

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**การนำก๊าซธรรมชาติผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล**

**The natural gas lead mixes with the diesel for in diesel engine**

โดย

นาย รักพงษ์ พานิกุล

นาย วรวุฒิ แสงเงินชัย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. พงษ์ศักดิ์ คำมูต

๒๗.  
ร ๒๘๖๗  
๒๕๕๐

เลขหมู่.....

82196

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี.....๙.....๒๕๕๑

**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**

**ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ปีการศึกษา ๒๕๕๐**

๑๑๑๒๔๑๑๑๑  
b.....  
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การนำก๊าซธรรมชาติผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล  
(The natural gas lead mixes with the diesel for in diesel engine)

ผู้จัดทำ

นาย รักพงษ์ พานิกุล 48015389

นาย วรวุฒิ แสงเงินชัย 48015390



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การนำก๊าซธรรมชาติผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล

นาย รักพงษ์ พานิกุล 48015389  
นาย วรุฒิ แสงเงินชัย 48015390  
ผศ. พงษ์ศักดิ์ คำมูล อาจารย์ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2550

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ ดีเซล TOYOTA 2L-T ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติร่วมกับน้ำมันดีเซล ซึ่งใช้มิกเซอร์เป็นตัวผสมก๊าซธรรมชาติกับอากาศที่บริเวณท่อร่วมไอดี โดยทำการเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ซึ่งขอบเขตในการทดลองจะวัดค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยจะทำการทดลองด้วยเครื่องแซสซีส์ไดนาโมมิเตอร์ ที่สภาวะไหลดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## The natural gas lead mixes with the diesel for in diesel engine

Rakpong Phanikul

Worawoot Sang-nguonchai

Assist. Prof.Pongsak Kamool Advisor

### Abstract

This project is capacity education of a diesel engine, TOYOTA 2L-T, at use the nature cooperates the diesel oil, which, use not stagger formed mix the nature and the air that pipe area share the mixed gas, by do the comparison and a engine that use the diesel only, which, limits in the experiment will value temple, the efficiency of a engine, consuming fuel rate, and the pollution that is born from the combustion, by will do the experiment with Chassis dynamometer controller, at the condition loads all.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความเอาใจใส่ และความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. พงษ์ศักดิ์ คำมูล ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอบพระคุณ พี่ป๊อด จากอุ้ววิทยาการราช ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และคอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการทดลองการใช้ก๊าซธรรมชาติร่วมกับน้ำมันดีเซล

ขอบคุณ พี่ ๆ ปริญญาโท และ พี่น้อง ๆ ปริญญาตรีที่ช่วยเหลือ และคำแนะนำดี ๆ ด้านการทดลองและเป็นกำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา และ มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า และเป็นกำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์นับนี้ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จ ถ้าปราศจากบุคคลเหล่านี้ ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยอำนวยการอำนวยพรความสุขสวัสดิ์จงมีแก่ทุกท่าน

นาย รักษ์พงษ์

นาย วรวิทย์

พานิกุล

แสงเงินชัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของ Dual Fuel.....	1
1.2 ข้อดีของ Dual Fuel.....	2
1.3 ข้อเสียของ Dual Fuel.....	2
1.4 ความมุ่งหมาย.....	2
1.5 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.6 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.7 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา.....	3
1.8 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	3
1.9 ขอบเขตการศึกษา.....	4
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สธรรมชาติกับน้ำมันดีเซล.....	5
2.1 Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot.....	5
2.1.1 Approaches to High Thermal-Efficiency in High Compression-Ratio Natural-Gas Engine.....	5
2.1.2 Alternative Ignition systems for CNG in Diesel Applications.....	8
2.1.3 Emissions and fuel consumption of natural gas powered city versus diesel buses in real city traffic.....	10
2.2 Direct Injection Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot.....	11
2.2.1 Combustion and Exhaust Emissions Characteristics of a Diesel Engine Dual-Fueled with Natural Gas.....	11
2.2.2 The development of the ECOS-DDF natural gas engine for medium-duty trucks: exhaust emission reduction against base diesel engine.....	14
2.2.3 Progresses in High Pressure Direct Injection (HPDI) of Natural Gas in Automotive Diesel Engines.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 Performance and Emissions of a Two-Stroke Engine Fueled Using High Pressure Direct Injection of Natural Gas.....	22
2.2.5 Progresses in High Pressure Direct Injection (HPDI) of Natural Gas In Automotive Diesel Engines.....	24
2.3 ผลสรุปจากผลงานวิจัยที่ใช้อ้างอิงทั้งหมดข้างต้น.....	25
<b>บทที่ 3 ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์.....</b>	<b>26</b>
3.1 ก๊าซธรรมชาติ .....	26
3.2 การเกิดก๊าซธรรมชาติ.....	26
3.3 ประเภทของก๊าซ.....	27
3.3.1 ก๊าซชีวะมวล .....	27
3.3.2 ก๊าซชีวภาพ (Bio-Gas).....	27
3.3.3 ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas).....	27
3.4 ชนิดของก๊าซธรรมชาติ.....	27
3.4.1 ก๊าซธรรมชาติแห้ง (Dry Natural Gas).....	27
3.4.2 ก๊าซธรรมชาติชื้น (Wet Natural Gas).....	28
3.5 ก๊าซธรรมชาติ อยู่ในสภาพสถานะต่างๆ.....	28
3.6 ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (Natural Gas Vehicles ) .....	29
3.7 คุณสมบัติพิเศษของก๊าซ NGV.....	29
3.8 ความปลอดภัยของก๊าซ NGV เมื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์.....	30
3.9 สถานีบริการก๊าซธรรมชาติ.....	31
3.10 ปัญหาการใช้ NGV ในยานพาหนะ.....	32
3.11 ยานยนต์แก๊สธรรมชาติในประเทศไทย.....	33
3.12 ข้อเปรียบเทียบการใช้ CNG กับน้ำมันเชื้อเพลิง หรือ LPG.....	33
<b>บทที่ 4 เครื่องยนต์ดีเซล.....</b>	<b>34</b>
4.1 ข้อดีของเครื่องยนต์ดีเซล.....	34
4.2 ปัญหาจากการใช้ CNG ของยานพาหนะ.....	34
4.3 ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลทำงานได้.....	35
4.4 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล.....	35
4.5 ระบบการจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ.....	35
4.6 เครื่องยนต์ที่ใช้ระบบการจุดระเบิดด้วยการอัด.....	36
4.6.1 รถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเพียงอย่างเดียว (Dedicated NGV).....	36
4.6.2 รถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดร่วมกับน้ำมันดีเซล (Diesel Dual Fuel, DDF).....	36
4.6.3 ระบบดูดก๊าซ (Fumigation System).....	36
<b>บทที่ 5 ทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน.....</b>	<b>37</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1	ทอร์คและกำลังเครื่องยนต์ (Torque).....	37
5.2	พลังงานที่คำนวณได้จากเครื่องยนต์ (Power of Engine).....	37
5.3	พลังงานที่คำนวณได้จากเชื้อเพลิง(Power of Fuel).....	37
5.4	สัมประสิทธิ์การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Specific Fuel consumption).....	38
5.5	ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์(Engine Efficiencies).....	38
5.6	มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ (Emissions Combustion).....	38
บทที่ 6	อุปกรณ์การทดสอบและวิธีการทดสอบเครื่องยนต์.....	39
6.1	เครื่องยนต์.....	39
6.2	ถังก๊าซที่ใช้ติดตั้งกับรถยนต์.....	40
6.3	เครื่องควบคุมและแสดงผลกำลังของเครื่องยนต์.....	41
6.3.1	แชสซิสไดนาโมมิเตอร์ (chassis dynamometer controller dynamometer).....	41
6.4	อุปกรณ์วัดปริมาณมลพิษของเชื้อเพลิง.....	42
6.5	อุปกรณ์วัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ.....	43
6.6	อุปกรณ์วัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงดีเซล.....	43
6.7	ตัวตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature sensor).....	44
6.8	แก๊สมิกเซอร์ (Gas mixer).....	44
6.9	ถังบรรจุเชื้อเพลิงธรรมชาติ.....	45
6.10	อุปกรณ์ลดแรงดัน (Pressure regulator).....	46
6.11	โซลินอยด์วาล์ว.....	47
6.12	อุปกรณ์การเชื่อมต่อการส่งก๊าซหรือท่อ.....	48
6.13	หลักการการทำงานของเครื่องยนต์และชุดทดสอบ.....	48
6.14	การทดสอบเครื่องยนต์เชื้อเพลิงรวม.....	49
6.15	การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล.....	49
บทที่ 7	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	50
7.1	ทฤษฎีสูตรการคำนวณในการทดลอง.....	50
7.2	ผลการทดลองที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย.....	52
7.3	กำลังของเครื่องยนต์.....	55
7.4	ทอร์คของเครื่องยนต์.....	56
7.5	การบริโภคน้ำมันและค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะเบรก.....	57
7.6	ค่าการเกิดความร้อนและค่าการเกิดความร้อนต่อกำลังงาน.....	59
7.7	อัตราการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง.....	61
7.8	ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์.....	62
7.9	ปริมาณมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์.....	63
บทที่ 8	บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.1 กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม Pre-mixed.....	64
8.2 ปริมาณควันดำของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม Pre-mixed.....	64
8.3 อัตราการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม Dual Fuel.....	65
8.4 ข้อเสนอแนะ.....	65
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก ก .....	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่นำไปใช้ในรถยนต์.....	30
ตารางที่ 3.2 ข้อเปรียบเทียบการใช้ก๊าซ NGV กับก๊าซ LPG และน้ำมันเชื้อเพลิง.....	31
ตารางที่ 6.1 รายละเอียดของถังก๊าซธรรมชาติ.....	46
ตารางที่ 7.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว.....	52
ตารางที่ 7.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์ Dual Fuel.....	52
ตารางที่ 7.3 แสดงข้อมูลค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ.....	53
ตารางที่ 7.4 แสดงผลการกินน้ำมันและราคาโดยคิดที่ 1 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว.....	53
ตารางที่ 7.5 แสดงผลการกินน้ำมันกับก๊าซและราคาโดยคิดที่ 1 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์ Dual Fuel .....	54
ตารางที่ 7.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล ที่ 1 ชั่วโมง.....	54
ตารางที่ 7.7 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลอย่างเดียว.....	62
ตารางที่ 7.8 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงรวม.....	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 Experimental setup for Pre-mixed Natural gas with Diesel pilot.....	6
รูปที่ 2.2 Basic characteristics of performance and exhaust emission compared with a diesel and spark-ignited operation.....	6
รูปที่ 2.3 Efficiency and exhaust emissions at increased pilot fuel amount with charge air throttling.....	7
รูปที่ 2.4 Indicated Thermal efficiency versus BMEP and indicated specific NOx.....	9
รูปที่ 2.5 Indicated specific NOx and HC versus BMEP.....	10
รูปที่ 2.6 Relation between fuel consumption and lambda for lean burn engine.....	10
รูปที่ 2.7 General overview of average fuel consumption and emission of the three buses in city traffic.....	11
รูปที่ 2.8 Experimental setup for Direct Injection Natural gas with Diesel pilot.....	12
รูปที่ 2.9 Combustion chamber layout of Direct Injection Natural gas with Diesel pilot.....	12
รูปที่ 2.10 The effect of injection timing of Natural gas of thermal efficiency and exhaust gas emissions (Engine speed 1,280).....	13
รูปที่ 2.11 Ignition method of Natural gas mixture for NGV Engine.....	14
รูปที่ 2.12 ECOS-DDF Natural gas engine system.....	14
รูปที่ 2.13 Schematic diagram of heat release for Engine: (a) spark plug type natural gas engine, (b) diesel engine, (c) ECOS-DDF Natural gas engine.....	15
รูปที่ 2.14 Exhaust gas emissions of S ECOS-DDF Natural gas engine.....	16
รูปที่ 2.15 Comparison of full load performance of S ECOS-DDF Natural gas engine.....	17
รูปที่ 2.16 Fuel consumption comparison base on DI3 mode of ECOS-DDF Natural gas.....	18
รูปที่ 2.17 Schematic representation of the HPDI of Natural gas injector.....	18
รูปที่ 2.18 Fuel consumption of HPDI system.....	19
รูปที่ 2.19 The heat release rate results of the HPDI.....	20
รูปที่ 2.20 Properties of Diesel and Natural Gas.....	21
รูปที่ 2.21 Test result of HDPI CNG & Diesel.....	22
รูปที่ 2.22 Test result of HDPI CNG & Diesel.....	23
รูปที่ 2.23 Experimental devices of High Pressure Direct Injection (HPDI) CNG.....	24
รูปที่ 2.24 Full load Torque and Efficiency Comparison of HPDI CNG.....	25

รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของระบบจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติระบบดูด.....	36
รูปที่ 6.1 รถยนต์ทดสอบ.....	39
รูปที่ 6.2 แสดงถังก๊าซที่ใช้กับรถยนต์.....	40
รูปที่ 6.3 แสดงการติดตั้งระบบลดความดันแก๊สก่อนเข้าเครื่องยนต์.....	40
รูปที่ 6.4 แสดงการทดสอบของรถยนต์บนแท่นทดสอบ.....	41
รูปที่ 6.5 เครื่องควบคุมและแสดงผลกำลังของเครื่องยนต์.....	42
รูปที่ 6.6 อุปกรณ์วัดปริมาณละอองของไอเสีย.....	42
รูปที่ 6.7 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ.....	43
รูปที่ 6.8 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้น้ำมันดีเซล.....	44
รูปที่ 6.9 ตัวตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature sensor) .....	44
รูปที่ 6.10 อุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ.....	45
รูปที่ 6.11 ถังบรรจุเชื้อเพลิงธรรมชาติ.....	45
รูปที่ 6.12 อุปกรณ์ลดแรงดัน (Pressure regulator).....	47
รูปที่ 6.13 โซลินอยด์วาล์ว.....	47
รูปที่ 6.14 อุปกรณ์เชื่อมต่อการส่งก๊าซ.....	48
รูปที่ 6.15 แสดงส่วนประกอบของชุดทดสอบ.....	48
รูปที่ 7.1 กราฟเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล.....	55
รูปที่ 7.2 กราฟเปรียบเทียบทอร์คของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล.....	56
รูปที่ 7.3 กราฟเปรียบเทียบการบริโภคน้ำมันของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล คิตที่ 1 นาที.....	57
รูปที่ 7.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะเบรค (bsfc)ของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล คิตที่ 1 ชั่วโมง.....	58
รูปที่ 7.5 กราฟเปรียบเทียบค่าการเกิดความร้อนของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล คิตที่ 1 นาที.....	59
รูปที่ 7.6 กราฟเปรียบเทียบค่าการเกิดความร้อนต่อกำลังงานของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล คิตที่ 1 ชั่วโมง.....	60
รูปที่ 7.7 กราฟเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล.....	61
รูปที่ 7.8 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องยนต์ของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล.....	63

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของ Dual Fuel

ในปัจจุบันทั่วโลกกำลังประสบปัญหาขาดแคลนพลังงานและปัญหามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ปัจจุบันราคาน้ำมันเชื้อเพลิงได้ปรับตัวสูงและยังคงมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ประเทศไทยเป็นประเทศที่ต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ทำให้ไม่สามารถควบคุมการปรับตัวของราคาน้ำมันได้ และยังคงสูญเสียเงินให้กับต่างประเทศเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้มลพิษทางอากาศเริ่มเป็นปัญหาหลักของเมืองหลวงและเมืองใหญ่ของประเทศที่มีการพัฒนา ทำให้เป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายทางสังคมในการดูแลสุขภาพของประชาชนสูงขึ้น ปัญหามลพิษทางอากาศมีสาเหตุหลักมาจากไอเสียจากยานยนต์และโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งขยายจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามการพัฒนาเศรษฐกิจในแต่ละประเทศ รวมถึงประเทศไทย โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครนั้น พื้นที่หลายแห่งมีปัญหามลพิษจากฝุ่นละออง ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ และสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากไอเสียของรถยนต์ นอกจากนี้ยังมีการหาพลังงานทดแทนชนิดอื่นๆ ซึ่งอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจก็คือ ก๊าซธรรมชาติอัด ซึ่งสามารถผลิตได้ในประเทศไทย แม้ว่าจะมีบางส่วนที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศแต่ก็ยังมีราคาที่ต่ำ และมีปริมาณสำรองที่สูงมาก จึงเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่ได้รับความสนใจ แม้จะมีค่าใช้จ่ายในการดัดแปลงเครื่องยนต์เพื่อจะนำมาใช้กับก๊าซธรรมชาติ จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก แต่เนื่องจากก๊าซธรรมชาติมีราคาที่ค่อนข้างถูกกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นจึงส่งผลให้เกิดความคุ้มค่าในระยะยาว และหากมีการใช้ก๊าซธรรมชาติกันอย่างแพร่หลายแล้วในอนาคตอาจจะมีการผลิตเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดนี้โดยเฉพาะ

อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สธรรมชาติยังมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องทำการศึกษาและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าในปัจจุบัน เพื่อให้สามารถนำพลังงานมาใช้ให้คุ้มค่ามากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เป็นใช้เครื่องยนต์ดีเซลทำการติดตั้งและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้เป็นเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติกับน้ำมันดีเซลแบบ Diesel Cycle Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot (DDF) ส่วนในเรื่องของการดัดแปลงการติดตั้งก๊าซให้ก๊าซเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล โดยมีอยู่ด้วยกัน 3 แนวทางคือ

วิธีที่ 1 ง่ายก๊าซเข้าไปในห้องเผาไหม้โดยการติดตั้ง Gas mixer ที่คอท่อไอดี

วิธีที่ 2 ติดตั้งหัวฉีดให้ฉีดก๊าซเข้าบริเวณคอท่อไอดี

วิธีที่ 3 ติดตั้งหัวฉีดให้ฉีดก๊าซเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง

ซึ่งทั้ง 3 วิธีนี้ก็ยังมีข้อดีแตกต่างกันไป คือ แบบที่ 1 นั้นค่าอุปกรณ์ถูกกว่า 2 วิธีที่เหลือ และการติดตั้งจะทำได้ง่ายกว่า ส่วนแบบที่ 2 นั้นเราสามารถควบคุมอัตราการฉีดและองศาการฉีดของก๊าซได้โดยปรับกล่อง ECU ควบคุม ส่วนแบบที่ 3 เหมือนกันกับแบบที่ 2 คือมีการใช้กล่อง ECU ควบคุมแต่แบบที่ 3 นั้นเราสามารถควบคุมให้มีการจุดระเบิดแบบ Lean burn ได้เนื่องจากเป็นการฉีดแก๊สเข้าห้องเผาไหม้โดยตรงเหมือนกับการฉีดน้ำมันดีเซล แต่ 2 แบบหลังนั้นไม่เหมาะกับการนำมาติดตั้งกับเครื่องยนต์ดีเซลในปัจจุบัน เนื่องจากการติดตั้งตัดแปลงทำได้ยาก ใช้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูงต้องใช้กล่อง ECU เข้ามาควบคุมจังหวะและปริมาณการฉีดของก๊าซต้องเจาะห้องเผาไหม้เพื่อติดตั้งหัวฉีดก๊าซซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง

ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้จะเลือกใช้การทดสอบในแบบที่ 1 นั่นคือ ใช้ Gas mixer ติดตั้งตรงที่ท่อไอดี เนื่องจากเป็นแนวทางที่ไม่ยุ่งยาก และมีความเป็นไปได้สูงในการที่จะทำการติดตั้งกับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีอยู่ในปัจจุบัน

### 1.2 ข้อดีของ Dual Fuel

1. การตัดแปลงและติดตั้งทำได้ง่าย
2. ราคาในการตัดแปลงถูก
3. เมื่อก๊าซธรรมชาติหมดเครื่องยนต์ก็ยังสามารถทำงานต่อได้โดยการใช้้ำมันดีเซล
4. ให้กำลังมากกว่าเครื่องยนต์ SI ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ
5. มีปริมาณมลพิษที่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ SI ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ

### 1.3 ข้อเสียของ Dual Fuel

1. ยากต่อการวิเคราะห์การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง
2. ถังที่ใช้ในการบรรจุก๊าซมีน้ำหนักมากจึงเป็นภาระของรถยนต์
3. สถานีเติมก๊าซธรรมชาติในปัจจุบันยังมีไม่มากนัก

### 1.4 ความมุ่งหมาย

เนื่องจากก๊าซธรรมชาติเป็นพลังงานทดแทนที่มีอยู่มากในประเทศ กลุ่มผู้วิจัยจึงมีความมุ่งหมายที่จะศึกษาถึงการใช้ก๊าซธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยที่ปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาหลักการ การใช้เชื้อเพลิงผสมก๊าซธรรมชาติกับน้ำมันดีเซลแบบ Diesel Cycle Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot (DDF) กับเครื่องยนต์ดีเซลและวิเคราะห์หาข้อดีข้อเสียของหลักการดังกล่าวเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัยและพัฒนาต่อไป

## 1.5 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.5.1 เพื่อศึกษาเรียนรู้การทำงานของเครื่องยนต์
- 1.5.2 เพื่อศึกษาวิธีการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์และศึกษาการใช้งานของเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองเครื่องยนต์
- 1.5.3 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบกำลังงาน (Power)
- 1.5.4 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงรถยนต์และมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้

## 1.6 สมมติฐานของการศึกษา

มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสมก๊าซธรรมชาติกับน้ำมันดีเซลแบบ Diesel Cycle Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot (DDF) น่าจะใกล้เคียงกับมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว หากมีการปรับปริมาณน้ำมันดีเซลและก๊าซธรรมชาติให้เหมาะสม

อย่างไรก็ตามมีความเป็นไปได้ที่มลพิษของเครื่องยนต์ชนิดนี้อาจจะสูงกว่า มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เพราะอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซลต่ออากาศที่ไม่เหมาะสม

กำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสมก๊าซธรรมชาติกับน้ำมันดีเซลแบบ Diesel Cycle Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot (DDF) น่าจะให้ผลที่สูงกว่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ถ้าสามารถวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งานนั้นๆได้

## 1.7 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ใช้หลักการและทฤษฎีของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) ตามหลักการ วัฏจักรดีเซล (Diesel Cycle) ซึ่งรวมไปถึงการวัดและคำนวณค่ากำลังของเครื่องยนต์ (Power of Engine) อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศ (Air Fuel Ratio) อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel Consumption) ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (Engine Efficiency) มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ (Emission of Combustion)

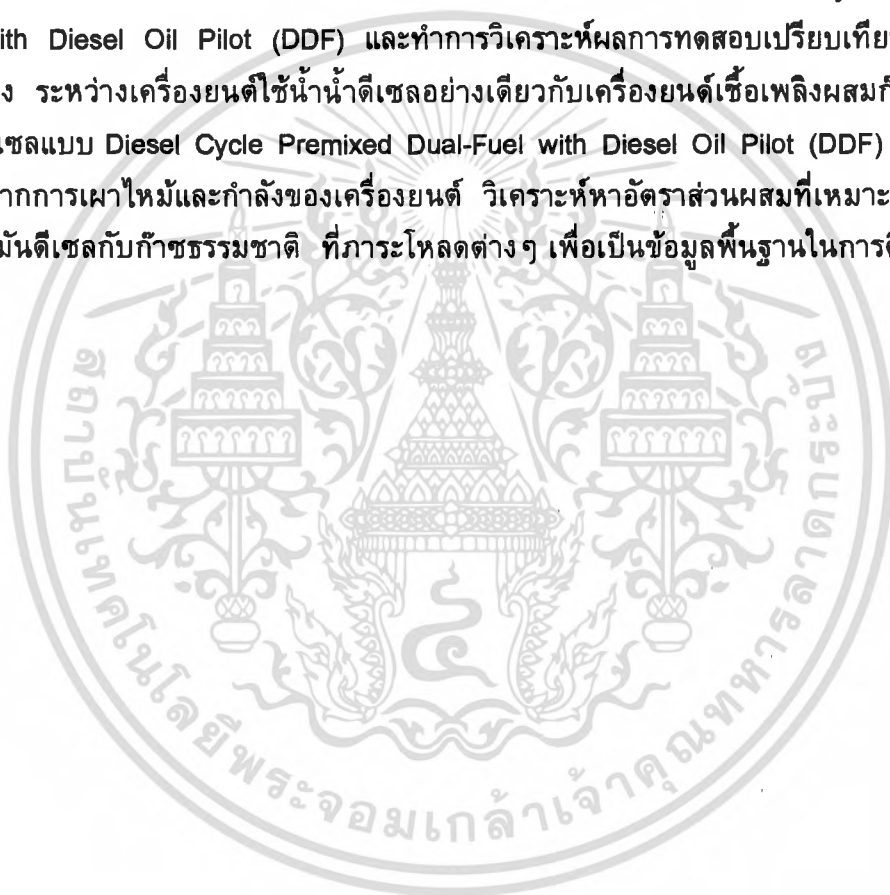
## 1.8 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

