

บทคัดย่อ
ของ
สุรัชย์ ทวีทรัพย์ธนบูรณ์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กุมภาพันธ์ 2549

11. 2000 1000 1000

สุรัชย์ ทรัพย์ธนบูรณ์ .(2549). การพัฒนาเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กเอนกประสงค์โดยใช้น้ำมัน
ก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลัก. ปรินูญานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ดร. พิชัย อัมฤงคกุล,
ดร. อุดมชัย จินะดิษฐ์.

ในสภาวะที่ราคาน้ำมันเบนซินมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นตลอดเวลา ได้มีการนำเชื้อเพลิงทดแทนมา
ใช้แทนน้ำมันเบนซิน เช่น เอทานอล แก๊สโซฮอล์ ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการวิจัยเพื่อ
พัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนประเภทต่าง ๆ ขึ้นตลอดเวลา น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงอีกทางเลือกหนึ่งซึ่ง
น่าสนใจที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันเบนซินได้ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเครื่องยนต์เล็กเอนกประสงค์ที่ใช้
น้ำมันเบนซินให้มาใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลัก โดยนำเครื่องยนต์ยี่ห้อคาวาซากิ รุ่น FG230D ซึ่ง
เป็นเครื่องยนต์แบบวาล์วข้าง สูบเดียว มาดัดแปลง ซึ่งในการดัดแปลงนั้นได้ทำการดัดแปลงระบบจ่าย
เชื้อเพลิงโดยให้สามารถจ่ายน้ำมันเบนซินก่อนแล้วเปลี่ยนให้จ่ายน้ำมันก๊าดหลังจากที่เครื่องยนต์
ติดได้แล้ว ดัดแปลงอัตราส่วนการอัดให้น้อยลงโดยวิธีการเพิ่มปริมาตรในห้องเผาไหม้ ดัดแปลงนমন
หลักในคาร์บูเรเตอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เป็นการทดสอบที่ความเร็ว
รอบเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1,800 ถึง 4,200 รอบต่อนาที ภาระงานเต็มที่ใช้ Eddy Current
Dynamometer เป็นอุปกรณ์วัดแรงบิด การทดสอบความสึกหรอโดยใช้ภาระเป็นเครื่องสูบน้ำขนาด 3
นิ้ว ติดเครื่องยนต์ที่รอบภาระสูงสุดต่อเนื่องเป็นเวลา 300 ชั่วโมงโดยมีการบำรุงรักษาตามระยะเวลา

ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินพบว่า แรงบิดที่ได้ลดลง 15% กำลังงานลดลง
28.9% เนื่องจากการลดอัตราส่วนการอัด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น 15% เนื่องจากการ
เพิ่มปริมาตรห้องเผาไหม้ การสึกหรอไม่แตกต่างกัน

Development of Multi-purpose Small SI-Engine using Kerosene as Major Fuel

AN ABSTRACT

BY

SURACHAI SUPTANABOON

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Engineering degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwirot University
February 2006

Surachai Subtanaboon. (2006). *Development of Multi-purpose Small SI-Engine using Kerosene as Major Fuel*. Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr. Pichai Asadamongkon , Dr. Udomchai Chinadit .

At present increasing price of Gasoline continuously, there is an attempt to find any alternative fuel such as Ethanol, Gasohol, Natural Gas, etc. Besides, there are many researchers searching and developing alternative fuel for Gasoline. Kerosene seems to have a high potential to be a substitution. Therefore , this research aims to develop "Gasoline multi-purpose engine" to be able to use Kerosene as a main fuel instead of Gasoline.

Kawasaki brand, model FG230D, which is a side valve, single Cylinder can be modified at fuel supplying system position, that is use gasoline to start the engine and then change to kerosene consumption to reduce the compression ratio by raising volume on the combustion chamber, replacing main jet in carburetor to test the engine performance at speed between 1,800 - 4,200 rpm at full loading and using eddy current dynamometer as an equipment of torque measurement. To endurance test by 3 inches water pump assembled with engine which will be operate at full loading as long as 300 hours, along with maintenance regularly .

The result show that engine, torque reduced by 15 %, power reduced by 28.9%. This may be due to the reduced of the compression ratio. Fuel consumption increased by 15%. May be due to the increased of combustion chamber volume. Engine part ware show no significant different.

การพัฒนาเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กเอนกประสงค์โดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลัก

ปริญญานิพนธ์
ของ
สุรัชย์ ทรัพย์ธนบูรณ์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

กุมภาพันธ์ 2549

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กเอนกประสงค์โดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลัก

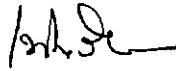
ของ

ว่าที่ร.ต.สุรัชย์ ทรัพย์ธนบูรณ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาดุษฎีบัณฑิตมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

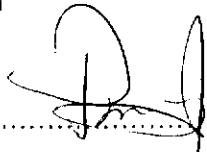


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญสิริ จีระเดชากุล)

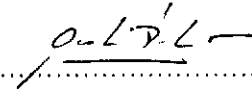
วันที่ ... ๒๘ ... เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๔๙

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์



..... ประธาน

(อาจารย์ ดร. พิชัย อัมมมงคล)



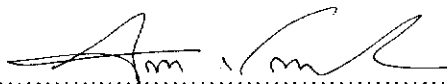
..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. อุดมชัย จินะดิษฐ์)



..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิจิต บัวแก้ว)



..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ ดร.พิชัย อัมภมมงคล ประธานกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ดร.อุดมชัย จินะดิษฐ์ กรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิจิต บัวแก้ว ประธานกรรมการบริหารหลักสูตร ฯ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำให้แนวคิดในการวิเคราะห์ และช่วยแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ตลอดจนช่วยกรุณาตรวจแก้ปริญญานิพนธ์จนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สมมาส แก้วล้วน และอาจารย์ทุกท่านที่มีได้กล่าวถึง ที่ช่วยให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณประเวศร์ กิจไพศาลรัตนา บริษัท ที.เค. แมชชีนเนอรี จำกัด ที่สนับสนุนเครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัวทรัพย์ธนบูรณ์ ในความสนับสนุน ช่วยเหลือและให้กำลังใจ เป็นอย่างดีตลอดเวลา

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้น โครงการความร่วมมือหลักสูตรปริญญาโท มศว. และ รร. จปร.สาขาวิศวกรรมเครื่องกล รุ่น1 ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ

ว่าที่ร้อยตรีสุรัชย์ ทรัพย์ธนบูรณ์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทปริทัศน์วรรณกรรม.....	3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
3 อุปกรณ์วิธีการทดลอง	
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	22
วิธีการทดลอง.....	24
4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ	
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	31
5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	79
ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป.....	80

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	81
ภาคผนวก.....	84
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	94

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง.....	12
2	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ก่อนการเปลี่ยนแปลงโดยใช้น้ำมันเบนซิน 91	31
3	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ก่อนการเปลี่ยนแปลงโดยใช้น้ำมันก๊าด.....	33
4	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 49 cc อัตราส่วนการอัด 5.25:1 องศาจุดระเบิด 25° BTDC.....	36
5	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 49 cc อัตราส่วนการอัด 5.25:1 องศาจุดระเบิด 22° BTDC.....	37
6	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 49 cc. อัตราส่วนการอัด 5.25:1 องศาจุดระเบิด 19° BTDC.....	38
7	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 56.5 cc. อัตราส่วนการอัด 4.74:1 องศาจุดระเบิด 25° BTDC.....	39
8	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 56.5 cc. อัตราส่วนการอัด 4.74:1 องศาจุดระเบิด 22° BTDC.....	40
9	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 56.5 cc. อัตราส่วนการอัด 4.74:1 องศาจุดระเบิด 19° BTDC.....	41
10	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 59.6 cc. อัตราส่วนการอัด 4.56:1 องศาจุดระเบิด 25° BTDC.....	42
11	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 59.6 cc. อัตราส่วนการอัด 4.56:1 องศาจุดระเบิด 22° BTDC.....	43
12	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 59.6 cc. อัตราส่วนการอัด 4.56:1 องศาจุดระเบิด 19° BTDC.....	44
13	แสดงผลเปรียบเทียบการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้ทำการปรับปริมาตร ห้องเผาไหม้และองศาจุดระเบิดโดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิง.....	45
14	แสดงข้อมูลขนาดนมหนูหลักของคาร์บูเรเตอร์.....	46
15	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก A.....	47

บัญชีตาราง(ต่อ)

ตาราง		หน้า
16	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก B.....	49
17	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก C.....	51
18	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก D.....	53
19	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก E.....	55
20	แสดงผลการเปรียบเทียบแรงบิดของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก A – E.	57
21	แสดงผลการเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก A – E...	59
22	แสดงผลสรุปค่าแรงบิด กำลังและอาการของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก A – E.....	61
23	แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าดหลังจากการทดสอบ ความทนทาน	62
24	แสดงผลการเปรียบเทียบค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ก่อนและ หลังการทดสอบความทนทาน จำนวน 300 ชั่วโมง.....	65
25	แสดงผลการเปรียบเทียบลักษณะชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ก่อนและ หลังการทดสอบความทนทาน จำนวน 300 ชั่วโมง.....	67
26	แสดงผลการตรวจวัดเพลาลูกเบี้ยว.....	69
27	แสดงผลการตรวจวัดลูกสูบ.....	70
28	แสดงผลการตรวจวัดกระบอกสูบ.....	71
29	แสดงผลการตรวจวัดแหวนลูกสูบ.....	72
30	แสดงผลการตรวจวัดก้านสูบ.....	73
31	แสดงผลการตรวจวัดสลักลูกสูบ.....	74
32	แสดงผลการตรวจวัดลูกกระทุ้งลิ้น.....	75
33	แสดงผลการตรวจวัดเพลาช้อเหวี่ยง.....	76
34	แสดงผลการตรวจวัดลิ้นไอดี.....	77
35	แสดงผลการตรวจวัดลิ้นไอเสีย.....	77
36	แสดงผลการคำนวณสมรรถนะเครื่องยนต์น้ำมันก๊าด.....	88

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงรูปการเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์จังหวะดูด.....	9
2 แสดงรูปการเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์จังหวะอัด.....	9
3 แสดงรูปการเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์จังหวะจุดระเบิดหรือจังหวะกำลัง.....	10
4 แสดงรูปการเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์จังหวะคาย.....	10
5 แสดงรูปแผนภาพ P-V และ T-S Diagram	11
6 แสดงรูปส่วนประกอบภายในของคาร์บูเรเตอร์.....	15
7 แสดงรูปไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า (Electrical Dynamometer).....	17
8 แสดงรูปการเผาไหม้ปกติ.....	19
9 แสดงรูปการเผาไหม้ผิดปกติ.....	19
10 แสดงรูปเครื่องยนต์ KAWASAKI FG230D.....	22
11 แสดงรูปไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	23
12 แสดงรูปถึงน้ำมันก่อนการเปลี่ยนแปลง.....	25
13 แสดงรูปถึงน้ำมันหลังการเปลี่ยนแปลง.....	25
14 แสดงรูปฝาสูบก่อนทำการเพิ่มปริมาตรห้องเผาไหม้.....	27
15 แสดงรูปฝาสูบหลังจากทำการเพิ่มปริมาตรห้องเผาไหม้.....	27
16 แสดงรูปล้อช่วยแรงมาตรฐาน ของเสาจุดระเบิดที่ 25 °BTDC.....	27
17 แสดงรูปล้อช่วยแรง ของเสาจุดระเบิดที่ 22 °BTDC.....	28
18 แสดงรูปล้อช่วยแรง ของเสาจุดระเบิดที่ 19 °BTDC.....	28
19 แสดงรูปลักษณะการทดสอบความทนทาน 300 ชั่วโมง	30
20 แสดงกราฟอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเบนซิน.....	32
21 แสดงกราฟเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างน้ำมันเบนซินกับน้ำมันก๊าด.....	34
22 แสดงกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก A.....	48
23 แสดงกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก B.....	50
24 แสดงกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก C.....	52
25 แสดงกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก D.....	54
26 แสดงกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก E.....	56

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
27 แสดงกราฟผลการเปรียบเทียบค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก A – E.....	58
28 แสดงกราฟผลการเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก A – E.....	60
29 แสดงกราฟค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์น้ำมันก๊าดหลังทดสอบความทนทาน.....	63
30 แสดงกราฟอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันก๊าด.....	64
31 แสดงกราฟค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์น้ำมันก๊าดก่อนและหลังการทดสอบ ความทนทานจำนวน 300 ชั่วโมง.....	66
32 แสดงตำแหน่งการวัดเพลาลูกเบี้ยว.....	69
33 แสดงตำแหน่งการวัดลูกสูบ.....	70
34 แสดงตำแหน่งการวัดกระบอกสูบ.....	70
35 แสดงตำแหน่งการวัดแหวนลูกสูบ.....	71
36 แสดงตำแหน่งการวัดก้านสูบ.....	73
37 แสดงตำแหน่งการวัดสลักลูกสูบ.....	74
38 แสดงตำแหน่งการวัดลูกกระทุ้งลิ้น.....	74
39 แสดงตำแหน่งการวัดเพลาช้อเวีย่ง.....	75
40 แสดงตำแหน่งการวัดลิ้นไอดี.....	76
41 แสดงตำแหน่งการวัดลิ้นไอเสีย.....	77
42 แสดงกราฟเปรียบเทียบความคุ้มค่าใช้เครื่องยนต์ที่มีขนาดแรงม้าเท่ากัน.....	80
43 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณก๊าซ CO.....	92
44 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณก๊าซ HC.....	92
45 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณก๊าซ CO ₂	93
46 แสดงกราฟสมรรถนะเครื่องยนต์ KAWASAKI FG230D ที่ใช้น้ำมันเบนซิน	93

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในประเทศที่น้ำมันเบนซินมีราคาสูงมาก เช่น อินเดีย บังคลาเทศ ปากีสถาน อินโดนีเซีย เนปาล เป็นต้น ราคาน้ำมันเบนซินในประเทศเหล่านั้นมีราคาแพงกว่าน้ำมันก๊าด 3 – 5 เท่า ถ้าผู้ใช้ซื้อเครื่องยนต์ที่มีสมรรถนะเท่ากับราคาของเครื่องยนต์น้ำมันก๊าดจะมีราคาแพงกว่า 5 -10 % แต่เมื่อนำมาใช้งานราคาน้ำมันก๊าดที่มีราคาถูกกว่าน้ำมันเบนซินถึง 75% ถ้ามองถึงการลงทุนระยะยาวถือว่าคุ้มค่ามาก

เกษตรกรในปัจจุบันนิยมใช้เครื่องยนต์ขนาดเล็กเอนกประสงค์ในงานเกษตรกรรมไม่ว่าจะเป็นเครื่องยนต์เบนซินหรือเครื่องยนต์ดีเซล เพราะมีราคาถูก เคลื่อนย้ายได้สะดวกและสามารถนำไปต่อกับอุปกรณ์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น ต่อกับปั๊มสูบน้ำ ต่อกับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ต่อกับปั๊มพ่นยา เป็นต้น

ในสภาวะที่ราคาน้ำมันเบนซินมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นตลอดเวลา ได้มีการนำเชื้อเพลิงทดแทนมาใช้แทนน้ำมันเบนซิน เช่น เอทานอล แก๊สโซฮอลล์ แก๊สธรรมชาติ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการวิจัยเพื่อพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนประเภทต่าง ๆ ขึ้นตลอดเวลา น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้ประโยชน์ ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณการใช้น้ำมันก๊าดน้อยมากประมาณ 10% จากปริมาณน้ำมันก๊าดที่ผลิตได้

ในช่วงต้นของการทดลองใช้วิธีการดัดแปลงเครื่องยนต์ขนาดเล็กเอนกประสงค์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน โดยมีวิธีการคือ ลดอัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์ ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ผสมเชื้อเพลิงเป็นต้น ซึ่งในประเทศไทยมีการวิจัยและพัฒนาเครื่องยนต์ประเภทนี้น้อยมากโดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ผู้วิจัยซึ่งทำงานอยู่ในบริษัทที่ผลิตเครื่องยนต์ขนาดเล็กเอนกประสงค์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน มีโครงการวิจัยเครื่องยนต์น้ำมันก๊าดเพื่อส่งจำหน่ายในประเทศที่น้ำมันก๊าดมีราคาถูก

ดังนั้นผู้วิจัยโดยการสนับสนุนของบริษัท ที.เค. แมชชีนเนอรี จำกัด ผู้ผลิตเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กเอนกประสงค์ จึงได้ทำโครงการวิจัยและพัฒนาเครื่องยนต์ขนาดเล็กเอนกประสงค์ที่ใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลัก ให้ได้ประสิทธิภาพดีที่สุดโดยมีสมรรถนะใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ขนาดเล็กเอนกประสงค์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงเรื่องข้อขึ้นส่วนที่มีผลต่อการลดอัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์ ตำแหน่งองศาการจุดระเบิด และคาร์บูเรเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จ่ายส่วนผสมของเชื้อเพลิงให้เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อพัฒนาเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กเอนกประสงค์ให้สามารถใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลัก

