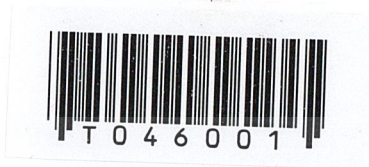


การศึกษาการกระจายตัวของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆจากหัวฉีดโดยวิธีชูริเรนน์

Visualization of Fuel Injected by Schlieren Method



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 46001  
วัน, เดือน, ปี 27 ก.พ. 2546

.b.....  
.i.....

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการกระจายตัวของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆจากหัวฉีด โดยวิธีชูรีเรนน์

Visualization of fuel spray from injector by Schlieren Method

ผู้จัดทำ

- |                               |              |          |
|-------------------------------|--------------|----------|
| 1. นาย กรวิษฐ์ ชัยศรีสุขวัฒนา | รหัสนักศึกษา | 41014559 |
| 2. นาย กานต์ แพงละบุตร        | รหัสนักศึกษา | 41014564 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์)

## การศึกษาการกระจายตัวของเชื้อเพลิงจากห้วยผิดโดยวิธีสุริเรนน์

นาย กรวิชญ์ ชัยศรีสุขวัฒนา 41014559

นาย กานต์ เพงละบุตร 41014564

ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการกระจายตัวของของแก๊สธรรมชาติและเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ออกจากห้วยผิด โดยใช้วิธีสุริเรนน์ ซึ่งวิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่าแก๊สหรือละอองเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นต่างกันจะทำให้เกิดการหักเหของแสง ไม่เท่ากันทำให้สามารถสังเกตเห็นถึงการกระจายตัวของเชื้อเพลิงที่ฉีดออกมาตามสภาวะต่างๆที่กำหนดได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาออกแบบห้องเผาไหม้และการฉีดเชื้อเพลิงในยานยนต์ ทำให้เกิดประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุดและเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดด้วย



## Visualization of Fuel Injected by Schlieren Method

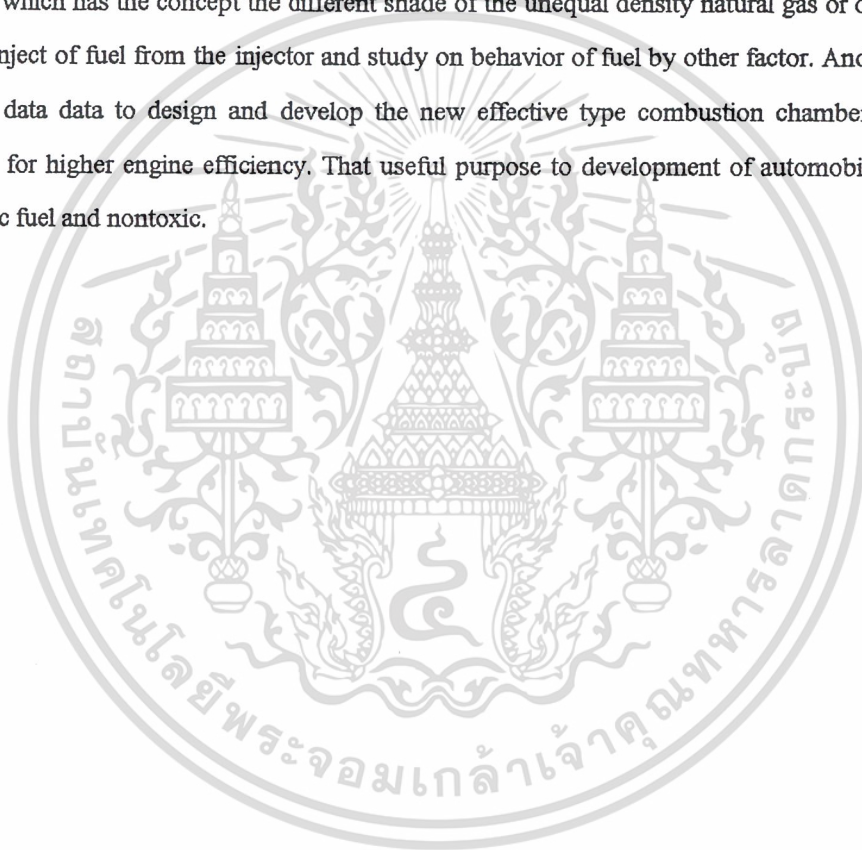
Korawit Chaisrisukwattana

Garn Panglabut

Dr. Jinda Jarumpornpanich Advisor

### ABSTRACT

This project is study on behavior of natural gas and other fuel from the injector by Schlieren method, which has the concept the different shade of the unequal density natural gas or other fuel. We see the inject of fuel from the injector and study on behavior of fuel by other factor. And then we can use this data data to design and develop the new effective type combustion chamber and control injection for higher engine efficiency. That useful purpose to development of automobile, which use economic fuel and nontoxic.



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ ผศ. จำลอง ปราบแก้ว และอาจารย์ประจำภาควิชาเครื่องกลทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ และคำปรึกษาในด้านต่างๆ รวมถึงคำถามในวัน Present

ขอขอบคุณคุณลุง มณฑา เทียมเมือง สำหรับคำปรึกษาแนะนำต่างๆ และขอขอบคุณร้านน้ำนก สำหรับอาหารและเครื่องดื่มทุกชนิดที่คอยเอื้อเฟื้อช่วยเหลือมาตลอด

ขอขอบคุณ คุณเอ๋ คุณจิต คุณเจี๊ยบ พี่ธร พี่เป็ยก พี่ไอ้ต พี่สมศักดิ์ และทุกคนที่อาจจะไม่ได้กล่าวถึง เพราะหากไม่มีความช่วยเหลือและกำลังใจจากทุกคนแล้วงานชิ้นนี้คงไม่อาจเดินทางมาถึงจุดที่ทุกท่านเห็นอยู่อย่างแน่นอน ขอขอบคุณจริงๆ

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

กรวิษญ์ ชัยศรีสุขวัฒนา  
กานต์ แผงละบุตร

## สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 การวิจัยลักษณะการกระจายตัวของเชื้อเพลิงในรูปแบบต่างๆ	4
2.1 วิเคราะห์ของสเปรย์น้ำมันดีเซลและเปลวไฟ โดยวิธีการถ่ายภาพด้วย Endoscopic ในกระบอกสูบ	3
2.2 วิธีการวิเคราะห์การสันดาปที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรง ของเชื้อเพลิงก๊าซไฮโดรเจน	7
2.3 ความสัมพันธ์ของ Spray Observation กับสมรรถนะเครื่องยนต์ ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง	14
บทที่ 3 เชื้อเพลิงทดแทน	20
3.1 ก๊าซธรรมชาติอัด (CNG)	20
3.2 ก๊าซ LPG	24
3.3 แอลกอฮอล์และก๊าซโซฮอลล์	28
3.4 น้ำมันไบโอดีเซล	32
บทที่ 4 ระบบการฉีดน้ำมันเบนซินและดีเซล	
ระบบการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมันเบนซิน	
4.1 ทัวไปเกี่ยวกับระบบการฉีดน้ำมันเบนซิน	38
4.2 การแบ่งระบบหัวฉีดน้ำมันเบนซิน	38
4.3 คุณสมบัติของระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยอิเล็กทรอนิกส์	40
4.4 โครงสร้างพื้นฐานของระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยอิเล็กทรอนิกส์	41
4.5 หัวฉีด	41
4.6 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบอิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ	43

ระบบการฉีดเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซล	
4.7 ระบบฉีดเชื้อเพลิง	47
4.8 ชนิดของระบบการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล	52
4.9 ชนิดและการคำนวณของหัวฉีดน้ำมันดีเซล	56
4.10 โครงสร้างของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้	71
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	80
5.1 วัตถุประสงค์	80
5.2 อุปกรณ์การทดลอง	80
5.3 หลักการทำงานและวิธีการทดลอง	81
5.3.1 หลักการทำงานของระบบชุดทดลอง	81
5.3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	82
5.3.3 วิธีการทดลอง	82
5.3.4 ผลการทดลอง	83
บทที่ 6 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	100
6.1 ผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันการฉีด	100
6.2 ผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันของห้องเผาไหม้	100
6.3 ผลของลักษณะการกระจายตัวบนลูกสูบชนิดต่างๆ	100
6.4 สรุปผลการทดลอง	101
6.5 วิจารณ์การทดลองและสรุปปัญหาสำหรับการพัฒนาต่อไป	101
ภาคผนวก	102
- ข้อเสนอแนะและวิธีการถ่ายภาพด้วยวิธีซูเปอร์เรนน์	103
- รูปอุปกรณ์การทดลอง	110
- โปรแกรมและวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทดลอง	115

## สารบัญตาราง

	หน้าที่
บทที่ 3	
ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติกับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	21
ตารางที่ 3.2 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ก๊าซธรรมชาติอค์กับเครื่องยนต์เบนซิน	22
ตารางที่ 3.3 แสดงมาตรฐานคุณภาพก๊าซ LPG	25
ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแอลกอฮอล์	28
ตารางที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติของไอโซออกเทนและเอทานอล	29
ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชต่างๆ	34
ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันชนิดต่างๆ ( ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส )	36
ตารางที่ 3.8 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	36
ตารางที่ 3.9 คุณภาพน้ำมันดีเซลและน้ำมันก๊าดตามประกาศกระทรวงพาณิชย์	37
บทที่ 4	
ตารางที่ 4.1 ลักษณะที่สำคัญของระบบการเผาไหม้แบบต่างๆในเครื่องยนต์ดีเซล	55
ตารางที่ 4.2 พื้นที่บ่าหัวฉีดที่ให้ น้ำมัน ไหลผ่านตามขนาดของหัวฉีด ( มิลลิเมตร )	66
ภาคผนวก	
ตารางที่ 1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการสั่งงาน	115

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มา

จากปัจจุบันเนื่องจากลักษณะการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในประเทศไทยยังจำเป็นต้องพึ่งน้ำมันดิบจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก จากสถิติที่ผ่านมาประเทศไทยต้องสั่งน้ำมันดิบเข้ามาถึง 75 % ของปริมาณที่ใช้ทั้งหมดในประเทศและในจำนวนนี้ภาคขนส่งเป็นภาคที่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุด จึงได้มีการพัฒนาเชื้อเพลิงชนิดต่างๆเพื่อทดแทนน้ำมันเช่น การนำแก๊สหุงต้มมาใช้ในรถยนต์ การนำแอลกอฮอล์มาเป็นส่วนผสมที่เรียกว่าแก๊ส โซฮอล และการนำน้ำมันพืชมาเป็นส่วนผสมหรือ ไบโอดีเซล เป็นต้น

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเคยมีผู้ศึกษาถึงรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆมาบ้างแล้ว แต่ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพและการปรับปรุงรถยนต์ที่เปลี่ยนจากการใช้น้ำมันมาเป็นเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ การทดลองครั้งนี้จึงจัดขึ้นเพื่อเป็นการศึกษาในแง่ของการกระจายตัวของเชื้อเพลิงที่ออกจากหัวฉีดภายในห้องเผาไหม้จำลองโดยวิธีซูริเรนน์ ซึ่งจะช่วยให้สามารถเห็นถึงการกระจายตัวของเชื้อเพลิงได้อย่างชัดเจนโดยไม่ต้องมีการเคมีสปีดอย่างใด และข้อมูลที่ได้นี้จะประโยชน์ในการศึกษาและพัฒนายานยนต์ต่อไปในอนาคต

หากมีการพัฒนาที่จะนำเชื้อเพลิงต่างๆเข้ามาทดแทนน้ำมันอย่างจริงจังแล้ว เชื่อได้ว่าจะเป็นการช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบได้อย่างมหาศาลและเชื้อเพลิงบางตัวนั้นยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสภาพแวดล้อมน้อยกว่าน้ำมันอีกด้วย

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆเกิดขึ้น คือ ความดันของการฉีด, ความดันภายในห้องเผาไหม้, และลักษณะของลูกสูบภายในห้องเผาไหม้ แนวโน้มของพฤติกรรมการกระจายตัวของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆจากหัวฉีดนั้น มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างไรบ้าง ซึ่งข้อมูลที่ได้จะสามารถนำไปใช้ในการออกแบบห้องเผาไหม้และระบบการฉีดเชื้อเพลิงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อไปในอนาคต

#### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ตั้งจุดมุ่งหมายไว้ว่า จะทำการศึกษาถึงผลกระทบในด้านระยะทาง, ความเร็ว, และลักษณะการกระจายของสเปร์รี่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆตามที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้นกับเชื้อเพลิงทั้งหมด 3 ตัวคือ ก๊าซธรรมชาติอัด (CNG), แอลกอฮอล์, และน้ำมันไบโอดีเซล แต่เมื่อทำการทดลองจริงแล้ว สามารถสรุปผลการทดลองได้เพียงเชื้อเพลิงชนิดเดียวคือ ก๊าซธรรมชาติอัด (CNG) เนื่องจากยังไม่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองได้ ซึ่งจะขอกกล่าวถึงในบทต่อไป

อีกประการหนึ่ง การวิจัยครั้งนี้ทำการทดสอบด้วยชุดทดลอง Schlieren Method และห้องเผาไหม้จำลองที่จัดทำขึ้นมา ยังไม่มีการนำผลที่ได้ไปใช้ทดสอบกับเครื่องยนต์จริง เนื่องจากในสถานะจริงนั้นยังมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบตัวแปรอื่นอีกมากเช่น องศาของการฉีด, การไหลวนของอากาศ เป็นต้น ซึ่งหากจะทำการทดลองให้หมดนั้นต้องใช้เวลาในการวิจัยที่ค่อนข้างมาก ดังนั้น โครงการนี้จึงเป็นการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆที่กำหนด แล้วสรุปเป็นทฤษฎีเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

#### 1.4 วิธีการดำเนินงาน

ในขั้นตอนแรกจะเป็นการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยเกี่ยวกับระบบการฉีดเชื้อเพลิงที่มีการปฏิบัติมาก่อนแล้วในต่างประเทศเช่น ประเทศญี่ปุ่น เป็นต้น รายละเอียดต่างๆจะขอกล่าวไว้ในบทที่ 2 จากนั้นจะเป็นจัดหาอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดลองครั้งนี้ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ (กล่าวไว้ในบทที่ 5) คือ

- 1) ส่วนของห้องเผาไหม้จำลองและหัวฉีดเชื้อเพลิง
- 2) ส่วนของชุดควบคุมการฉีดและถ่ายภาพ
- 3) ส่วนของเชื้อเพลิงและอุปกรณ์ในการควบคุมตัวแปรต่างๆรวมถึงชุดทดลอง Schlieren Method

หลังจากนั้นจะเป็นการศึกษาและฝึกฝนการใช้ชุดทดลอง Schlieren Method (ภาคผนวก) ซึ่งต้องการความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ค่อนข้างมาก และเมื่อสามารถใช้อุปกรณ์ทั้งหมดได้แล้วก็จะเริ่มปฏิบัติการทดลองตามตัวแปรที่ตั้งไว้ (บทที่ 5) จากนั้นจึงทำการบันทึกผลการทดลอง (บทที่ 5) ที่ได้และนำมาพิจารณาว่าสามารถยอมรับได้หรือไม่ หากสามารถยอมรับได้จึงทำการวิเคราะห์และสรุปผลออกมา (บทที่ 6)

อย่างไรก็ตาม ในระหว่างการทำงานนั้นอาจมีบางขั้นตอนที่ไม่สามารถทำได้ ตามขั้นตอนที่กำหนดจึงต้องมีการยืดหยุ่นเรื่องเวลาเกิดขึ้นเสมอ และช่วงเวลาที่ว่างจากขั้นตอนหลักก็จะมีภาระงานเพื่อหาข้อมูลเกี่ยวกับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ (บทที่ 3), ระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบต่างๆ (บทที่ 4) รวมถึงงานวิจัยในต่างประเทศเพิ่มเติมอยู่เสมอ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ในการทดลองทำให้ผลที่ได้ออกมาดีที่สุดในที่สุด

## บทที่ 2

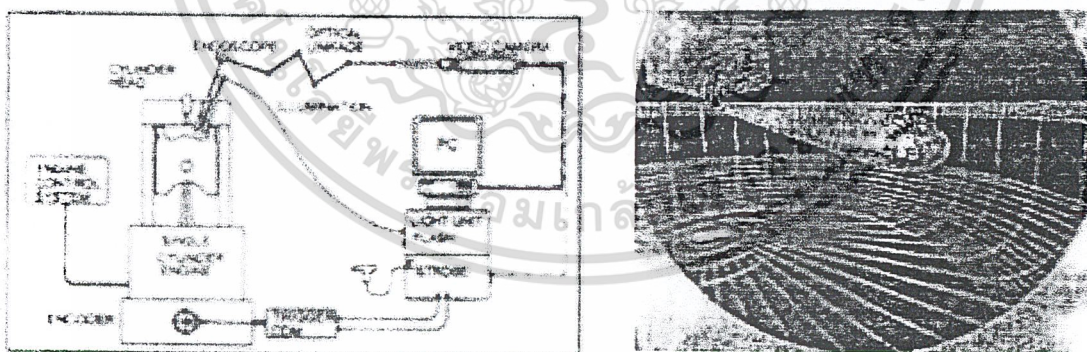
### การวิจัยลักษณะการกระจายตัวของเชื้อเพลิงในรูปแบบต่างๆ

#### 1. วิเคราะห์ของสเปรย์น้ำมันดีเซลและเปลวไฟโดยวิธีการถ่ายภาพด้วย Endoscopic ในกระบอกสูบ

##### บทนำ

วิธี Optical มีมานานแล้วที่ใช้พิจารณาถึงแหล่งความรู้ที่มีประโยชน์สำหรับการวิจัยการเผาไหม้ เพราะว่ามันไม่มีแรงผลักดันและธรรมชาติของการเปล่งแสงภายในของกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งบ่อยครั้งที่ไม่จำแนกแยกแยะถึงปฏิกิริยาเคมี เมื่อเร็วๆ นี้ได้มีการวิเคราะห์การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยจะใช้ความรู้, การจำลองร่วมกับข้อตกลงเกี่ยวกับเทคนิคการวัด (เช่น การวัดแรงดัน) ด้วยคอมพิวเตอร์และวิธีออฟติคัล ผลลัพธ์ที่ได้จะให้ข้อมูลที่นำเสนอมากสำหรับเครื่องยนต์และการวิเคราะห์มลพิษ ภาพที่ได้จากเครื่องมือนี้จะได้จากการถ่ายภาพด้วยความเร็วสูง ภาพของสเปรย์น้ำมันดีเซลและวิวัฒนาการของเปลวไฟที่ได้จากวิธีจับภาพด้วยกล้องถ่ายภาพสีแบบดิจิทัลที่นำเสนอค่าทางเทคนิคที่มีต้นทุนที่เหมาะสม นั้นจะมีความเหมาะสมเกี่ยวกับคุณสมบัติและปริมาณ แต่อย่างไรก็ตามมันก็ยังมีความซับซ้อนที่เกี่ยวกับการทดลองอยู่ ซึ่งเป็นผลจากการใช้เทคนิคที่ไม่ซับซ้อน ถ้าเป็นไปได้เราควรจะทำการแก้ไขให้ถูกต้อง แต่เราไม่ควรทำการแก้ไขเพราะอาจจะทำให้ยุ่งยากในการใช้และมันอาจจะเป็นการช่วยในการวิเคราะห์การเผาไหม้ได้

##### การเตรียมการทดลอง



รูปที่ 2.1 การเตรียมชุดอุปกรณ์การทดลอง(ซ้าย), ภาพจำลองการมองผ่านด้วย Endoscope(ขวา)

ภาพจะมีการบันทึกที่เครื่องยนต์กระบอกสูบเดียวของเครื่องยนต์ขนาดหนัก( ความโตกระบอกสูบ 123 mm, อัตราส่วนการอัด 16.3 )

โดยจัดหาระบบฉีดเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถทำงานได้ที่ความดันการฉีดสูงถึง 130 Mpa และสอดคล้องกับระบบออฟติคัล ซึ่งประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพสี CCD, ออฟติคอลลิ่ง, เอล โดสโคป และผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปยังห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ กล้อง CCD จะทำการเตรียมจับภาพแบบดิจิทัลซึ่งจะประกอบไปด้วยค่าดิจิทัล 3 ค่า ซึ่งแต่ละอันจะประกอบด้วยสีแดง, สีเขียวและสีน้ำเงิน ซึ่งเป็นสีจริง(ค่า RGB) ออฟติคัลจะเชื่อมต่อกับ คอปปีงระหว่างเลนส์ของกล้องถ่ายรูปและเอน โดส โคลปซึ่งภายหลังจะสอดแทรกไปยังท่อผ่าน ไปยังหัวกระบอกสูบ ในบริเวณของวาล์ว ไอเสีย ซึ่งเป็นที่ตั้งของหน้าต่าง quartz รูปแบบการจำลองจะจำลองในรูปแบบบน ต้องมีการหลีกเลี่ยงความร้อนสูงเนื่องจากอาจทำให้เลนส์เสียหาย โดยการใช้อากาศระบายความร้อนแก่เอน โดส โคลป และคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะประกอบด้วย Software ที่ใช้ในการทดลองด้วย

### วิธีการทดลอง

เครื่องยนต์นี้เป็นการทำงานครั้งแรกโดยติดตั้งอุปกรณ์ในส่วนของการความร้อน มันจะมีค่าอ้างอิงต่อไป, ระบบออฟติคัลอยู่บนตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม และเครื่องยนต์เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า จนกว่าสถานะของอากาศที่เข้าไปจะมีความเร็วคงที่อย่างสม่ำเสมอ เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้และเกิดปฏิกิริยาสม่ำเสมอเพียงอย่างเดียว ภาพที่ได้มาจะเริ่มขึ้นหลังจากที่ภาพ โดนบ้นทิก เครื่องยนต์จะหยุดและ Optical จะถูกถอดออก จากนั้นทำความสะอาดหน้าต่างและสิ่งที่จำเป็น และสิ่งที่ทำให้ได้ผลการทดลองที่ดี คือการเปลี่ยนความถี่ที่จากกล้องเพิ่มขึ้นเป็น 10 Hz ซึ่งภาพที่ได้จะน้อยกว่า 1 ภาพต่อวัฏจักร

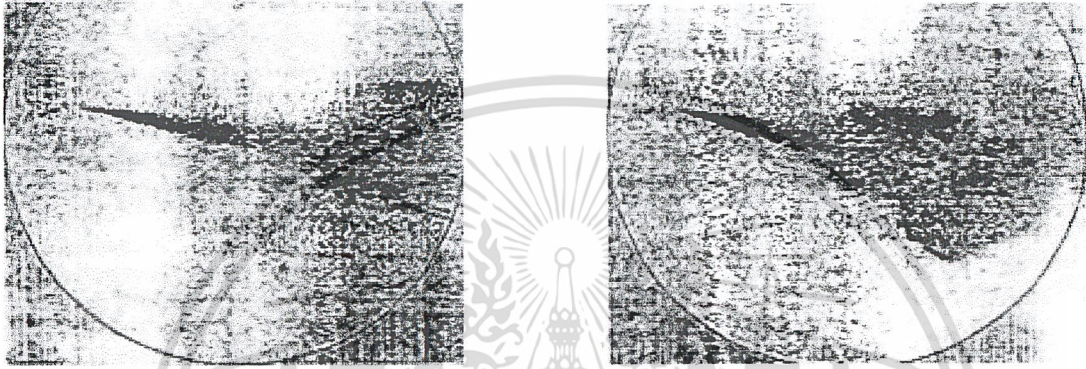
ดังนั้นการยิงของหัวฉีดลักษณะพิเศษ ทำให้สามารถมองเห็นที่เวลาหนึ่ง และการบันทึกที่ต่อเนื่องจะทำให้ภาพยาวขึ้นจนถึงวัฏจักรของเครื่องยนต์ที่แตกต่างกัน จับการนับการแพร่กระจายจากวัฏจักรหนึ่งสู่วัฏจักรหนึ่ง ภาพที่ได้จากทุกๆการหมุนของเพลาคือข้อเหวี่ยง เช่น ตำแหน่งเวลาโดยวัฏจักรของเครื่องยนต์และทุกๆภาพเป็นกระบวนการเฉพาะ ค่าที่เป็นตัวอย่างจะเก็บไว้เป็นข้อมูลสำหรับวิธีวิวัฒนาการของสเปรัย รูปภาพที่ได้จะมี 2 ชนิด ชนิดแรกใช้สำหรับพัฒนาสเปรัยของของเหลวและทำให้ง่ายต่อการศึกษากระบวนการเผาไหม้ ชนิดที่ 2 ใช้สำหรับบันทึกเปลวไฟอย่างเดียว แต่ก่อนการทดสอบต้องการให้มีแสงสว่างจากภายนอก เนื่องจากตัวของสเปรัยเองจะไม่เปล่งแสง สำหรับกรณีของภาพเปลวไฟ ตัวของเปลวไฟซึ่งสามารถพิจารณาเป็นเงามืดของเขม่าที่อุณหภูมิสูง และการแผ่รังสีความร้อนจากความมืดมีความจำเป็นต้องใช้แสงในการบันทึกภาพ

### การวิเคราะห์รูปภาพ

การบันทึกภาพสามารถบอกได้โดยตรงถึงคุณสมบัติของกระบวนการฉีด - เผาไหม้ ฉะนั้นวิวัฒนาการของช่องว่างของทั้ง 2 กระบวนการนี้ สามารถสังเกตด้วยการตรวจสอบด้วยสายตาอย่างง่ายสำหรับตัวอย่างในรูปแบบที่ จะแสดงภาพของห้องเผาไหม้ในช่วงขณะหนึ่งที่มีการปรากฏตัวของเปลวไฟภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างกัน 2 ข้อ ซึ่งพื้นที่สว่าง(เปลวไฟและสเปรัย) จะปรากฏที่ความมืดในขั้นแรก ความหนาแน่นของอากาศในห้องเผาไหม้มีค่าต่ำทั้งหมดสเปรัยจะทะลุผ่านภายในห้องเผาไหม้และฉะนั้นเปลวไฟจะถูกหยุดเมื่อถูกสูบดันสูงขึ้น เงื่อนไขเหล่านี้จะไม่นำมาคิด ซึ่งแน่นอนสิ่งสะสมที่บริเวณทางเข้าของอากาศ(หรือการผสมอากาศ - เชื้อเพลิง) ในขั้นที่ 2 ตัวแปรที่สำคัญนอกจากความหนาแน่นของอากาศและอุณหภูมิซึ่งทั้งคู่มีค่าสูงกว่ายังคงเหมือนเงื่อนไขก่อนการทำงาน การปรากฏของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลวไฟจะเปิดที่การคิด คำนวณความจริงอย่างไม่ต้องสงสัยสำหรับเชื้อเพลิงและอากาศที่ผสมกันอย่างราบรื่น มันจะไม่มีควมยุ่งยาก โดยแองของลูกสูบ รูปภาพที่เหมาะสมที่ได้จากระบบดิจิทัลจะนำมาเป็นความรู้ผ่านกระบวนการทำให้เกิดภาพ โดยวิธีทั้งคู่ และ โปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมสามารถได้ตัวแปร เช่น ปลายสเปรย์ที่แทรกซึม, มุม โคนของสเปรย์, พื้นที่ของเปลวไฟ, ระดับความเข้มข้นของแสง, อุณหภูมิของเปลวไฟ และตัวแปรที่มีผลต่อจำนวนเขม่าของเปลวไฟ ตัวแปรที่ได้จะนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบถึงแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น การนำมาวิจัยการเผาไหม้บนพื้นฐานการวัดความดันภายในกระบอกสูบทันทีทันใด หรือการวัดการปล่อยปริมาณแก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์



รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบเชิงปริมาณระหว่างภาพ 2 ภาพที่แตกต่าง

### การแบ่งส่วนของสเปรย์

ภาพของสเปรย์ทำให้เกิดแสงสว่าง(สเปรย์และเปลวไฟ) และบริเวณความมืด(พื้นที่ด้านหลัง) เช่น สว่าง/ภาพถ่ายความมืด ในส่วนนี้จะคำนวณถึงตัวแปรทางเรขาคณิตของสเปรย์ จุดเริ่มต้นของดิจิทัลควรจะเลือก ภาพถ่ายเงามืดเป็นส่วนที่เราพิจารณาก่อน ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนของพื้นที่ ในทางตรงกันข้ามฟิล์มสว่างจะประกอบไปด้วยส่วนของสเปรย์เป็นจุดเริ่มแรกของประสิทธิภาพ ซึ่งผู้ใช้อธิบายได้อย่างชัดเจนแต่ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างในทางเลือกที่เราจะศึกษา และสุดท้ายวิธีเชิงสถิติ เป็นกฎพื้นฐานในการตัดสินใจสำหรับค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุดในการพัฒนา การเลือก algorithm วิธีเริ่มต้นที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละรูปแบบพื้นฐานของกราฟ RGB นี้เป็นเหตุผลที่แพร่หลายสำหรับรูปภาพที่ได้มา

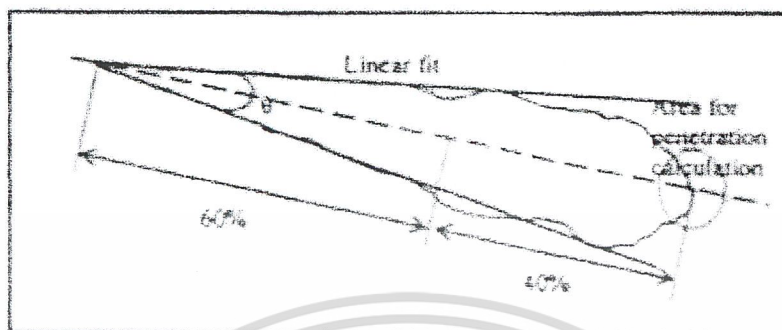
### การวัดตัวแปรของสเปรย์

กระบวนการ algorithm ที่ทำให้เกิดรูปภาพสำหรับการวัดของสเปรย์ที่แทรกซึม และมุม โคนของสเปรย์ที่ทำให้บรรลุผลทั้ง 3 ขั้นตอน คือการแก้ไขการบิดเบือนของออฟติคัล, การแบ่งส่วนของสเปรย์และการคำนวณเชิงตัวแปรของเรขาคณิต อย่างที่ 2 เราได้ทราบถึงแล้ว

หาความสัมพันธ์สู่สภาพจริงของภาพ, ความแตกต่างระหว่างสเปรย์, และพื้นภาพ หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำงานโดยเส้นรูปร่างของสเปรย์ การวิเคราะห์เส้นตรงเชิงถดถอยของเส้นด้านบนและล่างจะคำนวณเป็นอย่างแรก จุระหว่างหัวฉีด และ 60 %ของเส้นผลรวมของสเปรย์โดยใช้การวิเคราะห์เชิงถดถอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้คิดให้เป็นส่วนที่คงที่ของสเปรย์ มุมระหว่าง 2 เส้นตรงเป็นการหาค่ามุมโคจรของสเปรย์( $\theta$ ) ในส่วนนี้เป็นการคำนวณการแทรกซึมของสเปรย์ ระยะทางจากหัวฉีดกับจุดคอนทัวร์ของสเปรย์ที่คำนวณหาพื้นที่เฉลี่ยของสเปรย์ที่ใช้สำหรับวัตถุประสงค์นี้

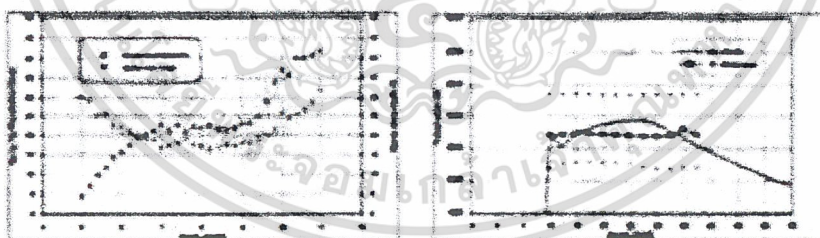


รูปที่ 2.3 การวัดการแทรกซึมของสเปรย์และมุมโคจร

### การคำนวณอุณหภูมิของเปลวไฟ

ซึ่งข้อสังเกตที่มีอยู่แล้ว เปลวไฟสามารถผ่านเงามืดของอนุภาคของเขม่าที่อุณหภูมิสูงส่ง การแผ่รังสีความร้อนจะกระตุ้นเซนเซอร์ของกล้อง อย่างไรก็ตามค่าดิจิทัล RGB สำหรับภาพถ่ายไม่มีความผิดพลาด ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและจำนวนอนุภาคของเขม่าภายในปริมาตรของเปลวไฟ

โดยวิธีซอฟต์แวร์ทางการค้า อุณหภูมิและตัวประกอบที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนของเขม่าสามารถคำนวณทุกๆภาพถ่ายของเปลวไฟ การกระจายทางสถิติของทั้ง 2 ตัวแปร ได้จากตำแหน่งของเวลาที่ไม่ผิดพลาด และอย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยและขอบเขตบน/ล่างก็สามารถคำนวณได้



รูปที่ 2.4 ผลลัพธ์ของกระบวนการทำให้เกิดภาพ(ซ้าย):วิวัฒนาการของสเปรย์, (ขวา):อุณหภูมิของเปลวไฟ

### สรุป

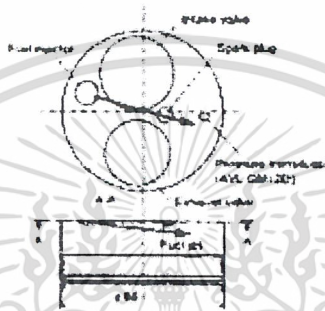
การจับภาพของ Endoscopic จะนำเสนอเกี่ยวกับการวิจัยสำหรับการฉีดสเปรย์ของน้ำมันดีเซลและการศึกษาการเผาไหม้ วิธีพื้นฐานสำหรับการทดสอบและกระบวนการทำให้เกิดเป็นภาพถ่ายหลังเป็นพื้นฐานการอธิบาย

ผลลัพธ์จะแสดง Endoscopic ซึ่งสามารถเพิ่มความรู้เกี่ยวกับกระบวนการพัฒนาความสัมพันธ์ของการเผาไหม้ สำหรับข้อตกลงในการได้มาซึ่งสาเหตุที่ไม่สามารถอธิบายได้

## 2. การวิเคราะห์การสันดาปที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบฉีดตรงของเชื้อเพลิงก๊าซ H<sub>2</sub> ส่วนผสมบาง

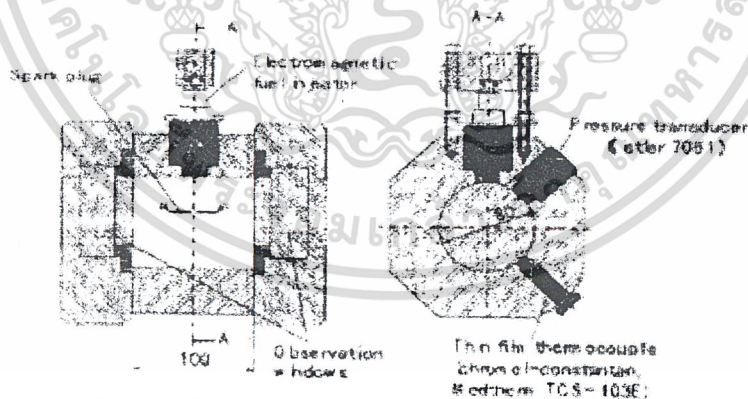
### การทดลอง

ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ 4 จังหวะแบบลูกสูบเดี่ยว เส้นผ่านศูนย์กลาง 85 mm, ระยะชัก 88 mm, และอัตราส่วนการอัดเท่ากับ 13 Hydrogen ถูกฉีดเข้ามาอย่างต่อเนื่อง มี Injection timing ที่ 35° CA ATDC และ ความดันในการฉีดเท่ากับ 10 MPa ทดลองที่ 200 รอบ



รูปที่ 2.5 ห้องเผาไหม้ที่นำมาทดสอบ

เชื้อเพลิงจะฉีดโดยตรงไปยัง Spark plug ความดันในกระบอกสูบถูกวัดโดย Piezoelectric type pressure transducer (AVL GMI12D) ทำการติดตั้งบนกระบอกสูบสำหรับใช้หาค่าของ Thermal efficiency ( $\eta$ ) ส่วนมลพิษจะวัดจาก CLD และ FID gas analyzer

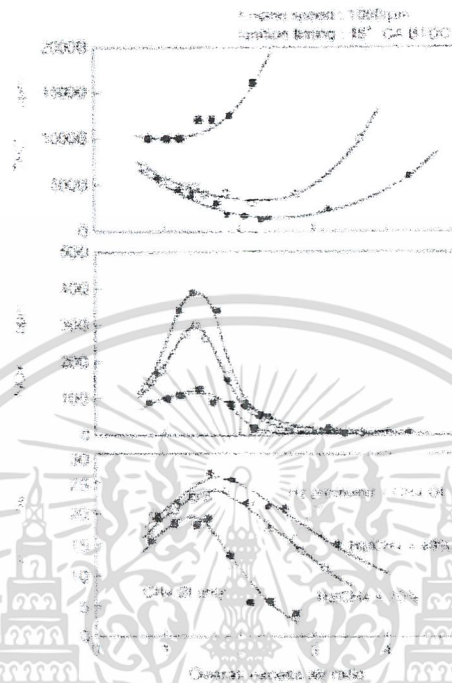


รูปที่ 2.6 ห้องเผาไหม้ที่ปริมาณคงที่สำหรับการทดลอง

จะมีหน้าต่างใส ทำมาจากแร่ Quartz Methane ถูกฉีดโดยตรงเข้ามาผสมกับ Hydrogen ส่วนผสมบางและอากาศ ถูกจุดระเบิดโดย Spark plug Methane ถูกฉีดโดย Electric magnetic fuel injector ที่ติดตั้งกับ nozzle (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm) ความดันเชื้อเพลิงในการฉีดเท่ากับ 3 MPa ส่วนความดันวัดจาก Piezoelectric type pressure transducer และนำมาวิเคราะห์อัตราการปล่อยความร้อน, การปล่อยความร้อน

และอุณหภูมิของผนังห้องเผาไหม้ระหว่างการเผาไหม้ เพื่อนำมาวิเคราะห์ Cooling loss ส่วนการแผ่ของ Flame การเผาไหม้ถูกบันทึกโดย Photoron FASTCAM Ultima

### ผลการทดลอง



รูปที่ 2.7 แสดงผลของค่า Hydrogen premixing กับ Emission ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm และ Ignition timing ที่ 15° CA ATDC โดยเปรียบเทียบระหว่าง Premixed Hydrogen กับ Methane

จากกราฟที่ 1 Hydrogen premixing ช่วยลดปริมาณ THC เพราะ Hydro – carbon ที่เข้ามาผสมมีปริมาณน้อยลง ส่วนบริเวณปลายของกราฟแนวโน้มมีค่าสูงขึ้นเพราะ ยิ่งสูงจะมีส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ (Over limit) จึงเกิน Limit การจุดติดจึงมีส่วนที่ค้างของเชื้อเพลิง

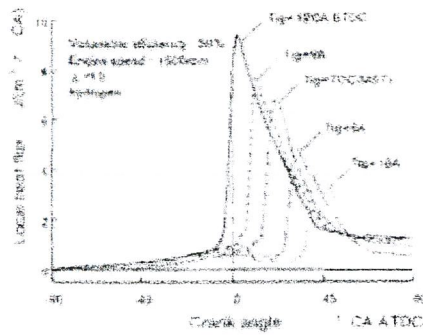
จากกราฟที่ 2 ค่า  $\text{NO}_x$  จะพุ่งขึ้นสูงเพราะปริมาณจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เกิดค่าสูงสุดที่ Lean เล็กน้อยก็เพราะเกิดการเผาไหม้ได้ดีที่สุด อุณหภูมิจึงสูงที่สุด

จากกราฟที่ 3 ค่า  $\eta_t$  ของ Premixed Hydrogen สูงกว่า Methane เพราะว่า  $\text{H}_2$  มีค่า Heating Value เท่ากับ 120 MJ/Kg ส่วนของ Methane เท่ากับ 50 MJ/Kg ฉะนั้น  $\text{H}_2$  จึงช่วยให้ค่าความร้อนสูงขึ้น และเกิดที่ Lean เล็กน้อยก็เพราะ อากาศสามารถเข้าไปจับกับเชื้อเพลิงได้หมด

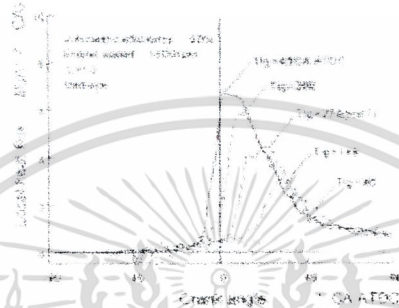
\*\*\*Premixed  $\text{H}_2$  มี range การจุดระเบิดสูงกว่า Methane

$$\eta_u = Q/Q_{\text{fuel}}$$

$$\lambda = \text{ปริมาณอากาศที่ใส่เข้าไป} / \text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ Stoichiometric}$$



(a) Hydrogen combustion



(b) Methane combustion

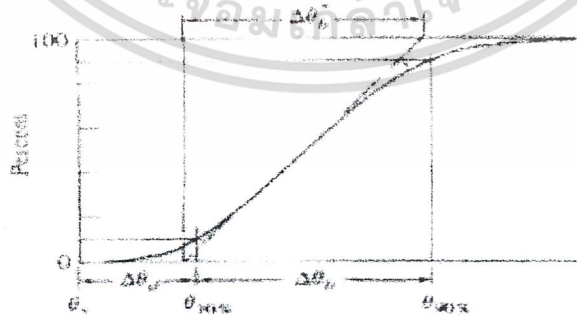
รูปที่ 2.8 แสดง Heat flux การเผาไหม้ของ Hydrogen และ Methane (ทดลองกับเครื่องยนต์ 4สูบ 4 จังหวะ เส้นผ่านศูนย์กลาง 85 mm., ระยะชัก 88 mm., Compression ratio = 13, ความเร็วรอบ 1500rpm และ ประสิทธิภาพทางปริมาตร (Volume efficiency) = 50%

Tig = 18° CA BTDC คือ Timing ignition 18° Crank sharp Angle Top Dead Center

Volume eff. ( $\eta_v$ ) = มวลจริง / มวลตามทฤษฎี =  $m / \rho V_u N$

Heat flux =  $dQ / dA = KdT / dx$

จากรูป (a) ที่ 18° มีค่า Heat flux ที่สูงเพราะเกิด Maximum Pressure



รูปที่ 2.9 แสดง Ignition Timing Period Mass fraction

โดย Percent คือ มวลของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไปแล้ว / มวลทั้งหมดของเชื้อเพลิง

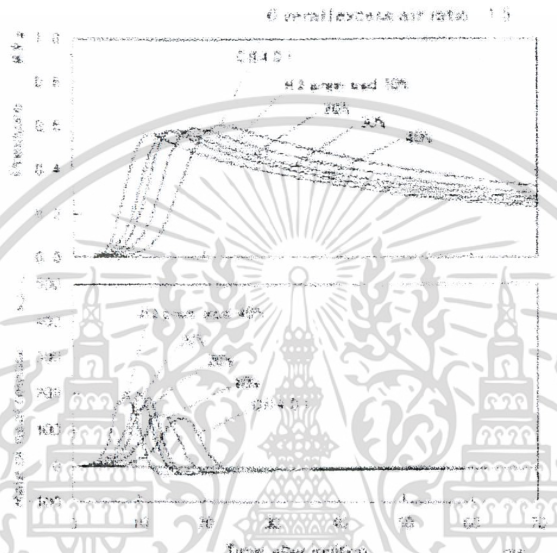
$$\Delta\theta_d = \text{Early flame}$$

$$\Delta\theta_b = \text{Flame propagation or fast burn}$$

$$\Delta\theta_c = \text{Flame termination or slow burn}$$

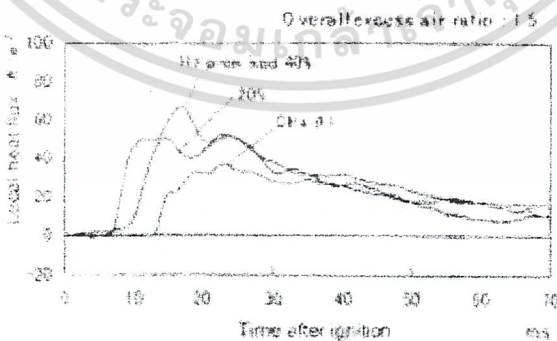
Fast burn ที่สั้นแสดงว่ามี Timing combustion ที่เร็วจึงเกิดงาน ได้มาก

Heat flux ที่สูงจะดีเพราะสามารถเปลี่ยนเป็นงาน ได้มาก เนื่องจากถ้า Heat flux สูง แสดงว่า Q มีค่าสูงซึ่ง T ก็สูงตาม ดังนั้นจากสมการ  $Pv = nRT$  จะพบว่า P ก็มีค่าสูงขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 2.10 แสดงอิทธิพลของ Hydrogen ที่เติมเข้าไปที่ Methane พิจารณาที่  $\lambda = 1.5$

จากรูปที่ 2.11 จะได้ว่าที่ส่วนผสม 40 % จะมี Time after ignition เร็วกว่า ก็เพราะ  $H_2$  มี Flame speed ที่เร็วกว่า  $CH_4$  การที่มี Time after ignition ที่รวดเร็วจะส่งผลก็คือ จะได้เห็นระยะช่วงชัตที่มาก ทำให้เกิดงานที่สูง จากสูตร  $W = FS$



รูปที่ 2.11 อิทธิพลของ hydrogen ที่เติมเข้าไปกับค่า Heat flux

ที่ส่วนผสม 40 % จะมี Heat flux ให้ค่าความร้อนที่สูง ซึ่ง

Low Heating Value คือ  $H_2 = 120 \text{ MJ/kg}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  $CH_4$  คือ  $50 \text{ MJ/kg}$  นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะพบว่า

- 1) ค่ามากที่สุดของการแพร่ความร้อนเข้าไป :  $dQ / dt_{max} = \text{time}$
- 2) ช่วงการเผาไหม้ ( 10 – 90 % Combustion period ) :  $\theta_{10-90}$  หรือเรียกว่า Timing combustion
- 3) ค่ามากที่สุดของ Het flux :  $q_{max}$
- 4) อัตราส่วนการแพร่ความร้อนต่อเชื้อเพลิงความร้อนที่ป้อนเข้า :  $Q / Q_{fuel}$

อัตราการสันดาป ( Rate of combustion ) หาค่าได้จาก  $dQ / dt_{max}$  และ  $\theta_{10-90}$  ส่วนแนวโน้มของ Cooling loss มาจาก  $q_{max}$  และ  $Q / Q_{fuel}$  และค่าความร้อน(Q) ได้จากความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ที่นำมาหักล้างกับค่าเสียหายต่างๆดังสมการ

$$Q = Q_B - Q_C$$

โดย  $Q_B$  คือ ความร้อนจากการเผาไหม้

$Q_C$  คือ Loss ที่สูญเสียไปกับความเย็นต่างๆ ( Cooling loss ) เช่น จากน้ำหล่อเย็น

จาก  $Q_B = \eta_U \times Q_{fuel}$

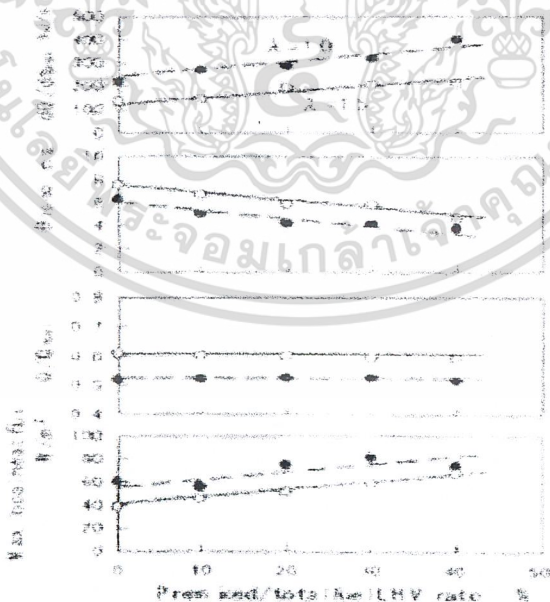
โดย  $\eta_U$  คือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้

$Q_{fuel}$  คือ ความร้อนของเชื้อเพลิงที่เราป้อน

นำ  $Q_{fuel}$  มาหารกับสมการจะได้

$$\begin{aligned} Q / Q_{fuel} &= (Q_B - Q_C) / Q_{fuel} \\ &= (Q_B - Q_C) \times \eta_U / Q_B = \eta_U \times (1 - \phi_w) \end{aligned}$$

เมื่อกำหนดให้  $\phi_w = Q_C / Q_B$



รูปที่ 2.12 อิทธิพลของ Premixed Hydrogen ในการเผาไหม้

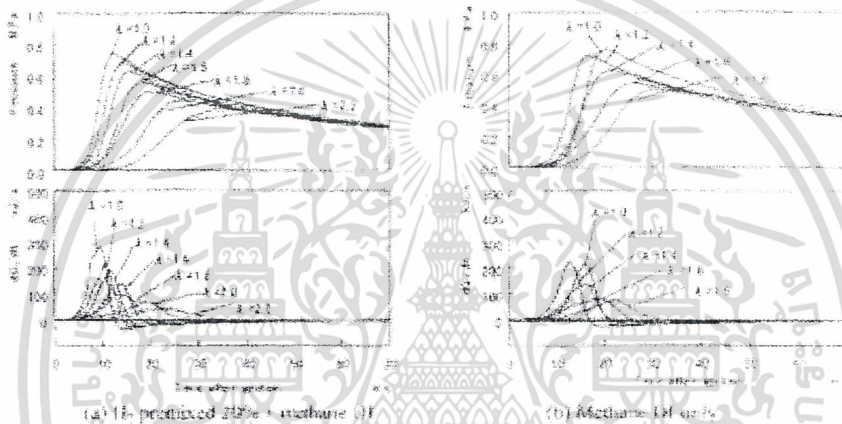
ดังนั้นจะเห็นได้ว่า  $Q / Q_{fuel}$  เป็นฟังก์ชันของ Combustion efficiency ( $\eta_U$ ) และ Cooling loss ratio ( $\phi_w$ ) และ Premixed / Total fuel LHV ratio % คือ ปริมาณของ Hydrogen ที่ถูกผสมเข้าไปจากรูปที่ 4.12 จะพบว่า

จากกราฟที่ 1 จะเห็นได้ว่า  $\lambda = 1$  จะมี  $dQ / dt_{max}$  ที่สูงกว่า  $\lambda = 1.5$  ก็เพราะได้ความร้อนออกมา มากกว่า