การศึกษานี้ต่างจากวิธีการศึกษาพื้นฐานเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปคือเป็นการใช้เชื้อเพลิงเชื้อเพลิงสองชนิดคือ ก๊าซธรรมชาติกับน้ำมันดีเซลร่วมกันในห้องเผาไหม้เดียวกัน ซึ่งมีหลักการพื้นฐานคือก๊าซธรรมชาติถูกส่งจาก ถังก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas Tank) ที่มีความดันประมาณ 180 ถึง 200 บาร์ ผ่านชุดลดความดัน (Pressure Regulator) ให้ความดันเหลือประมาณความดันบรรยากาศ และถูก

ผสมกับอากาศด้วยอุปกรณ์ผสมก๊าซธรรมชาติกับอากาศ (Gas Mixer) ที่ท่อทางเข้าอากาศ (Air Intake Duct) ก่อนเข้าห้องเผาไหม้ (Diesel Oil Pilot) ที่ถูกฉีดในช่วงเวลาที่เหมาะสม หลังจากนั้นก๊าซธรรมชาติก็จะถูกเผาไหม้ไปพร้อมกับน้ำมันดีเซลส่วนที่เหลือจนจบขบวนการเผาไหม้

### 1.9 ขอบเขตการศึกษา

ทดสอบเครื่องยนต์และรถยนต์ที่ใช้ในการศึกษา เพื่อศึกษาเรียนรู้การทำงานของเครื่องยนต์ วิธีการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์และศึกษาการใช้งานของเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองเครื่องยนต์ ตามหลักการของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมก๊าซธรรมชาติกับน้ำมันดีเซลแบบ Diesel Cycle Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot (DDF) และทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบเปรียบเทียบอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ระหว่างเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวกับเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมก๊าซธรรมชาติกับน้ำมันดีเซลแบบ Diesel Cycle Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot (DDF) รวมถึงปริมาณมลพิษจากการเผาไหม้และกำลังของเครื่องยนต์ วิเคราะห์หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงผสมน้ำมันดีเซลกับก๊าซธรรมชาติ ที่ภาวะโหลดต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและพัฒนาต่อไป



## บทที่ 2

# งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สธรรมชาติ กับน้ำมันดีเซล

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สธรรมชาติกับน้ำมันดีเซลที่นักวิจัยได้ทำการทดสอบและวิเคราะห์ไว้ เพื่อเป็นพื้นฐานและเป็นข้อมูลอ้างอิงในการวิจัยครั้งนี้ งานวิจัยที่ใช้อ้างอิงมีทั้งหมดเป็นการพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลให้สามารถใช้กับแก๊สธรรมชาติซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่มได้ดังนี้

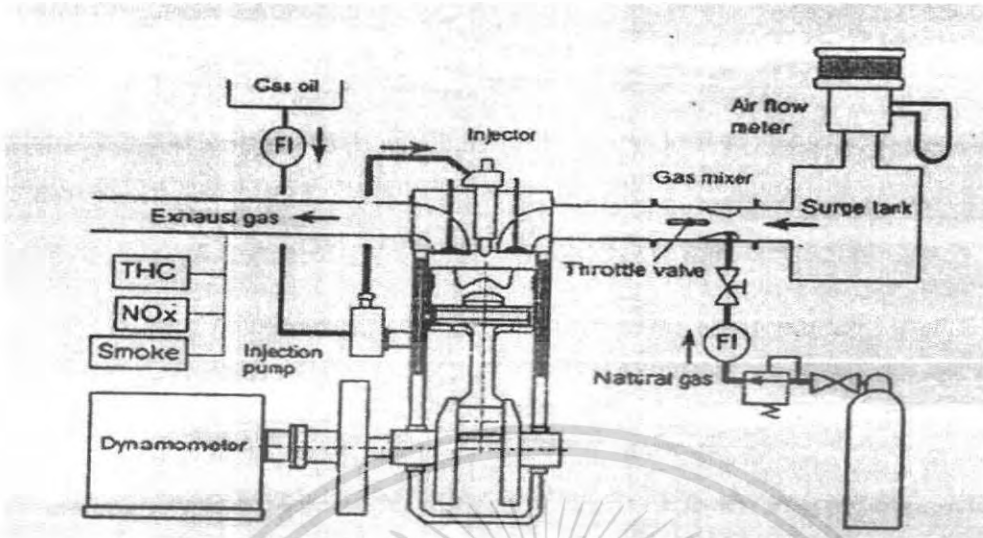
Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot [1], [2], [8]

Direct Injection Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot [3], [4], [5], [9]

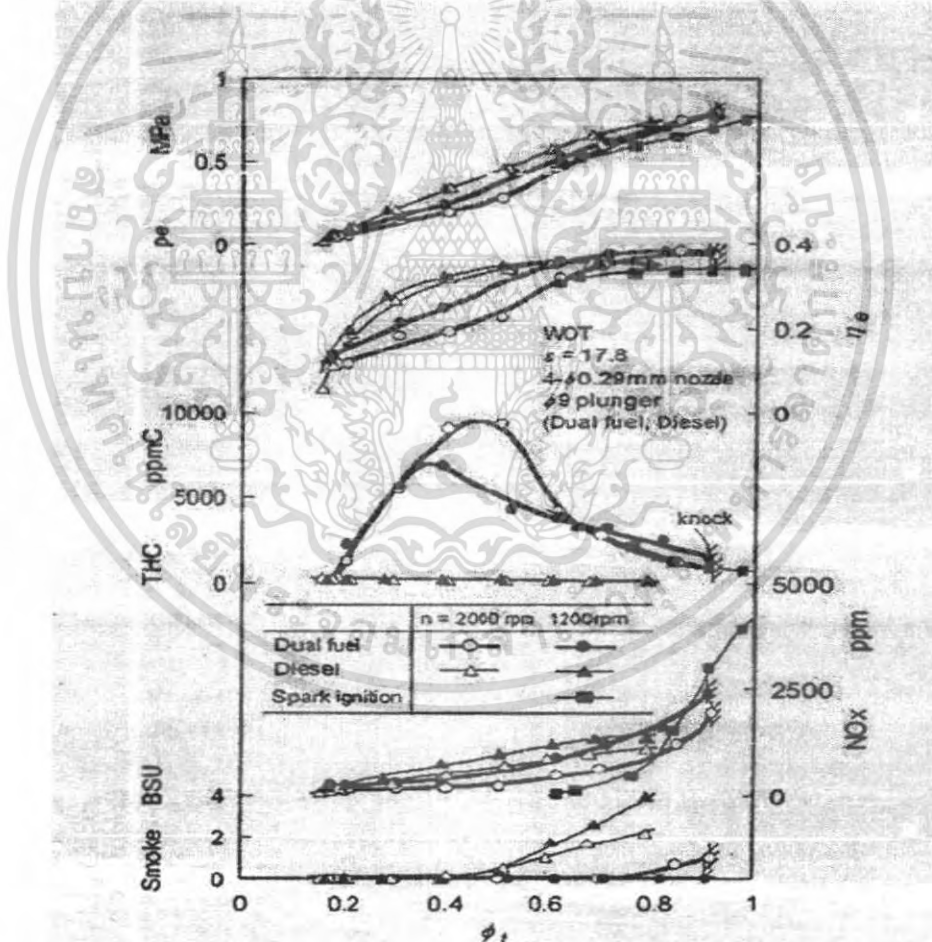
### 2.1 Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot

**2.1.1 Approaches to High Thermal-Efficiency in High Compression-Ratio Natural-Gas Engine, [1], 7<sup>th</sup> International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles NGV2000 Kyoto University, Fukui University of Technology**

เป็นการวิจัยและการพัฒนาทั้งการใช้แก๊สธรรมชาติกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียนและเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด จะยกมากล่าวเฉพาะการใช้เชื้อเพลิงผสมแก๊สธรรมชาติกับน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นการใช้หลักการของ Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 0.857 ลิตร และใช้ Diesel Oil Pilot ประมาณ  $10 \text{ mm}^3/\text{stroke}$



รูปที่ 2.1 Experimental setup for Pre-mixed Natural gas with Diesel pilot

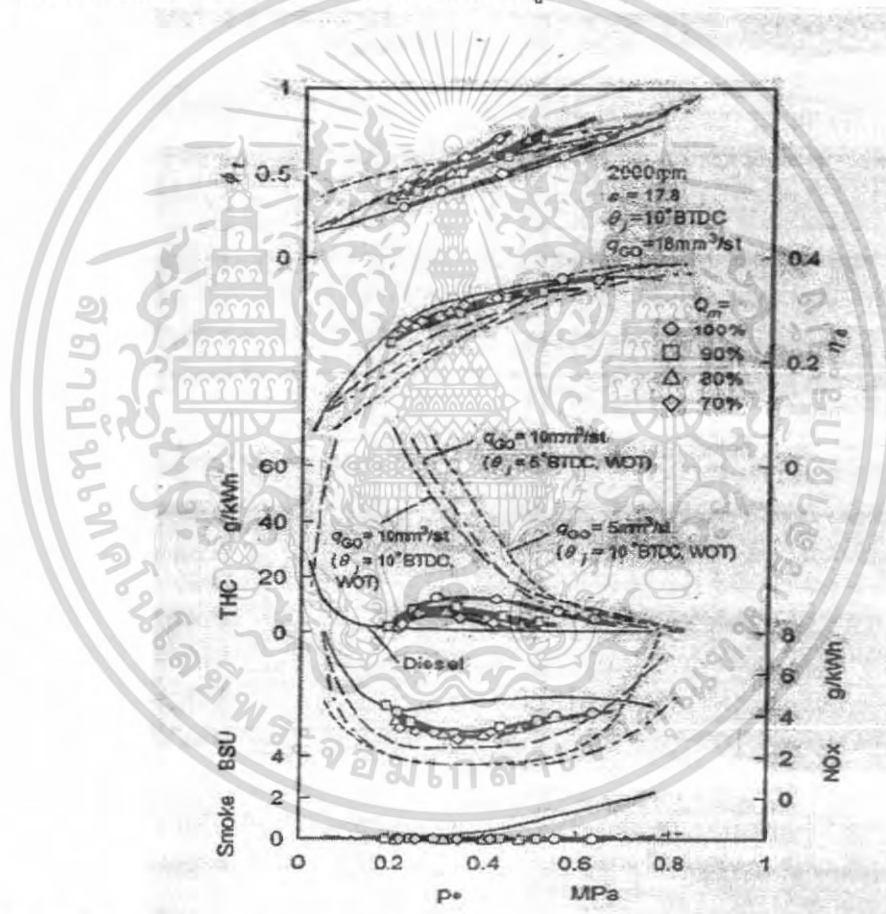


รูปที่ 2.2 Basic characteristics of performance and exhaust emission compared with a diesel and spark-ignited operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักวิจัยวิเคราะห์และสรุปได้ว่า

- (1) ที่ภาระโหลดต่ำถึงปานกลาง (Middle and Low equivalent ratios) ควรได้รับการแก้ไขพัฒนาให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal efficiency) ได้ด้วยการลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Unburned HC)
- (2) ที่ภาระโหลดสูงมาก (High equivalent ratios) จะเกิดการน็อก (Knock) ซึ่งจุดที่เริ่มเกิดการน็อกนั้นมีค่า Equivalent ratio ประมาณ 0.9
- (3) Injection nozzle, Plump plunger, Pilot fuel amount and Injection timing ล้วนมีผลกระทบโดยตรงต่อขบวนการเผาไหม้ (Combustion processes) หากมีการออกแบบและปรับแต่งให้เหมาะสมแล้วประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.3 Efficiency and exhaust emissions at increased pilot fuel amount with charge air throttling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (4) สามารถลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Unburned HC) ที่ภาวะโหลดต่ำถึงปานกลางและปริมาณควันดำ (Smoke) ที่ภาวะโหลดสูงได้โดยการปรับแต่งให้ขนาดของหัวฉีดให้เล็กลงเพื่อการกระจายตัวของน้ำมันได้มากขึ้น (Smaller Diameters in nozzle orifice of 0.24 mm and plunger of 0.75 mm)
- (5) ที่ภาวะโหลดต่ำ (Low equivalent ratios) การเพิ่มปริมาณของ Pilot Diesel ให้มากขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal efficiency) ได้และยังลดปริมาณไอเสีย (Exhaust emissions) ได้ด้วย
- (6) สามารถป้องกันการน็อก (Knock) ได้ที่ภาวะโหลดสูงมาก (High equivalent ratios) ได้โดยการลดปริมาณ Pilot Diesel ให้น้อยลงเพราะจะทำให้การเผาไหม้ไม่รุนแรงเกินไป
- (7) สามารถเพิ่มค่าสูงสุดของ Equivalent ratio (Upper limit of equivalent ratio) ที่ถูกกำหนดค่าโดยการน็อกด้วยการควบคุมองศาการจุดระเบิดให้เหมาะสม (The pilot injection timing)

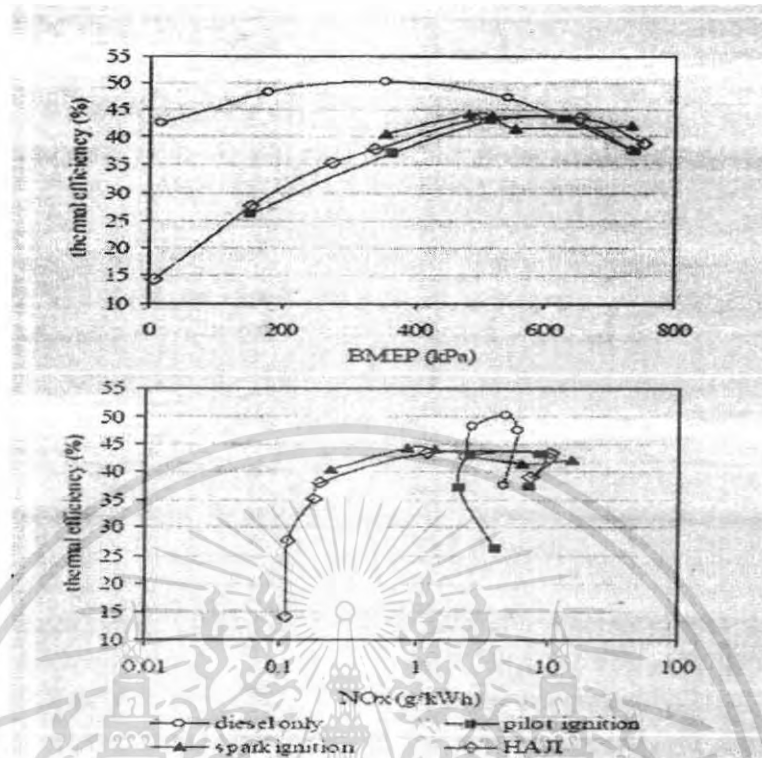
### 2.1.2 Alternative Ignition systems for CNG in Diesel Applications, [2]

12<sup>th</sup> International Pacific Conference on Automotive Engineering, Melbourne University

เป็นการวิจัยและพัฒนาทั้งการใช้แก๊สธรรมชาติกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียนและเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด เป็นการทดสอบเครื่องยนต์สามแบบเปรียบเทียบกันสี่แบบคือ

Pure Diesel, Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot (Diesel pilot ignition: DPI)

Spark ignition (SI) and Hydrogen Assisted Jet Ignition (HAJI)

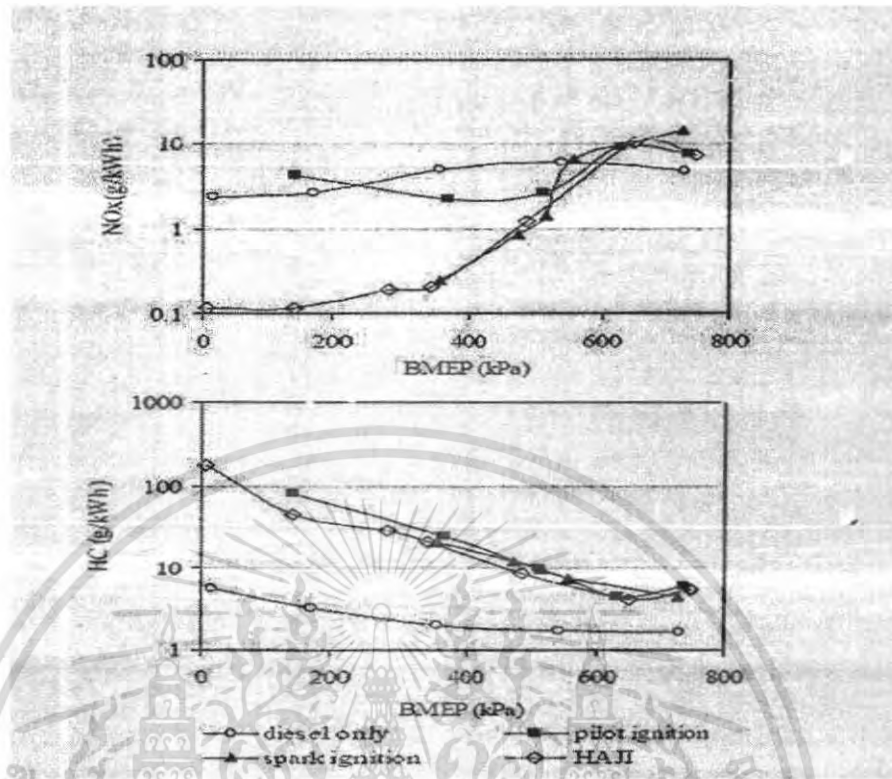


รูปที่ 2.4 Indicated Thermal efficiency versus BMEP and indicated specific NOx

นักวิจัยวิเคราะห์และสรุปได้ว่า

- (1) เครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติทุกระบบ ที่ภาระโหลดต่ำถึงกลางจะมีค่ามลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากเกิดการเผาไหม้ในอัตราที่ไม่รุนแรง
- (2) เครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติทุกระบบ ที่ภาระโหลดสูงจะมีค่ามลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) สูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซล เพราะเกิดเนื่องจากการเผาไหม้ในอัตราที่สูงมาก (Rapid combustion) ของส่วนผสมที่ใกล้เคียง Stoichiometric mixture ทำให้เกิดความดันและอุณหภูมิที่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

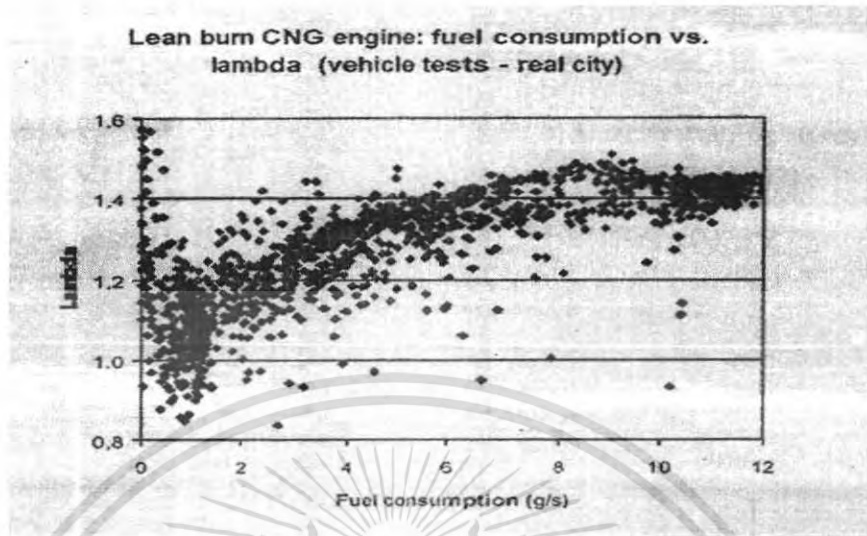


รูปที่ 2.5 Indicated specific NOx and HC versus BMEP

- (3) ค่ามลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สธรรมชาติกับน้ำมันดีเซล (Pure Diesel and DPI) ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามภาระโหลดมากนัก เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติล้วนที่จุดระเบิดด้วยหัวเทียนและเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยไฮโดรเจน (SI and HAJI) เพราะ Pure diesel and DPI มีการเผาไหม้ Stratified ของ Diesel spray ทำให้บางส่วนมีส่วนผสมที่หนาเกินไป (Locally rich) เกิดการเผาไหม้ที่รุนแรง อุณหภูมิการเผาไหม้สูงจึงทำให้ค่าไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) มากคงที่ตามไปด้วย
- (4) ค่ามลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) จากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติทุกระบบมากเนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีที่ต่างกัน
- (5) เครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติทุกระบบมีค่ามลพิษไฮโดรคาร์บอน (HC) เพิ่มขึ้นที่ภาระโหลดต่ำลง เนื่องจากอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำลงนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ที่ลดลงตามไปด้วย เพราะการเย็นตัวของผนังห้องเผาไหม้และอัตราการเผาไหม้ที่ต่ำของเชื้อเพลิงที่อยู่รอบนอกบริเวณผนังห้องเผาไหม้ซึ่งเย็นตัวลงแล้ว

### 2.1.3 Emissions and fuel consumption of natural gas powered city versus diesel buses in real city traffic, Vito-Flemish Institute for Technological Research, Belgium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 Relation between fuel consumption and lambda for lean burn engine

	Diesel bus	Stoich. CNG bus	Lean Burn CNG bus
Fuel cons. l/100 km	62.8	73.5 *	83.2 *
CO <sub>2</sub> g/km	1633	1475	1634
CO g/km	3.5	0.7	0.8
THC g/km	1.7	0.2	7.5
NO <sub>x</sub> g/km	15.2	1.8	25.1

\* expressed in dieleequivalents (35700 kJ/l)

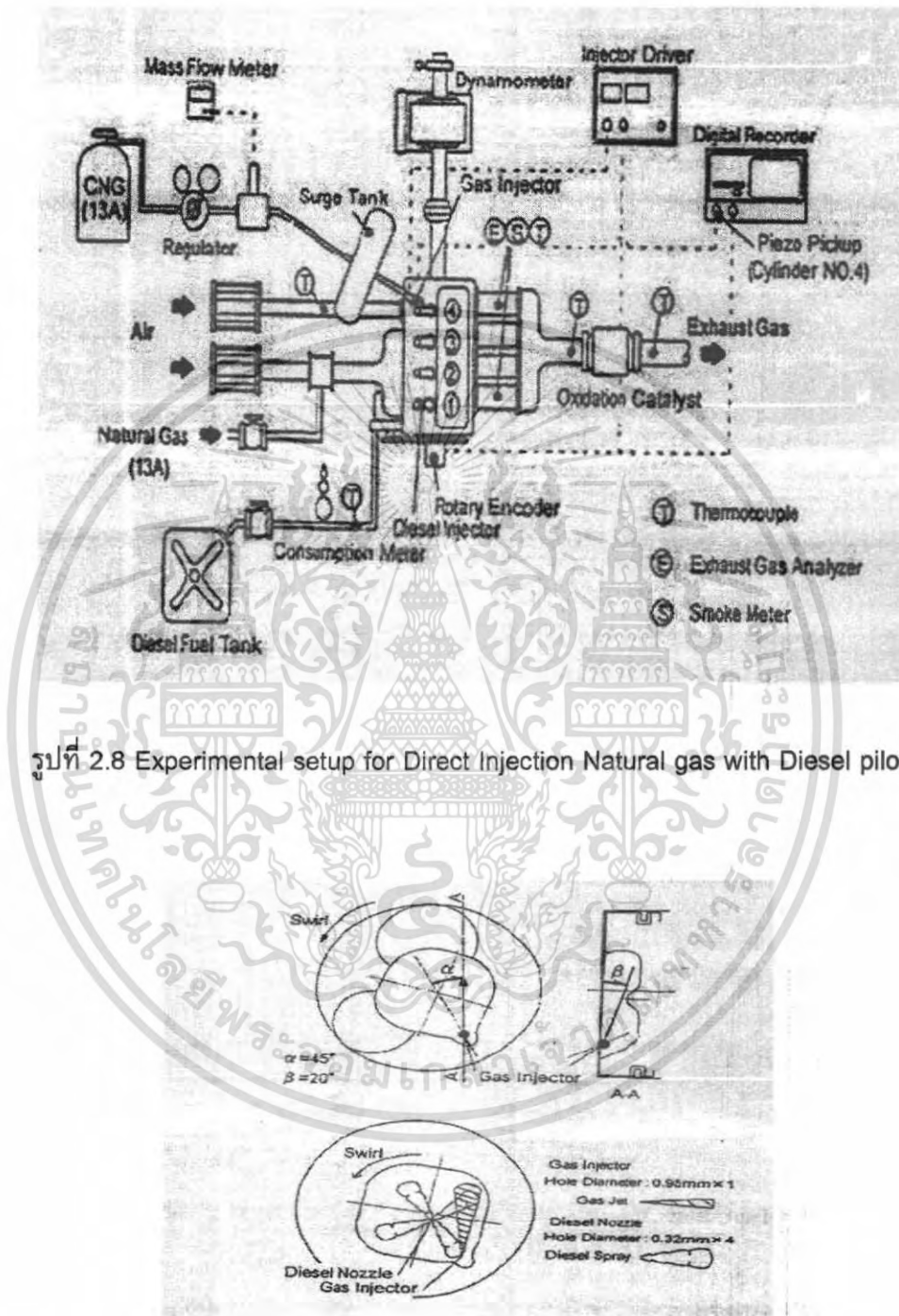
รูปที่ 2.7 General overview of average fuel consumption and emission of the three buses in city traffic

