

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ดีโซฮอล์ชนิดบิวทานอลเป็นส่วนผสม

ปริญญานิพนธ์
ของ
ไพบุลย์ ลีห้าน้อย

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤษภาคม 2550

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ดีไฮออลชนิดบิวทานอลเป็นส่วนผสม

ปริญญานิพนธ์
ของ
ไพบุลย์ ลีห้าน้อย

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

พฤษภาคม 2550

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ดีเซลชนิดบิวทานอลเป็นส่วนผสม

บทคัดย่อ
ของ
ไพบุลย์ ลีห้าน้อย

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
พฤษภาคม 2550

The Performance Study of a Diesel Engine Using Butanol Base Diesel Fuel

AN ABSTRACT

BY

PAIBOON LEELANOI

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

May 2007

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ดีเซลโซลซันดิบิวทานอลเป็นส่วนผสม

ของ

ไพบูลย์ ลีห้าน้อย

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญศิริ จีระเดชากุล)

วันที่ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2550

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธาน

.....ประธาน

(อาจารย์ ดร. พิชัย อัมฤงค)

(รองศาสตราจารย์ วีระ จันทน์วัฒนะ)

.....กรรมการ

.....กรรมการ

(พันโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง)

(อาจารย์ ดร. พิชัย อัมฤงค)

.....กรรมการ

(อาจารย์ พันเอก สุภาโชค สัมปัตตะวนิช)

.....กรรมการ

(พันโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ เรื่อง การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ดีเซลฮอล์ชนิดบิวทานอล เป็นส่วนผสม สามารถดำเนินการไปด้วยความเรียบร้อย และประสบผลสำเร็จไปด้วยดี โดยได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานและบุคลากรดังนี้ คือ

อาจารย์ ดร.พิชัย อัมมมงคล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ พันโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง ที่ปรึกษาร่วมที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำ ให้ความคิดเห็น และแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ แผนกวิชาช่างยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้อนุเคราะห์สนับสนุนเครื่องยนต์เพื่อใช้ทดสอบเก็บข้อมูลในการทำงานการวิจัย

ขอขอบคุณ คณาจารย์ในโครงการความร่วมมือหลักสูตรปริญญาโท มศว. และ รร.จปร. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการจัดหาสถานที่ เครื่องมือ และ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสำหรับการทำงานการวิจัยนี้มาโดยตลอด

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือทุกท่านซึ่งมิได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ในด้านต่างๆ อีกหลายด้าน และสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่ช่วยให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จ

ไพบุลย์ ลีหล้าน้อย

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
วัฏจักรผสม.....	3
การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล.....	4
การคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	6
ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง.....	8
ไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซล.....	9
มาตรฐานมลพิษ.....	11
บทปริทัศน์วรรณกรรม.....	14
3 เครื่องมืออุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	19
เครื่องยนต์ดีเซล.....	20
ไดนาโมมิเตอร์.....	21
ชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์.....	22
อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ.....	22
อุปกรณ์วัดควันดำ.....	23
อุปกรณ์วัดแก๊สไอเสีย.....	24
อุปกรณ์วัดความเร็วลม.....	25
อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง.....	25
อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นเครื่องยนต์.....	26
วิธีการทดสอบ.....	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	33
ผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซล ผสมบิวทานอล กับ สมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียง อย่างเดียว.....	33
ผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้.....	49
ผลการวัดการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบ.....	68
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	74
สรุปผล.....	74
ข้อเสนอแนะ.....	77
บรรณานุกรม.....	78
ภาคผนวก.....	81
ภาคผนวก ก.....	82
ภาคผนวก ข.....	101
ภาคผนวก ค.....	119
ภาคผนวก ง.....	122
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	125

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงค่ามาตรฐานไอเสียของสหรัฐอเมริกา.....	11
2	แสดงค่ามาตรฐานมลพิษของ EEC	12
3	แสดงค่ามาตรฐานมลพิษตามค่ามาตรฐานของ EEC เมื่อใช้น้ำหนักรถเป็นเกณฑ์.....	12
4	มาตรฐานมลพิษสำหรับยานพาหนะใหม่.....	13
5	มาตรฐานมลพิษทางอากาศจากรถใช้งาน (รถยนต์ดีเซล).....	13
6	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบก่อนและหลังการทดสอบ.....	68
7	ความดันในห้องเผาไหม้ก่อนและหลังการทดสอบด้วยเชื้อเพลิง น้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล.....	70
8	น้ำหนักแวนลูกสูบก่อนและหลังการทดสอบด้วยเชื้อเพลิง น้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล.....	70
9	ขนาดของเพลาช้อเหวี่ยงก่อนและหลังการทดสอบด้วยเชื้อเพลิง น้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล.....	71
10	แสดงปริมาณโลหะในน้ำมันเครื่องกับช่วงเวลาการทดสอบเดินเครื่องยนต์ ตัวเปล่า.....	72
11	แสดงคุณสมบัติทั่วไปของน้ำมันดีเซลในประเทศไทย.....	114

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงแผนภาพ P-V และ T-S ของวัฏจักรผสม.....	3
2 แสดงกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล.....	5
3 แสดงการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์เมื่อเทียบกับอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ.....	10
4 แสดงการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนออกไซด์เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง.....	10
5 แสดงไดอะแกรมของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	19
6 แสดงเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	20
7 แสดงไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสเหนี่ยวนำ (Eddy Current).....	21
8 ชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์.....	22
9 อุปกรณ์การวัดอุณหภูมิ.....	22
10 แสดงอุปกรณ์วัดควันดำ.....	23
11 แสดงเครื่องมือวัดแก๊สไอเสีย.....	24
12 แสดงอุปกรณ์วัดปริมาณอากาศ.....	25
13 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการใช้เชื้อเพลิง.....	25
14 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น.....	26
15 อุปกรณ์ที่ใช้ตวงน้ำมันเชื้อเพลิงผสม.....	29
16 แสดงกราฟอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจากการคำนวณเมื่อส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้น.....	30
17 แสดงกราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส CO_2 , H_2O และ N_2 จากการคำนวณเมื่อส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้น.....	31
18 แสดงกราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส CO_2 , CO และ N_2 เมื่ออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงลดลงในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล.....	32
19 แสดงกราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส CO_2 , CO และ N_2 เมื่ออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงลดลงในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42 %.....	32
20 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร.....	34

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
21 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร.....	35
22 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร.....	36
23 เปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร.....	37
24 เปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร.....	38
25 เปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร.....	39
26 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่ แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร.....	40
27 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่ แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร.....	41
28 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่ แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร.....	42
29 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคที่ แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร.....	43
30 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคที่ แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร.....	44
31 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคที่ แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร.....	45
32 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร....	46
33 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร....	47
34 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร....	48
35 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส CO ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร.....	49
36 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส CO ที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร.....	50
37 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส CO ที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร.....	51
38 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส HC ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร.....	53
39 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส HC ที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร.....	54
40 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส HC ที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร.....	55
41 กราฟแสดงค่าควันดำที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร.....	56

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
42 กราฟแสดงค่าควันดำที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร.....	57
43 กราฟแสดงค่าควันดำที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร.....	58
44 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส NO_x ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร.....	59
45 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส NO_x ที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร.....	60
46 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส NO_x ที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร.....	61
47 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส CO_2 ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร.....	62
48 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส CO_2 ที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร.....	63
49 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส CO_2 ที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร.....	64
50 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส O_2 ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร.....	65
51 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส O_2 ที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร.....	66
52 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส O_2 ที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร.....	67
53 แสดงการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบจุดที่ 1.....	69
54 แสดงการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบจุดที่ 2.....	69
55 แสดงการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบจุดที่ 3.....	69
56 แสดงตำแหน่งการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลาช้อเหวี่ยง.....	70
57 แสดงปริมาณเขม่าที่จับที่ปลายลูกสูบหลังการทดสอบ.....	71

ไพบูลย์ ลีห้าน้อย. (2550). การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ดีเซลชนิดบิวทานอลเป็นส่วนผสม. วิทยานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์ ดร.พิชัย อัสภูมิมงคล, พันโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนผสม บิวทานอลที่เหมาะสมสูงสุดที่เครื่องยนต์ดีเซลสามารถเดินเครื่องได้ตามปกติ โดยการผสมแอลกอฮอล์ชนิดบิวทานอลกับน้ำมันดีเซลโดยตรงในอัตราส่วนตั้งแต่ 0 – 50 % โดยปริมาตรของเชื้อเพลิงผสม แล้วพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ การเผาไหม้และการสึกหรอของเครื่องยนต์ กับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว โดยการศึกษานี้จะทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล ที่ความเร็วรอบ 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบต่อนาทีตามลำดับ โดยแต่ละความเร็วรอบจะทำการปรับค่าแรงบิดที่ 50, 90 และ 120 นิวตัน-เมตร ตามลำดับ

ผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้ อัตราส่วนผสมของน้ำมันดีเซลกับบิวทานอลเท่ากับ 42 % โดยปริมาตร คืออัตราส่วนผสมสูงสุดที่เครื่องยนต์ดีเซลสามารถเดินเครื่องได้ปกติ และให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงกว่าน้ำมันดีเซลเฉลี่ย 12.92 % พลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะเบรคพบว่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเฉลี่ย 11.73 % อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคพบว่าไม่แตกต่างจากน้ำมันดีเซล อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง พบว่าต่ำกว่ากรณีการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 3.52 % และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงพบว่าไม่มีความแตกต่างจากกรณีการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว สำหรับการศึกษปริมาณไอเสียจากเครื่องยนต์พบว่าปริมาณ O_2 จากการเผาไหม้ใกล้เคียงกับกรณีการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ปริมาณ CO และ HC มีค่าสูงกว่าแต่ปริมาณ CO_2 , NO_x และควันดำมีค่าต่ำกว่ากรณีการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว การสึกหรอพบว่าไม่แตกต่างจากกรณีการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อตรวจสอบความสะอาดในห้องเผาไหม้พบว่าเมื่อมีเขม่าสีดำจับที่บริเวณหัวลูกสูบเล็กน้อย

Paiboon Leelanoi. (2007). *The Performance Study of a Diesel Engine Using Buthanol Base Diesohol Fuel*. Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering).

Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee :

Dr. Pichai Asadamongkon , Lt. Col. Asst. Prof. Dr. Anotai Suksangpanomrung.

The aim of this thesis is to determine the maximum ratio of diesel fuel and buthanol alcohol mixing that use in a diesel engine as the same condition with pure diesel fuel. The mixing ratio of buthanol alcohol starts from 0 to 50% by volume of mixed fuels then compares the engine performance , fuel combustion and engine wearing of the diesel engine between mixed fuels and pure diesel fuel. The test will be operated at the engine speed of 1500, 2000, 2500 and 3000 rpm. And at each engine speed, the engine torque will be varied at 50, 90 and 120 N.m.

The result of this thesis was found that, 42% of buthanol in mixed fuel is the maximum ratio that the diesel engine can be operated as the same conditions with pure diesel fuel without any modification. By this mixing ratio, the break thermal efficiency is averaged 12.92% higher than pure diesel fuel and the break specific energy consumption is averaged 11.73% lower than pure diesel fuel. The break specific fuel consumption is not significantly difference from pure diesel fuel. The air-fuel ratio is averaged 3.52% lower than pure diesel fuel. The fuel consumption is not significantly difference from pure diesel fuel. The O_2 from exhausted gas is also not significantly difference from pure diesel fuel. However, the CO and HC from exhausted gas are higher than pure diesel fuel. The CO_2 , NO_x and smoke are lower than pure diesel fuel. The wearing of engine parts is also not significantly found, however the black slag is found at the piston heads in the case of mixed fuels.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการนำพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนมาใช้ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีการศึกษาค้นคว้า และวิจัยมากขึ้น เพื่อค้นหาชนิดของเชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้ทดแทนหรือผสมเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงหลักให้มากที่สุด หลายฝ่ายได้มีการวิจัยโดยการนำแอลกอฮอล์มาใช้ทดแทนหรือผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงหลัก โดยแอลกอฮอล์ที่มีการวิจัยนั้นมี 2 ชนิด คือ เอทานอล และ เมทานอล จากประวัติการใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงหรือเป็นส่วนผสมของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายใน ได้มีการบันทึกไว้ใน 3 ลักษณะ คือ 1) การใช้แอลกอฮอล์ (เอทานอล) เป็นตัวผสมในน้ำมันแก๊สโซลีน 2) การใช้แอลกอฮอล์ (เอทานอล) เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง 3) การใช้แอลกอฮอล์ (เมทานอล) เป็นตัวผสมกับอากาศในเครื่องยนต์เครื่องบิน ซึ่งใช้เทอร์โบชาร์จเป็นตัวเพิ่มกำลังเพื่อแก้ปัญหาอากาศเบาบาง เมื่อเครื่องบินต้องบินในระดับสูง ทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นพอจะสรุปได้ว่าที่ผ่านมาได้มีการทดลองใช้แอลกอฮอล์อยู่สองชนิดเท่านั้นคือ เอทานอล และ เมทานอล จากการติดตามการใช้แอลกอฮอล์ทั้ง 2 ชนิด ยังไม่ปรากฏว่ามีการใช้แอลกอฮอล์ทั้งสองชนิดนี้เป็นเชื้อเพลิง 100% เลย ในระยะ 30 ปีมานี้ได้มีการค้นคว้าจนประสบความสำเร็จในการผลิตแอลกอฮอล์ประเภท โพรพานอล และ บิวทานอล โดยวิธีหมักจากธัญพืชในธรรมชาติซึ่งให้ผลผลิตสูงพอสมควร ปัจจุบันบิวทานอลยังนำเข้าจากต่างประเทศ ต้องเสียภาษีนำเข้าลิตรละ 2.50 บาท ราคาขายอยู่ที่ลิตรละ 45 บาท ซึ่งเป็นราคาที่สูงมากทั้งนี้เพราะยังไม่มี การส่งเสริมการผลิตภายในประเทศเนื่องจากปริมาณการใช้ยังน้อย ดังนั้นถ้าสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนได้ปริมาณการใช้ก็จะเพิ่มขึ้นการผลิตในประเทศก็มากขึ้นเพื่อลดต้นทุนต่อไป ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่าบิวทานอลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถนำมาทดแทนหรือผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงหลักได้เช่นเดียวกับแอลกอฮอล์ชนิดอื่น เพราะเมื่อเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ กับเอทานอลหรือเมทานอลแล้ว คุณสมบัติค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก (ตารางในภาคผนวก ข) อีกทั้งยังสามารถผลิตได้ง่ายโดยวิธีการหมักจากพืชต่างๆ ที่สามารถหาได้ง่ายในประเทศไทยเช่น อ้อย , มันสำปะหลังหรือธัญพืชอื่น ๆ ซึ่งคาดว่าจะสามารถนำมาผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีนและน้ำมันดีเซลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ อีกทั้งยังจะเป็นการส่งเสริมให้มีการผลิตบิวทานอลในประเทศไทยด้วย

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะ การสึกหรอและวิเคราะห์แก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง เมื่อใช้แอลกอฮอล์ชนิดบิวทานอลผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยปริมาตรเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและความเป็นไปได้ในการนำบิวทานอลไปผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อให้สามารถใช้ได้จริงในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาอัตราส่วนผสมของน้ำมันดีเซลและบิวทานอลสูงสุดที่สามารถทดสอบกับเครื่องยนต์โดยที่เครื่องยนต์สามารถเดินเครื่องเรียบปกติ

1.2.2 เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้บิวทานอลเป็นส่วนผสมในเชื้อเพลิง

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณส่วนประกอบไอเสียที่ออกจากเครื่องยนต์

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้บิวทานอลเป็นส่วนผสมในเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันเชื้อเพลิงตัวอย่างไปทดสอบกับเครื่องยนต์ที่ติดตั้งบนไดนาโมมิเตอร์ เพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์และส่วนประกอบในไอเสีย ดังนั้นจึงจำกัดขอบเขตของการวิจัยไว้ดังนี้

1.3.1 ใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างบิวทานอลกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 0 – 50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเพื่อหาความเหมาะสมของอัตราส่วนบิวทานอลกับน้ำมันดีเซลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง

1.3.2 ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะยี่ห้อฮิซุซุ รุ่น 4JA1 ที่ติดตั้งบนไดนาโมมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์และส่วนประกอบในไอเสียโดยทดสอบที่ความเร็วรอบ 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบต่อนาที โดยในแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์ จะทำการเปลี่ยนค่าแรงบิด 3 ค่าคือ 50, 90 และ 120 นิวตัน-เมตร ตามลำดับ

1.3.3 เปรียบเทียบความสะอาดในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ทุกส่วนผสมของเชื้อเพลิง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ข้อมูลและวิธีการปรับปรุงสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้บิวทานอลผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

1.4.2 ช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลที่เป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว

1.4.3 เป็นทางเลือกใหม่สำหรับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซล

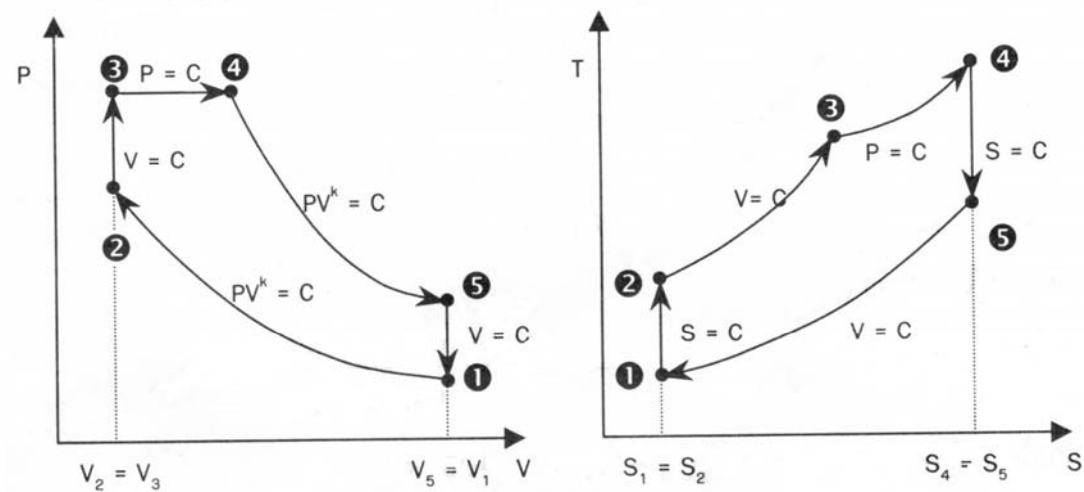
1.4.4 เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาค้นคว้าต่อไปเพื่อพัฒนาสู่เชิงพาณิชย์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัฏจักรผสม (Dual Cycle)

วัฏจักรนี้เป็นต้นแบบของเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว (High speed diesel cycle) หรือเป็นวัฏจักรที่มีคุณสมบัติเข้าใกล้วัฏจักรของจริงเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล คือการเผาไหม้ในช่วงแรกจะมีลักษณะปริมาตรคงที่ แต่ในช่วงหลังจะเป็นแบบความดันคงที่ สาเหตุที่มีการเผาไหม้ดังกล่าวเนื่องจากการเผาไหม้ในช่วงแรกจะเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีการระเหยตัวง่ายก่อน ซึ่งเป็นลักษณะเผาไหม้แบบทันทีทันใด ส่วนเชื้อเพลิงที่ระเหยตัวช้าจะเกิดการเผาไหม้ทีหลัง เมื่ออุณหภูมิของห้องเผาไหม้สูงมากพอ ซึ่งการเผาไหม้ในครั้งหลังนี้ ลูกสูบของเครื่องยนต์ได้เคลื่อนที่ลงซึ่งทำให้ความดันภายในห้องเผาไหม้คงที่ หรือกรณีการเผาไหม้ในลักษณะนี้อาจเกิดจากการควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยการฉีดน้ำมันในช่วงแรกจะฉีดเข้าห้องเผาไหม้ในปริมาณน้อย (ฉีดขณะลูกสูบเลื่อนขึ้นก่อนถึงจุดศูนย์ตายบนประมาณ 30 ถึง 40 องศา) ทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างฉับพลันเมื่อลูกสูบเลื่อนถึงจุดศูนย์ตายบน จากนั้นจึงฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากกว่าครั้งแรกเพื่อให้เกิดการเผาไหม้แบบความดันคงที่แม้ว่า วัฏจักรผสมจะมีประสิทธิภาพทางความร้อนจะต่ำกว่าวัฏจักรออตโตแต่สูงกว่าวัฏจักรดีเซลและยังประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่าวัฏจักรดีเซล วัฏจักรผสมประกอบด้วย 5 กระบวนการ ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แสดงแผนภาพ P-V และ T-S ของวัฏจักรผสม

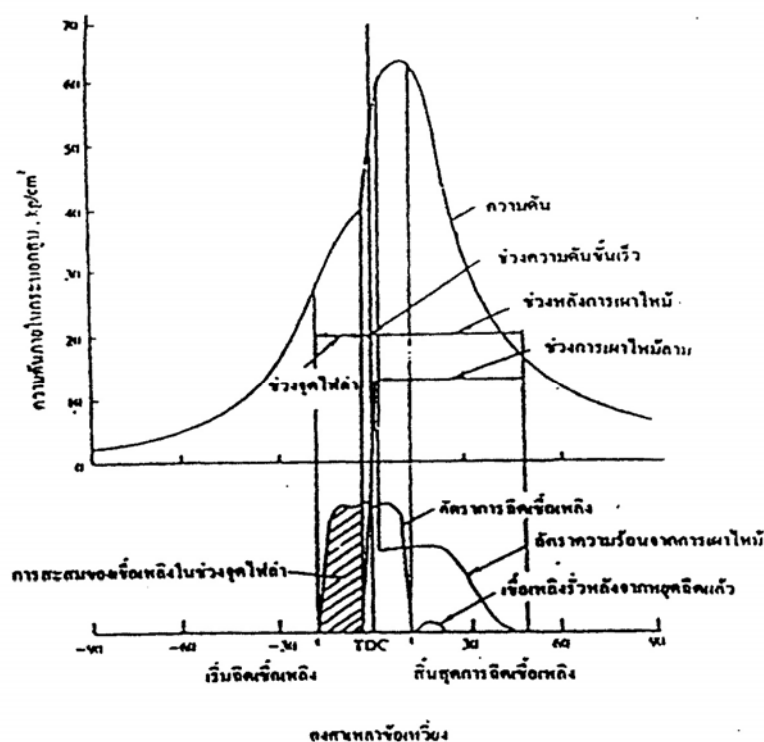
2.2 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล (Internal Combustion Diesel Engine)

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

2.2.1 ช่วงการหน่วงหรือการล่าช้าของการจุดระเบิด (Delay Period หรือ Ignition Delay) คือ ช่วงเวลาระหว่างที่เริ่มฉีดน้ำมันจนถึงจุดเริ่มติดไฟ ช่วงนี้มีความสำคัญมากต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ และรวมทั้งผลกระทบอย่างมากต่อเสียงการสั่นสะเทือนและไอเสีย เมื่อช่วงการหน่วงการจุดระเบิดขึ้นอยู่กับ ตัวเลขซีเทน (Cetane Number) ของเชื้อเพลิงอุณหภูมิและความดันของการอัด การตั้งเวลาการฉีดและการหมุนเวียนของก๊าซในกระบอกสูบ ช่วงนี้จะสั้นเมื่อตัวเลขซีเทนสูง ความดันและอุณหภูมิตั้งการฉีดน้ำมันเข้า (ก่อนจุด ศูนย์ตายบนไม่นาน) ช่วงการหน่วงหรือการล่าช้าของการจุดระเบิดนี้เป็นผลรวมของการล่าช้าของการจุดระเบิดทางฟิสิกส์และทางเคมี (Physical Delay และ Chemical Delay) คือ ช่วงของ การล่าช้าของการจุดระเบิด น้ำมันที่ถูกฉีดเข้ามาจะแตกตัวออกเป็นหยด และเมื่อได้รับความร้อนจะระเหยแล้วรวมตัวกับอากาศเป็นสารผสมหลังจากนี้เป็นช่วงของการล่าช้าของการจุดระเบิดทางเคมี ในช่วงนี้ไฮโดรคาร์บอนหนักในสารผสม จะแตกตัวเป็นไฮโดรคาร์บอนเบาแล้วเกิดการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศขึ้น ปฏิกิริยาล่าช้าของการจุดระเบิดทางฟิสิกส์ 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 ทั้งนี้เพราะถ้าช่วงจุดไฟล่าช้ายาวปริมาณเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้ามากะบอกสูบจะสะสมมีมากขึ้น เมื่อเกิดการติดไฟก็จะติดหลายๆ จุดขึ้นพร้อมๆ กัน ทำให้ความดันเพิ่มสูงอย่างรวดเร็วเกินไป

2.2.3 ช่วงการเผาไหม้ลาม (Combustion Propagation Period) ความจริงแล้วการเผาไหม้ก็จะลามทันทีแต่ในช่วง 2 นั้น การเผาไหม้ลามอย่างรวดเร็วมาก สำหรับในช่วง 3 การลามจะค่อยสม่ำเสมอขึ้นแล้วก็ช้าลง ทั้งนี้เพราะเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้ามาอยู่เรื่อยๆจะระเหยและดึงความร้อนจากกระบอกสูบ เชื้อเพลิงที่ระเหยจะกระจายไปทั่วกระบอกสูบ และผสมกับอากาศและติดไฟต่อไป แต่การติดไฟที่สมบูรณ์จะใช้เวลานานขึ้น เพราะสารผสมกระจายไปสม่ำเสมอ และปริมาณ O_2 ในกระบอกสูบก็ลดลงแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นก็เพิ่มขึ้นและวนเวียนไปรบกวนการเผาไหม้ 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 บางทีเรียกว่า Secondary Injection (การฉีดตกค้าง) จะไม่สามารถเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ จะทำให้เกิดควันดำและ ไฮโดรคาร์บอน ไอเสียที่ออกมาในช่วงหลังการเผาไหม้ งานที่ได้น้อยมากทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ ฉะนั้นในช่วงนี้จึงมีแต่การเพิ่มอุณหภูมิไอเสียเท่านั้น⁽⁶⁾

2.3 การคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (Brake Specific Fuel Consumption) คือ ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ไปต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อกำลังงานเบรคของเครื่องยนต์ หาได้จากสมการ

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

เมื่อ $Bsfc$ 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

$$Bsec = Q_{HV} \times Bsfc \quad (3)$$

เมื่อ $Bsec$ 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)

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

ประสิทธิภาพความร้อนสามารถหาได้จากหลายกรณีบางครั้งอาจหาได้จากกำลังม้าอินดิเคต เรียกว่าประสิทธิภาพทางความร้อนปั้งช์หรือฐานอินดิเคต (Indicated Thermal Efficiency: η_{it}) หรืออาจหาจากกำลังม้าเบรก ซึ่งเรียกประสิทธิภาพทางความร้อนเบรกหรือบนฐานเบรก (Brake Thermal Efficiency: η_{BTH})

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

η_{BTH} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (%)

BP คือ กำลังงานเบรกของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบ (kW)

FP คือ กำลังงานเชื้อเพลิง (kW)

อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air – Fuel Ratio)

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จะสมบูรณ์เพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ระยะเวลาในการเผาไหม้ การคลุกเคล้าระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงในกระบอกสูบ และปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งคือ ปริมาณอากาศที่เข้ากระบอกสูบน้อยเพียงใด

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

เมื่อ

A/F คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

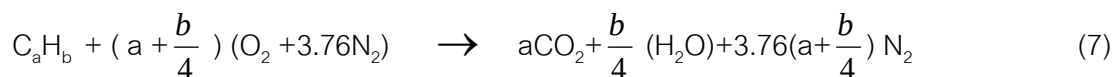
$\dot{m}_a$ คือ ปริมาณอากาศเข้ากระบอกสูบ (kg/s)

$\dot{m}_f$ คือ อัตราส่วนสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg /s)

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

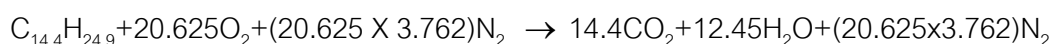
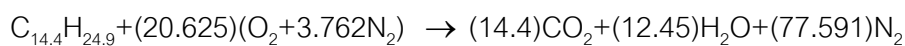
2.4 ปฏิิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์พอดี (Stoichiometric combustion) เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของสารทำปฏิกิริยาโดยใช้เชื้อเพลิงและตัวออกซิไดซ์ในอัตราที่พอดีทำให้ผลปฏิกิริยาเป็น CO_2 และ H_2O เท่านั้น ปฏิิกิริยาการเผาไหม้พื้นฐานจะใช้เชื้อเพลิง และสารทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะในอากาศนั้น จะมีออกซิเจนและไนโตรเจนนั้นเป็นองค์ประกอบของอากาศ พิจารณาปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน C_aH_b กับอากาศ จะพบว่ามีสมการดังนี้



เมื่อพิจารณากรณีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลและบิวทานอล ปฏิิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะเป็นดังนี้

2.4.1 สมการการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ($\text{C}_{14.4}\text{H}_{24.9}$) และอากาศ 100% ทางทฤษฎี

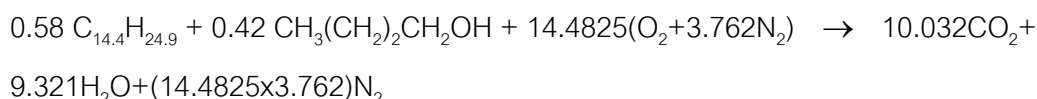


อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง

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

2.4.2 สมการการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ($\text{C}_{14.4}\text{H}_{24.9}$) 58% โดยปริมาตร และ บิวทานอล

($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{OH}$) 42% โดยปริมาตร กับอากาศ 100% ทางทฤษฎี



อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง (A/F ratio)

$$\begin{aligned} \text{A/F ratio} &= \frac{(14.4825 \times 32) + (14.4825 \times 3.762 \times 28)}{(0.58 \times 197.7) + (0.42 \times 74)} \\ &= 13.6468 \quad \text{kg}_a / \text{kg}_f \end{aligned}$$

2.5 ไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซล

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

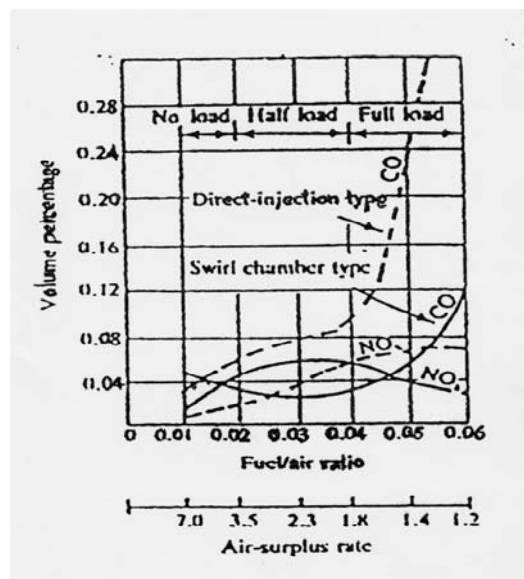
ไฮโดรคาร์บอน เครื่องยนต์ดีเซลจะปล่อยไฮโดรคาร์บอนออกมาน้อยมากด้วยเหตุผลเดียวกับการปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ แต่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนจะเพิ่มด้วยเหตุผลอื่นอีกคือ

2.5.1 ส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่หนาจะสัมผัสผนังเสื้อสูบที่อุณหภูมิต่ำซึ่งเป็นเหตุให้เกิดไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน และไม่เกิดการเผาไหม้เลย

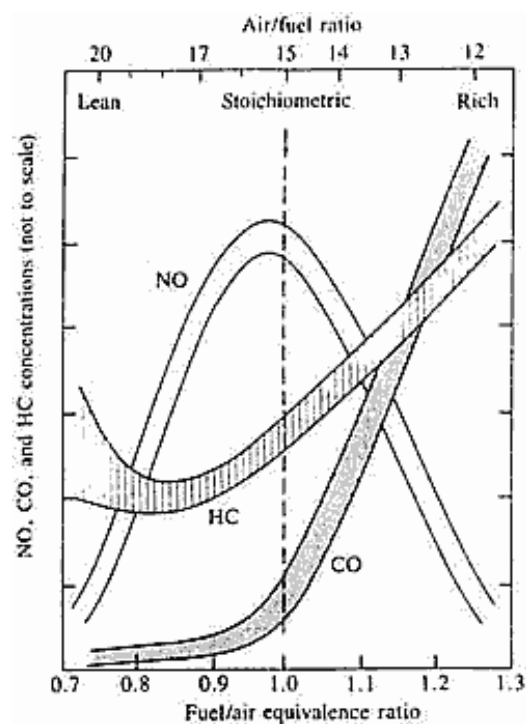
2.5.2 หากส่วนผสมเบามากเกินไปเปลวไฟจะดับ ทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอนมาก

2.5.3 น้ำมันหล่อหลังการฉีดของหัวฉีด และส่วนที่เหลือเป็นหยดนี้ไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้ทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน

2.5.4 เชื้อเพลิงหล่อลื่นในเสื้อสูบและกระบอกสูบเผาไหม้จนเกิดการไหม้ จะทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ โดยการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ก็เกิดทำนองเดียวกับเครื่องยนต์เบนซิน เป็นการยากที่จะบอกว่าไนโตรเจนออกไซด์เกิดมากน้อยเท่าไร และเกิดจากที่ไหนในกระบอกสูบ เนื่องจากอัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงและอุณหภูมินั้นเปลี่ยนแปลงตามกันอย่างซับซ้อนมาก ระหว่างช่องของการเกิดการสันดาปในกระบอกสูบที่มีออกซิเจนมาก จะเป็นการสันดาปที่ดี การเผาไหม้จะสมบูรณ์และรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิสูงมาก และที่อุณหภูมิสูงนี้เองจะทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ในช่วงนี้มาก



ภาพประกอบ 3 แสดงการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์เมื่อเทียบกับอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ [John B. Heywood. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamental*.]



ภาพประกอบ 4 แสดงการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนออกไซด์เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

ที่มา : John B. Heywood. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamental*.

2.6 มาตรฐานมลพิษ

มาตรฐานและกฎหมายควบคุมมลพิษจากเครื่องยนต์ละโรงงานอุตสาหกรรมของแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันแล้วสถานการณ์และความเหมาะสม ซึ่งปกติมักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ปกติมลพิษที่เกิดจากรถยนต์ที่สำคัญได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ นอกจากนี้แก๊สดังกล่าวยังเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมและโรงงานพลังงานความร้อนต่างๆ ความรุนแรงของปัญหาเกี่ยวกับมลพิษอาจแตกต่างกัน เช่น เมืองที่มีความหนาแน่นของรถยนต์มาก ๆ ก็จะมี ความรุนแรงของปัญหามากกว่า เป็นต้น ซึ่งมาตรฐานมลพิษที่มีอยู่ ณ ปัจจุบัน ได้แก่ มาตรฐานมลพิษของสหรัฐอเมริกา การควบคุมมลพิษจากแก๊สไอเสียครั้งแรก โดยออกกฎข้อบังคับที่รัฐแคลิฟอร์เนียของประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ. 1960 ดังนั้นความเป็นมาของการควบคุมมลพิษจากรถยนต์ในประเทศสหรัฐอเมริกาพอสรุปได้ ดังนี้

ปี ค.ศ. 1943 ที่เมือง ลอสแอนเจลิสเกิดหมอกควันอย่างรวดเร็วสาเหตุเกิดจากควันไอเสียของรถยนต์ เนื่องจากเมืองดังกล่าวมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วมีรถยนต์เป็นจำนวนมาก

ปี ค.ศ. 1952 ศาสตราจารย์เฮเกน สมิท (A.J. Haagen Smith) แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียได้หยิบยกปัญหาไอเสียจากรถยนต์ซึ่งเป็นเหตุของปฏิกิริยาม่านควัน ซึ่งกันแสงอาทิตย์ส่องลงมายังโลก มาพิจารณา

ปี ค.ศ. 1960 มีการประกาศกฎหมายควบคุมมลภาวะจากไอเสียของรถยนต์ โดยเฉพาะแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ในรัฐแคลิฟอร์เนีย

ปี ค.ศ. 1970 มีการนำพระราชบัญญัติอากาศสะอาดมาใช้ ได้กำหนดค่ามาตรฐานหรือค่ามากที่สุดของระดับแก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ จากแก๊สไอเสียรถยนต์ ให้เหมาะสมสำหรับรถที่ผลิตในอเมริกาส่วนใหญ่ และนำมาใช้ในปี ค.ศ. 1975 และพระราชบัญญัตินี้ดังกล่าวเป็นพื้นฐานของมาตรฐานการควบคุมมลภาวะในปัจจุบันของสหรัฐอเมริกา นับจากนั้นมากกฎหมายในลักษณะคล้ายคลึงกันได้ถูกบัญญัติขึ้นมาในประเทศญี่ปุ่น ยุโรปและประเทศอื่นๆ ตามลำดับ

ตาราง 1 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) สำหรับแคลิฟอร์เนีย

2.6.1 มาตรฐานมลพิษประชาคมยุโรป

กลุ่มประเทศยุโรปส่วนใหญ่ จะใช้มาตรฐานทางมลพิษแตกต่างไปจากสหรัฐอเมริกา เช่น ประเทศสวีเดนและสวิตเซอร์แลนด์ จะใช้มาตรฐานมลพิษหรือมลภาวะของ EEC (European Economic Community) ซึ่งมาตรฐาน EEC ได้พัฒนาโดยกลุ่มตลาดร่วมประชาคมยุโรปมีอยู่ 3 แบบ คือ แบบที่ 1 คือ ทดสอบโดยนำรถยนต์วิ่งบนแชสซีส์ไดนาโมมิเตอร์ การทดสอบแบบนี้คล้ายคลึงกับการทดสอบของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเริ่มทดสอบที่เครื่องยนต์อุณหภูมิต่ำ (ให้รถยนต์ที่จะทดสอบเป็ยกโชกด้วยน้ำอย่างต่ำ 6 ชั่วโมง) ที่อุณหภูมิ $20^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$ ในการทดสอบน้ำหนักของ CO, HC, และ NO_x ถูกตรวจวัดขณะที่รถยนต์วิ่งครบ 1 วัฏจักรการทดสอบ ซึ่งมีทั้งหมด 15 รูปแบบการทดสอบ รวมถึงการเดินเบา การเร่ง การตรวจวัดความหนาแน่นของคาร์บอนมอนอกไซด์ขณะเดินเบาโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ และแบบที่ 3 จะเป็นการตรวจวัดแก๊สที่ระบายจากเครื่องยนต์

ตาราง 2 แสดงค่ามาตรฐานมลพิษของ EEC

รถยนต์โดยสารที่มี น้ำหนักบรรทุก 2.5 ตัน หรือน้อยกว่า	ปริมาตรความจุ กระบอกสูบ (cc)	ปริมาณแก๊สพิษ (กรัม/รอบการทดสอบ)		
		CO	HC	NO_x
	น้อยกว่า	45	15	6
	1,400-2000	30	8	6
	มากกว่า 2,000	25	6.5	3.5

ตาราง 3 แสดงค่ามาตรฐานมลพิษตามค่ามาตรฐานของ EEC เมื่อใช้น้ำหนักรถเป็นเกณฑ์

สารมลพิษ (กรัม/รอบการ ทดสอบ)	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 ดังแสดงในตาราง ที่จำนวน 1 รอบการทดสอบของ Economic Commission for Europe เท่ากับ 4.05 กิโลเมตร (2.54 ไมล์) สำหรับรถยนต์ใหม่ขณะติดเครื่องเฉยๆ และเครื่องยนต์มีอุณหภูมิทำงาน ต้องมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่เกิน 4.5 เปอร์เซ็นต์⁽¹⁸⁾

2.6.2 มาตรฐานมลพิษของประเทศไทย (มาตรฐานมลพิษจากแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่จากยานพาหนะ)

ตาราง 4 มาตรฐานมลพิษสำหรับยานพาหนะใหม่

ประเภทมาตรฐาน	ระดับที่	มาตรฐานอ้างอิง	หมายเลขมาตรฐานของ สมอ.	ประกาศในราชกิจจานุเบกษา (มาตรฐานทั่วไป)	ประกาศในพระราชกฤษฎีกา (มาตรฐานบังคับ)
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

ที่มา : เป็นมติคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ มาตรฐานระดับที่ 5 อยู่ระหว่างการนำเสนอคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

ตาราง 5 มาตรฐานมลพิษทางอากาศจากรถใช้งาน (รถยนต์ดีเซล)

ประเภทรถ	มลพิษ	ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ	วิธีตรวจวัด
รถยนต์ ดีเซล	ควันดำ	50%	เครื่องมือวัดควันดำระบบกระดาษกรอง	ตรวจวัดขณะรถยนต์จอดอยู่กับที่ไม่มีภาระ
	ควันดำ	45%	เครื่องมือวัดควันดำระบบวัดความทึบแสง	โดยเร่งเครื่องยนต์อย่างรวดเร็วจนสุดคันเร่ง

