

การพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กให้สามารถใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม

ปริญญาานิพนธ์

ของ

พลิชฐ์ มีอัสนัต

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤษภาคม 2550

การพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กให้สามารถใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม

ปริญญาานิพนธ์

ของ

พลีษฐ์ มีอสังข์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤษภาคม 2550

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กให้สามารถใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม

บทคัดย่อ

ของ

พลิชัฐ มีอัสนัต

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤษภาคม 2550

พลีษฐ์ มือสันทัด. (2550). การพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กให้สามารถใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม. ปรินูญานินพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์ ดร.พิชัย อัมภมมงคล, ผศ.วิจิต บัวแก้ว.

ปรินูญานินพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม โดยการป้อนแก๊สแอลพีจีเข้าทางท่อร่วมไอดีโดยตรง แล้วพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว โดยการศึกษาี้จะทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที แล้วเพิ่มภาระโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจาก 0, 10, 30, 50, 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ของภาระที่กำหนดสูงสุด 4,250 วัตต์ตามลำดับ โดยการเพิ่มภาระโหลดแต่ละค่าจะทำการปรับอัตราเร่งเครื่องยนต์ให้ได้ความเร็วรอบคงที่ที่ 1,500 รอบต่อนาที โดยการเพิ่มส่วนผสมของเชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจีร่วมกับน้ำมันดีเซลแล้วบันทึกค่าต่างๆ ตามลำดับ

ผลการทดสอบพอสรุปได้ดังนี้ ที่ภาระโหลดเครื่องยนต์ 50 เปอร์เซ็นต์ คือภาระโหลดสูงสุดและสัดส่วนของน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีสูงสุดเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์สามารถเดินเครื่องได้เป็นปกติ เมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม และเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมมีสมรรถนะต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และแก๊สไฮโดรคาร์บอนจากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว

The Development of a Small Diesel Engine Using LPG As Dual -Fuel

AN ABSTRACT

BY

PASIT MUEASANTAD

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Master of Engineering degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwirot University

May 2007

Pasit Mueasantad . (2007). *The Development of a small Diesel Engine Using LPG As Dual-Fuel*. Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering). Bangkok:Graduate School,Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr. Pichai Asadamongkon , Asst. Prof. Vichit Buakaew.

The purpose of this thesis was to study the diesel engine performance and combustion efficiency. A mixture of Diesel Fuel and LPG at various ratios were used as engine fuel.The study of engine performance and combustion efficiency was conducted when the engine speed was kept constant at 1,500 rpm while the loads of generator were increased from 0 to 90 percentage of the maximum load.

In the study the engine performance and combustion efficiency were compared with those results from the engine used only diesel oil. All test results were calculated and measured from the fixed speed engine run at 1,500 rpm and at the load of generator 0, 10, 30, 50, 70 and 90 percentage of maximum load of generator. This studying will increase the rate of LPG mixing before engine knock.

The maximum percentage of LPG used was considered when the engine still performed normally unstill engine started to knock. It can be conclude from the results that. A mixture of Diesel Fuel and LPG at a ratio of 1:1 gave the last engine performance at 50 percentage of the maximum load. However, engine performance was much lower when using a mixed fuel than using the diesel as a sole fuel. Also the exhaust gas contained higher CO and HC than that when using only diesel Fuel.

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กให้สามารถใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม” สามารถดำเนินการไปด้วยความเรียบร้อย และประสบผลสำเร็จไปด้วยดี โดยได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานและบุคลากรดังนี้ คือ

ดร.พิชัย อัฐมมงคลซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ.วิจิต บัวแก้ว เป็นที่ปรึกษาร่วมที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำ ให้ความคิดเห็น และข้อแก้ไขต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้อนุเคราะห์สนับสนุนเครื่องยนต์เพื่อใช้ทดสอบเก็บข้อมูลในการทำงานการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ในโครงการความร่วมมือหลักสูตรปริญญาโท มศว. และ รร.จปร. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการจัดหาสถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้มาโดยตลอด

นอกจากนี้ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่น้องทุกคนที่สนับสนุนและให้กำลังใจตลอดจนขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นทุกคนที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจและผู้ที่มีความช่วยเหลือทุกท่านซึ่งมิได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ในด้านต่างๆ อีกหลายด้าน จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

พลีษฐ์ มีอสังข์

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	วัตถุประสงค์.....	2
	ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
	วัฏจักรผสม.....	3
	การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล.....	4
	การคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	6
	การเผาไหม้ตามทฤษฎี.....	8
	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง.....	10
	คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล.....	10
	คุณสมบัติที่สำคัญของแก๊สแอลพีจี.....	12
	ไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซล.....	13
	มาตรฐานมลพิษ.....	15
	บทปริทัศน์วรรณกรรม.....	19
3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	26
	เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย.....	27
	เครื่องยนต์ดีเซล.....	27
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ.....	28
	ชุดควบคุมการทดสอบ.....	29
	อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า.....	29
	อุปกรณ์วัดแก๊สไอเสีย.....	30
	อุปกรณ์วัดปริมาณอากาศ.....	31
	อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล.....	32

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3 (ต่อ)	อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองแก๊สแอลพีจี.....	32
	อุปกรณ์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์.....	33
	อุปกรณ์ลดแรงดันแก๊สแอลพีจี.....	33
	ถังบรรจุแก๊สแอลพีจีและอุปกรณ์ปรับแรงดัน.....	34
	วิธีและขั้นตอนการทดสอบ.....	35
4	ผลการวิจัย.....	36
	สมรรถนะเครื่องยนต์.....	36
	ปริมาณแก๊สไอเสีย.....	42
5	สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	52
	สรุปผลและอภิปรายผล.....	52
	ข้อเสนอแนะ.....	53
	บรรณานุกรม.....	55
	ภาคผนวก	58
	ภาคผนวก ก.....	59
	ภาคผนวก ข.....	62
	ภาคผนวก ค.....	67
	ภาคผนวก ง.....	78
	ประวัติย่อผู้วิจัย.....	80

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แผนภาพ P-V และ T-S ของวัฏจักรผสม.....	3
2 กระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล.....	5
3 แสดงการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์เมื่อเทียบกับอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ.....	14
4 แสดงการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนออกไซด์เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง.....	14
5 แผนภาพการทดสอบ.....	26
6 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	27
7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระแสสลับ.....	28
8 ชุดควบคุมการทดสอบ.....	29
9 อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า.....	29
10 การติดตั้งอุปกรณ์วัดแก๊สไอเสีย.....	30
11 การติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณอากาศ.....	31
12 การติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล.....	32
13 การติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองแก๊สแอลพีจี.....	32
14 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์.....	33
15 อุปกรณ์ลดแรงดันแก๊สแอลพีจี(หม้อต้ม) ก่อนจ่ายเข้าเครื่องยนต์.....	33
16 ถังบรรจุแก๊สแอลพีจี.....	34
17 การติดตั้งชุดทดสอบ.....	34
18 เปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ 1,500 rpm.....	36
19 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราส่วนการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	37
20 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราส่วนการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	38
21 แสดงกราฟเปรียบเทียบพลังงานสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	39

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
22 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังงานสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	40
23 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	41
24 แสดงกราฟปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ จากแก๊สไอเสียที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	42
25 แสดงกราฟปริมาณ คาร์บอนมอนอกไซด์ จากแก๊สไอเสียที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	43
26 แสดงกราฟปริมาณแก๊ส O ₂ จากแก๊สไอเสียที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	44
27 แสดงกราฟปริมาณแก๊ส NOX จากแก๊สไอเสียที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	45
28 แสดงกราฟปริมาณไฮโดรคาร์บอน จากแก๊สไอเสียที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	46
29 แสดงสมรรถนะโดยรวมของเครื่องยนต์ที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเมื่อภาระโหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	47
30 แสดงปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเมื่อภาระโหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	48
31 แสดงสมรรถนะโดยรวมของเครื่องยนต์ที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจีเมื่อส่วนผสมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	49
32 แสดงปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจีเมื่อส่วนผสมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm.....	50

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 องค์ประกอบของอากาศแห้ง.....	9
2 ค่ามาตรฐานไอเสียของสหรัฐอเมริกา.....	16
3 ค่ามาตรฐานมลพิษของ EEC.....	16
4 ค่ามาตรฐานมลพิษตามมาตรฐานของ EECเมื่อนำหนักรถเป็นเกณฑ์.....	17
5 มาตรฐานมลพิษสำหรับยานพาหนะใหม่.....	17
6 มาตรฐานมลพิษทางอากาศจากรถใช้งาน (รถยนต์ดีเซล).....	19
7 ตารางข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว.....	60
8 ตารางข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้น้ำมันดีเซลและแก๊สแอลพีจี.....	61
9 ตารางคุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการการใช้พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ต้นกำลังมีแนวโน้มสูงขึ้นมาก โดยส่วนใหญ่การนำเข้าของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยคิดเป็นสัดส่วนเปรียบเทียบกับเมื่อปี 2548 พบว่า ความต้องการการใช้ของน้ำมันดีเซลสูงถึง 49 เพอร์เซ็นต์ รองลงมาคือน้ำมันเบนซิน 19 เพอร์เซ็นต์ และยังพบว่าปริมาณการใช้ของน้ำมันเชื้อเพลิงสูงมากในด้าน การคมนาคมขนส่ง อุตสาหกรรมและการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำมันดีเซล การที่มีการใช้น้ำมันดีเซลในด้านนี้สูงก็ย่อมเกิดปัญหาทางด้านการขาดดุลการค้ากับต่างประเทศอย่างแน่นอน สาเหตุเป็นเพราะประเทศไทยยังต้องนำเข้าน้ำมันดิบเพื่อนำมากลั่นเป็นน้ำมันดีเซลและน้ำมันเชื้อเพลิงสำเร็จรูปอื่นๆ และยังคงต้องนำเข้าน้ำมันดีเซลสำเร็จรูปเข้ามาบางส่วนอีกด้วย ดังนั้นการนำพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนมาใช้ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ดีและมีประโยชน์ต่อประเทศชาติเป็นอย่างมากซึ่งในปัจจุบันพบว่า มีการศึกษาค้นคว้า และวิจัยทั้งในภาครัฐและภาคเอกชนกันมากขึ้น ทั้งนี้ก็เพื่อค้นหาชนิดของเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้ทดแทน หรือผสมเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลักให้มากที่สุด โดยในขณะนี้ได้มีการค้นคว้าวิจัย และ พัฒนาการนำแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas) หรือแก๊สแอลพีจี ซึ่งสามารถผลิตได้ในประเทศ มาใช้ทดแทนและผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงหลัก

สำหรับแก๊สปิโตรเลียมเหลว หรือแก๊สแอลพีจี นั้น ถือว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถนำมาทดแทนหรือผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงหลักได้ และนอกจากนี้ยังไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์มากนัก เพราะเมื่อเทียบค่าคุณสมบัติต่างๆ กันกับน้ำมันดีเซลแล้วพบว่าสามารถที่จะผสมกันได้ ในอัตราส่วนที่พอเหมาะ โดยให้น้ำมันดีเซลเป็นตัวจุดระเบิดนำและพบว่าเมื่อผสมกันแล้วยังให้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่สูงกว่า ค่าซีเทนสูงขึ้นและยังลดควันดำ ฝุ่นละออง แก๊สไอเสีย ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่อาจก่อมลภาวะต่างๆ ลดลงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล 100 เพอร์เซ็นต์เพียงอย่างเดียวอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแก๊สแอลพีจีกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

1.2.2 เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาดเล็กที่ใช้ น้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างน้ำมันดีเซลอย่างเดียวกับน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้เชื้อเพลิงร่วมระหว่างแก๊สแอลพีจีกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสมต่างๆ กันโดยน้ำหนักหรือในอัตราส่วนเท่าที่เครื่องยนต์ยังทำงานได้อย่างปกติ โดยกำหนดภาระจาก 0-50 เปอร์เซ็นต์ของภาระโหลดทั้งหมดแล้ววัดค่าเก็บข้อมูล

1.3.2 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล สูบเดียว 4 จังหวะยี่ห้อ TIGER รุ่น TGD1100 และทำการทดสอบสมรรถนะที่ภาระโหลดเปลี่ยนไปโดยกำหนดความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm แล้ววัดค่าเก็บข้อมูล

1.3.3 ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก กำหนดความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้คงที่และให้ภาระโหลดเปลี่ยนไปแล้ววัดค่าเก็บข้อมูล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ผลการวิจัยเพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์เมื่อใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม

1.4.2 ได้ผลการวิจัยเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะและไอเสียที่ปลดปล่อยออกจากเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้แก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม

1.4.3 เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องยนต์สำหรับพลังงานทดแทนในอนาคต

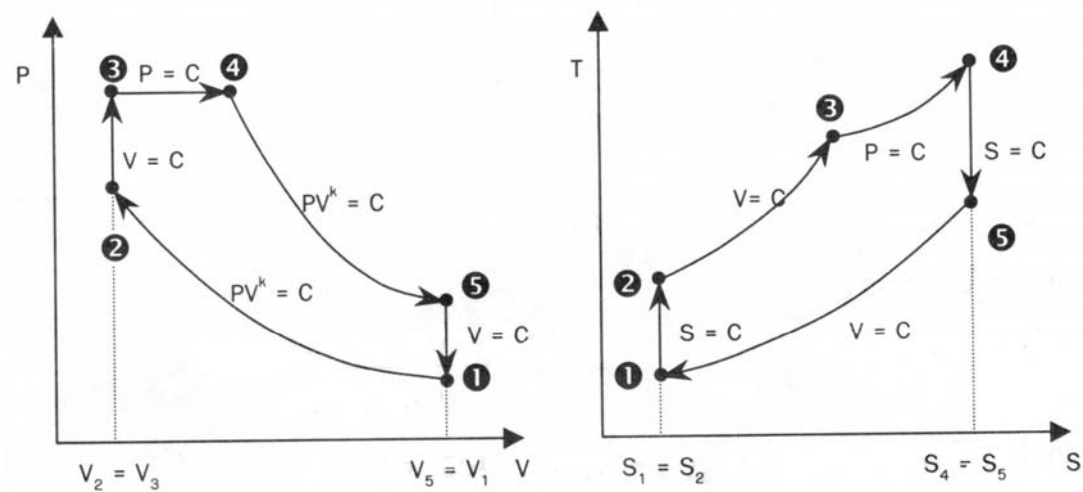
1.4.4 เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องยนต์เพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัฏจักรผสม (Dual Cycle)

วัฏจักรนี้เป็นต้นแบบของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว (High speed diesel cycle) หรือเป็นวัฏจักรที่มีคุณสมบัติเข้าใกล้วัฏจักรของจริงเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล คือการเผาไหม้ในช่วงแรกจะมีลักษณะปริมาตรคงที่ แต่ในช่วงหลังจะเป็นแบบความดันคงที่ สาเหตุที่มีการเผาไหม้ดังกล่าวเนื่องจากการเผาไหม้ในช่วงแรกจะเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีการระเหยตัวง่ายก่อนซึ่งเป็นในลักษณะเผาไหม้แบบทันทีทันใด ส่วนเชื้อเพลิงที่ระเหยตัวช้าจะเกิดการเผาไหม้ที่หลังเมื่ออุณหภูมิของห้องเผาไหม้สูงมากพอ ซึ่งการเผาไหม้ในครั้งหลังนี้ลูกสูบของเครื่องยนต์ได้เคลื่อนที่ลงซึ่งทำให้ความดันภายในห้องเผาไหม้คงที่หรือกรณีการเผาไหม้ในลักษณะนี้อาจเกิดจากการควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยการฉีดน้ำมันในช่วงแรกจะฉีดเข้าห้องเผาไหม้ในปริมาณน้อย (ฉีดขณะลูกสูบเลื่อนขึ้นก่อนถึงจุดศูนย์ตายบนประมาณ 30 ถึง 40 องศา) ทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างฉับพลันเมื่อลูกสูบเลื่อนถึงจุดศูนย์ตายบน จากนั้นจึงฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากกว่าครั้งแรกเพื่อให้เกิดการเผาไหม้แบบความดันคงที่แม้ว่า วัฏจักรผสมจะมีประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำกว่าวัฏจักรออตโตแต่สูงกว่าวัฏจักรดีเซลและยังประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่าวัฏจักรดีเซล วัฏจักรผสมประกอบด้วย 5 กระบวนการ ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แสดงแผนภาพ P-V และ T-S ของวัฏจักรผสม

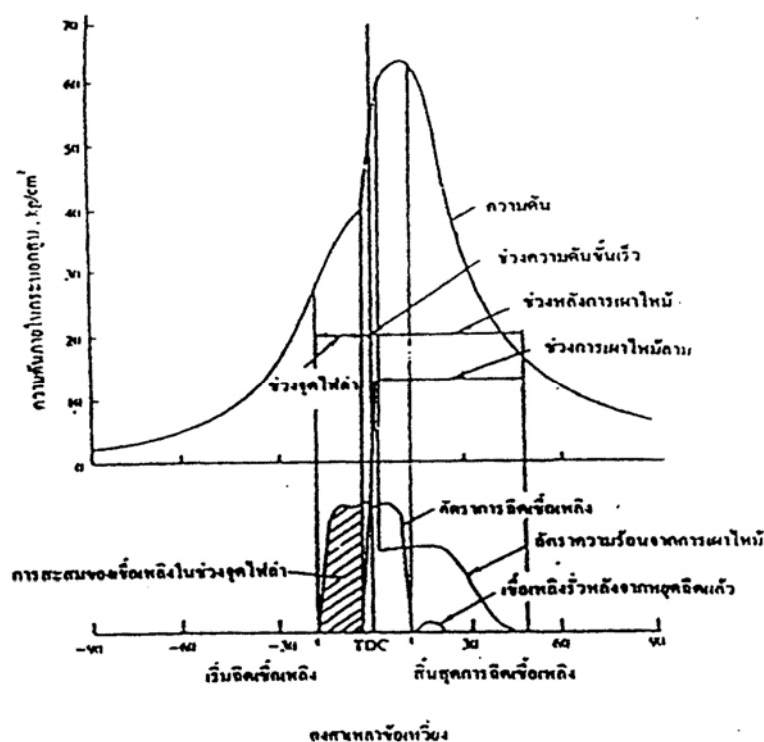
2.2 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล (Internal Combustion Diesel Engine)

กระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล เป็นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและอากาศ ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ซึ่งในจังหวะดูดเครื่องยนต์จะดูดเอาแต่อากาศเพียงอย่างเดียว แล้วอากาศนี้จะถูกอัด จนถูกสูบเคลื่อนที่เกือบถึงจุดศูนย์ตายบน อากาศที่ถูกอัดนี้จะมีความดันสูง และอุณหภูมิสูง เมื่อน้ำมันดีเซลถูกฉีดเข้ามา ละอองของน้ำมันที่ได้รับความร้อนจะกลายเป็นไอของน้ำมัน ไปผสมกับอากาศที่ดูดเข้ามาเกิดเป็นสารผสมขึ้น เมื่อสารผสมที่เกิดขึ้นในกระบอกสูบมีอัตราส่วนเชื้อเพลิงและอากาศพอดีกับการเผาไหม้ก็จะเกิดขึ้น ในเครื่องยนต์ดีเซลการเผาไหม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วงคือ

2.2.1 ช่วงการหน่วงหรือการล่าช้าของการจุดระเบิด (Delay Period หรือ Ignition Delay) คือ ช่วงเวลาระหว่างที่เริ่มฉีดน้ำมันจนถึงจุดเริ่มติดไฟ ช่วงนี้มีความสำคัญมากต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ และรวมทั้งผลกระทบต่อเสียงการสั่นสะเทือนและไอเสีย เมื่อช่วงการหน่วงการจุดระเบิดขึ้นอยู่กับ ตัวเลขซีเทน (Cetane Number) ของเชื้อเพลิงอุณหภูมิและความดันของการอัด การตั้งเวลาการฉีดและการหมุนเวียนของแก๊สในกระบอกสูบ ช่วงนี้จะสั้นเมื่อตัวเลขซีเทนสูง ความดันและอุณหภูมิตั้งการฉีดน้ำมันเข้า (ก่อนจุด ศูนย์ตายบนไม่นาน) ช่วงการหน่วงหรือการล่าช้าของการจุดระเบิดนี้เป็นผลรวมของการล่าช้าของการจุดระเบิดทางฟิสิกส์และทางเคมี (Physical Delay และ Chemical Delay) คือ ช่วงของการล่าช้าของการจุดระเบิด น้ำมันที่ถูกฉีดเข้ามาจะแตกตัวออกเป็นหยด และเมื่อได้รับความร้อนจะระเหยแล้วรวมตัวกับอากาศเป็นสารผสมหลังจากนี้เป็นช่วงของการล่าช้าของการจุดระเบิดทางเคมี ในช่วงนี้ไฮโดรคาร์บอนหนักในสารผสม จะแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนเบาแล้วเกิดการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศขึ้น ปกติการล่าช้าของการจุดระเบิดทางฟิสิกส์ จะสั้นมากโดยเฉพาะถ้าเทียบกับน้ำมันเบนซินแล้วจะเห็นว่าช่วงเวลาที่น้ำมันดีเซลระเหยนี้ใช้เวลาเพียง 1/3 หรือ 1/2 เท่าของน้ำมันเบนซินเท่านั้น แล้วแต่อุณหภูมิไอดี ดังนั้น จะเห็นว่า การล่าช้าของการจุดระเบิดทางฟิสิกส์มีผลน้อยมากต่อ การล่าช้าของการจุดระเบิด ดังนั้นผลของการเผาไหม้จึงเป็นผลส่วนใหญ่เนื่องมาจาก การล่าช้าของการจุดระเบิดทางเคมี

2.2.2 ช่วงความดันขึ้นเร็ว (Rapid Pressure Rise Period) คือ ช่วงเวลาเริ่มติดไฟจนถึงความดันสูงสุด หรือช่วงที่ความดันเพิ่มอย่างรวดเร็ว ถ้าอัตราเพิ่มความดันสูงมากเกินไปทำให้เครื่องน็อก และเกิดการสั่นกำลังของเครื่องจะตกจะมีสารมลพิษในไอเสียมาก ถ้าช่วงอัตราความดันจะดีก็ต่อเมื่อช่วงจุดไฟล่าช้าสั้นยิ่งยาวอัตราความดันจะยิ่งสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะถ้าช่วงจุดไฟล่าช้ายาว ปริมาณเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้ามากระบอกสูบจะสะสมมีมากขึ้น เมื่อเกิดการติดไฟก็จะติดหลายๆ จุดขึ้นพร้อมๆ กันทำให้ความดันเพิ่มสูงอย่างรวดเร็วเกินไป

2.2.3 ช่วงการเผาไหม้ลาม (Combustion Propagation Period) ความจริงแล้วการเผาไหม้ก็จะลามทันทีแต่ในช่วง 2 นั้น การเผาไหม้ลามอย่างรวดเร็วมาก สำหรับในช่วง 3 การลามจะค่อยสม่ำเสมอขึ้นแล้วก็ช้าลง ทั้งนี้เพราะเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้ามาอยู่เรื่อยๆจะระเหยและดึงความร้อนจากกระบอกสูบ เชื้อเพลิงที่ระเหยจะกระจายไปทั่วกระบอกสูบ และผสมกับอากาศและติดไฟต่อไป แต่การติดไฟที่สมบูรณ์จะใช้เวลานานขึ้น เพราะสารผสมกระจายไปสม่ำเสมอ และปริมาณ O_2 ในกระบอกสูบก็ลดลงแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นและวนเวียนไปรอบวนการเผาไหม้ กรณีเช่นนี้ เรียกว่าการแตกตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal Decomposition)



ภาพประกอบ 2 แสดงกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล

2.2.4 ช่วงหลังการเผาไหม้ (Blow - down Period) หรือหลังจากการเผาไหม้ ช่วงนี้น้ำมันหยุดฉีดแล้ว แต่การเผาไหม้ยังลามต่อไป เชื้อเพลิงที่กระจายไปรอบๆ กระบอกสูบที่ขาด O_2 และสารอนุภาคของแข็ง ที่เกิดก็จะลามติดไฟอย่างช้าๆ แม้ว่าลิ้นที่หัวฉีดจะปิดแล้วแต่ก็จะเกิดน้ำมันรั่วออกมาอีก เนื่องจากความดันที่ค้างในท่อน้ำมันของน้ำมันที่รั่ว บางที่เรียกว่า Secondary Injection (การฉีดตกค้าง) จะไม่สามารถเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ จะทำให้เกิดควันดำและไฮโดรคาร์บอน ไอเสียที่ออกมาในช่วงหลังการเผาไหม้ งานที่ได้น้อยมากทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ ฉะนั้นในช่วงนี้จึงมีแต่การเพิ่มอุณหภูมิไอเสียเท่านั้น⁽⁶⁾

2.3 การคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (Brake Specific Fuel Consumption) คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ไปต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อกำลังงานเบรคของเครื่องยนต์ หาได้จากสมการ

$$B_{sfc} = \frac{\dot{m}_f \times 3600}{BP} \quad (1)$$

เมื่อ B_{sfc} คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (kg/kW.hr)

\dot{m}_f คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/hr.)

สามารถหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้โดย

$$\dot{m}_f = \frac{w_f \times 3600}{t} \quad (2)$$

เมื่อ w_f คือ มวลของเชื้อเพลิง (kg)

t คือ เวลาที่เชื้อเพลิงถูกใช้ไป (sec.)

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรค (Brake Specific Energy Consumption) คือ จำนวนของพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อกำลังงานเบรคของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นกำลังงานเบรคของเชื้อเพลิง หาได้จากสมการ

$$B_{sec} = Q_{HV} \times B_{sfc} \quad (3)$$

เมื่อ B_{sec} คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรค (kJ/kW.hr.)

Q_{HV} คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

กำลังงานเชื้อเพลิง (Fuel Power) เป็นการคิดค่ากำลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง จากอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ซึ่งหาได้จาก

$$FP = \dot{m}_f \times Q_{HV} \quad (4)$$

เมื่อ FP คือ กำลังงานเชื้อเพลิง (kW)
 Q_{HV} คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (Brake Thermal Efficiency) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เครื่องยนต์ส่งออก (Power Output) กับพลังงาน (Energy) ที่เกิดจากการสันดาปน้ำมันเชื้อเพลิง ความร้อนที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิง ไม่สามารถนำไปมาใช้ได้ทั้งหมด เพราะความร้อนบางส่วนต้องสูญเสียให้กับระบบหล่อเย็น (Cooling) ระบบหล่อลื่น (Lubricating) และยังสูญเสียไปกับการระบายแก๊สร้อนหรือไอเสีย ซึ่งถือว่ามีปริมาณการสูญเสียมากที่สุดในเครื่องยนต์ การสูญเสียความร้อนดังกล่าวเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพความร้อนลดลง

ประสิทธิภาพความร้อนสามารถหาได้จากหลายกรณีบางครั้งอาจหาได้จากกำลังม้าอินดิเคต เรียกว่าประสิทธิภาพทางความร้อนบ่งชี้หรือฐานอินดิเคต (Indicated Thermal Efficiency: η_{it}) หรืออาจหาจากกำลังม้าเบรค ซึ่งเรียกประสิทธิภาพทางความร้อนเบรคหรือบนฐานเบรค (Brake Thermal Efficiency: η_{BTH})

$$\eta_{BTH} = \frac{BP}{FP} \times 100 \quad (5)$$

η_{BTH} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (เปอร์เซ็นต์)
 BP คือ กำลังงานเบรคของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบ (kW)
 FP คือ กำลังงานเชื้อเพลิง (kW)

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air – Fuel Ratio)

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จะสมบูรณ์เพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ระยะเวลาในการเผาไหม้ การคลุกเคล้าระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงในกระบอกสูบ และปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งคือ ปริมาณอากาศที่ประจะเข้ากระบอกสูบมากน้อยเพียงใด

$$A/F = \dot{m}_a / \dot{m}_f \quad (6)$$

เมื่อ

A/F คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

\dot{m}_a คือ ปริมาณอากาศเข้ากระบอกลูกสูบ (kg/hr.)

\dot{m}_f คือ อัตราส่วนสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg / hr.)

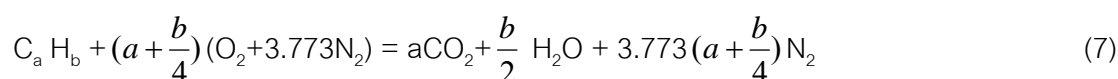
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (Stoichiometric Air Fuel Ratio) ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ต้องการเพื่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ทราบได้จากคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิง สำหรับน้ำมันดีเซล A/F ratio เท่ากับ 14.327 : 1

2.4 การเผาไหม้ตามทฤษฎี (Combustion Stoichiometry)

กระบวนการเผาไหม้ของส่วนผสมของน้ำมันและอากาศ ในกระบอกลูกสูบของเครื่องยนต์เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อ กำลัง ประสิทธิภาพ และปริมาณแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ระหว่างการเผาไหม้จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะเข้าใจการทำงานของเครื่องยนต์

การเผาไหม้ คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนและเกิดเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Combustion) ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอนที่สมบูรณ์ผลิตภัณฑ์ (Product) ที่ได้จากปฏิกิริยาจะประกอบด้วยน้ำ (H_2O) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แต่ถ้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกมาด้วย

สมการการเผาไหม้สมบูรณ์



$$(A/F)_s = m_f / m_a \quad (8)$$

ส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง อาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า ค่าตามทฤษฎี ก็ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ ถ้าหากส่วนผสมมีอากาศมากกว่าทางทฤษฎี คือมีอากาศส่วนเกินเรียกว่า สารผสมบาง (Fuel lean) อากาศส่วนเกินนี้จะไม่ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงและเหลือออกมากับไอเสีย และ การเผาไหม้ที่มีส่วนผสมอากาศน้อยกว่าค่าตามทฤษฎีเรียกว่า สารผสมหนา (Fuel rich)

โดยปกติแล้ว ค่า (A/F) ของเครื่องยนต์ดีเซล จะมีค่าประมาณ อยู่ระหว่าง $0.014 \leq F/A \leq 0.056$

เนื่องจากส่วนประกอบของสารที่ได้จากการเผาไหม้ จะแตกต่างกันสำหรับสารผสมบางและสารผสมหนา และเนื่องจากอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศพอดีจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเชื้อเพลิง ดังนั้น จึงมีการกำหนดส่วนประกอบของสารผสมในรูปของอัตราส่วนของ อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศจริง / อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศพอดี ซึ่งได้แก่

อัตราส่วนสมมูลของเชื้อเพลิง / อากาศ (Fuel / air equivalence ratio, ϕ)

$$\phi = \frac{(F/A)_{actual}}{(F/A)_s} \quad (9)$$

สำหรับส่วนสารผสมบาง : $\phi < 1$

สำหรับ Stoichiometric : $\phi = 1$

สำหรับส่วนสารผสมบาง : $\phi > 1$ ⁽²⁰⁾

ตาราง 1 องค์ประกอบของอากาศแห้ง [John B. Heywood: 1988]

Gas	ppm by volume	Molecular Weight	Mole Fraction
O ₂	209,500	31.998	0.2095
N ₂	780,900	28.012	0.7905
A	9,300	38.948	-
CO ₂	300	44.01	-
Air	1,000,000	28.976 = M _{air}	1.0000

ช่วงในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้การเผาไหม้ จะต้องใช้อากาศและเชื้อเพลิงมาทำปฏิกิริยากันโดยอากาศแห้งประกอบด้วยส่วนผสมของแก๊สหลายชนิดได้แก่ออกซิเจน (O₂) 21 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน (N₂) 78 เปอร์เซ็นต์, อาร์กอน (Ar) 0.94 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรและแก๊สที่เหลือเป็นแก๊สอื่นๆ แต่ในอากาศนั้นตามปกติจะมีไอน้ำอยู่ด้วย ซึ่งปริมาณของไอน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นอัตราส่วนที่ใช้วัดปริมาณไอน้ำในอากาศซึ่งเป็นอัตราส่วนของความดันย่อยของไอน้ำที่มีในอากาศขึ้นต่อความดันอิมัตว เราสามารถจะหาปริมาณไอน้ำในอากาศได้จากแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychometric Charts), อุณหภูมิอากาศแห้ง (Dry Bulb) และอุณหภูมิอากาศเปียก (Wet Bulb)

2.5 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Heating Value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงได้จากปฏิกิริยาทางเคมี ระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงกับออกซิเจนที่เกิดขึ้น โดยการสันดาป ไฮโดรเจนที่เป็นส่วนประกอบของเชื้อเพลิงเมื่อรวมกับออกซิเจนจะกลายเป็นน้ำที่อยู่ในรูปของไอน้ำ ถ้ามีโอกาสกลั่นเป็นหยดน้ำก็จะมีความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอเกิดขึ้น ไอน้ำนี้จะออกไปกับไอเสีย ดังนั้น ความร้อนจึงสูญเสียไปกับไอเสียในรูปของความร้อนแฝงด้วย ส่วนที่เหลือจากการสูญเสีย คือ ส่วนเราได้นำมาเป็นกำลังงาน ซึ่งจะมีค่าความร้อนต่ำกว่าค่าความร้อนทั้งหมดที่ได้จากการสันดาปของเชื้อเพลิงค่าความร้อนนี้จึง เรียกว่า ความร้อนต่ำ ส่วนค่าความร้อนรวมทั้งหมดของเชื้อเพลิงเรียกว่าค่ารวมซึ่งมีค่าความร้อนสูง

ค่าความร้อนที่นำมาใช้งานนั้นมีค่าความร้อนต่ำซึ่งถือว่าเป็นค่าสุทธิ โดยทั่วไปน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลจะมีค่าความต้านทานรวมทั้งหมดประมาณ 10,560 ถึง 10,900 kcal/kg และค่าความร้อนสุทธิจะต่ำกว่าค่าความร้อนรวมประมาณ 612 ถึง 723 kcal/kg⁽¹¹⁾

2.6 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล

ในการเลือกใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซล จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติที่สำคัญๆ ต่อไปนี้

2.6.1 ความสามารถในการติดไฟ (Ignition Quality) หมายถึง ความสามารถในการติดไฟของน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าที่ใช้บอกความสามารถในการติดไฟของน้ำมัน เรียกว่า ตัวเลขซีเทน น้ำมันดีเซลในปัจจุบันมีค่าซีเทนนมเบอร์ประมาณ 40 – 60 น้ำมันที่ติดไฟง่ายที่สุด คือ น้ำมันซีเทน ($C_{16}H_{34}$) กำหนดให้มีค่า ตัวเลขซีเทนเท่ากับ 100 และน้ำมันที่ติดไฟยากที่สุด คือ แอลฟาเมทิลเนฟทาไลน์ (Alpha Methyl Naphthalene) มีสูตรทางเคมีเป็น $C_{10}H_7-CH_3$ ให้มีค่า ตัวเลขซีเทน เท่ากับ 0

ส่วนค่าตัวเลขซีเทนอื่นๆ เป็นเปอร์เซ็นต์ของซีเทนโดยปริมาตร ในน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันซีเทนกับแอลฟาเมทิลเนฟทาไลน์ เครื่องมือที่ใช้สำหรับทดสอบหาค่าตัวเลขซีเทนเป็นเครื่องยนต์มาตรฐานชนิดสูบเดี่ยว สามารถปรับอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) ได้ วิธีทดสอบจะใช้ความล่าช้าในการจุดระเบิดเป็นหลักคือ ความล่าช้าในการจุดระเบิดจะลดลงเมื่ออัตราส่วน การอัดเพิ่มขึ้น ความล่าช้าในการจุดระเบิดนี้วัดจากการฉีดน้ำมันของหัวฉีด จนกระทั่งน้ำมันเกิดการเผาไหม้ (กำลังดันในกระบอกสูบสูงขึ้น) การทดลองจะใช้น้ำมันที่มีเปอร์เซ็นต์ ตัวเลขซีเทนต่างๆ กัน มาทำให้เกิดการเผาไหม้ ในกระบอกสูบที่อัตราส่วนการอัดต่างๆ กัน โดยปรับแต่งเครื่องยนต์ให้มีความล่าช้าในการจุดระเบิด 13 องศา ถ้าการเผาไหม้เกิดขึ้นที่อัตราส่วนการอัดต่ำ แสดงว่าน้ำมันมีค่าซีเทนนมเบอร์สูง ถ้าการเผาไหม้เกิดขึ้นที่อัตราส่วนการอัดสูงแสดงว่าน้ำมันมีค่า ตัวเลขซีเทนต่ำน้ำมันที่มีค่า ตัวเลขซี

เทนนิมเบอร์สูงความสามารถในการติดไฟจะดีถึงแม้ว่าอุณหภูมิของเครื่องยนต์ต่ำ น้ำมันที่มีค่า ตัวเลขซีเทนนิมเบอร์ต่ำกว่า 40 เมื่อเกิดการเผาไหม้จะทำให้เกิดควันมาก สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และกำลังที่ผลิตได้จะน้อยกว่าปกติ

ความสามารถในการติดไฟของน้ำมันดีเซล นอกจากจะดูจาก ตัวเลขซีเทนนิมเบอร์แล้ว ยังสามารถดูจาก ตัวเลขดัชนีดีเซล (Diesel Index Number) ; DI ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$DI = \frac{\text{Aniline point } (^{\circ}\text{C}) \times \text{Api gravity}@ (15.6 ^{\circ}\text{C})}{100} \quad (10)$$

แอนนิไลน์ (Aniline) คือ สารประกอบจำพวกแอโรเมติก (Aromatic Compound) ละลายได้ในน้ำมันจำพวกพาราฟินที่มีอุณหภูมิสูงและละลายได้ในน้ำมันจำพวกแอโรเมติก ที่อุณหภูมิต่ำ

จุดแอนนิไลน์ (Aniline Point) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่สารอนิลินละลายในน้ำมันที่มีปริมาตรเท่ากันได้หมด น้ำมันดีเซลที่มีคุณภาพดี จุดแอนนิไลน์ จะต้องสูงกว่า 21°C

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) หมายถึง มวลของน้ำมันในหนึ่งหน่วยปริมาตรต่อ มวลของน้ำในปริมาตรที่เท่ากัน ความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน API (American Petroleum Institute) จะวัดอุณหภูมิ 15.6°C (289 K) [Colin R. Ferguson] ทั้งของน้ำมันเชื้อเพลิง และน้ำ สามารถหาได้จาก

$$API = \frac{141.5}{SG@15.6^{\circ}\text{C}/15.6^{\circ}\text{C}} - 131.5 \quad (11)$$

โดยทั่วไปตัวเลขจากสมการนี้จะบอกค่าตัวเลขซีเทนในน้ำมัน ถ้าตัวเลขสูงแสดงว่าน้ำมันมีค่าตัวเลขซีเทนสูง

2.6.2 ความหนืด (Viscosity) คือ ความต้านทานในการไหลของน้ำมัน ความหนืดมีอิทธิพลต่อรูปร่างลักษณะของลำน้ำมันที่ฉีด (Spray) เข้าไปในห้องเผาไหม้น้ำมันที่มีความหนืดสูงการแตกตัวเป็นละอองเล็กๆ จะเกิดขึ้นยากและน้ำมันจะฉีดทะลุทะลวงไปได้ไกล ส่วนน้ำมันที่มีค่าความหนืดต่ำการฉีดจะแผ่กระจายบริเวณใกล้ๆ หัวฉีดทำให้น้ำมันกระจายไม่ทั่วห้องเผาไหม้ และน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซลมีค่าความหนืดประมาณ 35-40 SUS (Saybolt Universal Second) เครื่องวัดวัดความหนืดโดยทั่วไป เรียกว่า เซโบลท์ วิสโคมิเตอร์ (Saybolt Viscometer)

2.6.3 จุดวาบไฟและจุดติดไฟ (Flash point and Fire point) จุดวาบไฟ หมายถึง จุดที่น้ำมันมีอุณหภูมิต่ำที่สุดที่เกิดไอระเหยขึ้น และเมื่อนำเปลวไฟเข้าใกล้จะเกิดการลุกไหม้ขึ้นวูบหนึ่งแล้วดับหายไป น้ำมันที่มีจุดวาบไฟต่ำจะเป็นอันตรายต่อการเก็บรักษาเนื่องจากติดไฟง่าย น้ำมันดีเซลโดยทั่วไปจะมีจุดวาบไฟประมาณ 650°C และจุดติดไฟ หมายถึง จุดที่น้ำมันมีอุณหภูมิต่ำที่สุดที่เกิดไอระเหยขึ้น และเมื่อนำเปลวไฟเข้าใกล้จะติดไฟขึ้นอย่างต่อเนื่องนานอย่างน้อย 5 วินาที น้ำมันดีเซลปกติ จะมีอุณหภูมิจุดติดไฟประมาณ $70 - 85^{\circ}\text{C}$

2.6.4 จุดแข็งตัว (Cloud Point) หมายถึง อุณหภูมิสูงสุดที่ขี้ผึ้ง (Wax) แยกตัวออกมาเป็นของแข็ง ของแข็งที่เป็นไขหรือขี้ผึ้งนี้จะไปอุดทางเดินในระบบน้ำมันเชื้อเพลิง

2.6.5 จุดไหลเท (Pour Point) หมายถึง จุดที่น้ำมันแข็งตัวหรือหยุดไหล มีความสำคัญมากในขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ที่มีอุณหภูมิต่ำ น้ำมันจะไหลจากถังเก็บไปยังเครื่องยนต์ยาก ทำให้สตาร์ทเครื่องยนต์ไม่ติด โดยทั่วไปจุดไหลเทจะต่ำกว่าจุดแข็งตัวประมาณ $5-10^{\circ}\text{C}$

2.6.6 ความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay) เกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ

- ทางฟิสิกส์หรือกายภาพ เช่น อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อน้ำมัน ชนิดของห้องเผาไหม้ ความดันของน้ำมันที่หัวฉีด คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงและ การตั้งเวลาการฉีด (Timing)

- ทางเคมี เกิดจากอุณหภูมิและความดันขณะน้ำมันเพลิงเกิด การรวมตัวกับออกซิเจน

2.6.7 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur) เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ ออกไซด์จากการเผาไหม้กำมะถันที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงจะไปรวมกับความชื้นในอากาศ ทำให้เกิดกรดกำมะถัน (Sulfuric Acid) กรดนี้จะกัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ให้สึกหรอ และเมื่อรวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่น จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพเกิดยางเหนียวๆ (Gum) จับตามกระบอกสูบและชิ้นส่วนต่างๆ ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ตามมาตรฐานจะกำหนด กำมะถันในน้ำมันดีเซลไม่ควรเกิน 0.25 เปอร์เซ็นต์

2.7 คุณสมบัติที่สำคัญของแก๊สแอลพีจี

แก๊สแอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas) ก็คือแก๊สปิโตรเลียมเหลวหรือแก๊สไฮโดรคาร์บอนเหลว ผลิตได้จากการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมันประกอบด้วยโพรเพนและบิวเทนประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ กับกระบวนแยกแก๊สธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยโพรเพนและบิวเทนประมาณ 6-10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีโพรเพน 40 เปอร์เซ็นต์ บิวเทน 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทั้งสองกระบวนการนี้ยังประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ อีก แก๊สแอลพีจีไม่มีสี ไม่มีกลิ่น หนักกว่าอากาศ มีจุดเดือด -44.5°C จุดเยือกแข็ง -188°C ความดันไอ 2.1 atm ที่ 21.1°C ความหนาแน่นไอ 1.65 kg/m^3 (อากาศ = 1) ความถ่วงจำเพาะ 0.51 ($\text{H}_2\text{O} = 1$) จุดวาบไฟ -104°C ถึงทนแรงดันประมาณ 7-8 bar

2.8 ไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซล

ในเครื่องยนต์ดีเซลสารมลพิษจากเครื่องยนต์ที่มีปริมาณมากที่สุดจากไอเสียคือ ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และอนุภาคของแข็ง (ควันดำ) มีไฮโดรคาร์บอน HC และคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) บ้างแล้วแต่กรณีนอกจากนั้นภาวะมลพิษที่ถือว่าร้ายแรงอีกคือกลิ่นและเสียง และแอลดีไฮด์ จะเห็นว่าแตกต่างจากเครื่องยนต์เบนซิน ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการทำงานการสันดาปภายในกระบอกสูบและคุณสมบัติของเชื้อเพลิง ⁽²⁾ โดยลักษณะการเกิดแก๊สชนิดต่างๆดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 3 และ 4 ดังนี้

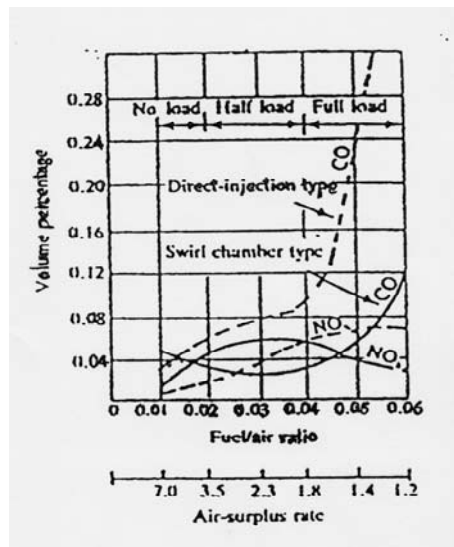
ไฮโดรคาร์บอน เครื่องยนต์ดีเซลจะปล่อยไฮโดรคาร์บอนออกมาน้อยมากด้วยเหตุผลเดียวกับการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ แต่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนจะเพิ่มด้วยเหตุผลอื่นอีกคือ

2.8.1 ส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่หนาจะสัมผัสผนังเสื้อสูบที่อุณหภูมิต่ำซึ่งเป็นเหตุให้เกิดไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและไม่เกิดการเผาไหม้เลย

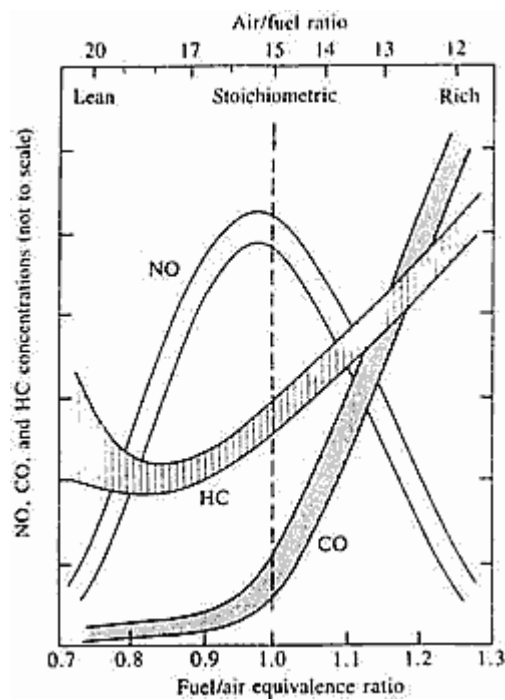
2.8.2 หากส่วนผสมเบาเกินไปเปลวไฟจะดับ ทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอนมาก

2.8.3 น้ำมันเหลือหลังการฉีดของหัวฉีด และส่วนที่เหลือเป็นหยดนี้ไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้ทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน

2.8.4 เชื้อเพลิงหล่อลื่นในเสื้อสูบและกระบอกสูบเผาไหม้จนเกิดการไหม้ จะทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ โดยการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ก็เกิดทำนองเดียวกับเครื่องยนต์เบนซิน เป็นการยากที่จะบอกว่าไนโตรเจนออกไซด์เกิดมากน้อยเท่าไร และเกิดจากที่ไหนในกระบอกสูบ เนื่องจากอัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงและอุณหภูมินั้นเปลี่ยนแปลงตามกันอย่างซับซ้อนมาก ระหว่างช่องของการเกิดการสันดาปในกระบอกสูบที่มีออกซิเจนมาก จะเป็นการสันดาปที่ดี การเผาไหม้จะสมบูรณ์และรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิสูงมาก และที่อุณหภูมิสูงนี้เองจะทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ในช่องนี้มาก