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบรถยนต์จริงเปรียบเทียบระหว่าง Diesel Bus, Stoich. Bus and Lean burn CNG Bus พบว่าค่า Lambda for lean burn engine ที่ใช้งานจริงอยู่ที่ประมาณ 1.2 ถึง 1.4

## 2.2 Direct Injection Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot

2.2.1 Combustion and Exhaust Emissions Characteristics of a Diesel Engine Dual-Fueled with Natural Gas, 7<sup>th</sup> International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles NGV2000, Waseda University

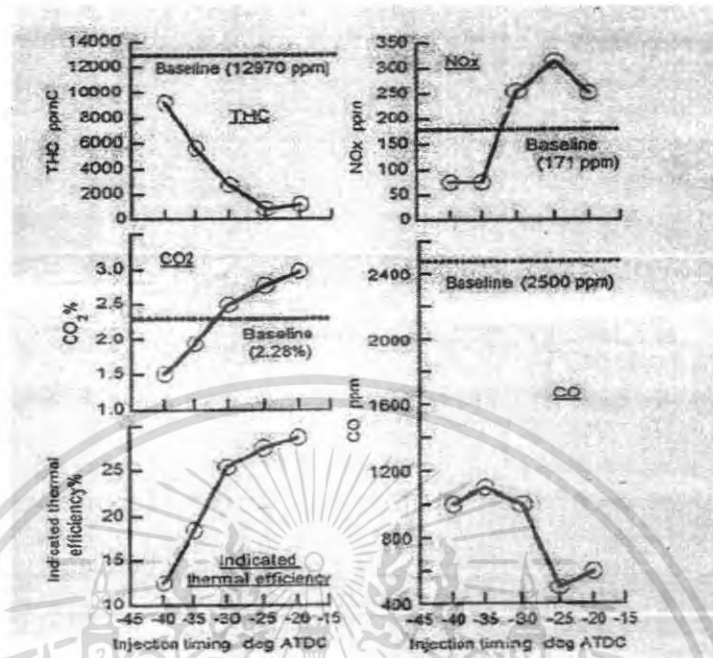
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 Experimental setup for Direct Injection Natural gas with Diesel pilot

รูปที่ 2.9 Combustion chamber layout of Direct Injection Natural gas with Diesel pilot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 The effect of injection timing of Natural gas of thermal efficiency and exhaust gas emissions (Engine speed 1,280)

นักวิจัยวิเคราะห์สรุปได้ว่า

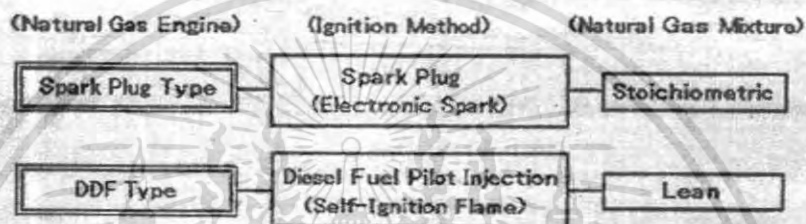
- (1) สามารถลดปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) ได้ด้วยการฉีดแก๊สธรรมชาติให้ช้าลงแต่ในขณะเดียวกันปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ที่จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแก๊สธรรมชาติที่ถูกฉีดออกมาช้า จึงเห็นว่าควรมีการติดตั้งระบบ EGR เพื่อช่วยลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NOx)
- (2) ในกรณีฉีดแก๊สธรรมชาติ 25 BTDC มีค่ามลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ
- (3) ในกรณีฉีดแก๊สธรรมชาติ 20 BTDC มีค่ามลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สูงกว่า 25 BTDC เพราะปริมาณเชื้อเพลิงต่ออากาศสูงเกินไป
- (4) สามารถเพิ่มค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์ (Thermal efficiency) ได้ด้วยการฉีดแก๊สธรรมชาติให้ช้าลง
- (5) สำหรับในการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่าการฉีดแก๊สธรรมชาติควรให้อยู่ในช่วง 25-20 BTDC เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (Engine performance) และลดปริมาณมลพิษ (Exhaust gas emission)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

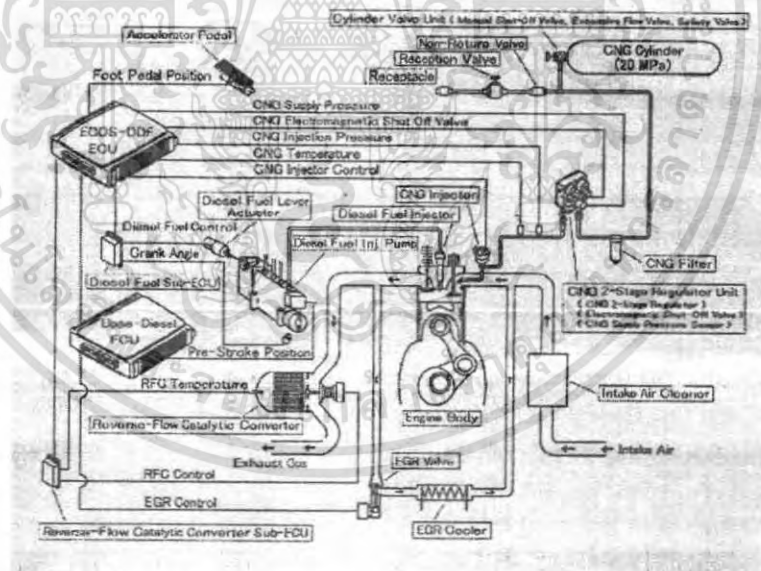
## 2.2.2 The development of the ECOS-DDF natural gas engine for medium-duty trucks: exhaust emission reduction against base diesel engine

JSAE review 22-2001 Nippon Ecology Work System Corp, Alternative Fuel Systems Inc.

เนื่องจากแก๊สธรรมชาติมีค่าซีเทน (Cetane number) ที่ต่ำซึ่งมีความจำเป็นที่ต้องมีการช่วยจุดระเบิดจากภายนอกเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ของส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งมีสองแบบคือใช้หัวเทียนเป็นตัวจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน และอีกวิธีการหนึ่งคือ Diesel Dual Fuel (DDF) โดยใช้ Pilot Diesel ช่วยในการจุดระเบิด

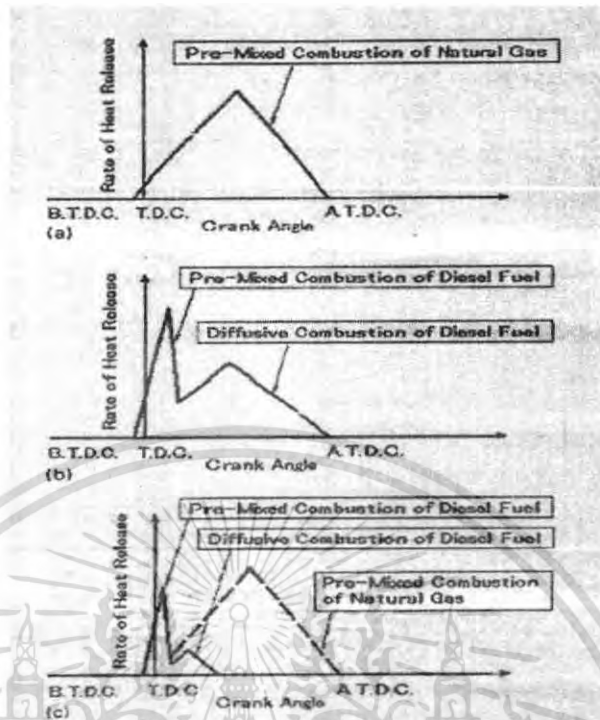


รูปที่ 2.11 Ignition method of Natural gas mixture for NGV Engine



รูปที่ 2.12 ECOS-DDF Natural gas engine system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

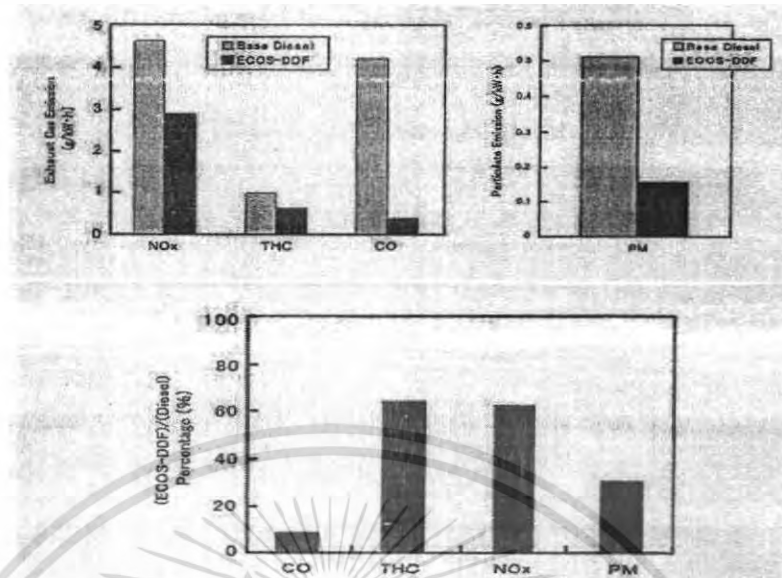


รูปที่ 2.13 Schematic diagram of heat release for Engine: (a) spark plug type natural gas engine, (b) diesel engine, (c) ECOS-DDF Natural gas engine

นักวิจัยวิเคราะห์และสรุปได้ว่า

- (1) The ECOS-DDF Natural gas engine มีรูปแบบการเผาไหม้ (Combustion pattern) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของดีเซลในช่วงแรกตามปกติ (Basic diesel combustion) บวกกับการเผาไหม้ของส่วนผสมแก๊สธรรมชาติกับอากาศ (Combustion of natural gas premixed with air)
- (2) The ECOS-DDF เป็นระบบที่ช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ (Emissions) ได้ดีมาก
  - (2.1) ไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และเสียงที่เกิดจากการเผาไหม้ (Combustion noise) สามารถถูกลดได้ด้วยการเพิ่มการเผาไหม้ของส่วนผสมดีเซลกับอากาศ (Diesel fuel premixed with air)
  - (2.2) อนุภาคนาขนาดเล็กจากไอเสีย (PM) และควันดำ (Smoke) สามารถถูกลดได้ด้วยการเพิ่มการเผาไหม้แบบแพร่ของส่วนผสมดีเซลกับอากาศ (Diffusive combustion of diesel fuel)
  - (2.3) ควรจะลดไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ให้มากขึ้นซึ่งสามารถทำได้ด้วยการเพิ่มปริมาณการนำไอเสียบางส่วนกลับมาใช้อีกรอบ (The EGR rate)
- (3) สามารถลดปริมาณไอเสีย NOx, CO, THC, PM และ CO<sub>2</sub> ประมาณ 40, 90, 35, 70 และ 15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไอเสียจากน้ำมันดีเซล (Base diesel engine)

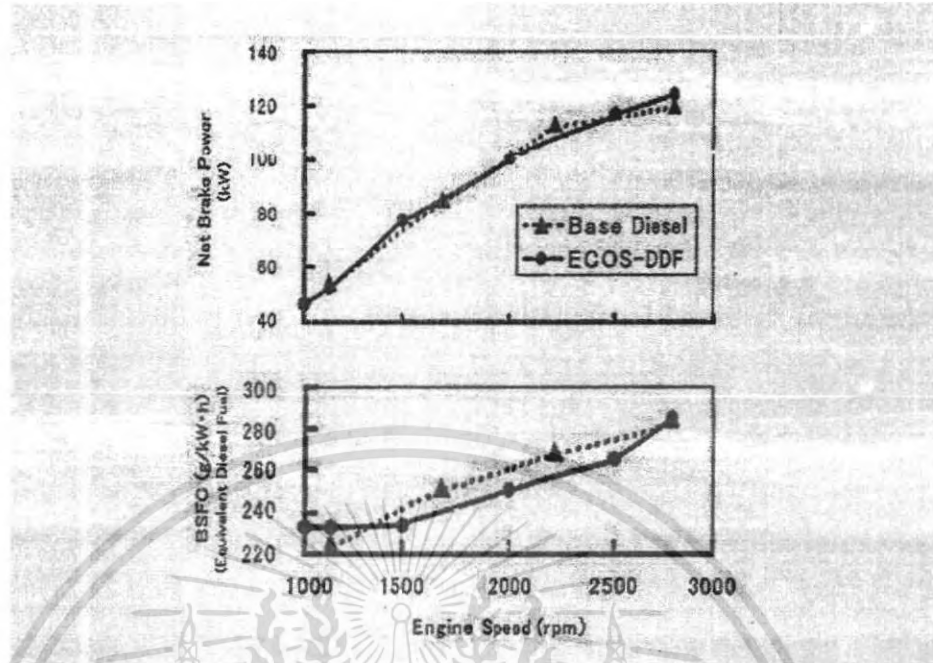
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



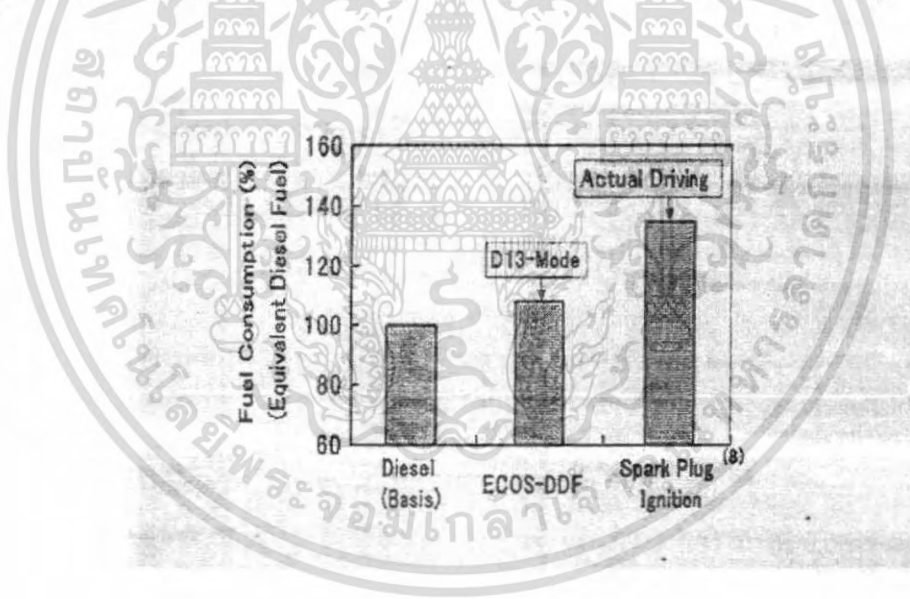
รูปที่ 2.14 Exhaust gas emissions of S ECOS-DDF Natural gas engine

- (4) The ECOS-DDF Natural gas engine มีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนและกำลังของเครื่องยนต์ (Thermal efficiency and Engine power) ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ดีเซล
- (5) The ECOS-DDF Natural gas engine สามารถที่ลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ให้ต่ำที่สุดในเครื่องยนต์ (Internal combustion engines)
- (6) The ECOS-DDF Natural gas engine เป็นระบบที่มีความทนทานและอายุการใช้งานสูง (Durability, functionality) และการประหยัดเชื้อเพลิง (Brake specific fuel consumption) เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยหัวเทียน (Spark plug-type natural gas engines)
- (7) ถ้าหากพิจารณาในเชิงประสิทธิภาพทางความร้อน มลพิษ และคุณสมบัติอื่น ๆ (Thermal efficiency, low emissions and Functional properties) แล้ว The ECOS-DDF Natural gas engine เป็นระบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรถบรรทุกและรถบัส (Heavy-duty trucks and buses)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

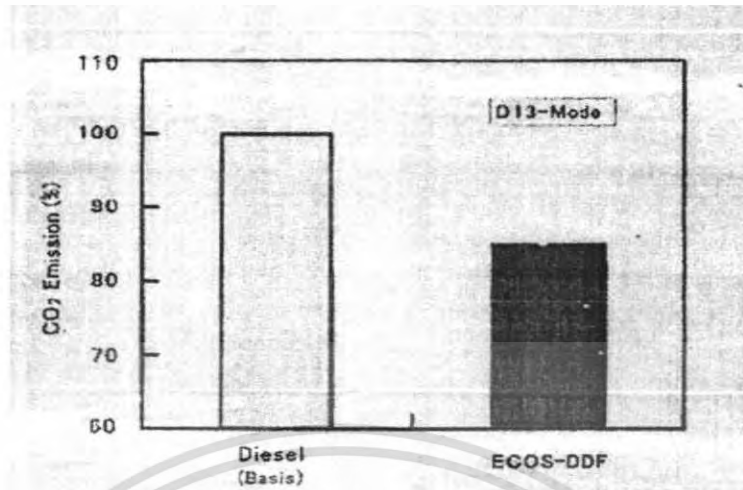


รูปที่ 2.15 Comparison of full load performance of S ECOS-DDF Natural gas engine



82196

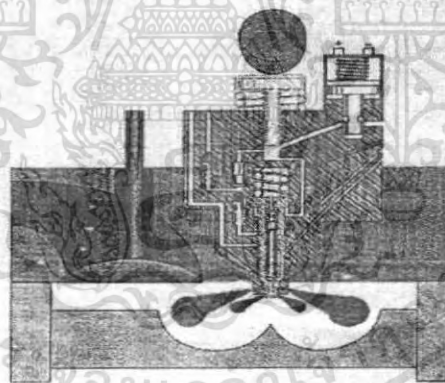
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 Fuel consumption comparison base on DI3 mode of ECOS-DDF Natural gas engine

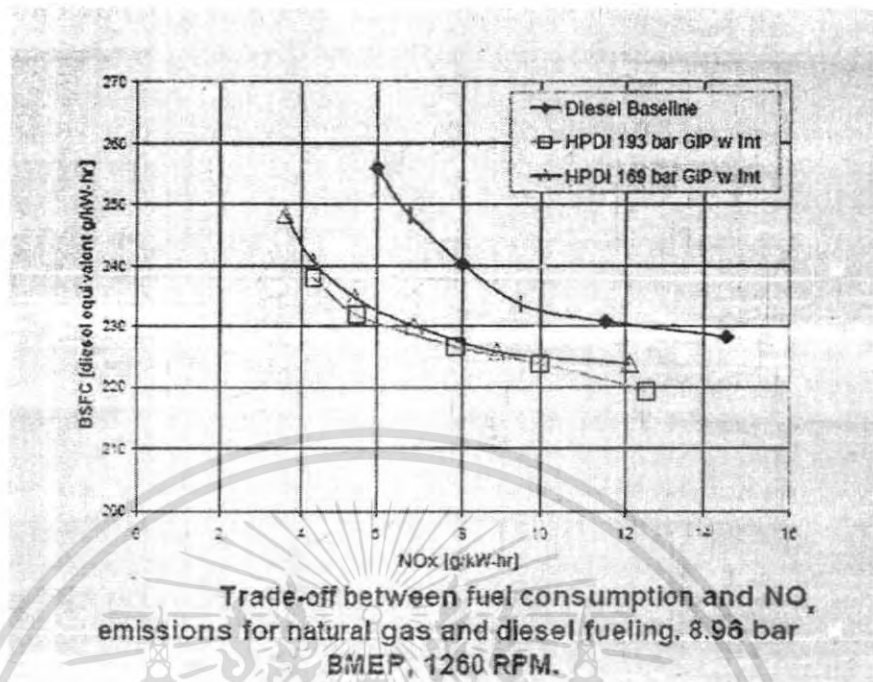
### 2.2.3 Progresses in High Pressure Direct Injection (HPDI) of Natural Gas in Automotive Diesel Engines, Westport Innovation Inc. and University of British Columbia

The gas is high-pressure storage cylinders with a total capacity 200 kg. these cylinders are pressurized up to 200bar, Injection pressure will be up to 250 bar.



รูปที่ 2.17 Schematic representation of the HPDI of Natural gas injector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

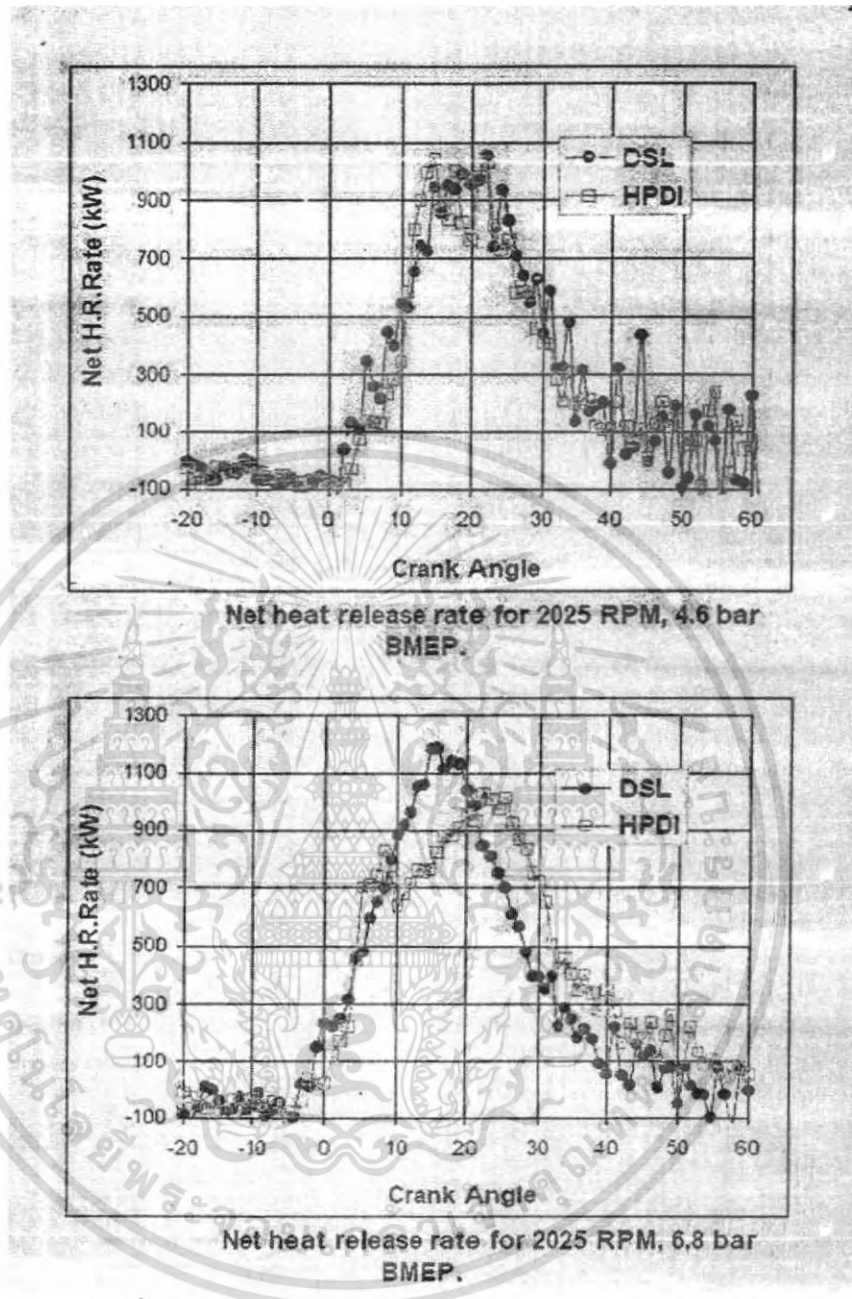


รูปที่ 2.18 Fuel consumption of HPDI system

นักวิจัยวิเคราะห์และสรุปได้ว่า

- (1) ที่อัตราการเผาไหม้ (Combustion rate) เดียวกันที่ Pilot Diesel 10 % โดยปริมาณพลังงานจะพบว่าสามารถลดปริมาณมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) ได้ประมาณ 40 %