จากกราฟที่ 2 ช่วง Combustion period  $\theta_{10-90}$  (Fast burn) ของ  $\lambda = 1$  (Stoichiometric) ต่ำกว่า

จากกราฟที่ 3  $Q / Q_{fuel}$  ของ  $\lambda = 1.5$  สูงกว่าเพราะมีปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไป น้อยกว่า

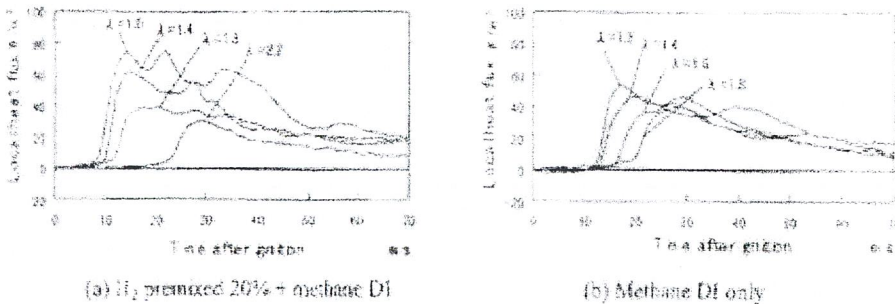
จากกราฟที่ 4  $\lambda = 1$  ให้ความร้อนได้มากกว่า



รูปที่ 2.13 แสดงอิทธิพลของ Excess air ratio ในการเผาไหม้

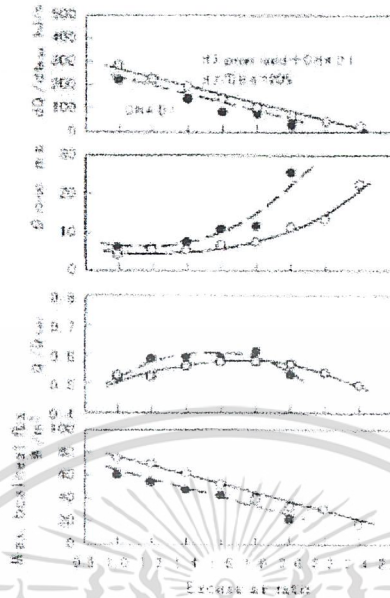
จากรูปที่ 2.13 a กราฟที่ 1 ที่ Pressure ลดลงเพราะ มีอากาศเหลือมากเกินไป  
จากรูปที่ 2.13 a กราฟที่ 2 ที่  $dQ / dt$  ลดลงเพราะ ความดันที่ลดลงจะทำให้อุณหภูมิลดลง ค่า  $Q$  จึง ลดลง

จากรูปที่ 2.13 b กราฟที่ 1, 2 ที่  $\lambda = 1.2$  มากกว่าที่ Stoichiometric ก็เพราะว่า ตามทฤษฎีของ Pure Gas การจุดระเบิดที่ดีจะเกิดขึ้นที่ Lean เล็กน้อย แต่เมื่อผสม H<sub>2</sub> เข้าไป ทำให้ที่ Stoichiometric มีค่าสูงก็ เพราะอิทธิพลของ H<sub>2</sub>



รูปที่ 2.14 อิทธิพลของ Excess air ratio กับ Heat flux

จากรูปที่ 2.14 a, b ค่า Heat flux จะสูงที่ Stoichiometric เพราะมีค่า Q ที่สูงและจะค่อยๆลดลงเมื่อ Excess air ratio มากขึ้น



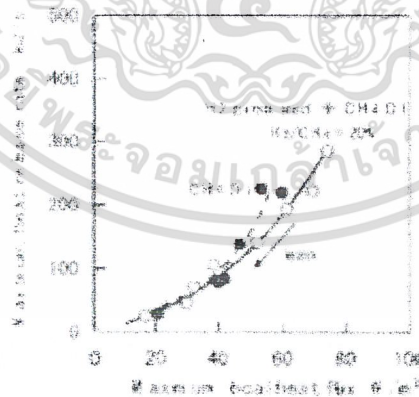
รูปที่ 2.15 แสดงอิทธิพลของ Excess air ratio ในการเผาไหม้

จากรูปที่ 2.15 จากกราฟที่ 1 ค่า  $dQ / dt$  ของ Premixed  $H_2$  สูงกว่า Methane เพราะว่า  $H_2$  มีค่า Heating Value สูงกว่า Methane

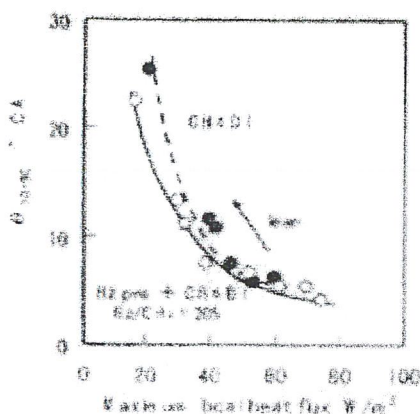
จากรูปที่ 2 จากกราฟที่ 2 ค่า Fast burn ของ Premixed  $H_2$  ต่ำกว่า เพราะว่า  $H_2$  มี Flame speed ที่เร็วกว่า

จากรูปที่ 3 Range การจุดระเบิดของ  $H_2$  จะยาวกว่า  $CH_4$

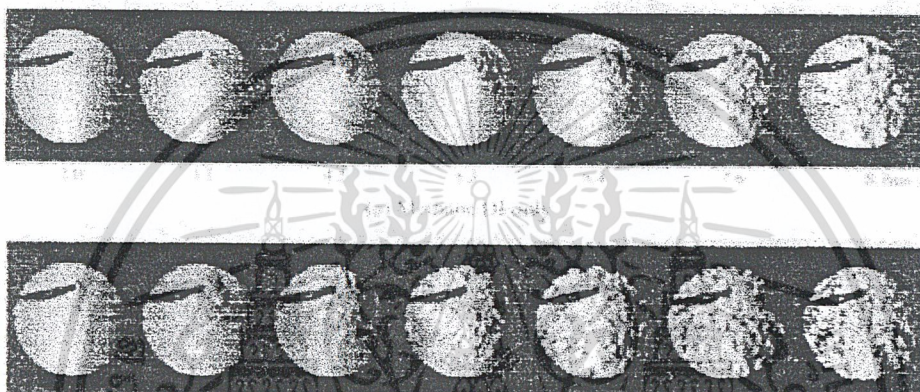
จากรูปที่ 4 เมื่อ Lean มากขึ้นความร้อนที่ให้ออกมาก็น้อยลง



รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Heat flux กับ Heat release



รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Heat flux Combustion period



รูปที่ 2.18 ภาพแสดงถึงลักษณะการจุดระเบิดและการเผาไหม้จากการถ่ายภาพ โดยวิธีซูร์เร็นน์

โดย a) Methane b) Methane + H<sub>2</sub> 20 %

จากรูปที่ 2.18 จะเห็นได้ว่า Premixed H<sub>2</sub> มี Flame Speed ที่รวดเร็วกว่า ซึ่งจะส่งผลให้เกิด Pressure สูงสุดได้เร็วขึ้น และยังมีช่วง Ignition Timing ที่รวดเร็วจึงทำให้เกิด Thermal eff. สูง

### 3. ความสัมพันธ์ของ Spray Observation กับสมรรถนะของเครื่องยนต์ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง

#### บทนำ

คุณภาพของกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบ DI จะขึ้นอยู่กับการผสมกันของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ซึ่งมีปัจจัยอยู่ 3 อย่าง คือ

- 1) การไหลของอากาศตามหลัก Aerodynamic
- 2) คุณลักษณะของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง
- 3) การออกแบบห้องเผาไหม้

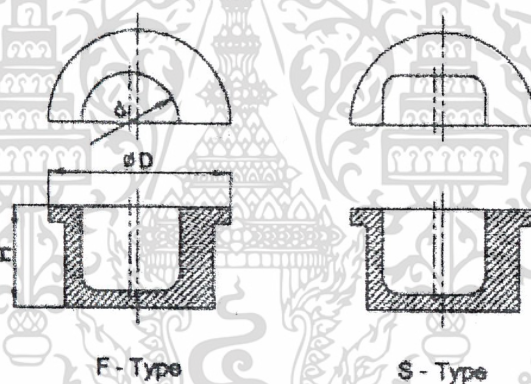
จากการค้นคว้าในกระบวนการเผาไหม้และไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลแบบ DI จึงทำให้เราทราบว่า การผสมกันของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศในกระบอกสูบมีความสำคัญต่อสมรรถนะเครื่องยนต์ จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคที่ใช้ในการศึกษาได้มีการใช้การถ่ายภาพเพื่อเป็นการยืนยันรูปแบบของละอองฝอยที่เกิดขึ้น ซึ่งได้มีการสรุปเกี่ยวกับการผสมกันของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศโดยใช้การกระจายความเข้มข้น จากค่ากล่าวได้นำไปสู่การออกแบบห้องเผาไหม้แบบสี่เหลี่ยมเรขาคณิต

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

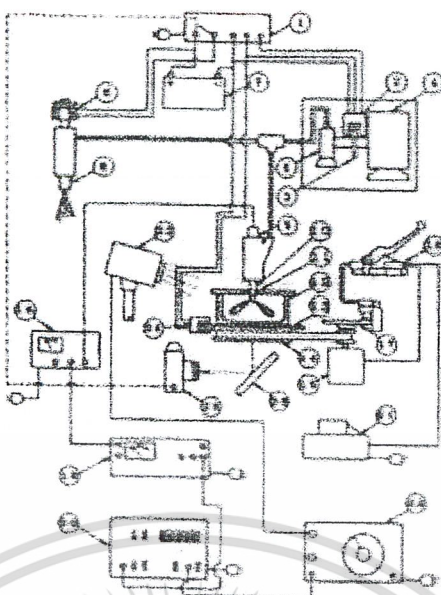
A. ใช้กระบอกสูบเครื่องยนต์ดีเซลแบบ DI 1 ซึ้น ในการทดลองนี้ใช้ห้องเผาไหม้ระบบ MAN-M ในการทดลอง ซึ่งมีรูปร่างเรขาคณิตที่แตกต่างกัน ที่ทางเข้าของไอดีจะทำให้เกิดการหมุนวนที่อัตราส่วน 3.15 เครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบในระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้คือ Single orifice throttling nozzle แบบ four – hole nozzle ติดอยู่ในด้านบนของกระบอกสูบทำมุมเอียง 35 องศากับแกนกระบอกสูบ

จากรูปที่ 2.19 เป็นลักษณะรูปร่างของห้องเผาไหม้ Four combustion chamber of dish (F – type) และ (S – type) จะแตกต่างกันตามที่มีการกำหนดไว้ หัวฉีดที่ใช้มีขนาด  $4 \times 0.25 \text{ mm}$  โดย Orifice มีค่า  $1/d = 2.4$  ความดันการฉีดอยู่ที่ 20 Mpa มุมเบี่ยงเบนการฉีดจะมีค่าเริ่มต้นที่ 0 – 60 องศาซึ่งเป็นการศึกษาที่ครอบคลุมในส่วนของมุมและสมรรถนะของเครื่องยนต์



รูปที่ 2.19 แสดงรูปร่างของลูกสูบแบบ F – type และ S – type

B. การเตรียมค่าการสเปิร์ย์ การหาค่าการผสมและการแพร่กระจายของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ในเครื่องยนต์กระบอกสูบเดี่ยว สมรรถนะของเครื่องยนต์จะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบห้องเผาไหม้และการแพร่กระจายของละอองน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ได้มีการออกแบบระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อจะดูพฤติกรรมของละอองน้ำมันเชื้อเพลิง โดยการสร้างได้พยายามทำให้สภาวะของการเผาไหม้เหมือนจริงทุกประการ



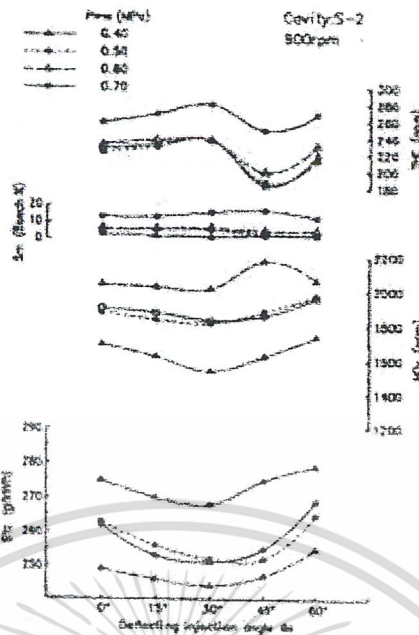
รูปที่ 2.20 แสดงระบบการฉีดเชื้อเพลิง

เครื่องฉายคูลู strobe แบบ A xenon type โดยมี color temperature 6500K แสง flash ถ่ายภาพ 4  $\mu$ s และ power output 4 W อุณหภูมิและเวลาที่ตลอดการทดลอง ภาพถ่ายได้ทำการถ่ายที่เวลา 10, 20 และ 30 ms ตั้งแต่เริ่มการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่มุมเบี่ยงเบน 0 – 60 องศาจากด้านบน ค่าของ  $\alpha$  หรือค่าการกระจายของละอองน้ำมันเชื้อเพลิง ยังมีค่าต่ำซึ่งแสดงว่ามีเกิดการคลุกเคล้าที่ดีของอากาศและเชื้อเพลิง

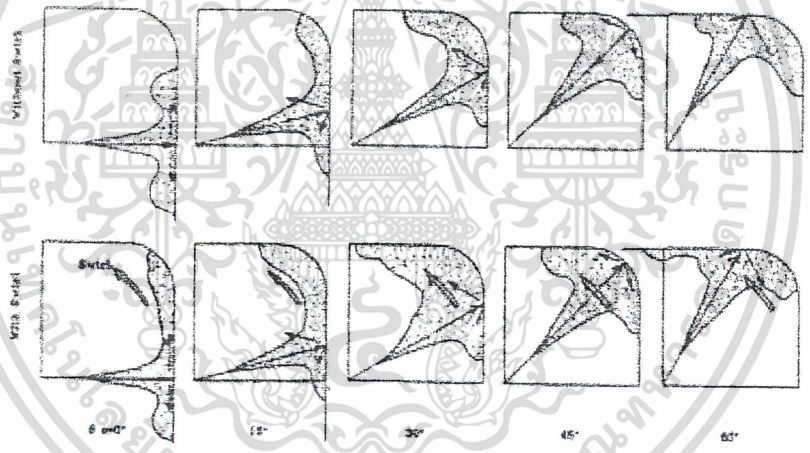
#### ผลจากการทดลอง

1) จากรูปที่ 2.21 จะเห็นว่าสมรรถนะโดยรวมที่ดีที่สุดจะอยู่ที่มุมเบี่ยงเบนเท่ากับ 30 องศา โดยผลที่ได้จะให้ค่าไอเสียที่เป็น (NO<sub>x</sub>) ออกมาต่ำแต่มีความหนาแน่นของควันมาก ดังนั้นที่มุมเบี่ยงเบนเท่ากับ 30 องศา จะส่งผลดีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยเหมาะที่จะใช้กับห้องเผาไหม้แบบ Square chamber

2) รูปที่ 2.22 แสดงถึงผลของมุมเบี่ยงเบน โดยเป็นการจำลองการประพุกตัวของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้แบบ Square chamber โดย geometric factor = 0.65 , อัตราส่วนการไหลวน 3.15 เหมือนในเครื่องยนต์จริงและมุมเบี่ยงเบนเริ่มจาก 0 – 60 องศา ภายใต้เงื่อนไขของ Non swirl และ Swirl ผลที่ได้นั้นจะพบว่าค่าของตำแหน่งที่ดีที่สุดในการโคจรของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงก็คือที่ 30 องศา กับผนังด้านข้างของห้องเผาไหม้แบบ Square

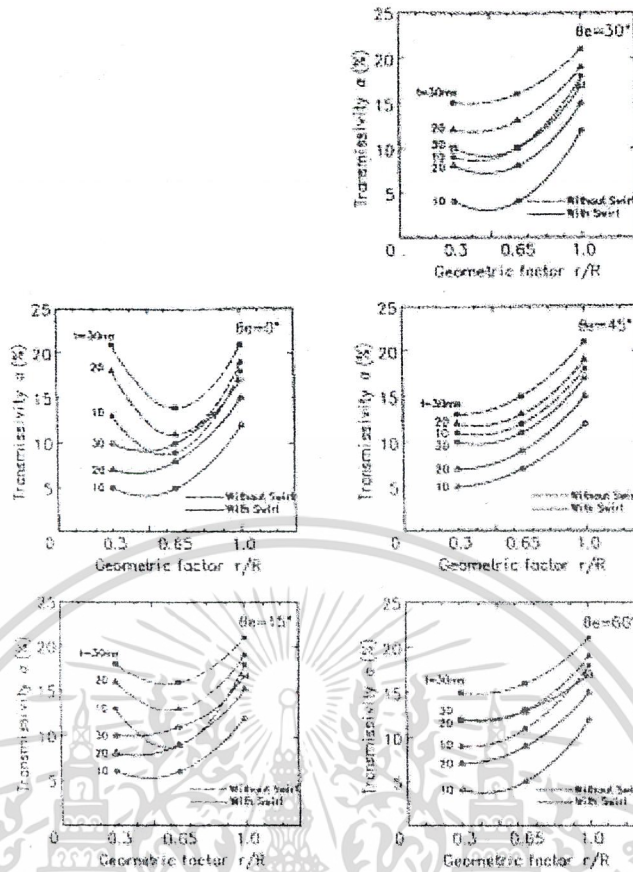


รูปที่ 2.21 แสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบ S ที่ 900 rpm

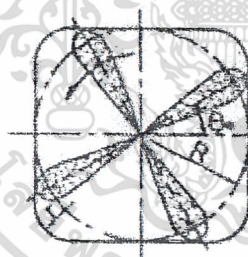


รูปที่ 2.22 แสดงการไหลของละอองน้ำมันที่มุมการฉีดต่างๆ

3) จากรูปที่ 2.23 และ 2.24 จะพบว่าที่ Square chamber ค่า Geometric factor  $r/R = 0.65$  ละอองน้ำมันเชื้อเพลิงจะไปปะทะกับด้านข้างของผนังเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นก็จะเกิดการไหลวน และมีการคลุกเคล้าของการกระจายน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ เมื่อใช้ออร์ฟิตหลายทางของ Nozzle ค่าที่ได้จะเหมือนในการทดสอบของเครื่องยนต์กระบอกเดียว



รูปที่ 2.23 แสดงผลของค่า Geometric factor กับค่าการกระจายของน้ำมันเชื้อเพลิง



$\alpha$  : Injection deflecting angle  
 $R$  : inscribed circle radius  
 $r$  : Arc radius

รูปที่ 2.24 แสดงการหาค่า Geometric factor  $r/R$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Geometric factor และค่าการกระจายของน้ำมันเชื้อเพลิง จากรูปที่...  
 ละของของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีดีเซลผสมอยู่นั้นค่า  $\alpha$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วค่า Geometric factor ก็มี  
 แนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 0.65 อย่างไรก็ตามค่าของ  $\alpha$  ที่เพิ่มขึ้นจะเป็นลักษณะ Exponentially ที่มุม  
 เบี่ยงเบน 45 และ 60 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.23

4) ผลของสมรรถนะเครื่องยนต์ จากการทดสอบ ค่า sfc และไอเสียที่เป็น CO และ THC จะมีค่า  
 ต่ำที่ Geometric factor 0.6 ระดับควันที่วัด ได้มีค่าต่ำเช่นกันที่  $r/R = 0.6$  เมื่อลดค่า  $r/R$  จาก 0.6 ไปเป็น 0.3  
 ค่า sfc และค่าควันไอเสียจะเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างห้องเผาไหม้ที่มีค่า Geometric factor  
 เท่ากับ 0.3 และ 0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลการทดลอง

- 1) ที่มุมการเบี่ยงเบนเท่ากับ 30 องศาจะมีกระจายของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ดีและอากาศที่ผสมในกระบอกสูบก็จะมีคาร์ไหลดวนด้วย
- 2) ห้องเผาไหม้แบบ Square chamber ค่า Geometric factor ที่เหมาะสมจะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.6 ถึง 0.65 ซึ่งจะมีส่วนช่วยให้เกิดการกระจายของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงและการไหลวน
- 3) จากการที่ได้มีการนำเอากระบอกสูบที่มีห้องเผาไหม้แบบ Square chamber มาใช้เพื่อหาสมรรถนะในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น จะเห็นว่ามุมเบี่ยงเบนและค่า Geometric factor มีส่วนช่วยในการกระจายน้ำมันเชื้อเพลิง
- 4) การผสมกันของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยใช้เทคนิคLIT มีส่วนช่วยในการออกแบบระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น



### บทที่ 3

#### เชื้อเพลิงทดแทน

#### 3.1 ก๊าซธรรมชาติอัด (CNG)

ก๊าซธรรมชาติอัด (CNG) หมายถึง ก๊าซที่แยกออกจากก๊าซธรรมชาติประเภทธรรมชาติแห้ง มีส่วนประกอบของมีเทนเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ก็ยังมีโพรเพน, อีเทน, บิวเทน และ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ และอาจมีคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และสารอื่นๆ เจือปนบ้างเล็กน้อย เนื่องจากก๊าซมีเทนมีน้ำหนักเบากว่าอากาศ และเบากว่าโพรเพนและบิวเทนมาก ดังนั้นจึงต้องเก็บก๊าซธรรมชาติอัดหรือ CNG ( Compress natural gas ) ไว้ในถังที่สามารถรับความดันก๊าซได้สูงกว่า 2,400 ปอนด์/ตารางนิ้ว หรือประมาณ 163 เท่าของความดันบรรยากาศ ซึ่งเมื่อนำค่าความดันนี้ไปเปรียบเทียบกับความดันในถังก๊าซ LPG แล้ว จะเห็นว่าการใช้ก๊าซ CNG จะต้องใช้ความดันสูงกว่าประมาณ 8 เท่า (ปกติความดันในถังก๊าซ LPG ประมาณ 120 ปอนด์/ตารางนิ้ว ) จึงเป็นสาเหตุให้ไม่มีผู้นิยมใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบหลักเป็นมีเทนในกระบวนการอุตสาหกรรมและยานพาหนะทั่วไป

ถึงแม้ในถังจะมีความดันสูงขึ้นมาก แต่ก๊าซ CNG ก็ยังคงสภาพความเป็นก๊าซอยู่ได้ ดังนั้นเมื่อนำออกมาใช้จึงจะสะดวกและมีสภาพเป็นไอได้ดีกว่าก๊าซหุงต้มหรือก๊าซ LPG เพราะเมื่อก๊าซ LPG ถูกอัดอยู่ภายในถังจะมีสภาพเป็นของเหลว และมีสภาพเป็นไอเมื่อปล่อยออกมาสู่บรรยากาศภายนอก ดังนั้นสภาพการกลายเป็นไอของก๊าซ CNG จึงดีกว่า หากนำเอาก๊าซ CNG มาใช้กับรถยนต์จะต้องใช้ถังสำหรับเก็บก๊าซ CNG ที่มีความหนาของถังมากจึงจะทนต่อการอัดก๊าซ CNG บรรจุลงในถังและจึงจะสามารถบรรจุก๊าซ CNG ได้มาก

ในต่างประเทศได้มีการนำเอาก๊าซ CNG มาใช้กับรถยนต์นานแล้ว สำหรับประเทศไทยก็ได้มีการทดลองนำเอาก๊าซ CNG มาใช้กับรถประจำทาง นอกจากนี้ยังได้มีการทำการทดลองและวิจัยถึงความเหมาะสมที่จะนำเอาก๊าซ CNG มาใช้กับรถยนต์ในขนาดอีกด้วย องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ (ขสมก.) ได้นำรถโดยสารปรับอากาศที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas : CNG) ยี่ห้อ BENZ และ MAN จากเยอรมัน จำนวน 82 คัน มาให้บริการแก่ ประชาชนตั้งแต่เดือนตุลาคม 2536 โดยถือเป็นโครงการทดลองการใช้เชื้อเพลิงที่สะอาดและสามารถผลิตเองได้ ภายในประเทศ และหลังจากได้ดำเนินการมาระยะหนึ่งแล้ว ได้มีการประเมินผลการใช้รถดังกล่าว โดยการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ระดับความดังของเสียงภายในห้องโดยสาร และปริมาณสารพิษ ผลการทดสอบพอสรุปได้ดังนี้

1. รถโดยสาร CNG มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่ารถโดยสารที่ใช้ น้ำมันดีเซลเล็กน้อย
2. ในด้านความดังของเสียงปรากฏว่า เมื่อเทียบกันระหว่างตำแหน่งที่มีความดังของเสียงสูงที่สุด รถโดยสารที่ใช้ น้ำมันดีเซลมีระดับความดังของเสียงสูงกว่ารถโดยสาร CNG (ระดับความดัง 86.4 เดซิเบล และ 80.9 เดซิเบล ตามลำดับ)

3. ปริมาณสารมลพิษจากรถโดยสาร CNG และดีเซลในทุกความเร็วของการทดสอบ ระดับคาร์บอนมอนอกไซด์ของรถ CNG – BENZ และรถ Diesel – BENZ มีปริมาณใกล้เคียงกัน ส่วนรถ CNG – MAN มีระดับคาร์บอนมอนอกไซด์สูงกว่ารถ CNG – BENZ ในช่วงความเร็ว 10 – 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่ารถ CNG ทั้งสองยี่ห้อ มีระดับควันดำต่ำกว่ารถโดยสาร ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง อย่างเห็นได้ชัด

การที่ก๊าซ CNG มีกลิ่นฉุนเนื่องจากการเติมสารเมอร์แคปแทนลงไป เพื่อจะได้ทราบจากกลิ่นเมื่อมีการรั่วจากถังหรืออุปกรณ์อื่นๆ ได้โดยง่าย ก๊าซ CNG ต่างกับน้ำมันเบนซินตรงที่เป็นก๊าซไม่โชงของเหลว จึงทำให้การเผาไหม้ก๊าซ CNG ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และสะอาดกว่า, เกิดเขม่าน้อยและไม่มีการตะกั่วในไอเสีย เนื่องจากก๊าซ CNG มีค่าออกเทนสูงกว่าโดยไม่ต้องเติมสารตะกั่ว มีอุณหภูมิจุดติดไฟสูงถึง 704 องศาเซลเซียส ดังนั้น โอกาสที่จะทำให้เกิดคาร์บอเนตระเบิดก่อนในเครื่องยนต์จึงไม่มี อย่างไรก็ตามการใช้ก๊าซ CNG กับรถยนต์ก็อาจทำให้ประสิทธิภาพและอัตราเร่งลดลงไปกว่าเดิมเล็กน้อย เนื่องจากมีค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าน้ำมันเบนซินและก๊าซ LPG เมื่อคิดเทียบจากปริมาตร(ที่มีสภาพเป็นไอ)เท่ากัน

เนื่องจากก๊าซธรรมชาติอัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่ง จึงสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เช่นเดียวกับกับน้ำมันและก๊าซ LPG แต่วิธีการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจะต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท ดังนั้นจึงควรทราบถึงคุณสมบัติของก๊าซ CNG ซึ่งมีดังนี้

1. สถานะปกติ มีสภาพเป็นก๊าซ
2. ก๊าซ CNG มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าอากาศ จึงมีคุณสมบัติเบากว่าอากาศ ดังนั้นเมื่อก๊าซรั่วออกมา จึงกระจายไปในบรรยากาศอย่างรวดเร็ว
3. ค่าออกเทน โดยทั่วไปจะสูงกว่า 120 จึงสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในรถยนต์ได้อย่างดี
4. ก๊าซธรรมชาติอัดเป็น เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน จึงเติมกลิ่นลงไปให้รู้ว่ามีการั่วเกิดขึ้น

ก๊าซ CNG เป็นก๊าซที่ไม่มีพิษ แต่ถ้าอยู่ในส่วนผสมของอากาศมาก จะทำให้ภาวะอากาศในขณะนั้นเกิดการขาดออกซิเจน

เนื่องจากการใช้ก๊าซ CNG สามารถทดแทนได้ทั้งเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล ดังนั้นเราจึงควรทราบทั้งข้อดีและข้อเสียของการใช้ก๊าซธรรมชาติชนิดนี้ด้วยรายละเอียดดัง ได้แสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติกับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

คุณสมบัติ	เบนซิน	ดีเซล	ก๊าซหุงต้ม	ก๊าซธรรมชาติ
สถานะปกติ	ของเหลว	ของเหลว	ก๊าซ	ก๊าซ
ความหนาแน่น	0.73	0.83	0.64	0.14
จุดเดือด(°C)	25 – 100	150 – 360	-50 – 0	-162

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) การเปรียบเทียบคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติกับเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

คุณสมบัติ	เบนซิน	ดีเซล	ก๊าซหุงต้ม	ก๊าซธรรมชาติ
ความร้อนจำเพาะ(MJ/kg)	43.5	42.5	46.1	47.7
อุณหภูมิระเบิดในอากาศ( $^{\circ}$ C)	220	220	400	540
ช่วงขีดไฟ 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 3.2 ข้อดีและข้อเสียของการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดกับเครื่องยนต์เบนซิน

ข้อดี	ข้อเสีย
1) ประหยัดค่าน้ำมันเชื้อเพลิง จากข้อมูลของประเทศต่างๆพบว่า ราคาของก๊าซธรรมชาติอัดเมื่อเทียบกับค่าสมมูลความร้อนเท่าน้ำมัน 1 ลิตร จะมีราคาถูกกว่าประมาณ 20 %	1) ชีตจำกัดในในระยะทางวิ่ง เมื่อเทียบปริมาณความจุของก๊าซธรรมชาติอัดกับน้ำมันเบนซินที่ปริมาณเดียวกัน น้ำมันเบนซินที่อกลายเฟ้นไอ จะมีปริมาณมากกว่าก๊าซธรรมชาติอัดซึ่งถ้าต้องการให้รถยนต์วิ่งได้ระยะทางเท่ากับเมื่อใช้น้ำมัน จะต้องเพิ่มถังบรรจุก๊าซธรรมชาติอัดให้มากขึ้น
2) ลดค่าบำรุงรักษาและเพิ่มอายุเครื่องยนต์ เนื่องจากก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงที่อยู่ในสถานะก๊าซ จึงเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ไม่มีเขม่าเกาะที่ลูกสูบและน้ำมันเครื่อง จากสถิติพบว่าสามารถยืดอายุน้ำมันเครื่องได้ 15,000 กิโลเมตร/ครั้ง และยืดอายุเครื่องยนต์ได้ถึง 2 เท่า	2) จำกัดช่องว่างในการบรรทุกน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากต้องใช้ถังบรรจุก๊าซเป็นอุปกรณ์เพิ่มเติม จึงเป็นการเพิ่มน้ำหนักแก่ตัวรถ ทำให้เสียพื้นที่ในการบรรทุกของด้วย
3) ลดมลภาวะ เนื่องจากก๊าซธรรมชาติอัดสามารถเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์และในเชื้อเพลิงไม่มีสารตะกั่วเจือปน ดังนั้นจึงช่วยลดมลพิษได้ถึง 90 %	3) ปัญหาในความสะดวกต่อการหาแหล่งเติมก๊าซธรรมชาติอัด เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีระบบท่อก๊าซมากพอ จึงเป็นอุปสรรคสำคัญในการตั้งสถานีบริการตามแนวท่อ นอกจากนี้สถานีบริการแบบแม่กับลูกต้องมีเงินลงทุนสูง ผู้ลงทุนจำเป็นต้องคำนวณถึงความคุ้มทุน จึงอาจเป็นปัญหาสำหรับผู้ที่ตัดแปลงรถในการหาสถานที่เติมก๊าซ
4) เครื่องยนต์เดินได้เรียบและติดเครื่องได้ง่ายกว่าในขณะอากาศเย็น เนื่องจากก๊าซธรรมชาติอัดมีสถานะเป็นก๊าซจึงทำให้ติดเครื่องได้ง่าย แม้ในขณะที่อากาศเย็นก็สามารถติดเครื่องได้ดีกว่า เพราะเครื่องยนต์ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ความร้อนในการอุ่นเครื่อง นอกจากนี้ค่าออกเทนของก๊าซธรรมชาติอัดยังสูงกว่า ซึ่งมีผลในการป้องกันการน็อกในเครื่องยนต์ได้	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) ข้อดีและข้อเสียของการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดกับเครื่องยนต์เบนซิน

ข้อดี	ข้อเสีย
5) มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ ออกแบบมาเพื่อให้มีความทนทานต่อความดันสูง และในกรณีที่ก๊าซรั่ว ก๊าซธรรมชาติมีคุณสมบัติเบากว่าอากาศจึงกระจายสู่บรรยากาศแทนที่จะขังตัวอยู่ในที่ต่ำเหมือนเชื้อเพลิงอื่น นอกจากนี้ช่วงการคิดไฟของก๊าซธรรมชาติอัดอยู่ในช่วง 5 – 15 % โดยปริมาตรและที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 °F ถ้าเป็นน้ำมันเบนซินจะมีค่าประมาณ 0.6 – 8 % ที่ 800 °F	4) กำลังเครื่องยนต์ลดลงประมาณ 10 – 15 % เนื่องจากค่าความร้อนของก๊าซธรรมชาติเมื่อเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงจะต่ำกว่าประมาณ 10 – 15 % 5) ค่าคิดแปลลงและราคาอุปกรณ์ค่อนข้างสูง เนื่องจากจำเป็นต้องใช้วัสดุที่ทนต่อแรงดันสูง และมีมาตรฐานความปลอดภัย ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ ยังหาได้ยาก จึงทำให้ราคาคิดแปลลงค่อนข้างสูงด้วย

แนวโน้มการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในประเทศไทย เนื่องจากลักษณะการใช้งานเชื้อเพลิงในประเทศไทยยังจำเป็นต้องพึ่งน้ำมันดิบจากต่างประเทศในจำนวนมากๆ จากสถิติที่ผ่านมา ประเทศไทยต้องตั้งน้ำมันดิบเข้ามาประมาณ 75 % ของปริมาณที่ใช้ทั้งหมดในประเทศ และในจำนวนนี้ภาคการขนส่งเป็นภาคที่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมากที่สุด จึงได้มีการพัฒนาหาเชื้อเพลิงอื่นๆ เพื่อทดแทนน้ำมัน เช่น การนำก๊าซหุงต้มมาใช้ในรถยนต์ ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งกำลังอยู่ในขั้นศึกษาและทดสอบอยู่ และคาดว่าจะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันในอนาคตได้ ทั้งนี้เพราะก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงที่ดีหลายประการ และก๊าซธรรมชาติยังเป็นทรัพยากรที่ขุดพบในประเทศอีกด้วย ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาและทดสอบการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดโดยใช้รถขององค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพฯ (ขสมก.) ในเขตเดินรถแถวท่าเรือเจ้าสัวมิตรพราย โดยทำการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินผลความเป็นไปได้ในการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดกับรถยนต์โดยสาร ขสมก. สำหรับการปีโตรเลียมแห่งประเทศไทย(ปตท.) มีโครงการที่จะทดลองใช้ก๊าซธรรมชาติอัดกับกลุ่มรถยนต์ที่วิ่งใช้งานอยู่ตามแนวท่อก๊าซธรรมชาติด้วย

อย่างไรก็ตาม การใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์นั้นอาจมีลักษณะเฉพาะบางประการ คือ

1) ลักษณะการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในรถยนต์มุ่งที่จะพัฒนาเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล

2) แนวทางการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในรถยนต์นั้น ในขั้นต้นจะเริ่มใช้เฉพาะในเขตกรุงเทพฯ และบริเวณตามแนวท่อที่ก๊าซธรรมชาติผ่าน ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการตั้งสถานีบริการก๊าซธรรมชาติอัดตามแนวท่อซึ่งมีการลงทุนต่ำ สำหรับในเขตกรุงเทพฯ ชั้นในอาจจะต้องมีการลงทุนตั้งสถานีบริการก๊าซธรรมชาติอัดในระบบแม่กับลูกด้วย ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงอุปสรรคในการวางท่อย่อยซึ่งจะต้องพิจารณาถึงระบบผังเมืองและการจราจรด้วย อย่างไรก็ตามการที่จะลงทุนตั้งสถานีบริการแบบนี้คงต้องมีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาถึงความเหมาะสมและการลงทุน เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะและแนวทางการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในรถยนต์

3) การใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในรถยนต์นั้น เหมาะสมกับหน่วยงานที่มีรถยนต์เป็นกลุ่มจำนวนมากๆ เช่น ขสมก. องค์การโทรศัพท์ กฟผ. เทศบาล หรือ บขส. เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการเติมก๊าซธรรมชาติอัดภายหลังการใช้งานรถยนต์ประจำวัน

4) ด้านการตัดแปลงรถยนต์มาใช้ก๊าซธรรมชาติอัด ในปัจจุบันอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการตัดแปลงยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงทำให้มีราคาแพง และเสียเวลาในการขนส่ง อย่างไรก็ตามถ้ามีการก๊าซธรรมชาติอัดทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงแพร่หลายขึ้น อุปกรณ์ต่างๆคงจะมีราคาถูกกว่าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

5) ในแง่ของภาครัฐบาล อาจจะต้องมีการสนับสนุนหรือส่งเสริมให้ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดกันมากขึ้น เพื่อทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง โดยอาจช่วยเหลือด้านเงินทุนในการตัดแปลง หรือช่วยเหลือในรูปของการลดภาษีให้แก่รถยนต์ที่ตัดแปลงมาใช้ก๊าซธรรมชาติอัด

### 3.2 ก๊าซ LPG

ปัจจุบันนี้เชื้อเพลิงก๊าซได้เข้ามามีบทบาททดแทนเชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงเหลวมากขึ้นอันเนื่องมาจากได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับอุปกรณ์และเครื่องควบคุมก๊าซ จึงทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกและปลอดภัยมากขึ้น โดยเฉพาะก๊าซที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมซึ่งจะประกอบไปด้วยก๊าซโพรเพนและก๊าซบิวเทน ก๊าซหุงต้มที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นมันดิบหรือที่เรียกว่า “ก๊าซปิโตรเลียมเหลว” อันเป็นส่วนประกอบของก๊าซโพรเพนและก๊าซบิวเทนในอัตราส่วน 30:70 ก๊าซทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถนำมาแยกเป็นก๊าซหุงต้มได้โดยนำก๊าซธรรมชาติที่ได้มาผ่านกระบวนการแยกก๊าซที่โรงแยกก๊าซ

คำว่า LPG เป็นศัพท์ทางการที่ใช้ในการเรียกเหลวปิโตรเลียม แต่ที่เรารู้จักกันดีคือก๊าซหุงต้ม ก๊าซชนิดนี้จะมีสถานะเป็นไอ (Vapor) แต่ถ้าอยู่ภายใต้ความดันสูงก๊าซจะมีลักษณะเป็นของเหลว

#### 3.2.1 คุณสมบัติของก๊าซ LPG

1.) สี ก๊าซ LPG จะไม่มีสีเมื่อเกิดการรั่วออกจากรถถังเราจึงไม่สามารถมองเห็นก๊าซที่รั่วออกมา นอกจากก๊าซเกิดการรั่วออกมามากเราจึงจะเห็นเป็นละอองขาว ซึ่งละอองนี้ก็คือไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศทำการกลั่นตัวเมื่อได้รับความเย็นจัดจากการระเหยตัวของก๊าซ

2) ความเป็นพิษ ก๊าซชนิดนี้จะไม่เป็นพิษ เมื่อนำไปเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะไม่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์หรือก๊าซพิษ เนื่องจากก๊าซนี้มีน้ำหนักมากกว่าอากาศดังนั้นหากเกิดการรั่วขึ้นในห้องแคบแล้ว ก๊าซนี้จะเข้าไปแทนที่อากาศทำให้ผู้ที่สูดดมเข้าไปเกิดอาการวิงเวียนเป็นลมได้

3) กลิ่น LPG เป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่น ดังนั้นเพื่อเป็นการเตือนเมื่อก๊าซเกิดการรั่วขึ้นจึงได้มีการเติมสารที่มีกลิ่นฉุนลงไปในกระบวนการผลิตด้วย โดยมากจะใช้ เอทิลเมอร์แคป ( $C_2H_5SH$ )

4) น้ำหนัก เป็นก๊าซที่เบากว่าน้ำและหนักกว่าอากาศ เมื่อมีสถานะเป็นของเหลวจะมีน้ำหนักครึ่งหนึ่งของน้ำ ดังนั้นก๊าซเหลวจึงลอยอยู่บนน้ำแต่ก็ยังสามารถติดไฟได้ ส่วนเมื่ออยู่ในสถานะ

จำพวกโพลิฟินเช่น โพรพิลีน บิวทิลีน มีคุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยาสูงจึงเกิดโพลีเมอไรเซชันได้ง่าย ทำให้เกิดสารจำพวกน้ำมันดินและยางซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้หม้อต้มก๊าซเกิดความเสียหายและมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนสูง ทำให้โลหะแฟรมเสียหายผลก็คืออายุการใช้งานของ อุปกรณ์ก็จะสั้นลง

สิ่งเจือปนต่างๆ ในก๊าซ LPG อันได้แก่ ความชื้นและสารประกอบของกำมะถันซึ่งจะมีฤทธิ์กัดกร่อนอุปกรณ์หรือทำให้ไอเสียมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) จึงไม่เป็นที่พึงปรารถนาต้องกำจัดให้หมดไป การตรวจสอบคุณภาพก๊าซ LPG อย่างง่าย ๆทำได้โดย การดองน้ำมันดินที่ไหลออกมาเมท่อเปิดก๊อกระบาย (Drain cock) ที่อยู่ด้านล่างของหม้อต้มหรือเครื่องควบคุมก๊าซ (Regulator) ในขณะที่หม้อต้มยังอุ่นอยู่ หลังจากเครื่องเย็นตัวจึงมาตามระยะทางที่กำหนดไว้ ถ้ามีน้ำมันดินอยู่น้อยเท่าใดก็แสดงว่าเป็นก๊าซ LPG ที่คุณภาพดีเท่านั้น

### 3.2.4 ข้อดีและข้อเสียของก๊าซ LPG กับเครื่องยนต์

#### ข้อดี

- 1) ก๊าซ LPG มีค่าออกเทนประมาณ 85 – 108 ( ตามอัตราส่วนผสมก๊าซผสม โพรเพนและบิวเทน ) จึงเหมาะที่จะใช้กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนในปัจจุบันที่มีอัตราส่วนการอัดประมาณ 8.5 – 9.2 ซึ่งมีผลทำให้เครื่องยนต์เดินเรียบและมีประสิทธิภาพในการใช้งานเครื่องยนต์ได้ดี
- 2) ราคาของก๊าซ LPG ต่ำกว่าราคาของน้ำมันเบนซิน
- 3) ทำให้เครื่องยนต์สะอาดกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน เนื่องจากก๊าซ LPG เมื่อถูกเผาไหม้แล้วจะมีคราบเขม่าน้อยกว่า
- 4) ทำให้หัวเทียนสะอาด มีคราบเขม่าเกาะจับน้อยเป็นผลให้อายุการใช้งานยาวนานขึ้น
- 5) การติดเครื่องยนต์ทำได้ง่ายกว่า และจะไม่มีอาการเขื่อเพลิงท่วมคาร์บูเรเตอร์หรือถูก ลอยน้ำมันค้าง
- 6) ทำให้น้ำมันเครื่องของเครื่องยนต์สะอาดเนื่องจากมีคราบเขม่า น้อย จึงเป็นการยืดอายุการใช้งานของน้ำมันเครื่องไปในตัว
- 7) ก๊าซ LPG สามารถเผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่าน้ำมันเบนซิน จึงทำให้ช่วยลดการเกิดมลพิษสู่ อากาศ

#### ข้อเสีย

- 1) ไม่เหมาะกับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดค่อนข้างต่ำ
- 2) มีแนวโน้มที่จะทำให้มีประสิทธิภาพทางปริมาตรต่ำ
- 3) จะต้องบรรจุในภาชนะที่สามารถทนแรงดันได้สูงถึง 250 ปอนด์/ตารางนิ้วเกจ (psig)
- 4) หากมีการรั่วมากๆ ถึงแม้จะมีกลิ่นเตือนก็อาจทำให้ผู้พบหน้ามีคเป็นลม ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอุบัติเหตุที่คาดไม่ถึงขึ้นได้

### 3.3 แอลกอฮอล์และก๊าซโซฮอลล์

#### 3.3.1 แอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ เป็นเชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบของสารไฮโดรคาร์บอนและออกซิเจน แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดคือ

- 1) เอทานอล(Ethanol ) หรือเอทิลแอลกอฮอล์( Ethyl Alcohol )
- 2) เมทานอล(Methanol ) หรือเมทิลแอลกอฮอล์( Methyl Alcohol )
- 3) โพรพานอล(Propanol ) หรือโพรพิลแอลกอฮอล์ ( Propyl Alcohol )
- 4) บูทานอล( Butanol ) หรือบูทิลแอลกอฮอล์( Butyl Alcohol )

เอทานอล ผลิตได้จากวัสดุทางการเกษตร ได้แก่สารจำพวกสารที่มีน้ำตาลเช่น อ้อย, ข้าวฟ่างหวาน และกากน้ำตาลเป็นต้น ประเภทสารที่มีแป้งก็ ได้แก่ มันสำปะหลัง ข้าวเจ้า ข้าวโพด เป็นต้น ประเภทที่มีเซลลูโลสก็เช่น ต้นไม้ เศษวัสดุทางการเกษตร เป็นต้น

หลักการผลิตเอทานอลก็คือ เปลี่ยนคาร์โบไฮเดรต ให้อยู่ในรูปน้ำตาลที่ละลายน้ำได้แล้วหมักน้ำตาลที่ได้ให้กลายเป็นเอทานอล โดยใช้ยีสต์ ต่อจากนั้นก็แยกเอทานอลออกจากสารผสมที่ได้จากการหมักโดยวิธีการกลั่น

เมทานอลมีวิธีการผลิตที่ต่างไปจากเอทานอล ซึ่งวัตถุดิบในประเทศที่เรานำมาใช้ในการผลิตเมทานอลได้แก่ ถ่านหินลิกไนต์ ไม้ และก๊าซธรรมชาติ

โพรพานอลและบูตานอล เป็นผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดีกว่าเอทานอลและเมทานอล เพราะมีค่าความร้อนสูงกว่าแต่ก็มีราคาแพงกว่าด้วย

ตารางที่ 3.4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแอลกอฮอล์

คุณสมบัติ	เมทานอล	เอทานอล	โพรพานอล	ไอโซบูทานอล
สูตร	$\text{CH}_3\text{OH}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	$(\text{CH}_2)_2\text{CHCH}_2\text{OH}$
น้ำหนักโมเลกุล	32.042	46.070	60.097	74.124
จุดหลอมเหลว(°C)	-97.8	-116.0	-126.1	-108.0
จุดเดือด	64.5	78.4	97.3	108.3
จุดวาบไฟ(°C)	12.2	13.9	15.0	27.8
ความถ่วงจำเพาะ				
-อ้างอิงที่อากาศ(°C/°C)	20/4	20/20	20/4	20/20
-อัตราส่วน	0.792	0.790	0.840	0.803

ตารางที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติของไอโซออกเทนและเอทานอล

คุณสมบัติ	ไอโซออกเทน	เอทานอล
สูตรทางเคมี	$C_8H_{18}$	$C_2H_5OH$
น้ำหนักโมเลกุล	114.224	46.07
อัตราส่วนน้ำหนักคาร์บอนและไนโตรเจน	5.25	4.0
คาร์บอน(%โดยน้ำหนัก)	84.0	52.0
ไฮโดรเจน(%โดยน้ำหนัก)	16.0	13.0
ออกซิเจน(%โดยน้ำหนัก)	0.0	35.0
จุดเดือด, ที่ 1 บรรยากาศ( $^{\circ}C$ )	99.24	78.3
จุดเยือกแข็ง, ที่ 1 บรรยากาศ( $^{\circ}C$ )	-107.4	-114.1
ความดันไอ, ที่ $37.8^{\circ}C$ , (psia)	1.708	2.5
ความถ่วงจำเพาะ, ที่ $15^{\circ}C$ , 15.6/15.6 และ 1 บรรยากาศ	5.795	6.63
ความหนาแน่น, ที่ $15^{\circ}C$ ( $kg/m^3$ )	700	794
แรงตึงผิว, ที่ $20^{\circ}C$ , 1 บรรยากาศ (dynes/cms)	18.77	23
ความหนืด, ที่ $20^{\circ}C$ , 1 บรรยากาศ (centipoises)	0.503	1.17
ความร้อนจำเพาะของของเหลว, ที่ $77^{\circ}F$ , 1 บรรยากาศ (Btu/lb $^{\circ}F$ )	0.5	0.6
ความร้อนจำเพาะของการกลายเป็นไอ, ที่ $25^{\circ}C$ , 1 บรรยากาศ, (Btu/lb)	132	395
ความร้อนจากการเผาไหม้, ที่ $25^{\circ}C$ , (Btu/lb)		
- ค่าความร้อนสูง	20556	12780
- ค่าความร้อนต่ำ	19026	11520
ออกเทนัมเบอร์(วิธีวิจัย)	100	106

### 3.3.2 แก๊สโซฮอล์ (Gasohol)

คำว่า "แก๊สโซฮอล์" มาจากคำว่า "แก๊สโซลีน" รวมกันกับ "แอลกอฮอล์" ซึ่งตั้งขึ้นโดยดร. วิลเลียม สเชลเลอร์ (Dr. William Scheller) หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมีของมหาวิทยาลัยเนบราสกา (University of Nebraska)

แก๊สโซฮอล์ ถูกนำมาใช้กับรถยนต์นานแล้วตั้งแต่ปี พ.ศ. 2463 ปัจจุบันประเทศบราซิลซึ่งเป็นผู้นำในการผลิตเอทานอลของโลก กำหนดให้มีการผสมเอทานอลลงในน้ำมันเบนซินอย่างน้อย 24 % และที่รัฐเนบราสกา สหรัฐอเมริกาเองก็ใช้เอทานอลผสม 10 % โดยปริมาตรในน้ำมันเชื้อเพลิง

สำหรับประเทศไทยได้มีหลายหน่วยงานหลายโครงการมาการศึกษาวิจัยการใช้แอลกอฮอล์เพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน ตัวอย่างเช่น โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา สถาบันวิจัยและเทคโนโลยีการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, รองศาสตราจารย์ พูลพร แสงบางปลา, บุญส่ง แสงทอง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 ผลการศึกษาการใช้เอทานอลผสมในน้ำมันเบนซิน