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 ให้เครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กเอนกประสงค์ยี่ห้อ KAWASAKI รุ่น FG230D เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัย
- 1.3.2 ปรับปรุงชิ้นส่วนเครื่องยนต์เบนซินขนาดเล็กเอนกประสงค์ให้สามารถใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลักได้ คือ ห้องเผาไหม้ ระบบจ่ายเชื้อเพลิง
- 1.3.3 ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาดเล็กเอนกประสงค์ที่ใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลัก (แรงบิดและกำลัง)
- 1.3.4 ตรวจสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยใช้วิธีการวัดชิ้นส่วน เช่น กระบอกสูบ ลูกสูบ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องยนต์ KAWASAKI รุ่น FG 230 D
- 1.4.2 ปรับปรุงเครื่องยนต์ขนาดเล็กเอนกประสงค์เพื่อสามารถใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลัก
- 1.4.3 ทดสอบการทำงานและสมรรถนะของเครื่องยนต์เล็กเอนกประสงค์โดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลัก
- 1.4.4 ตรวจสอบชิ้นส่วนโดยทำการถอดชิ้นส่วนแล้วนำมาวัดเพื่อเปรียบเทียบการสึกหรอ
- 1.4.5 แก้ไขข้อบกพร่องที่พบขณะทดลอง
- 1.4.6 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะและจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้เครื่องยนต์ขนาดเล็กเอนกประสงค์ที่ใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลักที่มีสมรรถนะใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ขนาดเล็กเอนกประสงค์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน
- 1.5.2 สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตของ บริษัท ที.เค. แมชชีนเนอรี จำกัด
- 1.5.3 ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องยนต์ให้สามารถใช้เชื้อเพลิงเหลวชนิดอื่น ๆ ได้
- 1.5.4 ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาให้สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิดในเครื่องยนต์เดียว

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทปริทัศน์วรรณกรรม (Literature Review)

โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา(2538) ได้ดำเนินการทดลองวิจัยใช้น้ำมันแก๊สโซลีนของ ป.ต.ท. ผสมกับเอทานอล 95 % จากหอกลิ้นสวนจิตรลดา ที่อัตราส่วนผสมแก๊สโซลีนซูปเปอร์ : เอทานอล 95 % = 20 : 80 การทดลองวิจัยนี้ใช้กับรถยนต์ในโครงการส่วนพระองค์ ที่เคยใช้น้ำมันแก๊สโซลีนซูปเปอร์เป็นเชื้อเพลิงจำนวน 10 คัน โดยเริ่มทำการทดลองวิจัยตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2538 พอสรุปผลได้ดังต่อไปนี้ พบว่าเครื่องยนต์มีอาการกระตุกและดับบ่อย เมื่อตรวจสอบพบผงตะกอนสีน้ำตาลดำอยู่ในคาบูเรเตอร์และที่ส่วนบนของถังน้ำมัน รถมอเตอร์ติดยากในตอนเช้า เมื่อการจราจรติดขัดและเครื่องยนต์ร้อนจะดับต้องรอสักพักจึงจะสามารถสตาร์ทเครื่องใหม่ได้ ซิลยางที่คาบูเรเตอร์เสื่อมเร็วขึ้น ไม่พบการแยกชั้นของแก๊สโซฮอลล์ ต่อมาได้ทำการทดลองวิจัยในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีนธรรมดาไร้สารตะกั่ว พอสรุปผลได้ดังต่อไปนี้ เปอร์เซนต์ความบริสุทธิ์ของแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องไม่น้อยกว่า 95% เพื่อป้องกัน ปัญหาการแยกตัวของน้ำในแก๊สโซฮอลล์ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ อัตราส่วนของเอทานอลที่ใช้สำหรับผสมในแก๊สโซลีนธรรมดาไร้สารตะกั่วจะอยู่ที่อัตราส่วนไม่เกิน 13% เพราะการผสมเอทานอลมากเกินไปจะทำให้ปริมาณของน้ำในแก๊สโซฮอลล์เกินกว่า 0.7% โดยน้ำหนักและอาจมีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ ในกรณีที่ต้องการใช้อัตราส่วนของเอทานอลมากกว่า13%ความบริสุทธิ์ของเอทานอล ต้องเพิ่มขึ้นมากกว่า 97% ในการทดลองกับเครื่องยนต์ได้พบปัญหาการเกิดสนิมจึงต้องเติม CORROSION INHIBITOR การใช้แก๊สโซฮอลล์ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน น้ำมันเครื่องจะใสเร็วมากขึ้นเนื่องจากแก๊สโซฮอลล์บางส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดจะถูกชะล้างไปรวมกับน้ำมันเครื่อง

ขวัญชัย จ้อยเจริญ(2539) ได้ศึกษาเพื่อหาองศาการจุดระเบิด ที่เหมาะสมของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเมื่อใช้ แก๊สไฮโดรเจน เป็นเชื้อเพลิง ในการทดลองได้ใช้ทั้งน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วและแก๊สไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์ 99.95% เป็น เชื้อเพลิงที่องศาการจุดระเบิดและความเร็วรอบต่าง ๆ ทุกการทดลองได้ทำการปรับส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงและ องศาการจุดระเบิดเพื่อให้ได้กำลังของเครื่องยนต์สูงที่สุด และนำผลจากการทดลองมาพิจารณาหาองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสม โดยพิจารณาจาก กำลังสูงสุด, การใช้เชื้อเพลิงจำเพาะต่ำสุด และการน็อคจากเครื่องยนต์ นอกจากนั้นยังได้เปรียบเทียบ สมรรถนะ และไอเสียจากเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิง ทั้งสองชนิด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถใช้ในเครื่องยนต์ที่มีองศาการจุดระเบิดน้อยกว่า ได้ดีกว่า น้ำมันเบนซิน กำลังสูงสุดเมื่อใช้แก๊สไฮโดรเจนจะต่ำกว่าใช้น้ำมันเบนซิน 43.04-63.26% ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำกว่า 54.55-60.60% และมลพิษจากไอเสียลดน้อยกว่า

ลิขิต ไสหนู(2544) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของเครื่องยนต์เมื่อใช้เอทานอลบริสุทธิ์ 95% เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน โดยได้ศึกษาถึงสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบคือเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเล็กสูบเดียว HONDA รุ่น GX160 K1QT จำนวน 2 เครื่อง โดยเครื่องหนึ่งใช้กับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนและอีกเครื่องหนึ่งใช้กับเชื้อเพลิงเอทานอล ซึ่งในเครื่องยนต์ที่ใช้กับเชื้อเพลิงเอทานอลมีการดัดแปลงเครื่องยนต์เพื่อให้สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงเอทานอลได้ คือเพิ่มขนาดของนมหนู ในคาร์บูเรเตอร์จากเบอร์ 72 เป็น 75 และปรับใช้คอกาาศให้เปิดเพียง 25% ของทั้งหมด การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เป็นการทดสอบแบบความเร็วรอบเปลี่ยนตั้งแต่ 1500 ถึง 4000 รอบต่อนาที ภาระงานเต็มที่ โดยใช้ ฟลูอิดไดนาโมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์วัดแรงบิดของเครื่องยนต์ การทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ ทำการทดสอบที่ภาระงานและความเร็วรอบคงที่ที่ 1.20 กิโลวัตต์ และ 3000 รอบต่อนาทีตามลำดับ ต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง วิเคราะห์ผลจากการวัดขนาดของชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ก่อนและหลังการทดสอบ และวิเคราะห์จากปริมาณโลหะที่ผสมอยู่ในน้ำมันเครื่องผลการทดสอบปรากฏว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอล ให้ค่าแรงบิดและกำลังงานต่ำกว่าประมาณ 3-4% ในขณะที่ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูงกว่า 10-20 % แต่มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าประมาณ 30-50% การสึกหรอที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ทั้งสองไม่แตกต่างกัน ทั้งจากการวัดขนาดของชิ้นส่วนของเครื่องยนต์และจากการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่ผสมอยู่ในน้ำมันเครื่อง แต่หลังจากการทดสอบ 100 ชั่วโมงพบว่าในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลนั้น ภายในห้องเผาไหม้โดยเฉพาะบริเวณวาล์วไอดีจะมีเขม่าเกาะอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างมาก เป็นเขม่าลักษณะสีเทาถึงดำและแข็ง ซึ่งต่างจากในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนที่มีแค่คราบเขม่าสีน้ำตาลเข้มเกาะอยู่บาง ๆ หลุดล่อนได้ง่าย ซึ่งตรงจุดนี้อาจจะก่อให้เกิดปัญหาต่อการทำงานของเครื่องยนต์ได้ ซึ่งจะต้องทำการศึกษากันไปเพื่อแก้ปัญหาตรงจุดนี้ เพราะฉะนั้นโดยสรุปแล้วเอทานอลสามารถใช้กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้ โดยดัดแปลงเครื่องยนต์เพียงเล็กน้อย

ณทพร จินดาประเสริฐ(2544) ได้ศึกษากระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ สมรรถนะ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และมลพิษในไอเสีย การศึกษาได้กระทำการทดสอบกับเครื่องยนต์สี่สูบขนาด 1,600 ซี.ซี. โดยมีการดัดแปลงให้เครื่องยนต์ทำงานเพียงสูบเดียว เชื้อเพลิงที่สนใจในการทดสอบเป็นก๊าซชีวภาพที่มีส่วนผสมของคาร์บอนไดออกไซด์ ในช่วง 17-50 เปอร์เซ็นต์ สภาวะในการทดสอบเป็นแบบความเร็วรอบคงที่ที่ 3,000 รอบต่อนาทีและตำแหน่งการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อคงที่ ผลการศึกษาพบว่าที่สภาวะอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศ 1.0 ตำแหน่งลิ้นผีเสื้อเปิดสุดเมื่อสัดส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 17 เปอร์เซ็นต์ เป็น 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เครื่องยนต์มีกำลังลดลง 4, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลง 1.7, 5.1 และ 10.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นจาก 442 ส่วนในล้านส่วน เป็น 464 , 490 และ 509 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ คาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.97 เปอร์เซ็นต์เป็น 1.02 , 1.11 และ 1.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ออกไซด์ของไนโตรเจนลดลงจาก 735 ส่วนในล้านส่วน เป็น 530, 360 และ 158 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ค่า COV of IMEP เพิ่มขึ้นจาก 1.10 เปอร์เซ็นต์เป็น 1.15, 1.58 และ 3.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่า COV of Pmax เพิ่มขึ้นจาก 7.04 เปอร์เซ็นต์เป็น 7.25, 8.35 และ 10.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ช่วงการก่อตัวของเปลวไฟเพิ่มขึ้นจาก 26.0 องศาเป็น 30.2, 33.7 และ 41.4 องศาตามลำดับ ช่วงการลามของเปลวไฟเพิ่มขึ้นจาก 37.4 องศาเป็น 39.3, 41.4 และ 43.8 องศา ตามลำดับ นอกจากนั้นยังได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของชนิดหัวเทียนต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพในเครื่องยนต์พบว่า เมื่อทดสอบโดยใช้กับก๊าซชีวภาพที่มีส่วนผสมของคาร์บอนไดออกไซด์ 40 เปอร์เซ็นต์ และที่อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศ 0.9 หัวเทียนที่ขั้วกลางทำจากแพลตินัมและเออร์เดียม ไม่ได้ช่วยให้กำลังเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นเมื่อเทียบกับหัวเทียนมาตรฐาน ค่า COV of IMEP เพิ่มขึ้นจาก 1.47 เปอร์เซ็นต์เป็น 1.52 เปอร์เซ็นต์และ 1.56 เปอร์เซ็นต์ ค่า COV of Pmax เปลี่ยนแปลงจาก 6.82 เปอร์เซ็นต์เป็น 6.81 เปอร์เซ็นต์ และ 7.71 เปอร์เซ็นต์ ช่วงการก่อตัวของเปลวไฟเพิ่มขึ้นจาก 31.4 องศาเป็น 32.2 องศาและ 33.1 องศาตามลำดับ ในขณะที่ช่วงการลามของเปลวไฟมีค่าเท่ากัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าหัวเทียนแบบพิเศษซึ่งเชื่อว่ามีควมต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีนั้นกลับส่งผลกระทบต่อสมรรถนะ และคุณลักษณะการเผาไหม้น้อยมาก การเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่ออัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศเท่ากับ 1.0 พบว่า ค่าความดันในกระบอกสูบสูงสุดที่ได้จากแบบจำลองมีค่ามากกว่าการทดสอบเล็กน้อย โดยแตกต่างกัน 1-4.5 เปอร์เซ็นต์ ตามสัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้มีค่ามากกว่าการทดสอบประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพทางความร้อนอินดิเคตมากกว่าการทดสอบประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามผลการคำนวณมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกับผลการทดลอง จากผลการศึกษาทั้งหมดพบว่าเมื่อสัดส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนผสมถูกเจือจางมากขึ้นและค่าความหนาแน่นของพลังงาน (Energy Density) ของส่วนผสมมีค่าลดลง กำลังที่ได้ลดลง ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลง ต้องการมูจุดระเบิดมากขึ้น การเผาไหม้มีลักษณะที่ช้าลง ค่าความแปรผันของการเผาไหม้ในกระบอกสูบมีค่าเพิ่มขึ้นช่วงการก่อตัวของเปลวไฟและช่วงการลามของเปลวไฟใช้เวลายาวนานขึ้น

ปตท.(2533) ทำการศึกษาวิจัยเรื่องผลของน้ำมันแก๊สโซลีนผสมเอทานอลในอัตราส่วน 90 : 10 สมรรถนะและมลพิษรถจักรยานยนต์เพื่อขยายผลการใช้งานแก๊สโซฮอลล์ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าเอทานอลมีค่าออกเทนสูง (เลขออกเทนวิจัย RON = 107) ดังนั้นการผสมเอทานอลในน้ำมันแก๊สโซลีนเป็นการเพิ่มค่าออกเทนซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเอทานอลการผสมเอทานอลในน้ำมันแก๊ส

โซลินได้ข้อสรุปว่า ความสามารถในการขับเคลื่อนด้านการตอบสนองต่อคันเร่งในเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างแก๊สโซฮอล์และน้ำมันแก๊สโซลิน

Brinkman (1981) ได้ทำการศึกษาผลของค่าอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio ,CR) และค่า Equivalence Ratio (ϕ) ต่อสมรรถนะและการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์แก๊สโซลินสูบเดี่ยวที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์เดิมที่ใช้น้ำมันแก๊สโซลินเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งการทดลองใช้เครื่องยนต์ Waukesha สูบเดี่ยวสามารถปรับอัตราส่วนการอัดได้ (Removable Dome Head , RDH) และใช้เชื้อเพลิงเอทานอลความเข้มข้น 95.5 % แทนน้ำมันเบนซิน การทดลองโดยปรับเปลี่ยน CR ต่าง ๆ ตั้งแต่ 7.5 – 18 , ค่า 0 ตั้งแต่ 1.2 ถึง ระดับบางสุด (Lean Limit) และปรับองศาการจุดระเบิดที่ MTB โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันแก๊สโซลิน ที่ CR = 7.5 ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้ ที่ค่า CR เดียวกัน (CR = 7.5) เครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น 3% การปลดปล่อย NOx สูงสุดลดลง 40 % การปลดปล่อย Unburned Fuel (UBF) และ CO ไม่ต่างกัน การปลดปล่อยอินทรีย์สาร (Aldehyde) เพิ่มขึ้น 110-360 % เมื่อเพิ่มค่า CR จาก 7.5-18 เครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น 18 % การปลดปล่อย NOx สูงสุดลดลง 30 % การปลดปล่อย CO ไม่ต่างกับการปลดปล่อยอินทรีย์สาร (Aldehyde) เพิ่มขึ้น 40-50 %

Birrell (1982) ได้ทำการศึกษาผลการสึกกร่อนของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอลผสมกับน้ำมันแก๊สโซลินในเครื่องยนต์ SI ซึ่งเชื้อเพลิงผสมใช้เอทานอล 20% และแก๊สโซลิน 80 % ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 100 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดสอบได้ดังนี้ แหวนลูกสูบตัวบน รัดมีลดลง 0.001 มม. แหวนลูกสูบตัวที่สองรัดมีลดลง 0.006 มม. ระยะระหว่างวาล์วและปาวาล์ว วาล์วไอเสีย 0.343 มม. วาล์วไอดี 0.066 มม.