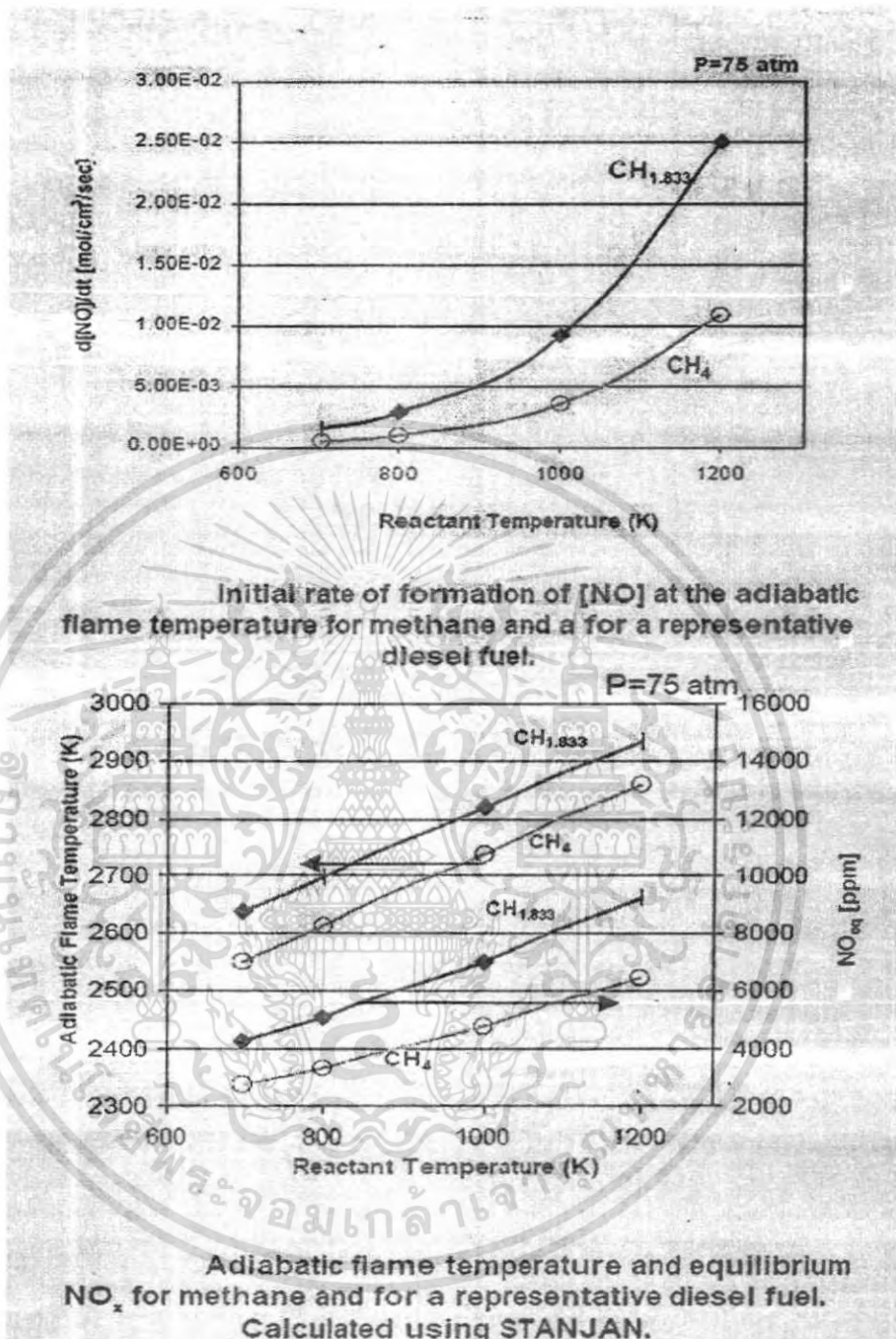
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 The heat release rate results of the HPDI

- (2) The HPDI of Natural gas with pilot ignition ในเครื่องยนต์ดีเซลมีอัตราการเผาไหม้ (Combustion rate) ใกล้เคียงกับการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 Properties of Diesel and Natural Gas

(3) ค่าแตกต่างของปริมาณมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) เกิดจากอุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้ของมีเทน (Methane) ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.4 Performance and Emissions of a Two-Stroke Engine Fueled Using High Pressure Direct Injection of Natural Gas, Westport Innovation Inc. and University of British Columbia**

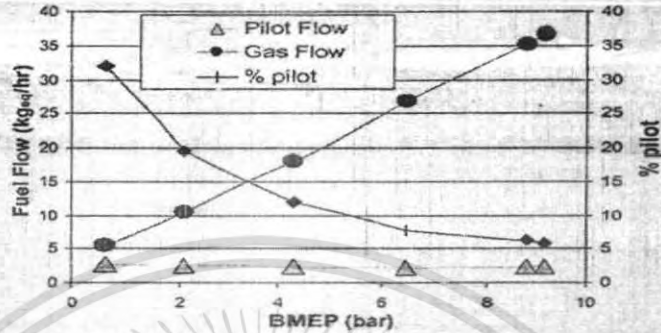


Figure 2 - Fuel flow of pilot fuel and CNG on a diesel equivalent energy basis, and relative amount of pilot fuel (on an energy basis). Gas injection of 165 bar and 1260 RPM.

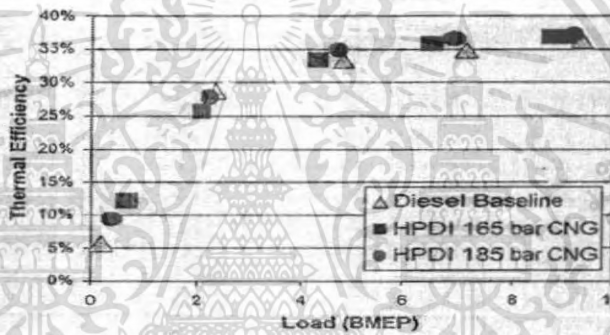


Figure 3 - Thermal efficiency of HPDI of NG compared to that of diesel fueling (1260 RPM).

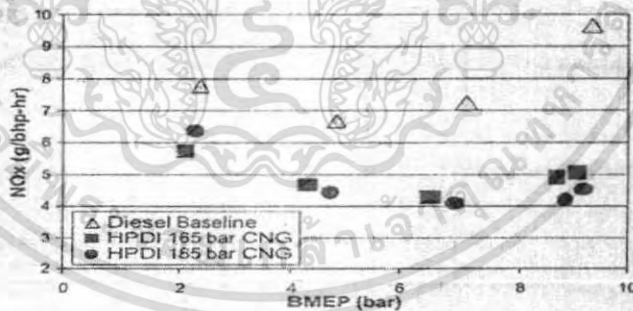


Figure 4 - Nitrogen oxide emissions of HPDI of NG compared to that of diesel fueling (1260 RPM).

รูปที่ 2.21 Test result of HPDI CNG & Diesel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

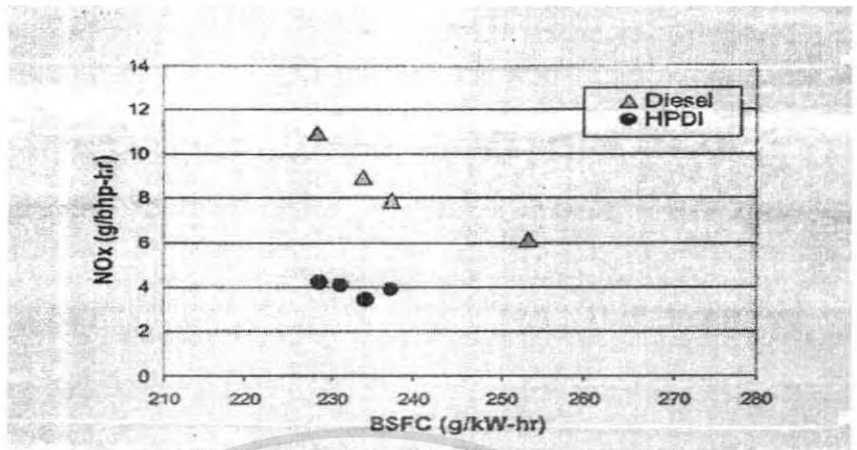


Figure 8 – BSFC vs. NOx trade-off obtained by varying the injection timing at mode 6.

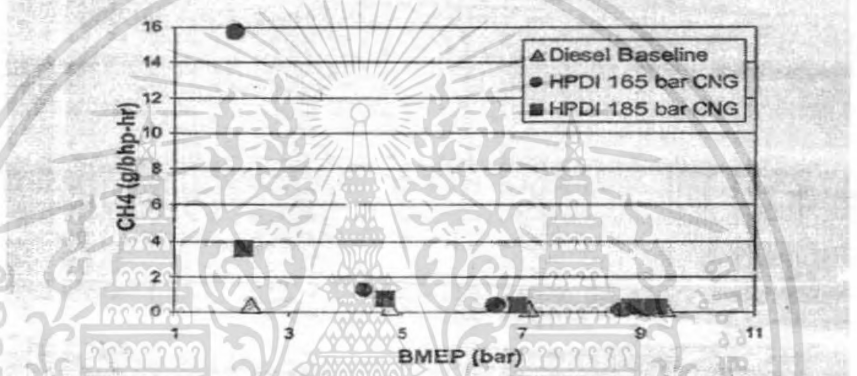


Figure 6 – Methane emissions of HPDI of NG compared to that of diesel fueling (1260 RPM).

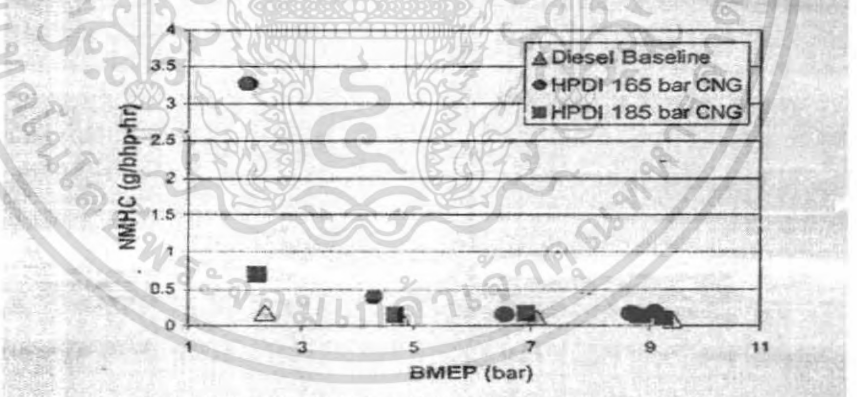


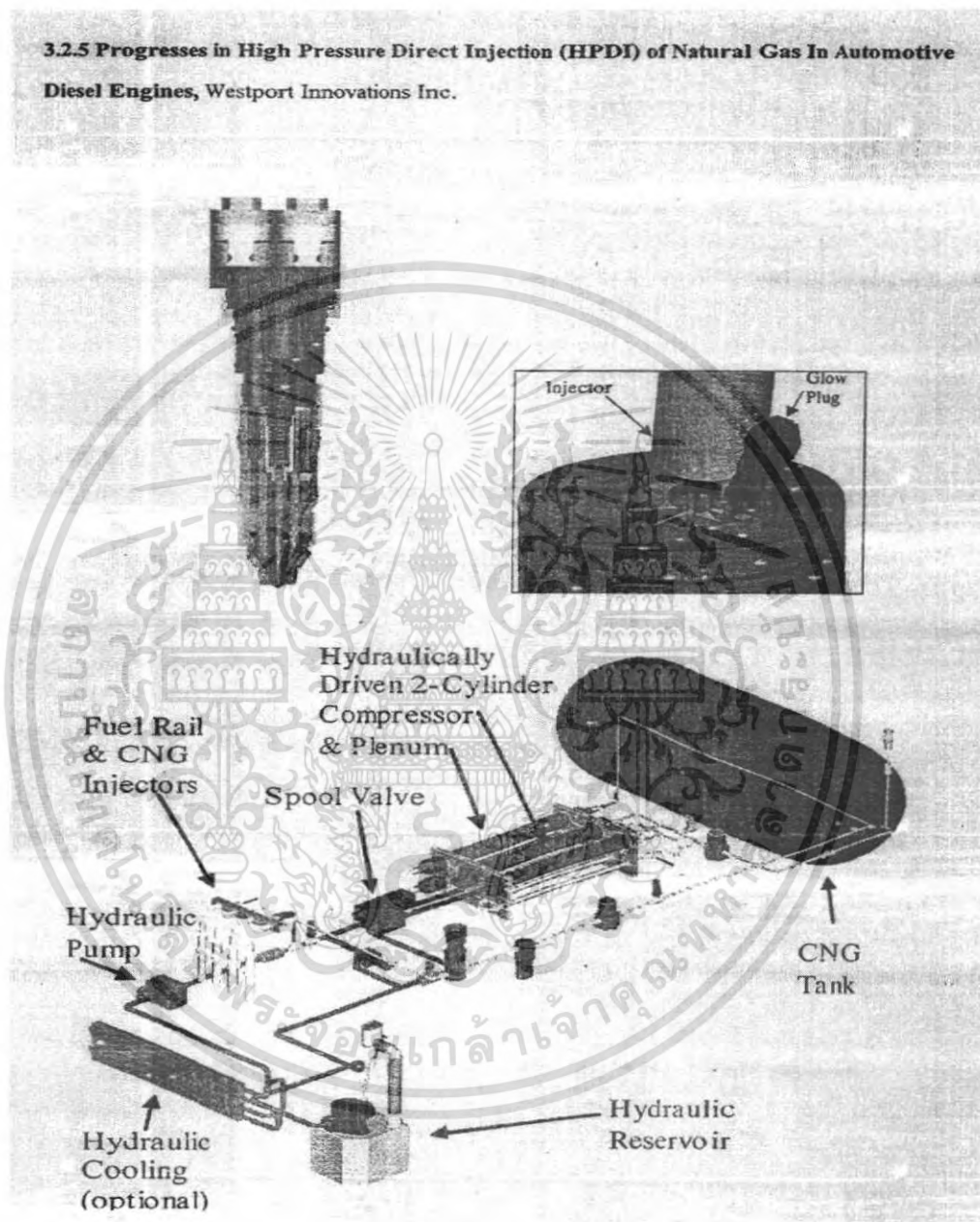
Figure 7 – Non-methane hydrocarbon emissions of HPDI of NG compared to that of diesel fueling (1260 RPM).

รูปที่ 2.22 Test result of HDPI CNG & Diesel

The HPDI of Natural gas with pilot ignition ในเครื่องยนต์ดีเซลสามารถทำให้มีอัตราการเผาไหม้ใกล้เคียงกับการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลได้ สามารถที่จะลดปริมาณมลพิษในการเผาไหม้ให้ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว

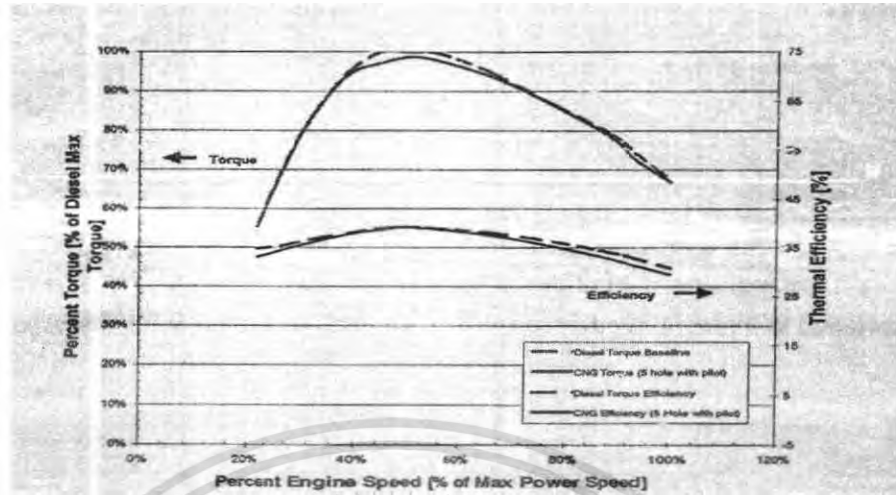
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.5 Progresses in High Pressure Direct Injection (HPDI) of Natural Gas In Automotive Diesel Engines, Westport Innovations Inc.



รูปที่ 2.23 Experimental devices of High Pressure Direct Injection (HPDI) CNG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 Full load Torque and Efficiency Comparison of HPDI CNG

### 2.3 ผลสรุปจากผลงานวิจัยที่ใช้อ้างอิงทั้งหมดข้างต้น

(1) การใช้แก๊สธรรมชาติกับเครื่องยนต์ดีเซลทั้ง Pre-mixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot และ Direct Injection Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot สามารถทำให้มีประสิทธิภาพและอัตราการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ดีเซลล้วนสามารถนำไปใช้งานจริงได้

(2) ในกรณีของเครื่องยนต์ Pre-mixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot ที่ภาวะโหลดต่ำถึงปานกลาง เนื่องจากอุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำเกินไปทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ไม่ได้รับการเผาไหม้สูงมาก ดังนั้นควรได้รับการพัฒนาให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

(3) ค่ามลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สธรรมชาติกับน้ำมันดีเซล (Pure Diesel and DPI) ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามภาวะโหลดมากนักเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติล้วนที่จุดระเบิดด้วยหัวเทียน เพราะในการเผาไหม้แบบ Stratified ของดีเซลมีอุณหภูมิการเผาไหม้สูงจึงทำให้ค่าไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) มากคงที่

(4) ในกรณีของเครื่องยนต์ Direct Injection Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot สามารถลดปริมาณมลพิษไฮโดรคาร์บอน (HC) ได้ด้วยการฉีดแก๊สธรรมชาติให้ช้าลง แต่ในขณะเดียวกันปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ก็จะมีเพิ่มขึ้นตามปริมาณแก๊สธรรมชาติที่ถูกฉีดออกมาช้า จึงเห็นว่าควรมีการติดตั้งระบบ EGR เพื่อช่วยลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NOx)

(5) The HPDI of Natural gas with pilot ignition ในเครื่องยนต์ดีเซลมีอัตราการเผาไหม้ (Combustion rate) ใกล้เคียงกับการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลมาก ที่อัตราการเผาไหม้เดียวกัน Pilot Diesel 10 % โดยปริมาณพลังงาน จะพบว่าสามารถลดปริมาณมลพิษ NOx ได้ประมาณ 40 % ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้ของมีเทน (Methane) ต่ำเมื่อเทียบกับดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (Natural Gas for Vehicle, NGV)

### 3.1 ก๊าซธรรมชาติ

คือ ก๊าซที่เกิดจากการทับถมของซากพืชและสัตว์จำพวกจุลินทรีย์ที่อาศัยในโลกคือมานานนับหลายร้อยล้านปี โดยทั่วไปก๊าซธรรมชาติจากแหล่งผลิต จะประกอบด้วยสารหลักได้แก่ มีเทน(Metane) โพรเพน (Propane) บิวเทน (Butane) ไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ อาทิ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) ก๊าซธรรมชาติไม่มีสี ไม่มีกลิ่น (ยกเว้นกลิ่นที่เกิดจากการเติมเข้าไปเพื่อให้รู้ว่ามีก๊าซรั่ว) ก๊าซธรรมชาติมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลัก สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ได้เช่นเดียวกับน้ำมันเบนซินและดีเซลก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (Natural Gas for Vehicle หรือ NGV) โดยทั่วไปเรียกว่า ก๊าซ NGV (เอ็นจีวี) คือ ก๊าซธรรมชาติที่ถูกอัดจนมีความดันสูง (มากกว่า 3,000 lb/in<sup>2</sup>, psi หรือ 200 ถึง 300 bar) ซึ่งในบางประเทศเรียกว่า Compressed Natural Gas (CNG) หรือ ก๊าซธรรมชาติอัด ดังนั้นก๊าซ NGV และก๊าซ CNG เป็นก๊าซตัวเดียวกันนั่นเอง จัดได้ว่าเป็นพลังงานที่ปลอดภัยสูงสุดผลิตภัณฑ์หนึ่งในปัจจุบัน เมื่อเผาไหม้จะเป็นเชื้อเพลิงสะอาดและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันและถ่านหิน ด้วยเหตุนี้นานาชาติ จึงนิยมใช้ก๊าซธรรมชาติกันอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานานหลายศตวรรษ โดยปัจจุบัน ประเทศมีปริมาณสำรองก๊าซธรรมชาติ (Proved Reserves) ถึง 12.7 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต

### 3.2 การเกิดก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติเกิดจาก การสะสมและการทับถมของซากพืชซากสัตว์ สะสมเป็นเวลานาน จนเกิดการรวมตัวกันเป็นก๊าซธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วย สารไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ได้แก่ มีเทน อีเทน โพรเพน เพนเทน เฮกเซน เฮปเซน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆอีก นอกจากนี้มีสิ่งเอปนอื่นๆอีก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ฮีเลียม ไนโตรเจนและไอน้ำ เป็นต้น

ก๊าซธรรมชาติที่ได้จากแหล่งอาจประกอบด้วยก๊าซมีเทนล้วนๆ หรืออาจจะมีก๊าซไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นๆปนอยู่บ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของแหล่งธรรมชาติแต่ละแห่งเป็นสำคัญ แต่โดยทั่วไปแล้วก๊าซธรรมชาติจะประกอบด้วยก๊าซมีเทนตั้งแต่ 70 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และมีก๊าซไฮโดรคาร์บอนชนิด

อื่นปนอยู่บ้าง ก๊าซธรรมชาติที่ประกอบอยู่ด้วยมีเทนเกือบทั้งหมดเรียกว่า ก๊าซแห้ง(dry gas) แต่ถ้าก๊าซธรรมชาติใดมีพวกโพรเพน บิวเทน และพวกไฮโดรคาร์บอนเหลวหรือก๊าซโซลีนธรรมชาติ เช่น เพนเทน เฮกเทน ฯลฯ ปนอยู่ในอัตราค่อนข้างสูง เรียกก๊าซธรรมชาตินี้ว่า ก๊าซชื้น(wet gas)

ก๊าซธรรมชาติที่ประกอบด้วยมีเทนหรือ อีเทน ที่เรียกว่าก๊าซแห้งนั้นจะมีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ดังนั้น การขนส่งจึงจำเป็นต้องวางท่อก๊าซ ส่วนก๊าซชื้นที่มี โพรเพนและบิวเทน ซึ่งทั่วไปมีปนอยู่ประมาณ 4-8 เปอร์เซ็นต์ จะมีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ เช่น เราสามารถแยก โพรเพนและบิวเทนออกจากก๊าซธรรมชาติได้แล้วบรรจุลงในถังก๊าซ เรียกก๊าซนี้ว่า ก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือ LPG(Liquefied Petroleum Gas) ส่วนก๊าซธรรมชาติเหลวหรือ ก๊าซโซลีนธรรมชาติ ซึ่งเรียกกันว่า คอนเดนเซท (Condensate) คือ พวกไฮโดรคาร์บอนเหลว ได้แก่ เพนเทน เฮกเซน เฮปเทน และอ็อกเทน ซึ่งมีสภาพเป็นของเหลวเมื่อผลิตมาถึงปากบ่อนแทนผลิตสามารถแยกออกจากก๊าซธรรมชาติได้บนแท่นผลิต การขนส่งอาจลำเลียงทางเรือหรือส่งไปตามท่อได้

### 3.3 ประเภทของก๊าซ

ก๊าซที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมีหลายชนิดและมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไป บางชนิดมีส่วนประกอบคล้ายกันแต่มีชื่อเรียกแตกต่างกัน เช่น ก๊าซชีวะมวล ก๊าซชีวภาพ ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติอัด น้ำมันและก๊าซที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ เป็นต้น

**3.3.1 ก๊าซชีวะมวล** เป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยใช้ถ่านหินเป็นวัตถุดิบ โดยการเผาถ่านหินหรือไม้ในเตาปฏิกรณ์แบบแพ็กเบด (Packed Bed) หรือเบดแบบเคลื่อนที่ (Moving Bed Reactor) ที่มีปริมาณอากาศจำกัด ซึ่งปริมาณอากาศที่ใช้จะต้องมีอัตราส่วนที่พอเหมาะกับก๊าซที่ผลิต

**3.3.2 ก๊าซชีวภาพ (Bio-Gas)** ก๊าซที่เกิดจากการหมักและการย่อยสลายของสารอินทรีย์ (Organic substance) เช่น มูลสัตว์ประเภทต่างๆตลอดจนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น วัชพืชและเศษอาหาร

**3.3.3 ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas)** เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่ง โดยที่ธาตุคาร์บอนกับธาตุไฮโดรเจนจับตัวกันเป็นโมเลกุลเช่นเดียวกับน้ำมัน ธาตุสองชนิดนี้จะรวมตัวกันในสัดส่วนของอะตอมที่แตกต่างกันและให้สารประกอบที่ต่างกันด้วย

### 3.4 ชนิดของก๊าซธรรมชาติ

**3.4.1 ก๊าซธรรมชาติแห้ง (Dry Natural Gas)** ก๊าซแห้งจะมีส่วนประกอบของก๊าซมีเทนและก๊าซอีเทนประกอบกัน แต่ปริมาณของมีเทนจะมากกว่า สถานะของก๊าซแห้งที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศจะเป็นไอหรือก๊าซ ก่อนที่จะนำไปใช้ต้องมีการแยกสารมลทินบางชนิดออกเสียก่อน ในการ

