

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ  
แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง

APPLYING ETHANOL IN A DIRECT INJECTION SPARK IGNITION ENGINE



ดร.เชษฐ ฐานะวโรธร  
ZHORACHAID THANAVAROTHON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-214-7

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 49601  
วัน, เดือน, ปี 25 ก.พ. 2547

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีผู้นำไปใช้

# **APPLYING ETHANOL IN A DIRECT INJECTION SPARK IGNITION ENGINE**

**ZHORACHAID THANAVAROTHON**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2003  
ISBN 974-324-214-7**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2003**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วย ประกายไฟแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง
นักศึกษา	นาย จรเชษฐ ฐานะวโรธร
รหัสประจำตัว	43062002
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้คุมวิทยานิพนธ์	ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีความประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงเบนซินกับเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง โดยทำการศึกษาถึงผลกระทบด้านมลพิษ, อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และแนวทางในการปรับแต่งเครื่องยนต์เพื่อรองรับเชื้อเพลิงเอทานอล อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองคือ เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง ความจุ 1834 ลูกบาศก์เซนติเมตร 4 สูบ กำลังอัด 12.5:1 โดยทำการทดสอบ กับเชื้อเพลิง 4 ชนิด คือ เบนซินออกเทน 95 (E0), เบนซินออกเทน 95 ผสมเอทานอลร้อยละ 10 โดยมวล (E10), ร้อยละ 85 โดยมวล (E85) และ เอทานอล 99.5 เปอร์เซนต์ (E100) ทำการทดลองที่ความดันเฉลี่ยเบรคคงที่ ที่รอบการทำงานต่างๆ ผลการศึกษาพบว่า เอทานอล มีผลกระทบกับมลพิษที่เกิดขึ้นโดย ค่าไนโตรเจนออกไซด์, ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์, และค่าของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ส่วนค่า ไฮโดรคาร์บอนนั้นลดลง แต่เมื่อใช้ E85 และ E100 กลับมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และค่าแถมค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ จากนั้นนำหัวฉีดมาทำการทดสอบรูปแบบของสเปรย์ในห้องทดสอบที่ความดันเชื้อเพลิง 2 MPa พบว่ารูปแบบของละอองเชื้อเพลิงทั้งสองมีมุมการฉีดใกล้เคียงกัน เมื่อได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์พบว่า ต้องเพิ่มเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์เพื่อรองรับการใช้เอทานอล โดยกำหนดให้มีการฉีดเชื้อเพลิงนานขึ้น ผลการทดสอบมลพิษทั้งหมดมีค่าลดลงจาก E0 ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีแนวโน้มเปลี่ยนไป โดยเฉลี่ยสูงขึ้น เครื่องยนต์ต้องการอากาศน้อยกว่าเดิม จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า การนำเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซนต์ มาใช้เป็นเชื้อเพลิง สามารถใช้งานได้จริง แต่ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ โดยให้ปริมาณของมลพิษที่ต่ำกว่า และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยสูงกว่า แต่ควรทำการทดลองในระยะยาวเพื่อหาผลกระทบด้านอื่นๆต่อไป

<b>Thesis Title</b>	Applying Ethanol in a Direct Injection Spark Ignition Engine
<b>Student</b>	Mr. Zhorachaid Thanavarothon
<b>Student ID.</b>	43062002
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Mechanical Engineering
<b>Year</b>	2003
<b>Thesis Advisor</b>	Dr. Chinda Charoenphonphanich

## ABSTRACT

The main objective of this research is to study the possibility of using ethanol as an alternative fuel for a gasoline direct injection engine. By gathering information on the engine specific fuel consumption and emissions, the modified engine for ethanol was established. In this study, four types of ethanol fuels were examined, namely, E0, E10, E85 and E100, at various engine speeds and brake mean effective pressures. The results showed that emissions decreased as the percentage of ethanol increased. The specific fuel consumption increased with higher percentage of ethanol in the mixtures. By comparing the spray pattern of E0 and E100 from an injector, it was found that the spray angle were similar. Therefore, the injection duration needs to be modified to support ethanol fuel use. After tuning the engine, emissions from E100M decreased in comparison to that from E0. On the other hand, specific fuel consumption is reversed proportional to brake thermal efficiency. Thus the use of E100 as a fuel for the modified direct injection gasoline engine is workable, with less emissions and higher thermal efficiency.

# กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างดีก็ด้วยคำแนะนำ คำปรึกษาและความกรุณาจาก ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ฝ่ายฝึกอบรม บริษัท เอ็มเอ็มซีลิททิผล ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับระบบควบคุมของเครื่องยนต์ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบคุณ พี่ๆ ปริญญาโท และน้องๆ ปริญญาตรีที่ช่วยในงานเอกสาร ข้อมูล การทดลอง และเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา และ มารดา เป็นอย่างยิ่ง ที่เฝ้าเลี้ยงดู อบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จ

ถ้าปราศจากบุคคลเหล่านี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยอำนวยการอำนวยพรความสุขสวัสดิ์สิ่งดีมีแก่ทุกท่าน

ดร.เชษฐ ฐานะวโรธร

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
<b>บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์</b>	
2.1 การวิจัยและพัฒนาเพื่อใช้เอทานอลในประเทศไทย.....	3
2.2 การวิจัยและพัฒนาเพื่อใช้เอทานอลในต่างประเทศ.....	3
<b>บทที่ 3 เอทานอลและเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง</b>	
3.1 คุณสมบัติของเอทานอล.....	7
3.1.1 คุณสมบัติของแอลกอฮอล์.....	7
3.1.2 ประวัติการใช้แอลกอฮอล์.....	8
3.1.3 กระบวนการการผลิตเอทานอล.....	9
3.2 การทำงานของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิง โดยตรง.....	10
3.3 ระบบควบคุมของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิง โดยตรง.....	13
<b>บทที่ 4 สมมติฐานของการศึกษาและ แนวทางในการทดลอง</b>	
4.1 สมมติฐานเบื้องต้น.....	16
4.2 แนวทางในการออกแบบการทดลอง.....	18

# สารบัญ (ต่อ)

## บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

5.1 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	24
5.2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง.....	25
5.3 สภาพะที่ทำการทดลอง.....	25
5.4 อุปกรณ์ถ่ายภาพความเร็วสูงเพื่อเก็บภาพการฉีดเชื้อเพลิง.....	26
5.5 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
5.6 อุปกรณ์วัดกำลังและแรงบิด.....	29
5.7 อุปกรณ์วัดปริมาณไอเสีย.....	30
5.8 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อกำลังงาน.....	31

## บทที่ 6 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

6.1 การทดสอบรูปแบบของละอองเชื้อเพลิง.....	33
6.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	44
6.3 การทดสอบมลพิษ.....	56

## บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย.....	69
7.2 ข้อเสนอแนะ.....	70

เอกสารอ้างอิง.....71

ภาคผนวก ก.....72

ภาคผนวก ข .....75

ประวัติผู้เขียน.....82

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิง.....	7
4.1 ตารางคุณสมบัติของเชื้อเพลิงทั้งสอง.....	16
5.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ.....	25
5.2 สภาพะที่ทำการทดลอง.....	26
5.3 รายละเอียดของเครื่องชนิด.....	28
ก-1 คำสั่งควบคุมการฉีดและถ่ายภาพ.....	73
ก-2 คำสั่งลบสัญญาณที่พอร์ท.....	74
ข-1 ข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องชนิดเบนซินแบบฉีดตรง.....	75
ข-2 หมวดการทำงานและเงื่อนไขในการทำงานของหัวฉีดแรงดันสูง.....	79



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงหลักการทำงานที่ต่างกันของเครื่องชนิดแบบฉีดตรง และเครื่องชนิดแบบเดิม.....	11
3.2 ระบบจ่ายเชื้อเพลิงของเครื่องชนิดเบนซินแบบฉีดตรง.....	14
4.1 สัญญาณความถี่จาก Air flow meter ก่อนและหลังปรับแต่ง .....	20
4.2 การติดตั้งอุปกรณ์พิเศษเข้ากับเครื่องชนิด.....	21
4.3 ชุดอุปกรณ์การทดสอบละอองเชื้อเพลิง .....	22
4.4 หลักการทำงานของเครื่องมือ Schlieren.....	22
5.1 ชุดอุปกรณ์การทดสอบ Schlieren.....	27
5.2 รูปเครื่องชนิดทดสอบ.....	28
5.3 รูปเครื่องชนิดทดสอบติดตั้งบน โครงสร้างของรถบรรทุก.....	29
5.4 อุปกรณ์วัดกำลังและแรงบิด.....	30
5.5 อุปกรณ์วัดปริมาณ ไอเสีย.....	30
5.6 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อกำลังงาน .....	31
6.1 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 2 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms....	33
6.2 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 4 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms....	33
6.3 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 8 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms....	34
6.4 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 10 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms..	34
6.5 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 12 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms..	34
6.6 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 14 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms..	35
6.7 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 16 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms..	35
6.8 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 16 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 50 ms..	36
6.9 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 2 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms...	37
6.10 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 4 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms..	37
6.11 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 6 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms..	38
6.12 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 8 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms..	38
6.13 การกระจัดสูงสุดของสเปรย์ วัดจากปลายหัวฉีด เทียบกับเวลา.....	39
6.14 การกระจัดเฉลี่ยของสเปรย์ วัดจากปลายหัวฉีด เทียบกับเวลา.....	39
6.15 ความเร็วเฉลี่ยของสเปรย์ เทียบกับเวลา.....	40

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.16	สเปร์ย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 6 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.. 41
6.17	สเปร์ย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 8 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.. 41
6.18	สเปร์ย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 12 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms. 42
6.19	สเปร์ย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 14 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms. 42
6.20	สเปร์ย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 16 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms. 43
6.21	ค่า Relative AF. Ratio ที่ BMEP 100 kPa. .... 44
6.22	ค่า Relative AF. Ratio ที่ BMEP 300 kPa. .... 45
6.23	ค่า Relative AF. Ratio ที่ BMEP 500 kPa. .... 46
6.24	ค่า ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆ ที่ BMEP 100 kPa. .... 47
6.25	ค่า ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆ ที่ BMEP 300 kPa. .... 48
6.26	ค่า ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆ ที่ BMEP 500 kPa. .... 49
6.27	เปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ระหว่าง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. .... 50
6.28	ค่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆ ที่ BMEP 100 kPa. .... 51
6.29	ค่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆ ที่ BMEP 300 kPa. .... 51
6.30	ค่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆ ที่ BMEP 500 kPa. .... 52
6.31	เปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก ระหว่าง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa..... 53
6.32	ค่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa..... 54
6.33	ค่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 300 kPa..... 54
6.34	ค่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 500 kPa..... 55

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.35 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกระหว่าง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa.....	56
6.36 ค่า คาร์บอนไดออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa.....	57
6.37 ค่า คาร์บอนไดออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 300 kPa. ....	57
6.38 ค่า คาร์บอนไดออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 500 kPa.....	58
6.39 เปรียบเทียบค่า คาร์บอนไดออกไซด์ ระหว่าง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa.....	59
6.40 ค่า คาร์บอนมอนอกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa. ....	60
6.41 ค่า คาร์บอนมอนอกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 300 kPa. ....	60
6.42 ค่า คาร์บอนมอนอกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 500 kPa. ....	61
6.43 เปรียบเทียบค่า คาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. ....	62
6.44 ค่า ไฮโดรคาร์บอน ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa.....	63
6.45 ค่า ไฮโดรคาร์บอน ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 300 kPa. ....	63
6.46 ค่า ไฮโดรคาร์บอน ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 500 kPa.....	64
6.47 เปรียบเทียบค่า ไฮโดรคาร์บอน เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. ....	65
6.48 ค่า ไนโตรเจนออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa.....	66
6.49 ค่า ไนโตรเจนออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 300 kPa.....	66
6.50 ค่า ไนโตรเจนออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 500 kPa.....	67
6.51 เปรียบเทียบค่า ออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. ....	68
ก-1 วงจรควบคุมหัวฉีด.....	72
ก-2 วงจรควบคุมกล้องถ่ายรูป.....	72
ข-1 แสดง แรงม้า แรงบิด และ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ที่สภาวะสิ้นแรงเปิดสุด (WOT)....	76
ข-2 รูปแสดงเทคโนโลยีใหม่ที่บรรจุไว้บนเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง.....	77
ข-3 รูปแสดงระบบเชื้อเพลิงที่บรรจุไว้บนเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง.....	77

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข-4 รูปแสดงหลักการทำงานของปั๊มเชื้อเพลิงและภาพตัดของปั๊มเชื้อเพลิง.....	78
ข-5 รูปแสดงส่วนประกอบของหัวฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง.....	78
ข-6 รูปแสดงระบบจุดระเบิดแบบ Direct Coil.....	80
ข-7 แสดง Block Diagram ของระบบควบคุมเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง.....	81



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำมันที่ใช้ในเครื่องยนต์และยานยนต์ในประเทศไทยนั้น เกือบจะทั้งหมดเป็นการนำเข้า จากต่างประเทศในรูปของน้ำมันดิบหรือน้ำมันสำเร็จรูป จะเห็นว่า ปัจจุบัน (พ.ศ. 2543) มีการใช้น้ำมันเบนซินประมาณ 8,000 ล้านลิตร และดีเซลประมาณ 20,000 ล้านลิตร กำลังการผลิตในประเทศซึ่งต้องซื้อน้ำมันดิบมาผลิตนั้นยังไม่พอกับความต้องการใช้ จึงต้องมีการส่งน้ำมันสำเร็จรูปเข้ามาด้วย ความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมีเพิ่มมากขึ้นทุกปี ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันเบนซินหรือดีเซล ซึ่งราคา มีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นเรื่อยๆเช่นกัน ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ของประเทศ วิธีหนึ่งที่จะแก้ไข ปัญหาการขาดแคลนนี้ก็คือหา พลังงานทดแทน ซึ่งหมายถึงการหาพลังงานจากแหล่งอื่นที่สามารถนำมาใช้ทดแทน น้ำมันได้

พลังงานทดแทน (Alternative Energy) แบ่งได้เป็น 2 อย่าง คือ พลังงานคืนรูป หรือ พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป และสามารถจะหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานไม้ ไบโอดีเซล ไบโอแก๊ส พลังงานลม และ พลังงานคลื่น (Non-renewable Energy) เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เช่น หินน้ำมัน ถ่านหิน ลิกไนท์ แก๊สธรรมชาติ เป็นต้น ได้มีการศึกษา วิจัย และพัฒนาพลังงานทดแทนทุกรูปแบบ เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน แอลกอฮอล์ ก็เป็นเชื้อเพลิงที่ได้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเรื่อย ๆ ซึ่งมีประวัติการวิจัยและใช้งานมาเป็นเวลากว่า 50 ปี มีการพัฒนาตลอดเพื่อที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันที่กำลังเป็นปัญหาอยู่ในปัจจุบัน โดยที่เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนแบบคืนรูปที่สามารถผลิตได้เอง จากผลผลิตทางการเกษตรที่มีอย่างมากมายในประเทศ โดยที่ผ่านมามีการทดลองใช้เอทานอลกับเครื่องยนต์เบนซินแบบคาร์บูเรเตอร์ และแบบหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ แต่ยังมีได้มีการทดลองนำเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงอย่างจริงจังกับเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง ซึ่งจะเข้ามาแทนที่เครื่องยนต์แบบเก่าในไม่ช้านี้ งานวิจัยนี้ประสงค์ที่จะประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลกับเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานจริงกับเครื่องยนต์ แนวทางในการคิดแปลงเครื่องยนต์ เพื่อรองรับเชื้อเพลิงเอทานอล และมลพิษที่เกิดจากการใช้เอทานอล โดยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า จะช่วยลดปัญหาทางเศรษฐกิจที่เกิดจากเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในปัจจุบันได้

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในอนาคตเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรงมีแนวโน้มจะถูกนำมาใช้ทดแทนเครื่องยนต์ในปัจจุบัน แต่ยังคงต้องใช้กับเชื้อเพลิงเบนซินอยู่ จากการที่ เอทานอล เป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณไม่มากนักในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้เอทานอลในเครื่องยนต์เบนซินได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเจนในตัวสูงกว่า และมีออกเทนัมเบอร์สูงกว่าเชื้อเพลิงเบนซิน จึงทำให้การเผาไหม้ของ มันดีกว่า มลพิษต่ำกว่า และสามารถใช้จ่ายกำลังอัดที่สูงกว่าเชื้อเพลิงเบนซินได้ ในการวิจัยนี้ จะมุ่งที่จะทำการประยุกต์ใช้ เอทานอล กับเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง ทำการทดสอบกับเชื้อเพลิงเอทานอล บริสุทธิ์ 99.5 % , 85% และ 10% โคขมวล มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนโดยคำนึงถึงแนวทางในการดัดแปลงเครื่องยนต์เพื่อรองรับเชื้อเพลิงเอทานอล ผลกระทบของเอทานอลที่มีต่อปริมาณมลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์ และศึกษาถึงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ เมื่อเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิง

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาและทดสอบเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรงด้าน มลพิษ , อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เชิงเปรียบเทียบ ระหว่างการใช้เชื้อเพลิงเบนซิน และเชื้อเพลิง เอทานอล
2. ศึกษาแนวทางในการดัดแปลงเครื่องยนต์ โดยใช้อุปกรณ์เดิมของเครื่องยนต์เป็นหลัก และทำการดัดแปลงให้น้อยที่สุด เพื่อรองรับเชื้อเพลิง เอทานอล
3. ศึกษารูปแบบของละอองเชื้อเพลิงจากหัวฉีดแรงดันสูงของเบนซินและเอทานอล
4. การทดลองทั้งหมดจะไม่คำนึงถึงสถานะสตาร์ทเย็น

## บทที่ 2

# วรรณกรรมปริทรรศน์

### 2.1 การวิจัยและพัฒนาเพื่อใช้เอทานอลในประเทศไทย

งานวิจัยและพัฒนาเพื่อใช้พลังงานทดแทนเริ่มตั้งแต่ปี 2517 (1974) เพื่อทำการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ ทั้งเครื่องยนต์เบนซินและเครื่องยนต์ดีเซล โดยวัดตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลกระทบและไอเสียด้วย นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเพื่อนำเชื้อเพลิงทดแทนใส่ในรถชนิดต่าง ๆ (ตามความเหมาะสม) และนำไปทดสอบจริงในถนนด้วย เชื้อเพลิงทดแทนที่ได้ทำการวิจัยและทดสอบคือ เมทานอล เอทานอล บูทานอล, LPG, CNG, H<sub>2</sub>, น้ำมันปาล์ม, น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันสบู่ดำ, และน้ำมันสลัดไค ทั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน เช่น การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ฝ่ายวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สถาบันวิจัยแห่งชาติ สถาบันเอไอที ทั้งนี้มีนิสิต นักศึกษาทั้งระดับปริญญาตรีและโทร่วมมือในการทดสอบและวิจัยพัฒนาตลอดเป็นเวลา 10 กว่าปี ผลการวิจัยและทดสอบโดยสรุปเป็นดังนี้ [1]

#### เอทานอลในเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล

เอทานอลในอัตราส่วน 0, 10, 20 และ 30 ได้ถูกผสมลงในน้ำมันเบนซิน โดยวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ก่อนที่จะทดสอบกับเครื่องยนต์ ได้ทดสอบเชื้อเพลิงผสมในรถยนต์โดยนำไปวิ่งในถนนจริง พบว่า 10% เอทานอลผสมเป็นอัตราส่วนที่มีผลกระทบน้อยที่สุด อัตราการกินน้ำมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและกำลังตกไปเล็กน้อยเช่นกัน ยังมีส่วนผสมเอทานอลสูงเท่าไร กำลังก็ตกมากเท่านั้น ส่วนผสมที่น้อยกว่า 10 % จะมีผลก่อให้เกิดการน็อก (Knock) และอาจก่อให้เกิด Vapor Lock ได้ นอกจากนี้เอทานอลยังมีผลกระทบต่อชิ้นที่เป็นยางและพลาสติกพวก Aluminum alloy ก็จะสามารถจะถูก Oxidize ได้

สำหรับเอทานอลในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น การใช้เชื้อเพลิงต้องแยกจากกัน จะใช้วิธีฉีดต่างหากก็ได้ เพราะเอทานอลไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับดีเซลได้ เมื่อผสมกันจะเกิดการแยกชั้นขึ้นทันที ขณะเดียวกันก็เติมสารตัวเติมเพื่อเพิ่มซีเทนัมเบอร์ การใช้เอทานอลบางส่วนทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันมากขึ้น เมื่อเทียบกำลังเท่ากัน และในไอเสียจะมีปริมาณ CO และ HC เพิ่มขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าต้องปรับปรุงกระบวนการป้อนแอลกอฮอล์ใหม่

มานิดา ทองอรุณ [2] ได้ทำการทดสอบ น้ำมันเบนซินผสมเอทานอล ในอัตราส่วน ร้อยละ 10/15/20/30/40/50 กับเบนซินออกเทน 91 ทำการทดสอบกับ เครื่องยนต์คาร์บิวเรเตอร์โดยไม่มี การปรับแต่งเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบและภาระคงที่ ผลการศึกษาพบว่าค่า Equivalence ratio มีค่าลดลง และ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าสูงขึ้น ตามส่วนผสมของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ปริมาณสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มลพิษจำพวก คาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนมีค่าลดลง ส่วน ออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อส่วนผสมไม่เกินร้อยละ 30 และจะลดลงเมื่อส่วนผสมสูงขึ้น การเผาไหม้ในช่วง Flame development และ Flame propagation period มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อส่วนผสมเพิ่มขึ้นหรืออีกนัยหนึ่งคือเผาไหม้ช้าลงนั่นเอง ค่า COV of IMEP และ COV of  $P_{max}$  เพิ่มขึ้นเมื่อส่วนผสมเพิ่มขึ้น ส่วน Polytopic Index ช่วงการขยายตัวมีค่าลดลง ตามส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น

## 2.2 การวิจัยและพัฒนาเพื่อใช้พลังงานทดแทนในต่างประเทศ

A.S.T.M. ได้แสดงผลของเอทานอลที่มีต่อ Distillation Curve ว่าจะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องแล้ว เอทานอลจะมีผลทำให้ส่วนผสมระเหยได้น้อยกว่าน้ำมันเบนซิน แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องแล้วการระเหยจะมีมากกว่าปกติ ผลนี้จะทำให้เครื่องยนต์ติดยากที่อุณหภูมิต่ำ หรือการติดเครื่องขณะเครื่องเย็น เนื่องจากปริมาณของเชื้อเพลิงที่ระเหยไม่พอเพียงกับความต้องการของเครื่องยนต์ และที่อุณหภูมิสูงปริมาณของเชื้อเพลิงจะระเหยได้มากกว่าปกติเกินความต้องการของเครื่องยนต์ และอาจเกิดอาการ Vapor Lock ทำให้เครื่องยนต์ติดยากเช่นกัน และคุณสมบัติในการต้านทานการรวมตัวกันน้ำลดต่ำลง

Brinkman [ 3 ] ได้ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลง Equivalence Ratio ( $\phi$ ) และอัตราส่วนกำลังอัดที่มีผลต่อเชื้อเพลิงเอทานอล และเบนซิน โดยการทดลองใช้เครื่องยนต์เบนซิน สูบเดียวที่สามารถเปลี่ยนอัตราส่วนกำลังอัดได้ ให้ทำงานที่ความเร็วคงที่ องศาการจุดระเบิดที่ตำแหน่งที่ให้แรงบิดสูงสุด (Maximum Brake Torque) ที่แต่ละสภาวะการทดสอบ โดยจะพบว่าองศาการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเอทานอลจะล่วงหน้าน้อยกว่าของเชื้อเพลิงเบนซิน โดยจะยิ่งน้อยลงเมื่ออัตราส่วนกำลังอัดและ  $\phi$  เพิ่มมากขึ้น น้ำมันเบนซินล้วนจะทดสอบที่อัตราส่วนกำลังอัดเป็น 7.5:1 และเปลี่ยนแปลงค่า  $\phi$  ต่างๆ จาก 1.2 จนกระทั่งถึงขอบเขตของส่วนผสมบางที่สุดที่เครื่องยนต์จะสามารถจุดระเบิดได้ (Lean Limit) ส่วนเชื้อเพลิงเอทานอลจะทดลองที่อัตราส่วนกำลังอัด เป็น 7.5, 9, 12, 15 และ 18 แล้วเปลี่ยนแปลงค่า  $\phi$  ต่างๆ จาก 1.2 จนกระทั่งถึงขอบเขตส่วนผสม บางที่แต่ละอัตราส่วนกำลังอัด ซึ่งขอบเขตของส่วนผสมบางของเชื้อเพลิงเอทานอลจะสามารถทำให้เกิดส่วนผสมบางได้มากกว่าน้ำมันเบนซินที่สภาวะเดียวกัน และจะยิ่งทำให้เกิดส่วนผสมบางได้ มากยิ่งขึ้นเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนกำลังอัด จากผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงเอทานอลจะสูงกว่าเบนซินที่สภาวะเดียวกันและเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนกำลังอัดประสิทธิภาพก็จะยิ่งสูงขึ้น อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้เชื้อเพลิงเอทานอลและเมื่อเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะลดลง ในการพิจารณาผลของก๊าซไอเสียพบว่าที่  $\phi$  น้อยกว่า 1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก ทั้งที่อัตราส่วนกำลังอัด,  $\phi$ , และชนิดของเชื้อเพลิงแตกต่างกัน แต่เมื่อ  $\phi$  มากกว่า 1 ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงเอทานอลจะต่ำกว่าเบนซินและจะยิ่งลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วน

กำลังอัด ในส่วนของออกไซด์ของไนโตรเจนที่ส่วนผสมหนา จะมีค่าใกล้เคียงกันที่ทุกสภาวะการทดสอบ แต่ที่ส่วนผสมบาง เอทานอลจะให้น้อยกว่า และจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัด เชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเอทานอลและเบนซินจะให้ค่าใกล้เคียงกันที่สภาวะเดียวกัน และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดปริมาณจะเพิ่มขึ้น เชื้อเพลิงเอทานอลจะให้ค่าของ Aldehydes มากกว่าเบนซิน โดยเมื่อเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดปริมาณ Aldehydes ก็จะเพิ่มขึ้น

Popuri และ Bata [ 4 ] ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่าง ไอโซบิวทานอล (Iso-Butanol), เมทานอล และเอทานอล กับน้ำมันเบนซิน การทดสอบใช้กับเครื่องยนต์สูบเดี่ยวที่สามารถเปลี่ยนอัตราส่วนกำลังอัดได้ให้ทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ โดยที่แต่ละเชื้อเพลิงจะทดลองที่กำลังอัดระหว่าง 7.5 – 15 องศาการจุดระเบิดระหว่างค่า 5 องศา ถึง 25 องศา ก่อนศูนย์ตายบน โดยเพิ่มที่ละ 5 องศา และที่อัตราส่วนผสมตั้งแต่ร้อยละ 5 – 20 โดยปริมาตร โดยเพิ่มที่ละร้อยละ 5 ผลการทดสอบพบว่า เมื่ออัตราส่วนกำลังอัดเพิ่มมากขึ้น แรงบิด และประสิทธิภาพทางความร้อนจะเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราการผลิตเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะจะลดลงที่ทุกสภาวะการทดลอง ในทำนองเดียวกัน เมื่อเพิ่มองศาการจุดระเบิด ค่าแรงบิดและประสิทธิภาพทางความร้อนจะเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราการผลิตเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะจะลดลงที่ทุกๆ สภาวะการทดสอบ เมื่อพิจารณาที่สภาวะการทดสอบเดียวกันแต่ใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน จะพบว่าน้ำมันเบนซินจะให้แรงบิดและประสิทธิภาพทางความร้อนมากที่สุด ส่วนอัตราการผลิตเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะน้อยที่สุด ตามด้วยเชื้อเพลิงผสมของ ไอโซบิวทานอล, เอทานอล และเมทานอลตามลำดับ โดยที่เมื่อเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดเพิ่มขึ้น แรงบิดจะลดลงส่วนอัตราการผลิตเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะเพิ่มมากขึ้น

Chae และ คณะ [ 5 ] ได้ทำการทดลองและศึกษาผลทางด้านสมรรถนะ ปริมาณสารมลพิษ และคุณลักษณะการเผาไหม้ของการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลในเครื่องยนต์ โดยการทดสอบกระทำกับเครื่องยนต์จะระเบิดด้วยประกายไฟแบบ 4 สูบ 1,323 ซีซี. ระบบป้อนเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์โดยมีการดัดแปลงคาร์บูเรเตอร์ที่ใช้ เชื้อเพลิงที่ใช้นี้ 3 ชนิดประกอบด้วยเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันเบนซินกับเอทานอล, เมทานอล และไอโซ-บิวทานอล ตามลำดับในปริมาณร้อยละ 40 โดยปริมาตร การทดสอบทำที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที ลินปีกผีเสื้อเปิดมากที่สุด องศาการจุดระเบิดที่ 10 – 30 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ค่า  $\phi$  ระหว่าง 0.7 – 1.3 ผลการทดสอบพบว่า ที่  $\phi$  มากกว่า 1 เชื้อเพลิงผสมแอลกอฮอล์ให้ค่าแรงบิดสูงกว่าน้ำมันเบนซิน แต่ที่ส่วนผสมบางน้ำมันเบนซินให้ค่าแรงบิดมากกว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนของเชื้อเพลิงผสมสูงกว่าน้ำมันเบนซินที่ทุกสภาวะการทดสอบ ทางด้านสารพิษพบว่าที่ค่า  $\phi$  เท่ากันปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนลดลง ส่วนออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมแอลกอฮอล์ คุณลักษณะการเผาไหม้แสดงด้วยค่า  $COV_{imcp}$ , ค่า Flame Development Angle และช่วงเวลาการเผาไหม้ พบว่า ที่ค่า  $\phi$  เดียวกัน  $COV_{imcp}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเชื้อเพลิงผสมมีค่ามากกว่าเมื่อ  $\phi$  น้อยกว่า 1 และมีค่าใกล้เคียงกันหรือน้อยกว่าที่บางสถานะเมื่อ  $\phi$  มากกว่า 1 ส่วนค่า Flame Development Angle และช่วงเวลาการเผาไหม้มีค่าเพิ่มขึ้นที่ทุกสถานะการทดสอบเมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมแอลกอฮอล์

Hiseh และคณะ [ 6 ] ได้ทำการทดสอบและศึกษาสมรรถนะและปริมาณสารมลพิษของเชื้อเพลิงที่ผสม เอทานอลปริมาณต่างๆ โดยการทดสอบทำกับเครื่องยนต์ที่ใช้งานจริง 1600 ซีซี ระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ความเร็วรอบ 1000 – 4000 รอบต่อนาที เปิดลิ้นเร่งครั้งที่ 20 – 100% WOT โดยเพิ่มทีละ 20% WOT เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบเป็นน้ำมันเบนซินผสมเอทานอล ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 0, 5, 10, 20 และ 30 โดยปริมาตร จากผลการทดสอบพบว่าค่าดังที่ได้ออกมาและค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอทานอลที่ผสมเพิ่มมากขึ้น โดยจะเห็นได้ชัดเจนที่ความเร็วรอบสูง ทางด้านปริมาณสารมลพิษในไอเสียพบว่า ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนจะลดลง ส่วนปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเอทานอลเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่วัดได้ จะไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง แต่จะขึ้นอยู่กับสถานะที่ทดสอบ

Hakan Sandquist [7] ได้ทำการทดสอบ น้ำมันเบนซินผสมเอทานอล ในอัตราส่วน 0/5/10/15 โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์แบบฉีดตรง โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบและภาระคงที่ในหมวดส่วนผสมบาง และยังคงใช้ ECU เดิมและใช้ EGR Valve ร่วมด้วย ผลการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้น ค่าไฮโดรคาร์บอน ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ และค่า ไนโตรเจนออกไซด์เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ค่า BSFC เพิ่มขึ้น และค่ามลพิษกลุ่ม Aldehyde เพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยที่หมวดการทำงานแบบส่วนผสมบางค่าจะสูงกว่าแบบส่วนผสมเนื้อเดียว 2 ถึง 3 เท่าตัว เมื่อวัดค่าไอเสียหลังผ่าน Catalytic Converter พบว่า ค่าไฮโดรคาร์บอน สลายตัวไปได้ 95-99 % ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ สลายตัวไปได้ 98 % ส่วนไนโตรเจนออกไซด์ไม่สามารถสลายตัวได้ที่หมวดการทำงานแบบส่วนผสมบาง แต่กับหมวดการทำงานแบบส่วนผสมเนื้อเดียวสลายตัวไปได้ 99 %

จากการทดลองที่ผ่านมา ยังมีได้มีการนำเชื้อเพลิง เอทานอล มาประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง อย่างจริงจัง จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเอื้อประโยชน์เพื่อการค้นคว้าต่อไปในอนาคต

## บทที่ 3

# เอทานอลและเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง

### 3.1 คุณสมบัติของเอทานอล

#### 3.1.1 คุณสมบัติของแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนที่ยังมีส่วนของออกซิเจนเหลืออยู่ ธรรมดาจะไม่รวมอยู่ในน้ำมันดิบ เป็นสารประกอบอิมิตัว มีโครงสร้างเป็นแบบลูกโซ่ แบ่งออกได้เป็น 4 จำพวก

- |             |                                |             |                                |
|-------------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 1. Methanol | $\text{CH}_3\text{O}$          | 3. Propanol | $\text{C}_3\text{H}_7\text{O}$ |
| 2. Ethanol  | $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$ | 4. Butanol  | $\text{C}_4\text{H}_9\text{O}$ |

แอลกอฮอล์ ทั้ง 4 จำพวก ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ และมีค่าออกเทนสูง แต่ธรรมดาแล้วแอลกอฮอล์ที่นำมาพัฒนาใช้ทดแทนน้ำมันคือ Methanol (เมทานอล) และ Ethanol (เอทานอล) เพราะทั้ง 2 มีกระบวนการเก็บรักษาง่ายกว่า ราคาถูกกว่า และสามารถเตรียมได้จากวัสดุที่มีมากในธรรมชาติและราคาถูก เมทานอลเตรียมได้จากถ่านหิน หรือแก๊สธรรมชาติ ส่วนเอทานอลเตรียมได้จากโมลาส น้ำตาล แป้ง มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวสาลี ดังนั้น จะเห็นว่า เอทานอลจะเป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้โดยไม่มีวันหมดค้างเช่น น้ำมันปิโตรเลียม สำหรับโพรพานอล และบูทานอลนั้น สามารถจะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ดีกว่าเพราะมีค่าความร้อนสูงกว่า น้ำหนักโมเลกุลมากกว่า บางทีเรียกว่าแอลกอฮอล์หนัก แต่เนื่องจากปัจจุบันโพรพานอล และบูทานอล เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม และราคาแพงกว่ามาก มีการวิจัยและพัฒนาการผลิตโดยใช้วัสดุเกษตร แต่ผลยังไม่เป็นที่แพร่หลาย และราคาก็แพงมาก จึงยังไม่นิยมนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน และไม่มีผู้สนใจศึกษาพัฒนาต่อ นอกจากนี้หากได้ศึกษาวิจัยการใช้พลังงานทดแทน เอทานอล และเมทานอลแล้ว ผลที่ได้จะเป็นข้อมูลอย่างดีที่จะนำมาปรับปรุงใช้ โพรพานอล และบูทานอลได้

#### ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิง

	Gasoline ( $\text{C}_8\text{H}_{15}$ )	Methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )	Ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ )
Heating Value HHV (kJ/kg)	47,300	22,540	29,710
LHV (kJ/kg)	43,000	20,050	26,950
Stoichiometric (AF)s	14.6	6.5	9.6
Octane Number MON	80-90	92	89
RON	92-99	106	107
Heat of Vaporization (kJ/kg)	307	1,147	873
Density	0.70-0.78	0.706	0.794

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 ประวัติการใช้แอลกอฮอล์

การนำแอลกอฮอล์มาใช้กับรถยนต์นั้นมิใช่ของใหม่ ในปี 2477 (1935) ประเทศต่างๆในทวีปยุโรป ได้ใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์กันมากรัฐบาลหลาย ๆ ประเทศ เช่น ฝรั่งเศส สวีเดน และออสเตรเลีย ได้เคยออก กฎหมาย บังคับให้ใช้ แอลกอฮอล์ผสมกับเบนซิน ที่ผลิตหรือนำเข้ามาจากต่างประเทศ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ ทั้งนี้เพื่อช่วยเหลืออุตสาหกรรมและเกษตรกรกรรมของตน โดยเฉพาะในปี 2478 เศรษฐกิจตกต่ำทั่วโลก ผลผลิตทางด้านเกษตรจำหน่ายได้น้อย ฝรั่งเศสกำหนดให้ผสมแอลกอฮอล์ 10 เปอร์เซ็นต์ ในเบนซินที่จำหน่าย อย่างไรก็ตาม ราคาแอลกอฮอล์ก็ยังคงแพงอยู่มาก เมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินในสมัยนั้น จึงได้เลิกการใช้แอลกอฮอล์ในเชื้อเพลิงไปโดยปริยาย ในปลายปี 2515 หลังจากที่เกิดวิกฤติการณ์น้ำมันขึ้น ได้มีการพัฒนาที่จะนำแอลกอฮอล์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์อีกครั้ง ประเทศบราซิลได้กำหนดโครงการแอลกอฮอล์แห่งชาติขึ้น ประเทศออสเตรเลีย ได้กำหนดการใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงเป็นส่วนหนึ่งของแผนพลังงานทดแทนของชาติ และสหรัฐอเมริกาได้สนับสนุนโครงการแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้จากน้ำตาลของสำนักงานวิจัยและพัฒนาพลังงานทหาร