Paul(1979) ได้ทำการศึกษาการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แก๊สโซลินโดยไม่ผสมซึ่งใช้เอทานอลเข้มข้น 96% ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้ ผลต่อส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ (F/A ratio) พบว่าเมื่อใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์สามารถทำงานที่ F/A บางกว่าเมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลิน ผลต่อการสตาร์ทในอากาศเย็นพบว่าเอทานอลสตาร์ทยากกว่าโดยเฉพาะที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศา ทั้งนี้เพราะเอทานอลมี Vapor Pressure ต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลินและมี Latent Heat of Vaporization สูงกว่าน้ำมันแก๊สโซลิน แต่จากการทดลองเติมน้ำมันแก๊สโซลินลงไปผสม 10% พบว่าเครื่องยนต์สามารถสตาร์ทง่ายขึ้นและสามารถสตาร์ทได้จนถึง 0 องศา ผลการเปลี่ยนอัตราส่วนการอัด (CR) ได้ทำการทดลองกับเครื่องยนต์ที่มี CR = 7.2 และ CR = 11 ได้ผลคือ ที่ CR = 7.2 อัตราการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลมากกว่าน้ำมันแก๊สโซลิน (ลิตร/กม.) เนื่องจากเอทานอลมีค่าความร้อน (Heat Content) ต่ำกว่า แต่ถ้าเปรียบเทียบเป็นพลังงานที่ใช้แล้วเอทานอลจะประหยัดกว่าถึง 20% ที่ CR = 11 การใช้เอทานอลจะประหยัดกว่าเมื่อเดิมเครื่องยนต์ที่ CR = 7.2 อยู่ประมาณ 4% ที่ CR เดียวกัน

เมื่อเติมเอทานอลกับน้ำมันแก๊สโซลีนโดยการปรับให้เอทานอลเข้าระบบเผาไหม้เพิ่มอีก 65% เพื่อทดแทนที่ค่าความร้อนต่ำกว่าของเอทานอล (26,780 kJ/kg ของเอทานอลและ 43,950 kJ/kg ของน้ำมันแก๊สโซลีน) พบว่าเอทานอลให้กำลังสูงกว่าเล็กน้อย ที่ CR = 11 เอทานอลให้กำลังงาน 41.8 KW. สูงกว่า ที่ CR = 7.2 ซึ่งให้กำลังงาน 35.5 KW. อยู่ 18% แรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ CR = 11 สูงกว่าที่ CR = 7.2 ถึง 20.5%

King และ Chui(1984) ได้ทำการศึกษาผลของการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเมทานอล 95% เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนซึ่งใช้เครื่องยนต์ Ford OHC 2.3 L เป็นเครื่องทดสอบโดยทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 2,500 rpm ภาระ 24.8 KW. และ Equivalence Ratio (ϕ) = 1 ทำการทดสอบวันละ 7 ชั่วโมง 14 วัน หรือ 98 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้ ลักษณะการสึกหรอของกระบอกสูบเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเมทานอล มีลักษณะการสึกหรอตามแนวเส้นรอบวงของกระบอกสูบเป็นวงรีและการสึกหรอจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่สับที่ 1 และ 4 ส่วนสับที่ 2 และ 3 จะสึกหรอร่องลงมา การสึกหรอของกระบอกสูบเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเมทานอลมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนประมาณ 6 เท่า เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเมทานอลใช้น้ำมันหล่อลื่นประมาณ 6.15 ลิตร ในขณะที่เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนใช้น้ำมันหล่อลื่นเพียง 1.1 ลิตร ซึ่งมากกว่าประมาณ 6 เท่า ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งสรุปว่าเกิดจากเมทานอลสามารถแทรกซึมชั้นฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นที่ผนังกระบอกสูบได้ทำให้เกิดการรวมตัวกันและถูกเผาไหม้ออกไปด้วย จึงทำให้มีการใช้น้ำมันหล่อลื่นและมีการสึกหรอที่มากกว่า

Myung และคณะ(1993) ได้ทำการศึกษาสมรรถนะและความทนทานของเครื่องยนต์ (Engine Durability Test) ซึ่งเป็นการทดสอบการทนต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์อันเนื่องมาจากการกัดกร่อน (corrosion) ของเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งในการทดสอบนี้ได้ใช้เชื้อเพลิงเมทานอลผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีนในอัตราส่วนเมทานอล 85% และแก๊สโซลีน 15 % หรือเรียกว่าเชื้อเพลิง M85 ทดสอบเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน ซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ Hyundai รุ่น 1991 MY SCOUPE 4 สูบ 1.5 ลิตร อัตราส่วนกำลังอัด CR = 10.1 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้ สมรรถนะของเครื่องยนต์ จากการทดสอบหาลำดับสูงสุด (Maximum Power) ที่สภาวะ Full load ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง M85 ให้ Power Output สูงขึ้นเล็กน้อยประมาณ 6 % เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน ทั้งนี้เพราะว่าเชื้อเพลิง M85 มีค่า Latent Heat of Evaporization ที่สูงกว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนทำให้อุณหภูมิในท่อไอดีต่ำ อากาศที่ดูดเข้ามาจึงมีความหนาแน่นสูงขึ้นทำให้ลูกสูบดึงอากาศเข้าได้มากขึ้นมีผลให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น การสึกหรอของเครื่องยนต์ ทำการทดสอบโดยวัดปริมาณเศษโลหะในน้ำมันหล่อลื่นทุก ๆ 12 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาในการทดสอบ 96 ชั่วโมง จากผลการทดสอบปรากฏว่าเชื้อเพลิง M85 นั้นมีการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นสูงมากหลังจากชั่วโมงที่ 48 คือ

จากปริมาณเศษโลหะ 100 ppm ที่ชั่วโมงที่ 48 เพิ่มเป็น 360 ppm ในชั่วโมงที่ 60 และเพิ่มเป็น 800 ppm ในชั่วโมงที่ 72 ในขณะที่เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนมีค่าการสึกหรอเพียงเล็กน้อย ซึ่งตลอดการทดสอบ วัดปริมาณเศษโลหะได้สูงสุดแค่ 50 ppm เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่าเชื้อเพลิงเมทานอลมีผลทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องยนต์ในปริมาณที่มากและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อใช้ไปนาน วิธีแก้ไขอาจใช้น้ำมันหล่อลื่นชนิดพิเศษเพื่อลดการกัดกร่อนของเชื้อเพลิงเมทานอล

จากบทปริทัศน์วรรณกรรมที่ได้ทำการสืบค้นพบว่า ผู้วิจัยส่วนใหญ่เน้นการวิจัยพลังงานทดแทนประเภทต่างๆ นอกเหนือจากปิโตรเลียม ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าการนอกเหนือจากเชื้อเพลิงที่มีใช้ในปัจจุบันแล้วยังมีเชื้อเพลิงปิโตรเลียมบางจำพวกที่ปัจจุบันใช้น้อยลงและบางประเทศมีราคาถูกมาก เช่น น้ำมันก๊าด ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงโดยนำแนวความคิดจากบทปริทัศน์วรรณกรรมที่ได้ไปใช้ เช่น เรื่องกระบวนการเผาไหม้ อัตราส่วนกำลังอัด การสึกหรอ การทดสอบสมรรถนะ โดยขอบเขตในการวิจัยนั้นกำหนดโดยความต้องการของลูกค้าที่ต้องการเครื่องยนต์ที่สามารถใช้เชื้อเพลิงราคาถูกและมีประสิทธิภาพที่ยอมรับได้

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

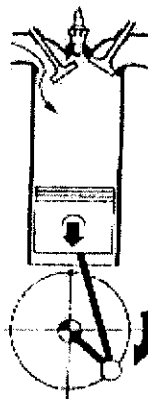
เครื่องยนต์สันดาปภายในขนาดเล็ก เป็นเครื่องจักรกลต้นกำลังที่มีการนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลายเช่น เครื่องตัดหญ้า เครื่องสูบน้ำ เครื่องจักรกลการเกษตร และงานสนามอื่น ๆ เครื่องยนต์เล็กมีทั้งเครื่องยนต์แก๊สโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์สันดาปภายในใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอน (น้ำมันดิบที่นำมากลั่นเป็นน้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล) เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ถูกสร้างเป็นผลสำเร็จได้โดย ดร.ออตโต (Dr.Otto) ชาวเยอรมันในปี พ.ศ.2419 หลังจากนั้นปี พ.ศ.2435 ดร.รูดอล์ฟ ดีเซล (Dr.Rudolf Diesel) ชาวเยอรมันได้ใช้หลักการการทำงานของ ดร.ออตโต สร้างเครื่องยนต์ที่มีวัฏจักรการทำงาน 4 ครั้งครบรอบการทำงาน สร้างเครื่องยนต์ที่ใช้การอัดอากาศเพียงอย่างเดียวให้มีปริมาตรเล็กลงมาก จนมีผลให้เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นมากจนจุดระเบิดเชื้อเพลิงได้ เมื่อฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปกระทบกับอากาศก็จะเกิดการเผาไหม้ เราเรียกเครื่องยนต์ประเภทนี้ว่าเครื่องยนต์ดีเซล

2.2.1 การทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

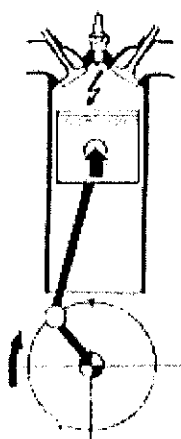
เครื่องยนต์ 4 จังหวะ จะมีจังหวะการทำงานทั้ง 4 ที่ทำให้ครบรอบการทำงานคือ จังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะระเบิดหรือกำลัง และจังหวะคายการจะบรรจุไอดีและคายไอเสียจะใช้กลไกช่วยให้เกิดการเปิดปิดลิ้นไอดี ไอเสีย ทำงานจนครบรอบการทำงาน เครื่องยนต์ 4 จังหวะ จะทำงานครบรอบการทำงาน เมื่อเพลาช้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ จุดระเบิด 1 ครั้ง

จังหวะดูด (Suction Stroke) เมื่อลิ้นไอดีเปิด ลิ้นไอเสียปิด ลูกสูบจะเลื่อนลงสู่จุดศูนย์ตายล่างเพื่อดูดไอดี (ไอดีของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนคือส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศ) ผ่านทางลิ้นไอดีเข้าไปในการะบอบดูด



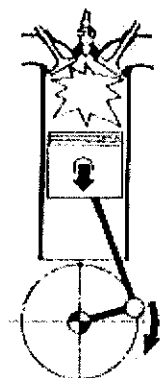
ภาพประกอบ 1 แสดงรูปการเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์ จังหวะดูด

จังหวะอัด (Compression Stroke) เมื่อลูกสูบผ่านจุดศูนย์ตายล่างขึ้นสู่จุดศูนย์ตายบน ในจังหวะอัด ลิ้นไอดีจะปิด ลิ้นไอเสียยังคงปิดอยู่ ไอดีจะถูกอัดตัวให้มีปริมาตรน้อยลง ทำให้ไอดีมีกำลังดันสูง



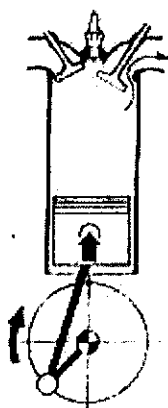
ภาพประกอบ 2 แสดงรูปการเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์ จังหวะอัด

จังหวะจุดระเบิดหรือจังหวะกำลัง (Power Stroke) ลูกสูบเลื่อนขึ้นก่อนถึงจุดศูนย์ตายบนในจังหวะอัดเล็กน้อย หัวเทียนจะจุดประกายไฟเกิดการลุกไหม้อย่างรวดเร็ว กำลังงานที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ก็จะดันลูกสูบให้เลื่อนลงอย่างรุนแรง



ภาพประกอบ 3 แสดงรูปการเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์ จังหวะจุดระเบิดหรือจังหวะกำลัง

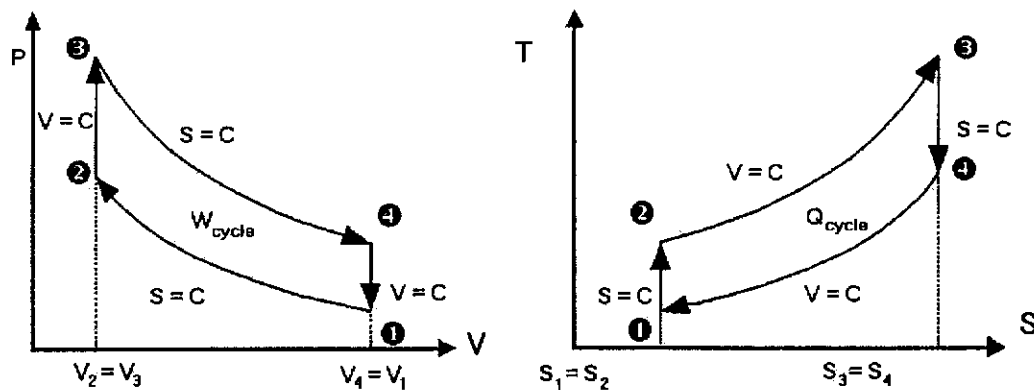
จังหวะคาย (Exhaust Stroke) เมื่อลูกสูบเลื่อนลงถึงจุดศูนย์ตายล่างลิ้นไอเสียเปิดและเมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นในจังหวะคายไอเสีย ลูกสูบจะดันไอเสียออกไปจากกระบอกสูบทางช่องลิ้นไอเสีย



ภาพประกอบ 4 แสดงรูปการเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์ จังหวะคาย

การทำงานจะเป็นเช่นนี้ตลอดเวลาที่เครื่องยนต์ทำงาน คือจังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะระเบิด และจังหวะคาย โดยหมุนเวียนเป็นวัฏจักรติดต่อกันไปจนกว่าจะสิ้นสุดการทำงานเราเรียกวัฏจักรการทำงานนี้ได้ชื่ออย่างหนึ่งว่าวัฏจักรออตโต (Otto Cycle)

วัฏจักรออตโต (Air Standard Otto Cycle)



ภาพประกอบ 5 แสดงแผนภาพ P-V และ T-S Diagram

จากภาพประกอบ 5 แสดงแผนภาพกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโรลีน ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของ P-V และ T-S Diagram

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_A} = \frac{m_{cv}(T_3 - T_2) - m_{cv}(T_4 - T_1)}{m_{cv}(T_3 - T_2)}$$

$$= 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (2.1)$$

$$= 1 - \frac{1}{(r_c)^{k-1}} \quad (2.2)$$

จากสมการ 2.2 จะเห็นว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ขึ้นอยู่กับ r_c (อัตราส่วนการอัด) ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้อัตราส่วนการอัดสูงได้ตามที่ต้องการเพราะองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ การชิงจุดระเบิด เป็นต้น และการหาประสิทธิภาพความร้อนที่กล่าวมา เป็นเพียงการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของก๊าซอุดมคติเท่านั้น

แต่ในทางปฏิบัติมีส่วนประกอบอีกหลายอย่างที่ทำให้เกิดความสูญเสีย เช่น ระบบหล่อเย็น สภาพอากาศ ความดัน เป็นต้น

2.2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

น้ำมันเบนซินหรือน้ำมันแก๊สโซลีนเป็นน้ำมันที่ได้จากการปรุงแต่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันโดยตรงหรืออาจจะได้จากการแยกก๊าซธรรมชาติเหลวหรือแก๊สโซลีนธรรมชาติ น้ำมันเบนซินจะผสมสารเพิ่มคุณภาพเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน

น้ำมันก๊าดหรือที่เรียกว่า คีโรซีน (Kerosene) นั้นเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียมการทำอุตสาหกรรมปิโตรเลียมในสมัยก่อนนั้น ผลิตภัณฑ์หลักของผู้กลั่นน้ำมันก็คือ น้ำมันก๊าด เพราะคนส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำมันก๊าดไปจุดตะเกียงให้แสงสว่างมากกว่าในปัจจุบันน้ำมันก๊าดได้นำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นมากมาย

ตาราง 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

Substance		Gasoline	Kerosene
Formula		(C ₈ H ₁₈)	(C ₁₂ H ₂₆)
Flash Point	(°K)	320	330
Boiling temp.	(°K)	360	477
Autoignition temp	(°K)	650	500
Density	(kg/m ³)	730-760	780-840
Surface tension	(N/m)	0.025	0.028
Thermal capacity	(J / kg. °K)	2,100	2,000
Thermal conductivity	(W / m. °K)	-	0.15
Dynamic viscosity	(Pa.s)	380	2,400
Higher Heating Value	(MJ / kg)	48	46
Theoretical air / fuel ratio	(kg / kg)	14.7	15

2.2.3 การสันดาป (Combustion)

การสันดาปหรือการเผาไหม้ เป็นปฏิกิริยาทางเคมีรูปแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจน ทำให้องค์ประกอบทางเคมี (Chemical Composition) เกิดการเปลี่ยนแปลงและมีผลทำให้เกิดพลังงานความร้อนซึ่งความร้อนที่ได้จากการสันดาปนี้สามารถใช้เป็นแหล่งความร้อนแก่เครื่องยนต์ความร้อน (Heat Engine) ออกซิเจนที่ใช้ในการสันดาปกับเชื้อเพลิงโดยปกติทั่วไปได้จากบรรยากาศบนผิวโลก ซึ่งเราเรียกว่าอากาศ (Air) และอากาศโดยทั่วไปจะประกอบด้วยแก๊สหลัก 2 ชนิด คือ ไนโตรเจน (N_2) ประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน (O_2) ประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น อาร์กอน (Ar) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ฮีเลียม (He) นีออน (Ne) คริปทอน (Kr) ซีลอน (Xe) และอื่น ๆ เป็นต้นเพื่อลดข้อจำกัดและความยุ่งยากในการคำนวณ ให้ถือว่าในบรรยากาศจะประกอบด้วยแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจนเท่านั้น (เพราะแก๊สอื่นมีปริมาณน้อยมากจนสามารถตัดออกได้) สำหรับการสันดาปเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สิ่งที่สำคัญ คือ ปริมาณอากาศที่ใช้ในการสันดาปอย่างสมบูรณ์ดังนั้นก็จำเป็นต้องวิเคราะห์การสันดาปของสารเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ในการวิเคราะห์อาจใช้มวลของธาตุหรือสารประกอบเป็นหลัก เรียกว่า "การวิเคราะห์โดยมวล" ถ้าใช้ปริมาตรของธาตุหรือสารประกอบเป็นหลักเรียกว่า "การวิเคราะห์โดยปริมาตร" การวิเคราะห์เชิงมวลจะอาศัยมวลของอะตอมหรือโมเลกุลของเชื้อเพลิงเป็นหลัก เมื่อการสันดาปเป็นแบบสมบูรณ์มวลของธาตุหรือสารเชื้อเพลิงก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาจะต้องมีค่าเท่ากันการสันดาปคาร์บอนอย่างสมบูรณ์ จะได้ดังสมการ

สมการสัญลักษณ์	C	+	O_2	=	CO_2
สมการมวลโมเลกุล	12	+	(16 x 2)	=	{ 12 + (16 x 2) }
สมมูลมวล	44			=	44