ขนส่งอาจจะใช้วิธีส่งไปตามท่อ แต่ถ้ามีปริมาณมากก็ต้องแปรสภาพจากก๊าซแห้งให้เป็นของเหลว (LNG) เสียก่อนโดยทำให้เย็นจัดถึง  $-160^{\circ}\text{C}$  แล้วบรรจุลงถังอลูมิเนียมที่ควบคุมความเย็นเป็นพิเศษ แต่วิธีนี้จะต้องสิ้นเปลืองเงินทุนอย่างมหาศาล สำหรับก๊าซธรรมชาติแห้งจะมีประโยชน์อยู่ด้วยกัน 3 ข้อคือ

1. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ก็คือต้องผลิตก๊าซแห้งในปริมาณที่มาก จึงจะแปรสภาพเป็นก๊าซ LNG ได้ โดยบรรจุลงถังอลูมิเนียม ซึ่งจะต้องควบคุมความเย็นเป็นพิเศษ จากนั้นขนส่งไปยังจุดต่างๆตามที่ต้องการ

2. ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเมทานอล, ปุ๋ยไนโตรเจนประเภทต่างๆเช่นเกลือแอมโมเนียและผลิตภัณฑ์เคมีปิโตรเลียม

3. ใช้ในการผลิตกระแสไฟ แทนน้ำมันเตาและใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

**3.4.2 ก๊าซธรรมชาติชื้น (Wet Natural Gas)** ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนชนิดหนัก (Heavier Paraffin Hydrocarbon) ซึ่งมีโพรเพน, บิวเทน ประมาณ 4-8 % หรือ อาจจะมีเพนเทน, เฮกเซน และเฮปเทนก๊าซชื้นนี้มีสถานะเป็นไอหรือก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเหมือนกับก๊าซแห้ง แต่สามารถทำให้กลั่นตัวเป็นของเหลวได้โดยการลดความเหลือเพียง  $120\text{ lb/in}^2$  ที่อุณหภูมิปกติ เมื่อแยกออกจากก๊าซธรรมชาติได้แล้วก็อัดใส่ถังก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ก๊าซธรรมชาติชื้นจะมีประโยชน์อยู่ 5 ข้อด้วยกันคือ

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์
2. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้มในครัวเรือน
3. ใช้กับระบบทำความเย็นและตู้เย็น
4. ใช้เป็นวัตถุดิบป้อนโรงกลั่นแทนน้ำมันบางส่วน
5. ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตปิโตรเลียมชนิดต่างๆ

### 3.5 ก๊าซธรรมชาติ อยู่ในสภาพสถานะต่าง ๆ ดังนี้

1. Pipe Natural Gas เป็นการขนส่งก๊าซธรรมชาติตามท่อ ซึ่งเป็นก๊าซมีเทนส่วนใหญ่ การขนส่งด้วยระบบท่อ จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าและในโรงงานอุตสาหกรรม

2. NGV เป็นการนำก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทนซึ่งมีคุณสมบัติเบาว่าอากาศส่วนใหญ่จะใช้งานอยู่ในสภาพเป็นก๊าซที่ถูกอัดจนมีความดัน 3,000 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว บางครั้งเรียกก๊าซนี้ว่า CNG ซึ่งย่อมาจาก Compressed Natural Gas หรือก๊าซธรรมชาติอัด การขนส่งก๊าซธรรมชาติมาทางท่อและขนส่งทางรถยนต์ สู่อู่สถานีบริการ และเข้าสู่ระบบกระบวนการในการบรรจุลงในถังเก็บก๊าซของรถยนต์ต่อไป

3. LNG หรือ Liquefied Natural Gas เป็นการขนส่งด้วยเรือที่ออกแบบไว้เฉพาะ โดยการนำก๊าซธรรมชาติให้กลายเป็นของเหลว เพื่อให้ปริมาณลดลงประมาณ 600 เท่า โดยทั่วไปจะมีอุณหภูมิ  $-160$  องศาเซลเซียส

### 3.6 ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (Natural Gas Vehicles)

ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ ภาษาอังกฤษเรียกว่า Natural Gas Vehicles หรือ เรียกย่อๆว่า NGV หมายถึงยานยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas : CNG) รูปแบบของการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน เมื่อขนส่งก๊าซธรรมชาติทางท่อแล้วจะส่งเข้าสถานีบริการ และเครื่องเพิ่มความดันก๊าซ ณ สถานีบริการจะรับก๊าซธรรมชาติที่มีความดันต่ำจากระบบท่อมาอัดเพิ่มความดันประมาณ 3,000-3,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากนั้นสามารถเติมใส่ถังเก็บก๊าซธรรมชาติของรถยนต์ต่อไป ยานยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติได้มีการพัฒนาและนำมาใช้ตั้งตั้งแต่ปี ค.ศ.1860 (พ.ศ.2403) โดยชาวฝรั่งเศสชื่อ Jean Etienne Lenoir แต่ที่ไม่เป็นที่นิยม จนกระทั่งในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 และช่วงที่เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันในปี ค.ศ. 1973 ทำให้ราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้การใช้แก๊สธรรมชาติในยานยนต์เริ่มแพร่หลายมากขึ้น สำหรับในต่างประเทศอย่างเช่น ญี่ปุ่น อิตาลี แคนาดา สหรัฐอเมริกา และประเทศอื่นๆ ได้นำแก๊สธรรมชาติหรือแก๊ส NGV มาใช้กับรถยนต์กันอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานานแล้ว แต่สำหรับในประเทศไทย การใช้แก๊ส NGV ยังอยู่ในขอบเขตที่จำกัด โดยเฉพาะการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยได้เริ่มทดลองนำแก๊ส NGV มาใช้ในรถโดยสารประจำทางปรับอากาศของ ขสมก จำนวน 82 คัน และรถยนต์นั่งส่วนบุคคลอีกกลุ่มหนึ่ง ซึ่งโครงการดังกล่าวได้รับการยอมรับและความไว้วางใจจากผู้ใช้บริการอย่างกว้างขวาง ในอนาคตอันใกล้นี้การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย จะขยายการใช้แก๊สธรรมชาติสำหรับยานยนต์ต่อไป โดยในขณะนี้ได้ทำการศึกษา การนำระบบเชื้อเพลิงร่วม (Dual Fuel) ซึ่งเป็นระบบการใช้แก๊สธรรมชาติร่วมกับน้ำมันดีเซลกับบริษัท Alternative Fuel System ของประเทศแคนาดา โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ Conversion Kit ทำให้เครื่องยนต์สามารถใช้ได้ทั้งแก๊สธรรมชาติและน้ำมันดีเซล ซึ่งช่วยให้ประหยัดค่าน้ำมันรวมทั้งลดปริมาณมลพิษมาก

ในปัจจุบันการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในยานยนต์ เช่น แก๊สธรรมชาติ กำลังได้รับการสนับสนุนมากขึ้นในหลายๆ ประเทศ อันเนื่องมาจากปัญหาคุณภาพอากาศและปัญหาแก๊สเรือนกระจกที่เกิดขึ้นทั่วโลก และด้วยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแก๊สธรรมชาติ ที่ใช้ในยานยนต์พบว่ามีมลพิษ น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอื่นๆ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบ

### 3.7 คุณสมบัติพิเศษของก๊าซ NGV

ก๊าซธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่ง ที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เช่นเดียวกับน้ำมันเบนซินและ LPG แต่วิธีใช้แตกต่างกัน ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแต่ละประเภท และคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติจะมีดังนี้

1 ที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศก๊าซธรรมชาติจะมีสภาพเป็นก๊าซ

- 2 มีค่า Octane Number สูงถึง 120 จึงสามารถนำไปใช้ในรถยนต์ได้เป็นอย่างดี
  - 3 ก๊าซธรรมชาติ มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.5-0.8 ซึ่งต่ำกว่าอากาศ จึงทำให้เบาอากาศเมื่อเกิดการรั่วจะกระจายออกไปในบรรยากาศได้อย่างรวดเร็ว
  - 4 ก๊าซธรรมชาติเป็นก๊าซที่ไม่มีสีและกลิ่น จึงต้องเติมกลิ่นลงไปเพื่อให้ทราบในกรณีเกิดการรั่วไหล
  - 5 ช่วงของการติดไฟจะอยู่ในช่วง 5-15 % ของปริมาตรในอากาศหากมีน้อยกว่าหรือมากกว่านี้จะไม่ติดไฟ
  - 6 อุณหภูมิในการติดไฟด้วยตนเองสูงถึง 650 °C
- จากคุณสมบัติต่างๆ ทั้งหลายของก๊าซธรรมชาติ ได้นำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงตัวอื่นที่นิยมใช้ในรถยนต์จะมีข้อแตกต่างทางด้านคุณสมบัติของเชื้อเพลิงตามตาราง

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่นำไปใช้ในรถยนต์

คุณสมบัติ	Gasoline	Diesel	LPG	NGV
สถานะปกติ	Liquid	Liquid	Gas	Gas
ความถ่วงจำเพาะ	0.73	0.83	0.64	0.14
จุดเดือด(°C)	25-100	150-360	-50-0	-161
ค่าความร้อนจำเพาะ (MJ/kg)	43.5	42.5	46.1	47.7
อุณหภูมิที่ระเบิดในอากาศ(°C)	275	250	481	650
ช่วงของการติดไฟในอากาศ(%โดยปริมาตร)	0.6-8	0.6-6.5	1.5-15	5-15
ปริมาตรอากาศที่ใช้สันดาป(kg Air/kg Fuel)	14.7	14.5	15.5	17.2
Octane Number	91	-	105	120

### 3.8 ความปลอดภัยของก๊าซ NGV เมื่อนำมาเป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์

ก๊าซ NGV นับว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในรถยนต์ที่มีความปลอดภัยมากที่สุด คือปลอดภัยกว่าทั้งน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล โดยที่ก๊าซหุงต้มมีความปลอดภัยน้อยที่สุด ซึ่งมีสาเหตุมาจากคุณสมบัติของ NGV ที่เอื้ออำนวยต่อความปลอดภัยดังนี้

1 ก๊าซ NGV เบากว่าอากาศแต่ก๊าซหุงต้มและไอน้ำมันเบนซินหรือดีเซลหนักกว่าอากาศดังนั้นเมื่อเกิดรั่วไหล ก๊าซ NGV จะไม่สะสมอยู่บนพื้นดินจนเกิดการลุกไหม้เหมือนเชื้อเพลิงอื่น ๆ

2 อุณหภูมิที่ก๊าซ NGV จะลุกติดไฟในอากาศเองได้ (เมื่อมีความเข้มข้นของเชื้อเพลิงพอ) สูงถึง 650°C ในขณะที่ก๊าซหุงต้มจะติดไฟได้เองที่ 481 °C น้ำมันเบนซินที่ 275 °C และน้ำมันดีเซลที่ 250 °C

3 ความเข้มข้นขั้นต่ำสุดที่จะลุกติดไฟได้ของก๊าซ NGV จะต้องมีปริมาณสะสมถึง 5% ในขณะที่ก๊าซหุงต้มจะอยู่ที่ 2.0%จากคุณสมบัติข้างต้นก๊าซ NGV จึงมีโอกาสเกิดการลุกไหม้ได้ยากกว่าเชื้อเพลิงอื่น ๆ นอกจากนี้ หากมีการรั่วไหลจะเกิดเสียงดังเนื่องจากมีความดันสูงจึงเป็นสัญญาณเตือนภัยได้อย่างดี

ตารางที่ 3.2 ข้อเปรียบเทียบการใช้ก๊าซ NGV กับก๊าซ LPG และน้ำมันเชื้อเพลิง

ข้อเปรียบเทียบ	ก๊าซ NGV	ก๊าซ LPG	น้ำมันเบนซิน	น้ำมันดีเซล
สถานะ	เป็นก๊าซ	เป็นก๊าซและจะเก็บในรูปของเหลวที่ความดัน 7 บาร์	เป็นของเหลว	เป็นของเหลว
ความหนาแน่น	เบากว่าอากาศจึงไม่มีการสะสมเมื่อเกิดการรั่วไหล	หนักกว่าอากาศจึงเกิดการสะสมซึ่งเป็นอันตราย	หนักกว่าอากาศ	หนักกว่าอากาศ
ขีดจำกัดการติดไฟ	5-15%	2.0-9.5 %	1.4-7.6 %	0.6-7.5 %
(Flammability limit, % by Vol.)				
อุณหภูมิติดไฟ (Auto Ignition Temperature)	650 °C	481 °C	275 °C	250 °C

### 3.9 สถานีบริการก๊าซธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ก๊าซ NGV ในประเทศไทยได้เริ่มทดลองใช้กับยานพาหนะในปี พ.ศ.2527 โดยทดลองใช้กับรถโดยสารประจำทางของ ขสมก.และรถสามล้อเครื่อง แต่ยังไม่มีความแพร่หลาย ทั้งนี้เนื่องจากไม่คุ้มค่ากับการลงทุนดัดแปลงเครื่องยนต์ และในขณะนั้นน้ำมันเชื้อเพลิงก็มีราคาถูกอยู่ต่อมาเกิดวิกฤติราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น รถรับจ้าง ได้แก่ รถแท็กซี่ รถสามล้อเครื่อง ได้ทำการดัดแปลงเครื่องยนต์โดยใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิงแทน ซึ่งสภาวะดังกล่าวนี้ ทำให้เกิดสถานีบริการก๊าซขึ้นเป็นจำนวนมาก แต่ในอนาคตอันใกล้ ราคาก๊าซปิโตรเลียมเหลวจะต้องขยับสูงขึ้น และปล่อยให้ลอยตัว จึงทำให้ราคาก๊าซปิโตรเลียมเหลว จะต้องสูงขึ้นกว่าปัจจุบันที่เป็นอยู่รัฐบาลจึงได้กำหนดนโยบายด้านพลังงาน ให้มีการขยายการใช้ก๊าซ NGV ในภาคคมนาคมขนส่ง เพื่อบรรเทาความเดือดร้อน เนื่องจากปัญหาราคาน้ำมันแพง และปัญหาด้านมลพิษทางอากาศ จึงได้จัดตั้งโครงการก๊าซธรรมชาติ สำหรับยานยนต์ (NGV Project) เพื่อสนับสนุนผลักดันให้มีการใช้ก๊าซธรรมชาติในรถยนต์ให้มากขึ้น โดยให้ ปตท.และกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน จัดทำโครงการทดสอบและนำร่องการใช้ก๊าซ NGV ในรถแท็กซี่ พร้อมกับให้ ปตท.เร่งรัดการก่อสร้างสถานีบริการก๊าซ NGV ในเขตกรุงเทพมหานคร, ปริมณฑล และต่างจังหวัด ซึ่งปัจจุบัน ปตท.ได้เปิดให้บริการสถานีบริการก๊าซ NGV แล้วจำนวน 35 แห่ง ในอนาคตจะเพิ่มจำนวนสถานีบริการ เพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถยนต์ใช้ก๊าซ NGV การขยายจำนวนรถยนต์ที่ใช้ก๊าซ NGV ปตท.มีโครงการดัดแปลงรถแท็กซี่ และรถยนต์ของหน่วยงานราชการ ซึ่งได้แก่ รถโดยสารประจำทางของ ขสมก.และรถเก็บขยะของกรุงเทพมหานครและจะขยายจำนวนไปยังรถกลุ่มอื่นต่อไป ซึ่งในขณะนี้ ได้มีการร่วมมือกับ ธนาคารกรุงไทย จำกัด ในการให้สินเชื่อ เพื่อซื้อรถแท็กซี่ที่ใช้ก๊าซ NGV และเรื่องดังกล่าวนี้ อยู่ระหว่างการดำเนินการ

### 3.10 ปัญหาการใช้ NGV ในยานพาหนะ

1. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ใช้ NGV ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงมีราคาสูง เช่น อุปกรณ์ในการใช้ก๊าซระบบ Diesel Dual Fuel ราคาประมาณ 350,000 บาท
2. การติดตั้งถังบรรจุก๊าซภายในรถ มีความจุประมาณ 70 ลิตร น้ำหนักประมาณ 60-70 กิโลกรัมซึ่งเทียบเท่าน้ำมันประมาณ 15 ลิตร การติดตั้งต้องมีพื้นที่ในการติดตั้งถังก๊าซทำให้เสียพื้นที่ใช้สอยไปในบางส่วน ในการบรรทุกของ
3. การบรรจุก๊าซลงในถังต้องบรรจุบ่อยครั้งกว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง หรือปิโตรเลียมเหลว เนื่องจากปริมาณก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในถังมีปริมาณน้อย โดยเฉลี่ย NGV 1 ถังนั้นสามารถวิ่งได้ระยะทางประมาณ 150-200 กิโลเมตร แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับสภาพจราจรด้วย
4. จำนวนสถานีบริการที่มีจำนวนน้อย ไม่ทั่วถึงซึ่งอาจไม่สะดวกในการเติมก๊าซ
5. สมรรถนะและกำลังของเครื่องยนต์ลดลง เนื่องด้วยน้ำหนักของถังที่ติดตั้งเพิ่มขึ้น และลักษณะของเครื่องยนต์ ใช้ก๊าซมีปริมาณก๊าซจะเข้าแทนที่อากาศในเครื่องยนต์ จึงทำให้มีออกซิเจน สำหรับการ

เผาไหม้ร้อยละ กำลังของเครื่องยนต์จึงตกลง และมีผลทำให้อัตราเร่งลดลงประมาณ 10 % และอัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น 10%

### 3.11 ยานยนต์แก๊สธรรมชาติในประเทศไทย

ประเทศไทยได้นำแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) มาใช้ในยานยนต์ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2513 และเป็น การแพร่หลายมากขึ้นในปี พ.ศ.2523 เนื่องจากราคาแก๊ส LPG ถูกกว่าน้ำมัน ส่วนใหญ่จะใช้ในรถแท็กซี่ และสามล้อเครื่อง โดยดัดแปลงเครื่องยนต์ที่นำเข้ามาจากประเทศญี่ปุ่น อย่างไรก็ตาม วิธีการดัดแปลง ยังอยู่ในขั้นพื้นฐาน และมาตรฐานทางด้านความปลอดภัยยังไม่ดีพอ รวมทั้งกฎระเบียบใน ด้านความปลอดภัยยังไม่รัดกุม จึงมักก่อให้เกิดอุบัติเหตุ เนื่องจากต้นทุนในการก่อสร้างและที่ดินในเขต กทม มี ราคาสูง จึงส่งผลให้ตลาดรถยนต์ที่ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง ไม่ได้รับการส่งเสริมและพัฒนาเท่าที่ควร แต่ในปัจจุบันราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น จึงมีรถแท็กซี่เปลี่ยนไปใช้แก๊ส LPG ร้อยละ 70 – 80 ต่อมาองค์การ ขนส่งมวลชน กทม (ขสมก) ได้นำรถโดยสารปรับอากาศที่ใช้แก๊สธรรมชาติอัดมาชื่อ BENZ และ MAN จากเยอรมัน จำนวน 82 คัน มาให้บริการแก่ประชาชนตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2536 โดยถือเป็น โครงการทดลองใช้เชื้อเพลิงที่สะอาดและสามารถผลิตได้ภายในประเทศ

ในส่วนของโครงการสร้างบริการพื้นฐาน ปตท.จะพิจารณาสร้างสถานีบริการแก๊สธรรมชาติ นอกจากนี้ ปตท กำลังดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการวางระบบท่อจำหน่ายแก๊สธรรมชาติ รอบกรุงเทพฯ และปริมณฑล เพื่อพัฒนาโครงสร้างการบริการพื้นฐานในการสนับสนุนการใช้แก๊ส ธรรมชาติในภาคขนส่ง รวมไปถึงภาคอุตสาหกรรม และภาคการผลิตไฟฟ้าในอนาคตอีกด้วย

### 3.12 ข้อเปรียบเทียบการใช้ CNG กับน้ำมันเชื้อเพลิง หรือ LPG

CNC เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในรถยนต์ มีความปลอดภัยกว่าน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล และก๊าซปิโตร เลียมเหลว (LPG) ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของ CNC มีดังนี้

1. ก๊าซ CNC เบากว่าอากาศ ดังนั้นเมื่อเกิดการรั่วไหลของก๊าซ CNC จะลอยตัวและฟุ้งกระจาย ไปสู่ด้านบน ไม่สะสมอยู่บนพื้นดินจนเกิดการลุกไหม้เหมือนเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ
2. อุณหภูมิที่ก๊าซ CNC จะลุกติดไฟในอากาศเองได้เมื่อมีความเข้มข้นของเชื้อเพลิงพอ จะต้อง สูงถึง 650 องศาเซลเซียส
3. ความเข้มข้นต่ำที่สุด จะลุกติดไฟได้ของก๊าซ CNC จะต้องมีความเข้มข้นสะสมถึง 5% ในขณะที่ ก๊าซหุงต้มจะอยู่ที่ 2%

## บทที่ 4

### เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในประเภทหนึ่ง มีหลักการทำงานโดยการอัดอากาศร้อนเข้าไปในกระบอกสูบ เพื่อให้เกิดการสันดาปของเชื้อเพลิงขึ้น ซึ่งเป็นคุณลักษณะของเครื่องยนต์ดีเซลอากาศที่ถูกอัดอยู่ในกระบอกสูบด้วยกำลังอัดที่สูงขึ้น จะทำให้เกิดอุณหภูมิในอากาศที่สูงขึ้น ดังนั้นเมื่อหัวฉีด ฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปกระทบกับอากาศร้อนที่ถูกอัดอยู่ในกระบอกสูบจะเกิดการเผาไหม้ขึ้น แรงดันจากการเผาไหม้จะผลักดันหัวลูกสูบให้เลื่อนลงเป็นกำลังงานถ่ายทอดออกมา ปัจจุบันเครื่องยนต์ดีเซล ได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในงานประเภทที่ต้องการงานมากๆ

#### 4.1 ข้อดีของเครื่องยนต์ดีเซล

- 1 เครื่องยนต์ดีเซลไม่ต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในการจุดระเบิดซึ่งยุ่งยาก
- 2 ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์มีความแข็งแรง จึงอายุการใช้งานยาวนาน
- 3 สามารถรับภาระโหลดได้ดี
- 4 น้ำมันดีเซลไม่ไวไฟเหมือนน้ำมันเบนซินทำให้ความปลอดภัยมากกว่า

#### 4.2 ปัญหาจากการใช้ CNG ของยานพาหนะ

- 1.ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ CNG ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงมีราคาสูงเช่น อุปกรณ์ใช้ก๊าซ ระบบ Diesel Dual Fuel ราคาประมาณ 400,000-500,000 บาท และอุปกรณ์ใช้ก๊าซ ระบบ Bi-Fuel ราคาประมาณ 30,000-50,000 บาท
- 2.การติดตั้งถังบรรจุก๊าซภายในรถมีความจุประมาณ 70 ลิตร น้ำหนักประมาณ 60-70 กิโลกรัม ซึ่งเทียบเท่าน้ำมันเบนซินประมาณ 15 ลิตร การติดตั้งต้องติดไว้ในกระโปรงหลังรถ ทำให้เสียพื้นที่ใช้สอยไปบางส่วน ในการบรรจุของ
- 3.การบรรจุก๊าซลงในถังต้องบรรจุบ่อยครั้งกว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลวเนื่องจากปริมาณก๊าซที่บรรจุภายในถังมีปริมาณน้อย โดยเฉลี่ยก๊าซ CNG 1 ถังนั้น รถจะวิ่งได้ระยะทางประมาณ 150-250 กิโลเมตร แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการจราจรด้วย
- 4.สมรรถนะและกำลังเครื่องยนต์ลดลงเนื่องด้วยน้ำหนักถังก๊าซที่ติดตั้งเพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น และลักษณะของเครื่องยนต์ใช้ก๊าซที่มีปริมาณก๊าซจะเข้าแทนที่อากาศในเครื่องยนต์ จึงทำให้จำนวนของออกซิเจน สำหรับการเผาไหม้น้อยลงกำลังของเครื่องยนต์ตกลง และมีผลทำให้อัตราเร่งลดลงประมาณ 10% และอัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น 10 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.จำนวนสถานีบริการก๊าซ CNG ในปัจจุบันมีจำนวนน้อย ซึ่งอาจไม่สะดวกในการเติมก๊าซ

#### 4.3 ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เครื่องยนต์ดีเซลทำงานได้

1 อากาศ เชื้อเพลิง และการเผาไหม้ คือจะต้องมีการผสม กันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้มีการจุดระเบิด

2 การอัดอากาศเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศในกระบอกสูบให้สูง จนทำให้มีการจุดระเบิดและเผาไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็ว

3 การเคลื่อนที่ขึ้นลงของกระบอกสูบ เป็นการถ่ายทอดพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นพลังงานกลนำไปใช้งาน ผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและอากาศจะดันส่วนบนของลูกสูบ ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ถ่ายทอดกำลังไปยังเพลลาข้อเหวี่ยง

#### 4.4 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

จังหวะดูด (Suction stroke) ลิ้นไอดีจะเปิดตั้งแต่ลูกสูบอยู่บนศูนย์ตายบน เพลลาข้อเหวี่ยงหมุนพา ลูกสูบลงสู่ศูนย์ตายล่าง เพื่อให้อากาศถูกดูดเข้ากระบอกสูบซึ่งเรียกว่าไอดี