จากการที่ได้ศึกษางานวิจัยของผู้วิจัยภายในประเทศไทย พอที่จะสรุปได้คือ ได้มีการทำงานวิจัยใน 2 ลักษณะคือ ประการที่หนึ่งเป็นการวิจัยคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของน้ำมันเชื้อเพลิงผสม เปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงเบนซินและผลของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมต่อวัสดุอุปกรณ์ในระบบน้ำมันเชื้อเพลิง อีกประการหนึ่งก็คือ การนำน้ำมันเบนซินและแก๊ส โซฮอล์ที่ผสมเอทานอลในอัตราส่วนต่างๆ ไปทดสอบกับเครื่องยนต์โดยการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ แบบที่ 1 คือ การทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยใช้ไดนาโมมิเตอร์ อีกแบบหนึ่งก็คือ การทดสอบกับรถยนต์โดยนำไปวิ่งทดสอบบนถนน ซึ่งผลของการทดสอบพอจะยกตัวอย่างได้ดังนี้

#### 3.3.2.1 การทดสอบด้านสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง

##### 1) การทดสอบของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.

ผลของการใช้เอทานอลผสมในน้ำมันเบนซินต่อระบบเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ โดยนำวัสดุในการทดสอบคือ ยาง, พลาสติกและ โลหะ ไปแช่ในน้ำมันเชื้อเพลิงตัวอย่าง ได้แก่ น้ำมันเบนซินที่ไม่ผสมสารออกซิเจนเนต, น้ำมันเบนซินผสมเอทานอลในปริมาณ 5%, 10% และ 15%, น้ำมันเบนซินผสม MTBE 7.5% และ 10%, เอทานอล 100% และ MTBE 100% ทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้คือ

1.1) ผลของการเติมเอทานอลต่อวัสดุประเภทยาง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินที่เติม MTBE, 100% MTBE, 100% เอทานอล, และน้ำมันเบนซินไม่ผสม โดยคุณสมบัติที่ใช้จะประเมินผล ได้แก่ ความแข็งแรง, การเปลี่ยนแปลงของปริมาตร, ความต้านทานต่อแรงดึงและอัตราการยืดขยาย

- สำหรับยางชนิด NBR และ H-NBR ความแข็งแรงของยางจะลดลงและจะบวมมากขึ้นเมื่อเติมเอทานอลมากขึ้น

- การเติมเอทานอลมีผลทำให้คุณสมบัติต่างๆ ของยางชนิด FKM เปลี่ยนแปลงไปมากกว่าการเติม MTBE เล็กน้อย

1.2) ผลของการเติมเอทานอลในน้ำมันเบนซินต่อวัสดุประเภทพลาสติก โดยคุณสมบัติที่ใช้ประเมินผล ได้แก่ ความยาว, ความกว้าง, ความหนา น้ำหนัก, ความต้านทานต่อแรงดึง และอัตราการยืดขยาย พบว่า

- การเติมเอทานอลและ MTBE มีผลทำให้คุณสมบัติต่างๆ ของพลาสติกชนิด Polyethylene เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าความเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของวัสดุก่อนการทดสอบ

- สำหรับพลาสติกชนิด Nylon พบว่า ความกว้าง, ความยาว, และความหนาเพิ่มขึ้น เมื่อเติมเอทานอลมากขึ้น, การเติมเอทานอลและ MTBE ไม่มีผลกระทบต่อการต้านทานแรงดึงมากนัก และการเติม MTBE เพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการยืดขยายลดลง เมื่อเทียบกับการทดสอบบนเบนซินไม่ผสม

1.3) ผลการเติมเอทานอลในน้ำมันเบนซินต่อคุณสมบัติของโลหะ โดยมรรควสมบัติที่ใช้ประเมินผลคือ น้ำหนัก, สี, และการเกิดสนิม พบว่า การเติมเอทานอลและ MTBE ไม่มีผลต่อคุณสมบัติของโลหะทดสอบ

#### 2) การทดสอบของ รศ.พุดพร แสงบางปลา

ผลของการทดสอบเมื่อเติมเอทานอลลงในน้ำมันเบนซินที่อัตราส่วนต่างๆเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินที่ไม่เติมเอทานอล สรุปได้ว่า

- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลงเมื่อปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกัน ค่าออกเทนัมเบอร์สูงขึ้นเมื่อปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้น

- เปอร์เซนต์การระเหยของเชื้อเพลิงผสมจะมากขึ้น เมื่อปริมาณเอทานอลเพิ่มมากขึ้น

- ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงจะมากขึ้น ตามอัตราส่วนผสมของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น

#### 3.3.2.2 การทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์

การทดสอบทางด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ รวมถึงการทดสอบมลพิษของไอเสีย จะเป็นทั้งการทดสอบทั้งภาคปฏิบัติการและภาคสนาม มีผู้ทดสอบไว้ดังนี้

##### 1) การทดสอบของสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.

1.1) ผลของการใช้น้ำมันเบนซินผสมเอทานอล 5% เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินผสม MTBE 5% และน้ำมันเบนซิน ไม่ผสม เชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดมีออกเทน 87 เท่ากัน ทดสอบกับเครื่องยนต์ 1300 cc ใช้คาร์บูเรเตอร์ จากการทดสอบจะพบว่า

- การทดสอบในห้องปฏิบัติการ จากการใช้น้ำมันเบนซินผสมเอทานอล 5% เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซิน พบว่า ไม่ทำให้กำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลง แต่ให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะลดลง ( ประหยัดเชื้อเพลิง ) ร้อยละ 2-3 โดยมวล ปริมาณไฮโดรคาร์บอนและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ลดลงร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ

- การทดสอบภาคสนาม พบว่า สมรรถนะและการประหยัดเชื้อเพลิงไม่แตกต่างกันและเมื่อประเมินผลการใช้งาน 20,000 km พบว่า ระบบการนำไอดี โคนเฉพาะที่คาร์บูเรเตอร์มีสิ่งสกปรกเกาะติดมาก ปริมาณสิ่งสกปรกที่เกาะติดบริเวณทิวลิปของลิ้นไอดีของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินผสมเอทานอล 5% มีมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินผสม MTBE 5% ประมาณ 0.22 กรัมต่ออวลัว

1.2) ผลการทดสอบการใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 92 ผสมเอทานอล (99.9% ) 10% เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินออกเทน 92 ทดสอบกับรถยนต์นิสสัน ที่มีระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์ พบว่าไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนไดออกไซด์ ลดลงร้อยละ 15 และ 34 ตามลำดับ และอัตราการเร่งลดลงเล็กน้อย

1.3) ผลการทดสอบการใช้น้ำมันเบนซินออกเทน 96 ผสมกับเอทานอล 7.5% และ 15% เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินออกเทน 96 ทดสอบกับรถยนต์ 5 คันมีระบบการฉีดน้ำมันเป็นแบบหัวฉีดติดตั้ง Catalytic converter พบว่า

- ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด(THC) ลดลงร้อยละ 8.5 และ 6.2 ตามลำดับ

- ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ลดลงร้อยละ 23.2 และ 39.1 ตามลำดับ

- ปริมาณสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.7 และ 15.2 ตามลำดับ
- Acetaldehyde ในไอเสียเพิ่มขึ้นร้อยละ 90.7 และ 231 ตามลำดับ
- การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.4 และ 3.3 ตามลำดับ

## 2) การทดสอบของ รศ.พูลพร แสงบางปลา

ผลของการใช้เอทานอล(95%)ผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 10%, 20%, 30% เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินที่ไม่ผสม ทดสอบกับเครื่องยนต์ Ford รุ่น 2261L ความจุ 1098 cc ใช้คาร์บูเรเตอร์ พบว่า

- น้ำมันเบนซินผสมเอทานอล 10% ไม่มีผลต่อสมรรถนะเครื่องยนต์

- น้ำมันเบนซินผสมเอทานอล 20 – 30 % ทำให้การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น และกำลังที่ได้ลดลงอีกด้วย

- ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคดีขึ้น
- ปริมาณมลพิษไอเสียไม่แตกต่างกันมากนัก

## 3) การทดลองของ บุญส่ง แสงทอง

ผลการทดสอบใช้น้ำมันเบนซินผสมเอทานอลในสัดส่วน 15% และ 20% โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินธรรมดาและน้ำมันเบนซินพิเศษ ทดสอบกับเครื่องยนต์ คัทสัน 120Y พบว่าการเติมเอทานอลมากขึ้น จะทำให้ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีมากกว่า, การเผาไหม้สมบูรณ์กว่า ได้ค่า CO และ HC น้อย, ไม่พบการน็อค (knock) ของเครื่องยนต์ทดสอบ, ไม่มี Vapour lock และการเดินเบาเดินเรียบ ไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมันเบนซินที่ไม่ผสม

## 3.4 ไบโอดีเซล

การใช้น้ำมันพืชเป็นเครื่องยนต์ดีเซล ไม่ใช่ของใหม่ มีการใช้ตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่ 2 แต่เนื่องจากน้ำมันปิโตรเลียมยังมีราคาถูก และหาได้ง่าย ทำให้ไม่มีผู้ใดให้ความสำคัญในการใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันดีเซล แต่หลังจากวิกฤติน้ำมันโลกในปี ค.ศ. 1971 หรือ พ.ศ. 2514 เป็นต้นมาได้เริ่มมีความตื่นตัว และพยายามหาพลังงานทดแทนมาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลังงานหมุนเวียน(Renewable energy) ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น ในต่างประเทศมีการนำน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน และน้ำมันใช้แล้ว มาทดลองเดินเครื่องยนต์ดีเซล

### 3.4.1 งานวิจัยการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในประเทศไทย

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ประเทศไทยมีงานวิจัยในเรื่องการใช้น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม รวมถึงเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์ม เป็นพลังงานทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล

ได้มีการทำการศึกษา และทดสอบการใช้น้ำมันมะพร้าวเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันดี และน้ำมันก๊าดในอัตราส่วนต่างๆกล่าวคือ น้ำมันมะพร้าว 100% ,น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 98 : 2 , น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันก๊าด ในอัตราส่วน 10 : 1 , 20 : 1 , 30 : 1 , 40 : 1 โดยปริมาณ ผลทดสอบสรุปได้ดังนี้

1. ในสัดส่วนน้ำมันที่ทำการทดลองนั้น พบว่าน้ำมันที่ใช้ได้ดีที่สุด และเหมาะสมคือ น้ำมันมะพร้าวผสมน้ำมันก๊าด ในอัตราส่วน 20 : 1 จึงได้นำน้ำมันนี้ไปใช้ในการทำการทดลองกับเครื่องยนต์

2. ถึงแม้ว่าสัดส่วน 20 : 1 เป็นน้ำมันที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการทดลองครั้งนี้ก็ตาม แต่มี ปัญหาในการเดินเครื่องยนต์ กล่าวคือ น้ำมันไหลไม่สะดวก และเครื่องยนต์สะดุดเมื่อใช้งาน ที่ภูมิอากาศเย็น ทั้งนี้เนื่องจาก น้ำมันมะพร้าวมีความหนืดสูงชันมาก เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 25° C และมีจุดแข็งตัวที่อุณหภูมิ 15-17°C
3. การทดลองกับเครื่องยนต์ดีเซล ต้องทำการดัดแปลง และเพิ่มอุปกรณ์การให้ความร้อนกับ น้ำมันเชื้อเพลิงก่อนป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง
4. ผลการทดลองกับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ สูบเดียว 10 แรงม้า โดยใช้น้ำมันมะพร้าว : น้ำมันก๊าด = 20 : 1 เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลพบว่า
  - เมื่อทดลองที่ no load : เป็นระยะเวลานาน 350 ชั่วโมง มีการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันก๊าดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล
  - เมื่อทดลองกับการสูบน้ำ : สูบจากบ่อลึก 1 เมตรท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว
  - ต้องอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ปั้มน้ำมัน
  - คิดตั้งทางเดินน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถสลับใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันมะพร้าวผสม น้ำมันก๊าด
  - ใช้งาน 100 ชม.เครื่องยนต์เดินเรียบ
  - เมื่อทดสอบ กับการขนส่ง : รถบรรทุกใช้เครื่องยนต์คูโบต้า 3 สูบ 24 แรงม้า ความจุ กระบอกสูบ 1115 ลบ.ซม. น้ำหนักรถ 1800 กก. ทดสอบกับระยะทาง 6000 กม. ความเร็ว สูงสุด 70 กม./ชม.
  - ใช้น้ำมันมะพร้าวผสมกับน้ำมันก๊าด สลับการใช้ น้ำมันดีเซล
  - ได้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงใช้งานได้ 125 – 130 ชม. ได้กรองตันเร็วกว่าการใช้น้ำมันดีเซล
  - หม้อต้มน้ำมันที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันก่อนการป้อนเข้าสู่ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง ไม่สามารถควบคุม อุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 60-70 ° C ได้เมื่ออุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงสูงเกินกว่า 80° C เกิด Vapor lock และเครื่องยนต์ดับ
5. การตรวจสภาพชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ หลังจากใช้น้ำมันมะพร้าว ผสมกับน้ำมันก๊าด เปรียบเทียบกับเมื่อใช้น้ำมันดีเซล พบว่า
  - ลูกสูบ ฝาสูบ และหัวฉีด มีเขม่าสีดำปนเทา มีปริมาณมากกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการใช้ น้ำมันดีเซล
  - มีการสึกหรอของเสื่อสูบและแหวนใกล้เคียงกันกับเมื่อใช้ดีเซล

#### 3.4.2 คุณสมบัติของน้ำมันพืช และไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

โดยทั่วไปแล้วน้ำมันพืช และสัตว์ เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้าง เป็น C<sub>3</sub>H<sub>5</sub> เชื่อมต่อกับกรดไขมัน ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว น้ำมันพืชและสัตว์ มีกรดไขมัน ชนิดต่างๆ กันเป็นองค์ประกอบ โดยที่มีปริมาณของกรดไขมันอยู่ใน โครงสร้าง ถึงร้อยละ 94-96% ของ น้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดทั้งทางเคมี และทางกายภาพ แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันนั้นๆ ที่มีองค์ประกอบอยู่ น้ำมันพืชส่วนใหญ่แล้วมี คาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นองค์ประกอบในกรดไขมัน ระหว่าง 12 ถึง 18 ตัว มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว แตกต่างกันน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัว ในปริมาณสูง จะมีค่าไอ โอซิน และเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลง หรือมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงขึ้น ค่าไอโอซินจะสูงขึ้นตามลำดับ

น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวถูกออกซิไดซ์ และเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง เมื่อเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์แล้ว น้ำมันจะเกิดเป็นสารเหนียวขึ้น โดยทั่วไปค่าไอโอซินของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีชี้บ่งถึงการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ได้มากหรือน้อย ฉะนั้น การเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอซินต่ำ เป็นเชื้อเพลิง จะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ในเครื่องยนต์ได้ในเบื้องต้น ซึ่งการแบ่งชนิดของน้ำมันพืชตามค่าไอโอซิน แบ่งเป็น 3 พวกใหญ่ๆดังนี้

- น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอซินระหว่าง 160-230 เป็นน้ำมันที่เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ได้มาก หรือเรียกว่าเป็นน้ำมันซักแห้ง(drying oils)
- น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอซินระหว่าง 125-150 เป็นน้ำมันกึ่งซักแห้ง(semi-drying oils)
- น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอซินต่ำกว่า 120 เป็นน้ำมันไม่ซักแห้ง(non-drying oil)

คุณสมบัติและองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.6

ในมุมมองของการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันพืชมีความร้อนประมาณ 83-85% ของน้ำมันดีเซล แต่มีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลเป็น 10 เท่าที่อุณหภูมิ ต่ำลง น้ำมันพืชยังมีความหนืดสูงขึ้นเป็นลำดับ จนเกิดเป็นไข เช่น น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว สำหรับน้ำมันมะพร้าวจะเริ่มเป็นไขที่อุณหภูมิ 24-26° C และมีปริมาณไขถึง 36% ที่อุณหภูมิ 20° C ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการป้อนเชื้อเพลิง และการใช้งานในพื้นที่ และบางฤดูกาล ที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้แล้ว น้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวได้น้อยมาก ทำให้เมื่อป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จุกระเบิดได้ช้ากว่าและมีกาการบอนหลงเหลือหลังการเผาไหม้สูงกว่าน้ำมันดีเซล คุณสมบัติ และค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติ และองค์ประกอบกรดไขมันหลัก ของน้ำมันพืชต่างๆ

น้ำมันชนิดคิบ	ค่าไอโอซิน	องค์ประกอบกรดไขมันหลัก						
		C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
น้ำมันปาล์ม	14.1-21.0	ND-0.5	0.5-2.0	39.3-47.5	3.5-6.0	36.0-44.0	9.0-12.0	ND-0.5
น้ำมันปาล์มโอซิน	>56	0.1-0.5	0.5-1.5	38.0-43.5	3.5-5.0	39.8-46.0	10.0-13.5	ND-0.6
น้ำมันปาล์มสเตียรีน	>48	0.1-0.5	1.0-2.0	48.0-74.0	3.9-6.0	15.5-36.0	3.0-10.0	0.5
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	50.0-55.0	45.0-55.0	14.0-18.0	6.5-10.0	1.0-3.0	12.0-19.0	1.0-3.5	ND-0.2
น้ำมันมะพร้าว	6.3-10.6	45.1-53.2	16.8-21.0	7.5-10.2	2.0-4.0	5.0-10.0	1.0-2.5	ND
น้ำมันถั่วลิสง	86-107	ND-0.1	ND-0.1	8.0-14.0	1.0-4.5	35.0-67.0	13.0-43.0	ND-0.3
เมล็ดสนุดา	101	ND	ND	14.9	6	41.2	37.4	ND
น้ำมันเมล็ดเรป	94-120	ND	ND-0.2	1.5-6.0	0.5-3.1	8.0-60.0	11.0-23.0	5.0-13.0
น้ำมันถั่วเหลือง	124-139	ND-0.1	ND-0.2	8.0-13.5	2.0-5.4	17.7-28.0	49.8-59.0	5.0-11.0

การที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้หัวฉีดน้ำมัน ฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยาก เกิดเป็อุปสรรคต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และการเกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นแล้วน้ำมันพืชมีคุณสมบัติที่ระเหยตัวกลายเป็นไอได้ช้า และน้อยมาก ยิ่งทำให้การจุดระเบิดได้ยาก เครื่องยนต์ติดยาก และหลงเหลือคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ผนังลูกสูบ แหวนและวาล์ว จากคุณสมบัติที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูง และระเหยตัวได้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนี้ ทำให้เกิดความยุ่งยาก เมื่อใช้น้ำมันพืชล้วนๆ โดยตรงในเครื่องยนต์

### 3.4.3 แนวทางการใช้น้ำมันพืชทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซล มี 2 แนวทาง ดังนี้

#### 1.ดัดแปลงน้ำมันพืช

เนื่องจากน้ำมันพืชมีคุณสมบัติแตกต่างจากน้ำมันดีเซลมาก ทำให้ไม่เหมาะกับการใช้ในเครื่องยนต์ธรรมดาที่ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์เลย จำเป็นต้องดัดแปลงน้ำมันพืช โดยการลดความหนืด และเพิ่มการระเหยตัวเป็นไอของน้ำมันพืช ให้ใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันดีเซล ทั้งนี้เพื่อให้สะดวกต่อการป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ และให้เกิดการสันดาปได้อย่างสมบูรณ์ และต่อเนื่อง ในแนวทางนี้ทำได้ 2 ทางคือ

1.1) ใช้น้ำมันดีเซล หรือน้ำมันก๊าดเป็นตัวทำละลายผสมกับน้ำมันพืชโดยตรง เพื่อลดความหนืดของน้ำมันพืชลง โดยผสมในสัดส่วนที่เหมาะสม และไม่เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาวอย่างไรก็ตาม สัดส่วนน้ำมันพืชที่ผสมในน้ำมันดีเซล และชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้ ขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ และอุณหภูมิอากาศของแหล่งที่ใช้ด้วย เนื่องจากน้ำมันพืช มีคุณสมบัติไม่อยู่ตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ความหนืดจะสูงขึ้นตามลำดับ นอกจากนั้นแล้ว ในน้ำมันพืชบางชนิด จะเกิดเป็นไข ที่อุณหภูมิต่ำด้วย ดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นการใช้น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าด เพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ จึงต้องเลือกชนิดน้ำมันพืช ชนิดของตัวทำละลาย และสัดส่วนผสมที่เหมาะสมกับพื้นที่ และฤดูกาลที่ใช้ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้ และไม่เกิดความยุ่งยากต่างๆตามมา เช่น การเกิดไขในท่อส่งน้ำมัน ทำให้เกิดการอุดตันเป็นต้น ข้อกำหนดคุณภาพของน้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าด แสดงไว้ในตารางที่ 3.9

1.2) นำน้ำมันพืชมาสังเคราะห์เป็นเมทิลเอสเทอร์ หรือที่เรียกว่า ไบโอดีเซล ด้วยจุดประสงค์เดียวกันคือ ลดความหนืดของน้ำมันพืช และให้น้ำมันมีความตัวมากขึ้น ในการผลิต ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจำหน่ายในต่างประเทศ เชื้อเพลิงชนิดนี้ มีความหนืดใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีความคงตัว ความหนืดเปลี่ยนแปลงได้น้อยมาก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน จุดวาบไฟของไบโอดีเซล มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง นอกจากนั้นแล้ว ค่าซีเทนที่เป็นดัชนีบอกคุณภาพการติดไฟของไบโอดีเซล ยังมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลด้วย ดังแสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.7 คุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ(ที่อุณหภูมิ21°C)

น้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ(กรัม/มล.)	ความหนืด(เซนติพอยต์)	ค่าความร้อน(กิโลจูลล์/กก.)
ถั่วเหลือง	0.918	57.2	39350
ทานตะวัน	0.918	60	39490
มะพร้าว	0.915	51.9	37540
ถั่วลิสง	0.914	67.1	39470
ปาล์ม	0.898	88.6	39550
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39720
เมล็ดสบู่ดำ	0.915	36.9	39000
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46800

ตารางที่ 3.8เปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

ไบโอดีเซลจากน้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ (ก/มล.)	จุดวาบไฟ(°C)	ค่าซีเทน	ค่าความร้อน (กิโลจูลล์/กก.)
ปาล์ม	0.887	167	62-65	39300
เมล็ดเรป	0.883	>170	58	37100
ถั่วเหลือง	na	na	51-53	na
ทานตะวัน	na	na	52	na
น้ำมันดีเซล	81	>52	>47	46800

## 2.ดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซล

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ถึงข้อจำกัดของน้ำมันพืช ที่ใช้โดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลธรรมดา ที่มีปัญหาความยุ่งยากเมื่อใช้งาน แต่การที่น้ำมันพืชมีค่าความร้อนประมาณ 85-83% ของน้ำมันดีเซล ทำให้สามารถ ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดี เครื่องของDMS Dieselmotoren-und Geratebau Gmb – (DMS) และเครื่องยนต์ ELSBETT technology(Elsbett G and Elsbett K,1995) เป็นตัวอย่างของเครื่องยนต์ที่ออกแบบมาใช้กับน้ำมันพืชโดยตรง เนื่องจากต้องการแก้ปัญหาที่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านคุณสมบัติของน้ำมันพืช และหากต้องดัดแปลงน้ำมันพืชให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ธรรมดา ก็ต้องผ่านกระบวนการ และต้องมีการลงทุนเพิ่ม ในการออกแบบ ได้เน้นดัดแปลงในส่วนของลูกสูบ ระบบหัวฉีด และห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันพืช เพื่อเปลี่ยนเป็นแรงบิดได้อย่างคุ้มค่า

ตารางที่ 3.9 คุณภาพน้ำมันดีเซล และน้ำมันก๊าด ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์

ข้อกำหนด	น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (พ.ศ.2541)	น้ำมันดีเซลหมุนช้า (พ.ศ.2523)	น้ำมันก๊าด (พ.ศ.2533)
1.ความถ่วงจำเพาะที่ 15.6°C	0.81-0.87	ไม่สูงกว่า0.92	ไม่สูงกว่า0.84
2.ค่าซีเทน	ไม่ต่ำกว่า47	ไม่ต่ำกว่า45	-
3.ค่าความหนืดที่ 40°C,เซนติสโตกรก	1.8-4.1	ไม่สูงกว่า8	-
4.ค่าไหลเท	ไม่สูงกว่า10	ไม่สูงกว่า16	-
5.ปริมาณกำมะถัน,%โดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า0.05	ไม่สูงกว่า1.5	ไม่สูงกว่า0.2
6.น้ำ/ตะกอน,%โดยปริมาตร	ไม่สูงกว่า0.05	ไม่สูงกว่า0.3	-
7.ปริมาณเถ้า,%โดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า0.01	ไม่สูงกว่า0.02	-
8.จุดวาบไฟ,°C	ไม่ต่ำกว่า52	ไม่ต่ำกว่า52	ไม่ต่ำกว่า38
9.การกัดกร่อนแผ่นทองแดง ที่50°C ชม.	ไม่สูงกว่า1.0	-	ไม่สูงกว่า1.0
10.กากรคาร์บอน,%โดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า0.05	-	-
11.การกลั่น,อุณหภูมิระเหย 90%,°C	ไม่สูงกว่า357	-	ไม่สูงกว่า300
12.คุณสมบัติการหล่อลื่น	ไม่สูงกว่า460	-	-
13.จุดให้ควัน,มม.	-	-	ไม่ต่ำกว่า22
14.สี	ไม่สูงกว่า4(ASTM)	4.5-7.5(ASTM)	สีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ระบบการฉีดน้ำมันเบนซินและดีเซล

#### ระบบการฉีดน้ำมันเบนซิน

##### 4.1 ทิวไปเกี่ยวกับระบบหัวฉีดน้ำมันเบนซิน

นับตั้งแต่เครื่องยนต์ก๊าซ โซลินถูกผลิตขึ้นมาโดยชาวเยอรมันชื่อ นายอ็อตโต เมื่อประมาณ 100 ปีมาแล้ว ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ได้มีผู้ทำการคิดแปลงและพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นมา โดยตลอด สำหรับในด้านการผสมน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ากับอากาศเพื่อส่งเข้าไปจุดระเบิดที่ห้องเผาไหม้นั้น ชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่นี้มีชื่อเรียกว่า “คาร์บิวเรเตอร์” โดยคาร์บิวเรเตอร์ในยุคแรกๆจะประกอบด้วยระบบและวงจรเพียงง่ายๆเท่านั้น กระทั่งปัจจุบันคาร์บิวเรเตอร์ได้วิวัฒนาการไปอย่างมาก จนกลายเป็นชิ้นส่วนที่มีความสลับซับซ้อนต่างจากยุคแรกๆอย่างที่เรียกได้ว่าหน้ามือเป็นหลังมือเลยทีเดียว

ในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ได้หันเหความสนใจจากคาร์บิวเรเตอร์มาสร้างและปรับปรุงระบบหัวฉีดน้ำมันเบนซินให้ดีขึ้น ทั้งนี้ก็เพราะปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติคือน้ำมันดิบที่ถูกนำมาใช้ได้ค่อยลดน้อยลงตามลำดับ เหล่าวิศวกรทั้งหลายจึงได้พยายามที่จะหาวิธีการ “รีด” เอาพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงออกมาใช้ให้มากที่สุด ซึ่งทางหนึ่งที่จะทำให้ความต้องการนี้เป็นจริงก็คือ การใช้ระบบหัวฉีดน้ำมันกับเครื่องยนต์ก๊าซ โซลินเพราะ

- ก) การผสมกันของน้ำมันเบนซินและอากาศทำได้ดีกว่า
- ข) อากาศสามารถถูกดูดเข้าไปภายในกระบอกสูบได้มากกว่า เนื่องจากไม่มีคอคอดเหมือนในคาร์บิวเรเตอร์
- ค) ประหยัดน้ำมันมากกว่าเพราะระบบควบคุมการฉีดน้ำมันเบนซินจะควบคุมการฉีดให้มากขึ้นกับสภาวะความเป็นจริงตามการทำงานของเครื่องยนต์

##### 4.2 การแบ่งระบบหัวฉีดน้ำมันเบนซิน

###### ก) ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบใช้กลไกบังคับ ได้แก่

- |  |   |
|--|---|
| 1) แบบปั๊มที่มีชุดลูกปั๊ม 2 ชุด                | 6) ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ ลูคัส มาร์คสอง  |
| 2) แบบปั๊มที่มีชุดลูกปั๊ม 6 ชุด                | 7) ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ เค เจท โทรนิกส์ |
| 3) แบบปั๊มที่มีชุดลูกปั๊ม 6 ชุดเรียงสลับฟันปลา | 8) ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบเซนิท ซีแอล      |
| 4) ระบบฉีดน้ำมันเบนซินในเครื่องยนต์รถแข่ง      | 9) ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบเซนิท ดีแอล      |
| 5) ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบคูเกิ้ลพีซเซอร์         |   |

###### ข) ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบอิเล็กทรอนิกส์

ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic fuel injection system) เป็นระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงที่พัฒนามาจากระบบการจ่ายน้ำมันด้วยคาร์บิวเรเตอร์ ซึ่งรถยนต์ที่ใช้คาร์บิวเรเตอร์นั้นบางครั้งปริมาตรส่วนผสมของไอคืออาจจะหนาและบาง ไม่เหมาะสมกับสภาวะการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





5) มีประสิทธิภาพในการประจุส่วนผสมของไอดี เครื่องยนต์ที่ใช้คาร์บิวเรเตอร์สูญญากาศ ที่เกิดขึ้นมากหรือน้อยจะมาจากความเร็วในการไหลของอากาศผ่านคอคอด ซึ่งจะทำให้ไอดีถูกดูดเข้าใน กระทบอกสูบในจังหวะดูด แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในการที่ไอดีไหลผ่านเข้ากระทบอกสูบ โดยคอคอดซึ่งไม่เป็น ผลดีสำหรับเครื่องยนต์ ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์จะมี แรงดันน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 2 ถึง 3 kg/cm<sup>2</sup> ( 28.4 – 42.7 ปอนด์/ตร.นิ้ว ) ในการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงให้ เป็นฝอยละอองที่ห้วนดี โดยไม่จำเป็นจะต้องมีคอคอดเช่นเดียวกับคาร์บิวเรเตอร์ จึงทำให้สามารถเพิ่ม ขนาดของท่อร่วมไอดีเพื่อประจุไอดีให้ได้มากๆ

6) มีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของลิ้นเร่งไอดีในเครื่องยนต์ที่ใช้คาร์บิวเรเตอร์จะเกิด ความล่าช้าในการประจุไอดีเข้ากระทบอกสูบ เนื่องจากมีอุปสรรคในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ไกลจาก กระทบอกสูบมากเกินไป สำหรับระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์หัวฉีดจะติดตั้งอยู่ใกล้ กระทบอกสูบ และด้วยแรงดันน้ำมันจะทำให้ น้ำมันเชื้อเพลิงแตกเป็นฝอยกระจายผสมกับอากาศได้ง่าย อีกทั้ง ปริมาตรของไอดีจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งของลิ้นเร่งเพื่อตอบสนองความต้องการของคันเร่งได้ อย่างทันทีทันใด

#### 4.4 โครงสร้างพื้นฐานของระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์

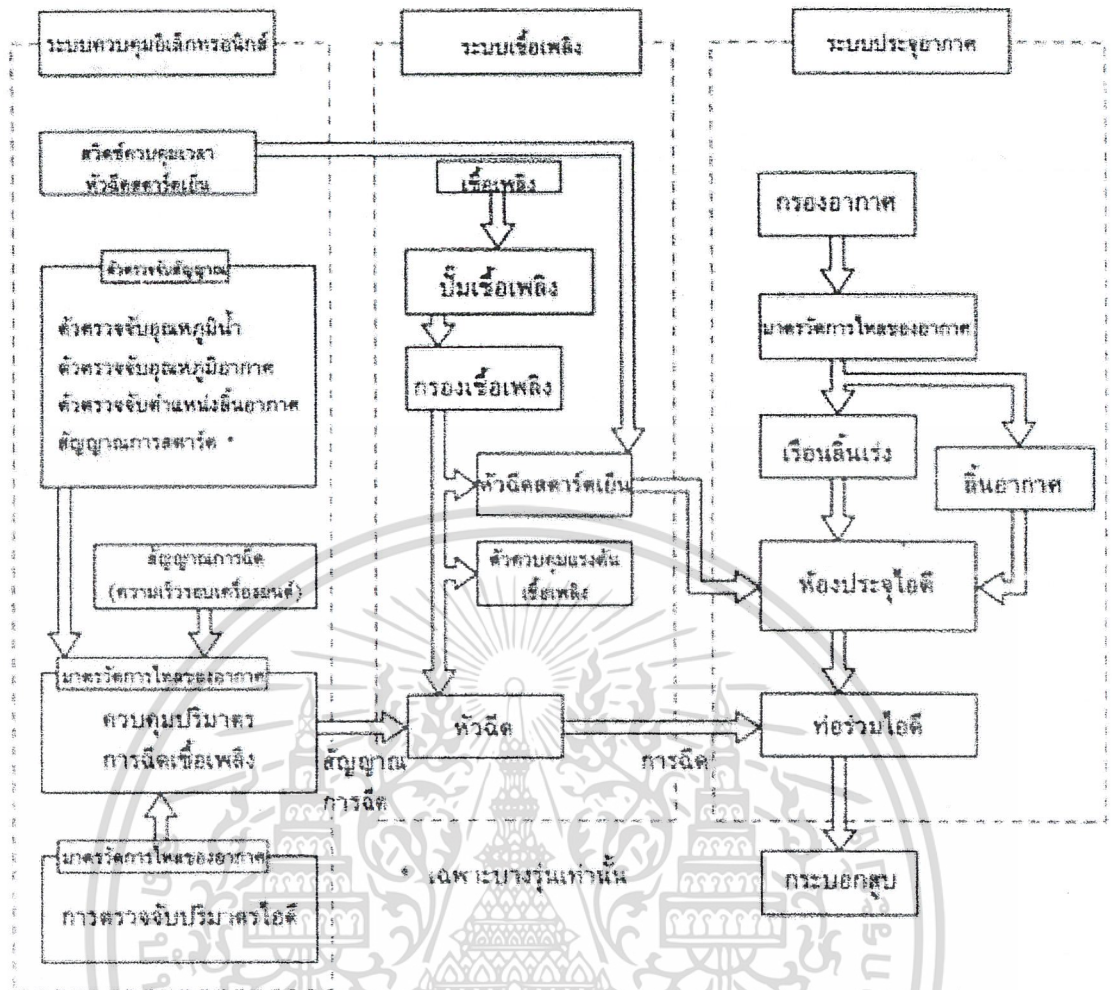
ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ จะประกอบระบบการทำงานหลัก 3 ระบบ ด้วยกัน ซึ่งรวมไปถึงอุปกรณ์ต่างๆที่สามารถแยกการทำงานไปตามหน้าที่ดังนี้คือ

- 1) ระบบเชื้อเพลิง ( Fuel system ) จะแตกต่างกับเครื่องยนต์ที่ใช้คาร์บิวเรเตอร์ตรงที่ ป้อนน้ำมัน เชื้อเพลิงจะดูดน้ำมันจากถังและสร้างแรงดันสูงส่งไปยังหัวฉีดซึ่งติดตั้งอยู่ที่ท่อร่วมไอดี รอ การสั่งงานจากชุดควบคุมเพื่อจ่ายน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้
- 2) ระบบประจุอากาศ ( Air induction system )
- 3) ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ( Electronic control system )

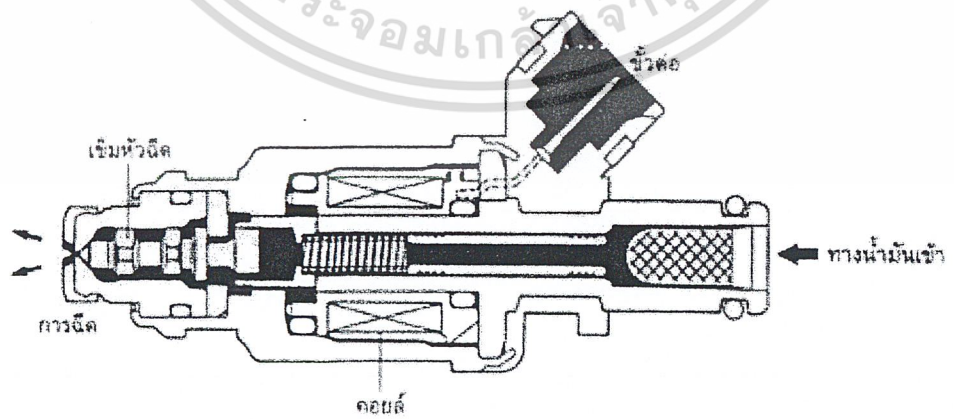
#### 4.5 หัวฉีด

หัวฉีด ( Injector ) ทำหน้าที่ทำหน้าที่ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นฝอยละอองเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในแต่ ละสูบของเครื่องยนต์ หัวฉีดของแต่ละสูบจะถูกติดตั้งอยู่บริเวณฝาสูบใกล้กับช่องทางเข้าของ ไอดี ( กรณีที่ ไม่มีการฉีดแบบ Direct Injection ) และจะทำงานด้วยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้า เข็มหัวฉีดจะถูกเปิดให้ให้น้ำมัน เชื้อเพลิงฉีดได้เป็นฝอยก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณจากคอมพิวเตอร์

การทำงาน ขดลวดโซลินอยด์ในหัวฉีด เมื่อได้รับสัญญาณจากคอมพิวเตอร์จะทำให้ปลั๊ก เจอร์ตึงให้เข็มหัวฉีดเปิดออกโดยการชนะแรงสปริง เพื่อให้ น้ำมัน ไหลผ่านออกมาได้ ปริมาตรของน้ำมัน เชื้อเพลิงจะถูกควบคุมให้เป็นไปตามระยะเวลาจากสัญญาณพัลส์จากคอมพิวเตอร์ ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงถูก ฉีดออกไปอย่างต่อเนื่อง

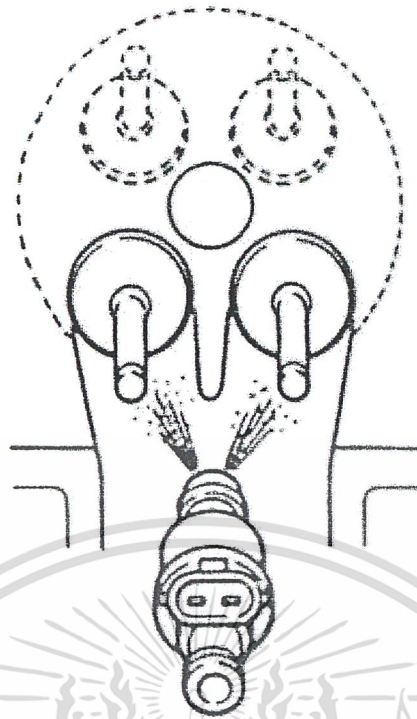


รูปที่ 4.3 โครงสร้างระบบฉีดเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4.4 ภาดตัดแสดงส่วนประกอบของหัวฉีดน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

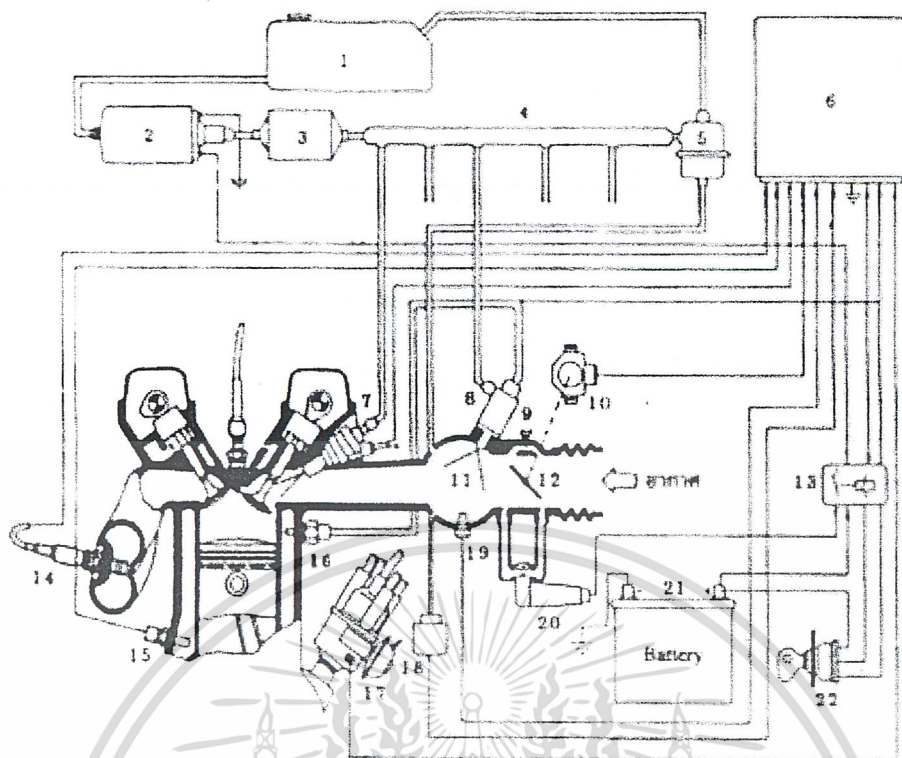


รูปที่ 4.5 หัวฉีดที่มีหลายรูที่ใช้ในเครื่องยนต์ชนิดหลายสูบ

#### 4.6 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบอิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ

##### 1) ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบดี – เจทรอนิกส์ (D – Jetronic )

ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบดี – เจทรอนิกส์ เป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบไม่ต่อเนื่องกัน โดยมีคอมพิวเตอรืเป็นศูนย์กลางในการรับสัญญาณจากเครื่องวัดหรือเครื่องส่งสัญญาณต่างๆ โดยระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบดี – เจทรอนิกส์นี้ จะใช้ตัวตรวจจับแรงดันหรือสุญญากาศในท่อร่วมไอดีเป็นตัวตรวจวัดปริมาณความหนาแน่นของอากาศ จากนั้นส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอรื แล้วคอมพิวเตอรืก็จะกำหนดระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงมากหรือน้อยตามความเหมาะสมกับสัญญาณที่วัดได้หรือภาระเครื่องยนต์ในขณะนั้นนั่นเอง



- |                         |                               |                             |
|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1) ถังน้ำมัน            | 9) สกรูปรับแต่งรอบเดินเบา     | 16) สวิตช์ความร้อน - เวลา   |
| 2) ป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง | 10) ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง | 17) งานจ่าย                 |
| 3) กรองน้ำมัน           | 11) ท่อร่วมไอดี               | 18) ตัวตรวจจับสัญญาณอากาศ   |
| 4) ท่อจ่าย              | 12) ลิ้นเร่ง                  | 19) ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ |
| 5) ตัวควบคุมความดัน     | 13) รีเลย์                    | 20) ลิ้นอากาศ               |
| 6) Computer             | 14) ตัวตรวจจับปริมาณ $O_2$    | 21) แบตเตอรี่               |
| 7) หัวฉีดประจำสูบ       | 15) ตัวตรวจจับอุณหภูมิและน้ำ  | 22) สวิตช์จุดระเบิด         |
| 8) หัวฉีดสตาร์ทเย็น     |                               |                             |

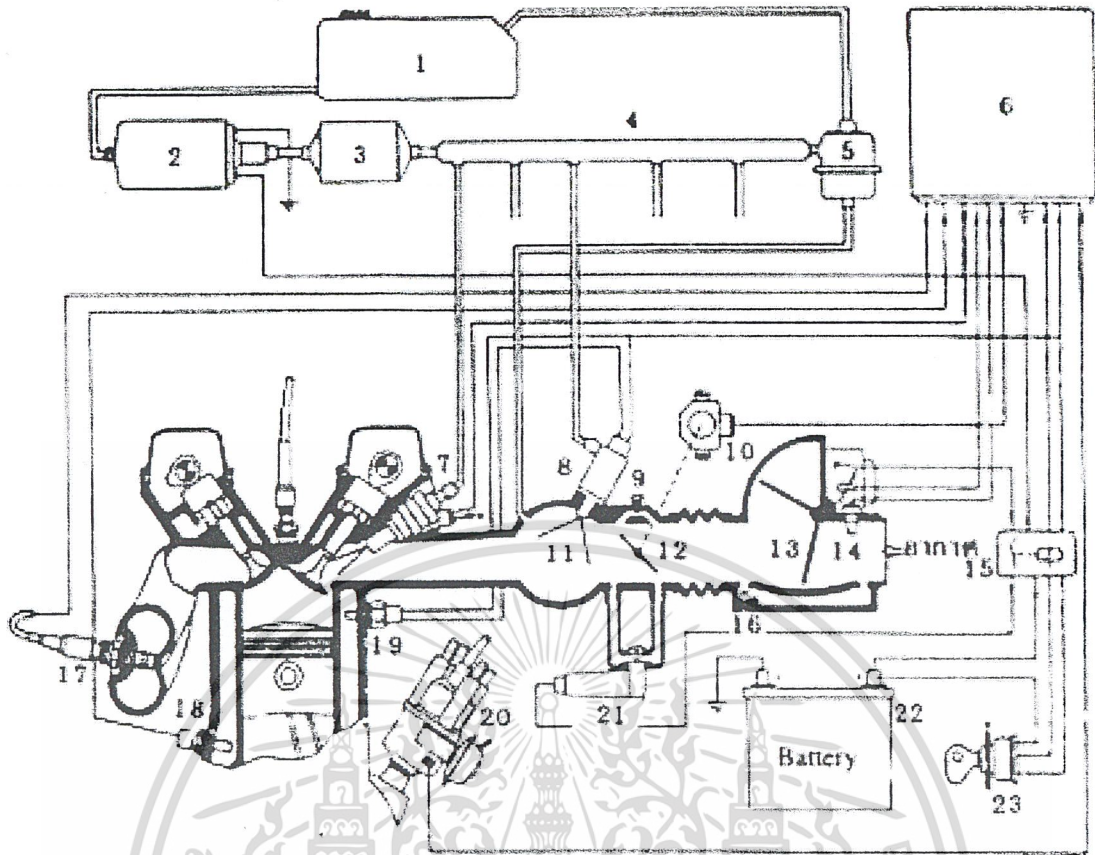
รูปที่ 4.6 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ D-Jetronic

## 2) ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบแอล-เจทรอนิกส์ (L - Jetronic)

ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบแอล - เจทรอนิกส์ เป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบไม่ต่อเนื่องกัน โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางในการรับสัญญาณจากเครื่องวัดหรือเครื่องส่งสัญญาณต่างๆ โดยระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบแอล - เจทรอนิกส์ จะอาศัยหลักการการส่งสัญญาณการไหลของอากาศที่ผ่านท่อร่วมไอดี คิวมิเตอร์วัดการไหลของอากาศ อัตราส่วนผสมไอดีจะถูกรักษาให้ถูกต้องอยู่เสมอแม้ในท่อร่วมไอดีจะเกิดสัญญาณที่ไม่คงที่ และมีเตอร์ที่ใช้วัดปริมาณการไหลของอากาศก็จะมีอยู่ 3 แบบ คือ

- แบบแอล - เจทรอนิกส์ ที่มีเตอร์ที่ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศแบบ Vane
- แบบแอล - เจทรอนิกส์ ที่มีเตอร์ที่ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศแบบ Hotwire
- แบบแอล - เจทรอนิกส์ ที่มีเตอร์ที่ใช้วัดอัตราการไหลของอากาศแบบ Kaman vortex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



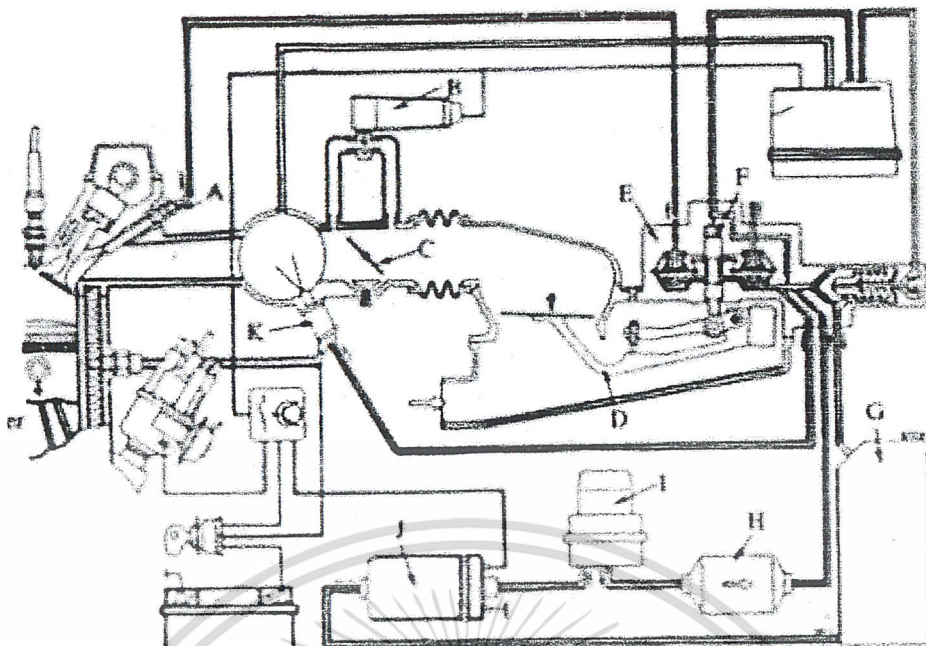
- |                         |                               |                                     |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1) ถังน้ำมัน            | 9) สกรูปรับแต่งรอบเดินเบา     | 16) สกรูส่วนผสมเดินเบา              |
| 2) ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง | 10) ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง | 17) ตัวตรวจจับปริมาณ O <sub>2</sub> |
| 3) กรองน้ำมัน           | 11) ท่อร่วมไอดี               | 18) ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ           |
| 4) ท่อจ่าย              | 12) ลิ้นเร่ง                  | 19) สวิตช์ความร้อน - เวลา           |
| 5) ตัวควบคุมความดัน     | 13) มาตรฐานวัดการไหลของอากาศ  | 20) งานจ่าย                         |
| 6) Computer             | 14) ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ   | 21) ลิ้นอากาศ                       |
| 7) หัวฉีดประจำสูบ       | 15) รีเลย์                    | 22) แบตเตอรี่                       |
| 8) หัวฉีดสตาร์ทเย็น     |                               | 23) สวิตช์จุดระเบิด                 |