ภาพประกอบ 3 แสดงการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์เมื่อเทียบกับอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ [John B. Heywood: 1988]



ภาพประกอบ 4 แสดงการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนออกไซด์เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง [John B. Heywood: 1988]

2.9 มาตรฐานมลพิษ

มาตรฐานและกฎหมายควบคุมมลพิษจากเครื่องยนต์และโรงงานอุตสาหกรรมของแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันแล้วสถานการณ์และความเหมาะสม ซึ่งปกติมักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ปกติมลพิษที่เกิดจากรถยนต์ที่สำคัญได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ นอกจากนี้แก๊สดังกล่าวยังเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมและโรงงานพลังงานความร้อนต่างๆ ความรุนแรงของปัญหาเกี่ยวกับมลพิษอาจแตกต่างกัน เช่น เมืองที่มีความหนาแน่นของรถยนต์มาก ๆ ก็จะมี ความรุนแรงของปัญหามากกว่า เป็นต้น ซึ่งมาตรฐานมลพิษที่มีอยู่ ณ ปัจจุบัน ได้แก่

2.9.1 มาตรฐานมลพิษของสหรัฐอเมริกา

การควบคุมมลพิษจากแก๊สไอเสียครั้งแรก โดยออกกฎหมายบังคับที่รัฐแคลิฟอร์เนียของประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ. 1960 ดังนั้นความเป็นมาของการควบคุมมลพิษจากรถยนต์ในประเทศสหรัฐอเมริกาพอสรุปได้ ดังนี้

- ปี ค.ศ. 1943 ที่เมือง ลอสแอนเจลิสเกิดหมอกควันอย่างรวดเร็วสาเหตุเกิดจากควันไอเสียของรถยนต์ เนื่องจากเมืองดังกล่าวมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วมีรถยนต์เป็นจำนวนมาก
- ปี ค.ศ. 1952 ศาสตราจารย์เฮเกน สมิท (A.J. Haagen Smit) แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย ได้หยิบยกปัญหาไอเสียจากรถยนต์ซึ่งเป็นเหตุของปฏิกิริยาม่านควัน ซึ่งกันแสงอาทิตย์ส่องลงมายังโลกมาพิจารณา
- ปี ค.ศ. 1960 มีการประกาศกฎหมายควบคุมมลภาวะจากไอเสียของรถยนต์ โดยเฉพาะแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ในรัฐแคลิฟอร์เนีย
- ปี ค.ศ. 1970 มีการนำพระราชบัญญัติอากาศสะอาดมาใช้ ได้กำหนดค่ามาตรฐานหรือค่ามากที่สุดของระดับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ จากแก๊สไอเสียรถยนต์ ให้เหมาะสมสำหรับรถที่ผลิตในอเมริกาส่วนใหญ่ และนำมาใช้ในปี ค.ศ. 1975 และพระราชบัญญัตินี้ดังกล่าวเป็นพื้นฐานของมาตรฐานการควบคุมมลภาวะในปัจจุบันของสหรัฐอเมริกา นับจากนั้นกฎหมายในลักษณะคล้ายคลึงกัน ได้ถูกบัญญัติขึ้นมาในประเทศญี่ปุ่น ยุโรปและประเทศอื่นๆ ตามลำดับ

ตาราง 2 แสดงค่ามาตรฐานไอเสียของสหรัฐอเมริกา

เมืองที่กำหนด	ค่ากำหนดแก๊สที่ควบคุม (กรัม/ไมล์)		
	CO	HC	NO _x
สหพันธ์	3.4	0.41	1.0
รัฐแคลิฟอร์เนีย	7.0	0.39	0.4

ค่า NO_x ซึ่งกำหนดขึ้นสำหรับรถยนต์ในรุ่นปี 1989 เป็นต้นไป (บางรุ่นอาจยอมให้มีค่าถึง 0.7 ได้) สำหรับรัฐแคลิฟอร์เนีย

2.9.2 มาตรฐานมลพิษประชาคมยุโรป

กลุ่มประเทศยุโรปส่วนใหญ่ จะใช้มาตรฐานทางมลพิษแตกต่างไปจากสหรัฐอเมริกา เช่นประเทศสวีเดนและสวิสเซอร์แลนด์ จะใช้มาตรฐานมลพิษหรือมลภาวะของ EEC (European Economic Community) ซึ่งมาตรฐาน EEC ได้พัฒนาโดยกลุ่มตลาดร่วมประชาคมยุโรปมีอยู่ 3 แบบคือ แบบที่ 1 คือ ทดสอบโดยนำรถยนต์วิ่งบนแชสซีส์ไดนาโมมิเตอร์ การทดสอบแบบนี้คล้ายคลึงกับการทดสอบของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเริ่มทดสอบที่เครื่องยนต์อุณหภูมิต่ำ (ให้รถยนต์ที่จะทดสอบเป็ยกโชกด้วยน้ำอย่างต่ำ 6 ชั่วโมง) ที่อุณหภูมิ 20°C – 30°C ในการทดสอบน้ำหนักของ CO, HC, และ NO_x ถูกตรวจวัดขณะที่รถยนต์วิ่งครบ 1 วิวัจกรรมการทดสอบ ซึ่งมีทั้งหมด 15 รูปแบบการทดสอบ รวมถึงการเดินเบา การเร่ง การตรวจวัดความหนาแน่นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ขณะเดินเบาโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ และแบบที่ 3 จะเป็นการตรวจวัดแก๊สที่ระบายจากเครื่องยนต์

ตาราง 3 แสดงค่ามาตรฐานมลพิษของ EEC

รถยนต์โดยสารที่มี	ปริมาณความจุ ซี.ซี. (CC)	ปริมาณแก๊สพิษ (กรัม/รอบการทดสอบ)		
		CO	HC	NO _x
น้ำหนักบรรทุก 2.5	น้อยกว่า	45	15	6
ตัน หรือน้อยกว่า	1,400-2000	30	8	6
	มากกว่า 2,000	25	6.5	3.5

ตาราง 4 แสดงค่ามาตรฐานมลพิษตามมาตรฐานของ EEC เมื่อใช้น้ำหนักรถเป็นเกณฑ์

สารมลพิษ (กรัม/รอบการทดสอบ)	น้ำหนักรถยนต์ (กิโลกรัม)								
	750	850	1020	1250	1470	1700	1930	2150	>2150
CO	100	109	112	234	152	167	186	203	220
HC	8.0	8.4	8.7	9.4	10.1	10.8	11.4	14.1	12.8

กรณีใช้น้ำหนักรถยนต์เป็นตัวกำหนดสารมลพิษตามค่ามาตรฐานของ EEC ดังแสดงในตารางที่จำนวน 1 รอบการทดสอบของ Economic Commission for Europe เท่ากับ 4.05 กิโลเมตร (2.54 ไมล์) สำหรับรถยนต์ใหม่ขณะติดเครื่องเฉยๆ และเครื่องยนต์มีอุณหภูมิทำงาน ต้องมีปริมาณ คาร์บอนมอนนอกไซด์ไม่เกิน 4.5 เปอร์เซ็นต์⁽¹⁸⁾

2.9.3 มาตรฐานมลพิษของประเทศไทย (มาตรฐานมลพิษจากแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่จากยานพาหนะ) มาตรฐานมลพิษสำหรับยานพาหนะใหม่

ตาราง 5 มาตรฐานมลพิษสำหรับยานพาหนะใหม่

ประเภทมาตรฐาน	ระดับที่	มาตรฐานอ้างอิง	หมายเลขมาตรฐานของ สมอ.	ประกาศในราชกิจจานุเบกษา (มาตรฐานทั่วไป)	ประกาศในพระราชกฤษฎีกา (มาตรฐานบังคับ)
1. รถยนต์ เครื่องยนต์เบนซิน	5	94/12/EC	มอก. 1440-2540	เล่มที่ 114 ตอนที่ 90 ง วันที่ 11 พฤศจิกายน 2540	1 มกราคม 2542
	6	96/69/EC - น้ำหนักอ้างอิง ไม่เกิน 1,250 กก. - น้ำหนักอ้างอิง มากกว่า 1,250 กก.	มอก. 1870-2542	เล่มที่ 114 ตอนที่ 90 ง วันที่ 11 พฤศจิกายน 2540	1 ตุลาคม 2542* 1 ตุลาคม 2543*
2. รถยนต์ ดีเซลขนาดเล็ก	4	94/12/EC - สำหรับเครื่องยนต์ ระบบ Direct Injection	มอก. 1435-2540	เล่มที่ 114 ตอนที่ 90 ง วันที่ 11 พฤศจิกายน 2540	1 มกราคม 2542 30 กันยายน 2544
	5	96/69/EC - น้ำหนักอ้างอิง ไม่เกิน 1,250 กก. - น้ำหนักอ้างอิง มากกว่า 1,250 กก. - สำหรับเครื่องยนต์ ระบบ Direct Injection	มอก. 1875-2542	เล่มที่ 114 ตอนที่ 90 ง วันที่ 11 พฤศจิกายน 2540	1 ตุลาคม 2542* 1 ตุลาคม 2543* 30 กันยายน 2544*
3. รถยนต์ ดีเซลขนาดใหญ่	2	95/542(A)/EEC (EURO 1.)	มอก. 1290-2538	เล่มที่ 112 ตอนที่ 77 ง วันที่ 26 กันยายน 2538	12 พฤษภาคม 2541
	3	95/542(B)/EEC (EURO 2.)	มอก. 1295-2541	เล่มที่ 112 ตอนที่ 77 ง วันที่ 26 กันยายน 2538	23 พฤษภาคม 2543

ตาราง 5 (ต่อ)

ประเภทมาตรฐาน	ระดับ ที่	มาตรฐานอ้างอิง	หมายเลข มาตรฐาน ของ สมอ.	ประกาศใน ราชกิจจานุเบกษา (มาตรฐานทั่วไป)	ประกาศใน พระราชกฤษฎีกา (มาตรฐานบังคับ)
ทุกขนาด	3	HC ไม่เกิน 5 ก./กม.	มอก. 1360-2539	เล่มที่ 113 ตอนที่ 25 ง วันที่ 26 มีนาคม 2539	1 กรกฎาคม 2540
4. รถจักรยานยนต์	ไม่เกิน 110 ซีซี ไม่เกิน 125 ซีซี สำหรับ 150 ซีซี ขึ้นไป	CO ไม่เกิน 4.5 ก./กม. HC + NOx ไม่เกิน 3 ก./กม. - ระดับควันขาว 15เปอร์เซ็นต์ - ไอระเหย ไม่เกิน 2 ก./ครั้ง	มอก. 1650-2541	เล่มที่ 116 ตอนที่ 57 ง วันที่ 20 กรกฎาคม 2542	1 กรกฎาคม 2542* 1 กรกฎาคม 2543* 1 กรกฎาคม 2544*
	ไม่เกิน 110 ซีซี ทุกขนาด	ก. ไอระเหย ไม่เกิน 2 ก./ครั้ง CO ไม่เกิน 3.5 ก./กม. HC + NOx ไม่เกิน 2 ก./กม. ข. ไอระเหย มากกว่า 2 และไม่เกิน 6 ก./ครั้ง CO ไม่เกิน 3.5 ก./กม. HC + NOx ไม่เกิน 1.8 ก./กม. - ระดับควันขาว	มอก. 1650-2541	เล่มที่ 116 ตอนที่ 57 ง วันที่ 20 กรกฎาคม 2542	1 กรกฎาคม 2546 1 กรกฎาคม 2547

ที่มา : เป็นมติคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ มาตรฐานระดับที่ 5 อยู่ระหว่างการนำเสนอ
คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

มาตรฐานมลพิษทางอากาศจากรถใช้งาน (รถยนต์ดีเซล)

ตาราง 6 มาตรฐานมลพิษทางอากาศจากรถใช้งาน (รถยนต์ดีเซล)

ประเภทรถ	มลพิษ	ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ	วิธีตรวจวัด
รถยนต์ดีเซล	ควันดำ	50เปอร์เซ็นต์	เครื่องมือวัดควันดำ ระบบกระดาศกรอง	ตรวจวัดขณะรถยนต์จอดอยู่กับที่ไม่มีภาระ โดยเร่งเครื่องขึ้นตัวอย่างรวดเร็วจนสุดคันเร่ง
		45เปอร์เซ็นต์	เครื่องมือวัดควันดำ ระบบวัดความทึบแสง	
	ควันดำ	40เปอร์เซ็นต์	เครื่องมือวัดควันดำ ระบบกระดาศกรอง	ตรวจวัดขณะรถยนต์มีภาระ และอยู่บนเครื่องทดสอบ ที่มีความเร็วรอบร้อยละ 60 ของความเร็วรอบที่ให้กำลังสูงสุด
		35เปอร์เซ็นต์	เครื่องมือวัดควันดำ ระบบวัดความทึบแสง	

ที่มา : ดัดแปลงจาก

1. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2540) เรื่อง การกำหนดมาตรฐานค่าควันดำจากท่อไอเสียของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ลงวันที่ 17 มิถุนายน 2540 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 114 ตอนที่ 76 ง ลงวันที่ 23 กันยายน พ.ศ. 2540
2. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2541) เรื่อง การกำหนดมาตรฐานค่าควันดำจากท่อไอเสียของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ลงวันที่ 9 กันยายน 2541 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 115 ตอนพิเศษที่ 100 ง ลงวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2541⁽¹⁾

2.10 บทปริทัศน์วรรณกรรม (Literature Reviews)

พิพล บุญจันตะ (1) ได้บรรยายการฝึกอบรมเรื่อง การใช้แก๊สเอ็นจีวีเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว โดยจุดระเบิดเริ่มการเผาไหม้ด้วยหัวเทียนเหมือนในเครื่องยนต์เบนซิน แก๊สเอ็นจีวีจะผสมกับอากาศและเข้าในเครื่องยนต์ได้ทางท่ออากาศเดิม (ซึ่งในกรณีนี้ต้องเรียกว่าเป็นท่อไอดี) เมื่อดัดแปลงจากเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องลดอัตราส่วนอัดลงเหลือประมาณ 11-12 ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องยนต์แต่ละรุ่นติดตั้งระบบจ่ายแก๊ส เพื่อจ่ายแก๊สเอ็นจีวีเข้าผสมกับอากาศในท่อไอดี และติดตั้งระบบจุดระเบิดแบบใช้หัวเทียนแทนที่ ระบบหัวฉีดน้ำมันดีเซลเดิม เนื่องจากอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์แบบนี้จะสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลเดิม อาจจะต้องมีการดัดแปลงระบบน้ำหล่อเย็นและระบบหล่อลื่น ให้เหมาะสมกับการใช้แก๊สเอ็นจีวีเป็นเชื้อเพลิง การดัดแปลงเครื่องยนต์โดยวิธีนี้มีความสลับซับซ้อนสูง จึงควรจะมีการพัฒนาการดัดแปลงเครื่องยนต์เป็นต้นแบบเฉพาะรุ่นก่อนการดัดแปลงให้ใช้งานจริง ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาดังกล่าวอาจจะสูงถึงรุ่นละ 2-10 ล้านบาท ขึ้นอยู่กับรุ่นเครื่องยนต์และขอบเขตของการดัดแปลง

พิพล บุญจันตะ⁽²⁾ ได้บรรยายการฝึกอบรมเรื่องการใช้แก๊สเอ็นจีวีเป็นเชื้อเพลิงหลัก โดยป้อนเข้าไปในเครื่องยนต์ทางท่อไอดีในจังหวะดูดแล้วฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปในห้องเผาไหม้ในปลายจังหวะอัดเพียงเล็กน้อย เพื่อทำให้เกิดเปลวไฟจุดนำการเผาไหม้ของส่วนผสมแก๊สเอ็นจีวีกับอากาศที่ถูกอัดอยู่ในห้องเผาไหม้เรียกเครื่องยนต์แบบนี้ว่าเป็นเครื่องยนต์แบบ Pilot injection เครื่องยนต์แบบนี้สามารถใช้แก๊สเอ็นจีวีเป็นเชื้อเพลิง ได้เกือบทั้งหมดและใช้น้ำมันดีเซลเพียงเล็กน้อย (ประมาณร้อยละ 1 หรือ 2 เท่านั้น) ดังนั้นหากไม่มีแก๊สเอ็นจีวี เครื่องยนต์แบบนี้จะไม่สามารถใช้งานได้ การดัดแปลงจากเครื่องยนต์ดีเซลทำได้โดยการลดอัตราส่วนอัดลงเหลือประมาณ 12:1 เพื่อไม่ให้เกิดการชิงจุดระเบิดของแก๊สเอ็นจีวี แต่ต้องสูงพอที่น้ำมันดีเซลที่ฉีดนำการเผาไหม้จะติดไฟในปลายจังหวะอัดได้ ไม่เช่นนั้นอาจจะต้องใช้เทคนิคอย่างอื่นช่วยให้น้ำมันดีเซล ที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ติดไฟได้ เช่น อาจจะต้องใช้หัวเผา เป็นต้น เทคนิคการดัดแปลงแบบนี้ทำได้ยาก เนื่องจากจะต้องมีการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมเกี่ยวกับการเผาไหม้ที่สลับซับซ้อน จนเกือบเทียบเท่ากับการออกแบบเครื่องยนต์ใหม่

Mohamed Y.E. Selim⁽²⁰⁰³⁾ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษากระบวนการเผาไหม้และการน็อคของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วม ผลที่ได้คือ เสียงที่เกิดจากการเผาไหม้และการน็อค รวมถึงขีดจำกัดของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงร่วมโดยจะศึกษาจากแก๊สธรรมชาติ(มีเทนอย่างเดียวและแก๊สธรรมชาติอัด)และเชื้อเพลิงเหลว(น้ำมันดีเซล)ที่ความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้จะทำการวัดเสียงที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ขีดจำกัดในการจุดระเบิดซึ่งจะวัดได้จากแรงบิดที่ส่งออกมา ร่วมกับการจุดระเบิดและการน็อคของเครื่องยนต์ เครื่องมือที่ใช้ทดสอบนี้สามารถวัดเสียง ที่เกิดจากการเผาไหม้รวมทั้งขีดจำกัดในการจุดระเบิดที่เชื้อเพลิงแตกต่างกัน เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบคือเครื่องยนต์ Ricardo E6 เป็นเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งสามารถทำงานโดยใช้เชื้อเพลิงร่วม และสามารถคำนวณกำลังอัดในระบบสูบมูมของเพลาล้อเหวี่ยง และทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัววิเคราะห์โดยที่เครื่องยนต์จะส่งสัญญาณข้อมูลความเร็วรอบ มุมฉีดเชื้อเพลิง แรงดันของเชื้อเพลิงอัตราส่วนผสมและสัญญาณเสียงของการเผาไหม้ การน็อค แรงบิด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการเดินเครื่อง ค่าที่ได้ทั้งหมดนี้คือผลที่ได้จากการทดสอบเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องยนต์ในอนาคต

Cheikh Mansour and Abdelhamid⁽²⁰⁰⁰⁾ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมโดยศึกษาจากแบบจำลองงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบทางมลพิษกับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อการพาณิชย์ที่ใช้แก๊สธรรมชาติร่วมกับเชื้อเพลิงดีเซลหรือที่เรียกว่าระบบเชื้อเพลิงร่วม โดยใช้ระบบหัวฉีดโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์ลักษณะทางเคมี และลักษณะทางกลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมโดยการศึกษาเกี่ยวกับแก๊สที่เป็นมลพิษโดยเฉพาะแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์และการศึกษาการเผาไหม้โดยจะ

ทำการศึกษเกี่ยวกับอุณหภูมิกับความดันและการกัดกร่อนในห้องเผาไหม้ งานวิจัยนี้ จะอธิบายเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยใช้แบบจำลองและนำผลที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์มาเปรียบเทียบกัน ผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจซึ่งสามารถนำผลของแบบจำลองมาใช้งานได้จริง

Jin Kusaka and Takashi Okamoto ⁽²⁰⁰⁰⁾ ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาการเผาไหม้และการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงร่วม งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้แก๊สธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงร่วมซึ่งจะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงโดยการฉีดแก๊สธรรมชาติก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้และใช้น้ำมันดีเซลจุดระเบิดนำร่องก่อน ผลปรากฏว่าที่ภาระต่ำหรือรอบเดินเบาจะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ จากปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขปัญหาคือใช้ระบบ EGR และการอุ่นไอดีก่อนเข้าห้องเผาไหม้ซึ่งจะช่วยลดปัญหาด้านมลพิษและเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองและวิเคราะห์การเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ ผลที่ได้สามารถวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษที่ภาระต่ำหรือรอบเดินเบาซึ่งใช้การแก้ปัญหานี้โดยใช้ระบบ EGR และการอุ่นไอดีก่อนเข้าห้องเผาไหม้

G.H. Abd Alla and H.A. Soliman ⁽²⁰⁰⁰⁾ ได้ทำการวิจัยเรื่อง แบบจำลองการเผาไหม้ 2 โชนสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมซึ่ง แบบจำลองนี้ใช้ทำนายการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมโดยใช้แก๊สธรรมชาติร่วมกับน้ำมันดีเซลซึ่งแก๊สธรรมชาติมีแก๊สมีเทนเป็นเชื้อเพลิงหลักโดยใช้ระบบหัวฉีดเป็นตัวจ่ายเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดย ที่ระบบนี้ต้องการจะศึกษาผลกระทบทางเคมี(ความหนืดระหว่างการผลิตกันระหว่างน้ำมันดีเซลกับแก๊สโดยที่ค่าความหนืดเท่ากับ 178 ที่ทำปฏิกิริยาและ 41 ที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันสำหรับเชื้อเพลิงแก๊สเริ่มจากจังหวะอัดสิ้นสุดที่จังหวะคายแบบจำลองการเผาไหม้สามารถพัฒนาให้เห็นกระบวนการเผาไหม้ต่อเวลาการทำงานของเครื่องยนต์ และสามารถแสดงผลของความดัน อุณหภูมิ ค่าพลังงานแต่ละจุดภายในห้องเผาไหม้โดยที่ผลการจำลองนั้นพบว่าแก๊สมีเทนเป็นที่น่าพอใจมาก

Saiful Bari ⁽¹⁹⁹⁶⁾ ได้ทำการวิจัยเรื่อง ผลกระทบของส่วนประกอบของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในไบโอแก๊สที่นำไปใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องยนต์ดีเซล ผลที่ได้คือมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งสองคือส่วนประกอบส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในไบโอแก๊สซึ่งส่วนที่เหลือจะเป็นพวกไนโตรเจน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อเครื่องยนต์ดีเซลใช้เชื้อเพลิงร่วมโดยใช้ไบโอแก๊สการเผาไหม้ไม่ดีเหมือนใช้ดีเซล สาเหตุหลักอาจเป็นเพราะปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในไบโอแก๊สงานวิจัยนี้จึงได้ ศึกษาผลกระทบของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในไบโอแก๊สโดยการจำลองภาระของเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้ไบโอแก๊ส และทำการศึกษาถึงผลต่างของปริมาณมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์

สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย⁽²⁵⁴⁴⁾ ได้ทำการทดสอบและประเมินผลการใช้แก๊สธรรมชาติในรถยนต์เบนซินและดีเซลผลที่ได้ คือ การใช้อุปกรณ์แก๊สระบบเลือกเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดแก๊สช่วยให้คาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงเล็กน้อย แต่แบบผสมแก๊สจุดเดียวทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย อุปกรณ์แก๊สระบบเลือกเชื้อเพลิงทั้งสองแบบ ทำให้ไฮโดรคาร์บอนรวมและออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นมาก กำลังขับ อัตราเร่ง และการประหยัดเชื้อเพลิงลดลง ความทนทานของอุปกรณ์แก๊สยังไม่ดีมากนักและพบว่า ในรถยนต์บางคันเกิดข้อบกพร่องและชำรุดเสียหายของอุปกรณ์แก๊ส ส่วนการใช้อุปกรณ์แก๊สระบบเชื้อเพลิงร่วมในรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ช่วยให้ปริมาณฝุ่นลดลงร้อยละ 70 ครันด้าลดลงได้ถึงร้อยละ 80 แต่ไฮโดรคาร์บอนรวมและคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นมาก ส่วนออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย กำลังขับอัตราเร่ง และการประหยัดเชื้อเพลิงลดลง ความทนทานของอุปกรณ์แก๊สยังไม่ดีมากนัก