จังหวะอัด (Compression stroke) ลิ้นไอดีจะปิดและลิ้นไอเสียจะปิดสนิท เพื่อไม่ให้อากาศที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบรั่วออกไป ในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นเพื่ออัดอากาศในกระบอกสูบ ทำให้ความดันและอุณหภูมิในกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้น

จังหวะจังหวะระเบิด (Power stroke) ในจังหวะนี้ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียยังคงปิดสนิท เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ในจังหวะอัดเกือบถึงจุดสูงสุด หัวฉีดจะเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปปะทะกับอากาศที่ถูกอัดจนเกิดอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วอากาศที่ขยายตัวจากการเผาไหม้จะผลักดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง และส่งกำลังไปยังเพลลาข้อเหวี่ยง

จังหวะคาย (Exhaust stroke) เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงเกือบถึงตำแหน่งต่ำสุด ลิ้นไอเสียจะเริ่มเปิดลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นเพื่อไล่อากาศเสียออกจากกระบอกสูบทางลิ้นไอเสีย จนถึงตำแหน่งสูงสุดและเมื่อลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ลงอีกครั้งลิ้นไอเสียจะปิด ลิ้นไอดีจะเปิดเพื่อดูดอากาศเข้า ซึ่งจะเป็นการเริ่มจังหวะดูดใหม่ลูกสูบจะทำงานหมุนเวียนครบ 4 จังหวะ เช่นนี้ตลอดไปทำให้เกิดพลังงานที่จะไปขับเคลื่อนการทำงานของเครื่องจักรที่ต่อเข้า กับเครื่องยนต์ดีเซลนั้นๆ

#### 4.5 ระบบการจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ

ในปัจจุบันมีความนิยมที่จะทำการดัดแปลงยานพาหนะให้ใช้เชื้อเพลิงชนิดที่สอง นอกจากเชื้อเพลิงหลักและสามารถเลือกใช้ชนิดใดก็ได้ ตามความต้องการเพื่อลดการใช้จ่ายของการซื้อน้ำมันเชื้อเพลิงเนื่องจากมีราคาสูงขึ้นตามราคาตลาดโลก ในการทดสอบนี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะเชื้อเพลิงก๊าซ

ธรรมชาติอัดสามารถใช้ได้ทั้งในเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยการอัด และใช้กับเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟ ในที่นี้จะพิจารณาแต่เครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล

**4.6 เครื่องยนต์ที่ใช้ระบบการจุดระเบิดด้วยการอัด**

**4.6.1 รถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเพียงอย่างเดียว (Dedicated NGV)**

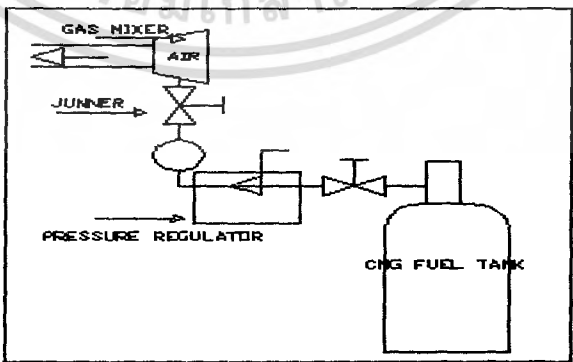
ส่วนมากมีการติดตั้งมาจากโรงงานโดยตรง หรือดัดแปลงจากเครื่องยนต์ดีเซลที่มีอยู่ทั่วไปมาใช้ระบบนี้ ซึ่งมีความยุ่งยากมากที่จะทำการดัดแปลงและมีค่าใช้จ่ายสูง

**4.6.2 รถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดร่วมกับน้ำมันดีเซล (Diesel Dual Fuel, DDF)**

เครื่องยนต์ระบบเชื้อเพลิงร่วม (Diesel Dual Fuel) เป็นเครื่องยนต์ดีเซลที่ติดตั้งอุปกรณ์ใช้ก๊าซฯและถังก๊าซ ซึ่งต้องใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซธรรมชาติ โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นตัวจุดระเบิดนาร์องหรือใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว อัตราส่วนก๊าซธรรมชาติอัดต่อน้ำมันดีเซลจะขึ้นอยู่กับเครื่องยนต์นั้นๆ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ก๊าซและคุณภาพของก๊าซที่ใช้โดยทั่วไป ปัจจุบันสามารถใช้อัตราส่วนก๊าซธรรมชาติอัดต่อน้ำมันได้ร้อยละ 30 ถึง 70 ระบบนี้สามารถเลือกใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวได้ หรือใช้เชื้อเพลิงร่วมก็ได้โดยการปรับสวิทช์เลือกใช้เชื้อเพลิงเท่านั้น

**4.6.3 ระบบดูดก๊าซ (Fumigation System) ซึ่งจะมีอุปกรณ์ผสมก๊าซและอากาศ (Gas Mixer)**

ทำหน้าที่ผสมอากาศที่เครื่องยนต์ดูดเข้าไปกับก๊าซธรรมชาติในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับการเผาไหม้ ก่อนที่จะจ่ายเข้าเครื่องยนต์ อุปกรณ์หลักๆประกอบด้วยอุปกรณ์ผสมก๊าซและอากาศ ในการทำงานจะจ่ายเชื้อเพลิงผสมกับอากาศจากแรงดันที่เกิดลดลงเมื่ออากาศไหลผ่านคอคอด ภายในอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ ปริมาตรจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความเร็วของอากาศที่ผ่านเข้าสู่อุปกรณ์หรือขึ้นอยู่กับรอบของเครื่องยนต์ โดยก่อนที่ก๊าซจะไหลเข้าสู่เครื่องยนต์จะผ่านอุปกรณ์ที่ลดแรงดันของก๊าซ(Pressure Regulator) หรือเรียกอีกอย่างว่าหม้อต้ม เพื่อลดแรงดันที่ออกมาจากถังก๊าซให้อยู่ในระดับความดันเดียวกันกับการใช้ในเครื่องยนต์ เนื่องจากการลดความดันนั้นจะทำให้เกิดน้ำแข็งเกาะตามหม้อต้มหรืออุดตันทางไหลของก๊าซได้ จึงต้องใช้น้ำที่มีความร้อนมาอุ่นที่อุปกรณ์ไว้



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของระบบจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติระบบดูด

## บทที่ 5

# ทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่เป็นพื้นฐาน ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมแก๊สธรรมชาติกับน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นหัวข้อของการวิจัยครั้งนี้ โดยทั่วไปแล้วค่า  $b_{mep}$  ของ SI Engine มีความดันประมาณ 850-1050 kpa ส่วนของ CI Engine ความดันประมาณ 700-900 pa และในกรณีของ CI Engine ที่มี Turbocharger มีค่าประมาณ 1000-1200 kpa

**5.1 ทอร์ก (Torque)** ทอร์กสามารถบ่งบอกปริมาณงานของเครื่องยนต์ดีเซลได้ดีมาก ทอร์กสามารถถูกวัดได้โดยค่าแรงที่โมเมนต์นั้น ๆ ทอร์กมีหน่วยเป็น N.m ทอร์ก ( $\tau$ ) มีความสัมพันธ์กับงานดังนี้

$$\tau = mg/5 \quad (5.1)$$

โดยที่  $m$  = Load ที่ใช้ในการทดสอบแต่ละสถานะ(kg.m)  
 $g$  = specific gravity (9.81 m/s<sup>2</sup>)  
 5 = ค่าผิดพลาดที่ได้จากเครื่องทดสอบ

**5.2 พลังงานที่คำนวณได้จากเครื่องยนต์(Power of Engine) มีหน่วยเป็น (kw)**

$$W_b = 2\pi\tau N / 60 \times 1000 \quad (5.2)$$

โดยที่  $N$  = รอบในการทดสอบเครื่องยนต์ (rev/min)

**5.3 พลังงานที่คำนวณได้จากเชื้อเพลิง(Power of Fuel) มีหน่วยเป็น (kw)**

$$W_f = \dot{m}_f Q_{HV} / 60 \quad (5.3)$$

โดยที่  $\dot{m}_f$  = อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (g/min)  
 $Q_{HV}$  = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)

**5.4 สัมประสิทธิ์การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Specific Fuel Consumption) มีหน่วยเป็น (g/kw.h) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้**

$$sfc = \dot{m}_f / W_b \quad (5.4)$$

**5.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency)**

$$\eta_i = W_b / W_f \quad (5.5)$$

$$\eta_i = 3600 \times 100 / sfc Q_{HV} \quad (5.6)$$

โดยทั่วไปเครื่องยนต์มี Indicated thermal efficiency ประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ และ Brake thermal efficiency ประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ Brake thermal efficiency ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

**5.6 มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ (Emissions Combustion)**

มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน Oxides of Nitrogen (NOx), Carbon monoxide (CO), Hydrocarbons (HC) Solid particulates และควันดำซึ่งสามารถถูกวัดได้โดยตรงจากไอเสียของเครื่องยนต์ โดยทั่วไปจะมีหน่วยเป็น gm/kW-hr HSU หรือ ppm

## บทที่ 6

### อุปกรณ์การทดสอบและวิธีการทดสอบเครื่องยนต์

ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบและวิธีการทดสอบของเครื่องยนต์

#### 6.1 เครื่องยนต์

เป็นการทดสอบรถยนต์เชื้อเพลิงผสม NGV กบดีเซล ของรถยนต์ TOYOTA

รหัสเครื่องยนต์: 2L - T

แบบเครื่องยนต์: 4สูบเรียง OHC2วาล์ว ต่อสูบ

ระบบอัดอากาศ: ธรรมชาติ

ปริมาตรกระบอกสูบ: 2446 cc

ความกว้างกระบอกสูบ X ระยะชัก: 92.0 มม. X 92.0 มม.

แรงม้าสูงสุด: อยู่ที่ 115 แรงม้าที่ 4000 รอบ/นาที

แรงบิด: อยู่ที่ 19.2 กก-ม. ที่ 2200 รอบ/ นาที

ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง: ปั๊มหัวฉีดน้ำมันแบบจานจ่าย



รูปที่ 6.1 รถยนต์ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 ถังก๊าซที่ใช้ติดตั้งกับรถยนต์

ถูกติดตั้งไว้ที่ข้างนอกของรถทดสอบซึ่งยึดติดอยู่กับอุปกรณ์ดาซัง แก๊สถูกส่งไปตามท่อส่งเชื้อเพลิง ผ่านอุปกรณ์ลดความดัน (Pressure Regulator) ก่อนที่จะถูกนำเข้ามาผสมกับอากาศที่ท่อทางเข้าอากาศ ด้วยชุดผสมแก๊สกับอากาศ (Gas and Air Mixer) ก่อนเข้าห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber)



รูปที่ 6.2 แสดงถังก๊าซที่ใช้กับรถยนต์



รูปที่ 6.3 แสดงการติดตั้งระบบลดความดันแก๊สก่อนเข้าเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 เครื่องควบคุมและแสดงผลกำลังของเครื่องยนต์

6.3.1 แซสซิสไดนาโมมิเตอร์ (Chassis dynamometer controller dynamometer) เป็นเครื่องทดสอบสมรรถนะของรถยนต์ ที่สามารถตั้งเงื่อนไขสภาพแวดล้อมให้คล้ายกับการวิ่งจริงบนท้องถนน และสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงสภาพเงื่อนไขเหล่านั้นได้เพื่อทดสอบ การทำงานของรถยนต์ให้ใกล้เคียง กับการใช้งานจริงบนถนนมากที่สุด



รูปที่ 6.4 แสดงการทดสอบของรถยนต์บนแท่นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 เครื่องควบคุมและแสดงผลกำลังของเครื่องยนต์

#### 6.4 อุปกรณ์วัดปริมาณมลพิษของเชื้อเพลิง

6.4.1 อุปกรณ์นี้ทำหน้าที่ในการวัดปริมาณละอองมลพิษที่เหลือจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยการวัดความเข้มของแสงสว่างที่ลดลงจากควันทึกลับผ่านไปยัง photo cell จะเป็นตัวบอกความหนาแน่นของควันทึกลับผ่าน

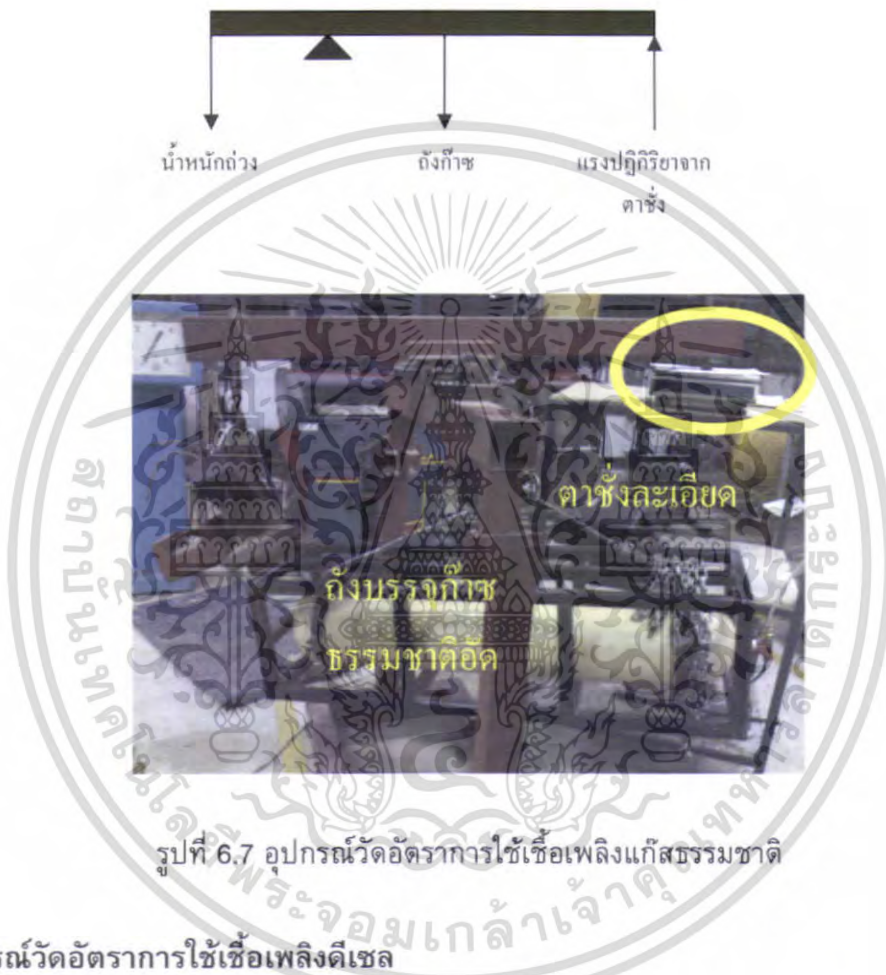


รูปที่ 6.6 อุปกรณ์วัดปริมาณละอองของไอเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.5 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ

อุปกรณ์วัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงมีหลักการคือการชั่งน้ำหนักของถังก๊าซและเนื้อก๊าซโดยจะใช้เวลาประมาณ 1 นาที แล้วนำมาหักลบกันโดยผลต่างที่ได้ก็คือปริมาณก๊าซที่ใช้ไป แต่การชั่งถังก๊าซที่มีน้ำหนักมากนั้นต้องใช้เครื่องชั่งที่มีขนาดใหญ่และมีราคาสูงจึงใช้หลักการของโมเมนต์มาประยุกต์ใช้



รูปที่ 6.7 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ

## 6.6 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงดีเซล

อุปกรณ์วัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงมีหลักการทำงานคือโดยมีตัวตั้งเวลาตัดการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงจากถังหลักแล้วมาใช้เชื้อเพลิงที่เราชั่งไว้ การชั่งน้ำหนักของน้ำมันดีเซล โดยจะใช้เวลาประมาณ 1 นาที แล้วนำมาหักลบกันโดยผลต่างที่ได้ก็คือปริมาณของน้ำมันดีเซลที่ใช้ไป



รูปที่ 6.8 อุปกรณ์วัดอัตราการใช้น้ำมันดีเซล

### 6.7 ตัวตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature sensor)

ตัวตรวจจับอุณหภูมิจะทำหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิที่บริเวณน้ำหล่อเย็นและที่อ่างน้ำมันเครื่องที่อยู่ภายในเครื่องยนต์เพื่อนำค่าที่ได้มาเป็นปัจจัยเพื่อนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของผลที่ได้ออกมา



รูปที่ 6.9 ตัวตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature sensor)

### 6.8 ก๊าซมิกเซอร์ (Gas mixer)

อุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ ใช้หลักความแตกต่างของความดัน อากาศที่ไหลผ่านคอคอดมิกเซอร์จะดูดก๊าซออกมาผสมกับอากาศที่บริเวณทางเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 อุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ

### 6.9 ถังบรรจุเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ

ถังที่ใช้บรรจุเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติอัด ที่ใช้สำหรับยานยนต์ทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือถังบรรจุที่ทำมาจากวัสดุเหล็กหรืออลูมิเนียมและอีกวัสดุหนึ่งทำมาจากวัสดุจำพวกพลาสติก และมีการเสริมวัสดุใยแก้วด้วยเพื่อเพิ่มความทนทานของถังบรรจุเชื้อเพลิง โดยถังทุกใบได้ผ่านการบวนการทดสอบคุณสมบัติด้านความปลอดภัยมาแล้วก่อนที่จะนำมาใช้งานจริง ทำให้ความปลอดภัยสูงสุดและถังที่นำมาใช้เป็นถังบรรจุที่ทำมาจากเหล็กขนาด 75 ลิตร สามารถบรรจุก๊าซธรรมชาติอัดได้ 20 ลิตร สามารถบรรจุก๊าซธรรมชาติอัดได้ 20 ลิตรน้ำ และสามารถทนแรงดันในการอัดก๊าซธรรมชาติได้ถึง 6000 PSI และถังนี้มีแรงดันภายในประมาณ 200 บาร์



รูปที่ 6.11 ถังบรรจุเชื้อเพลิงธรรมชาติ

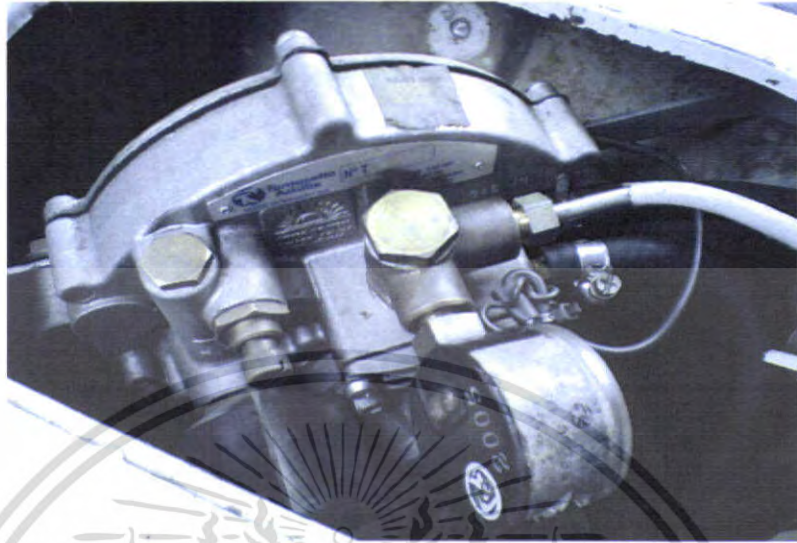
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดของถังก๊าซธรรมชาติ

ขนาด ความจุ (ลิตร)	ผู้ผลิต (ประเทศ)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กก)	ราคา (บาท)
60	EKC(อินเดีย)	267	1,325	64	10,000
	NK(Scan)(เกาหลี)	279	1,300	68	
	BTIC(Scan inter)(จีน)	246	925	46	16,000
70	Faber(อิตาลี)	356	910	63	14,000
	EKC(อินเดีย)	356	940	77	
	EKC (Scan Inter) (อินเดีย)	356	940	77	
	PARS (อิหร่าน)	356	975	78	
71	MAT(IFT)(บราซิล)	356	900	78	
77	NK (Scan Inter)(เกาหลี)	356	1,020	85	15,000
80	BTIC(จีน)	279	1,645	102	13,100
90	NK (Scan inter)(เกาหลี)	406	915	90	16,000
100	Faber(อิตาลี)	406	1,010	89	17,200
	EXC(อินเดีย)	356	1,270	90	15,700
140	Faber(อิตาลี)	356	1,660	101	22,800
	Faber(อิตาลี)	356	1,690	112	20,100

### 6.10 อุปกรณ์ลดแรงดัน (Pressure regulator)

อุปกรณ์ลดแรงดันตัวนี้ หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า “หม้อต้ม” มีหน้าที่ในการลดแรงดันของแก๊สธรรมชาติจาก 200 bar ให้เหลือแรงดันเท่ากับแรงดันที่หัวฉีดสามารถทำงานได้โดยปกติจะอยู่ที่ 2.5 – 2.6 bar ซึ่งในการลดจะลดภายใน 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะลดความดันจากถึงประมาณ 200 bar ให้เหลือประมาณ 5 bar และในขั้นตอนการลดที่สอง จะลดความดันที่ประมาณ 5 bar ลงเหลือ 2.5 – 2.6 bar และในการเปิดให้แก๊สไหลจากถังเข้าสู่อุปกรณ์ลดแรงดันจะมีตัวโซลินอยด์วาล์วคอยควบคุม โดยต่อกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ ซึ่งการลดความดันที่มีค่าสูง ๆ ให้เหลือค่าความดันต่ำ ๆ จะทำให้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติมีอุณหภูมิเย็นจัดซึ่งอาจจะส่งผลต่อการสันดาปของเครื่องยนต์ได้ดังนั้นจึงมีการออกแบบให้มีน้ำหล่อเย็นจากเครื่องยนต์ไหลเข้ามาภายในหม้อต้มเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกันระหว่างเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติกับน้ำหล่อเย็นซึ่งทำให้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติมีอุณหภูมิเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน



รูปที่ 6.12 อุปกรณ์ลดแรงดัน (Pressure regulator)

#### 6.11 โซลีนอยด์วาล์ว

โซลีนอยด์วาล์ว เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดต่อระบบไหลเวียนของแก๊สจากถังแก๊สเข้าสู่หม้อต้ม โดยให้แม่เหล็กไฟฟ้า 12 โวลต์ เป็นตัวทำงาน รวมทั้งมีตัวกรองแก๊สเพื่อเพิ่มความสะอาดของแก๊สที่จะเข้าไปสู่หม้อต้มทำให้หม้อต้มมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน



รูปที่ 6.13 โซลีนอยด์วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.12 อุปกรณ์เชื่อมต่อการส่งก๊าซหรือท่อ

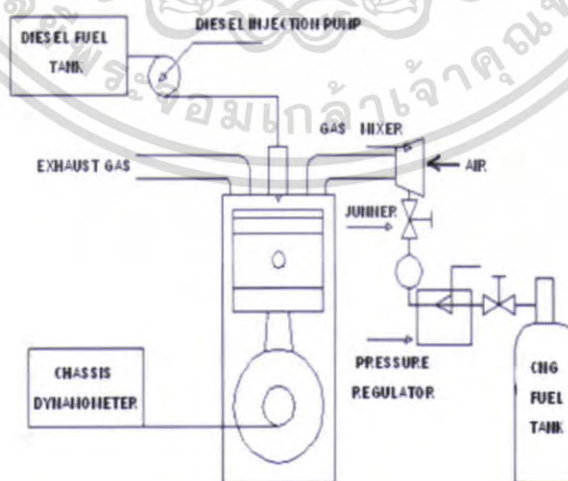
อุปกรณ์เชื่อมต่อการส่งก๊าซเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบเพื่อการส่งก๊าซจากถังไปยังเครื่องยนต์ โดยจะมรูปร่างหลักๆ คือท่อขนาดต่างๆ และเข็มขัดรัดสายป้องกันการรั่วซึม



รูปที่ 6.14 อุปกรณ์เชื่อมต่อการส่งก๊าซ

## 6.13 หลักการทำงานของเครื่องยนต์และชุดทดสอบ

เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน ก๊าซจะถูกปล่อยออกมาจากถังก๊าซผ่านอุปกรณ์ลดความดันหรือว่าหม้อต้ม และไหลไปยังวาล์วควบคุมปริมาณการไหลของก๊าซแล้วไหลไปสู่ Gas mixer ซึ่งเป็นตัวผสมอากาศกับก๊าซเข้าไปสู่ห้องเผาไหม้ในจังหวะลูกสูบกำลังดูด น้ำมันจะถูกฉีดก่อนจังหวะระเบิดเล็กน้อย เมื่อลูกสูบทำงานครบวัฏจักรเครื่องยนต์ก็จะได้กำลังจากเพลาล้อเหยียง ซึ่งเป็นกำลังที่ใช้ในการทดสอบกับเครื่อง Chassis dynamometer controller ดังรูปที่