รูปที่ 4.7 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ L-Jetronic

### 3) ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่อง (Continuous Injection System)

เรียกย่อๆว่า CIS ซึ่งระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบนี้อาจจัดได้ว่าเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก เนื่องจากใช้กลไกควบคุมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ก็สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

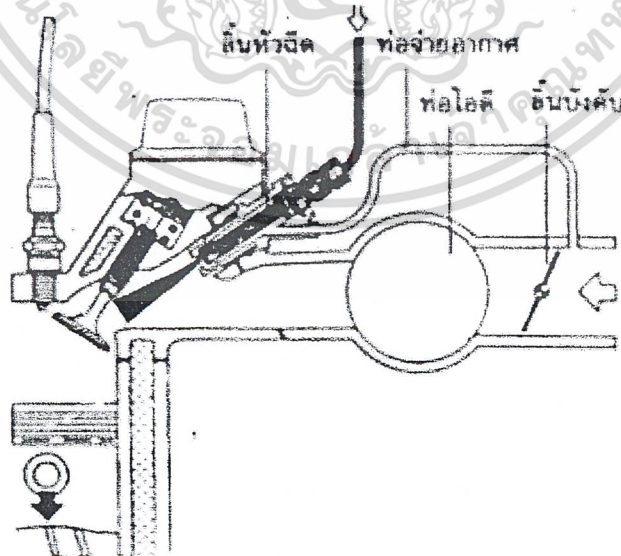
- ก) ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ K-Jetronic แบบนี้จะใช้ระบบกลไกเพียงอย่างเดียวในการควบคุมการทำงาน



- A. Continuous injection
- B. Air bypass valve
- C. Throttle valve plate
- D. Airflow plate and lever
- E. Fuel distribution
- F. Fuel control plunger
- G. Fuel tank
- H. Fuel filter
- I. Fuel accumulator
- J. Fuel pump
- K. Cold start injector

รูปที่ 4.8 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ K-Jetronic

ข) ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ KE – Jetronic ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบนี้จะเป็นแบบกลไกผสมกับระบบไฟฟ้ามาควบคุมการทำงานของระบบ



รูปที่ 4.9 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ KE – Jetronic

#### 4) ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบอิเล็กทรอนิกส์ของบริษัท ลูกลัส จำกัด

สำหรับระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบนี้จะมีความคล้ายคลึงกับระบบ D – Jetronic ในส่วนของหลักการทำงานพื้นฐาน แต่จะมีส่วนที่ดัดแปลงไว้เพื่อให้ใช้ได้กับเครื่องยนต์ 12 สูบ โดยจะขอกกล่าวถึงเพียงในส่วน ของระบบเชื้อเพลิงเท่านั้น

ปั๊มเชื้อเพลิง ไฟฟ้าตัวหนึ่งจะทำหน้าที่ดูดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยดูดผ่านทางลิ้นบังคับตัวหนึ่งจากถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิง 2 ถัง จากนั้นน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกดันส่งผ่านไส้กรองเชื้อเพลิง ไปสู่อ่อน้ำมันเชื้อเพลิงวงแหวน 2 วง และแต่ละวงก็จะมีตัวควบคุมแรงดันของน้ำมันเชื้อเพลิงหนึ่งตัว เพื่อมิให้น้ำมันเชื้อเพลิงในระบบมีแรงดันเกิน 2.1 bar น้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกปั๊มเชื้อเพลิงส่งเกินความจำเป็นจะถูกส่งกลับถังเก็บเชื้อเพลิง โดยผ่านตัวควบคุมน้ำมันไหลกลับตัวหนึ่งและชุดอ่อน้ำมันเชื้อเพลิงไหลกลับ

- ปั๊มเชื้อเพลิง ไฟฟ้า – ลักษณะการทำงานเหมือนแบบ D – Jetronic
- ตัวควบคุมแรงดัน – ลักษณะการทำงานเหมือนแบบ D – Jetronic
- หัวฉีดเชื้อเพลิง ไฟฟ้า – ลักษณะการทำงานเหมือนแบบ D – Jetronic
- หัวฉีดสเตรทไฟฟ้า ( หัวฉีดเชื้อเพลิงเสริม ) และสวิตซ์ ความร้อน – เวลา – ลักษณะการทำงานเหมือนแบบ D – Jetronic

### ระบบการฉีดน้ำมันดีเซล

#### 4.7 ระบบฉีดเชื้อเพลิง

ระบบฉีดเชื้อเพลิง (fuel-inject system) สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟจะฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปผสมกับอากาศในช่วงของการดูด ซึ่งต่างจากเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในช่วงปลายของการอัด และเช่นเดียวกับคาร์บูเรเตอร์ ปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปจะต้องให้สารผสมอากาศกับเชื้อเพลิงเป็นไปตามความต้องการของเครื่องยนต์ตลอดช่วงการทำงาน (ที่ภาระและอัตราเร็วเครื่องยนต์ต่างๆ)

ระบบฉีดเชื้อเพลิงที่ใช้กันอยู่มีหลายแบบ ซึ่งจำแนกได้ตามลักษณะต่างๆดังนี้

- แบ่งตามลักษณะควบคุม เป็นระบบที่ควบคุมเชิงกล (mechanical control) และระบบควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic control)
- แบ่งตามลักษณะการฉีด เป็นการฉีดแบบต่อเนื่องและการฉีดเป็นช่วงๆ
- แบ่งตามตำแหน่งการฉีด เป็นการฉีดเข้าห้องไอดี (port injection) และการฉีดเข้าช่องปีกผีเสื้อ (throttle-body injection-ฉีดเข้าที่เสื่อลิ้นเร่ง)
- แบ่งตามจำนวนจุดที่ฉีด เป็นการฉีดเข้าที่จุดเดียว (single-point injection) และการฉีดเข้าหลายจุด (multipoint injection) ซึ่งการฉีดเข้าจุดเดียวจะเป็นการฉีดเข้าช่องปีกผีเสื้อ และการฉีดเข้าหลายจุดสำหรับเครื่องยนต์หลายสูบเป็นการฉีดเข้าช่องไอดี

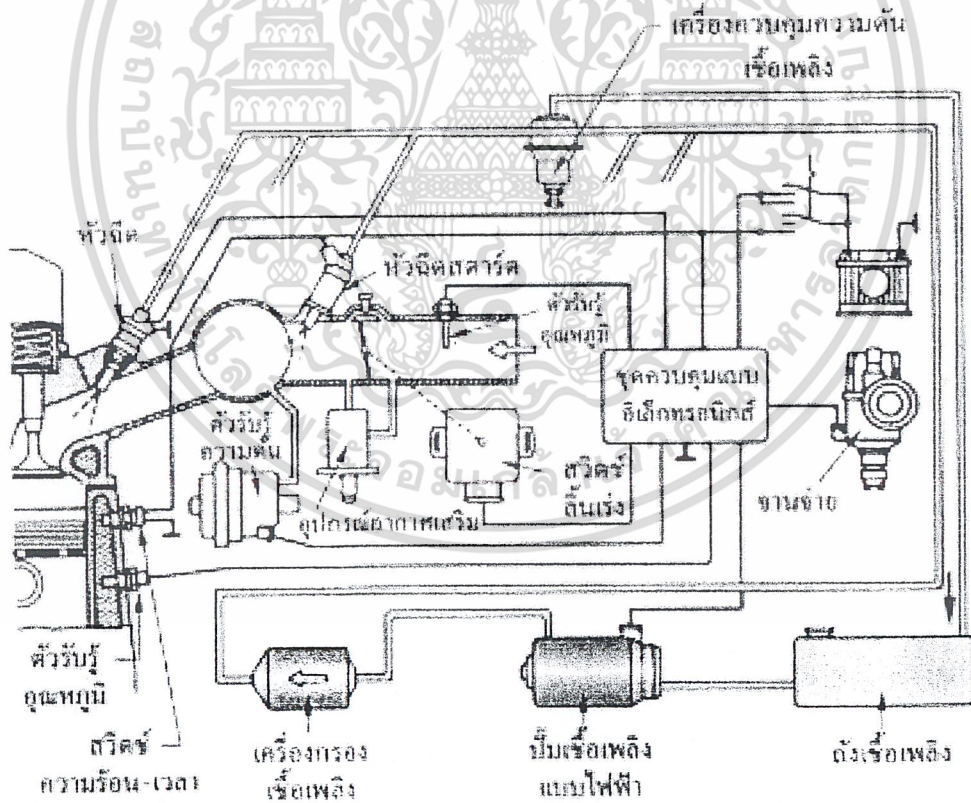
สำหรับหัวข้อนี้จะศึกษาาระบบฉีดเชื้อเพลิง โดยแบ่งตามจำนวนจุดที่ฉีด

### 4.7.1 การฉีดเข้าช่องไอดีหลายจุด

การฉีดเข้าช่องไอดีหลายจุด(multipoint port injection)เชื้อเพลิงจะถูกฉีดไปที่ช่องไอดีของแต่ละสูบซึ่งจะมีทั้งระบบควบคุมทางกลและระบบควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ ข้อดีของการฉีดเข้าช่องไอดีก็คือกำลังและทอร์กจะเพิ่มอันมีผลมาจากประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่เพิ่มขึ้นและการกระจายเชื้อเพลิงที่สม่ำเสมอมากขึ้น การตอบสนองของเครื่องยนต์ต่อการเปลี่ยนแปลงลิ้นเร่งรวดเร็วขึ้นและการควบคุมอัตราส่วนสมมูลในระหว่างการคิดเครื่องยนต์ขณะเย็นและการอุ่นเครื่องทำได้แม่นยำมากขึ้น

ระบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าช่องไอดีหลายจุดที่ใช้กันอยู่มีหลายระบบ คือ

1)ระบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าช่องไอดีหลายจุดแบบควบคุมโดยอัตราเร็วเครื่องยนต์และความหนาแน่นแบบอิเล็กทรอนิกส์(speed-density electronic multipoint port fuel-injection system)ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆตามรูปที่ 3.10 ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือส่วนแรกเป็นระบบส่งเชื้อเพลิง ปั๊มเชื้อเพลิงแบบไฟฟ้า เครื่องกรองเชื้อเพลิง เครื่องควบคุมความดันเชื้อเพลิง หัวฉีด(วาล์วหัวฉีด) และหัวฉีดสำหรับสตาร์ท(วาล์วสตาร์ท) ส่วนที่สองเป็นตัวรับรู้ต่างๆ ประกอบด้วยตัวรับรู้ความดัน ตัวรับรู้อุณหภูมิ ตัวรับรู้ความเร็ว (รวมอยู่กับงานจ่าย)อุปกรณ์อากาศเสริม(auxiliary air device) สวิตซ์ลิ้นเร่ง และสวิตซ์ความร้อน-เวลา และส่วนสุดท้ายเป็นชุดควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์(electronic control unit)



รูปที่ 4.10 ระบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องไอดีหลายจุดแบบควบคุมด้วยอัตราเร็วเครื่องยนต์และความหนาแน่นแบบอิเล็กทรอนิกส์

สำหรับการทำงาานนั้น ชุดควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่ในการประมวลผลสัญญาณที่ส่งมาจากตัวรับรู้ต่างเพื่อควบคุมการทำงานของหัวฉีด โดยควบคุมช่วงการฉีดเชื้อเพลิงให้เป็นไปตามความต้องการของเครื่องยนต์ในสภาวะต่างๆ ซึ่งเมื่อเครื่องยนต์อุ่นแล้วมวลของอากาศต่อกระบอกสูบต่อวัฏจักรจะเป็นไปตามสมการ คือ

$$m_a = \eta_v(N)\rho_a(T_i, p_i)V_d = (\eta_v V_d p_i) / R_a T_i$$

โดย  $\eta_v$  เป็นประสิทธิภาพเชิงปริมาตร,  $N$  เป็นอัตราเร็วเครื่องยนต์,  $\rho_a$  เป็นความหนาแน่นของอากาศที่นำเข้าไป และ  $V_d$  เป็นปริมาตรกระจัดต่อกระบอกสูบ

2) ระบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าช่องไอดีหลายจุดแบบควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เครื่องมือวัดการไหลของอากาศ (electronic multipoint port fuel-injection system with air-flow meter: Bosch L-Jetronic system) เป็นระบบที่ใช้เครื่องมือวัดการไหลของอากาศเพื่อวัดการไหลของอากาศโดยตรง มีส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งจะเหมือนกับระบบ ดี-เจคทริก แต่ตัวรับรู้อุณหภูมิและความดันของอากาศที่เข้า ( $T_i, p_i$ ) ด้วยตัวรับรู้การไหลของอากาศซึ่งถูกติดตั้งไว้ก่อนลิ้นเร่ง โดยจะวัดแรงที่กระทำบนแผ่นและให้แรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับอัตราการไหลของอากาศ

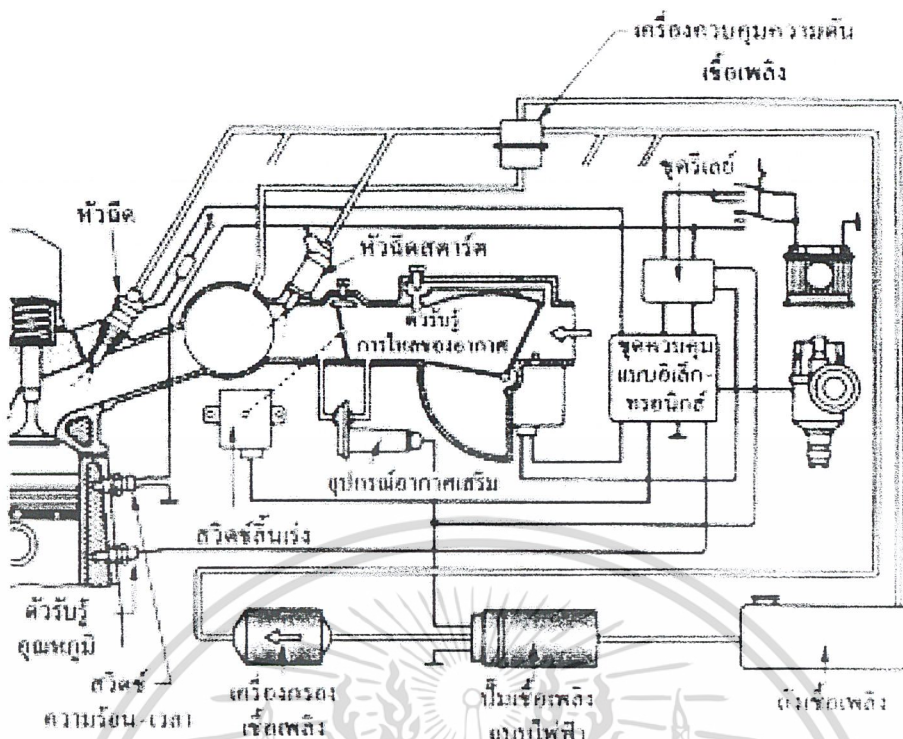
ข้อดีของการวัดการไหลของอากาศโดยตรง คือ

- ก) มีการชดเชยโดยอัตโนมัติเมื่อมีการสะสมของสารตกค้างในห้องเผาไหม้ การสึกหรอของการเปลี่ยนแปลงในการตั้งวาล์ว
- ข) สัมประสิทธิ์เชิงปริมาตรที่ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วเครื่องยนต์และความดันย้อนกลับจะถูกนำมาคิดโดยอัตโนมัติ
- ค) การทำให้สารผสมหนาขึ้นในขณะที่เร่งน้อยลงเนื่องจากสัญญาณการไหลของอากาศจะถูกรับรู้ก่อนที่ไอดีจะไหลเข้าไปในกระบอกสูบ
- ง) ความเสถียรในขณะที่เดินเบาเพิ่มขึ้น
- จ) ระบบจะไม่ไวต่อไอเสียที่นำกลับมาใช้อีก เนื่องจากการไหลของอากาศเท่านั้นที่ถูกวัด

มวลของอากาศที่ถูกนำเข้าไปวัฏจักรไปสู่แต่ละกระบอกสูบ ( $m_a$ ) จะแปรผันดังนี้

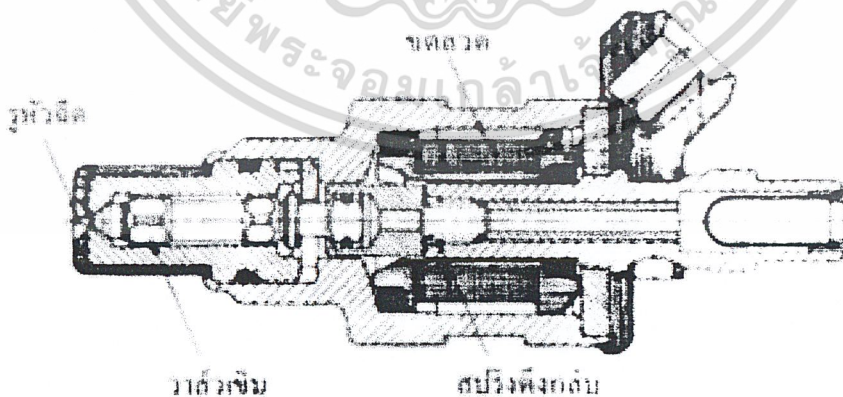
$$m_a \propto m'_a / N$$

ดังนั้นสัญญาณเบื้องต้นสำหรับชุดควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ก็คือการไหลของอากาศและอัตราเร็วเครื่องยนต์ ส่วนตัวรับรู้อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น สวิตซ์ความร้อน-เวลา และสวิตซ์ลิ้นเร่งก็จะให้สัญญาณสำหรับการปรับเมื่อติดเครื่องขณะเย็น อุ่นเครื่องยนต์ เดินเบา และขณะเปิดลิ้นเร่งเต็มที่



รูปที่ 4.11 ระบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องไอศหลายจุดแบบควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เครื่องวัดการไหลของอากาศ

จากรูปที่ 4.12 แสดงภาคตัดขวางของหัวฉีดที่ควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งประกอบไปด้วยเส้นหัวฉีด แกนหัวฉีดที่ต่อเข้ากับลูกเลื่อนแม่เหล็ก สปริง และขดลวดโซลินอยด์(solenoid coil)เมื่อขดลวดโซลินอยด์ถูกระตุ้น ลูกเลื่อนก็จะถูกดูดและแกนหัวฉีดซึ่งมีปลายเป็นเข็มก็จะถูกเลื่อนหรือยกเปิดช่องให้เชื้อเพลิงไหลออกจากหัวฉีด



รูปที่ 4.12 ภาพตัดขวางของหัวฉีด

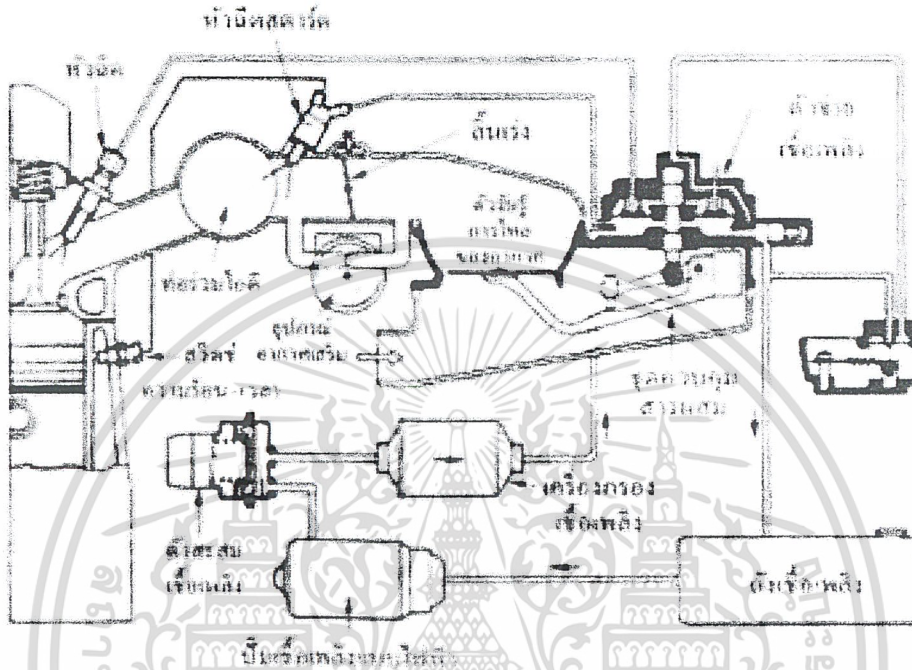
3) ระบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องไอศหลายจุดแบบควบคุมเชิงกล(mechanical multipoint port fuel-

injection system: Bosch K-Jetronic system) ฉ)เป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบต่อเนื่องโดยวัดอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอากาศ รูปที่ 3.13 แสดงระบบดังกล่าว โดยอากาศจะผ่านเข้าเครื่องกรองอากาศ ไหลผ่านตัวรับรู้การไหลของอากาศ ผ่านลิ้นเร่งเข้าไปในท่อร่วมไอดี และเข้าไปในกระบอกสูบแต่ละสูบ ส่วนเชื้อเพลิงจะถูกดูดจากถังเก็บโดยปั๊ม และส่งผ่านตัวสะสมเชื้อเพลิง (fuel accumulator) เครื่องกรองเชื้อเพลิงไปที่ตัวจ่ายเชื้อเพลิง(fuel distributor) โดยตัวรับรู้การไหลของอากาศและตัวจ่ายเชื้อเพลิงจะทำหน้าที่ในการควบคุมสารผสม

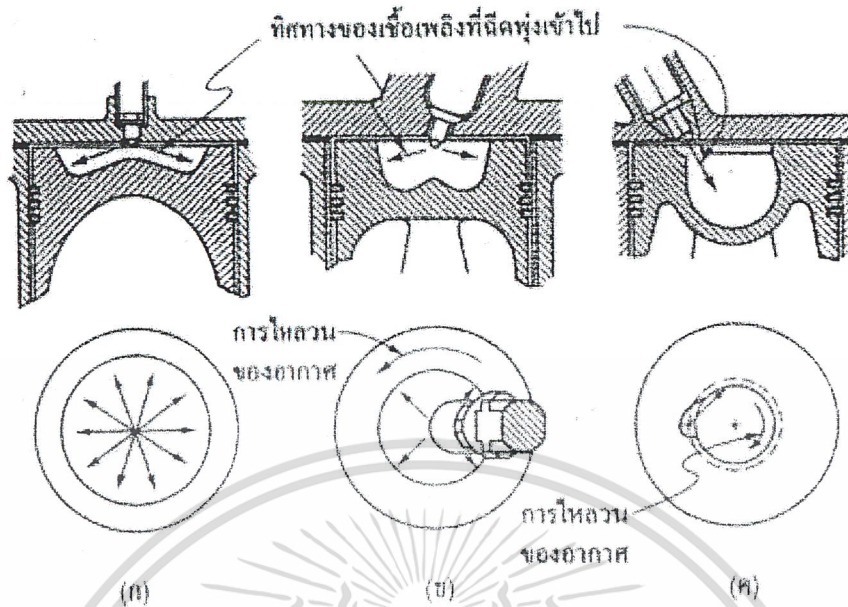


รูปที่ 4.13 ระบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องไอดีหลายจุดแบบควบคุมเชิงกล

4.7.2 การฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องปีกผีเสื้อจุดเดียว

การฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องปีกผีเสื้อจุดเดียว(single-point throttle-body injection) จะใช้หัวฉีดหัวเดียวหรือสองหัวควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ ฉีดเชื้อเพลิงด้วยปริมาณที่เหมาะสมเข้าไปในอากาศที่ไหลบริเวณส่วนบนของเสื้อลิ้นเร่ง ระบบนี้เป็นระบบที่มีการควบคุมไม่ยุ่งยาก จึงมีราคาถูกกว่าระบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องไอดีหลายจุด แต่อย่างไรก็ตาม ระบบนี้จะมีปัญหาเช่นเดียวกับการใช้คาร์บูเรเตอร์ คือ การขนถ่ายเชื้อเพลิงจากตำแหน่งก่อนลิ้นเร่งไปยังกระบอกสูบจะช้ากว่าอากาศ รูปที่ 3.14 แสดงภาคตัดขวางของระบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องปีกผีเสื้อจุดเดียวซึ่งใช้หัวฉีดสองหัว และแต่ละหัวใช้กับช่องอากาศที่แยกกัน และมีลิ้นเร่งของแต่ละช่องด้วย ปริมาณของเชื้อเพลิงจะถูกจัดตามการไหลของอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับความดันในท่อไอดี อุณหภูมิของอากาศ และอัตราเร็วเครื่องยนต์(การควบคุมโดยอัตราเร็วเครื่องยนต์ และความหนาแน่น)





รูปที่ 4.15 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงของเครื่องยนต์ดีเซลแบบที่ใช้กันทั่วไป

- (ก) ห้องเผาไหม้แบบนี้ ใช้หัวฉีดแบบหลายรู ใช้กับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่
  - (ข) ห้องเผาไหม้แบบหลุมในลูกสูบ มีการไหลวนและใช้หัวฉีดแบบหลายรู
  - (ค) ห้องเผาไหม้แบบหลุมในลูกสูบ มีการไหลวนและใช้หัวฉีดแบบรูเดียว
- ห้องเผาไหม้แบบ (ข) และ (ค) ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดกลางและเล็ก

เมื่อขนาดของเครื่องยนต์ดีเซลเล็กลงก็มักจะต้องเพิ่มการไหลวนเพื่อไม่ให้ไค้ อัตราการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเร็วขึ้น การไหลวนจะถูกทำให้เกิดขึ้น โดยการออกแบบช่องไอดีให้เหมาะสม และมีการเพิ่มการไหลวนขึ้นอีกเมื่อลูกสูบเข้าใกล้ TC โดยบังคับให้อากาศไหลเข้าไปสู่แกนของกระบอกสูบเข้าไปในหลุมในกระบอกสูบ

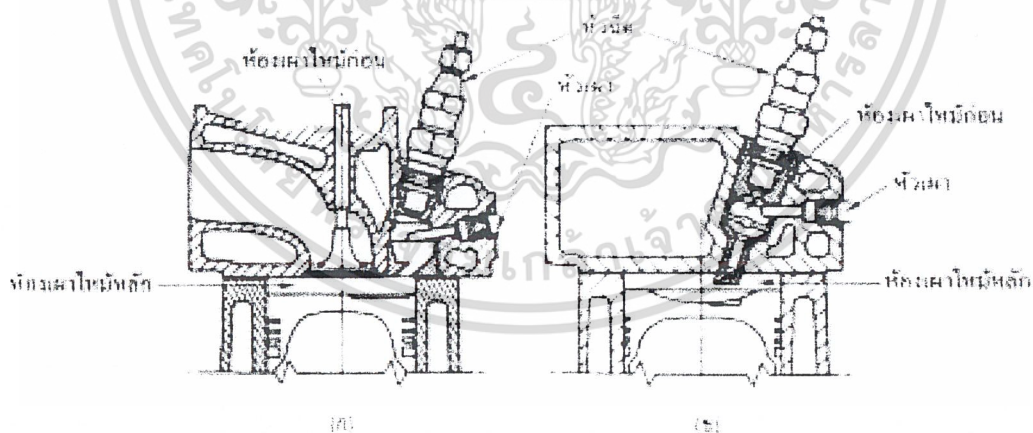
รูปที่ 4.15(ข) และ (ค) แสดงระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่ใช้กันทั่วไป 2 แบบที่มีการไหลวน โดยรูปที่ 4.15(ข) แสดงห้องเผาไหม้แบบหลุมในลูกสูบ ใช้หัวฉีดแบบหลายรูติดตั้งไว้ตรงกลางซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ไปกระทบผนังหลุมในลูกสูบ ใช้หัวฉีดแบบหลายรูติดตั้งไว้ตรงกลางซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ไปกระทบผนังของหลุมในลูกสูบน้อยที่สุด และรูปที่ 4.15(ค) แสดงระบบที่เรียกว่าระบบเอ็ม (M.A.N. M system) ซึ่งเป็นระบบที่มีห้องเผาไหม้แบบหลุมในลูกสูบ ใช้หัวฉีดแบบรูเดียวซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ไปกระทบและติดบนผนังของหลุมในลูกสูบ ระบบทั้งสองนี้ถูกนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดกลาง (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 10 cm ถึง 15 cm) และเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 8 cm ถึง 10 cm) โดยการเพิ่มการไหลวนให้มากขึ้น

#### 4.8.2 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม

ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมมักถูกนำไปใช้ในกรณีที่การไหลวนของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงไม่สามารถให้อัตราการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่พอเพียงแก่เครื่องยนต์ดีเซลอัตราเร็วสูงขนาดเล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้กับรถยนต์ ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมมีห้องเผาไหม้แบ่งเป็นห้องเผาไหม้ก่อนและห้องเผาไหม้หลัก โดยห้องเผาไหม้ก่อนสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแก๊สอย่างรุนแรงได้ระหว่างจังหวะอัดในช่วงการฉีดเชื้อเพลิง แบบของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมที่นิยมใช้กันมี 2 แบบคือ แบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวนและห้องเผาไหม้ก่อนปั่นป่วนดังรูปที่ 4.16(ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยทั้งสองแบบนี้ในช่วงการอัดอากาศจากห้องเผาไหม้หลักที่อยู่ด้านบนของลูกสูบจะถูกดันเข้าไปในห้องเผาไหม้ก่อน โดยผ่านรูเล็กๆ ดังนั้นเมื่อใกล้สิ้นสุดการอัด การไหลอย่างรุนแรงของแก๊สในห้องเผาไหม้ก่อนก็จะเกิดขึ้น

สำหรับห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน ช่องที่ต่อและห้องเผาไหม้ก่อนที่จะทำให้มีรูปทรงเพื่อที่การไหลของแก๊สภายในห้องเผาไหม้ก่อนจะไหลวนได้อย่างรวดเร็ว แล้วเชื้อเพลิงตามปกติจะถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ก่อนที่ความดันความดันในการฉีดต่ำกว่าในระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง และการเผาไหม้เริ่มต้นในห้องเผาไหม้ก่อน ทำให้ความดันภายในห้องเผาไหม้ก่อนเพิ่มขึ้นดันให้แก๊สไหลกลับไปยังห้องเผาไหม้หลัก โดยแก๊สจะพุ่งผ่านรูเข้าไปผสมกับอากาศในห้องเผาไหม้หลัก และมีการเผาไหม้ต่อไปอีก

รูปที่ 4.16(ก) และ (ข) ยังแสดงหัวเผา(glow plug) ที่อยู่ด้านขวาของห้องเผาไหม้ ก่อนด้วย หัวเผา มีไว้สำหรับการติดตั้งเครื่องยนต์ขณะเย็น โดยหัวเผาจะให้ความร้อนแก่ห้องเผาไหม้ก่อนการหมุนติดยเครื่องยนต์



รูปที่ 4.16 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กแบบที่ใช้กันทั่วไป

(ก) แบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน (ข) แบบห้องเผาไหม้ก่อนปั่นป่วน

### 4.8.3 การเปรียบเทียบระบบเผาไหม้แบบต่างๆ

ตารางที่ 4.1 ลักษณะที่สำคัญของระบบการเผาไหม้แบบต่างๆของเครื่องยนต์ดีเซล

ระบบ	ฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง				ฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม	
	นึ่ง	การไหลวนปานกลาง	การไหลวนสูง(ระบบเอ็ม)	การไหลวนสูงใช้หัวฉีดหลายรู	ห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน	ห้องเผาไหม้ก่อนปั่นป่วน
ขนาด	ใหญ่ที่สุด	ปานกลาง	ปานกลาง-เล็ก	ปานกลาง-เล็ก	เล็กสุด	เล็กสุด
วัฏจักรการทำงาน	2และ4จังหวะ	4จังหวะ	4จังหวะ	4จังหวะ	4จังหวะ	4จังหวะ
เทอร์โบชาร์จ/ซูเปอร์ชาร์จ/เข้าโดยธรรมชาติ	TC/S	TC/NA	TC/NA	NA/TC	NA/TC	NA/TC
อัตราเร็วสูงสุด (rev/min)	120-2100	1800-3500	2500-5000	3500-4300	3600-4800	4500
เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ(mm)	900-150	150-100	130-180	100-80	95-70	95-70
ระยะชัก/เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ	3.5-1.2	1.3-1.0	1.2-0.9	1.1-0.9	1.1-0.9	1.1-0.9
อัตราส่วนการอัด	12-15	15-16	16-18	16-22	20-24	22-24
ห้องเผาไหม้	เปิดหรือหลุมตัน	หลุมในลูกสูบ	หลุมลึกในลูกสูบ	หลุมลึกในลูกสูบ	ห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน	ห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน
รูปแบบการไหลของอากาศ	นึ่ง	การไหลวนปานกลาง	การไหลวนสูง	การไหลวนสูงสุด	การไหลวนสูงมาก	การไหลวนปั่นป่วน
จำนวนรูหัวฉีด	หลายรู	หลายรู	รูเดียว	หลายรู	รูเดียว	รูเดียว
ความดันการฉีด	สูงมาก	สูง	ปานกลาง	สูง	ต่ำสุด	ต่ำสุด

TC = turbocharger (เทอร์โบชาร์จ) , S = supercharger(ซูเปอร์ชาร์จ) ,

NA = naturally aspirated (อากาศเข้าโดยธรรมชาติ)

ตารางที่ 4.1 ได้ให้ลักษณะที่สำคัญของระบบเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลแบบต่างๆที่นิยมใช้กัน

ซึ่งขนาดและลักษณะการทำงานที่ระบุในตารางเป็นช่วงทั่วไปของเครื่องยนต์ที่มีระบบเผาไหม้แต่ละแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยนต์ดีเซลที่ใหญ่ที่สุด อัตราเร็วเครื่องยนต์ต่ำที่สุด ซึ่งใช้สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเรือ จะใช้ห้องเผาไหม้แบบเปิด ทรงจาน ไม่มีการไหลวนของอากาศ การไหลพุ่งเข้าไปของเชื้อเพลิงจะเป็นตัว แจกจ่ายและผสมเชื้อเพลิง โดยทั่วไปแล้วจะเป็นเครื่องยนต์สองจังหวะ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด ร่องลงมาที่ใช้สำหรับรถบรรทุกและรถไฟยังเป็นห้องเผาไหม้ทรงจานหรือเป็นแบบหลุมในลูกสูบ ไม่มีการไหลวนของอากาศหรือมีการไหลวนปานกลาง และเมื่อขนาดเครื่องยนต์เล็กลงและอัตราเร็ว เครื่องยนต์สูงสุดเพิ่มขึ้นก็จำเป็นต้องใช้การไหลวนเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มอัตราการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับ อากาศให้เพียงพอ ระบบที่นิยมใช้ ได้แก่ ระบบเอ็มที่ใช้หัวฉีดเดี่ยว และระบบไหลวนสูงซึ่งใช้หัวฉีด หลายรู

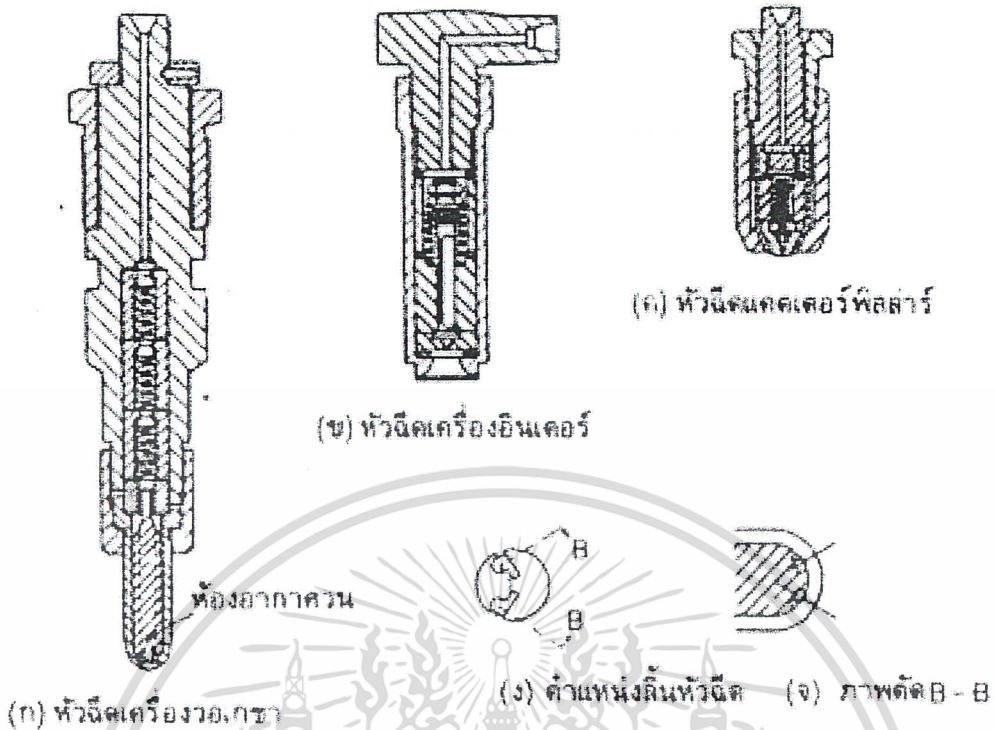
ในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กสุดนิยมใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมเพื่อให้ได้การเคลื่อนที่ของ อากาศอย่างรุนแรงสำหรับอัตราการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศสูง รูปร่างของห้องเผาไหม้ในระบบนี้ มีหลายแบบ แต่สามารถจำแนกได้เป็น 2 แบบ แบบแรกจะทำให้การไหลวนในห้องเผาไหม้ก่อนในช่วง ท้ายของจังหวะอัดโดยให้อากาศไหลเข้าห้องเผาไหม้ก่อนในแนวสัมผัสกับผนัง แบบที่สองจะทำให้เกิด การไหลปั่นป่วนอย่างรุนแรงในห้องเผาไหม้ก่อน โดยใช้รูเล็กๆหลายรูและการกีดขวางการไหลภายใน ห้องเผาไหม้ก่อน

#### 4.9.1 หัวฉีดแบบเปิด

ลักษณะของฉีดแบบเปิด(open type)ซึ่งเข้าใจได้ง่ายก็คือ เเจาะรูให้น้ำมันเชื้อเพลิงไหลไปตาม ท่อ โดยมีลิ้นก้นกกลับค้ำไว้ด้านหลัง เพื่อป้องกันก๊าซไอเสียจากห้องเผาไหม้เข้าไปในห้องเผาไหม้เข้าไป ในหัวฉีด หัวฉีดแบบนี้จะ ปล่อยละอองที่หยาบจึงทำให้มีควัน ไอเสียมาก ซึ่งอาจจะมีการแก้ไขโดยการลด ปริมาณการฉีดให้น้อยลงเป็นหัวฉีดที่ใช้กับเครื่องยंत्रุ่นเก่าๆ

จากรูปที่ 4.17 แสดงหัวฉีดแบบเปิด 3 ชนิดซึ่งไม่มีลิ้นปิดแรงดัน รูปที่ 4.17 (ก) เป็นหัวฉีดที่ใช้ กับเครื่องยंत्रุ่นเก่าโดยมีลิ้นแบบลูกบอล(ball valve)ต่ออนุกรมกันรวม 3 ตัว แรงดันในการเปิด ประมาณ 1379 กิโลปาสกาล(200 ปอนด์/ตารางนิ้ว) หลังจากเชื้อเพลิงผ่านลิ้นก้นกกลับแล้ว ก็จะไหลตาม ร่องแนวตั้งผ่านห้องอากาศวน และผ่านออกภายนอกทำให้เกิดผลปล่อยละออง รูปที่ 4.17 (ข) เป็นหัวฉีดที่ใช้ กันมานานในเครื่องยंत्रุ่นที่ใช้ห้องเผาไหม้ช่วยได้แก่ เครื่องยंत्रุ่นอินเตอร์(International Harvester) รุ่น เก่า โดยลิ้นแบบ

ป๊อปเป็ต(popet valve) จะเปิดที่แรงดัน 4827 กิโลปาสกาล(700 ปอนด์/ตารางนิ้ว) แบบนี้มีรูฉีดเดียว รูปที่ 4.17 (ค) เป็นหัวฉีดมีลิ้นก้นกกลับแบบป๊อปเป็ตต่ออนุกรมกับรูฉีดซึ่งใช้กับเครื่องยंत्रุ่นที่มีห้องเผาไหม้ช่วย ของเครื่องแคตเตอร์พิลลาร์ เนื่องจากห้องเผาไหม้แบบนี้ไม่ต้องการผลปล่อยละอองที่ละเอียดมากนัก มีส่วนดี คือราคาถูก ไม่มีท่อน้ำมัน ไหลกลับใช้แรงดันน้ำมันต่ำ นิยมเรียกว่า แบบคิสต์ เพราะน้ำมันจะฉีดผ่านเหล็ก รูปร่างคล้ายจานออกมา



รูปที่ 4.17 หัวฉีดแบบเปิด

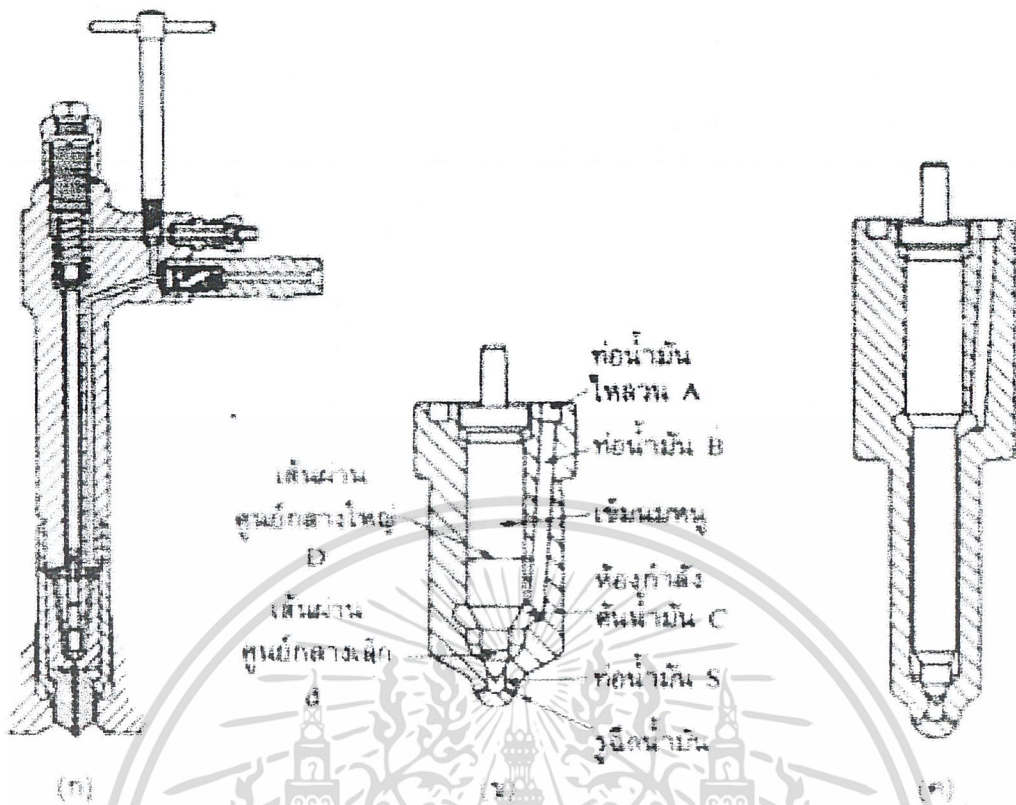
#### 4.9.2 หัวฉีดแบบปิด

หัวฉีดแบบปิด(close type inwardly opening) นี้แบ่งตามลักษณะการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1.ทำงานด้วยกลไก (mechanical injection valve) จะมีลูกเบี้ยว เป็นตัวปิดเปิดเข็ม โดยที่มีแรงดันน้ำมันเท่ากับแรงดันการฉีดมารออยู่ที่หัวฉีด เมื่อถึงตำแหน่งฉีดกลไกก็จะยกให้เข็มนมหนู(needle valve) พ้นจากบ่า น้ำมันก็จะฉีดเข้าไปยังห้องเผาไหม้

2.ทำงานด้วยแรงดันน้ำมัน (hydraulic injection valve) ความต้องการของหัวฉีดแบบนี้คือแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิงจะกระทำลงบนบ่าของเข็มนมหนู เมื่อแรงดันสูงพอที่จะเอาชนะแรงดันของสปริงที่กดเข็มไว้ เข็มนมหนูก็จะถูกยกตัวขึ้น น้ำมันที่มีแรงดันสูงนี้ก็จะผ่านรูของหัวฉีดเข้าไปยังห้องเผาไหม้

จากรูปที่ 4.18 (ก) แสดงหัวฉีดแบบรู(holes type) ซึ่งมีสปริงอยู่ส่วนบน และมีสกรูปรับแรงดันเพื่อเลือกแรงดันสำหรับยกเข็มนมหนูได้ตามต้องการ มีแกนส่งแรงดันสปริง(spindle) ไปกดเข็มนมหนูที่เรือนหัวฉีดจะมีช่องทางน้ำมันเข้าและช่องทางน้ำมันออก ด้านล่างจะประกอบด้วยเรือนนมหนูหัวฉีด เข็มหัวฉีดและนอตครอบหัวฉีด จากรูปที่ 4.18 (ข) จะเห็นว่าเข็มนมหนูสวมอยู่ในเรือนนมหนู ทำหน้าที่ปิดกั้นระหว่างห้องกำลังคั่นน้ำมันกับรูฉีดน้ำมัน ทำให้เปลวไฟจากห้องเผาไหม้ไม่สามารถเข้าไปภายในหัวฉีดได้



รูปที่ 4.18 หัวฉีดแบบปิดทำงานด้วยแรงดันน้ำมัน ชนิดหลายรู

ความแตกต่างของแรงดัน หัวฉีดแบบปิดที่ใช้แรงดันน้ำมันเป็นตัวทำงานในการยกเข็มนมหนูให้เปิดป่าโดยอาศัยแรงดันน้ำมันจากปั๊ม และกดปิดโดยแรงดันสปริงของหัวฉีด การทำงานสามารถอธิบายตามรูปที่ 2 (ข) โดยที่น้ำมันเชื้อเพลิงจะเข้าไปตามท่อน้ำมัน A ผ่านท่อน้ำมัน B ไปยังห้องกำลังน้ำมัน C เมื่อแรงดันน้ำมันในห้องนี้สูงกว่าแรงดันสปริงที่กดเข็มนมหนูไว้ เข็มนมหนูก็จะถูกยกขึ้นพันป่า น้ำมันก็จะไหลผ่านป่าและรูฉีกกระจายเป็นฝอย ขณะที่เข็มนมหนูเริ่มยกตัวขึ้นจะเป็นการเพิ่มพื้นที่แรงดันมากขึ้น จึงเป็นผลให้เข็มนมหนูยกตัวได้อย่างสูงรวดเร็วขึ้น (D คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของเข็มนมหนู และ d คือแกนเข็มส่วนที่เล็กที่สุด) ระหว่างที่น้ำมันฉีดอยู่นั้น เข็มนมหนูจะยกจะยกเปิดล้นป่าอยู่ แต่จะใช้แรงดันน้ำมันในขณะนี้น้อยกว่าแรงดันที่ต้องการตอนเริ่มเปิด นี่คือความหมายของคำว่าความแตกต่างของแรงดันน้ำมัน

สามารถคำนวณแรงดันเปิดปิดได้โดยสมการดังต่อไปนี้

$$\text{แรงดันที่ทำให้ล้นเปิด} \quad P_o = F/A = 4F/\pi(D^2-d^2)$$

$$\text{แรงดันที่ทำให้ล้นปิด} \quad P_c = 4F/\pi D^2$$

เมื่อ F = แรงดันสปริงที่ปรับไว้ (กิโลกรัม , กิโลปาสกาล , ปอนด์/ตารางนิ้ว)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางแกนใหญ่เข็มนมหนู (เซนติเมตร , มิลลิเมตร , นิ้ว)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางแกนเล็กเข็มนมหนู (เซนติเมตร , มิลลิเมตร , นิ้ว)

หัวฉีดบางชนิดจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนเล็กเพียงครึ่งหนึ่งของแกนใหญ่ ซึ่งแรงดันที่ทำให้เข็มปิด (closing pressure) จะใช้เพียง 3/4 ของแรงดันที่ทำให้เข็มเปิด (opening pressure) เท่านั้น

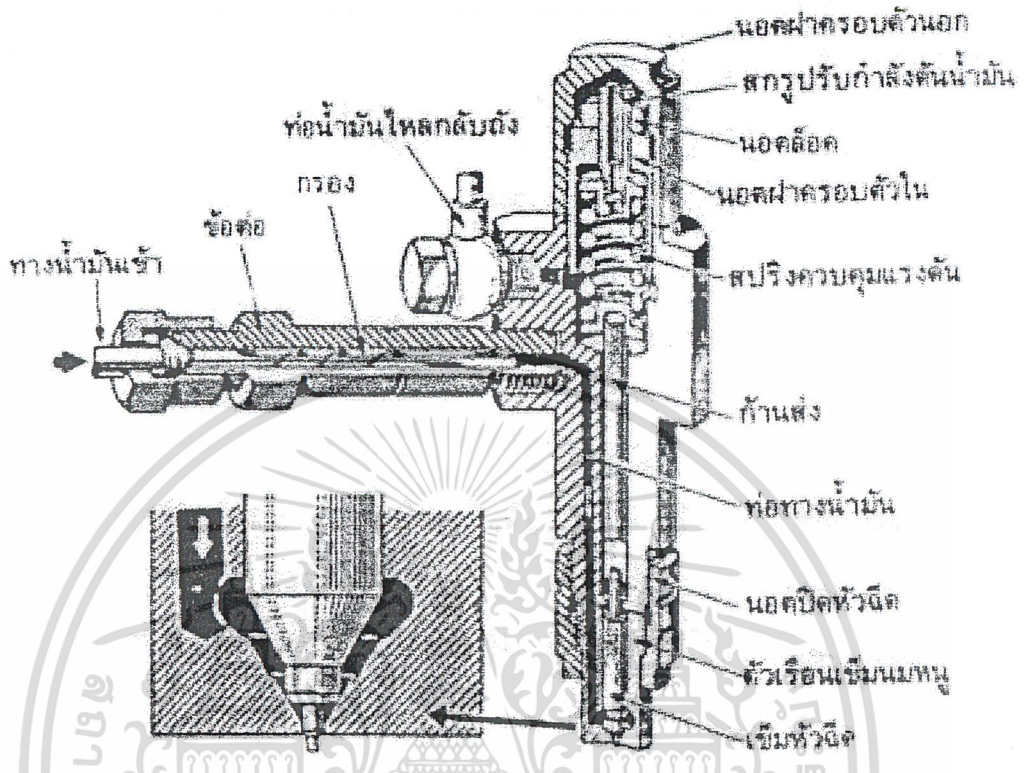
#### 4.9.3 หัวฉีดแบบรู

หัวฉีดแบบหลายรูเหมาะสำหรับห้องเผาไหม้แบบเปิด เพราะสามารถกระจายเชื้อเพลิงไปได้ทั่วห้องเผาไหม้ ขนาดของรูมีตั้งแต่ 0.127 มิลลิเมตร (0.005 นิ้ว) ถึงขนาดใหญ่ 0.86 มิลลิเมตร (0.034 นิ้ว) และมีช่วงรูตั้งแต่ 4-10 รู และระยะระหว่างรูฉีดต้องไม่ต่ำกว่า 0.20 มิลลิเมตร (0.008 นิ้ว) มิฉะนั้นจะทำให้การกระจายของน้ำมันซ้อนกัน ความลึกของรูฉีดน้อยที่สุด คือ 0.50 มิลลิเมตร (0.020 นิ้ว) ทั้งนี้เพื่อความแข็งแรงของของนมหนูหัวฉีด