สมสิทธิ์ มูลสถาน⁽²⁵³⁴⁾ ได้ทำงานวิจัยเรื่อง การศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้แก๊สธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิง การศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อหาจุดเหมาะสมของการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนใช้แก๊สธรรมชาติอัด (CNG) ที่ผ่านการแยกแก๊สแล้วมาเป็นเชื้อเพลิงใน 2 ด้าน คือ ขนาดของอุปกรณ์ผสมแก๊สและการตั้งองศาจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ขนาด 1,600 cc. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของอุปกรณ์ผสมแก๊สที่ทำการศึกษาคือจะอยู่ในช่วง 17 – 21 mm. และศึกษาผลการทำงานของเครื่องยนต์เมื่อมีการตั้งองศาจุดระเบิดที่ 24 , 26 , 28 , 30 และ 32 องศา ก่อนศูนย์ตายบนจากการศึกษาพบว่าจุดเหมาะสมของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ผสมแก๊สคือ 17.5 mm และการตั้งองศาจุดระเบิดที่ 26 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ในการทดลอง จะเก็บโดยควบคุมลิ้นผีเสื้อเปิดที่ 30 , 45 , 60 , 75 และ 90 องศา กับแนวระดับ เครื่องยนต์ทดสอบให้กำลังงานเบรคสูงสุด 34 kW ที่ความเร็ว 4,200 รอบ/นาที ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคต่ำสุด 0.2682 kg/kW-hr ที่ความเร็ว 2,600 รอบ/นาที เทียบกับเมื่อใช้น้ำมันเบนซินซูเปอร์ดีนเครื่องยนต์ โดยมีการตั้งองศาจุดระเบิดที่ 12 องศา ก่อนศูนย์ตายบน กำลังงานเบรคสูงสุด 47 kW ที่ความเร็ว 4,200 รอบ/นาที ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคต่ำสุด 0.2989 kg-hr ที่ความเร็วรอบ 2,600 รอบ/นาที เมื่อเทียบการใช้ CNG เป็นเชื้อเพลิงจะประหยัดมากกว่าเมื่อใช้น้ำมันเบนซินซูเปอร์ดีนประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดภาวะในอากาศ โดยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ลดลง 52 เปอร์เซ็นต์ และไฮโดรคาร์บอน (HC) ลดลง 13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สุรศักดิ์ เลหากุลเวทิต⁽²⁵²⁸⁾ ได้ทำงานวิจัยเรื่องการใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงเสริมในเครื่องยนต์ดีเซล การทดสอบและวิจัยในเรื่องนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการที่จะนำเอาแก๊สหุงต้มมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในเครื่องยนต์ดีเซลของ "HINO" แบบ DM-100 6 สูบ ชนิด Precombustion chamber โดยจะศึกษาทั้งในด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์และไอเสียที่เกิดขึ้นจาก

เครื่องยนต์ เปรียบเทียบกันระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว กับการใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงเสริมกับน้ำมันดีเซล การทดสอบขั้นต้นเพื่อศึกษาผลจากการแปรเปลี่ยนมุมเริ่มฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และหามุมที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดสอบอื่นๆ ขั้นที่สองทดสอบหาสมรรถนะและไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ โดยการแปรเปลี่ยนภาระโหลดที่ให้แก่อเครื่องยนต์ และแปรเปลี่ยนอัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของแก๊สหุงต้มกับอากาศและที่ภาระโหลดสูงสุดของแต่ละความเร็วรอบ จะทดสอบแปรเปลี่ยนอัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ของแก๊สหุงต้มกับเชื้อเพลิงที่จ่ายเข้าเครื่องยนต์ทั้งหมด

ผลการทดสอบปรากฏว่ามุมเริ่มฉีดน้ำมันดีเซล ที่เหมาะสมในการเดินเครื่องโดยใช้แก๊สหุงต้มเสริมคือมุม 18° BTDC ในด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อใช้แก๊สหุงต้มเสริมต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียวที่ภาระโหลดต่ำๆ ซึ่งเป็นเพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ แต่ที่ภาระโหลดสูงๆ มีแนวโน้มที่การใช้แก๊สหุงต้มจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น ในด้านควันไอเสียนั้นการใช้แก๊สหุงต้มช่วยลดควันลงได้ที่ภาระโหลดต่ำๆ และมีค่าสูงขึ้นที่ภาระโหลดเพิ่มขึ้น ในด้านคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน การใช้แก๊สหุงต้ม เสริมให้ค่าสูงกว่าที่ทุกภาระโหลดและโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ภาระโหลดต่ำๆ สำหรับอัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์สูงสุดเท่าที่สามารถจ่ายได้ของแก๊สหุงต้มต่อเชื้อเพลิงทั้งหมดอยู่ที่ค่าประมาณ 50 – 60 เปอร์เซ็นต์ (โดยพลังงาน) แต่เมื่อพิจารณาถึงด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อนและไอเสียที่เกิดขึ้นค่าที่เหมาะสม ควรอยู่ระหว่าง 30 – 40 เปอร์เซ็นต์

ณรงค์ วงษ์พิพัฒน์พงษ์⁽²⁵²⁶⁾ ได้ทำงานวิจัยเรื่อง การใช้ CNG เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนของรถยนต์ การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของการใช้แก๊ส CNG (Compressed Natural Gas) เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนของรถยนต์ โดยพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อน ไอเสีย น้ำมันหล่อลื่นและวัดปริมาณของ HC & CO ในไอเสียตลอดจนค่าใช้จ่ายระหว่างการใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงกับการใช้ แก๊ส CNG เป็นเชื้อเพลิง โดยใช้เครื่องยนต์นิสสัน สแตนท์ซ่า ขนาด 1,600 ซี.ซี. ติดตั้งบนพลูอิดส์ไดนาโมมิเตอร์และ CNG ที่ใช้เป็นแก๊สธรรมชาติที่ได้จากอ่าวไทยโดยมิได้ผ่านขบวนการแยกแก๊สใดๆ ยกเว้นการแยกความชื้นและสิ่งสกปรกออก ณ แทนเจาะก่อนส่งเข้าท่อส่งแก๊สของการปิโตรเลียมฯ เท่านั้น จากผลการทดสอบปรากฏว่า เมื่อใช้ CNG เป็นเชื้อเพลิงจะทำให้กำลังของเครื่องยนต์, แรงบิด, และ BMEP มีค่าลดลง แต่จะประหยัดเชื้อเพลิงมากขึ้นและประสิทธิภาพทางความร้อนมีค่าสูงขึ้น อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อน ไอเสีย น้ำมันหล่อลื่นและปริมาณของ HC & CO ในไอเสียจะมีค่าลดลงและ Initial Spark Advance 28 องศา จะให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีและเหมาะสมที่สุดสำหรับแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทย ส่วนค่าใช้จ่ายนั้นเมื่อใช้ CNG เป็นเชื้อเพลิงจะประหยัดมากกว่าเมื่อใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง

พิพล บุญจันตะและคณะ⁽²⁵²⁶⁾ ได้ทำงานวิจัยเรื่องการใช้เชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจีในเครื่องยนต์ดีเซล จากการศึกษาการใช้เชื้อเพลิงแก๊สแอลพีจีร่วมกับน้ำมันดีเซล ในเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าปริมาณแก๊สแอลพีจีสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาณแก๊สแอลพีจีที่ใช้นี้ เมื่อผสมกับอากาศแล้วส่วนผสมยังไม่อยู่ในอัตราส่วนที่ลุกติดไฟได้เอง ดังนั้น น้ำมันดีเซลที่ถูกฉีดเข้าไปยังห้องเผาไหม้ จะเป็นตัวที่ทำให้แก๊สรอบๆ ละอองน้ำมันเซลติดไฟ เมื่อเป็นเช่นนี้ในรอบเดินเบาของเครื่องยนต์หรือขณะที่ภาระของเครื่องยนต์มีไม่มาก ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ฉีดเข้าไปมีจำนวนน้อยไม่เพียงพอที่จะช่วยให้แก๊สเผาไหม้ได้หมด จึงไม่ควรป้อนแก๊สในช่วงนี้ ช่วงที่เหมาะสมในการป้อนแก๊สคือ ช่วงที่เครื่องยนต์มีภาระปานกลางขึ้นไป

กิติพงษ์ ฤทธิสิทธิ์⁽²⁵²⁶⁾ ได้ทำงานวิจัยเรื่องอัตราส่วนกำลังอัดที่เหมาะสมของเครื่องยนต์เบนซินที่ใช้แก๊สหุงต้มวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนกำลังอัด ที่เหมาะสมของเครื่องยนต์เบนซินเมื่อใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง ในการทดลอง ได้ใช้ทั้งน้ำมันเบนซินที่มี Research Octane Number 96.5 และแก๊สหุงต้มที่มี Research Octane Number 101.48 เป็นเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนกำลังอัดและความเร็วรอบต่างๆ ทุกการทดสอบได้ทำการปรับส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงและองศาการจุดระเบิดเพื่อให้ได้กำลังสูงสุด การใช้เชื้อเพลิงจำเพาะต่ำสุดและการน็อคจากเครื่องยนต์ นอกจากนั้นได้เปรียบเทียบสมรรถนะและไอเสียจากเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถใช้ในเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนกำลังอัดสูงได้ดีกว่า น้ำมันเบนซินโดยไม่เกิดการน็อค อัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์ที่เหมาะสมเมื่อใช้แก๊สหุงต้มมีค่าประมาณ 10 : 1 ในอัตราส่วนกำลังอัดเดียวกัน กำลังสูงสุดเมื่อใช้แก๊สหุงต้มจะต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันเบนซิน 2 - 5 เปอร์เซ็นต์ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะต่ำกว่า 8 - 10 เปอร์เซ็นต์ และมลพิษจากไอเสียลดน้อยกว่า

เจียมศักดิ์ นันทนาเนตร⁽²⁵¹⁹⁾ ได้ทำงานวิจัยเรื่อง สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้แก๊สผสมน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง การวิจัยนี้ศึกษาผลของการใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงผสมในเครื่องยนต์ดีเซล โดยการพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะ, เขม่าควันและแก๊สจากไอเสียของเครื่องยนต์ เมื่อเดินเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันดีเซลอย่างเดียว และเมื่อเดินเครื่องยนต์โดยใช้แก๊สผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง การทดลองได้กระทำที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ด้วยเครื่องยนต์สองเครื่อง เป็นเครื่องยนต์สูบเดี่ยวและสองสูบ ผลการทดลองปรากฏว่า การใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงผสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์ พร้อมทั้งลดควันดำและแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ เมื่อเครื่องยนต์รับภาระหนักโดยเฉพาะที่ความเร็วรอบต่ำการศึกษาพบว่าส่วนผสมของน้ำมันและแก๊สที่พอเหมาะเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนและสภาพไอเสียของเครื่องยนต์ที่ดีที่สุด ขึ้นอยู่กับชนิด

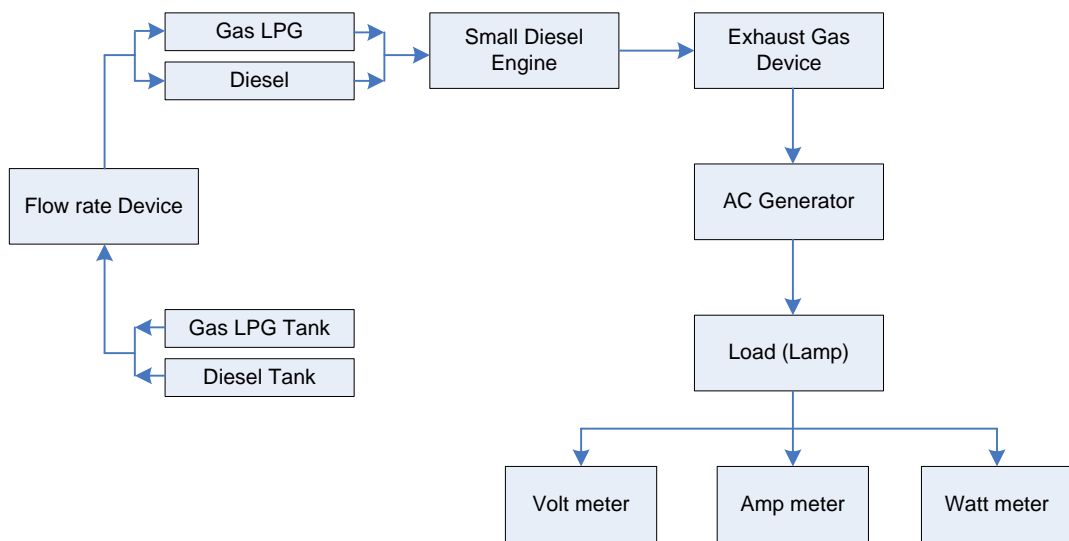
และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ปริมาณแก๊สอยู่ระหว่างร้อยละ 20 – 30 ของเชื้อเพลิงทั้งหมดโดยน้ำหนัก สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

อรุณ ไชยพันธุ์ (2548) ได้ทำการวิจัยเพื่อหาจุดเหมาะสมของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก และแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงร่วม โดยการป้อนแอลกอฮอล์ชนิดเมทานอลเข้าทางท่อร่วมไอดีโดยตรง แล้วพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง การเผาไหม้และการสึกหรอของเครื่องยนต์ กับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว โดยการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง ที่ความเร็วรอบ 1,200, 1,500, 2,000 และ 2,500 รอบต่อนาที โดยแต่ละความเร็วรอบจะทำการปรับแรงบิดที่ 50, 100 และ 150 นิวตันเมตรตามลำดับ ซึ่งช่วงความเร็วรอบและแรงบิดดังกล่าว เป็นการทดสอบเสมือนตามสภาพการใช้งานจริง ผลการวิจัยเมื่อป้อนแอลกอฮอล์ชนิดเมทานอลเข้าทางท่อร่วมไอดี ผสมกับน้ำมันดีเซลในห้องเผาไหม้ ในอัตราส่วน 1.6 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันดีเซล โดยปริมาตร สามารถใช้เดินเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี โดยที่สมรรถนะเครื่องยนต์ใกล้เคียงกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว แต่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงโดยเฉลี่ย 3 เปอร์เซ็นต์ การเผาไหม้พบว่าปริมาณควันดำลดลงเฉลี่ย 20 เปอร์เซ็นต์ และการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ปกติ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดสอบครั้งนี้ได้มีการออกแบบอุปกรณ์การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว และทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงร่วมระหว่างน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจี ที่ส่วนผสมและภาระโหลดต่างๆกัน ในการทำวิจัยต้องการเก็บข้อมูลหลายค่าจะต้องอาศัยเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 5 แผนภาพการทดสอบ

วิธีการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

ประกอบและติดตั้งเครื่องยนต์พร้อมอุปกรณ์ตามไดอะแกรม ดังภาพประกอบ 5 แล้วทำการทดสอบเครื่องยนต์โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

กรณีใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว

ขั้นตอนที่ 1 สตาร์ทเครื่องยนต์

ขั้นตอนที่ 2 ปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้สัมพันธ์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยต้องการความเร็วรอบคงที่ที่ 1,500 rpm ควบคุมโดยการเพิ่มปริมาณน้ำมันดีเซล

ขั้นตอนที่ 3 บันทึกค่าที่ภาระโหลดต่างๆ กัน (ภาคผนวก ก)

กรณีใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว

ขั้นตอนที่ 1 สตาร์ทเครื่องยนต์

ขั้นตอนที่ 2 ปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้สัมพันธ์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

โดยต้องการความเร็วรอบคงที่ที่ 1,500 rpm ควบคุมโดยการเพิ่มปริมาณน้ำมันดีเซล

ขั้นตอนที่ 3 บันทึกค่าที่ภาระโหลดต่างๆ กัน (ภาคผนวก ก)

กรณีใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี

ขั้นตอนที่ 1 สตาร์ทเครื่องยนต์

ขั้นตอนที่ 2 ปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้สัมพันธ์กับความเร็วรอบเครื่องกำเนิด

ไฟฟ้ากระแสสลับโดยต้องการความเร็วรอบคงที่ที่ 1,500 rpm ควบคุมโดยเพิ่มแก๊สอัตราการไหลของแก๊สแอลพีจีเข้าท่อไอดี ส่วนอัตราการไหลของน้ำมันดีเซลมีค่าคงที่

ขั้นตอนที่ 3 บันทึกค่าที่ภาระโหลดต่างๆ กัน (ภาคผนวก ก)

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย

3.1.1 เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (Small Diesel Engine)



ภาพประกอบ 6 แสดงเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ เป็นเครื่องยนต์เล็กลูกสูบเดี่ยวยี่ห้อ TIGER ที่มีสภาพพร้อมที่ใช้งาน 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีข้อมูลทางเทคนิคต่างๆ ดังต่อไปนี้

เครื่องยนต์ / รุ่น	:	TGD 1100
แบบเครื่องยนต์	:	เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ลูกสูบเดี่ยว
ขนาดกระบอกสูบ x ช่วงชัก	:	92x90 mm
ปริมาตรช่วงชัก	:	598 cm ³

ความจุน้ำมันหล่อลื่น	:	2.3 Litre
อัตราส่วนการอัด	:	21 : 1
กำลังงานสูงสุด	:	8.21 kW. at 2,400 rpm.
กำลังที่กำหนดต่อเนื่อง	:	7.09 kW. at 2,400 rpm.
แรงบิดสูงสุด	:	3.5 kg-m at 1,800 rpm.
ระบบฉีดน้ำมันและปั๊ม	:	Bosch
ลักษณะห้องเผาไหม้ / หัวฉีด	:	ห้องเผาไหม้ช่วย แบบ Swirl chamber
แบบของระบบระบายความร้อน:	:	หม้อน้ำรังผึ้ง
ชนิดของระบบการเริ่มเดินเครื่อง:	:	มือหมุนสตาร์ท
น้ำหนักเครื่องยนต์	:	117 kg.

3.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative Generator)



ภาพประกอบ 7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

ยี่ห้อ	:	Super Folk
ชนิด	:	AC Alternative
ความเร็วรอบสูงสุด	:	1,500 rpm
กำลัง สูงสุด	:	5 kW.
แรงดัน	:	220 VAC
กระแสไฟฟ้า	:	22.5 Amp.
ความถี่กระแส	:	50 Cycle
จำนวนเฟส	:	1 Phase

3.1.3 ชุดควบคุมการทดสอบ (Test Control Unit)



ภาพประกอบ 8 แสดงชุดควบคุมการทดสอบ

ชุดควบคุมและประมวลผล การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลกระแสไฟฟ้าที่ได้รับจากเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย

1. แอมป์มิเตอร์ใช้วัดกระแสไฟฟ้า
2. โวลท์มิเตอร์ใช้วัดแรงดันกระแสไฟฟ้า

3.1.4 อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า



ภาพประกอบ 9 แสดงอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า

อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า(Lamp Electrical Power Measurement circuit unit)

ประกอบด้วย

- หลอดไฟชนิดไส้ขนาด 150 Watts จำนวน 25 หลอด
 - หลอดไฟชนิดไส้ขนาด 100 Watts จำนวน 5 หลอด
- รวมกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่สามารถวัดได้ 4,250 Watts

3.1.5 อุปกรณ์วัดแก๊สไอเสีย



ภาพประกอบ 10 แสดงอุปกรณ์วัดแก๊สไอเสีย

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ได้แก่ CO₂, CO, O₂, NO_x และ HC

ผลิตโดย	:	CODA Product Australia
รุ่น	:	SFA 990
อุณหภูมิสูงสุดในการทดสอบ	:	400 °C
ระบบไฟฟ้ากระแสตรง	:	24 Volts

3.1.6 อุปกรณ์วัดปริมาณอากาศ



ภาพประกอบ 11 แสดงอุปกรณ์วัดปริมาณอากาศ

ผลิตโดย : England by Airflow Development Ltd.

เครื่องมือชุดนี้ประกอบด้วย

1. มานอมิเตอร์สำหรับวัดความแตกต่างความดัน
2. ออร์ฟิซมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 53 mm.
3. สเกลวัด 8 – 32 mm.H₂O

3.1.7 อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล



ภาพประกอบ 12 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล

ประกอบด้วย

1. กระจกตวงที่มีสเกลบอกระดับน้ำมัน เป็นปริมาตรและชุดวาล์วควบคุมการเปิด ปิด
2. นาฬิกาจับเวลา

3.1.8 อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองแก๊สแอลพีจี



ภาพประกอบ 13 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองแก๊สแอลพีจี

ยี่ห้อ : Omega

Range scale : 2 – 20 l/min. at 20 °C

3.1.9 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์



ภาพประกอบ 14 แสดงอุปกรณ์วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์

3.1.10 อุปกรณ์ลดแรงดันแก๊สแอลพีจี

ยี่ห้อ/รุ่น : Compack 6000



ภาพประกอบ 15 แสดงอุปกรณ์ลดแรงดันแก๊สแอลพีจี (หม้อต้ม)

3.1.11 ถังบรรจุแก๊สแอลพีจีและอุปกรณ์ปรับแรงดัน



ภาพประกอบ 16 แสดงถังบรรจุแก๊สแอลพีจีและอุปกรณ์ปรับแรงดัน

3.2 วิธีและขั้นตอนการทดสอบ



ภาพประกอบ 17 แสดงการประกอบชุดทดสอบ

เมื่อทำการติดตั้งเครื่องยนต์ประกอบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและชุดทดสอบ ดังภาพประกอบ 17 เรียบร้อยแล้วแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ช่วงการทดสอบคือ

ช่วงที่ 1 การทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว

ช่วงที่ 2 การทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม

ช่วงที่ 1 เป็นการทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าและเครื่องยนต์คงที่โดยเปลี่ยนภาระของเครื่องยนต์ที่หลายค่าและใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวและวัดค่าต่างๆ

วิธีการทดสอบ ปรับรอบเครื่องยนต์เพื่อให้ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าคงที่ที่ 1,500 rpm แล้ว หลังจากนั้นปรับภาระของเครื่องยนต์ที่ 0, 10, 30, 50, 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ของภาระรวมทั้งหมดแล้ว ทำการบันทึกค่าต่างๆตามตารางในภาคผนวก ก เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบค่าต่างๆในการวิจัยดังนี้

- กำลังงานไฟฟ้า (Electrical Power)
- อัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้า
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซล
- อัตราการไหลของอากาศทางเข้าที่อ่วมไอดี
- A/F ratio ของอากาศกับเชื้อเพลิง(น้ำมันดีเซล)
- แก๊ส CO₂, CO, O₂, No_x และ HC

ช่วงที่ 2 เป็นการทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและเครื่องยนต์คงที่โดยเปลี่ยนภาระของเครื่องยนต์หลายๆค่าและใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง ที่สัดส่วนต่างๆ กันและวัดค่าต่างๆ

วิธีการทดสอบ ปรับรอบเครื่องยนต์เพื่อให้ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าและความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ที่ 1,500 rpm หลังจากนั้นปรับภาระเครื่องยนต์ที่ 0, 10, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ของภาระรวมทั้งหมดและวัดค่าต่างๆตามตารางในภาคผนวก ก เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบค่าต่างๆ ในการวิจัยดังนี้

