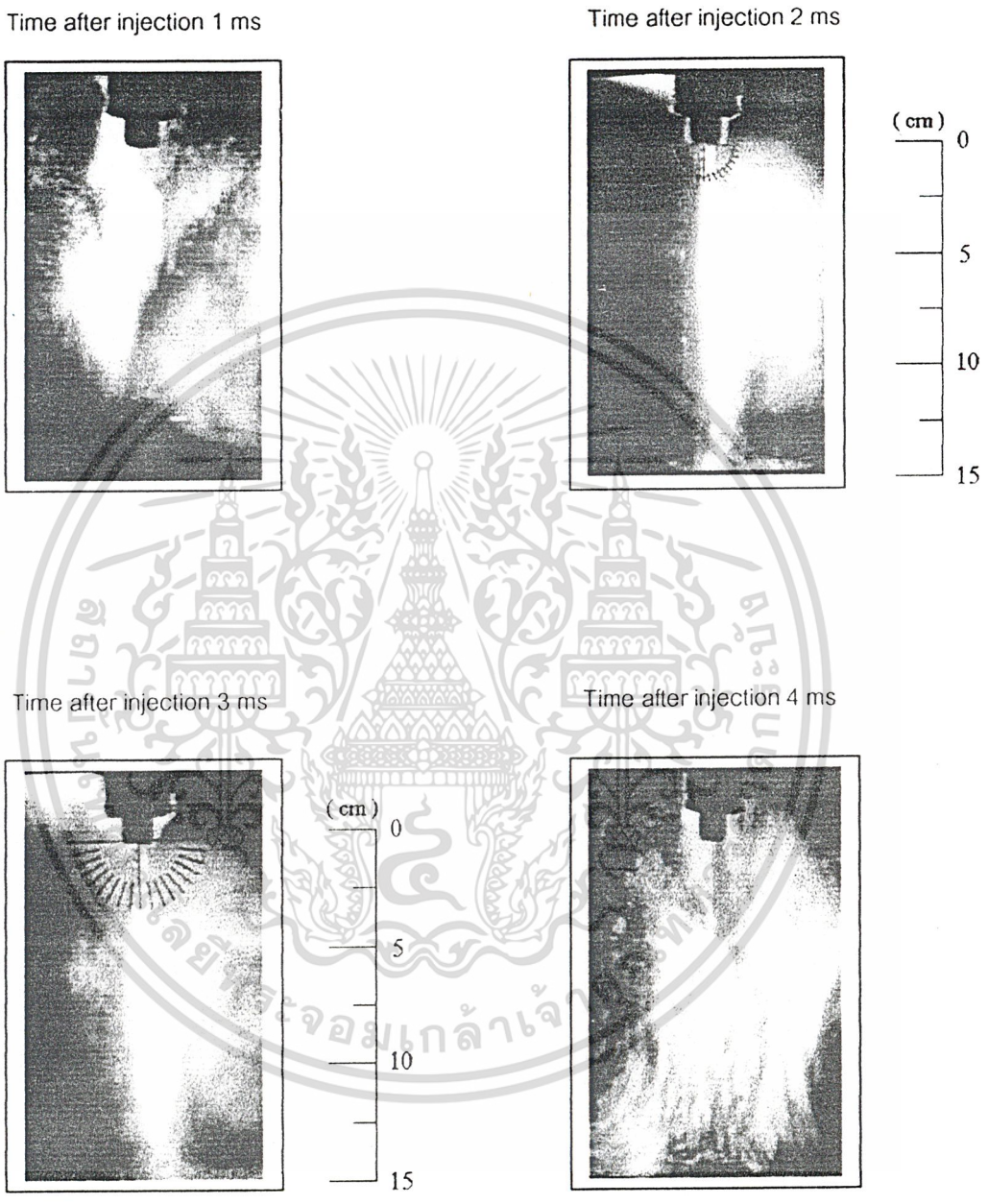
รูปที่ 7.6 แสดงการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีดที่ความดัน 1.2 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.7 แสดงการกระจายตัวของแก๊สจากหัวฉีดที่ความดัน 1.8 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.8 แสดงการกระจายตัวของแก๊สจากหัวฉีดที่ความดัน 2.4 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองความชัดเจนของภาพที่ได้จะขึ้นอยู่กับการปรับใบมีดตัดแสง(Knife - edge) กล่าวคือยิ่งปรับให้ใบมีดตัดแสงส่วนเกินออกไปได้มากเท่าใดภาพที่ได้ก็จะความชัดเจนมากขึ้นด้วยดังจะเห็นได้รูปผลการทดลองที่ถ่ายหลังจากการฉีด 3/18 วินาที ที่ได้จากโปรแกรมที่ 1 ภาพที่ได้จะสังเกตเห็นเป็นรูปสามมิติได้อย่างชัดเจนซึ่งเป็นข้อดีของวิธีชูรีเลนน์ที่มีความสามารถสูงในการมองเห็นการกระจายตัวของแก๊สที่ออกจากหัวฉีดได้อย่างชัดเจนมากกว่าการมองด้วยตาเปล่า