ตาราง 5 (ต่อ)

ประเภท รถ	มลพิษ	ค่า มาตรฐาน	เครื่องมือ	วิธีตรวจวัด
รถยนต์ ดีเซล	ควัน ดำ	40% 35%	เครื่องมือวัดควันดำ ระบบกระดาศกรอง เครื่องมือวัดควันดำ ระบบวัดความทึบแสง	ตรวจวัดขณะรถยนต์มีภาระ และอยู่บนเครื่องทดสอบ ที่มีความเร็วรอบร้อยละ 60 ของความเร็วรอบที่ให้ กำลังสูงสุด

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⁾

2.7 บทปริทัศน์วรรณกรรม (Literature Review)

สมศักดิ์ สินประเสริฐ (2524) ได้ศึกษาวิจัยการใช้เมทานอลกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว ในการทดลองได้เดินเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงด้วยน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวก่อนที่ความเร็วของเครื่องยนต์ค่าคงที่ต่างๆ คือ 1000, 1500, 2000, 2500 และ 3,000 รอบต่อนาที ต่อจากนั้นเดินเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงร่วมที่ความเร็วรอบเดียวกัน และได้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเมทานอลในอัตราส่วนต่าง ๆ เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบได้มีการปรับแต่งแก้ไขเพียงติดตั้งคาร์บูเรเตอร์เพื่อใช้ป้อนเมทานอลเพิ่มขึ้นที่บริเวณท่อร่วมไอดีทำให้การป้อนเชื้อเพลิงแยกเป็นอิสระ ผลการทดลองปรากฏว่า การใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล และสามารถใช้น้ำมันดีเซลได้ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ไอเสียมีควันน้อยลง แก๊สไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ลดลงเล็กน้อย

โกวิท ศตวุฒิ (2527) ได้ศึกษาวิจัยเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติของแอลกอฮอล์หนัก 2 ตัวคือ Iso-propyl alcohol (propanol) และ Iso-butyl-alcohol (butanol) เมื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีนและน้ำมันดีเซล ซึ่งเครื่องยนต์ดีเซลที่เลือกไว้คือเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก กำลังเครื่อง

ประมาณ 8 แรงม้า ที่นิยมใช้กันทั่วไปในภาคเกษตรกรรม ยี่ห้อ Mitsubishi ผลปรากฏว่า แอลกอฮอล์ทั้งสองผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีนหรือน้ำมันดีเซลได้เป็นอย่างดีปราศจากการแยกตัว และเป็นตัวเพิ่มคุณสมบัติ octane rating อย่างดี ที่ส่วนผสม 20% จะเพิ่ม octane rating ประมาณ 5 – 6 หน่วย ในด้านสมรรถนะเชื้อเพลิงผสมแอลกอฮอล์ประมาณ 15% ให้กำลังเครื่องยนต์เบนซินสูงสุดและสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยลงเล็กน้อยโดยไม่ต้องปรับตั้งคาบวเรเตอร์ใหม่ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลประเภท pre-combustion chamber propanol ไม่สามารถเดินเครื่องตัวเปล่าและรับโหลดได้ ส่วน butanol นั้นเมื่อผสมตามการทดลองถึง 40% ยังปรากฏว่าให้กำลังสูงกว่าเมื่อใช้น้ำมันดีเซลล้วน ซ้ำยังสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยลงอีกถึงประมาณ 12% เมื่อส่วนผสม butanol ถึง 40% ในด้านการสึกหรอ ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ทดสอบโดยใช้ butanol ปรากฏว่า การสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ลดลง เป็นอัตราส่วนกับปริมาณเพิ่มขึ้นของ butanol ในอัตราส่วน 0% butanol :20%butanol : 40% butanol = 17.49 : 8.06 : 6.56 ตามลำดับ

A Koealewicz (1993) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติน้ำมันเบนซินผสมเมทานอลในอัตราส่วนผสม 0 – 15 % โดยปริมาตรของเมทานอล และน้ำมันดีเซลผสมเมทานอล ในอัตราส่วนผสม 0 – 20 % โดยปริมาตรของเมทานอล เพื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของน้ำมันที่ไม่ผสมอะไรเลย พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เมทานอลเป็นส่วนผสมมีการเผาไหม้ที่ดีกว่าและสะอาดกว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีกว่าถึง 40% ให้กำลังเครื่องยนต์สูงกว่า และเกิดการสึกหรอของเครื่องยนต์น้อยกว่า แต่ต้องมีการปรับให้เหมาะสมบางจุดเช่น เมื่อส่วนผสมเกิน 5% โดยปริมาตรของเมทานอล จะต้องมีการปรับหัวฉีดน้ำมันคาร์บูเรเตอร์เพื่อให้ได้อัตราส่วนอากาศกับน้ำมันที่เหมาะสม ต้องทำการอุ่นน้ำมันผสมก่อนการสตาร์ท กรณีที่เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะที่เย็น มีการปรับแต่งทางเดินน้ำมันตั้งแต่คาร์บูเรเตอร์และสายน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อป้องกัน Vapour lock ที่จะไปทำลายชิ้นส่วนบางจุดอันเป็นเหตุให้เกิดสนิมและวัสดุบางส่วนเสียเร็ว

จิรศักดิ์ จิระวารี (2531) ได้ทำการวิจัยเรื่องการใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบคือ Ethanol ผสมกับสารเติม Iso-butyl Nitrate และ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันละหุ่งที่ผสมลงไป เพื่อช่วยหล่อลื่นระบบเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ในกิจการการเกษตรของ Yanmar รุ่น SA 80 L สีจันทระ สูบเดียว ไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ ผลการทดสอบปรากฏว่าที่ 23 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรของ Iso-butyl Nitrate เครื่องยนต์มีแนวโน้มที่จะเริ่มเดินเครื่องได้ และที่ 27 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของ Iso-butyl Nitrate เครื่องยนต์ Start ได้ดี และให้สมรรถนะดีโดยไม่เกิดอาการน็อค (knock) ได้ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ต่างๆ และแปรเปลี่ยนภาระกรรม (Load) พบว่าเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ Ethanol mixture ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล คุณภูมิก๊าซไอเสียมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย ปริมาณ

CO ในไอเสียมีค่าใกล้เคียงกัน และ Unburned hydrocarbon มีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมาก ในด้านเศรษฐกิจการใช้ Ethanol mixture เป็นเชื้อเพลิงจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายประมาณ 4 เท่าของการใช้น้ำมันดีเซล ทั้งนี้โดยเปรียบเทียบราคาต่อหนึ่งหน่วยพลังงาน

บุรินทร์ วงษ์ศิริ (2531) ได้ทำการวิจัยการใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงเสริมสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยการวิจัยนี้ศึกษาผลของการใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยป้อนเอทานอลเข้าคาร์บูเรเตอร์และผสมกับอากาศ ส่วนน้ำมันดีเซลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ผ่านหัวฉีดตามปกติ ใช้อัตราส่วนระหว่างเอทานอลและน้ำมันดีเซลต่าง ๆ กันแล้วเปรียบเทียบอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานต่อหน่วยของงาน ตลอดจนไอเสียและค่าใช้จ่ายกับการกรณีที่ใช้น้ำมันดีเซลล้วน ใช้ ฟลูอิดไดนาโมมิเตอร์วัดแรงบิด และใช้เครื่องยนต์สูบเดียวที่ห่อหุ้มด้วยใบพัด ขนาด 8 แรงม้า โดยไม่ได้ดัดแปลงเครื่องยนต์ในการทดสอบได้ให้แรงบิดคงที่โดยตลอดและเท่ากับประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ ผลการทดสอบปรากฏว่า เครื่องยนต์ทำงานได้ดีที่อัตราส่วนผสมระหว่างเอทานอลและน้ำมันดีเซลไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อัตราส่วนผสมสูงขึ้น ประสิทธิภาพทางความร้อนจะลดลงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อหน่วยของงานเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของงานและไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ อีกทั้งคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียเพิ่มขึ้นเป็นลำดับเช่นกัน แต่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ และคาร์บอนมอนอกไซด์ยังมีน้อยกว่าในไอเสียของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนทั่ว ๆ ไป

ปราโมทย์ ธรรมรัตน์ (2526) ได้ศึกษาขบวนการหมักแอลกอฮอล์จากน้ำอ้อย กากน้ำตาล มันสำปะหลัง และวัสดุการเกษตรอื่น ๆ ได้ทดลองหมักน้ำอ้อยในเครื่องหมัก ขนาด 10 ลิตร (Eyela M 200) โดยไม่เติมสารอาหารเลยปรากฏว่าอัตราการหมักรวดเร็วมาก สามารถผลิตแอลกอฮอล์สูงสุดคือ 10.2 % (V/V) ในเวลา 24 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบกับกรหมักกากน้ำตาลซึ่งเติมสารอาหารในปริมาณที่พบว่าเหมาะสมคือ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.05 เปอร์เซ็นต์และ KH_2PO_4 0.04 เปอร์เซ็นต์ พบว่า น้ำอ้อยสามารถหมักแอลกอฮอล์ได้ดีกว่ากากน้ำตาลและมีน้ำตาลเหลือตกค้างน้อยกว่า การหมักแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลังมีขั้นตอนยุ่งยากในการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลได้ทดลองใช้เอนไซม์ที่ผลิตเป็นการค้า BAN และ SAN (Novc) ย่อยมันเส้นบด 25 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 80 และ 60 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 5.5 แล้วหมักใน Fermenter ได้แอลกอฮอล์ 7.5 เปอร์เซ็นต์

ประดิษฐ์ คุรุวัฒนา (2530) ได้ทำการประเมินราคาต้นทุนการผลิตแอลกอฮอล์จากวัสดุเกษตร โดยการศึกษาต้นทุนการผลิตแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ จากกากน้ำตาล มันสำปะหลังและน้ำอ้อยในสภาพโรงงานและห้องปฏิบัติการ เพื่อหากรรมวิธีการหมักที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัตถุดิบแต่ละชนิดพร้อมทั้งคำนวณผลผลิตต่อต้นทุนวัตถุดิบ และต้นทุนทั้งหมดต่อลิตรของแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ จากวัตถุดิบดังกล่าว สำหรับการหมักแอลกอฮอล์จากการหมักแบบ batch และ fed batch fermentation นอกจากนี้ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตและต้นทุนทั้งหมดต่อลิตรของ

แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ในโรงงานสุราเก่าและโรงงานแอลกอฮอล์ที่จะตั้งใหม่ การหมักแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลังนั้นได้คำนวณหาผลผลิตและต้นทุนทั้งหมดต่อลิตรของแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยทดลองหมักมันเส้นและแป้งมันสำปะหลังแบบใช้เอนไซม์ทางการค้าเปรียบเทียบกับการใช้ mold bran สำหรับการหมักแอลกอฮอล์จากน้ำอ้อย ได้ทดลองหมักในถังหมัก (Fermenter) ขนาด 10 ลิตร แล้วคำนวณต้นทุนต่อลิตรของแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่บุคคลอื่นได้ทำไว้

บุญเทียม พันธุ์เพ็ง (2526) ได้ศึกษาแนวทางพัฒนาการหมักแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลังดิบ โดยใช้เชื้อรา *Aspergillus niger* 367 ในการย่อยแป้งดิบร่วมกับยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* Sc – 90 ปรากฏว่าได้แอลกอฮอล์ร้อยละ 10.9 โดยปริมาตร

จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ (2529) ได้ทำการวิจัยการผลิตอาซีโตน บิวทานอล จากมันสำปะหลัง ซึ่งผลจากการวิจัย ปรากฏว่าได้แอลกอฮอล์สูงถึงร้อยละ 10.4 โดยปริมาตร

สมพงษ์ อรพินท์ (2528) ได้ทำการวิจัยขนาดโรงงานที่เหมาะสมในการผลิตแอลกอฮอล์จากวัสดุเกษตรกรรมที่กากน้ำตาล พบว่าขนาดของโรงงานที่ได้กำไรสูงสุดนั้นควรจะใช้กากน้ำตาลประมาณ ปีละ 91,000 เมตริกตัน โดยกำหนดให้ราคากากน้ำตาลตันละ 900 บาท และราคาแอลกอฮอล์ลิตรละ 9 บาท โรงงานขนาดเหมาะสมในระยะยาวนั้นได้จากผลรวมของโรงงานขนาดต่าง ๆ ในระยะสั้นพบว่า โรงงานที่มีขนาดเหมาะสมที่สุด เสียต้นทุนเฉลี่ยในระยะยาวต่ำที่สุด จะต้องเป็นโรงงานขนาดที่มีกำลังผลิต 8.355 ล้านลิตร

สุวิทย์ คำพะยอม (2525) ได้ทำการวิจัยเรื่องความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจของการผลิตเชื้อเพลิงแอลกอฮอล์ในประเทศไทย และได้กล่าวถึงการเสียภาษีของแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้ภายในประเทศไว้ดังนี้คือ ภาษีสรรพสามิตลิตรละ 9.50 บาท ภาษีการค้าร้อยละ 1.5 ของราคาขาย และภาษีเทศบาลร้อยละ 10 ของภาษีการค้า สำหรับภาษีสรรพสามิตได้รับการยกเว้นกรณีที่น่าแอลกอฮอล์ไปทำการแปลงสภาพหรือนำไปใช้ในการแพทย์ เกษตรกรรม วิทยาศาสตร์ หรืออุตสาหกรรมตามที่อธิบดีกำหนด ให้เก็บภาษีลิตรละ 1 บาท ส่วนภาษีการค้าและภาษีเทศบาลให้ยึดถืออัตราเดียวกันทุกชนิด นอกจากนี้ ยังได้กล่าวถึงต้นทุนการผลิตแอลกอฮอล์ไว้ดังนี้ โรงงานที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบราคาต้นทุนลิตรละ 9.01 บาท โรงงานที่ใช้มันสำปะหลังสดราคาต้นทุนลิตรละ 10.57 บาท โรงงานที่ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบราคาต้นทุนลิตรละ 13.22 บาท และโรงงานที่ใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบราคาต้นทุนลิตรละ 9.80 บาท ซึ่งราคาต้นทุนดังกล่าวยังไม่รวมภาษีต่างๆ ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

อรุณ ไชยพันธุ์ (2548) ได้ทำการวิจัยเพื่อหาจุดเหมาะสมของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก และแอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงร่วม โดยการป้อนแอลกอฮอล์ชนิดเมทานอลเข้าทางท่อร่วมไอดีโดยตรง แล้วพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง การเผา

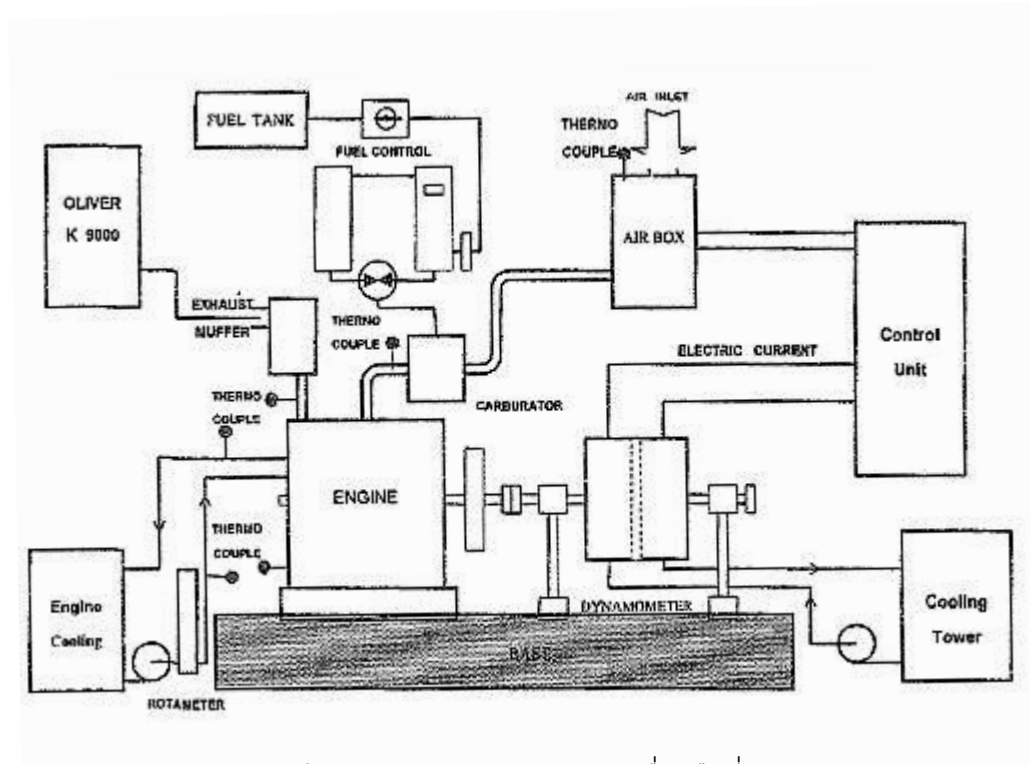
ไหม้และการสึกหรอของเครื่องยนต์ กับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว โดยการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง ที่ความเร็วรอบ 1200, 1500 , 2000 และ 2500 รอบต่อนาที โดยแต่ละความเร็วรอบจะทำการปรับแรงบิดที่ 50, 100 และ 150 นิวตันเมตรตามลำดับ ซึ่งช่วงความเร็วรอบและแรงบิดดังกล่าว เป็นการทดสอบเสมือนตามสภาพการใช้งานจริง ผลการวิจัยเมื่อป้อนแอลกอฮอล์ชนิดเมทานอลเข้าทางท่อร่วมไอดี ผสมกับน้ำมันดีเซลในห้องเผาไหม้ ในอัตราส่วน 1.6% ของน้ำมันดีเซล โดยปริมาตร สามารถใช้เดินเครื่องยนต์ดีเซลได้ดี โดยที่สมรรถนะเครื่องยนต์ใกล้เคียงกันกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว แต่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงโดยเฉลี่ย 3% การเผาไหม้พบว่าปริมาณควันดำลดลงเฉลี่ย 20% และการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ปกติ

จากบทปริทัศน์วรรณกรรม พบว่าแอลกอฮอล์ชนิดบิวทานอล สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซลได้ โดยการผสมร่วมกับเชื้อเพลิงหลัก หรือแยกกันป้อนเข้าเครื่องยนต์ แต่ในการทดสอบขั้นต้นยังขาดข้อมูลในเชิงลึกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง ในการวิจัยครั้งนี้ได้พิจารณาเลือกใช้แอลกอฮอล์ชนิดบิวทานอล โดยวิธีผสมกับเชื้อเพลิงหลักคือน้ำมันดีเซล กับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ทั้งนี้ เพราะบิวทานอล มีค่าซีเทน เรทตั้งสูงกว่แอลกอฮอล์ชนิดอื่น จากการวิจัยของ โกวิท ศตวุฒิ และ อธิพิล ปานงามจึงนำไปสู่แนวความคิดในการทำวิจัยครั้งนี้

บทที่ 3

เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ได้มีการออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว และผลการทดสอบที่ได้จากการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและบิวทานอลที่ส่วนผสมต่างๆ โดยมีอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการดังนี้



ภาพประกอบ 5 แสดงไดอะแกรมของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

เมื่อทำการติดตั้งเครื่องยนต์บนแท่นไดนาโมมิเตอร์ในห้องปฏิบัติการแล้วทำการตรวจสอบปริมาณน้ำหล่อเย็นของไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้คูลิ่งทาวเวอร์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและปริมาณน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ก่อนการทดสอบทุกครั้งหลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิตามจุดต่างๆที่ต้องการเก็บข้อมูลตลอดจนอุปกรณ์วัดปริมาณอากาศเข้าและอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำมันขาเข้า ขั้นตอนต่อไปคือการเปิดเครื่องควบคุมและปรับค่าแรงบิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์และไดนาโมมิเตอร์ที่คอมพิวเตอร์ควบคุมก่อนที่จะสตาร์ทเครื่องยนต์เพื่อเริ่มการทดสอบ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดสอบประกอบด้วย

3.1.1 เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine)



ภาพประกอบ 6 แสดงเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ เป็นเครื่องยนต์ยี่ห้ออีซูซุ ที่มีสภาพพร้อมใช้งาน โดยมีข้อมูลทางเทคนิคต่างๆ ดังต่อไปนี้

เครื่องยนต์ / รุ่น	: อีซูซุ /4JA1
แบบเครื่องยนต์	: 4 สูบ 4 จังหวะ (เรียงแนวตั้ง)
ขนาดกระบอกสูบ	: 93 mm
ระยะชัก	: 92 mm
ความจุกระบอกสูบ	: 2,499 cc
อัตราส่วนการอัด	: 18.4 ต่อ 1
กำลังงานสูงสุด	: 90 hp ที่ 4,200 rpm
แรงบิดสูงสุด	: 17.5 kg.m ที่ 2,000 rpm
องศาฉีบน้ำมัน	: 12 องศา ก่อนศูนย์ตายบน
ลักษณะห้องเผาไหม้ / หัวฉีด	: Direct injection

3.1.2 ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamo Meter)



ภาพประกอบ 7 แสดงไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสเหนี่ยวนำ (Eddy Current)

แบบกระแสเหนี่ยวนำ	: รุ่น Froude Consine
ชนิด	: AG 250 Project 00468
ความเร็วรอบสูงสุด	: 6000 rpm
ระบบระบายความร้อน	: ระบายความด้วยน้ำ
การวัดแรงบิด	: แบบโหลดเซลล์ (Load Cell)
ความเร็วรอบเครื่องยนต์	: เซ็นเซอร์ความเร็ว (Speed Sensor)

3.1.3 ชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์ (Control Unit)

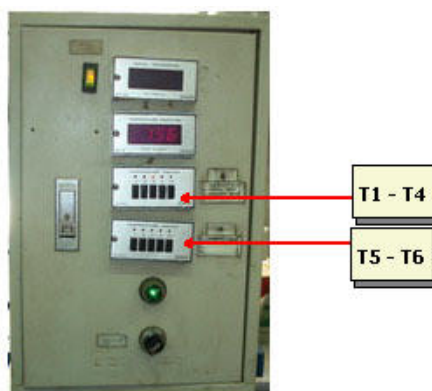


ภาพประกอบ 8 แสดงชุดควบคุมไดนาโมมิเตอร์

ชุดควบคุมและประมวลผล (Control Unit)

ผลิตโดย	: Hewlett Packard
ระบบปฏิบัติการ	: Windows 98
โปรแกรมควบคุม	: Compend 20000
	Microsoft Excel

3.1.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Measuring Temperature Box)



ภาพประกอบ 9 แสดงอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิ

อุปกรณ์วัดอุณหภูมิจะรับสัญญาณจากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermo Couple) ตามจุดต่างๆ ดังนี้

- อุณหภูมิน้ำเข้า (T_1)
- อุณหภูมิน้ำออก (T_2)
- อุณหภูมิห้อง (T_3)
- อุณหภูมิน้ำมันเครื่อง (T_4)
- อุณหภูมิไอเสีย (T_5)

3.1.5 อุปกรณ์วัดควันดำ (Smoke Meter)



ภาพประกอบ 10 แสดงเครื่องมือวัดควันดำ

เป็นเครื่องมือวัดควันดำของเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้วิธีการวัดแบบทึบแสง การใช้อุปกรณ์วัดควันดำชนิดนี้ จะทำการวัดค่าของควันดำออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยจะทำการวัด 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ควันดำออกมา

ผลิตโดย	: Tecnotest Garage Equipment Production
รุ่น	: Tecno Test รุ่น 460
อุณหภูมิสูงสุดในการทดสอบ	: 200 °C
ระบบไฟฟ้ากระแสตรง	: 12 Volts

3.1.6 อุปกรณ์วัดแก๊สไอเสีย



ภาพประกอบ 11 แสดงเครื่องมือวัดแก๊สไอเสีย

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ได้แก่ CO_2 , CO , O_2 , NO_x และ HC

ผลิตโดย	: CODA product Australia
รุ่น	: SFA 990
อุณหภูมิใช้งาน	: 0 - 50 °C
ระบบไฟฟ้ากระแสตรง	: 24 Volts

3.1.7 อุปกรณ์วัดความเร็วลม



ภาพประกอบ 12 แสดงอุปกรณ์วัดปริมาณอากาศ

เครื่องมือชุดนี้ประกอบด้วยถังขนาดใหญ่อัดเชื่อมเข้ากับท่อร่วมไอดีและมานอร์มิเตอร์มิได้สำหรับวัดความแตกต่างของความดันอากาศภายนอกและความดันอากาศภายในถึงระหว่างการทดสอบโดยจะมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรน้ำแล้วนำค่าที่ได้จากการอ่านค่าตรงจุดนี้ไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ โดยถังลมชุดนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง Orifice ทางเข้า 64 มิลลิเมตร

3.1.8 อุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



ภาพประกอบ 13 แสดงอุปกรณ์วัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ประกอบด้วย

1. กระบอกตวงที่มีสเกลบอกระดับน้ำมันและชุดวาล์วควบคุมการเปิด ปิด
2. นาฬิกาจับเวลาเพื่อทำการจับเวลาทุก ๆ 50 มิลลิลิตร

3.1.9 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นเครื่องยนต์



ภาพประกอบ 14 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น

3.2 วิธีการทดสอบ

ก่อนการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ได้ทำการเปลี่ยนแหวนลูกสูบและปะเก็นเสื้อสูบใหม่ ทำความสะอาดห้องเผาไหม้ใหม่ทั้งหมด จากนั้นได้แบ่งการทดสอบเป็น 3 ช่วงด้วยกัน คือ

ช่วงที่ 1 ช่วงการทดสอบเปลี่ยนความเร็วรอบและเปลี่ยนแรงบิดของเครื่องยนต์

ขั้นตอนที่ 1.1 ทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว แล้วทำการปรับรอบเครื่องยนต์ที่ 1500, 2000, 2500 และ 3000 rpm และปรับแรงบิดของเครื่องยนต์เป็น 50, 90 และ 120 นิวตันเมตร เมื่อเครื่องยนต์ถูกทดสอบแต่ละความเร็วรอบและแต่ละแรงบิด จะทำการบันทึกค่าต่าง ๆ ดังตารางในภาคผนวก ก เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบสำหรับการวิจัยดังนี้

- แรงบิดของเครื่องยนต์
- กำลังงานเบรค
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงผสม
- อัตราการไหลของอากาศ ที่ทางเข้าท่อร่วมไอดี
- ค่าการปล่อยควันดำ
- ปริมาณแก๊ส CO_2 , CO , O_2 , NO_x และ HC
- อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น
- อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้า – น้ำหล่อเย็นออก
- อุณหภูมิห้องทดสอบ อุณหภูมิไอเสีย และอุณหภูมิน้ำมันเครื่อง

ขั้นตอนที่ 1.9 ทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซล 60 % ผสมบิวทานอล 40 % เป็นเชื้อเพลิงหลักและปรับค่าความเร็วรอบ 1500, 2000, 2500 และ 3000 rpm แต่ละความเร็วรอบจะปรับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์เป็น 50, 90 และ 120 นิวตันเมตร เมื่อเครื่องยนต์ถูกทดสอบแต่ละความเร็วรอบและแต่ละแรงบิด จะทำการบันทึกค่าต่างๆตามตารางในภาคผนวก ก เหมือนขั้นตอนที่ 1.1

ขั้นตอนที่ 1.10 ทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซล 58 % ผสมบิวทานอล 42 % เป็นเชื้อเพลิงหลัก และปรับค่าความเร็วรอบ 1500, 2000, 2500 และ 3000 rpm แต่ละความเร็วรอบจะปรับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์เป็น 50, 90 และ 120 นิวตันเมตร เมื่อเครื่องยนต์ถูกทดสอบแต่ละความเร็วรอบและแต่ละแรงบิด จะทำการบันทึกค่าต่างๆตามตารางในภาคผนวก ก เหมือนขั้นตอนที่ 1.1

ขั้นตอนที่ 1.11 ทำการทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซล 55 % ผสมบิวทานอล 45 % เป็นเชื้อเพลิงหลักปรับองศาฉีดน้ำมันเพิ่ม-ลดจากองศาปกติประมาณไม่เกิน 5 องศา และปรับค่าความเร็วรอบ 1500, 2000, 2500 และ 3000 rpm แต่ละความเร็วรอบจะปรับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์เป็น 50, 90 และ 120 นิวตันเมตร เมื่อเครื่องยนต์ถูกทดสอบแต่ละความเร็วรอบและแต่ละแรงบิด จะทำการบันทึกค่าต่างๆตามตารางในภาคผนวก ก เหมือนขั้นตอนที่ 1.1

ช่วงที่ 2 การทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ เดินเครื่องตัวเปล่าไม่มีแรงบิด เพื่อทดสอบการสึกหรอ

ขั้นตอนที่ 2.1 ทำการปลดเพลาชับเครื่องยนต์ออกจากชุดทดสอบไดนาโมมิเตอร์ และเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่

ขั้นตอนที่ 2.2 ทำการปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ประมาณ 1500 rpm โดยใช้ น้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันดีเซล 58 % กับบิวทานอล 42 %

ขั้นตอนที่ 2.3 แต่ละเชื้อเพลิง ทำการทดสอบเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบคงที่ดังขั้นตอนที่ 2.2 เป็นเวลา 300 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องทุกๆ 100 ชั่วโมง เพื่อส่งตรวจหาปริมาณโลหะที่ห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 2.4 ทำการถอดชิ้นส่วนเครื่องยนต์เพื่อตรวจเช็คความสะอาดของห้องเผาไหม้ วัดขนาดของกระบอกสูบ แหวนลูกสูบ เพื่อตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์

ช่วงที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและบิวทานอล ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ และทดสอบหาปริมาณส่วนผสมของเหล็กในน้ำมันเครื่อง

ขั้นตอนที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันเครื่อง โดยการเตรียมตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงจะทำการตวงโดยใช้กระบอกตวงที่มีขีดบอกระดับปริมาตรและตวงครั้งละ 1000 มิลลิลิตร ดังภาพประกอบ 15 ส่วนการเตรียมตัวอย่างน้ำมันเครื่องนั้นได้จากขั้นตอนที่ 2.3



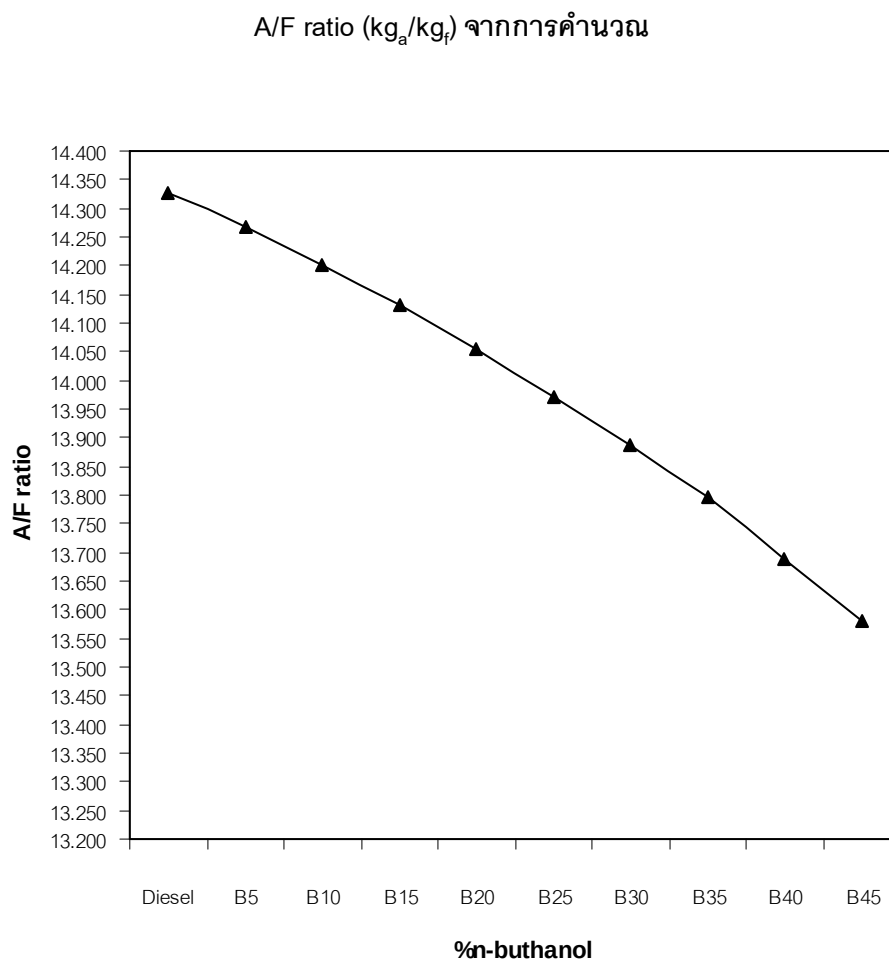
ภาพประกอบ 15 อุปกรณ์ที่ใช้ตวงน้ำมันเชื้อเพลิงผสม

ขั้นตอนที่ 3.2 การนำตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงผสมและตัวอย่างน้ำมันเครื่องไปทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐาน

หมายเหตุ การทดสอบ

เนื่องจากความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1500 rpm เมื่อใช้เกียร์เดินหน้าสูงสุด (เกียร์ 5) จะได้ความเร็วของรถยนต์โดยประมาณ 55 - 60 กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง จากการทดสอบเมื่อครบ 300 ชั่วโมง ก็พบว่า จะได้ระยะทางโดยประมาณ 16,500 – 18,000 กิโลเมตร แต่ในการใช้งานจริงจะใช้เพียง 1 ใน 3 ของระยะทางโดยประมาณเท่านั้น ซึ่งเป็นระยะทางที่ครบวงจรรอบการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ตามสภาพใช้งาน

อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงจากการคำนวณทางทฤษฎีสามารถนำมาเขียนกราฟเพื่อใช้เปรียบเทียบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดสอบดังภาพประกอบ 16 แล้วใช้กราฟดังกล่าวนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบแนวโน้มการเกิดแก๊สในไอเสียของเครื่องยนต์ดังภาพประกอบ 17

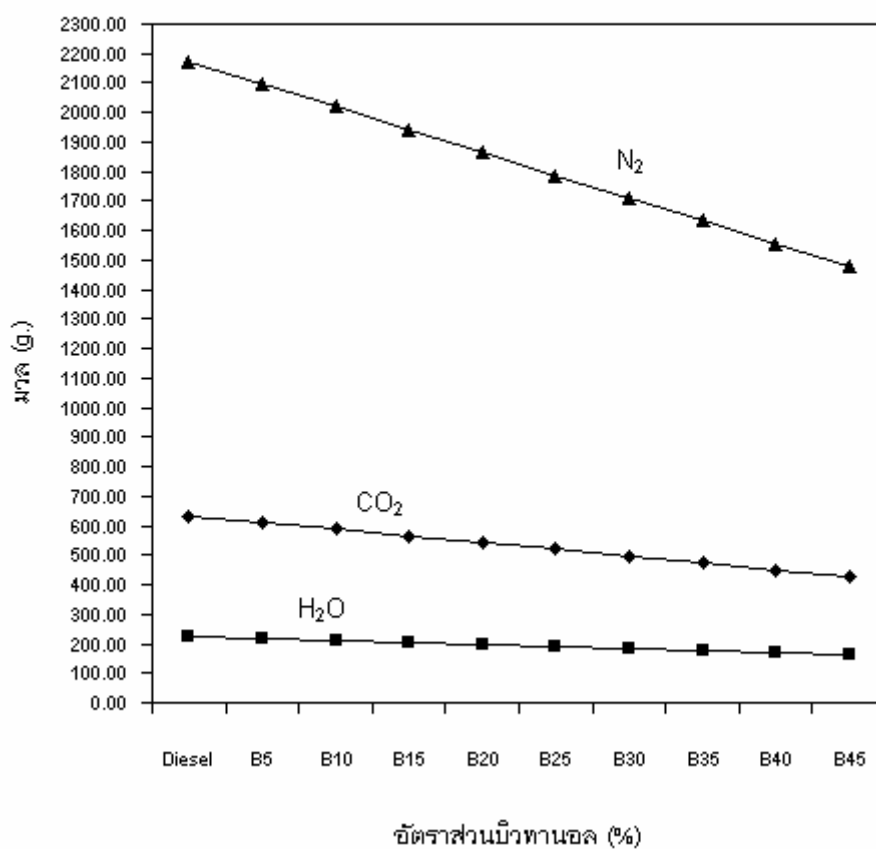


ภาพประกอบ 16 แสดงกราฟอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจากการคำนวณเมื่อส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้น

จากภาพประกอบ 16 เมื่อพิสูจน์ตามสมการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์พบว่าเมื่อส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงลดลง มีผลทำให้ปริมาณ CO₂ , H₂O และ N₂ ลดลง ดังภาพประกอบ 17

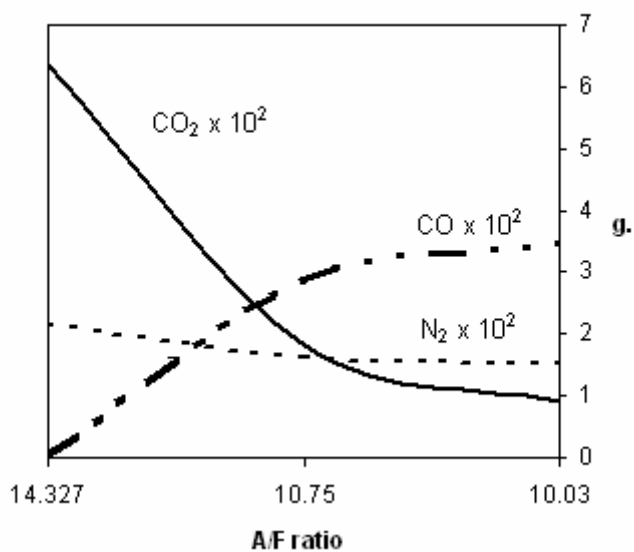
ปริมาณแก๊สไอเสียที่วัดได้นำมาเปรียบเทียบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกับค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการการเผาไหม้ดังแสดงในภาคผนวก ก และสามารถแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากการคำนวณได้ดังภาพประกอบ 17 โดยกราฟนี้จะใช้ในการเปรียบเทียบแนวโน้มการเกิดแก๊ส CO₂ ที่ได้จากการทดสอบ

กราฟ CO_2 , H_2O และ N_2 จากการคำนวณ

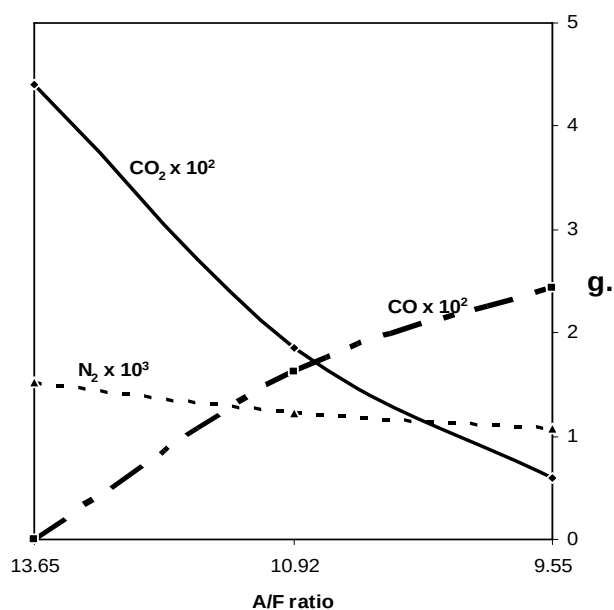


ภาพประกอบ 17 แสดงกราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส CO_2 , H_2O และ N_2 จากการคำนวณเมื่อส่วนผสมไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น

จากการคำนวณตามทฤษฎีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซลดังภาคผนวก ก สามารถนำค่าปริมาณแก๊สต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มาเขียนกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแก๊สไอเสียและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงได้ดังภาพประกอบ 18 และ 19 ซึ่งจะพบว่าเมื่ออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณแก๊ส CO เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณแก๊ส CO_2 และ N_2 ลดลง



ภาพประกอบ 18 แสดงกราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส CO_2 , CO และ N_2 เมื่ออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงลดลงในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล



ภาพประกอบ 19 แสดงกราฟแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแก๊ส CO_2 , CO และ N_2 เมื่ออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงลดลงในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบีโทานอล 42 %