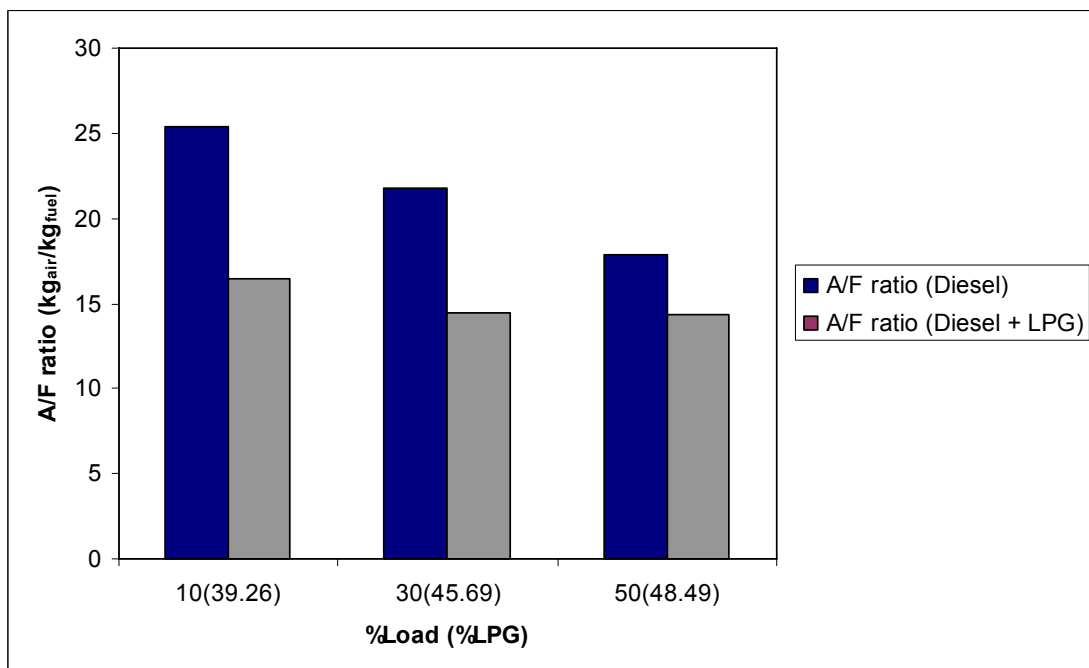
- กำลังงานไฟฟ้า (Electrical Power)
- อัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้า
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลและแก๊สแอลพีจี
- อัตราการไหลของอากาศทางเข้าที่อ่วมไอดี
- A/F ratio ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงร่วม (ดีเซล+แอลพีจี)
- แก๊ส CO₂, CO, O₂, No_x และ HC

เมื่อทดสอบเก็บข้อมูลตามวิธีการที่กำหนดไว้เสร็จแล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบเครื่องยนต์โดยเปรียบเทียบค่าต่างๆที่วัดได้ระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเป็นเชื้อเพลิงหลักกับการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม (Dual-Fuel)

บทที่ 4 ผลการวิจัย

เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้วทำการวิเคราะห์และประมวลผลการทดสอบโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลกับการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี ได้ดังนี้

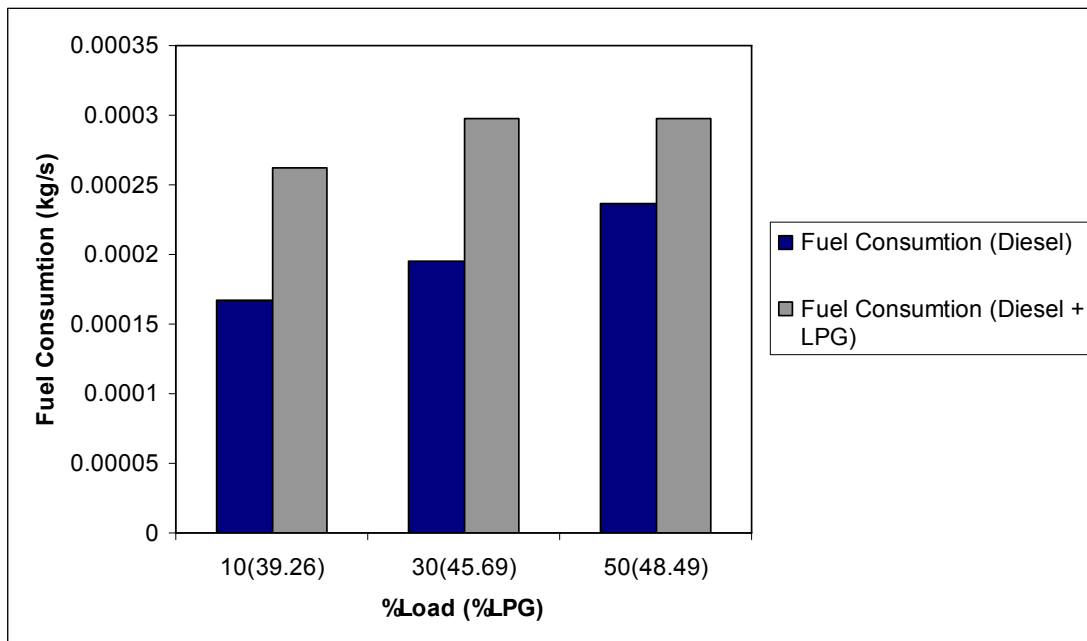
4.1 สมรรถนะเครื่องยนต์



ภาพประกอบ 18 เปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบ 18 เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดพบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มลดลง และอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทั้งนี้จากข้อมูลการทดสอบพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงรวมโดยมวลของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี สูงกว่าน้ำมันดีเซลดังภาพประกอบ 19 ขณะที่อัตราการไหลเข้าของอากาศคงที่ จึงเป็นผลให้อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

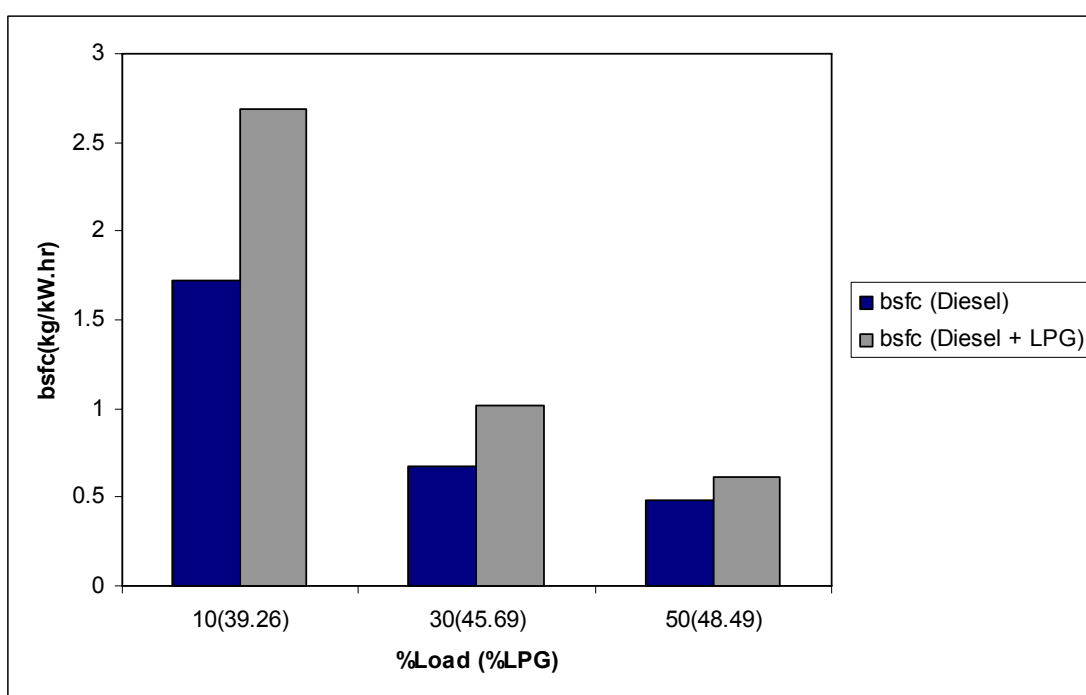
เมื่อพิจารณาจากสมการการเผาไหม้เชื้อเพลิงดังแสดงในภาคผนวก ก พบว่าเมื่อมีส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นการเผาไหม้ก็ยังไม่สมบูรณ์มากขึ้นและจะส่งผลให้ปริมาณแก๊ส คาร์บอนมอนนอกไซด์ และ ไฮโดรคาร์บอน เพิ่มขึ้นด้วยดังแสดงในภาพประกอบ 25 และ 28



ภาพประกอบ 19 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบ 19 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดพบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิง (A/F ratio) ของน้ำมันดีเซลต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวของทั้งสองเชื้อเพลิงพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลที่มีส่วนร่วมกับแอลพีจี จะต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว และต่ำกว่าโดยเฉลี่ย 19 เปอร์เซ็นต์ ที่เปอร์เซ็นต์โหลดของเครื่องยนต์ 50 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจี ที่ 48.49 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่เปอร์เซ็นต์โหลดของเครื่องยนต์ 50 เปอร์เซ็นต์ ยังสามารถเพิ่มอัตราส่วนร่วมกับ แอลพีจี ได้อีกดังตารางข้อมูลการทดสอบในภาคผนวก ก ซึ่งส่วนร่วมกับ แอลพีจี สูงสุดโดยน้ำหนักคือ 74.72 เปอร์เซ็นต์ ที่เครื่องยนต์สามารถเดินเครื่องได้ปกติ

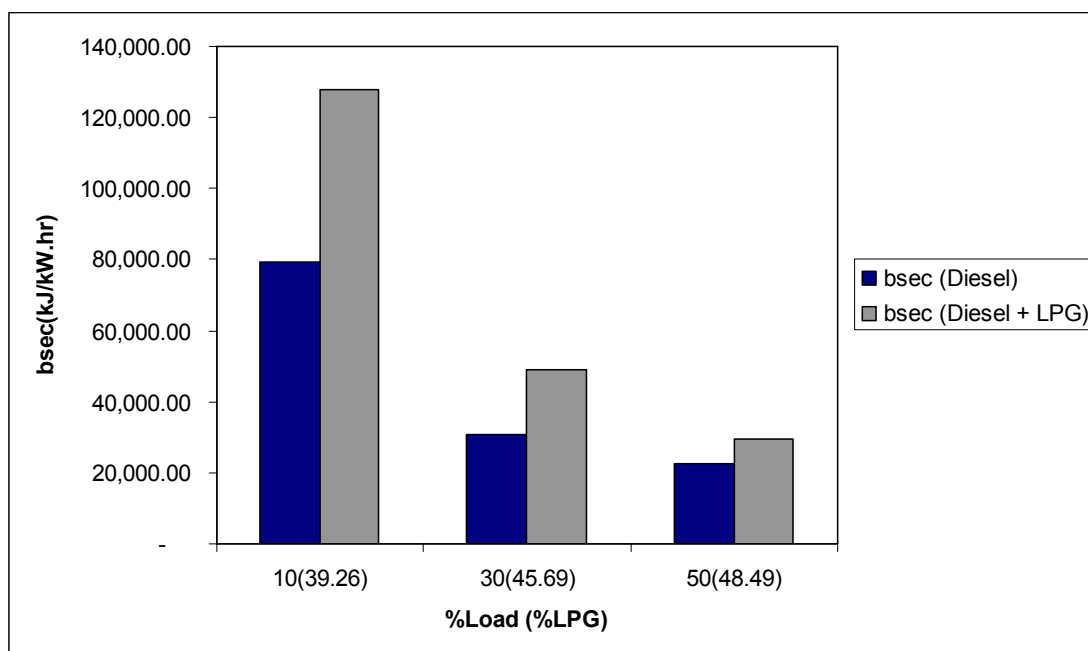
สาเหตุที่การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแอลพีจีมากกว่ากรณีการใช้ น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวอาจเนื่องมาจากการป้อนแอลพีจีนั้นได้ใช้วิธีป้อนเข้าทางท่อร่วมไอดีซึ่งมีการปรับความเร็วในการป้อนที่ยังไม่สมดุลกับการฉีดเชื้อเพลิงซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณการป้อนแอลพีจี อาจจะมากจนเกินไป ผลที่ตามมาคือการเผาไหม้ไม่หมดและจะทำให้เกิดแก๊ส คาร์บอนมอนนอกไซด์ และ ไฮโดรคาร์บอน สูงดังภาพประกอบ 25 และ 28 เช่นกัน อีกประเด็นหนึ่งที่มีแนวโน้มเป็นไปได้คือ อุณหภูมิการจุดระเบิดและค่าซีเทนของแก๊สแอลพีจีต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเป็นผลให้จังหวะการจุดระเบิด ในห้องเผาไหม้เกิดก่อนน้ำมันดีเซล อาจเป็นส่วนหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการทดสอบครั้งต่อไป



ภาพประกอบ 20 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ความเร็วรอบของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบที่ 20 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของ เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดพบว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมี แนวโน้มต่ำลงเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ เบรกของน้ำมันดีเซลต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี โดยน้ำหนัก โดยต่ำกว่าเฉลี่ย 30.3 เปอร์เซ็นต์

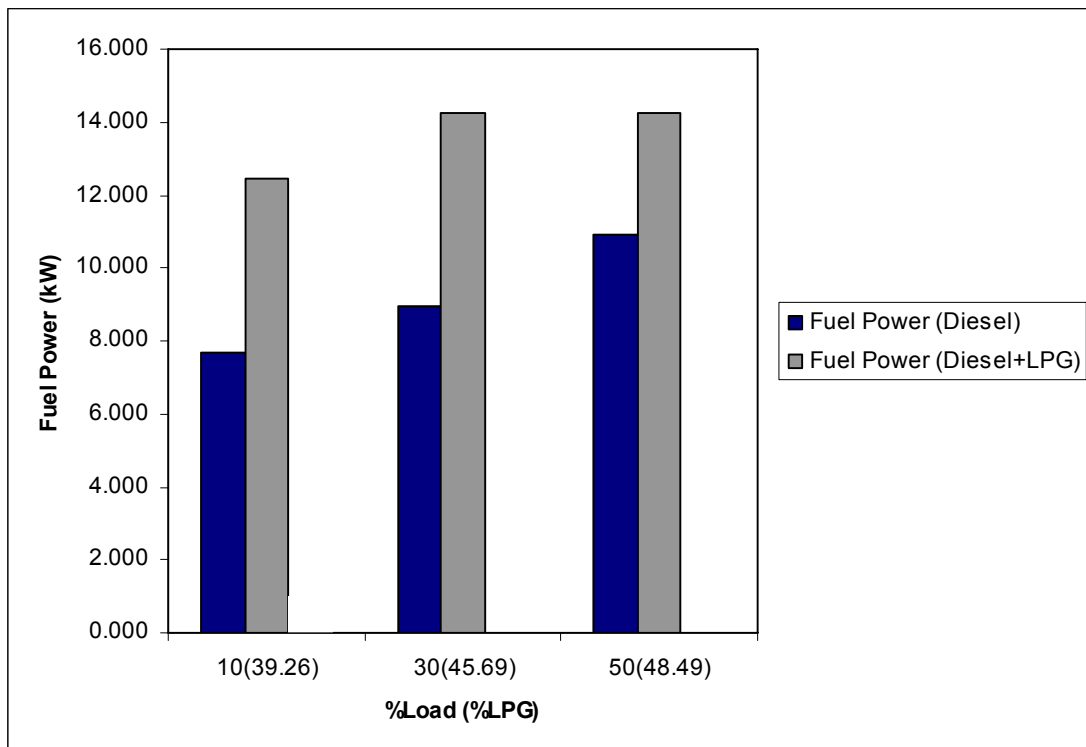
จากการวิเคราะห์พบว่าเชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับแอลพีจีมีค่าความร้อนในการเผาไหม้สูงกว่าน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวแต่จากการทดสอบพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลร่วมกับแอลพีจีมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลดังภาพประกอบ 14 แสดงว่าการเผาไหม้ต้องใช้จำนวนเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากกว่าเพื่อให้ได้ค่าพลังงานออกมาเท่ากัน



ภาพประกอบ 21 แสดงกราฟเปรียบเทียบพลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบ 21 เมื่อเปรียบเทียบพลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด พบว่าพลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกของน้ำมันทั้งสองชนิดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และพลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกของน้ำมันดีเซลต่ำกว่าน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี โดยต่ำกว่าเฉลี่ย 33 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้จากการทดสอบพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวลของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี สูงกว่าน้ำมันดีเซลและค่าความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี ก็สูงกว่าน้ำมันดีเซลด้วย

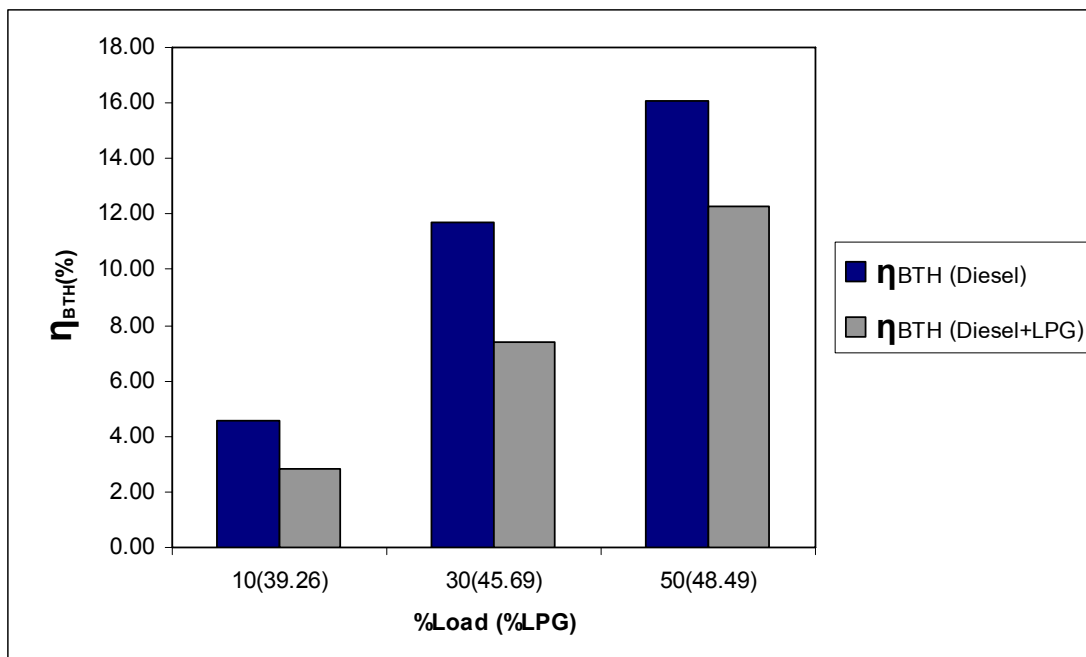
จากการวิเคราะห์พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี สูงกว่าน้ำมันดีเซล ดังภาพประกอบ 20 แสดงว่าเมื่อพิจารณาปริมาณเชื้อเพลิงที่เท่ากัน ความสามารถในการให้พลังงานของน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวสูงกว่าน้ำมันดีเซลร่วมกับแอลพีจี จึงทำให้ค่าพลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกต่ำกว่ากรณีการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับแอลพีจี



ภาพประกอบ 22 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังงานเชื้อเพลิงและกำลังงานที่ได้จากการทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบ 22 เมื่อเปรียบเทียบกำลังงานเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นแนวโน้มกำลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น และกำลังงานเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี สูงกว่าน้ำมันดีเซล และสูงกว่าโดยเฉลี่ย 50.36 เปอร์เซ็นต์

ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ดังภาพประกอบ 19 พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลร่วมกับแอลพีจีมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวประกอบกับแก๊ส แอลพีจีมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูงกว่าน้ำมันดีเซลจึงทำให้กำลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่ากรณีการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวดังภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 23 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

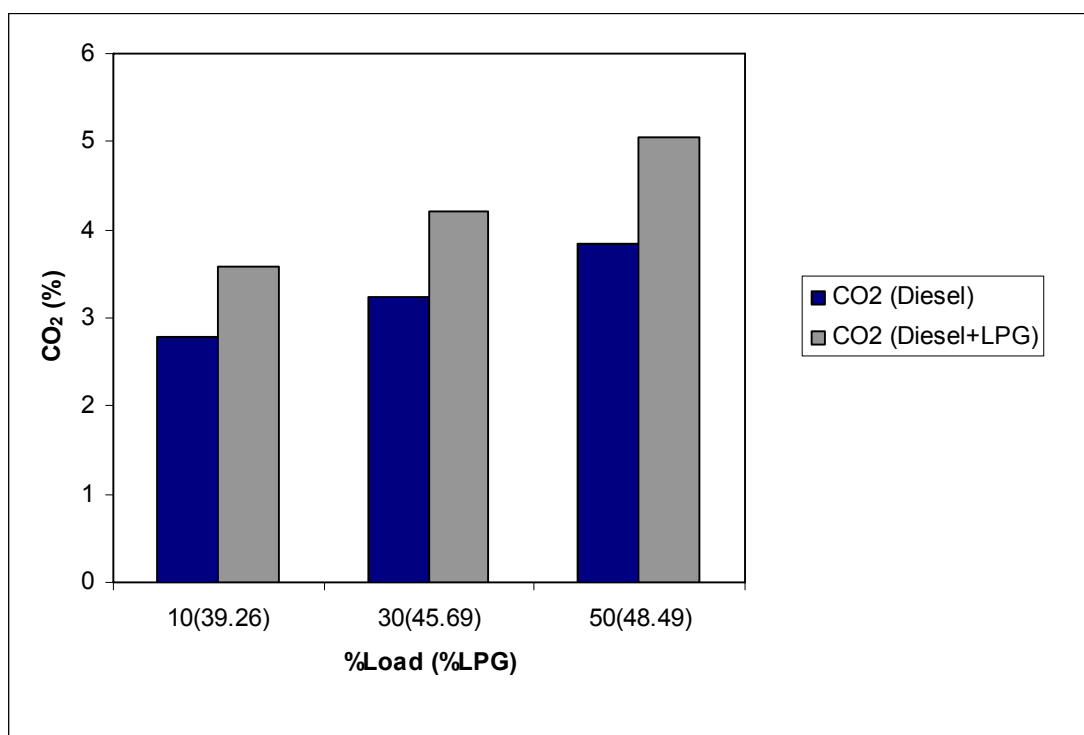
จากภาพประกอบ 23 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทั้งนี้เนื่องมาจากกำลังงานเชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี สูงกว่าน้ำมันดีเซลดังภาพประกอบ 19 จากการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคดังสมการที่ 5 พบว่าเมื่อกำลังงานเชื้อเพลิงสูงจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลร่วมกับแอลพีจีและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลร่วมกับแอลพีจี โดยน้ำหนักจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลหลายประการเช่น แก๊สแอลพีจีมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูงกว่าน้ำมันดีเซล, Boiling point และ Flash point ที่ต่ำกว่า น้ำมันดีเซลดังแสดงในภาคผนวก ค คือค่าความร้อนเชื้อเพลิงของแอลพีจีมีค่า 48,454 kJ/kg ขณะที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวมีค่า 45,968 kJ/kg , Boiling point ของแก๊สแอลพีจีมีค่า -44.5 °C ขณะที่น้ำมันดีเซลมีค่า 177.5 °C และ Flash point ของแก๊สแอลพีจีมีค่า -104 °C ขณะที่น้ำมันดีเซลมีค่า 67 °C เป็นต้นซึ่งทำให้การสูญเสียความร้อนจากการนำและการแผ่

รังสีของเครื่องยนต์ออกสู่สิ่งแวดล้อมมากกว่าทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล คุณสมบัติในการเผาไหม้ของแก๊สแอลพีจีที่สามารถเผาไหม้ได้รวดเร็วแต่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูงกว่า ทำให้การสูญเสียความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมข้างได้มากกว่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคต่ำกว่ากรณีการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว

4.2 ปริมาณแก๊สไอเสีย

ผลการวัดแก๊สไอเสียเครื่องยนต์ที่ทดสอบโดยเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลร่วมกับแอลพีจีและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว สามารถนำมาเปรียบเทียบข้อมูลได้ดังภาพประกอบดังต่อไปนี้