จากรูปที่ได้จะเห็นว่าเมื่อความดันในการฉีดเพิ่มขึ้นอำนาจการทะลุทะลวงของแก๊สที่ออกจากหัวฉีดจะเพิ่มขึ้นและองศาการกระจายตัวของแก๊สจะลดลงเมื่อความดันในการฉีดเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากทั้งสองโปรแกรมให้ผลในแนวทางเดียวกัน แต่เนื่องจากภาพที่ได้ในการฉีดที่ความดันหนึ่งๆยังมีจำนวนน้อยเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้คือกล้องถ่ายภาพไม่สามารถตอบสนองต่อคำสั่งของโปรแกรมได้เร็วพอซึ่งโปรแกรมที่ 2 นี้สามารถสั่งให้ทำงานได้ในระดับ 0.1 ms ขึ้นไป จึงยังไม่สามารถสรุปออกมาในรูปความสัมพันธ์ได้ละเอียดพอ

ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นเพียงการทดลองเบื้องต้นเท่านั้นทำให้มีข้อจำกัดหลายด้าน แต่อุปกรณ์การทดลองชุดนี้ยังสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยอุปกรณ์ที่เหมาะสมและการพัฒนาโปรแกรมที่มีความเร็วมากขึ้นซึ่งจะให้ผลการทดลองที่ละเอียด ซึ่งควรทำการทดลองซ้ำๆกันหลายๆครั้งก่อนจะสรุปออกมาเป็นความสัมพันธ์และทฤษฎีที่แท้จริง

7.3 สรุปปัญหาและแนวทางแก้ปัญหาสำหรับการพัฒนาต่อไป

สรุปปัญหาที่พบจากการทดลอง

จากการทดลองที่ผ่านมามีปัญหาที่เกิดขึ้นจากชุดอุปกรณ์ทดลองชูรีเลนน์ ชุดอุปกรณ์ฉีดแก๊ส การบันทึกผลการทดลอง และปัญหาอื่นๆดังนี้

- ปัญหาจากใบมีดตัดแสง (Knife – Edge) ชำรุดไม่คมพอซึ่งการปรับแต่งทำได้ยากมากต้องใช้ความละเอียดสูงเพราะมีผลต่อการหักเหของแสงที่ตกกระทบฉาก ทำให้ภาพที่ปรากฏยังไม่ชัดเจนและผิดเพี้ยนไปบ้าง
- ปัญหาหัวฉีดที่เป็นแบบฉีดข้างนอกห้องเผาไหม้ซึ่งทนความดันได้เพียง 2.6 bar แต่ในการทดลองต้องการหัวฉีดที่ทนความดันได้สูงและทำการฉีดในห้องเผาไหม้เพื่อดูการกระจายตัวของแก๊สที่สภาวะความดันของห้องเผาไหม้ต่างๆและศึกษาว่าห้องเผาไหม้แบบใดทำมีประสิทธิภาพดีที่สุด
- ปัญหาอุปกรณ์บันทึกภาพยังไม่สามารถตอบสนองต่อคำสั่งของโปรแกรมได้ว่องพอ ทำให้ผลการทดลองที่ได้ยังไม่ละเอียดพอ
- ปัญหาการจัดวางอุปกรณ์ชุดทดลองชูรีเลนน์ เนื่องจากการกระทบกระเทือนเพียงเล็กน้อยทำให้อุอุปกรณ์เคลื่อนจากที่เดิมทำให้การหักเหของแสงผิดเพี้ยนไปมีผลให้ภาพที่ปรากฏไม่ชัดเจนไปด้วย
- การทดลองครั้งนี้ต้องการศึกษาการกระจายตัวของแก๊สธรรมชาติ(CNG) แต่ไม่สามารถจัดหามาได้จึงได้ใช้แก๊ส LPG ศึกษาแทนเพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาแก๊ส CNG ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางในการแก้ปัญหาเพื่อการศึกษาและพัฒนาต่อไป