ประเทศบราซิลได้เริ่มผลิตเอทานอล เพื่อใช้ในเครื่องจักรกล ตั้งแต่ต้นศตวรรษนี้ โดยเริ่มแรกใช้ เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตน้ำตาลก่อน ต่อมาในปี 2462 มีคำสั่งให้ใช้ เอทานอล ในชวคยานของรัฐ ทำให้เกิดโรงงานผลิตเอทานอลเป็นจำนวนมาก และในปี 2474 ได้ออกเป็นข้อบังคับโดยรัฐบาลกลางกำหนดให้รถยนต์ที่ใช้เบนซินทุกคันผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงด้วย รัฐบาลของบราซิลได้ตั้ง โครงการแอลกอฮอล์แห่งชาติขึ้น (Proalcool) โดยปรับปรุงให้โรงกลั่นทันสมัยขึ้นสนับสนุนโครงการด้านเกษตรให้สามารถป้อนโรงกลั่นได้ ได้จัดสรรอ้อยจำนวนหนึ่งเพื่อผลิตแอลกอฮอล์โดยเฉพาะ และชักจูงให้เกิดการลงทุนทั้งด้านการเกษตร และอุตสาหกรรมแอลกอฮอล์ โดยให้เงินเชื่ออัตราดอกเบี้ยต่ำ ปรากฏว่าปัจจุบันมีโรงกลั่นแอลกอฮอล์กว่า 80 โรง และสามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ 3,000 ล้านลิตรในปี 2522-2523 ซึ่งจะบรรลุเป้าหมายที่จะให้ผสมแอลกอฮอล์ในเบนซินได้ร้อยละ 20 ตามที่ได้ตั้งใจไว้ นอกจากนั้นยังได้พัฒนาเครื่องยนต์ที่ใช้แอลกอฮอล์ 100% อีกด้วย มีรถที่ใช้แอลกอฮอล์ในปี 2543 ประมาณ 4 ล้านคัน และใช้เอทานอล ประมาณ 35 ล้านลิตร/วัน ประเทศบราซิล เป็นประเทศที่มีการใช้ เอทานอล เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด โดยได้มีการพัฒนารถยนต์ ที่ใช้ เอทานอล และรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินผสม เอทานอล หรือที่เรียกว่า แก๊สโซฮอล (Gasohol) การพัฒนารถยนต์ที่ใช้ Ethanol ของประเทศบราซิล เริ่มตั้งแต่ปี 2518 โดยมีการพัฒนาปรับปรุงระบบของเครื่องยนต์ ระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบสตาร์ทเย็น ตลอดจนการใช้วัสดุที่ทนการกัดกร่อน ในปี 2531 ได้มีการพัฒนาให้มีการควบคุมมลพิษมากขึ้น โดยมีการติดตั้ง Catalytic Converter ชนิด พัลลาเดียม ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดสาร Aldehyde ได้ดีกว่าชนิด แพลทินัม-โรเดียม ประเทศบราซิลมีการผสม เอทานอลกับน้ำมันเบนซิน มาตั้งแต่ปี 2520 ในอัตราส่วน 4.5เปอร์เซ็นต์ และได้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มเป็น 24 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการปรับปรุงรถยนต์ให้สามารถใช้ Gasohol ได้ เช่น การเพิ่มกำลังอัด การปรับระบบจุดระเบิด และการใช้วัสดุที่สามารถทนการกัดกร่อนได้สูงขึ้น นอกจากนี้ได้มีการพัฒนารถยนต์ที่ได้รับการออกแบบพิเศษที่เรียกว่า FFV (Flexible Fuel Vehicle) ซึ่งสามารถใช้เชื้อเพลิงเบนซินที่มีสัดส่วนของ เอทานอล ได้ตั้งแต่ 0-100 เปอร์เซ็นต์

ประเทศออสเตรเลียได้พิจารณาที่จะใช้แอลกอฮอล์เป็นพลังงานทดแทนโดยรวมเข้าในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนแห่งชาติ หลังจากที่คาดกันว่าจะเกิดการขาดแคลนน้ำมันดิบขึ้นร้อยละ 50 ในปี 2529 ต่อมาได้สนับสนุนให้ใช้ LPG และ CNG โดยรัฐบาลให้การสนับสนุนอย่างมาก

ประเทศสหรัฐอเมริกาก็ได้ส่งเสริมให้ใช้เอทานอล 10% ผสมลงในเบนซินมาตั้งแต่ปี 2517 (ผลการวิจัยและทดสอบจากมหาวิทยาลัยเนบราสก้า) มีการพัฒนาชิ้นส่วนที่มีผลกระทบต่อแอลกอฮอล์มาตามลำดับ และในปี 2536 ก็ได้มีการส่งเสริมให้ใช้ FFV (Flexible Fuel Vehicle) อย่างแพร่หลาย

### 3.1.3 กระบวนการการผลิตเอทานอล

กรรมวิธีการผลิตเอทานอลที่เป็นที่นิยมโดยทั่วไป กล่าวโดยรวมนั้นมี 8 กระบวนการเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| ขั้นที่ 1. Milling       | นำวัตถุดิบจากการเกษตรมาบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน  |
| ขั้นที่ 2. Liquefaction  | นำวัตถุดิบจากขั้นที่ 1 มาผสมน้ำและนำไปต้มที่อุณหภูมิ 120-150 องศา C เพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรียหลังจากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 95 องศา C จนแป้งละลายตัวออกมา   |
| ขั้นที่ 3. Scarification | ปล่อยให้เย็นตัวลง เติม เอ็นไซม์ (Glico-amylase) เพื่อย่อยแป้งให้กลายเป็นน้ำตาล (dextrose)   |
| ขั้นที่ 4. Fermentation  | การหมัก โดยการเติมยีสต์เพื่อย่อยน้ำตาลได้ผลผลิตเป็นเอทานอลและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ระยะเวลารวมถึงกระบวนการนี้ใช้เวลา 48 ชั่วโมง ก่อนส่งเข้าหอกลั่นแบบต่อเนื่อง   |
| ขั้นที่ 5. Distillation  | การกลั่น ที่กระบวนการนี้ผลผลิตจากขั้นตอนที่ 4 ( เรียกว่า beer ) มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ ประมาณ 10 % เราจะทำการกลั่นจนที่หอกลั่นสุดท้ายมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ 96 % และจะถูกถ่ายโอนไปยังกระบวนการต่อไป |
| ขั้นที่ 6. Dehydration   | การสกัดน้ำ แอลกอฮอล์ที่ได้จะถูกผ่านระบบคิงน้ำ ที่ยังคงเหลืออยู่ในขั้นตอนที่ 5 โรงงานเอทานอลส่วนใหญ่ใช้อุปกรณ์คักจับน้ำ แบบตะแกรงโมเลกุล แอลกอฮอล์ที่ผลิตได้ เรียกว่า Anhydrous                        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 7. Denaturing Anhydrous ที่ได้จะถูกนำมาเติมแต่งสารเคมีบางอย่าง เช่น เบนซีน เพื่อให้ต่างไปจากเอทานอลที่ใช้บริโภค

ขั้นที่ 8. Coproducts ในกระบวนการหมัก (ขั้นที่ 4) เราจะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลผลิตด้วย โรงงานส่วนใหญ่จะเก็บแก๊สนี้ไว้และอัดใส่ถังเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ และยังมีผลผลิตอื่น ๆ ที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล เช่น น้ำตาลไซรัป ดังนั้น การผลิตเอทานอลจึงเป็นกระบวนการซึ่งไม่มีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการเลย ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบที่นำมาผลิตได้เป็นอย่างดี

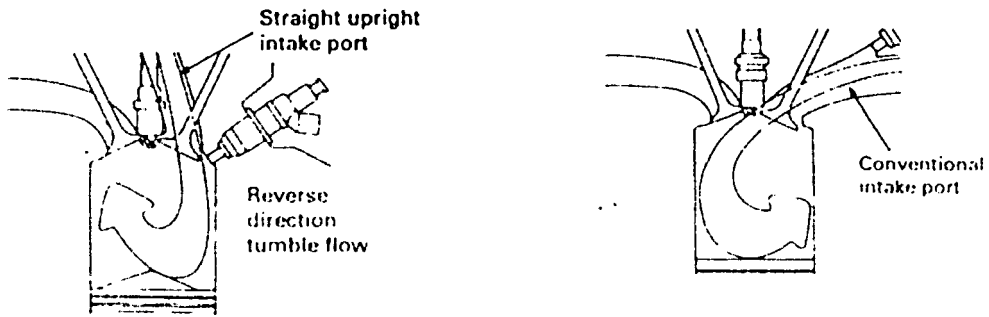
เอทานอลยังสามารถผลิตได้จาก กระบวนการอื่น ๆ อีกหลายกระบวนการ ซึ่งแต่ละกระบวนการก็จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ กันการเลือกกระบวนการขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบในพื้นที่เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม

### 3.2 การทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยประกายไฟแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง

สิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับผู้ผลิตรถยนต์ในปัจจุบัน คือการนำเสนอยานยนต์ซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ประหยัดเชื้อเพลิงเป็นเยี่ยมมีสมรรถนะสูง มลพิษต่ำ และสามารถขับขี่ได้ง่ายซึ่งผู้ผลิตรายต่าง ๆ ก็ได้พยายามคิดค้นหาเครื่องยนต์ชนิดใหม่ซึ่งสามารถตอบสนองได้โดยคำนึงถึงมลภาวะที่เกิดขึ้นเป็นหลักใหญ่ เป็นที่ทราบกันว่าเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเป็นเครื่องยนต์ซึ่งพัฒนาขึ้นมาใหม่ล่าสุด และได้้นำออกจำหน่ายในช่วงปี ค.ศ. 2000 ที่ผ่านมานี้ ซึ่งน่าจะเป็นคำตอบของผู้ผลิตรถยนต์ที่จะตอบสนองความต้องการต่าง ๆ ข้างต้นได้อย่างครอบคลุม โดยเฉพาะด้าน ประสิทธิภาพ และมลพิษ ส่วนในด้านผู้ผลิต เครื่องยนต์ชนิดใหม่นี้มีต้นทุนในการผลิตแทบจะไม่ต่างจากเครื่องยนต์แบบเดิม และสามารถนำเข้าสู่กระบวนการผลิตแบบการผลิตจำนวนมาก (Mass Product) ได้ไม่ยาก และด้วยเทคโนโลยีของเครื่องยนต์ที่ฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรงที่มีอยู่มากมายในปัจจุบันนี้ จึงทำให้สามารถพัฒนาเทคนิคและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยง่าย และยังสามารถพัฒนาต่อไปได้ในอนาคต

#### พื้นฐานของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง

เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง คือเครื่องยนต์สันดาปภายในด้วยประกายไฟแบบหนึ่ง ที่มีระบบการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยตรง เช่นเดียวกับเครื่องยนต์จุกะเปิดด้วยการอัดแบบฉีดตรง ( Diesel Direct Injection Engine ) จึงทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์แบบเดิมที่จ่ายเชื้อเพลิงบริเวณท่อไอดี ( Multi Port Injection ) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงหลักการทำงานที่ต่างกันของเครื่องยนต์แบบฉีดตรง และเครื่องยนต์แบบเดิม

จากรูปทำให้สามารถเพิ่มเติมระบบใหม่ๆที่คิดได้ แต่ไม่สามารถกระทำได้ด้วยเครื่องยนต์แบบเดิม ระบบต่างๆที่ช่วยให้เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงมีประสิทธิภาพเหนือกว่าเครื่องยนต์แบบเดิมประกอบไปด้วย

ระบบการเผาไหม้สองแบบ ในการขับขี่โดยทั่วไป เครื่องยนต์แบบเดิมจะปรับอัตราการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงตามภาระที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ โดยใช้ระยะเวลาในการทำงานของหัวฉีดเป็นตัวแปรที่ใช้กำหนดปริมาณของเชื้อเพลิง ซึ่งจะมีอยู่เพียงระบบเดียวแต่ในเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรง จะสามารถแบ่งการทำงานของระบบฉีดจ่ายเชื้อเพลิงออกได้เป็น 2 ระบบ คือ Stratified charge (ส่วนผสมบางเป็นพิเศษ) และ Homogenous charge (ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียว) ในสภาวะการขับขี่โดยทั่วไปเมื่อความเร็วคงที่และไม่ต้องการเร่งอย่างฉับพลัน เครื่องยนต์ GDI จะปรับตัวเองเข้าสู่ระบบ Stratified charge เพื่อเป็นการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยจะฉีดน้ำมันลงไป ที่หัวลูกสูบในช่วงจังหวะอัด ผลที่ได้คือเชื้อเพลิงและอากาศจะผสมกันเฉพาะบริเวณรอบ ๆ หัวเทียน โดยจะใช้เชื้อเพลิงแค่พอให้เครื่องยนต์สามารถดำรงภาระที่มีอยู่ได้ ระบบนี้จะทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงและมีประสิทธิภาพสูงเทียบเท่าวัฏจักรของดีเซล เมื่อมีการเร่งเครื่องหรือมีภาระเพิ่มแบบทันทีทันใด เครื่องยนต์จะปรับเข้าสู่ระบบ Homogenous charge โดยเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบครั้งแรกในจังหวะประจุไอคือเป็นผลให้อากาศและเชื้อเพลิงผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ( คล้ายกับในเครื่องยนต์หัวฉีดแบบ MPI ) เป็นผลให้ได้กำลังอย่างเต็มที่ และเนื่องจากการฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงจึงสามารถกำหนดปริมาณของเชื้อเพลิงที่เข้าได้แม่นยำกว่า เป็นผลให้ได้กำลังสูงกว่า

ระบบการควบคุมอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่แม่นยำกว่า ระบบการควบคุมของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง สามารถควบคุมส่วนผสมได้แม่นยำกว่า โดยที่ละอองของเชื้อเพลิงและอากาศจะถูกควบคุมให้อยู่เฉพาะบริเวณที่กำหนดได้นานกว่าเครื่องยนต์แบบเดิม เป็นผลให้เชื้อเพลิงและอากาศมีเวลาผสมกันมากขึ้นจึงทำให้การผสมเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า ในระบบ Stratified charge เชื้อเพลิงจะถูกฉีดลงไปตามส่วนโค้งของลูกสูบซึ่งออกแบบมาเป็นพิเศษ โดยจะบังคับให้ละอองเชื้อเพลิงตรงไปหัวลูกสูบ หลังจากนั้นแก๊สที่ถูกผสมแล้วจะถูกลูกสูบดันตัวขึ้นไปในบริเวณใกล้หัวเทียนเพื่อเตรียมที่จะจุดระเบิด จุดที่เหนือกว่าระบบเดิมเป็นอย่างมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือระบบนี้สามารถควบคุมอัตราส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิง ในบริเวณหัวเทียนได้อย่างแม่นยำกว่า อีกจุดที่มีการพัฒนาคือท่อไอเสียออกแบบมาให้เป็นท่อตรงและสามารถประจุอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ อากาศที่เข้าไอดีจะถูกดูดเข้าสู่กระบอกสูบอย่างเป็นระเบียบในทิศทางที่กำหนด โดยจะพุ่งตรงลงสู่หัวลูกสูบซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการหมุนวนในแนวตั้งขึ้นอย่างรุนแรง ซึ่งจะช่วยให้เชื้อเพลิงเข้าไปสู่หัวเทียนได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกทางหนึ่งด้วย และยังใช้หัวฉีดพิเศษแรงดันสูง คอบสนองได้รวดเร็ว ซึ่งทำให้ละอองเชื้อเพลิงมีการหมุนควงและมีความเร็วของการหมุนสูง ทำให้สามารถส่งเชื้อเพลิงออกไปได้กว้างและเร็ว จึงไม่ทำให้เชื้อเพลิงพุ่งไปติดตามส่วนที่ไม่ต้องการ เช่น ผนังลูกสูบหรือหัวลูกสูบ ในระบบ Homogenous charge เชื้อเพลิงจะถูกฉีดในช่วงประจุไอดีซึ่งลูกสูบกำลังเคลื่อนตัวลงสู่ศูนย์ตายล่าง ความดันในกระบอกสูบต่ำ เชื้อเพลิงจะเกิดการระเหยตัวไปพร้อม ๆ กับอากาศที่ถูกลูกสูบดูดลง เป็นผลให้การผสมตัวเป็นไปอย่างสมบูรณ์กว่า และเชื้อเพลิงยังไม่เกิดการระเหยขวางมวลของอากาศเหมือนกับเครื่องชนิดแบบเดิมจึงทำให้อากาศประจุได้เต็มที่กว่า สิ่งสำคัญอีกประการคือ การเลือกจังหวะในการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงให้สัมพันธ์กับสถานะการไหลของอากาศในกระบอกสูบ ซึ่งจะไม่ทำให้เชื้อเพลิงไปสัมผัสกับชิ้นส่วนใด ๆ ในกระบอกสูบเลยเชื้อเพลิงจึงมีการแพร่และผสมกับอากาศเป็นเนื้อเดียวได้อย่างหมดจดสมบูรณ์

**ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงสูงขึ้น** จากแนวคิดในข้อที่ผ่านมา ทำให้การจุดระเบิดโดยใช้ส่วนผสมที่บางมากเป็นไปได้ ส่งผลให้เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงมีเสถียรภาพสูงในการจุดระเบิดที่สถานะส่วนผสมบางมาก ทำให้สามารถประหยัดเชื้อเพลิงลงได้ และยังสามารถเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัดในห้องเผาไหม้ได้สูงขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากการออกแบบทั้งหมดไม่มีส่วนใดเอื้อให้เกิดการน็อก ( Knock ) ร่วมด้วยการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงอย่างแม่นยำ การน็อกจึงไม่เกิดขึ้น ซึ่งแทบจะเป็นไปไม่ได้สำหรับเครื่องยนต์แบบเดิมที่กำลังอัดเท่ากัน ทำให้เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ประหยัดน้ำมันขึ้นถึง 33 % จากการทดสอบการขับในญี่ปุ่น

**ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น** ในช่วงที่เครื่องยนต์รับภาระสูงระบบฉีดเชื้อเพลิงปรับเข้าสู่ระบบ Homogenous charge ทำให้เกิดส่วนผสมที่เป็นเนื้อเดียวทั่วทั้งห้องเผาไหม้ ซึ่งโดยผิวเผินแล้วจะคล้ายกับเครื่องยนต์แบบเดิม แต่ในความเป็นจริงมีความแตกต่างบางอย่างเกิดขึ้น ส่งผลให้กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงมีค่าสูงกว่า เหตุผลหลักประการแรกคือการที่เชื้อเพลิงถูกฉีดออกมาเป็นวงกว้างในทิศทางที่ถูกต้องและพุ่งตรงเข้ากระบอกสูบทำให้เกิดการระเหยตัวเป็นไอในสถานะนี้อากาศจะสูญเสียความร้อนบางส่วนเพื่อที่จะทำให้เชื้อเพลิงเปลี่ยนสถานะจากละอองของเหลวกลายเป็นไอทำให้ไอดีเย็นตัวลง เพิ่มความสามารถในการประจุไอดีได้มากขึ้นและยังช่วยป้องกันการเกิดการน็อก อีกเหตุผลหนึ่งคือ เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเกิดการน็อกได้ยากกว่าเครื่องยนต์หัวฉีดแบบธรรมดา ในเครื่องแบบธรรมดาจะเกิดการน็อกอย่างรุนแรงระหว่างจังหวะการเร่ง สาเหตุเนื่องมาจากมีเชื้อเพลิงบางส่วนถูกฉีดไปติดอยู่กับท่อไอดี ส่วนของเชื้อเพลิงที่มีค่าเอ็อกเทนต่ำจะถูกดูดเข้าไปในกระบอกสูบอย่างทันทีทันใด เมื่อบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมกับอากาศจะเกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองจึงทำให้เกิดการน็อคอย่างรุนแรง แต่กับเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง เชื้อเพลิงจะถูกฉีดโดยตรงเข้าสู่กระบอกสูบ และเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ด้วยประกายไฟจากหัวเทียน โดยไม่มีเชื้อเพลิง ไปได้คอยู่ตามผนังกระบอกสูบหรือหัวลูกสูบเลย จึงสามารถป้องกันการเกิดการน็อคได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้ได้กำลังที่สูงกว่า

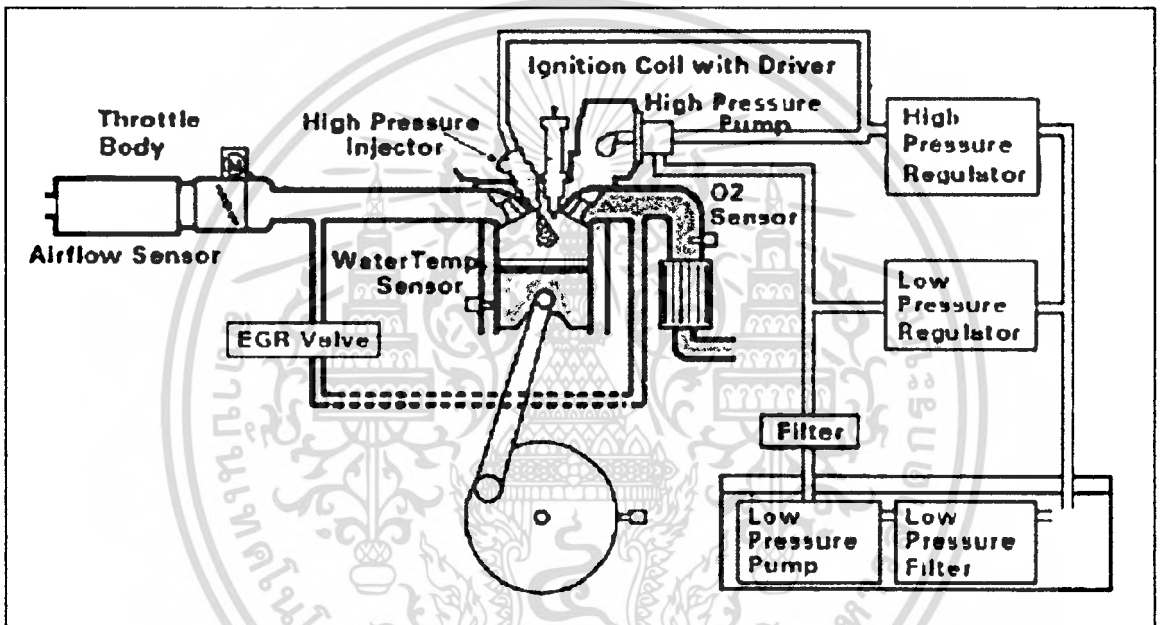
**การลดมลพิษ** แต่ในสภาวะการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวของเชื้อเพลิงอาจมีบางส่วนที่ผสมตัวอย่างไม่สมบูรณ์เต็มที่ อาจทำให้เกิดเขม่าขึ้นในกระบอกสูบจึงได้มีการปรับปรุงเทคนิคใหม่ในการฉีดน้ำมัน โดยแบ่งการฉีดเป็น 2 ครั้ง ในการฉีดครั้งแรกจะฉีดด้วยปริมาตรหนึ่งในสี่ของปริมาตรเชื้อเพลิงรวม ซึ่งจะฉีดในจังหวะประจุไอดี ซึ่งมันจะทำให้เกิดส่วนผสมที่บางมากในห้องเผาไหม้และบางเกินไปที่จะจุดระเบิดในสภาวะปกติ เชื้อเพลิงส่วนที่เหลือจะถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบในช่วงจังหวะอัด เมื่อความดันในห้องเผาไหม้มีค่า 500 kPa จึงทำให้เกิดส่วนผสม 2 ส่วน คือส่วนที่ส่วนผสมบางมากและส่วนที่มีส่วนผสมหนา การน็อคมักจะเกิดที่ส่วนผสมที่พอดี แต่ทว่าในกระบอกสูบขณะนี้มีแต่ส่วนผสมที่หนาเกินไปและบางเกินไปที่จะเกิดการน็อค และส่วนผสมที่หนาเกินไปนี้ก่อตัวเพียงช่วงระยะสั้น ๆ ก่อนที่จะเกิดการจุดระเบิดเพียงเล็กน้อย ซึ่งช่วงเวลาเพียงเท่านั้นไม่เพียงพอที่เชื้อเพลิงจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งเป็นสาเหตุของการน็อค และยังไม่ก่อให้เกิดเขม่า สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดเขม่า เมื่อส่วนผสมของอากาศและน้ำมันก่อตัวขึ้นแต่เกิดส่วนผสมที่หนาเกินไป เขม่าจะก่อตัวขึ้นดังเช่นในเครื่องยนต์ดีเซล แต่กับระบบฉีดเชื้อเพลิงสองจังหวะส่วนผสมหนาจะเกิดขึ้นแค่บางส่วนในห้องเผาไหม้ ซึ่งเมื่อมันจุดระเบิดมันจะส่งผลให้บริเวณที่มีส่วนผสมบางมากซึ่งไม่สามารถจุดระเบิดได้ในสภาวะปกติสามารถจุดระเบิดได้ เมื่อบริเวณที่มีส่วนผสมบางจุดระเบิดจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีดำเนินย้อนกลับ ไปสู่บริเวณที่มีส่วนผสมหนา ทำให้เกิดการจุดระเบิดซ้ำอีกครั้งซึ่งจะเห็นได้ว่าจะข้ามกระบวนการการเกิดเขม่าไปได้

ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งคือการลดมลพิษ โดยใช้การควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงที่แม่นยำ เราสามารถลดคาร์บอนมอนอกไซด์ลงได้ไม่ยาก ตอนนี้เราจึงพุ่งประเด็นสนใจไปยังการลดไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ โดยใช้ระบบอุ่นตัวกรองไอเสียให้ถึงอุณหภูมิทำงานเร็วขึ้นโดยในช่วงที่เครื่องยนต์เพิ่งจะเริ่มทำงาน อุณหภูมิของตัวกรองไอเสียต่ำกว่า 250 °C จะมีการฉีดเชื้อเพลิงเพิ่ม ในจังหวะคายไอเสียเพื่อให้มีการเผาไหม้ร่วมกับไอเสีย เป็นผลให้อุณหภูมิไอเสียสูงขึ้น จึงทำให้อุณหภูมิของตัวกรองไอเสียถึงจุดที่จะทำงานได้เร็วขึ้น ซึ่งเป็นไปไม่ได้เลย สำหรับเครื่องยนต์แบบเก่า ร่วมด้วยการใช้ EGR. Control Valve ที่มีประสิทธิภาพ จึงสามารถลดมลพิษที่เกิดขึ้นได้มากกว่าเครื่องยนต์แบบเก่า

### 3.3 ระบบควบคุมของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง

ระบบควบคุมของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง จะอาศัยพื้นฐานของระบบควบคุมแบบ MPI ซึ่งจะมีตัวตรวจจับแบบต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน เพียงแต่จะมีระบบควบคุมสำหรับอุปกรณ์พิเศษที่เพิ่มเติมขึ้นมา โดยระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติม มีดังนี้

ระบบเชื้อเพลิง จะมีปั๊มแรงดันต่ำ และปั๊มแรงดันสูงต่ออนุกรมกันอยู่ในระบบจ่ายเชื้อเพลิง โดยมีตัวควบคุมแรงดัน เป็นตัวกำหนดแรงดันสูงสุด และช่วยทำให้แรงดันมีค่าคงที่ อุปกรณ์ควบคุมแรงดันนี้ ทำงานด้วยระบบกลไก แต่มีตัวตรวจวัดแรงดันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นจากระบบ MPI เพื่อใช้กำหนดระยะเวลาในการจ่ายเชื้อเพลิงให้แม่นยำยิ่งขึ้น ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 ระบบจ่ายเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง

จากรูปปั๊มแรงดันต่ำ จะรับเชื้อเพลิงจากถังเชื้อเพลิงผ่านไส้กรองแรงดันต่ำ ก่อนถูกส่งไปยังปั๊มแรงดันสูง ระหว่างนี้จะมีตัวควบคุมแรงดันสำหรับปั๊มแรงดันต่ำ เพื่อป้องกันแรงดันสูงเกินกำหนด จากนั้นเชื้อเพลิงจะเข้าสู่ปั๊มแรงดันสูงโดยผ่านไส้กรองละเอียด ซึ่งติดตั้งอยู่กับตัวปั๊มเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวปั๊มเป็นหลัก จากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกส่งไปยังตัวควบคุมแรงดันสูง เพื่อควบคุมและรักษาระดับของแรงดันให้คงที่ไว้ที่ 5000 kPa. และที่จุดนี้จะมีตัวตรวจจับแรงดันเชื้อเพลิงติดตั้งอยู่ด้วย เพื่อส่งสัญญาณไปยังกล่องควบคุม จากนั้นเชื้อเพลิงจะถูกส่งไปยังรางหัวฉีดเพื่อรอการจ่ายเชื้อเพลิงต่อไป เชื้อเพลิงที่มีแรงดันเกินจะถูกส่งกลับไปยังถังเชื้อเพลิงเพื่อความปลอดภัย

ระบบควบคุมการทำงานของหัวฉีด หัวฉีดของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรงนี้ เป็นหัวฉีดแรงดันสูง ซึ่งสามารถทำงานได้ที่ความดันเชื้อเพลิงถึง 7000 kPa. และสามารถตอบสนองได้เร็วถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.3 ms. ซึ่งเหนือกว่าหัวฉีด MPI เป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานในการยกหัวเข็มสูงกว่าเดิมมาก ทางผู้ผลิตจึงได้เพิ่มวงจรควบคุมในลักษณะของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อใช้ในการเปิดปิดหัวฉีด โดยยังต้องรับสัญญาณจากกล่องควบคุมอยู่ แต่ความต่างศักย์ที่จ่ายสู่หัวฉีดจะสูงกว่า คือใช้ที่ 100 Volt. และความต้านทานของตัวหัวฉีดก็จะมีค่าต่ำเพียง 0.9 Ohm. เท่านั้น เพื่อให้ได้กระแสที่สูงกว่า หรืออีกนัยหนึ่งคือพลังงานที่เพียงพอต่อการยกหัวเข็มด้านแรงดันของเชื้อเพลิง ในระยะเวลาที่รวดเร็ว

**ระบบจุดระเบิด** การควบคุมการจุดระเบิดจะกระทำโดยตรงจากกล่องควบคุมซึ่งแต่ละสูบจะเป็นอิสระจากกันโดยสิ้นเชิง โดยจะมีคอยล์จุดระเบิดของแต่ละสูบรับสัญญาณโดยตรงจากกล่องควบคุมสัญญาณการจุดระเบิดของแต่ละสูบจะเริ่มต้นที่องศาต่างกัน ซึ่งแตกต่างจากเครื่องยนต์แบบ MPI เป็นอย่างมาก เป็นผลให้กล่องควบคุมสามารถกำหนดองศาจุดระเบิดให้จุดระเบิดได้เร็วกว่าปกติในบางสูบจึงทำให้ได้กำลังสูงขึ้น วงจรที่ใช้ในการควบคุมคอยล์จุดระเบิดนี้จะต้องใช้พลังงานสูงกว่าในระบบ MPI เช่นกัน ทางผู้ผลิตจึงได้เชื่อมต่อวงจรควบคุมเข้ากับวงจรขยายสัญญาณ ในลักษณะของ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อใช้ในการจุดระเบิดในแต่ละสูบ

ระบบการทำงานต่างๆที่แตกต่างจาก ระบบควบคุมแบบ MPI หลัก ๆ คงได้กล่าวข้างต้น แต่ยังมีระบบปลีกย่อยอีกหลายระบบที่จะยังแตกต่างกันอยู่ แต่จะขอกล่าวรายละเอียดใน ภาคผนวก ข ท้ายเอกสารฉบับนี้

## บทที่ 4

# สมมติฐานของการศึกษาและ แนวทางในการทดลอง

### 4.1 สมมติฐานเบื้องต้น

ข้อกำหนดและเงื่อนไขเบื้องต้น เนื่องจากการวิจัยนี้ต้องการที่จะนำเครื่องยนต์ที่มีอยู่ในท้องตลาดมาประยุกต์ใช้กับเชื้อเพลิงเอทานอลบริสุทธิ์ ดังนั้นชิ้นส่วนซึ่งเป็นส่วนหลักของเครื่องยนต์จะยังคงใช้ขนาดเดิมทั้งในการทดลองและในการคำนวณ ส่วนหลัก ๆ คือ ปริมาตรความจุของกระบอกสูบ ในที่นี้นำเครื่องยนต์ขนาด 1834 ซีซี. 4 สูบ มาใช้เป็นต้นแบบในการทดลอง ดังนั้นความจุของกระบอกสูบแต่ละสูบจะเท่ากับ  $1834/4 = 458.5$  ซีซี. โดยมีอุณหภูมิของอากาศขาเข้าที่  $27^{\circ} - 32^{\circ} \text{C}$  อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่  $87^{\circ} - 94^{\circ} \text{C}$  ซึ่งจะใช้ค่าในช่วงนี้ตลอดทั้งการทดลองและการคำนวณ

การนำ เอทานอล มาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เบนซิน นั้นจำเป็นที่จะต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์เพื่อรองรับกับเชื้อเพลิง เอทานอล เนื่องจากคุณสมบัติของ เอทานอล บางประการที่แตกต่างจาก เบนซิน อย่างมาก ตัวอย่างเช่น ค่า Stoichiometric Air Fuel Ratio, ค่าความหนืด, ค่าความล่าช้าของการจุดระเบิด, ความเร็วของการแพร่ของประกายไฟ, ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ และค่าอื่นๆ อีกมาก ในที่นี้เราเลือกพิจารณาเฉพาะค่าที่แตกต่างกันและมีผลกระทบโดยตรงต่อการทำงานของเครื่องยนต์ ดังสมมติฐานต่อไปนี้

### การปรับปริมาณเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.1 ตารางคุณสมบัติของเชื้อเพลิงทั้งสอง

	HHV(kj/kg)	LHV(kj/kg)	A/F <sub>(m)</sub>	RON	Heat of vaporization
เบนซิน	47,300	43,000	14.6	92-99	307
เอทานอล	29,710	26,950	9.0	107	873

คุณสมบัติของเชื้อเพลิงทั้งสองเปรียบเทียบกับตารางด้านบน เมื่อเรานำค่า Stoichiometric Air Fuel Ratio มาคำนวณต่อหนึ่งหน่วยมวลของอากาศ เราจะพบว่า

ค่า HHV ของ เบนซิน เท่ากับ 3,239.70 กิโลจูล ต่อกิโลกรัมอากาศ

ค่า HHV ของ เอทานอล เท่ากับ 3,301.10 กิโลจูล ต่อกิโลกรัมอากาศ

ค่า LHV ของ เบนซิน เท่ากับ 2,945.20 กิโลจูล ต่อกิโลกรัมอากาศ

ค่า LHV ของ เอทานอล เท่ากับ 2,994.40 กิโลจูล ต่อกิโลกรัมอากาศ

- **คำนวณจากพลังงาน**

ถ้าต้องการพลังงาน 1000 กิโลจูล จากการเผาไหม้โดยคำนวณจาก LHV ของเชื้อเพลิง

- จะต้องใช้ เบนซิน เท่ากับ 1,000 กิโลจูล / 43,000 กิโลจูล เท่ากับ 23.26 กรัม.

- จะต้องใช้ เอทานอล เท่ากับ 1,000 กิโลจูล / 26,950 กิโลจูล เท่ากับ 37.11 กรัม.