บทที่ 4

ผลการวิจัย

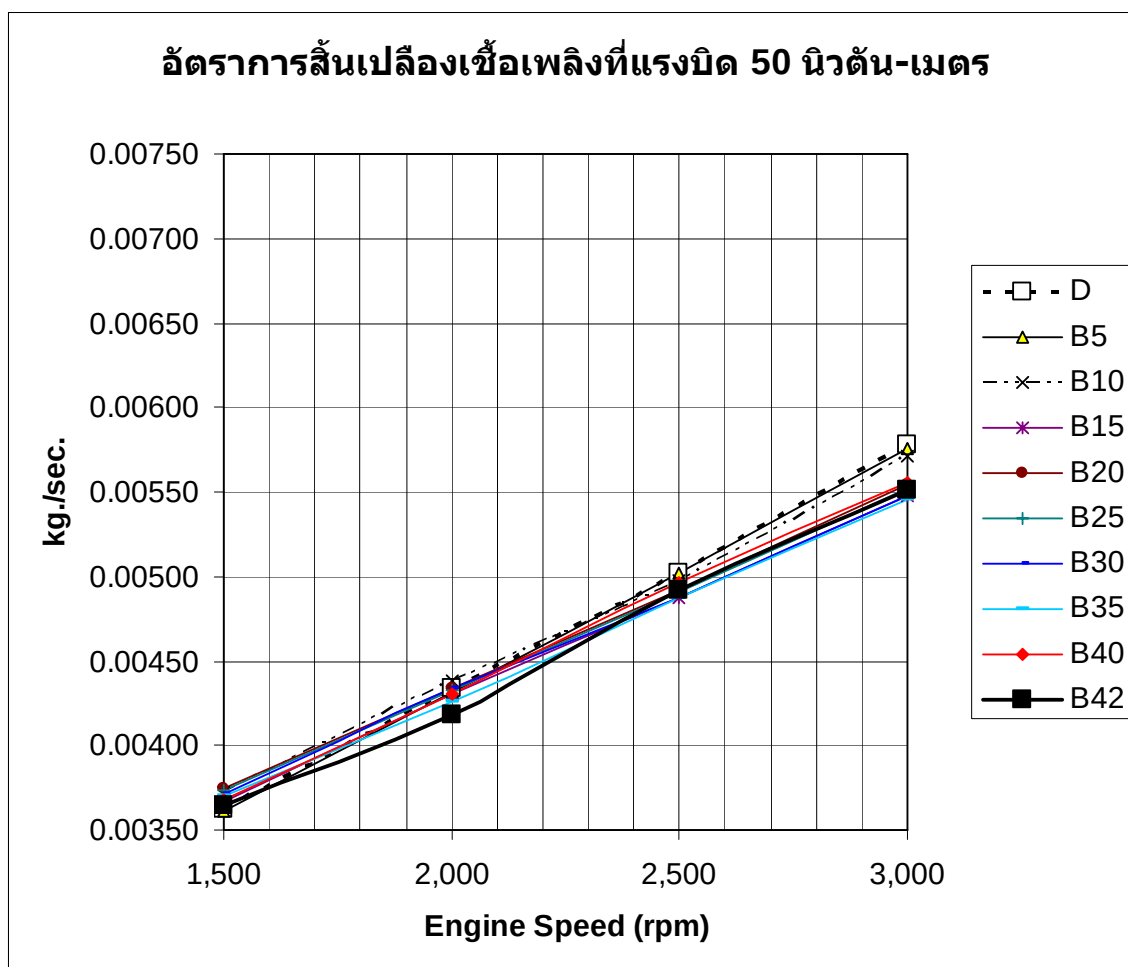
เมื่อทำการทดสอบด้วยเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและบิวทานอลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ โดยปริมาตรดังกล่าวไว้ในบทที่ 3 แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยแบ่งตามแต่ละช่วงการทดสอบได้ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล กับ สมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว

เมื่อทำการทดสอบ โดยใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว และเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและบิวทานอลแต่ละอัตราส่วนโดยปริมาตรแล้วทำการปรับรอบเครื่องยนต์ที่ 1500, 2000, 2500 และ 3000 rpm และปรับแรงบิดของเครื่องยนต์ เป็น 50, 90, และ 120 นิวตัน-เมตรตามลำดับ เมื่อเครื่องยนต์ถูกทดสอบแต่ละความเร็วรอบและแต่ละแรงบิด จะทำการบันทึกค่าต่างๆตามตารางในภาคผนวก ก เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบสำหรับการวิจัยดังนี้

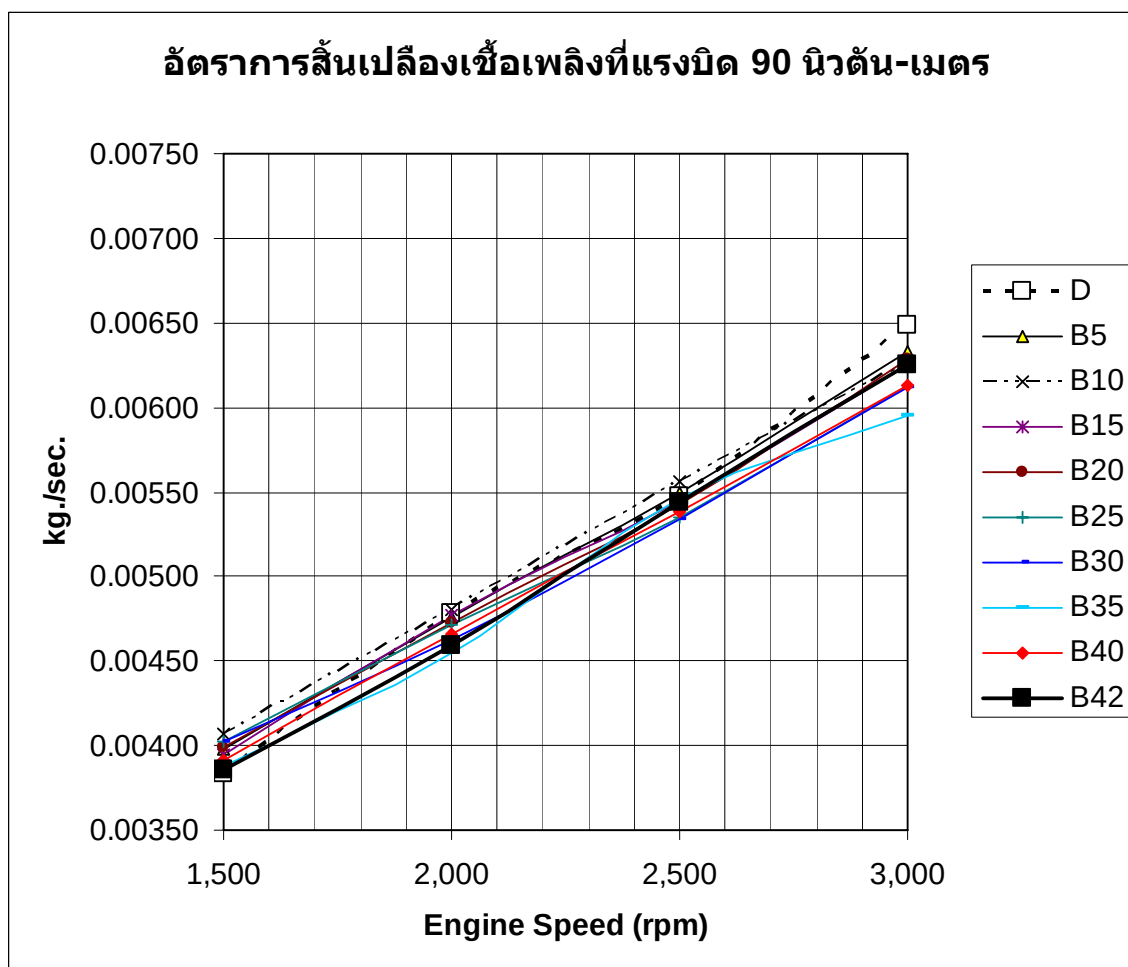
- แรงบิดของเครื่องยนต์
- กำลังงานเบรค
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงผสม
- อัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าท่อร่วมไอดี
- ค่าการปล่อยควันดำ
- ปริมาณแก๊ส CO_2 , CO , O_2 , NO_x และ HC
- อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น
- อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นเข้า – น้ำหล่อเย็นออก

หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว แล้วนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกันได้ดังนี้



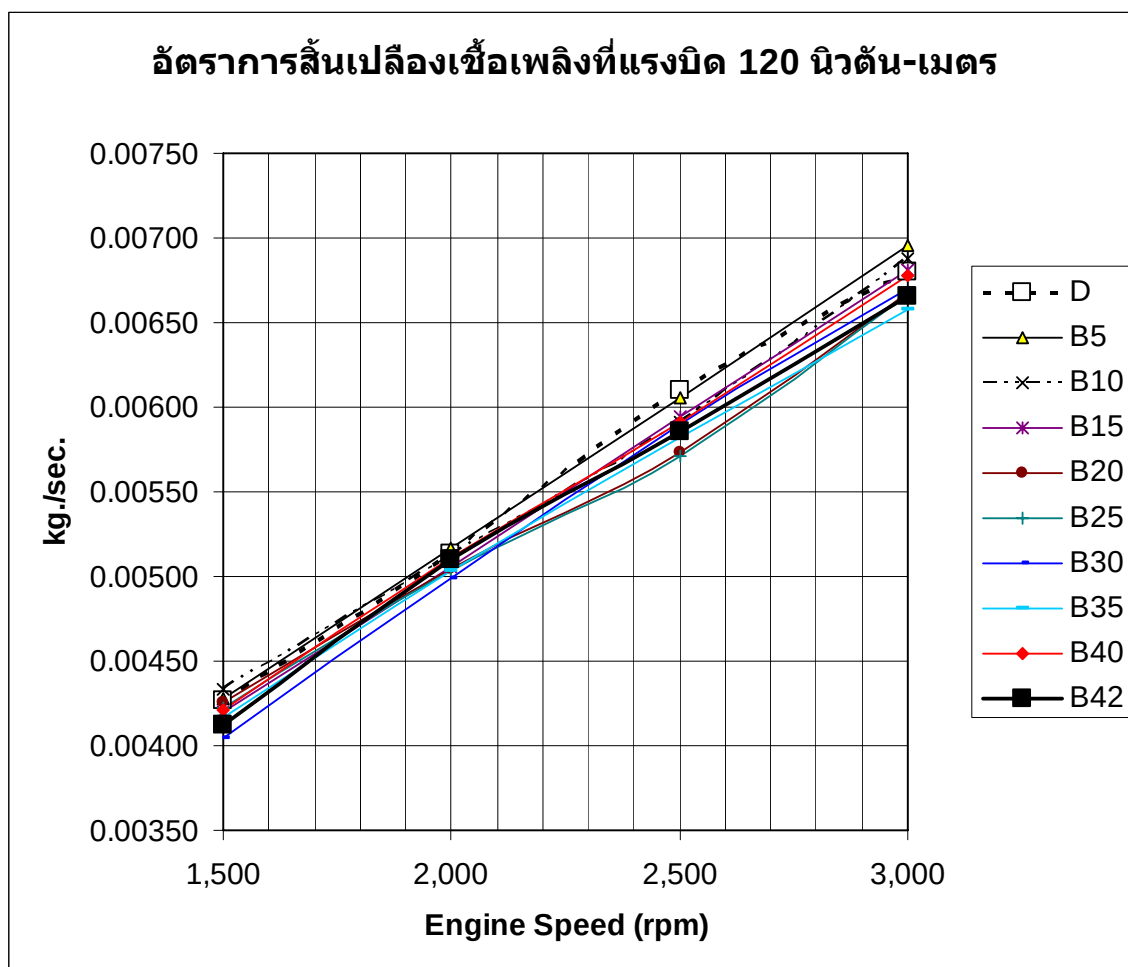
ภาพประกอบ 20 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 20 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร ระหว่างเชื้อเพลิงผสมบิวทานอลกับน้ำมันดีเซล พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงผสมบิวทานอลตั้งแต่ 10 – 42% โดยปริมาตร ใกล้เคียงกับการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวและมีแนวโน้มต่ำกว่าเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนผสมบิวทานอล 42% พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลไม่แตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว



ภาพประกอบ 21 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร

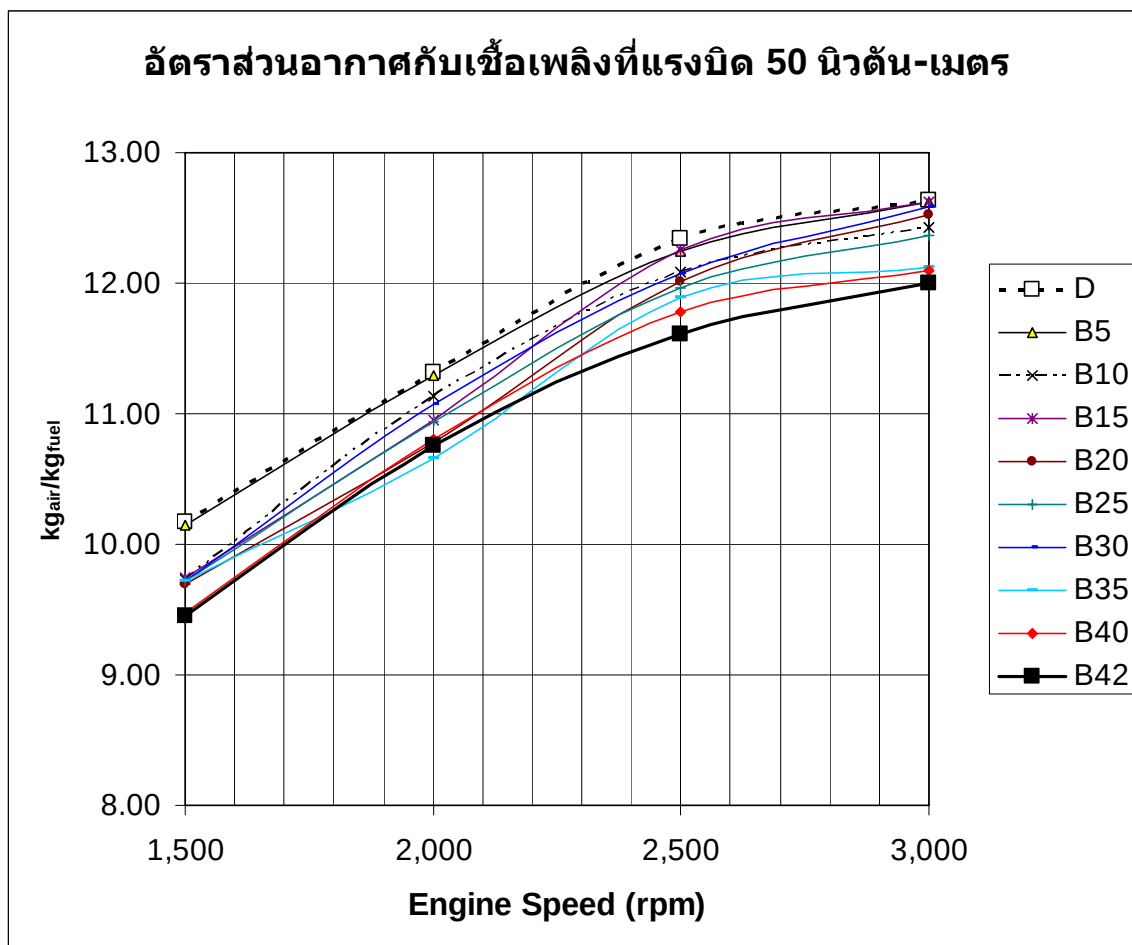
จากภาพประกอบ 21 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร ระหว่างเชื้อเพลิงผสมบิวทานอลกับน้ำมันดีเซล พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงผสมบิวทานอลตั้งแต่ 5 – 42 % โดยปริมาตรไม่แตกต่างจากเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวมากนักเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอล 42 % พบว่าเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอล 42 % มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยไม่แตกต่างจากการใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 22 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 22 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร ระหว่างเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลกับน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลตั้งแต่ 5 - 42 %โดยปริมาตร ไม่แตกต่างจากเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวมากนักเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น

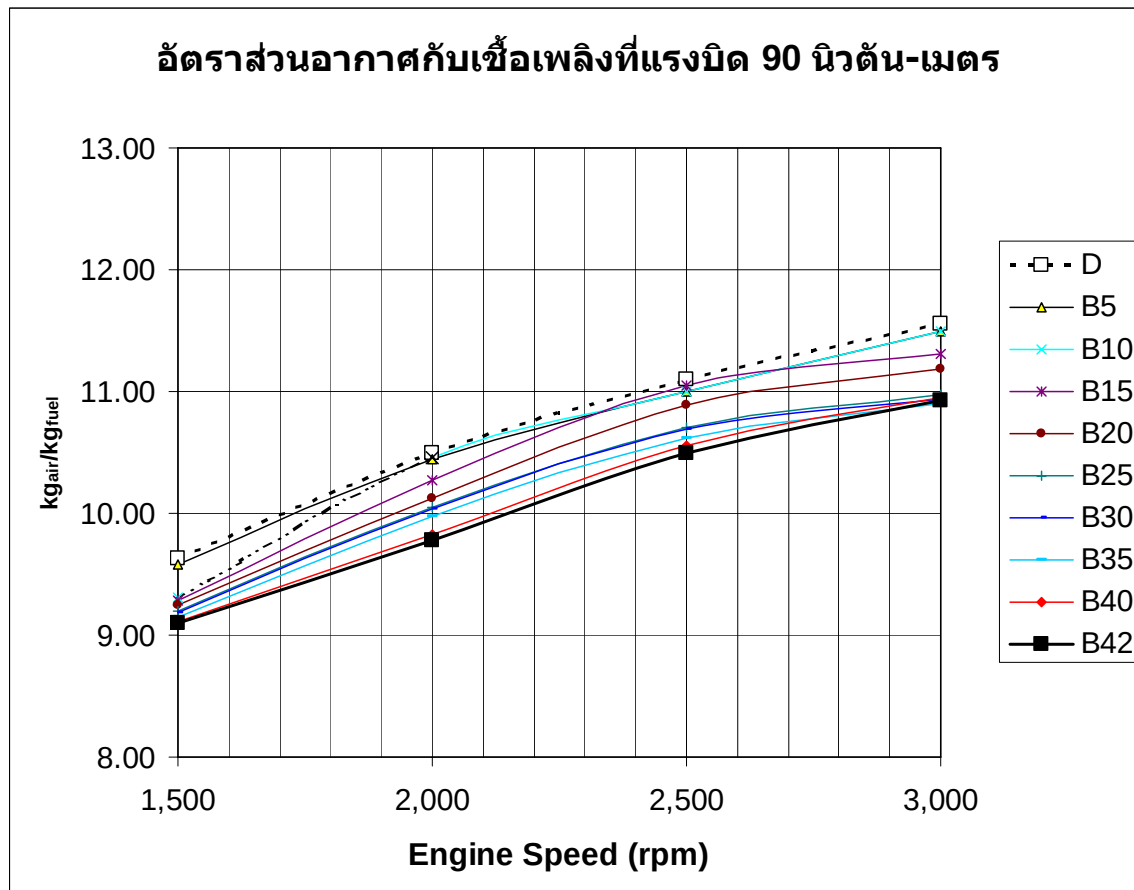
สรุป จากภาพประกอบ 20 - 22 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่แรงบิด 50, 90 และ 120 นิวตัน-เมตร ระหว่างเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลกับเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงที่ผสมบิวทานอล 42 %โดยปริมาตร มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยทั้งหมดใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากค่าความร้อนเชื้อเพลิงของบิวทานอลมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย จึงเป็นผลให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้มีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบ 23 เปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 23 พบว่าเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและที่ทุกความเร็วรอบพบว่าอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลส่วนมากจะต่ำกว่า อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว และเมื่อพิจารณาเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอล 42 % โดยปริมาตร พบว่าค่าอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงมีค่าต่ำที่สุด โดยอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42 % โดยปริมาตร จะต่ำกว่าอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวโดยเฉลี่ย 3.52 % เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณบิวทานอลซึ่งมีส่วนประกอบของออกซิเจนอยู่แล้ว ทำให้ความต้องการปริมาณอากาศในการเผาไหม้น้อยลงจึงเป็นผลให้อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลงตามลำดับ

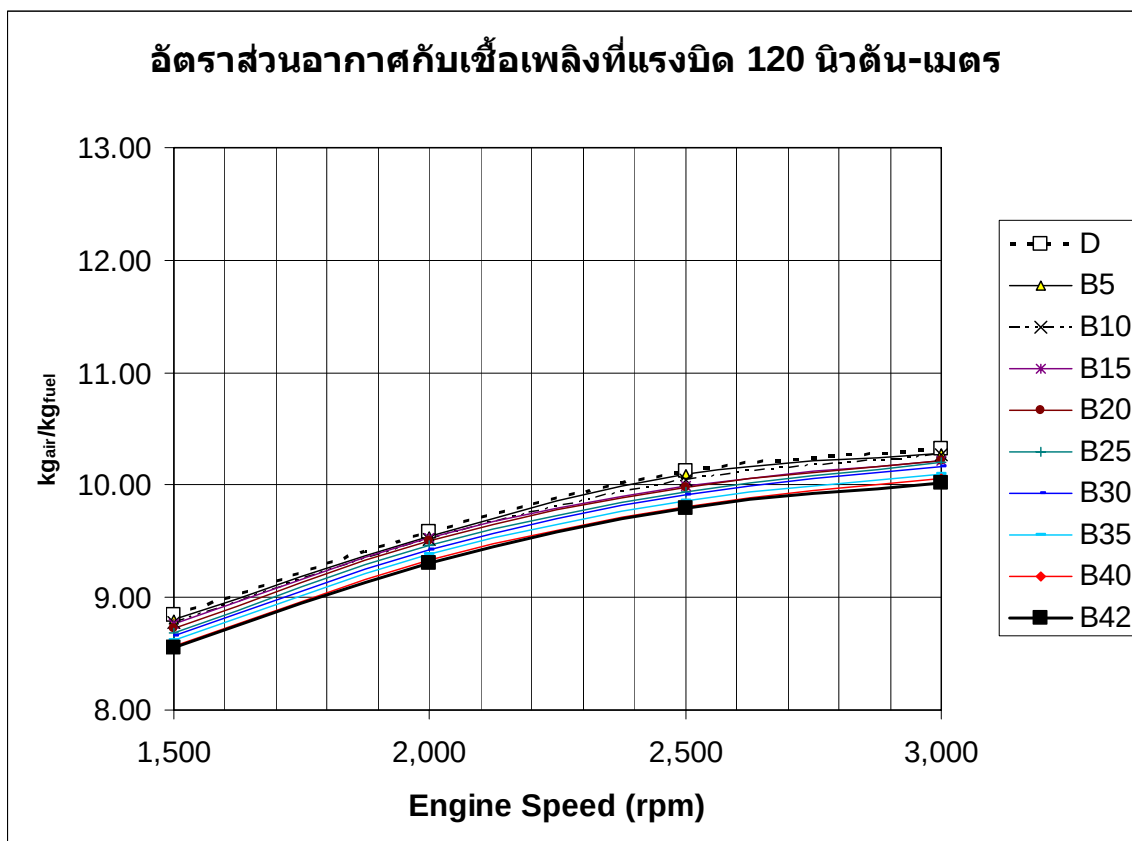
จากการคำนวณทางทฤษฎีพบว่าเมื่อเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการคำนวณทางทฤษฎีได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 16 ในบทที่ 3



ภาพประกอบ 24 เปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 24 พบว่าเมื่อเพิ่มแรงบิดเครื่องยนต์ให้มากขึ้นเป็น 90 นิวตัน-เมตร อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงจะต่ำกว่าที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร และเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและที่ทุกความเร็วรอบพบว่าอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลส่วนมากจะต่ำกว่า อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว และเมื่อพิจารณาเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอล 42 %โดยปริมาตร พบว่าค่าอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงมีค่าต่ำที่สุด โดยอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42 %โดยปริมาตร จะต่ำกว่า อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวโดยเฉลี่ย 3.84 % เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณบิวทานอลซึ่งมีส่วนประกอบของออกซิเจนอยู่แล้ว ทำให้ความต้องการ

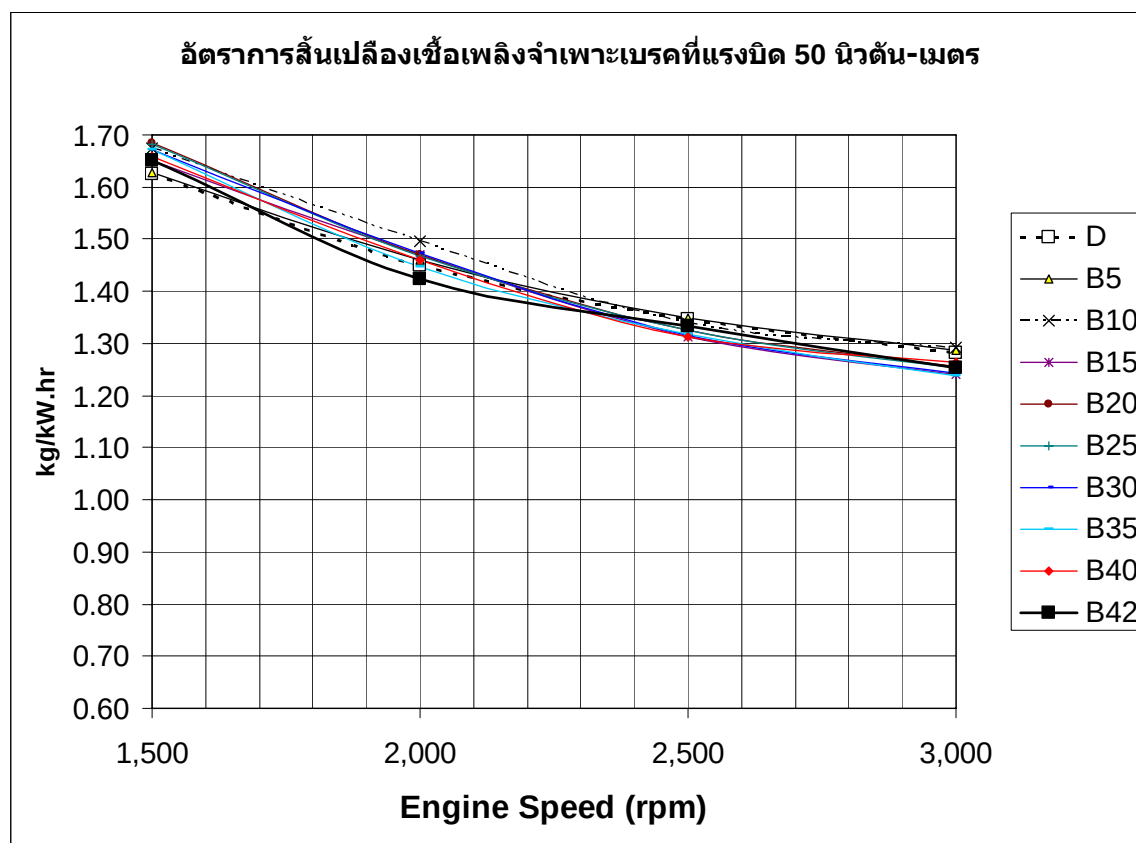
ปริมาณอากาศในการเผาไหม้น้อยลงจึงเป็นผลให้อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลงตามลำดับ และจากการคำนวณทางทฤษฎีพบว่า เมื่อเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการคำนวณทางทฤษฎีได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 16 ในบทที่ 3



ภาพประกอบ 25 เปรียบเทียบอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร

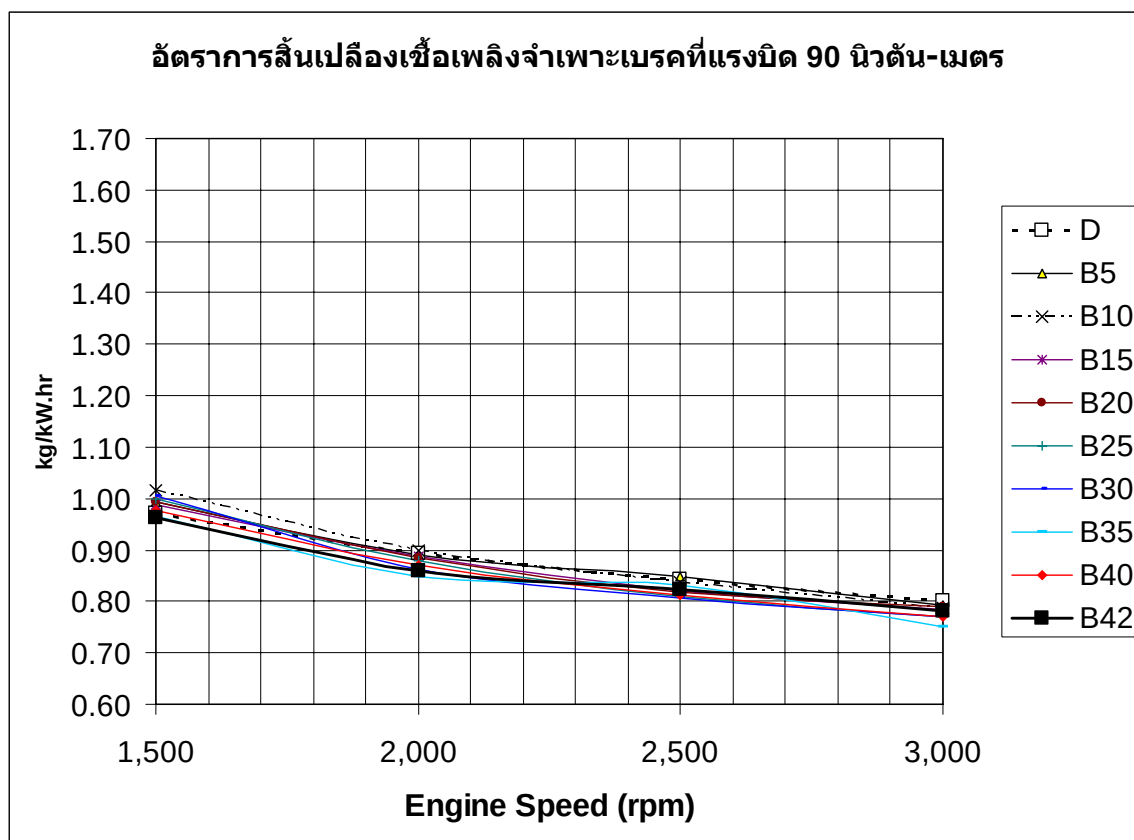
จากภาพประกอบ 25 พบว่าเมื่อเพิ่มแรงบิดเครื่องยนต์ให้มากขึ้นเป็น 120 นิวตัน-เมตร อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงจะต่ำกว่าที่แรงบิด 50 และ 90 นิวตัน-เมตร และเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและที่ทุกความเร็วรอบพบว่า อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลส่วนมากจะต่ำกว่า อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว และเมื่อพิจารณาเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอล 42 % โดยปริมาตร พบว่าค่าอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงมีค่าต่ำที่สุด โดยอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42 % โดยปริมาตร จะต่ำกว่าอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวโดยเฉลี่ย 3.20 % เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณบิวทานอลซึ่งมีส่วนประกอบของออกซิเจนอยู่แล้ว ทำให้ความต้องการ

ปริมาณอากาศในการเผาไหม้น้อยลงจึงเป็นผลให้อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลงตามลำดับ และจากการคำนวณทางทฤษฎีพบว่าเมื่อเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการคำนวณทางทฤษฎีได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 16 ในบทที่ 3



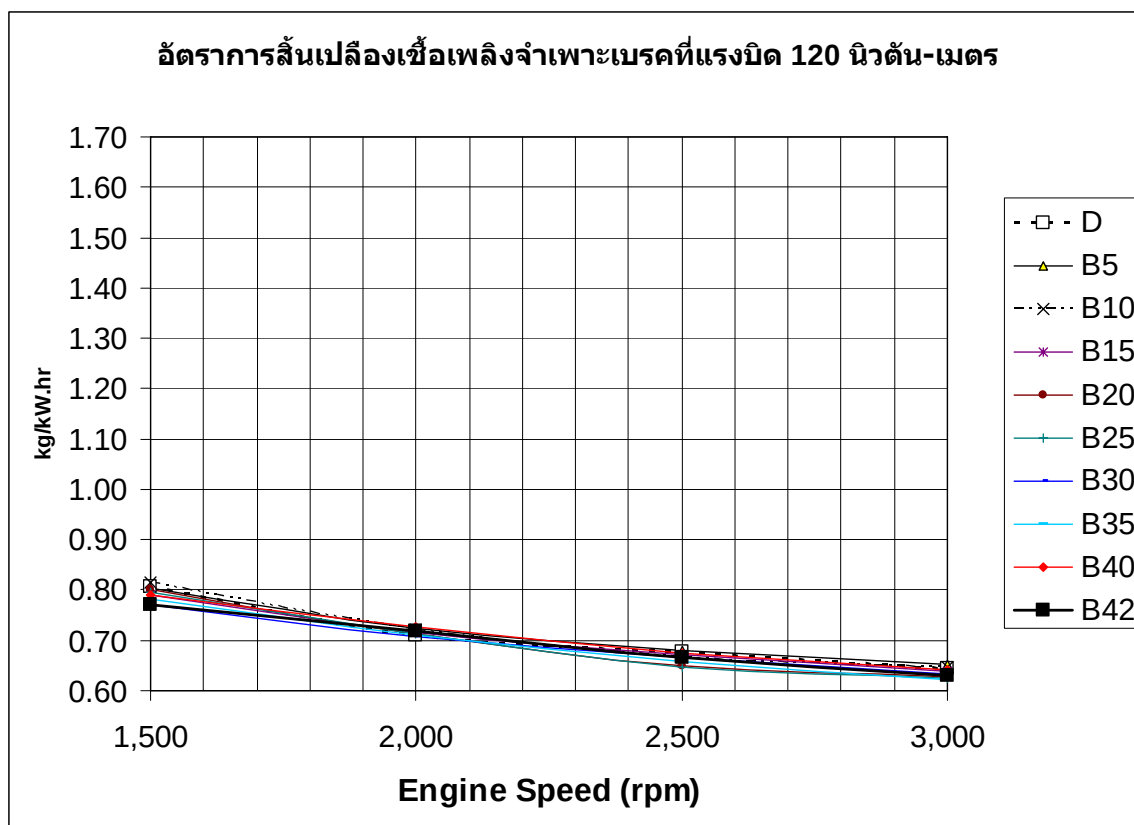
ภาพประกอบ 26 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 26 พบว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร มีแนวโน้มลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลกับเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว พบว่าเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 10 – 42 % โดยปริมาตร มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงทั้งหมดมีค่าความร้อนในการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกันจึงทำให้ในการเผาไหม้ต้องใช้จำนวนเชื้อเพลิงในปริมาณที่ใกล้เคียงกันดังภาพประกอบ 20 เพื่อให้ได้ค่าพลังงานออกมาเท่ากัน



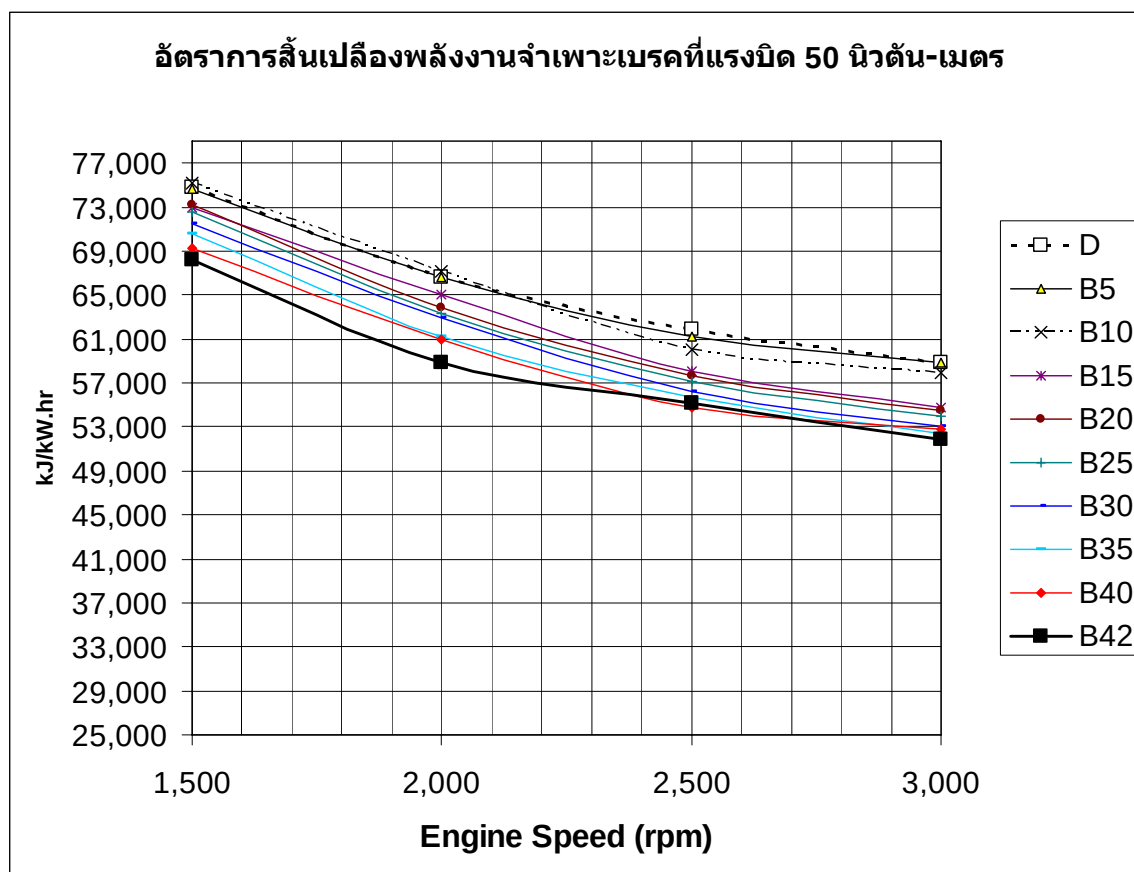
ภาพประกอบ 27 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 27 เมื่อเพิ่มแรงบิดเครื่องยนต์เป็น 90 นิวตัน-เมตร พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคจะต่ำกว่าการทดสอบที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร และเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลกับเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว พบว่าเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 5 – 42 % โดยปริมาตร มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงทั้งหมดมีค่าความร้อนในการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกันจึงทำให้ในการเผาไหม้ต้องใช้จำนวนเชื้อเพลิงในปริมาณที่ใกล้เคียงกันดังภาพประกอบ 21 เพื่อให้ได้ค่าพลังงานออกมาเท่ากัน



ภาพประกอบ 28 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร

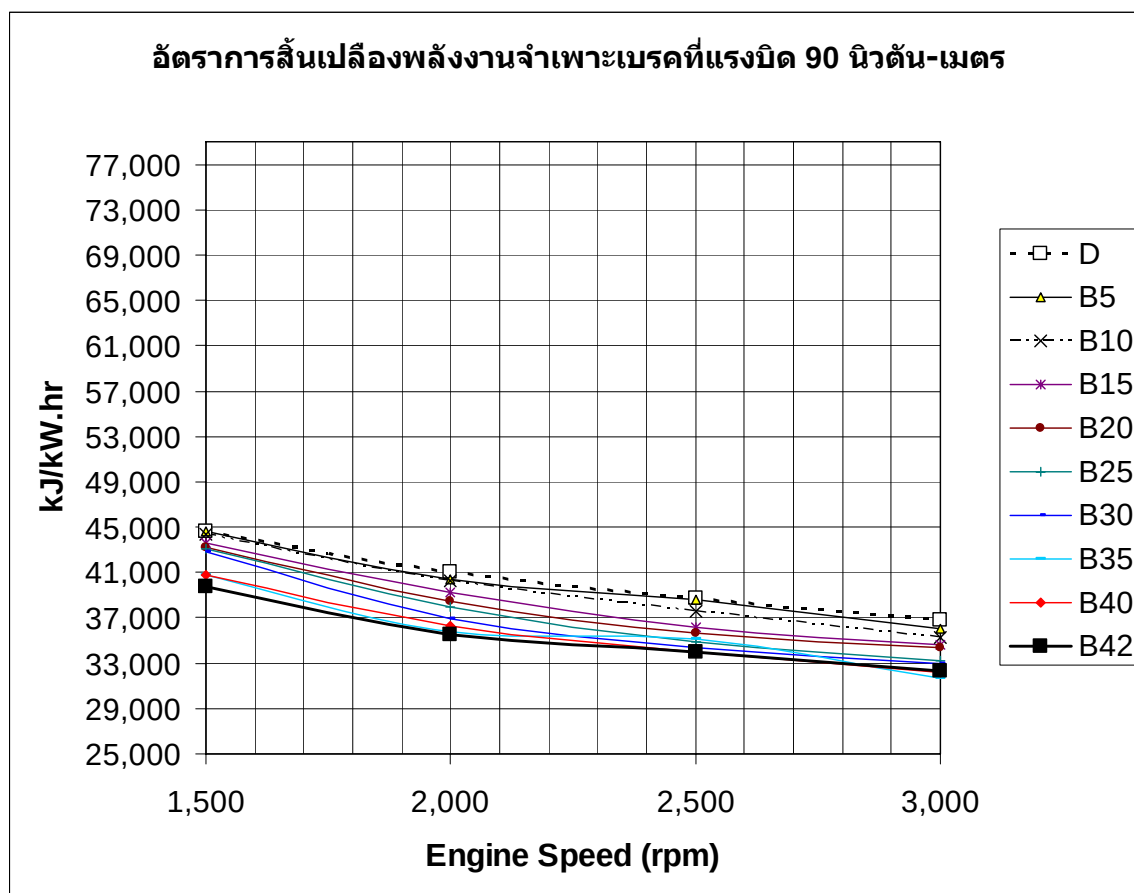
จากภาพประกอบ 28 เมื่อเพิ่มแรงบิดเครื่องยนต์เป็น 120 นิวตัน-เมตร พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคจะต่ำกว่าการทดสอบที่แรงบิด 50 และ 90 นิวตัน-เมตร และเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับที่แรงบิด 50 และ 90 นิวตัน-เมตร และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลกับเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว พบว่าเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 5 – 42% โดยปริมาตร มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงทั้งหมดมีค่าความร้อนในการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกันจึงทำให้ในการเผาไหม้ต้องใช้จำนวนเชื้อเพลิงในปริมาณที่ใกล้เคียงกันดังภาพประกอบ 22 เพื่อให้ได้ค่าพลังงานออกมาเท่ากัน