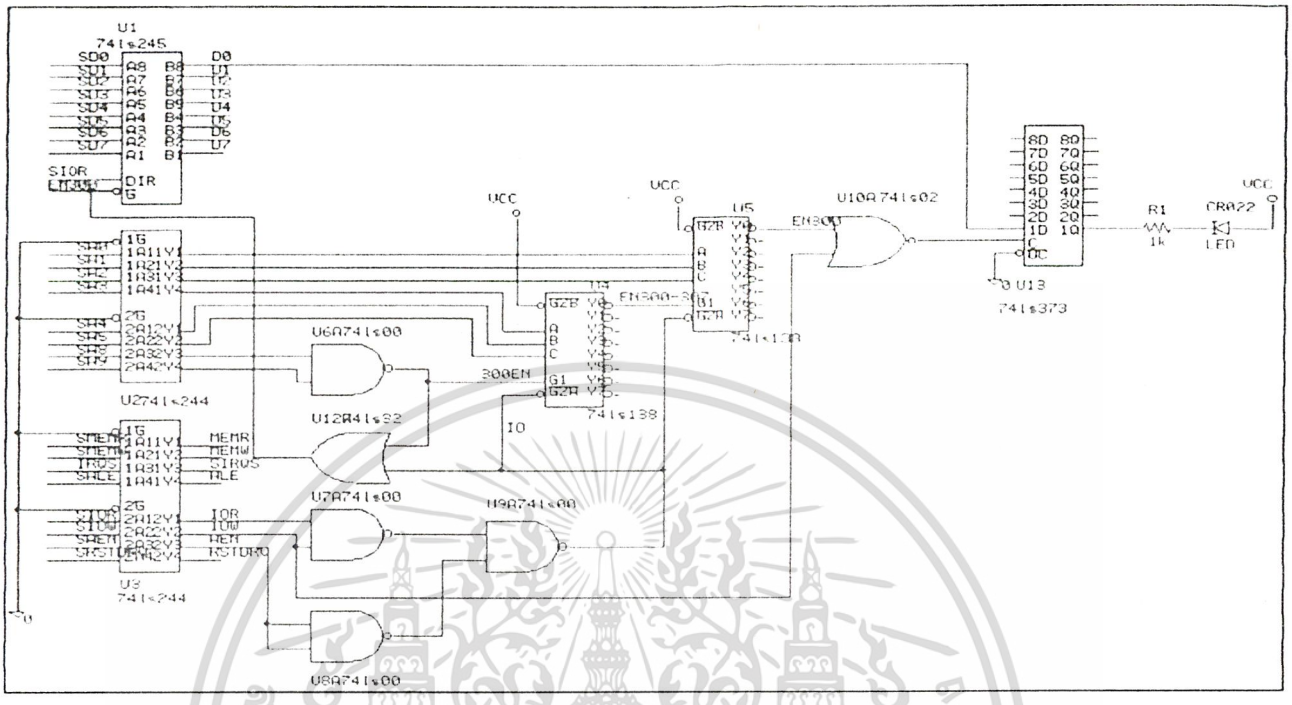
- ใบมีดตัดแสง (Knife – Edge) ควรเปลี่ยนใหม่หรือควรใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดและแม่ยำสูงในการซ่อมแซม
- จัดหาหัวฉีดแก๊สชนิดฉีดในห้องเผาไหม้ที่สามารถทนความดันในห้องเผาไหม้ที่สภาวะความดันสูงๆได้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมและเพียงพอในการสรุปเป็นความสำพันธ์เพื่อสามารถนำไปใช้ต่อไป
- จัดหากล้องบันทึกภาพที่มีเที่ยงตรงและมีความสามารถในการบันทึกภาพได้เร็วพอต่อคำสั่งจากโปรแกรมจะทำให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้น
- ชุดอุปกรณ์ทดลองชูรีเลนน์ควรจัดวางในสถานที่มีความมั่นคงพอและควรทำอุปกรณ์จับยึดเพื่อให้ชุดทดลองอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมตลอดและได้รับความกระทบกระเทือนจากภายนอกน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