ต้องปรับมวลเอทานอลเพิ่มขึ้น ( 37.11 กรัม / 23.26 กรัม ) เท่ากับ 1.59 เท่า หรือ 159 % ของ เบนซิน

- **คำนวณจากมวลของอากาศในห้องเผาไหม้**

ถ้าอากาศและเชื้อเพลิงผสมกันเป็นเนื้อเดียวที่ Stoichiometric ณ. ระบายออกสู่อากาศที่มีมวลบรรจุ 1,000 กรัม

- จะต้องใช้ เบนซิน เท่ากับ 1,000 กรัม / 14.6 เท่ากับ 68.5 กรัม

- จะต้องใช้ เอทานอล เท่ากับ 1,000 กรัม / 9.0 เท่ากับ 111.1 กรัม

ต้องปรับมวลเอทานอลเพิ่มขึ้น ( 111.1 กรัม / 68.5 กรัม ) เท่ากับ 1.62 เท่า หรือ 162 % ของ เบนซิน

จากการคำนวณจากมวลของอากาศในห้องเผาไหม้และคำนวณจากพลังงาน พบว่าจำเป็นต้องเพิ่มเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์อีก 59% - 62% ของมวลเชื้อเพลิงเบนซิน

การเพิ่มเชื้อเพลิงทำได้หลายวิธี ดังเช่น เพิ่มขนาดของหัวฉีดให้มีความสามารถในการจ่ายเชื้อเพลิงสูงขึ้น เพิ่มระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง เพิ่มแรงดันเชื้อเพลิง หรือ เพิ่มหัวฉีดเสริม ซึ่งจะทำให้การศึกษาต่อไปในขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

### รูปแบบของละอองเชื้อเพลิง

การไหลของมวลอากาศและเชื้อเพลิงในกระบอกสูบมีผลอย่างมาก กับการก่อตัวของส่วนผสมและการเผาไหม้ ลักษณะห้องเผาไหม้และท่อไอเสียที่ต่างกันอาจส่งผลให้ความเร็วของไอเสียแตกต่างกันได้ถึง 10 เท่า แต่ในที่นี้เรากำหนดเงื่อนไขที่จะคัดแปลงเครื่องยนต์ให้น้อยที่สุด โดยเลือกที่จะใช้ท่อไอเสียและห้องเผาไหม้เดิมโดยไม่มี การปรับแต่ง เราจึงต้องศึกษาถึงความแตกต่างของรูปแบบของละอองเชื้อเพลิง ระหว่างเบนซิน และ เอทานอล และเนื่องจากคุณสมบัติของ เอทานอล ต่างจาก เบนซิน อาจจะมีผลกระทบต่อรูปร่างของละอองเชื้อเพลิงที่ฉีดออกมาจึงต้องมีการทดสอบหัวฉีดในห้องเผาไหม้จำลอง ที่สภาวะต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบรูปร่างและความเร็วของละอองเชื้อเพลิง และอาจต้องมีการปรับแต่งค่าที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้รูปแบบของละอองเชื้อเพลิงที่ใกล้เคียงกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเบนซิน

## สภาวะการสตาร์ทเย็น

จากค่า Heat of vaporization และค่าบน Distillation Curve แสดงให้เห็นว่าเอทานอลต้องการความร้อนเพื่อระเหยเป็น ไอสูงกว่าเบนซินมาก ดังนั้นในสภาวะที่เครื่องยนต์เย็นการติดเครื่องจึงเป็นไปได้ยาก เนื่องจากความร้อนที่เครื่องยนต์มีอยู่ไม่เพียงพอกับที่เอทานอลต้องการ เอทานอล จึงไม่สามารถระเหยตัวได้ทำให้การจุดระเบิดด้วยประกายไฟเป็นไปได้ยาก ในงานวิจัยนี้เราจะยังไม่คำนึงถึงสภาวะการสตาร์ทเย็นของเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอุ่นเครื่องยนต์ให้ถึงอุณหภูมิใช้งานเสียก่อน

## 4.2 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

### ส่วนของการคัดแปลงเครื่องยนต์

จากสมมุติฐานที่ 1 ที่กล่าวว่าเครื่องยนต์ซึ่งใช้ เอทานอล เป็นเชื้อเพลิงต้องการปริมาณของเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เบนซินเป็นเชื้อเพลิง 159 -162 เปอร์เซ็นต์ และในสมมุติฐานนี้ เสนอแนวทางในการปรับแต่งเครื่องยนต์ไว้ 4 ทางเลือกคือ

1. เพิ่มขนาดของหัวฉีดเชื้อเพลิง
2. เพิ่มแรงดันของเชื้อเพลิง
3. เพิ่มหัวฉีดเสริม
4. เพิ่มระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง

ในทางเลือกที่ 1 ขนาดของหัวฉีดเชื้อเพลิงสามารถกำหนดได้จากปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่องต่อนาที (cc./min) การที่จะเพิ่มขนาดของหัวฉีดหมายความว่า เราต้องการหัวฉีดที่มีปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่องต่อนาทีที่สูงขึ้น ( เดิม 1000 cc./min ) จากสมมุติฐานคือสูงขึ้นจากเดิม 159-162 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการยากที่จะหาหัวฉีดที่มีปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงดังกล่าวข้างต้นและยังเป็นวิธีซึ่งมีความซับซ้อนในการทดลองค่า และประการสำคัญคือ หัวฉีดแต่ละหัวยังมีราคาที่สูงมากอยู่ ดังนั้นทางเลือกนี้จึงยังไม่ใช่ทางเลือกในการนำมาประยุกต์ใช้กับการทดลอง

ทางเลือกที่ 2 เพิ่มแรงดันของเชื้อเพลิงกระทำได้โดยปรับค่าแรงดันที่วาล์วปรับแรงดัน (PRESSURE REGULATOR) โดยค่าแรงดันที่เราต้องปรับเพิ่มสามารถคำนวณได้จากสมการของ BERNOULLI ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

$$p_1 + \rho v_1^2 / 2 = p_2 + \rho v_2^2 / 2$$

จากสมการข้างต้น เราสามารถหาอัตราการไหลของมวลผ่านพื้นที่หน้าตัดได้ดังนี้

$$m_{real} = C_D A_2 [(2\rho(p_1 - p_2)) / (1 - (A_2/A_1)^2)]^{1/2}$$

โดยค่าของ  $p_2$ ,  $C_D$ ,  $A_1$  และ  $A_2$  เป็นค่าคงที่สมการจะจัดรูปได้เป็น

$$m_{gasoline} / m_{ethanol} = [\rho_{gasoline} (p_1 - p_2) / \rho_{ethanol} (p_3 - p_2)]^{1/2}$$

$$[1 / 1.59]^2 = [0.74(p_1 - p_2) / 0.794(p_3 - p_2)]$$

$$(p_3 - p_2) = 2.27 (p_1 - p_2)$$

ค่าของ  $p_1 = 5 \text{ Mpa.}$  ,  $p_2 = 0.1 \text{ Mpa.}$  สมการจะได้เป็น

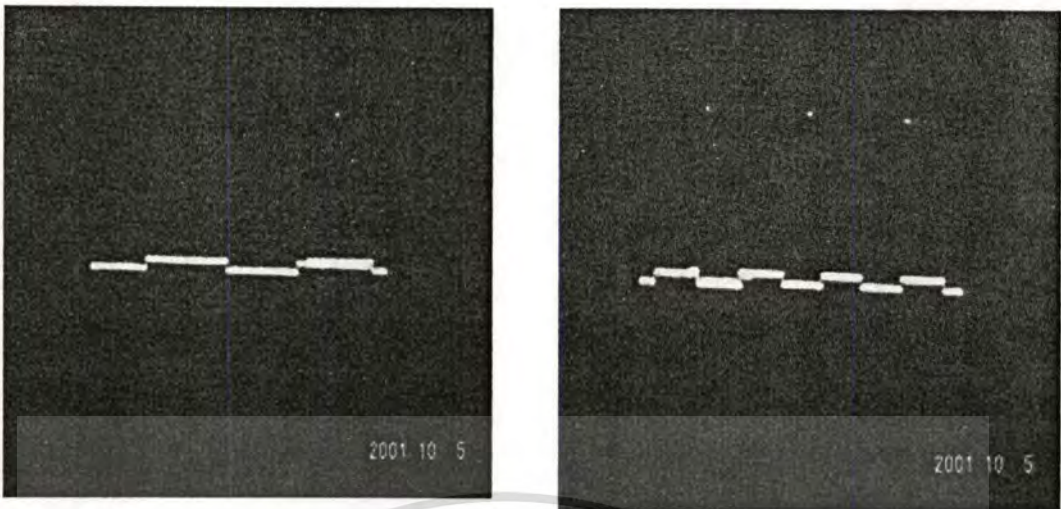
$$p_3 = 2.27 (5 - 0.1) + 0.1$$

$$p_3 = 11.22 \text{ Mpa.}$$

จะเห็นได้ว่า เราจำเป็นต้องเพิ่มแรงดันขึ้นไปอีกสูงมากถึง 11.22 MPa./ 5.00 MPa. เท่ากับ 2.245 เท่า ซึ่งปั๊มเชื้อเพลิงไม่สามารถสร้างแรงดันได้ถึง ( ช่วงทำงานอยู่ที่ 0.5 – 7.0 MPa. ) และอาจทำให้เข็มของหัวฉีดเชื้อเพลิงยกไม่ขึ้นเนื่องจากแรงดันของเชื้อเพลิงสูงเกินไป รวมถึงทำให้รูปแบบของละอองเชื้อเพลิงเปลี่ยนไป วิธีนี้จึงไม่เหมาะสมนัก

ทางเลือกที่ 3 เพิ่มหัวฉีดเสริม การเพิ่มหัวฉีดทำให้การฉีดจ่ายเชื้อเพลิงมีปริมาณมากขึ้นตรงตามจุดประสงค์ เป็นที่นิยม และยังสามารถควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงให้มากหรือน้อยได้จากวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ซับซ้อนและไม่รบกวนการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางอีกด้วย ซึ่งโดยหลักการจะทำการฉีดเชื้อเพลิงเข้าบริเวณท่อร่วมไอดีก่อนถึงลิ้นปีกผีเสื้อเป็นระยะทางที่เหมาะสมและอาจต้องมีตัวช่วยผสม เพื่อให้เชื้อเพลิงระเหยตัวและผสมกับไอดีเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด โดยใช้สัญญาณจากหัวฉีดเชื้อเพลิงหลักเพื่อมาควบคุมจังหวะในการฉีดรวมถึงปริมาณในการฉีดเชื้อเพลิงเสริม แต่วิธีนี้มีผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์โดยตรง เนื่องจากเชื้อเพลิงจากหัวฉีดเสริมจะระเหยตัวบริเวณท่อร่วม ไอดีส่งผลให้ปริมาตรของอากาศถูกแทนที่ด้วยปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ระเหย จึงทำให้ปริมาตรของอากาศที่เข้าสู่กระบอกสูบ น้อยลง หรืออีกนัยหนึ่งคือมวลของอากาศที่ไหลเข้าห้องเผาไหม้จะลดลงซึ่งส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรลดลง และยังมีผลกระทบด้านอื่นๆ อีกด้วย เช่น การผสมตัวของเชื้อเพลิงกับอากาศที่ไม่ทั่วถึงส่งผลให้ส่วนผสมของไอดีก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในแต่ละสูบมีค่าไม่เท่ากัน จึงเป็นการยากที่จะควบคุมส่วนผสมในห้องเผาไหม้ทั้งหมดให้เท่ากัน ดังนั้นวิธีการนี้ถึงจะสะดวกและง่ายแต่ยังไม่ใช่วิธีทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองนี้

ทางเลือกที่ 4 เพิ่มระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงจะถูกกำหนดมาจากหน่วยประมวลผลกลาง (ECU) ของเครื่องยนต์ เราสามารถปรับระยะเวลาในการฉีดได้โดยปรับตัวแปรหลักของระบบควบคุม โดยตัวแปรหลักที่ใช้เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการฉีดประกอบด้วย สัญญาณจาก มาตรการวัดปริมาณอากาศ ตัวตรวจจับองศาลิ้นเร่ง สัญญาณรอบเครื่องยนต์ และ ตัวตรวจจับแรงดันเชื้อเพลิง โดยมาตรการวัดปริมาณอากาศจะแปลงปริมาณของอากาศให้อยู่ในรูปแบบความถี่จากเซ็นเซอร์วัดปริมาณอากาศ เครื่องยนต์ที่ทำการทดลองใช้แบบ คามาเน-วอเทค (Kamann-Vortex) และ เราสามารถที่จะปรับปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงได้โดยปรับสัญญาณความถี่ จากเซ็นเซอร์วัดปริมาณอากาศ ซึ่งตามปกติรูปแบบของสัญญาณเป็นดังรูปที่ 4.1 เราสามารถที่จะปรับแต่งสัญญาณโดยใช้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์เข้าช่วย ให้ได้ผลลัพธ์ออกมาดังรูป 4.1

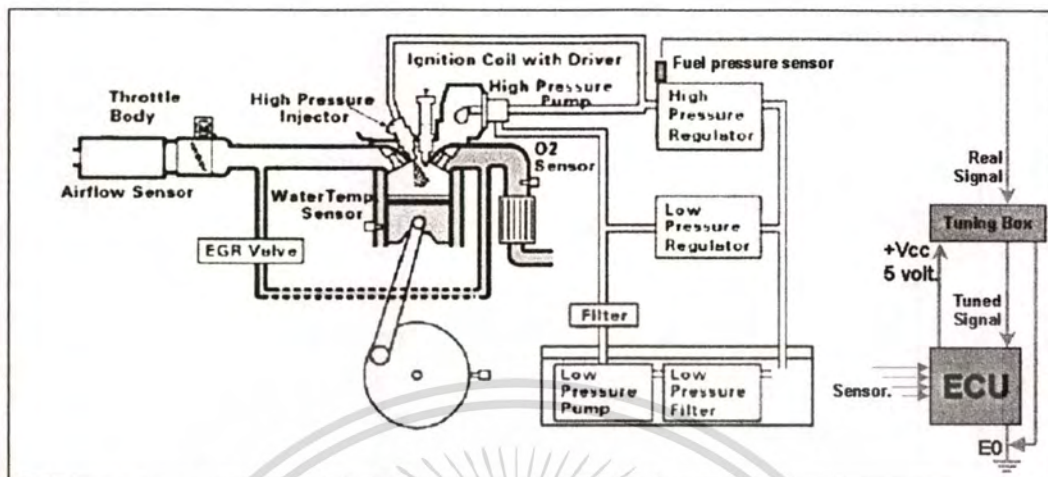


รูปที่ 4.1 สัญญาณความถี่จาก เซ็นเซอร์วัดปริมาณอากาศ ก่อนและหลังปรับแต่ง

การทำเช่นนี้เป็นการปรับตัวแปรหลักแต่เพียงตัวเดียว แต่ในเครื่องชนิดจริงหน่วยประมวลผลกลาง (ECU.) จะประมวลผลตัวแปรหลักร่วมกับฐานข้อมูลเดิม (Default Data) และตัวแปรรองอื่น ๆ อีกมาก ซึ่งถ้ามีการปรับสัญญาณให้ต่างจากความเป็นจริงมากๆ จะทำให้ข้อมูลที่บรรจุอยู่ในชุดข้อมูลพื้นฐานไม่เพียงพอต่อการทำงานของเครื่องชนิด ดังนั้นจึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะนักเพราะอาจทำให้เครื่องชนิดทำงานผิดปกติได้ เช่นเดียวกันกับกรณีของตัวตรวจจับของสารลึนเร่ง

แต่กับตัวตรวจจับแรงดันเชื้อเพลิง ชุดข้อมูลที่บรรจุอยู่ใน หน่วยประมวลผลกลาง เพียงพอกับการปรับแต่งเพื่อรองรับเชื้อเพลิงเอทานอล โดยข้อมูลที่บรรจุอยู่จะมีตัวแปรชนิดการเปลี่ยนแปลงความดันจากปั๊มแรงดันสูง เนื่องจากปั๊ม เป็นปั๊มแบบกลไก ซึ่งมีต้นกำเนิดจากเพลาลูกเบี้ยวของเครื่องชนิดโดยจะหมุนตามรอบของเครื่องชนิด ทำให้ความดันที่สร้างขึ้นไม่คงที่ จึงต้องมีอุปกรณ์ควบคุมและจำกัดแรงดัน ( Pressure Regulator ) เพื่อควบคุมแรงดัน แต่บางกรณีเช่น ที่รอบเครื่องชนิดต่ำ ภาระสูงแต่ได้กรองเชื้อเพลิงตันหรือเชื้อเพลิงไหลไม่สะดวก ปั๊มจึงไม่สามารถสร้างแรงดันได้เพียงพอ เมื่อกล่องควบคุมตรวจจับพบว่า แรงดันเชื้อเพลิงตกลงพร้อมกับส่วนผสมที่วัดได้จากออกซิเจนเซ็นเซอร์บางเกินไป กล่องควบคุมจะทำการ เพิ่มระยะเวลาการฉีดขึ้น เป็นอัตราส่วนผกผันกับแรงดันเชื้อเพลิงที่ตกลง จนกว่าออกซิเจนเซ็นเซอร์จะอ่านค่าได้พอดี หรือ จนกว่าจะถึงค่าสูงสุดของตัวแปรชนิดที่กำหนดไว้ ซึ่งจากการทดลองในขั้นต้น พบว่า ตัวแปรชนิดดังกล่าวสามารถที่จะรองรับการเปลี่ยนเชื้อเพลิงได้ โดยต้องใช้อุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติมเพื่อให้กล่องควบคุมรับสัญญาณจากอุปกรณ์นี้ โดยอุปกรณ์จะติดตั้งอยู่ระหว่างตัวตรวจจับแรงดันเชื้อเพลิง และกล่องควบคุม อุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่ในการปรับเพิ่มหรือลดสัญญาณจากตัวตรวจจับแรงดันเชื้อเพลิง เพื่อให้กล่องควบคุมนำตัวแปรชนิดข้างต้น มาใช้ในการเพิ่มหรือลดระยะเวลาในการจ่ายเชื้อเพลิงของหัว

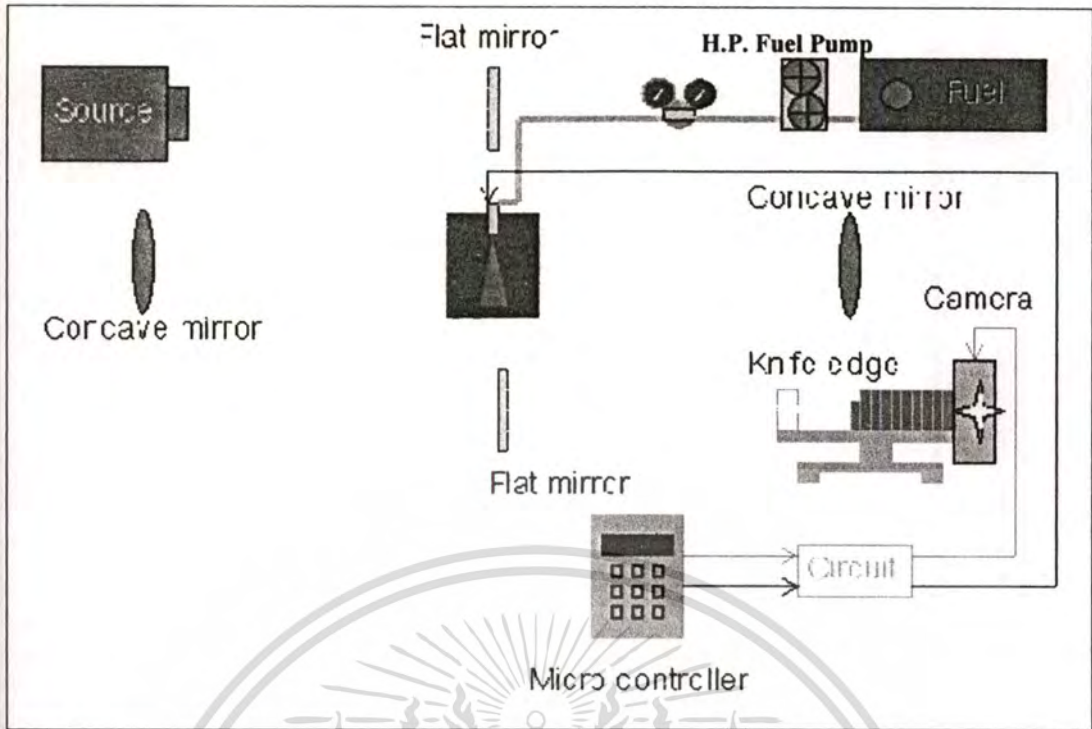
ฉีดให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงเอทานอล โดยอุปกรณ์พิเศษนี้ สามารถปรับตั้งสัญญาณได้อย่างอิสระ ในรูปของผลคูณของสัญญาณจากตัวตรวจจับแรงดันเชื้อเพลิง ซึ่งจะแสดงดังรูป 4.2



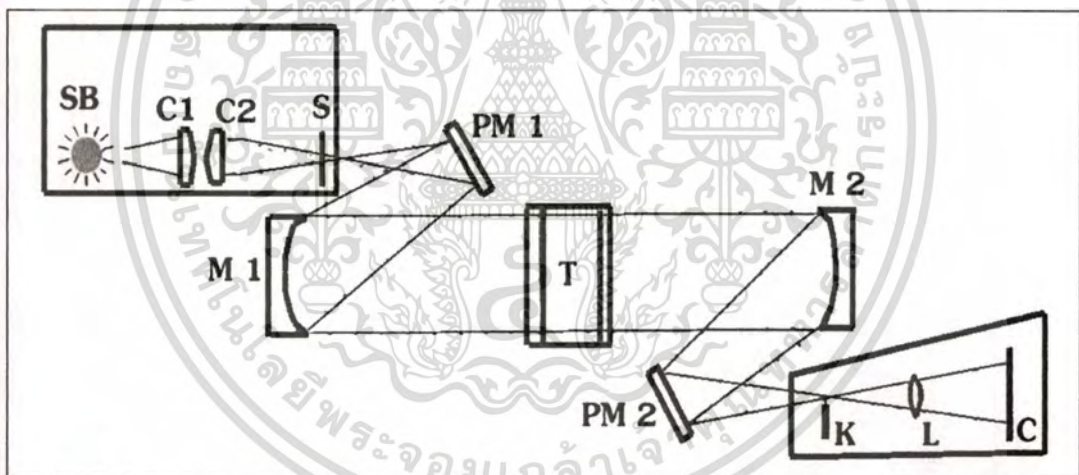
รูปที่ 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์พิเศษเข้ากับเครื่องยนต์

### ส่วนของการทดสอบรูปแบบของละอองเชื้อเพลิง

ส่วนการทดสอบรูปแบบของละอองเชื้อเพลิง เลือกที่จะทำการถ่ายภาพในลักษณะ 2 สภาวะ คือทั้งในสภาวะของเหลว และ สภาวะก๊าซ จึงเลือกที่จะใช้ชุด Schlieren เป็นอุปกรณ์สังเกตการณ์ โดยชุดทดลองมีรายละเอียดดังรูป



รูปที่ 4.3 ชุดอุปกรณ์การทดสอบ



รูปที่ 4.4 หลักการทำงานของเครื่องมือ Schlieren

รูปที่ 4.3 แสดงชุดเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายภาพการฉีดเชื้อเพลิงจากหัวฉีด ชุดเครื่องมือการถ่ายภาพแบบ Schlieren นี้ จะใช้หลักการของการหักเหของแสงผ่านตัวกลางสองชนิด ซึ่งจะทำให้สังเกตเห็นบริเวณที่มีความหนาแน่นต่างกันได้ง่ายขึ้น รูปที่ 4.4 แสดงภาพการทำงานของชุดเครื่องมือ โดยมีหลักการ โดยคร่าวๆดังนี้

- (1) ลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงส่องผ่าน pin hole แล้วถ่างออก
- (2) แสงตกกระทบกระจกราบ PM1 และสะท้อนโดย PM1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (3) แสงตกกระทบ กระจกเว้า M1
- (4) M1 เปลี่ยนแสงที่ต่างออกให้เป็นแสงขนาน
- (5) แสงขนานส่องไปที่ กระจกเว้า M2 และเบนเข้าหากัน โดย M2
- (6) M2 รวมแสงและจะเกิดโฟกัส โดยกระจกราบ PM2
- (7) วางตำแหน่งของ Knife edge ที่จุด โฟกัส
- (8) จะเกิดภาพขึ้นบนฉาก C หลังจากผ่านเลนส์ L

สิ่งที่ต้องการศึกษาควรจะวางไว้ระหว่างตำแหน่ง M1 และ M2 โดยจะทำการศึกษาถึงความแตกต่างของมุมการสเปร์ย์ ระยะทาง และ ความเร็วของสเปร์ย์ เจึงเปรียบเทียบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทดลองต่อไป โดยถ้าต้องการศึกษาเฉพาะสถานะของเหลวอย่างเดียวก็น่าจะสามารถทำได้ โดยปลด Knife edge ออกภาพที่เกิดจะเหมือนตาเห็น เรียกว่าเป็นวิธี Shadow Graph



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# วิธีการทดลองและอุปกรณ์การทดลอง

### 5.1 วิธีการดำเนินการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เอทานอล กับ เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. นำเครื่องยนต์และอุปกรณ์ครบชุด มาติดตั้งบน อุปกรณ์ทดสอบกำลัง พร้อมทั้งติดตั้ง อุปกรณ์วัดค่ามลพิษ และอุปกรณ์วัดค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
2. ทดสอบเครื่องยนต์ตามสภาวะที่กำหนดโดยใช้เชื้อเพลิงเบนซิน ( E0 ) ทำการเก็บค่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และมลพิษไว้เพื่อใช้อ้างอิง
3. ทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสม ( E10, E85 ) และ เอทานอลบริสุทธิ์ ( E100 ) ทำการเก็บค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษไว้เพื่อใช้อ้างอิง
4. หลังจากนั้นจะนำหัวฉีดมาทำการทดสอบและเก็บค่ารูปแบบของละอองเชื้อเพลิงเบนซิน ( E0 ) โดยทำการทดลองบนชุดสังเกตุการณ์ ซูริเลนส์ โดยถ่ายภาพเบนซินเพื่อใช้อ้างอิง จากนั้นทำการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็น เอทานอล ( E100 ) การทดสอบและเก็บค่าในขั้นตอนนี้จะทำบนห้องเผาไหม้ จำลอง และใช้วิธีการถ่ายภาพด้วยความเร็วสูงร่วมกับ ชุดอุปกรณ์ควบคุมการฉีดและการถ่ายภาพ เป็นเครื่องมือช่วยในการเก็บภาพ ที่อุณหภูมิห้องทดสอบ 300 K และ 350 K โดยจะศึกษาถึง มุมของละอองเชื้อเพลิง ความเร็วของละอองเชื้อเพลิง และอัตราการระเหยตัว ที่อุณหภูมิต่างกัน
5. ติดตั้งวงจรปรับปริมาณของเชื้อเพลิง เพื่อปรับให้ส่วนผสมระหว่างอากาศ และเชื้อเพลิง ถูกต้อง ทำการปรับโดยใช้อุปกรณ์วัดมลพิษ ในหมวดการวัดค่า แลมด้า เป็นดั่งบ่งชี้โดยจะทำการปรับจนค่า แลมด้า ใกล้เคียงกับค่าของเชื้อเพลิงเบนซิน
6. เปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็น เอทานอลบริสุทธิ์ ( E100M ) ทำการเก็บค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบ
7. นำข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

## 5.2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นเชื้อเพลิงที่เกิดจากการผสมเบนซินออกเทน 95 เข้ากับเอทานอลในอัตราส่วนต่างๆกัน โดยกำหนดชื่อเชื้อเพลิงตามอัตราส่วนร้อยละของเอทานอล โดยทั้งหมดเป็นค่าร้อยละโดยมวล

เนื่องจากเอทานอล และ เบนซินสามารถทำการผสมกันได้โดยง่ายอยู่แล้ว จึงสามารถผสมกันได้เลย ตามอัตราส่วนที่กำหนดดังตาราง โดยที่เชื้อเพลิง E100 และ E100M คือเชื้อเพลิงเดียวกัน แต่ E100 มีความหมายว่า เป็นเชื้อเพลิงเอทานอลที่ใช้กับเครื่องยนต์ก่อนการตัดแปลง ส่วน E100M มีความหมายว่า เป็นเชื้อเพลิงเอทานอลที่ใช้กับเครื่องยนต์หลังจากตัดแปลงแล้ว

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

ชนิดของเชื้อเพลิง	ร้อยละของเบนซินออกเทน 95	ร้อยละของเอทานอล 99.5 %	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	ค่าพลังงาน (kJ/cc.)
E0	100	0	742	32.000
E10	90	10	747	30.930
E85	15	85	784	22.905
E100	0	100	792	21.300
E100 M	0	100	792	21.300

## 5.3 สภาวะที่ทำการทดลอง

การทดลองกำหนดที่ 13 สภาวะ ที่รอบการทำงาน 2000-4000 รอบต่อนาทีโดยปรับช่วงละ 500 รอบ และทดลองที่ความดันเฉลี่ยเบรก 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. ที่เลือกทำการทดสอบเช่นนี้ จุดประสงค์เพื่อที่จะสามารถทำการเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงทั้งสองได้สะดวก โดยใช้ค่ากำลังเบรกเป็นค่าอ้างอิง ซึ่งค่าในช่วงที่ทำการทดลองนี้ เป็นช่วงที่ใช้งานเป็นส่วนมาก ดังตาราง 5.2

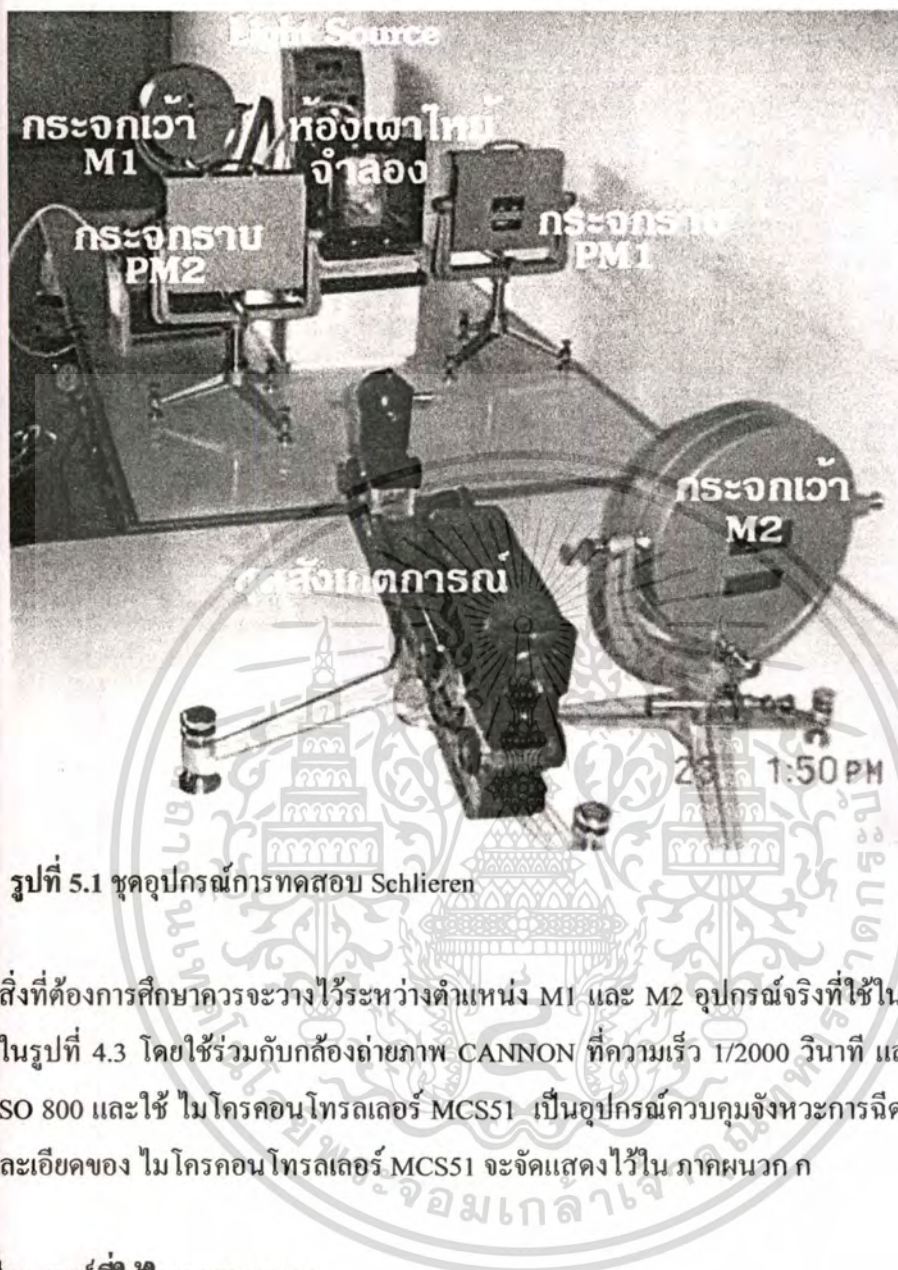
## ตารางที่ 5.2 สภาวะที่ทำการทดลอง

สภาวะที่	รอบการทำงาน (รอบต่อนาที)	ความดันเฉลี่ยเบรก (kPa.)	กำลังเบรก (kW.)
1	2000	100	3.05
2	2500	100	3.81
3	3000	100	4.58
4	3500	100	5.34
5	4000	100	6.10
6	2000	300	9.15
7	2500	300	11.44
8	3000	300	13.73
9	3500	300	16.01
10	4000	300	18.30
11	2000	500	15.25
12	2500	500	19.06
13	3000	500	22.88

โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 305 K, ความชื้นสัมพัทธ์ 60% ทำการอุ่นเครื่องยนต์และอุปกรณ์อื่นๆ ก่อนทำการทดลองเป็นเวลา 30 นาที เมื่อเริ่มทำการทดลอง จะทำการเร่งเครื่องจนถึงสภาวะที่กำหนด จากนั้นจะคงสภาวะนั้นไว้จนกระทั่งเครื่องยนต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรืออยู่ในสภาวะคงที่ จึงจะเริ่มทำการเก็บค่า หลังจากบันทึกค่าแล้วจะปล่อยเครื่องยนต์ให้กลับสู่สภาวะเดินเบาสักครู่ ก่อนจะทำการทดลองที่สภาวะถัดไป โดยกระทำจนครบทุกสภาวะ

### 5.4 อุปกรณ์ถ่ายภาพความเร็วสูงเพื่อเก็บภาพการฉีดเชื้อเพลิง

ส่วนการทดสอบรูปแบบของละอองเชื้อเพลิง ในชุดทดลองโดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ชุดอุปกรณ์การทดสอบ Schlieren

สิ่งที่ต้องการศึกษาคือจะวางไว้ระหว่างตำแหน่ง M1 และ M2 อุปกรณ์จริงที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยใช้ร่วมกับกล้องถ่ายภาพ CANNON ที่ความเร็ว 1/2000 วินาที และฟิล์มความไวแสง ISO 800 และใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51 เป็นอุปกรณ์ควบคุมจังหวะการฉีดและการถ่ายภาพ รายละเอียดของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51 จะจัดแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก

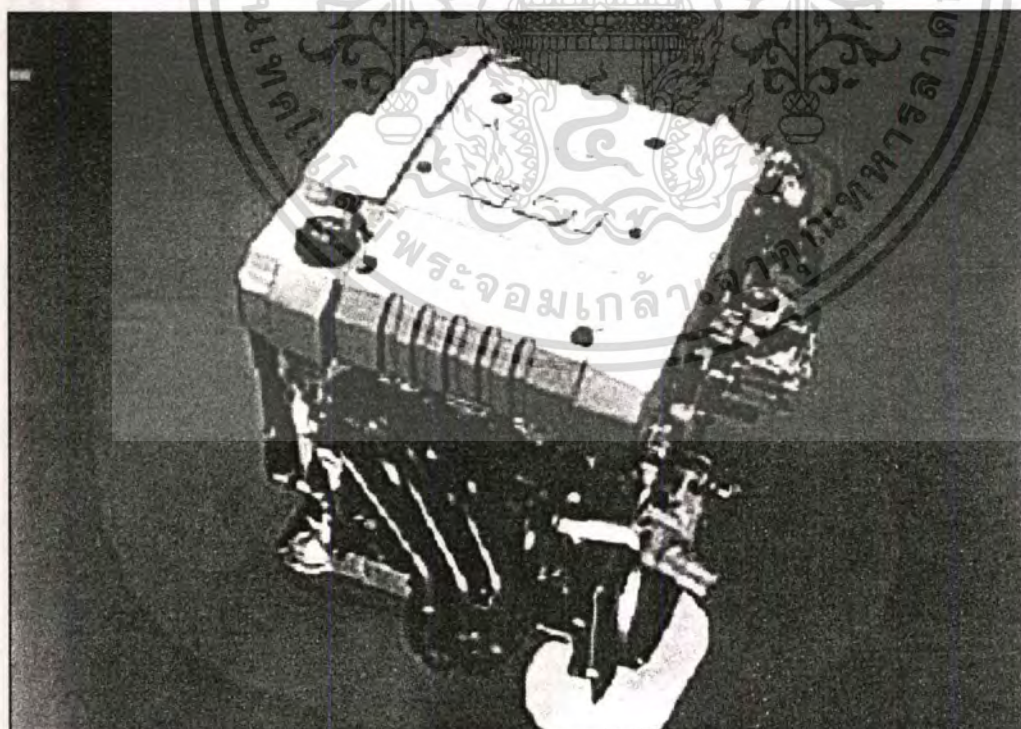
### 5.5 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง

ดังนั้นจึงเลือกใช้เครื่องยนต์ของบริษัท มิทซูบิชิ รหัสผู้ผลิต 4G 93 GDI ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่ติดตั้งอยู่บนรถยนต์ของ มิทซูบิชิรุ่น Garlant และ Charisma ซึ่งมีจำหน่ายทั้งใน ญี่ปุ่น และภาคพื้น ยุโรป และมีแนวโน้มว่าจะนำมาติดตั้งในรถยนต์ขนาดกลางถึงเล็กที่จะออกจำหน่ายในประเทศไทยในอนาคตอันใกล้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### ตารางที่ 5.3 รายละเอียดของเครื่องยนต์

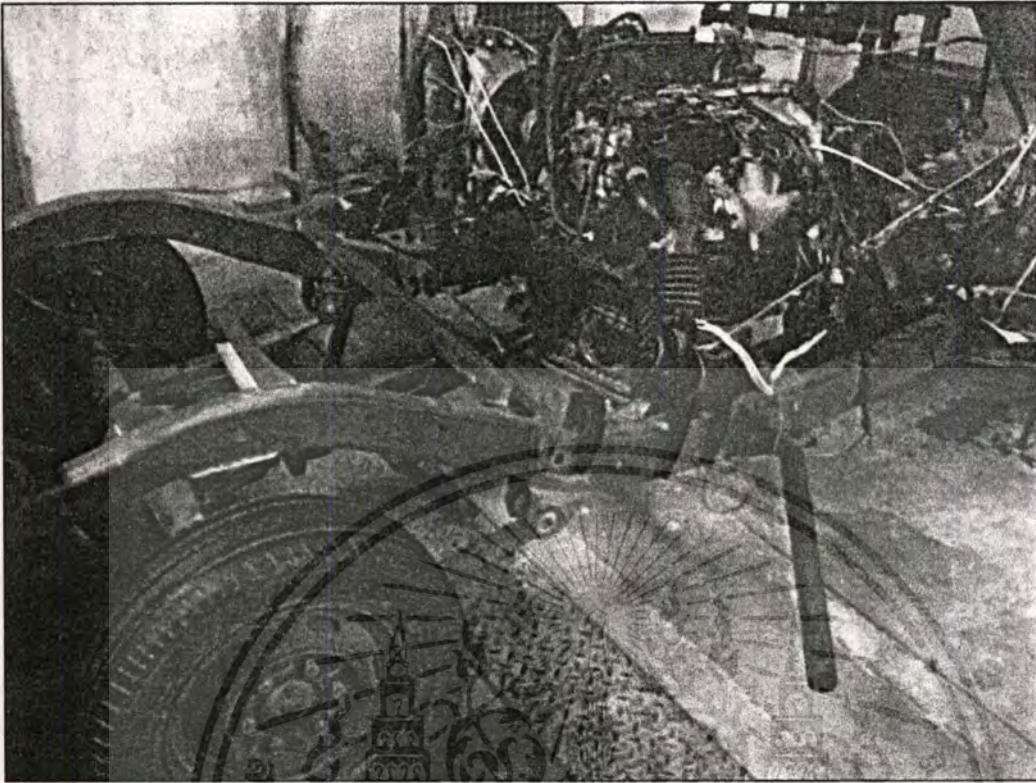
ความจุ ( cc. )	1834
กระบอกสูบ และช่วงชัก	81 x 89
อัตราส่วนการอัด	12.5
กำลังสูงสุด ( kW. / rpm. )	110 / 6500
แรงบิดสูงสุด ( N-m / rpm. )	178 / 4000
ระบบจุดระเบิด	4-Coil Direct Ignition
แรงดันเชื้อเพลิง	5 Mpa.

เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการวัดกำลัง เป็นเครื่องมือ Chassis Dynamometer การทดลองจึงต้องนำเครื่องยนต์ ดังรูป 5.2 มาติดตั้งบนโครงสร้างของรถบรรทุกขนาดเล็กและต่อเพลาส่งกำลังเข้ากับล้อช่วยแรงโดยตรง เพื่อส่งกำลังไปยังชุดเฟืองท้ายซึ่งต่อไปยังล้อ และนำไปติดตั้งบนเครื่องมือที่ใช้ในการวัดกำลังต่อไป รายละเอียดของระบบต่างๆของเครื่องยนต์ ระบบควบคุม รวมถึง หัวฉีด จะจัดแสดงไว้ใน ภาคผนวก ข



รูปที่ 5.2 รูปเครื่องยนต์ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 รูปเครื่องชนิดทดสอบติดตั้งบน โครงสร้างของรถบรรทุก

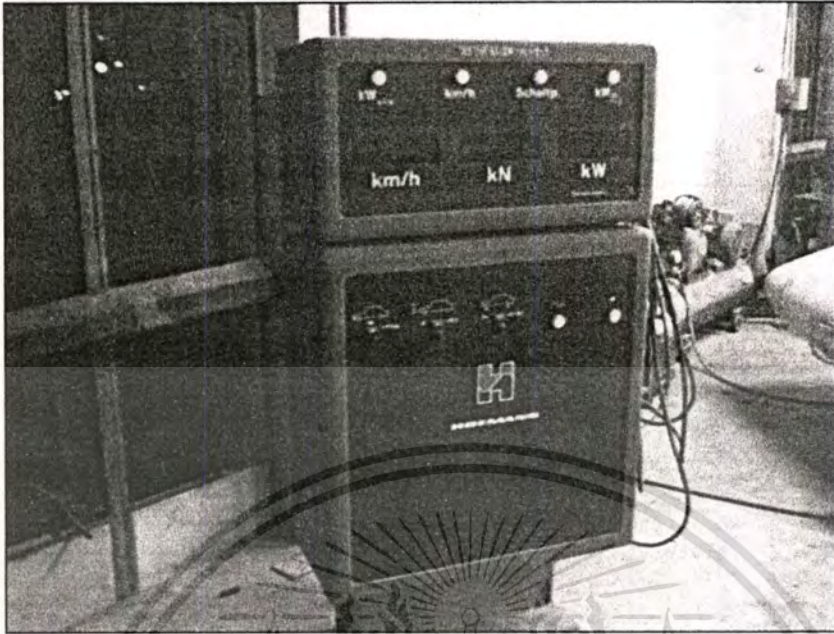
### 5.6 อุปกรณ์วัดกำลังและแรงบิด

ใช้ Chassis Dynamometer วัดกำลังจากล้อ โดยสามารถวัดค่าได้หลายลักษณะ ทั้งกำลังสูงสุดที่ความเร็วต่างๆ และสามารถกำหนดความเร็วให้คงที่ได้

อุปกรณ์วัดกำลังและแรงบิด

- ผู้ผลิต HOFMANN
- รุ่น Dynatest 112-D II
- แบบ Chassis Dynamometer
- ความสามารถ 30-199 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ความสามารถ 0-199.9 กิโลวัต

รูปของอุปกรณ์วัดกำลังและแรงบิด แสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.4 อุปกรณ์วัดกำลังและแรงบิด

### 5.7 อุปกรณ์วัดปริมาณไอเสีย

สามารถตรวจวัดค่าของ คาร์บอน ไดออกไซด์ คาร์บอนโมโนออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจนออกไซด์ ออกซิเจน แลมด้า และ อุณหภูมิน้ำมันเครื่อง การวัดค่าจะทำการวัดโดยไม่ติดตั้ง อุปกรณ์กำจัด ไอเสีย เพื่อสังเกตค่าจริงที่เครื่องยนต์ปล่อยออกมา โดยแสดงดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.5 อุปกรณ์วัดปริมาณไอเสีย

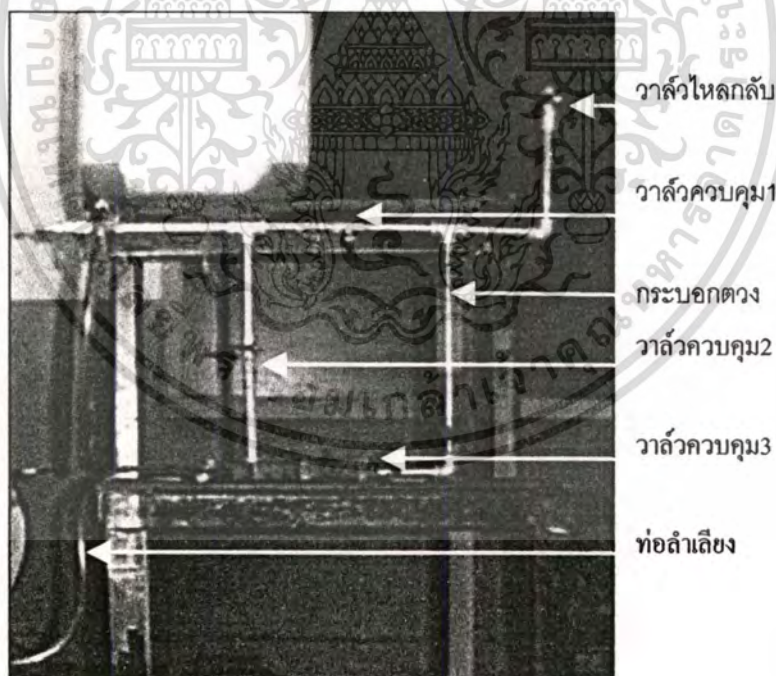
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์วัดปริมาณไอเสีย	- ผู้ผลิต	Stargas
	- รุ่น	898

การวัดค่า วัดโดยนำส่วนปลายของ Probe สอดเข้าไปที่ท่อไอเสีย ส่วนปลายของ Probe จะต้องเข้าไปลึกกว่า 30 เซนติเมตร จากปลายของท่อไอเสีย เพื่อการวัดค่าที่แม่นยำ โดยเครื่องจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าให้ทุกๆ 1 วินาที และสามารถ เก็บ และพิมพ์ค่าได้ด้วยตนเอง

## 5.8 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อกำลังงาน

ชุดอุปกรณ์ประกอบด้วย กระจบอทดวงขนาด 100 cc. ชุดวาล์วควบคุมทิศทางการไหล ชุดท่อลำเลียง ร่วมกับ นาฬิกาจับเวลาแบบตัวเลข และมีทศนิยมสองตำแหน่ง ทำการตรวจวัดโดยการปล่อยให้เครื่องยนต์ทำงานในสภาวะทดสอบจนกระทั่ง จึงเริ่มปิดวาล์วจ่ายน้ำมันจากถัง ให้เครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงที่มีอยู่ในกระจบอทดวงเท่านั้น โดยเริ่มทำการจับเวลาที่ 75 cc. และจะหยุดจับเวลาที่ 25 cc. จะได้ค่าของเวลาที่เครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิง 50 cc. เราสามารถนำมาคำนวณ หาค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อกำลังงานได้



รูปที่ 5.6 อุปกรณ์วัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงจะไหลจากถังลงสู่ท่อด้านบน มาสู่ วาล์วควบคุม 1 และวาล์วควบคุม 2 ก่อนที่จะทำการทดสอบ จะเติมเชื้อเพลิงให้เต็มกระบอกดวงเสียดก่อน เมื่อเริ่มการทดสอบจะเปิดวาล์วควบคุม 1 และ 3 พร้อมกับเปิดวาล์วควบคุม 2 ให้น้ำมันไหลผ่านไปโดยยังไม่ใช่เชื้อเพลิงในกระบอก ต่อเมื่อต้องการทดสอบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จึงปิดวาล์วควบคุม 2 และเปิดวาล์วควบคุม 3 พร้อมกับวาล์วไหลกลับ เพื่อให้ น้ำมันในกระบอกไหลเข้าสู่ปั๊ม และน้ำมันส่วนเกินที่ระบายออกจากเครื่องยนต์ ไหลเข้าสู่กระบอกดวง เพื่อความแม่นยำในการวัดค่าโดยจะเริ่มทำการจับเวลาเมื่อเชื้อเพลิงลดลงมาที่ 75 cc. และจะหยุดจับเวลาที่ 25 cc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### ผลการทดลอง

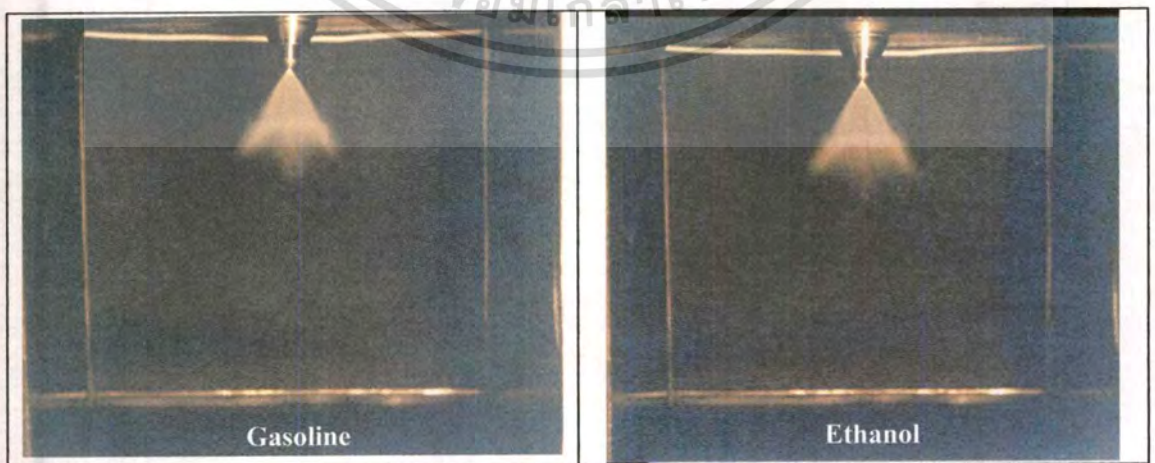
#### 6.1 การทดสอบรูปแบบของละอองเชื้อเพลิง

การทดลองส่วนแรก ทดสอบละอองของเชื้อเพลิงเบนซินออกเทน 95 และเอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์ ในห้องทดสอบ และใช้วิธีการถ่ายภาพชาโคกราฟ และแบบซูริเลนส์ ที่ความดันเชื้อเพลิง 2Mpa. ความดันห้องทดลองเท่ากับความดันบรรยากาศ ผลการทดลองด้านต่างๆเป็นไปดังรูป

การถ่ายภาพชุดแรกนี้จะถ่ายโดยใช้วิธี ชาโคกราฟ จะสังเกตเห็นได้เฉพาะเชื้อเพลิงส่วนที่เป็นของเหลวเท่านั้น ไม่สามารถสังเกตส่วนที่ระเหยตัวไปแล้วได้ การทดลองนี้ทำเพื่อสังเกตความแตกต่างขั้นต้นของละอองเชื้อเพลิงทั้งสอง ที่อุณหภูมิห้องเผาไหม้ 350 K.

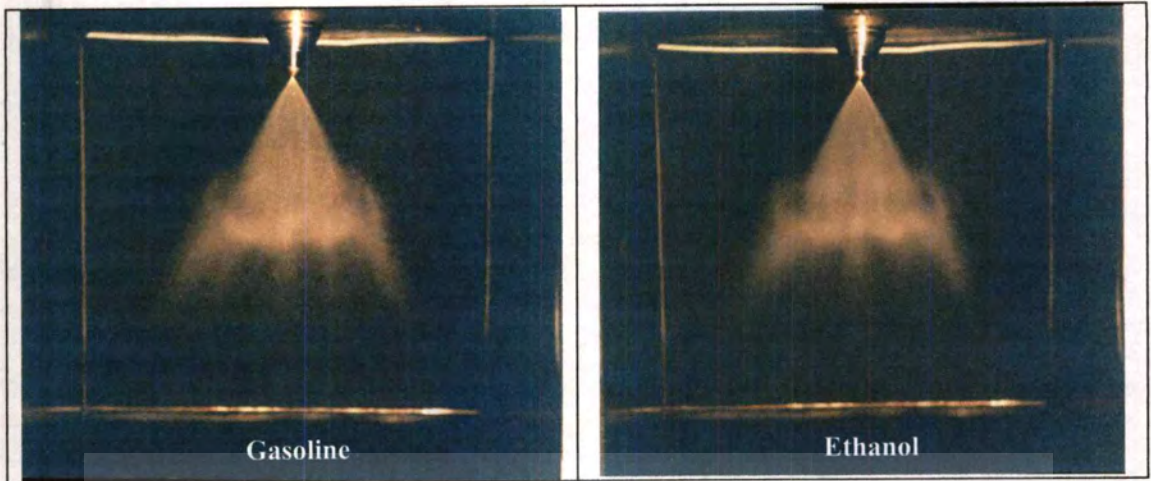


รูปที่ 6.1 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 2 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.



รูปที่ 6.2 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 4 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 8 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.

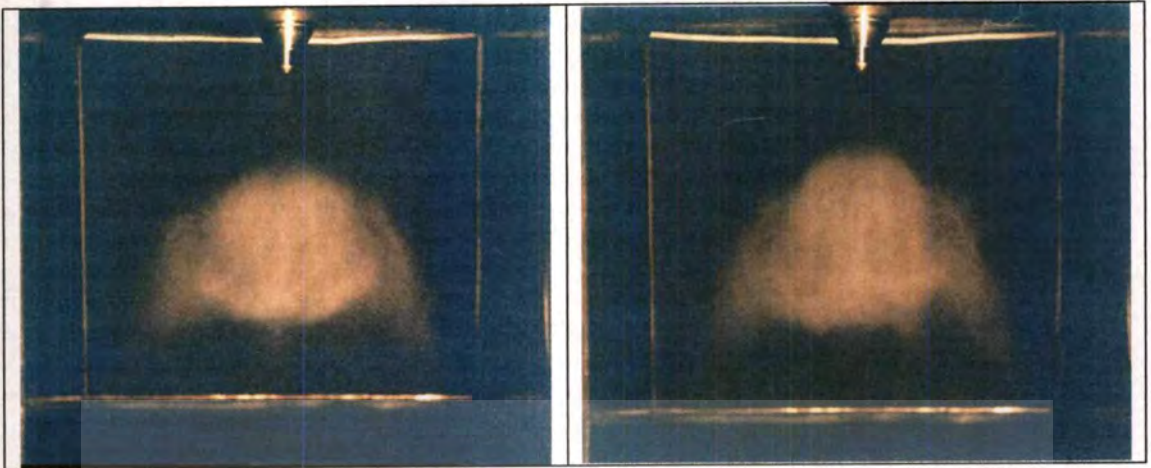


รูปที่ 6.4 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 10 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.

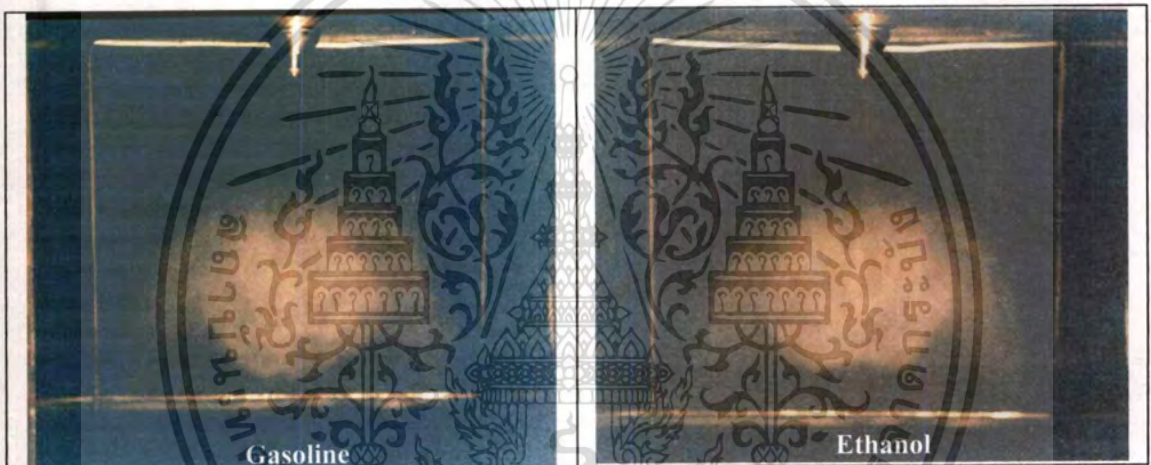


รูปที่ 6.5 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 12 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 14 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.



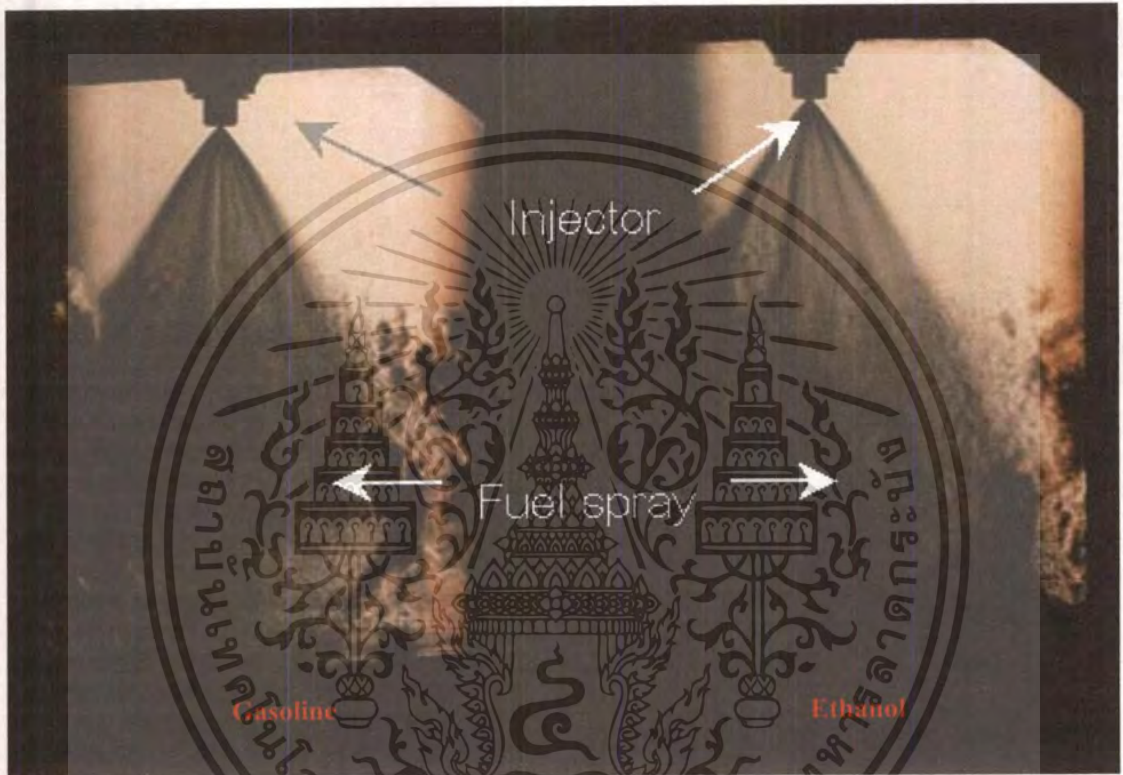
รูปที่ 6.7 สเปรย์เบนซิน และ เอทานอลที่ 16 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.

จากผลการทดสอบข้างต้น พบว่ารูปแบบของละออง เบนซิน และ เอทานอล แทบไม่แตกต่างกัน แต่ละอองเอทานอลฟุ้งกระจายกว่าเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับเอกสารอ้างอิง [8] ซึ่งอธิบายว่า รูปแบบของละอองเชื้อเพลิงจะคงที่ไม่สัมพันธ์กับรอบการทำงานของเครื่องยนต์ แต่จะสัมพันธ์กับความดันของเชื้อเพลิง ส่วนของเชื้อเพลิงที่ฉีดออกมาในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์แบบฉีดตรงซึ่งมีอุณหภูมิสูง ในระยะเวลาของการฉีดเท่ากันพบว่า เอทานอลจะมีการระเหยตัวสูงกว่า ส่งผลให้ความเร็วของละอองเชื้อเพลิงลดลง แต่ความเร็วของละอองเชื้อเพลิงที่สังเกตได้นั้นจะต่างกันเพียงเล็กน้อย เป็นผลมาจาก ละอองของเอทานอลมีขนาดใหญ่กว่า และความเร็วของละอองเอทานอลสูงกว่าเบนซิน ซึ่งสามารถชดเชยกับความเร็วที่ลดลงจากการระเหยตัว ทำให้ความเร็วที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

จากการทดลองข้างต้นพบว่า รูปแบบที่เกิดขึ้นต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยละอองเอทานอลฟุ้งกระจายกว่าเล็กน้อย ในช่วง 10 ms. แรกจะยังไม่เห็นความแตกต่างชัดเจนที่รูปที่ 6.1 ถึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 แต่หลังจาก 10 ms. ไปแล้ว สังเกตได้จากรูปที่ 6.5 จะพบว่าละอองเอทานอล กระจายตัวมากกว่าเล็กน้อย และจากรูปยังสังเกตได้อีกว่า กลุ่มของเอทานอลนั้น มีสีที่จางกว่า หรืออีกนัยหนึ่งคือ มีละอองที่เป็นของเหลวอยู่น้อยกว่านั่นเอง หรือแปลได้ว่า เอทานอล ระเหยตัวได้เร็วกว่าเบนซิน เล็กน้อย แต่ต้องศึกษาจากการทดลองด้วยชุดซูริเลนส์เพื่อศึกษาส่วนที่ระเหยต่อไป

ภาพต่อไปเน้นศึกษาเกี่ยวกับ มุมของลำสเปรย์ (Cone Angle) ทำการทดลองด้วยชุด ซูริเลนส์ ที่อุณหภูมิห้อง 300 K

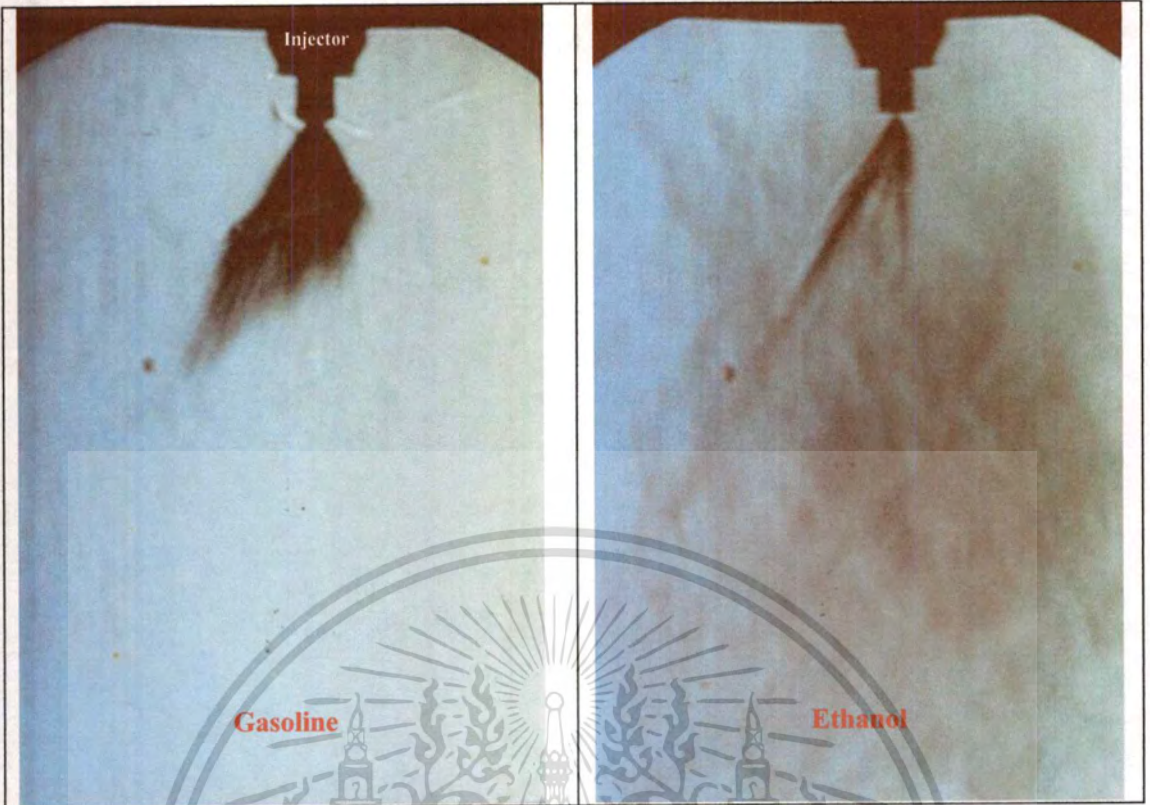


รูปที่ 6.8 สเปรย์เชื้อเพลิงเบนซินที่ 12 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 50 ms.

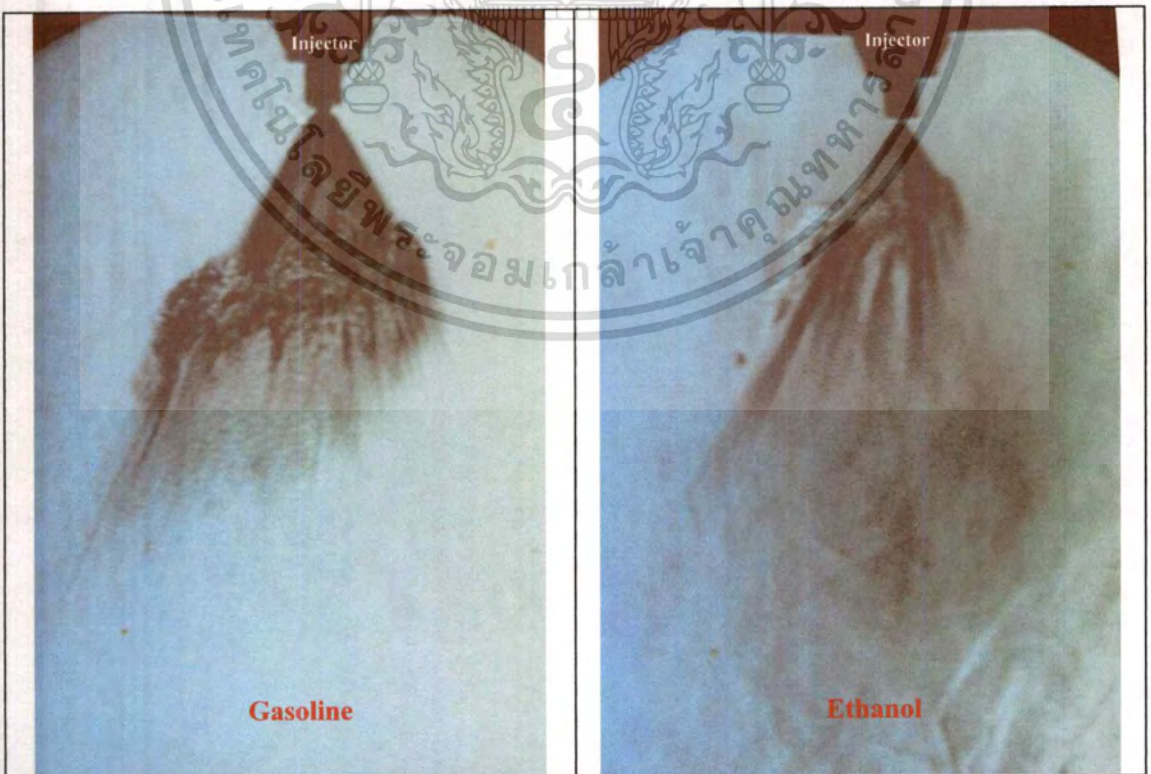
จากรูป เป็นการถ่ายภาพขณะทำการฉีดเชื้อเพลิง แบบต่อเนื่อง ในห้องเผาไหม้จำลอง เพื่อศึกษาถึงมุมของลำสเปรย์ (Cone Angle) ผลการถ่ายภาพเป็นดังรูปที่ 6.8 พบว่าสเปรย์ของเบนซิน มีมุมของลำสเปรย์ ใกล้เคียงกับ มุมของลำสเปรย์เอทานอล คือที่ประมาณ 70 องศา และพบว่า เบนซินสามารถระเหยตัวได้ดีกว่าเล็กน้อย

จากนั้น ทำการทดสอบในห้องเผาไหม้จำลอง โดยขั้นตอนนี้ ทำการทดลองด้วยชุด ซูริเลนส์ ที่อุณหภูมิห้อง (300 K) เพื่อศึกษาถึงความเร็วของละอองเชื้อเพลิง และอัตราการระเหยตัวของเชื้อเพลิงทั้งสอง ผลการทดลองเป็น ไปดังรูปที่ 6.9 ถึงรูปที่ 6.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

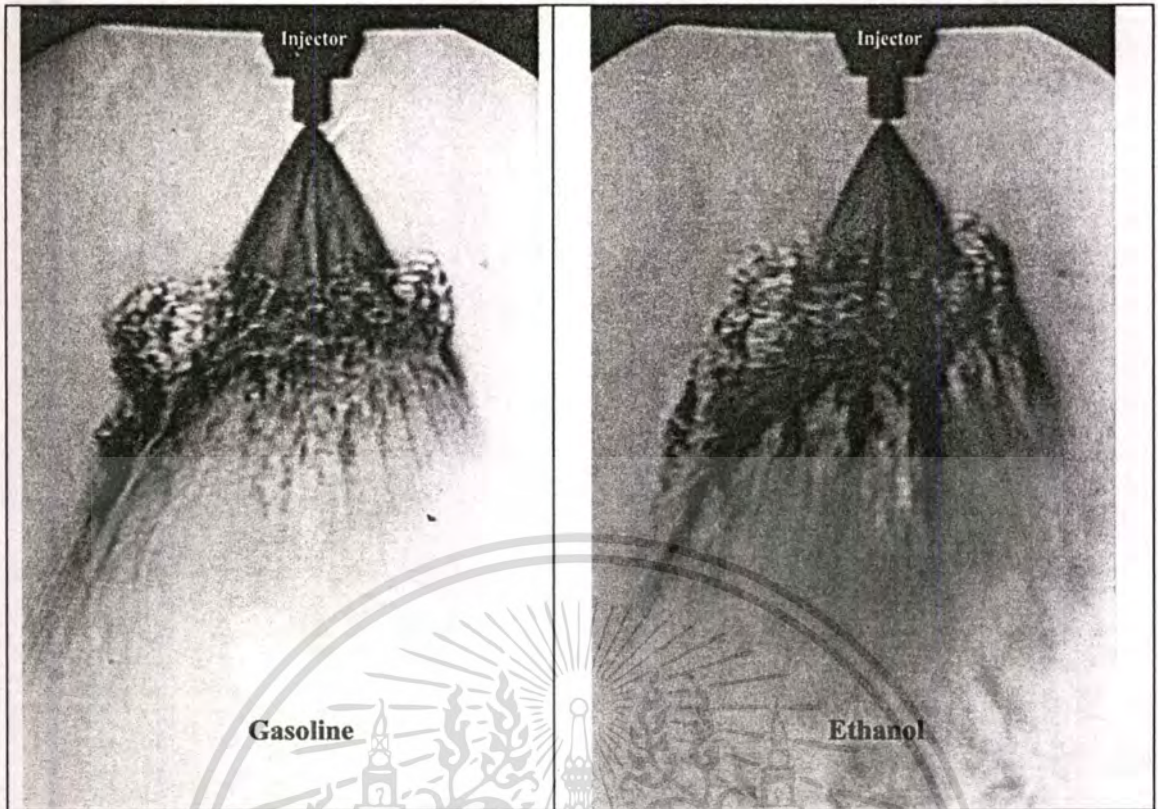


รูปที่ 6.9 รูปแบบของสเปรย์เชื้อเพลิงที่ 2 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.

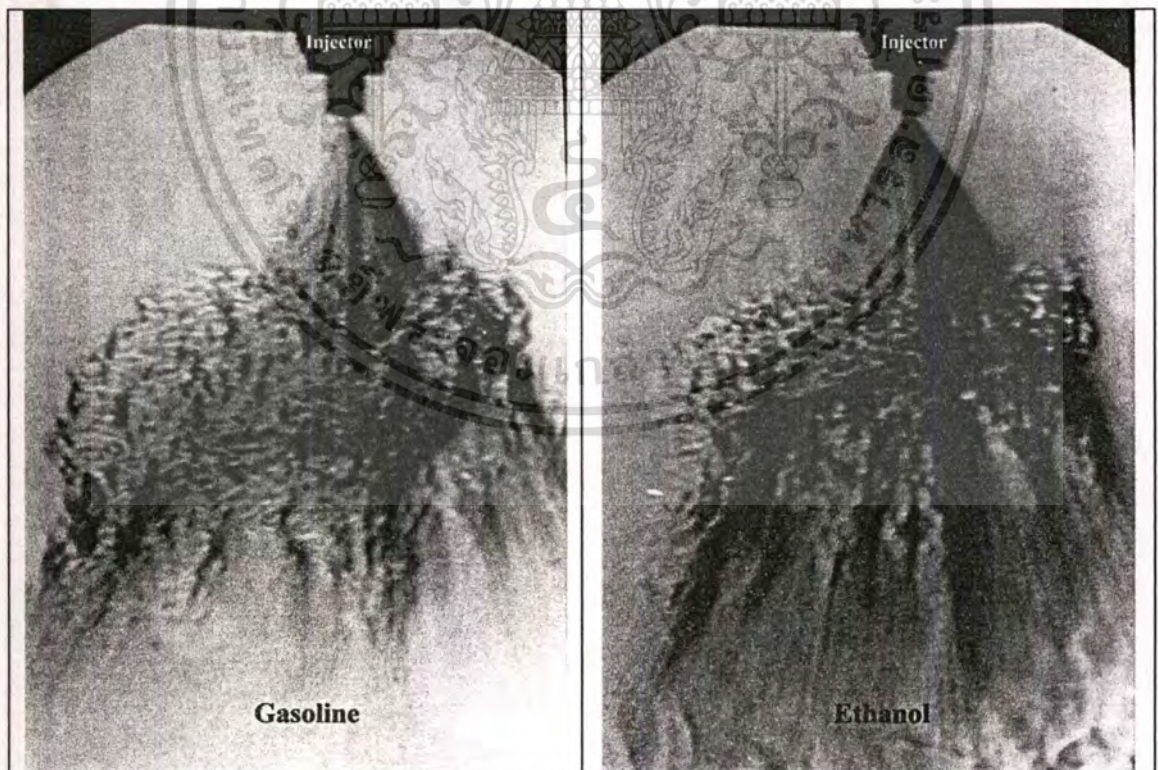


รูปที่ 6.10 รูปแบบของสเปรย์เชื้อเพลิงที่ 4 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

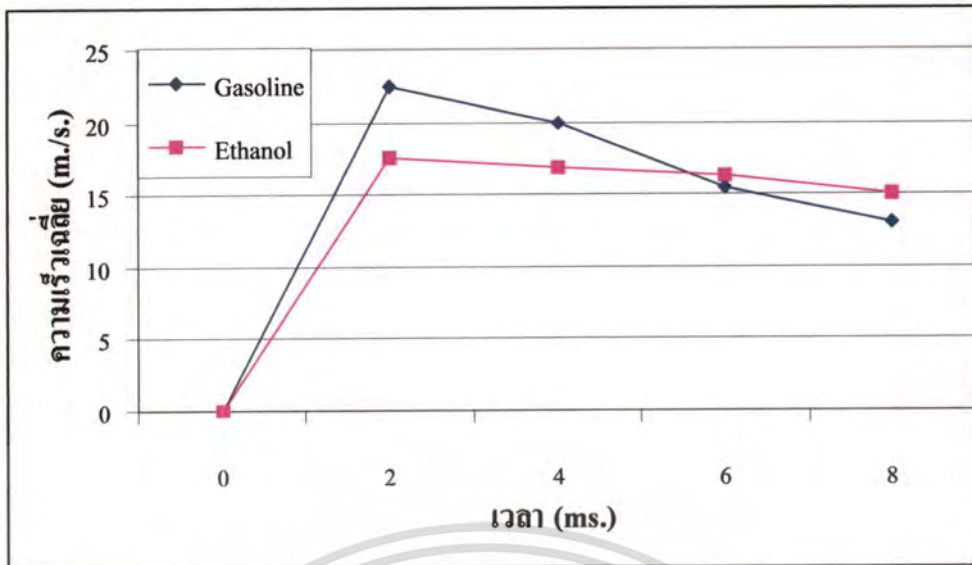


รูปที่ 6.11 รูปแบบของสเปรย์เชื้อเพลิงที่ 6 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.