มวลด้านซ้ายมือและด้านขวามือเท่ากันแสดงว่าสมการสมดุล ดังนั้นจะได้ว่า

$$12 \text{ มวล C} + 32 \text{ มวล } O_2 = 44 \text{ มวล } CO_2$$

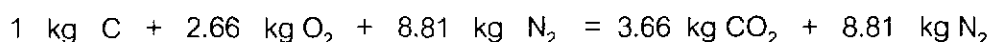
เพื่อให้่ายในการพิจารณาทำสารเชื้อเพลิงให้อยู่ในรูป 1 หน่วย และเพื่อให้่ายต่อการเปรียบเทียบกระทำโดยหารตลอดด้วย 12 จะได้สมการเป็น

$$1 \text{ มวล C} + 2.66 \text{ มวล } O_2 = 3.66 \text{ มวล } CO_2$$

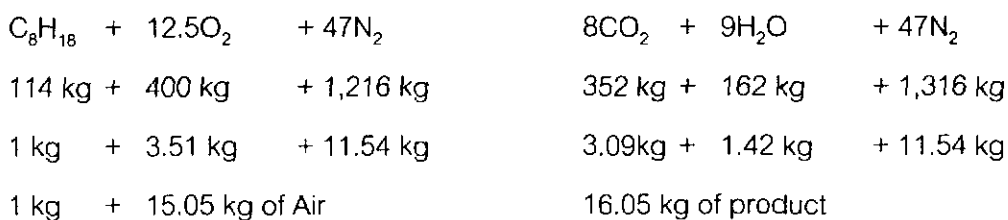
เมื่อได้สมการการสันดาปแล้วเพื่อความเข้าใจควรแทนค่าหน่วยมวลด้วยระบบใดก็ได้ ในที่นี่จะใช้หน่วย เอสไอ (SI-Unit) โดยใช้หน่วยเป็น kg (กิโลกรัม)



จากสมการจะเห็นว่ามวลของคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลจากการทำปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจน แต่เนื่องจากในบรรยากาศมีส่วนประกอบของออกซิเจนโดยมวลเท่ากับ 23.2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น 2.66 kg O₂ คือ 23.2 เปอร์เซ็นต์ ของอากาศที่ต้องการใช้ในการสันดาปกับคาร์บอนอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจะได้มวลอากาศ = 2.66/0.232 = 11.47 kg แต่เนื่องจากในอากาศประกอบด้วยออกซิเจนและไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบหลัก ดังนั้นอากาศ 11.47 kg จะประกอบด้วยไนโตรเจนเท่ากับ 11.47 - 2.66 = 8.81 kg ไนโตรเจนเป็นแก๊สเฉื่อยไม่มีส่วนในกระบวนการสันดาป เมื่อปรากฏอยู่ในส่วนผสมก่อนเผาไหม้ปริมาณเท่าใดก็ยังคงอยู่ในไอเสียเท่าเดิม ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการแบบเต็มรูปจะได้ดังนี้

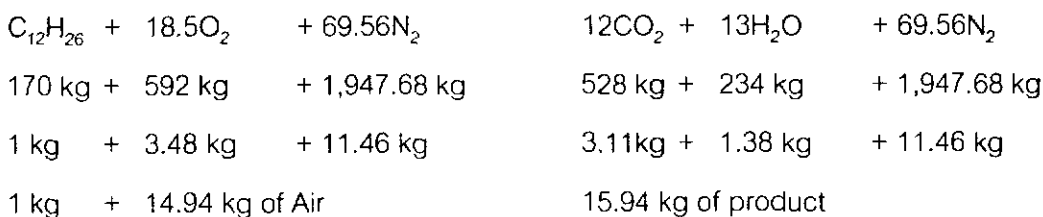


การเผาไหม้แก๊สโซลีน



ปริมาณอากาศที่ต้องใช้ 15.05 kg ต่อเชื้อเพลิง 1 kg (A/F=15.05)

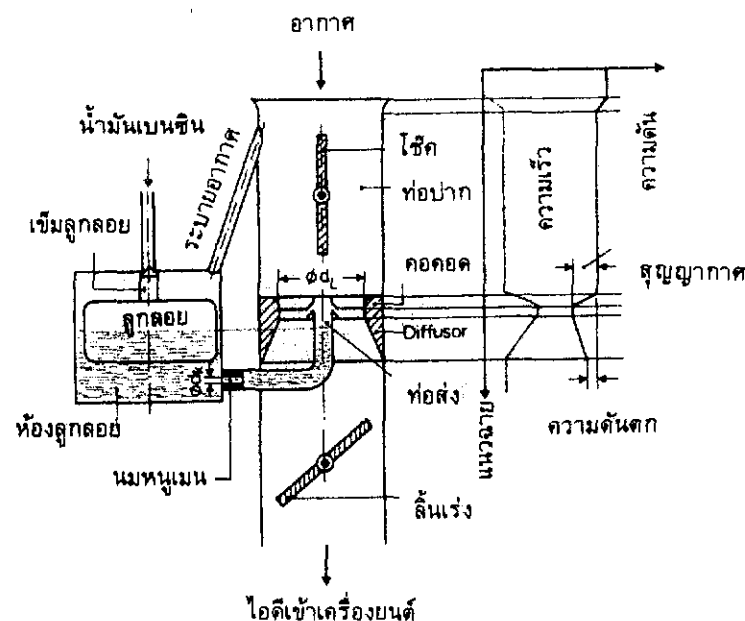
การเผาไหม้น้ำมันก๊าด



ปริมาณอากาศที่ต้องใช้ 14.94 kg ต่อเชื้อเพลิง 1 kg (A/F=14.94)

2.2.4 การคำนวณเกี่ยวกับคาร์บูเรเตอร์

การหาค่าต่าง ๆ ของคาร์บูเรเตอร์ เช่น ขนาดของคอคอด ขนาดของนมหนูเมน ซึ่งจะได้ ออกมาเป็นค่าใกล้เคียง การหาค่าที่แน่นอนนั้น ทำได้โดยการทดสอบ ค่าใกล้เคียงนี้ใช้ในการคำนวณ ง่าย ๆ ได้ต่อไปนี้คือ อากาศเป็นตัวกลางที่ไม่บีบอัด (Incompressible) ไม่คิดการสูญเสียทางการไหล (Fluid Mechanic) สูญญากาศหลังนมหนูเมนเท่ากับที่ท่อส่งน้ำมันและท่อปากคาร์บูเรเตอร์



ภาพประกอบ 6 แสดงรูปส่วนประกอบภายในของคาร์บูเรเตอร์

สมการหานมหนูหลัก

$$d_K = d_L \sqrt{\frac{\alpha_L}{\alpha_K} \frac{1}{\lambda L_{\min}}} \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_K}} \quad (2.3)$$

สัมประสิทธิ์การไหลของอากาศ $\alpha_L \approx 0.8$

สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำมันก๊าด $\alpha_K \approx 0.85$

ความหนาแน่นของน้ำมันก๊าด $\rho_K \approx 0.840$ kg/Liter

ความหนาแน่นของอากาศ $\rho_L \approx 1.2$ kg/m³

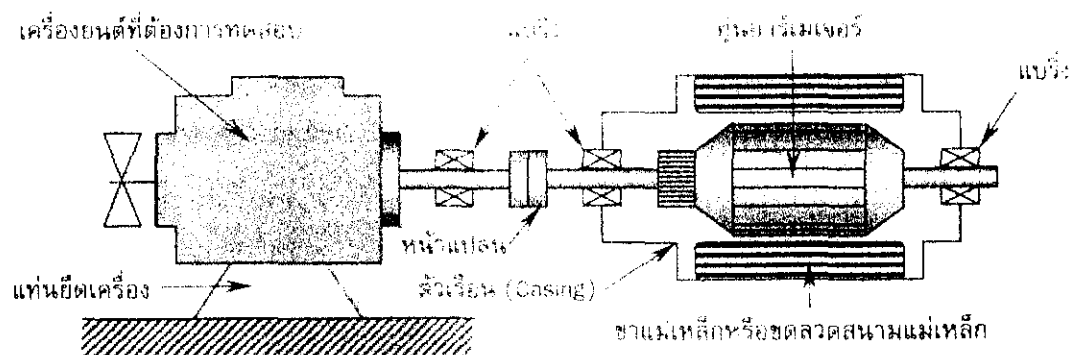
เส้นผ่านศูนย์กลางที่คอคอด $d_L = 15mm.$ (วัดที่ตัวคาร์บูเรเตอร์)

คำนวณหาปริมาณต่ำสุดของอากาศที่ต้องการใช้ ($L_{\min}$) ใช้ทฤษฎีวิธีการวิเคราะห์การสันดาปโดยมวล

2.2.5 การวัดและทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

เมื่อได้ทราบถึงหลักการทำงาน กระบวนการต่าง ๆ ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน อุณหพลศาสตร์เกี่ยวกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เชื้อเพลิง การสันดาปและสมการการสันดาป ผลผลิตที่ได้จากการสันดาป สิ่งที่จะต้องทราบอีกประการหนึ่งก็คือการวัดและทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ทั้งนี้ก็เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปปรับปรุงเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่เนื่องจากเครื่องยนต์สันดาปภายในมีตัวแปรหรือมีความสลับซับซ้อนมาก จึงจำเป็นต้องศึกษาเพื่อให้เข้าใจถึงวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าต่าง ๆ หรือผลลัพธ์ที่ต้องการทราบ จริงแล้วสมรรถนะของเครื่องยนต์อาจมีความหมายหลายประการ เช่น ความสามารถในการแข่งประสิทธิภาพ แรงบิด กำลังงาน ความเร็วหรือความเร็วรอบ และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการวัดที่สำคัญ ๆ เท่านั้น เช่นการวัดแรงม้า การหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ตลอดจนค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ถือว่าเป็นเครื่องมือสำหรับทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์โดยเครื่องมือนี้จะวัดค่าแรงบิดจากนั้นจึงนำค่าแรงบิดที่ได้ไปหาค่าแรงม้าของเครื่องยนต์ต่อไป ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ทำงานทั่วไปมีหลายแบบ การตัดสินใจเลือกใช้แบบไหนขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ต้องการศึกษาและความเหมาะสมในหลาย ๆ ด้าน แม้ว่าไดนาโมมิเตอร์จะมีหลายแบบ แต่หลักการวัดและค่าที่ได้จะไม่แตกต่างกันมากนัก ค่าส่วนใหญ่ที่ต้องการวัดจะเป็นค่าแรงบิดภายใต้เงื่อนไขที่เครื่องยนต์รับภาระในปริมาณต่าง ๆ การวัดแรงม้าเบรค (Brake Horsepower) มีความสำคัญและเป็นการวัดที่ไม่ยุ่งยาก การวัดส่วนใหญ่จะกระทำในห้องปฏิบัติการและการวัดแรงม้าเบรคสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น โดยใช้โพรปีเบรคหรือใช้สายพานเชือก ไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์ และไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า เป็นต้น ไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า (Electrical Dynamometer) บางทีอาจมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เอ็ดดี้เคอร์เรนท์ไดนาโมมิเตอร์ (Eddy Current Dynamometer) ก็ได้ เพราะโดยหลักการทดสอบจะนำเอนเนอเรเตอร์ (ไดนาโมหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) มาติดตั้งอยู่บนเพลลาซึ่งมีแปรงรองรับ (ตัวเรือนเอนเนอเรเตอร์หมุนอิสระ) ขณะเดียวกันจะต่อเพลลาของอาเมเจอร์ (ทุ่นขดลวดตัวหมุน) เข้ากับเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์หมุนทุ่นอาเมเจอร์ก็จะหมุนด้วยสนามแม่เหล็กที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กซึ่งอยู่กับที่ ทุ่นอาเมเจอร์จะบังคับให้ตัวเรือนเอนเนอเรเตอร์หมุนตามทุ่นอาร์มเมเจอร์ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งก็จะสามารถหาแรงบิดที่เกิดขึ้นได้แล้วนำมาคำนวณเป็นแรงม้าของเครื่องยนต์ได้



ภาพประกอบ 7 แสดงรูปไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า (Electrical Dynamometer)

สำหรับการหาแรงม้าเครื่องยนต์โดยนำเอนเนอเรเตอร์มาต่อกับเครื่องยนต์แล้ววัดเอาท์พุต (Output) ที่ได้ของเอนเนอเรเตอร์มาคำนวณหาค่าแรงม้าเลยที่เดียวก็สามารถกระทำได้ แต่การวัดแบบนี้ไม่ค่อยเป็นที่ยอมรับเท่าใดนัก เนื่องจากจะต้องมีการปรับแก้ค่าประสิทธิภาพของเอนเนอเรเตอร์ ซึ่งประสิทธิภาพของเอนเนอเรเตอร์มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง เช่น ความเร็วรอบและอุณหภูมิ เป็นต้น เมื่อพิจารณากำลังเบรคที่ได้จากไดนาโมมิเตอร์ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

$$BHP = \frac{2\pi NT}{4,500} = \frac{NT}{716.2} \quad (2.4)$$

เมื่อ	BHP	=	แรงม้าเบรค (Ps)
	N	=	จำนวนรอบการจู่ระเบิด (rpm)
	T	=	แรงบิดของเครื่องยนต์ (kg.m)
	1 Ps	=	4,500 (kg-m/min)
เมื่อ	T	=	$F \times r$
	F	=	แรงที่ใช้ในการเบรค (kg)
	r	=	แขนแรงที่ใช้ในการเบรค (m)

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel Consumption) เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการชี้บ่งถึงสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์และเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาเลือกใช้เครื่องยนต์ได้เช่นกัน

โดยปกติประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ได้จะวัดจากความสามารถในการทำงานหรือกำลังส่งออกที่เพลาก็ได้ต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้หมดไปต่อเวลา ดังนั้นอัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงต่อเวลาต่อกำลังที่เครื่องยนต์ผลิตได้เรียกว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ในที่นี้จะกล่าวถึงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบนฐานเบรค (Brake Specific Fuel Consumption ; bsfc) หมายถึง ปริมาณหรือมวลเชื้อเพลิงที่ใช้หมดไปต่อแรงม้าเบรคหรือกำลังเบรคที่ได้ ดังสมการ

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{B.H.P} \quad (2.5)$$

เมื่อ bsfc = ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบนฐานเบรค (kg/Ps-hr , m³/Ps-hr)
 $\dot{m}_f$ = ปริมาณหรือมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ (kg/hr , m³/hr)
 BHP = แรงม้าเบรค (Ps)

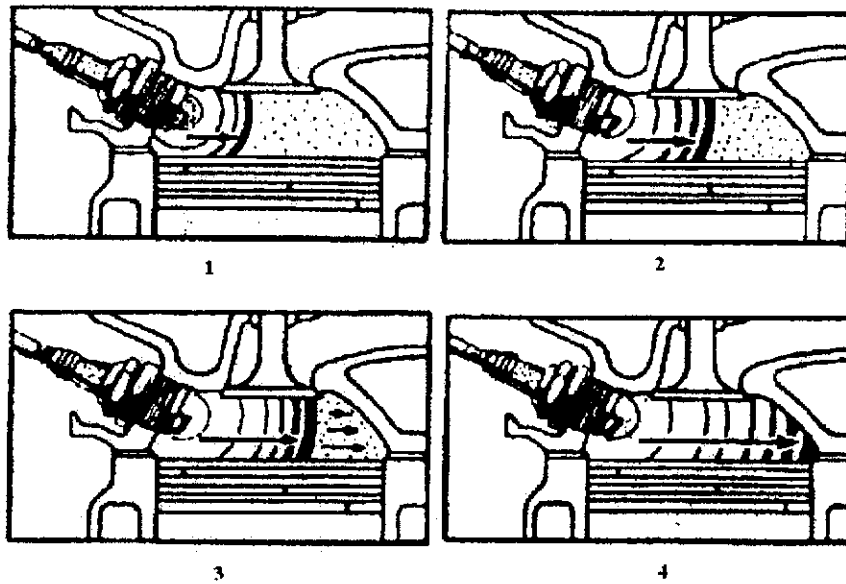
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรค (Brake Specific Energy Consumption) คือจำนวนของพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อกำลังงานเบรคของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นกำลังงานเบรคของเชื้อเพลิงหาได้จากสมการ

$$bsec = Q_{H.V} \times bsfc \quad (2.6)$$

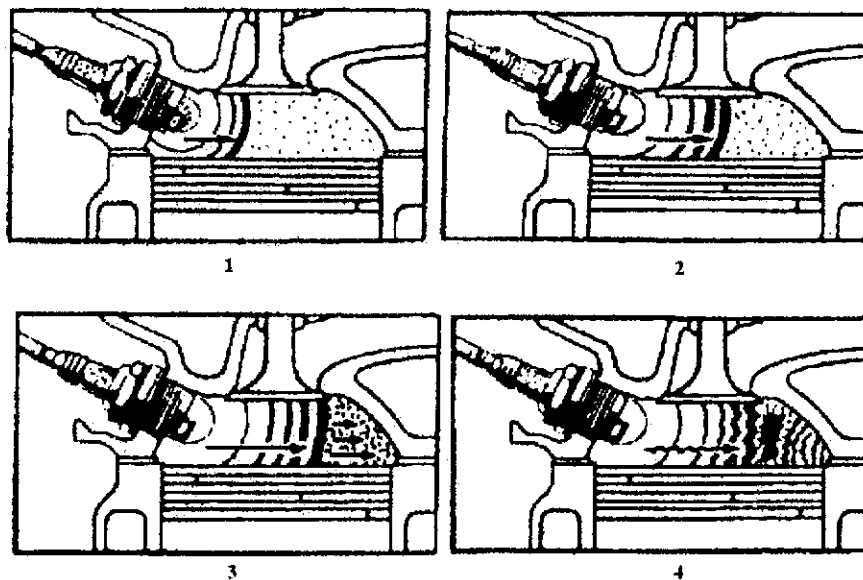
เมื่อ $Q_{H.V}$ = ค่าความร้อนเชื้อเพลิง kJ/kg

2.2.6 การน็อกในเครื่องยนต์ (Combustion Knock in Engine)