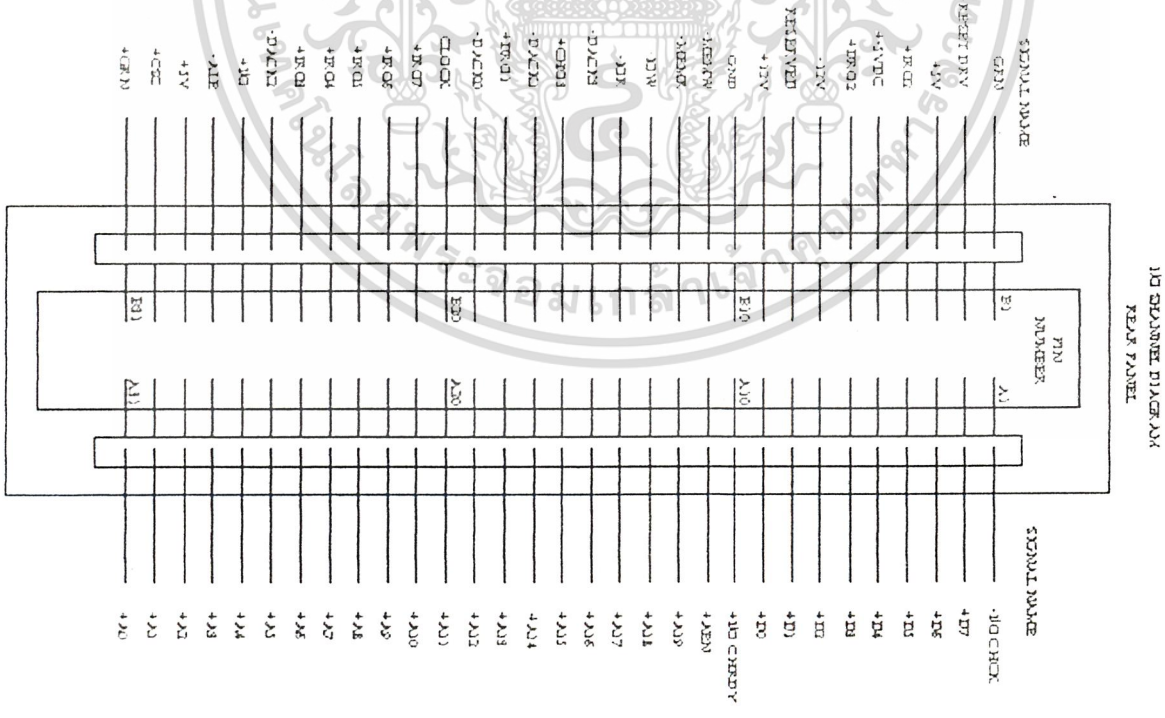
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดชุดวงจรอินเตอร์เฟสและวงจรควบคุมการฉีดและถ่ายภาพ