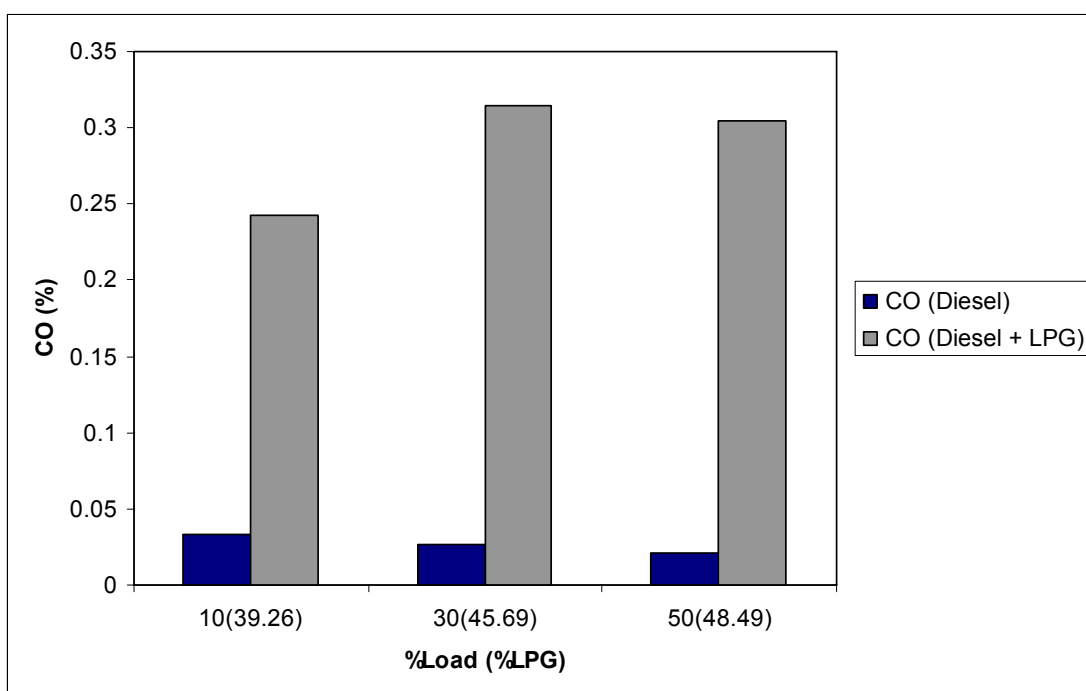
ภาพประกอบ 24 แสดงกราฟปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ จากแก๊สไอเสียที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบ 24 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ จากแก๊สไอเสียของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดพบว่า เมื่อภาระโหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นหรืออัตราส่วนร่วมกับ แอลพีจี เพิ่มขึ้น ปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ ของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากเมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้น เครื่องยนต์ต้องใช้พลังงานมากขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิง การ

เผาไหม้ก็เพิ่มขึ้นดังนั้นปริมาณแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ จึงเพิ่มขึ้น และปริมาณแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ จากแก๊สไอเสียของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี สูงกว่าน้ำมันดีเซล และสูงกว่า เฉลี่ย 29.7 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจีในการเผาไหม้มากกว่าน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวดังภาพประกอบ 19 เป็นผลให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงในปริมาณที่มากกว่าทำให้ปริมาณแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ สูงขึ้นตามไปด้วย

จากการคำนวณทางทฤษฎีพบว่า เมื่อส่วนร่วมกับแอลพีจีเพิ่มขึ้นปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มขึ้นด้วยซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบ



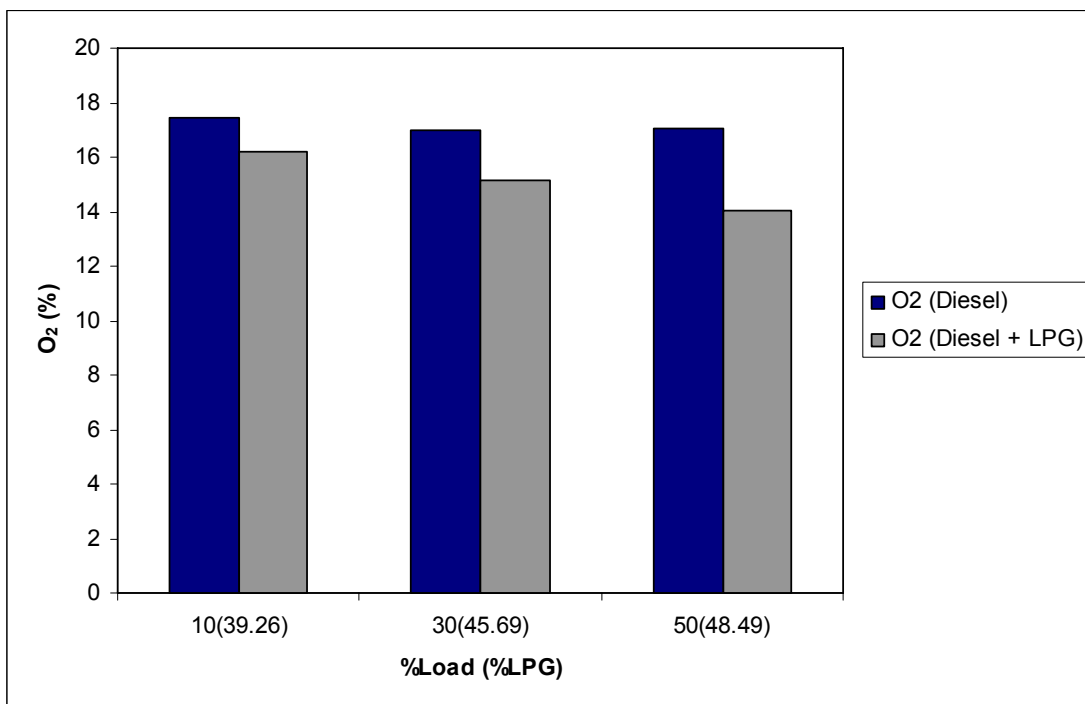
ภาพประกอบ 25 แสดงกราฟปริมาณ คาร์บอนมอนนอกไซด์ จากแก๊สไอเสียที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบ 25 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส คาร์บอนมอนนอกไซด์ จากแก๊สไอเสียของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดพบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นหรืออัตราส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส คาร์บอนมอนนอกไซด์ ของน้ำมันดีเซลมีแนวโน้มต่ำลง ขณะที่ปริมาณแก๊ส คาร์บอนมอนนอกไซด์ ของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี มีแนวโน้มสูงขึ้นและค่อยๆต่ำลงเมื่อส่วนร่วมกับเพิ่มขึ้นและเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น แต่จากการทดสอบและทำการวัดปริมาณแก๊ส

คาร์บอนมอนนอกไซด์ หลายครั้งพบว่าปริมาณแก๊ส คาร์บอนมอนนอกไซด์ จากแก๊สไอเสียของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี สูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก

จากการวิเคราะห์พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจีสูงกว่าน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวแต่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ได้ต่ำกว่ากรณีการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวแสดงว่าแก๊สแอลพีจีที่ฉีดเพิ่มเข้าไปทางท่อร่วมไอดีเผาไหม้ไม่หมดจึงได้แก๊สออกมาในรูปของแก๊ส คาร์บอนมอนนอกไซด์ ค่อนข้างสูงมากดังภาพประกอบ 25

จากการคำนวณตามสมการการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ในภาคผนวก ข พบว่าเชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี ให้ค่าแก๊ส คาร์บอนมอนนอกไซด์ มากกว่าน้ำมันดีเซลจริง ดังนั้นผลการทดสอบจึงสอดคล้องกับการคำนวณทางทฤษฎีการเผาไหม้เชื้อเพลิง

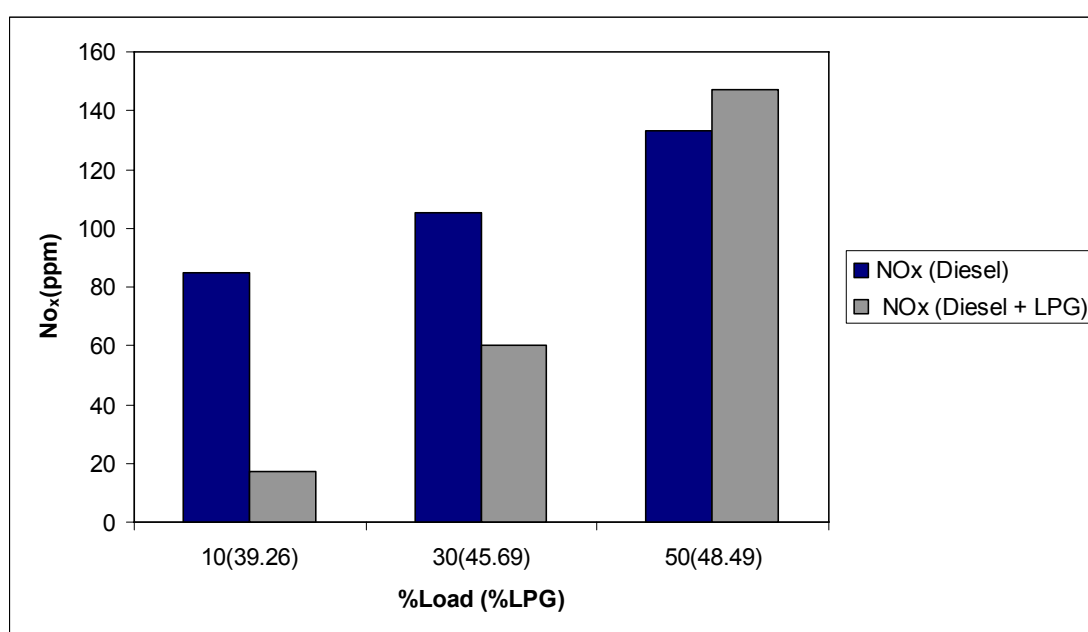


ภาพประกอบ 26 แสดงกราฟปริมาณแก๊ส O₂ จากแก๊สไอเสียที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบ 26 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส O₂ จากแก๊สไอเสียของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดพบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นหรืออัตราส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจี เพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส O₂ ของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณแก๊ส O₂ จากแก๊สไอเสียของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลและต่ำกว่าเฉลี่ย 11.9 เปอร์เซ็นต์

จากการวิเคราะห์พบว่าสาเหตุที่ค่าแก๊ส O_2 จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจีมีค่าแก๊ส O_2 ต่ำกว่ากรณีการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเนื่องจากผลจากการเผาไหม้จะออกมาในรูปของแก๊ส คาร์บอนมอนนอกไซด์ สูงแทน ดังภาพประกอบ 25 และเป็นดัชนีบ่งบอกว่า การเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวดีกว่ากรณีน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี

จากการคำนวณตามสมการการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ในภาคผนวก ข พบว่าเชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี ให้ค่าแก๊ส O_2 ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลจริง ดังนั้นผลการทดสอบจึงสอดคล้องตามทฤษฎีการเผาไหม้เชื้อเพลิง



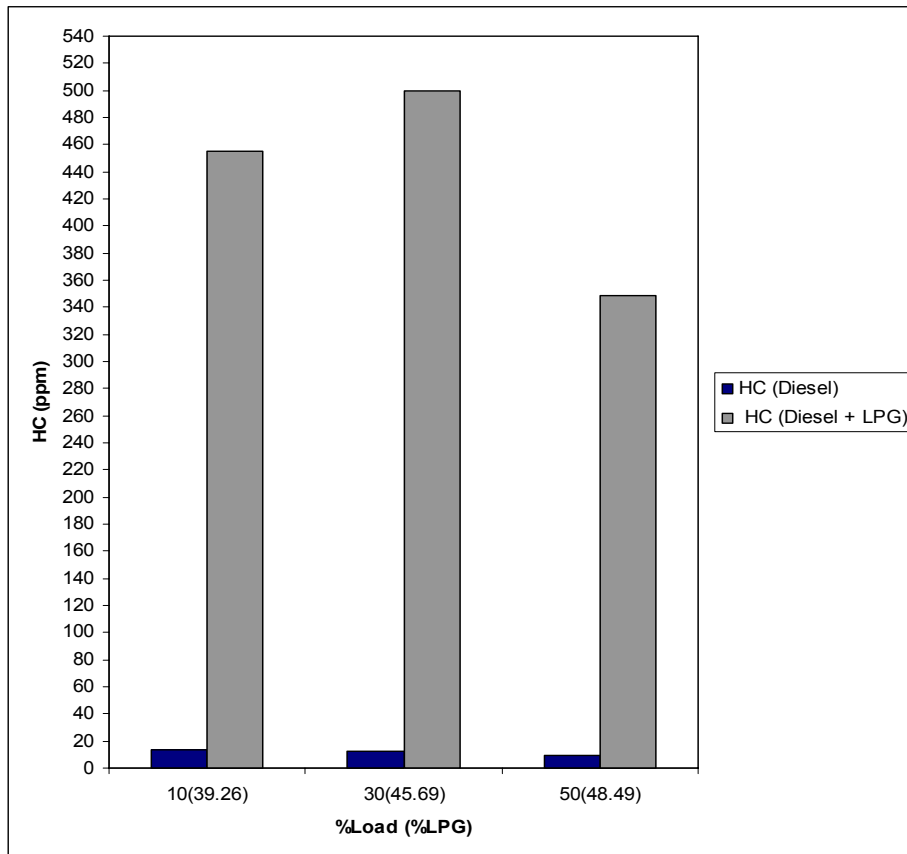
ภาพประกอบ 27 แสดงกราฟปริมาณแก๊ส NOx จากแก๊สไอเสียที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบ 27 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส NOx จากแก๊สไอเสียของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดพบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นหรืออัตราส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจี เพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส NOx ของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มสูงขึ้นโดยเฉพาะปริมาณแก๊ส NOx จากแก๊สไอเสียของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจี ซึ่งเริ่มต้นเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์ต่ำและอัตราส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจีต่ำ ปริมาณแก๊ส NOx จะต่ำกว่าค่าของน้ำมันดีเซลมาก แต่เมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นและอัตราส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส NOx เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงกว่าค่าของน้ำมันดีเซลเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์อยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ และที่ส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจี

48.49 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 29 พบว่าเมื่ออัตราส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นมากกว่า 48.49 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแก๊ส NO_x จะต่ำลง

เป็นการยากที่จะวิเคราะห์ว่าแก๊ส NO_x ที่เกิดขึ้นมากหรือน้อยมาจากที่ไหนในระบบอกสูบ เนื่องจากอัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงและอุณหภูมินั้นเปลี่ยนแปลงตามกันอย่างซับซ้อนมาก ระหว่างช่องของการเกิดการสันดาปในระบบอกสูบที่มีออกซิเจนมาก จะเป็นการสันดาปที่ดี การเผาไหม้จะสมบูรณ์และรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิสูงมาก และที่อุณหภูมิสูงนี้เองจะทำให้เกิดแก๊ส NO_x ในช่วงนี้มาก

เมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 3 และ 4 ในบทที่ 2 พบว่าจากทฤษฎีการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณแก๊ส NO_x จะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในครั้งนี้

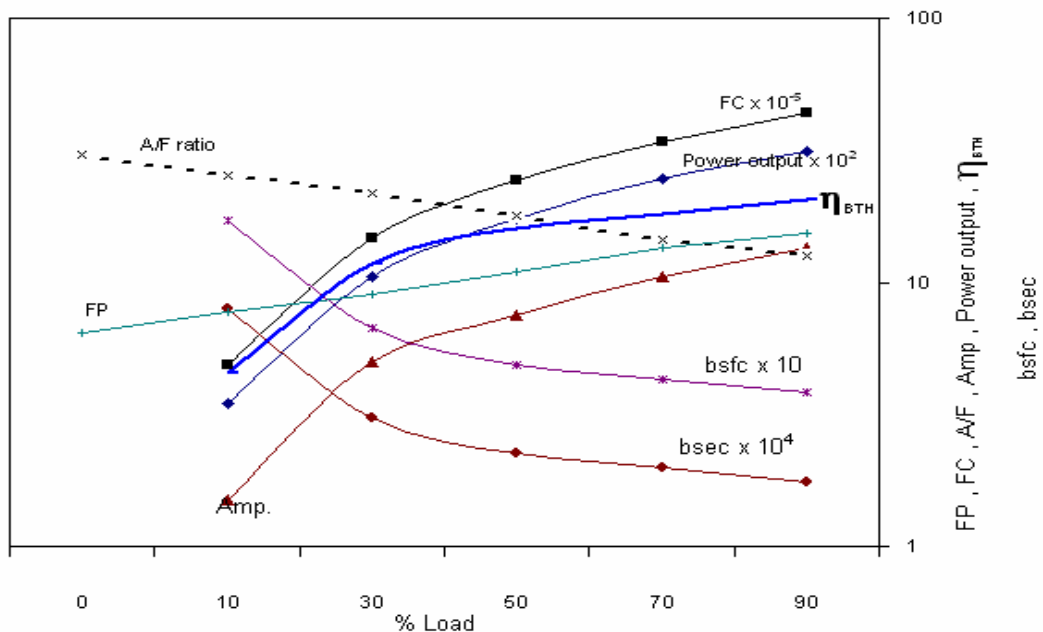


ภาพประกอบ 28 แสดงกราฟปริมาณ ไฮโดรคาร์บอน จากแก๊สไอเสียที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบ 28 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอน จากแก๊สไอเสียของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดพบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นและอัตราส่วนร่วมกับแอลพีจีเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีแนวโน้มต่ำลง แต่ปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนจากแก๊สไอเสียของน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจีสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก เมื่อทำการวัดค่าทดสอบหลายๆครั้งพบว่า ค่าที่ได้ยังคงเหมือนเดิม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าที่ส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าน้ำมันดีเซล

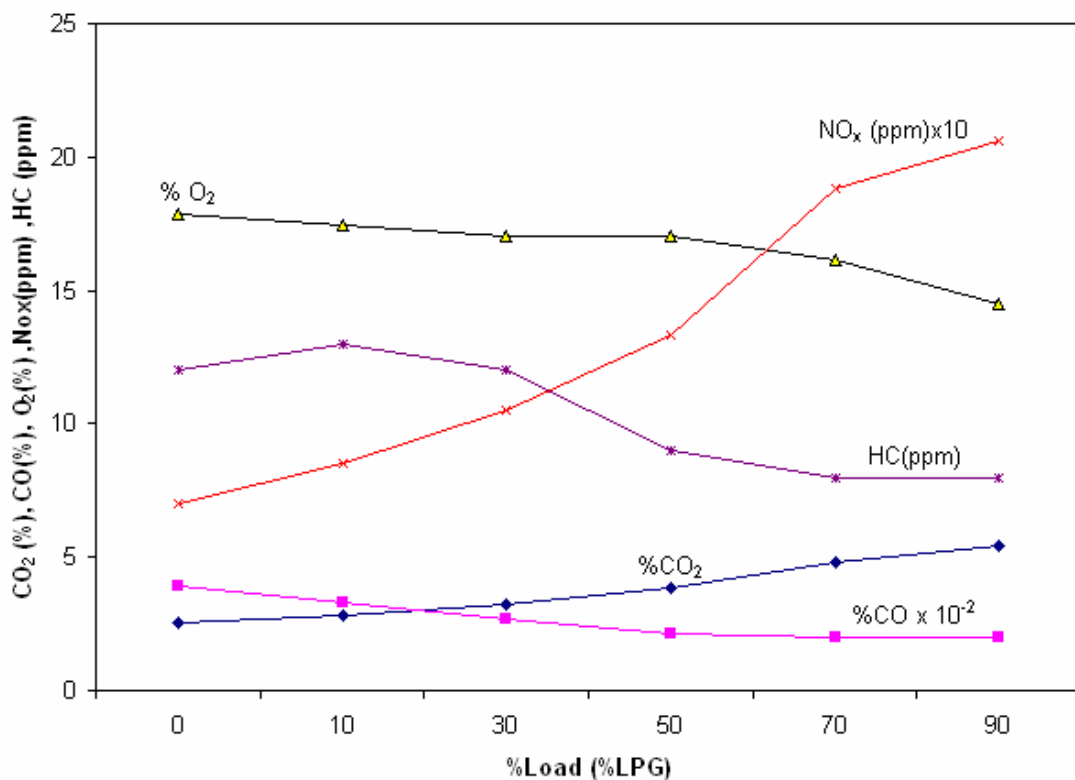
จากการวิเคราะห์พบว่า การเพิ่มขึ้นของแก๊สไฮโดรคาร์บอน เนื่องจากหลายสาเหตุเช่นส่วนร่วมกับของอากาศและเชื้อเพลิงที่หนาจะสัมผัสผนังเสื้อสูบที่อุณหภูมิต่ำซึ่งเป็นเหตุให้เกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนและไม่เกิดการเผาไหม้เลย หรืออาจเกิดจากส่วนร่วมกับเบาเกินไปเปลวไฟจะดับ ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอนมาก หรืออาจเกิดจากน้ำมันเหลือหลังการฉีดของหัวฉีด และส่วนที่เหลือเป็นหยดนี้ไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้ ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอน หรือเชื้อเพลิงหล่อลื่นในเสื้อสูบและกระบอกสูบเผาไหม้จนเกิดการไหม้ จนทำให้เกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอน

เมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 3 และ 4 ในบทที่ 2 พบว่าจากทฤษฎีการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนจะสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในครั้งนี้



ภาพประกอบ 29 แสดงสมรรถนะโดยรวมของเครื่องยนต์ที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เมื่อภาระโหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

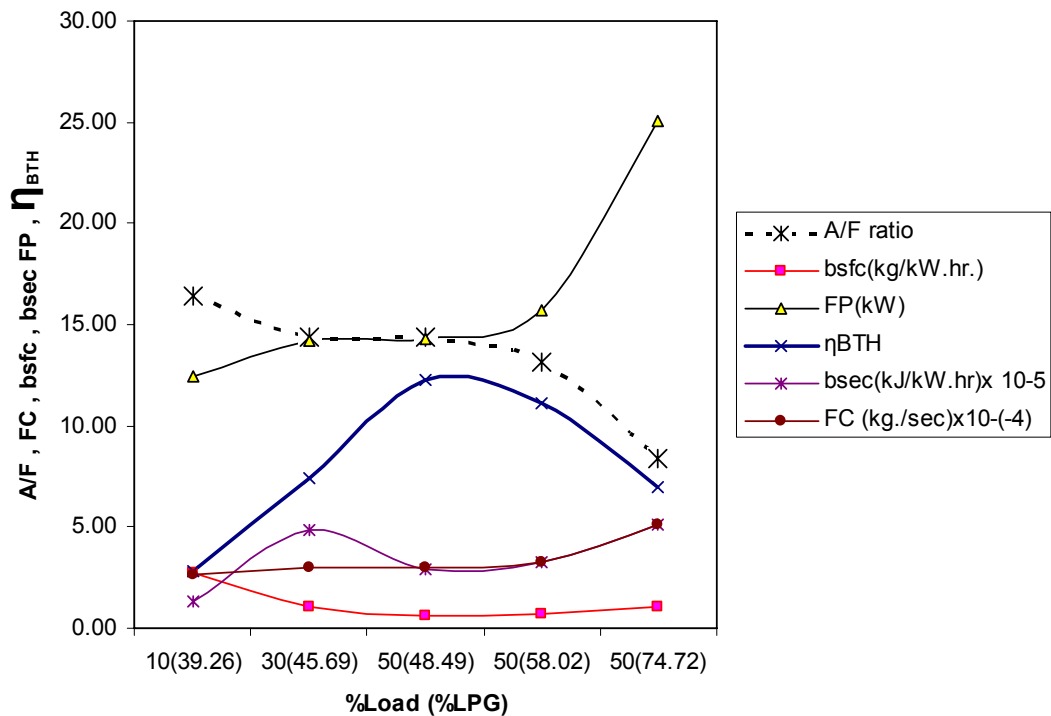
จากภาพประกอบ 29 พบว่าเมื่อทำการทดสอบด้วยเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่ความเร็วรอบคงที่ที่ 1,500 rpm และเพิ่มโหลดของเครื่องยนต์ ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เพราะเมื่อเพิ่มโหลดจะทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงขึ้นตามไปด้วย และเป็นผลให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณากำลังงานเชื้อเพลิงพบว่าเมื่อปริมาณส่วนผสมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นและเป็นผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