การน็อกในเครื่องยนต์มีผลเสีย คือ ทำให้เกิดเสียงเคาะจากภายในเครื่องยนต์ เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของลูกสูบ สูญเสียกำลัง เกิดความร้อนสูง ทำให้เกิดการขยายตัวมีผลทำให้ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นที่เกาะบนผนังกระบอกสูบถูกกวาดไล่ออกไปอาจทำให้ผนังกระบอกสูบหรือลูกสูบไหม้ได้ หากรุนแรงอาจทำให้ลูกสูบติดได้และที่สำคัญอาจทำให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ เช่น แบริ่ง ลูกสูบ แหวนลูกสูบ เป็นต้น ชำรุดเสียหายเร็วกว่าปกติ การน็อกในเครื่องยนต์ที่จุดชนวนผสมด้วยประกายไฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การน็อกเนื่องจากการชิงจุด (Preignition Knock) และการน็อกเนื่องจากการจุดตัวเอง (Detonation Knock)



ภาพประกอบ 8 แสดงรูปการเผาไหม้ปกติ



ภาพประกอบ 9 แสดงรูปการเผาไหม้ผิดปกติ

ปัจจัยที่ทำให้เกิดการน็อคจากการจุดระเบิดด้วยตัวเอง

อัตราส่วนการอัด (Compression Ratio)

ความดันจากการอัดตัว การเพิ่มความดันในการอัดตัว โดยไม่เปลี่ยนแปลงปัจจัยอื่น มีผลทำให้เกิดการน็อคจากการจุดระเบิดด้วยตัวเองได้ง่ายขึ้นเพราะความดันในห้องเผาไหม้สูงขึ้น

อุณหภูมิจากการอัดตัว มีความสัมพันธ์กับความดัน นั่นก็คืออุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้ความดันเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เกิดการน็อคได้ง่ายขึ้น ดังนั้นหากเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่มีอัตราอัดสูง เมื่อต้องการลดการน็อคลงต้องมีระบบระบายความร้อนที่ดี โดยเฉพาะการระบายความร้อนของลิ้นไอเสีย

ไอเสียตกค้างจะทำหน้าที่เจือจางไอดี แม้จะเพิ่มอัตราการอัดตัวสูงขึ้น แต่หากมีไอเสียตกค้างมากก็จะทำให้แนวโน้มการน็อคลดลง

จังหวะเหลื่อมของลิ้น (Overlap) มีผลต่อการเจือจางโดยไอเสียตกค้าง ความดันในจังหวะดูดไอดี และความหนาแน่นไอดี ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการเกิดการน็อคทั้งสิ้น

สภาพไอดี

อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด (ได้กำลังงานสูงสุด) จะเกิดการน็อคจากการจุดตัวเองรุนแรงที่สุด ดังนั้นการปรับส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงสูงหรือต่ำมีแนวโน้มทำให้เกิดการน็อคลดลง

การกระจายไอดี เชื้อเพลิงที่ระเหยได้ง่ายย่อมมีค่าออกเทนสูงเชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนสูงจะต้านการน็อคได้ดีกว่าค่าออกเทนต่ำ การระเหยไอดีย่อมทำให้การกลายเป็นไอดีสมบูรณ์เมื่ออยู่ในท่อไอดีและกระจายไปยังแต่ละสูบได้เท่ากัน

อุณหภูมิไอดี การกลายเป็นไอดีจะสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิไอดีให้สูงขึ้น การกระจายไอดีเข้ากระบอกสูบจะดีขึ้น แต่จะทำให้ความหนาแน่นไอดีลดลง ทำให้ความดันไอดีลดลงด้วย แนวโน้มการน็อคจากการจุดตัวเองจะลดลง

ความหนาแน่นไอดี การติดตั้งซูเปอร์ชาร์จเป็นการเพิ่มปริมาณไอดีหรือเพิ่มความหนาแน่นของไอดี ทำให้ความดันและอุณหภูมิของไอดีสูงขึ้น จึงทำให้เกิดการน็อคได้ง่ายขึ้น

การจุดระเบิด

การจัดวางตำแหน่งหัวเทียน หากให้มีระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้ายที่เกิดการเผาไหม้ห่างกันมาก ๆ แนวโน้มในการเกิดการน็อคจากการจุดตัวเองจะสูงขึ้นนั่นก็คือเครื่องยนต์ที่มีขนาดใหญ่ย่อมมีโอกาสเกิดการน็อคได้มากกว่าเครื่องยนต์ขนาดเล็กการวางหัวเทียนไว้ใกล้ลิ้นไอดี ลิ้นไอเสียจะเป็นตัวเร่งให้ไอดีส่วนสุดท้ายมีอุณหภูมิสูงขึ้นแนวโน้มการจุดตัวเองสูงตามด้วย ถ้าวางไว้ใกล้ลิ้นไอเสียจะลดแนวโน้มนี้ลงได้หรืออาจใช้หัวเทียนจุดระเบิด 2 หัวเพื่อลดระยะห่างดังกล่าวได้เช่นกัน

จังหวะการจุดระเบิด การตั้งจังหวะจุดระเบิดล่วงหน้าไว้มากๆมีแนวโน้มทำให้เกิดการน็อคจากการจุดตัวเองมากขึ้น ดังนั้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องลดจังหวะการจุดระเบิดล่วงหน้าลง ให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะ

คุณลักษณะของเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่มีอุณหภูมิจุดตัวเองต่ำ มีแนวโน้มทำให้เกิดการน็อคจากการจุดตัวเองสูงตามไปด้วย

ระยะเวลาของความล่าช้าจากการจุดระเบิด ยังมีระยะเวลาของความล่าช้าจากการจุดระเบิดกับไอดีที่ยังไม่ได้เผาไหม้ยังทำให้แนวโน้มการเกิดการน็อคมากขึ้น การเพิ่มระยะทางที่เปลวไฟจากจุด เริ่มต้นและจุดสุดท้ายที่เกิดการลุกไหม้ การลดการหมุนเวียนของไอดีเข้ากระบอกสูบและลดความเร็วของเครื่องยนต์ จะทำให้มีโอกาสเกิดการน็อคได้ง่ายขึ้น

บทที่ 3

อุปกรณ์วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เครื่องยนต์ KAWASAKI FG230D มีข้อมูลเทคนิคดังนี้



ภาพประกอบ 10 แสดงรูปเครื่องยนต์ KAWASAKI FG230D

เครื่องยนต์ / รุ่น	KAWASAKI FG230D
แบบเครื่องยนต์	1 สูบ 4 จังหวะ สูบตั้ง วาล์วข้าง ระบายความร้อนด้วยอากาศ
ขนาดกระบอกสูบXระยะชัก	74 mm.X54 mm.
ความจุกระบอกสูบ	232 cc.
อัตราส่วนการอัด	6.4 : 1
กำลังงานสูงสุด	6.0 Ps ที่ 4,000 rpm
แรงบิดสูงสุด	1.2 kg.m ที่ 2,800 rpm
คาร์บูเรเตอร์	แบบลูกลอย นมหนูหลักคงที่
หัวเทียน	NGK BP4HS
ระบบจุดระเบิด	ทราวนซิสเตอร์แมกนีโต
ระบบสตาร์ท	เชือกดึงสตาร์ท
ระบบควบคุมความเร็ว	แบบกลไก

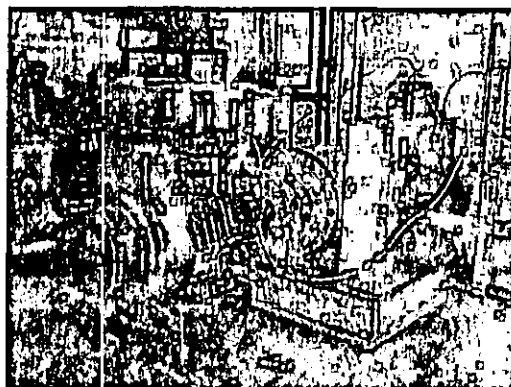
ระบบหล่อลื่น

วัดสาด

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยสุด

305 g / Ps-hr

3.1.2 ไดนาโมมิเตอร์ มีข้อมูลเทคนิคดังนี้



ภาพประกอบ 11 แสดงรูปไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

Electric Eddy current Dynamometer

Model	A3 - K
Maximum absorbable power	15 Ps
Maximum absorbable torque	5 kg.m
Maximum speed	5,000 rpm
Lubricating system	Automatic splash lubrication system
Minimum necessary flow-rate of Cooling water	> 7.5 l/min.
Pressure of cooling water at the inlet of dynamometer	$0.5 < P < 1$ atg.

Automatic Controller

Model	AMANO NR-1000-02
Control systems	Constant speed and constant electric field current control system
Allowable range of rotation speed setting	1,000 – 5,000 rpm
Allowable range of over-run speed setting	2,000 – 6,000 rpm
Rotational speed sensor	ONOSOKU MODEL MP-910
Digital Tachometer (Maximum display)	9,999 rpm

Load sensor and digital load meter

Load sensor	SHINKO TUSHIN Model U3cl-20K
Maximum load	30 kg
Digital load meter (Maximum display)	29.99 kg
Total accuracy (dynamic calibration)	$< \pm 42 \text{ g}$
Operating temperature range	-10°C to 50°C
Length of lever arm	$L = 0.2387 \text{ m}$

Power Meter

Digital power meter (PS display)	19.9 Ps
Total accuracy	$< \pm 1\%$ of maximum power
Calculation formula of Ps	$BHP = \frac{2\pi NT}{4,500} = \frac{NT}{716.2} \quad (\text{Ps})$
	$T = \text{Torque} = W \cdot L \quad \text{kg} \cdot \text{m}$
	$W = \text{Loag} \quad \text{kg} \quad L = 0.2387 \text{ m}$

Output power for recording analog meters

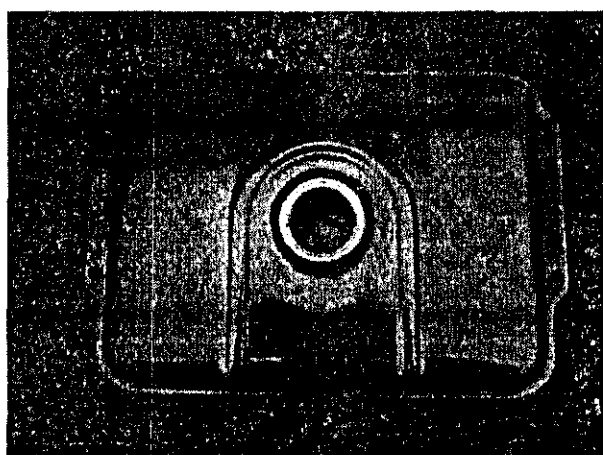
Rotation speed meter	1,000 rpm = 0.1 V
Load meter	1 kg = 0.1 V
Power meter	1 Ps = 0.1 V

3.2 วิธีการทดลอง

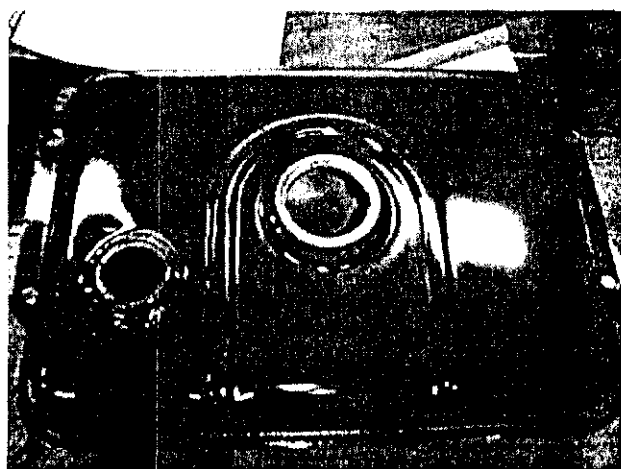
วิธีการทดลอง ได้แบ่งเป็น 4 ช่วงดังนี้

ช่วงที่หนึ่ง นำเครื่องยนต์ในสภาพใช้งานปกติไปทดสอบสมรรถนะโดยใช้น้ำมันเบนซิน 91 และน้ำมันก๊าด จากนั้นตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นว่าในการใช้น้ำมันก๊าดไม่สามารถสตาร์ทด้วยน้ำมันก๊าดได้เองในครั้งแรก ผู้วิจัยจึงทดลองสตาร์ทด้วยน้ำมันเบนซินจากนั้นดับเครื่องยนต์แล้วถ่าน้ำมันเบนซินออกจนหมด จากนั้นใส่น้ำมันก๊าดเข้าไปแทนแล้วติดเครื่องยนต์ปรากฏว่าสามารถติดเครื่องได้เอง หลังจากการติดเครื่องยนต์ได้แล้วมีเสียงระเบิดเกิดขึ้นเป็นช่วง ๆ ทั้งที่รอบต่ำและรอบสูง

ช่วงที่สอง นำปัญหาที่พบในช่วงที่หนึ่งมาแก้ไข ซึ่งปัญหาที่พบมี 2 เรื่องหลัก โดยเรื่องแรก คือ การที่เครื่องยนต์นั้นไม่สามารถติดเครื่องได้ด้วยน้ำมันก๊าดโดยตรง แต่สามารถติดได้เมื่อเครื่องยนต์เริ่มร้อน ผู้วิจัยจึงได้ทำการดัดแปลงถังน้ำมันจากเดิมที่มีช่องใส่น้ำมันหลักเพียงช่องเดียวทำให้ใส่น้ำมันได้ 2 ชนิดโดยช่องเล็กใส่น้ำมันเบนซินสำหรับการสตาร์ทและช่องใหญ่สำหรับใส่น้ำมันก๊าด



ภาพประกอบ 12 แสดงรูปถึงน้ำมันก่อนการเปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 13 แสดงรูปถึงน้ำมันหลังการเปลี่ยนแปลง

ส่วนปัญหาที่ 2 เรื่องการระเบิดของเครื่องยนต์เป็นช่วง ๆ จากทฤษฎีในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดการน็อค คือ เรื่องของอัตราส่วนการอัด สภาพไอดี การจุดระเบิด คุณสมบัติของเชื้อเพลิง สิ่งที่ผู้วิจัยสามารถแก้ไขได้โดยอาศัยปัจจัยที่มีอยู่ คือ การลดอัตราส่วนการอัดโดยการปรับขนาดห้องเผาไหม้ให้มีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นจะทำให้อัตราส่วนการอัดลดลง และการปรับองศาการจุดระเบิดโดยการปรับตำแหน่งของรอกลิ้มของลิ้นช่วยแรง การเพิ่มปริมาตรห้องเผาไหม้เพื่อลดกำลังอัดผู้วิจัยได้ทดลอง 3 ขนาด ดังนี้

1. ปริมาตรห้องเผาไหม้เพิ่มเป็น 49 cc. รวมกับปริมาตรห้องเผาไหม้เนื่องจากประกั้น 5.5911 cc. ทำอัตราส่วนการอัด

$$r_c = \frac{V_1}{V_2}$$

เมื่อ $V_1 = V_d + V_c$

$V_2 = V_c$

เมื่อ $V_d =$ ปริมาตรที่กระบอกสูบ (cc.)

$V_c =$ ปริมาตรที่ห้องเผาไหม้ (cc.)