รูปที่ 6.12 รูปแบบของสเปรย์เชื้อเพลิงที่ 8 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.

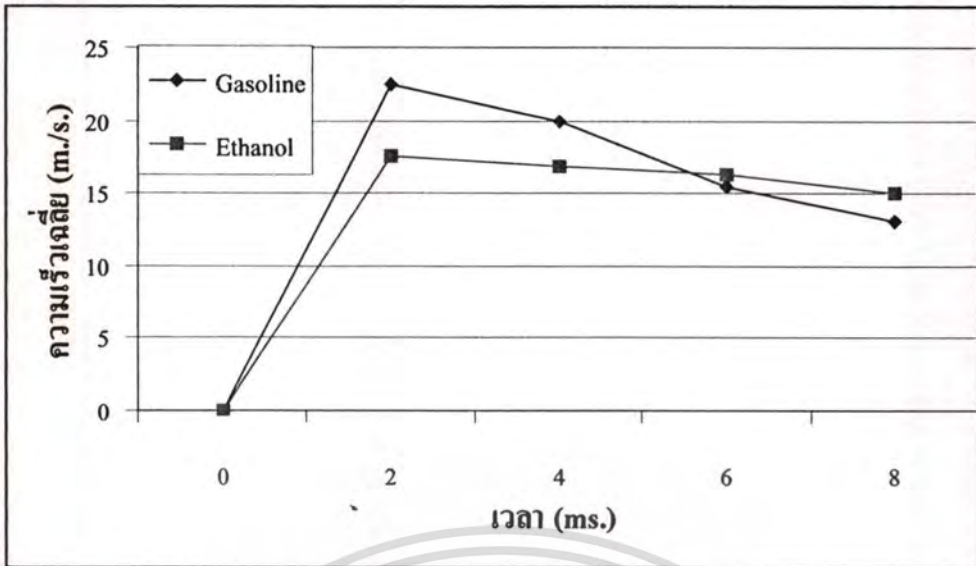
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.15 ความเร็วเฉลี่ยของสเปรย์ เทียบกับเวลา

จากรูปกราฟทั้งสาม พบว่าทั้ง การกระจัดสูงสุด การกระจัดเฉลี่ย และ ความเร็วเฉลี่ย ของละอองเชื้อเพลิงทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่เอทานอล มีแนวโน้มว่าสามารถกระจายตัวไปได้ดีกว่าและไกลกว่า จากรูปที่ 6.3 และ 6.4 พบว่า ช่วงแรก เบนซินสามารถพุ่งออกมาจากหัวฉีดได้เร็วกว่าและก่อตัวเป็นลำสเปรย์ได้เร็วกว่า เอทานอล เนื่องจากค่าความหนืดที่ต่ำกว่าของเบนซิน แต่ต่อมา ในรูป 6.5 และ รูปที่ 6.6 พบว่า ถึงแม้การกระจัดสูงสุดของเบนซินจะสูงกว่า แต่การค่ากระจัดเฉลี่ยของ เอทานอล เริ่มมีค่าสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด จึงทำให้การกระจายตัวของ เอทานอล ดีกว่าสาเหตุที่ทำให้เอทานอลการค่ากระจัดเฉลี่ยสูงกว่าเบนซินเนื่องจาก เอทานอล มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเบนซิน ส่งผลให้ละอองของ เอทานอล มีน้ำหนักมากกว่า เมื่อถูกฉีดออกมาด้วยแรงดันที่เท่ากัน เอทานอล จึงสามารถพุ่งไปได้ไกลกว่า และกระจายตัวได้ดีกว่า ส่วนด้านการระเหยตัวนั้น ยังไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนนัก แต่สังเกตได้ว่า เบนซินมีอัตราการระเหยตัวสูงกว่าเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากจาก เอทานอลมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงกว่าเบนซินมาก จึงต้องใช้พลังงานที่มากกว่าในการระเหยตัว อัตราการระเหยตัวของเอทานอลจึงต่ำกว่าเล็กน้อย

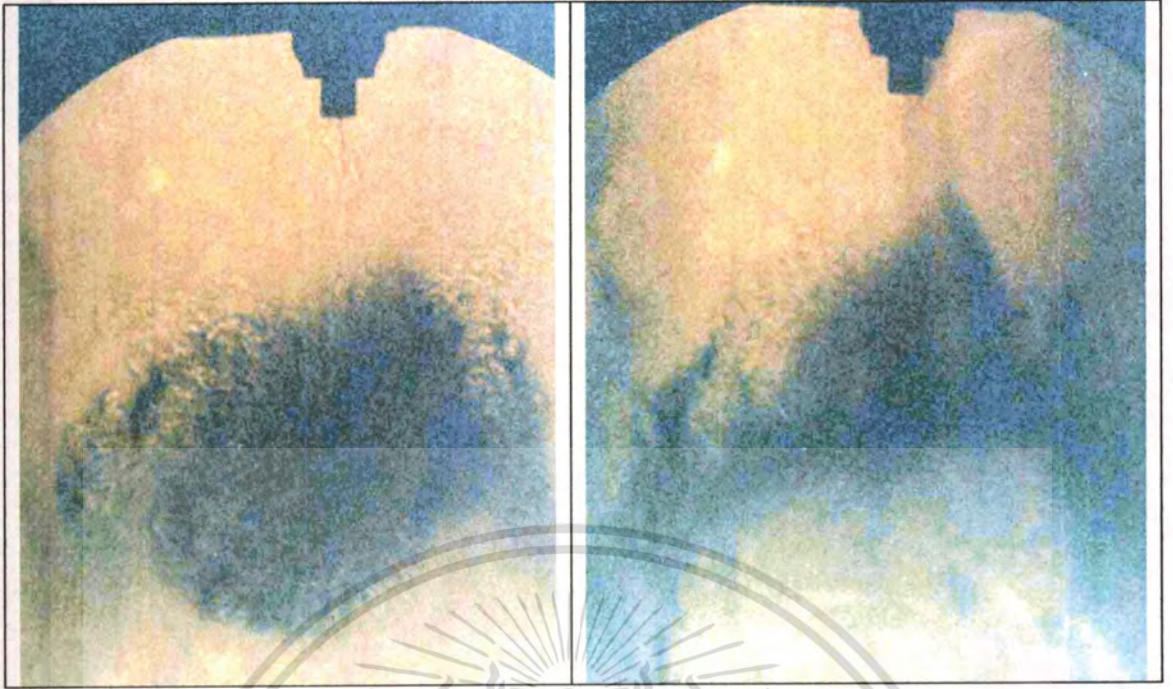
จากนั้น ทำการทดสอบในห้องเผาไหม้จำลอง โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเผาไหม้จำลองที่ 77 องศา C. ( 350 K ) เพื่อศึกษาถึง ความแตกต่างของอัตราการระเหยตัว ของเชื้อเพลิงทั้งสอง ผลการทดลองเป็นไปดังรูปที่ 6.16 ถึงรูปที่ 6.20



รูปที่ 6.15 ความเร็วเฉลี่ยของสเปรย์ เทียบกับเวลา

จากรูปกราฟทั้งสาม พบว่าทั้ง การกระจัดสูงสุด การกระจัดเฉลี่ย และ ความเร็วเฉลี่ย ของละอองเชื้อเพลิงทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่เอทานอล มีแนวโน้มที่สามารถกระจายตัวไปได้ดีกว่าและไกลกว่า จากรูปที่ 6.3 และ 6.4 พบว่า ช่วงแรก เบนซินสามารถพุ่งออกมาจากหัวฉีดได้เร็วกว่าและก่อตัวเป็นลำสเปรย์ได้เร็วกว่า เอทานอล เนื่องจากค่าความหนืดที่ต่ำกว่าของเบนซิน แต่ต่อมา ในรูป 6.5 และ รูปที่ 6.6 พบว่า ถึงแม้การกระจัดสูงสุดของเบนซินจะสูงกว่า แต่การค่ากระจัดเฉลี่ยของ เอทานอล เริ่มมีค่าสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด จึงทำให้การกระจายตัวของ เอทานอล ดีกว่าสาเหตุที่ทำให้เอทานอลการค่ากระจัดเฉลี่ยสูงกว่าเบนซินเนื่องจาก เอทานอล มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเบนซิน ส่งผลให้ละอองของ เอทานอล มีน้ำหนักมากกว่า เมื่อถูกฉีดออกมาด้วยแรงดันที่เท่ากัน เอทานอล จึงสามารถพุ่งไปได้ไกลกว่า และกระจายตัวได้ดีกว่า ส่วนด้านการระเหยตัวนั้น ยังไม่เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนนัก แต่สังเกตได้ว่า เบนซินมีอัตราการระเหยตัวสูงกว่าเล็กน้อย อาจเนื่องมาจาก เอทานอลมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงกว่าเบนซินมาก จึงต้องใช้พลังงานที่มากกว่าในการระเหยตัว อัตราการระเหยตัวของเอทานอลจึงต่ำกว่าเล็กน้อย

จากนั้น ทำการทดสอบในห้องเผาไหม้จำลอง โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องเผาไหม้จำลองที่ 77 องศา C. ( 350 K ) เพื่อศึกษาถึง ความแตกต่างของอัตราการระเหยตัว ของเชื้อเพลิงทั้งสอง ผลการทดลองเป็นไปดังรูปที่ 6.16 ถึงรูปที่ 6.20

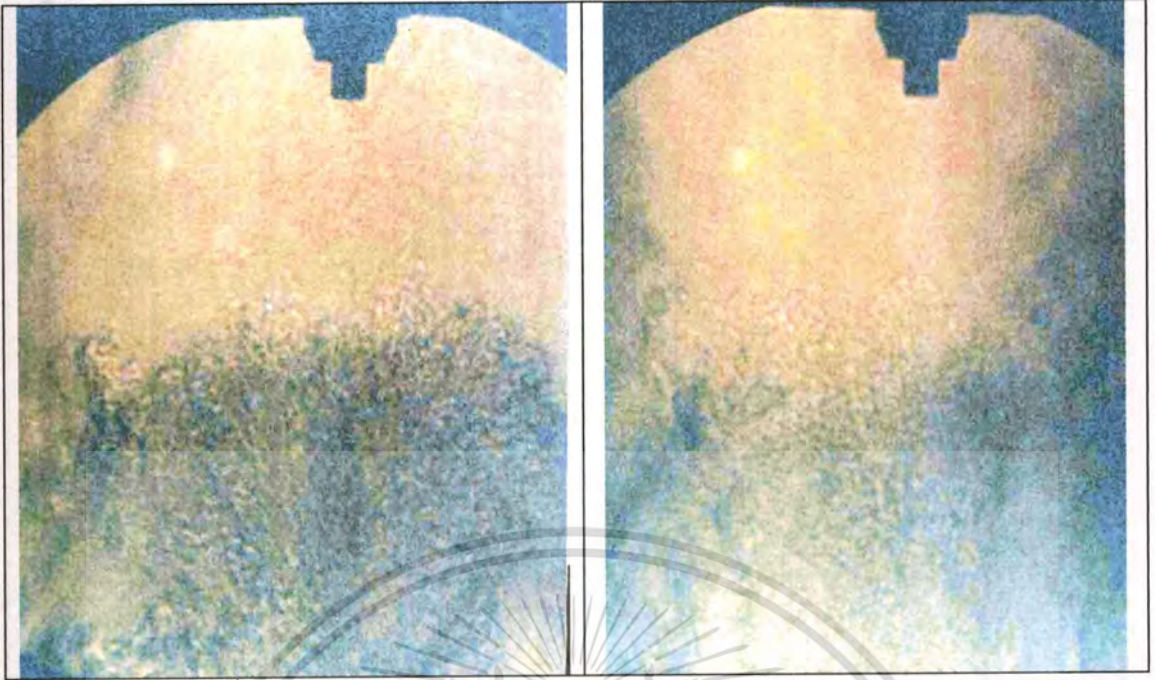


รูปที่ 6.18 สเปรย์เชื้อเพลิงเบนซินที่ 12 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.



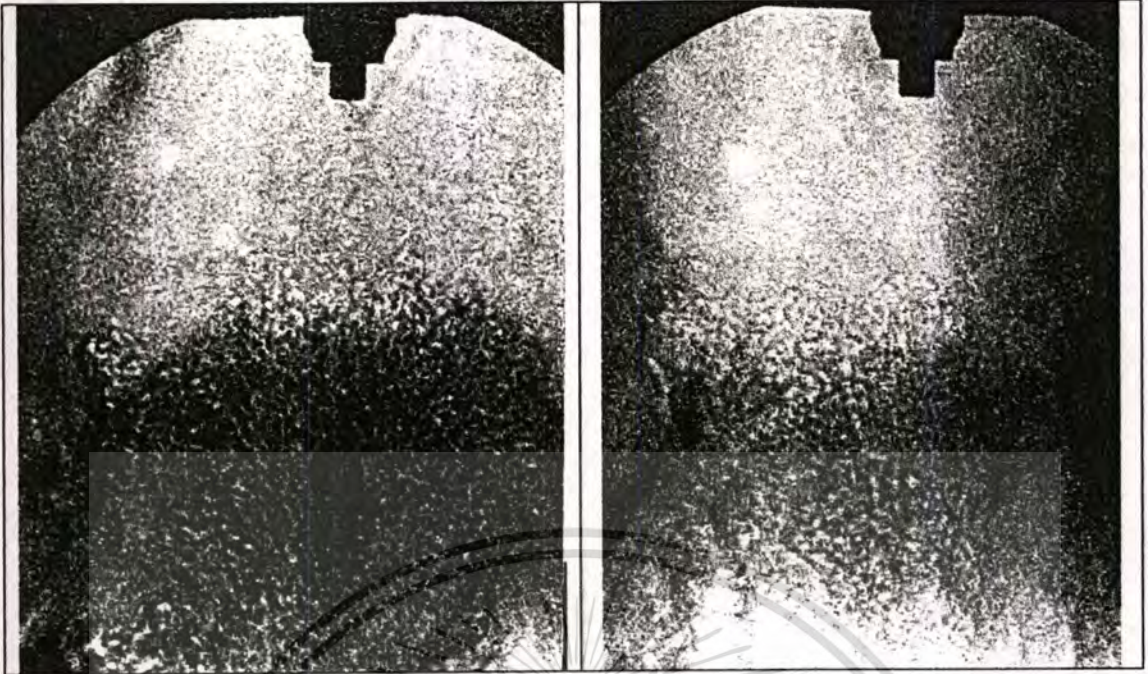
รูปที่ 6.19 สเปรย์เชื้อเพลิงเบนซินที่ 14 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.20 สเปร์ย์เชื้อเพลิงเบนซินที่ 16 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.

จากรูปกราฟทั้งสาม พบว่า เอทานอล สามารถกระจายตัวไปได้ดีกว่าและไกลกว่า จากรูปที่ 6.15 ยังไม่พบความแตกต่างใน รูปที่ 6.17 และ 6.18 พบว่า เบนซินเริ่มระเหย และก่อตัวเป็นก้อนกลมๆ ส่วนเอทานอลนั้น ยังคงพุ่งกระจายต่อไปโดยสังเกตเห็นอัตรการระเหยตัวที่ใกล้เคียงกัน และเห็นเด่นชัดขึ้นในรูปที่ 6.19 ต่อมา ในรูป 6.20 พบว่า เอทานอลมีอัตรการระเหยตัวสูงกว่าเนื่องจาก เอทานอลมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงกว่าเบนซินมาก จึงต้องใช้พลังงานที่มากกว่าในการระเหยตัว เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงขึ้นพลังงานสำหรับการระเหยตัวเพียงพอ อัตรการระเหยตัวของเอทานอลจึงสูงกว่า และจากการที่เอทานอล กระจายตัวได้ดีกว่า จากรูปที่ 6.20 จึงสังเกตได้ว่าเอทานอลนั้นกระจายและระเหยตัวได้ครอบคลุมพื้นที่ห้องเผาไหม้มากกว่า ทำให้เอทานอล มีความเหมาะสมกว่าเบนซิน สำหรับการนำมาใช้กับเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง ในหมวดการทำงานแบบส่วนผสมเนื้อเดียว ( Homogenous Charge Mode ) ซึ่งเป็นหมวดที่ใช้ทำการทดสอบ ตลอดจนการทดลอง แต่กับหมวดส่วนผสมบาง ( Stratified Charge Mode ) ยังไม่เหมาะสมนัก เนื่องจากการที่เอทานอลกระจายตัวดีกว่าเบนซิน การก่อตัวของส่วนผสมนา บริเวณเชื้อหัวเทียนจึงเป็นไปได้ยากกว่า อาจต้องทำการปรับแต่งจังหวะในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงใหม่ แต่สำหรับการทดลองนี้ ทำการทดลองเฉพาะในหมวด ส่วนผสมเนื้อเดียว เท่านั้น จึงยังไม่มีควมจำเป็นต้องทำการปรับจังหวะในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงแต่อย่างใด



รูปที่ 6.20 สเปรย์เชื้อเพลิงเบนซินที่ 16 ms. หลังจากหัวฉีดเริ่มทำงาน ระยะเวลาการฉีด 10 ms.

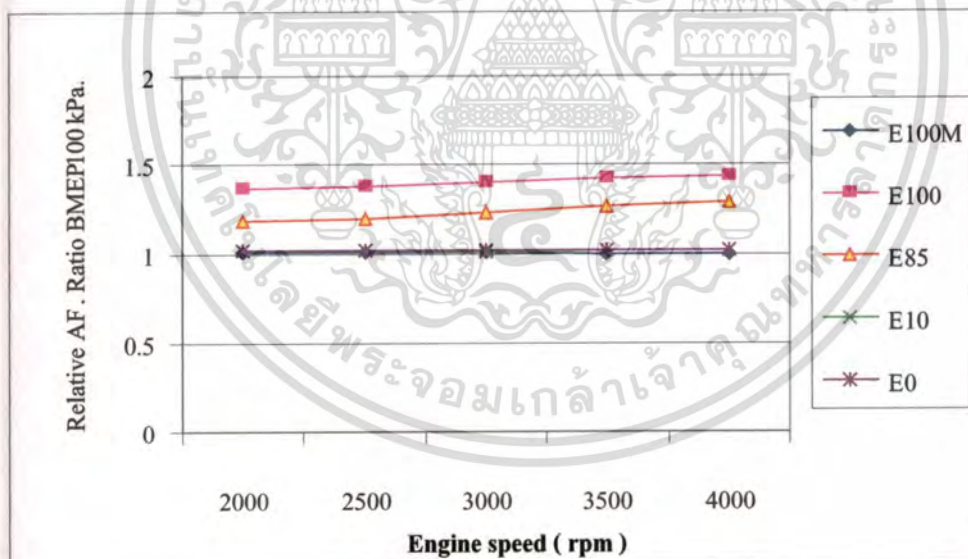
จากรูปภาพทั้งสาม พบว่า เอทานอล สามารถกระจายตัวไปได้ดีกว่าและไกลกว่า จากรูปที่ 6.15 ยังไม่พบความแตกต่างใน รูปที่ 6.17 และ 6.18 พบว่า เบนซินเริ่มระเหย และก่อตัวเป็นก้อนกลมๆ ส่วนเอทานอลนั้น ยังคงพุ่งกระจายต่อไปโดยสังเกตเห็นอัตราการระเหยตัวที่ใกล้เคียงกัน และเห็นเด่นชัดขึ้นในรูปที่ 6.19 ต่อมา ในรูป 6.20 พบว่า เอทานอลมีอัตราการระเหยตัวสูงกว่าเนื่องจากจาก เอทานอลมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูงกว่าเบนซินมาก จึงต้องใช้พลังงานที่มากกว่าในการระเหยตัว เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงขึ้นพลังงานสำหรับการระเหยตัวเพียงพอ อัตราการระเหยตัวของเอทานอลจึงสูงกว่า และจากการที่เอทานอล กระจายตัวได้ดีกว่า จากรูปที่ 6.20 จึงสังเกตได้ว่าเอทานอลนั้นกระจายและระเหยตัวได้ครอบคลุมพื้นที่ห้องเผาไหม้มากกว่า ทำให้เอทานอล มีความเหมาะสมกว่าเบนซิน สำหรับการนำมาใช้กับเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง ในโหมดการทำงานแบบส่วนผสมเนื้อเดียว ( Homogenous Charge Mode ) ซึ่งเป็นโหมดที่ใช้ทำการทดสอบ ตลอดจนการทดลอง แต่กับโหมดส่วนผสมบาง ( Stratified Charge Mode ) ยังไม่เหมาะสมนัก เนื่องจากการที่เอทานอลกระจายตัวดีกว่าเบนซิน การก่อตัวของส่วนผสมหนา บริเวณเขี้ยวหัวเทียนจึงเป็นไปได้ยากกว่า อาจต้องทำการปรับแต่งจังหวะในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงใหม่ แต่สำหรับการทดลองนี้ ทำการทดลองเฉพาะในโหมด ส่วนผสมเนื้อเดียว เท่านั้น จึงยังไม่มีคามจำเป็นต้องทำการปรับจังหวะในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงแต่อย่างใด

## 6.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ทำการทดลองที่ 13 สภาวะทดสอบ กับเชื้อเพลิงทดสอบ 4 ชนิด ที่อุณหภูมิ 305 K ความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์ ที่ความดันบรรยากาศ ได้ผลการทดลองและคำนวณดังนี้

**แลมด้า** ( Lambda หรือ Relative air-fuel ratio ) ค่าของ แลมด้า เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสม เอทานอล ในปริมาณต่างๆ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. ทั้งก่อนและหลังการปรับแต่งเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 2000-4000 รอบต่อนาที แสดงดังรูปที่ 6.20 ถึง รูปที่ 6.22

รูปที่ 6.21 แสดงค่า แลมด้า ที่ BMEP เท่ากับ 100 kPa. จากรูปพบว่าค่าเพิ่มขึ้นตามส่วนผสมของเอทานอล แต่ระหว่าง E0 และ E10 มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่ E85 และ E100 มีค่าสูงกว่า และมีค่าสูงขึ้นตามรอบเครื่องยนต์ เนื่องจากเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะจ่ายเชื้อเพลิงสูงสุดแล้ว แต่ยังไม่สามารถจ่ายเชื้อเพลิงชดเชยกับความต้องการของเครื่องยนต์ได้เพียงพอ จึงทำให้เกิดส่วนผสมบางกับ E85 และบางมากกับ E100 จึงทำให้ค่า แลมด้า ที่วัด ได้มากกว่าหนึ่งนั่นเอง แต่กับ E100M ได้ทำการปรับเพิ่มอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง จนกระทั่งค่า แลมด้า เข้าใกล้ค่าของ E0 เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานในอัตราส่วนผสมที่ถูกต้อง

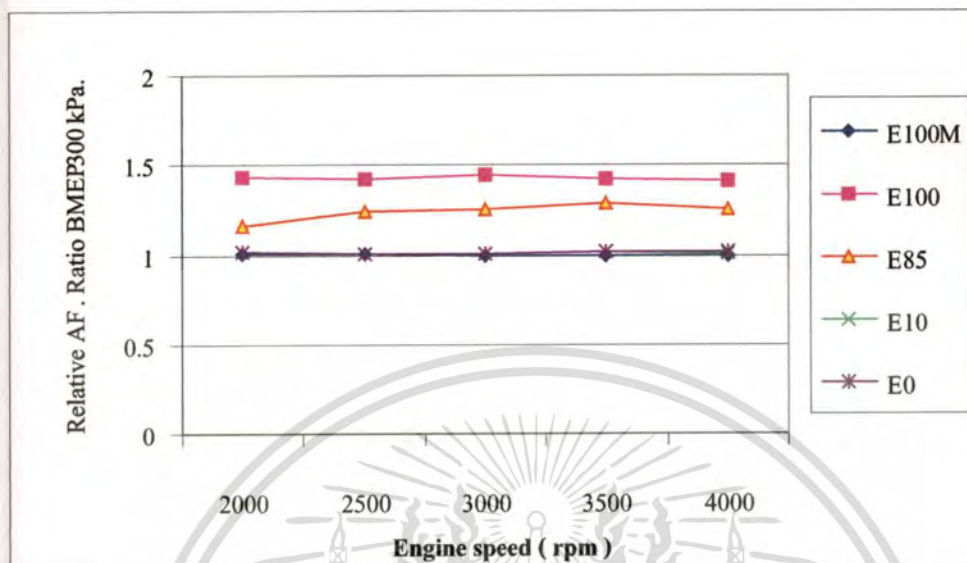


รูปที่ 6.21 ค่า Relative AF. Ratio ที่ BMEP 100 kPa.

รูปที่ 6.22 แสดงค่า แลมด้า ที่ BMEP เท่ากับ 300 kPa. จากรูปพบว่าค่าเพิ่มขึ้นตามส่วนผสมของเอทานอล แต่ระหว่าง E0 และ E10 มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่ E85 และ E100 มีค่าสูงกว่า และมีค่าสูงขึ้นตามรอบเครื่องยนต์ ได้ผลเช่นเดียวกับที่ BMEP 100 kPa. เนื่องจากเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะจ่ายเชื้อเพลิงสูงสุดแล้ว แต่ยังไม่สามารถจ่ายเชื้อเพลิงชดเชยกับความต้องการของเครื่องยนต์ได้เพียง

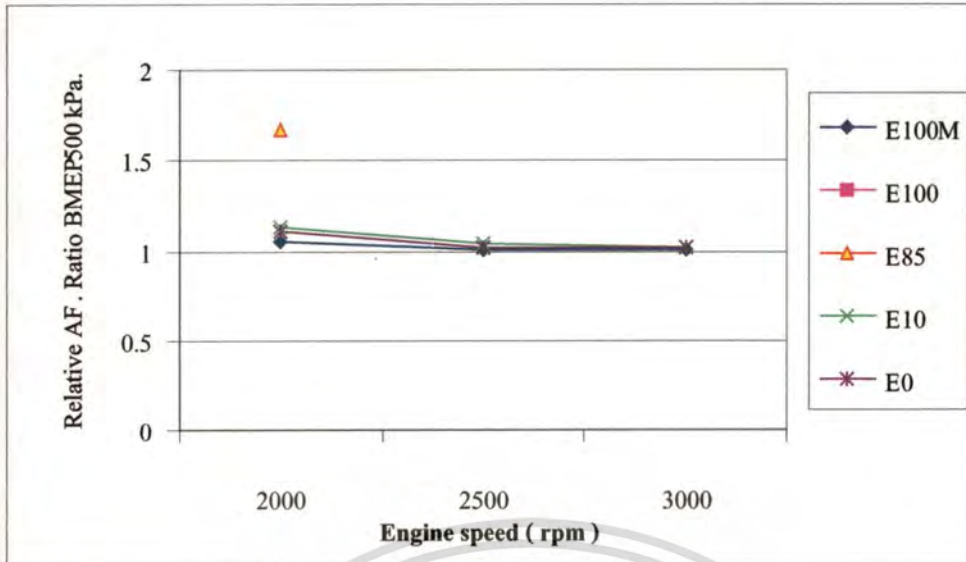
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอ จึงทำให้เกิดส่วนผสมบางกับ E85 และบางมากกับ E100 แต่กับ E100M ได้ทำการปรับเพิ่ม อัตราการจ่ายเชื้อเพลิง จนกระทั่งค่า แลมด้า เข้าใกล้ค่าของ E0 ดังรูป



รูปที่ 6.22 ค่า Relative AF. Ratio ที่ BMEP 300 kPa.

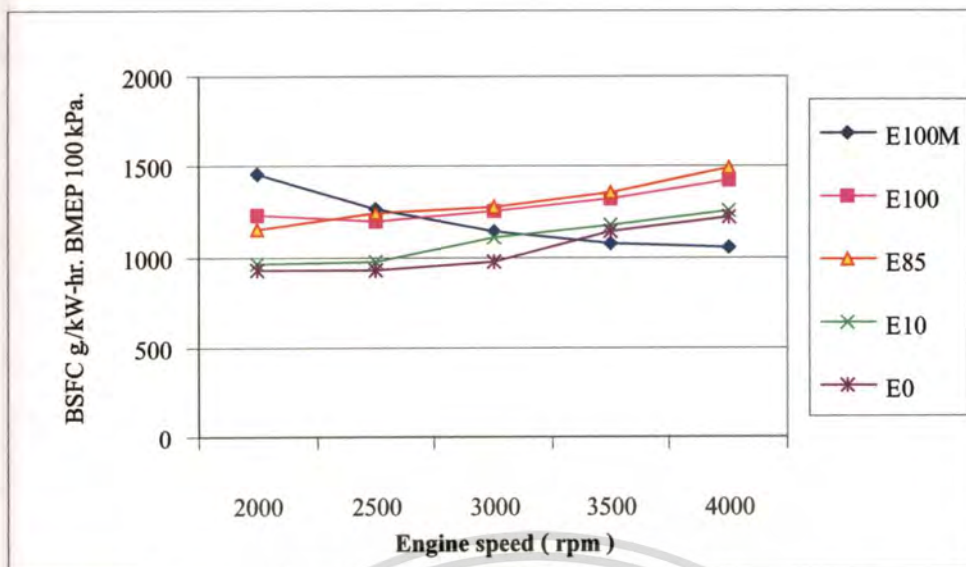
รูปที่ 6.23 แสดงค่า แลมด้า ที่ BMEP เท่ากับ 500 kPa. จากรูปพบวาระหว่าง E0 และ E10 มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าลดลงตามรอบเครื่องยนต์ ส่วน E85 สามารถทดสอบได้ที่สภาวะแรกเท่านั้น นอกจากนั้นไม่สามารถทำการทดสอบได้ เนื่องจาก เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะจ่ายเชื้อเพลิงสูงสุดแล้วแต่ยังไม่เพียงพอความต้องการของเครื่องยนต์ จึงทำให้เกิดส่วนผสมที่บางเกินไปที่จะจุดระเบิดได้ และกับเชื้อเพลิง E100 ก็เกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับ E85 แต่ไม่สามารถทำการทดสอบที่ BMEP เท่ากับ 500 kPa นี้ได้เลย เนื่องจากเหตุผลเดียวกันคือ เครื่องยนต์ไม่สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้เพียงพอ แต่กับ E100M ได้ทำการปรับเพิ่มอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง จนกระทั่งค่า แลมด้า เข้าใกล้ค่าของ E0 เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานในอัตราส่วนผสมที่ถูกต้อง



รูปที่ 6.23 ค่า Relative AF. Ratio ที่ BMEP 500 kPa.

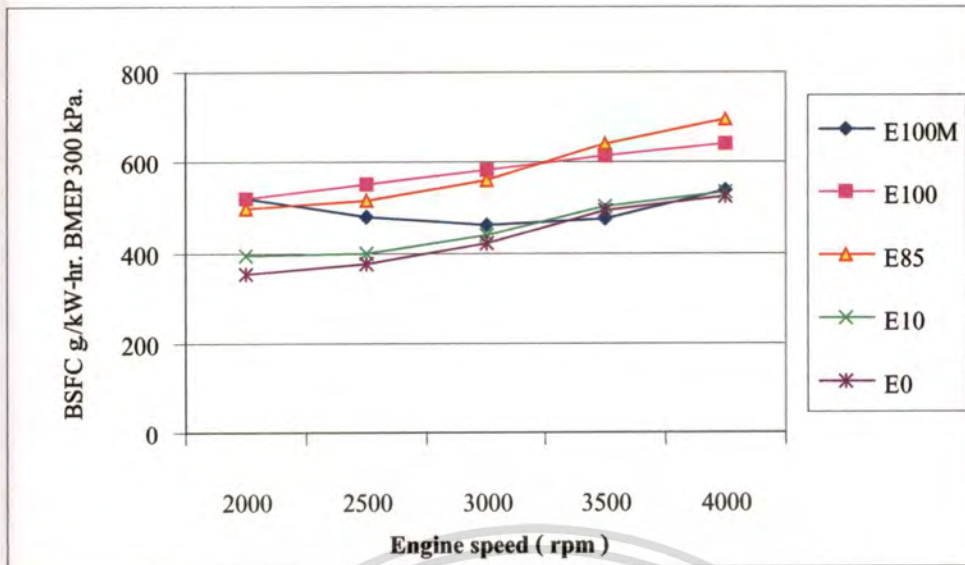
ความเปลี่ยนแปลงน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ( Brake Specific Fuel Consumption, BSFC ) ค่าของ BSFC เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลในปริมาณต่างๆ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. ทั้งก่อนและหลังการปรับแต่งเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 2000-4000 รอบต่อนาที ดังรูป 6.24 ถึง 6.26

รูป 6.24 ค่าของ BSFC เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลในปริมาณต่างๆ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa. พบว่าค่า BSFC ของเชื้อเพลิง E0, E10, E85 และ E100 มีค่าเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของ เอทานอลผสม และมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ เนื่องจาก ขณะที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอล เกิดส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงที่เป็นส่วนผสมบาง เครื่องยนต์จึงจ่ายเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาภาระที่กระทำอยู่ ส่งผลให้ค่าของ BSFC เพิ่มขึ้น ส่วนค่าที่ E85 และ E100 ใกล้เคียงกันเนื่องจากเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะจ่ายเชื้อเพลิงสูงสุดแล้ว แต่ยังไม่สามารถจ่ายเชื้อเพลิงชดเชยได้เพียงพอ ( จากกราฟแสดงค่า แลมค่า ของ ไอเสียในรูปที่ 6.21 ) จึงทำให้ค่า BSFC มีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้วพบว่า ค่าของ BSFC มีแนวโน้มเปลี่ยนไป ค่าของ BSFC สูงที่ความเร็วรอบต่ำและลดลงเรื่อยๆตามรอบเครื่องยนต์ ซึ่งสวนทางกับแนวโน้มของ E 0 และจะมีค่าต่ำกว่า E0 ที่ประมาณ 3500 รอบขึ้นไป แสดงดังรูปที่ 6.24



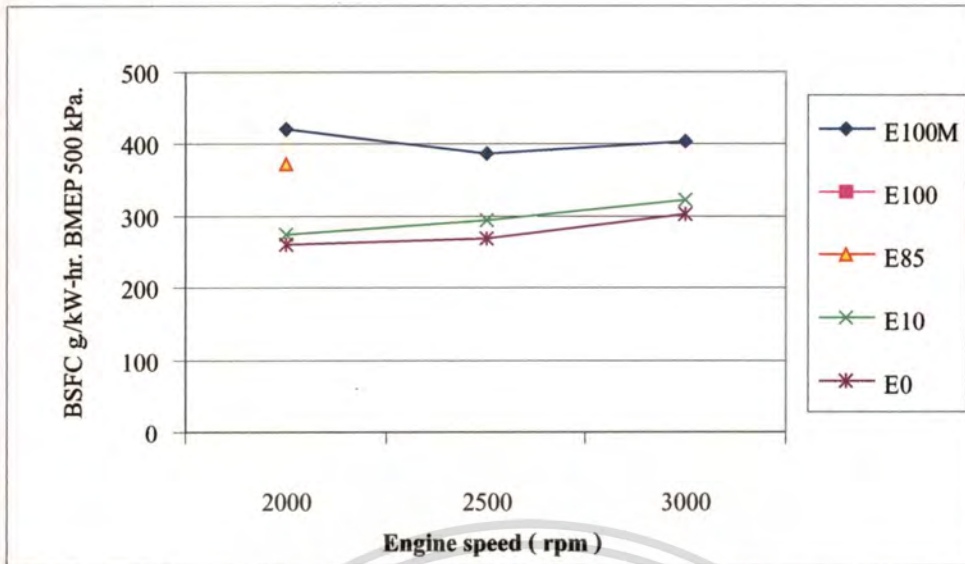
รูปที่ 6.24 ค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa.