ภาพประกอบ 29 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคที่แรงบิด 50 นิวตัน- เมตร

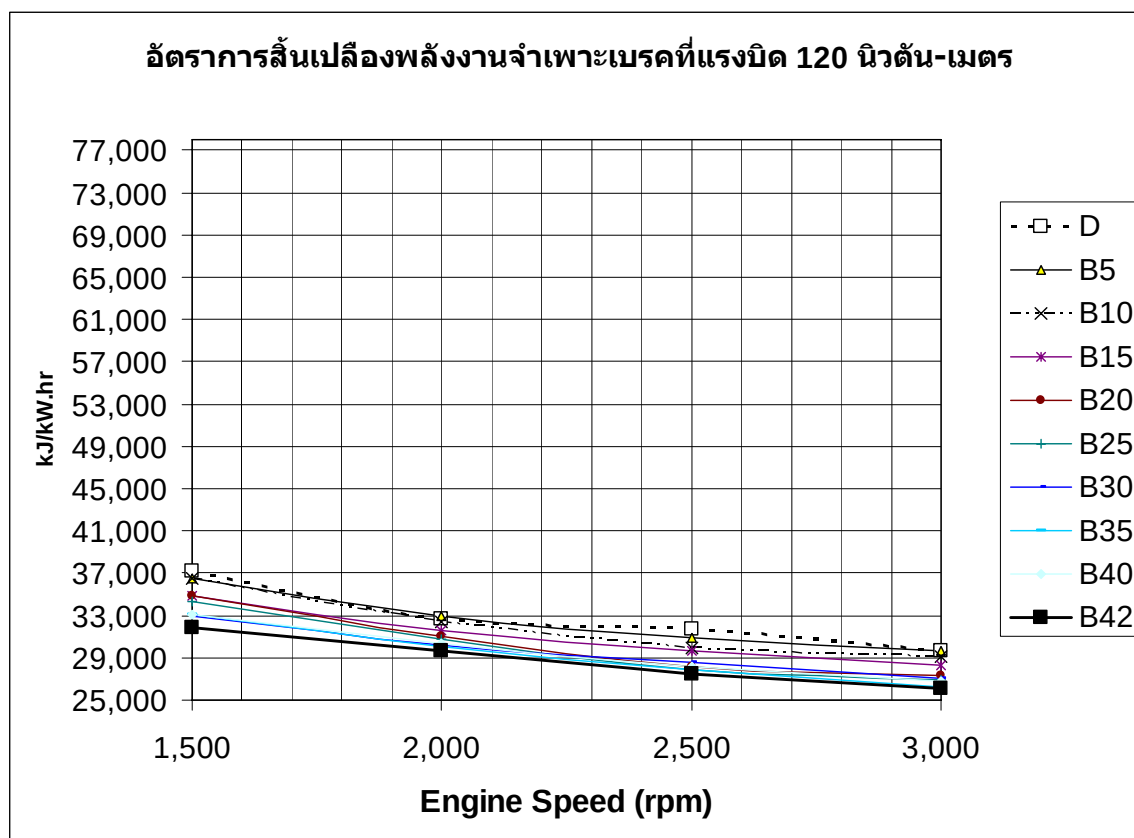
จากภาพประกอบ 29 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวซึ่งค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคของเครื่องยนต์จะเป็นตัวบอกค่าจำนวนของพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้จากการเผาไหม้เพื่อมาเปลี่ยนให้เป็นงาน หรืออาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นงานได้ของเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้พลังงานความร้อนที่น้อยกว่าในการเปลี่ยนให้เป็นงานที่เท่ากันย่อมดีกว่า

เมื่อพิจารณาจากกราฟที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตรพบว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมกับบิวทานอล 42 % โดยปริมาตรจะมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวประมาณ 10.86 % นั่นก็แสดงว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42 % โดยปริมาตร สามารถที่จะเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นงานได้มากกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเนื่องจากกำลังงานเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีกว่าดังจะเห็นได้ชัดจากกราฟในภาพประกอบ 32



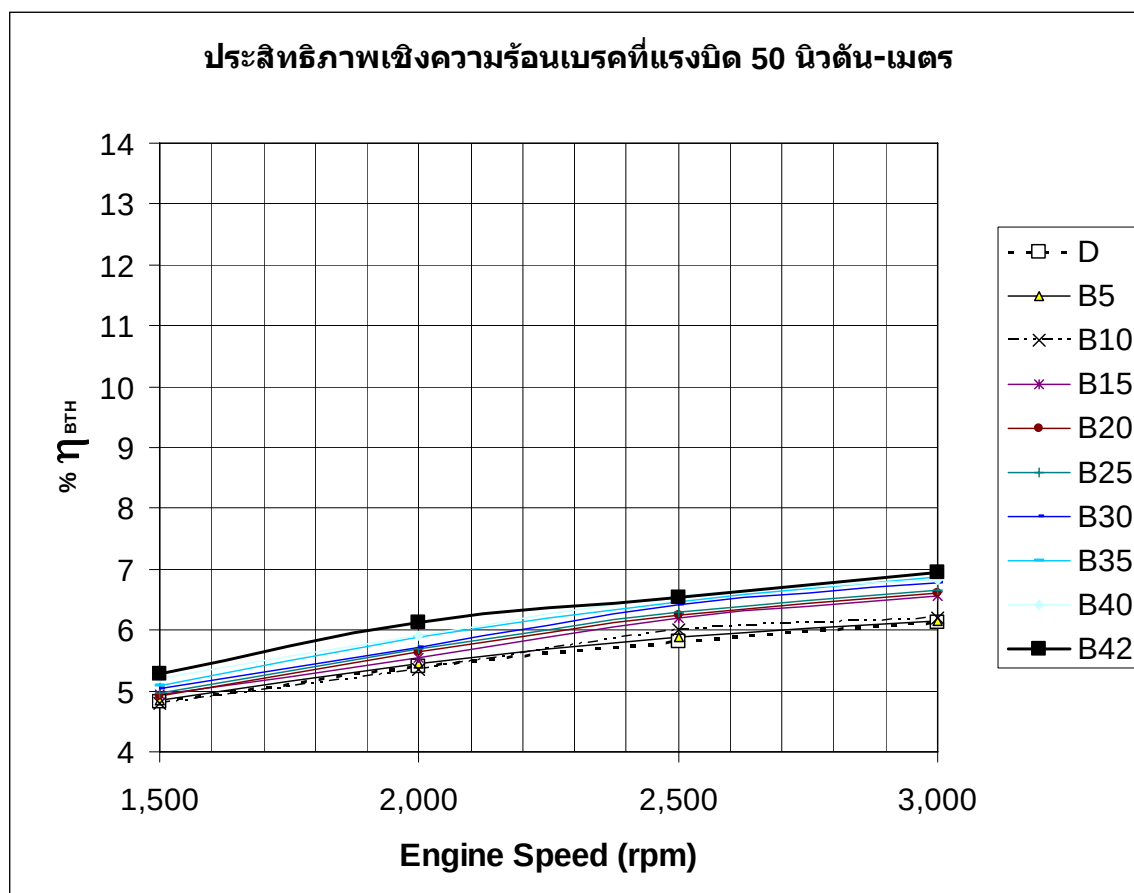
ภาพประกอบ 30 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 30 เมื่อเพิ่มแรงบิดเครื่องยนต์เป็น 90 นิวตัน-เมตร พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคจะต่ำกว่าการทดสอบที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร และเมื่อเปรียบเทียบพลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะเบรคของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตรพบว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมกับบิวทานอล 42 % โดยปริมาตรจะมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวประมาณ 12.16 % แสดงว่าที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตรเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42 % โดยปริมาตร สามารถที่จะเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นงานได้มากกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเนื่องจากกำลังงานเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีกว่าดังจะเห็นได้ชัดจากกราฟในภาพประกอบ 33



ภาพประกอบ 31 แสดงกราฟเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 31 เมื่อเพิ่มแรงบิดเครื่องยนต์เป็น 120 นิวตัน-เมตร พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคจะต่ำกว่าการทดสอบที่แรงบิด 50 และ 90 นิวตัน-เมตร และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตรพบว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมกับบิวทานอล 42 % โดยปริมาตรจะมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวประมาณ 12.18 % นั่นก็แสดงว่าที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตรเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42 % โดยปริมาตร สามารถที่จะเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นงานได้มากกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเนื่องจากกำลังงานเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีกว่าดังจะเห็นได้ชัดจากกราฟในภาพประกอบ 34

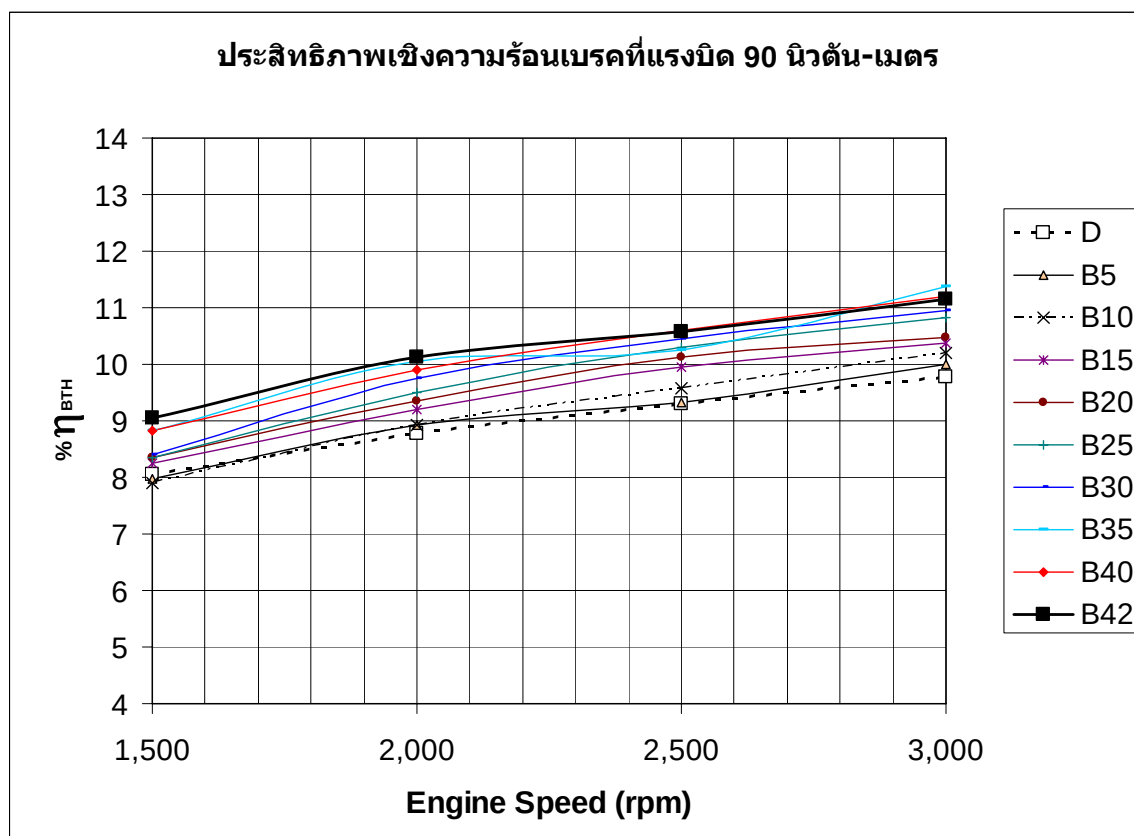


ภาพประกอบ 32 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 32 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่ความเร็วรอบต่างๆ ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์นั้นจะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์คือจะมีค่าต่ำที่ความเร็วรอบต่ำและจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42 % โดยปริมาตรจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่สูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวโดยเฉลี่ย 12.20 % ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลหลายประการเช่นเชื้อเพลิงบิวทานอลมีค่าความร้อนเชื้อเพลิง, Boiling point และ Flash point ที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลดังแสดงในภาคผนวก ก ตารางคุณสมบัติของเชื้อเพลิงคือค่าความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42 % โดยปริมาตรมีค่า 41,335 kJ/kg ขณะที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวมีค่า 45,968 kJ/kg , Boiling point ของบิวทา

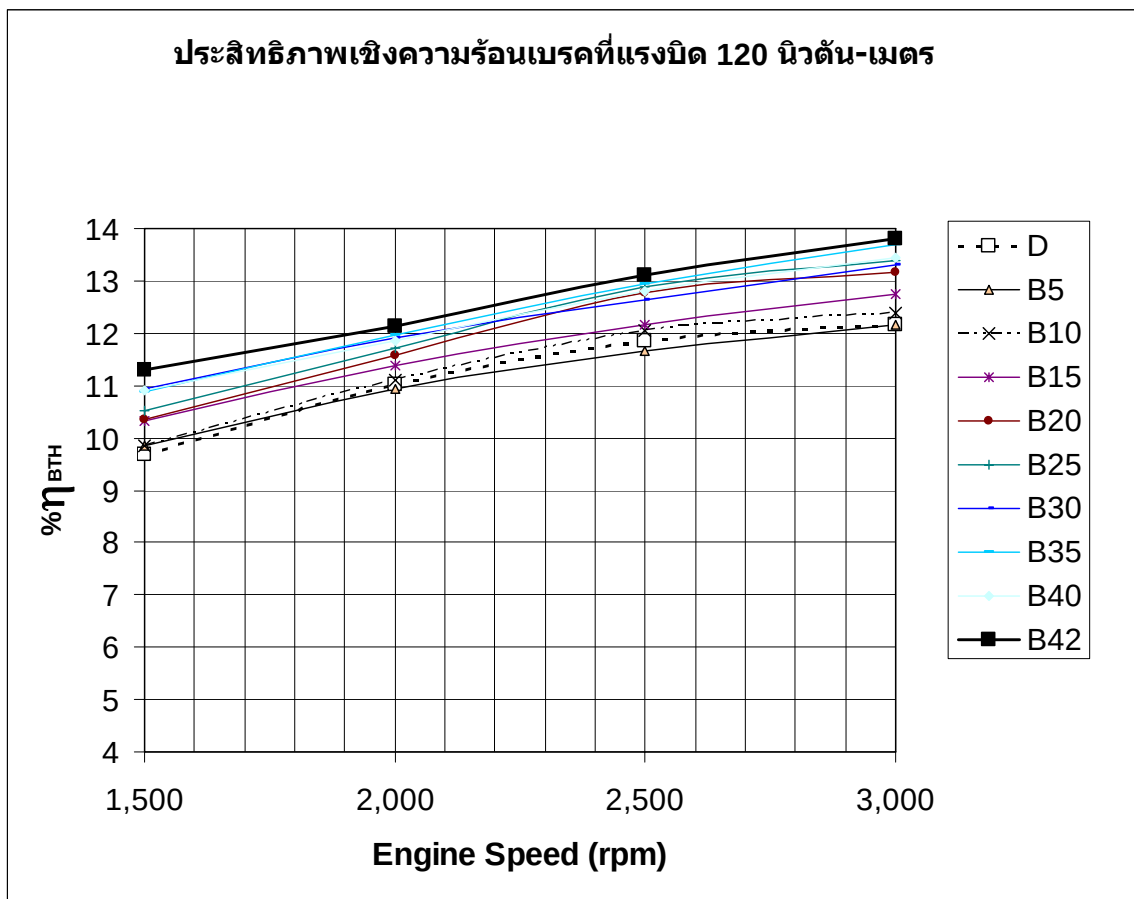
นอลมีค่า 117.7 °C ขณะที่น้ำมันดีเซลมีค่า 177.5 °C และ Flash point ของบิวทานอลมีค่า 35 °C ขณะที่น้ำมันดีเซลมีค่า 67 °C เป็นต้นซึ่งทำให้การสูญเสียความร้อนจากการนำและการแผ่รังสีของเครื่องยนต์ออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยกว่าทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น คุณสมบัติในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงบิวทานอลที่สามารถเผาไหม้ได้รวดเร็วทำให้การสูญเสียความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมข้างได้น้อยกว่า จึงส่งผลให้ได้กำลังที่มากกว่าด้วยทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีขึ้นด้วย



ภาพประกอบ 33 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 33 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่ความเร็วรอบต่างๆ ที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์นั้นจะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์คือจะมีค่าต่ำที่ความเร็วรอบต่ำและจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นตามลำดับ และยังเปลี่ยนแปลงตามค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ด้วยคือเมื่อเพิ่มแรงบิดจาก 50 นิวตัน-เมตร เป็น 90 นิวตัน-เมตรประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์จะสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42 % โดยปริมาตรจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่สูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวโดยเฉลี่ย 13.85 % ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลหลายประการดังเช่นอธิบายมาแล้วข้างต้นในภาพประกอบ 32



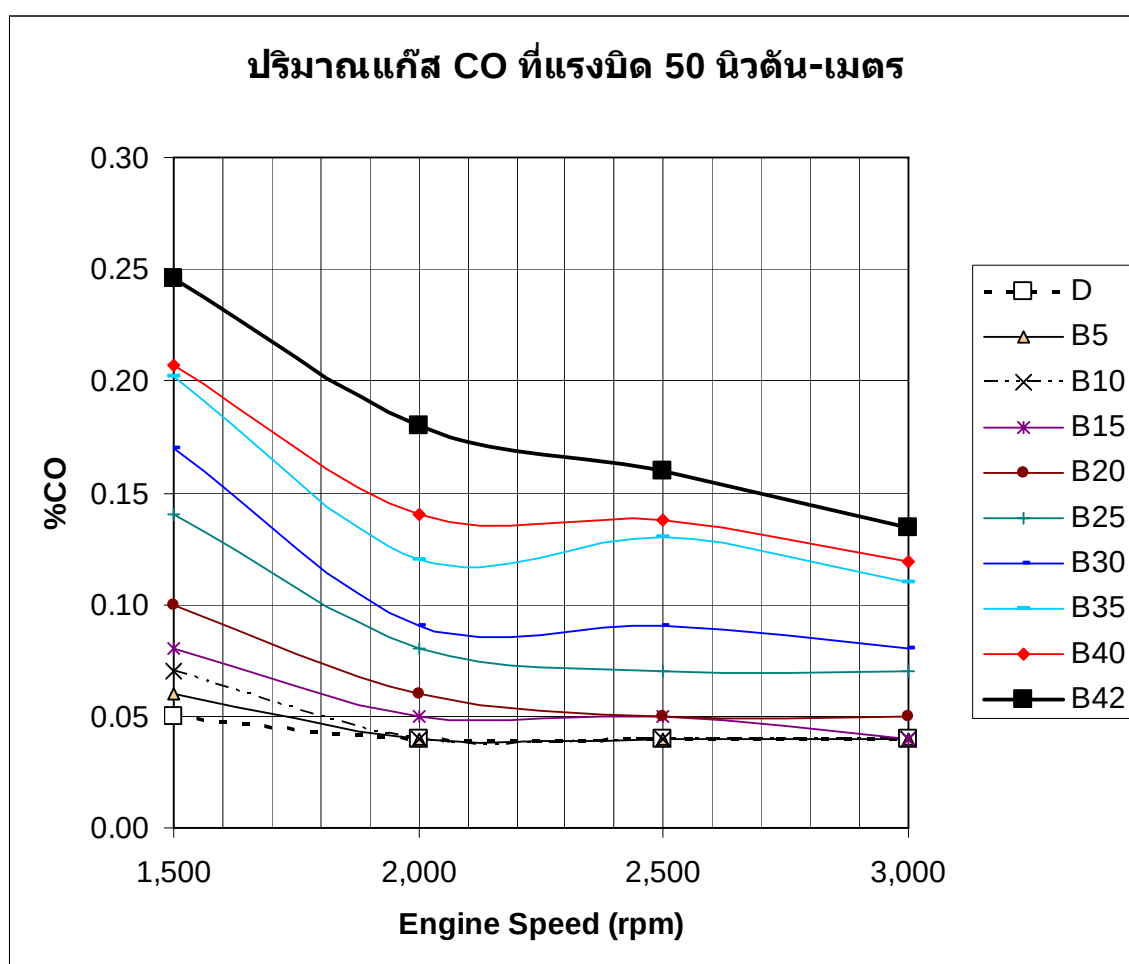
ภาพประกอบ 34 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 34 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่ความเร็วรอบต่างๆ ที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์นั้นจะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์คือจะมีค่าต่ำที่ความเร็วรอบต่ำและจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นตามลำดับ และยังเปลี่ยนแปลงตามค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ด้วยคือเมื่อเพิ่มแรงบิดจาก 90 นิวตัน-เมตร เป็น 120 นิวตัน-เมตรประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์จะสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42 % โดยปริมาตรจะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่สูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวโดยเฉลี่ย 12.92 % ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลหลายประการดังเช่นอธิบายมาแล้วข้างต้นในภาพประกอบ 32

4.2 ผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้

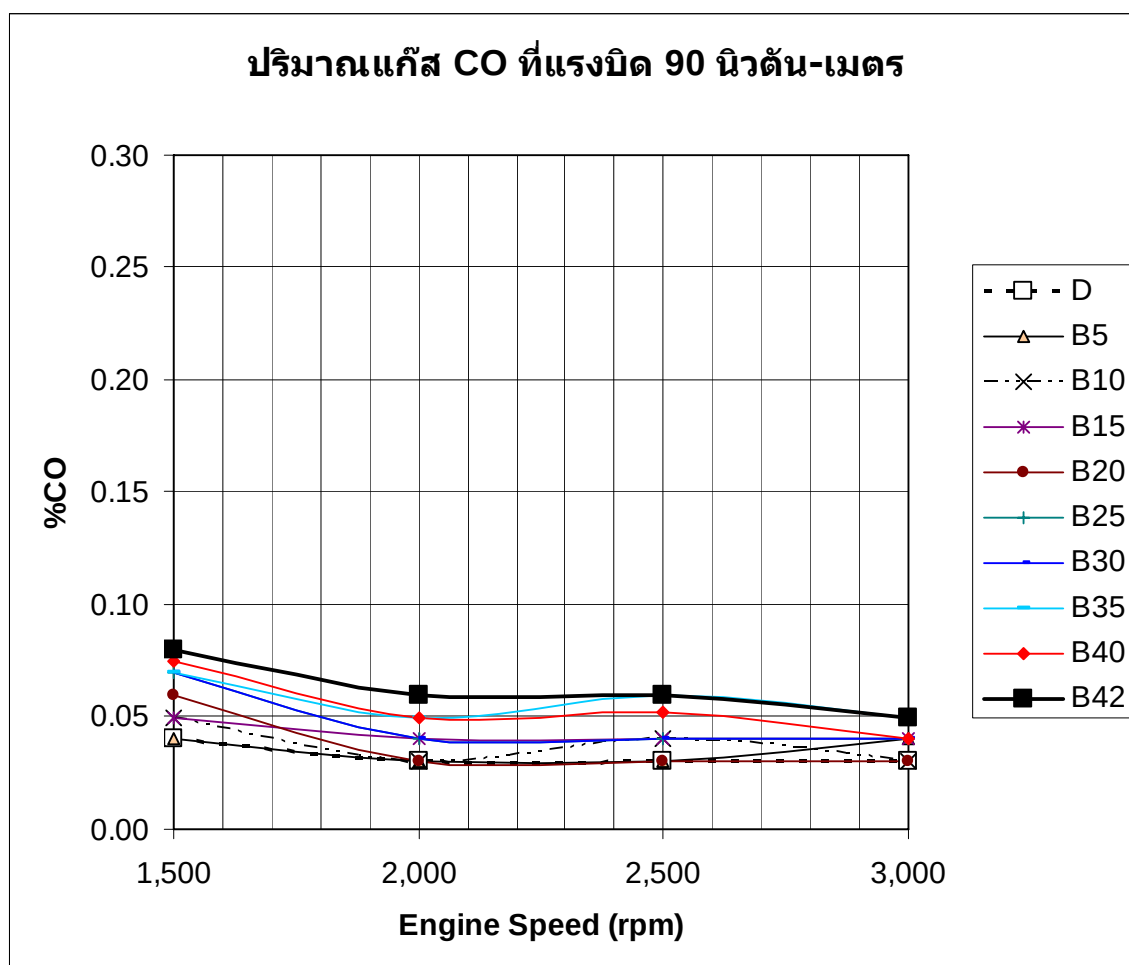
เมื่อนำปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงมาเปรียบเทียบระหว่างการใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบต่อไปนี้



ภาพประกอบ 35 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส CO ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 35 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส CO ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร พบว่าเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส CO มีแนวโน้มลดลง และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส CO ที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากคาร์บอนในองค์ประกอบของบิวทานอลไม่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อย่างสมบูรณ์ระหว่างการเผาไหม้ เพราะอุณหภูมิการจุดระเบิดของบิวทานอลต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นคาร์บอนจึงหลงเหลือออกมาในรูปของแก๊ส CO มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่ลดลงเมื่อเชื้อเพลิงมีส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นดังภาพประกอบ 23-25 และจากภาพประกอบ 20-22 พบว่าเมื่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไม่เปลี่ยนแปลงแต่ใช้อากาศในการเผาไหม้น้อยลง จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เพิ่มขึ้น

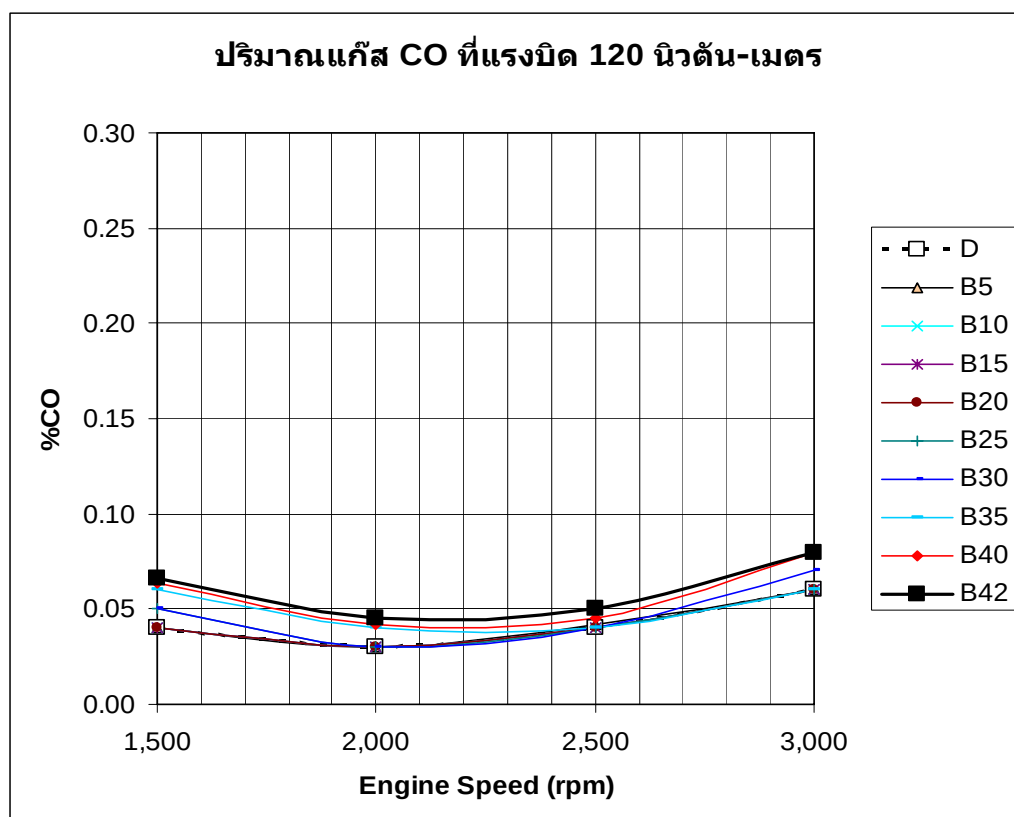
จากการคำนวณตามทฤษฎีการเผาไหม้ดังแสดงในภาพประกอบ 18-19 ในบทที่ 3 พบว่าเมื่ออัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณแก๊ส CO จะสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับภาพประกอบ 3 และ 4 ในบทที่ 2 เช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส CO ที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 36 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส CO ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร พบว่าเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส CO มีแนวโน้มลดลง และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส CO ที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากคาร์บอนในองค์ประกอบของบิวทานอลไม่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อย่างสมบูรณ์ระหว่างการเผาไหม้ เพราะอุณหภูมิการจุดระเบิดของบิวทานอลต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นคาร์บอนจึงหลงเหลือออกมาในรูปของแก๊ส CO มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่ลดลงเมื่อเชื้อเพลิงมีส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นดังภาพประกอบ 23-25 และจากภาพประกอบ 20-22 พบว่าเมื่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไม่เปลี่ยนแปลงแต่ใช้อากาศในการเผาไหม้น้อยลง จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เพิ่มขึ้น

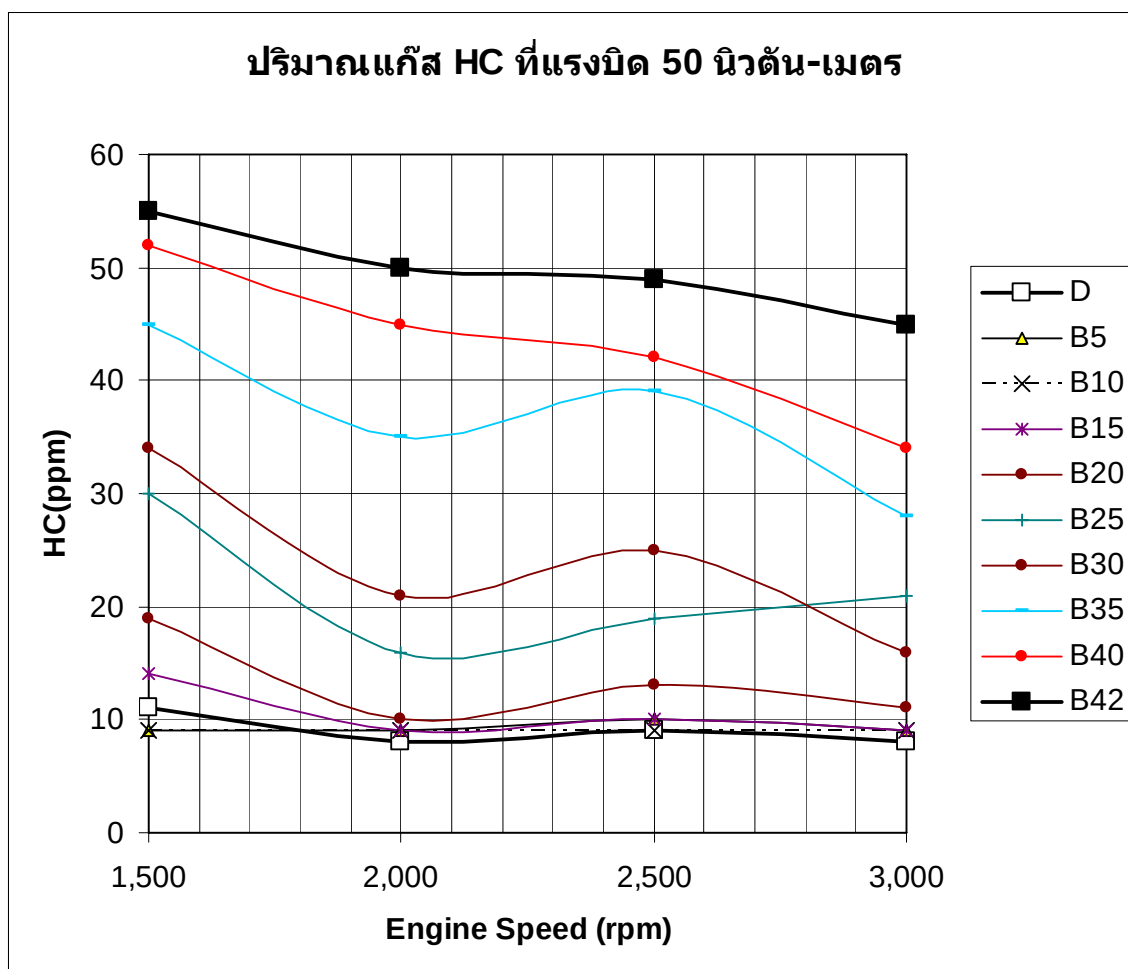
จากการคำนวณตามทฤษฎีการเผาไหม้ดังแสดงในภาพประกอบ 18-19 ในบทที่ 3 พบว่าเมื่ออัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณแก๊ส CO จะสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับภาพประกอบ 3 และ 4 ในบทที่ 2 เช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 37 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส CO ที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 37 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส CO ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร พบว่าเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นในช่วง 1500 ถึง 2200 รอบต่อนาที ปริมาณแก๊ส CO มีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบจาก 2200 รอบต่อนาทีจนถึง 3000 รอบต่อนาที ปริมาณแก๊ส CO มีแนวโน้มสูงขึ้น และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส CO ที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากคาร์บอนในองค์ประกอบของบิวทานอลไม่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อย่างสมบูรณ์ระหว่างการเผาไหม้ เพราะคุณสมบัติการจุดระเบิดของบิวทานอลต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นคาร์บอนจึงหลงเหลือออกมาในรูปของแก๊ส CO มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่ลดลงเมื่อเชื้อเพลิงมีส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นดังภาพประกอบ 23-25 และจากภาพประกอบ 20-22 พบว่าเมื่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไม่เปลี่ยนแปลงแต่ใช้อากาศในการเผาไหม้น้อยลง จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เพิ่มขึ้น

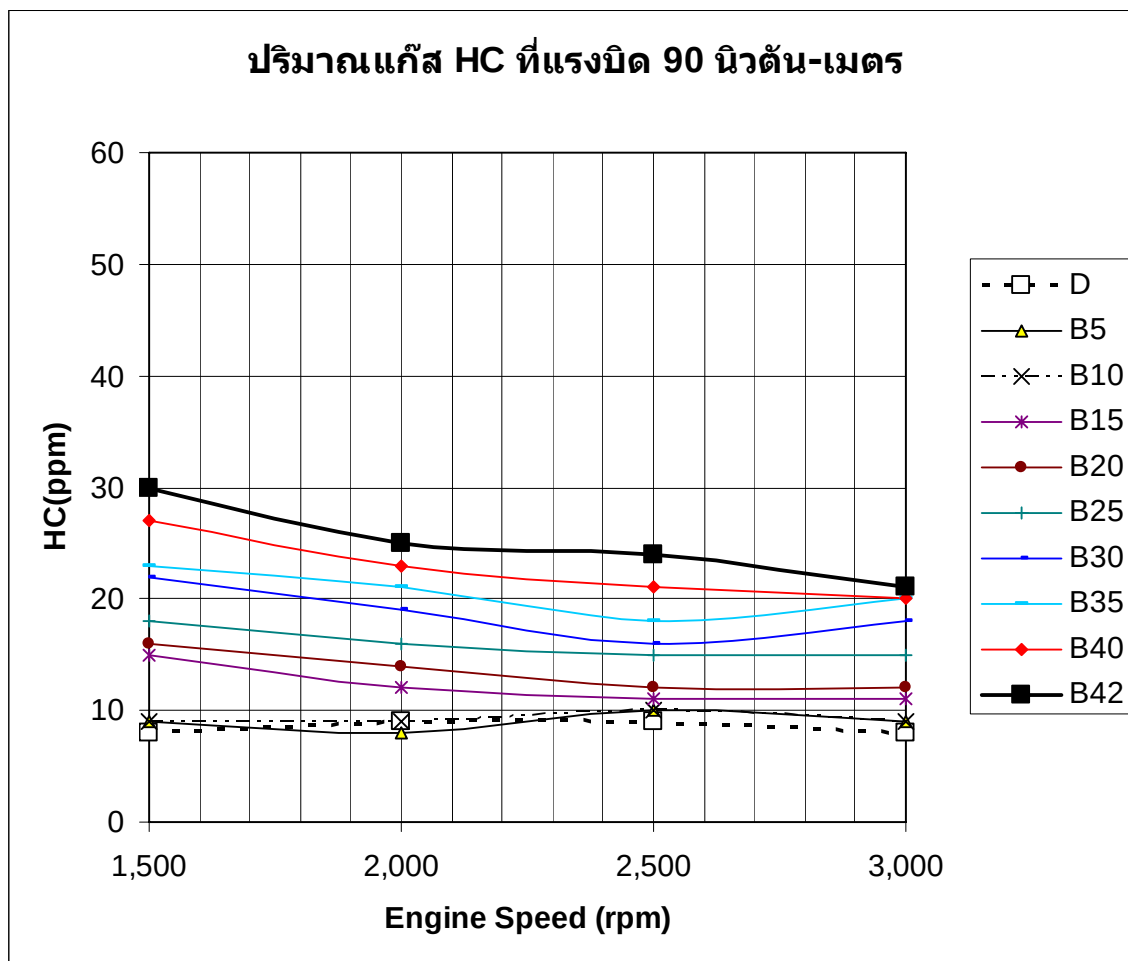
จากการคำนวณตามทฤษฎีการเผาไหม้ดังแสดงในภาพประกอบ 18-19 ในบทที่ 3 พบว่าเมื่ออัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณแก๊ส CO จะสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับภาพประกอบ 3 และ 4 ในบทที่ 2 เช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 38 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส HC ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร

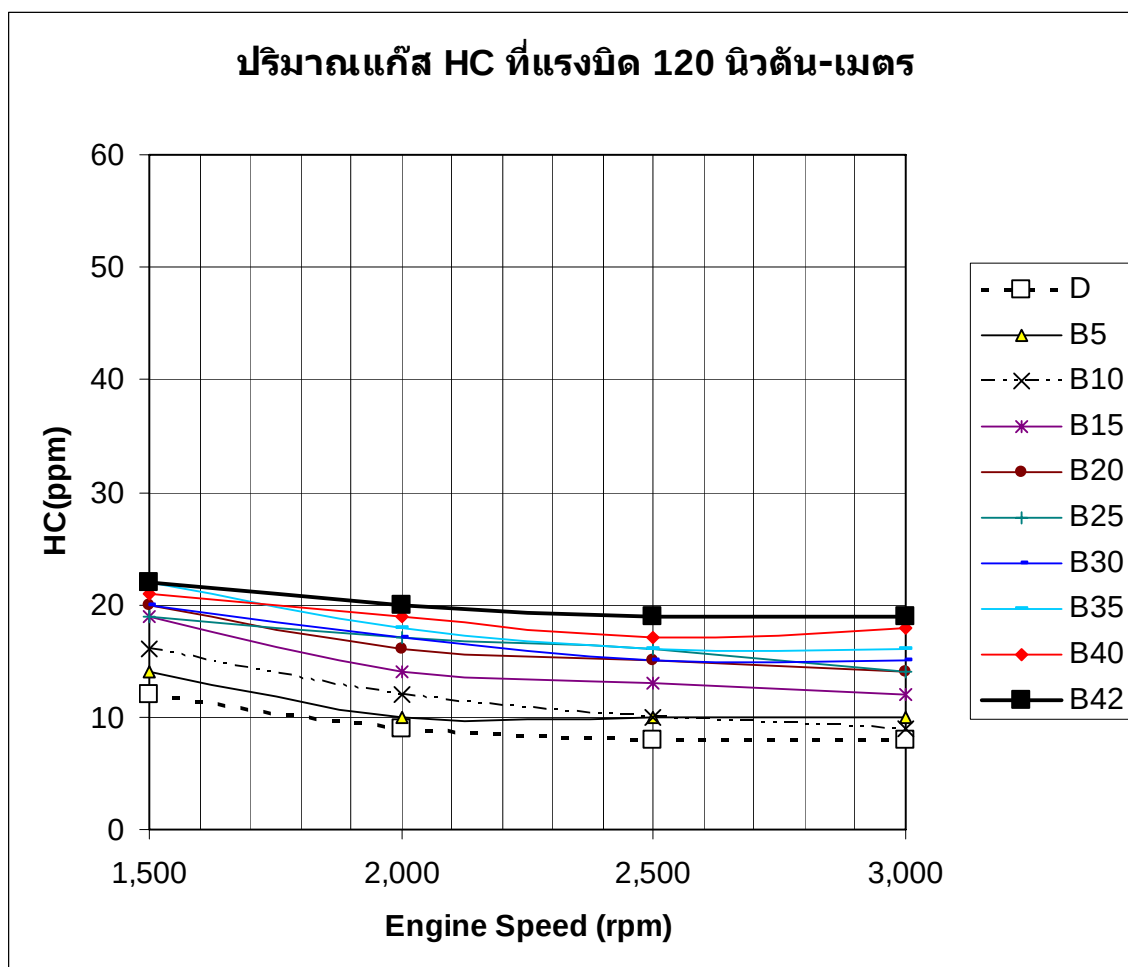
จากภาพประกอบ 38 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส HC ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร พบว่าเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส HC มีแนวโน้มลดลง และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส HC ที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ปริมาณแก๊ส HC ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงมีปริมาณส่วนผสมบิวทานอลมากขึ้นอาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุเช่นส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่หนาจะสัมผัสผนังเสื้อสูบที่อุณหภูมิต่ำซึ่งเป็นเหตุให้เกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและไม่เกิดการเผาไหม้เลย หรืออาจเกิดจากส่วนผสมเบามากเกินไปเปลวไฟจะดับ ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอนมาก หรืออาจเกิดจากน้ำมันหล่อลื่นหลังการฉีดของหัวฉีด และส่วนที่หล่อเป็นหยดนี้ไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอนหรือเชื้อเพลิงหล่อลื่นในเสื้อสูบและกระบอกสูบเผาไหม้จนเกิดการไหม้ จะทำให้เกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอน

เมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 4 ในบทที่ 2 พบว่าจากทฤษฎีการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณแก๊ส HC จะสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในครั้งนี้



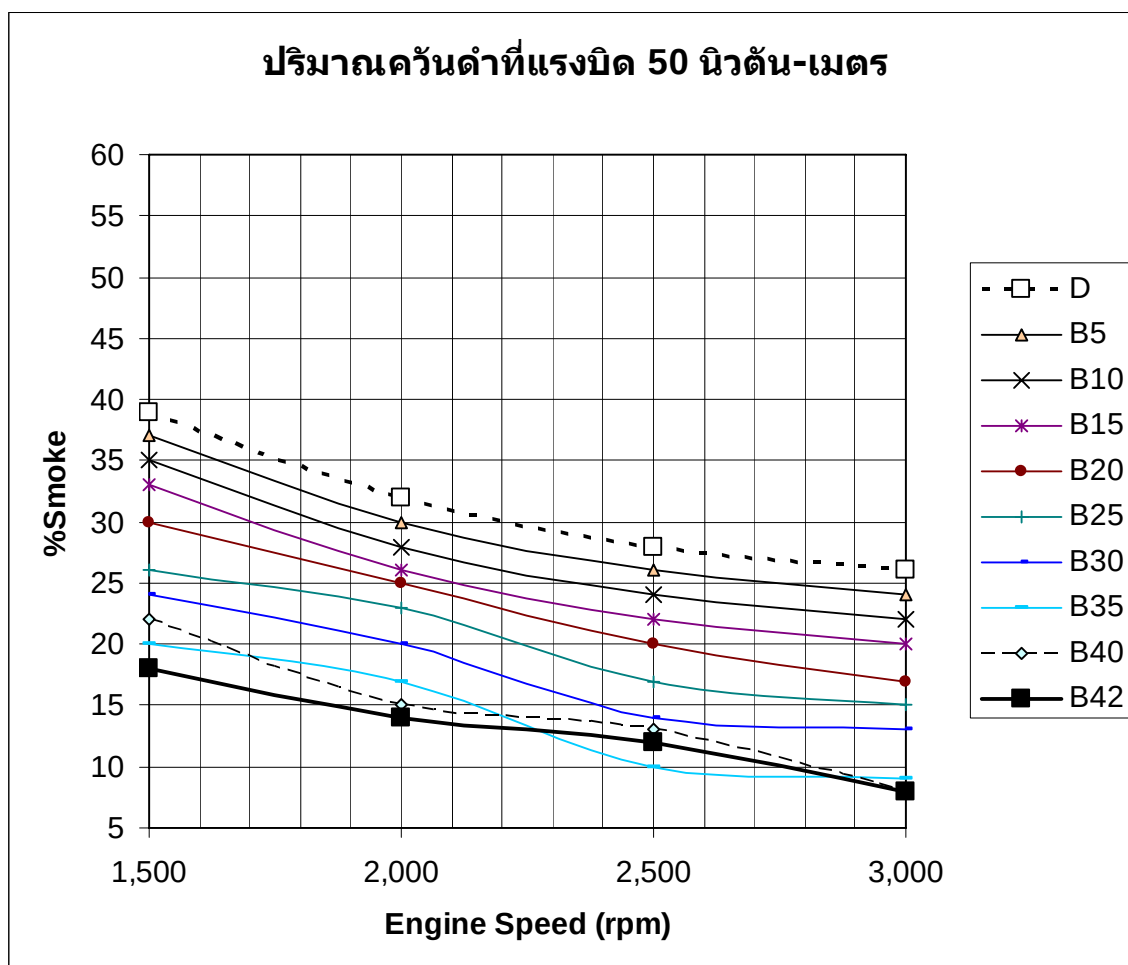
ภาพประกอบ 39 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส HC ที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 39 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส HC ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร พบว่ามีแนวโน้มคล้ายกับผลการทดสอบด้วยแรงบิด 50 นิวตัน-เมตร คือเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส HC มีแนวโน้มลดลง และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส HC ที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ปริมาณแก๊ส HC ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงมีปริมาณส่วนผสมบิวทานอลมากขึ้นอาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุดังอธิบายได้ ภาพประกอบ 38 และเมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 4 ในบทที่ 2 พบว่าจากทฤษฎีการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณแก๊ส HC จะสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในครั้งนี้เช่นกัน



ภาพประกอบ 40 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส HC ที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 40 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส HC ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตรพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนบิวทานอลในเชื้อเพลิง ปริมาณแก๊ส HC มีแนวโน้มลดลง และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส HC ที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ปริมาณแก๊ส HC ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงมีปริมาณส่วนผสมบิวทานอลมากขึ้นอาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุดังอธิบายได้ภาพประกอบ 38 และ 39

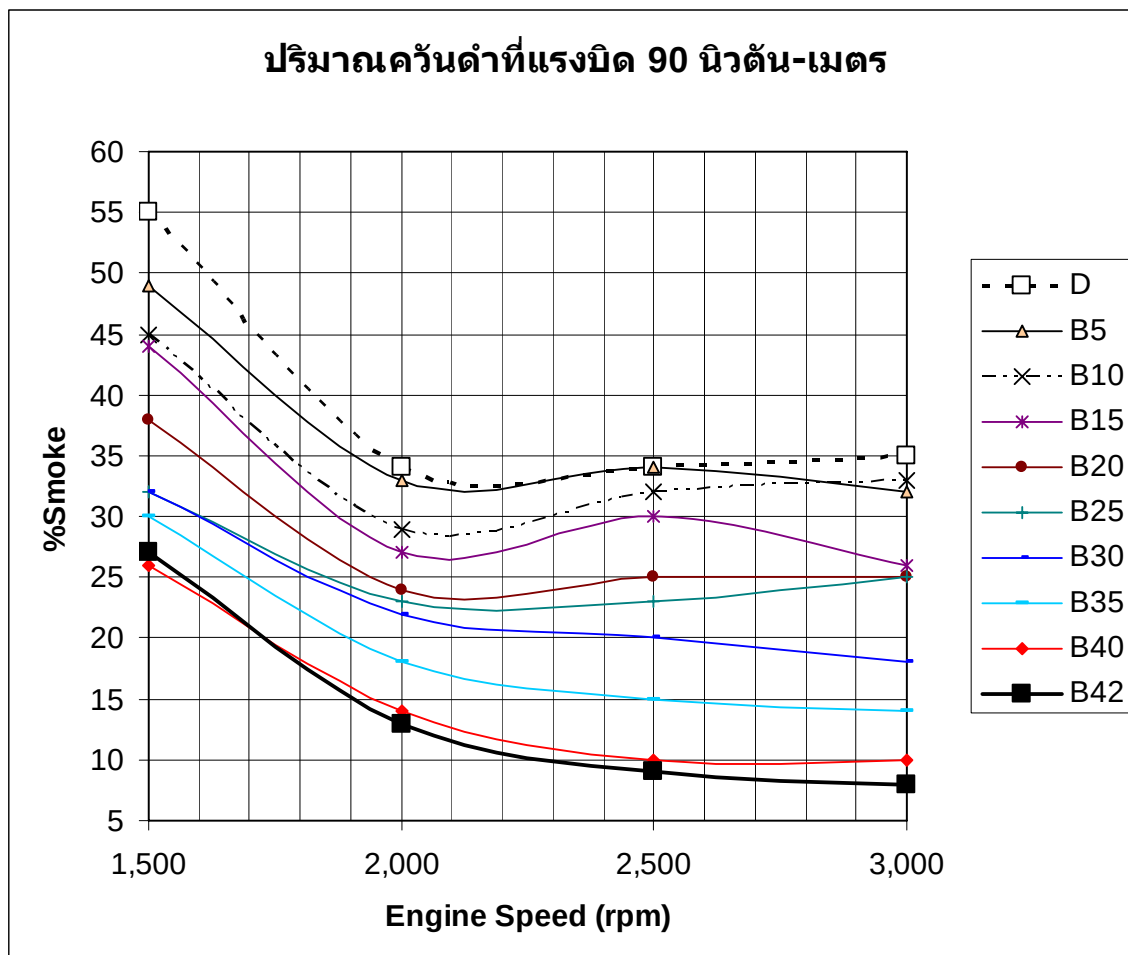


ภาพประกอบ 41 กราฟแสดงค่าควันดำที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 41 เมื่อเปรียบเทียบค่าควันดำที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร พบว่า ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที หรือความเร็วรอบต่ำค่าควันดำจะสูงที่สุดและลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น และเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอลตั้งแต่ 5-42 % ให้ค่าควันดำ ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวและเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 42 % จะมีค่าควันดำต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวโดยเฉลี่ย 53.4 %

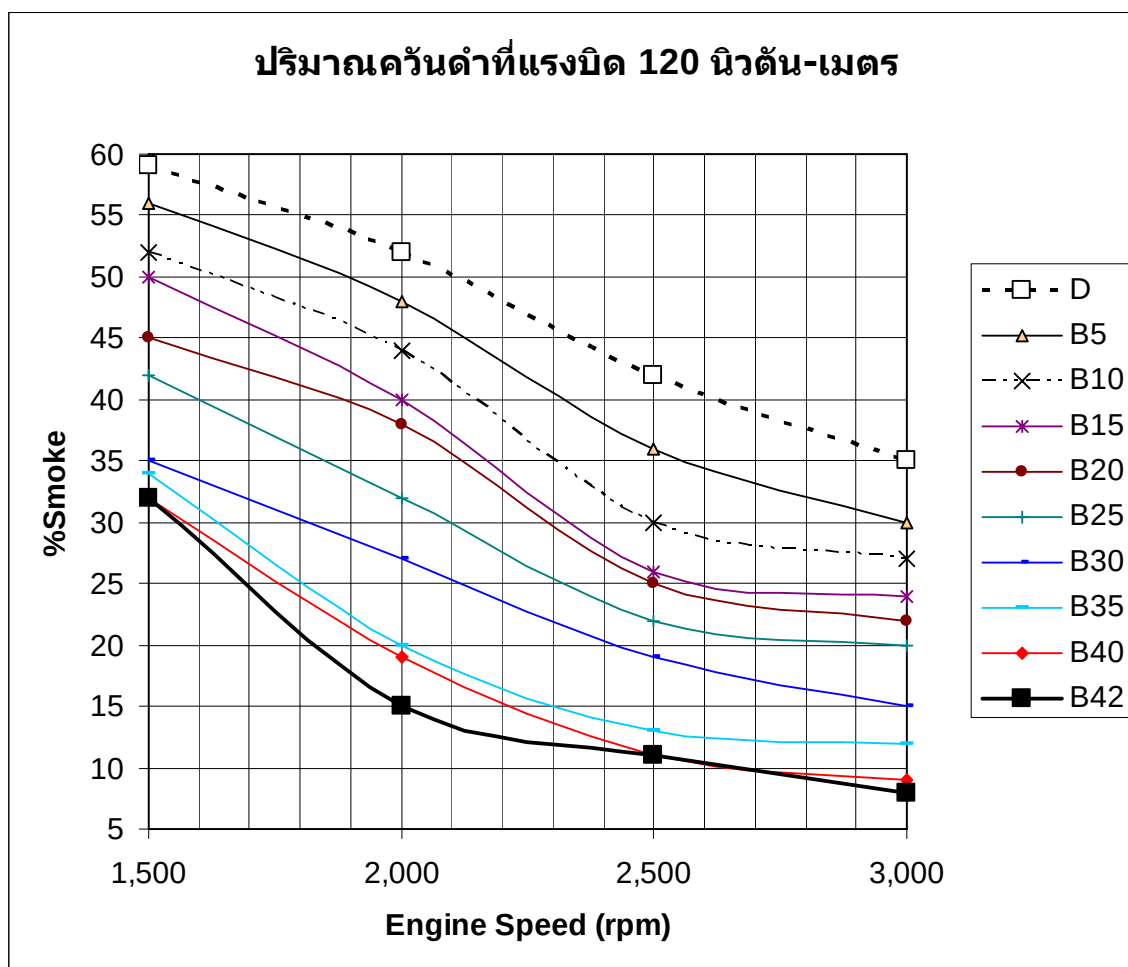
เมื่อพิจารณาจากปริมาณแก๊ส CO ที่เพิ่มขึ้นดังภาพประกอบ 35 – 37 สามารถอธิบายได้ว่าปริมาณควันดำที่ลดลงเนื่องจากเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแก๊ส CO ซึ่งจะมีสีขาวขุ่นสามารถสังเกตเห็นได้ระหว่างการทดสอบ

จากผลการวิจัยของ อรุณ ไชยพันธ์⁽¹²⁾ ที่ทำการทดสอบเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ชนิด เมทานอลซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับบิวทานอลพบว่า เมื่อส่วนผสมเมทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณควันดำ ลดลงเช่นกัน



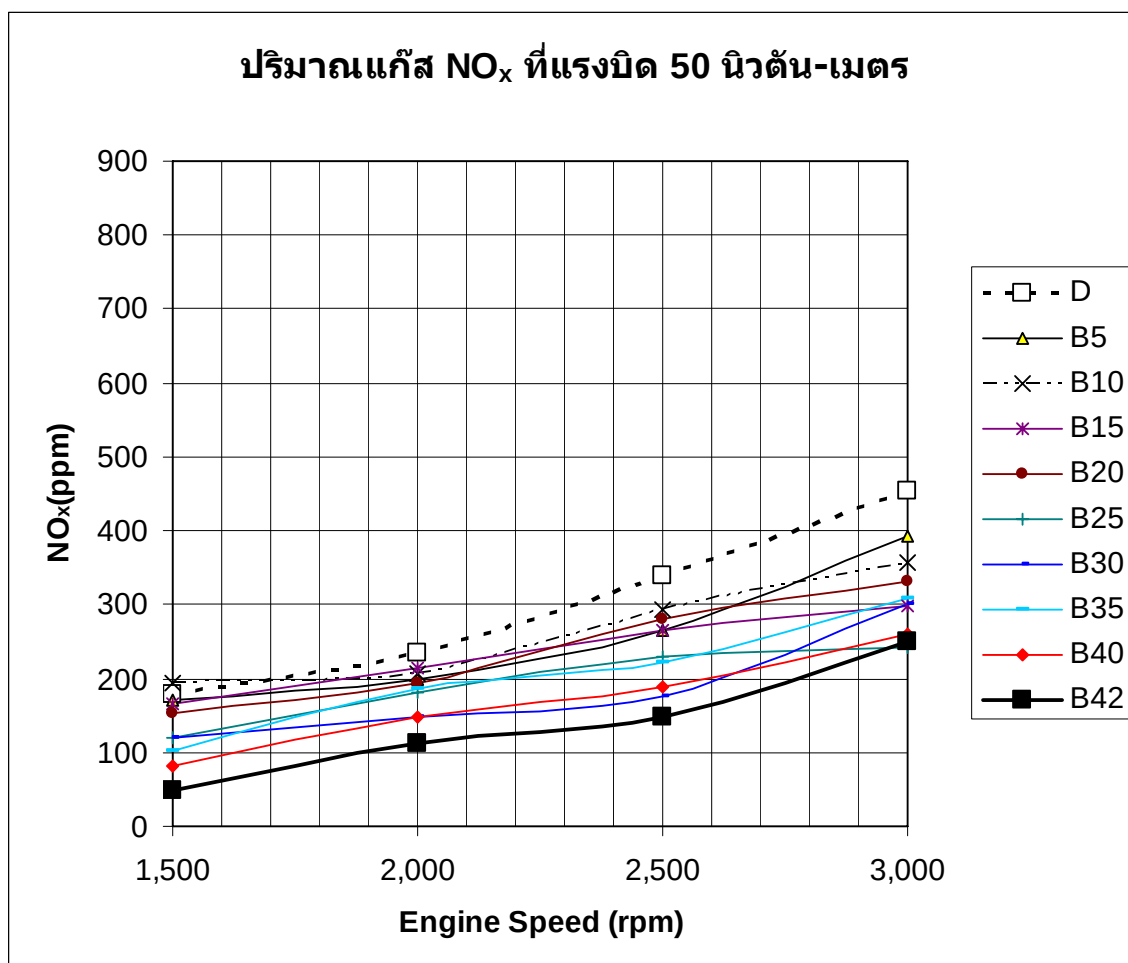
ภาพประกอบ 42 กราฟแสดงค่าควันดำที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 42 เมื่อเปรียบเทียบค่าควันดำที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิด น้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร พบว่า ค่าควันดำส่วนมากมีค่าสูงกว่าค่าควันดำที่ทดสอบที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร และที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที หรือความเร็วรอบต่ำค่าควันดำจะสูงที่สุดและลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับผลการทดสอบที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร และเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอลตั้งแต่ 5-42 % ให้ค่าควันดำ ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวและเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสม บิวทานอล 42 % จะมีค่าควันดำต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวโดยเฉลี่ย 57.4 % สาเหตุที่ค่าควันดำลดลงสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับผลการทดสอบที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร ดังคำอธิบายได้ภาพประกอบ 41



ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงค่าควันดำที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 43 เมื่อเปรียบเทียบค่าควันดำที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร พบว่า ค่าควันดำส่วนมากมีค่าสูงกว่าค่าควันดำที่ทดสอบที่แรงบิด 50 และ 90 นิวตัน-เมตร และที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที หรือความเร็วรอบต่ำค่าควันดำจะสูงที่สุดและลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับผลการทดสอบที่แรงบิด 50 และ 90 นิวตัน-เมตร และเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอลตั้งแต่ 5-42 % ให้ค่าควันดำ ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวและเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 42 % จะมีค่าควันดำต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวโดยเฉลี่ย 60 % สาเหตุที่ค่าควันดำลดลงสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับผลการทดสอบที่แรงบิด 50 และ 90 นิวตัน-เมตร ดังภาพประกอบ 41 และ 42

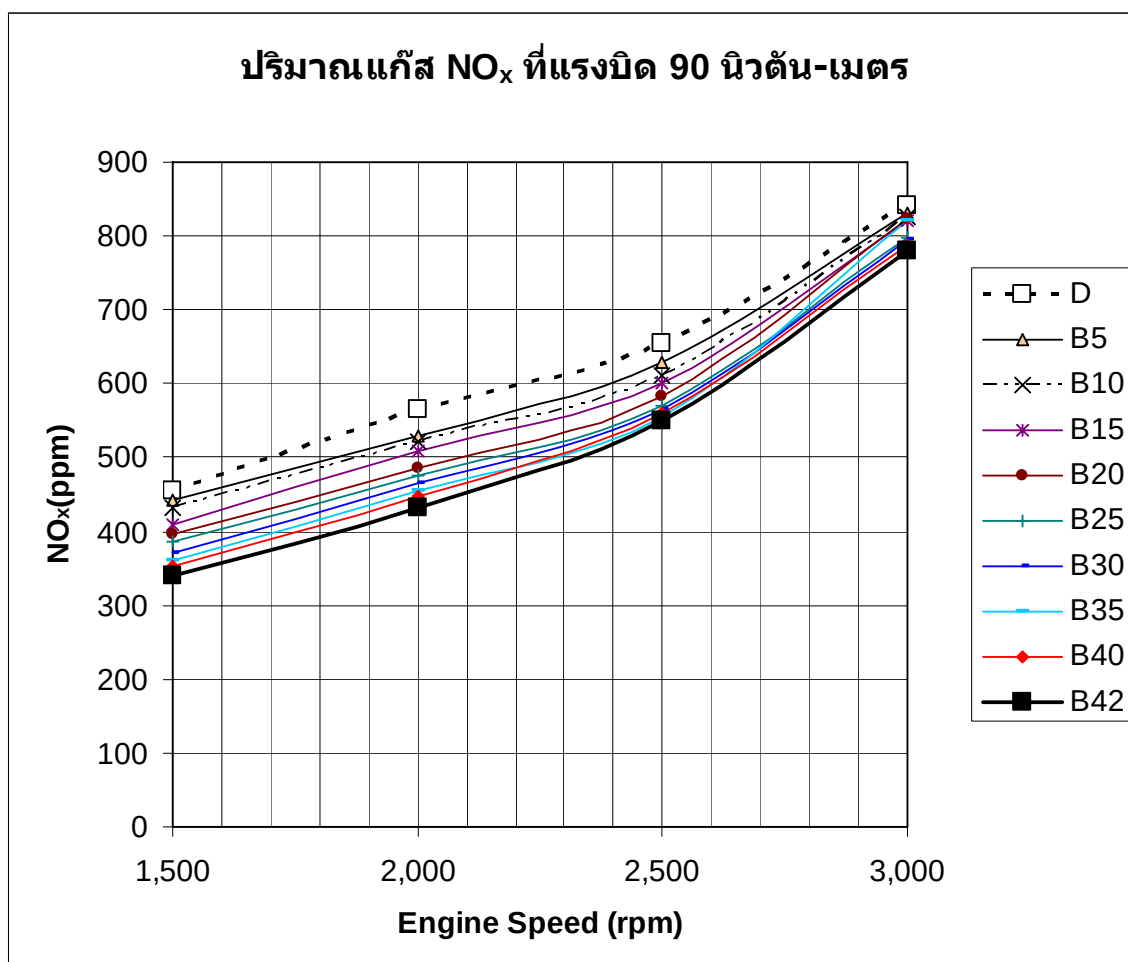


ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส NO_x ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 44 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส NO_x จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร พบว่าเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส NO_x มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส NO_x ที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว

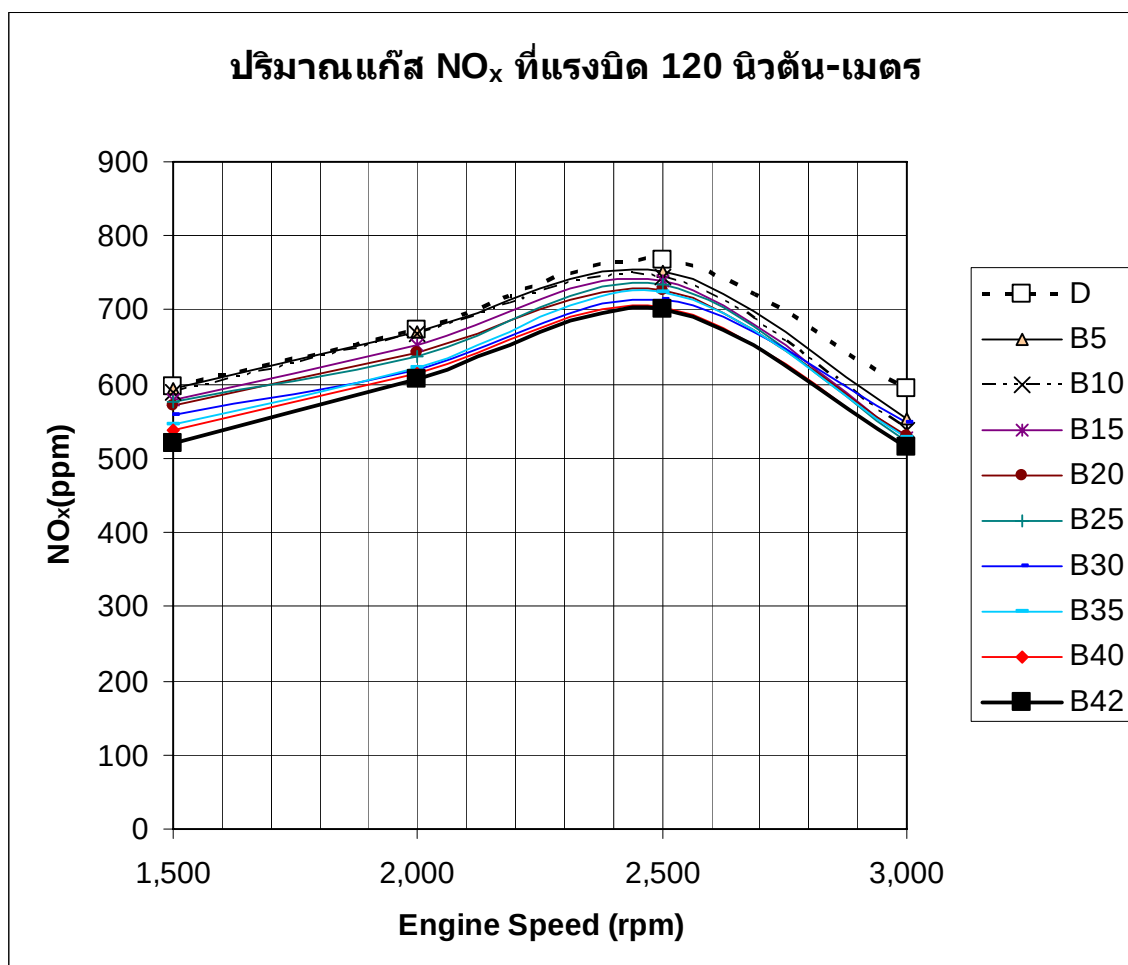
เป็นการยากที่จะวิเคราะห์ว่าแก๊ส NO_x ที่เกิดขึ้นมากหรือน้อยมาจากที่ไหนในระบบท่อสูบเนื่องจากอัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงและอุณหภูมินั้นเปลี่ยนแปลงตามกันอย่างซับซ้อนมาก ระหว่างช่องของการเกิดการสันดาปในระบบท่อสูบที่มีออกซิเจนมาก จะเป็นการสันดาปที่ดี การเผาไหม้จะสมบูรณ์และรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิสูงมาก และที่อุณหภูมิสูงนี้เองจะทำให้เกิดแก๊ส NO_x ในช่องนี้มาก

เมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 4 ในบทที่ 2 พบว่าจากทฤษฎีการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณแก๊ส NO_x จะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในครั้งนี้



ภาพประกอบ 45 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส NO_x ที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร

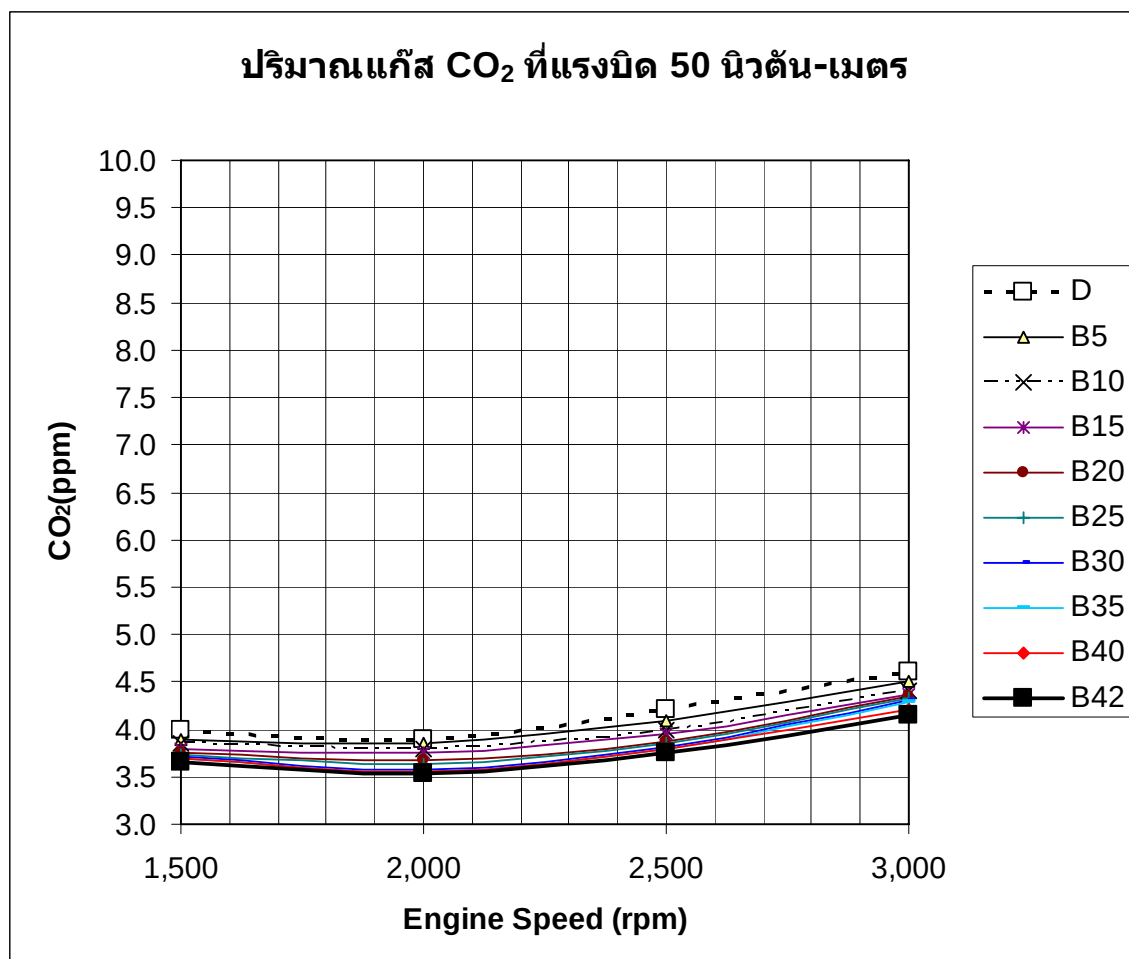
จากภาพประกอบ 45 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส NO_x จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร พบว่าเมื่อทดสอบเครื่องยนต์ด้วยแรงบิดเพิ่มขึ้นเป็น 90 นิวตัน-เมตร ปริมาณแก๊ส NO_x ที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าการทดสอบที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร ที่ทุกความเร็วรอบ และเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส NO_x มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส NO_x ที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแก๊ส NO_x สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับคำอธิบายภาพประกอบ 44



ภาพประกอบ 46 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส NO_x ที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 46 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส NO_x จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร พบว่าเมื่อทดสอบเครื่องยนต์ด้วยแรงบิดเพิ่มขึ้นเป็น 120 นิวตัน-เมตรปริมาณแก๊ส NO_x ที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าการทดสอบที่แรงบิด 50 และ 90 นิวตัน-เมตรที่ความเร็วรอบ 1500 – 2500 รอบต่อนาที แต่เมื่อปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 3000 รอบต่อนาทีพบว่าปริมาณแก๊ส NO_x มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ความเร็วรอบดังกล่าวมีช่องของการเกิดการสันดาปในกระบอกสูบที่มีออกซิเจนน้อยกว่าช่วงความเร็วรอบอื่นๆ ดังแสดงในภาพประกอบ 50 – 52 และเป็นการสันดาปที่ไม่ดีเท่ากับช่วงความเร็วรอบอื่นๆ ด้วย เป็นผลให้เกิดการเผาไหม้ช้ากว่าและไม่สมบูรณ์เท่ากับที่ช่วงความเร็วรอบ 1500 – 2500 ทำให้อุณหภูมิต่ำกว่า จึงเป็นผลให้เกิดปริมาณแก๊ส NO_x ในช่วงความเร็วรอบดังกล่าวมีแนวโน้มต่ำลง

เมื่อทดสอบด้วยเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส NO_x ที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแก๊ส NO_x สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับคำอธิบายภาพประกอบ 44

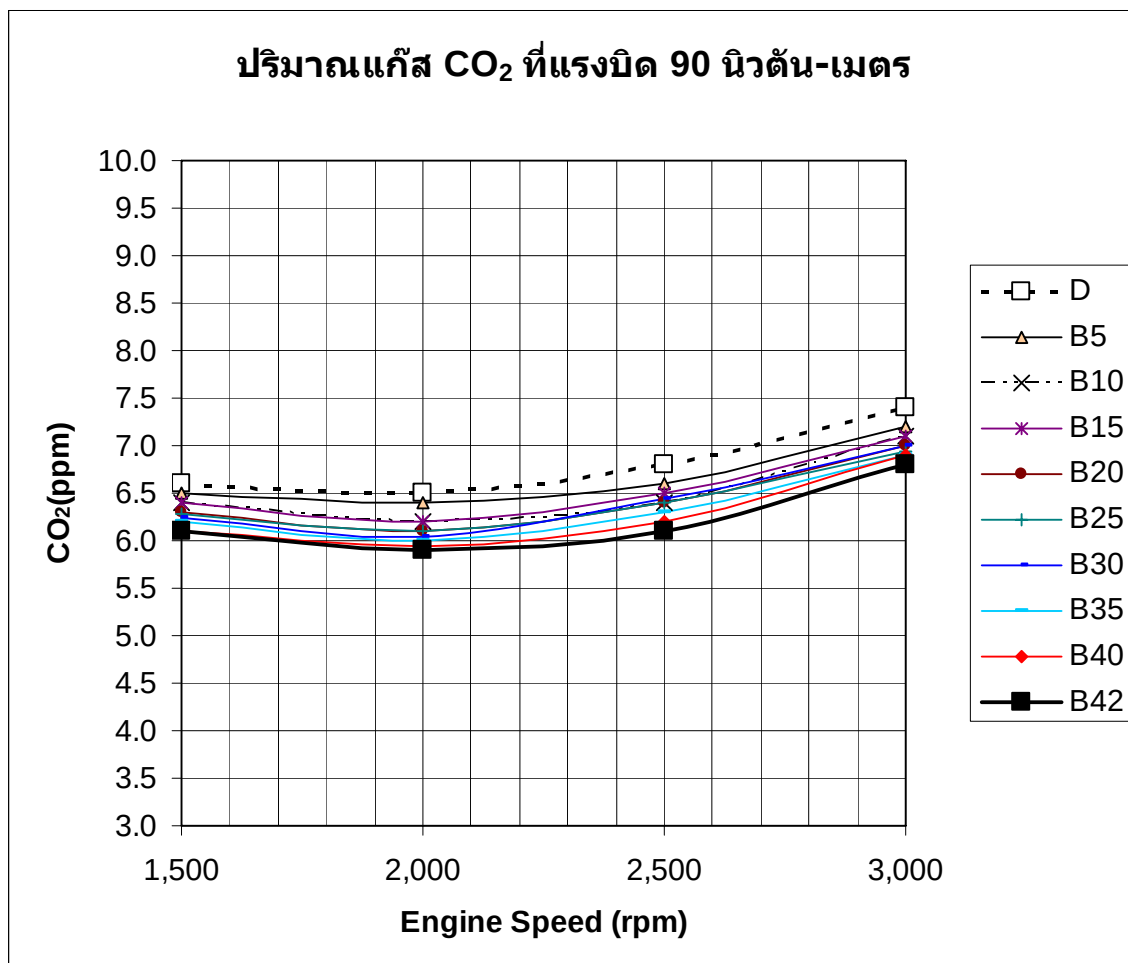


ภาพประกอบ 47 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส CO_2 ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 47 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส CO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร พบว่าเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส CO_2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงมากขึ้น และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส CO_2 ที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเมื่อเพิ่มส่วนผสมบิวทานอลเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนและออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบของบิวทานอลอยู่แล้วขณะที่การเผาไหม้ที่ห้องเผาไหม้เครื่องยนต์มีอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงต่ำลงดังภาพประกอบ 23 – 25 แสดงว่าเมื่อเพิ่ม

อัตราส่วนผสมบิวทานอลจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์มากขึ้นเป็นผลให้ปริมาณแก๊ส CO_2 ต่ำลง แต่จะออกมาในรูปของแก๊ส CO มากขึ้นดังแสดงในภาพประกอบ 35 - 37

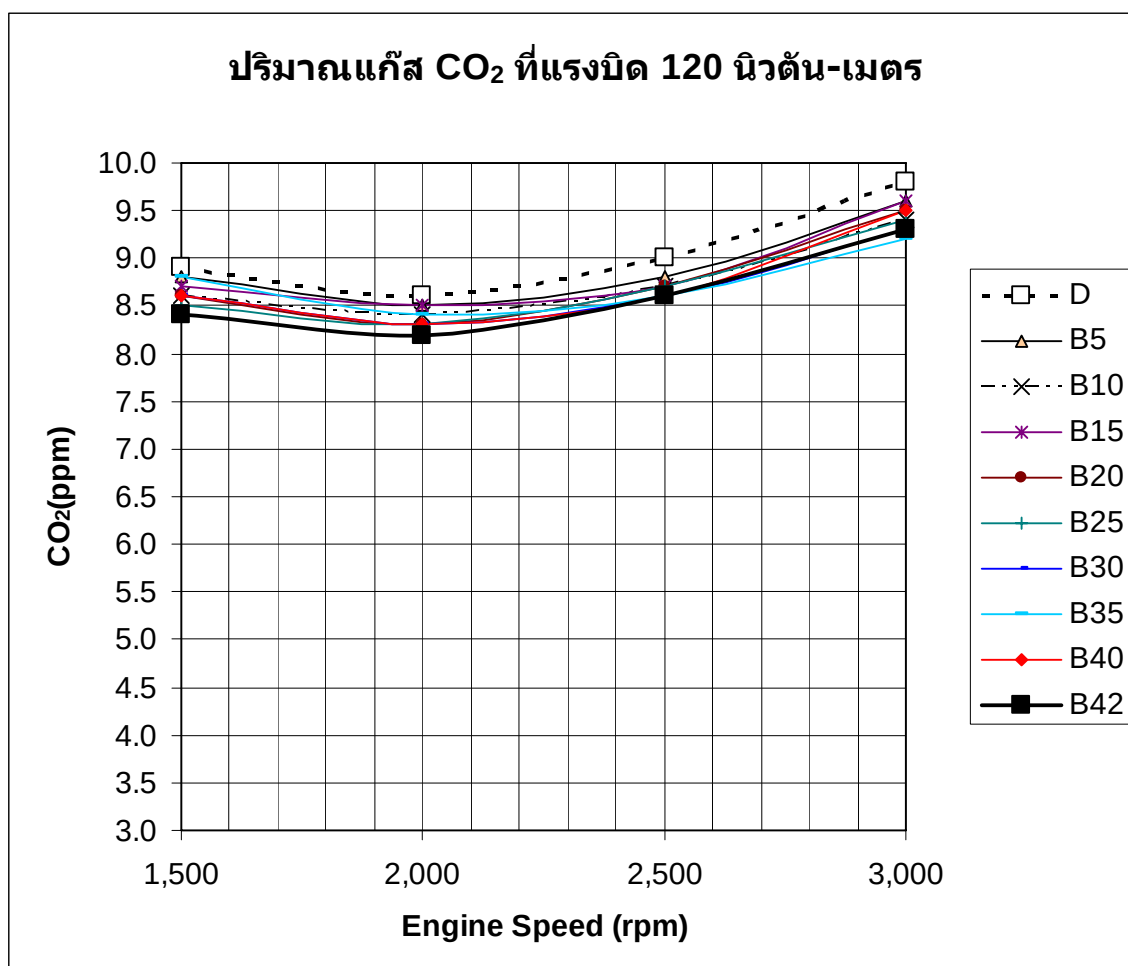
จากการคำนวณตามทฤษฎีการเผาไหม้ดังแสดงในภาพประกอบ 18-19 ในบทที่ 3 พบว่าเมื่อทดสอบเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงจะลดลง และปริมาณแก๊ส CO_2 จะลดลงเช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 48 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส CO_2 ที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร

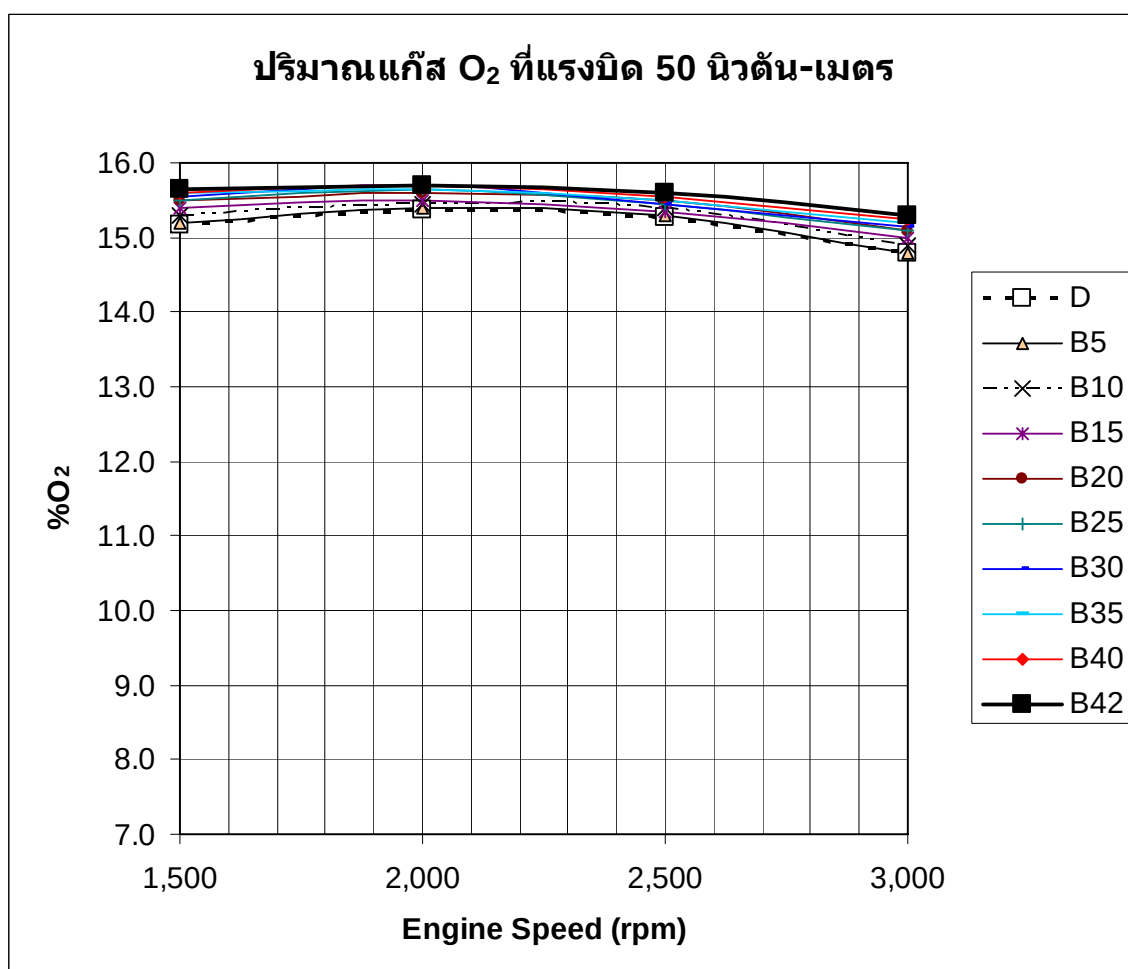
จากภาพประกอบ 48 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส CO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร พบว่าปริมาณแก๊ส CO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้มีปริมาณสูงกว่าการทดสอบที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร เนื่องจากที่แรงบิดมากกว่ามีการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในปริมาณที่มากกว่า เมื่อการเผาไหม้เพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส CO_2 ก็เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ และเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส

CO₂ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส CO₂ ที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถอธิบายสาเหตุได้ดังคำอธิบายได้ภาพประกอบ 47



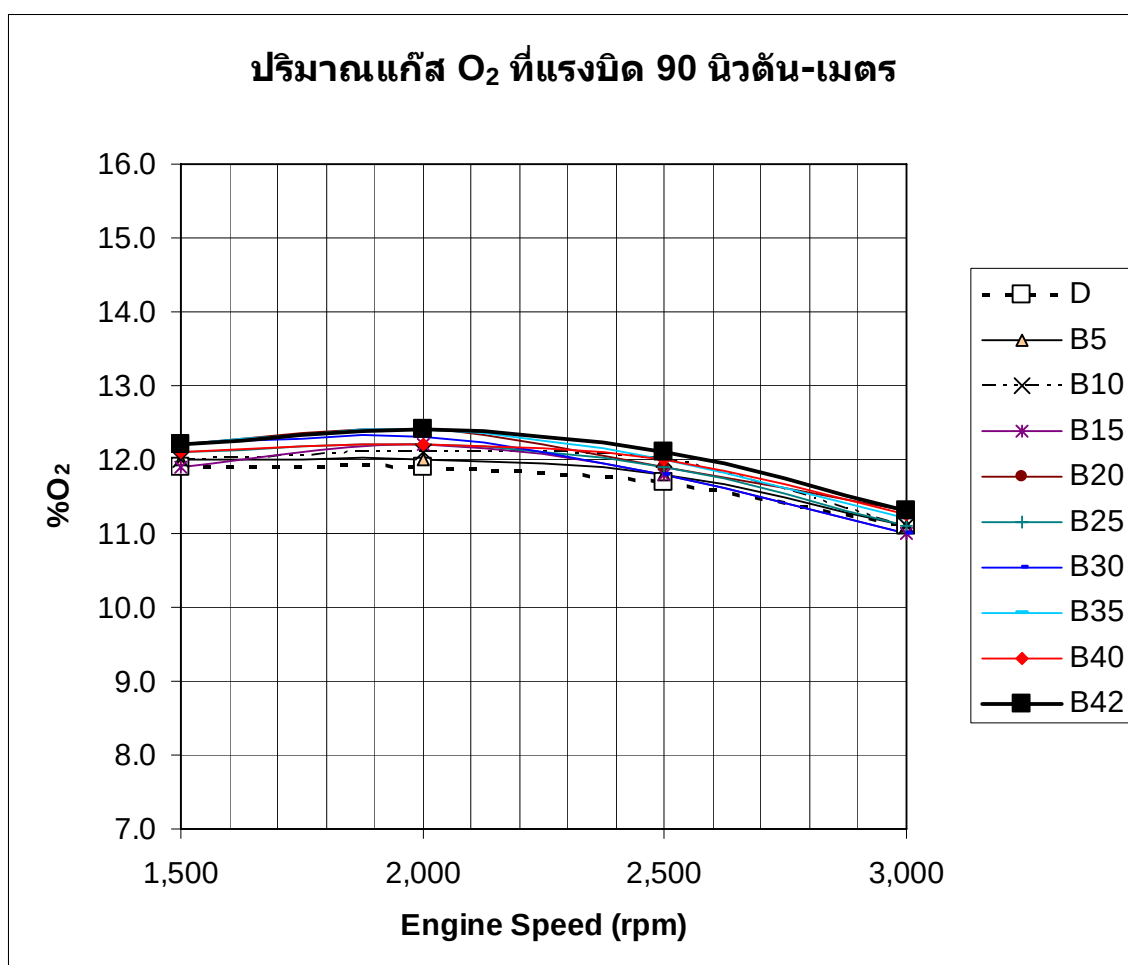
ภาพประกอบ 49 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส CO₂ ที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 49 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส CO₂ ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตรพบว่าปริมาณแก๊ส CO₂ ที่เกิดจากการเผาไหม้มีปริมาณสูงกว่าการทดสอบที่แรงบิด 50 และ 90 นิวตัน-เมตร เนื่องจากที่แรงบิดมากกว่ามีการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในปริมาณที่มากกว่า เมื่อการเผาไหม้เพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส CO₂ ก็เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ และเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส CO₂ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส CO₂ ที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถอธิบายสาเหตุได้ดังคำอธิบายภาพประกอบ 47 เช่นเดียวกัน



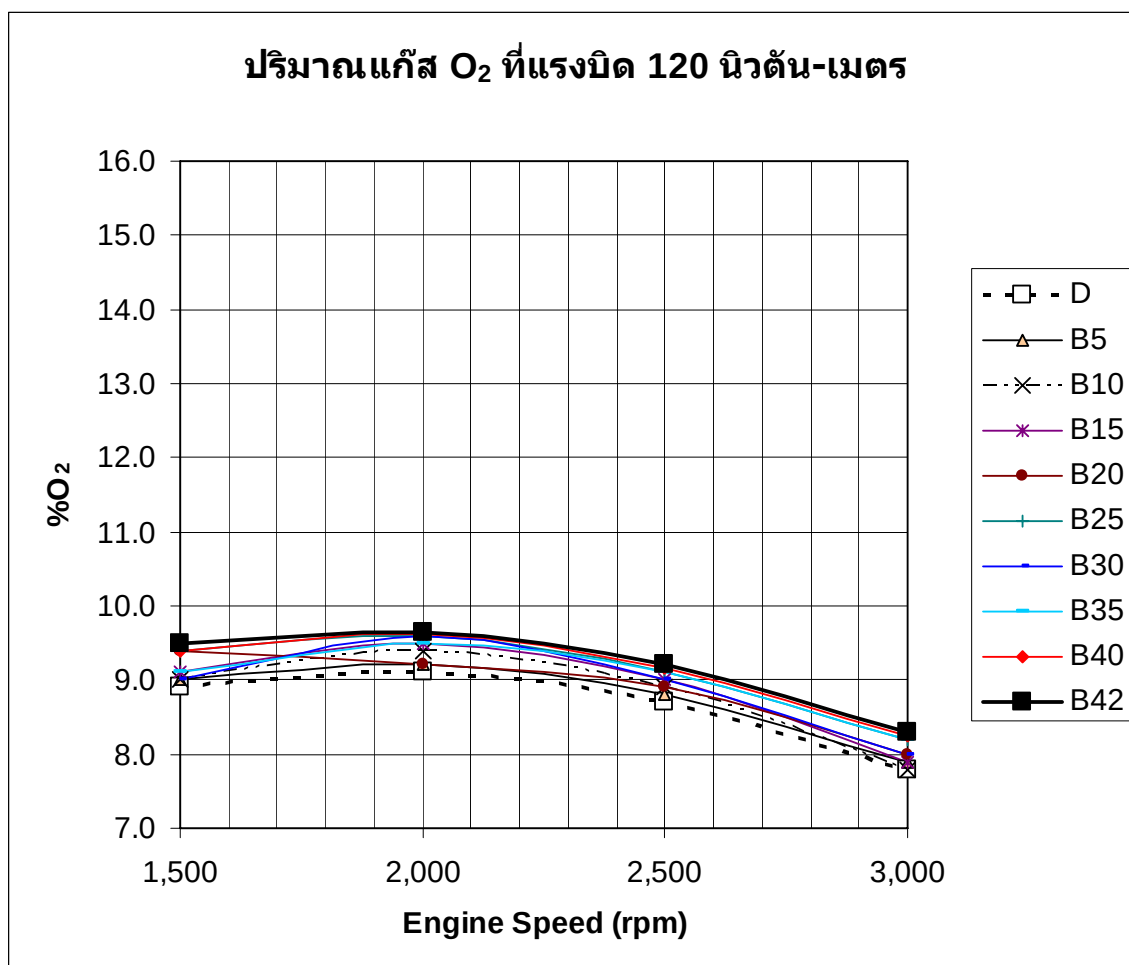
ภาพประกอบ 50 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส O₂ ที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 50 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส O₂ ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร พบว่าเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส O₂ มีแนวโน้มลดลง และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส O₂ ที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ปริมาณแก๊ส O₂ ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงมีปริมาณส่วนผสมบิวทานอลมากขึ้นอาจเนื่องมาจากในแอลกอฮอล์ชนิดบิวทานอลมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบดังแสดงในสูตรทางเคมีของบิวทานอลในภาคผนวก ก ดังนั้นเมื่อเพิ่มส่วนผสมบิวทานอลในเชื้อเพลิงมากขึ้นจึงเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าไปในขบวนการเผาไหม้ ดังนั้นออกซิเจนบางส่วนที่เป็นส่วนประกอบของบิวทานอลจึงเข้าไปชดเชยออกซิเจนจากอากาศที่ใช้ในปฏิกิริยาการเผาไหม้ จึงทำให้มีปริมาณแก๊ส O₂ จากแก๊สไอเสียมากกว่าการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว



ภาพประกอบ 51 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส O₂ ที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 51 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส O₂ ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 90 นิวตัน-เมตร พบว่าเมื่อแรงบิดเพิ่มขึ้นเป็น 90 นิวตัน-เมตรปริมาณแก๊ส O₂ ที่วัดได้จากแก๊สไอเสียมีค่าต่ำกว่าการทดสอบที่แรงบิด 50 นิวตัน-เมตร และเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส O₂ มีแนวโน้มลดลง และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส O₂ ที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ปริมาณแก๊ส O₂ ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงมีปริมาณส่วนผสมบิวทานอลมากขึ้นสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับภาพประกอบ 50



ภาพประกอบ 52 กราฟแสดงปริมาณแก๊ส O₂ ที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตร

จากภาพประกอบ 52 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊ส O₂ ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลและเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวที่แรงบิด 120 นิวตัน-เมตรพบว่าเมื่อแรงบิดเพิ่มขึ้นเป็น 120 นิวตัน-เมตร ปริมาณแก๊ส O₂ ที่วัดได้จากแก๊สไอเสียมีค่าต่ำกว่าการทดสอบที่แรงบิด 50 และ 90 นิวตัน-เมตร ตามลำดับ และเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณแก๊ส O₂ มีแนวโน้มลดลง และเมื่อเชื้อเพลิงที่มีอัตราส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณแก๊ส O₂ ที่เกิดขึ้นจะสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ปริมาณแก๊ส O₂ ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงมีปริมาณส่วนผสมบิวทานอลมากขึ้นสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับการอธิบายภาพประกอบ

4.3 ผลการวัดการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบ

ก่อนเริ่มทำการทดสอบด้วยเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ได้ทำการวัดขนาดของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบได้ทำการวัดการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ดังกล่าวอีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องยนต์หลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบด้วยเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล ผลการวัดขนาดของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ทั้งก่อนและหลังการทดสอบสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตาราง 6 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบก่อนและหลังการทดสอบ

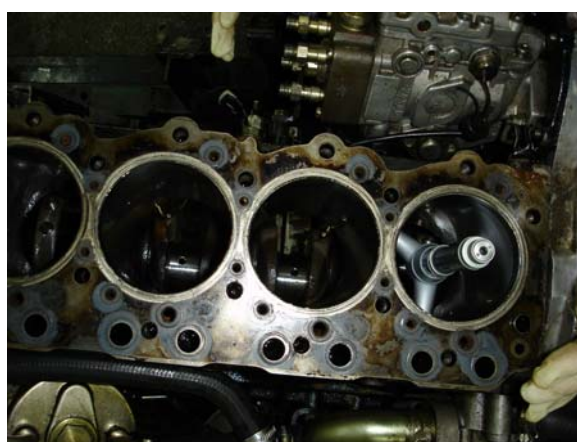
เส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบก่อนและหลังการทดสอบ (mm.)						
ช่วงเวลา	ตำแหน่งวัด	ลูกสูบหมายเลข				ค่าเฉลี่ย
		4	3	2	1	
ก่อนการทดสอบ	point 1 (mm)	93.041	93.044	93.036	93.041	93.0405
	point 2 (mm)	93.034	93.042	93.035	93.037	93.037
	point 3 (mm)	93.045	93.048	93.043	93.05	93.0465
	Average (mm)	93.040	93.045	93.038	93.043	93.04133
หลังการทดสอบ	point 1 (mm)	93.050	93.055	93.035	93.050	93.0475
	point 2 (mm)	93.040	93.050	93.040	93.035	93.04125
	point 3 (mm)	93.040	93.055	93.050	93.050	93.04875
	Average (mm)	93.043	93.053	93.042	93.045	93.04583
เปอร์เซ็นต์การสึกหรอเฉลี่ย	% Average	0.0036	0.0093	0.0039	0.0025	0.004837



ภาพประกอบ 53 แสดงการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบจุดที่ 1



ภาพประกอบ 54 แสดงการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบจุดที่ 2



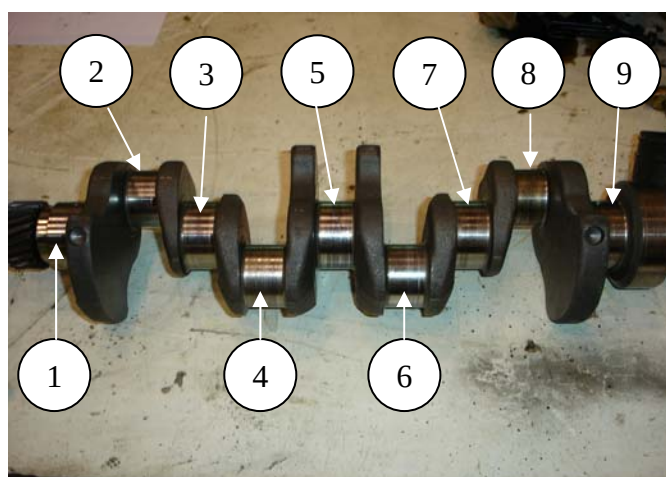
ภาพประกอบ 55 แสดงการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบจุดที่ 3

ตาราง 7 ความดันในห้องเผาไหม้ก่อนและหลังการทดสอบด้วยเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล

แรงดันในห้องเผาไหม้ (bar)				
ห้องเผาไหม้หมายเลข	1	2	3	4
เริ่มทดสอบ	15	16	15	16
เวลาผ่านไป 100 ชั่วโมง	15	16	15	16
เวลาผ่านไป 200 ชั่วโมง	16	16	16	16
เวลาผ่านไป 300 ชั่วโมง	15	16	16	16

ตาราง 8 น้ำหนักแวนลูกสูบก่อนและหลังการทดสอบด้วยเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล

น้ำหนักแวนลูกสูบก่อนและหลังการทดสอบ (g)						
ลูกสูบที่	1	2	3	4	เฉลี่ย	date
ก่อนการทดสอบ	46.0557	46.1298	45.8472	46.1158	46.0371	25/5/2005
หลังการทดสอบ	46.0556	46.1296	45.8471	46.1157	46.0370	22/12/2005
เปอร์เซ็นต์การสึกหรอเฉลี่ย	0.00022	0.00043	0.00022	0.00022	0.00027	



ภาพประกอบ 56 แสดงตำแหน่งการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของเพลาลูกสูบ

ตาราง 9 ขนาดของเพลาคือเหียงก่อนและหลังการทดสอบด้วยเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล

จุดที่วัด	ขนาดของเพลาคือเหียง (mm.)								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ก่อนการทดสอบ	59.58	52.17	59.89	52.17	59.89	52.17	59.89	52.17	59.89
หลังการทดสอบ	59.58	52.17	59.89	52.17	59.89	52.17	59.89	52.17	59.89

จากตาราง 6 ถึงตาราง 9 เมื่อวัดขนาดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ทั้งก่อนและหลังการทดสอบพบว่าค่าแตกต่างที่เกิดขึ้นไม่ถือว่าเป็นนัยสำคัญที่จะพิจารณาถึงการสึกหรอของเครื่องยนต์ เพราะฉะนั้นจึงสรุปจากผลการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์จากการวัดขนาดของชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ด้วยเครื่องมือวัดละเอียดในครั้งนี้ได้ว่า การสึกหรอในเครื่องยนต์ไม่มีความแตกต่าง

การตรวจสอบความสะอาดในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์หลังการทดสอบ เมื่อสิ้นสุดการทดสอบเครื่องยนต์ได้ทำการถอดชิ้นส่วนเครื่องยนต์เพื่อตรวจสอบความสะอาดในห้องเผาไหม้พบว่า ที่ลูกสูบมีเขม่าสีดำจับที่ปลายลูกสูบหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร มีลักษณะแข็งและเปราะ ซึ่งลักษณะดังกล่าวน่าจะเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของอากาศและเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ซึ่งมีเขม่าจับตัวกันเป็นก้อนแข็งดังในภาพประกอบ 57



ภาพประกอบ 57 แสดงปริมาณเขม่าที่จับที่ปลายลูกสูบหลังการทดสอบ

จากการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอลในอัตราส่วนต่างๆ แล้ว จึงได้เลือกเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 42% โดยปริมาตร เพื่อทดสอบการเดินเครื่องยนต์ตัวเปล่าโดยไม่มีแรงบิด โดยการทดสอบเดินเครื่องยนต์ตัวเปล่านี้อาจใช้เวลา 300 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องทุกๆ 100 ชั่วโมงเพื่อนำตัวอย่างน้ำมันเครื่องดังกล่าวไปตรวจสอบหาปริมาณโลหะที่ผสมอยู่ในน้ำมันเครื่องที่แต่ละช่วงเวลา 100 ชั่วโมง ผลการทดสอบสามารถแสดงได้ดังตาราง 10

ตาราง 10 แสดงปริมาณโลหะในน้ำมันเครื่องกับช่วงเวลาดำเนินการทดสอบเดินเครื่องยนต์ตัวเปล่า

ตารางผลการตรวจสอบการสึกหรอจากการตรวจน้ำมันหล่อลื่น (ppm.wt.)						
	Si	Pb	Fe	Cr	Cu	Al
100	9.23	1.56	9.31	1.82	0.97	3.11
200	8.85	2.01	11.57	2.01	0.84	3.69
300	9.28	2.19	15.15	2.54	0.96	4.47

จากตาราง 10 เมื่อทำการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 42% โดยปริมาตร โดยการเดินเครื่องยนต์ตัวเปล่าไม่มีแรงบิดเป็นเวลา 300 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องทุกๆ 100 ชั่วโมง เพื่อหาค่าสึกหรอของเครื่องยนต์ โดยการนำตัวอย่างน้ำมันเครื่องที่เก็บได้ทั้ง 3 ตัวอย่างส่งไปทดสอบที่ห้องทดลองของบริษัทการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยจำกัด (มหาชน) พบว่า

1. ปริมาณเหล็ก (Fe) ซึ่งเป็นโลหะหนักของชิ้นส่วนต่างๆ เช่น กระบอกสูบ เพลาข้อเหวี่ยง เพลาลูกเบี้ยว สลักลูกสูบ รวมทั้งแหวนลูกสูบ จากผลการวิเคราะห์ดังตารางในภาคผนวก ค พบว่าช่วงแรกของการทดสอบคือ 100 ชั่วโมงแรกในเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมบิวทานอลยังต่ำ แต่เมื่อหลังจากชั่วโมงที่ 100 เป็นต้นไปปริมาณ Fe ในเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมบิวทานอลจะเพิ่มขึ้นและเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากหลังจากชั่วโมงที่ 200 ไปแล้ว ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการที่เชื้อเพลิงผสมบิวทานอลสามารถแทรกซึมชั้นฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นที่ผนังกระบอกสูบได้ ทำให้เกิดการรวมตัวกันดึงให้น้ำมันหล่อลื่นหลุดออกไปด้วย จึงทำให้เกิดการสึกหรอที่กระบอกสูบสูง

2. ปริมาณ อะลูมิเนียม (Al) ซึ่งเป็นโลหะหนักของลูกสูบ ผลจากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณของอะลูมิเนียมที่เกิดจากการสึกหรอเพิ่มมากขึ้นเมื่อชั่วโมงการทดสอบเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะเกิดมาจากคุณสมบัติของบิวทานอลที่สามารถแทรกซึมเข้าไปในชั้นฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นแล้วดึงให้น้ำมันหล่อลื่นหลุดออกไปเผาไหม้ด้วยกัน ทำให้เศษของอะลูมิเนียมที่เกิดจากการสึกหรอหลุดออกไปด้วยการเผาไหม้ จึงไม่ลงกลับมาที่อ่างน้ำมันเครื่องอีก

3. ปริมาณทองแดง (Cu) เป็นโลหะหลักในบูช (bush) และแบร็ง (bearing) ต่างๆ ผลจากการวิเคราะห์พบว่าในช่วง 100 200 และ 300 ชั่วโมง ปริมาณไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไม่มีการสึกหรอกับชิ้นส่วนดังกล่าว

4. ปริมาณโครเมียม (Cr) เป็นโลหะที่ประกอบอยู่ตามชิ้นส่วนต่างๆ เช่น สลักลูกสูบ แหวนลูกสูบ และเพลาช้อเหวียง ซึ่งโดยปกติโครเมียมจะเป็นโลหะที่เป็นตัวเคลือบชิ้นส่วนต่างๆ ที่กล่าวมา ดังนั้นถ้าเกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนดังกล่าว โครเมียมก็จะเป็นโลหะตัวแรกที่มีการสึกหรอมากที่สุด ผลจากการวิเคราะห์พบว่าตลอดทั้งการทดสอบ การสึกหรอเพิ่มขึ้น เมื่อวัดขนาดของเพลาช้อเหวียงทั้งก่อนและหลังไม่พบความแตกต่าง แต่เมื่อชั่งน้ำหนักของแหวนลูกสูบทั้งก่อนและหลังการทดสอบพบว่าการสึกหรอเกิดขึ้น ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากการที่คุณสมบัติของบิวทานอลที่สามารถแทรกซึมเข้าไปในชั้นฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นแล้วดึงให้น้ำมันหล่อลื่นหลุดออกไปเผาไหม้ด้วยกัน ทำให้เศษของอะลูมิเนียมที่เกิดจากการสึกหรอหลุดออกไปด้วยการเผาไหม้ จึงไม่ลงกลับมาที่อ่างน้ำมันเครื่องอีก

5. ปริมาณตะกั่ว (Pb) เป็นโลหะหนักใน crank pin metal ซึ่งมีการหล่อลิ้นแบบ hydrodynamic lubrication จากผลการวิเคราะห์พบว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นของเครื่องยนต์เป็นลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการทดสอบเพิ่มขึ้น

6. ปริมาณซิลิคอน (Si) เป็นโลหะที่ประกอบอยู่ในชิ้นส่วนหลายชิ้นด้วยกัน โดยเฉพาะลูกสูบที่มีอะลูมิเนียมเป็นโลหะหนัก ผลจากการวิเคราะห์พบว่าการสึกหรอที่เกิดขึ้นมีค่าสูงและต่ำสลับกันไปซึ่งแตกต่างไม่มากนัก เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่าไม่มีการสึกหรอของซิลิคอนในชิ้นส่วนเครื่องยนต์

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนผสม บิวทานอลที่เหมาะสมสูงสุดที่เครื่องยนต์ดีเซลสามารถเดินเครื่องได้ตามปกติ โดยการผสมแอลกอฮอล์ชนิด บิวทานอลกับน้ำมันดีเซลโดยตรงในอัตราส่วนตั้งแต่ 0 – 50% โดยปริมาตร แล้วพิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ การเผาไหม้และการสึกหรอของเครื่องยนต์ กับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล ที่ความเร็วรอบ 1500, 2000, 2500 และ 3000 รอบต่อนาทีตามลำดับ โดยแต่ละความเร็วรอบจะทำการปรับค่าแรงบิดที่ 50 , 90 และ 120 นิวตันเมตรตามลำดับ จากการทดสอบที่ได้พอสรุปสาระสำคัญตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

5.1.1 อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิง

จากการทดสอบการใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมกับบิวทานอลตั้งแต่ 5 – 50% โดยปริมาตร กับเครื่องยนต์พบว่า ที่อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงระหว่างน้ำมันดีเซลกับบิวทานอล 42% โดยปริมาตร คือ อัตราส่วนผสมสูงสุดที่เครื่องยนต์สามารถเดินเครื่องได้ตามปกติโดยไม่เกิดการน็อคและไม่มีอาการผิดปกติใดๆ แต่มีข้อเสียคือแก๊สไอเสียมีกลิ่นแรง

5.1.2 สมรรถนะของเครื่องยนต์

จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวพบว่า

1. เครื่องยนต์ที่ทดสอบด้วยเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42% โดยปริมาตร จะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไม่แตกต่างจากเครื่องยนต์ที่ทดสอบด้วยน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากค่าความร้อนเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางภาคผนวก ก

2. อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง ของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42% โดยปริมาตร มีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวโดยเฉลี่ย 3.52% เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณบิวทานอลซึ่งมีส่วนประกอบของออกซิเจนอยู่แล้ว ทำให้ความต้องการปริมาณอากาศในการเผาไหม้น้อยลงจึงเป็นผลให้อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลงตามลำดับ แต่จะส่งผลให้ปริมาณแก๊ส CO สูงขึ้น และจากการคำนวณทางทฤษฎีพบว่าเมื่อเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการคำนวณทางทฤษฎีได้แสดงไว้ในภาพประกอบ 16 ในบทที่ 3

3. เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรค พบว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมกับบิวทานอล 42% โดยปริมาตรจะมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวประมาณ 10.86 % เนื่องจากเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42% โดยปริมาตร สามารถที่จะเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นงานได้มากกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ดีกว่า

4. เครื่องยนต์ที่ทดสอบด้วยเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมกับบิวทานอล 42% โดยปริมาตร ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค สูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวเฉลี่ย 12.92% ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลหลายประการเช่นคุณสมบัติของบิวทานอลที่มีค่าความร้อนเชื้อเพลิง, Boiling point และ Flash point ที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลดังแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งทำให้การสูญเสียความร้อนจากการนำและการแผ่รังสีของเครื่องยนต์ออกสู่สิ่งแวดล้อมน้อยกว่าทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น คุณสมบัติในการเผาไหม้ของบิวทานอลที่สามารถเผาไหม้ได้รวดเร็วทำให้การสูญเสียความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมข้างได้น้อยกว่า จึงส่งผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีขึ้นด้วย

5.1.3 ปริมาณแก๊สไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

จากการวัดปริมาณแก๊สไอเสียเครื่องยนต์ที่ทดสอบด้วยเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลเปรียบเทียบกับทดสอบด้วยเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวพบว่า

1. ปริมาณแก๊ส CO ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42% โดยปริมาตร สูงกว่าปริมาณแก๊ส CO ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากคาร์บอนและไฮโดรเจนในองค์ประกอบของบิวทานอลไม่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อย่างสมบูรณ์ระหว่างการเผาไหม้ อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิการจุดระเบิดของบิวทานอลต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และคุณสมบัติในการเผาไหม้ของบิวทานอลที่สามารถเผาไหม้ได้เร็วกว่าจึงทำให้คาร์บอนหลงเหลือออกมาในรูปของแก๊ส CO มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงที่ลดลงเมื่อเชื้อเพลิงมีส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้น จากการคำนวณตามทฤษฎีการเผาไหม้ดังแสดงในภาพประกอบ 18-19 ในบทที่ 3 พบว่าเมื่ออัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณแก๊ส CO จะสูงขึ้น และสอดคล้องกับภาพประกอบ 3 และ 4 ในบทที่ 2 ด้วยเช่นเดียวกัน

2. ปริมาณแก๊ส HC ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42% โดยปริมาตร สูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ปริมาณแก๊ส HC ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงมีปริมาณส่วนผสมบิวทานอลมากขึ้นอาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุเช่นส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงที่หนาจะสะสมผนังเสื้อสูบที่อุณหภูมิต่ำซึ่งเป็นเหตุให้เกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและไม่เกิดการเผาไหม้เลย หรืออาจเกิดจากส่วนผสมเบาเกินไปเปลวไฟจะดับ ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอนมาก หรืออาจเกิดจากน้ำมันเหลือหลังการฉีดของหัวฉีด และส่วนที่เหลือเป็นหยดนี้ไม่สามารถเผาไหม้ต่อไปได้ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอน หรือเชื้อเพลิงหล่อลื่นในเสื้อสูบและกระบอกสูบเผาไหม้จนเกิดการไหม้ จะทำให้เกิดแก๊สไฮโดรคาร์บอน

เมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 4 ในบทที่ 2 พบว่าจากทฤษฎีการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณแก๊ส HC จะสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในครั้งนี้

3. ปริมาณควันดำที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42% โดยปริมาตร มีค่าต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวโดยเฉลี่ย 53.4%

เมื่อพิจารณาจากปริมาณแก๊ส CO ที่เพิ่มขึ้น สามารถอธิบายได้ว่าปริมาณควันดำที่ลดลงเนื่องจากเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแก๊ส CO ซึ่งจะมีสีขาวขุ่นสามารถสังเกตเห็นได้ระหว่างการทดสอบ

จากผลการวิจัยของ อรุณ ไชยพันธ์⁽¹²⁾ ที่ทำการทดสอบเชื้อเพลิงดีเซลผสมแอลกอฮอล์ชนิดเมทานอลซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับบิวทานอลพบว่า เมื่อส่วนผสมเมทานอลเพิ่มขึ้นปริมาณควันดำลดลงเช่นกัน

4. ปริมาณแก๊ส NO_x ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42% โดยปริมาตร ต่ำกว่าปริมาณแก๊ส NO_x ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เป็นการยากที่จะวิเคราะห์ว่าแก๊ส NO_x ที่เกิดขึ้นมากหรือน้อยมาจากที่ไหนในกระบอกสูบ เนื่องจากอัตราส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงและอุณหภูมินั้นเปลี่ยนแปลงตามกันอย่างซับซ้อนมาก ระหว่างช่องของการเกิดการสันดาปในกระบอกสูบที่มีออกซิเจนมาก จะเป็นการสันดาปที่ดี การเผาไหม้จะสมบูรณ์และรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิสูงมาก และที่อุณหภูมิสูงนี้เองจะทำให้เกิดแก๊ส NO_x ในช่องนี้มาก

เมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 4 ในบทที่ 2 พบว่าจากทฤษฎีการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงลดลง ปริมาณแก๊ส NO_x จะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในครั้งนี้

5. ปริมาณแก๊ส CO_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42% โดยปริมาตร มีแนวโน้มต่ำกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเมื่อเพิ่มส่วนผสมบิวทานอลเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนและออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบของบิวทานอลอยู่แล้วขณะที่การเผาไหม้ที่ห้องเผาไหม้เครื่องยนต์มีอัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงต่ำลงดังภาพประกอบ 23 – 25 แสดงว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมบิวทานอลจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์มากขึ้นเป็นผลให้ปริมาณแก๊ส CO_2 ต่ำลง แต่จะออกมาในรูปของแก๊ส CO มากขึ้นดังอธิบายในข้อ 1

จากการคำนวณตามทฤษฎีการเผาไหม้ดังแสดงในภาพประกอบ 18-19 ในบทที่ 3 พบว่าเมื่อทดสอบเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้น อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงจะลดลง และปริมาณแก๊ส CO_2 จะลดลงเช่นเดียวกัน

6. ปริมาณแก๊ส O_2 ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอล 42% โดยปริมาตร มีแนวโน้มสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ปริมาณแก๊ส O_2 ที่เพิ่มขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงมีปริมาณส่วนผสมบิวทานอลมากขึ้นอาจเนื่องมาจากในแอลกอฮอล์ชนิดบิวทานอลมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบดังแสดงในสูตรทางเคมีของบิวทานอลในภาคผนวก ก ดังนั้นเมื่อเพิ่ม

ส่วนผสมบิวทานอลในเชื้อเพลิงมากขึ้นจึงเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนเข้าไปในขบวนการเผาไหม้ ดังนั้นออกซิเจนบางส่วนที่เป็นส่วนประกอบของบิวทานอลจึงเข้าไปชดเชยออกซิเจนจากอากาศที่ใช้ในปฏิกิริยาการเผาไหม้ จึงทำให้มีปริมาณแก๊ส O_2 จากแก๊สไอเสียมากกว่าการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว

5.1.4 การสึกหรอของเครื่องยนต์

จากการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวพบว่าโดยภาพรวมแล้วการสึกหรอในเครื่องยนต์ทั้งสองไม่แตกต่างกันทั้งจากการวัดขนาดด้วยเครื่องมือวัดละเอียด ซึ่งค่าที่ได้ออกมาแตกต่างกันน้อยมาก และไม่แสดงค่าการสึกหรอที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนจากผลการวิเคราะห์น้ำมันเครื่อง

เพราะฉะนั้นสรุปโดยรวมได้ว่าจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้พบว่าเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้ซึ่งอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไม่แตกต่างจากน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว แต่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนดีกว่า และเกิดการสึกหรอกับเครื่องยนต์น้อยมากไม่แตกต่างกับเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว แต่สิ่งที่จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมที่พบเจอจากการศึกษาในครั้งนี้ คือคราบเขม่าที่เกาะอยู่บริเวณหัวลูกสูบและหน้าวาล์วไอดีในเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นสิ่งที่จะต้องทำการศึกษากันต่อไปว่าเกิดจากอะไรและมีวิธีการที่จะลดได้อย่างไร เพราะไม่เช่นนั้นแล้วจะเป็นปัญหาต่อการทำงานของเครื่องยนต์อย่างมาก นอกจากนี้ยังมีกลิ่นของบิวทานอลที่ออกมาทางท่อไอเสียแรงมาก ควรหาทางลดกลิ่นดังกล่าวด้วย มิเช่นนั้นอาจมีอันตรายต่อสุขภาพและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำการทดสอบจากสภาวะการทำงานจริง ๆ ของเครื่องยนต์เพื่อให้เห็นผลการสึกหรอที่แท้จริงเมื่อนำไปใช้งาน

5.2.2 เมื่อพิจารณาค่าซีเทนของเชื้อเพลิงชนิดน้ำมันดีเซลผสมบิวทานอลพบว่าเมื่อส่วนผสมบิวทานอลเพิ่มขึ้นค่าซีเทนของเชื้อเพลิงจะต่ำลงดังนั้นควรทำการทดลองโดยการเติมสารที่ช่วยเพิ่มค่าซีเทนของเชื้อเพลิงแล้วทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลอีกครั้ง

5.2.3 เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลชนิดไดเร็กอินเจกชันเท่านั้น ดังนั้นควรทำการวิจัยเพื่อทดสอบกับเครื่องยนต์ชนิดอื่นด้วย

5.2.4 ในการวิจัยครั้งนี้พบว่าแอลกอฮอล์ชนิดบิวทานอลมีกลิ่นแรง และเมื่ออยู่ใกล้ควันจากท่อไอเสียจะรู้สึกระคายเคืองตา ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปควรทำการศึกษาลักษณะจากปัญหาดังกล่าวด้วย

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2547). *มลพิษในอากาศ*. สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2549 , จาก <http://www.cpd.go.th>.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2546). *เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ เพื่อลดมลพิษและประหยัดพลังงาน*. กรุงเทพฯ.: สำนักพิมพ์กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษและสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2546). *การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศ*. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โกวิท ศตวุฒิ. (2527). *การวิจัยเพื่อนำแอลกอฮอล์หนักมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน*. โครงการวิจัย เลขที่ 15G-IE-2525. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิรศักดิ์ จิระวาริ. (2530). *การใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.(วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- จรัญ คงวัตร; และคณะ. (2544). *ศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้เชื้อเพลิงดีไฮโซล*. โครงการอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต.(วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ชูศักดิ์ ทองพู; และนาวัน แสงเงินอ่อน. (2536). *การลดควันดำเครื่องยนต์ดีเซล*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.
- ถวัลย์ แสงนา. (2544). *แอลกอฮอล์น้ำมันเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต.(วิศวกรรมเครื่องกล). ขอนแก่น : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย ขอนแก่น.ถ่ายเอกสาร.
- บุรินทร์ วงษ์ศิริ. (2531). *การใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิงเสริมสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- ปกรณกิจ ตั้งสมบุรณ์; และคณะ. (2543). *เครื่องยนต์เชื้อเพลิงเอทานอล*. ปริญญาบัณฑิตศึกษา กองเครื่องกล โรงเรียนนายเรืออากาศ. ถ่ายเอกสาร.
- ปราโมทย์ อ่อนประไพ. (2538). *เทคโนโลยีเครื่องยนต์ดีเซล*. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.

- ปัญญา วรเพชรยุทธ. (2541). *น้ำมันดีเซลกัมมะถันต่ำกั่วสำคัญในการลดปัญหามลพิษทาง อากาศ.*
วารสาร คพ. ปีที่ 3 (ฉบับที่ 1). กรุงเทพฯ.
- มนตรี ทวาโรจน์. (2538). *การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แอลกอฮอล์ผสมน้ำมันดีเซล และน้ำมัน
มะพร้าวผสมน้ำมันก๊าด เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล.* วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย 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. โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์
สิ่งแวดล้อม.* กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนสุนันทา.
- สมศักดิ์ ลินประเสริฐ. (2524). *สมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้เมทานอลและน้ำมันดีเซลเป็น
เชื้อเพลิง.* วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ :
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- เสมอขวัญ ตันติกุล. (2544). *เครื่องยนต์สันดาปภายใน.* กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีวศึกษา.
- อรุณ ไชยพันธุ์. (2548). *การเพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้แอลกอฮอล์เป็นส่วนผสม.*
วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- A Kowalewicz. (1993). *Methanol as a fuel for spark ignition engines: a review and analysis.*
Poland: Radom Technical University.
- John B. Heywood. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamental.* Singapore :McGraw-
Hill Book Company.
- Kenneth Wark ; Cecil F. Warner ; & Wayne T. David. (1998). *Air Pollution, its origin and
control.* 3rd ed.: Addison – Wesley.
- Noel de nervers. (2000). *Air Pollution Control Engineering.* New York: McGraw-Hill, Inc.p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางผลการทดสอบและตัวอย่างการคำนวณ

ตารางข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์

Date of testing : 4/6/05 , 5/6/05 , 10/6/05

Time 23:20 - 04:00

Engine type : ISUZU 4JA1 , 2500 CC.