แทนค่า V_1 และ V_2 จะได้
$$r_c = \frac{V_d + V_c}{V_c}$$

จะได้
$$r_c = \frac{232 + 54.5911}{54.5911} = 5.25 : 1$$

2. ปริมาตรห้องเผาไหม้เพิ่มเป็น 56.5 cc. รวมกับปริมาตรห้องเผาไหม้เนื่องจาก
ปะเกิน 5.5911 cc. หาอัตราส่วนการอัด

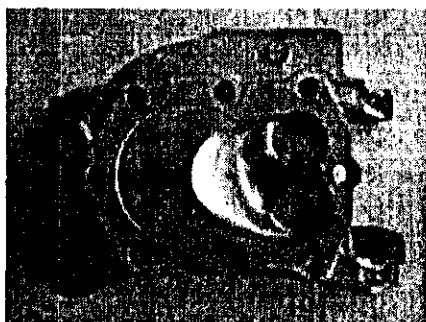
$$r_c = \frac{V_d + V_c}{V_c}$$

จะได้
$$r_c = \frac{232 + 62.0911}{62.0911} = 4.74 : 1$$

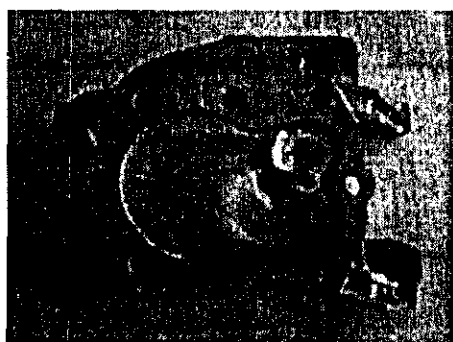
3. ปริมาตรห้องเผาไหม้เพิ่มเป็น 59.6 cc. รวมกับปริมาตรห้องเผาไหม้เนื่องจาก
ปะเกิน 5.5911 cc. หาอัตราส่วนการอัด

$$r_c = \frac{V_d + V_c}{V_c}$$

จะได้
$$r_c = \frac{232 + 65.1911}{65.1911} = 4.56 : 1$$



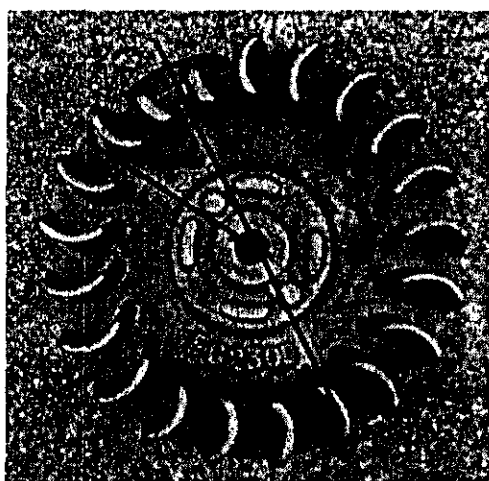
ภาพประกอบ 14 แสดงรูปฝาสูบก่อนทำการเพิ่มปริมาตรห้องเผาไหม้



ภาพประกอบ 15 แสดงรูปฝาสูบหลังจากทำการเพิ่มปริมาตรห้องเผาไหม้

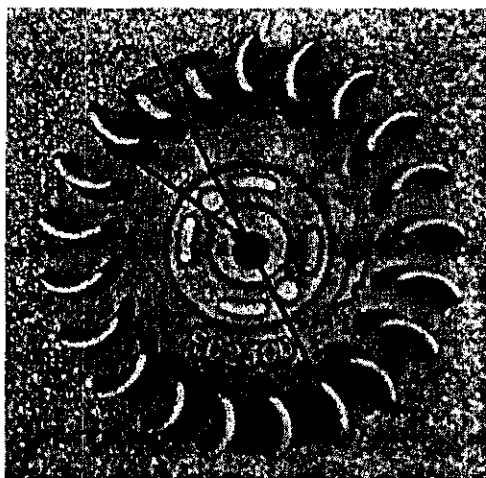
ทำการปรับองศาจุดระเบิดมี 3 ขนาด ดังนี้

1. 25 °BTDC (มาตรฐาน)



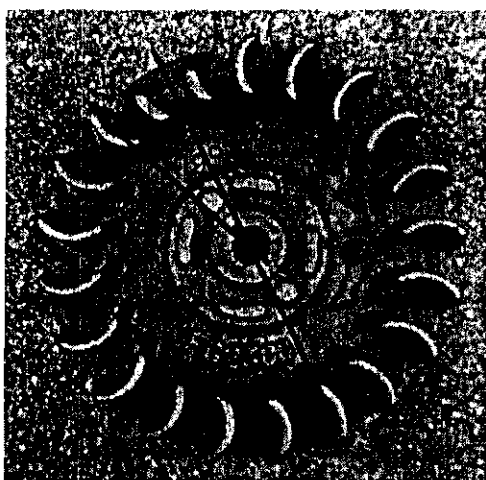
ภาพประกอบ 16 แสดงรูปล้อช่วยแรงมาตรฐาน องศาจุดระเบิดที่ 25 °BTDC

2 22 °BTDC



ภาพประกอบ 17 แสดงรูปล้อช่วยแรง องศาจุดระเบิดที่ 22 °BTDC

3 19 °BTDC



ภาพประกอบ 18 แสดงรูปล้อช่วยแรง องศาจุดระเบิดที่ 19 °BTDC

จากการทดลองในช่วงที่สองพบว่าปัญหาเรื่องการระเบิดเป็นช่วง ๆ ลดลงจนแทบไม่มีเลยแต่มีปัญหาคือต้องแก้ไขคือ เรื่องของการเร่งเครื่องยนต์ซึ่งขณะทำการทดลองอัตราการเร่งเครื่องยนต์ยังไม่ดีเท่าที่ควร จากการวิเคราะห์พบว่าน้ำมันจ่ายเข้าไปยังระบบไม่เหมาะสมกับสภาพของเชื้อเพลิง

ช่วงที่สาม หลังจากแก้ปัญหาในช่วงที่สองได้แล้วปัญหาที่พบอีกประการหนึ่ง คือ เรื่องของการเร่งเครื่องยนต์ ซึ่งปัญหานี้เกิดจากการที่คาร์บูเรเตอร์จ่ายส่วนผสมไม่เหมาะสมนั่นเอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับแต่งคาร์บูเรเตอร์เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของเครื่องยนต์โดยการคำนวณจะนำค่าองศาการจุดระเบิดและการปรับขนาดห้องเผาไหม้ที่ดีที่สุดของช่วงที่สองมาใช้ และคำนวณหาขนาดของนมหุ่นหลักที่เหมาะสมในการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง

$$d_K = d_L \sqrt{\frac{\alpha_L}{\alpha_K} \frac{1}{\lambda L_{\min}}} \sqrt[4]{\frac{\rho_L}{\rho_K}}$$

สำหรับสัมประสิทธิ์การไหลของอากาศ	$\alpha_L \approx 0.8$
สำหรับสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำมันก๊าด	$\alpha_K \approx 0.85$
เส้นผ่านศูนย์กลางที่คอคออด	$d_L = 15 \text{ mm.}$ (วัดที่ตัวคาร์บูเรเตอร์)
ปริมาณต่ำสุดของอากาศที่ต้องการใช้	$L_{\min} \approx 14.94 \text{ kg/kg}$
ความหนาแน่นของน้ำมันก๊าด	$\rho_K \approx 840 \text{ kg/m}^3$
ความหนาแน่นของอากาศ	$\rho_L \approx 1.2 \text{ kg/m}^3$
อัตราส่วนอากาศ $\lambda \approx 1$ (ส่วนผสมพอดี)	
แทนค่าทั้งหมดลงในสมการหา d_K จะได้ขนาดนมหุ่นหลัก	

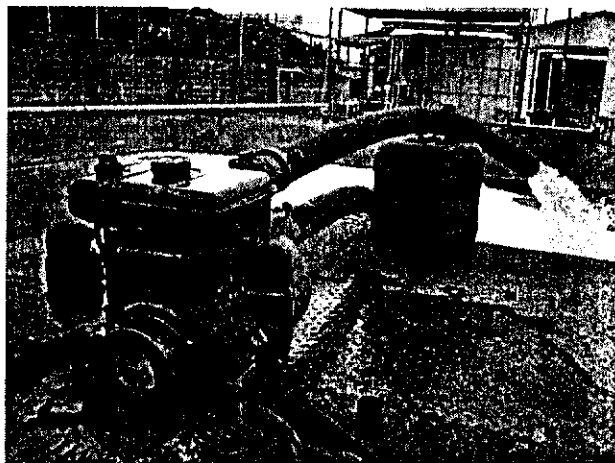
$$d_K = 15 \sqrt{\frac{0.8}{0.85} \frac{1}{1(14.94)}} \sqrt[4]{\frac{1.2}{840}} = 0.732 \text{ mm.}$$

อัตราส่วนอากาศ $\lambda \approx 0.9$ (ส่วนผสมที่ให้กำลังงานสูงสุด)
แทนค่าทั้งหมดลงในสมการหา d_K จะได้ขนาดนมหุ่นหลัก

$$d_K = 15 \sqrt{\frac{0.8}{0.85} \frac{1}{0.9(14.94)}} \sqrt[4]{\frac{1.2}{840}} = 0.772 \text{ mm.}$$

จากการคำนวณขนาดนมหุ่นหลักที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ขนาด 0.732 - 0.772 mm. แต่เนื่องจากผู้วิจัยต้องการใช้นมหุ่นหลักที่มีอยู่ในการใช้งานจริง จึงได้นำนมหุ่นหลักมาใช้ในการทดสอบ 5 ขนาด คือ 0.700 mm. 0.725 mm. 0.750 mm. 0.770 mm. 0.775 mm.

ช่วงที่สี่ เป็นการประเมินการสึกหรอของชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่นำมาทดสอบ โดยใช้วิธีการทดสอบความทนทาน นำไปต่อกับปั้มน้ำขนาดท่อดูดและท่อส่ง 3 นิ้ว ใช้เวลาในการทดสอบ 300 ชั่วโมงติดต่อกัน ก่อนนำไปทดสอบความทนทานวัดชิ้นส่วนเคลื่อนที่ที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ หลังจากการทดสอบความทนทานนำชิ้นส่วนมาวัดซ้ำเพื่อเปรียบเทียบหาค่าความสึกหรอ



ภาพประกอบ 19 แสดงรูปลักษณะการทดสอบความทนทาน 300 ชั่วโมง

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะแสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาดเล็กเอนกประสงค์ที่ใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลัก โดยพิจารณาผลการทดสอบสมรรถนะ กราฟแสดงสมรรถนะ การตรวจสอบขนาดของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่เพื่อหาความสึกหรอของชิ้นส่วน ของเครื่องยนต์ที่ได้ทำการทดสอบทั้งก่อนและหลังการทดสอบความทนทานในการใช้งาน

4.1 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ช่วงที่ 1 : จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ (หาค่าแรงบิดและกำลัง) ก่อนการเปลี่ยนแปลง โดยใช้น้ำมันเบนซิน 91 และน้ำมันก๊าด ได้ผลการทดสอบดังนี้

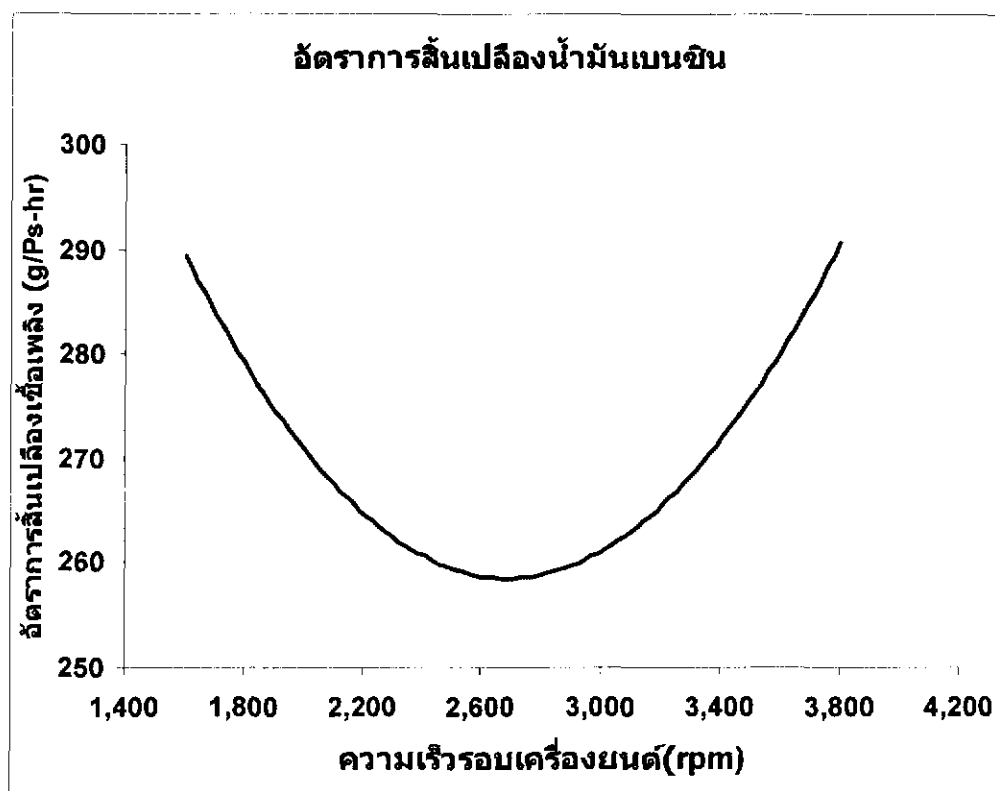
ตาราง 2 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ก่อนการเปลี่ยนแปลงโดยใช้น้ำมันเบนซิน 91

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		768 mm.Hg		31 °C	26 °C	Gasoline91
engine speed	load	torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,600	4.82	1.151	2.57	89.6	131.8	
1,800	4.84	1.155	2.90	92.6	141.2	
2,000	5.25	1.253	3.50	98.3	178.1	
2,200	5.15	1.229	3.78	100.8	192.3	
2,400	5.17	1.234	4.14	106.1	183.6	
2,600	5.15	1.229	4.46	108.0	183.0	
2,800	5.04	1.203	4.70	112.3	179.5	
3,000	4.92	1.174	4.92	115.1	177.2	

ตาราง 2 (ต่อ)

engine speed rpm	load kg	torque kg.m	power Ps	oil temp. °C	plug seat temp. °C
3,200	4.78	1.141	5.10	118.8	177.4
3,400	4.43	1.057	5.02	121.3	168.4
3,600	4.19	1.000	5.03	124.4	165.2
3,800	4.10	0.979	5.19	125.5	165.1

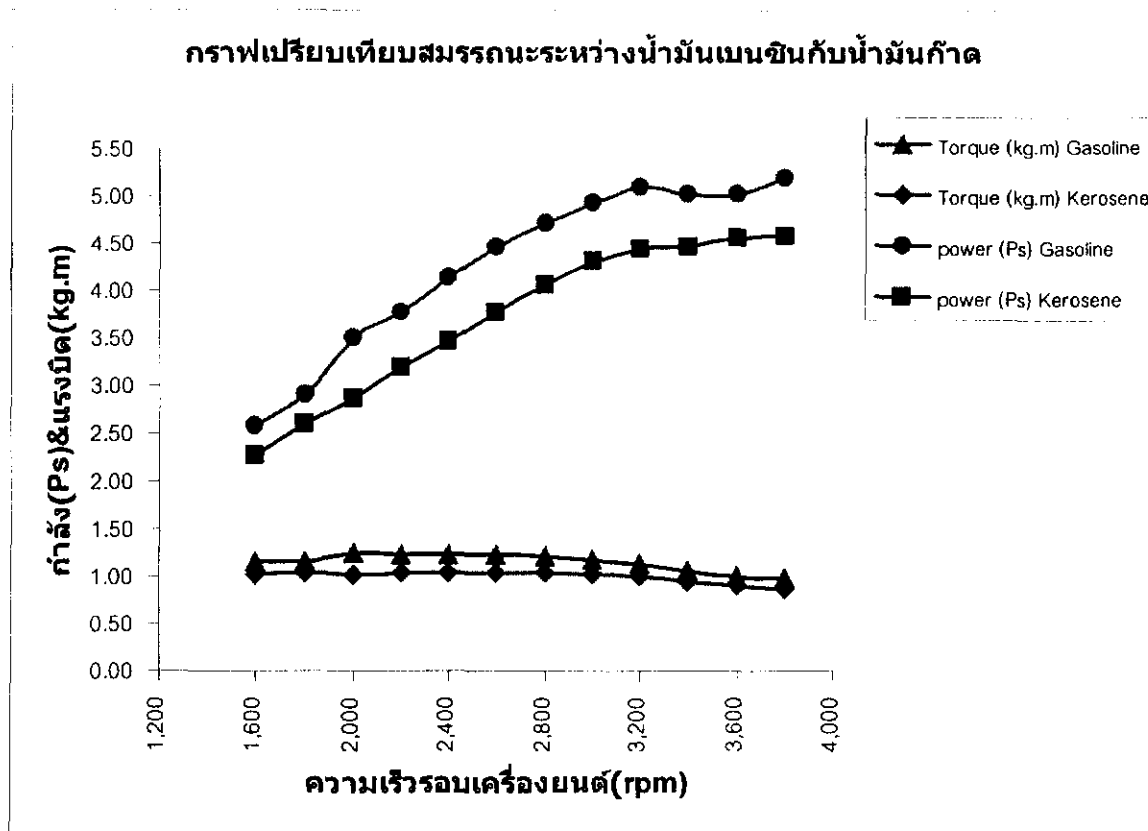
อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยสุด (min. sfc.) = 260.39 g / Ps-hr ที่ 2,800 rpm



ภาพประกอบ 20 แสดงกราฟอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเบนซิน

ตาราง 3 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ก่อนการเปลี่ยนแปลงโดยใช้น้ำมันก๊าด

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		761.5 mm.Hg		31 °C	27 °C	Kerosene
Engine speed	load	torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,600	4.24	1.012	2.26	86.9	138.8	
1,800	4.34	1.036	2.60	90.4	158.8	
2,000	4.30	1.026	2.87	92.3	164.5	
2,200	4.35	1.038	3.19	95.6	171.0	
2,400	4.33	1.034	3.46	97.8	172.0	
2,600	4.36	1.041	3.78	99.8	172.2	
2,800	4.35	1.038	4.06	102.8	171.4	
3,000	4.30	1.026	4.30	106.3	170.4	
3,200	4.16	0.993	4.44	109.3	168.3	
3,400	3.94	0.940	4.46	111.6	167.1	
3,600	3.80	0.907	4.56	113.5	165.0	
3,800	3.62	0.864	4.58	114.8	163.3	



ภาพประกอบ 21 แสดงกราฟเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างน้ำมันเบนซินกับน้ำมันก๊าด

สรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบในช่วงที่ 1

1. จากภาพประกอบ 21 แสดงผลการเปรียบเทียบการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน 91 และน้ำมันก๊าด สรุปผลได้ว่าค่าแรงบิดและกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันก๊าดน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน 91 คือ ค่าแรงบิดลดลง 16.9 % กำลังลดลง 11.7 %
2. เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันก๊าด ไม่สามารถที่จะติดเครื่องด้วยน้ำมันก๊าดเองได้ จะต้องสตาร์ทโดยน้ำมันเบนซินก่อน หลังจากเครื่องยนต์มีความร้อนพอสมควรจึงจะสามารถติดเครื่องด้วยน้ำมันก๊าดเองได้
3. ขณะทดสอบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันก๊าดมีอาการกระเบิด (Knock) ตลอดเวลาทั้งในรอบต่ำและรอบสูง

ข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหาจากข้อมูลในช่วงที่ 1

1. ดัดแปลงถังน้ำมันเชื้อเพลิงใหม่ ให้สามารถใส่น้ำมันเชื้อเพลิงได้ 2 ชนิด เพื่อใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์ครั้งแรกและเพื่อการใช้งาน
2. ปรับอัตราส่วนการอัดให้น้อยลงโดยเพิ่มปริมาตรห้องเผาไหม้ให้มากขึ้นด้วยวิธีการนำฝาสูบไปทำการเพิ่มปริมาตรห้องเผาไหม้จะทำให้กำลังอัดลดลง
3. ทดลองปรับองศาจุดระเบิดให้จุดระเบิดช้าลง โดยการเปลี่ยนตำแหน่งการใส่รอกลิ้มของลิ้นช่วยแรง