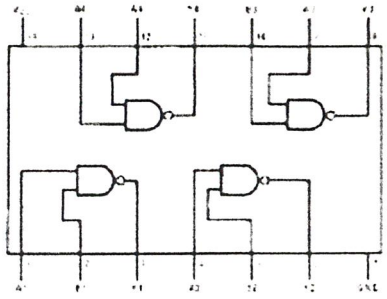
รูปที่ ผ.1 แสดงผังวงจรอินเตอร์เฟส



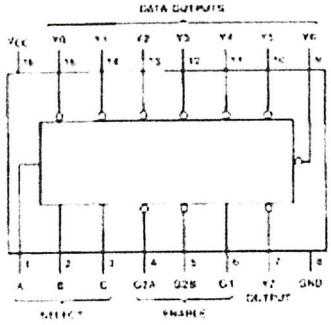
รูปที่ ผ.2 แสดง ISA BUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

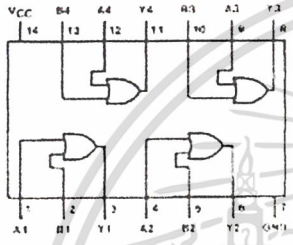
74LS00



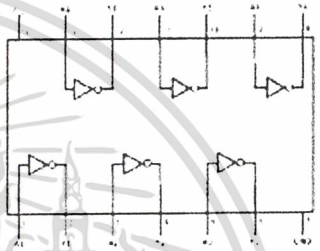
74LS138



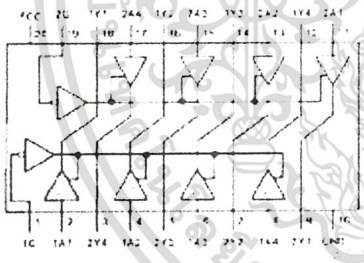
74LS32



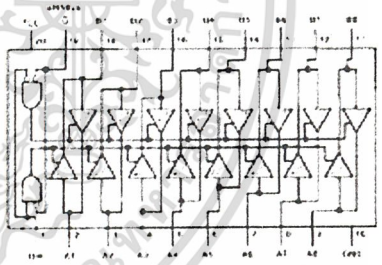
74LS04



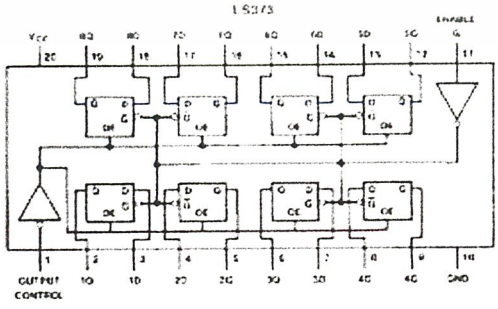
74LS244



74LS245



74LS373



รูปที่ ผ.3 แสดงผังของไอซีที่ใช้ในวงจรอินเตอร์เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source code ของโปรแกรมที่ 1 ที่เขียนด้วยภาษา Assembly

```
.model small
.stack 100h
.data
        string1 db 13,10,'Enter 1st Value :$'
        string2 db 13,10,'Enter 2nd Value :$'
        string3 db 13,10,'Enter 3rd Value :$'
        ld db ?                         ;left do time
        ls db ?                         ;left start time
        rd db 1                         ;right do time
        rs db ?                         ;right start time
        time db 0
        irq5 dw ?
.code
start:
        mov  ax,@data
        mov  ds,ax
        call  right_off
        call  left_off
get_1st_value:
        lea  dx,string1
        call print_string
        call get_char
        cmp  al,30h                     ;30h='0'
        jb   get_1st_value
        cmp  al,39h                     ;39h='9'
        ja   get_1st_value
        sub  al,31h
        mov  ld,al
get_2nd_value:
        lea  dx,string2
        call print_string
        call get_char
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        cmp al,30h                      ;30h='0'
        jb  get_2nd_value
        cmp al,39h                      ;39h='9'
        ja  get_2nd_value
        sub al,30h
        mov ls,al
get_3rd_value:
        lea dx,string3
        call print_string
        call get_char
        cmp al,30h                      ;30h='0'
        jb  get_3rd_value
        cmp al,39h                      ;39h='9'
        ja  get_3rd_value
        sub al,30h
        mov rs,al
call_interrupt:
;       call isr_initialization
main:
check_left:
        push bx
        mov al,time
        mov bl,ls
        cmp al,bl
        jb  left_show_off
        add bl,ld
        cmp al,bl
        ja  left_show_off
        left_show_on:
        call left_on
        jmp check_left_end
        left_show_off:
        call left_off
check_left_end:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        pop  bx
check_right:
        push bx
        mov  al,time
        mov  bl,rs
        cmp  al,bl
        jb   right_show_off
        add  bl,rd
        cmp  al,bl
        ja   right_show_off
        right_show_on:
        call right_on
        jmp  check_right_end
        right_show_off:
        call right_off
check_right_end:
        pop  bx
set_main:
        call delay
        set_time:
        mov  al,time
        inc  al
        mov  time,al
        check_left_time:
        mov  al,ls
        add  al,ld
        add  al,2
        mov  bl,al
        mov  al,time
        cmp  al,bl
        jb   main
        check_right_time:
        mov  al,rs
        add  al,rd
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        add al,2
        mov bl,al
        mov al,time
        cmp al,bl
        jb  main
end_main:
        call terminate
left_on proc near
        push ax                         ;push stack
        push dx                         ;----------------
        mov dx,300h
        and al,0fh
        out dx,al
        pop dx                          ;pop stack
        pop ax                          ;----------------
        ret                                     ;return to main program
left_on endp
left_off proc near
        push ax                         ;push stack
        push dx                         ;----------------
        mov dx,300h
        or  al,0f0h
        out dx,al