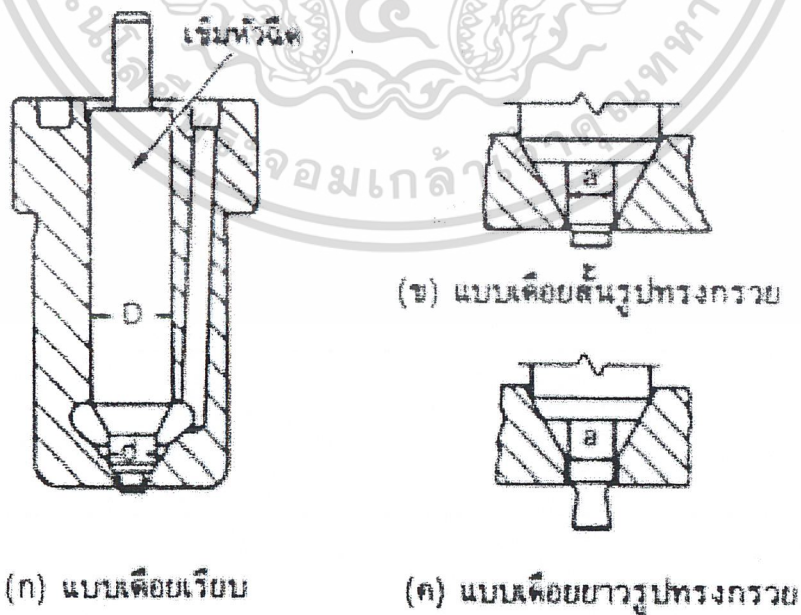
สำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กจะมีแรงดันหัวฉีดตั้งแต่ 16549-20686 กิโลปาสกาล(2400-3000 ปอนด์/ตารางนิ้ว) ส่วนเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีแรงดันหัวฉีด 24134-31029 กิโลปาสกาล(3500-4500 ปอนด์/ตารางนิ้ว) แรงดันในการเปิดปิดจะต้องสูงพอที่จะต้านแรงดันของก๊าซไอเสียในห้องเผาไหม้ ถ้าหากแรงดันของก๊าซไอเสียในห้องเผาไหม้เข้าไปในหัวฉีดได้ จะทำให้เกิดเขม่าจับและอุดตันที่รูฉีด หรือทำให้นมหนูใหม่และติดตายได้

#### 4.9.4 หัวฉีดแบบเดือย

หัวฉีดแบบนี้จะมีเดือยยื่นออกมาจากตัวเรือนนมหนู รูปร่างของเดือยจะเป็นดัดกำหนดปริมาตรของรูฉีดขณะเข็มยกตัวขึ้น พื้นที่รูฉีดจะเปลี่ยนแปลงซึ่งมี 2 ชนิด จากรูปที่ 4.20(ข) และ(ค) รูป(ข)ปลายเดือยจะสร้างให้ติดกับเข็มแต่สั้นกว่า จึงเรียกว่า หัวฉีดแบบเดือยสั้นรูปทรงกรวย และรูปทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางช่วงที่เป็นตัวเรือนเล็กน้อย ซึ่งจะช่วยลดการหยดของน้ำมันลงได้ แต่จะทำให้ปากลิ้นของเข็มนมหนู ซึ่งใกล้ห้องเผาไหม้ได้รับความร้อนสูง ส่วนในรูป (ค) จะเหมือนกับรูป (ข) แต่จะแตกต่างกันเล็กน้อยบริเวณที่เดือยยื่นออกมา โดยจะยื่นออกมายาวกว่าและรูปร่างเป็นกรวย รูปร่างของฝอยละอองจะเปลี่ยนตามการยกของเข็มนมหนู เรียกหัวฉีดแบบนี้ว่า หัวฉีดแบบเดือยรูปทรงกรวย(throttling nozzle) หรือหัวฉีดแบบเดือยยาวรูปทรงกรวย ซึ่งลักษณะนี้จะช่วยให้การเผาไหม้สม่ำเสมอดี เพราะลดแรงเฉื่อยระหว่างเกิดความล่าช้าในการเผาไหม้(ignition delay period) หัวฉีดแบบนี้เมื่อนำมาใช้กับห้องเผาไหม้แบบแอร์เชล จะทำให้การเผาไหม้เรียบและเงียบดี

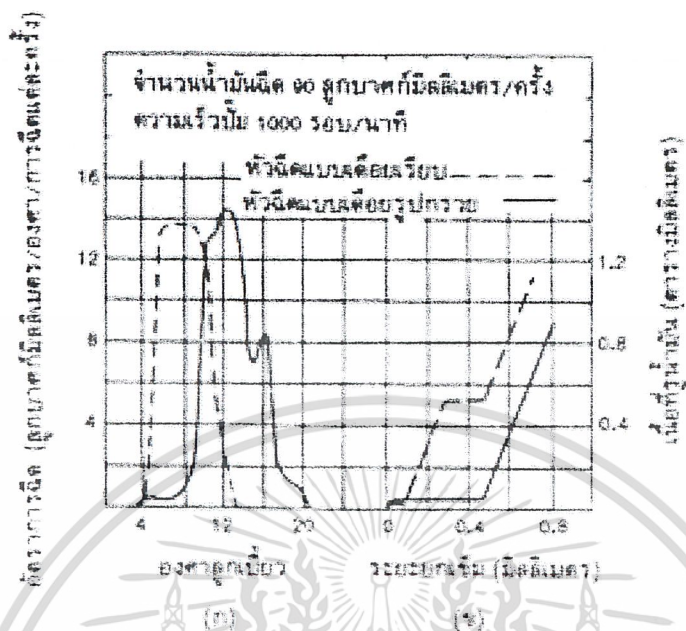


รูปที่ 4.19 โครงสร้างของหัวฉีดแบบเดี่ยว



รูปที่ 4.20 นมหนูหัวฉีดแบบเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 กราฟเปรียบเทียบหัวฉีดแบบเคียวเรียบและแบบเคียวรูปทรงกรวย

จากรูปที่ 4.21 กราฟในรูปที่ 4.21 (ก) จะเป็นการเปรียบเทียบการฉีดของแบบเคียวเรียบ(แสดงด้วยเส้นประ) และแบบเคียวรูปทรงกรวย (แสดงด้วยเส้นทึบ) จะเห็นได้ว่าการเริ่มฉีดและการหยุดฉีดของแบบเคียวรูปทรงกรวยจะช้ากว่า รูปที่ 4.21 (ข) จากกราฟจะแสดงความสามารถของปริมาณสูบน้ำกับการยกตัวของเข็มมนหนู จะเห็นได้ว่าขณะเริ่มฉีด แบบเคียวรูปทรงกรวยนั้นเข็มมนหนูจะยกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

การคำนวณหาแรงดันเปิดและแรงดันปิดของแบบเคียวเรียบและแบบเคียวรูปทรงกรวย จะคล้ายๆกับแบบรู แต่เนื่องจากมีเคียวยื่นออกไปด้วยจึงต้องใช้สูตร ดังนี้

$$P_c = P_o (D^2 - d^2) / (D^2 - a^2)$$

โดย a = เส้นผ่านศูนย์กลางของเคียว

โดยทั่วไปแรงดันเปิดของหัวฉีดแบบนี้จะต้องใช้ระหว่าง 10343-13790 กิโลปาสกาล(1500-2000 ปอนด์/ตารางนิ้ว)

#### 4.9.10 หัวฉีดแบบเคียวมีรูช่วย

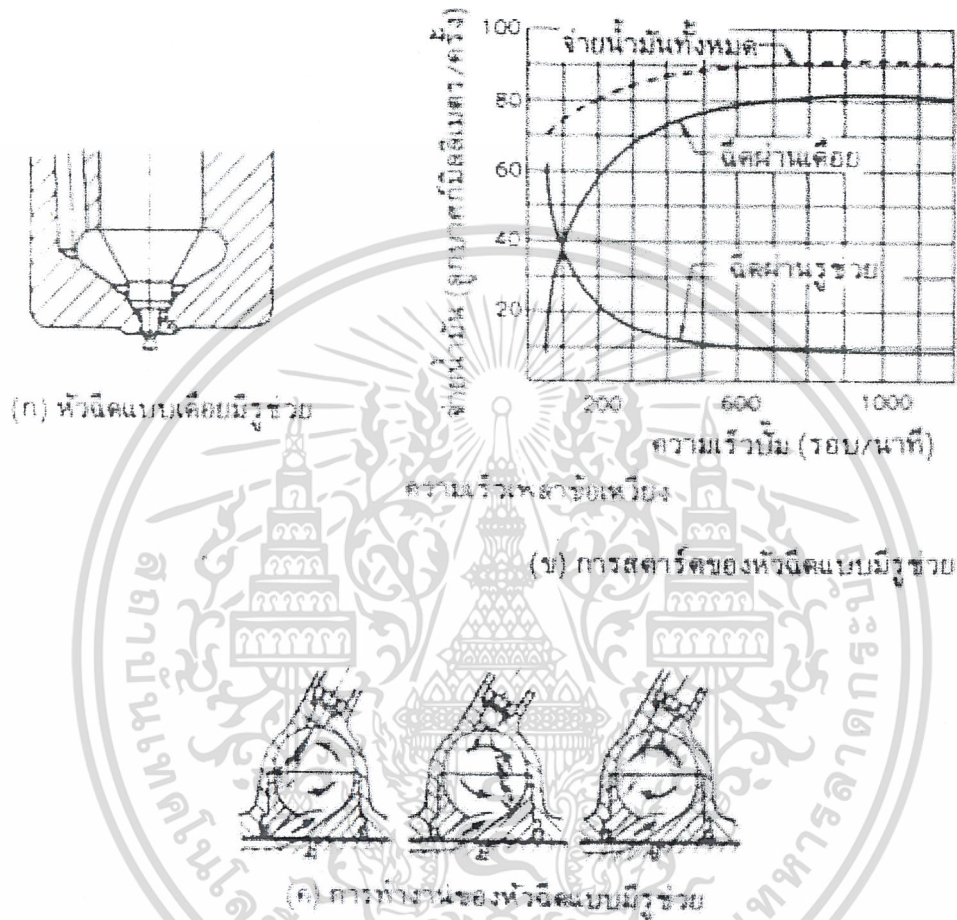
หัวฉีดแบบนี้เหมือนกับแบบเคียวเรียบ และแบบเคียวรูปทรงกรวย แต่มีรูช่วยเพิ่มขึ้นอีก 1 รู ซึ่งมีขนาด 0.2 มิลลิเมตร โดยเจาะทำมุม 30 องศา ผ่านด้านล่างของหัวฉีดเข้าไปในบริเวณที่ต่ำกว่าบ่าลิ้นหัวฉีด เมื่อเข็มมนหนูยกขึ้นเชื้อเพลิงก็จะไหลออกจากรูช่วยขณะฉีดเล็กน้อย และขณะฉีดมากจะฉีดรอบเคียว

น้อยลง ทั้งนี้เพื่อช่วยให้สตาร์ทเครื่องได้ง่ายขึ้นเพราะขณะสตาร์ท คันเร่งจะอยู่ในตำแหน่งจ่ายน้ำมันมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ฉีดรอบเคียวเพียงเล็กน้อย น้ำมันส่วนใหญ่จะฉีดที่รัฐช่วยซึ่งจะเป็นฝอยละอองดีกว่าฉีดรอบเคียว ทำให้สตัดร์ทเครื่องฉีดได้ง่าย หัวฉีดแบบนี้ บริษัทริคาโด นำมาใช้กับห้องเผาไหม้แบบโคเมต(Comat)

หัวฉีดแบบเคียวเรียบ แบบเคียวรูปทรงกรวย และแบบเคียวมีรัฐช่วย มักใช้กับห้องเผาไหม้ที่มีห้องเผาไหม้ช่วย เช่น ห้องเผาไหม้แบบลวงหน้า หรือห้องเผาไหม้แบบอากาศหมุนวน เป็นต้น เพราะช่วยลดปัญหาการอุดตันของหัวฉีดได้



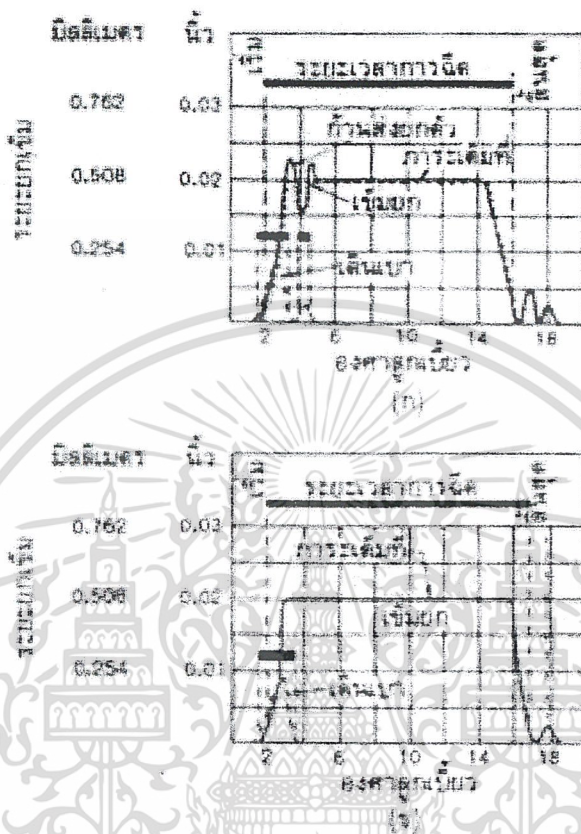
เรือนหัวฉีด เรือนหัวฉีดจะแตกต่างกันตาม โครงสร้างของเครื่องยนต์ แต่มีความมุ่งหมายเหมือนกันคือ ทำหน้าที่ยึดหัวฉีดให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง รูปร่างของหัวฉีดจะสร้างแตกต่างกันไป แต่หลักการทำงานจะคล้ายคลึงกัน

หัวฉีดบางแบบสร้างให้มีรูปร่างคล้ายดินสอ เช่นบริษัทโรสมาสเตอร์ ใช้ชื่อว่าหัวฉีดดินสอ(pencil nozzle) เพราะมีความโตเท่ากับดินสอ แต่มีประสิทธิภาพเท่ากับหัวฉีดทั่วไป

กรองน้ำมันหัวฉีดที่เรือนหัวฉีด หัวฉีดส่วนใหญ่จะบรรจุไส้กรองเพื่อป้องกันการสึกหรอของ ก้าน ลิ้น บาลัน หรือเกิดการอุดตัน แต่ถ้ามีการกรองเชื้อเพลิงอย่างดีแล้วกรองนี้ก็อาจไม่ใช่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวฉีดชนิดไม่มีก้านต่อ ในเครื่องยนต์รอบสูงจะมีปัญหาเรื่องแรงเฉื่อยในการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว หรือผลจากคลื่นแรงดันสปริง จึงออกแบบหัวฉีดชนิดไม่มีก้านต่อซึ่งจะเปรียบเทียบการทำงานได้จากกราฟรูปที่ 4.23 ดังนี้



รูปที่ 4.23 กราฟเปรียบเทียบการยกตัวของลิ้นที่มีและไม่มีก้านส่งแรง

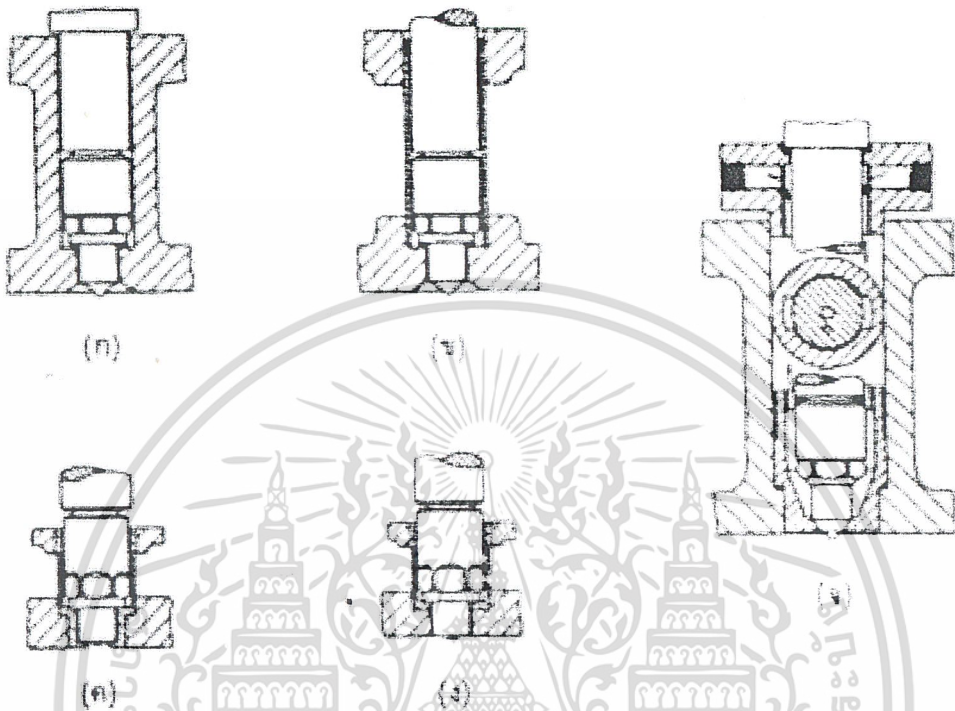
จากรูปที่ 4.23 (ก) เป็นแบบมีก้านส่ง(spindle) จะเห็นได้ว่าการเริ่มฉีดและการสิ้นสุดการฉีดจะไม่เรียบเมื่อเปรียบเทียบกับรูป(ข) ซึ่งไม่มีก้านส่งจะเรียบกว่า

การระบายความร้อนหัวฉีด การระบายความร้อนหัวฉีดให้แก่นมหนูเป็นสิ่งสำคัญ เพราะถ้ามีการระบายความร้อนถูกต้องดีก็จะทำให้ยึดการใช้งานของนมหนูหัวฉีด ถ้าการระบายความร้อนไม่ดีน้ำมันเชื้อเพลิงมีคุณภาพต่ำจะทำให้เกิดเขม่าจับที่ปลายนมหนู การระบายความร้อนสามารถแบ่งตามแบบดังต่อไปนี้

1. แบบระบายความร้อน โดยทางอ้อมผ่านผนังส่วนอื่น เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากซึ่งได้แก่รูปที่ 4.24(ก) เป็นแบบระบายความร้อนผ่านทางฝาสูบ รูปที่ 4.24(ข) แบบระบายความร้อนผ่านผนังของปลอกทองแดง รูปที่ 4.24(ค) เป็นแบบมีถ้วยบางๆมีแผ่นกันไฟ และรูปที่ 4.24(ง) แบบระบายความร้อนผ่านผนังบางของปะเก็นรูปถ้วย

2. การระบายความร้อนโดยตรง การระบายความร้อนวิธีนี้จะใช้เฉพาะเครื่องยนต์ที่มีกระบอกสูบขนาด 355 มิลลิเมตร (14 นิ้ว) ขึ้นไปเท่านั้น เพราะจะต้องมีช่องทางให้น้ำมันหมุนเวียนภายใน ถ้าเป็นแบบ

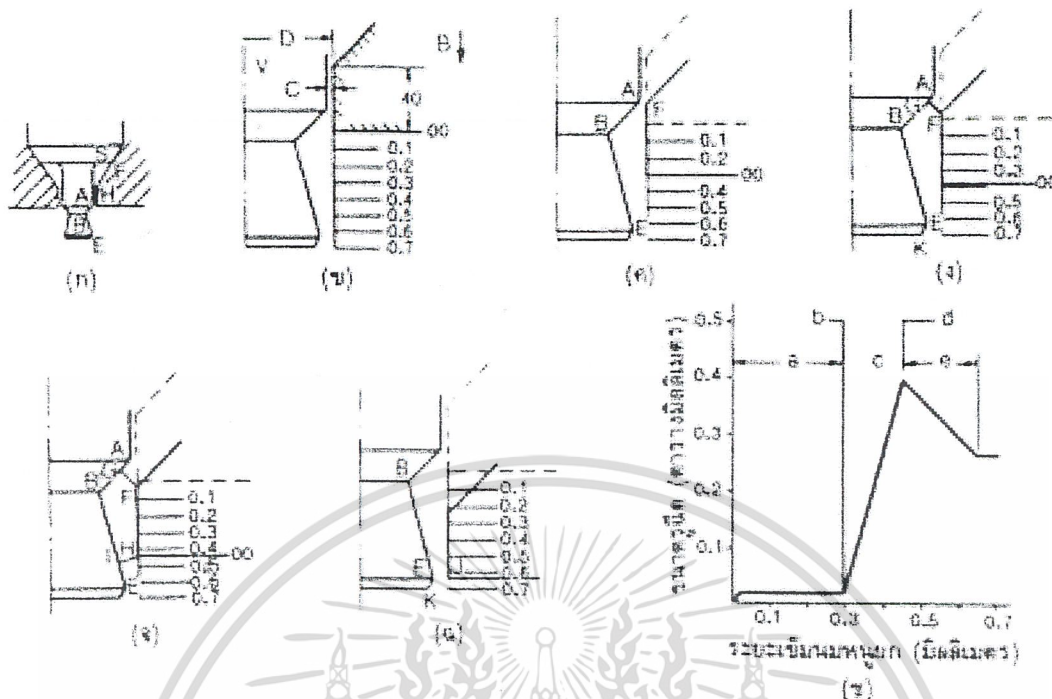
ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นตัวระบายความร้อนก็จะทำให้ไหลกลับทางเดียวกับทางน้ำมันกลับจากหัวฉีด ดังแสดงในรูปที่ 4.24(จ)



รูปที่ 4.24 แสดงการระบายความร้อน

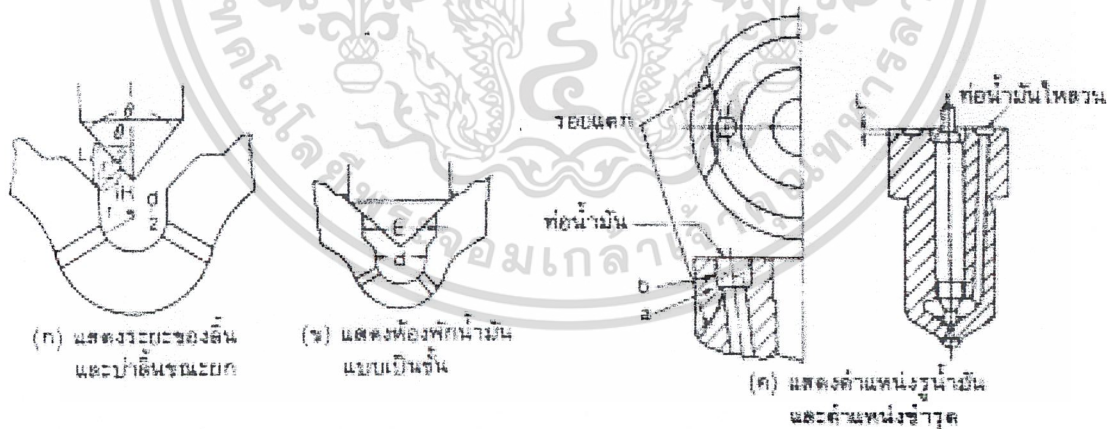
แป๊ปหัวฉีด(fuel injection tubing) จะต้องมึรูในที่เรียบและเท่ากันตลอด ความแข็ง แรงของแป๊ป จะต้องทนแรงดันได้ 69000 กิโลปาสกาล (10000 ปอนด์/ตารางนิ้ว) โลหะที่ทำได้สามารถคัดให้โค้งได้ตามต้องการ ขนาดของรูภายในจะมี 1.59 – 6.35 มิลลิเมตร(0.06 – 0.25 นิ้ว) ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกจะระหว่าง 6.35 – 15.88 มิลลิเมตร (0.25-0.62 นิ้ว) ใช้ท่อ SAE 1010 สร้างพิเศษมีผิวเรียบและเป็นโลหะที่เย็นเร็ว เหนียว และ ต้องไม่มีตะเข็บ(seamless)

หัวฉีดแบบเดือย จะมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่รูฉีดตามการยกตัวขึ้นของลิ้นเข็มนมหนู จากรูปที่ 4.26(ก) แสดงตำแหน่งของลิ้นที่ยัง ไม่มีการยกตัวของหัวฉีดแบบลิ้นเข็มนมหนูรูปกรวย รูปที่ 4.26(ข) แสดงตำแหน่งต่างๆของลิ้น ซึ่งสัมพันธ์กับตัวหัวฉีด เส้น00เมื่อยังไม่ได้ยกตัว เส้นอื่นๆจะเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.1 มิลลิเมตร เมื่อลิ้นเปิดพื้นที่รูฉีดจะถูกจำกัด โดยระยะห่าง C ประมาณ 0.013-0.025 มิลลิเมตร (0.0005-0.001 นิ้ว) และ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็ม พื้นที่เหล่านี้คงที่จนกว่าลิ้นจะยกตัวอยู่ในตำแหน่งตามรูปที่ 4.26(ค) ระยะความสูงของลิ้นคือ FG ตามรูป(ง) และจะสูงสุดเมื่อ FG เท่ากับ HI รูป(จ) และเมื่อลิ้นยกต่อไปจะลดพื้นที่ลงเพราะถูกควบคุมโดยระยะ EJ รูป(ฉ) ในการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่การฉีดพื้นที่มากที่สุดของหัวฉีดแบบเดือยจะมีขนาดตั้งแต่ 0.25-2.5 ตารางมิลลิเมตร ดูรูป(ซ)



รูปที่ 4.26 แสดงพื้นที่รูฉีก ของหัวฉีดแบบเคียว

บ่าลิ้นของหัวฉีด(nozzle valve seat) พื้นที่บ่าลิ้นอย่างน้อยจะต้องเป็น 2 เท่าของพื้นที่หน้าตัดของรูฉีกโดยวัดช่วงที่แคบที่สุด แต่ก็มีบางบริษัทสร้างให้โตกว่าพื้นที่หน้าตัดรูฉีก เพียง 30 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ถ้าเล็กเกินไปจะมีผลทำให้น้ำมันไหลไม่ทันจึงฉีดไม่เป็นฝอย(ดูรูปที่ 4.27)



รูปที่ 4.27 พื้นที่บ่าลิ้นที่น้ำมันไหลผ่าน

พื้นที่ของบ่าลิ้นคือ

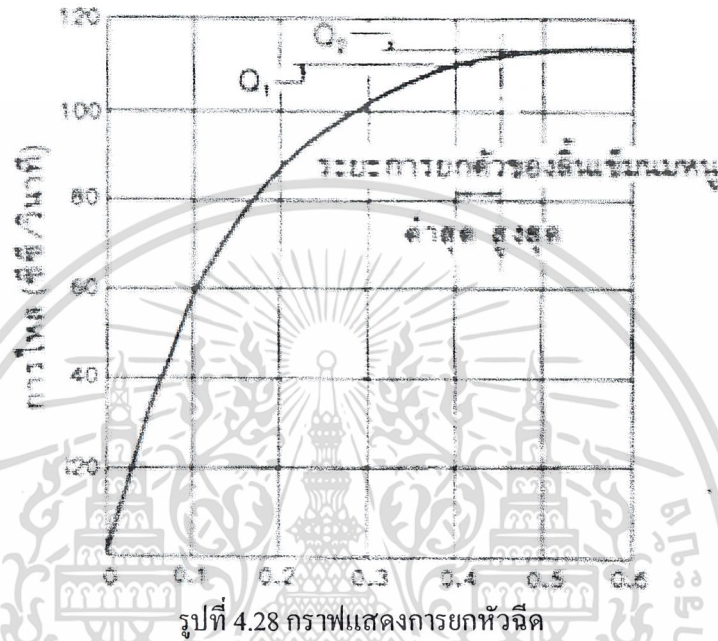
$$A_s = \pi L \sin(\theta/2) [d - L \sin(\theta/2) \cos(\theta/2)] \text{ mm}^2$$

โดย L = ระยะยกของลิ้น(มิลลิเมตร)

$\theta$  = มุมรวมของบ่าลิ้น(องศา)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของห้องปลายหัวฉีด(มิลลิเมตร)

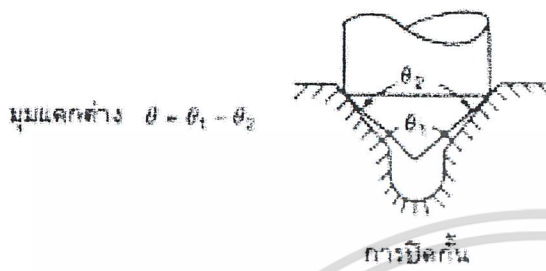
จากสมการข้างต้น การหาพื้นที่สำหรับน้ำมันผ่าน นั่นก็คือ การยกตัวของลิ้น(valve lift)เพื่อลดความเค้นจากการกระแทก การยกตัวของลิ้นเข้มนมหนูต้องเล็กที่สุดเท่าที่จะเล็กได้ มุมที่ใช้กันทั่วไป คือ 60 องศา แต่หันมานิยมมุม 90 องศา เพราะจะทำให้พื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นอีก 39 เปอร์เซ็นต์ ในลิ้นขนาดเดียวกัน ดังตัวอย่างจากรูปที่ 4.28 จะเห็นได้ว่าลิ้นยก 0.40 มิลลิเมตร ซึ่งเป็น 1.79 เท่าของพื้นที่หน้าตัดของรูหัวฉีด



ตารางที่ 4.2 พื้นที่ป่าหัวฉีดที่ให้น้ำมันไหลผ่านตามขนาดของหัวฉีด(มิลลิเมตร)

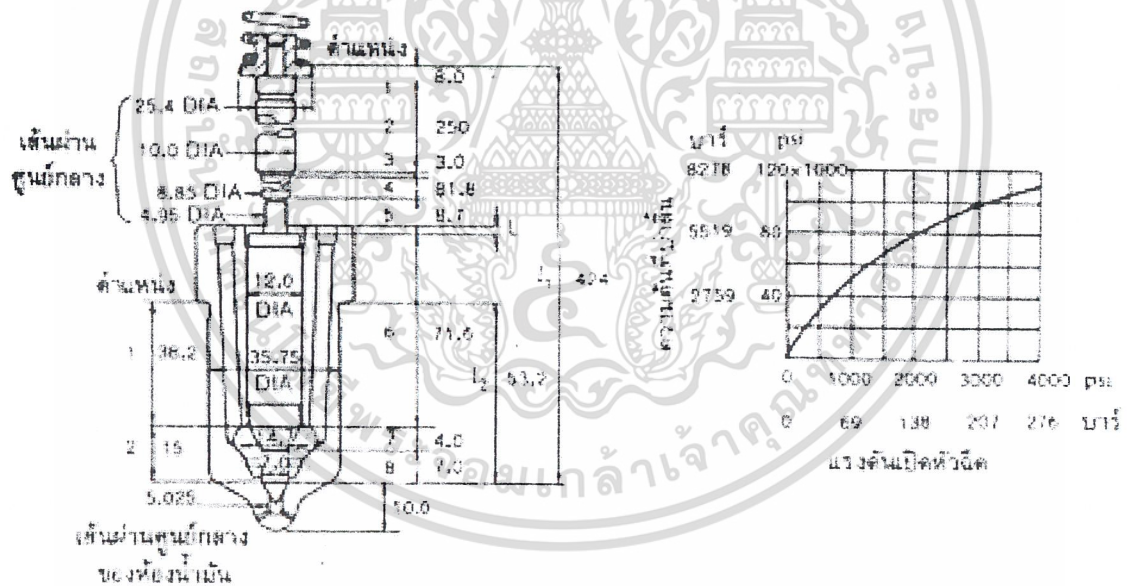
ขนาดของหัวฉีด	เส้นผ่านศูนย์กลางของลิ้น	เส้นผ่านศูนย์กลางของป่าลิ้น	ระยะยกของลิ้น	เส้นผ่านศูนย์กลางของน้ำมัน	ห้องน้ำมันปลายหัวฉีดแบบธรรมดาพื้นที่ป่าน้ำมันไหลผ่าน		การขยายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องน้ำมัน	ห้องน้ำมันปลายหัวฉีดแบบเป็นขั้นพื้นที่ป่าที่น้ำมันไหลผ่าน	
					ป่า 90°	ป่า 60°		ป่า 90°	ป่า 60°
S	6	3	0.04	1.8	1.42	1.02	0	-	-
T	7	4	0.5	1.8	1.72	1.24	2.8	2.84	2.03
U	8	4	0.5	2.8	2.34	2.03	0	-	0
	9	5.75	0.5	2.8			3.8	3.94	2.82
V	10	5.5	0.6	3.8	4.66	3.34	0	-	-
	11	7	0.6	3.8			5	6.26	4.47
W	14	7	0.8	5	8.17	5.85	0	-	-

มุมแตกต่างของบ่าและลิ้นเข็มนมหนู(differential seat angles)การสร้างบ่าและลิ้นของเข็มนมหนู จะสร้างให้มีมุมแตกต่างกัน โดยให้มุม ของบ่าใหญ่กว่ามุมของลิ้น ซึ่งจะช่วยให้การสัมผัสกันสนิทดีขึ้น และมีอายุการใช้งาน ได้นาน และถ้าบ่าสนิทดีขณะฉีดน้ำมัน จะมีเสียงดังอ้อดๆ



มุมแตกต่าง $\theta$	การเป็นฝอย
5'	ไม่ดี
10'	ไม่ดี
25'	ดี
40'	ดี
45'	ดี
1° 0'	พอใช้ได้

รูปที่ 4.29 แสดงผลของมุมบ่าลิ้น



รูปที่ 4.30 แสดงความเค้นที่เกิดขึ้นบนบ่าเข็มหัวฉีด

ความคั้นที่บ่าลิ้น(body seat stress) เป็นผลจากการที่ลิ้นกระแทกลงบนบ่าเมื่อลิ้นสุดการฉีด โดยมี ส่วนประกอบหลายส่วนเช่น แรงของสปริงขณะลิ้นยกสูงสุด อัตราการยกของแรงดันได้ลิ้น แรงเสียดทาน ที่ก้านต่อลิ้น ความหนืดของน้ำมัน ความแตกต่างของมุมลิ้น บ่า และน้ำหนักรของลิ้นและแกนกดเข็ม (spindle)หรือก้านส่ง แต่ก็สามารถคำนวณหาได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{ความเค้นที่บ่าลิ้น } S = F/A$$

เมื่อ  $F$  = แรงกระแทกที่เกิดจากแรงสปริงกระทำที่บ่าลิ้น (นิวตัน)

$A$  = พื้นที่หน้าตัดภาพฉายของบ่าหัวฉีด(ตารางเมตร)

$S$  = ความเค้นที่บ่าลิ้น(นิวตัน/ตารางเมตร บาร์)

การหาค่าความเค้นที่บ่าลิ้น ได้ ต้องรู้ค่าแรงกระแทกที่เกิดจากแรงสปริงที่กระทำบนบ่าลิ้นเสียก่อนโดยสามารถหาค่า  $F$  ได้จากสมการต่อไปนี้

$$F = \{F_s \times L \times E / [(l_1/4a_1) + (l_2/a_2)]\}^{1/2}$$

เมื่อ  $F_s$  = แรงดันสปริงที่กระทำบนบ่าลิ้น(นิวตัน)

$L$  = ระยะยกลิ้นสูงสุด(มิลลิเมตร)

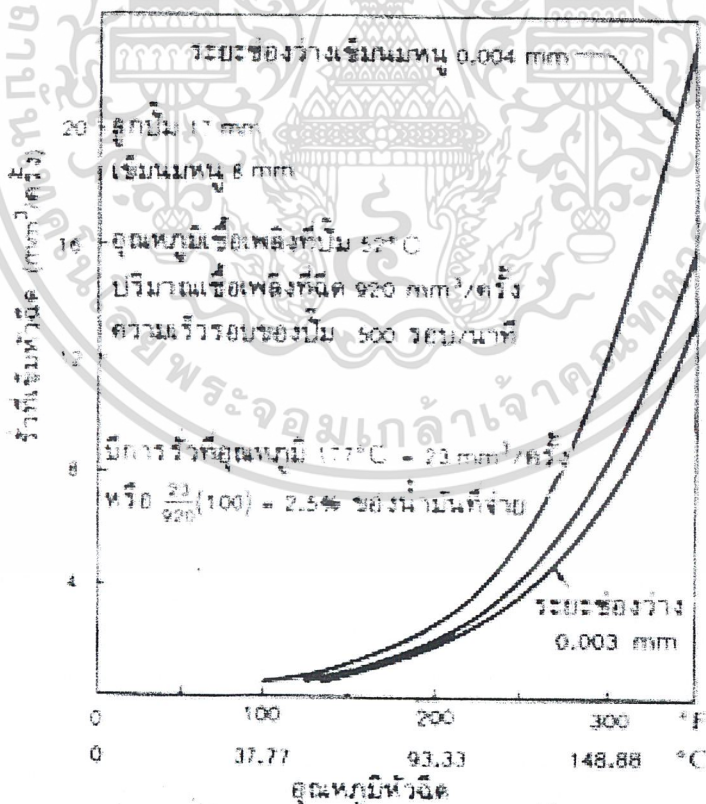
$E$  = โมดูลัสความยืดหยุ่น 206.8394 จิ

$l_1$  = ความยาวของลิ้นและก้านส่งลิ้น(มิลลิเมตร)

$l_2$  = ความยาวของบ่าลิ้นถึงมุมลิ้น(มิลลิเมตร)

$a_1$  = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของก้านค้ำหัวฉีด ตามระยะ  $l_1$  (ตารางมิลลิเมตร)

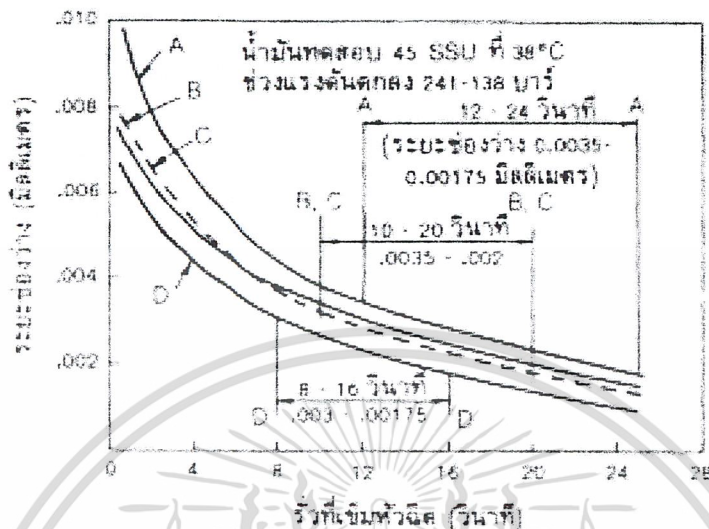
$a_2$  = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของหัวฉีด ตามระยะ  $l_2$  (ตารางมิลลิเมตร)



รูปที่ 4.31 การรั่วซึมมีผลจากความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากความร้อน อุณหภูมิมีส่วนทำให้หัวฉีดรั่วซึมซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4.31 เมื่ออุณหภูมิ 176°C จะรั่วเป็น 20 เท่าของเมื่ออุณหภูมิ 65°C และเมื่อระยะช่องว่าง 0.004 มิลลิเมตร จะมี 1.8 เท่าของเมื่อมีระยะช่องว่าง 0.003 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.32 การรั่วซึ่งมีผลจากระยะช่องว่างและเวลา

ระยะเวลาการปิดลิ้น ขณะฉีดน้ำมันลิ้นจะเปิด และปิดอย่างรวดเร็วเมื่อหยุดฉีด เพื่อป้องกันกำลังดันของก๊าซในห้องเผาไหม้เข้าไปในหัวฉีด ระยะเวลาที่ใช้ในการปิดลิ้นสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$t = 0.001(ML/F) \text{ วินาที}$$

เมื่อ  $t$  = ระยะเวลาที่ใช้ในการปิดลิ้น(วินาที)

$M$  = มวลของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในหัวฉีด(กรัม)

= น้ำหนักของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหว(นิวตัน) / อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก(เมตร/วินาที<sup>2</sup>)

$$= W \times 1000 / g = W \times 1000 / 9.81 = (101.937)W \text{ (กรัม)}$$

$W$  = น้ำหนักของชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในหัวฉีด (นิวตัน)

$L$  = ระยะยกตัวของลิ้น(มิลลิเมตร)

$F$  = แรงกระทำต่อลิ้น(นิวตัน)

$$= F_1 + F_2 - F_3 \text{ (นิวตัน)}$$

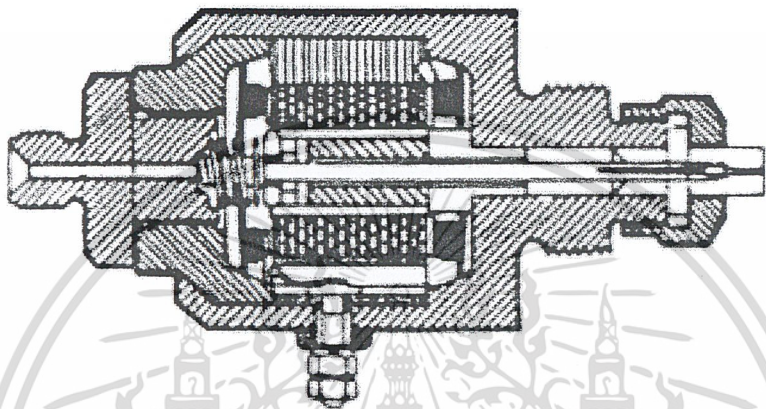
$F_1$  = ความดันขณะฉีดน้ำมัน x ความแตกต่างของพื้นที่

$F_2$  = ความแข็งตัวของสปริง x ระยะยกตัวของลิ้น

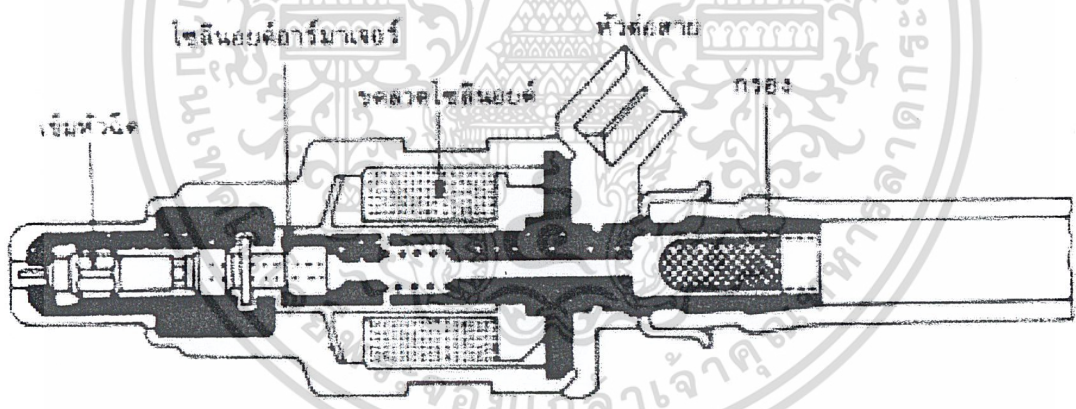
$F_3$  = ความดันในห้องเผาไหม้ x พื้นที่ผิวสัมผัสของลิ้น

4.9.11 หัวฉีดใช้ไฟฟ้า

บริษัทแอตลาส – เทมเพนเซียล ได้สร้างระบบฉีดเชื้อเพลิงก้ำวหน้าขึ้นมามากขึ้นหนึ่ง โดยใช้ระบบปั๊มท่อร่วม (common rail) ทำงานร่วมกับหัวฉีดไฟฟ้า หัวฉีดไฟฟ้าจะประกอบด้วยโครงเหล็กพันรอบด้วยขดลวด เพื่อให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขณะที่กระแสไฟฟ้าครบวงจร ซึ่งเมื่อเกิดอำนาจแม่เหล็ก ก็จะต้องเพิ่มหัวฉีดชนะแรงสปริงยกตัวขึ้นพ่นน้ำมันซึ่งมีแรงดันสูงอยู่ก็จะพุ่งออกไป การจำกัดปริมาณน้ำมันขึ้นอยู่กับเวลาที่ยกเข็มหัวฉีด ถ้ายกอยู่นานก็จะฉีดน้ำมันมาก ถ้ายกระยะเวลาสั้นก็จะฉีดน้ำมันน้อย



รูปที่ 4.33 หัวฉีดแบบทำงานด้วยไฟฟ้า



รูปที่ 4.34 หัวฉีดเบนซินใช้อิเล็กทรอนิกส์ควบคุม

บริษัทบ็อชเยอรมัน ได้สร้างหัวฉีดแบบใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน โดยใช้อำนาจแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าสำหรับปิด – เปิดลิ้น ระยะเวลาการฉีด ( ปริมาณน้ำมันที่ฉีด ) ควบคุมโดยอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งนิยมเรียกกันว่า ระบบจ่ายน้ำมันด้วยคอมพิวเตอร์

การหาปริมาณน้ำมันที่ฉีดและพื้นที่ของรูหัวฉีด

ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้ต่อการฉีด 1 ครั้ง สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q = C_d \cdot V \cdot A \cdot t$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีด ( ลูกบาศก์มิลลิเมตร )

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีทีเอ็น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_d = \text{สัมประสิทธิ์ในการฉีดของรูหัวฉีด}$$

$$= 0.50 \text{ สำหรับรูหัวฉีดที่มีขอบรูปกรวย (sharp - edge orifice)}$$

$$= 0.70 \text{ สำหรับรูหัวฉีดที่มีขอบกลม (rounded - edge orifice)}$$

$$= 0.65 \text{ ค่าเฉลี่ยที่นิยมใช้ (average production nozzle orifice)}$$

$V$  = ความเร็วของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีด (มิลลิเมตร/วินาที)

$A$  = พื้นที่ของรูหัวฉีด (ตารางมิลลิเมตร)

$$t = \text{เวลาที่ใช้ในการฉีด (วินาที)} = \alpha / 6N$$

โดย  $\alpha$  = ระยะเวลาของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงคิดเป็นองศาเพลาลูกเบี้ยว

$N$  = ความเร็วรอบของเพลาลูกเบี้ยว (รอบ/ นาที)

จากสมการ  $Q = C_d \cdot V \cdot A \cdot t$  จะสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$A = Q / C_d \cdot V \cdot t \text{ (ตารางมิลลิเมตร)}$$

เมื่อ  $V = (2gh)^{1/2}$  (มิลลิเมตรต่อวินาที)

$G$  = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

$$= 9.81 \text{ เมตร/วินาที}^2 = 9810 \text{ มิลลิเมตร/วินาที}^2$$

$h$  = ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดในรูปของความสูง (มิลลิเมตร)

$$= P/\gamma = P/\rho g$$

$P$  = ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีด (บาร์) (1 บาร์ = 0.1 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร)

$\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง (นิวตัน/ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

$$= \text{ความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน} \times \text{น้ำหนักจำเพาะของน้ำ}$$

$$= \text{Sp.gr}_{\text{น้ำมัน}} \times \gamma_{\text{น้ำ}}$$

โดย  $\text{Sp.gr}$  ของน้ำมันมีค่าประมาณ 0.85

$$\gamma_{\text{น้ำ}} = 9.81 \times 10^{-6} \text{ นิวตัน/ลูกบาศก์มิลลิเมตร}$$

$$= 9.81 \text{ กิโลนิวตัน/ลูกบาศก์เมตร}$$

$\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง (กิโลนิวตัน/ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

$\rho \approx 850 \text{ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร}$  (ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง)

$$V = [(2 \times 9810 \times 0.1 \times P) / (9.81 \times 10^{-6} \times \text{Sp.gr})]^{1/2}$$

$$= 14142(P/\text{Sp.gr})^{1/2} \text{ มิลลิเมตร/วินาที}$$

เมื่อนำสมการสำหรับหาค่า  $V$  ของน้ำมันเชื้อเพลิงแทนลงในสมการที่หาค่า  $A$  จะได้

$$A = Q / [C_d \times 14142(P/\text{Sp.gr})^{1/2} \times (\alpha/6N)]$$

$$A = (0.000424) QN / [C_d \cdot \alpha \cdot (P/\text{Sp.gr})^{1/2}]$$

#### 4.10 โครงสร้างของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้

เชื้อเพลิงถูกส่งเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์สี่เสลดผ่านทางรูหัวฉีดเดี่ยวหรือหลายรู ด้วย

ความดันระหว่างความดันในท่อหัวฉีดและกระบอกสูบที่แตกต่างกันมาก หัวฉีดของเครื่องยนต์สี่เสลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