Fuel type : Diesel

Gross Heating Value: 45,968 J/g

Density = 0.8369 kg/liter

Butanol	Engine speed	Torque (N.m)	Power (kW)	Fuel consumption (kg/sec)	Cooling water flow rate (L/min.)	Temperature					Smoke	Class				A/F	bsfc (kg/kW.hr)	bscc (kJ/kW.hr)	FP (kW)	η_{brn} (%)
						Air inlet flow rate (kg/sec)	Ambient temp. (°C)	Water inlet temp. (°C)	Water outlet temp. (°C)	Exhaust temp. (°C)		HC (ppm)	O2 (%)	NOx (ppm)	CO (%)					
0	1500	50	7.90	0.00357	64	0.03628	33	54	56	173	11	39	15.17	178	0.05	4.00	1.626	74,726.83	163.98	4.82
		90	14.00	0.00378	64	0.0364	33	53	61	250	8	55	11.90	454	0.04	6.60	0.972	44,681.32	173.76	8.06
		120	18.70	0.00420	65	0.0371	33	68	70	295	12	59	8.90	596	0.04	8.90	0.808	37,141.97	192.93	9.69
0	2000	50	10.60	0.00427	65	0.04829	33	72	74	208	8	32	15.38	234	0.04	3.90	1.450	66,660.68	196.28	5.40
		90	19.00	0.00471	65	0.04942	33	72	74	258	9	34	11.90	564	0.03	6.50	0.892	40,996.46	216.37	8.78
		120	25.60	0.00505	65	0.04841	33	72	74	320	9	52	9.10	674	0.03	8.60	0.711	32,668.66	232.31	11.02
0	2500	50	13.20	0.00494	67	0.06096	33	70	72	240	9	28	15.26	340	0.04	4.30	1.347	61,936.17	227.10	5.81
		90	23.00	0.00539	67	0.05978	33	72	74	351	9	34	11.70	632	0.03	6.80	0.843	38,748.32	247.56	9.29
		120	31.30	0.00600	67	0.06076	33	61	64	450	8	42	8.70	767	0.04	9.00	0.691	31,741.29	275.97	11.34
0	3000	50	16.00	0.00569	71	0.07196	31	55	57	250	8	26	14.80	454	0.04	4.60	1.281	58,883.60	261.70	6.11
		90	28.70	0.00639	71	0.07379	31	60	62	360	8	35	11.10	840	0.03	7.40	0.801	36,836.51	293.67	9.77
		120	37.40	0.00670	70	0.06909	31	65	68	470	8	35	7.80	594	0.06	9.80	0.644	29,624.43	307.76	12.15

Date of testing ; 11/6/05

Time 20:00 - 22:25

Engine type ; ISUZU 4JA1 , 2500 CC.

Fuel type ; Diesel 95% + n-Buthanol 5%

Gross Heating Value : 45,409 J/g

Density = 0.8356 kg/liter

Buthanol	Engine speed	Torque (N.m)	Power (kW)	Fuel consumption kg./sec	Cooling water flow rate (L/min.)	Air inlet flow rate kg./sec	Temperature				Exhaust		Smoke (%)	Gass				A/F	bsfc kg/kW.hr	bsec kJ/kW.hr	FP (kW)	η_{BHH} %
							Ambient temp. °C	Water inlet temp. °C	Water outlet temp. °C	temp. °C	temp. °C	HC (ppm)		O2 (%)	NOx (ppm)	CO (%)	CO2 (%)					
5	1500	50	7.90	0.00376	65	0.038204	30	57	59	171	9	37	15.20	172	0.06	3.90	10.15	1.715	77,886.61	170.92	4.62	
		90	14.20	0.00392	65	0.037582	30	59	61	210	9	49	12.00	407	0.04	6.50	9.58	0.995	45,162.18	178.14	7.97	
		120	18.90	0.00422	65	0.03718	30	63	65	300	14	56	9.00	594	0.04	8.80	8.81	0.804	36,501.93	191.64	9.86	
5	2000	50	10.40	0.00444	66	0.05018	30	67	69	180	9	30	15.40	200	0.04	3.80	11.29	1.539	69,863.72	201.83	5.15	
		90	19.00	0.00469	66	0.049056	30	69	71	280	8	33	12.00	559	0.03	6.40	10.45	0.889	40,389.57	213.17	8.91	
		120	25.30	0.00510	66	0.048607	30	75	77	320	10	48	9.20	671	0.03	8.50	9.54	0.725	32,921.42	231.36	10.94	
5	2500	50	13.20	0.00494	68	0.060569	31	48	50	230	10	26	15.30	264	0.04	4.10	12.25	1.348	61,232.53	224.52	5.88	
		90	23.60	0.00557	68	0.061277	31	50	52	330	10	34	11.80	585	0.03	6.60	11.00	0.850	38,586.87	252.96	9.33	
		120	31.60	0.00597	68	0.060283	31	51	53	420	10	36	8.80	753	0.05	8.80	10.10	0.680	30,876.48	271.03	11.66	
5	3000	50	15.70	0.00580	71	0.073231	31	53	55	240	9	24	14.80	393	0.04	4.50	12.62	1.331	60,420.00	263.50	5.96	
		90	28.30	0.00624	71	0.07165	31	55	57	369	9	32	11.10	831	0.04	7.20	11.49	0.793	36,020.66	283.16	9.99	
		120	37.80	0.00685	71	0.07041	31	51	53	480	10	30	7.90	552	0.06	9.60	10.28	0.652	29,620.42	311.01	12.15	

Date of testing : 11/6/05

Time 23:00 - 00:30

Engine type : ISUZU 4JA1 , 2500 CC.

Fuel type : Diesel 90% + n-Butanol 10%

Gross Heating Value : 44,850 J/g

Density = 0.8343 kg/liter

Butanol	Engine speed	Torque	Power	Fuel consumption	Cooling water flow rate	Temperature					Smoke	Gass				A/F	bsfc	bsec	FP	η_{BTH}	
						Air inlet flow rate	Ambient temp.	Water inlet temp.	Water outlet temp.	Exhaust temp.		HC	O2	NOx	CO						CO2
10	1500	50	7.90	0.00368	65	0.0358	30	49	51	154	9	35	15.30	195	0.07	3.80	9.74	1.675	75,116.31	164.84	4.79
		90	14.20	0.00401	65	0.03734	30	50	52	215	9	45	12.00	347	0.05	6.40	9.31	1.017	45,607.42	179.90	7.89
		120	18.90	0.00428	65	0.03756	31	53	55	275	16	52	9.00	589	0.04	8.60	8.78	0.815	36,550.29	191.89	9.85
10	2000	50	10.40	0.00432	67	0.04816	31	55	57	183	9	28	15.45	207	0.04	3.70	11.14	1.496	67,111.44	193.88	5.36
		90	19.00	0.00474	67	0.04958	30	56	58	240	9	29	12.10	553	0.03	6.20	10.46	0.898	40,282.92	212.60	8.94
		120	25.20	0.00506	67	0.04814	30	58	60	325	12	44	9.40	668	0.03	8.40	9.52	0.722	32,396.84	226.78	11.11
10	2500	50	13.20	0.00491	68	0.05928	30	60	63	214	9	24	15.40	294	0.04	4.10	12.08	1.338	60,029.45	220.11	6.00
		90	23.60	0.00549	68	0.06038	31	61	63	295	10	32	12.00	547	0.04	6.40	11.00	0.837	37,551.87	246.17	9.59
		120	31.50	0.00583	68	0.05863	31	63	65	389	10	30	8.90	745	0.04	8.70	10.05	0.667	29,904.78	261.67	12.04
10	3000	50	15.70	0.00564	70	0.07007	31	63	65	233	9	22	14.90	356	0.04	4.40	12.43	1.293	57,973.01	252.83	6.21
		90	28.30	0.00618	70	0.07107	31	65	68	334	9	33	11.10	827	0.03	7.10	11.50	0.786	35,258.76	277.17	10.21
		120	37.70	0.00678	70	0.06966	31	69	72	442	9	27	7.80	538	0.06	9.40	10.27	0.648	29,049.64	304.21	12.39

Date of testing : 12/6/05

Time 18:30 - 20:00

Engine type : ISUZU 4JA1 , 2500 CC.

Fuel type : Diesel 85% + n-Butanol 15%

Gross Heating Value : 44,167.50 J/g

Density = 0.8330 kg/liter

Butanol	Engine speed	Torque (N.m)	Power (kW)	Fuel consumption (kg./sec)	Cooling water flow rate (L/min.)	Air inlet flow rate (kg./sec)	Temperature				Gass				Smoke	A/F	bsfc (kg/kW.hr)	bsec (kJ/kW.hr)	FP (kW)	η_{brh} %	
							Ambient temp. °C	Water inlet temp. °C	Water outlet temp. °C	Exhaust temp. °C	O2 (%)	NOx (ppm)	CO (%)	CO2 (%)							
(%)	(rpm)	(N.m)	(kW)	kg./sec	(L/min.)	kg./sec	°C	°C	°C	°C	(ppm)	(%)	(%)	(%)	(%)	kg/kg	kg/kW.hr	kJ/kW.hr	(kW)	%	
15	1500	50	7.90	0.00362	66	0.03528	33	39	41	174	14	33	15.40	165	0.08	4.10	9.74	1.650	72,894.61	159.96	4.94
		90	14.20	0.00389	66	0.03612	33	40	42	240	15	44	11.90	351	0.05	6.40	9.28	0.987	43,586.12	171.92	8.26
		120	18.90	0.00414	66	0.0363	33	41	44	310	19	50	9.10	578	0.04	8.70	8.76	0.789	34,865.22	183.04	10.33
15	2000	50	10.40	0.00425	67	0.04654	33	42	43	187	9	26	15.50	214	0.05	4.00	10.95	1.471	64,977.19	187.71	5.54
		90	19.10	0.00471	67	0.04833	33	42	44	256	12	27	12.20	549	0.04	6.20	10.27	0.887	39,178.13	207.86	9.19
		120	25.10	0.00499	67	0.04754	33	43	45	327	14	40	9.50	653	0.03	8.50	9.53	0.715	31,598.04	220.31	11.39
15	2500	50	13.20	0.00482	68	0.05898	32	43	45	212	10	22	15.35	265	0.05	4.30	12.25	1.313	58,000.31	212.67	6.21
		90	23.60	0.00537	68	0.05938	32	43	45	296	11	30	11.80	645	0.04	6.50	11.05	0.820	36,208.17	237.36	9.94
		120	31.30	0.00587	68	0.0586	33	44	46	370	13	26	9.00	739	0.04	8.70	9.99	0.670	29,610.89	259.10	12.16
15	3000	50	15.70	0.00541	71	0.06832	33	42	44	236	9	20	15.00	298	0.04	4.50	12.63	1.240	54,781.00	238.91	6.57
		90	28.30	0.00617	71	0.06979	33	43	45	334	11	26	11.00	822	0.04	7.10	11.31	0.785	34,668.11	272.53	10.38
		120	37.80	0.00672	71	0.06866	33	44	47	432	12	24	7.90	529	0.06	9.60	10.22	0.640	28,257.70	296.71	12.74

Date of testing ; 12/6/05

Time 20:30 - 01:00

Engine type ; ISUZU 4JA1 , 2500 CC.

Fuel type ; Diesel 80% + n-Buthanol 20%

Gross Heating Value : 43,485 J/g

Density = 0.8317 kg/liter

Buthanol	Engine speed	Torque	Power	Fuel consumption	Cooling water flow rate	Temperature						Smoke	Gass				A/F	bsfc	bsec	FP	η_{BTH}
						Air inlet flow rate	Ambient temp.	Water inlet temp.	Water outlet temp.	Exhaust			O2	NOx	CO	CO2					
										°C	°C										
(%)	(rpm)	(N.m)	(kW)	kg./sec	(L/min.)	kg./sec	°C	°C	°C	°C	(ppm)	(%)	(%)	(ppm)	(%)	(%)	kg./kg _f	kg/kW.hr	kJ/kW.hr	(kW)	%
20	1500	50	7.90	0.00370	66	0.035856	32	39	40	166	19	30	15.50	154	0.1	3.90	9.70	1.684	73,248.56	160.74	4.91
		90	14.30	0.00394	66	0.036461	32	42	43	235	16	38	12.20	346	0.06	6.30	9.25	0.992	43,150.93	171.41	8.34
		120	18.90	0.00420	66	0.036628	32	45	47	298	20	45	9.40	571	0.04	8.60	8.72	0.800	34,792.18	182.66	10.35
20	2000	50	10.50	0.00429	67	0.046215	32	49	50	183	10	25	15.60	193	0.06	3.90	10.78	1.470	63,917.19	186.43	5.63
		90	19.00	0.00467	67	0.047285	32	51	53	263	14	24	12.40	543	0.03	6.10	10.12	0.885	38,497.73	203.18	9.35
		120	25.10	0.00498	67	0.047312	32	55	57	335	16	38	9.20	642	0.03	8.30	9.50	0.714	31,061.22	216.57	11.59
20	2500	50	13.20	0.00486	68	0.058462	32	61	61	212	13	20	15.50	280	0.05	4.10	12.02	1.326	57,681.78	211.50	6.24
		90	23.60	0.00537	68	0.058434	32	63	65	296	12	25	11.90	541	0.03	6.40	10.89	0.819	35,593.03	233.33	10.11
		120	31.40	0.00566	68	0.056465	32	66	68	385	15	25	8.90	727	0.04	8.70	9.98	0.649	28,207.31	246.03	12.76
20	3000	50	15.70	0.00547	70	0.068506	31	69	72	270	11	17	14.70	331	0.05	4.30	12.52	1.255	54,558.88	237.94	6.60
		90	28.30	0.00621	70	0.069391	31	74	76	335	12	25	11.30	823	0.03	7.00	11.18	0.790	34,333.45	269.90	10.49
		120	37.80	0.00660	70	0.067394	31	51	54	441	14	22	8.00	530	0.06	9.50	10.21	0.629	27,336.72	287.04	13.17

Date of testing ; 18/6/05

Time 22:15 - 24:00

Engine type ; ISUZU 4JA1 . 2500 CC. (non turbo)

Fuel type ; Diesel 75% + n-Butanol 25%

Gross Heating Value : 43,108 J/g

Density = 0.8304 kg/liter

Butanol (%)	Engine speed (rpm)	Torque (N.m)	Power (kW)	Fuel consumption (kg./sec)	Cooling water flow rate (L/min.)	Temperature						Smoke (%)	Gases				A/F	bsfc (kg/kW.hr)	bsec (kJ/kW.hr)	FP (kW)	η_{brh} (%)
						Air inlet flow rate (kg./sec)	Ambient temp. (°C)	Water inlet temp. (°C)	Water outlet temp. (°C)	Exhaust temp. (°C)	HC (ppm)		O ₂ (%)	NOx (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)					
25	1500	50	7.90	0.00369	65	0.03587	30	39	40	184	30	26	15.50	119	0.14	3.90	9.72	1.682	72,500.02	159.10	4.97
		90	14.30	0.00397	65	0.03655	30	39	40	225	18	32	12.10	347	0.07	6.30	9.20	1.000	43,118.67	171.28	8.35
		120	18.90	0.00417	65	0.03626	30	44	46	295	19	42	9.40	575	0.05	8.50	8.69	0.795	34,263.59	179.88	10.51
25	2000	50	10.50	0.00428	67	0.04683	30	49	50	169	16	23	15.65	180	0.08	3.80	10.94	1.468	63,264.01	184.52	5.69
		90	19.10	0.00467	67	0.04688	30	49	51	265	16	23	12.20	535	0.04	6.10	10.05	0.879	37,904.81	201.11	9.50
		120	25.10	0.00497	67	0.04704	30	50	52	330	17	32	9.60	638	0.03	8.30	9.46	0.713	30,743.80	214.35	11.71
25	2500	50	13.20	0.00486	68	0.05808	30	51	53	215	19	17	15.45	229	0.07	4.10	11.96	1.324	57,092.32	209.34	6.31
		90	23.50	0.00529	68	0.05659	30	51	53	296	15	23	11.90	535	0.04	6.40	10.70	0.810	34,928.52	228.01	10.31
		120	31.40	0.00565	68	0.05615	30	52	54	380	16	22	9.10	735	0.04	8.70	9.94	0.648	27,919.06	243.52	12.89
25	3000	50	15.70	0.00546	71	0.06758	30	52	54	246	21	15	15.10	243	0.07	4.40	12.37	1.253	54,001.33	235.51	6.67
		90	28.30	0.00606	71	0.06655	30	52	54	340	15	25	11.10	798	0.04	7.00	10.98	0.771	33,238.45	261.29	10.83
		120	38.00	0.00659	71	0.06722	30	53	56	456	14	20	8.20	522	0.06	9.40	10.20	0.624	26,914.95	284.10	13.38

Date of testing : 18/6/05

Time 00:10 - 04:30

Engine type : ISUZU 4JA1 , 2500 CC.

Fuel type : Diesel 70% + n-Butanol 30%

Gross Heating Value: 42.731 J/g

Density = 0.8291 kg/liter

Butanol	Engine speed	Torque	Power	Fuel consumption	Cooling water flow rate	Temperature					Exhaust		Smoke	Gass				A/F	bsfc	bsec	FP	η_{BTH}
						Air inlet flow rate	Ambient temp.	Water inlet temp.	Water outlet temp.	temp.	HC	O2		NOx	CO	CO2						
30	1500	50	7.90	0.00367	65	0.03566	30	42	43	179	34	24	15.55	120	0.17	3.80	9.72	1.672	71.435.97	156.76	5.04	
		90	14.30	0.00399	65	0.03659	30	44	45	245	22	32	12.20	363	0.07	6.24	9.18	1.003	42.879.83	170.33	8.40	
		120	18.70	0.00401	65	0.03469	30	46	48	326	20	35	9.00	558	0.05	8.60	8.66	0.771	32.948.87	171.15	10.93	
30	2000	50	10.50	0.00430	67	0.0476	30	47	49	194	21	20	15.70	147	0.09	3.70	11.08	1.473	62.936.97	183.57	5.72	
		90	19.10	0.00458	67	0.04599	30	48	50	262	19	22	12.30	542	0.04	6.05	10.04	0.863	36.892.71	195.74	9.76	
		120	25.10	0.00494	67	0.04649	30	49	51	329	17	27	9.60	619	0.03	8.30	9.42	0.708	30.246.11	210.88	11.90	
30	2500	50	13.20	0.00482	68	0.05823	30	50	52	217	25	14	15.45	177	0.09	3.90	12.08	1.315	56.175.91	205.98	6.41	
		90	23.60	0.00528	68	0.05645	30	51	53	296	16	20	11.80	564	0.04	6.45	10.69	0.806	34.422.37	225.66	10.46	
		120	31.50	0.00584	68	0.05786	30	52	54	392	15	19	9.00	714	0.04	8.60	9.91	0.667	28.513.70	249.49	12.63	
30	3000	50	15.70	0.00542	71	0.06822	30	51	53	244	16	13	15.15	302	0.08	4.30	12.59	1.243	53.095.95	231.56	6.78	
		90	28.30	0.00605	71	0.06615	30	52	54	332	18	18	11.00	795	0.04	7.00	10.93	0.770	32.896.18	258.60	10.94	
		120	37.70	0.00663	71	0.06739	30	53	55	435	15	15	8.00	547	0.07	9.30	10.16	0.633	27.064.57	283.43	13.30	

Date of testing : 19/6/05

Time 20:45 - 22:10

Engine type : ISUZU 4JA1 , 2500 CC.

Fuel type : Diesel 65% + n-Butanol 35%

Gross Heating Value: 42,242.50 J/g

Density = 0.8278 kg/liter

Buthanol (%)	Engine speed (rpm)	Torque (N.m)	Power (kW)	Fuel consumption (kg/sec)	Cooling water flow rate (L/min.)	Temperature					Smoke		Gass				A/F	bsfc (kg/kW.hr)	bsec (kJ/kW.hr)	FP (kW)	η_{BrH} (%)
						Air inlet flow rate (kg/sec)	Ambient temp. (°C)	Water inlet temp. (°C)	Water outlet temp. (°C)	Exhaust temp. (°C)			O ₂ (%)	NOx (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)					
35	1500	50	7.90	0.00367	65	0.03567	30	45	47	176	45	20	15.6	102	0.25	3.80	9.72	1.672	70,633.60	155.00	5.10
		90	14.30	0.00384	65	0.03513	30	46	48	253	23	30	12.2	452	0.07	6.20	9.15	0.967	40,831.26	162.19	8.82
		120	19.00	0.00413	65	0.03561	30	47	50	330	22	34	9.1	545	0.06	8.80	8.62	0.783	33,061.78	174.49	10.89
35	2000	50	10.50	0.00422	67	0.04498	30	49	50	197	35	17	15.65	185	0.12	3.70	10.65	1.448	61,169.11	178.41	5.89
		90	19.10	0.00450	67	0.0449	30	50	52	281	21	18	12.4	559	0.05	6.00	9.98	0.848	35,820.06	190.05	10.05
		120	25.20	0.00498	67	0.04672	30	51	53	358	18	20	9.5	622	0.04	8.40	9.38	0.712	30,057.02	210.40	11.98
35	2500	50	13.20	0.00483	68	0.05742	30	52	54	222	39	10	15.5	223	0.13	4.10	11.89	1.317	55,640.73	204.02	6.47
		90	23.40	0.00540	68	0.05733	30	53	55	312	18	15	12	574	0.06	6.30	10.61	0.831	35,115.83	228.25	10.25
		120	31.50	0.00576	68	0.03567	30	54	57	398	16	13	9.1	725	0.04	8.60	0.00	0.659	27,829.96	243.51	12.94
35	3000	50	15.70	0.00540	71	0.06549	30	54	56	240	28	9	15.2	308	0.11	4.30	12.12	1.239	52,338.24	228.25	6.88
		90	28.30	0.00590	71	0.06427	30	55	58	350	20	14	11.2	821	0.05	6.90	10.90	0.750	31,682.83	249.06	11.36
		120	37.70	0.00652	71	0.06583	30	55	59	435	16	12	8.2	527	0.06	9.20	10.10	0.622	26,292.54	275.34	13.69

Date of testing : 25/6/05

Time : 20:00 - 01:00

Engine type : ISUZU 4JA1 . 2500 CC.

Fuel type : Diesel 60% + n-Butanol 40%

Gross Heating Value : 41,754 J/g

Density = 0.8265 kg/liter

Butanol	Engine speed	Torque	Power	Fuel consumption	Cooling water flow rate	Temperature						Smoke	Gass				A/F	bsfc	bsec	FP	η_{BTH}
						Air inlet flow rate	Ambient temp.	Water inlet temp.	Water outlet temp.	Exhaust temp.	HC		O2	NOx	CO	CO2					
(%)	(rpm)	(N.m)	(kW)	kg/sec	(L/min.)	kg./sec	°C	°C	°C	°C	(ppm)	(%)	(%)	(ppm)	(%)	(%)	kg./kg _r	kg/kW.hr	kJ/kW.hr	(kW)	%
40	1500	50	7.90	0.00364	66	0.03448	31	40	42	192	52	22	15.60	81	0.21	3.59	9.47	1.659	69,277.23	152.03	5.20
		90	14.30	0.00388	66	0.03535	31	42	44	250	27	26	12.10	400	0.08	6.10	9.11	0.977	40,787.57	162.02	8.83
		120	19.00	0.00417	66	0.03577	31	43	45	333	21	32	9.40	537	0.06	8.60	8.57	0.791	33,023.62	174.29	10.90
40	2000	50	10.50	0.00426	67	0.04601	31	44	45	197	45	15	15.70	148	0.14	3.52	10.80	1.461	60,989.13	177.88	5.90
		90	19.10	0.00462	67	0.04539	31	45	47	275	23	14	12.20	532	0.05	5.94	9.83	0.870	36,337.67	192.79	9.91
		120	25.10	0.00507	67	0.04731	31	45	47	342	19	19	9.62	614	0.04	8.30	9.33	0.727	30,365.62	211.72	11.86
40	2500	50	13.50	0.00492	68	0.05795	31	44	47	224	42	13	15.55	188	0.14	3.70	11.78	1.312	54,777.27	205.41	6.57
		90	23.60	0.00533	68	0.05631	31	45	47	304	21	10	12.00	549	0.05	6.20	10.56	0.813	33,962.51	222.64	10.60
		120	31.30	0.00586	68	0.0575	31	45	48	397	17	11	9.15	703	0.05	8.60	9.81	0.674	28,150.10	244.75	12.79
40	3000	50	15.70	0.00551	71	0.06667	31	47	48	251	34	8	15.25	261	0.12	3.98	12.10	1.263	52,753.65	230.06	6.82
		90	28.40	0.00608	71	0.06655	31	48	50	338	20	10	11.26	823	0.04	6.90	10.95	0.770	32,165.20	253.75	11.19
		120	37.70	0.00672	71	0.03448	31	48	52	448	18	8	8.25	514	0.08	9.50	0.00	0.642	26,791.50	280.57	13.44

Date of testing : 25/6/05

Time : 24:00 - 02:00

Engine type : ISUZU 4JA1 , 2500 CC.

Fuel type : Diesel 58% + n-Butanol 42%

Gross Heating Value : 41,335 J/g

Density = 0.8260 kg/liter

Butanol (%)	Engine speed (rpm)	Torque (N.m)	Power (kW)	Fuel consumption (kg/sec)	Cooling water flow rate (L/min.)	Temperature					Smoke (%)	Gass				A/F	bsfc (kg/kW.hr)	bsec (kJ/kW.hr)	FP (kW)	η_{eff} %
						Air inlet flow rate (kg/sec)	Ambient temp. (°C)	Water inlet temp. (°C)	Water outlet temp. (°C)	Exhaust temp. (°C)		O2 (%)	NOx (ppm)	CO (%)	CO2 (%)					
42	1500	50	7.90	0.00362	66	0.0342	31	36	38	184	55	15.65	48	0.246	3.90	9.45	1.651	68,239.93	149.75	5.28
		90	14.30	0.00382	66	0.0348	31	38	39	240	30	12.2	365	0.08	6.10	9.10	0.963	39,793.37	158.07	9.05
		120	19.10	0.00409	66	0.0350	31	39	41	315	22	9.5	520	0.066	8.40	8.56	0.771	31,857.80	169.02	11.30
42	2000	50	10.50	0.00415	67	0.0446	31	41	44	202	50	15.7	111	0.18	3.80	10.75	1.423	58,824.48	171.57	6.12
		90	19.10	0.00456	67	0.0446	31	42	44	270	25	12.4	527	0.06	5.90	9.78	0.860	35,554.01	188.63	10.13
		120	25.40	0.00507	67	0.0472	31	43	45	342	20	9.65	608	0.045	8.20	9.31	0.718	29,687.88	209.46	12.13
42	2500	50	13.20	0.00489	69	0.0567	31	44	46	225	49	15.6	148	0.16	4.00	11.60	1.333	55,098.51	202.03	6.53
		90	23.60	0.00540	69	0.0567	31	45	48	309	24	12.1	550	0.05	6.10	10.50	0.824	34,040.59	223.15	10.58
		120	31.50	0.00582	69	0.0570	31	46	49	390	19	9.2	700	0.05	8.60	9.80	0.665	27,479.04	240.44	13.10
42	3000	50	15.70	0.00547	71	0.0656	31	47	49	244	45	15.3	250	0.134	4.30	12.00	1.254	51,847.03	226.11	6.94
		90	28.60	0.00621	71	0.0678	31	47	50	339	21	11.32	790	0.05	6.80	10.92	0.782	32,313.41	256.71	11.14
		120	37.70	0.00661	71	0.0662	31	48	52	435	19	8.3	515	0.08	9.30	10.02	0.631	26,082.49	273.14	13.80

ตัวอย่างการคำนวณสมรรถนะเครื่องยนต์

ข้อมูลที่ใช้คือ จากตารางข้อมูลดิบการทดสอบด้วยน้ำมันดีเซล

ความเร็วรอบเครื่องยนต์	=	2000	rpm
แรงบิดเครื่องยนต์ (T)	=	90	N.m
กำลังงานเบรค (BP)	=	19	kW.
อัตราการไหลโดยมวลของเชื้อเพลิง ($\dot{m}_f$)	=	0.00471	kg/s
อัตราการไหลโดยมวลของอากาศ ($\dot{m}_a$)	=	0.04942	kg/s
ค่าที่อ่านได้จากมาโนมิเตอร์ (h)	=	26	mmH ₂ O
อุณหภูมิแก๊สไอเสียออก (T ₅)	=	531.15	K
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า (T ₁)	=	345.15	K
อุณหภูมิอากาศเข้าถังพัก (T _a)	=	306.15	K
ความดันบรรยากาศ (P _a)	=	101.325	Pa
ค่าความร้อนเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล (Q _{HV})	=	45,968	kJ/kg
ความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล (ρ _f)	=	836.9	kg / m ³

1. การคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง (Air-Fuel ratio)

$$\begin{aligned}
 \text{Air – Fuel ratio (A/F)} &= \dot{m}_a / \dot{m}_f \\
 &= \frac{0.04942(\text{kg/s})}{0.00471(\text{kg/s})} \\
 &= 10.49 \text{ kg}_{\text{air}}/\text{kg}_{\text{fuel}}
 \end{aligned}$$

2. การคำนวณหาอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (Brake Specific Fuel Consumption)

$$\begin{aligned}
 \text{bsfc} &= (\dot{m}_f \times 3600) / \text{BP} \\
 &= \frac{0.00471(\text{kg/s}) \times 3600}{19(\text{kW})} \\
 &= 0.892 \text{ kg/kW.hr}
 \end{aligned}$$

เมื่อ $\dot{m}_f$ = อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง , kg/s

BP = กำลังงานเบรค , kW

3. การคำนวณหาพลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะเบรค (Brake Specific Energy Consumption),
kJ/kW.hr

$$\begin{aligned} bsec &= Q_{HV} \times bsfc \\ &= 45,968 \text{ (kJ/kg)} \times 0.892 \text{ (kg/kW.hr)} \\ &= 41,003.456 \text{ kJ/kW.hr} \end{aligned}$$

4. การคำนวณหา กำลังงานเชื้อเพลิง (Fuel Power)

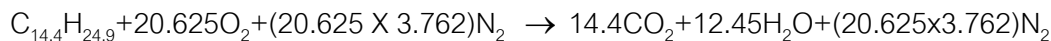
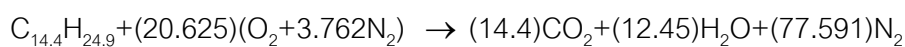
$$\begin{aligned} FP &= \dot{m}_f \times Q_{HV} \\ &= 0.00471 \text{ (kg/s)} \times 45,968 \text{ (kJ / kg)} \\ &= 216.37 \text{ kW.} \end{aligned}$$

5. การคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนเชื้อเพลิง (Brake Thermal Efficiency)

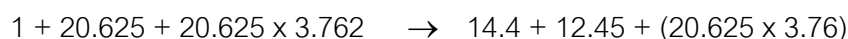
$$\begin{aligned} \eta_{BTH} &= \frac{BP \times 100}{FP} \\ &= \frac{19(\text{kW}) \times 100}{216.37(\text{kW})} \\ &= 8.78\% \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง

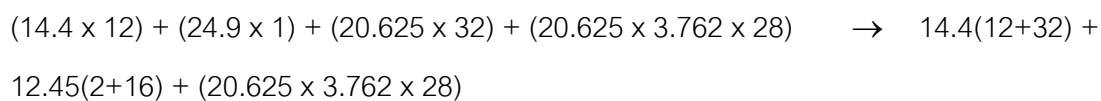
1. สมการการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ($C_{14.2}H_{24.9}$) และอากาศ 100%



โดยโมล



โดยน้ำหนัก



อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง

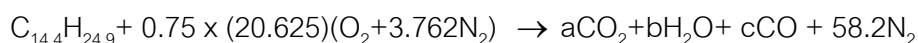
$$\begin{aligned} A/F \text{ ratio} &= \frac{(20.625 \times 32) + (20.625 \times 3.762 \times 28)}{(14.4 \times 12) + (24.9 \times 1)} \\ &= 14.327 \text{ kg}_a / \text{kg}_f \end{aligned}$$

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

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

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

2. สมการการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ($C_{14.2}H_{24.9}$) และอากาศ 75% ดังนั้นสมการการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะได้



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

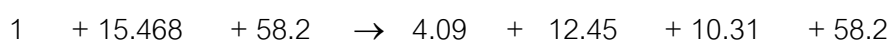
$$\text{A hydrogen balance ได้ } 2b = 24.9, b = 12.45 \text{ ----- (B)}$$

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

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



โดยโมล



โดยน้ำหนัก

$$(14.4 \times 12) + (24.9 \times 1) + (15.468 \times 32) + (58.2 \times 28) \rightarrow 4.09(12+32) + 12.45(2+16) + 10.31(12+16) + (58.2 \times 28)$$

อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง

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

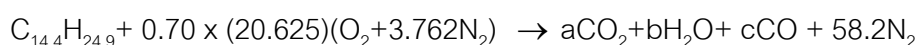
$$\text{ปริมาณ CO}_2 = 179.96 \text{ g.}$$

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

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

$$\text{ปริมาณ CO} = 288.68 \text{ g.}$$

3. สมการการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ($C_{14.2}H_{24.9}$) และอากาศ 70% ดังนั้นสมการการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะได้

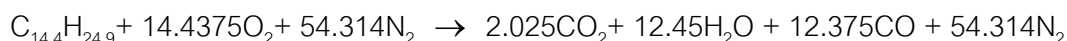


$$\text{A carbon balance ได้ } a + c = 14.4 \text{ ----- (D)}$$

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

$$\text{A oxygen balance ได้ } 2a + 12.45 + c = 28.875 \text{ ----- (F)}$$

จากสมการ (D) (E) (F) จะได้ $a = 2.025$, $b = 12.45$, $c = 12.375$ แทนในสมการการเผาไหม้จะได้



โดยโมล

$$1 + 14.4375 + 54.31 \rightarrow 2.025 + 12.45 + 12.375 + 54.31$$

โดยน้ำหนัก

$$(14.4 \times 12) + (24.9 \times 1) + (14.4375 \times 32) + (54.31 \times 28) \rightarrow 2.025(12+32) + 12.45(2+16) + 12.375(12+16) + (54.31 \times 28)$$

อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง

$$\begin{aligned} A/F \text{ ratio} &= \frac{(14.4375 \times 32) + (54.31 \times 28)}{(14.4 \times 12) + (24.9 \times 1)} \\ &= 10.03 \text{ kg}_a / \text{kg}_f \end{aligned}$$

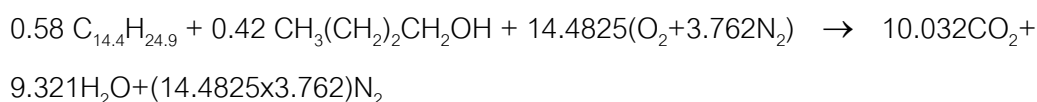
$$\text{ปริมาณ CO}_2 = 89.1 \quad \text{g.}$$

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

$$\text{ปริมาณ N}_2 = 1,520.68 \quad \text{g.}$$

$$\text{ปริมาณ CO} = 346.5 \quad \text{g.}$$

4. สมการการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ($\text{C}_{14.4}\text{H}_{24.9}$) 58% และ เอ็น-บิวทานอล ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{OH}$) 42% กับอากาศ 100%



โดยโมล

$$0.58 + 0.42 + (14.4825 \times 3.762) \rightarrow 10.032 + 9.321 + (14.4825 \times 3.762)$$

โดยน้ำหนัก

$$0.58[(14.4 \times 12) + (24.9 \times 1)] + 0.42[(1 \times 12) + (3 \times 1) + (2 \times 12) + (4 \times 1) + (1 \times 12) + (2 \times 1) + (1 \times 16) + (1 \times 1)] + (14.4825 \times 32) + (14.4825 \times 3.762 \times 28) \rightarrow 10.032(12 + 32) + 9.321(2 + 16) + (14.4825 \times 3.762 \times 28)$$

อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง (A/F ratio)

$$\text{A/F ratio} = [(14.4825 \times 32) + (14.4825 \times 3.762 \times 28)] / [(0.58 \times 197.7) + (0.42 \times 74)]$$

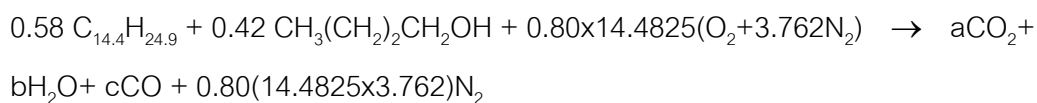
$$= 13.6468 \quad \text{kg}_a / \text{kg}_f$$

$$\text{ปริมาณ CO}_2 = 441.408 \quad \text{g.}$$

$$\text{ปริมาณ H}_2\text{O} = 167.78 \quad \text{g.}$$

$$\text{ปริมาณ N}_2 = 1,525.53 \quad \text{g.}$$

5. สมการการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ($\text{C}_{14.4}\text{H}_{24.9}$) 58% และ เอ็น-บิวทานอล ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{OH}$) 42% กับอากาศ 80 %

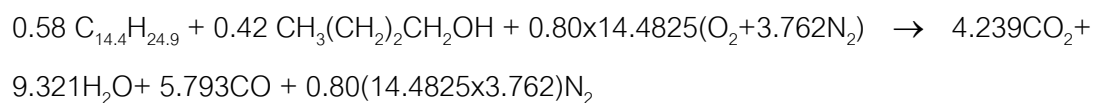


A carbon balance ได้ $a + c = 10.032$ ----- (G)

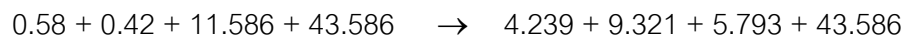
A hydrogen balance ได้ $2b = 18.642$, $b = 9.321$ -----(H)

A oxygen balance ได้ $2a + 9.321 + c = 23.592$ -----(I)

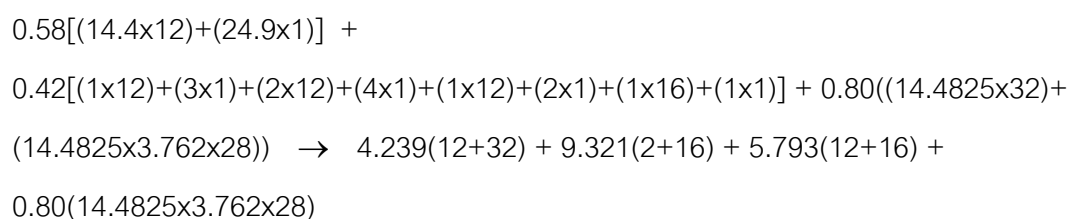
จากสมการ (G) (H) (I) จะได้ $a = 4.239$, $b = 9.321$, $c = 5.793$ แทนในสมการการเผาไหม้จะได้



โดยโมล



โดยน้ำหนัก



อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง (A/F ratio)

$$\begin{aligned} A/F \text{ ratio} &= 0.80((14.4825 \times 32) + (14.4825 \times 3.762 \times 28)) / \\ &[0.58[(14.4 \times 12) + (24.9 \times 1)] + 0.42[(1 \times 12) + (3 \times 1) + (2 \times 12) + (4 \times 1) + (1 \times 12) + (2 \times 1) + (1 \times 16) + (1 \times 1)]] \\ &= 10.92 \text{ kg}_a / \text{kg}_f \end{aligned}$$

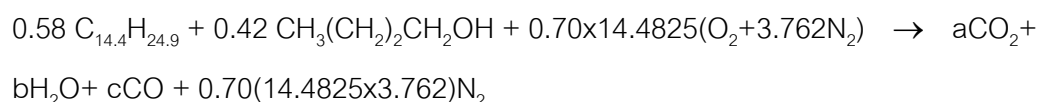
$$\text{ปริมาณ } CO_2 = 186.516 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ } H_2O = 167.78 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ } N_2 = 1,220.42 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ } CO = 162.204 \text{ g.}$$

6. สมการการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ($C_{14.4}H_{24.9}$) 58% และ เอ็น-บิวทานอล ($CH_3(CH_2)_2CH_2OH$) 42% กับอากาศ 70 %

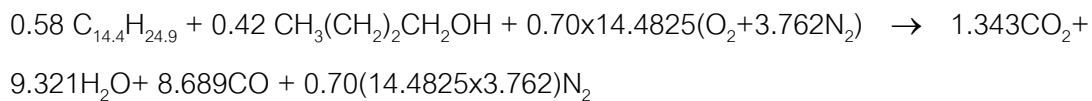


A carbon balance ได้ $a + c = 10.032$ ----- (J)

A hydrogen balance ได้ $2b = 18.642$, $b = 9.321$ --- -----(K)

A oxygen balance ได้ $2a + 9.321 + c = 20.6955$ -----(L)

จากสมการ (J) (K) (L) จะได้ $a = 1.343$, $b = 9.321$, $c = 8.689$ แทนในสมการการเผาไหม้จะได้



โดยโมล

$$0.58 + 0.42 + 10.14 + 38.14 \rightarrow 1.343 + 9.321 + 8.689 + 38.14$$

โดยน้ำหนัก

$$\begin{aligned} &0.58[(14.4 \times 12) + (24.9 \times 1)] + \\ &0.42[(1 \times 12) + (3 \times 1) + (2 \times 12) + (4 \times 1) + (1 \times 12) + (2 \times 1) + (1 \times 16) + (1 \times 1)] + 0.70((14.4825 \times 32) + \\ &(14.4825 \times 3.762 \times 28)) \rightarrow 1.343(12 + 32) + 9.321(2 + 16) + 8.689(12 + 16) + \\ &0.70(14.4825 \times 3.762 \times 28) \end{aligned}$$

อัตราส่วนอากาศ / เชื้อเพลิง (A/F ratio)

$$\begin{aligned} \text{A/F ratio} &= 0.70((14.4825 \times 32) + (14.4825 \times 3.762 \times 28)) / \\ &[0.58[(14.4 \times 12) + (24.9 \times 1)] + \\ &0.42[(1 \times 12) + (3 \times 1) + (2 \times 12) + (4 \times 1) + (1 \times 12) + (2 \times 1) + (1 \times 16) + (1 \times 1)]] \\ &= 9.55 \text{ kg}_a / \text{kg}_f \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณ CO}_2 = 59.092 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ H}_2\text{O} = 167.78 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ N}_2 = 1,067.87 \text{ g.}$$

$$\text{ปริมาณ CO} = 243.292 \text{ g.}$$

ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น
น้ำมันเชื้อเพลิงและคุณสมบัติของบิวทานอล



PTT Research and Technology Institute
PTT Public Company Limited

Fuels & Lubricants Research Department

71 Moo 2 Phahonyothin Rd., Wangnoi, Ayutthaya 13170 Tel 0-2537-3000 Ext 2411, 3208 Fax 0-2537-3000 Ext 3210

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Certificate Number	: FLA-L081/49	Page	: 1/1
Reference Number	: 131/49	Sampling Date	:
Sample ID	: LA-324/49	Sample Received Date	: 18/04/49
Customer Name	: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	Sample Condition	: Good
Sample Name	: น้ำมันหล่อลื่น 100 ซีซี/โง	Analysis Date	: 20/04/49
Sample Source	:	Operator's Name	: ST

Item	Property, Unit	Test Method	Result
1	Wear Metal Content. ppm wt	ASTM D 5185	
	Si		9.23
	Pb		1.56
	Fe		9.31
	Cr		1.82
	Cu		0.97
	Al		3.11

Remarks :
Reported By : ST

Approved By : 
(Mr Pichit Pripanapongs)

Specialist

Date of Issue : April 24, 2006

This certificate of analysis is referred to only submitted sample(s). It is your responsibility to use herein results in any purposes. This certificate shall not be reproduced, except in full, and herein results shall not be used for advertising or public relation without the written approval of the Specialist or Department Manager.