ช่วงที่ 2 : จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ในช่วงที่ 1 การแก้ปัญหาที่พบผู้วิจัยได้ทำการแก้ปัญหามาตามข้อเสนอแนะดังนี้ เรื่องที่ 1 การปรับเปลี่ยนถังน้ำมันนั้นผู้วิจัยได้ทำการแปลงถังน้ำมันจากเดิม (ภาพประกอบ 12) เป็นถังแบบมี 2 ช่อง (ภาพประกอบ 13) เรื่องที่ 2 ทำการปรับ เปลี่ยนอัตราส่วนการอัดโดยวิธีการเพิ่มปริมาตรห้องเผาไหม้ให้มากขึ้นและเรื่องที่ 3 ปรับองศาการจุดระเบิดโดยการเปลี่ยนตำแหน่งใส่รอกลิ้มของลิ้นช่วยแรงใหม่ โดยในการทดสอบมีทั้งหมด 9 ฟังก์ชันการทดสอบดังนี้

- 1 ปริมาตรห้องเผาไหม้ 49 cc. อัตราส่วนการอัด 5.25:1 องศาจุดระเบิด 25° BTDC
- 2 ปริมาตรห้องเผาไหม้ 49 cc. อัตราส่วนการอัด 5.25:1 องศาจุดระเบิด 22° BTDC
- 3 ปริมาตรห้องเผาไหม้ 49 cc. อัตราส่วนการอัด 5.25:1 องศาจุดระเบิด 19° BTDC
- 4 ปริมาตรห้องเผาไหม้ 56.5 cc. อัตราส่วนการอัด 4.74:1 องศาจุดระเบิด 25° BTDC
- 5 ปริมาตรห้องเผาไหม้ 56.5 cc. อัตราส่วนการอัด 4.74:1 องศาจุดระเบิด 22° BTDC
- 6 ปริมาตรห้องเผาไหม้ 56.5 cc. อัตราส่วนการอัด 4.74:1 องศาจุดระเบิด 19° BTDC
- 7 ปริมาตรห้องเผาไหม้ 59.6 cc. อัตราส่วนการอัด 4.56:1 องศาจุดระเบิด 25° BTDC
- 8 ปริมาตรห้องเผาไหม้ 59.6 cc. อัตราส่วนการอัด 4.56:1 องศาจุดระเบิด 22° BTDC
- 9 ปริมาตรห้องเผาไหม้ 59.6 cc. อัตราส่วนการอัด 4.56:1 องศาจุดระเบิด 19° BTDC

หลังจากนั้นนำไปทดสอบสมรรถนะได้ผลการทดสอบดังนี้

ตาราง 4 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 49 cc.
อัตราส่วนการอัด 5.25:1 องศากระเปิด 25° BTDC

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		765 mm.Hg		31 °C	26 °C	Kerosene
Engine speed	load	Torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.79	1.143	2.87	66.5	123.7	
2,000	4.72	1.127	3.15	68.2	140.8	
2,200	4.71	1.124	3.45	71.5	147.8	
2,400	4.66	1.112	3.73	47.2	158.3	
2,600	4.46	1.065	3.86	79.5	162.7	
2,800	4.31	1.029	4.02	82.2	165.5	
3,000	4.12	0.983	4.12	88.3	164.8	
3,200	3.93	0.938	4.19	92.4	163.5	
3,400	3.68	0.878	4.17	96.2	160.7	
3,600	3.46	0.826	4.15	99.6	157.8	
3,800	3.25	0.776	4.12	103.3	155.8	
4,000	3.01	0.718	4.01	105.4	150.8	
4,200	2.79	0.666	3.91	110.2	147.4	
4,400	2.50	0.597	3.67	110.6	140.8	

ตาราง 5 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 49 cc.

อัตราส่วนการอัด 5.25:1 องศากระเปิด 22° BTDC

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		764 mm.Hg		31 °C	26 °C	kerosene
engine speed	load	torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.72	1.127	2.83	59.3	123.8	
2,000	4.65	1.110	3.10	61.8	139.4	
2,200	4.57	1.091	3.35	66.2	146.5	
2,400	4.49	1.072	3.59	68.2	151.9	
2,600	4.33	1.034	3.75	72.3	153.8	
2,800	4.17	0.995	3.89	78.8	159.2	
3,000	3.94	0.940	3.94	84.6	158.9	
3,200	3.76	0.898	4.01	88.1	158.3	
3,400	3.50	0.835	3.97	92.9	156.1	
3,600	3.29	0.785	3.95	95.3	153.8	
3,800	3.08	0.735	3.90	98.3	151.6	
4,000	2.81	0.671	3.75	100.1	147.5	
4,200	2.56	0.611	3.58	103.5	144.0	
4,400	2.21	0.528	3.24	105.5	138.8	

ตาราง 6 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 49 cc.

อัตราส่วนการอัด 5.25:1 องศากระเปิด 19° BTDC

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		763 mm.Hg		32 °C	27 °C	kerosene
Engine speed	load	torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.55	1.086	2.73	77.5	137.7	
2,000	4.57	1.091	3.05	78.6	147.2	
2,200	4.52	1.079	3.31	82.2	153.3	
2,400	4.46	1.065	3.57	85.6	159.7	
2,600	4.31	1.029	3.73	90.3	160.4	
2,800	4.12	0.983	3.84	92.9	161.7	
3,000	3.91	0.933	3.91	96.7	160.5	
3,200	3.71	0.886	3.96	98.1	159.4	
3,400	3.46	0.826	3.92	104.8	156.0	
3,600	3.28	0.783	3.94	106.1	153.8	
3,800	3.02	0.721	3.82	108.2	151.4	
4,000	2.76	0.659	3.68	110.4	145.8	
4,200	2.51	0.599	3.51	111.8	143.3	
4,400	2.19	0.523	3.21	112.7	138.4	

ตาราง 7 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 56.5 cc.

อัตราส่วนการอัด 4.74:1 องศากระเปิด 25° BTDC

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		762 mm.Hg		32 °C	27 °C	kerosene
Engine speed	load	torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.57	1.091	2.74	63.7	123.6	
2,000	4.49	1.072	2.99	67.4	135.7	
2,200	4.41	1.053	3.23	69.7	144.6	
2,400	4.25	1.014	3.40	73.2	147.2	
2,600	4.14	0.988	3.59	76.2	150.9	
2,800	3.99	0.952	3.72	79.6	151.4	
3,000	3.80	0.907	3.80	82.1	151.8	
3,200	3.57	0.852	3.81	86.6	150.8	
3,400	3.31	0.790	3.75	88.7	149.2	
3,600	3.06	0.730	3.67	93.2	147.4	
3,800	2.77	0.661	3.51	95.5	144.0	
4,000	2.49	0.594	3.32	99.2	140.8	
4,200	2.17	0.518	3.04	101.2	137.5	
4,400	1.82	0.434	2.67	103.3	134.7	

ตาราง 8 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 56.5 cc.
อัตราส่วนการอัด 4.74:1 องศากระเปิด 22° BTDC

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		762 mm.Hg		32 °C	27 °C	kerosene
Engine speed	load	torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.66	1.112	2.80	51.7	112.4	
2,000	4.55	1.086	3.03	55.1	137.6	
2,200	4.40	1.050	3.23	59.2	142.8	
2,400	4.28	1.022	3.42	61.3	148.2	
2,600	4.16	0.993	3.60	67.1	151.4	
2,800	4.00	0.955	3.73	70.3	154.8	
3,000	3.77	0.900	3.77	76.4	155.1	
3,200	3.56	0.850	3.80	79.6	154.4	
3,400	3.32	0.792	3.76	85.1	153.0	
3,600	3.07	0.733	3.68	88.3	150.6	
3,800	2.82	0.673	3.57	92.4	148.4	
4,000	2.52	0.602	3.36	96.2	143.3	
4,200	2.27	0.542	3.18	99.5	141.3	
4,400	1.95	0.465	2.86	101.5	137.1	

ตาราง 9 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 56.5 cc.

อัตราส่วนการอัด 4.74:1 องศากระเปิด 19° BTDC

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		762 mm.Hg		32 °C	27 °C	kerosene
Engine speed	load	torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.49	1.072	2.69	76.5	132.5	
2,000	4.42	1.055	2.95	77.2	142.3	
2,200	4.30	1.026	3.15	80.4	149.4	
2,400	4.20	1.003	3.36	83.3	154.8	
2,600	4.19	1.000	3.63	88.6	157.9	
2,800	4.00	0.955	3.73	91.2	159.2	
3,000	3.73	0.890	3.73	96.9	158.2	
3,200	3.52	0.840	3.75	98.4	156.4	
3,400	3.27	0.781	3.71	101.4	154.2	
3,600	3.04	0.726	3.65	104.2	151.8	
3,800	2.81	0.671	3.56	105.1	148.6	
4,000	2.53	0.604	3.37	106.8	145.8	
4,200	2.24	0.535	3.14	109.1	140.6	
4,400	1.93	0.461	2.83	111.3	142.7	

ตาราง 10 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 59.6 cc.

อัตราส่วนการอัด 4.56:1 องศากระเปิด 25° BTDC

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		762 mm.Hg		32 °C	27 °C	kerosene
Engine speed	load	torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.58	1.093	2.75	35.1	142.3	
2,000	4.49	1.072	2.99	37.9	149.4	
2,200	4.23	1.010	3.10	45.6	154.8	
2,400	4.11	0.981	3.29	49.2	157.9	
2,600	4.00	0.955	3.47	56.5	158.8	
2,800	3.83	0.914	3.57	60.9	157.4	
3,000	3.60	0.859	3.60	69.8	155.2	
3,200	3.36	0.802	3.58	73.8	152.3	
3,400	3.14	0.750	3.56	83.8	149.5	
3,600	2.94	0.702	3.53	87.3	146.6	
3,800	2.64	0.630	3.34	94.4	144.3	
4,000	2.35	0.561	3.13	96.6	139.8	
4,200	2.08	0.496	2.91	100.3	136.9	
4,400	1.75	0.418	2.57	101.5	132.7	

ตาราง 11 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 59.6 cc.

อัตราส่วนการอัด 4.56:1 องศากระเปิด 22° BTDC

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		764 mm.Hg		30 °C	26 °C	kerosene
Engine speed	load	torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.51	1.077	2.71	60.3	127.2	
2,000	4.42	1.055	2.95	62.4	140.4	
2,200	4.26	1.017	3.12	66.8	146.7	
2,400	4.10	0.979	3.28	69.7	152.2	
2,600	3.99	0.952	3.46	74.8	155.3	
2,800	3.82	0.912	3.56	78.2	155.6	
3,000	3.61	0.862	3.61	84.8	154.5	
3,200	3.40	0.812	3.63	88.7	153.1	
3,400	3.16	0.754	3.58	92.7	151.0	
3,600	2.92	0.697	3.50	96.5	147.7	
3,800	2.69	0.642	3.41	99.4	145.3	
4,000	2.42	0.578	3.23	101.8	141.2	
4,200	2.11	0.504	2.95	104.4	138.4	
4,400	1.78	0.425	2.61	106.1	133.8	

ตาราง 12 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันก๊าด ปริมาตรห้องเผาไหม้ 59.6 cc.
อัตราส่วนการอัด 4.56:1 องศากระเปิด 19° BTDC

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		765 mm.Hg		30 °C	25 °C	kerosene
Engine speed	Load	torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.36	1.041	2.62	35.6	115.4	
2,000	4.30	1.026	2.87	38.8	129.4	
2,200	4.24	1.012	3.11	45.1	137.5	
2,400	4.14	0.988	3.31	49.6	147.1	
2,600	4.04	0.964	3.50	57.6	151.6	
2,800	3.80	0.907	3.55	62.4	153.8	
3,000	3.55	0.847	3.55	72.4	153.9	
3,200	3.37	0.804	3.59	76.1	152.8	
3,400	3.18	0.759	3.60	82.8	151.2	
3,600	2.90	0.692	3.48	85.3	147.9	
3,800	2.67	0.637	3.38	88.7	145.4	
4,000	2.40	0.573	3.20	91.3	141.4	
4,200	2.09	0.499	2.93	97.1	138.4	
4,400	1.81	0.432	2.65	98.2	133.1	

ตาราง 13 แสดงผลเปรียบเทียบการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้ทำการปรับปริมาตรห้องเผาไหม้ และองศาจุดระเบิดโดยใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิง

Combustion Chamber 49 cc. อัตราส่วนการอัด 5.25:1	Max. Torque (kg.m)	Max. Power (Ps)	Remark
องศาจุดระเบิด 25° BTDC	1.143 / 1,800 rpm	4.19 / 3,200 rpm	Knock ที่รอบต่ำกว่า 3,200 rpm
องศาจุดระเบิด 22° BTDC	1.127 / 1,800 rpm	4.01 / 3,200 rpm	Knock ที่รอบต่ำกว่า 2,900 rpm
องศาจุดระเบิด 19° BTDC	1.086 / 1,800 rpm	3.96 / 3,200 rpm	Knock ที่รอบต่ำกว่า 2,800 rpm
Combustion Chamber 56.5 cc. อัตราส่วนการอัด 4.74:1	Max. Torque (kg.m)	Max. Power (Ps)	Remark
องศาจุดระเบิด 25° BTDC	1.091 / 1,800 rpm	3.81 / 3,200 rpm	Knock ที่รอบต่ำกว่า 3,200 rpm
องศาจุดระเบิด 22° BTDC	1.112 / 1,800 rpm	3.80 / 3,200 rpm	Knock ที่รอบต่ำกว่า 2,900 rpm
องศาจุดระเบิด 19° BTDC	1.072 / 1,800 rpm	3.75 / 3,200 rpm	Knock ที่รอบต่ำกว่า 2,800 rpm
Combustion Chamber 59.6 cc. อัตราส่วนการอัด 4.56:1	Max. Torque (kg.m)	Max. Power (Ps)	Remark
องศาจุดระเบิด 25° BTDC	1.093 / 1,800 rpm	3.60 / 3,000 rpm	ปกติ เร่งรอบไม่ขึ้นทันทีทันใด
องศาจุดระเบิด 22° BTDC	1.077 / 1,800 rpm	3.63 / 3,200 rpm	Knock ที่รอบต่ำกว่า 1,800 rpm
องศาจุดระเบิด 19° BTDC	1.041 / 1,800 rpm	3.60 / 3,400 rpm	ปกติ เร่งรอบไม่ขึ้นทันทีทันใด

สรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบในช่วงที่ 2

1 จากตาราง 13 สรุปผลได้ว่าการเพิ่มปริมาตรห้องเผาไหม้เป็น 59.6 cc. อัตราส่วนการอัด 4.56:1 ที่องศาจุดระเบิด 25° BTDC และองศาจุดระเบิด 19° BTDC กำลังที่ได้นั้นมีค่าเท่ากันคือ 3.60 Ps และไม่มีอาการ Knock แต่ส่วนที่ต่างกันคือรอบของเครื่องยนต์และค่าแรงบิด ที่องศาจุดระเบิด 25° BTDC ใช้รอบเครื่องยนต์ 3,000 rpm ค่าแรงบิดที่ได้ 1.093 kg.m ในขณะที่องศาจุดระเบิด 19° BTDC ใช้รอบเครื่องยนต์ถึง 3,200 rpm ค่าแรงบิดที่ได้ 1.041 kg.m ซึ่งในการแก้ปัญหานี้ สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนการอัด 4.56:1 องศาจุดระเบิด 25° BTDC เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้สำหรับเครื่องยนต์น้ำมันก๊าด

2 จากอาการเร่งไม่ขึ้นทันทีทันใด เกิดจากปริมาณการจ่ายน้ำมันที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นต้องแก้ไขขนาดมโนหลักของคาร์บูเรเตอร์ให้เหมาะสม

ข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหาจากข้อมูลในช่วงที่ 2

ทดลองปรับขนาดของนมหนูหลักของคาร์บูเรเตอร์ โดยยึดปริมาตรห้องเผาไหม้ 59.6 cc อัตราส่วนการอัด 4.56:1 องศากระเปิด 25° BTDC เป็นหลัก