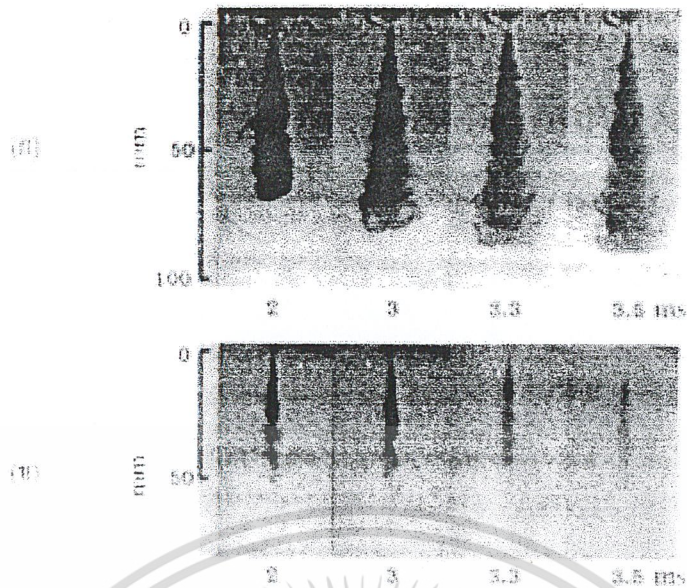
ตามปกติจะทำงานที่ความดันของการฉีดระหว่าง 200-1700 atm เมื่อเกิดการฉีด อากาศในกระบอกสูบมีความดัน 50-100 atm อุณหภูมิประมาณ 1000K และความหนาแน่นระหว่าง 15-25 kg/m<sup>3</sup> โดยรูหัวฉีดจะมีขนาด 0.2-1 mm และมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 2-8 ส่วนสมบัติของน้ำมันดีเซลที่ใช้กันทั่วไปมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.8 ,มีความหนืดระหว่าง 3-10 kg/m·s และความตึงผิวประมาณ 3x10<sup>-2</sup> N/m(ที่ 300K)

รูปที่ 4.35 แสดงโครงสร้างของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ระบบฉีดโดยตรงทั่วไป เมื่อเชื้อเพลิงพุ่งออกจากหัวฉีดก็จะปั่นป่วนและกระจายออกเข้าไปผสมกับอากาศโดยรอบ โดยความเร็วเริ่มต้นของการพุ่งเข้าไปจะมากกว่า 100 m/s ผิวด้านนอกของเชื้อเพลิงที่พุ่งออกจากหัวฉีดจะแตกเป็นหยดหรือละอองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 μm ใกล้กับทางออกของหัวฉีดแกนของของเหลว(แกนของสเปรย์) ที่ออกจากหัวฉีดและเข้าไปในห้องเผาไหม้จะแตกเป็นหยดขนาดต่างๆเมื่อเข้าไปได้ระยะทางช่วงหนึ่งซึ่งเรียกว่า ความยาวที่แตกเป็นละอองฝอย(breakup length) เมื่อมวลเชื้อเพลิงเคลื่อนที่ออกห่างจากหัวฉีด มวลของอากาศภายในสเปรย์จะเพิ่มขึ้น สเปรย์จะบานออกทำให้ความกว้างเพิ่มและความเร็วลดลง ปลายของสเปรย์จะพุ่งไปในห้องเผาไหม้ใกล้ขึ้นเมื่อมีการฉีดต่อไปแต่ด้วยอัตราการพุ่งเข้าไปที่ช้าลง

รูปที่ 4.36 แสดงภาพถ่ายของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดพ่นเข้าไปในแก๊สในโตรเจนที่นิ่ง โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพที่ต่างกัน 2 แบบ ทำให้ได้ภาพ 2 แบบ คือ ภาพรวมทั้งบริเวณไอและของเหลว และภาพบริเวณของเหลว (แกนของเหลว) (liquid-containing core) เท่านั้น

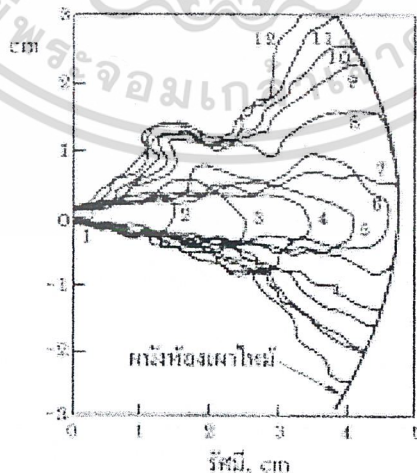


รูปที่ 4.35 พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้กำหนดโครงสร้างของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้



รูปที่ 4.36 ภาพถ่ายของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดพุ่งเข้าไปในแก๊สไนโตรเจนที่นิ่ง ที่ความดัน 3.4 MPa และอุณหภูมิ 670 K ในเครื่องอัดเร็ว (rapid-compression machine) เวลาเป็น ms หลังการเริ่มฉีด โดยมีช่วงการฉีด 3.3 ms รูป (ก) แสดงทั้งบริเวณไอและของเหลว รูป (ข) แสดงแกนของของเหลวเท่านั้น

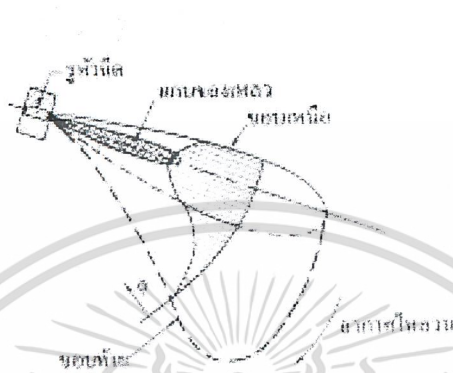
หยดของเชื้อเพลิงที่อยู่ขอบนอกของสเปรย์จะระเหยก่อน ทำให้เกิดสารผสมระหว่างไอเชื้อเพลิงกับอากาศที่หุ้มรอบแกนของเหลว จึงเป็นผลให้อุณหภูมิส่วนสมมูลมีค่าสูงสุดที่แนวกึ่งกลาง และลดลงเป็นศูนย์ (อากาศที่ยังไม่ได้ผสม) ที่ขอบของสเปรย์ เมื่อสเปรย์พุ่งเข้าไปในบริเวณด้านนอกของห้องเผาไหม้ก็จะไปพบกับผนังห้องเผาไหม้ สเปรย์ก็จะถูกบังคับให้ไหลเรียบไปตามผนัง และสุดท้ายสเปรย์ที่ถูกฉีดจากหัวฉีดหลายรูก็จะพบกัน รูปที่ 4.37 แสดงลักษณะของสเปรย์เมื่อพบกับผนังด้านนอกทรงกระบอกของห้องเผาไหม้ทรงงานในเครื่องอัดเร็วในสถานะการฉีดเชื้อเพลิงทั่วไปของเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจะพบว่าผนังทรงกระบอกจะทำให้สเปรย์แยกเป็น 2 ส่วน (2 ทิศทาง) ไหลตามเส้นรอบวงในแต่ละทิศทาง



รูปที่ 4.37 ภาพร่างขอบของเขตไอด้านนอกของสเปรย์น้ำมันดีเซลจากภาพถ่าย 12 ภาพต่อเนื่องกัน และนำภาพทั้งหมดมาซ้อนเป็นภาพเดียวกัน แสดงลักษณะของสเปรย์เมื่อพบผนังทรงกระบอกของห้อง

เผาไหม้ ความดันการฉีด 60 MPa เวลา ระหว่าง 0.14ms

เนื่องจากในระบบการเผาไหม้บางระบบใช้การไหลวนของอากาศเพื่อเพิ่มอัตราการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ การไหลวนของอากาศจะทำให้โครงสร้างของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดพ่นเข้าไปในห้องเผาไหม้เปลี่ยนแปลงไป รูปที่ 4.38 แสดงถึงรูปแบบของสเปรย์ซึ่งมีผลมาจากการฉีดเชื้อเพลิงในแนวรัศมีของกระบอกสูบระหว่างเชื้อเพลิงที่พุ่งเข้ากับอากาศ เมื่อสเปรย์เข้าไปมากขึ้นและช้าลง สเปรย์ก็จะบิดเบี้ยวไปในทิศทางของการไหลวน ลักษณะที่สำคัญของสเปรย์ที่เกิดขึ้นนี้ก็คือจะมีบริเวณของไอน้ำขนาดใหญ่ด้านท้ายของแกนของเหลว



รูปที่ 4.38 โครงสร้างของสเปรย์ซึ่งเป็นผลมาจากการฉีดเชื้อเพลิงในแนวรัศมีออกจากแกนของกระบอก

สูบ

เข้าไปในการไหลวนของอากาศ รวมทั้งแสดงการกระจายของอัตราส่วนมวล( $\phi$ )ด้วย

#### 4.10.1 การแตกเป็นฝอยละออง

ตามสภาวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น เชื้อเพลิงที่พุ่งเข้าไปจะเกิดเป็นสเปรย์รูปกรวยขึ้นที่ทางออกของหัวฉีด ซึ่งเป็นรูปแบบของการแตกเป็นละอองฝอย (atomization) ที่เกิดหยดเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดมาก รูปแบบของการทำให้ของเหลวที่ฉีดพุ่งแตกเป็นหยดมีหลายรูปแบบ คือ ที่ความเร็วของของเหลวที่ฉีดพุ่งต่ำ การแตกเป็นหยดจะเกิดจากลูกคลื่นที่ผิวของของเหลวซึ่งใหญ่ขึ้นและไม่เสถียรอันเป็นผลมาจากแรงตึงผิว ผลที่ได้คือหยดเชื้อเพลิงจะมีขนาดใหญ่มากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูฉีด เมื่อความเร็วรูฉีดพุ่งสูงขึ้นแรงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของของเหลวที่พุ่งและอากาศโดยรอบจะ ไปเพิ่มแรงตึงผิวของของเหลวซึ่งเป็นผลให้ขนาดของหยดมีขนาดพอๆกับเส้นผ่านศูนย์กลางของรูฉีด

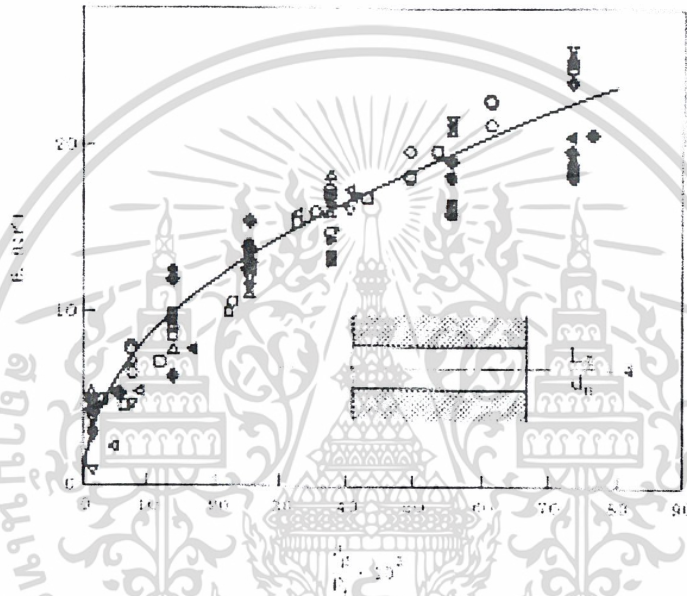
การเพิ่มความเร็วที่ฉีดพุ่งสูงขึ้นไปอีกจะทำให้ของเหลว (เชื้อเพลิง) แตกออกโดยสเปรย์จะบานออกหลังจากของเหลวพุ่งออกไปได้ช่วงความยาวหนึ่ง ในสภาวะเช่นนี้ผิวของของเหลวที่พุ่งฝ่าอากาศจะเกิดเป็นลูกคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นๆซึ่งลูกคลื่นเหล่านี้จะไม่เสถียรและจะแตกเป็นหยดที่มีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูฉีดมาก และเมื่อเพิ่มความเร็วที่ฉีดพุ่งให้สูงขึ้นอีก การแตกออกของผิวด้านนอกของของเหลวที่ฉีดพุ่งจะเกิดขึ้นที่หรือเกิดขึ้นก่อนระนาบทางออกของหัวฉีด เป็นผลให้เกิดหยดที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูฉีดยิ่งขึ้นไปอีกซึ่งเรียกว่าการทำให้แตกเป็น

ละอองฝอย ซึ่งอันตรกิริยาทางพลวัต (aerodynamic interaction) ระหว่างของเหลวและแก๊สจะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการแตกเป็นละอองฝอยดังกล่าว

เมื่อมีการแตกเป็นละอองฝอย จะได้มุมสเปรย์ตามสมการ คือ

$$\tan(\theta/2) = 4\pi(\rho_g/\rho_l)^{1/2}(\sqrt{3})/6A$$

โดย  $\rho_g$  และ  $\rho_l$  เป็นความหนาแน่นของแก๊สและของเหลวตามลำดับ ส่วน  $A$  เป็นค่าคงตัวสำหรับหัวฉีดหนึ่งๆ(สมการของ  $A$  คือ  $A = 3.0 + 0.28(L_d/d_d)$ ) โดย  $L_d/d_d$  เป็นอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด รูปที่ 4.39 แสดงมุมสเปรย์เริ่มต้นที่เป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนความหนาแน่นระหว่างความหนาแน่นของแก๊สกับความหนาแน่นของของเหลวสำหรับหัวฉีดที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4



รูปที่ 4.39 แสดงมุมสเปรย์เริ่มต้นของของเหลวที่พุ่งแตกออกเป็นละอองฝอย(atomizing jet) กับอัตราส่วนความหนาแน่น ( $\rho_g/\rho_l$  = ความหนาแน่นแก๊ส / ความหนาแน่นของเหลว) สำหรับรูปร่างของหัวฉีดตามภาพ ใช้ของเหลวและแก๊สต่างๆที่ความดันของเหลว 3.4-92 MPa และเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด  $d_n = 0.254, 0.343$  และ  $0.61$  mm

#### 4.10.2 การพุ่งของสเปรย์

ความเร็วและระยะที่พุ่งเข้าไปในห้องเผาไหม้ของสเปรย์จะมีผลสำคัญต่อการใช้อากาศและอัตราการผลิตระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ในเครื่องยนต์บางแบบที่ผนังห้องเผาไหม้ร้อนและมีการไหลวนสูงก็ต้องการให้เชื้อเพลิงฉีดพุ่งเข้าไปกระทบผนัง แต่ในเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่ใช้หัวฉีดหลายรู การพุ่งของสเปรย์ (spray penetration) เข้าไปมากเกินไปก็จะทำให้เชื้อเพลิงไปกระทบผนังที่เย็นและโดยเฉพะอย่างยิ่งเมื่อ ไม่มีการไหลวนของอากาศหรือมีการไหลวนของอากาศเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้อัตราการผสมต่ำลงและจะไปเพิ่มมลพิษ (สารที่ยังไม่เผาไหม้และสารที่เผาไหม้บางส่วน) อย่างไรก็ตามการพุ่งของสเปรย์น้อยเกินไปก็จะทำให้การใช้อากาศไม่ดีเนื่องจากอากาศที่ขอบนอกของห้องเผาไหม้จะไม่ได้สัมผัสกับเชื้อเพลิง จึงได้มีการศึกษาถึงการพุ่งของสเปรย์เชื้อเพลิงภายใต้สภาวะทั่วไปที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ดีเซลกันอย่างกว้างขวาง

เดนต์ (J.C.Dent) ได้ให้สมการของการพุ่งของสเปรย์ (S) เป็น

$$S = 3.07(\Delta p/\rho_g)^{1/4}(td_n)^{1/2}(294/T_g)^{1/4}$$

โดย  $\Delta p$  เป็นความดันตกผ่านหัวฉีด,  $t$  เป็นเวลาหลังการเริ่มต้นการฉีด และ  $d_n$  เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีด  $t$  มีหน่วยเป็นวินาที, S และ  $d_n$  มีหน่วยเป็นเมตร,  $\Delta p$  มีหน่วยเป็นปาสคาล,  $\rho_g$  มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร,  $T_g$  มีหน่วยเป็นเคลวิน สมการของเดนต์นี้ใช้ได้ในการคาดคะเนการพุ่งของสเปรย์เข้าไปในห้องเผาไหม้ที่มีอากาศนิ่งที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิง โดยตรงขนาดใหญ่ และสำหรับหัวฉีดที่มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ( $L_n/d_n$ ) อยู่ในช่วง 2 ถึง 4 และเมื่อ  $t > 0.5$  ms

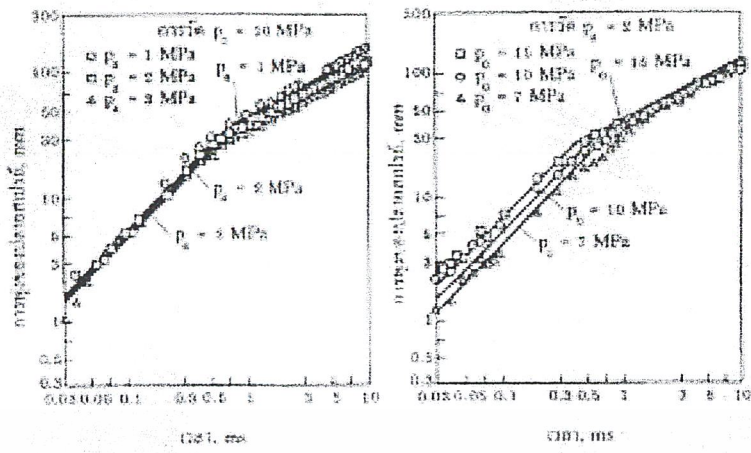
นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับตำแหน่งของปลายสเปรย์ที่เวลาต่างๆ ในรายละเอียดเพิ่มเติมอีก โดยรูปที่ 4.40 แสดงผลการศึกษาดังกล่าวของฮิโรยาสู (Hiroyasu) แลสะคะ ซึ่งเป็นการกราฟของตำแหน่งของปลายสเปรย์กับเวลาที่ความดันโดยรอบ ( $p_0$ ) และความดันการฉีด ( $p_1$ ) ต่างๆ เชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในอากาศนิ่งที่อุณหภูมิห้อง จากข้อมูลเหล่านี้พบว่า การพุ่งของสเปรย์ในช่วงเริ่มต้นจะแปรผันโดยตรงกับเวลา (ความเร็วของสเปรย์คงตัว) และเมื่อแตกเป็นละอองฝอยแล้วจะแปรผันตาม  $\sqrt{t}$  โดยความดันในการฉีดจะมีผลการต่อการเคลื่อนที่ในช่วงเริ่มต้นก่อนการแตกเป็นละอองฝอย แต่เมื่อแตกเป็นละอองฝอยแล้ว ความหนาแน่นของแก๊สจะมีผลมากต่อการเคลื่อนที่ ฮิโรยาสูได้ให้สมการของการพุ่งของสเปรย์เป็น

$$t < t_{break} : S = 0.39(2\Delta p/\rho_1)^{1/2} t$$

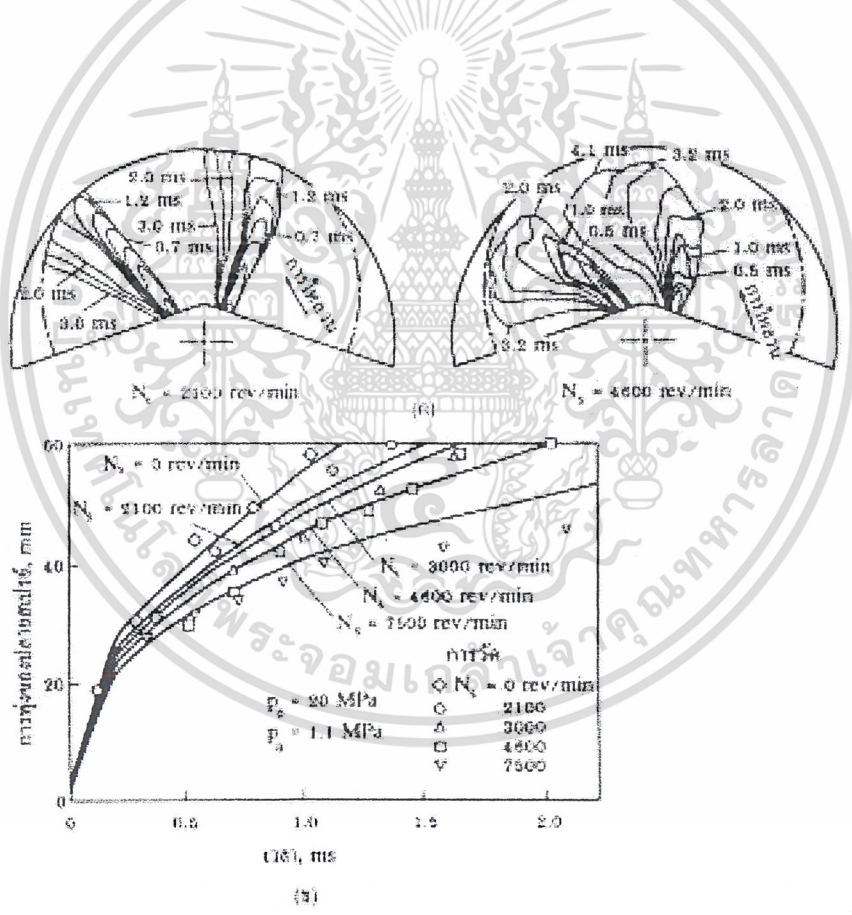
$$t > t_{break} : S = 2.59(\Delta p/\rho_g)^{1/4}(td_n)^{1/2}$$

$$\text{โดย } t_{break} = 29\rho_1 d_n / (\rho_g \Delta p)^{1/2}$$

โดย  $\Delta p$  เป็นความดันตกผ่านหัวฉีด (ปาสคาล),  $\rho_g$  และ  $\rho_1$  เป็นความหนาแน่นของแก๊สและของเหลวตามลำดับ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร),  $d_n$  เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของรูหัวฉีด (เมตร) และ  $t$  เป็นเวลา (วินาที) ซึ่งภายใต้ความดันการฉีดสูงและรูหัวฉีดมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย ความยาวที่แตกเป็นละอองฝอยจะสั้นมากการแตกเป็นละอองฝอยสามารถเกิดขึ้นได้ที่ระยะทางออกของหัวฉีด



รูปที่ 4.40 การพุ่งของปลายสเปร์ย์ที่เวลาต่างๆที่ความดัน โดยรอบ และความดันการฉีด ต่างๆเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในอากาศนิ่งที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.41 (ก) ขอบนอกที่วัดได้ของสเปร์ย์ที่ถูกฉีดเข้าไปในการไหลวนของอากาศ  
 (ข) การพุ่งของปลายสเปร์ย์ที่เป็นฟังก์ชันของเวลาที่อัตราการไหลวนต่างๆ  
 เส้นเค็มแสดงถึงความสัมพันธ์ตามสมการ

ผลของการไหลวนของอากาศที่มีผลต่อการพุ่งของสเปรย์ได้แสดงไว้ตามรูปที่ 4.41 โดยรูปที่ 4.41(ก) แสดงการพุ่งของปลายสเปรย์ ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อการไหลวนเพิ่มขึ้น ส่วนรูปที่ 4.41 (ข) แสดงการพุ่งของปลายสเปรย์ที่แปรผันกับเวลาและอัตราการไหลวน นอกจากนี้ ยังได้ให้ความสัมพันธ์ระหว่างการพุ่งของปลายสเปรย์เมื่อมีการไหลวนของอากาศ ( $S_s$ ) กับเมื่อไม่มีการไหลวนของอากาศ ( $S$ ) ไว้ตามสมการคือ

$$S_s/S = [1 + (\pi R_s NS / 30v_r)^{-1}]$$

โดย  $R_s$  เป็นอัตราส่วนการไหลวนซึ่งเท่ากับอัตราการไหลวนเป็นรอบต่อนาทีหารด้วยอัตราเร็วเครื่องยนต์ ( $N$ ) เป็นรอบต่อนาที และ  $v_r$  เป็นความเร็วเริ่มต้นของเชื้อเพลิงที่ฉีดพุ่งเข้าไป (เมตรต่อวินาที) ซึ่งพบว่า การไหลวนจะทำให้การพุ่งของสเปรย์ลดลง แต่จะทำให้การกระจายออกของสเปรย์รวดเร็วขึ้น

#### 4.10.3 ขนาดของหยดเชื้อเพลิง

นอกจากรูปร่างสเปรย์จะเป็นสิ่งสำคัญต่อการกระจายของเชื้อเพลิงแล้ว การแตกเป็นหยดเล็กๆ จำนวนมากมายของเชื้อเพลิงก็จำเป็นด้วย ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดพื้นที่ผิวที่ใหญ่ซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงสามารถระเหยได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากขนาดของหยดเชื้อเพลิง (ซึ่งคิดเป็นทรงกลม) ที่แตกออกเมื่อเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้จะไม่เท่ากัน จึงนิยมใช้ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยด (Sauter mean diameter,  $D_{SM}$ )

กำหนดขนาดของหยดเชื้อเพลิงดังกล่าว ซึ่ง

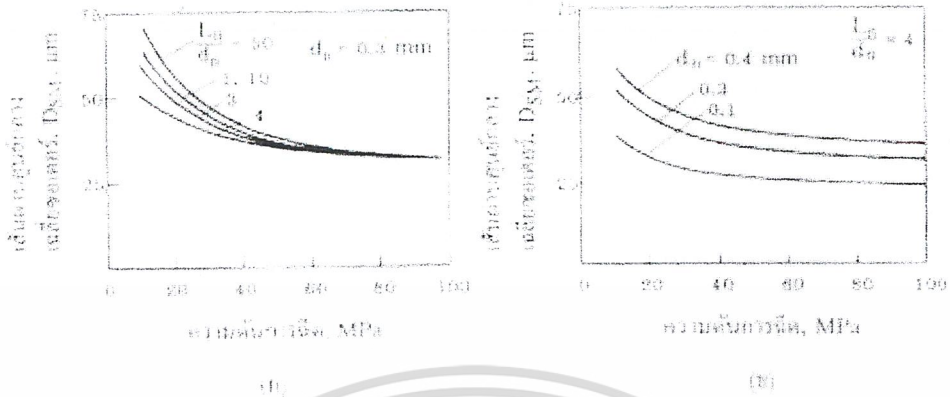
$$D_{SM} = (\int D_d^3 dn) / (\int D_d^2 dn)$$

โดย  $dn$  เป็นจำนวนของหยดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง  $D_d$  ในช่วง  $D_d - dD_d/2 < D_d < D_d + dD_d/2$  เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดก็คือเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเท่ากับของสเปรย์ทั้งหมด

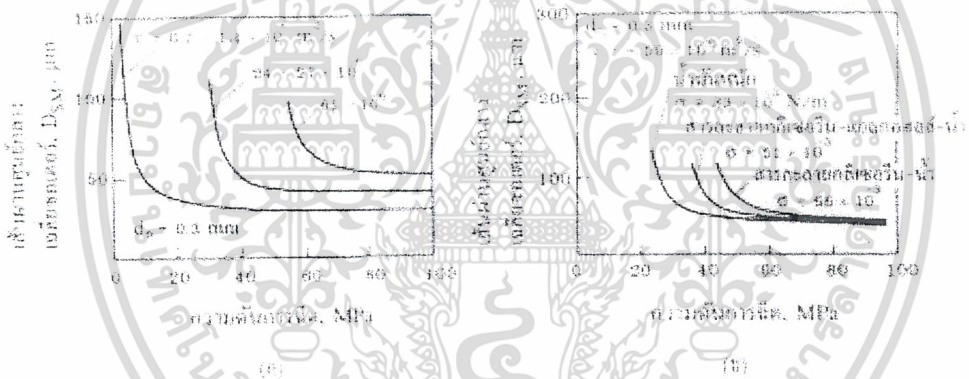
ฮิโรยาสึ และ คาโคตะ (Hiroyasu and Kadota) ได้ให้สมการของ  $D_{SM}$  (เป็นไมโครเมตร) สำหรับสมบัติของน้ำมันดีเซลทั่วไปเป็น

$$D_{SM} = A(\Delta p)^{-0.135} \rho_a^{0.121} V_r^{0.131}$$

โดย  $\Delta p$  เป็นค่าเฉลี่ยของความดันตกผ่านหัวฉีด (MPa),  $\rho_a$  เป็นความหนาแน่นของอากาศ ( $\text{kg/m}^3$ ) และ  $V_r$  เป็นปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าไปต่อวัฏจักรต่อกระบอกสูบ ( $\text{mm}^3$ )  $A$  เป็นค่าคงตัว ซึ่งเท่ากับ 25.1 สำหรับหัวฉีดแบบเดือย, 23.9 สำหรับหัวฉีดแบบรู (hole nozzle) และ 22.4 สำหรับหัวฉีดแบบเดือยยาว (throttling pintle nozzle) นอกจากนี้ ยังได้มีการศึกษาผลอื่นๆ ที่มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดด้วย โดยรูปที่ 4.42 แสดงผลของความดันการฉีดเชื้อเพลิงกับรูปร่างและขนาดของรูหัวฉีดที่มีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยด และรูปที่ 4.43 แสดงผลของความหนืดของของเหลวและความตึงผิวของของเหลวที่มีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดที่เป็นฟังก์ชันของความดันการฉีด



รูปที่ 4.42 ผลของความดันการฉีดเชื้อเพลิงกับรูปร่างและขนาดของหัวฉีดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยขอเตอร์ (ก) ผลของอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ( $L/d_n$ ) ของหัวฉีดกับความดันการฉีด (ข) ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีดกับความดันการฉีด



รูปที่ 4.43 ผลของ (ก) ความหนืดของของเหลว (V) และ (ข) ความตึงผิวของของเหลว (O) ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยขอเตอร์ที่เป็นฟังก์ชันของความดันการฉีด สภาวะอากาศมีความดัน 3 MPa และอุณหภูมิเท่ากับภายนอก

4.10.4 การระเหยของสเปรย์เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปแล้วแตกเป็นละอองฝอยที่ใกล้กับทางออกของหัวฉีดที่เกิดเป็นสเปรย์ขึ้นนั้นจะต้องระเหยก่อนที่จะผสมกับอากาศและเผาไหม้ จากการศึกษาอัตราการระเหยของสเปรย์เชื้อเพลิงโดยใช้แบบจำลองต่างๆพบว่าภายใต้สภาวะการทำงานปกติของเครื่องยนต์ดีเซล 70 % ถึง 95% ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปจะอยู่สถานะเป็นไอที่เริ่มต้นของการเผาไหม้ และการระเหยมากกว่า 90% จะสมบูรณ์เวลาหลัง 1 ms แต่อย่างไรก็ตาม มีเพียง 10 % ถึง 35% ของเชื้อเพลิงที่กลายเป็นไอได้ถูกผสมให้อยู่ภายในขีดจำกัดของการเผาไหม้เท่านั้น ในเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงอัตราเร็วเครื่องยนต์ปานกลางทั่วไป ตัวนั้นการเผาไหม้จึงจำกัดด้วยการผสมมากกว่าการระเหย แต่ภายใต้การติดเครื่องยนต์ในขณะเย็นการระเหยก็จะเป็นข้อจำกัดที่สำคัญ

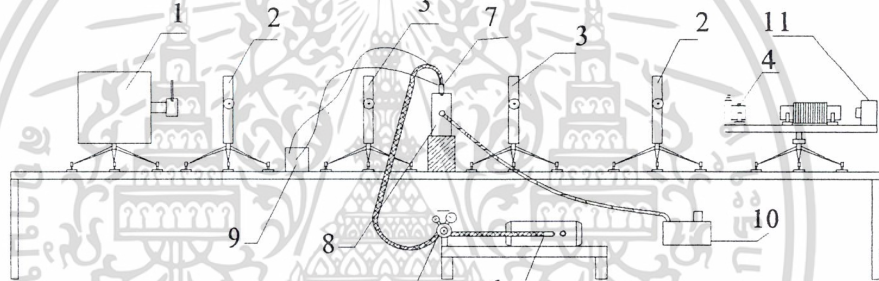
## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

**การทดลองเรื่อง** การศึกษาการกระจายตัวของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆจากหัวฉีด โดยวิธีชูรีเรนน์  
Visualization of fuel spray from injector by Schlieren Method

**5.1 วัตถุประสงค์** สามารถทราบถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมกระจายตัวของเชื้อเพลิงจากหัวฉีด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆเกิดขึ้น

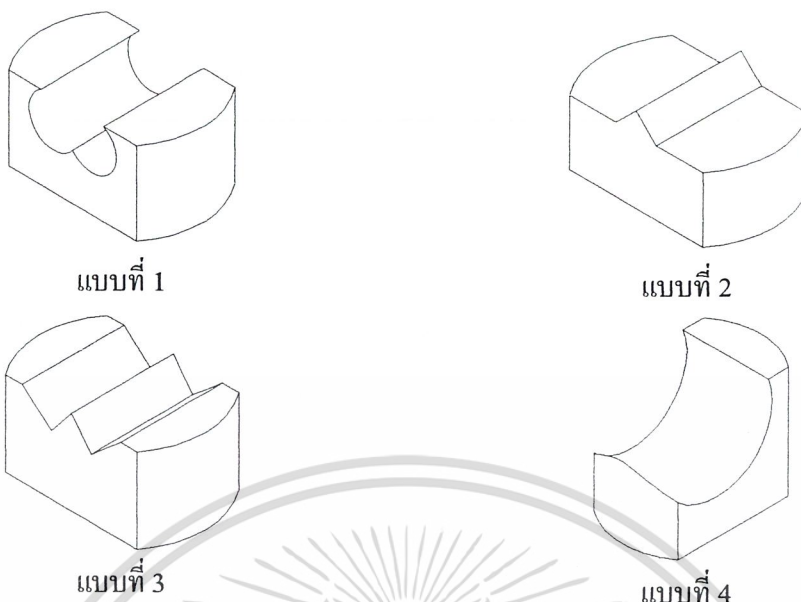
**5.2 อุปกรณ์การทดลอง**



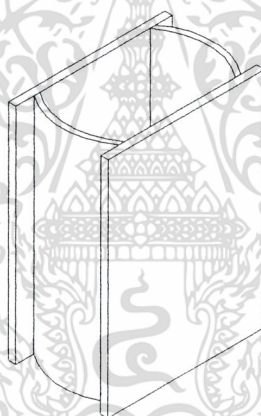
- |                       |   |
|-----------------------|---|
| 1) แหล่งกำเนิดแสง     | 7) หัวฉีด   |
| 2) กระจกเว้า          | 8) ห้องเผาไหม้จำลอง                                   |
| 3) กระจกกราบ          | 9) Micro Controller และวงจรหรับควบคุมการฉีดและถ่ายภาพ |
| 4) ชุด Knife edge     | 10) Vacuum Pump                                       |
| 5) Pressure Regulator | 11) กล้องถ่ายภาพ                                      |
| 6) ถังแก๊สธรรมชาติ    |   |

รูปที่ 5.1 อุปกรณ์การทดลอง

\*\*\*รูปทั้งหมดสามารถดูได้ในภาคผนวก\*\*\*



รูปที่ 5.2 แสดงแบบลูกสูบทั้ง 4 แบบที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.3 แสดงภาพของห้องเผาไหม้จำลอง

### 5.3 หลักการทำงานและวิธีการทดลอง

#### 5.3.1 หลักการทำงานของระบบชุดทดลอง

เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆของชุดทดลอง Schlieren Method ตามทฤษฎีในภาคผนวกและอุปกรณ์ต่างๆตามรูปที่ 5.1 เรียบร้อยแล้ว จะเห็นว่าแสงมีแสงผ่านห้องเผาไหม้จำลองและชุดมิดตัดแสง( Knife edge )เข้าสู่กล้องถ่ายภาพ ซึ่งการที่ภาพจะมีความคมชัดมากน้อยขนาดไหนนั้นขึ้นอยู่กับ การปรับชุดมิดตัดแสงและการวางตำแหน่งของชุดมิดตัดแสงให้ใกล้เคียงกับจุดโฟกัสที่สุด

จากนั้นเมื่อตั้งชุดทดลองเสร็จแล้วจะเป็นการสั่งงานควบคุมจาก Controller ซึ่งใช้ภาษาแอสแซมบลีในการควบคุม( ภาคผนวก) การสั่งงานจะมีการป้อนเวลาเข้าไป 2 ค่า คือ

- 1) **ค่าเวลาการหน่วงกล้องให้ทำงานก่อนการฉีดเป็นเวลาเท่าไร** เนื่องจากกล้องที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้นั้นมีความเร็วชัตเตอร์ที่ไม่เพียงพอต่อการทำงานของหัวฉีด ดังนั้นจึงต้องสั่งการให้กล้องทำงานก่อนจากนั้นจึงค่อยสั่งให้หัวฉีดทำงาน ซึ่งค่าเวลาเริ่มต้น( จุดที่หัวฉีดเริ่มฉีด )ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ 280 ms
- 2) **ค่าเวลาการทำงานของหัวฉีด** คือช่วงเวลาที่หัวฉีดทำการฉีดนั่นเอง สัญญาณที่ออกจาก Controller จะผ่านออกมายังชุดวงจรควบคุม(ภาคผนวก) โดยสวิทช์มอสเฟต 2 ตัวในชุดวงจรจะทำการส่งสัญญาณออกไป 2 ส่วน ส่วนแรกส่งสัญญาณเข้าสู่กล้องเพื่อถ่ายภาพ ส่วนที่ 2 ส่งสัญญาณไปยังหัวฉีด ซึ่งภาพที่ได้จะเป็นเวลาหลังการฉีดเท่าไรก็ขึ้นอยู่กับการป้อนโปรแกรมในตอนแรกนั่นเอง

### 5.3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

- 1) ผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันการฉีด จะกำหนดให้
  - ความดันของห้องเผาไหม้คงที่เท่ากับความดันบรรยากาศ
  - ความดันในการฉีดเชื้อเพลิงใช้ในการทดลอง 3 ค่า คือ 0.5, 1.5, และ 2.5 bar
  - ช่วงเวลาการฉีดเท่ากับ 50 ms
- 2) ผลจากการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในห้องเผาไหม้
  - ความดันการฉีดคงที่เท่ากับ 2.5 bar
  - ความดันของห้องเผาไหม้ที่ใช้ในการทดลองคือ 1.0, และ 2.0 bar
  - ช่วงเวลาการฉีดเท่ากับ 50 ms
- 3) ผลจากลักษณะของห้องเผาไหม้และลูกสูบที่เปลี่ยนแปลง
  - ทำการทดสอบกับลูกสูบทั้ง 4 แบบตามที่กำหนด
  - ความดันการฉีดคงที่เท่ากับ 2.5 bar
  - ความดันของห้องเผาไหม้เท่ากับ 2.0 bar
  - ช่วงเวลาการฉีดเท่ากับ 50 ms

### 5.3.3 วิธีการทดลอง

- 1) จัดตั้งอุปกรณ์การทดลองตามรูปที่ 5.1
- 2) เปิดแหล่งกำเนิดแสงของชุดทดลอง
- 3) ปรับความดันในการฉีดตามที่ต้องการ โดยใช้ Pressure Regulator(ในกรณีที่ทำกรทดสอบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความดันการฉีดจะกำหนดความดันห้องเผาไหม้ให้คงที่ ซึ่งที่นี้กำหนดให้เท่ากับความดันบรรยากาศ)
- 4) ปรับความดันในห้องเผาไหม้ตามที่ต้องการ โดยใช้แก๊สไนโตรเจนผ่านวาล์วควบคุมความดัน(ในกรณีที่ทำกรทดสอบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความดันของห้องเผาไหม้จะกำหนดความดันในการฉีดให้คงที่ ซึ่งที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 2.5 bar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ทำการสั่งงานระบบจาก Micro Controller ซึ่งได้ทำการป้อนโปรแกรมการทำงานไว้เรียบร้อยแล้ว ซึ่งขั้นตอนนี้หัวฉีดจะทำการฉีดตามช่วงเวลาที่ย้อนไว้ในโปรแกรมและกล้องจะถ่ายที่เวลาหลังการฉีดตามที่ตั้งไว้เช่นกัน

6) เปิด Vacuum Pump เพื่อดูดแก๊สภายในห้องเผาไหม้จากจากนั้นทำการทดลองซ้ำในข้อ 4.3 – 4.5 โดยสั่งงานที่ช่วงการฉีดเท่าเดิมแต่เปลี่ยนค่าเวลาถ่ายภาพหลังการฉีด ทำซ้ำไปจนได้ภาพหลังการฉีดที่เวลาต่างๆตามต้องการ

7) เมื่อทำการถ่ายภาพได้ที่เวลาต่างๆตามต้องการแล้วให้เปลี่ยนค่าความดันในการฉีดและความดันภายในห้องเผาไหม้ แล้วทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนด้านบน(ช่วงเวลาในการฉีดและการถ่ายภาพหลังการฉีดเท่าเดิม)

8) เปลี่ยนรูปแบบของห้องเผาไหม้ โดยทำการเพิ่มลูกสูบจำลองตามที่ออกแบบไว้เข้าไปจากนั้นทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนด้านบน

### 5.3.4 ผลการทดลอง

#### ผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันการฉีด( ช่วงเวลาการฉีด 50 ms )

- การฉีดที่ความดันการฉีด 0.5 bar, ความดันห้องเผาไหม้เท่ากับความดันบรรยากาศ, รูปที่ 5.4
- การฉีดที่ความดันการฉีด 1.5 bar, ความดันห้องเผาไหม้เท่ากับความดันบรรยากาศ, รูปที่ 5.5
- การฉีดที่ความดันการฉีด 2.5 bar, ความดันห้องเผาไหม้เท่ากับความดันบรรยากาศ, รูปที่ 5.6

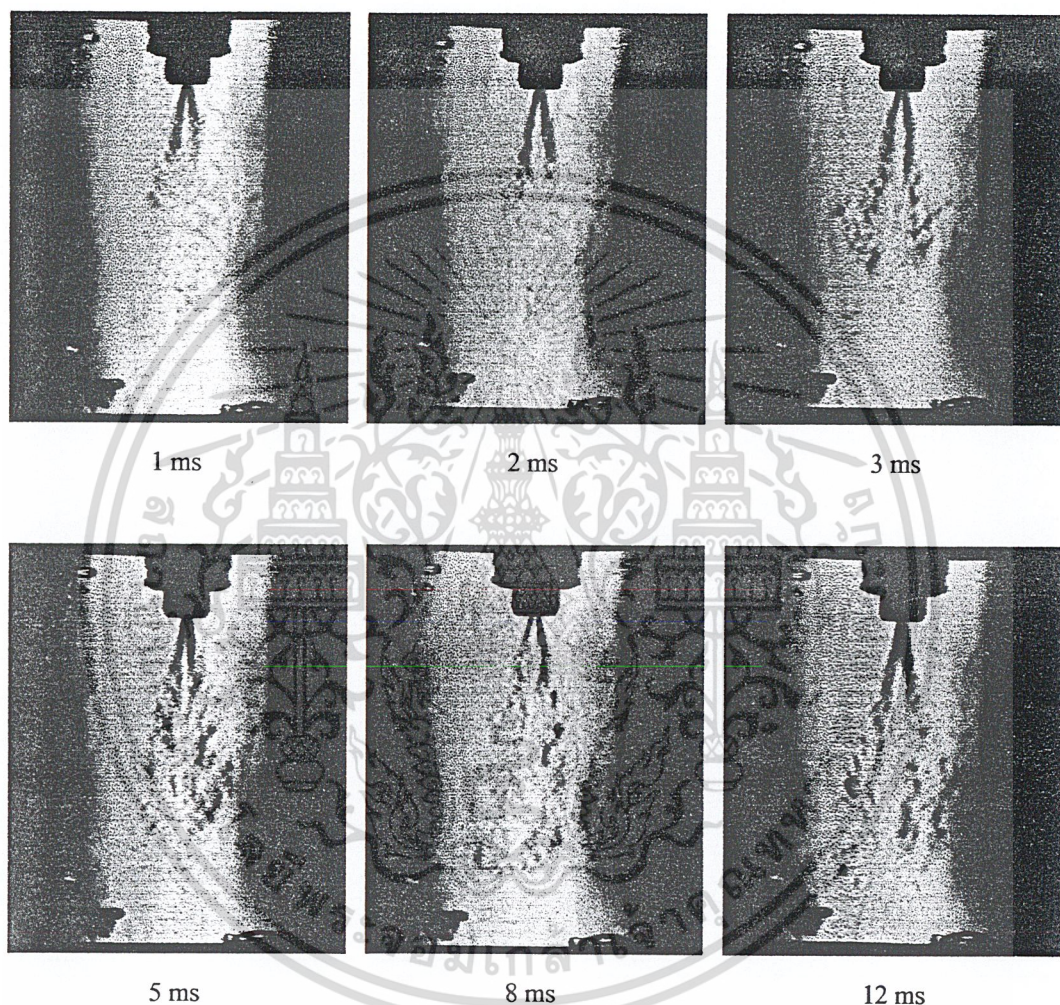
#### ผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันห้องเผาไหม้( ช่วงเวลาการฉีด 50 ms )

- ความดันห้องเผาไหม้เท่ากับ 1.0 bar, ความดันการฉีดคงที่เท่ากับ 2.5 bar, รูปที่ 5.7
- ความดันห้องเผาไหม้เท่ากับ 2.0 bar, ความดันการฉีดคงที่เท่ากับ 2.5 bar, รูปที่ 5.8

#### ลักษณะการกระจายตัวของเชื้อเพลิงบนลูกสูบแบบต่างๆ

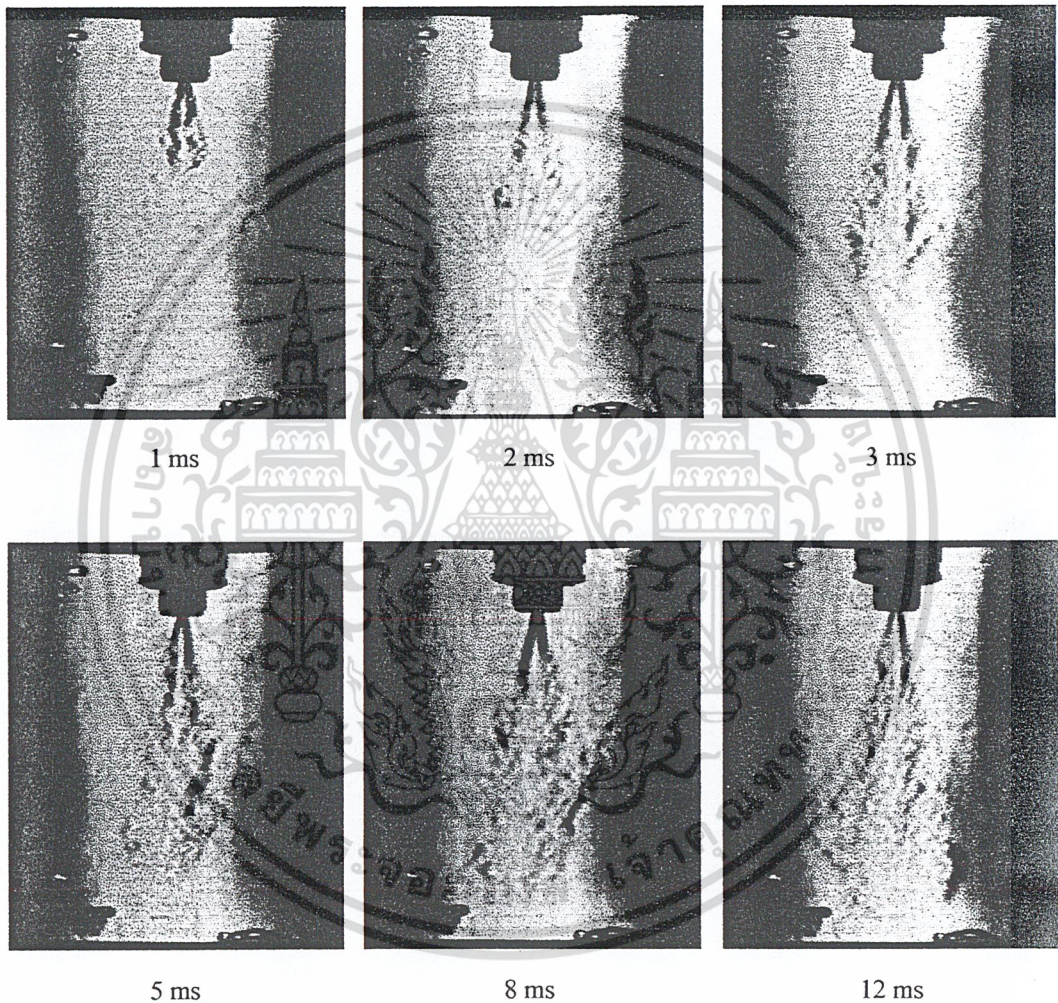
- ผลจากลูกสูบแบบที่ 1, รูปที่ 5.9
- ผลจากลูกสูบแบบที่ 2, รูปที่ 5.10
- ผลจากลูกสูบแบบที่ 3, รูปที่ 5.11
- ผลจากลูกสูบแบบที่ 4, รูปที่ 5.12

### ผลการทดลองจากการเปลี่ยนแปลงความดันการฉีด



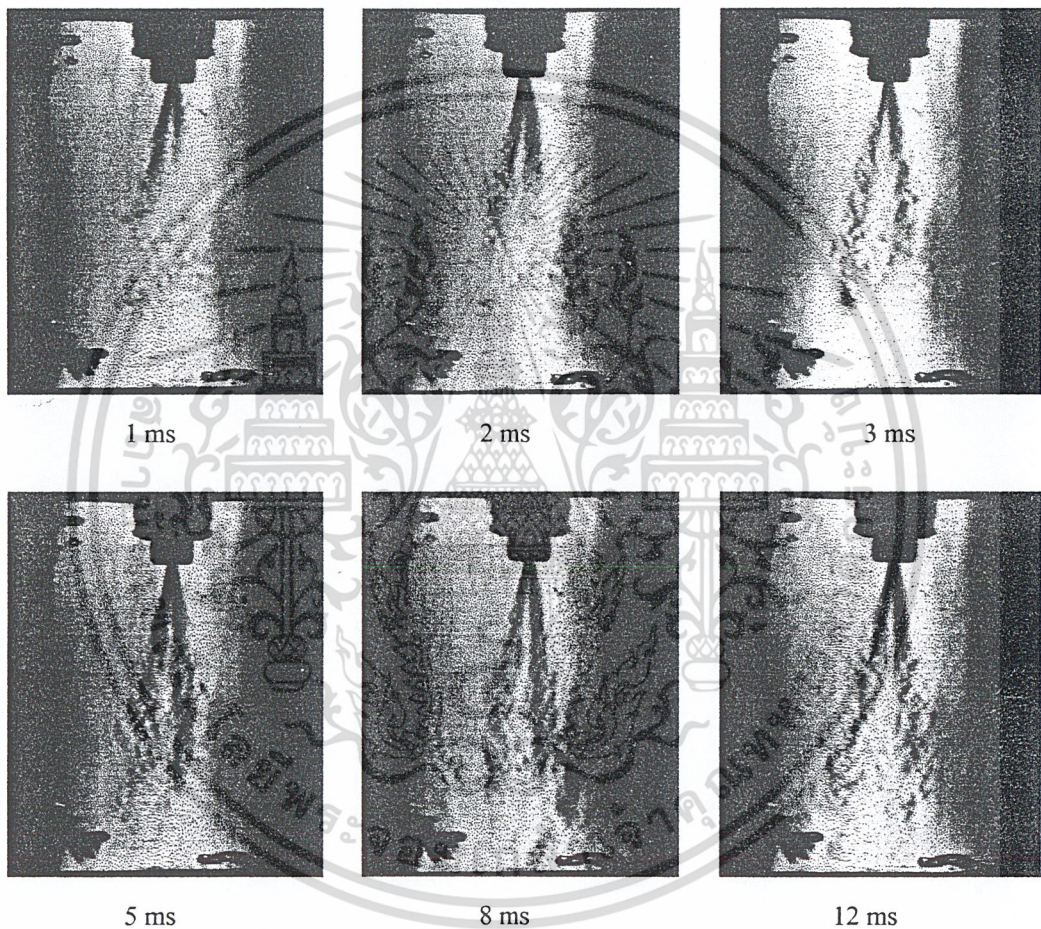
รูปที่ 5.4 ภาพถ่ายภาพสเปรย์ของแก๊ส CNG ที่เวลาหลังการฉีด 1,2,3,5,8, และ 12 ms, ความดันการฉีดเท่ากับ 0.5 bar โดยความดันห้องเผาไหม้เท่ากับความดันบรรยากาศและเวลาในการฉีดคือ 50 ms