PTT Research and Technology Institute

PTT Public Company Limited

Fuels & Lubricants Research Department

71 Moo 2 Phahonyothin Rd., Wangnoi, Ayutthaya 13170 Tel 0-2537-3000 Ext. 2411, 3208 Fax 0-2537-3000 Ext 3210

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Certificate Number : FLA-L082/49 Page : 1/1
 Reference Number : 132/49 Sampling Date :
 Sample ID : LA-325/49 Sample Received Date : 18/04/49
 Customer Name : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ Sample Condition : Good
 Sample Name : น้ำมันหล่อลื่น 200 ซีซี โฉง Analysis Date : 20/04/49
 Sample Source : Operator's Name : ST

Item	Property, Unit	Test Method	Result
1	Wear Metal Content, ppm wt	ASTM D 5185	
	Si		8.85
	Pb		2.01
	Fe		11.57
	Cr		2.01
	Cu		0.84
	Al		3.69

Remarks :

Reported By : ST

Approved By :

(Mr Pichit Pripanapongs)

Specialist

Date of Issue : April 24, 2006

This certificate of analysis is referred to only submitted sample(s). It is your responsibility to use herein results in any purposes. This certificate shall not be reproduced, except in full, and herein results shall not be used for advertising or public relation without the written approval of the Specialist or Department Manager



PTT Research and Technology Institute
PTT Public Company Limited

Fuels & Lubricants Research Department

71 Moo 2 Phahonyothin Rd., Wangnoi, Ayutthaya 13170 Tel 0-2537-3000 Ext. 2411, 3208 Fax 0-2537-3000 Ext. 3210

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Certificate Number	: FLA-L083/49	Page	: 1/1
Reference Number	: 133/49	Sampling Date	:
Sample ID	: LA-326/49	Sample Received Date	: 18/04/49
Customer Name	: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	Sample Condition	: Good
Sample Name	: น้ำมันหล่อลื่น 300 ซีซี	Analysis Date	: 20/04/49
Sample Source	:	Operator's Name	: ST

Item	Property, Unit	Test Method	Result
1	Wear Metal Content, ppm wt	ASTM D 5185	
	Si		9.28
	Pb		2.19
	Fe		15.15
	Cr		2.54
	Cu		0.96
	Al		4.47

Remarks :

Reported By : ST

Approved By : *Pichit P.*
(Mr Pichit Pripanapongs)
Specialist

Date of Issue : April 24, 2006

This certificate of analysis is referred to only submitted sample(s). It is your responsibility to use herein results in any purposes. This certificate shall not be reproduced, except in full, and herein results shall not be used for advertising or public relation without the written approval of the Specialist or Department Manager.

PTT Research and Technology Institute
PTT Public Company Limited



Fuels & Lubricants Research Department

71 Moo 2 Phahonyothin Rd., Wangnoi, Ayutthaya 13170 Tel 0-2537-3000 Ext 2411, 3230 Fax 0-2537-3000 Ext 2236

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Certificate Number	: FLA-F110/49	Page	: 1/1
Reference Number	: 126/49	Sampling Date	: -
Sample ID	: FA-132/49	Sample Received Date	: 18/04/49
Customer Name	: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์		
		Sample Condition	: good
Sample Name	: Diesel + Butanol 10%	Analysis Date	: 26/04/49
Sample Source	: -	Operator's Name	: SUP

Item	Property, Unit	Test Method	Result
1	Gross heating value, J/g	ASTM D240	44,850

Remarks :

Reported By : PP

Approved By :

Pichit P

(Mr Pichit Pripanapongs)

Specialist

Date of Issue : 27 April 2006

This certificate of analysis is referred to only submitted sample(s). It is your responsibility to use herein results in any purposes. This certificate shall not be reproduced, except in full, and herein results shall not be used for advertising or public relation without the written approval of the Specialist or Department Manager.

PTT Research and Technology Institute
PTT Public Company Limited



Fuels & Lubricants Research Department

71 Moo 2 Phahonyothin Rd. Wangnoi. Ayutthaya 13170 Tel 0-2537-3000 Ext 2411. 3230 Fax 0-2537-3000 Ext 2236

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Certificate Number	: FLA-F111/49	Page	: 1/1
Reference Number	: 127/49	Sampling Date	: -
Sample ID	: FA-133/49	Sample Received Date	: 18/04/49
Customer Name	: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์		
		Sample Condition	: good
Sample Name	: Diesel + Butanol 20%	Analysis Date	: 26/04/49
Sample Source	: -	Operator's Name	: SUP

Item	Property, Unit	Test Method	Result
1	Gross heating value. J/g	ASTM D240	43,485

Remarks :

Reported By : PP

Approved By : 
(Mr Pichit Pripanapongs)
Specialist

Date of Issue : 27 April 2006

This certificate of analysis is referred to only submitted sample(s). It is your responsibility to use herein results in any purposes. This certificate shall not be reproduced, except in full, and herein results shall not be used for advertising or public relation without the written approval of the Specialist or Department Manager.

PTT Research and Technology Institute

PTT Public Company Limited



Fuels & Lubricants Research Department

71 Moo 2 Phahonyothin Rd. Wangnoi. Ayutthaya 13170 Tel 0-2537-3000 Ext 2411, 3230 Fax 0-2537-3000 Ext 2236

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Certificate Number : FLA-F112/49 Page : 1/1
 Reference Number : 128/49 Sampling Date : -
 Sample ID : FA-134/49 Sample Received Date : 18/04/49
 Customer Name : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
 Sample Name : Diesel + Butanol 30% Sample Condition : good
 Sample Source : - Analysis Date : 26/04/49
 Operator's Name : SUP

Item	Property, Unit	Test Method	Result
1	Gross heating value, J/g	ASTM D240	42,731

Remarks :

Reported By : PP

Approved By :

(Mr Pichit Pripanapongs)

Specialist

Date of Issue : 27 April 2006

This certificate of analysis is referred to only submitted sample(s). It is your responsibility to use herein results in any purposes. This certificate shall not be reproduced, except in full, and herein results shall not be used for advertising or public relation without the written approval of the Specialist or Department Manager.

TEST OIL:
ISO 4113 or
SAE J967d

INJ. PUMP CALIBRATION DATA

ENGINE MODEL : *4JA1-T*

DKKC No. *10AYAG-6A52-4*

Date :

Company : *ISUZU*

No.

Injection pump No:

Pump rotation : *CCW*

Refer to the service manual (VE pump B.I.S. ; Publication No. EE14E-11041) for all procedures and details other than the following.

1. Test Conditions Addition

1150 mmHg 185-190 kg/cm²

- 1-1 Nozzle : 105780-0000 (NP-DN12SD12T)
1-2 Nozzle holder : 105780-2080 (EF8511/9)
1-3 Nozzle opening pressure : 150^{+5} kg/cm²

- 1-4 Injection pipe : 2×6×840mm
1-5 Fuel oil temperature : 45^{+5} °C
1-6 Supply pump pressure : 0.2 kg/cm²

2. Setting	Pump speed (rpm)	Settings	Charge air press(mmHg)	Difference in delivery(cc)
2-1 Timing device travel	<i>1500</i>	<i>2.0</i> (mm)		
2-2 Supply pump pressure	<i>1500</i>	<i>4.2</i> (kg/cm ²)		
2-3 Full load delivery	<i>1225</i>	<i>62.0±0.5</i> (cc/1,000st)		
Full load delivery	<i>375</i>	<i>8.4±2.0</i> (cc/1,000st)		
2-4 Idle speed regulation		<i>60.0±40.0</i> (cc/1,000st)		
2-5 Start	<i>100</i>	<i>22±3.0</i> (cc/1,000st)		
2-6 Full-load speed regulation	<i>2300</i>			
2-7				
2-8				
2-9				

3. Test Specifications	Solenoid Timer	<i>ON</i>	<i>OFF</i>
3-1 Timing device	N = rpm mm	<i>1500</i> <i>2.9±0.1</i>	<i>1700</i> <i>2.9±0.4</i> <i>2050</i> <i>5.3±0.4</i>
3-2 Supply pump	N = rpm kg/cm ²	<i>1500</i> <i>4.2±0.2</i>	
3-3 Overflow delivery	N = rpm cc/10s	<i>1500</i> <i>630±130</i>	

3-4 Fuel injection quantities

Speed control lever position	Pump speed (rpm)	Fuel delivery (cc/1,000st)	Charge air press(mmHg)	Difference in delivery(cc)
Max. speed	<i>1225</i> <i>500</i> <i>750</i> <i>1900</i> <i>2300</i>	<i>62±0.5</i> <i>39±3</i> <i>50±3</i> <i>70±4</i> <i>25±3</i>		
Switch OFF Magnet valve	<i>375</i>	<i>0 Idk</i>		
Idling	<i>375</i>	<i>8.4±2</i>		

Addition 

4. Dimensions

K	<i>3.1±0.1</i> mm
KF	<i>5.5±0.1</i> mm
MS	<i>0.8±0.1</i> mm
BCS	mm
Pre-stroke	<i>0.45±0.01</i> mm

Control lever angle

α	<i>18±4</i> deg
A	mm
β	<i>35±5</i> deg
B	mm
γ	deg
C	mm

3-5 Solenoid Max.cut-in voltage : 8V, Test voltage : 12~14V



DIESEL KIKI

DIESEL KIKI CO., LTD.

Service Department

3-6-7 SHIBUYA, SHIBUYA-KU, TOKYO 150, JAPAN

Tel. (03) 5485-4135 Fax: (03) 797-6069

PTT Research and Technology Institute

PTT Public Company Limited



Fuels & Lubricants Research Department

71 Moo 2 Phahonyothin Rd., Wangnoi, Ayutthaya 13170 Tel 0-2537-3000 Ext 2411, 3230 Fax 0-2537-3000 Ext 2236

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Certificate Number : FLA-F113/49 Page : 1/1
 Reference Number : 129/49 Sampling Date : -
 Sample ID : FA-135/49 Sample Received Date : 18/04/49
 Customer Name : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
 Sample Name : Diesel + Butanol 40% Sample Condition : good
 Sample Source : - Analysis Date : 26/04/49
 Operator's Name : SUP

Item	Property, Unit	Test Method	Result
1	Gross heating value, J/g	ASTM D240	41,754

Remarks :

Reported By : PP

Approved By :

(Mr Pichit Pripanapongs)

Specialist

Date of Issue : 27 April 2006

This certificate of analysis is referred to only submitted sample(s) It is your responsibility to use herein results
 in any purposes This certificate shall not be reproduced, except in full, and herein results shall not be used for
 advertising or public relation without the written approval of the Specialist or Department Manager



PTT PUBLIC COMPANY LIMITED

PTT Research & Technology Institute

71 Moo 2, Pahon Yo Thin Rd km 78, Wang Noi, Ayutthaya 13170 THAILAND Tel. (662)537-3000

FAX (662)537-3000 Ext. 3308

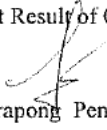
Engineering Research & Engine Test Department

TEST REPORT

Test Number : CFR-2006-06
Test Cell Number : TB109
Sample Description : Diesel + Butanol 42%
Customer : Department of Mechanical Engineering Srinakharinwirot
 University, Ongkharak
Customer Address : 107 Rangsit-Nakhonnayok Rd., Khong 16, Ongkharak,
 Nakhonnayok, 26120
Sample Received Date : April 24, 2006
Tested Date : May 10, 2006

Test Item	Methods	Result
Octane Number, Research Method (RON)	ASTM D 2699	-
Octane Number, Motor Method (MON)	ASTM D 2700	-
Cetane Number (CN)	ASTM D 613	34.0

REMARK Test Result of Check Fuel High = 50.6

Tested by 
 (Tharapong Pengsagul)
 Technician

May 10, 2006

Approved By 
 (Nirod Akarapanjavit)
 Vice President

Engineering Research and Engine Test Department

May 10, 2006

This test result is referred to only submitted sample

(File Name: CFRTESTE.DOC) Revised as 6/9/2000



PTT PUBLIC COMPANY LIMITED
QUALITY CONTROL DIVISION, TERMINAL OPERATIONS, OIL BUSINESS
555 ARDNARONG RD., KLONGTOEY, BANGKOK 10260, THAILAND.
TEL. +66 (0) 2239-7148 FAX. +66 (0) 2239-7149 WWW.PTTPLC.COM

TECH



Page: 1 of 1

Certificate of Analysis

Product : High Speed Diesel

Cert. No.	T-04/11038	Delivery Date	: 10 Aug 2004
Sample Lab No.	: OP-04/11354	Date of Test	: 10 Aug 2004
Customer/Supplier	: Phrakhanong Oil Terminal	Date of Sampling	: 10 Aug 2004
Sample Location	: Tank No. TA 12	Sample Condition	: Good
Batch No.	: TA 12/04/020		
Product Source	: REF- A , Vessel NAVAKHUN-21		

TEST ITEM	TEST METHOD	LIMIT	RESULT
* 1. Appearance,	Visual	C&B	C&B
* 2. Calculated Cetane Index,	ASTM D 976 -91	min 47	55.8
* 3. API Gravity @ 60 °F, Upper,	ASTM D 1298 -99	Report	38.03
* API Gravity @ 60 °F, Lower,	ASTM D 1298 -99	Report	37.31
* 4. Specific Gravity @ 15.6/15.6 °C, Upper,	ASTM D 1298 -99	0.81 - 0.87	0.8347
* Specific Gravity @ 15.6/15.6 °C, Lower,	ASTM D 1298 -99	0.81 - 0.87	0.8382
* 5. Kinematic Viscosity @ 40°C, mm ² /s	ASTM D 445 -01	1.8 - 4.1	3.303 ^(a)
* 6. Pour Point, °C	ASTM D 97 -96a	max 10	< 9 ^(a)
* 7. Sulphur Content, % wt.	ASTM D 5453 -00	max 0.035	0.0254 ^(a)
* 8. Water and Sediment, % vol.	ASTM D 2709 -96	max 0.05	0 ^(a)
9. Flash Point, (P.M.), °C	ASTM D 93 -00	min 52	67.0
10. Distillation : Initial Boiling Point, °C	ASTM D 86 -01	Report	177.5
Distillation : 10% Vol. Recovered, °C	ASTM D 86 -01	Report	2.9.5
Distillation : 50% Vol. Recovered, °C	ASTM D 86 -01	Report	287.7
Distillation : 90% Vol. Recovered, °C	ASTM D 86 -01	max 357	352.7
* 11. Colour, ASTM,	ASTM D 1500 -98	max 2.0	.0

Remark : * Test marked "Not TISI Accredited" in this Certificate are not included in the TISI Accreditation Schedule for our Laboratory

(a) Extracted from Sample Lab No. OP-04/11275

Phurita
Approved by : Phurita Pothisuk
Date of Issue : 15 Aug 2004

(This certificate relates only to the sample tested. Reproduction of it or any of its constituent part is not permitted without the consent of Quality Control Division manager)

Certificate No. LIC-0655/05

Page : 2/5



I SAMPLING AND ANALYSIS

Vessel : M.T. " CRANE PLANET "

Cargo : " NORMAL BUTANOL "

SAMPLING :

The samples drawn at the following location were put into dry and cleaned bottles and distributed as under :-

Ship's Tank(s) No. 1-S

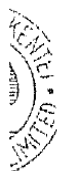
For analysis : 1 x 450 CC

For retention : 1 x 450 CC

ANALYSIS :

We boarded the vessel and drew samples of the cargo from her concerned ship's tank. The sample was then analysed at the Siam Tank Terminals's laboratory with the following results :-

<u>Test Items</u>		<u>Result</u>
1) Appearance	:	Substantially Free
2) Odor	:	Characteristic & Non residual
3) Colour	(Pt-Co) :	Less than 5
4) Water Content	(Wt.%) :	0.0134
5) Distillation, °C	(I.B.P-D.P) :	117.2 - 117.7
6) Acidity as Acetic Acid	(Wt.%) :	0.000426
7) Specific Gravity @ 20/20°C	:	0.8107
8) Purity	(Wt.%) :	99.94



ALCOHOLS

KYOWA HAKKO KOGYO CO., LTD.

KYOWA

Product		N-Butyl Alcohol (N-BUTANOL) (NORMAL BUTANOL)	
Formula		$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	
		Molecular weight 74.1	
SPECIFICATIONS	Color (APHA)	5 max	
	Specific Gravity (20°/20°C)	0.810 ~ 0.814	
	Purity (% by weight)	99.0 min	
	Distillation Test	I.B.P.	116.5°C min
	(Per 100ml of sample)	D.R.	116.5° ~ 118.5°C
	760mmHg		98ml min
		D.P.	118.5°C max
	Nonvolatile Matter (g/100ml)	0.002 max	
	Water Contents (% by weight)	0.10 max	
	Free Acid		
	(% by weight as acetic acid)	0.002 max	
	Aldehyde		
	(% by weight as butyraldehyde)	0.05 max	
	Acid Value (KOH mg/g)		
TYPICAL PROPERTIES	Boiling Point (°C, 760mmHg)	117.7	
	Specific Gravity (20°/20°C)	0.811	
	Melting Point (°C)	-90.2	
	Refractive Index (n_D^{25})	1.3974	
	Viscosity (cps, 20°C)	3.0	
	Latent Heat of Vaporization		
	(cal/g)	143.3	
	Flash Point (°C, closed cup)	35	
	Explosive mixture with air		
	(% by volume)	1.5 ~ 11.3	
	Ignition Point (°C)	340 ~ 420	
	Solubility in water		
	(% by weight, 20°C)	7.7	
	Specific Heat (cal/g°C, 20°C)	0.69	

คุณสมบัติน้ำมันดีเซล

น้ำมันดีเซล คือ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบโดยมีช่วงจุดเดือดอยู่ระหว่าง 172 - 370 °C น้ำมันดีเซลที่ดีจะต้องสามารถจุดระเบิดได้เองโดยเร็วและเผาไหม้ได้หมดในห้องเผาไหม้ น้ำมันดีเซลที่จำหน่ายในประเทศไทยจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ (1) High Speed Diesel ซึ่งเหมาะกับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูงกว่า 1500 รอบต่อนาที เช่น รถบรรทุก รถโดยสาร และรถปิกอัพ (2) Low Speed Diesel เหมาะสำหรับเครื่องยนต์รอบช้า ได้แก่ เรือเดินทะเล และการผลิตไฟฟ้าต้นกำลัง

ตาราง 11 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของน้ำมันดีเซลในประเทศไทย

Test Item	Spec.	BangChak	Typical Test
1.API Gravity @ 60(F	-	37.0	-
2.Specific Gravity @15.6/15.6(C	0.81-0.87	0.8398	0.8358
3.Calculated Cetane Index	Min 47	54.7	55.8
Or Cetane Number	Min 47		
4.Viscosity,Kinematic,@40(C,cSt.	1.8-4.1	3.391	3.463
5.Pour Point, (C	Max 10	4	0
6.Sulphur Content, % wt.	Max 0.05	0.03	0.03
7. Copper Strip Corrosion (8 hrs,@ 50°C)	Max No.1	-	No.1
8.Micro Carbon Residue, % wt.	Max 0.05	-	0.02
9.Water and Sediment, % vol.	Max 0.05	0	0
10.Ash, % wt.	Max 0.01	-	0.001
11.Flash Point, (P.M.) , (C	Min 52	75.0	73.4
12.Distillation: (Correct Temp.)			
Initial Boiling Point, (C		182.0	181.6
10 % Vol.Recovered, (C		227.6	218.6
50 % Vol. Recovered, (C		287.7	286.5
90 % Vol.Recovered, (C	Max 357	357.0	355.0
13.Color,ASTM	Max 4.0	L0.5	L0.5
14.Lubricity by HFRR, (m	Max 460	584	-



การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นที่ซื้อแล้วเพื่อการบำรุงรักษา

Customer : คุณ อรุณ
Product : PTT Oil SAE 40
ชื่อรถ : Isuzu 4JA1
เครื่องจักร : Engine
ติดต่อ :
ชื่อ A/M : TNT
Tel./Fax :
E-mail :

Ref. : T-LI-5739

ครั้งที่ส่ง สํ	วันที่ส่ง	ปริมาณ หรือ ระยะเวลา	ค่าความหนืด @ 100°C	TBN	น้ำ	เหล็ก (Fe)	ตะกั่ว (Lead)	อลูมิเนียม (Al)	โครเมียม (Cr)	ทองแดง (Cu)	ซิลิกอน (Silicon)	ค่า Oxidation	ค่า Nitration	ค่า Sulfation	ค่าความ เสถียร	ค่า Flash Point	S-ID No.	
												น้ำมัน 25 Abs unit	น้ำมัน 14 Abs unit	น้ำมัน 30 Abs unit	น้ำมัน 5 Abs unit	น้ำมัน 230 Abs unit		น้ำมัน 180 C
1	28-Dec-04	1 month	113.80	4.34	nil	61.31	3.90	17.48	16.07	5.34	115.47	PTT oil SAE 40					-	MSL-448
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		

หมายเหตุ : ค่าความหนืดและค่า TBN อยู่ในเกณฑ์กำหนดแต่มีค่าค่อนข้างต่ำ และมีค่าการสึกหรอโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ต่ำ
ค่าความเสถียรและค่า Sulfation มีค่าอยู่ในเกณฑ์กำหนด
This report relates specifically to the sample(s) tested.

RECOMMENDATIONS

น้ำมันมีความหนืดและค่า TBN อยู่ในเกณฑ์กำหนดแต่มีค่าค่อนข้างต่ำ และมีค่าการสึกหรอโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ต่ำ
และพบว่ามีความสูงเกินเกณฑ์ ควรทำความสะอาดระบบกรองอากาศและ Top Up น้ำมันใหม่เพิ่มแล้วดูแนวโน้มในครั้งต่อไป
หรือพิจารณาเปลี่ยนถ่ายตามความเหมาะสม.

Any questions please call Technical Dept at 0-2285-2700 ext. 532-4, 267 / กรณีต้องการรายละเอียดเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ แผนกเทคนิค โทร. 0-2285-2700 ต่อ 532-4, 267

Analyst: Phutharak
Oil Analysis Advisor



การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นที่ได้รับสำหรับการบำรุงรักษา

Ref. : T-LT-5691

Customer : อุตฯ อรุณ
 Product : PTT Oil SAE 40
 ชื่อรถ : Isuzu 4JA1
 เครื่องจักร : Engine

ติดต่อ :
 ชื่อ A/M : TNT
 Tel./Fax :
 Email :

ครั้งที่ส่ง	วันที่ส่ง	ปริมาณ @ 40C	TBN	น้ำ	เหล็ก (Fe)	ตะกั่ว (Lead)	อลูมิเนียม (Al)	โครเมียม (Cr)	ทองแดง (Cu)	ซิลิคอน (Silicon)	ค่า Oxidation	ค่า Nitration	ค่า Sulfation	ค่าความชื้น	ค่าความหนาแน่น	ค่า Flash Point	SID No.
1	22-Dec-04	1 month	120.50	5.00	63.29	7.20	24.31	13.63	6.51	85.05	25 Abs unit	14 Abs unit	30 Abs unit	5 Abs unit	290 Abs unit	180 C	MSL-400
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	

หมายเหตุ : ค่าความชื้นของน้ำมันหล่อลื่นที่ส่งมาวิเคราะห์
 ค่าความชื้นของน้ำมันหล่อลื่นที่ส่งมาวิเคราะห์
 This report relates specifically to the sample(s) tested.

RECOMMENDATIONS

น้ำมันมีความหนืดและค่า TBN อยู่ในเกณฑ์กำหนด และมีค่าการสึกหรอโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ต่ำ แต่พบว่ามีความสูงเกินเกณฑ์ ควรทำความสะอาดระบบกรองอากาศและดูแนวโน้มในครั้งต่อไป.

AP
 Andrasit Phutharak
 Oil Analysis Advisor

Any questions please call Technical Dept. at 0-2285-2700 ext. 532-4, 267 / กรณีส่งการวิเคราะห์เพิ่มเติม กรุณาติดต่อ แผนกเทคนิค โทร. 0-2285-2700 ต่อ 532-4, 267



การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นที่ได้รับสำหรับการบำรุงรักษา

Customer : อุตฯ อรุณ
Product : PTT Oil SAE 40
ชื่อรถ : Isuzu 4JA1
เครื่องจักร : Engine
ติดต่อ : TNT
Tel/Fax :
Email :

Ref. : T-LT-5691

ครั้งที่ส่ง	วันที่ส่ง	ช่วง	ค่าความหนืด @ 40C	TBN	น้ำ	เหล็ก (Fe)	ตะกั่ว (Lead)	อลูมิเนียม (Al)	โครเมียม (Cr)	ทองแดง (Cu)	ซิลิคอน (Silicon)	ค่า Oxidation	ค่า Nitration	ค่า Sulfation	ค่าความชื้น	ค่าความชื้น	ค่า Flash Point	S-10 No.
1	22-Dec-04	1 month	120.50	5.00	nil	63.29	7.20	24.31	13.63	6.51	85.05	25 Abs unit	14 Abs unit	30 Abs unit	5 Abs unit	290 Abs unit	180 C	MSL-400
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		

หมายเหตุ : ค่าความหนืดและค่า TBN อยู่ในเกณฑ์กำหนด และมีค่าการสึกหรอโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ต่ำ แต่พบว่ามีความผิดปกติเล็กน้อยในค่าการสึกหรอและค่าการสึกหรอในเครื่องต่อไป.

RECOMMENDATIONS

น้ำมันมีความหนืดและค่า TBN อยู่ในเกณฑ์กำหนด และมีค่าการสึกหรอโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ต่ำ แต่พบว่ามีความผิดปกติเล็กน้อยในค่าการสึกหรอและค่าการสึกหรอในเครื่องต่อไป.

Any questions please call Technical Dept. at 0-2285-2700 ext. 532-4, 267 / กรณีต้องการรายละเอียดเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ แผนกเทคนิค โทร. 0-2285-2700 ต่อ 532-4, 267

Andreas Putharak
Oil Analysis Advisor



การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นที่ซื้อแล้วเพื่อการบำรุงรักษา

Customer : คุณ อรุณ
Product : PTT Oil SAE 40
ชื่อรถ : Isuzu 4JA1
เครื่องจักร : Engine

ติดต่อ :
ชื่อ A/M : TNT
Tel./Fax :
E-mail :

Ref. : T-LI-5739

ครั้งที่ ส่ง	วันที่ส่ง	ปริมาณ ที่ส่ง	ค่าความหนืด @ 100°C	TBN	น้ำ	เหล็ก (Fe)	ตะกั่ว (Lead)	อลูมิเนียม (Al)	โครเมียม (Cr)	ทองแดง (Cu)	ซิลิกอน (Silicon)	ค่า Oxidation ในตู้	ค่า Nitration ในตู้	ค่า Sulfation ในตู้	ค่าความ เสถียร	ค่าความ เสถียร	ค่า Flash Point	S-ID No.
1	28-Dec-04	1 month	113.80	4.34	nil	61.31	3.90	17.48	16.07	5.34	115.47	25 Abs unit	14 Abs unit	30 Abs unit	5 Abs unit	250 Abs unit	180 C	MSL-448
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		

หมายเหตุ : ค่าความหนืดและค่า TBN อยู่ในเกณฑ์กำหนดแต่มีค่าค่อนข้างต่ำ และมีค่าการสึกกร่อนโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ต่ำ
ค่าความเสถียรและค่า Sulfation มีค่าอยู่ในเกณฑ์สูง ควรหาความสะอาดระบบกรองอากาศและ Top Up น้ำมันใหม่เพิ่มแล้วดูแนวโน้มในครั้งต่อไป
This report relates specifically to the sample(s) tested.

RECOMMENDATIONS

น้ำมันมีความหนืดและค่า TBN อยู่ในเกณฑ์กำหนดแต่มีค่าค่อนข้างต่ำ และมีค่าการสึกกร่อนโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ต่ำ
และพบว่ามีความสูงเกินเกณฑ์ ควรหาความสะอาดระบบกรองอากาศและ Top Up น้ำมันใหม่เพิ่มแล้วดูแนวโน้มในครั้งต่อไป
หรือพิจารณาเปลี่ยนถ่ายตามความเหมาะสม.

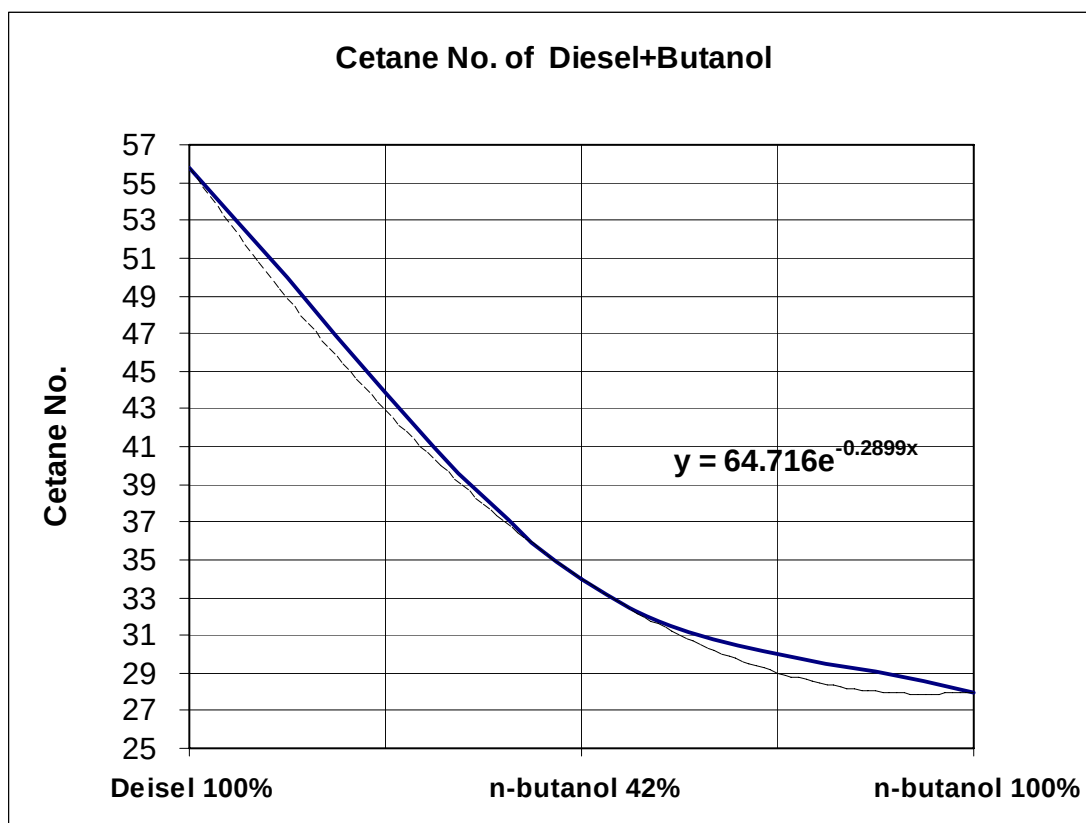
Any questions please call Technical Dept at 0-2285-2700 ext. 532-4, 267 / กรณีต้องการรายละเอียดเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ แผนกเทคนิค โทร. 0-2285-2700 ต่อ 532-4, 267


Analyst: Phutharak
Oil Analysis Advisor

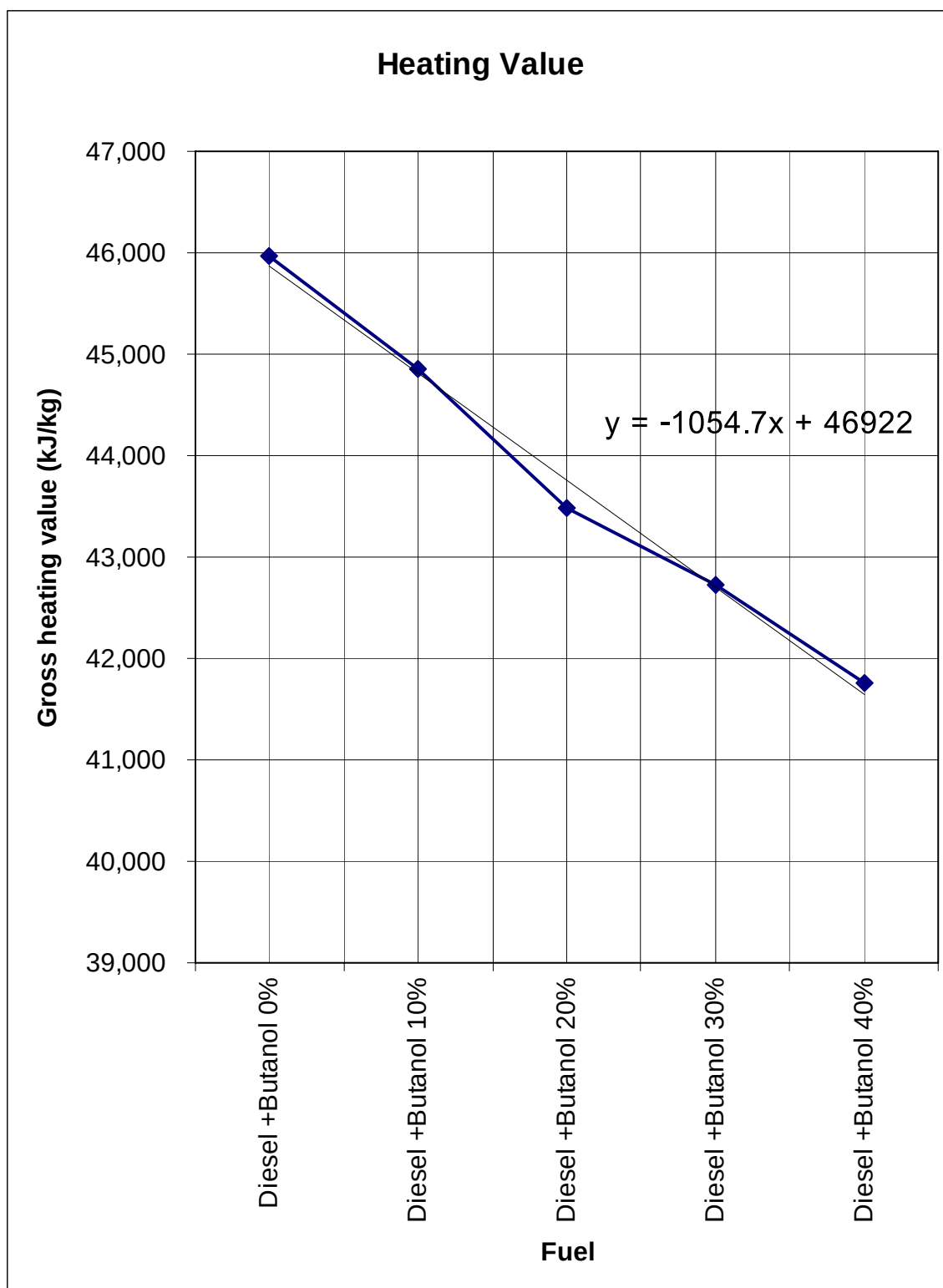
ภาคผนวก ค

ตารางแสดงค่าความร้อนและค่าซีเทนน้ำมันเชื้อเพลิง

แสดงค่าซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิง



แสดงค่าความร้อนน้ำมันเชื้อเพลิง



ภาคผนวก ง
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัด (m}^2\text{)}$$

A/F	=	อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิงโดยมวล($\text{kg}_{\text{air}}/\text{kg}_{\text{fuel}}$)
Area	=	พื้นที่ P-V ไดอะแกรม(cm^2)
B5	=	เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 5%
B10	=	เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 10%
B15	=	เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 15%
B20	=	เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 20%
B25	=	เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 25%
B30	=	เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 30%
B35	=	เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 35%
B40	=	เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 40%
B42	=	เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 42%
B45	=	เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมบิวทานอล 45%
η_{BTH}	=	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค
Bsfc	=	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค ($\text{kg}/\text{kW.hr}$)
Bsec	=	อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรค ($\text{kJ}/\text{kW.hr}$)
FP	=	กำลังงานเชื้อเพลิง (kW)
FC	=	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง(kg/s)
D_o	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของออร์ฟิซที่วัดปริมาณอากาศ (mm)
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ (cm)
D	=	น้ำมันดีเซล
h	=	ความสูงของลำน้ำในมาโนมิเตอร์ (cm)
HHV	=	ค่าความร้อนสูงของน้ำมันเชื้อเพลิง (kJ/kg)
HHVa	=	ค่าความร้อนสูงของแอลกอฮอล์ (kJ/kg)
$\dot{m}_a$	=	มวลของอากาศต่อเวลา (kg/s)
$\dot{m}_f$	=	มวลของเชื้อเพลิงต่อเวลา(kg/s)
$\dot{m}_w$	=	มวลของน้ำหล่อเย็นต่อเวลา(kg/s)
N	=	ความเร็วรอบของเพลาช่อเหวี่ยง (rpm)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

P	=	ความดัน (kPa)
---	---	---------------

ΔP	=	ความแตกต่างของความดัน (Pa)
P_a	=	ความดันบรรยากาศ (kPa)
BP	=	กำลังงานเบรค (kW)
Q	=	อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m^3/s)
R_a	=	ค่าคงที่ของอากาศ (kJ/kg-K)
S.G.	=	ความถ่วงจำเพาะ
T	=	อุณหภูมิ (K)
T	=	แรงบิด (N.m)
t	=	เวลา (s)
T_3	=	อุณหภูมิของอากาศ (K)
T_5	=	อุณหภูมิของไอเสียที่ออกจากเครื่องยนต์ (K)
T_{ei}	=	อุณหภูมิของไอเสียที่เข้าคาลอริมิเตอร์(K)
T_i	=	อุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่คาลอริมิเตอร์(K)
T_4	=	อุณหภูมิของน้ำมันเครื่อง(K)
T_1	=	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าสู่เครื่องยนต์(K)
T_2	=	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ออกจากเครื่องยนต์(K)
T_a	=	อุณหภูมิอากาศเข้าถังพัก (K)
v	=	ความเร็วของอากาศ (m/s)
X_i	=	สัดส่วนเชิงมวล
Z	=	จำนวนรอบของเครื่องยนต์ต่อการดูดไอดี 1 ครั้ง
ρ	=	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
CO	=	แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์
CO ₂	=	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
HC	=	แก๊สไฮโดรคาร์บอน
NO _x	=	แก๊สไนโตรเจนออกไซด์
O ₂	=	แก๊สออกซิเจน
N ₂	=	แก๊สไนโตรเจน

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายไพบูลย์ ลีห้าน้อย
วันเดือนปีเกิด	3 สิงหาคม 2515
สถานที่เกิด	มหาสารคาม
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 248/2 ซ.ลาดพร้าว 87 ถ.ลาดพร้าว แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2530	จบมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนพยุหะภูมิวิทยาคาร จ.มหาสารคาม
พ.ศ. 2533	จบมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย จ.ขอนแก่น
พ.ศ. 2537	จบปริญญาตรี (วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต) วิศวกรรมเครื่องกล จาก จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น
พ.ศ. 2549	จบบัณฑิตศึกษา (บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต) สาขาการตลาด จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง
พ.ศ. 2550	จบบัณฑิตศึกษา (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต) วิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