ภาพประกอบ 30 แสดงปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเมื่อภาระโหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบ 30 พบว่าเมื่อทำการทดสอบด้วยเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่ความเร็วรอบคงที่ที่ 1,500 rpm และเพิ่มภาระโหลดของเครื่องยนต์ ปริมาณแก๊ส คาร์บอนมอนนอกไซด์, แก๊สไฮโดรคาร์บอน และแก๊ส O₂ มีแนวโน้มลดลง และเมื่อพิจารณาปริมาณแก๊ส NO_x และแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มภาระโหลดของเครื่องยนต์ โดยให้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm ซึ่งสอดคล้องกับภาพประกอบ 29 คือเมื่อเพิ่มภาระโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยให้ความเร็วรอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

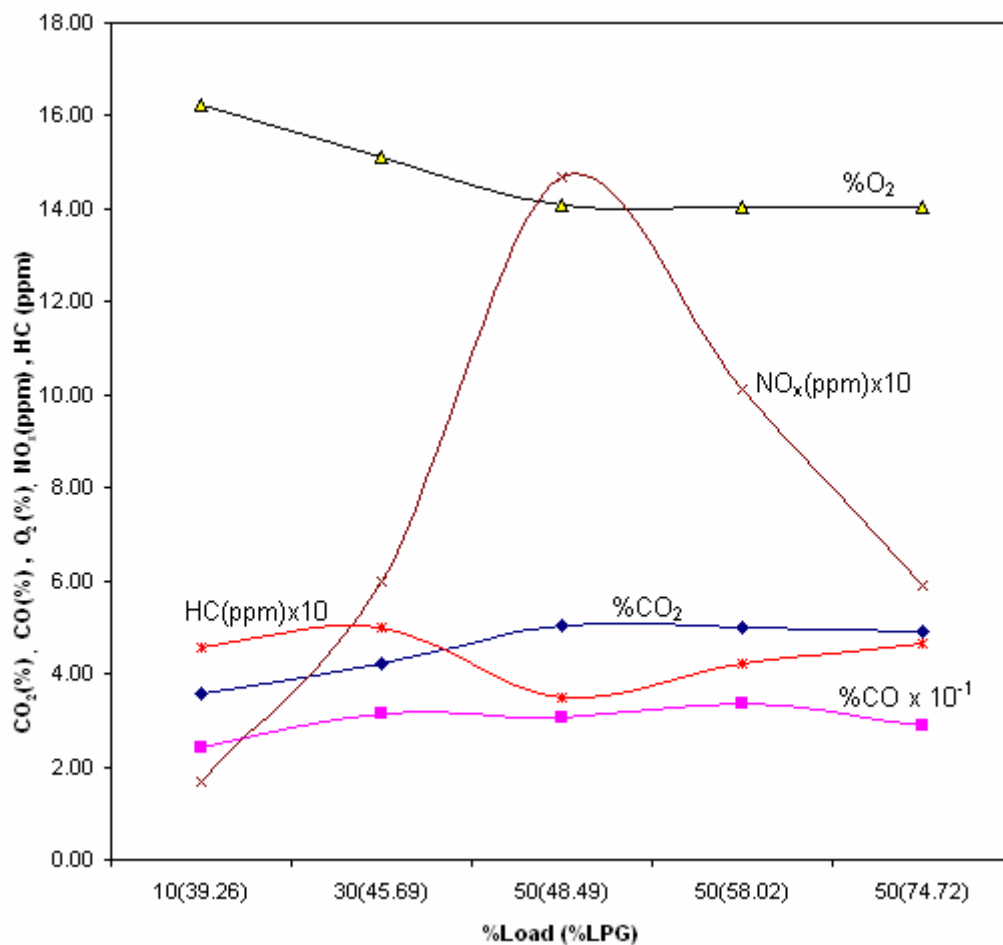
คงที่ที่ 1,500 rpm อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเผาไหม้เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มขึ้นแสดงว่ามีการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ได้ดี ซึ่งจะส่งผลให้ ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และแก๊สไฮโดรคาร์บอนลดลงตามไปด้วย



ภาพประกอบ 31 แสดงสมรรถนะเครื่องยนต์ที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจีเมื่อ ส่วนผสมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบ 31 เมื่อเปรียบเทียบค่าต่างๆ ที่เกิดจากส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจีต่ำสุดจนถึง สูงสุด พบว่า A/F ratio ต่ำลงเมื่ออัตราส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจี เพิ่มขึ้นจาก 39.26 เปอร์เซ็นต์ - 74.72 เปอร์เซ็นต์ เพราะว่าเนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมนั้นใช้ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นกว่าน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวดังภาพประกอบ 31 ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงร่วมกับระหว่างน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และจากการทดสอบพบว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมนั้นไม่สมบูรณ์มากกว่าเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวดังภาพประกอบ 25 และ 28 และจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะส่งผลให้กำลังเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์ - 50 เปอร์เซ็นต์ และส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นจาก 39.26 เปอร์เซ็นต์ - 74.72 เปอร์เซ็นต์ด้วย เนื่องจากแก๊สแอลพีจีมีค่าความร้อนเชื้อเพลิง

มากกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นเมื่อปริมาณแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นดังภาพประกอบ 31 ค่าความร้อนเชื้อเพลิงก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วยจึงมีผลทำให้กำลังเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ตามมาคือประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์ – 50 เปอร์เซ็นต์ และส่วนร่วมกับแอลพีจี เพิ่มขึ้นจาก 39.26 เปอร์เซ็นต์ - 48.49 เปอร์เซ็นต์ ด้วย เนื่องจากเมื่อกำลังเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นแต่กำลังงานที่ให้ออกมายังเท่าเดิมจะส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลงในช่วงเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์คงที่ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่อัตราส่วนการขีดแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 32 แสดงปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สแอลพีจีเมื่อส่วนผสมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ที่ 1,500 rpm

จากภาพประกอบ 32 เมื่อเปรียบเทียบค่าต่างๆ ที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจี ต่ำสุดจนถึงสูงสุดพบว่า

1. ปริมาณแก๊ส NO_x สูงขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์ - 50 เปอร์เซ็นต์ และส่วนร่วมกับ แอลพีจี เพิ่มขึ้นจาก 39.26 เปอร์เซ็นต์ - 48.49 เปอร์เซ็นต์ และลดลงเมื่อส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจี เพิ่มขึ้นจาก 48.49 เปอร์เซ็นต์ - 74.72 เปอร์เซ็นต์ ที่เปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์คงที่ 50 เปอร์เซ็นต์

เป็นการยากที่จะวิเคราะห์ว่าแก๊ส NO_x ที่เกิดขึ้นมากหรือน้อยมาจากที่ไหนในกระบอกสูบ เนื่องจากอัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงและอุณหภูมินั้นเปลี่ยนแปลงตามกันอย่างซับซ้อนมาก ระหว่างช่วงของการเกิดการสันดาปในกระบอกสูบที่มีออกซิเจนมาก จะเป็นการสันดาปที่ดีการเผาไหม้จะสมบูรณ์และรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิสูงมาก และที่อุณหภูมิสูงนี้เองจะทำให้เกิดแก๊ส NO_x ในช่วงนี้มาก

2. ปริมาณแก๊ส O₂ ต่ำลงเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์ - 50 เปอร์เซ็นต์ และส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจี เพิ่มขึ้นจาก 39.26 เปอร์เซ็นต์ - 48.49 เปอร์เซ็นต์ และคงที่เมื่อส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นจาก 48.49 เปอร์เซ็นต์ - 74.72 เปอร์เซ็นต์ ที่เปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์คงที่ 50 เปอร์เซ็นต์

3. ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์ - 50 เปอร์เซ็นต์และส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจี เพิ่มขึ้นจาก 39.26 เปอร์เซ็นต์ - 74.72 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากจากภาพประกอบ 25 และ 28 พบว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมไม่สมบูรณ์มากกว่าเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว

4. ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์ - 50 เปอร์เซ็นต์ และส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจี เพิ่มขึ้นจาก 39.26 เปอร์เซ็นต์ - 48.49 เปอร์เซ็นต์ และคงที่เมื่อส่วนร่วมกับแก๊สแอลพีจีเพิ่มขึ้นจาก 48.49 เปอร์เซ็นต์ - 74.72 เปอร์เซ็นต์ ที่เปอร์เซ็นต์โหลดเครื่องยนต์คงที่ 50 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงและอากาศสามารถเผาไหม้ได้ดีในช่วงอัตราการใช้แก๊สแอลพีจีที่ 39.26 เปอร์เซ็นต์ - 48.49 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อส่วนร่วมกับเพิ่มขึ้นเป็น 48.49 เปอร์เซ็นต์ - 74.72 เปอร์เซ็นต์ การเผาไหม้ไม่ดีพอ ปริมาณแก๊สแอลพีจีที่ฉีดเข้าไปเพิ่มจะไม่เกิดการเผาไหม้จนหมดจึงกลายเป็นแก๊สไอเสียออกมาในรูปของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้นดังภาพประกอบ 32

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผล

จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะและการปล่อยแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับเครื่องยนต์ที่ใช้้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว โดยการป้อนแก๊สแอลพีจีเข้าทางท่อร่วมไอดีโดยตรง และทดสอบที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับด้วยความเร็วรอบคงที่ที่ 1,500 รอบต่อนาที แล้วเพิ่มภาระของเครื่องยนต์โดยส่งกำลังขับด้วยสายพานไปที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยปรับภาระโหลดจาก 0, 10, 30, 50, 70 และ 90 เปอร์เซ็นต์ของภาระโหลดสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ การปรับสัดส่วนของน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีจะปรับโดยการเพิ่มส่วนผสมของแก๊สแอลพีจีร่วมกับน้ำมันดีเซลโดยป้อนน้ำมันดีเซลมีค่าคงที่ก่อนที่เครื่องยนต์เริ่มเกิดอาการน็อค จากการทดสอบสามารถสรุปสาระสำคัญตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

5.1.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์

1. ที่ภาระโหลดเครื่องยนต์ 50 เปอร์เซ็นต์ ของภาระโหลดสูงสุดและสัดส่วนของน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีสูงสุดเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์สามารถเดินเครื่องได้อย่างปกติโดยไม่เกิดการน็อคเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบด้วยเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว

2. ผลการทดสอบพบว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคต่ำกว่าการใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว โดยต่ำกว่าเฉลี่ย 33 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้จากการตรวจสอบคุณสมบัติของแก๊สแอลพีจีพบว่ามีค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูงกว่าน้ำมันดีเซลจึงส่งผลให้กำลังงานเชื้อเพลิงสูงกว่าน้ำมันดีเซลตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อส่วนผสมแก๊สแอลพีจีเพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลให้ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว

3. อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมเพื่อให้ได้พลังงานออกมาเท่ากันกับการใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก พบว่าโดยรวมมีค่าสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นผลให้อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงด้วย แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะอัตราการสิ้นเปลืองในส่วนของน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวพบว่า เมื่อทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง

ร่วม อัตราการสิ้นเปลืองเฉพาะน้ำมันดีเซลอย่างเดียวนั้นต่ำกว่าการใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเฉลี่ย 19 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเชื้อเพลิง

5.1.2 ปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้

1. ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และแก๊สไฮโดรคาร์บอนจากแก๊สไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักมาก ทั้งนี้เพราะว่าในองค์ประกอบของแก๊สแอลพีจีมีส่วนประกอบของไฮโดรเจนและคาร์บอนค่อนข้างสูง ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนและคาร์บอนในการเผาไหม้แล้วขบวนการเผาไหม้ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมดจึงมีแก๊สหลงเหลือออกมาในรูปของแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และแก๊สไฮโดรคาร์บอนมากขึ้น

2. ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากแก๊สไอเสียของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเฉลี่ย 29.7 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมนั้นมีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงในการเผาไหม้มากกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวและปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกใช้เพิ่มขึ้น คือแก๊สแอลพีจีซึ่งมีส่วนประกอบของไฮโดรเจนและคาร์บอนค่อนข้างสูงดังอธิบายในข้อที่ 1 ดังนั้นส่วนที่เกิดการเผาไหม้ได้สมบูรณ์จึงออกมาในรูปของน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

สรุปโดยรวมได้ว่า การศึกษาวิจัยในครั้งนี้พบว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้เพียงแต่ต้องดัดแปลงอุปกรณ์เสริมเพื่อช่วยในการฉีดแก๊สแอลพีจีเข้าไปในท่อร่วมไอดีให้มีประสิทธิภาพมากกว่านี้เพื่อช่วยให้ขบวนการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ดีกว่านี้ ไม่เช่นนั้นแล้วจะเป็นการก่อปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และแก๊สไฮโดรคาร์บอนมีปริมาณสูง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำการทดสอบโดยการปรับองศาการฉีดเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมสำหรับเครื่องยนต์เล็ก

5.2.2 จากผลการทดสอบเครื่องยนต์ จะเห็นว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วมค่อนข้างสูง เพราะฉะนั้นจึงควรมีการศึกษาและหาวิธีลดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์และแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้นี้เพื่อให้สามารถดัดแปลงและพัฒนาไปสู่การใช้งานจริงได้โดยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

5.2.3 เพื่อให้การพิจารณานำแก๊สแอลพีจีมาเป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์ดีเซลที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรทำการศึกษาการสึกหรอในเครื่องยนต์อีกหัวข้อหนึ่งด้วย

5.2.4 การวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นไปในการศึกษาการใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจี เป็นเชื้อเพลิงร่วมสำหรับเครื่องยนต์เล็กเพราะฉะนั้นควรทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2547). *มลพิษในอากาศ*. (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <http://www.cpd.go.th>.
วันสืบค้น 21 สิงหาคม 2548.

_____. (2546). *เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ เพื่อลดมลพิษและประหยัดพลังงาน*.

กรุงเทพฯ.: สำนักพิมพ์กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษและสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2546). *การใช้*

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศ. กรุงเทพฯ :

สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โกวิท ศตวุฒิ. (2527). *การวิจัยเพื่อนำแอลกอฮอล์หนักมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาป*

ภายใน. โครงการวิจัย เลขที่ 15G-IE-2525. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะ

วิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จิรศักดิ์ จิระวารี. (2530). *การใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล*. วิทยานิพนธ์

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : ภาควิชา

วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.

จรัญ คงวัตร; และคณะ. (2544). *ศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้เชื้อเพลิงดี*

ไซฮอลส์. วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). นครนายก:

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ถ่ายเอกสาร.

ชูศักดิ์ ทองพู; และนาวิน แสงเงินอ่อน. (2536). *การลดควันดำเครื่องยนต์ดีเซล*. วิทยานิพนธ์

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.

ถวัลย์ แสงนา. (2544). *การใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงเสริมสำหรับเครื่องยนต์*. วิทยานิพนธ์ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). ขอนแก่น : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ถ่ายเอกสาร.

บุรินทร์ วงษ์ศิริ (2531). *การใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงเสริมสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล*. วิทยานิพนธ์

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : ภาควิชา

วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.

ถ่ายเอกสาร.

- ปรกรณ์กิจ ตั้งสมบุรณ์ และคณะ(2543). *เครื่องยนต์เชื้อเพลิงเอทานอล*. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต.(วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : กองวิศวกรรมศาสตร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ. ถ่ายเอกสาร.
- ปราโมทย์ อ่อนประไพ. (2538). *เทคโนโลยีเครื่องยนต์ดีเซล*. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- ปัญญา วรเพชรอุท. (2541). *น้ำมันดีเซลกัมมันต์ต่ำก้าวสำคัญในการลดปัญหามลพิษทาง อากาศ*. กรุงเทพฯ :วารสาร คพ. ฉบับที่ 1. ปีที่ 3.
- มนตรี ทวาโรจน์. (2538). *การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แอลกอฮอล์ผสมน้ำมันดีเซล และน้ำมัน มะพร้าวผสมน้ำมันก๊าด เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล*.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.
- วรารุณ เสือดี.(2524). *เอกสารประกอบการฝึกอบรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ความรู้เบื้องต้น มลพิษทางอากาศ มลพิษทางเสียง และการตรวจวัดวิเคราะห์*. ปทุมธานี : ภาควิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ลิขิต ไสหนู. (2544). *ผลกระทบของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง* วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. (วิชาเทคโนโลยีพลังงาน). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. (2545). *เอกสารประกอบการสอนวิชามลพิษทางอากาศ. โปรแกรมวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏ สอนสุนันทา.
- สมศักดิ์ สีนประเสริฐ. (2524). *สมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้เมทานอลและน้ำมันดีเซลเป็น เชื้อเพลิง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- เสมอขวัญ ตันติกุล. (2544). *เครื่องยนต์สันดาปภายใน*. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีพศึกษา.
- John B. Heywood. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamental*. Singapore : McGraw-Hill Book Company.
- Kenneth Wark,; Cecil F. Warner,; & Wayne T. David. (1998). *Air Pollution, it origin and control. 3 th edition*. Addison – Wesley.
- Noel de nervers. (2000). *Air Pollution Control Engineering*. McGraw-Hill, Inc.p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางผลการทดสอบ

ตาราง 7 ตารางข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักเพียงอย่างเดียว

ภาระของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (%)	จำนวนการเปิดหลอดไฟ (Watt)	ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (rpm)	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	อัตราการไหลของน้ำมันดีเซล		อัตราการไหลของอากาศ (kg/sec.)	อัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้า		Exhaust Gass					A/F ratio (kg _a /kg _f)	bsfc (/kW.hr)	bsec (kJ/kW.hr)	FP (kW)	η_{BTH} (%)
				ml/min	kg/sec.		Volt	Amp.	%CO ₂	%CO	%O ₂	NOx (ppm)	HC(ppm)					
0	0	1,500	1,844	10	0.0001395	0.004270	220	0	2.57	0.039	17.86	70	12	30.61	0	0	6.412	0.00
10	350		1,850	12	0.0001674	0.004250	220	1.5	2.79	0.033	17.44	85	13	25.39	1.722	79,139.56	7.694	4.55
30	1,050		1,854	14	0.0001953	0.004250	220	5	3.24	0.027	17.01	105	12	21.76	0.670	30,776.50	8.976	11.70
50	1,750		1,858	17	0.0002371	0.004240	220	7.5	3.85	0.021	17.06	133	9	17.88	0.488	22,422.88	10.900	16.06
70	2,450		1,861	21	0.0002929	0.004240	220	10.5	4.83	0.020	16.16	188	8	14.48	0.430	19,784.89	13.465	18.20
90	3,150		1,871	24	0.0003348	0.004230	220	13.5	5.43	0.020	14.49	206	8	12.64	0.383	17,586.57	15.388	20.47

Density ; 0.8369 kg/liter
 Gross Heating Value: 45,968 J/g

ตาราง 8 ตารางข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงร่วม

ภาวะของ เครื่อง กำเนิดไฟฟ้า กระแสสลับ	จำนวน การเปิด หลอดไฟ	ความเร็วรอบ ของเครื่อง กำเนิดไฟฟ้า	ความเร็ว รอบ เครื่องยนต์	อัตราการไหลของน้ำมัน ดีเซล		อัตราการไหลของแก๊สแอลพีจี			อัตราการ ไหลของ อากาศ	อัตราการจ่าย กระแสไฟฟ้า		Exhaust Gas					A/F ratio	bsfc	bsec	FP	η_{BTH}
				ml/min	kg/sec.	l/min	kg/sec.	%LPG		kg/sec.	V	A	%CO ₂	%CO	%O ₂	NOx (ppm)					
(%)	(Watt)	rpm	rpm	ml/min	kg/sec.	l/min	kg/sec.	%LPG	kg/sec.	V	A	%CO ₂	%CO	%O ₂	NOx (ppm)	HC(ppm)	kg _r /kg _r	kg/kW.hr	kJ/kW.hr	(kW)	%
10	350	1,500	1,853	11.4	0.0001590	2	0.0001028	39.26	0.00430	220	1.5	3.58	0.243	16.22	17	455	16.43	2.69	127,953.04	12.44	2.81
30	1,050		1,855	11.6	0.0001618	3	0.0001361	45.69	0.00429	220	5	4.20	0.315	15.12	60	500	14.40	1.02	48,795.59	14.23	7.38
50	1,750		1,857	11	0.0001534	4	0.0001444	48.49	0.00428	220	7.5	5.05	0.305	14.06	147	349	14.37	0.61	29,341.70	14.26	12.27
50	1,750		1,858	9.8	0.0001367	5	0.0001889	58.02	0.00428	220	7.5	5.00	0.337	14.03	101	420	13.15	0.67	32,322.84	15.71	11.14
50	1,750		1,858	9.3	0.0001297	6	0.0003833	74.72	0.00428	220	7.5	4.90	0.289	14.03	59	463	8.34	1.06	51,630.54	25.10	6.97

Deisel fuel

Gas LPG

Gross Heating

Density ; 0.8369 kg/liter Value: 49,918 J/g

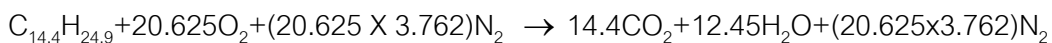
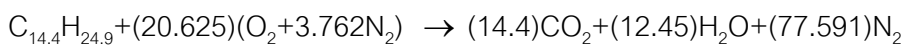
Gross Heating

Value: 45,968 J/g หรือ 11,920 cal/g

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล

1. สมการการเผาไหม้สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซล ($C_{14.2}H_{24.9}$)



อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง

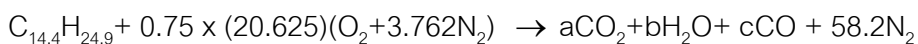
$$\begin{aligned} A/F \text{ ratio} &= \frac{(20.625 \times 32) + (20.625 \times 3.762 \times 28)}{(14.4 \times 12) + (24.9 \times 1)} \\ &= 14.327 \text{ kg}_a / \text{kg}_f \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณ } CO_2 = 633.6 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ } H_2O = 224.1 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ } N_2 = 2,172.555 \text{ g.}$$

2. ตัวอย่างการคำนวณสมการการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ($C_{14.2}H_{24.9}$) 100% และสมมติอากาศ 75% ดังนั้นสมการการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะได้

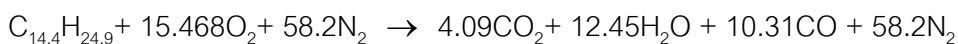


$$\text{A carbon balance ได้ } a + c = 14.4 \text{ ----- (A)}$$

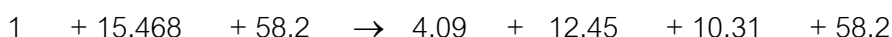
$$\text{A hydrogen balance ได้ } 2b = 24.9, b = 12.45 \text{ ----- (B)}$$

$$\text{A oxygen balance ได้ } 2a + 12.45 + c = 30.94 \text{ ----- (C)}$$

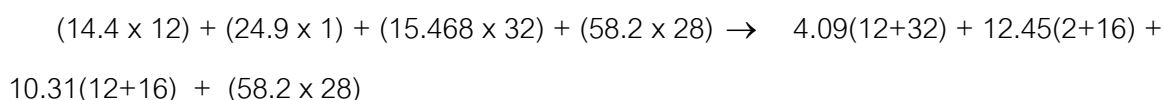
จากสมการ (A) (B) (C) จะได้ $a = 4.09$, $b = 12.45$, $c = 10.31$ แทนในสมการการเผาไหม้จะได้



โดยโมล



โดยน้ำหนัก



อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง

$$\begin{aligned} \text{A/F ratio} &= \frac{(15.468 \times 32) + (58.2 \times 28)}{(14.4 \times 12) + (24.9 \times 1)} \\ &= 10.75 \text{ kg}_a / \text{kg}_f \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณ CO}_2 = 4.09 \times 44 = 179.96 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ H}_2\text{O} = 224.1 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ N}_2 = 1629.6 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ CO} = 10.31 \times 28 = 288.68 \text{ g.}$$

3. ตัวอย่างการคำนวณจากสมการการเผาไหม้สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีที่ส่วนผสมแก๊สแอลพีจี 46%

สมการการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ($\text{C}_{14.4}\text{H}_{24.9}$) 54% และ แก๊สแอลพีจี (C_3H_8 , C_4H_{10}) 46% จะเป็น

$$0.56\text{C}_{14.4}\text{H}_{24.9} + 0.46(0.7\text{C}_3\text{H}_8 + 0.3\text{C}_4\text{H}_{10}) + 14.057(\text{O}_2 + 3.762\text{N}_2) \rightarrow 9.582\text{CO}_2 + 8.95\text{H}_2\text{O} + (14.057 \times 3.762)\text{N}_2$$

โดยโมล

$$0.56 + 0.46 + 14.057 \times 3.762 \rightarrow 9.582 + 8.95 + (14.057 \times 3.762)$$

โดยน้ำหนัก

$$0.56[(14.4 \times 12) + (24.9 \times 1)] + 0.322[(3 \times 12) + (8 \times 1)] + 0.138[(4 \times 12) + (10 \times 1)] + 14.057[(2 \times 16) + (3.762 \times 28)] \rightarrow 9.582(12 + 32) + 8.95(2 + 16) + (14.057 \times 3.762 \times 28)$$

อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง (A/F ratio)

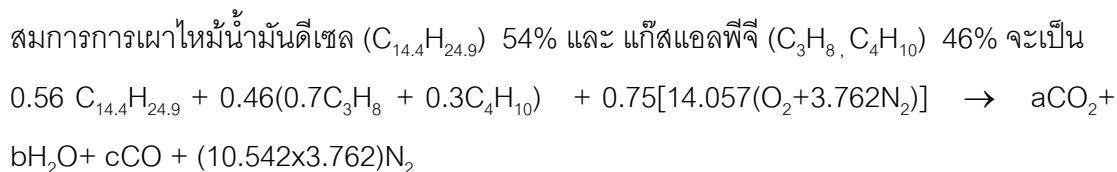
$$\begin{aligned} \text{A/F ratio} &= \frac{14.057[(2 \times 16) + (3.762 \times 28)]}{0.56[(14.4 \times 12) + (24.9 \times 1)] + 0.322[(3 \times 12) + (8 \times 1)] + 0.138[(4 \times 12) + (10 \times 1)]} + \\ &= 14.528 \text{ kg}_a / \text{kg}_f \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณ CO}_2 = 421.608 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ H}_2\text{O} = 161.10 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ N}_2 = 1,480.71 \text{ g.}$$

4. ตัวอย่างการคำนวณสมการการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซลกับแก๊สแอลพีจีที่ส่วนผสมแก๊สแอลพีจี 46%

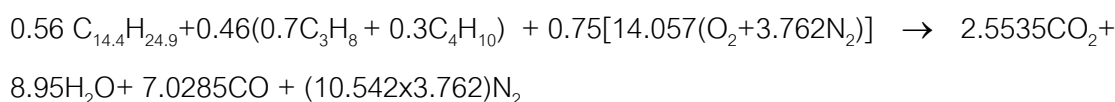


A carbon balance ได้ $a + c = 9.582$ ----- (A)

A hydrogen balance ได้ $2b = 17.9$, $b = 8.95$ ----- (B)

A oxygen balance ได้ $2a + 8.95 + c = 21.0855$ ----- (C)

จากสมการ (A) (B) (C) จะได้ $a = 2.5535$, $b = 8.95$, $c = 7.0285$ แทนในสมการการเผาไหม้จะได้



โดยโมล

$$0.56 + 0.46 + 10.543 \times 3.762 \rightarrow 2.5535 + 8.95 + 7.0285 + 10.542 \times 3.762$$

โดยน้ำหนัก

$$0.56(14.4 \times 12 + 24.9 \times 1) + 0.46[0.7(3 \times 12 + 8 \times 1) + 0.3(4 \times 12 + 1 \times 10)] + 10.5427(32 + 3.762 \times 28) \rightarrow 2.5535(12 + 32) + 8.95(2 + 16) + 7.0285(12 + 16) + 1110.53$$

อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง (A/F ratio)

$$\begin{aligned} \text{A/F ratio} &= 10.5427(32 + 3.762 \times 28) / [0.56(14.4 \times 12 + 24.9 \times 1) + 0.46[0.7(3 \times 12 + 8 \times 1) + 0.3(4 \times 12 + 1 \times 10)]] \\ &= 10.8959 \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณ CO}_2 = 112.354 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ H}_2\text{O} = 161.10 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ N}_2 = 1,110.53 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ CO} = 196.798 \text{ g.}$$

สมการข้างต้นนี้เป็นสมการการทำปฏิกิริยาทางเคมีอย่างถูกต้องตามทฤษฎีซึ่งเรียกสมการนี้ว่า “Stoichiometric Equation“ จะเห็นว่าสมการเคมีข้างต้น จำนวนโมลของสารที่ทำปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน a และ b เท่านั้น

ภาคผนวก ค

ตารางคุณสมบัติของเชื้อเพลิงและเครื่องมือวัดแก๊สไอเสีย

ตาราง 9 ตารางคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

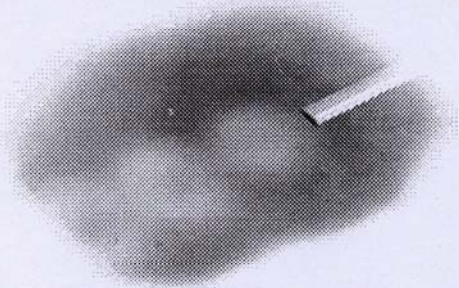
LPG	Gasoline	Light Diesel	Ethanol	Methanol
Chemical Formula (l) C ₃ H ₈ + C ₄ H ₁₀	C _{8.26} H _{15.5}	C _{10.8} H _{18.7}	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ OH
Molecular Weight	114.8	148.6	46.00	32.00
Specific Gravity	0.7– 0.78	0.84 – 0.88	0.785	0.792
Oxygen Content (wt %)	-	-	34.8	50.0
Boiling Point (°C) (-0.6)- (-42)	27 – 225	188 – 343	78	65
Higher Heating Value (kJ/kg) ~ 48,454	47,300	44,800	29,710	22,540
Lower Heating Value (kJ/kg) ~ 46,389	43,000	42,500	26,950	20,050
Heat of Vaporization (kJ/kg)(a) 426	307	270	873	1,147
LHV of Stoich. Mixture (kJ/kg)	2,830	2,740	2,690	2,680
Research Octane Number (RON) 97-112	92 – 99	-	106	107
Motor Octane Number (MON)	80 – 90 <15	- 37 - 56	89 <15	92 <15
Cetane Number				
Stoichiometric a/f Ratio 15.7	14.6	14.5	9	6.5

(CHEMICAL SAFETY DATA SHEET : Gas Malaysia Sdn Bhn)

เครื่องมือนวัดแก๊สไอเสีย



**Cost Effective, Fast Warm-up,
12 Volt, 5 Gas, Exhaust Analyser
Exhaust Gas
Analysis**



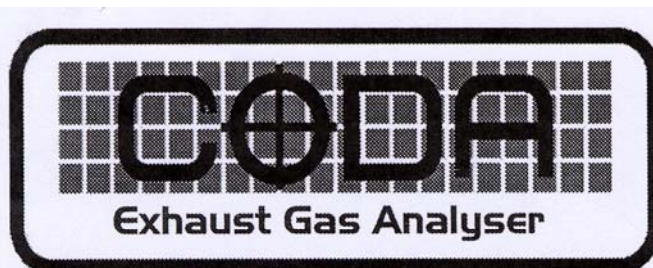
Carbon Monoxide (CO) % or ppm
 Oxides of Nitrogen (NOx) ppm
 Corrected Carbon Monoxide
 Hydrocarbons (HC) ppm
 Carbon Dioxide (CO₂) %
 20 Second Warm-up
 Mains 240/2 Volt
 Air / Fuel Ratio
 Oxygen (O₂) %
 Lambda

Optional

PC Interface Software
 Workshop Floor Stand
 External Dot Matrix Printer
 Cigarette Lighter Power Adaptor
 Engine RPM & Temperature Harness

**Designed for use on; Petrol/Gasoline, LPG, Alcohol/
Petrol Blends & Diesel Fueled Engines**

**Record, Capture & Playback
On Road, Test Results**



Coda Products
Manufacturers and
Suppliers of Quality
Diagnostic Equipment
to the Motor Industry

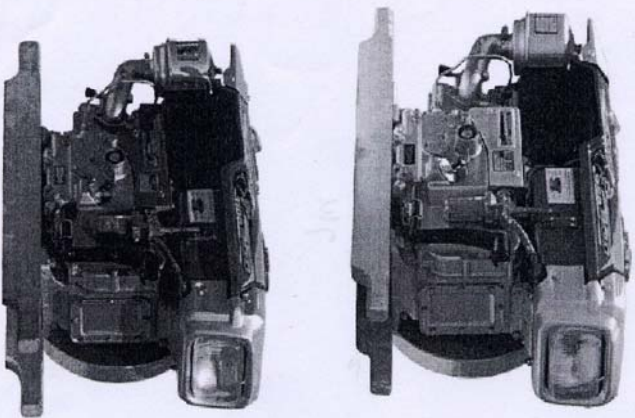
SPECIFICATIONS:

Measurement Method:	NDIR (Non-Dispersive Infrared and Electro-chemical)	Operating Altitude:	-300m to +2,500m (-1,000 ft to +8,000 ft).
Measured Gases:	HC as either n-Hexane or Propane; CO Carbon Monoxide; CO ₂ Carbon Dioxide; O ₂ Oxygen; NO, Nitric Oxide.	Size:	Length, 400 mm; Width, 360 mm; Height, 180 mm.
Measurement Range:	HC: 0 to 30,000 ppm (n-Hexane) CO: 0 to 15% CO ₂ : 0 to 20% O ₂ : 0 to 25% NO: 0 to 5,000 ppm	Weight:	5 Kilograms.
Measurement Resolution:	HC: 1 ppm CO: 0.001% CO ₂ : 0.01% O ₂ : 0.01% NO: 1 ppm	Input Power:	10.0 to 16.00 volts DC.
Measurement Accuracy:	HC: 0 to 2,000 ppm (n-Hexane) 2,001 to 15,000 ppm 15,001 to 30,000 ppm CO: 0 to 10% 10.001 to 15.00% CO ₂ : 0 to 16% 16.01% to 20.00% O ₂ : 0 to 25% NO: 0 to 4,000 ppm 4,001 to 5,000 ppm	Response Time:	HC: ≤ 2 seconds CO: ≤ 2 seconds CO ₂ : ≤ 2 seconds O ₂ : ≤ 40 seconds, 21% to <0.1 NO: ≤ 5.5 seconds
Standards:	Europe, OIML Class 1; USA (EPA) EPA, ASM; USA California, ASM/BAR 97	Warm-Up Time:	< 20 seconds
Operating Temperature:	0°C to 50°C (32°F to 122°F)	Operating Humidity:	0 to 95% RH (non-condensing)
Warranty:	One Year Parts & Labour Return to Base Warranty		

All Coda products are proudly owned, designed and manufactured in Australia.
For more information on this product and other quality products, please contact your local distributor or:
Coda Products Pty Ltd, 97 Denison Street, Hamilton NSW 2303, Australia
Telephone: 612 4962 2575 Fax: 612 4969 3875 E-Mail: sales@coda.com.au Web: www.coda.com.au

TIGER

DIESEL TIGER



รายละเอียด		TIGER	
รหัสรุ่น	TIGD 950	TIGD 1100	
แบบ	เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ถูกดูแลด้วยระบบความดันตัวนำ		
จำนวนลูกสูบ	1		
ขนาดการระบายลูกสูบ x ช่วงชัก	(45ม. x 55ม.) 86 x 90	92 x 90	
ปริมาตรช่วงชัก	(ลบ.ซม.) 523	598	
กำลังสูงสุด	(กิโลวัตต์ / รอบต่อนาที) 7.09 / 2,400	8.21 / 2,400	
กำลังที่ทำการหนืดต่อเนื่อง	(กิโลวัตต์ / รอบต่อนาที) 6.34 / 2,400	7.09 / 2,400	
อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุด (กรัม / กิโลวัตต์-ชม.)	277 (206 กรัม / แรงม้า-ชั่วโมง)		
อัตราส่วนการอัด	22 : 1	21 : 1	
ระยะตั้งลิ้น	(มม.) 0.20		
โมเมนต์บิดสูงสุด	(กบ.-ม. / รอบต่อนาที) 3.0/1,800	3.5/1,800	
ความจุน้ำมันระบายความร้อน	(ลิตร) 2.1	2.1	
ความจุน้ำมันหล่อเลี้ยง	(ลิตร) 10	10	
จุดตั้งของน้ำมันเชื้อเพลิง	2.3	2.3	
รวมตัวชุดและน้ำมัน	BOSCH		
ชนิดของน้ำมันหล่อเลี้ยง	API CC , CD , CF SAE 40		
ชนิดของระบบการเผาไหม้	ห้องเผาไหม้ช่วย แบบ Swirl chamber		
แบบของระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำรังผึ้ง		
ชนิดของระบบหล่อเย็น	ชุดแรงดัน (ไม่โรตารี)		
ชนิดของหม้อออกรองอากาศ	แบบเปียก		
ชนิดของระบบการเริ่มต้นเครื่อง	มือหมุนสตาร์ท		
ทิศทางการทำงาน	ขวามือหมุนเข็มนาฬิกา (มองจากล้อช่วยแรง)		
น้ำหนักเครื่องยนต์	(กก.) 110	117	
ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง)	(มม. x มม. x มม.) 335x700x490		

บริษัท ที. เค. แมชชีนเอร์ จำกัด

199 ม.8 ถนนพหลโยธิน ต.ท้ายบ้านใหม่ อ.เมือง สมุทรปราการ 10280 โทรศัพท์ 0-2701-5905-10 โทรสาร 0-2701-4080 www.thaengines.com



CHEMICAL SAFETY DATA SHEET Liquefied Petroleum Gas

As required by law, OSH Act 1994 under USECHH (Use and Standard of Exposure of Chemical Hazardous to Health) Regulations 2000 - Part VII, Section 25; this pamphlet is provided to update the safety and health information about Liquefied Petroleum Gas. Under this law, Chemical Safety Data Sheet (CSDS) shall be kept in a workplace to each location where that chemical is used and shall be easily accessible to the employees.

SECTION 1: CHEMICAL PRODUCT & COMPANY IDENTIFICATION

Product Details

Product Name : **LIQUEFIED PETROLEUM GAS**
 Trade Name : LPG
 Chemical Name : Liquefied Petroleum Gas
 Chemical Formula : C_3H_8, C_4H_{10}
 Molar Mass : 44.0, 58.0
 Chemical Family : Hydrocarbons
 Manufacture's Code : -
 Applications : Fuel for industrial, commercial and residential.

Company Identification

Manufacturer's Name and Address : **Petronas Dagangan Bhd**
 Aras 30-33, Menara 1
 Menara Berkembar PETRONAS
 Kuala Lumpur City Centre
 50088 Kuala Lumpur.

Emergency Telephone Number : 1-800-88-3400

Importer's/Distributor's Name and Address : **Gas Malaysia Sdn Bhd**
 No. 5, Jalan Serendah 26/17
 Section 26
 40732 Shah Alam
 Selangor Darul Ehsan.

Telephone Number : 03 - 5192 3000

Emergency Telephone Number : 1-800-88-9119

Contact Point

Designation : Shift Supervisor on Duty
 Department : Operation Control Room
 Telephone number : 03-5192 6794



GAS
MALAYSIA

CHEMICAL SAFETY DATA SHEET Liquefied Petroleum Gas

SECTION 2: COMPOSITION/INFORMATION ON INGREDIENTS

Chemical Name	CAS no.	Proportion	Exposure Limit (OSHA PEL)	Toxicity Data (ACGIH TLV)
a) Propane	74-98-6	40%	1000 ppm	The ACGIH recommends a limit of 1000 ppm in air be applied for all simple asphyxiates and a minimum of 19.5 % oxygen (vol.) be maintained.
b) Butane	106-97-8	60%	800 ppm	The ACGIH recommends a limit of 800 ppm in air be applied for all simple asphyxiates and a minimum of 19.5 % oxygen (vol.) be maintained.

SECTION 3: PHYSICAL & CHEMICAL PROPERTIES

Appearance	: Colourless
Odour	: Ethyl Mercaptan (added)
Solubility	: Not applicable (gas)
Boiling Point (°C)	: -44.5 °C
Melting Point (°C)	: -188 °C
Vapour Pressure	: 2.1 atm at 21.1 °C
Percentage Volatiles	: Data not available
Evaporation Rate	: Data not available
Vapour Density	: 1.65 (air=1)
Specific Gravity	: 0.51 (H ₂ O=1)
Flash Point	: -104 °C
Auto Ignition Temperature	: 510 °C
Flammable Limit (%) And Other Properties If Applicable	: UEL = 8.5% LEL = 1.9%



CHEMICAL SAFETY DATA SHEET

Liquefied Petroleum Gas

SECTION 4: HAZARD IDENTIFICATION

Product Classification	: Extremely Flammable Gas.
Effects Of Exposure	: Eye Contact - high vapour concentration may produce irritation. Contact with liquid may cause burns similar to frostbite and irritation. Skin Contact - contact by liquid can cause burns similar to frostbite and irritation. Inhalation - asphyxiant in high concentrations. At lower concentrations lack of oxygen will cause dizziness, nausea, increase depth and frequency of breathing and ultimately unconsciousness.

SECTION 5: FIRST AID MEASURES

Eye contact	: Flush with running water for 15 minutes.
Skin contact	: If freeze burns occur, immerse involved area in warm water for 30-60 minutes. Get medical assistance.
Inhalation	: Remove to fresh air. If unconsciousness occurs, get medical assistance and call a physician. If breathing has stopped, give CPR.

SECTION 6: FIRE FIGHTING MEASURES

Extinguishing Media	: Dry chemical, carbon dioxide or water spray.
Fire Fighting Instructions	: Shut off supply, if not possible and no risk to surroundings, let the fire burn itself out. Use water spray to cool fire and exposed container. Wear SCBA.
Special Hazards	: Explosive air-vapour may occur. : Container contents under pressure may explode. Vapour heavier than air and may tend to accumulate in low areas.
Hazardous Combustion Products	: Incomplete combustion will generate hazardous gases, including carbon monoxide.



CHEMICAL SAFETY DATA SHEET Liquefied Petroleum Gas

SECTION 7: ACCIDENT RELEASE MEASURES

Leak/Spill Procedure : Stop gas flow. Use water spray to dilute vapour cloud. Evacuate area and remove all ignition sources. Remove leaking container to detached area, if possible. If not possible, isolate the area and deny entry to unauthorised personnel.

SECTION 8: HANDLING AND STORAGE

Handling : Dispose/handle empty container. Protect from physical damage. Do not drag/slide/roll cylinder. Use suitable hand truck. Store upright. Cylinder temperature should not exceed 88 °C.

Storage : Use/store in cool well ventilated area away from all sources of heat and ignition. Ground and bond all transfer equipment and storage containers.

SECTION 9: EXPOSURE CONTROL AND PERSONAL PROTECTION

Exposure Limit : NIOSH PEL: TWA 1000 ppm.
OSHA PEL: TWA 1000 ppm.
IDLH: 2000 ppm (10% LEL)

Engineering Measures/Controls : Well ventilated area and equipment must be explosion proof.

Respiratory Protection : When vapour or mist concentration exceeded exposure limit, use SCBA.

Protective Gloves : Neoprene, Rubber gloves.

Eye Protection : Safety goggle/glasses and face shield.

Work Hygiene Practice : Do not smoke in work/storage area. Sign should be posted. Wash hands after handling. Change contaminated cloth immediately.



CHEMICAL SAFETY DATA SHEET Liquefied Petroleum Gas

SECTION 10: STABILITY AND REACTIVITY

Stability	: Stable
Conditions To Avoid	: Do not heat cylinder by any means. Do not carry into a confined space. Accidental release may cause asphyxiation, fire or explosions.
Materials To Avoid	: Strong oxidizer i.e. liquid chlorine, sodium/calcium hypo chlorite, heat and source of ignition.
Hazardous Decomposition Product	: Fumes, smoke, carbon monoxide, aldehydes in case incomplete combustion.
Hazardous Polymerisation	: Will not occur

SECTION 11: TOXICOLOGICAL INFORMATION

Toxicity Data	: Non-toxic
Carcinogenicity	: Data not available
Reproductive Effects	: Data not available
Effects Of Overexposure	: Asphyxiant
Chronic Effects	: Data not available
Target Organs	: Data not available
Medical Conditions Generally Aggravated By Exposure	: Data not available

SECTION 12: ECOLOGICAL INFORMATION

Mobility and Bioaccumulation	: No information
Biodegradability	: No information
Aquatic Toxicity	: No information

SECTION 13: DISPOSAL INFORMATION

Disposal of waste shall be in accordance with the Environmental Quality (Schedule Waste) Regulation 1989 and other guidelines issued by DOE and/or local authorities.



CHEMICAL SAFETY DATA SHEET Liquefied Petroleum Gas

SECTION 14: TRANSPORT INFORMATION

Proper Shipping Name	: Liquefied Petroleum Gas (LPG)
Hazards Class	: 2.1
Hazchem Code	: 2WE
UN Number	: 1075
Label	: Flammable Gas
Type of container	: LPG tanker

SECTION 15: REGULATORY INFORMATION

Risk / Safety Phrases

R 3	: Risk of explosion by shock, friction, fire or other sources of ignition
R 13	: Extremely flammable liquefied gas
R 18	: In use, may form flammable/explosive vapour-air mixture
R 20	: Harmful if inhaled
R 44	: Risk of explosion if heated under confinement
S 9	: Keep container in well ventilated place
S 23	: Do not breathe gas/fumes/vapour/spray
S 27	: Take off immediately all contaminated cloth
S 50	: Do not mix with any oxidising agent
S 51	: Use only in well ventilated areas

SECTION 16: OTHER INFORMATION

No other information available.

NOTE:

This Chemical Safety Data Sheet and the information herewith have been offered to the reader in good faith as being accurate.

We have reviewed any information in this data sheet, which we have received from external sources. We believe that the information provided herewith to be correct but cannot guarantee its accuracy or completeness. Safety and Health precautions in this data sheet may not be adequate for all individuals and/or situations.

It is the reader's obligation to evaluate and use this product safely and to comply with all applicable laws and regulations. No statement made in this data sheet shall be construed as permission or recommendation for the use of any product in a manner that might infringe existing patents. No warranty is made, either expressed or implied.

Revision 2
January 2, 2004

ภาคผนวก ง
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

API	= สถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา	-
A/F	= อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง	-
BHP	= แรงม้าเบรค	hp
BP	= กำลังงานเบรคของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบ	kW
Bsec	= อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรค	kJ/kW.hr
Bsfc	= อัตราการเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค	kg/kW.hr
$(F/A)_{Act}$	= มวลของเชื้อเพลิง / มวลของอากาศจริง	-
$(F/A)_{th}$	= มวลของเชื้อเพลิง / มวลของอากาศทางทฤษฎี	-
FP	= กำลังงานเชื้อเพลิง	kW
m_a	= มวลอากาศ	kg
m_f	= มวลเชื้อเพลิง	kg
\dot{m}_a	= ปริมาณอากาศเข้ากระบอกสูบ	kg/hr
\dot{m}_f	= อัตราส่วนสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	kg/hr
N	= ความเร็วรอบเครื่องยนต์	rpm
Q_{HV}	= ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	kJ/kg
t	= เวลาที่เชื้อเพลิงถูกใช้ไป	sec
w_f	= มวลเชื้อเพลิง	kg
ρ_{LPG}	= ความหนาแน่นของแก๊สแอลพีจี	kg/m ³
ρ_D	= ความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล	kg/m ³
η_{BTH}	= ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค	%

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายพลิชฐ์ มีอสันทัด
วันเดือนปีเกิด	14 กุมภาพันธ์ 2511
สถานที่เกิด	ชุมพร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	98/7 หมู่ที่ 6 หมู่บ้านสุภาวัลย์ ต.คูคต อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี 12130

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2526	มัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนปะทิววิทยา
พ.ศ. 2529	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาช่างกลโรงงาน จากวิทยาลัยเทคนิคชุมพร
พ.ศ. 2533	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น
พ.ศ. 2542	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