ผลการทดลองจากการเปลี่ยนแปลงความดันการฉีด



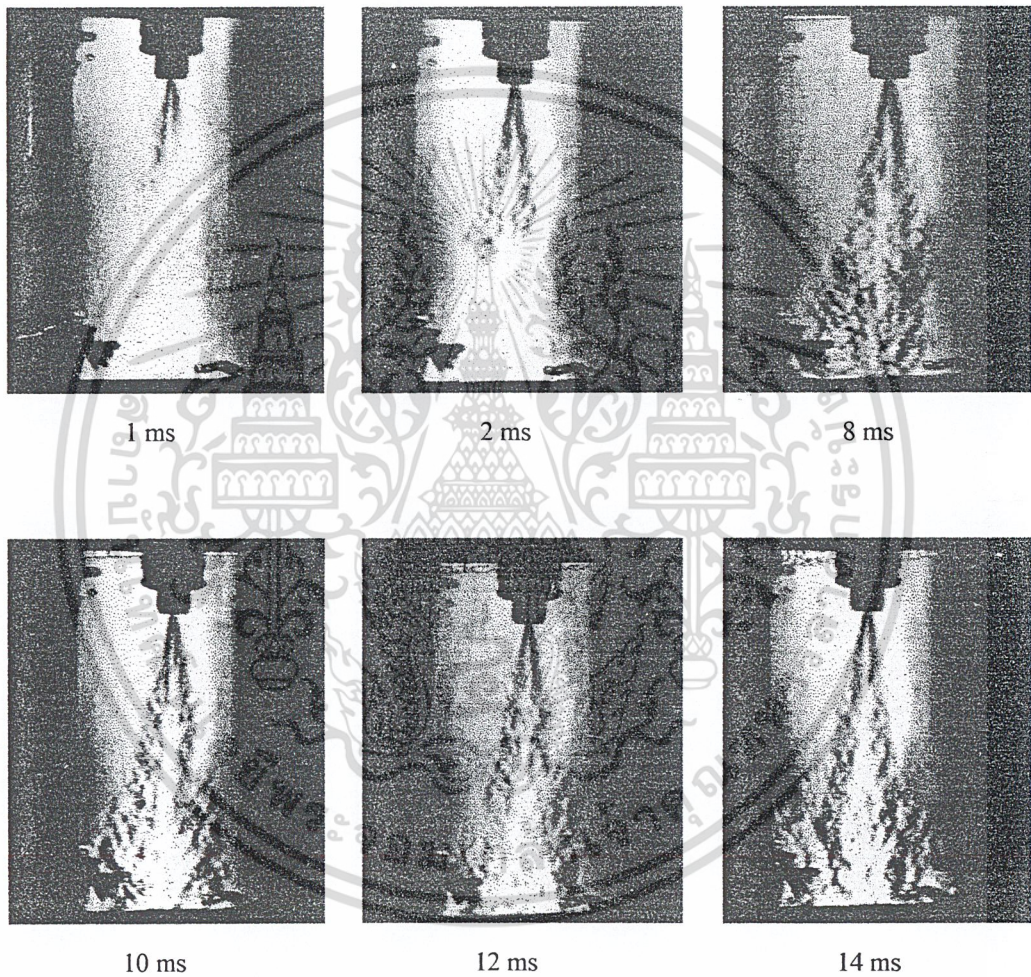
รูปที่ 5.5 ภาพถ่ายการสเปรย์ของแก๊ส CNG ที่เวลาหลังการฉีด 1,2,3,5,8, และ 12 ms, ความดันการฉีดเท่ากับ 1.5 bar โดยความดันห้องเผาไหม้เท่ากับความดันบรรยากาศและเวลาในการฉีดคือ 50 ms

### ผลการทดลองจากการเปลี่ยนแปลงความดันการฉีด



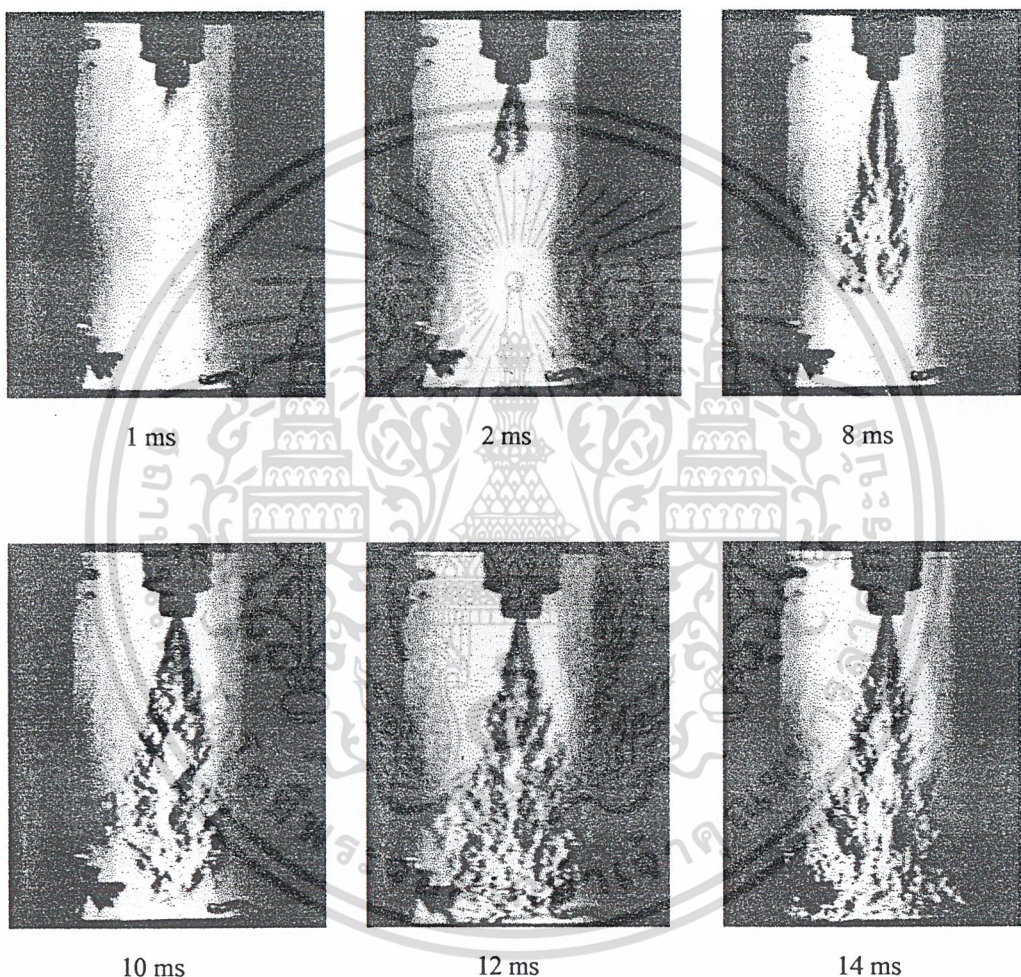
รูปที่ 5.6 ภาพถ่ายการสเปรย์ของแก๊ส CNG ที่เวลาหลังการฉีด 1,2,3,5,8, และ 12 ms, ความดันการฉีดเท่ากับ 2.5 bar โดยความดันห้องเผาไหม้เท่ากับความดันบรรยากาศและเวลาในการฉีดคือ 50 ms

### ผลการทดลองจากการเปลี่ยนแปลงความดันห้องเผาไหม้



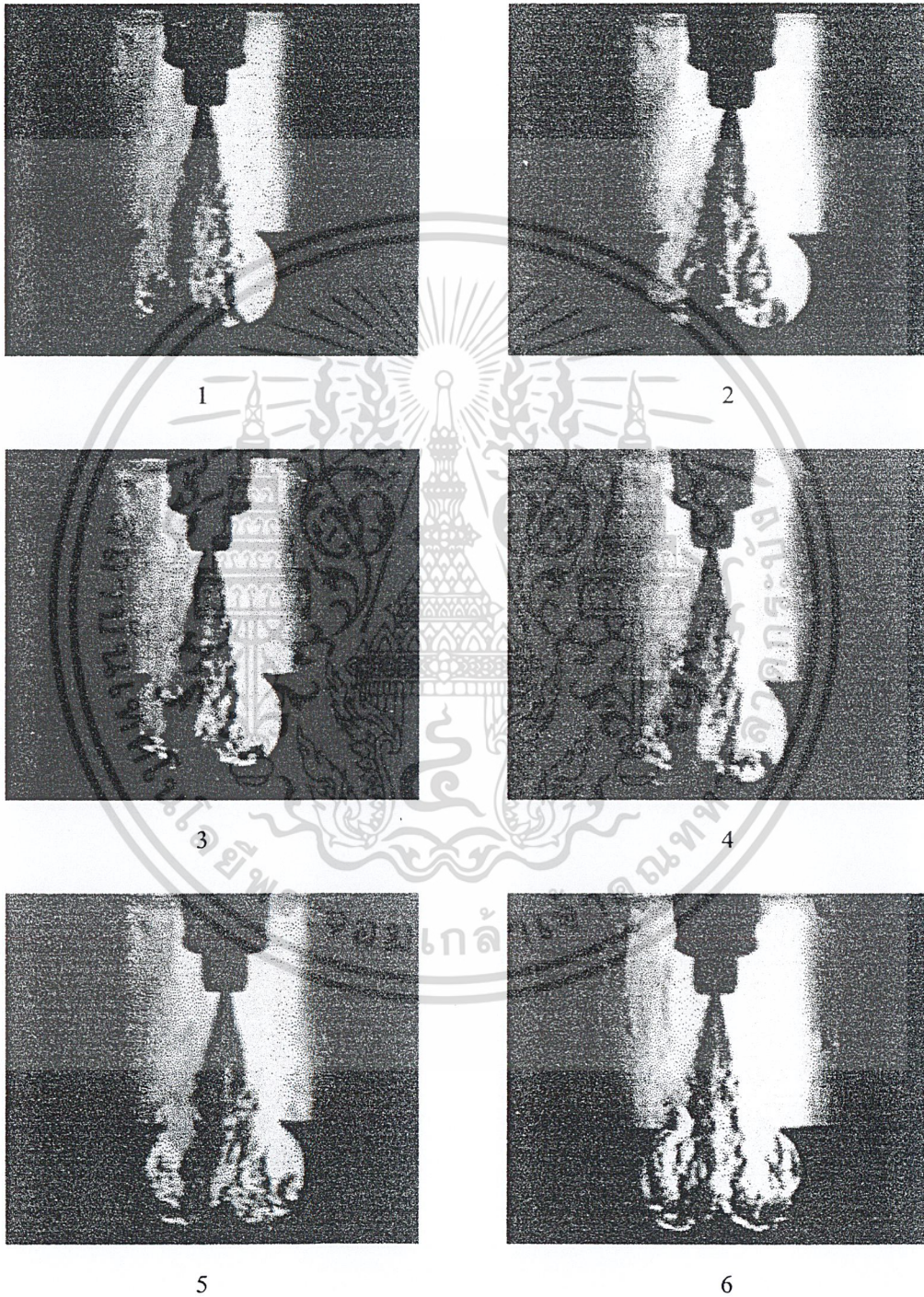
รูปที่ 5.7 ภาพถ่ายการสเปรย์ของแก๊ส CNG ที่เวลาหลังการฉีดเท่ากับ 1,2,8,10,12, และ 14 ms ความดันห้องเผาไหม้เท่ากับ 1.0 bar ความดันในการฉีดเท่ากับ 2.5 bar และเวลาในการฉีดคือ 50 ms

### ผลการทดลองจากการเปลี่ยนแปลงความดันห้องเผาไหม้



รูปที่ 5.8 ภาพถ่ายการสเปรย์ของแก๊ส CNG ที่เวลาหลังการฉีดเท่ากับ 1,2,8,10,12, และ 14 ms ความดันห้องเผาไหม้เท่ากับ 2.0 bar ความดันในการฉีดเท่ากับ 2.5 bar และเวลาในการฉีดคือ 50 ms

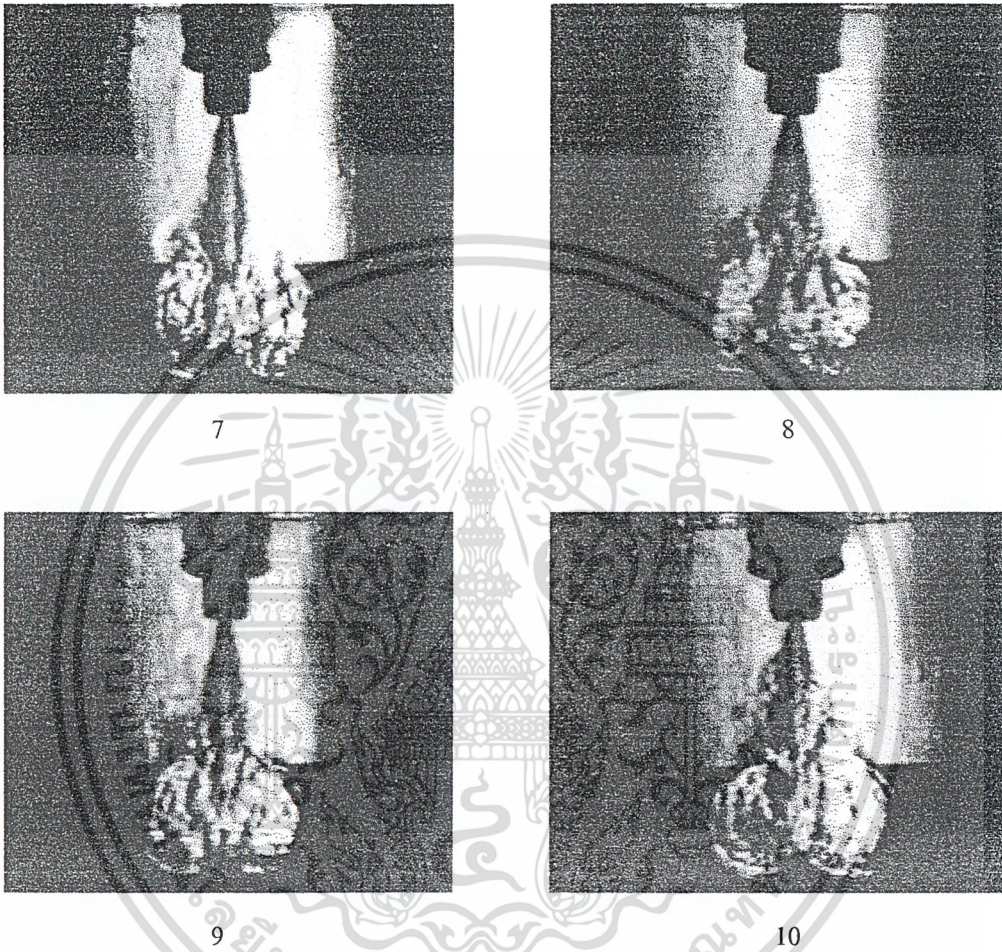
ผลของลักษณะการกระจายตัวของเชื้อเพลิงบนลูกสูบแบบต่างๆ



รูปที่ 5.9 ภาพลักษณะของสเปรย์ของก๊าซ CNG บนลูกสูบแบบที่ 1 ความดันการฉีดคือ 2.5 bar ความดันห้องเผาไหม้ 2 bar และเวลาในการฉีดคือ 50 ms

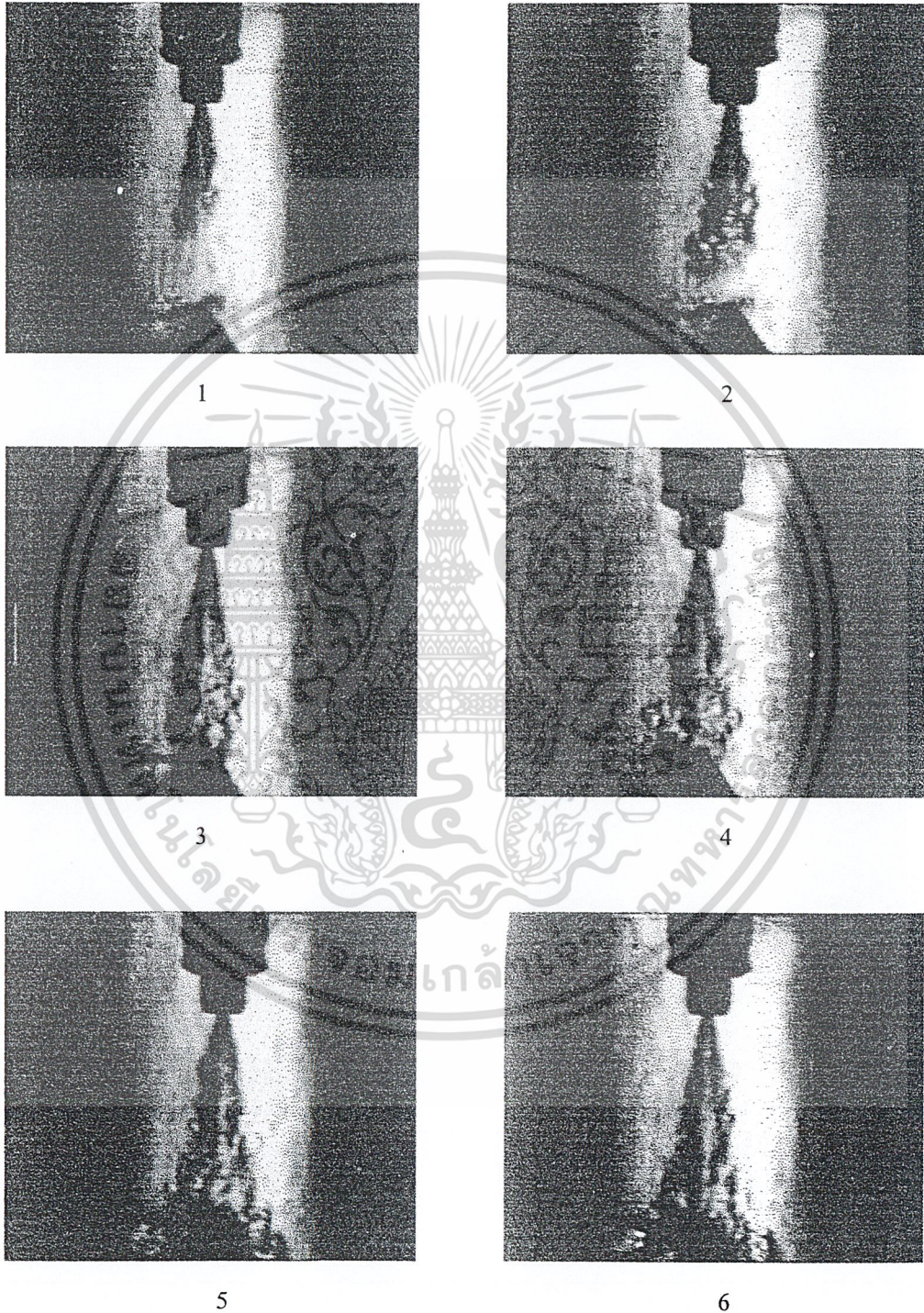
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของลักษณะการกระจายตัวของเชื้อเพลิงบนลูกสูบแบบต่างๆ



รูปที่ 5.9 (ต่อ) ภาพลักษณะของสเปรย์ของก๊าซ CNG บนลูกสูบแบบที่ 1 ความดันการฉีดฉีด 2.5 bar ความดันห้องเผาไหม้ 2 bar และเวลาในการฉีดคือ 50 ms

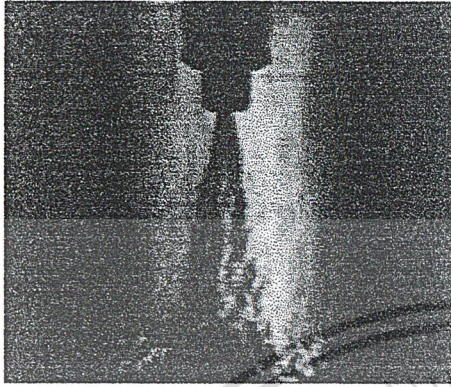
ผลของลักษณะการกระจายตัวของเชื้อเพลิงบนลูกสูบแบบต่างๆ



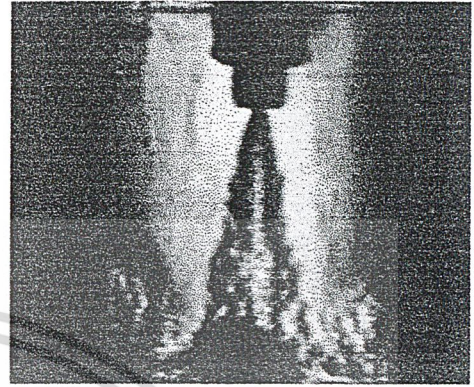
รูปที่ 5.10 ภาพลักษณะของสเปรย์ของก๊าซ CNG บนลูกสูบแบบที่ 2 ความดันการฉีดคือ 2.5 bar ความดันห้องเผาไหม้ 2 bar และเวลาในการฉีดคือ 50 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของลักษณะการกระจายตัวของเชื้อเพลิงบนลูกสูบแบบต่างๆ



7



8



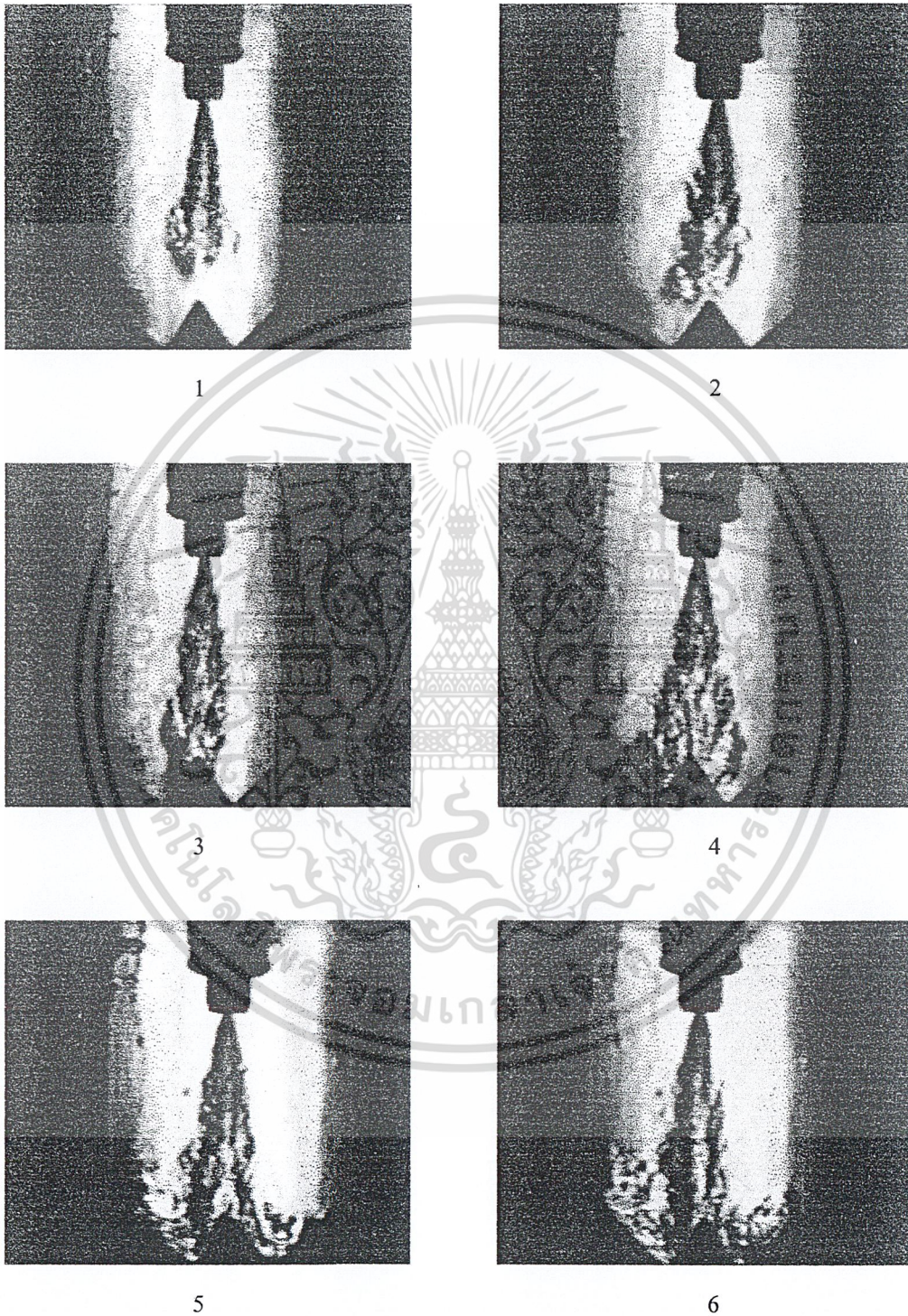
9



10

รูปที่ 5.10 (ต่อ) ภาพลักษณะของสเปรย์ของก๊าซ CNG บนลูกสูบแบบที่ 2 ความดันการฉีด 2.5 bar  
ความดันห้องเผาไหม้ 2.0 bar และเวลาในการฉีดคือ 50 ms

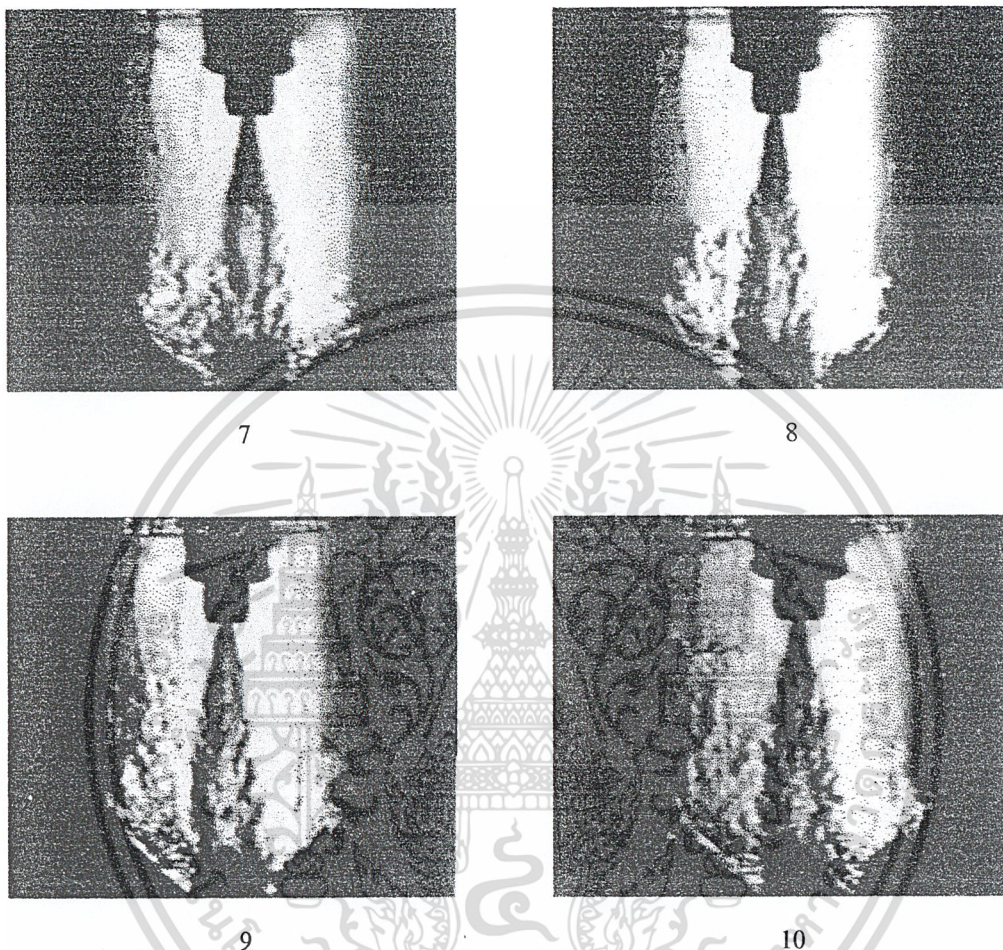
ผลของลักษณะการกระจายตัวของเชื้อเพลิงบนลูกสูบแบบต่างๆ



รูปที่ 5.11 ภาพลักษณะของสเปรย์ของก๊าซ CNG บนลูกสูบแบบที่ 3 ความดันการฉีดคือ 2.5 bar ความดันห้องเผาไหม้ 2.0 bar และเวลาในการฉีดคือ 50 ms

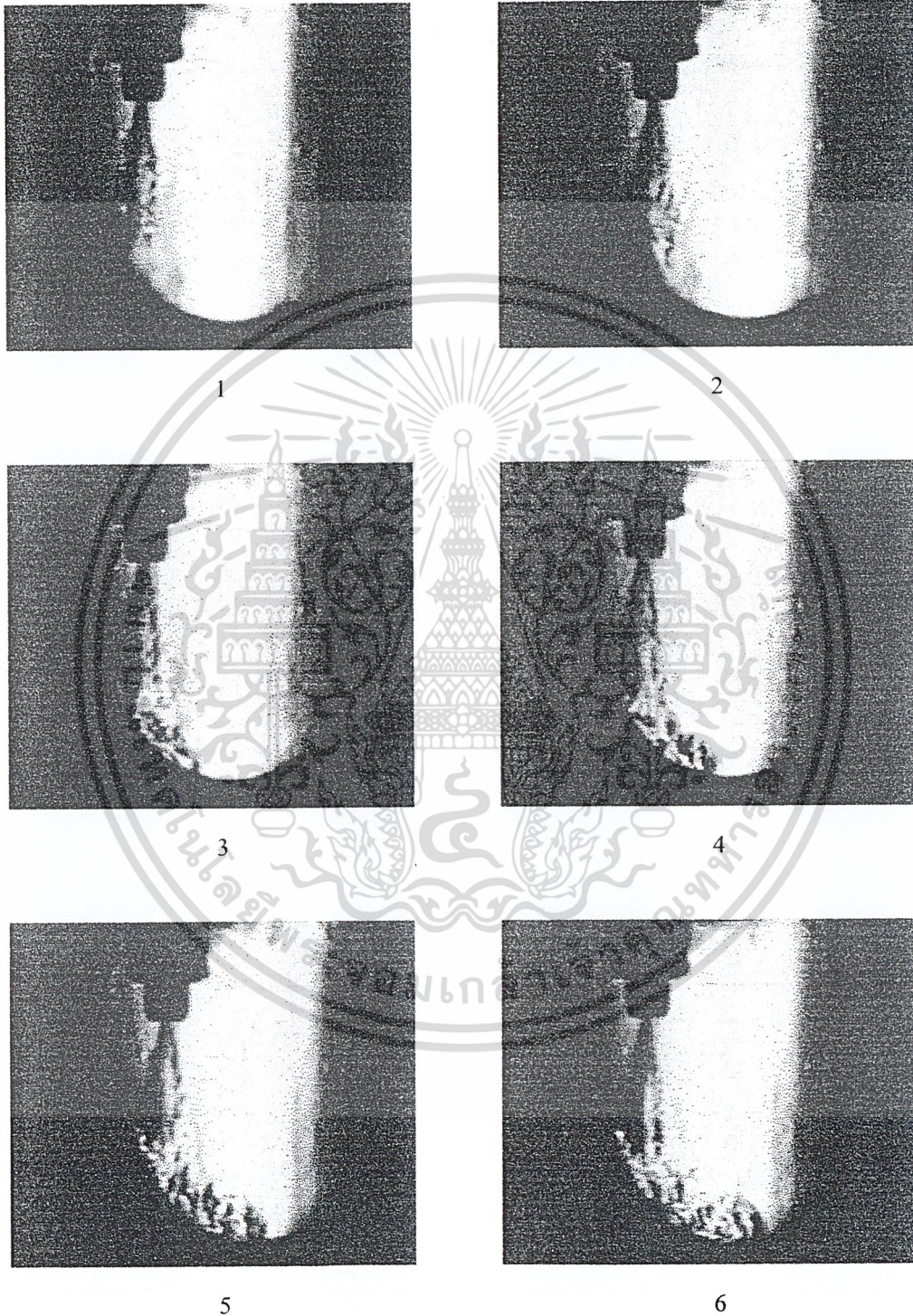
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของลักษณะการกระจายตัวของเชื้อเพลิงบนลูกสูบแบบต่างๆ



รูปที่ 5.11(ต่อ) ภาพลักษณะของสเปรย์ของก๊าซ CNG บนลูกสูบแบบที่ 3 ความดันการฉีดคือ 2.5 bar ความดันห้องเผาไหม้ 2.0 bar และเวลาในการฉีดคือ 50 ms

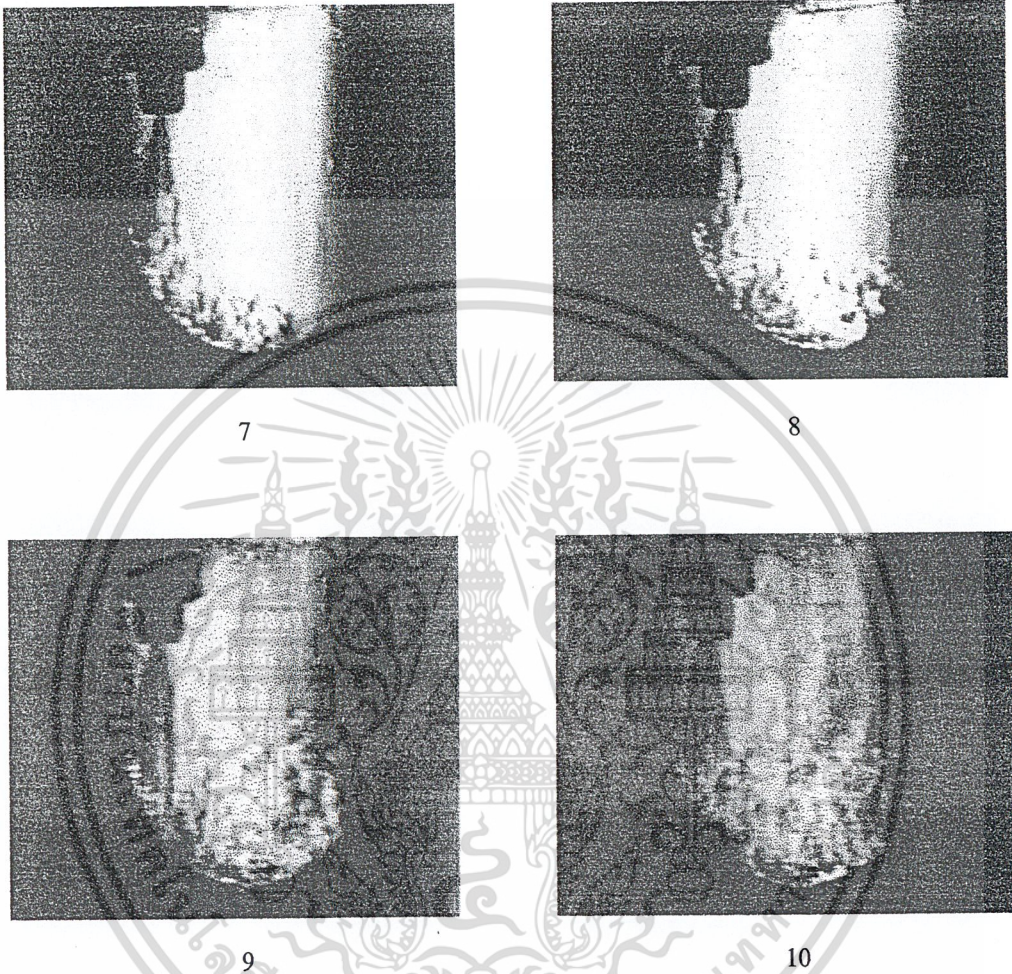
ผลของลักษณะการกระจายตัวของเชื้อเพลิงบนลูกสูบแบบต่างๆ



รูปที่ 5.12 ภาพลักษณะของสเปรย์ของก๊าซ CNG บนลูกสูบแบบที่ 4 ความดันการฉีดฉีด 2.5 bar ความดันห้องเผาไหม้ 2.0 bar และเวลาในการฉีดคือ 50 ms

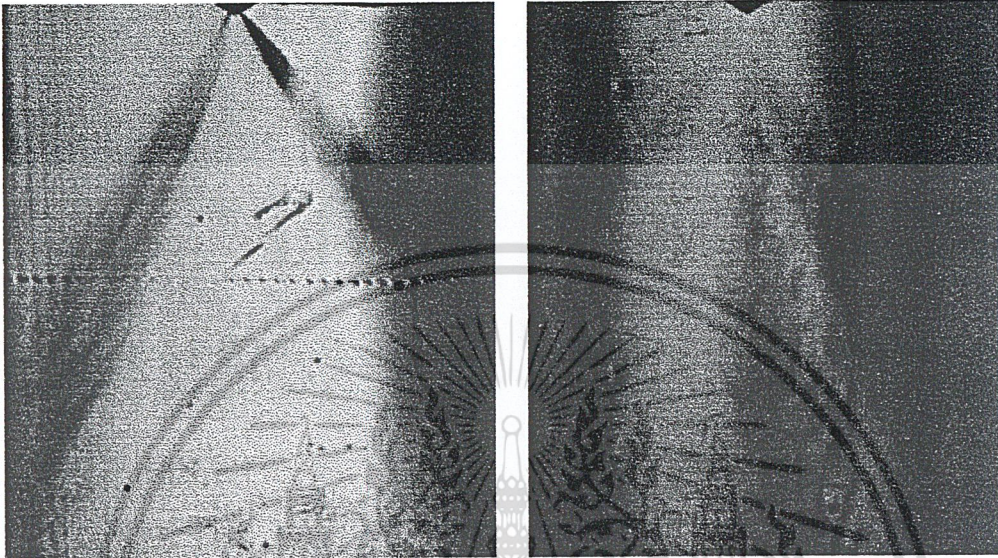
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของลักษณะการกระจายตัวของเชื้อเพลิงบนลูกสูบแบบต่างๆ

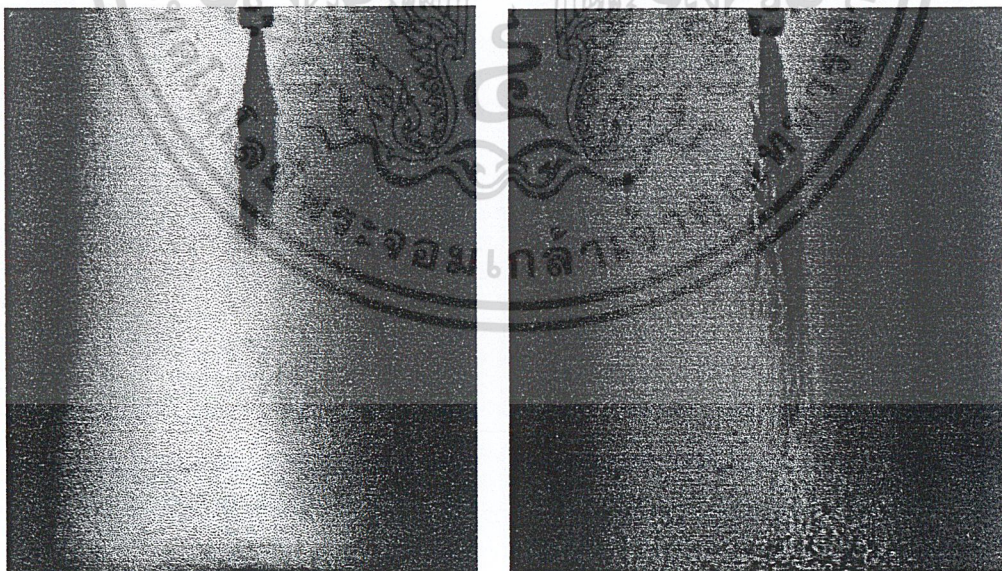


รูปที่ 5.12( ต่อ ) ภาพลักษณะของสเปรย์ของก๊าซ CNG บนลูกสูบแบบที่ 4 ความดันการฉีดคือ 2.5 bar ความดันห้องเผาไหม้ 2.0 bar และเวลาในการฉีดคือ 50 ms

## ผลการทดลองการสเปรย์ของเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ



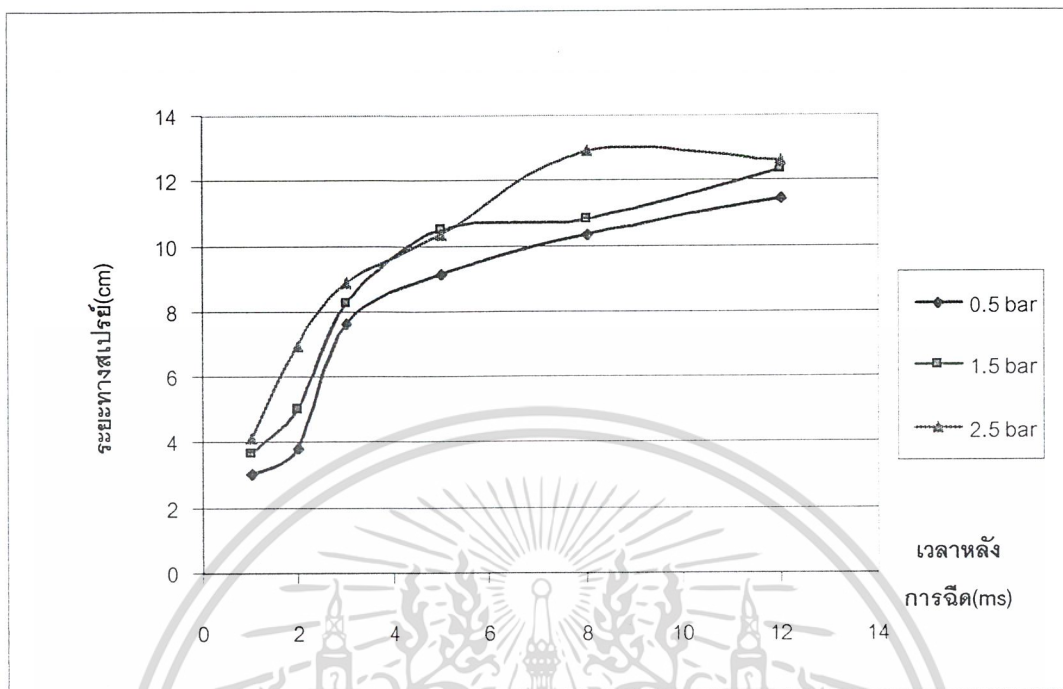
รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะสเปรย์ของเชื้อเพลิงดีเซล โดยหัวฉีดดีเซลที่มี 2 รู และ 3 รู



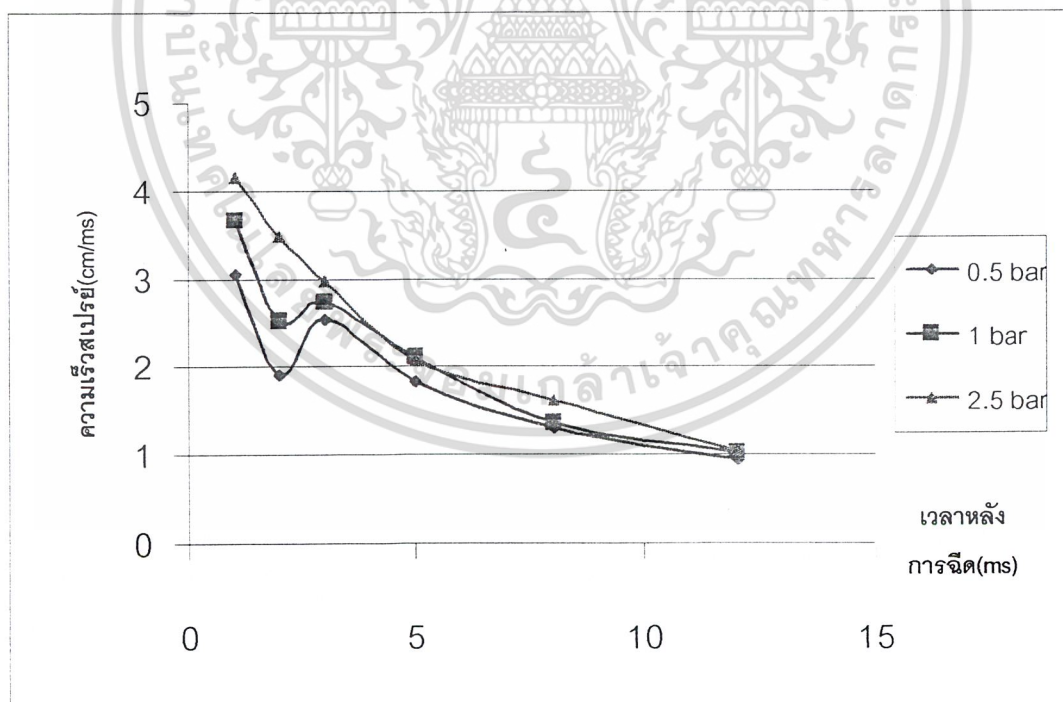
รูปที่ 5.14 แสดงลักษณะสเปรย์ของแอลกอฮอล์โดยใช้หัวฉีด GDI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟของการระยะทางและความเร็วสเปรย์ของแก๊ส CNG ที่ความดันหัวฉีดต่างๆ

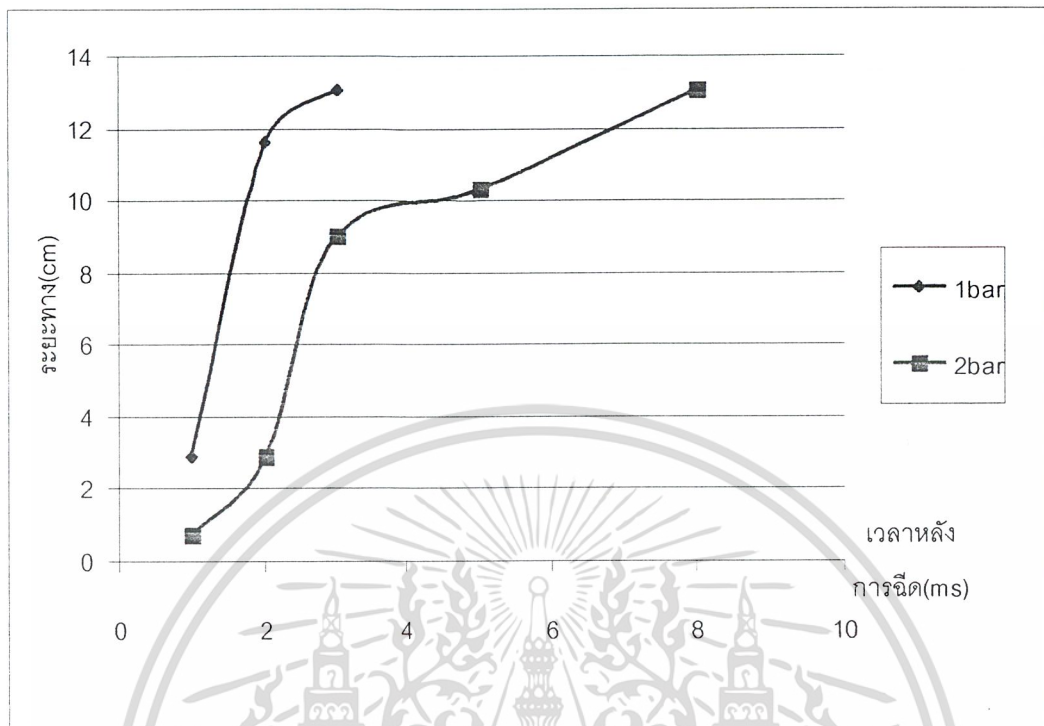


รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสเปรย์และเวลาในการฉีดที่ความดันหัวฉีดต่างๆ

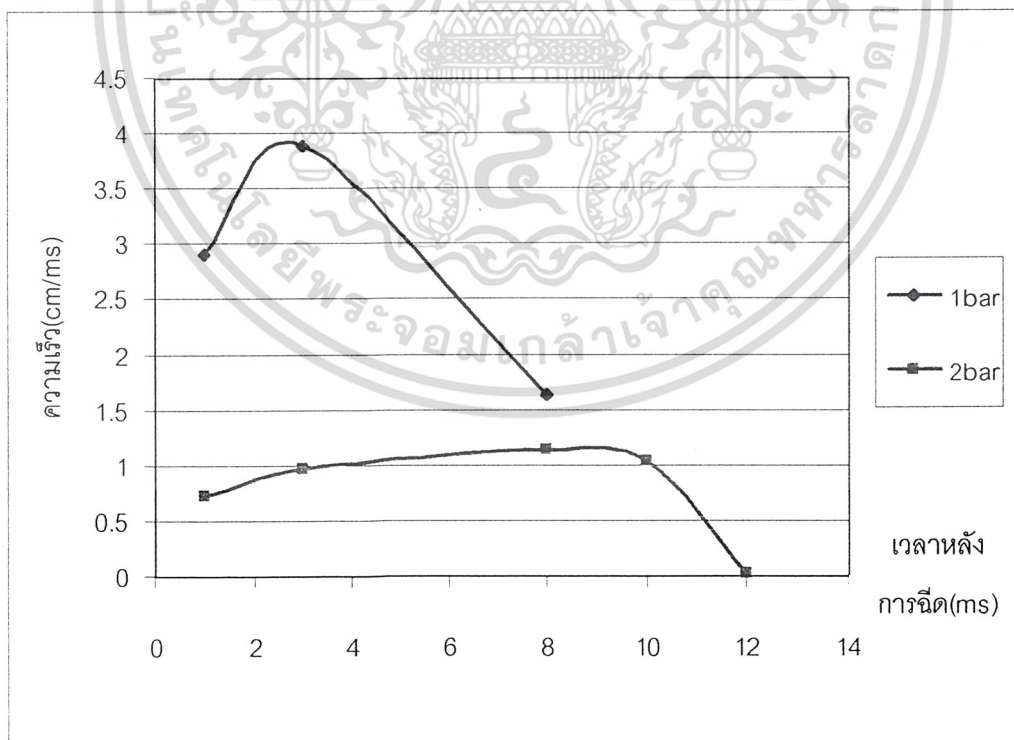


รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสเปรย์และเวลาในการฉีดที่ความดันหัวฉีดต่างๆ