รูป 6.25 ค่าของ BSFC เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลในปริมาณต่างๆ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 300 kPa. พบว่าค่า BSFC มีค่าเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของ เอทานอลผสม และมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ โดยที่ E0 และ E10 มีค่าใกล้เคียงกัน เช่นเดียวกับ E85 และ E100 เช่นเดียวกันกับที่ BMEP เท่ากับ 100 kPa. โดยขณะที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของ เอทานอล เกิดส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงที่เป็นส่วนผสมบาง เครื่องยนต์จึงจ่ายเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาภาระที่กระทำอยู่ ส่งผลให้ค่าของ BSFC เพิ่มขึ้น ส่วนค่าที่ E85 และ E100 ใกล้เคียงกันเนื่องจากเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะจ่ายเชื้อเพลิงสูงสุดแล้ว แต่ยังไม่สามารถจ่ายเชื้อเพลิงชดเชยได้เพียงพอ จึงทำให้ค่า BSFC มีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้วพบว่า ค่าของ BSFC มีแนวโน้มเปลี่ยนไป ค่าของ BSFC สูงที่ความเร็วรอบต่ำ และจะลดลงต่ำสุดที่ 3000 รอบ และเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบเครื่องยนต์ และจะมีใกล้เคียงกับ E0 ที่ประมาณ 3500 รอบขึ้นไป แสดงดังรูปที่ 6.25



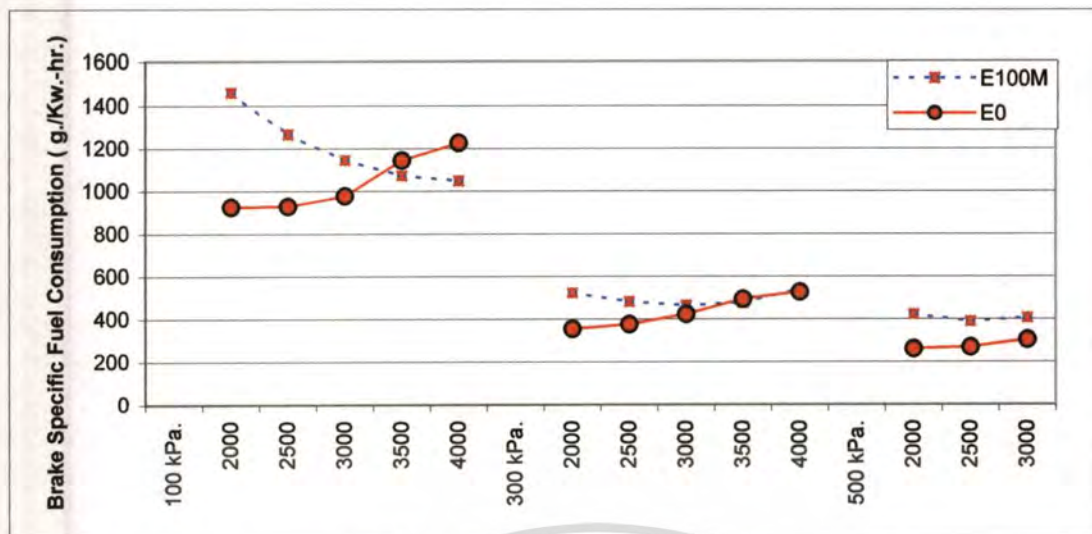
รูปที่ 6.25 ค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 300 kPa.

รูป 6.26 ค่าของ BSFC เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลในปริมาณต่างๆ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 500 kPa. พบว่าระหว่าง E0 และ E10 มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าเพิ่มขึ้นตามรอบเครื่องยนต์ ส่วน E85 สามารถทดสอบได้ที่สภาวะแรกเท่านั้นโดยค่าที่ได้มีค่าสูงกว่า E0 และ E10 นอกจากนั้นไม่สามารถทำการทดสอบได้ ตามเหตุผลที่อธิบายในรูปที่ 6.23 และกับเชื้อเพลิง E100 ก็เกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับ E85 แต่ไม่สามารถทำการทดสอบที่ BMEP เท่ากับ 500 kPa นี้ได้เลย เนื่องจากเหตุผลเดียวกันคือ เครื่องยนต์ไม่สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้เพียงพอ แต่กับ E100M ได้ทำการปรับเพิ่มอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานในอัตราส่วนผสมที่ถูกต้อง ค่า BSFC ที่วัดได้มีค่าสูงกว่า E0 และ E10 โดยมีค่าต่ำสุดที่ 2500 รอบ



รูปที่ 6.26 ค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 500 kPa.

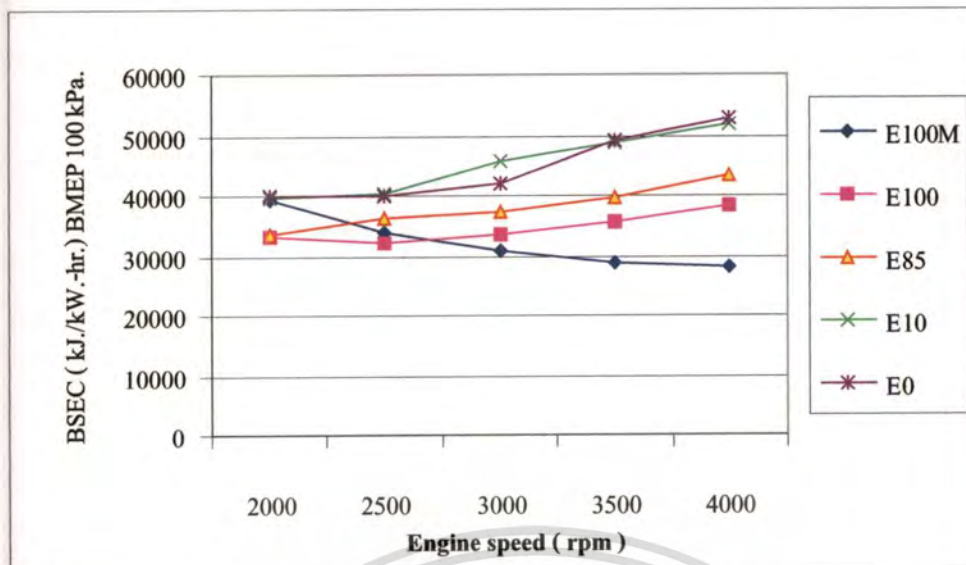
รูป 6.27 เปรียบเทียบค่าของ BSFC เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. พบว่าทั้ง E0 และ E100M มีแนวโน้มลดลงตามค่า BMEP ที่เพิ่มขึ้น ที่ BMEP 100 kPa. ค่าของ BSFC สูงที่ความเร็วรอบต่ำและลดลงเรื่อยๆตามรอบเครื่องยนต์ ซึ่งสวนทางกับแนวโน้มของ E 0 และจะมีค่าต่ำกว่า E0 ที่ประมาณ 3500 รอบขึ้นไป ที่ BMEP 300 kPa. ค่าของ BSFC สูงที่ความเร็วรอบต่ำ และจะลดลงต่ำสุดที่ 3000 รอบ และเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบเครื่องยนต์ และจะมีใกล้เคียงกับ E0 ที่ประมาณ 3500 รอบขึ้นไป ส่วนที่ BMEP 500 kPa. ค่า BSFC ที่วัดได้มีค่าสูงกว่า E0 โดยมีค่าต่ำสุดที่ 2500 รอบ



รูป 6.27 เปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ระหว่าง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa.

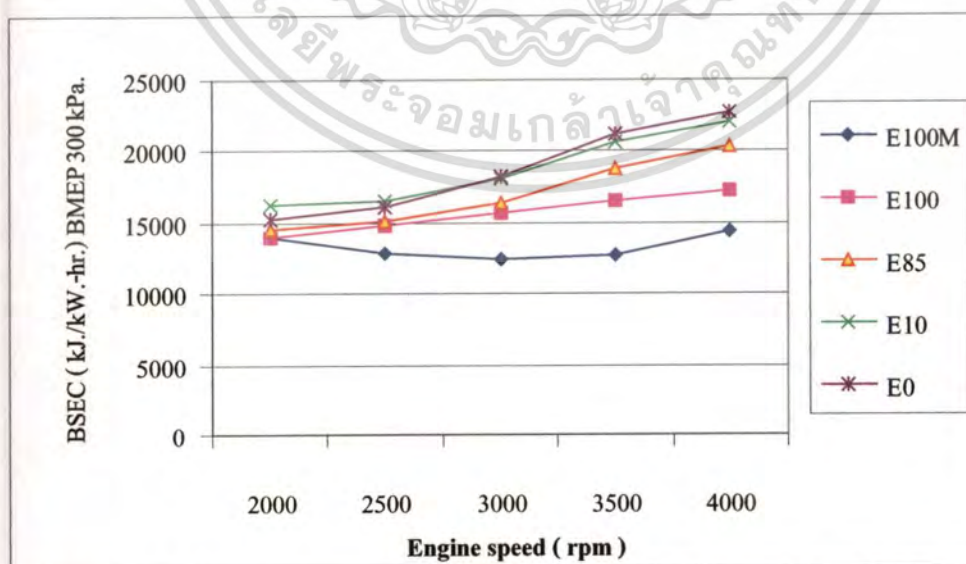
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก ( Brake Specific Energy Consumption, BSEC ) ค่าของ BSEC เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลในปริมาณต่างๆ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. ทั้งก่อนและหลังการปรับแต่งเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 2000-4000 รอบต่อนาที ที่คำนวณได้จากค่า BSFC เป็นดังรูป

รูปที่ 6.28 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa. พบว่าค่า BSEC มีค่าลดลงตามสัดส่วนของ เอทานอลผสม และมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ เนื่องจาก ขณะที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอล เกิดส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงที่เป็นส่วนผสมบาง ทำให้การเผาไหม้ช้ากว่าการเผาไหม้ที่ส่วนผสมพอดี เครื่องยนต์จึงสามารถปรับองศาจุดระเบิดล่วงหน้าได้มากขึ้น กำลังจึงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าของ BSEC ลดลง แต่เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้วพบว่า ค่าของ BSEC มีแนวโน้มเปลี่ยนไป โดยค่าของ BSEC สูงที่ความเร็วรอบต่ำและลดลงเรื่อยๆตามรอบเครื่องยนต์ ซึ่งสวนทางกับแนวโน้มของ E 0 และจะมีค่าต่ำกว่า E0 ที่ประมาณ 2700 รอบขึ้นไป แสดงดังรูปที่ 6.28



รูปที่ 6.28 ค่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa.

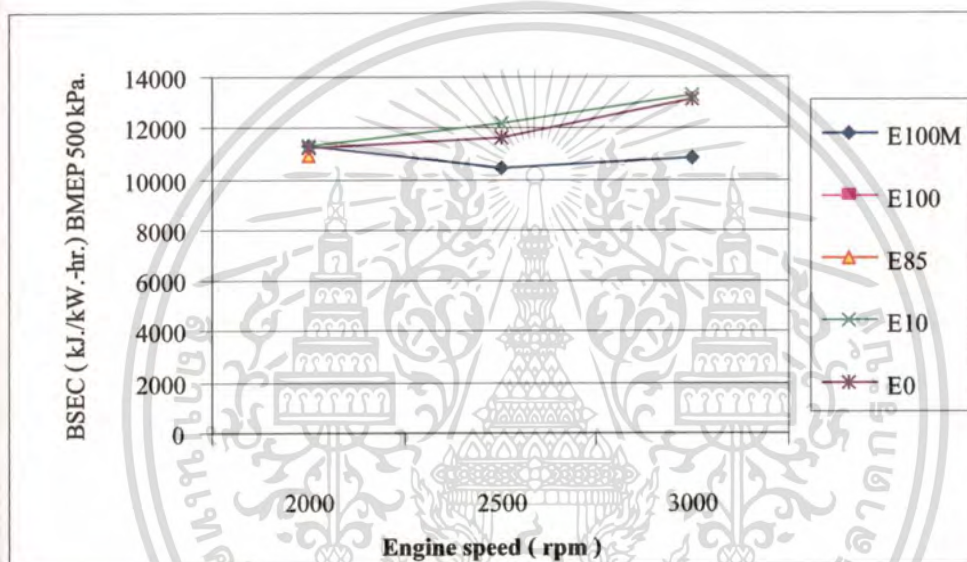
รูปที่ 6.29 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 300 kPa. พบว่าค่า BSEC มีค่าลดลงตามเปอร์เซ็นต์ของ เอทานอลผสม และมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ความเร็วรอบ แต่เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้วพบว่า ค่าของ BSEC มีแนวโน้มเปลี่ยนไป โดยค่าของ BSEC สูงที่ความเร็วรอบต่ำและลดลงเรื่อยๆจนต่ำ สุดที่ 3000 รอบ และเพิ่มขึ้นตามรอบเครื่องยนต์ ซึ่งสวนทางกับแนวโน้มของ E0 และจะมีค่าต่ำกว่า E0 ทุกสภาวะ แสดงดังรูปที่ 6.29



รูปที่ 6.29 ค่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 300 kPa.

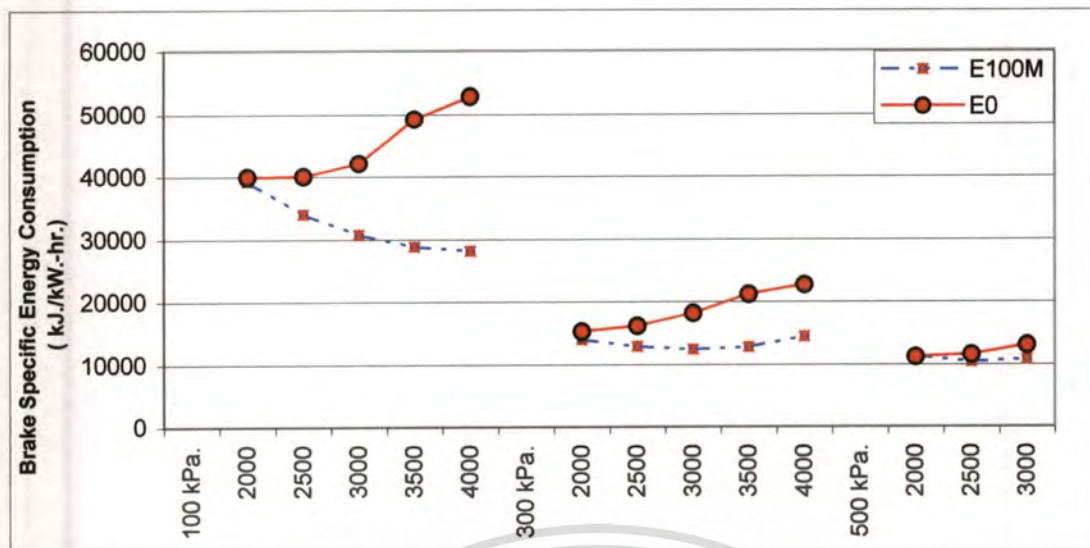
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 6.30 ค่าของ BSEC เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 500 kPa. พบว่า ระหว่าง E0 และ E10 มีค่าใกล้เคียง และมีค่าเพิ่มขึ้นตามรอบเครื่องยนต์ ส่วน E85 สามารถทดสอบได้ที่สภาวะแรกเท่านั้นโดยค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่า E0 และ E10 นอกจากนั้นไม่สามารถทำการทดสอบได้ ตามเหตุผลที่อธิบายในรูปที่ 6.23 และกับเชื้อเพลิง E100 ก็เช่นเดียวกับ E85 แต่ไม่สามารถทำการทดสอบที่ BMEP เท่ากับ 500 kPa นี้ได้เลย เนื่องจากเหตุผลเดียวกันคือ เครื่องยนต์ไม่สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้เพียงพอ แต่กับ E100M ได้ทำการปรับเพิ่มอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานในอัตราส่วนผสมที่ถูกต้อง ค่า BSEC ที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า E0 และ E10 โดยมีค่าต่ำสุดที่ 2500 รอบ



รูปที่ 6.30 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 500 kPa.

รูปที่ 6.31 เปรียบเทียบค่าของ BSEC เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. พบว่าทั้ง E0 และ E100M มีแนวโน้มลดลงตามค่า BMEP ที่เพิ่มขึ้น ที่ BMEP 100 kPa. ค่า BSEC ของ E100M สูงที่ความเร็วรอบต่ำและลดลงเรื่อยๆตามรอบเครื่องยนต์ ซึ่งสวนทางกับแนวโน้มของ E0 ที่มีค่าต่ำที่ความเร็วรอบต่ำและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ที่ BMEP 300 kPa. ค่าของ BSFC สูงที่ความเร็วรอบต่ำ และจะลดลงต่ำสุดที่ 3000 รอบ และเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบเครื่องยนต์ ส่วน E0 มีค่าต่ำที่ความเร็วรอบต่ำและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนที่ BMEP 500 kPa. ค่า BSEC ของ E100M ที่วัดได้มีค่าต่ำกว่า E0 โดยมีค่าต่ำสุดที่ 2500 รอบ ดังรูป 6.31

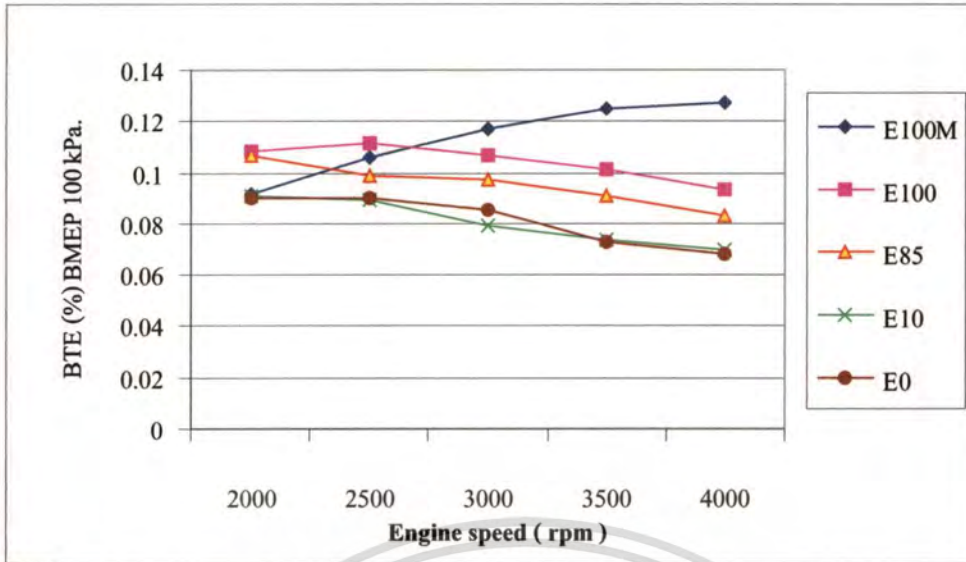


รูป 6.31 เปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก ระหว่าง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ( Break Thermal Efficiency ) ค่าของ BTE เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลในปริมาณต่างๆ ที่ค่า BMEP เท่ากับ เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. ทั้งก่อนและหลังการปรับแต่งเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 2000-4000 รอบต่อนาที ที่คำนวณได้จากค่า BSEC เป็นดังรูป

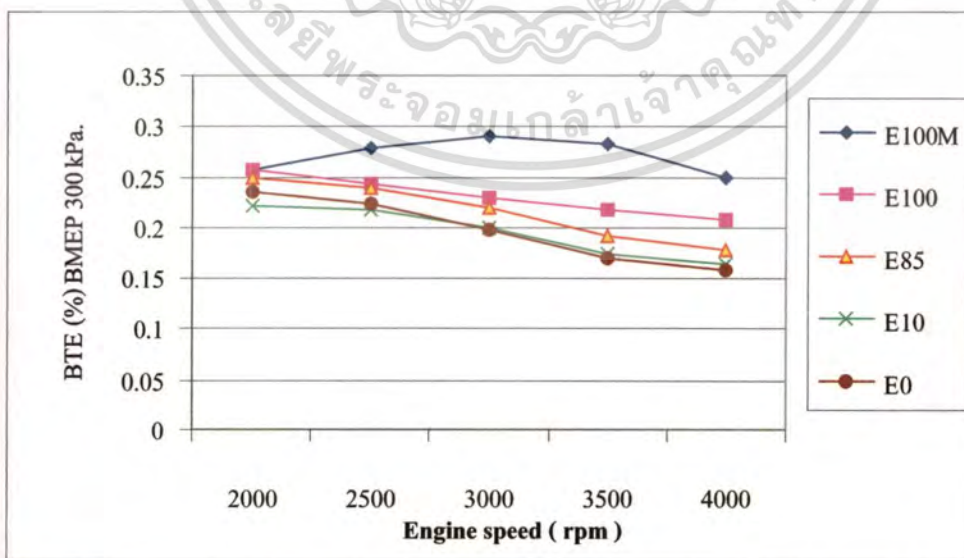
รูปที่ 6.32 แสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa. พบว่า ค่า BTE ของเชื้อเพลิงทั้ง 4 ก่อนมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยมีค่าสูงขึ้นตามส่วนผสมของเอทานอล และลดลงตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ค่า BTE ระหว่าง E0 และ E10 มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์แล้ว แนวโน้มที่เกิดขึ้นเปลี่ยนไปโดยที่รอบการทำงาน 2000 รอบ ประสิทธิภาพของ E100M จะใกล้เคียงกับประสิทธิภาพของ E0 หลังจากนั้นค่าจะสูงขึ้นเรื่อยๆตามความเร็วรอบและจะสูงกว่า E0 โดยตลอด แสดงดังรูปที่

6.32



รูปที่ 6.32 ค่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa.

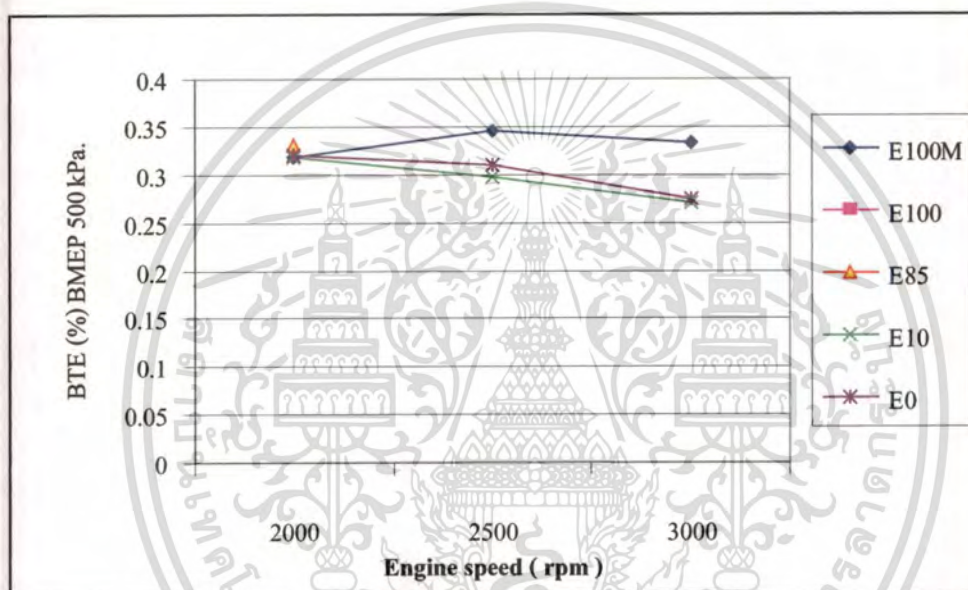
รูปที่ 6.33 แสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 300 kPa. พบว่า ค่า BTE ของเชื้อเพลิงทั้ง 4 ก่อนมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยมีค่าสูงขึ้นตามส่วนผสมของเอทานอล และลดลงตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ค่า BTE ระหว่าง E0 และ E10 มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์แล้ว แนวโน้มที่เกิดขึ้นเปลี่ยนไปโดยประสิทธิภาพของ E100M จะสูงกว่าประสิทธิภาพของ E0 หลังจากนั้นค่าจะสูงขึ้นเรื่อยๆตามความเร็วรอบจนถึง 3000 รอบและจะเริ่มลดลง โดยจะสูงกว่า E0 โดยตลอด แสดงไว้ดังรูปที่ 6.33



รูปที่ 6.33 ค่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 300 kPa.

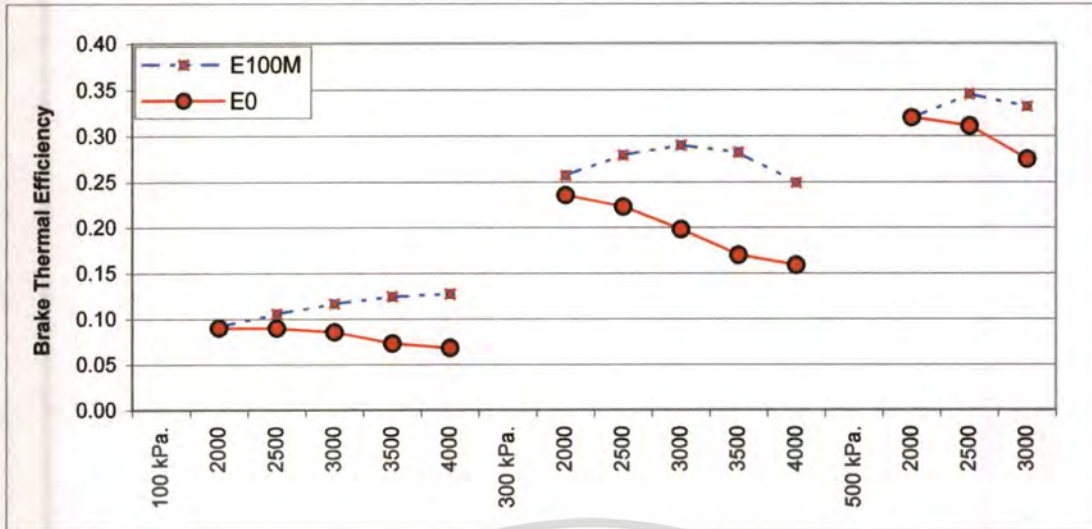
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.34 แสดงค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 500 kPa. พบว่า ค่า BTE ของ E0 และ E10 มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วน E85 สามารถทดสอบได้ที่สถานะแรกเท่านั้นโดยค่าที่ได้มีค่าสูงกว่า E0 และ E10 นอกจากนั้นไม่สามารถทำการทดสอบได้ตามเหตุผลที่อธิบายในรูปที่ 6.23 และกับเชื้อเพลิง E100 ก็เช่นเดียวกับ E85 แต่ไม่สามารถทำการทดสอบที่ BMEP เท่ากับ 500 kPa นี้ได้เลย เนื่องจากเหตุผลเดียวกันคือ เครื่องยนต์ไม่สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้เพียงพอ แต่กับ E100M ได้ทำการปรับเพิ่มอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง เพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานในอัตราส่วนผสมที่ถูกต้อง ค่า BTE ที่วัดได้มีค่าสูงกว่า E0 และ E10 โดยมีค่าสูงสุดที่ 2500 รอบ ดังรูป 6.34



รูปที่ 6.34 ค่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 500 kPa.

รูปที่ 6.35 เปรียบเทียบค่าของ BTE เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. พบว่าทั้ง E0 และ E100M มีแนวโน้มลดลงตามค่า BMEP ที่เพิ่มขึ้น ที่ BMEP 100 kPa. ค่า BTE ของ E0 สูงที่ความเร็วรอบต่ำและลดลงเรื่อยๆตามรอบเครื่องยนต์ ซึ่งต่างกับแนวโน้มของ E100M ที่มีค่าต่ำที่ความเร็วรอบต่ำและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ที่ BMEP 300 kPa. ค่า BTE ของ E100M ค่าที่ความเร็วรอบต่ำ และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบเครื่องยนต์ ส่วน E0 มีค่าสูงที่ความเร็วรอบต่ำและจะลดลงเรื่อยๆ ส่วนที่ BMEP 500 kPa. ค่า BTE ของ E100M ที่วัดได้มีค่าสูงกว่า E0 โดยมีค่าสูงสุดที่ 2500 รอบ ดังรูป 6.35



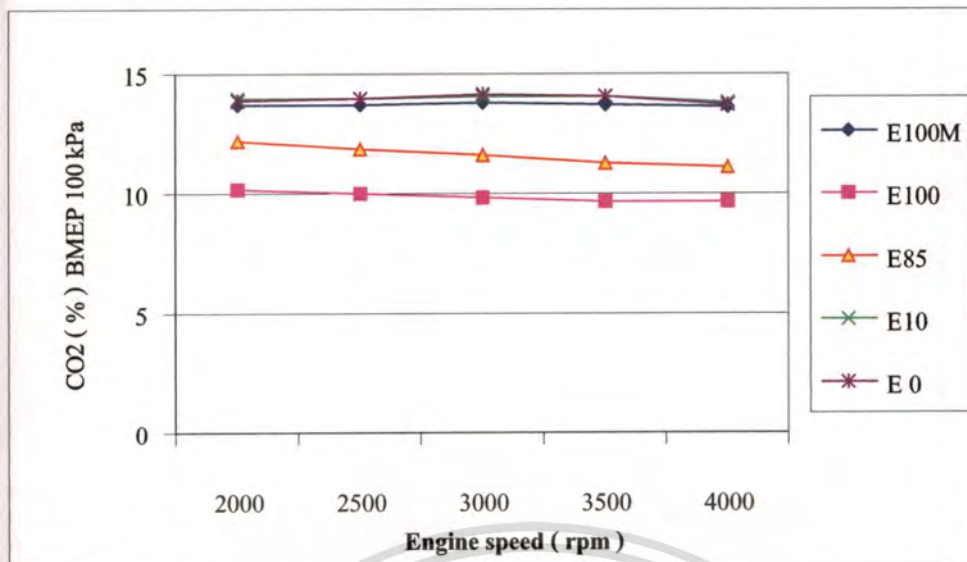
รูป 6.35 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกระหว่าง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa

### 6.3 การทดสอบมลพิษ

การทดสอบมลพิษ กระทำที่สภาวะเดียวกับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ที่ อุณหภูมิ 305 K. ความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์ ความดันบรรยากาศ โดยทำการวัดพร้อมๆกับการ ทดสอบสมรรถนะ ค่าที่วัด ได้มีดังนี้

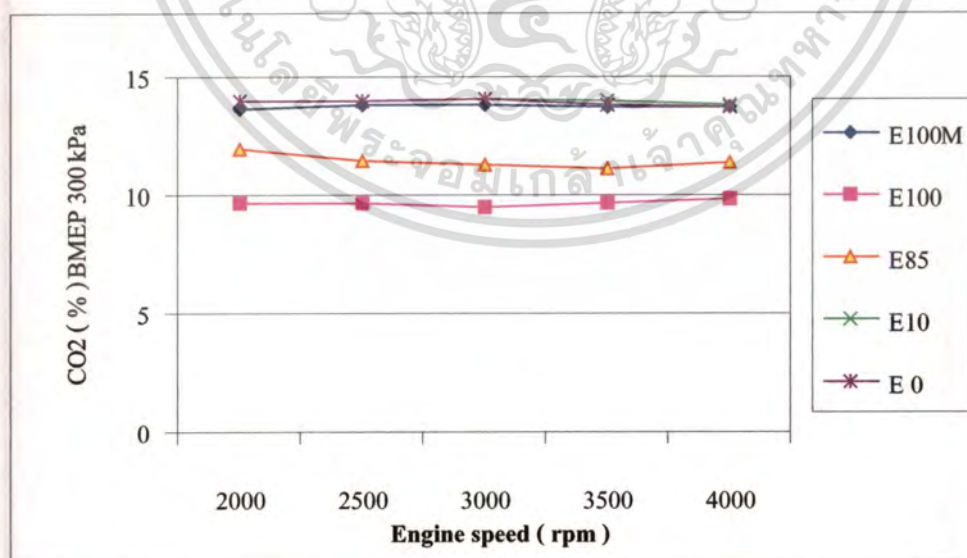
**คาร์บอนไดออกไซด์** ค่าของมลพิษ คาร์บอน ไดออกไซด์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลใน ปริมาณต่างๆ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. ทั้งก่อนและหลังการปรับแต่ง เครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 2000-4000 รอบต่อนาที เป็นดังนี้

รูปที่ 6.36 แสดงค่าของมลพิษ คาร์บอน ไดออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่า กับ 100 kPa. พบว่า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิง E0 มีค่าสูงที่สุด ค่าของ คาร์บอนไดออกไซด์ลดต่ำลงตามลำดับเมื่อใช้เชื้อเพลิง E10, E85 และ E100 โดยที่ ค่าลดลงในทุก ความเร็วรอบ เนื่องจากในขณะที่ใช้เชื้อเพลิง E85 และ E100 โดยยังไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงที่เป็นส่วนผสมบาง ( ดังรูป 6.21 ) กอปรกับการที่ เอ ทานอล มีออกซิเจนในตัวเองอยู่แล้ว จึงส่งผลให้ค่าของคาร์บอนไดออกไซด์ ลดต่ำลงมาก แต่เมื่อมี การปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้ว ค่าของคาร์บอน ไดออกไซด์ ที่ เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง E100M มีค่าต่ำกว่า E0 และ E10 แต่สูงกว่า E85 และ E100 ดังรูปที่ 6.35



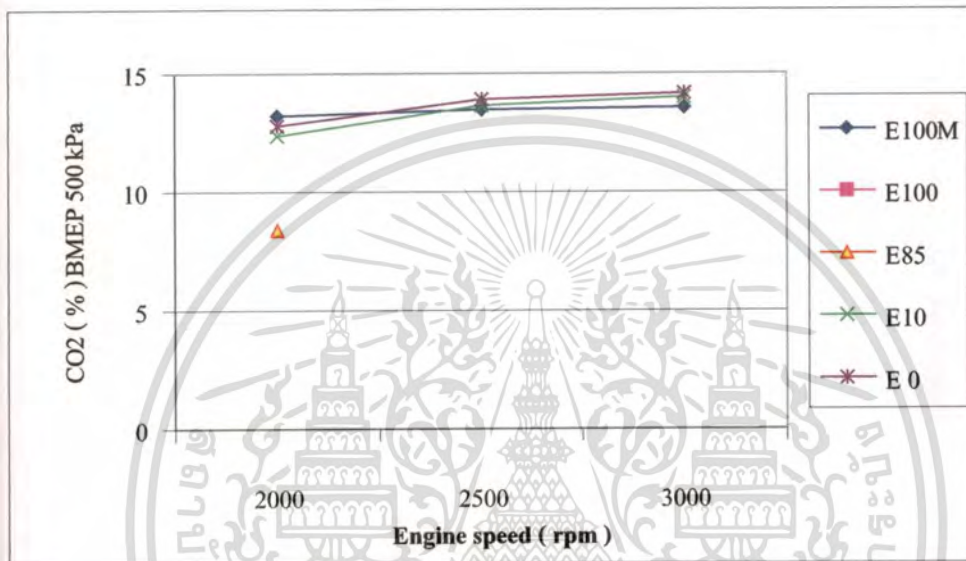
รูปที่ 6.36 ค่า คาร์บอนไดออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa.

รูปที่ 6.37 แสดงค่าของมลพิษ คาร์บอนไดออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 300 kPa. พบว่า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิง E0 มีค่าสูงที่สุด ค่าของคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงตามลำดับเมื่อใช้เชื้อเพลิง E10, E85 และ E100 โดยที่ ค่าลดลงในทวิความเร็รรอบ เช่นเดียวกับรูป 6.35 เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้ว พบว่า ค่าของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง E100M มีค่าต่ำกว่า E0 และ E10 แต่สูงกว่า E85 และ E100 ดังรูปที่ 6.36



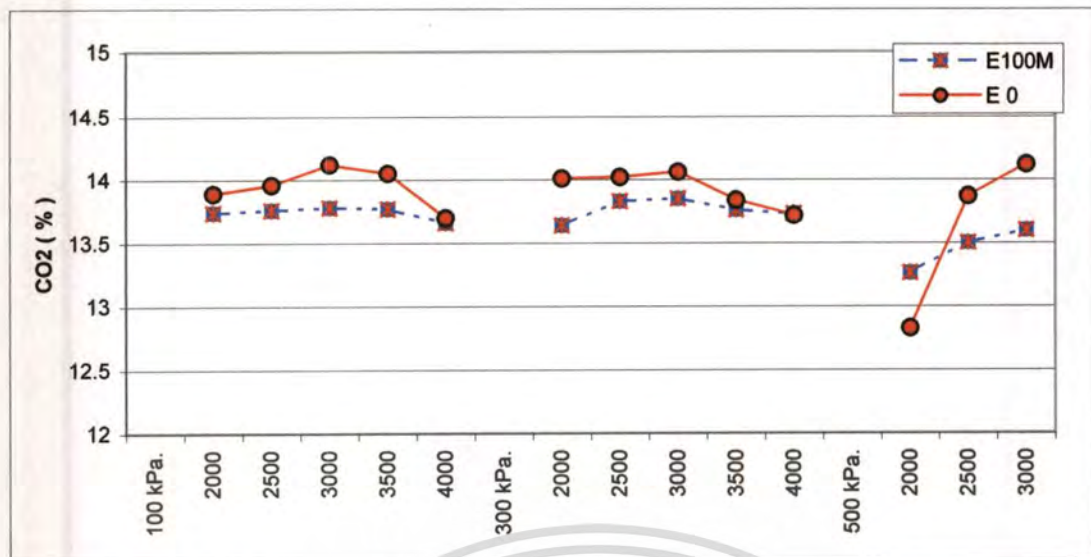
รูปที่ 6.37 ค่า คาร์บอนไดออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa.