        pop dx                          ;pop stack
        pop ax                          ;----------------
        ret                                     ;return to main program
left_off endp
right_on proc near
        push ax                         ;push stack
        push dx                         ;----------------
        mov dx,300h
        and al,0f0h
        out dx,al
        pop dx                          ;pop stack
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        pop  ax                         ;----------------
        ret                                     ;return to main program
right_on endp
right_off proc near
        push ax                         ;push stack
        push dx                         ;----------------
        mov  dx,300h
        or   al,0fh
        out  dx,al
        pop  dx                         ;pop stack
        pop  ax                         ;----------------
        ret                                     ;return to main program
right_off endp
;       DELAY FUNCTION
;       input  : -
;       output : -
;       function: delay time 1 s
delay proc near
        push ax                                 ;push stack
        push bx                                 ;
        push dx                                 ;----------------
  mov  ah,0                     ;get time
  int  1ah                      ;from 0 am in sec*18.2 in cx:dx
        mov  bx,dx                      ;get default time
clock:
        int  1ah                ;get new time
        sub  dx,bx                      ;check if time run < number
        cmp  dx,1                       ;(1=1/18s) then
        jb   clock                      ;continue delay
        pop  dx                         ;pop stack
        pop  bx                         ;
        pop  ax                         ;----------------
        ret                                     ;return to main program
delay endp
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;       GET CHAR FUNCTION
;       input  : -
;       output  : al:char
;       function: get character
get_char proc near
        mov  ah,1                       ;get char
        int  21h                ;----------------
        ret                                     ;return to main program
get_char endp
;       PRINT STRING FUNCTION
;       input  : dx:offset string
;       output  : -
;       function: print string
print_string proc near
        push ax                         ;push stack
        mov  ah,9                       ;print string
        int  21h                ;----------------
        pop  ax                         ;pop stack
        ret                             ;return to main program
print_string endp
;       TERMINATE FUNCTION
;       input  : -
;       output  : -
;       function: terminate program
terminate proc near
        mov  ah,4Ch                     ;terminate program
        mov  al,0                       ;return code will be 0
        int  21h                ;----------------
terminate endp
isr proc   far
    push  cs
    pop   ds
    cmp    cs:irq5,0
        ja              set_led1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        iret
set_led1:
        push   si
        mov    al,20h
        out    20h,al
        sti
            jmp       main
out_isr:
        dec    cs:irq5
        pop    si

        iret
isr endp
isr_initialization   proc   near
        push ds
        push cs
        pop ds

        mov ax,0
        mov cs:irq5,ax

        mov ax,00ffh
        mov dx,300h
        out dx,ax
        cli

        lea dx,isr
        mov al,0dh   ;Interupt type number 13 use with IRQ5
        mov ah,25h
        int 21h
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        sti

        pop ds
        lea dx,isr_initialization
        int 27h
isr_initialization    endp
end start
```