รูปที่ 6.15 แสดงส่วนประกอบของชุดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 6.14 การทดสอบเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม

จะทำการทดลองตามขั้นตอนต่อไปนี เพื่อหาค่าค่าแรงบิด แรงม้า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมลพิษจากไอเสีย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์

ขั้นตอนที่ 1 นำเครื่องยนต์ขึ้นบนเครื่องแซสซิสไดนาโมมิเตอร์ติดเครื่องยนต์แล้วเดินเครื่องยนต์จนได้อุณหภูมิการทำงาน คือ 80-90 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 2 เร่งเครื่องยนต์โดยการปรับตำแหน่งลิ้นเร่งจนได้ค่าของรอบเครื่องยนต์ตามกำหนด

ขั้นตอนที่ 3 เพิ่มภาระของเครื่องยนต์จากชุดควบคุมของไดนาโมมิเตอร์ จนกระทั่งรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาอยู่ที่รอบเดินเบา รอจนค่าคงที่

ขั้นตอนที่ 4 ทำการบันทึกค่าแรงบิดที่เครื่องไดนาโมมิเตอร์ โดยสังเกตจอแสดงผลที่ชุดควบคุมวัดอัตราการกินน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์จากเครื่องชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าที่อ่านได้ก่อนและหลังการจับเวลา

ขั้นตอนที่ 5 ทำการปรับลดภาระลงเพื่อให้เครื่องยนต์มีรอบสูงขึ้น โดยทำการควบคุมให้เครื่องยนต์มีรอบสูงขึ้นตามที่กำหนดแล้วทำการจับเวลาอัตราการกินน้ำมันเชื้อเพลิงและบันทึกค่าทำการทดสอบจนรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนกระทั่งถึงความเร็วของเครื่องยนต์ที่จะกำหนด

#### 6.15 การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล

จะทำการทดลองตามขั้นตอนต่อไปนี เพื่อหาค่าค่าแรงบิด แรงม้า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมลพิษจากไอเสีย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์

ขั้นตอนที่ 1 นำเครื่องยนต์ขึ้นบนเครื่องแซสซิสไดนาโมมิเตอร์ติดเครื่องยนต์แล้วเดินเครื่องยนต์จนได้อุณหภูมิการทำงาน คือ 80-90 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 2 เร่งเครื่องยนต์โดยการปรับตำแหน่งลิ้นเร่งจนได้ค่าของรอบเครื่องยนต์ตามกำหนด

ขั้นตอนที่ 3 เพิ่มภาระของเครื่องยนต์จากชุดควบคุมของไดนาโมมิเตอร์ จนกระทั่งรอบของเครื่องยนต์ลดลงมาอยู่ที่รอบเดินเบา รอจนค่าคงที่

ขั้นตอนที่ 4 ทำการบันทึกค่าแรงบิดที่เครื่องไดนาโมมิเตอร์ โดยสังเกตจอแสดงผลที่ชุดควบคุมวัดอัตราการกินน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์จากเครื่องชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าที่อ่านได้ก่อนและหลังการจับเวลา

ขั้นตอนที่ 5 ทำการปรับลดภาระลงเพื่อให้เครื่องยนต์มีรอบสูงขึ้น โดยทำการควบคุมให้เครื่องยนต์มีรอบสูงขึ้นตามที่กำหนดแล้วทำการจับเวลาอัตราการกินน้ำมันเชื้อเพลิงและบันทึกค่าทำการทดสอบจนรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนกระทั่งถึงความเร็วของเครื่องยนต์ที่จะกำหนด

## บทที่ 7

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การนำเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติประเภท NGV มาดัดแปลงใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนหลักๆคือ ส่วนแรกศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลและเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม ส่วนที่สองศึกษามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลและเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม ในการทดสอบนี้เราทดสอบที่เกียร์ 4

#### 7.1 ทฤษฎีสูตรการคำนวณในการทดลอง

สูตรการคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลกับเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม

$$\eta_{diesel..engine} = \frac{Power_{engine}}{Power_{diesel}} \times 100 (\%)$$

$$\eta_{dual..engine} = \frac{Power_{engine}}{Power_{ngv+diesel}} \times 100 (\%)$$

ตัวอย่างการคำนวณ (ที่โหลดความเร็ว 70 km/hr เครื่องยนต์ดีเซล)

$$\eta_{diesel} = \frac{36.41}{137.73} \times 100 = 26.43\%$$

สูตรการคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

$$b_{sfc} = \frac{Fuel..consumption}{power} \times 60 \left( \frac{g}{kW \cdot hr} \right)$$

ตัวอย่างการคำนวณ(ที่โหลดความเร็ว 70 km/hr เครื่องยนต์ดีเซล)

$$bsfc = \frac{181.5}{36.41} \times 60 = 299.1 \left( \frac{g}{kW \cdot hr} \right)$$

### การคำนวณหาค่ากำลังที่แท้จริง

$$P_{\text{ที่แท้จริง}} = [ (P \text{ ที่ได้จากการทดสอบ}) + (P \text{ ที่จากการทดสอบคูณ 25 เปอร์เซ็นต์}) ] k$$

ตัวอย่างการคำนวณ(ที่โหลดความเร็ว 70 km/hr เครื่องยนต์ดีเซล)

$$P_{\text{ที่แท้จริง}} = [(28.7) + (28.7 \times 0.25)] \times 1.015 = 36.41 \text{ kW}$$

### การคำนวณหาค่าทอร์ก

$$T = \frac{\text{Power}}{2\pi \times N \times 9.81} \times 60,000 \text{ (kg} \cdot \text{m)}$$

ตัวอย่างการคำนวณ(ที่โหลดความเร็ว 70 km/hr เครื่องยนต์ดีเซล)

$$T = \frac{36.41}{2\pi \times 2596 \times 9.81} \times 60,000 = 13.67 \text{ (kg} \cdot \text{m)}$$

## 7.2 ผลการทดลองที่ได้ เป็นค่าเฉลี่ย

Pure Diesel						
Speed (km/hr)	Power (kW)	Power แท้จริง (kW)	Torque (kg-m)	Fuel (g/min)	bsfc (g/kW-hr)	N (rpm)
70	28.7	36.41	13.67	181.5	299.1	2596
80	31.9	40.47	13.27	211.1	312.97	2970
90	32.4	41.11	11.91	232.4	339.18	3364
100	30.8	39.08	10.21	249.9	383.67	3728
110	28.9	36.67	8.66	284.4	465.33	4124

ตารางที่ 7.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว

Diesel & CNG							
Speed (km/hr)	Power (kW)	Power แท้จริง (kW)	Torque (kg-m)	Fuel (g/min)	bsfc (g/kW-hr)	Gas NGV (g/min)	N (rpm)
70	30.2	38.32	14.22	163.4	255.84	19	2623
80	33.7	42.76	13.91	192.7	270.40	20	2992
90	34.6	43.89	12.53	213.6	292.00	21	3408
100	33.6	42.63	10.95	230.5	324.42	26	3791
110	30.4	38.57	8.98	263.6	410.06	30	4180

ตารางที่ 7.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์ Dual Fuel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Speed	Pure Diesel		Diesel & CNG	
	Heating value kCal/min	bsfc kCal/kW-hr	Heating value kCal/min	bsfc kCal/kW-hr
70	1975.10	3254.76	1982.62	3104.31
80	2297.21	3405.80	2321.24	3244.49
90	2529.00	3691.07	2550.44	3486.59
100	2719.44	4175.19	2788.15	3924.21
110	3094.87	5063.87	3191.41	4964.60

ตารางที่ 7.3 แสดงข้อมูลค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

Pure Diesel		
Speed (km/hr)	Fuel (L/hr)	Cost (Baht)
70	12.80	396.03
80	14.88	460.38
90	16.38	506.79
100	17.26	545.16
110	20.05	620.35

ตารางที่ 7.4 แสดงผลการกินน้ำมันและราคาโดยคิดที่ 1 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่าง  
เดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Diesel & CNG					
Speed (km/hr)	Fuel (L/hr)	Cost (Baht)	CNG (kg/hr)	Cost (Baht)	Total cost (Baht)
70	11.52	356.43	1.14	9.69	366.12
80	13.59	420.47	1.20	10.20	430.67
90	15.06	465.96	1.26	10.71	476.67
100	16.25	502.76	1.56	13.26	516.02
110	18.59	575.17	1.80	15.30	590.47

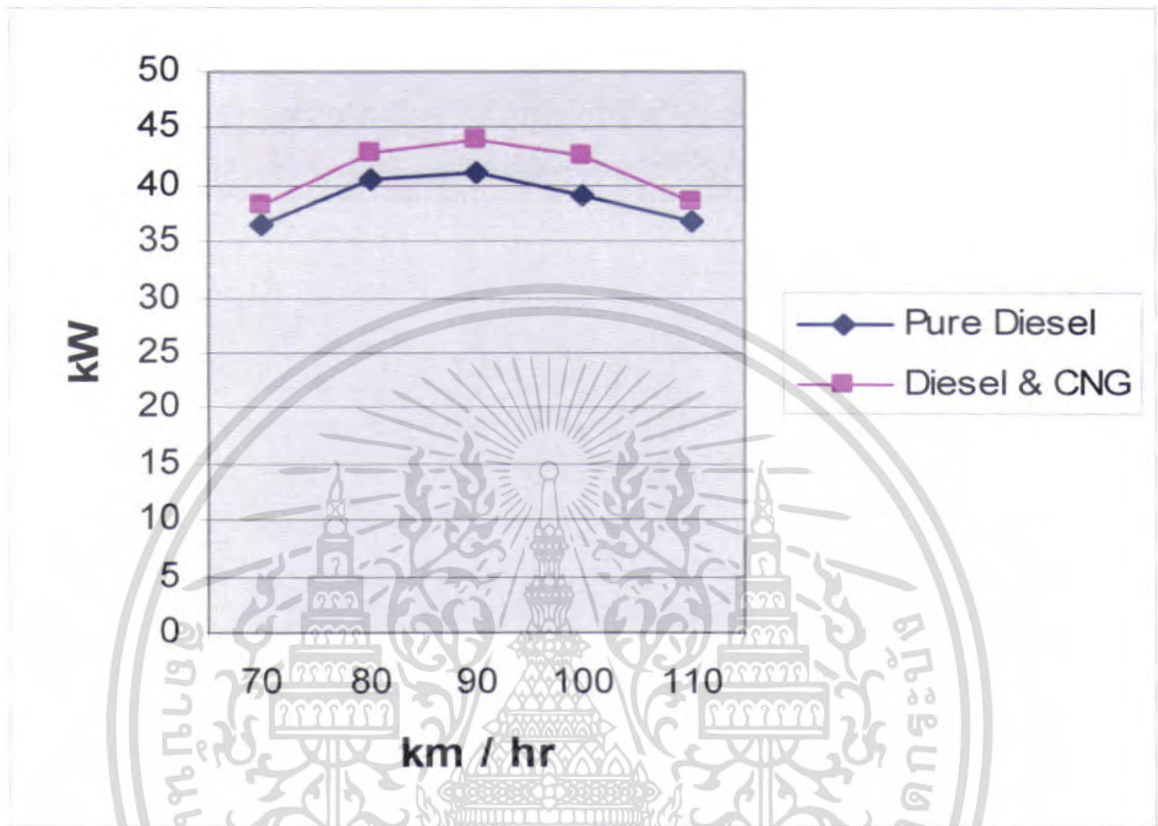
ตารางที่ 7.5 แสดงผลการกินน้ำมันกับก๊าซและราคาโดยคิดที่ 1 ชั่วโมง ของเครื่องยนต์ Dual Fuel

Speed	Pure Diesel (Baht)	Diesel & CNG (Baht)	ผลต่าง (Baht)	ผลต่าง %
70	396.03	366.12	29.91	7.55
80	460.38	430.67	29.71	6.45
90	506.79	476.67	30.12	5.94
100	545.16	516.02	29.14	5.34
110	620.35	590.47	29.88	4.82
<b>Average</b>	<b>505.74</b>	<b>475.99</b>	<b>29.75</b>	<b>6.02</b>

ตารางที่ 7.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล ที่ 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

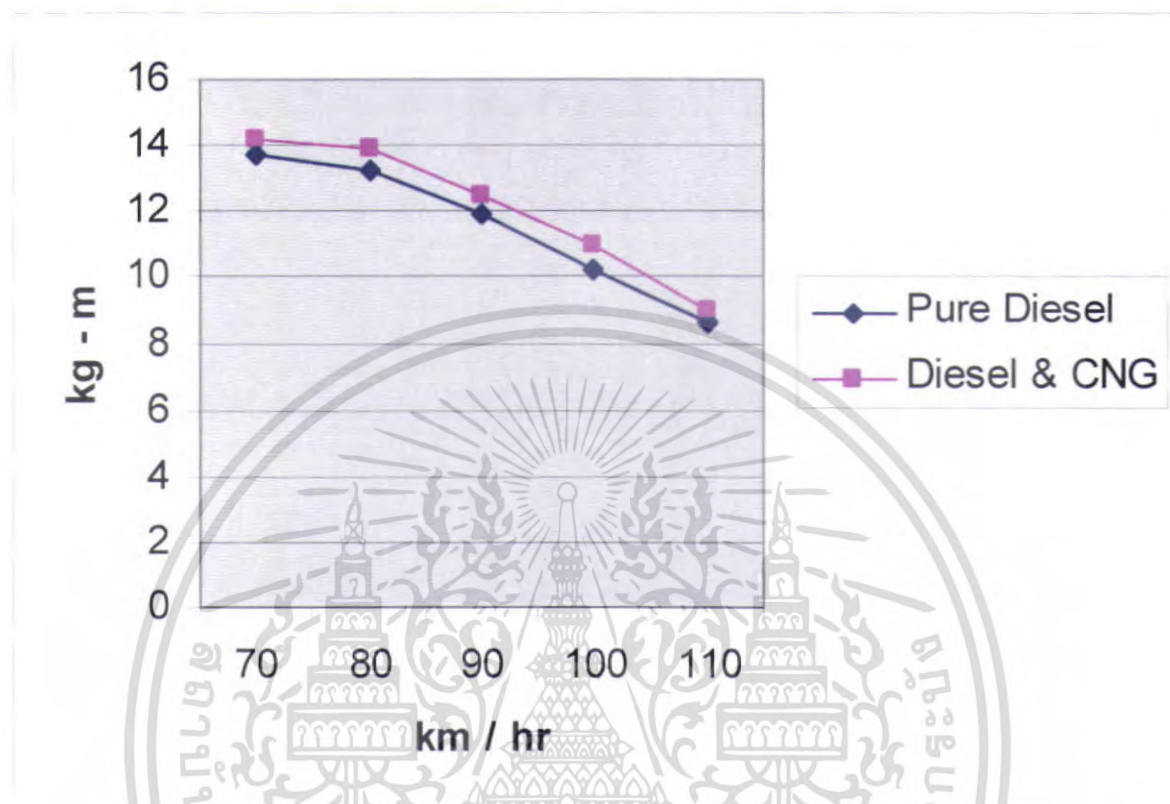
### 7.3 กำลังของเครื่องยนต์



รูปที่ 7.1 กราฟเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล

จากรูปที่ 7.1 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังของเครื่องยนต์ โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel โดยการเหยียบคันเร่งสุดและเพิ่มโหลตให้ได้ความเร็วต่างๆ จะพบว่ากำลังของเครื่องยนต์ Dual Fuel จะมีค่ากำลังมากกว่าเครื่องยนต์ที่น้ำมันดีเซลอย่างเดียวและกำลังสูงสุดอยู่ที่ความเร็ว 90 km/hr ได้กำลัง 41.11 kW คิดเป็นค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 6.76 %

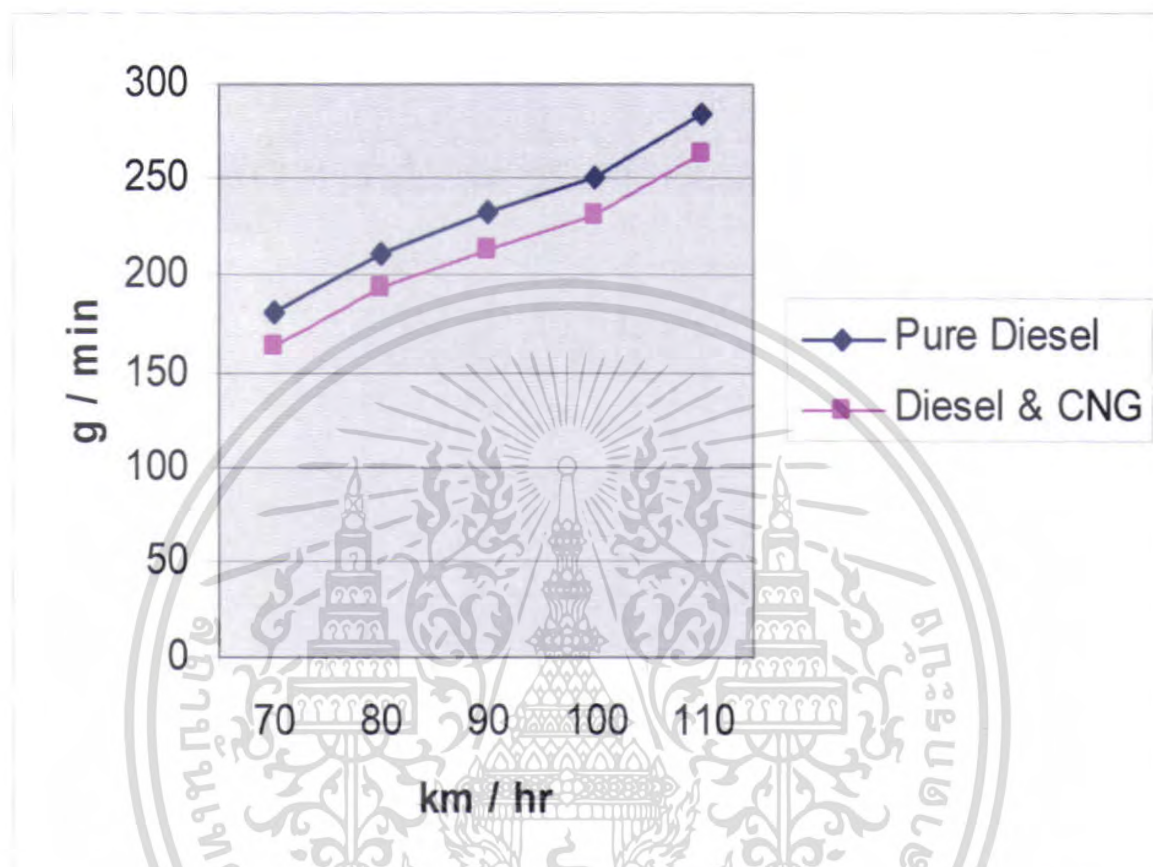
#### 7.4 ทออร์กของเครื่องยนต์



รูปที่ 7.2 กราฟเปรียบเทียบทออร์กของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล

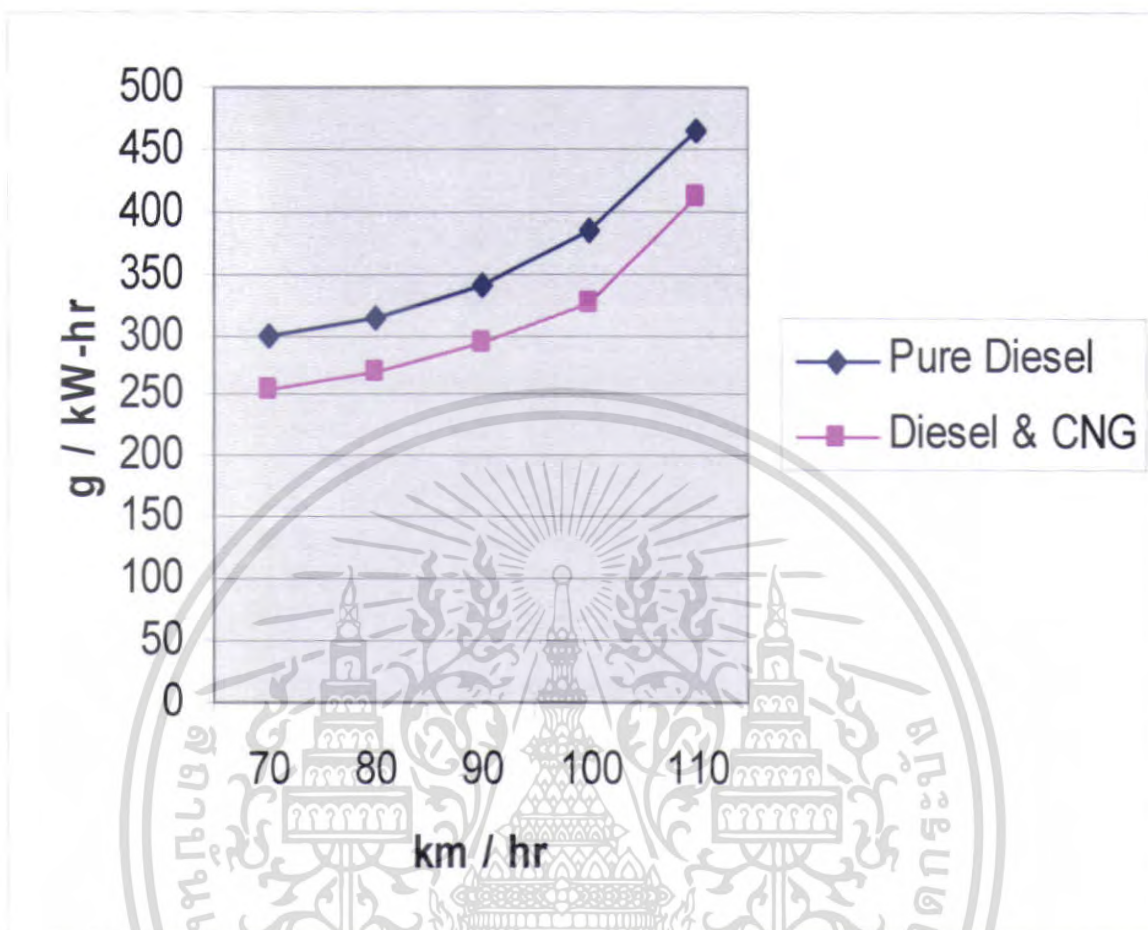
รูปที่ 7.2 แสดงการเปรียบเทียบทออร์กของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel โดยการเทียบคันเร่งสุดและเพิ่มโหลดให้ได้ความเร็วต่างๆ จะพบว่าเครื่องยนต์ Dual Fuel จะมีค่าทออร์กมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลอย่างเดียว เพราะกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์มากกว่า คิดเป็นค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 5.03 %

### 7.5 ค่าการบริโภคน้ำมันและค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะเบรก (bsfc)



รูปที่ 7.3 กราฟเปรียบเทียบการบริโภคน้ำมันของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล คิตที่ 1 นาที่