รูปที่ 6.38 แสดงค่าของมลพิษ คาร์บอนไดออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 500 kPa. พบว่า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิง E0 มีค่าสูงกว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิง E10 โดยที่ ค่าเพิ่มขึ้นในตามความเร็วรอบ ค่าของ E85 ค่าที่ต่ำสุดแต่สามารถทดสอบได้เพียงสถานะเดียวเท่านั้น เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้ว พบว่า ค่าของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง E100M มีค่าสูงกว่า E0 และ E10 ที่ 2500 รอบ แต่จะต่ำกว่าที่ 2500 และ 3000 รอบ ดังรูปที่ 6.38



รูปที่ 6.38 ค่า คาร์บอนไดออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 500 kPa.

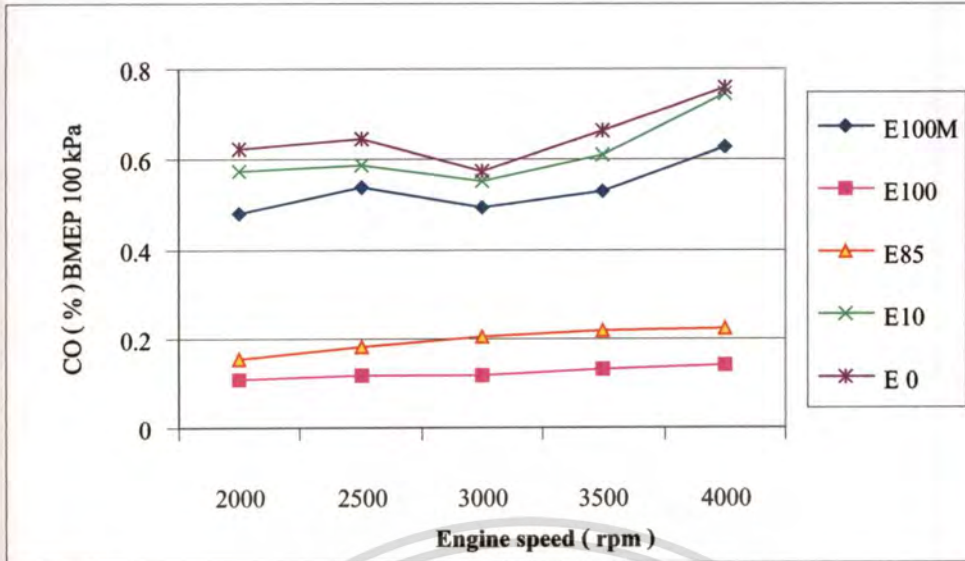
รูปที่ 6.39 เปรียบเทียบค่า คาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. พบว่าทั้ง E0 และ E100M มีค่าใกล้เคียงกันตามค่า BMEP ที่เพิ่มขึ้น ที่ BMEP 100 kPa. E0 ที่มีค่าต่ำที่ความเร็วรอบต่ำและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนสูงสุดที่ 3000 รอบ และจะลดลงตามรอบเครื่องยนต์ ซึ่งคล้ายกับแนวโน้มของ E100M แต่ E100M จะให้ค่าที่ต่ำกว่าในทุกจุด เช่นเดียวกับที่ BMEP 300 kPa. ส่วนที่ BMEP 500 kPa. ค่าของ E100M ที่วัดได้มีค่าสูงกว่า E0 ที่ 2000 รอบและจะต่ำกว่าที่ 2500 รอบเป็นต้นไป ดังรูป 6.39



รูป 6.39 เปรียบเทียบค่า คาร์บอนไดออกไซด์ ระหว่าง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa.

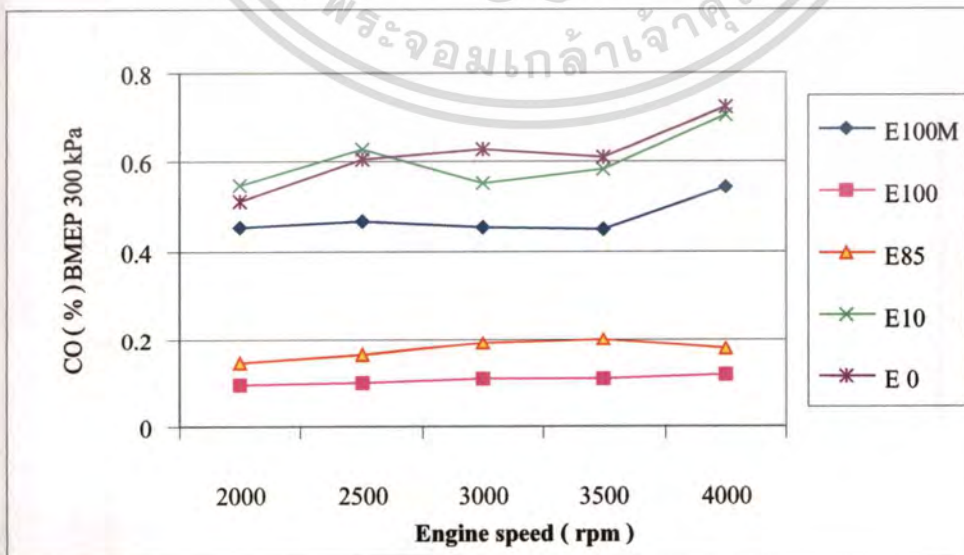
คาร์บอนมอนอกไซด์ ค่าของมลพิษ คาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอล ในปริมาณต่างๆ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. ทั้งก่อนและหลังการปรับ แต่งเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 2000-4000 รอบต่อนาที เป็นดังนี้

รูปที่ 6.40 แสดงค่าของมลพิษ คาร์บอนมอนอกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa. พบว่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของเชื้อเพลิง E0 มีค่าสูงที่สุด เมื่อใช้เชื้อเพลิง E10, E85 และ E100 ค่าของคาร์บอนมอนอกไซด์ลดต่ำลงตามลำดับ เนื่องจากในขณะที่ใช้เชื้อเพลิง E85 และ E100 โดยยังไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงที่เป็นส่วนผสมบาง จึงส่งผลให้ค่าของคาร์บอนมอนอกไซด์ ลดต่ำลงมาก แต่เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้วพบว่า ค่าของคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง E100M มีค่าต่ำกว่า E0 และ E10 แต่สูงกว่า E85 และ E100 ที่ไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ดังรูปที่ 6. 40



รูปที่ 6.40 ค่า คาร์บอนมอนอกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa.

รูปที่ 6.41 แสดงค่าของมลพิษ คาร์บอนมอนอกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 300 kPa. พบว่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของเชื้อเพลิง E0 และ E10 มีค่าใกล้เคียงกัน และสูงที่สุด เมื่อใช้เชื้อเพลิง E85 และ E100 ค่าของคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงตามลำดับ เนื่องจากในขณะที่ใช้เชื้อเพลิง E85 และ E100 โดยยังไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงที่เป็นส่วนผสมบาง จึงส่งผลให้ค่าของคาร์บอนมอนอกไซด์ ลดต่ำลงมาก แต่เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้วพบว่า ค่าของคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง E100M มีค่าต่ำกว่า E0 และ E10 แต่สูงกว่า E85 และ E100 ที่ไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ดังรูปที่ 6.41

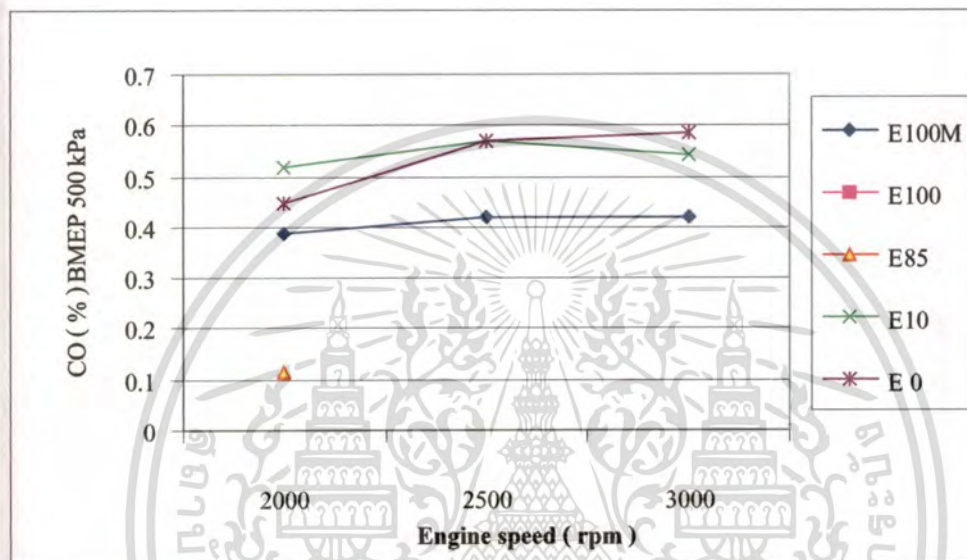


รูปที่ 6.41 ค่า คาร์บอนมอนอกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 300 kPa.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

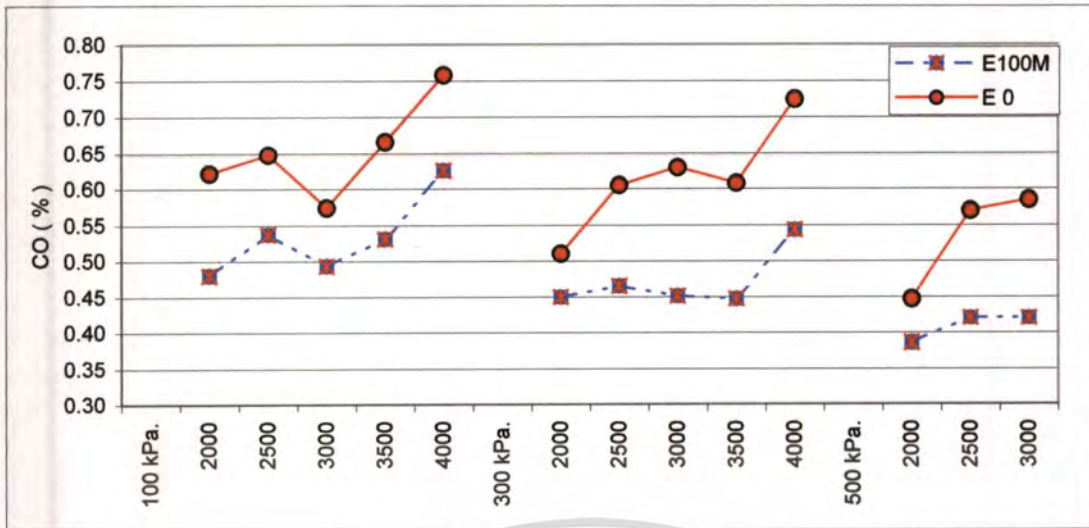
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.42 แสดงค่าของมลพิษ คาร์บอนมอนอกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 500 kPa. พบว่า ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของเชื้อเพลิง E0 มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิง E10 โดยที่ ค่าเพิ่มขึ้นในตามความเร็วรอบ ส่วน E10 สูงสุดที่ 2500 รอบและเริ่มต่ำลง ค่าของ E85 ต่ำที่สุด แต่สามารถทดสอบได้เพียงสถานะเดียวเท่านั้น เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้ว พบว่า ค่าของ คาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง E100M มีค่าต่ำกว่า E0 และ E10 ในทุกรอบ ดังรูปที่ 6.42



รูปที่ 6.42 ค่า คาร์บอนมอนอกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 500 kPa.

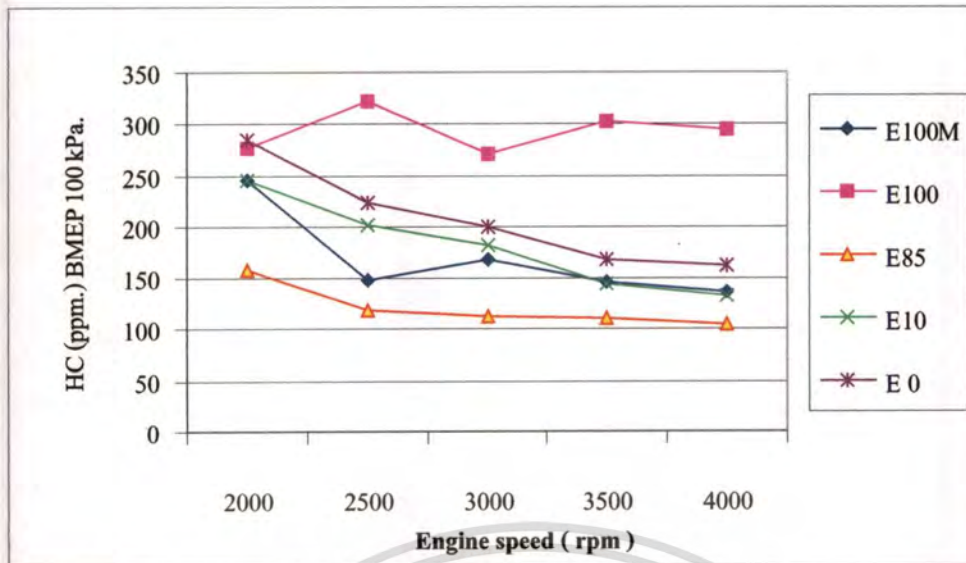
รูปที่ 6.43 เปรียบเทียบค่า คาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. พบว่าทั้ง E0 และ E100M มีค่าลดลงตามค่า BMEP ที่เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบโดย E100M มีค่าต่ำกว่า E0 ที่ทุกความเร็วรอบ ดังรูป 6.43



รูปที่ 6.43 เปรียบเทียบค่า คาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa.

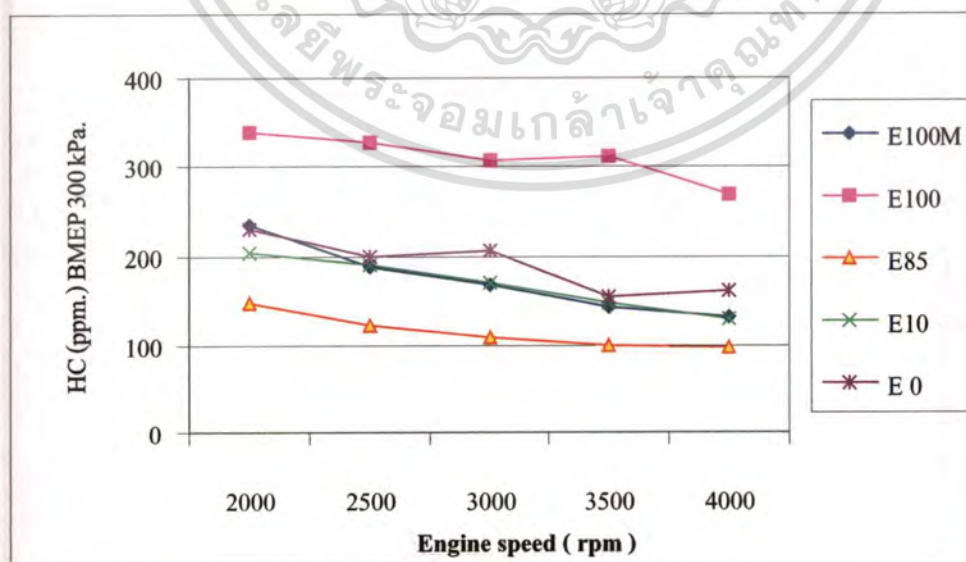
ไฮโดรคาร์บอน ค่าของมลพิษ ไฮโดรคาร์บอน เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลในปริมาณต่างๆ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. ทั้งก่อนและหลังการปรับแต่งเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 2000-4000 รอบต่อนาที เป็นดังนี้

รูปที่ 6.44 แสดงค่าของมลพิษ ไฮโดรคาร์บอน ของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa. พบว่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนของเชื้อเพลิง E0, E10 และ E85 มีค่าลดลงตามลำดับและลดลงตามรอบเครื่องยนต์ แต่ E100 กลับมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากขณะที่ใช้เชื้อเพลิง E100 เกิดส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงที่เป็นส่วนผสมบางมากเกินไป จึงอาจทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่หมด หรือจุดระเบิดไม่ติดขึ้นได้ แต่เมื่อได้มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้วพบว่า ค่าของไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง E100 M มีค่าต่ำกว่า E0 แต่สูงกว่า E85 ที่ไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 6.44



รูปที่ 6.44 ค่า ไฮโดรคาร์บอน ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa.

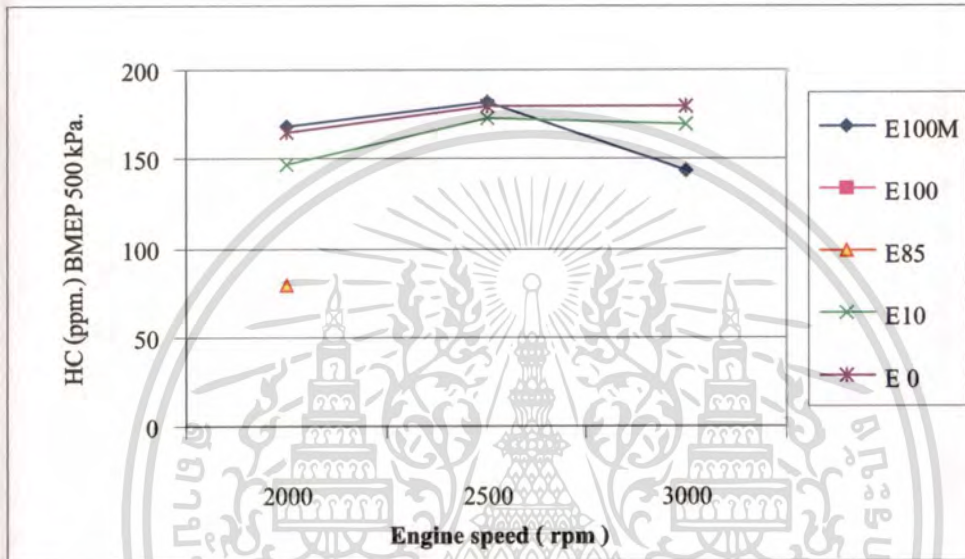
รูปที่ 6.45 แสดงค่าของมลพิษ ไฮโดรคาร์บอน ของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 300 kPa. พบว่าปริมาณไฮโดรคาร์บอนของเชื้อเพลิง E0, E10 และ E85 มีค่าลดลงตามลำดับและลดลงตามรอบเครื่องยนต์ แต่ E100 กลับมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับที่ BMEP เท่ากับ 100 kPa. ผลเนื่องจากขณะที่ใช้เชื้อเพลิง E100 เกิดส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงที่เป็นส่วนผสมบางมากเกินไป จึงอาจทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่หมด หรือจุดระเบิดไม่ติดขึ้นได้ แต่เมื่อได้มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้วพบว่า ค่าของไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง E100 M มีค่าต่ำกว่า E0 แต่สูงกว่า E85 ที่ไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 6.45



รูปที่ 6.45 ค่า ไฮโดรคาร์บอน ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 300 kPa.

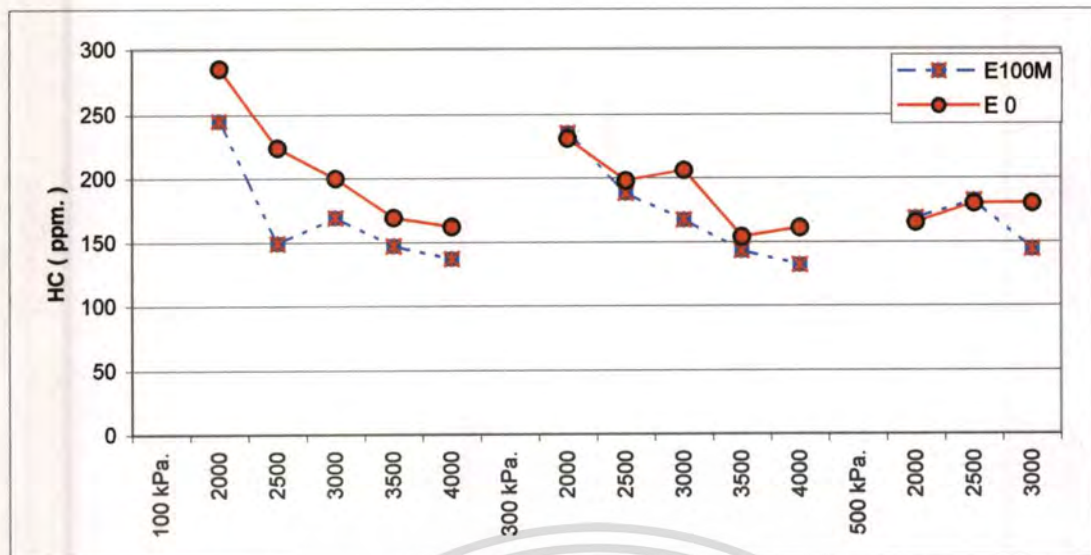
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.46 แสดงค่าของมลพิษ ไฮโดรคาร์บอนของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 500 kPa. พบว่า ปริมาณไฮโดรคาร์บอนของเชื้อเพลิง E10 มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิง E0 ค่าของ E85 ต่ำที่สุด แต่สามารถทดสอบได้เพียงสถานะเดียวเท่านั้น เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้ว พบว่า ค่าของ ไฮโดรคาร์บอน ที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง E100M ช่วง 2000 และ 2500 รอบมีค่าสูงกว่า E0 และ E10 แต่ที่ 3000 รอบกลับมีค่าต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 6.46



รูปที่ 6.46 ค่า ไฮโดรคาร์บอน ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 500 kPa.

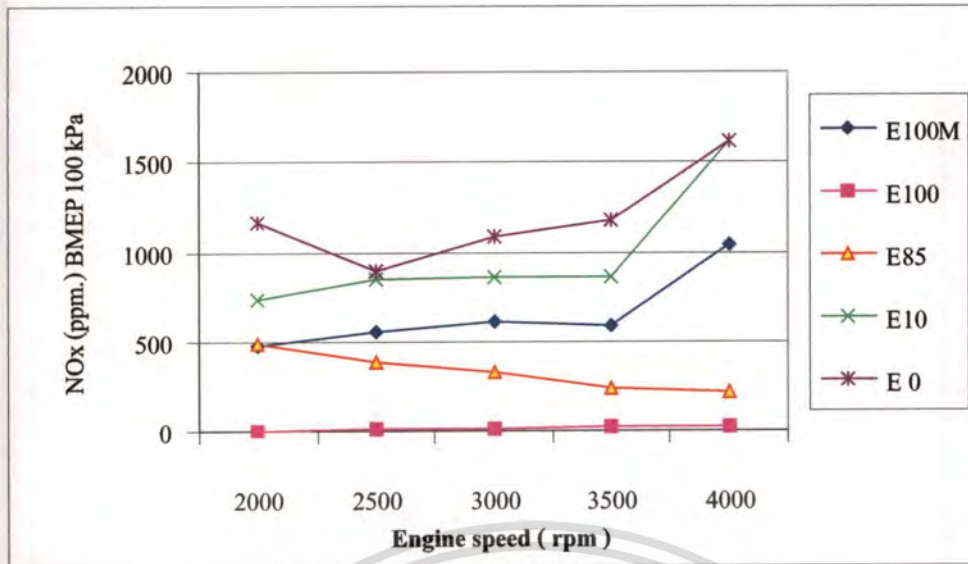
รูปที่ 6.47 เปรียบเทียบค่า ไฮโดรคาร์บอน เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. พบว่าทั้ง E0 และ E100M มีค่าใกล้เคียงกันตามค่า BMEP ที่เพิ่มขึ้น ที่ BMEP 100 kPa. E0 มีค่าสูงที่ความเร็วรอบต่ำและจะลดลงเรื่อยๆตามรอบเครื่องยนต์ ซึ่งคล้ายกับแนวโน้มของ E100M แต่ E100M จะให้ค่าที่ต่ำกว่าในทุกจุด เช่นเดียวกับที่ BMEP 300 kPa. ส่วนที่ BMEP 500 kPa. ค่าของ E100M ที่วัดได้มีค่าสูงกว่ากว่า E0 ที่ 2000 และ 3000 รอบ แต่จะต่ำกว่าที่ 3000 รอบ ดังรูป 6.47



รูปที่ 6.47 เปรียบเทียบค่า ไฮโดรคาร์บอน เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa.

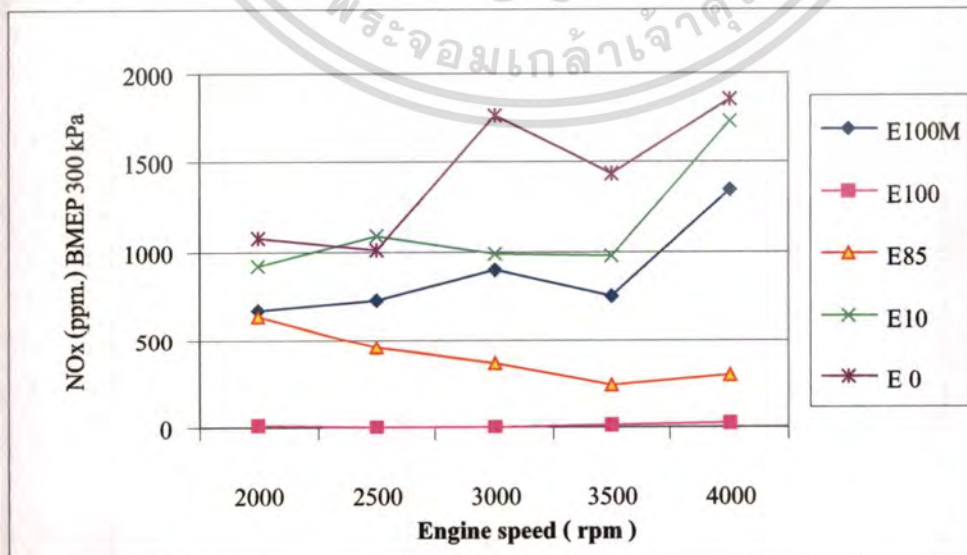
**ออกไซด์ของไนโตรเจน** ค่าของมลพิษ ออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอลในปริมาณต่างๆ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. ทั้งก่อนและหลังการปรับแต่งเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบ 2000-4000 รอบต่อนาที เป็นดังนี้

รูปที่ 6.48 แสดงค่าของมลพิษ ออกไซด์ของไนโตรเจน ของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa. พบว่าปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน ของเชื้อเพลิงเบนซิน (E0) มีค่าสูงที่สุด ค่าของออกไซด์ของไนโตรเจน ลดต่ำลงตามลำดับเมื่อใช้เชื้อเพลิง E10 และ E85 กับ E100 ค่าลดต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆมาก โดยที่ ค่าลดลงในทุกความเร็วรอบ เนื่องจากในขณะที่ใช้เชื้อเพลิง E85 และ E100 โดยยังไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงที่เป็นส่วนผสมบาง จึงส่งผลให้ค่าของออกไซด์ของไนโตรเจน ลดต่ำลงมาก แต่เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้วพบว่า ค่าของออกไซด์ของไนโตรเจน ที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง E100M มีค่าต่ำกว่า E0 และ E10 แต่สูงกว่า E85 และ E100 ที่ไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 6.48



รูปที่ 6.48 ค่า ไนโตรเจนออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 100 kPa.

รูปที่ 6.49 แสดงค่าของมลพิษ ออกไซด์ของไนโตรเจน ของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa. พบว่าปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน ของเชื้อเพลิงเบนซิน (E0) มีค่าสูงที่สุด ค่าของออกไซด์ของไนโตรเจน ลดต่ำลงตามลำดับเมื่อใช้เชื้อเพลิง E10 และ E85 กับ E100 ค่าลดต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ มาก โดยที่ ค่าลดลงในทุกความเร็วรอบ เนื่องจากในขณะที่ใช้เชื้อเพลิง E85 และ E100 โดยยังไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วงที่เป็นส่วนผสมบาง จึงส่งผลให้ค่าของออกไซด์ของไนโตรเจน ลดต่ำลงมาก แต่เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้วพบว่า ค่าที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง E100M มีค่าต่ำกว่า E0 และ E10 แต่สูงกว่า E85 และ E100 ที่ไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 6.49

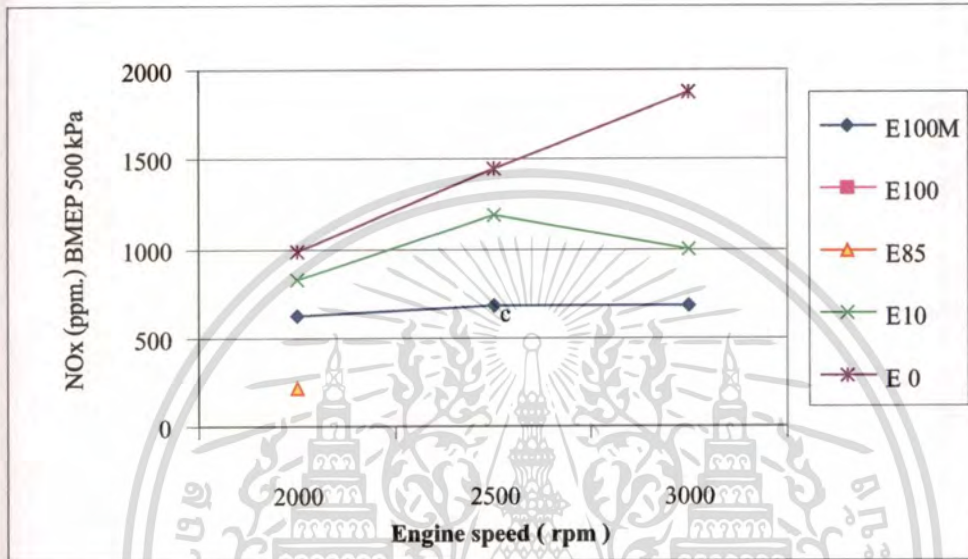


รูปที่ 6.49 ค่า ไนโตรเจนออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 300 kPa.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

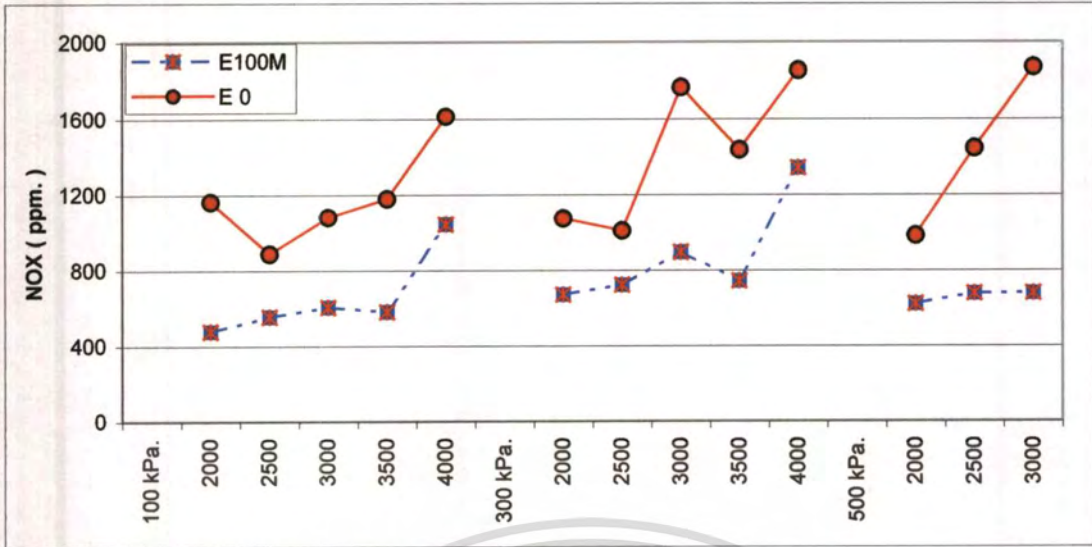
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.50 แสดงค่าของมลพิษ ออกไซด์ของไนโตรเจน ของเชื้อเพลิงทดสอบ ที่ค่า BMEP เท่ากับ 500 kPa. พบว่า ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน ของเชื้อเพลิง E0 มีค่าสูงกว่า E10 โดยที่ค่าเพิ่มขึ้นในตามความเร็วรอบ ค่าของ E85 ต่ำที่สุดแต่สามารถทดสอบได้เพียงสถานะเดียวเท่านั้น เมื่อมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถจ่ายเชื้อเพลิงได้อย่างเพียงพอแล้ว พบว่าค่าของ ออกไซด์ของไนโตรเจน ที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง E100M มีค่าต่ำกว่า E0 และ E10 ดังรูปที่ 6.50



รูปที่ 6.50 ค่า ไนโตรเจนออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทดสอบชนิดต่างๆที่ BMEP 500 kPa.