Source code ของโปรแกรมที่ 1 ที่เขียนด้วยภาษา Visual basic

```
Dim Time As Single, Temp_Time As Single, Time01 As Single, Temp_Time01 As Single, Time02 As
Single, Temp_Time02 As Single
Private Sub Command1_Click()
Out &H378, &H0
Out &H378, Inp(&H378) Xor &H1
Call delay
Out &H378, Inp(&H378) Xor &H2
Call delay01
Out &H378, Inp(&H378) Xor &H2
Call delay02
Out &H378, &H0
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Dim response As Variant
response = MsgBox(" Are you sure ? ", vbYesNo + vbQuestion, " Exit ")
If response = vbYes Then
   Out &H378, &H0
   End
End If
End Sub

Private Sub Command3_Click()
Out &H378, &H0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Out &H378, Inp(&H378) Xor &H2
Call delay
Out &H378, Inp(&H378) Xor &H1
Call delay01
Out &H378, Inp(&H378) Xor &H2
Call delay02
Out &H378, &H0
End Sub
Sub delay()
Time = Val(Text1)
Temp_Time = Time + Timer
Do
DoEvents
Loop Until Timer >= Temp_Time
End Sub

Sub delay01()
Time01 = Val(Text2)
Temp_Time01 = Time01 + Timer
Do
DoEvents
Loop Until Timer >= Temp_Time01
End Sub

Sub delay02()
Time02 = Val(Text3)
Temp_Time02 = Time02 + Timer
Do
DoEvents
Loop Until Timer >= Temp_Time02
End Sub

#If Win32 Then
'Declare Inp and Out for port I/O
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
#Else
Declare Function Inp Lib "InpOut.DLL" (ByVal Port%) As Integer
Declare Sub Out Lib "InpOut.DLL" (ByVal Port%, ByVal Value%)
#End If
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ธรยุทธ์ สุวรรณประทีป : " *หลักการณ์ทำงานและซ่อมบำรุงเครื่องกล* ", สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) , กรุงเทพมหานคร .2540

[2] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย : " *CNG ก๊าซธรรมชาติอัดในรถยนต์* " , การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย , กรุงเทพมหานคร . 2540.

[3] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย : " *LPG ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในรถยนต์* " , การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย , กรุงเทพมหานคร . 2539

[4] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย : " *การใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง* " , งานวิจัยและพัฒนาปี 2536 , ศูนย์วิจัยและพัฒนาการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2536.

[5] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย : " *การทดลองใช้เชื้อเพลิง CNG ร่วมกับเชื้อเพลิงดีเซล* " , งานวิจัยและพัฒนาปี 2535. , ศูนย์วิจัยและพัฒนาการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2536.

[6] บุญธรรม ภัทราดรุกุล : " *เครื่องยนต์หัวฉีดแก๊สโซลีน* " , ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด(มหาชน) กรุงเทพมหานคร, 2539.

[7] นพดล เวชวิชุน : " *เครื่องยนต์หัวฉีด EFI* " , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น) พิมพ์ครั้งที่ 1 , 2535.

[8] จิรวัฒน์ วงข้าหลวง ,ชัยพงษ์ เหลืองพิพัฒน์ , ภานุมาส พูนศรัทธา : " *การศึกษาการกระจายตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงจากหัวฉีดโดยวิธีชูรีเลนน์* " ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542 , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพมหานคร , 2542

[9] Asunama, Flow Visualization Hanbook : Asunama ' 1986

[10] Nichida. M..et al.."Observation of High Pressure Spray with Laser Light Sheet Method."SAE paper 920459,1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้