กราฟของการระยะทางและความเร็วสเปรย์ของแก๊ส CNG ที่ความดันห้องเผาไหม้ต่างๆ



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางสเปรย์และเวลาในการฉีดที่ความดันห้องเผาไหม้ต่างๆ



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของสเปรย์และเวลาในการฉีดที่ความดันห้องเผาไหม้ต่างๆ

## บทที่ 6

### การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

#### 6.1) ผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันการฉีด

เมื่อพิจารณาจากรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและระยะเวลาการฉีดของสเปรย์ที่ความดันหัวฉีดต่างๆ จะพบว่าที่ระยะเวลาเดียวกันระยะทางของสเปรย์ที่พุ่งเข้าสู่ห้องเผาไหม้จะมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่ความดันในการฉีดมีค่าสูงกว่าสเปรย์สามารถเคลื่อนที่ได้ระยะทางมากกว่า และเมื่อพิจารณาจากรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะเวลาการฉีดของสเปรย์ที่ความดันหัวฉีดต่างๆ จะพบว่าความเร็วของปลายสเปรย์จะมีค่าแปรผันตามความดันของหัวฉีดเช่นกัน โดยที่เวลาเดียวกันการฉีดที่ความดันหัวฉีดสูง ความเร็วของสเปรย์จะมีค่ามากกว่าการฉีดที่ความดันหัวฉีดต่ำ จากนั้นเมื่อทำการพิจารณาความสัมพันธ์ของระยะทางและความเร็วจะพบว่า ความเร็วของสเปรย์จะมีค่าลดลงตามระยะทางห่างจากหัวฉีดอีกด้วย

#### 6.2) ผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันภายในห้องเผาไหม้

เมื่อพิจารณาจากรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและระยะเวลาการฉีดของสเปรย์ที่ความดันห้องเผาไหม้ต่างๆ จะพบว่าที่ระยะเวลาเดียวกันระยะทางของสเปรย์ที่พุ่งเข้าสู่ห้องเผาไหม้จะมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่ความดันในห้องเผาไหม้มีค่าสูงกว่าสเปรย์สามารถเคลื่อนที่ได้ระยะทางน้อยกว่าและเมื่อพิจารณาจากรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะเวลาการฉีดของสเปรย์ที่ความดันห้องเผาไหม้ต่างๆ จะพบว่าความเร็วของปลายสเปรย์จะมีค่าแปรผันตามความดันของหัวฉีดเช่นกัน โดยที่เวลาเดียวกันการฉีดที่ความดันห้องเผาไหม้สูงกว่าความเร็วของสเปรย์จะมีค่าน้อยกว่าการฉีดที่ความดันหัวฉีดต่ำ

#### 6.3) ผลของลักษณะการกระจายตัวบนลูกสูบชนิดต่างๆ

ลูกสูบแบบที่ 1 ลักษณะของสเปรย์เมื่อกระทบลูกสูบ สเปรย์จะถูกแบ่งให้ไหลเป็น 2 ส่วน โดยสเปรย์จะไหลไปตามผิวโค้งของลูกสูบและจะเกิดการหมุนวนขึ้นภายในช่องว่างของลูกสูบและจะมีบางส่วนไหลตามผิวโค้งขึ้นมาบริเวณด้านบนของห้องเผาไหม้

ลูกสูบแบบที่ 2 ลักษณะของสเปรย์เมื่อกระทบลูกสูบ สเปรย์จะถูกแบ่งให้ไหลเป็น 2 ส่วน จากนั้นสเปรย์จะไหลไปตามผิวของลูกสูบแล้วเกิดการพุ่งกระจายขึ้นสู่ด้านบนของห้องเผาไหม้โดยไม่เกิดการหมุนวนขึ้น

ลูกสูบแบบที่ 3 ลักษณะของสเปรย์เมื่อกระทบลูกสูบจะมีลักษณะคล้ายกับลูกสูบแบบที่ 2 แต่การพุ่งกระจายที่เกิดขึ้นจะเร็วและมากกว่า

ลูกสูบแบบที่ 4 ลักษณะของสเปรย์เมื่อกระทบลูกสูบ จะไหลไปตามผิวโค้งของลูกสูบแต่จะเกิดการพุ่งกระจายก่อนที่สเปรย์จะไปถึงบริเวณส่วนปลายของลูกสูบ

#### 6.4) สรุปผลการทดลอง

- 1) ความดันของแก๊สที่หัวฉีดจะมีผลต่อความเร็วของสเปรย์ คือ ที่ความดันหัวฉีดมากกว่าความเร็วของสเปรย์จะมีค่ามากกว่า เมื่อเทียบกับการสเปรย์ที่ความดันหัวฉีดต่ำกว่า
- 2) ความดันของห้องเผาไหม้จะมีผลต่อความเร็วของสเปรย์ คือ ที่ความดันห้องเผาไหม้มากกว่าความเร็วของสเปรย์จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการสเปรย์ที่ความดันห้องเผาไหม้ต่ำกว่า
- 3) ความเร็วของสเปรย์ที่มีความเร็วสูงกว่าจะสามารถผสมกับอากาศได้อย่างรวดเร็ว ทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้ดีกว่า

#### 6.5) วิจารณ์การทดลองและสรุปปัญหาสำหรับการพัฒนาต่อไป

จากการทดลองพบว่ารูปร่างของสเปรย์ไม่ค่อยมีความแน่นอนอนในการถ่ายภาพแต่ละครั้ง อันเนื่องมาจากความผิดพลาดและความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ ทำให้การทำงานแต่ละครั้งได้ผลออกมาไม่คงที่จึงต้องทำการถ่ายภาพหลายๆครั้งเพื่อหาผลเฉลี่ยที่ได้แล้วนำมาเขียนกราฟ

สำหรับการพัฒนาการถ่ายภาพของสเปรย์หัวฉีดควรจะใช้เครื่องมือที่มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพกว่านี้ รวมทั้งควรจะทำให้การถ่ายภาพที่ระยะห่างของเวลาของภาพละเอียดกว่านี้ซึ่งจะทำให้ได้ผลของความเร็วที่ถูกต้องและแม่นยำ





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อแนะนำของวิธีการถ่ายภาพแบบ Schlieren Method

### A.Optical System

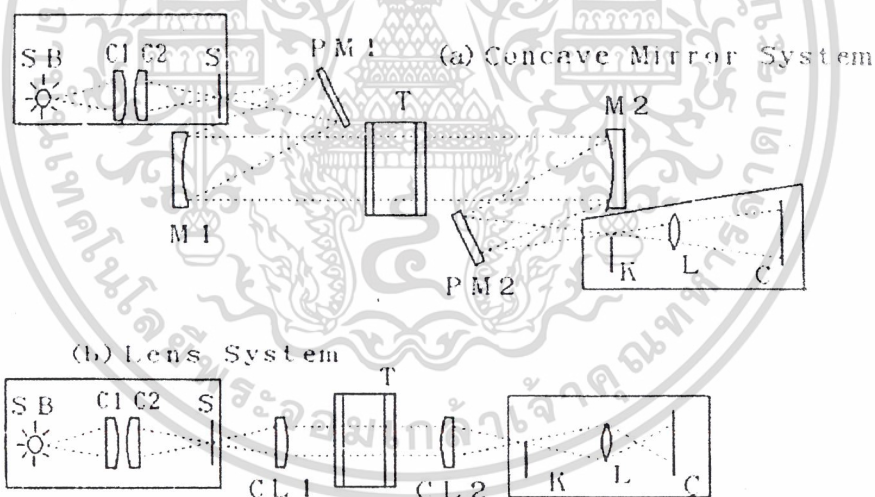
#### 1. Schlieren with Concave Mirror System

ระบบ optical จะไม่มีการเคลื่อนที่ของลำแสงที่ส่องผ่าน เป็นระบบที่มีราคาย่อมเยาและยังสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

The Schlieren with Concave Mirror System ถูกแสดงไว้ดังภาพที่ 1(a) The optical path ดังต่อไปนี้

- (1) ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงส่องผ่าน pin hole แล้วถ่างออก
- (2) แสงตกกระทบกระจกกราบ PM1และสะท้อนโดย PM1
- (3) แสงตกกระทบ กระจกเว้า M1
- (4) M1 เปลี่ยนแสงที่ถ่างออกให้เป็นแสงขนาน
- (5) แสงขนานส่องไปที่ กระจกเว้า M2 และเบนเข้าหากัน โดย M2
- (6) M2 รวมแสงและจะเกิดโฟกัส โดยกระจกกราบ PM2
- (7) วางตำแหน่งของ knife edge ที่จุดโฟกัส
- (8) จะเกิดภาพขึ้นบนฉาก C หลังจากผ่านเลนส์ L

สิ่งที่ต้องการศึกษาดูจะวางไว้ระหว่างตำแหน่ง M1 และ M2



SB : Light Source	C 1, C 2 : Condenser Lens	S : Slit (Pin Hole)
PM 1, PM 2 : Plane Mirror	M 1, M 2 : Concave Mirror	K : Knife Edge
L : Telephoto Lens	C : Camera or Screen	T : Test Section
CL 1, CL 2 : Collimator Lens		

ภาพที่ 1 Schlieren Arrangement

## 2. Schlieren with lens system

Schlieren with Lens System แสดงคิงภาพที่ 1 (b) สามารถอธิบายโดยย่อได้ดังนี้

- (1) ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงผ่าน pin hole และถ่างออก
- (2) Collimeter lens CL1 ทำให้แสงขนาน
- (3) Collimeter lens CL2 ทำให้แสงเบนเข้าหากัน

Test section ควรวางไว้ระหว่างตำแหน่ง CL1 และ CL2

## B. Base Plate for Installation

Schlieren system เป็นระบบที่มีความไวต่อแรงสั่นสะเทือน ฉะนั้นควรติดตั้งในที่ที่ปราศจากแรงสั่นสะเทือน อย่างไรก็ตามแรงสั่นสะเทือนจะไม่มีผลกระทบในกรณีของการถ่ายภาพโดยใช้กล้องที่มีความไวสูง

## C. Description of elements

### 1. แหล่งกำเนิดแสง (Light source) และ แหล่งกำเนิดพลังงาน (power source)

#### 1.1) Lamp house with two lamps

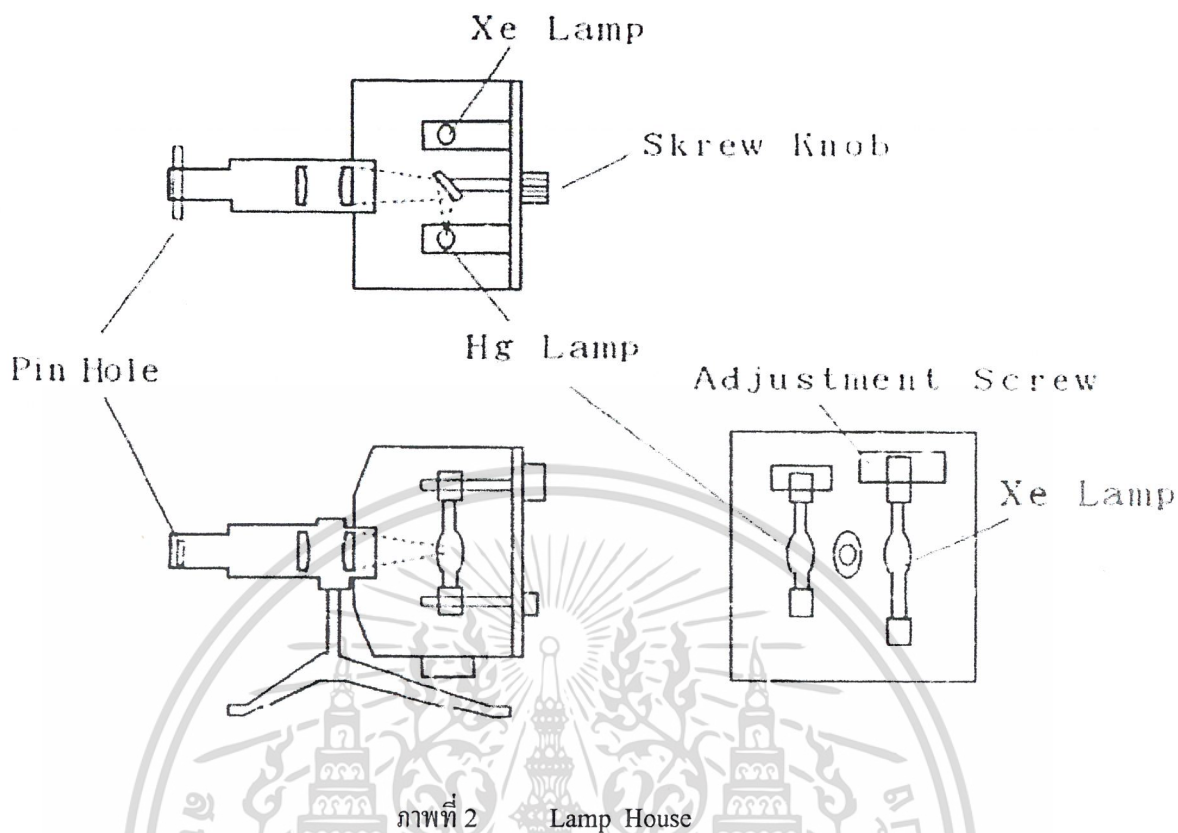
Lamp house จะมี หลอดไฟอยู่ 2 ชนิดคือ ชนิดแรกเป็นหลอดไฟซีนอน (Xe)300W อีกชนิดเป็นหลอดไฟความดันปรอทสูง (high pressure Hg lamp) ในกรณีที่ต้องการให้กระจกหันหน้าไปที่หลอดไฟทำได้โดยหมุนปุ่มซึ่งอยู่ด้านหลังกระจก ถ้าต้องการเลือกใช้หลอดไฟซีนอน ก็หมุนปุ่มไปที่ สัญลักษณ์ Xe แต่ถ้าเป็นหลอดไฟชนิด Hg ก็หมุนไปที่สัญลักษณ์ Hg แสงจาก lamp จะถูกสะท้อนโดยกระจกไปที่ condenser lens ตัวแรก จากนั้น condenser lens ตัวที่สองจะเป็นตัวรวมแสง จุดโฟกัสของเลนส์จะอยู่ที่ตำแหน่ง pin hole ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกันไป เช่น ถ้าต้องการให้ได้ลำแสงที่ขนานมากขึ้นก็ควรใช้ pin hole ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก

#### 1.2) Power source

แหล่งพลังงานแบ่งเป็น 2 แหล่ง แหล่งแรกคือ Xe lamp อีกแหล่งคือ Hg lamp ตัวconnector ก็จะไม่แตกต่างกัน เราสามารถเชื่อมแหล่งพลังงานกับ lamp house จากนั้นเปิดสวิตช์ ซึ่ง pilot lamp จะทำงาน ส่วน Xe (Hg) lamp จะทำงานหลังจากกดปุ่มstart Xe (Hg) lamp แล้ว เราจะสามารถเห็น light circle บนแผ่นกระดาษสีขาวที่วางไว้ข้างหน้า pin hole ซึ่งถ้าสังเกตเห็นความแตกต่างของความสว่างใน light circle แสดงว่าวาง pin hole ในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของ pin hole จนกระทั่งความแตกต่างของความสว่างหายไป

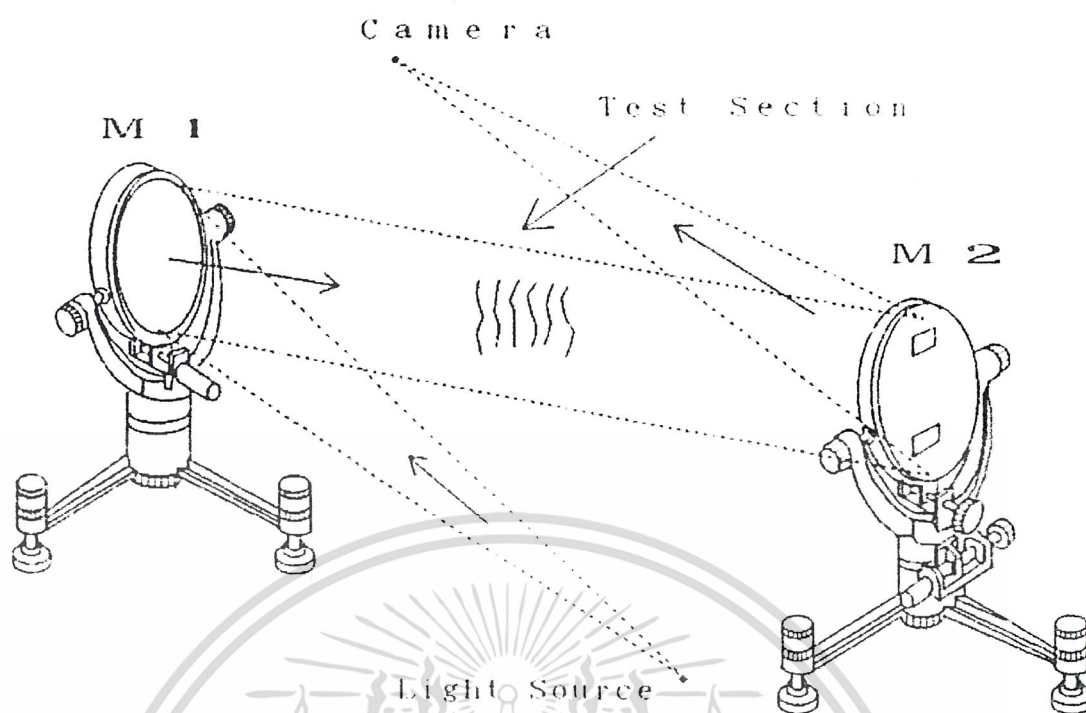
#### 1.3) การบำรุงรักษา

โดยเฉลี่ยอายุของ Hg lamp จะประมาณ 200 ชั่วโมง ส่วน Xe lamp จะประมาณ 1200 ชั่วโมง ฉะนั้นถ้าไฟไม่ติดขณะที่กดปุ่ม starter แสดงว่าเกิดจากอายุของ lamp ซึ่งสามารถเปลี่ยนได้ โดยการถอด back plate แล้วคลายปุ่มบน top plate ขณะที่ทำการเปลี่ยน ไม่ควรให้มือสัมผัสกระจก lamp การวาง lamp ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องสังเกตจากความสว่างที่ออกมาจาก pin hole ควรมีความแตกต่างน้อย การปรับ lamp ให้อยู่ในทิศขึ้น ลง ซ้าย ขวาสามารถทำได้โดยใช้ปุ่มที่ back plate



## 2. การปรับกระจกเว้า (Adjustment of Concave mirror)

วางกระจก M1 และ M2 ให้หันหน้าเข้าหากันจัดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงให้ทำมุม  $20^\circ$  กับจุดศูนย์กลางของ M1 ซึ่งจะทำให้จุดโฟกัสอยู่ที่ตำแหน่งของ pin hole พอดี เปิดแหล่งกำเนิดแสงให้แสงส่องไปยัง จุดศูนย์กลางของ M1 หมุนปุ่มปรับแสงจาก M1 ให้ไปกระทบ M2 ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่สว่างบน M2 ใหญ่กว่าหรือเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของ M2 แสดงว่าลำแสงไม่ขนาน ระยะระหว่าง M1 และ pin hole ของแหล่งกำเนิดแสงไม่ถูกต้อง เส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่สว่างบน M2 จะแตกต่างกันตามการเปลี่ยนแปลงของแหล่งกำเนิดแสงหรือ M1 แสงจะเป็นแสงขนานเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่สว่างมีขนาดเท่ากับ M2 ฉะนั้นจึงควรปรับ M1 และ M2 ให้มี เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน M2 จะรวมแสงและเกิดโฟกัส จากนั้นว่า knife edge ที่จุดโฟกัสเพื่อให้อุปกรณ์สามารถถ่ายภาพได้เหมาะสม เมื่อวางฉากขาวแทนที่ กล้องจะเห็นภาพสว่างเป็นหนึ่งเดียว ในกรณีที่ภาพไม่ชัด ควรมีการปรับแหล่งกำเนิดแสง และทำให้เกิดความสว่างเป็นหนึ่งเดียว

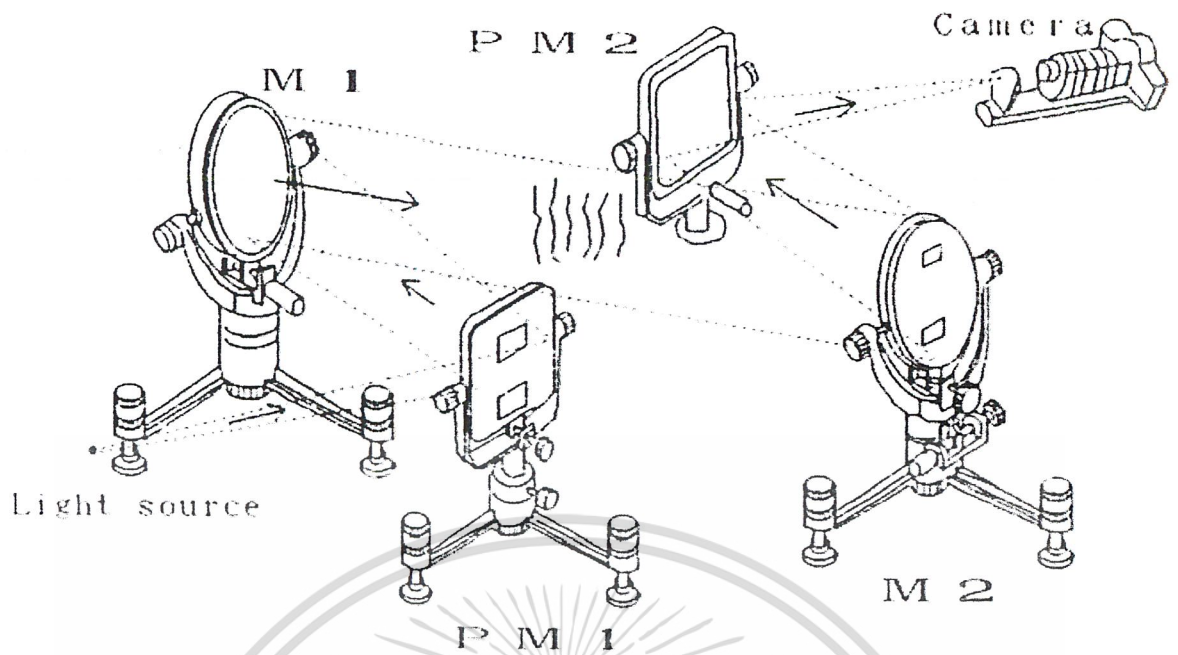


ภาพที่ 3 Adjustment of Concave mirror

หมายเหตุ กระจกเว้าจะถูกเคลือบด้วยวิธีทางเคมีเพื่อเสริมชั้นของกระจกเมื่อถูกขีดดี ความแข็งแรงของกระจกจะมีน้อยกว่า ที่เคลือบด้วยเหล็ก ไม่ควรสัมผัสที่ผิวหน้าของกระจก ในกรณีที่ทำให้เปื้อน อาจเนื่องมาจากฝุ่นผง น้ำมันหรือ รอยพิมพ์นิ้วมือ ควรปัดออกเบาๆด้วยผ้าที่ชุบ เบนซินหรือทินเนอร์ อาจมีบางกรณีที่มีรอยขีดข่วนขนาดเล็กแต่จะไม่มีปัญหาในการถ่ายภาพ ถ้ากระจกถูกขีดข่วนควร จะมีการทำให้ผิวหน้าเรียบอีกครั้ง

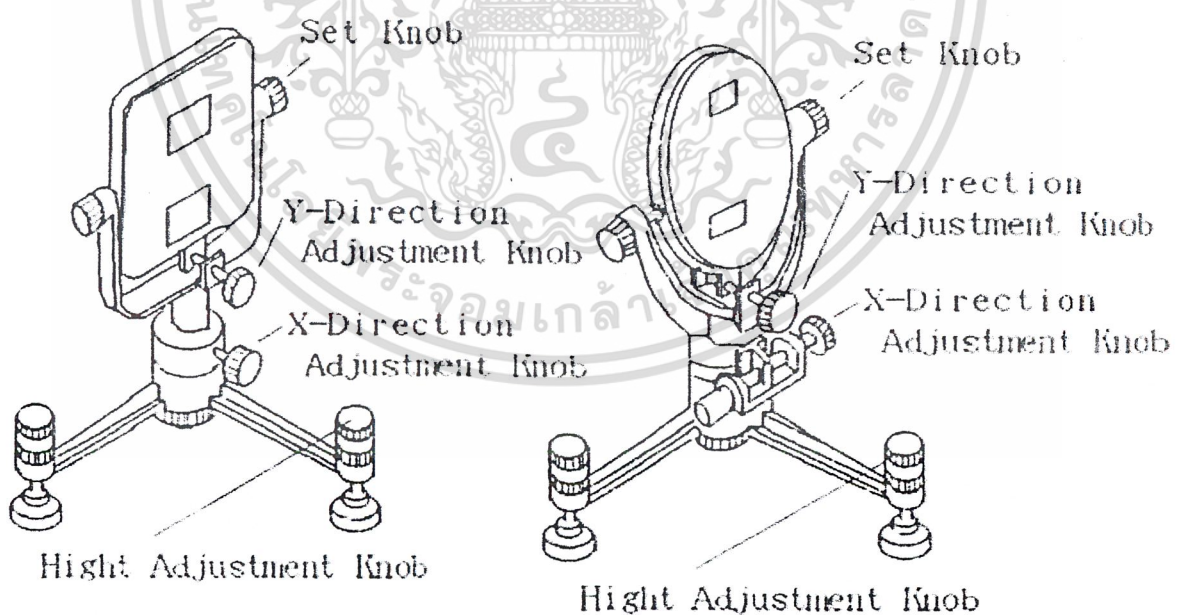
### 3. กรณีที่ใช้กระจกราบ ( In case of using plane mirror )

กระจกราบจะถูกนำมาใช้ในกรณีที่มี อุปสรรคของทางเดินแสงระหว่างแหล่งกำเนิดแสง และ M1 หรือ ระหว่าง M2 และ knife edge โดยใช้ กระจกราบ และ test sample ซึ่งจะสามารถทำให้ มุมที่ศูนย์กลาง ของ กระจกเว้าเล็กลง



ภาพที่ 4. Plane Mirror System

4. การใช้มือปรับกระจกราบและกระจกเว้า (Manipulation of Plane Mirror and Concave Mirror)  
 การกำหนดทิศทางของกระจกทำได้โดยใช้ปุ่มปรับเช่น ใช้ปุ่มปรับแกน X , ปุ่มปรับแกน Y, ปุ่มปรับ  
 ความสูงและปุ่ม set



ภาพที่ 5. Plane Mirror and Concave Mirror

#### D. การทดสอบ

##### 1. การทดสอบเบื้องต้น ( Preliminary Test )

นำ match stick หรือหัวแร้งใส่ใน test section ซึ่งจะมีไอความร้อนขึ้นมา จากนั้นปรับ knife edge ที่ละน้อยเพื่อบังแสง การจะได้ภาพที่สวยงาม โดยมีรูปแบบเป็นแถบสว่างแถบมืดจะขึ้นอยู่กับความแคบที่ปิด knife edge ซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่าง knife edge และ ภาพ

##### 2. Main Test ( การสร้างจุดโฟกัส )

การสร้างจุดโฟกัสทำได้โดยการปรับกล้องถ่ายภาพให้โฟกัสไปที่ test section แล้วนำ scale ไปปรับแสงไว้ที่ test section แล้วมองผ่าน finder ของกล้อง การเคลื่อนกล้องไปข้างหน้าและถอยหลังทำให้สามารถสังเกต scale ได้ง่าย จากนั้นวางกล้องไว้ในจุดที่เห็น scale ชัดที่สุดซึ่งจุดนี้เป็นจุดโฟกัส

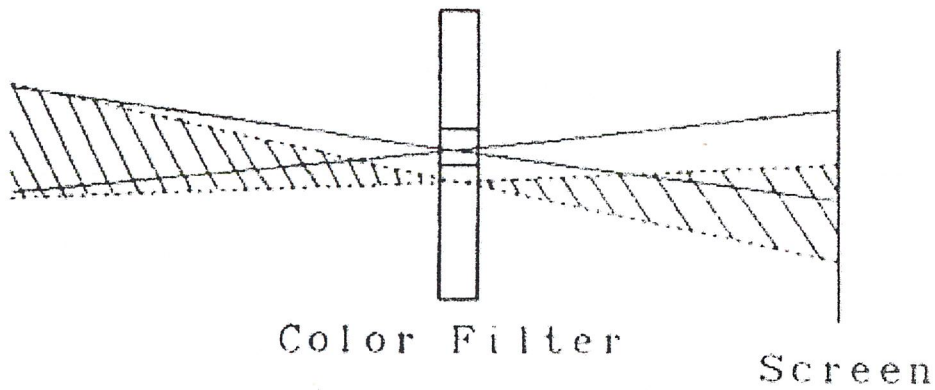
#### ข้อแนะนำของการใช้ color filter

Schlieren method เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ แต่ความดัน อุณหภูมิ และปัจจัยอื่น ๆ ก็เป็นข้อจำกัดของ color filter คุณสมบัติ ของ color filter จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการวิจัย color filter แบบพื้นฐานแสดง ได้ดังรูป



ภาพที่ 6. Color Filter

Color filter จะถูกวางไว้ที่ตำแหน่งของ knife edge ถ้าวาง filter สีเขียวบนจุดโฟกัสที่เกิดจาก M2 จะเห็นภาพสีเขียว ปรากฏ บนฉาก ในกรณีที่ใช้ color filter ควรมีการเปิดหรือเอา knife edge ออก ถ้าหากความหนาแน่นของตัวอย่างเปลี่ยนแปลง สีน้ำเงินหรือสีแดง จะเห็นออกมาเป็นสีเขียวบนฉาก ซึ่งขึ้นกับการกระจายตัวของความหนาแน่นตัวอย่าง



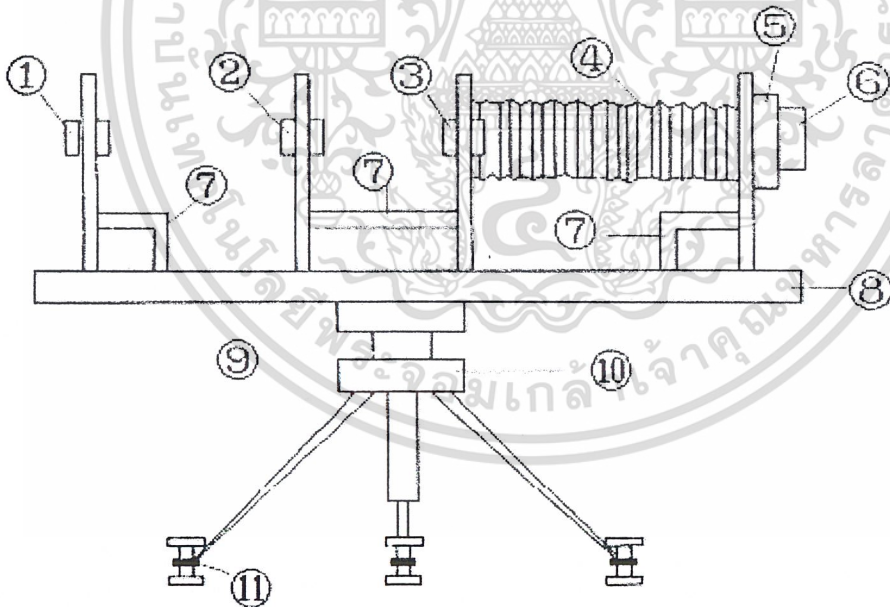
ภาพที่ 7. Schlieren with Color Filter

### E. การใช้งานชุด Observation System

#### 1. Outline

ระบบนี้ออกแบบสำหรับการถ่ายภาพแบบ Schlieren และ interferometric ซึ่งมี 2 รุ่นคือ model III (กล้องขนาด 35 mm) และ model IV (กล้องโฟลลอคอยด์ ขนาด 8.3x10.8 หรือ กล้องขนาด 35mm) ซึ่งระบบนี้สามารถใช้ได้ทั้งระบบอัตโนมัติ และระบบปรับด้วยมือ

#### 2. โครงสร้าง

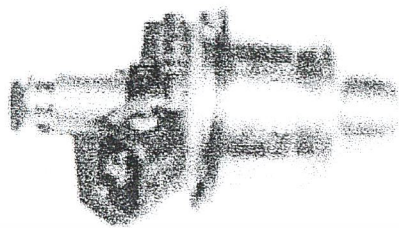


- ① : Knife Edge    ② : Camera Lens    ③ : Shutter    ④ : Bellows    ⑤ : Spacer  
 ⑥ : Focusing Glass or Camera    ⑦ : Back-and-forth Sliding Saddle  
 ⑧ : Traveler    ⑨ : Tripod    ⑩ : Turn Stop Screw    ⑪ : Horizontal Adjustment Screw

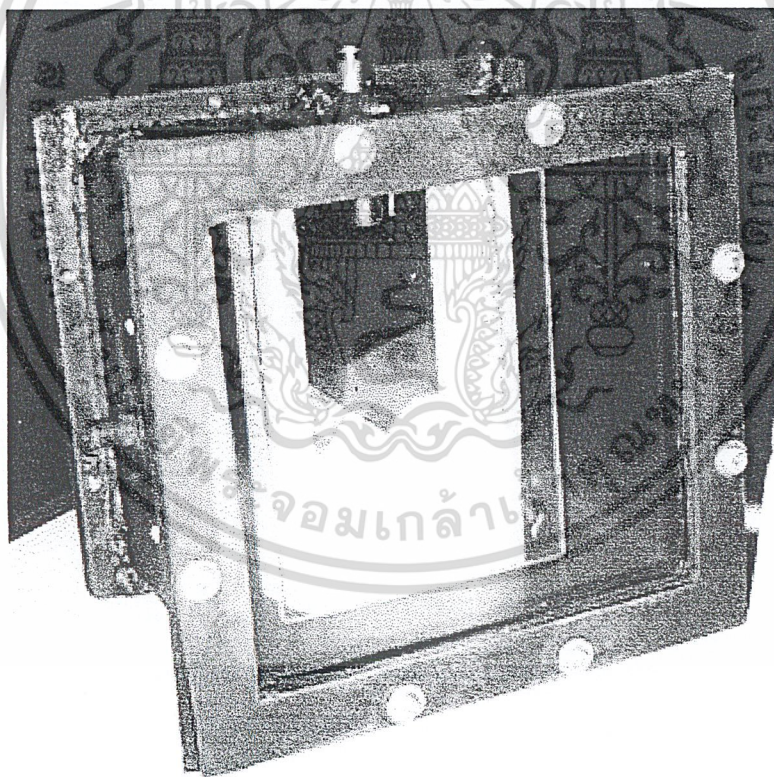
รูปที่ 8. Observation System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปอุปกรณ์ทำการทดลอง

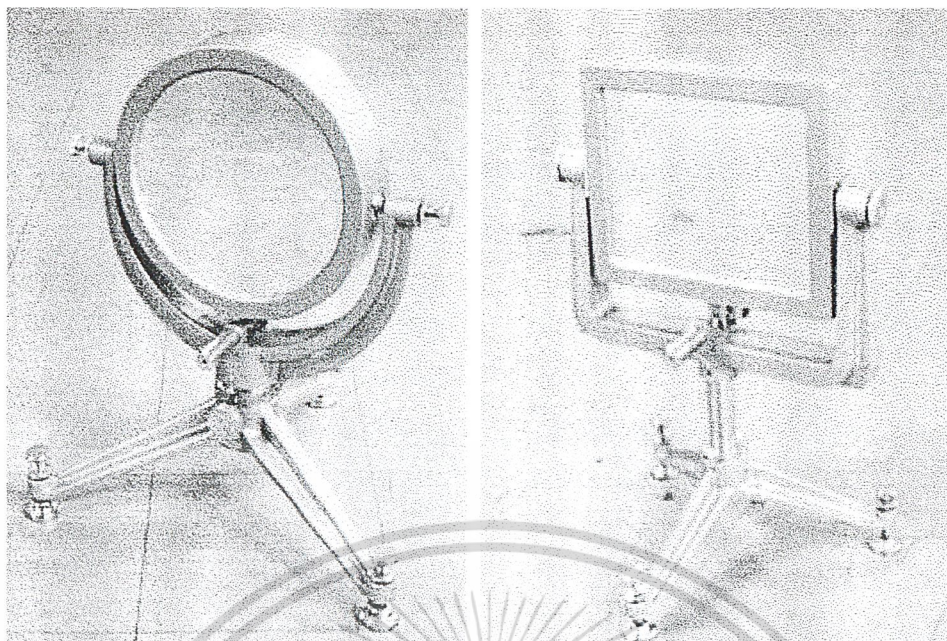


รูปที่ 9 หัวฉีดก๊าซธรรมชาติ

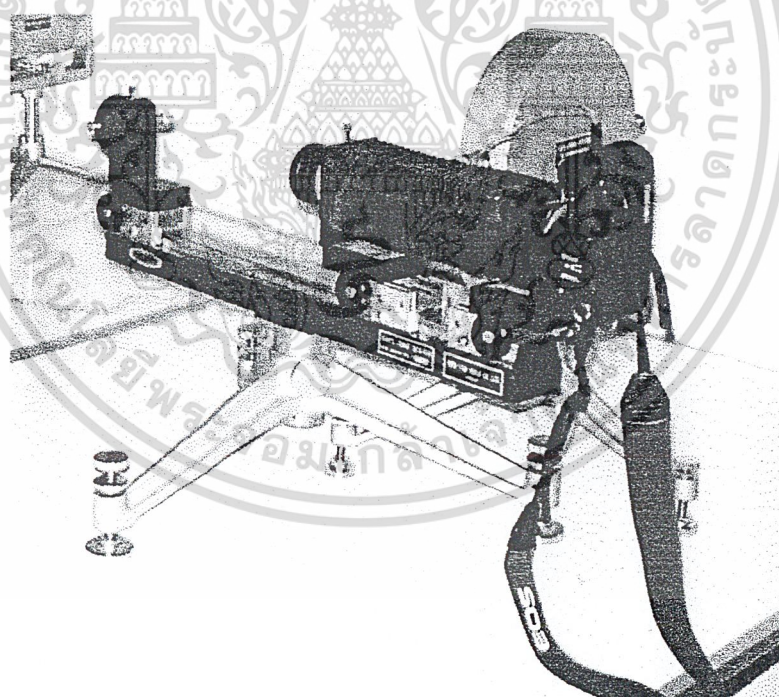


รูปที่ 10 ห้องเผาไหม้จำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

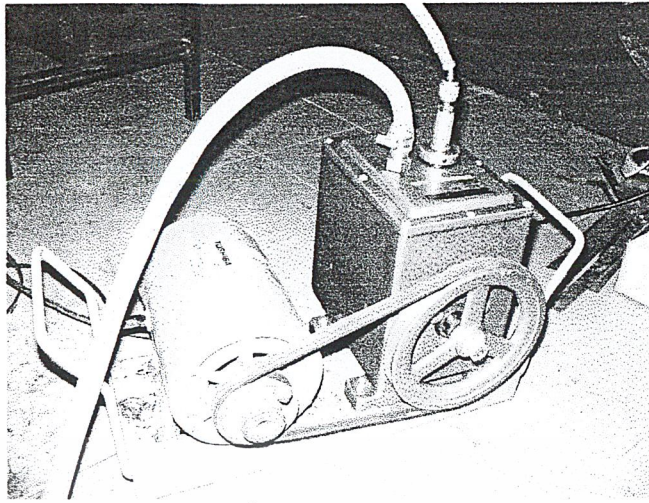


รูปที่ 11 กระจกเว้า และกระจกกราบ

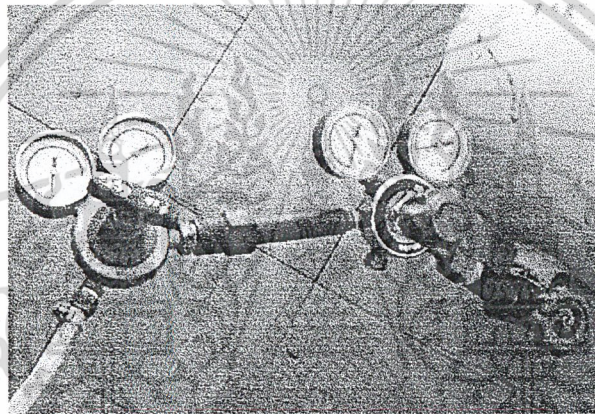


รูปที่ 12 ชุด Knife edge และ กล้องถ่ายภาพ

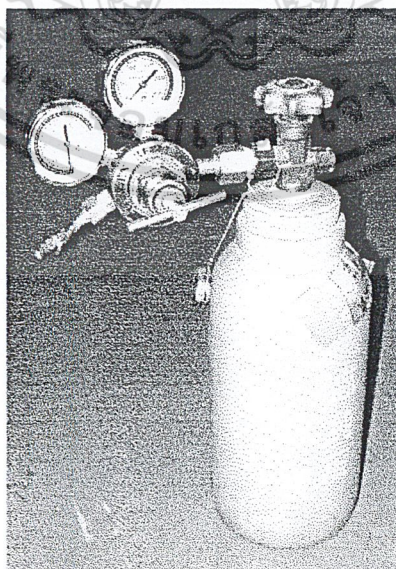
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 Vacuum pump

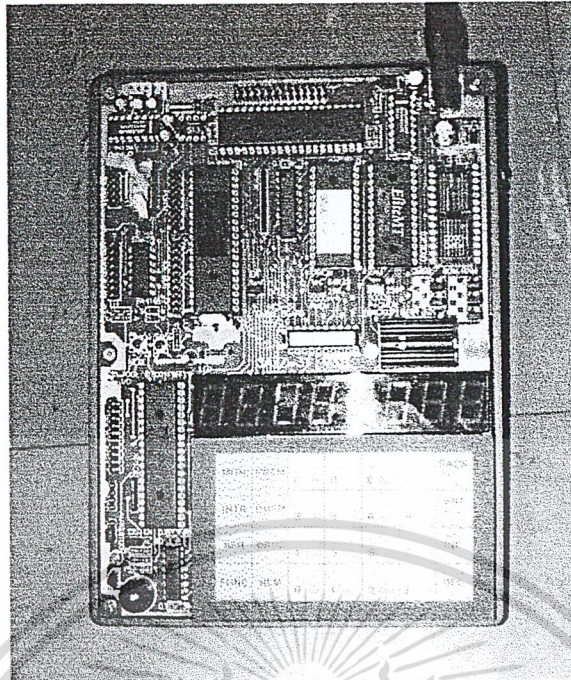


รูปที่ 14 Pressure regulator ปรับความดันจากถังก๊าซ CNG



รูปที่ 15 ถังก๊าซไนโตรเจนใช้ปรับความดันห้องเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

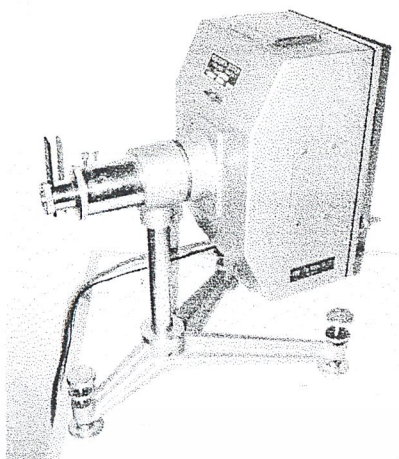


รูปที่ 16 Micro Controller

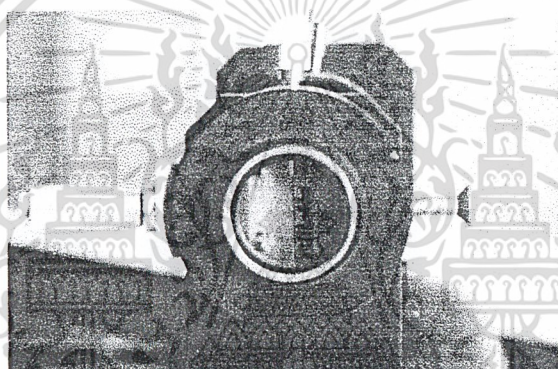


รูปที่ 17 แหล่งพลังงาน

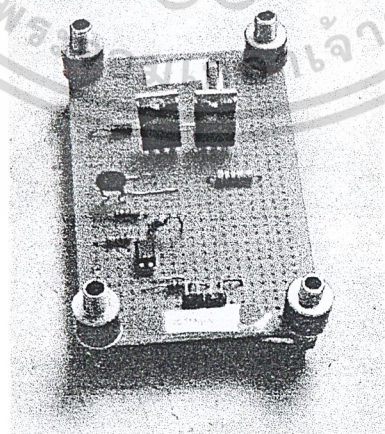
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 ชุดแหล่งกำเนิดแสง



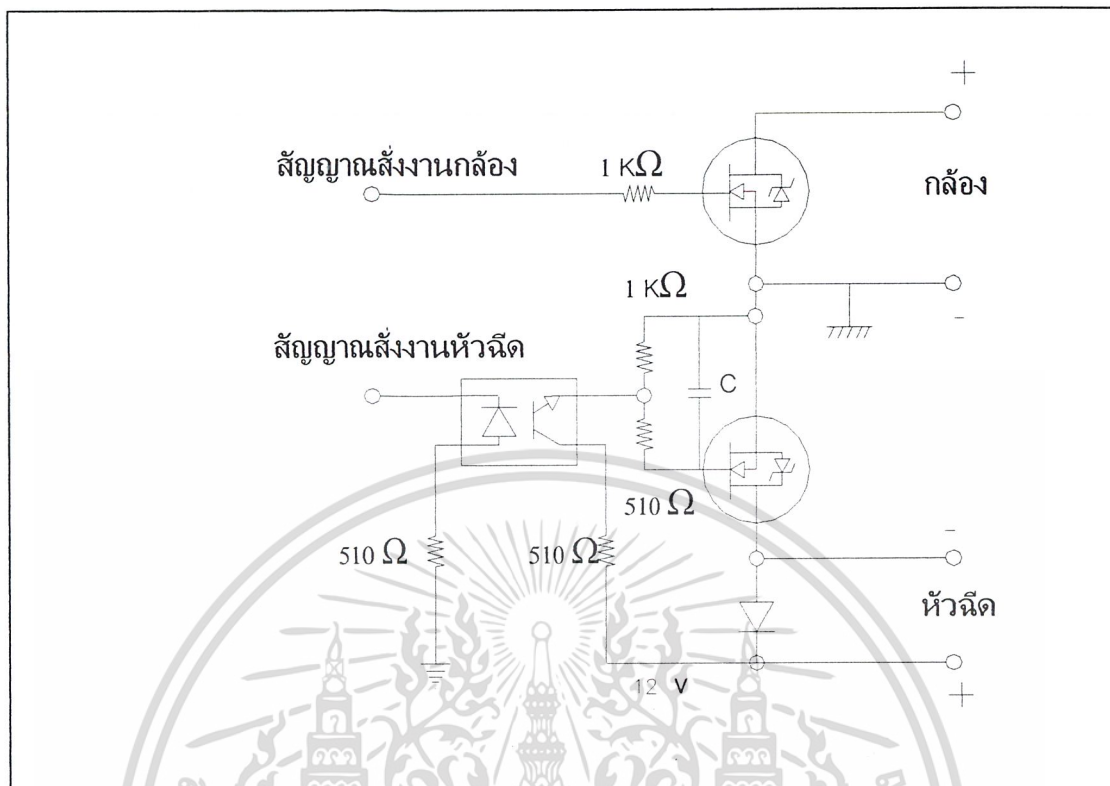
รูปที่ 20 ชุดมีดตัดแสง ( Knife Edge )



รูปที่ 21 ชุดวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วงจรรับการสั่งงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 22 แสดงรายละเอียดของชุดวงจรควบคุม

### ตารางที่ 1 โปรแกรมคอมพิวเทอร์ที่ใช้ในการควบคุมสั่งงาน

ตำแหน่ง	Code	ภาษาแอสเซมบลี
8100	C2	CLR
8101	91	P1.1
8102	D2	SET B
8103	93	P1.3
8104	7A	MOV R2,
8105	00	# 00H
8106	7B	MOV R3,
8107	0A	# 0AH
8108	12	LCALL
8109	00	DMSEC
810A	3F	
810B	D2	SET

ตารางที่ 1(ต่อ) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมสั่งงาน

ตำแหน่ง	Code	ภาษาแอสเซมบลี
810C	91	P 1.1
810D	7A	MOV R2,
810E	00	# 00H
810F	7B	MOV R3,
8110	F0( เวลาที่ใช้ในการหน่วงกล้อง	# F0H
8111	)	LCALL
8112	12	DMSEC
8113	00	
8114	3F	CLR
8115	C2	P1.3
8116	93	MOV R2,
8117	7A	# 00H
8118	00	MOV R3,
8119	7B	# 32H
811A	32( เวลาการทำงานของหัวฉีด )	LCALL
811B	12	DMSEC
811C	00	
811D	3F	CLR
811E	C2	P 1.1
811F	91	SET B
8120	D2	P 1.3
8121	93	LJUMP # 0036 H
8122	02	
8123	00	
	36	

### บรรณานุกรม

- [1] Asanuma, Flow Visualization Handbook; Asakura' 1986
- [2] H.B.KESWANI. Internal Combustion Engine.
- [3] นภดล เวชวิฐาน. เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ทฤษฎีและการคำนวณ : บริษัท ซีอีคยูเคชั่น จำกัด (มหาชน),2541
- [4] รศ.ธีระยุทธ สุวรรณประทีป, หลักการทำงานและการซ่อมบำรุงเครื่องยนต์. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีอีคยูเคชั่น จำกัด(มหาชน),2541.
- [5] เชื้อเพลิงและพลังงาน, การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย,2524
- [6] สนิท เสมือนรมย์, ปัมและหัวฉีดเครื่องยนต์ดีเซล; กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ, 2537.
- [7] Watanabe, T., and Daidoji., 1993, "A Few Experimental Consideration on the Spray Behavior for the Open Combustion Chamber of Square Type by the Liquid-Liquid Injection Technique," Proc. JSME, 930-9, pp. 734-736