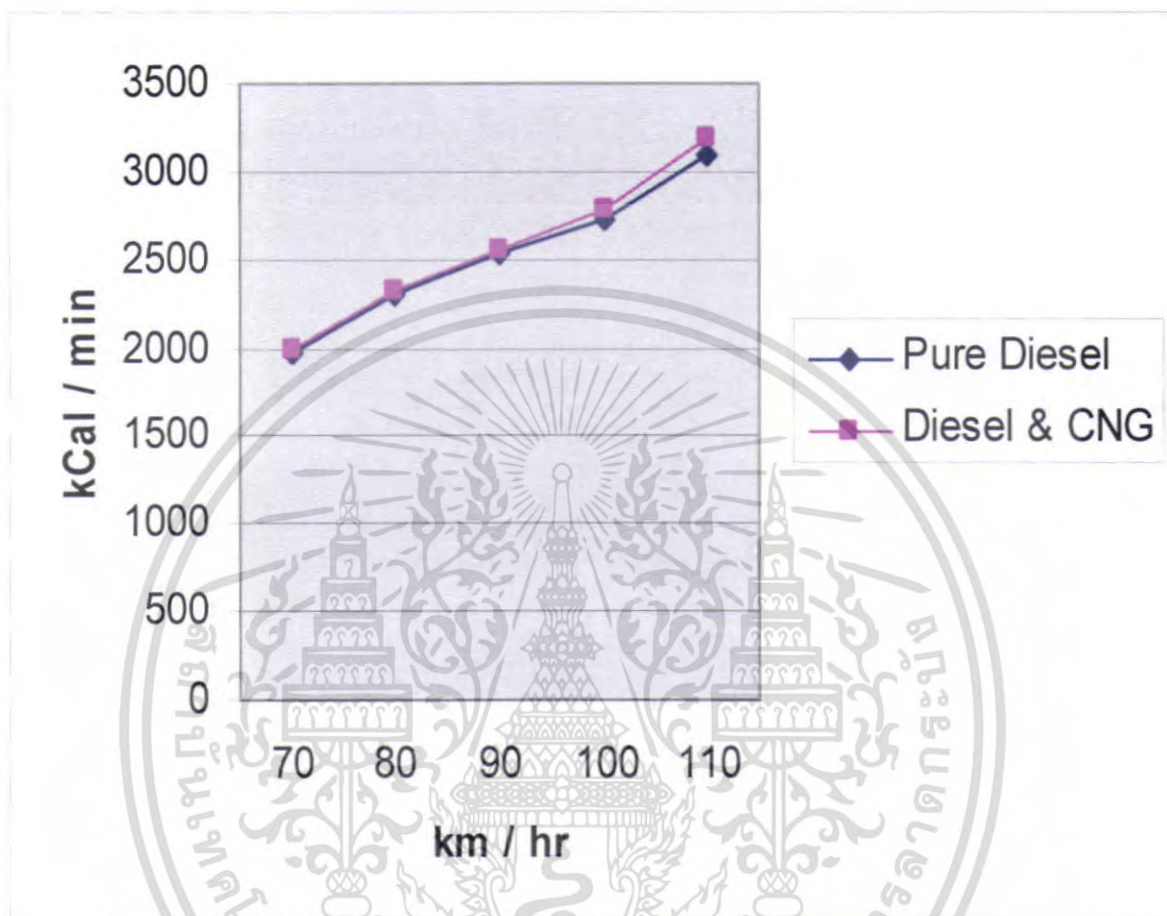
จากรูปที่ 7.3 แสดงการเปรียบเทียบการบริโภคน้ำมันของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel โดยการเทียบคันเร่งสุดและเพิ่มโหลดให้ได้ความเร็วต่างๆ จะพบว่าเครื่องยนต์ Dual Fuel จะบริโภคน้อยกว่าเพราะเราทำการหรี่น้ำมัน เพื่อที่จะทำการก๊าซเข้าไปแทนที่น้ำมันส่วนที่หายไป ซึ่งเราทำการหรี่น้ำมันได้เพียงเท่านั้นเพราะถ้ามากกว่านั้นจะทำให้เครื่องยนต์เกิดอาการน็อก เฉลี่ยมีค่าการบริโภคน้ำมันลดลง 8.24 %



รูปที่ 7.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันจำเพาะเบรก (bsfc) ของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล คิดที่ 1 ชั่วโมง

จากรูปที่ 7.4 แสดงการเปรียบเทียบค่า bsfc โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel โดยการเหี่ยวย่นแรงสุดและเพิ่มโหลดให้ได้ความเร็วต่างๆ จะพบว่าค่า bsfc เครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel จะมีค่าความสิ้นเปลืองจำเพาะน้อยกว่าเครื่องยนต์ดีเซลอย่างเดียว เพราะจากการที่เราใช้น้ำมันไว้ทำให้น้ำมันดีเซลไหลเข้าบั้มน้อยกว่าปกติ มีค่าเฉลี่ยความสิ้นเปลืองจำเพาะลดลง 13.75 %

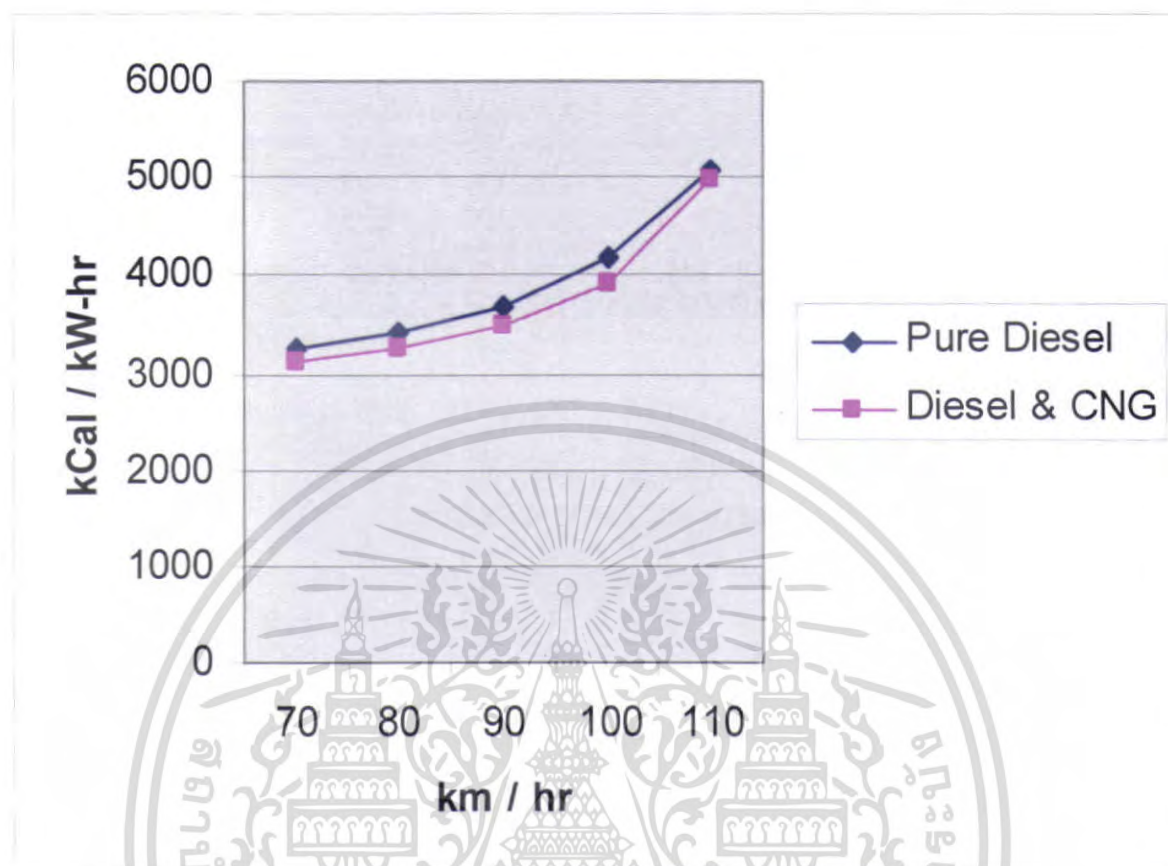
## 7.6 ค่าการเกิดความร้อนและค่าการเกิดความร้อนต่อกำลังงาน



รูปที่ 7.5 กราฟเปรียบเทียบค่าการเกิดความร้อนของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล คิตที่ 1 นาที

ในรูปที่ 7.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นใน 1 นาที โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel โดยการเหยียบคันเร่งสุดและเพิ่มโหลดให้มีความเร็วต่างๆ จะพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel มีปริมาณความร้อนมากกว่าเครื่องยนต์ดีเซลอย่างเดียว เนื่องจากกรหรือน้ำมันและนำก๊าซเข้าไปแทนที่น้ำมันส่วนที่ขาดจะใช้พลังงานมากกว่า คิดเป็นค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.73 %

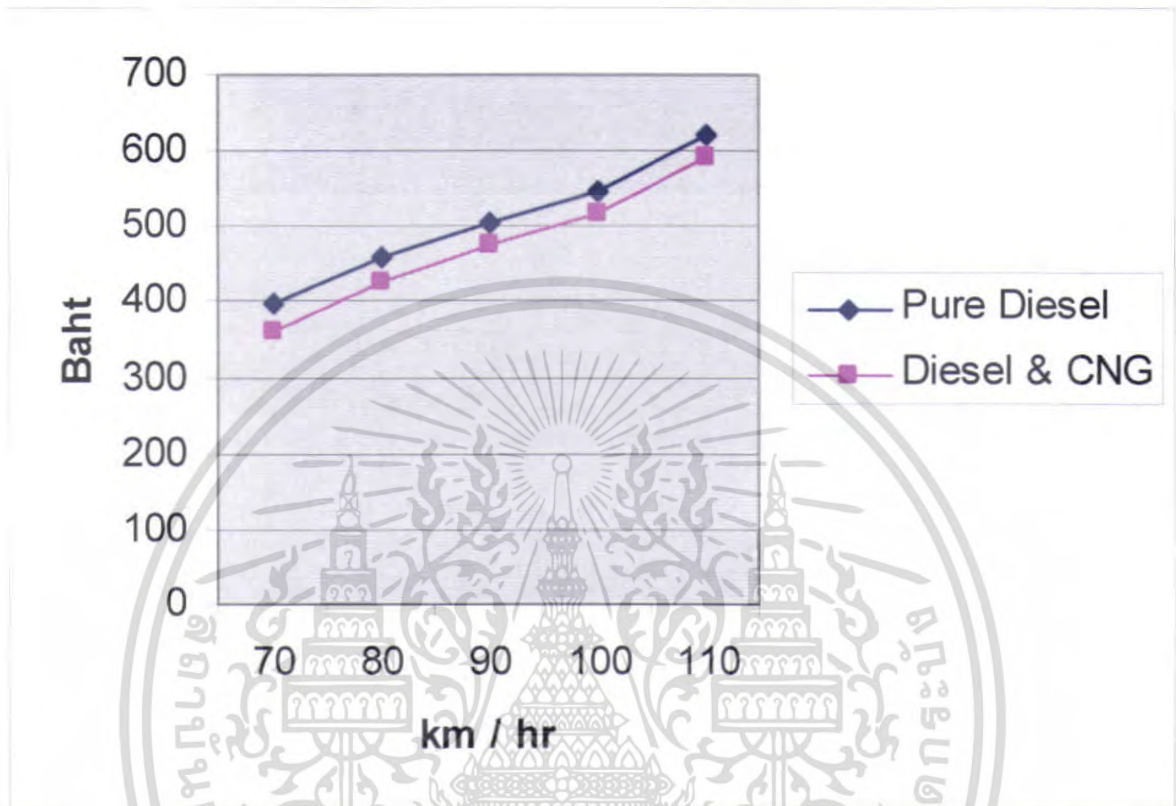
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 กราฟเปรียบเทียบค่าการเกิดความร้อนต่อกำลังงานของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล คิดที่ 1 ชั่วโมง

ในรูปที่ 7.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเกิดความร้อนต่อกำลังงานคิดที่ 1 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel โดยการเทียบคันเร่งสุดและเพิ่ม โหลดให้ได้ความเร็วต่างๆ จะพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel จะมีค่าการเกิดความร้อนน้อยกว่า เครื่องยนต์ดีเซลอย่างเดี่ยวเพราะเราเทียบที่กำลังงานเนื่องจากเครื่องยนต์ Dual Fuel มีกำลังงานที่ มากกว่าเครื่องยนต์ดีเซล คิดต่อกำลังงานเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมมีค่าความร้อนจำเพาะลดลง 5.54 %

### 7.7 อัตราการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง



รูปที่ 7.7 กราฟเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล

ในรูปที่ 7.7 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงคิดที่ 1 ชั่วโมงโดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel โดยการเทียบคันเร่งสุดและเพิ่มโหลตให้ได้ความเร็วต่างๆ จะพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิง ของเครื่องยนต์ Dual Fuel จะมีราคาถูกกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว เนื่องจากก๊าซ CNG มีราคาถูก คิดเป็นค่าเฉลี่ยมีค่าใช้จ่ายลดลง 6.02 %

## 7.8 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

Pure Diesel			
Speed	Power (Engines) kW	Power (Fuel) kW	Engines efficiency %
70	36.41	137.73	26.43
80	40.74	160.19	25.26
90	41.11	176.35	23.31
100	39.08	189.63	20.61
110	36.67	215.81	16.99

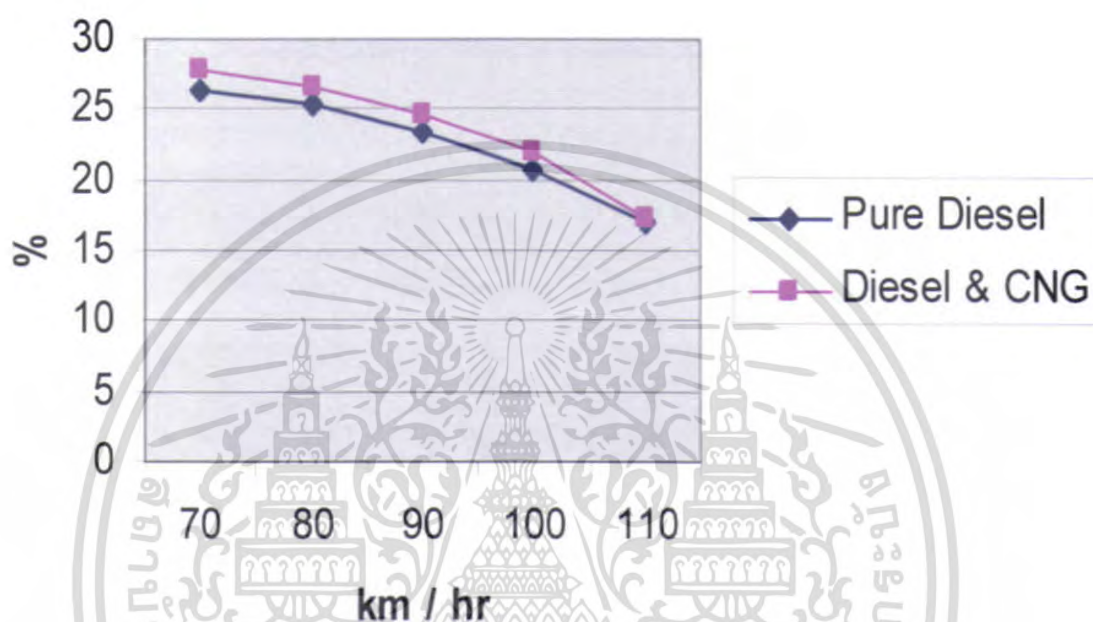
ตารางที่ 7.7 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลอย่างเดียว

Diesel & CNG			
Speed	Power (Engines) kW	Power (Fuel) kW	Engines efficiency %
70	38.32	138.25	27.72
80	42.76	161.24	26.52
90	43.89	177.85	24.68
100	42.63	194.43	21.92
110	38.57	222.55	17.33

ตารางที่ 7.8 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Speed กับ Engines efficiency



รูปที่ 7.8 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องยนต์ของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซล

ในรูปที่ 7.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ Dual Fuel กับดีเซลโดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel โดยการเทียบคันเร่งสุดและเพิ่มโหลดให้ถึงความเร็วต่างๆ จะพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel จะมีประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่สูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลอย่างเดียวนิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.95 %

### 7.9 ปริมาณมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

จากการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลค่าที่วัดได้จากเครื่องมีค่า 2.62 1/m และเครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel ค่าที่วัดจากเครื่องได้ 2.58 1/m ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ค่ามาตรฐานกำหนดไว้ไม่เกิน 2.72 1/m หรือคิดเป็น 50% แต่ในสภาวะที่มีโหลดมากๆ เครื่องยนต์ที่ใช้ Dual Fuel จะมีปริมาณควันดำมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบครั้งนี้พบว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมสามารถพัฒนานำมาใช้งานได้จริง ซึ่งสภาวะที่ให้ประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุดนั้นต่างไปจากจากเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว สรุปได้ดังนี้

#### 8.1 กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม Dual Fuel

กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม NGV กับดีเซล ที่มีการปรับลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลให้น้อยลง นั้นผลที่เกิดขึ้นคือเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงรวมนี้จะให้กำลังที่สูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลอย่างเดียว จากผลที่ได้คือ เครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม NGV กับดีเซล มีกำลังสูงสุดที่ 43.89 kW เครื่องยนต์ดีเซลอย่างเดียว มีกำลังสูงสุดที่ 41.11 kW คิดเป็น 6.76 %

จะเห็นว่ากำลังสูงสุดที่ทำได้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมขึ้นอยู่กับ การปรับลดปริมาณการฉีดของน้ำมันดีเซลลงนั่นเอง ซึ่งสามารถปรับให้กำลังสูงสุดมากหรือน้อยกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียวก็ได้ แต่หากไม่มีการปรับลดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลลงให้เหมาะสมจะทำให้อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศไม่เหมาะสม ค่ามลพิษควันดำที่เกิดจากการเผาไหม้ก็จะสูงขึ้นมากตามไปด้วย

อย่างไรก็ตามที่ภาวะโหลดสูงสุดของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมมีค่าควันดำสูงกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว เพราะปริมาณดีเซลที่เข้าไปในห้องเผาไหม้มากเกินไปเมื่อเทียบกับปริมาณอากาศที่ลดน้อยลงเพราะถูกแทนที่ด้วย NGV

#### 8.2 ปริมาณควันดำของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม Dual Fuel

ปริมาณควันดำของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม NGV กับดีเซล ที่มีการปรับลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซล พบว่าที่สภาวะการใช้งานทุกสภาวะโหลด มีค่าควันดำต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว เพราะการลดปริมาณดีเซลลงทำให้อัตราส่วนของเชื้อเพลิงกับอากาศเปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างไรก็ตามที่สภาวะโหลดสูงมากๆ ปริมาณควันดำมีแนวโน้มที่จะสูงมากขึ้น น่าจะเป็นเพราะปริมาณดีเซลที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศสูงขึ้น

เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสมที่สภาวะการใช้งานบางสภาวะโหลดมีผลของควันดำที่เปลี่ยนไปจากเครื่องยนต์ดีเซลอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าการใช้เชื้อเพลิงผสมมีผลทำให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์เปลี่ยนไปด้วย

### 8.3 อัตราการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม Dual Fuel

อัตราค่าใช้จ่ายการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมโดยเฉลี่ยแล้วลดลง 6.02% คิดที่ 1 ชั่วโมง คิดเป็น 29บาท / 1 ชั่วโมง / 90 km ถ้าค่าติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดของระบบนี้ราคาประมาณ 40,000บาท เพราะฉะนั้นจะใช้ระยะทางประมาณ 120,000 km แต่ถ้าในสภาวะปกติ อัตราค่าใช้จ่ายจะลดลงมากกว่านี้เนื่องจากเราไม่ได้เทียบคันเร่งสุดตลอดเวลา

### 8.4 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากระบบที่เราใช้ทดลองเป็นระบบดูดจึงไม่สามารถควบคุมปริมาณการจ่ายก๊าซกับน้ำมันได้ จึงทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและการประหยัดเชื้อเพลิงก็เพิ่มเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการใช้เครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซระบบหัวฉีดซึ่งสามารถควบคุมโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์คอนโทรล ที่สามารถควบคุมได้ทั้งปริมาณการจ่ายก๊าซ NGV และปริมาณของน้ำมันดีเซลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การทดลองนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลให้สามารถใช้ร่วมกับก๊าซธรรมชาติอัดได้ โดยการทดสอบครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์ วิธีการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ ศึกษาและเปรียบเทียบกำลังงาน และอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงรวมไปถึงมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ เพื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว สำหรับการทดสอบครั้งนี้เป็นการศึกษาแนวทางกว้าง ๆ เท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้ผลงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผู้ทำการทดสอบจึงมีข้อเสนอแนะเพื่อแนวทางการศึกษาและพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไป

1. ทำการศึกษาและทดลองการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่ A/F ratio ต่าง ๆ
2. ทำการศึกษาและหาอุปกรณ์เสริมที่ช่วยให้ประหยัดน้ำมันและเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์
3. ออกแบบ Gas Mixer ใหม่เพื่อเปรียบเทียบการใช้งาน
4. ศึกษาถึงการเปลี่ยนมุมมองของการฉีดน้ำมันเพื่อดูผลการทดสอบและหามุมองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสม
5. ศึกษาถึงการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่ผลมาจากการใช้ก๊าซธรรมชาติอัด
6. ศึกษาผลกระทบและคุณสมบัติของน้ำมันเครื่องจากการใช้ก๊าซธรรมชาติอัด

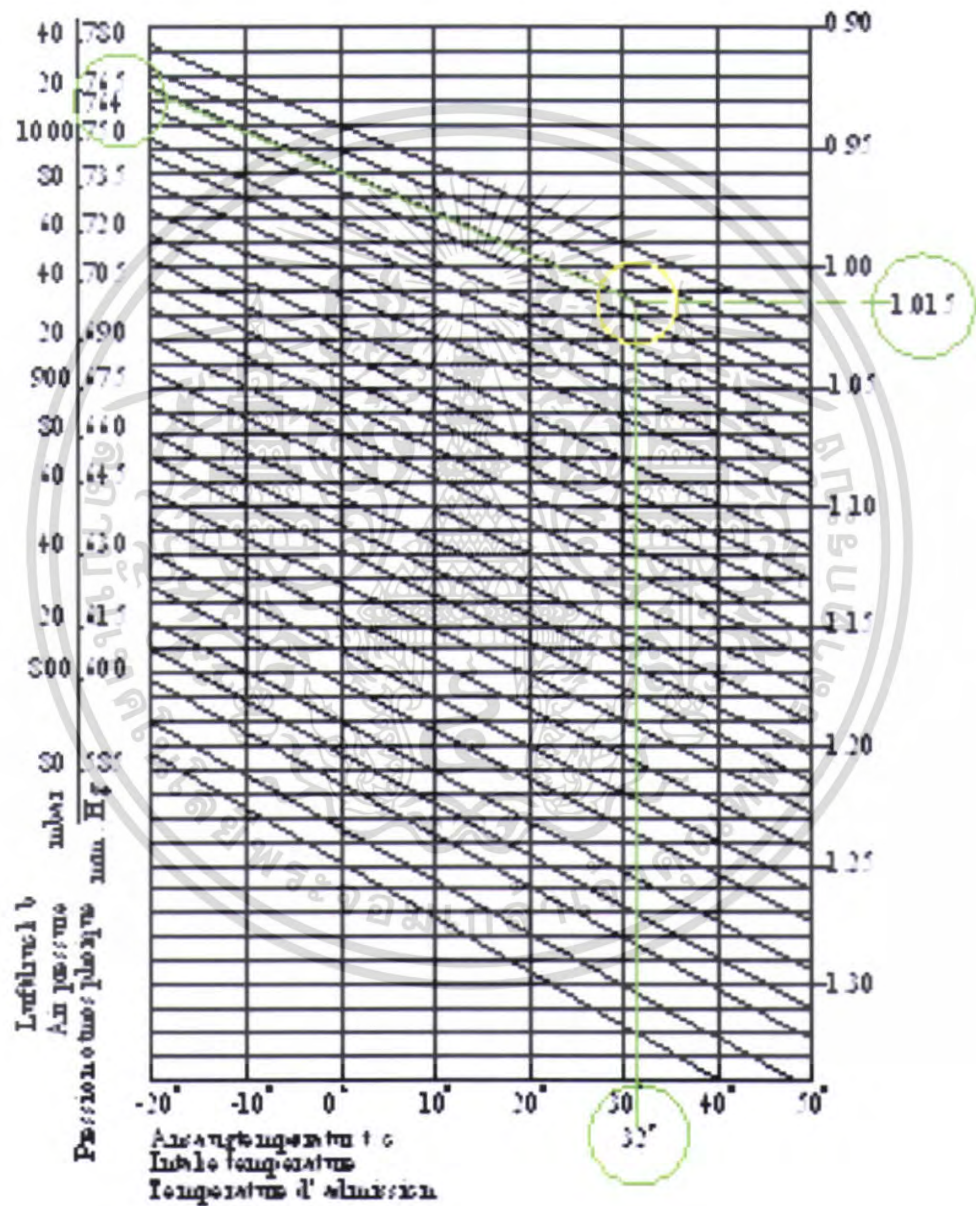
## บรรณานุกรม

- [1] John B. Heywood ,Internal Combustion Engine Fundamentals
- [2] V Ganesan , Internal Combustion Engine
- [3] Willard W. Pulkrabek, Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine
- [4] Yunus A.Cengel, Michael A. Boles, Thermodynamics An Engineering Approach
- [5] Wilbert E Stoecker, Design of Thermal systems Third Edition, Mcgraw-hill Book Company
- [6] George, Z.,and Harry C.,Alternative Ignition systems for CNG in Diesel applications 1<sup>2th</sup>  
Internationnal Pacific Conference on Automotive Engineering
- [7] ประเสริฐ เทียนนิมิต,ขวัญชัย สันทิพย์สมบุรณ์,ปานเพชร ชินนทร,เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น ซีอีดียูเคชั่น
- [8] บริษัท ปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย จำกัด(มหาชน)
- [9] ร.ศ วีระยุทธ สุวรรณประทีป Auto Motive Engineering
- [10] ศ.ดรวรฤทธิ์ อึ้งภากรณ์,รศ.ชาญณนิต,การออกแบบเครื่องกล เล่ม 1-2 ซีอีดียูเคชั่น
- [11] ศรีณรงค์ ตู่ทองคำ,ธิตี ธาตรีรานนท์,พงษ์วุฒิ สิทธิพล,ทฤษฎี ดีเซล โรงพิมพ์เจริญธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

กราฟไวก้า ค่า k เพื่อนำไปคำนวณหาค่าพาวเวอร์ที่แท้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้