รูปที่ 6.51 เปรียบเทียบค่า ออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa. พบว่าทั้ง E0 และ E100M มีแนวโน้มใกล้เคียงกันทุกค่า BMEP โดย E0 มีค่าต่ำที่ความเร็วรอบต่ำและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามรอบเครื่องยนต์ ซึ่งคล้ายกับแนวโน้มของ E100M แต่ E100M จะให้ค่าที่ต่ำกว่าในทุกจุด



รูปที่ 6.51 เปรียบเทียบค่า ออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อใช้เชื้อเพลิง เบนซิน และ เอทานอล ที่ค่า BMEP เท่ากับ 100 kPa., 300 kPa. และ 500 kPa.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 7.1 สรุปผลการวิจัย

การนำเชื้อเพลิงเอทานอลมาใช้แทนเชื้อเพลิงเบนซินกับเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรงนั้น จากผลการทดลอง พบว่ามีความเป็นไปได้อย่างมากในการใช้งานจริง โดยเครื่องยนต์จำเป็นต้องปรับแต่งปริมาณของเชื้อเพลิงต่อวัฏจักรให้สูงขึ้น ซึ่งสามารถกระทำได้ไม่ซับซ้อนนัก โดยปรับระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงให้นานขึ้น ซึ่งสะดวกและไม่ส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์มากนัก ในส่วนระบบจุดระเบิดนั้น เครื่องยนต์ที่นำมาทำการทดสอบนี้ สามารถปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า ให้อยู่ในสถานะที่เครื่องยนต์สามารถให้แรงบิดสูงสุดได้ด้วยตนเอง ในขั้นต้นนี้ จึงยังไม่ทำการปรับแต่งใดๆ

ผลจากการถ่ายภาพตะอองของเชื้อเพลิง สรุปได้ว่า เอทานอล เหมาะกับการทำงานของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง เฉพาะในหมวดที่ทำการทดสอบคือหมวด ส่วนผสมเนื้อเดียว (Homogenous Charge Mode) เท่านั้น เพราะพบว่า เอทานอลสามารถกระจายตัวได้กว้างกว่าและไกลกว่า จึงสามารถผสมกับอากาศได้ดีกว่า แต่ในหมวดการทำงานแบบส่วนผสมบางนั้น (Stratified Charge Mode) เอทานอล มีแนวโน้มว่ายังไม่เหมาะสมกับห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบนี้ เนื่องจากการก่อตัวของไอเชื้อเพลิงต่างจาก เบนซิน จากรูป 6.17 ถึง 6.19 โดยเบนซิน สามารถก่อตัวเป็นก้อนได้ดีกว่า เอทานอล จึงสามารถสร้างส่วนผสมที่หนาบริเวณเขี้ยวของหัวเทียนง่ายกว่า แต่กับเอทานอลนั้น มีการกระจายตัวมาก การก่อตัวจึงเกิดยากกว่า ทำให้การทำงานในหมวดนี้ไม่สามารถทำส่วนผสมให้บางเท่าเบนซินได้

ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ พบว่าการใช้เชื้อเพลิง เอทานอล นั้นให้ค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก สูงกว่าการใช้เชื้อเพลิง เบนซิน แต่ไม่สามารถเดินเครื่องที่ค่า BMEP สูงกว่า 300 kPa. ได้เนื่องจากเชื้อเพลิงไม่เพียงพอ หลังจากการปรับแต่งเครื่องยนต์ ค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก และ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ยังคงสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิง เบนซิน แต่มีแนวโน้มตามรอบเครื่องยนต์เปลี่ยนไปเนื่องมาจากผลของ Heat of vaporization ที่แตกต่างกันมาก โดยที่เอทานอล มีค่าสูงกว่า เมื่อเกิดการระเหยตัวจึงส่งผลให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้ลดลงเป็นอย่างมาก ซึ่งไม่เป็นผลดีกับเครื่องยนต์ที่ที่รอบการทำงานต่ำ หรือ อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากค่า Flame Speed จะลดลงตามอุณหภูมิ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดต่ำลง แต่เมื่อเครื่องยนต์มีรอบการทำงาน หรือ อุณหภูมิที่สูงเพียงพอ การที่อุณหภูมิห้องเผาไหม้ลดลงเป็นอย่างมากกลับส่งผลดี โดยจะทำให้ค่า Volume Efficiency สูงขึ้นจากความสามารถในการประจุไอดีได้มากกว่า จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบค่าของมลพิษที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ พบว่าการใช้เชื้อเพลิง เอทานอล นั้น ค่ามลพิษส่วนใหญ่มีค่าลดลงอย่างมากในทุกสภาวะที่ทำการทดลอง แต่ไม่สามารถเดินเครื่องที่ค่า BMEP สูงกว่า 300 kPa. ได้เนื่องจากเชื้อเพลิงไม่เพียงพอ หลังจากการปรับแต่งเครื่องยนต์ ค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค และ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค ยังคงสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิง เบนซิน แต่มีแนวโน้มเปลี่ยนไป ค่าของมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง เอทานอล ค่าส่วนใหญ่มีค่าลดลงเล็กน้อย ในทุกสภาวะที่ทำการทดลอง

จากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่า เอทานอลเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง เนื่องจากข้อได้เปรียบทั้งทางด้านสมรรถนะและมลพิษ แต่ยังพบปัญหาจากการกักครอนในระบบเชื้อเพลิง การทำปฏิกิริยากับชิ้นส่วนที่เป็นยาง และการอุดตันของไส้กรองเชื้อเพลิงจากโลหะที่ถูกกักครอนออกมา ดังนั้นจึงควรมีการทดลองในระยะยาวเพื่อศึกษาถึงผลกระทบด้านอื่นๆ ประกอบด้วยเพื่อการใช้งานที่สมบูรณ์

## 7.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยขั้นต่อไป เนื่องจากในการทดลองนี้ ทดสอบแต่หมวดการทำงานของเครื่องยนต์แบบส่วนผสมเนื้อเดียวกัน ยังมีได้ทำการทดสอบกับหมวดส่วนผสมบาง ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาผลของการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงกับการทำงานในหมวดนี้ด้วย และควรทดสอบและหาวิธีเดินเครื่องที่สภาวะติดเครื่องเย็นร่วมด้วย เพื่อความสมบูรณ์ในการใช้งานจริง

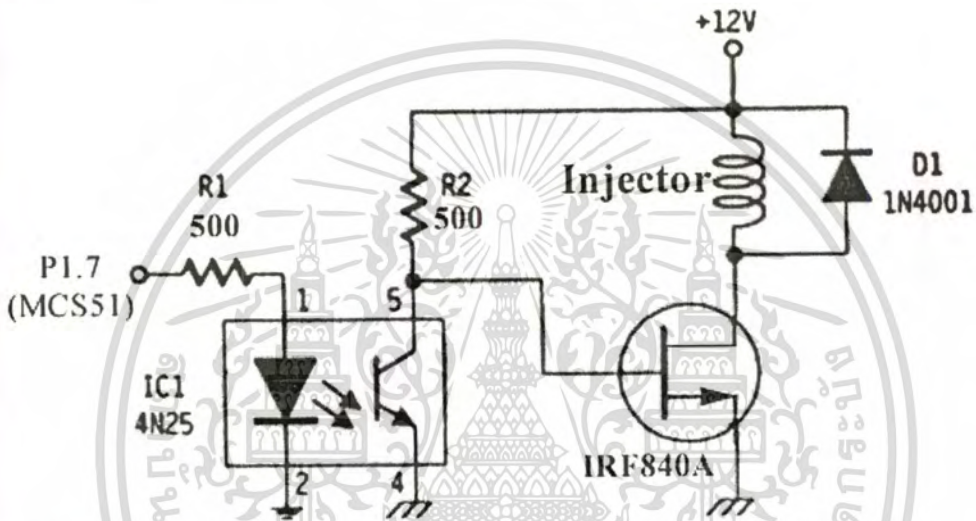
## เอกสารอ้างอิง

- [1] สมาคมวิศวกรรมยานยนต์ไทย (TSAE). 2544. เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาวิชาการเรื่อง น้ำมันผสม Ethanol ใช้กับรถของท่าน ได้จริงหรือ 2 เมษายน 2544.
- [2] มานิดา ทองอรุณ. 2544. “การศึกษากระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอล” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [3] Brinkman N. D., and Gallopoulos N.E. 1975. “Exhaust Emissions, Fuel Economy, and Driveability of Vehicles Fueled with Alcohol-Gasoline Blend.” SAE Paper no 750120
- [4] Popuri S.S., and Bata M. 1993 “A Performance Study of Iso-Butanol-, Metanol-, and Ethanol-Gasoline Blends Using a Single Cylinder Engine.” SAE Paper no.932953
- [5] Chae, J.O., Chung, S.C. and Jeong, Y.S. 1995. “A Study on Performance Characteristics of Gasoline-Alcohol Blend.” JSAE Paper no. 9530210
- [6] Hsieh, W.D., Chen, R.H., Wu, T.L. and Lin, T.H. 2002. “Engine Performance and Pollutant Emission of an SI Engine Using Ethanol-Gasoline Blended Fuels.” Atmospheric Environment, Vol.36, Issue 3, pp 403-410
- [7] Hakan Sandquist, Maria Karisson and Ingemar Dendratt . 2001. ” Influence of Etahnol Content in Gasoline on Speciate Emissions From a Direct Injection Stratified Charge SI Engine. ” SAE Paper no. 2001-01-1206
- [8] Cornel Stan, Lugi Matorano. “Internal Mixture Formation and Combustion—from Gasoline to Ethanol. “ SAE Paper 2001-01-1207
- [9] Overseas Service Department Mitsubishi Motors Corporation. 1999. “Introducing Service Features of 4G 93 DOHC GDI “. Mitsubishi Motors Corporation.
- [10] T.Kume, Y.Iwamoto, K.Inda, M.Murakami, K.Akishino, and H.Ando. 1996. “Combustion Control Technologies for Direct Injection SI engine” SAE Paper no. 960600

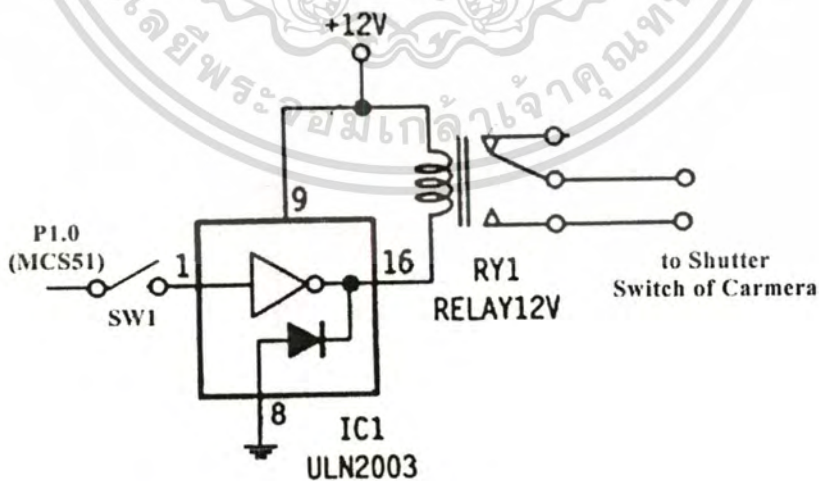
## ภาคผนวก ก

### วงจรควบคุมการฉีดและการถ่ายภาพ

ในการถ่ายภาพด้วยชุดเครื่องมือ Schlieren ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากไม่มีกล้องวิดีโอความเร็วสูงจึงต้องใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้าและไมโครคอนโทรลเลอร์มาช่วย ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ ก-1 และ รูปที่ ก-2 สำหรับ P1.0 และ P1.7 คือ สัญญาณจากพอร์ท 1 บิตที่ 0 และ บิตที่ 7 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51 ตามลำดับ



รูปที่ ก-1 วงจรควบคุมหัวฉีด



รูปที่ ก-2 วงจรควบคุมกล้องถ่ายรูป

สำหรับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51 ที่ใช้เป็นชุดสำเร็จรูปจากบริษัทลาร์รี่ เป็น Single Board รุ่น JAZZ-31 ซึ่งมีการต่ออุปกรณ์สำหรับป้อนข้อมูลและแสดงผล จึงทำให้ง่ายต่อการใช้งาน สำหรับการทํางาน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งกล้องถ่ายภาพให้ ถ่ายภาพล่วงหน้าที่จะฉีดเชื้อเพลิงประมาณ 50 – 150 ms ก่อนจะสั่งให้ฉีดเชื้อเพลิง เนื่องจากการหน่วงเวลาของวงจรและกล้อง ซึ่งคำสั่งที่ใช้ในการส่งงานแสดงในตารางที่ ก-1 เนื่องจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีไฟเลี้ยงที่พอร์ทสัญญาณตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องทำการสั่งให้ที่พอร์ทสัญญาณไม่มีไฟเลี้ยงก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้กล้องทํางาน คำสั่งที่ใช้ในการลบสัญญาณที่พอร์ทแสดงในตารางที่ ก-2 และทุกครั้งที่มีการเปิดเครื่องไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องทำการลบสัญญาณที่พอร์ทก่อนเสมอ

ตารางที่ ก-1 คำสั่งควบคุมการฉีดและถ่ายภาพ

ตำแหน่ง	Code	ภาษาแอสเซมบลี	ความหมาย
8100	7A	MOV R2, #00H	กำหนดค่ารีจิสเตอร์เพื่อเตรียมหน่วงเวลาในการกดสวิทช์ล้นกล้อง
8101	00		
8102	7B	MOV R3, #0FH	
8103	0F		กดสวิทช์กล้อง
8104	D2	SETB P1.0	
8105	90		เรียกโปรแกรมย่อยหน่วงเวลา DMSEC
8106	12	LCALL 003FH	
8107	00		
8108	3F		ปล่อยสวิทช์กล้อง
8109	C2	CLR P1.0	
810A	90		
810B	7A	MOV R2, #00H	กำหนดค่ารีจิสเตอร์เพื่อเตรียมหน่วงเวลาก่อนฉีดเชื้อเพลิง(#0AH คือหน่วงก่อนฉีด 10 ms สามารถเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม)
810C	00		
810D	7B	MOV R3, #0AH	
810E	0A		
810F	12	LCALL 003FH	เรียกโปรแกรมย่อยหน่วงเวลา DMSEC
8110	00		
8111	3F		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 คำสั่งควบคุมการฉีดและถ่ายภาพ(ต่อ)

ตำแหน่ง	Code	ภาษาแอสเซมบลี	ความหมาย
8112	7A	MOV R2, #00H	กำหนดค่ารีจิสเตอร์เพื่อเตรียมหน่วย เวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (#05H คือ ฉีด 10 ms สามารถ เปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม)
8113	00		
8114	7B	MOV R3, #05H	
8115	05		
8116	C2	CLR P1.7	สั่งฉีดเชื้อเพลิง (สำหรับหัวฉีดต้อง จับด้วยไฟค่านลบ )
8117	97		
8118	12	LCALL 003FH	เรียกโปรแกรมย่อยหน่วยเวลา
8119	00		DMSEC สำหรับการฉีดเชื้อเพลิง
811A	3F		
811B	D2	SETB P1.7	หยุดฉีด
811C	97		
811E	02	LJMP 0036H	กลับสู่โปรแกรมย่อย มอนิเตอร์
811F	00		
8120	36		

ตารางที่ ก-2 คำสั่งลบสัญญาณที่พอร์ต

ตำแหน่ง	Code	ภาษาแอสเซมบลี	ความหมาย
8200	C2	CLR P1.0	Clear สัญญาณที่พอร์ต 1.0
8201	90		
8202	02	LJMP 0036H	กลับสู่โปรแกรมย่อย มอนิเตอร์
8203	00		
8204	36		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### รายละเอียดของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง

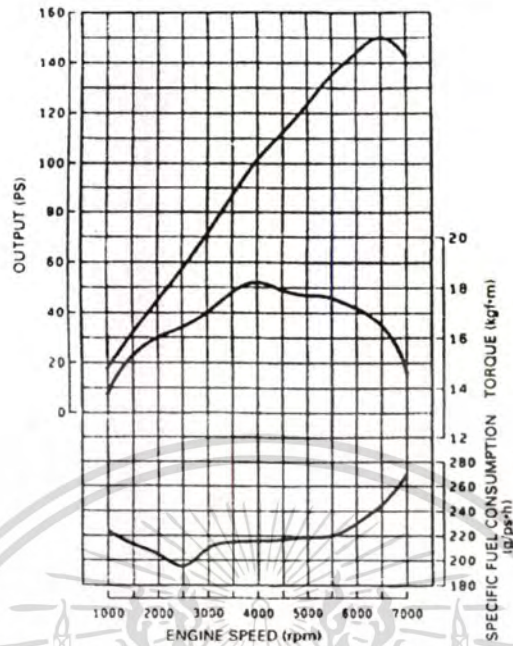
เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง ( Direct Injection Gasoline : DIG ) เป็นเครื่องยนต์แบบ Spark Ignition : SI ที่มีประสิทธิภาพสูงชนิดหนึ่ง ที่ได้ทำการค้นคว้าและทดลองมาเป็นเวลานาน โดยเป็นเครื่องยนต์ที่ฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้คล้ายกับเครื่องยนต์ดีเซล แต่จะใช้ประกายไฟจากหัวเทียนในการจุดระเบิด จึงควบคุมจังหวะการจุดระเบิดได้ดีกว่า แต่ยังไม่ประสบความสำเร็จนักในเชิงการผลิตเป็นจำนวนมาก(Mass Product) เนื่องจากความซับซ้อนกว่าของชิ้นส่วน และราคาของระบบควบคุมที่สูงมากจึงไม่แพร่หลายนัก แต่ในปัจจุบัน เทคโนโลยีการควบคุม และ เทคโนโลยีการผลิต รุดหน้าไปมาก ทำให้เราสามารถสร้าง เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรงที่มีประสิทธิภาพสูงในเชิงการผลิตเป็นจำนวนมากได้โดยอาศัยพื้นฐานของเครื่องยนต์แบบ Multi-Port Injection System :MPI ที่มีอยู่ในปัจจุบันแล้วทำการออกแบบอุปกรณ์และชิ้นส่วนที่จำเป็นสำหรับระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบฉีดตรงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และพัฒนาระบบอื่นๆขึ้นเพื่อรองรับการทำงานที่ซับซ้อนขึ้น จึงทำให้ เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง สามารถเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากได้ และมีความแพร่หลายมากขึ้น

เครื่องยนต์ที่นำมาทำการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ที่ Mitsubishi พัฒนาขึ้นและนำออกจำหน่าย ตั้งแต่ปี 1997 ชื่อรุ่น 4G 93 GDI และได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนปี 1999 ก็ผลิตเครื่องยนต์เป็นรุ่นที่ 2 โดยยังใช้รหัสเดิม ซึ่งเครื่องยนต์ที่นำมาทำการทดสอบเป็นเครื่องยนต์รุ่นที่ 2 นั้นเอง ข้อมูลทั่วไปของเครื่องยนต์มีดังนี้

ตาราง ข-1 ข้อมูลเบื้องต้นของเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง

ความจุ ( cc. )	1834
กระบอกสูบ และช่วงชัก	81 * 89
อัตราส่วนการอัด	12.5
จำนวนสูบ, จำนวนวาล์ว	4 , 16
กำลังสูงสุด ( kW / rpm )	110 / 6500
แรงบิดสูงสุด ( Nm / rpm )	178 / 4000
ระบบจุดระเบิด	4-Coil Direct Ignition
แรงดันเชื้อเพลิง	5 Mpa.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



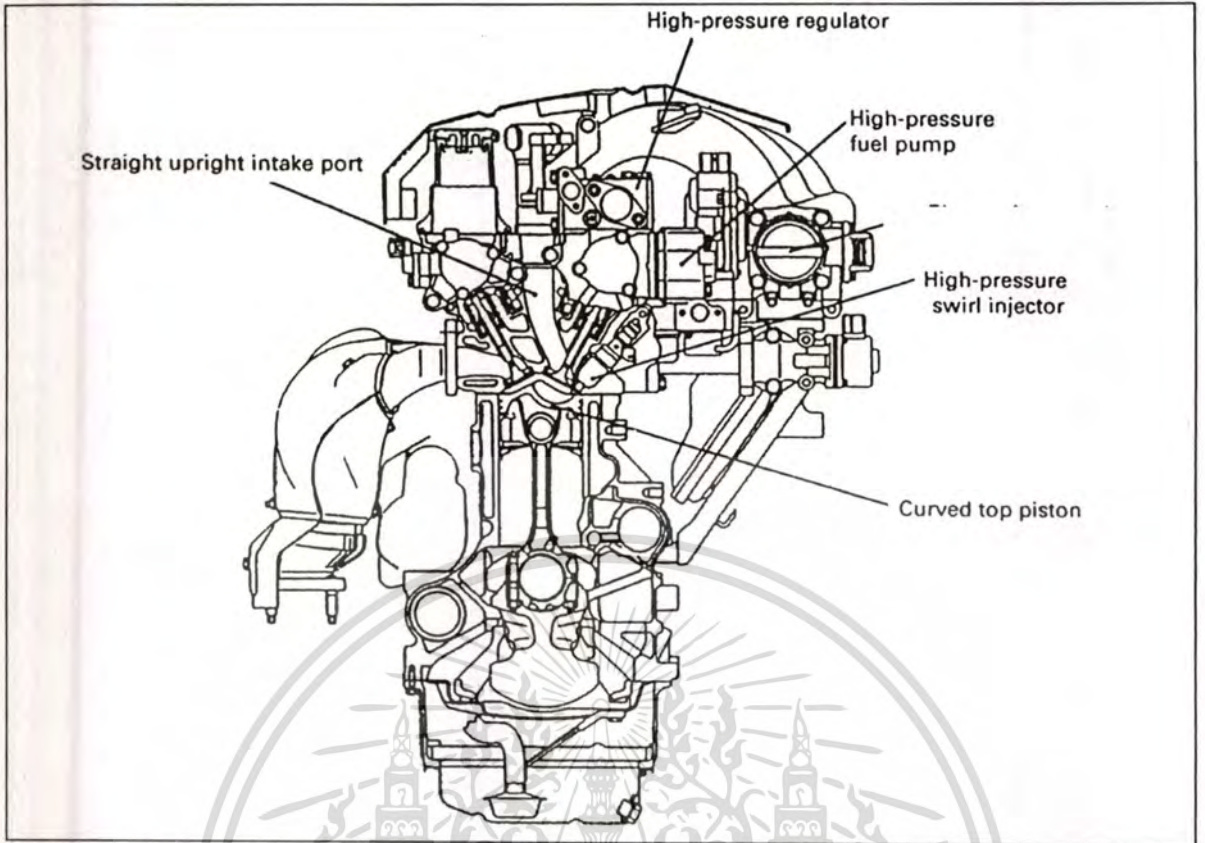
รูป ข-1 แสดง แรงม้า แรงบิด และ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ที่สภาวะล้นแรงเปิดสุด (WOT)

## เทคโนโลยีใหม่

เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง ทำให้เครื่องยนต์มีค่า ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร สูงกว่า สามารถ ใช้กำลังอัดได้มากกว่า การตอบสนองของเครื่องยนต์เร็วกว่า ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิง ได้แม่นยำกว่า ปัจจัยเหล่านี้เป็นผลมาจากเทคโนโลยีใหม่ที่บรรจุไว้ประกอบไปด้วย

- ท่อไอดีแบบใหม่ พุ่งตรงลงจากทางด้านบนทำให้ประจุไอดีได้มากกว่า และเกิดการหมุนวนของไอดีที่รุนแรงกว่าทำให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวได้ง่าย และเร็วกว่า
- หัวลูกสูบแบบใหม่ มีลักษณะเว้าครึ่งทรงกลม เพื่อรองรับและเสริมให้ไอดีที่หมุนวนจากผลของท่อไอดี มีการหมุนวนรุนแรงยิ่งขึ้น ทำให้การคลุกเคล้าของ ไอดีเร็วขึ้น และยังทำให้สามารถติดตั้งหัวเทียน ในตำแหน่งกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ได้อีกด้วย
- ระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบใหม่ ใช้ปั๊มกลไกที่ง่าย ทนทาน และสามารถสร้างแรงดันได้สูง ร่วมกับ หัวฉีดเชื้อเพลิงที่ให้ละอองสเปรย์มีการหมุนวนสูง เพื่อให้เชื้อเพลิงกระจายตัวได้เร็ว และควบคุมแรงดันให้คงที่ด้วย ชุดควบคุมแรงดัน เพื่อละอองสเปรย์ที่คงที่ในทุกความเร็วรอบ

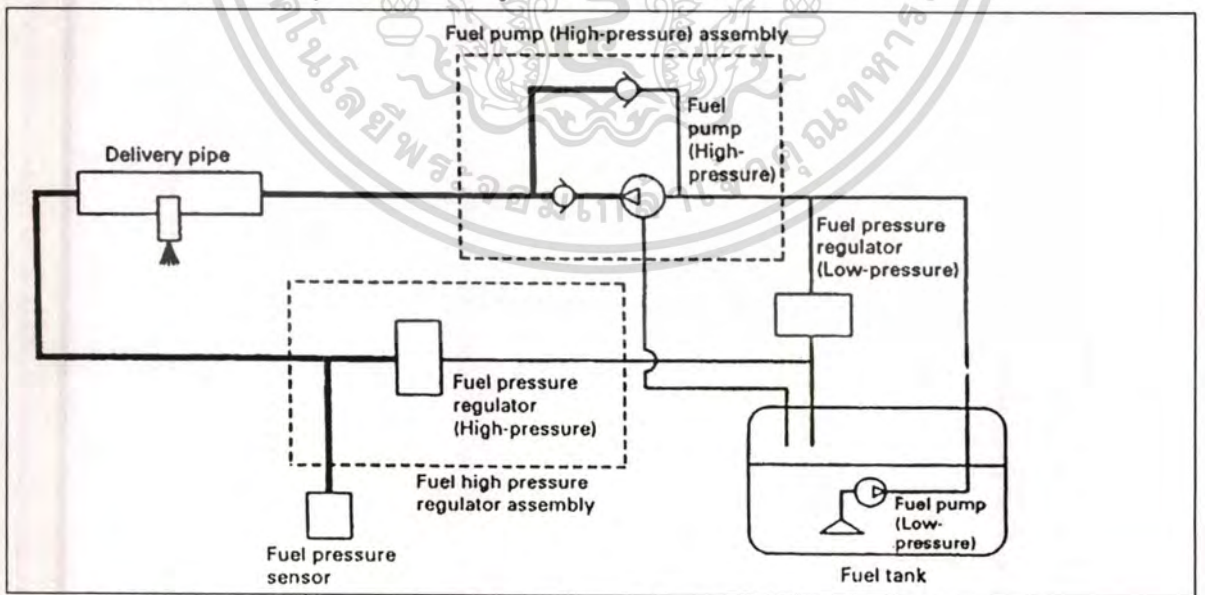
ปัจจัยเหล่านี้ ส่งผลให้เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์แบบเดิมในทุกๆ ด้าน ทั้งด้าน สมรรถนะ มลพิษ และ อัตราการสิ้นเปลือง อุปกรณ์ต่างๆข้างต้นแสดงดังรูป ข-2



รูป ข-2 รูปแสดงเทคโนโลยีใหม่ที่บรรจุไว้บนเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง

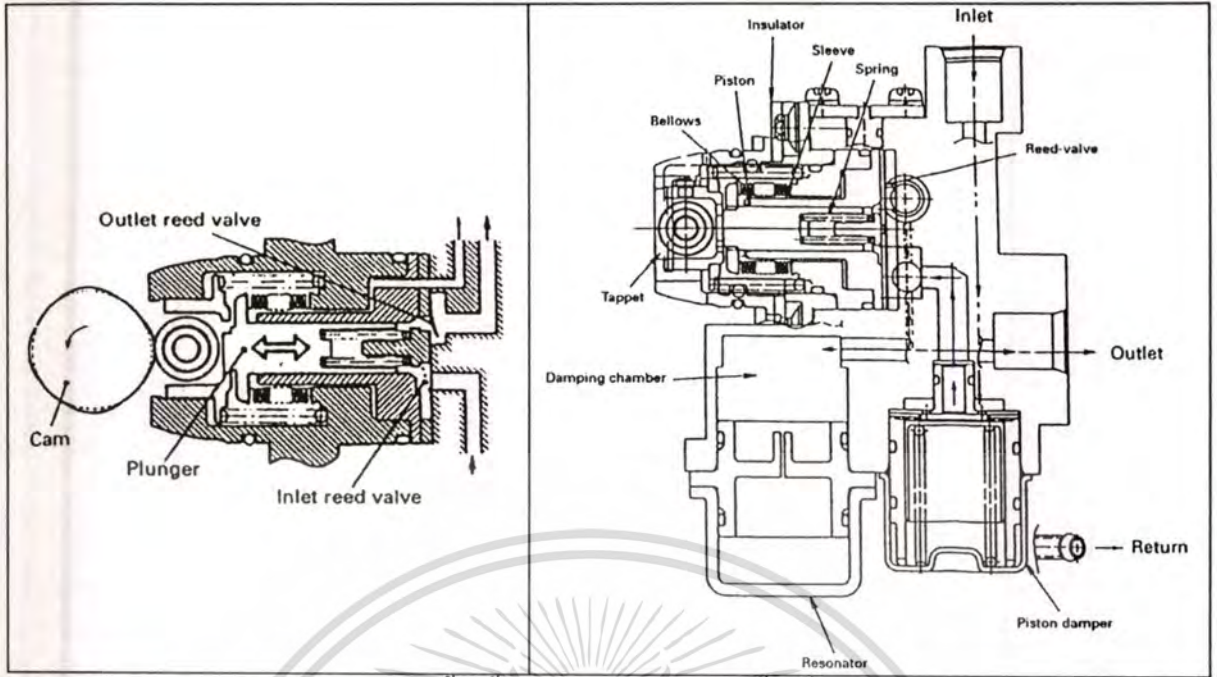
ระบบเชื้อเพลิง

ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูป ข-3 ข-4 และ ข-5

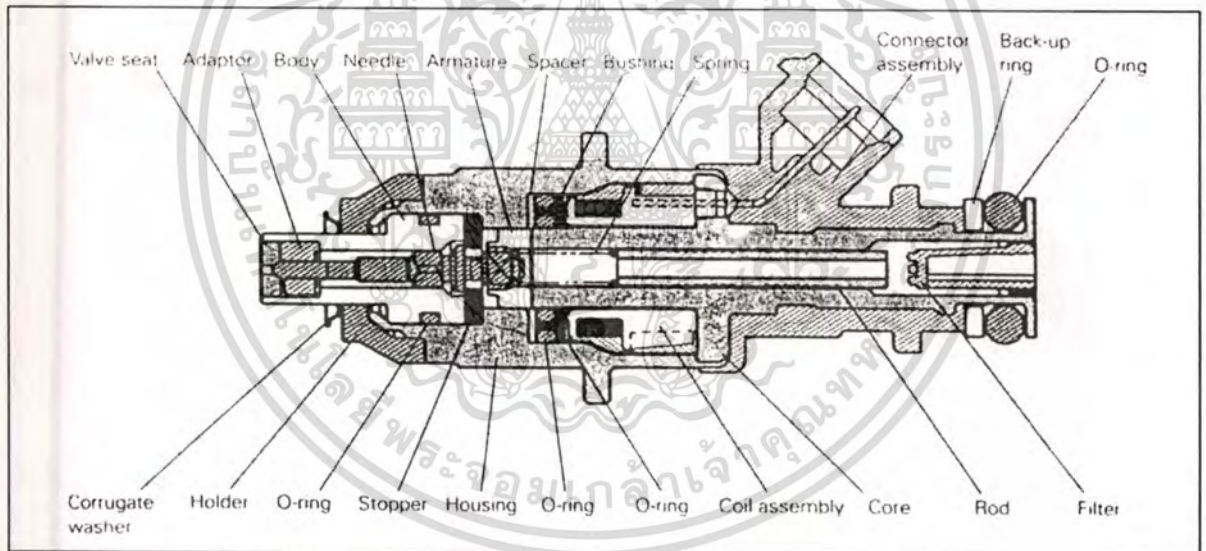


รูป ข-3 รูปแสดงระบบเชื้อเพลิงที่บรรจุไว้บนเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข-4 รูปแสดงหลักการทำงานของปั๊มเชื้อเพลิงและภาพตัดของปั๊มเชื้อเพลิง



รูป ข-5 รูปแสดงส่วนประกอบของหัวฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง

จากรูป ข-3 เชื้อเพลิงจะถูกส่งมาจาก ปั๊มแรงดันต่ำ เข้าสู่ชุดควบคุมแรงดันชุดแรก (ควบคุมไว้ที่ 329 kPa.) หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังปั๊มแรงดันสูง และถูกส่งเข้าไปยังรางหัวฉีด ก่อนเข้าสู่ชุดควบคุมแรงดันชุดที่สอง (ควบคุมไว้ที่ 5000 kPa.) เพื่อระบายแรงดันส่วนเกินออกไป

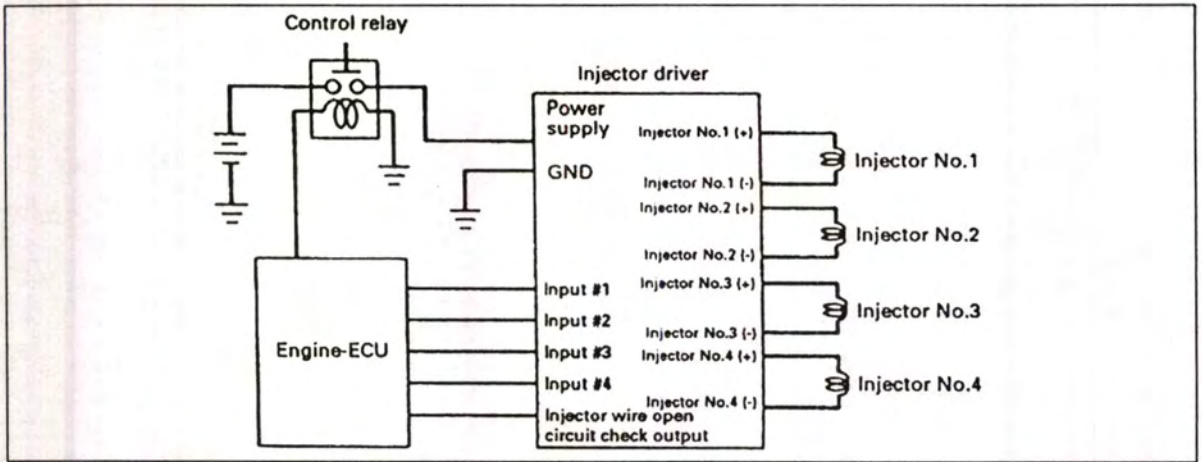
ปั๊มกลไกคังรูป ข-4 ใช้ระบบวาล์วทางเดียวร่วมกับลูกสูบ โดยรับกำลังจากเพลาลูกเบี้ยวโดยตรงคังรูปซึ่งแสดงหลักการทำงานของปั๊มเชื้อเพลิง และภาพตัดของปั๊มเชื้อเพลิง หัวฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง สามารถสร้างละอองเชื้อเพลิงได้สองลักษณะดังตาราง ข-2 ตามหมวดการทำงานของเครื่องยนต์

ตาราง ข-2 หมวดการทำงานและเงื่อนไขในการทำงานของหัวฉีดแรงดันสูง

Operation mode	Low fuel consumption	High power
Fuel mixture type	Ultra-lean combustion	High efficiency intake
	Layered mixture	Even mixture
Injection interval	Compression stroke injection	Intake stroke injection
Injection pressure	5 MPa (4G9)	5 MPa (4G9)
Cylinder pressure at start of injection	5 bar	Barometric pressure
Set air/fuel ratio	30 - 40	13 - 24
Spray pattern	Compact spherical pattern	Conical pattern

### ระบบจุดระเบิด

เครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรงที่นำมาทำการทดสอบนี้ใช้ระบบจุดระเบิดแบบ Direct Coil โดยมี Coil จุดระเบิดสี่ชุดและใช้สัญญาณควบคุมการจุดระเบิดจากกล่องควบคุม และใช้วงจรถ่ายไฟในการเพิ่มกระแสไฟ เพื่อให้การจุดระเบิดเสถียรยิ่งขึ้น ดังรูป ข-6

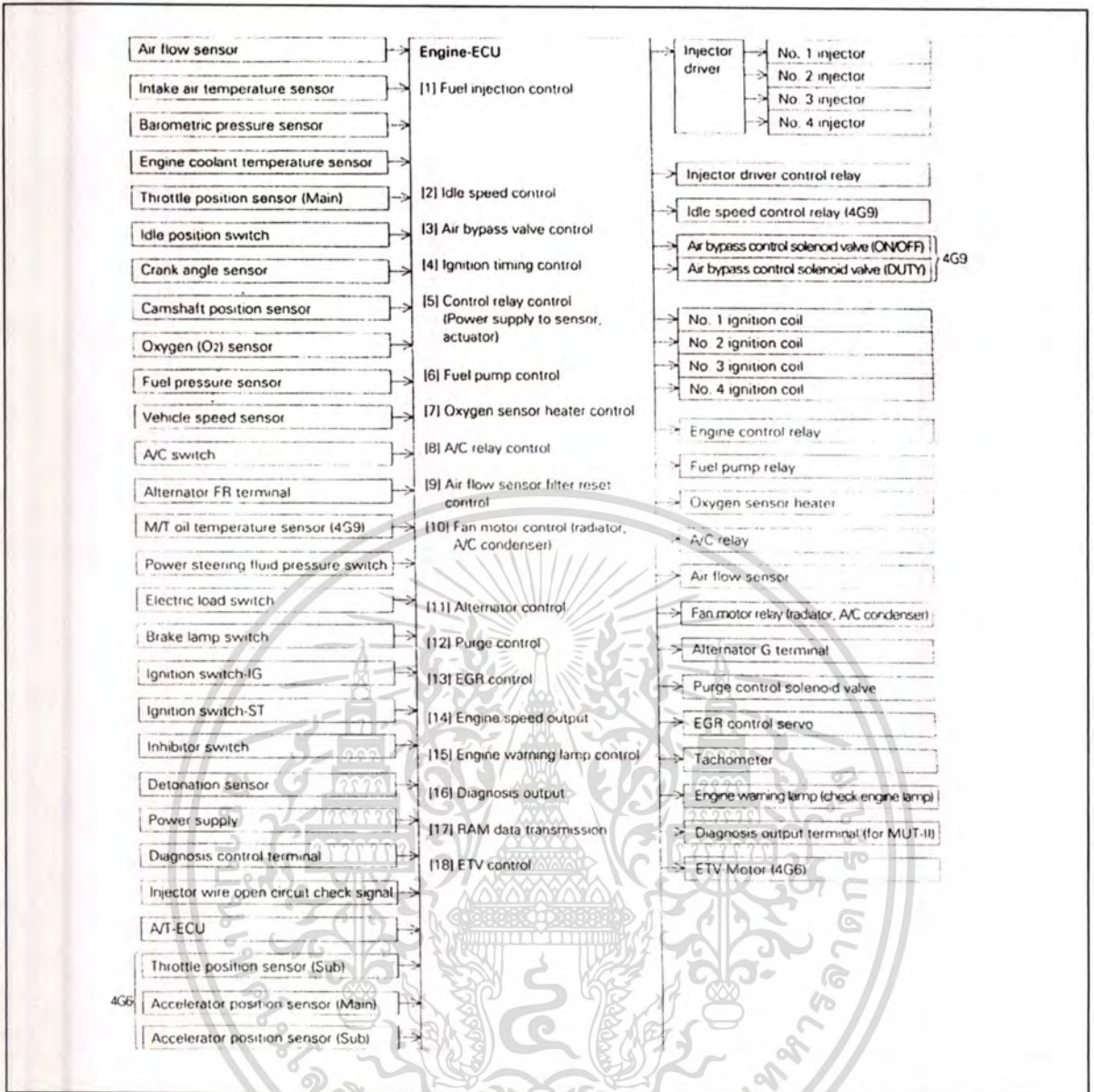


รูป ข-6 รูปแสดงระบบจุดระเบิดแบบ Direct Coil

### ระบบควบคุม

ระบบควบคุม ประกอบไปด้วย Sensor รับสัญญาณต่างๆ เข้าสู่ ECU และ ECU จะควบคุม อุปกรณ์ต่างๆ ดังรูป ข-7





รูป ข-7 แสดง Block Diagram ของระบบควบคุมเครื่องยนต์เบนซินแบบฉีดตรง

จากรูปแสดงถึงอุปกรณ์ต่างๆทั้งหมดที่ใช้ในระบบควบคุม ในที่นี้จะไม่ขอล่าถึงในรายละเอียด เนื่องจากมีความซับซ้อนและรายละเอียดมาก หากสนใจสามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิง [9]

## ประวัติผู้เขียน

นายจรเขษฐ ฐานะวโรธร เกิดเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม พ.ศ. 2518 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จาก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2539 และได้ศึกษาต่อที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2543 ปัจจุบันทำงานด้านซ่อมบำรุง ใน โรงงานผลิตเหล็กแผ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้