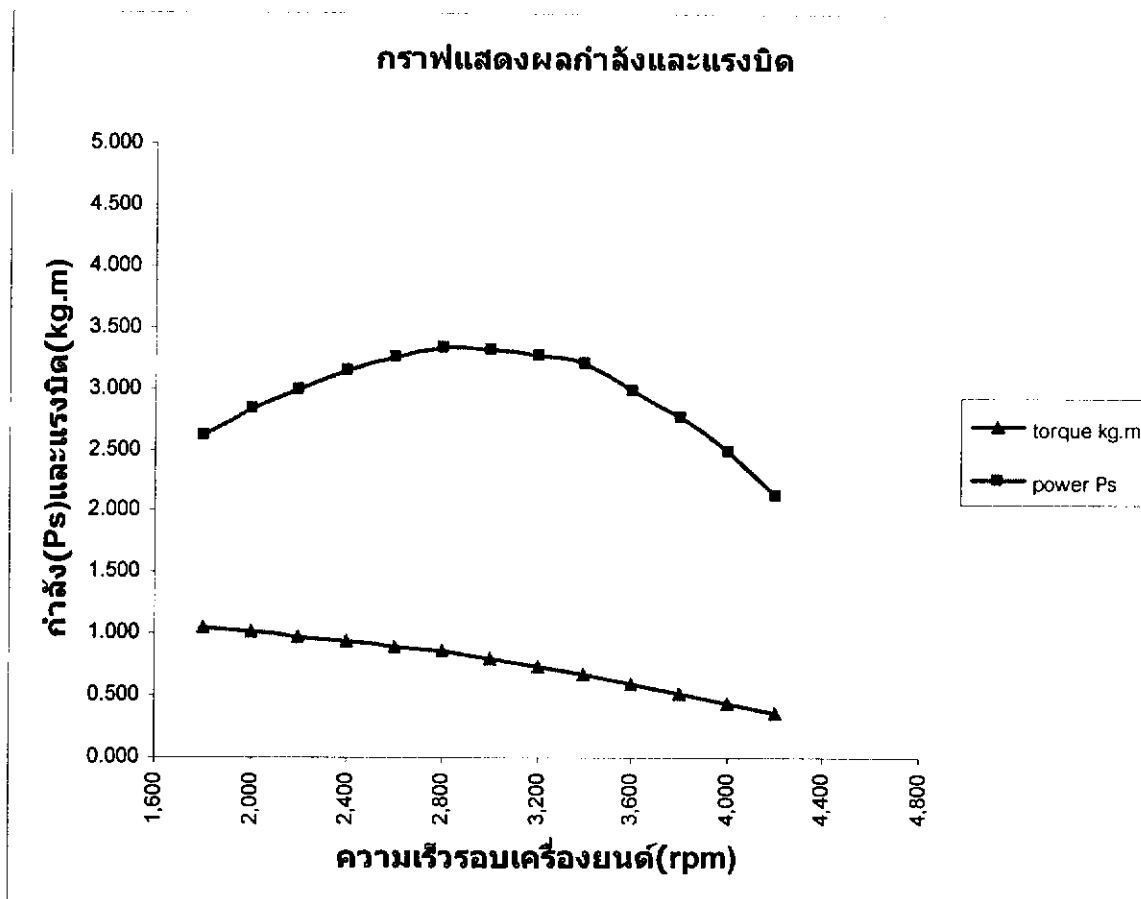
ช่วงที่ 3 : จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ในช่วงที่ 2 เราได้อัตราส่วนการอัดที่เหมาะสมแต่ยังมีปัญหาเรื่องการเร่งรอบที่ยังไม่สามารถตอบสนองได้ทันทีทันใด ดังนั้นในการทดลองช่วงที่ 3 นี้ จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนขนาดของนมหนูหลักของคาร์บูเรเตอร์ โดยใช้ขนาดของนมหนูหลักของคาร์บูเรเตอร์ของเครื่องยนต์ Kawasaki รุ่นที่ยังมีการผลิตอยู่ในปัจจุบัน ดังในตาราง 14

ตาราง 14 แสดงข้อมูลขนาดของนมหนูหลักของคาร์บูเรเตอร์

A	MJ = 70.0
B	MJ = 72.5
C	MJ = 75.0
D	MJ = 77.0
E	MJ = 77.5

ตาราง 15 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหงหลัก A

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		762 mm.Hg		32 °C	27 °C	kerosene
Engine speed	load	torque	Power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.37	1.043	2.62	61.4	117.5	
2,000	4.25	1.014	2.83	66.1	130.4	
2,200	4.09	0.976	3.00	69.2	136.7	
2,400	3.94	0.940	3.15	73.4	140.7	
2,600	3.77	0.900	3.27	77.3	143.3	
2,800	3.58	0.855	3.34	80.2	143.9	
3,000	3.32	0.792	3.32	84.2	144.0	
3,200	3.07	0.733	3.27	87.6	143.2	
3,400	2.84	0.678	3.22	90.8	141.5	
3,600	2.50	0.597	3.00	94.3	139.3	
3,800	2.19	0.523	2.77	97.3	137.2	
4,000	1.87	0.446	2.49	100.3	134.0	
4,200	1.52	0.363	2.13	103.1	130.8	

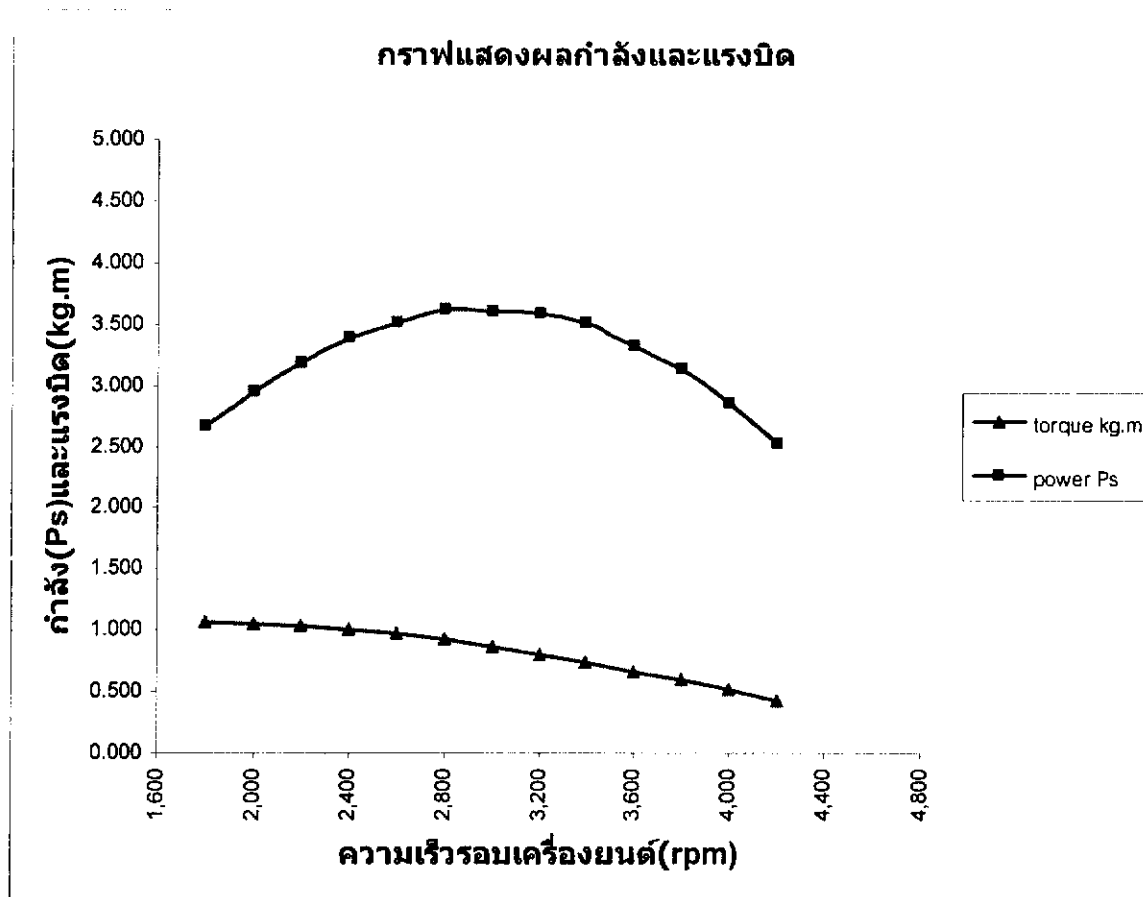


ภาพประกอบ 22 แสดงกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าดขนาดของนมหนูหลัก A

สรุป ผลการทดสอบจากตาราง 15 และภาพประกอบ 22 สรุปได้ คือ ค่าแรงบิดมากที่สุดที่ได้ 1.043 kg.m ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที กำลังมากที่สุดที่ได้ 3.34 Ps ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,800 รอบต่อนาที มีอาการ backfire ที่คาร์บูเรเตอร์ มีอาการ backfire ที่ท่อไอเสียบ้างเล็กน้อย

ตาราง 16 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหงหลัก B

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		764 mm.Hg		30 °C	27 °C	Kerosene
Engine speed	load	Torque	Power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.45	1.062	2.67	41.8	100.4	
2,000	4.41	1.053	2.94	48.3	122.3	
2,200	4.33	1.034	3.17	54.5	135.2	
2,400	4.23	1.010	3.38	59.8	140.6	
2,600	4.05	0.967	3.51	66.5	144.2	
2,800	3.88	0.926	3.62	72.8	146.6	
3,000	3.60	0.859	3.60	76.7	147.1	
3,200	3.37	0.804	3.59	82.5	146.8	
3,400	3.10	0.740	3.51	88.4	145.2	
3,600	2.77	0.661	3.32	94.3	142.3	
3,800	2.48	0.592	3.14	96.7	139.1	
4,000	2.14	0.511	2.85	99.8	136.0	
4,200	1.80	0.430	2.52	103.1	132.1	

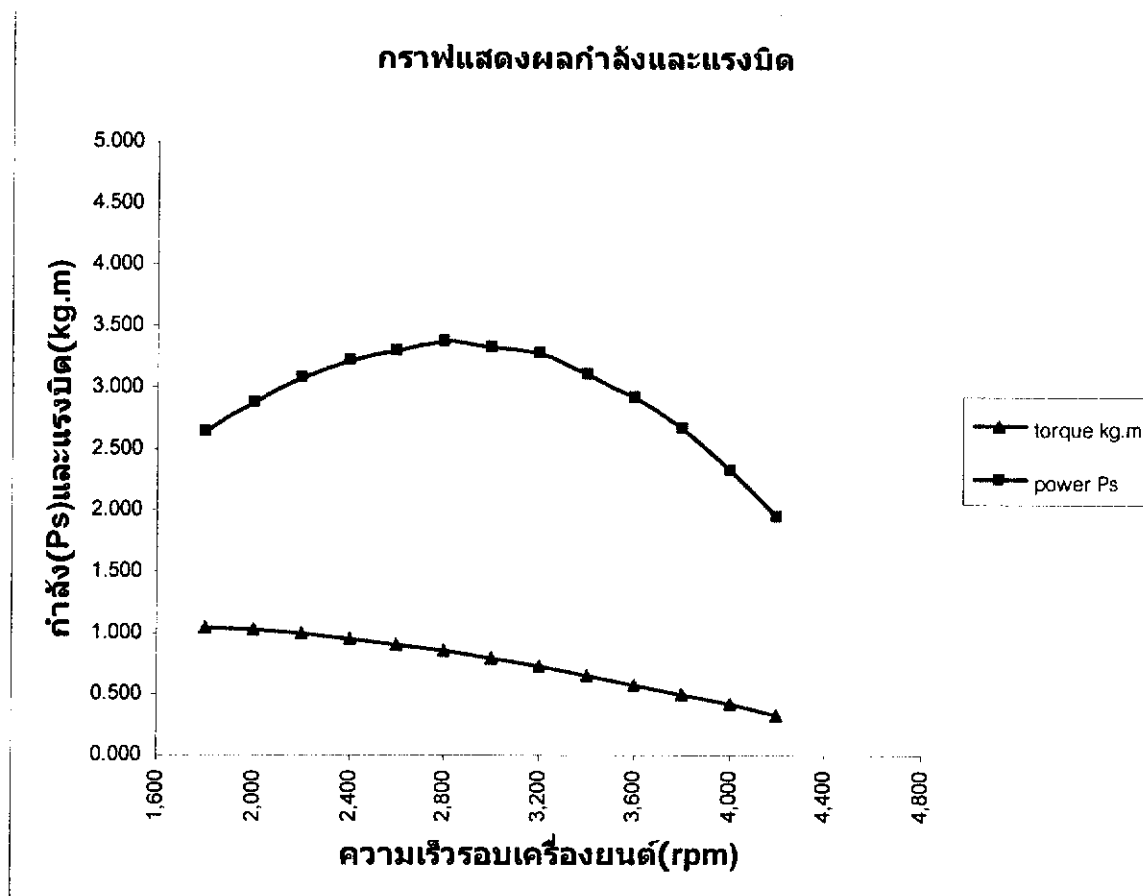


ภาพประกอบ 23 แสดงกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าดขนาดของนมหนูหลัก B

สรุป ผลการทดสอบจากตาราง 16 และภาพประกอบ 23 สรุปได้ คือ ค่าแรงบิดมากที่สุดที่ได้ 1.062 kg.m ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที กำลังมากที่สุดที่ได้ 3.62 Ps ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,800 รอบต่อนาที มีอาการ backfire ที่คาร์บูเรเตอร์เล็กน้อย มีอาการ backfire ที่ท่อไอเสียมาก

ตาราง 17 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก C

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		763 mm.Hg		30 °C	27 °C	Kerosene
Engine speed	load	Torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.41	1.053	2.65	47.9	118.2	
2,000	4.32	1.031	2.88	52.1	128.4	
2,200	4.20	1.003	3.08	67.1	138.0	
2,400	4.02	0.960	3.22	72.4	142.8	
2,600	3.81	0.909	3.30	76.2	145.2	
2,800	3.61	0.862	3.37	79.8	145.8	
3,000	3.33	0.795	3.33	83.7	144.9	
3,200	3.07	0.733	3.27	87.7	143.2	
3,400	2.74	0.654	3.10	89.1	140.5	
3,600	2.43	0.580	2.92	92.8	138.7	
3,800	2.11	0.504	2.67	94.3	134.7	
4,000	1.75	0.418	2.33	97.8	130.3	
4,200	1.39	0.332	1.95	99.2	126.1	

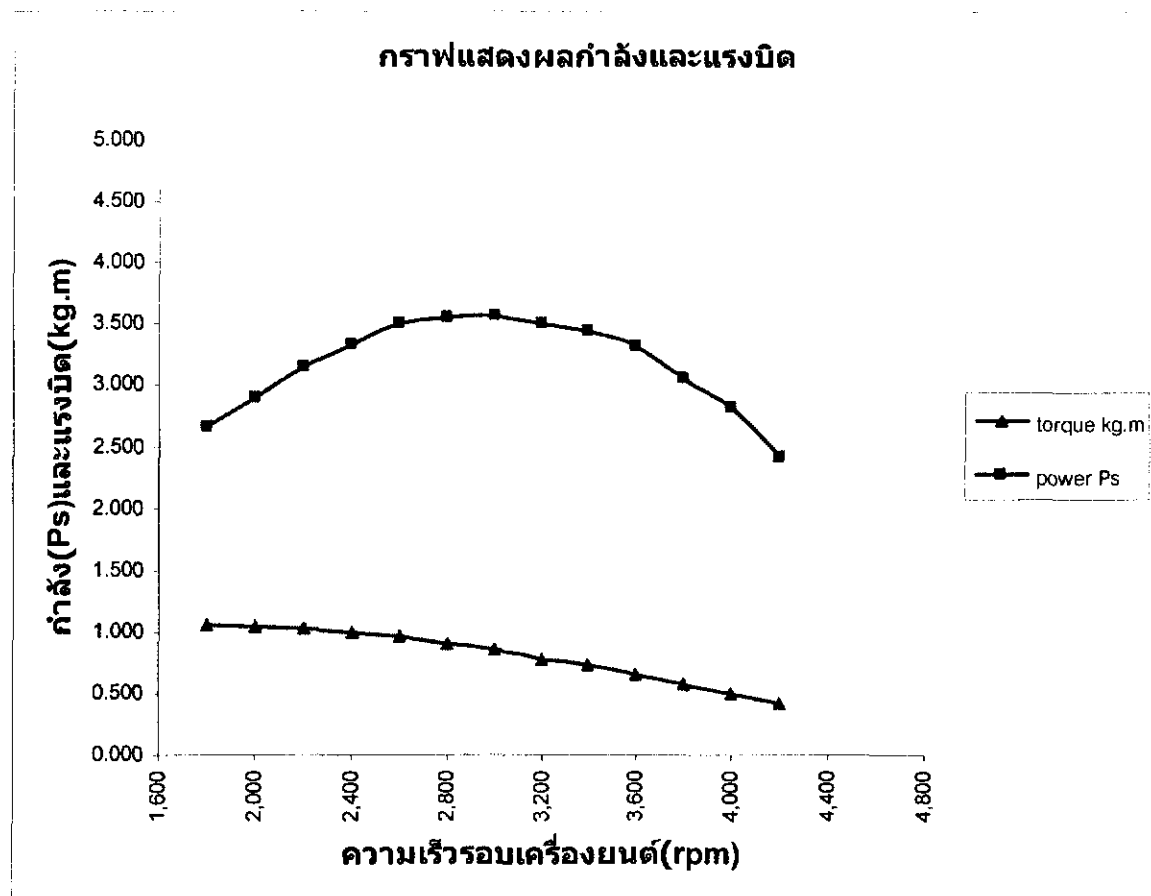


ภาพประกอบ 24 แสดงกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหงหลัก C

สรุป ผลการทดสอบจากตาราง 17 และภาพประกอบ 24 สรุปได้ คือ ค่าแรงบิดมากที่สุดที่ได้ 1.053 kg.m ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที กำลังมากที่สุดที่ได้ 3.37 Ps ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,800 รอบต่อนาที ไม่มีอาการ backfire ที่คาร์บูเรเตอร์ แต่มีอาการ backfire ที่ท่อไอเสียมาก

ตาราง 18 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก D

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		762 mm.Hg		31 °C	27 °C	Kerosene
engine speed	load	Torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.44	1.060	2.66	46.8	102.3	
2,000	4.35	1.038	2.90	52.4	122.6	
2,200	4.29	1.024	3.15	58.3	136.8	
2,400	4.16	0.993	3.33	64.2	143.1	
2,600	4.04	0.964	3.50	68.2	146.1	
2,800	3.81	0.909	3.56	74.1	148.6	
3,000	3.57	0.852	3.57	80.5	149.4	
3,200	3.29	0.785	3.51	86.4	148.8	
3,400	3.04	0.726	3.44	90.3	147.2	
3,600	2.76	0.659	3.31	95.1	144.4	
3,800	2.41	0.575	3.05	100.2	140.3	
4,000	2.11	0.504	2.81	103.8	137.5	
4,200	1.73	0.413	2.42	106.5	134.2	

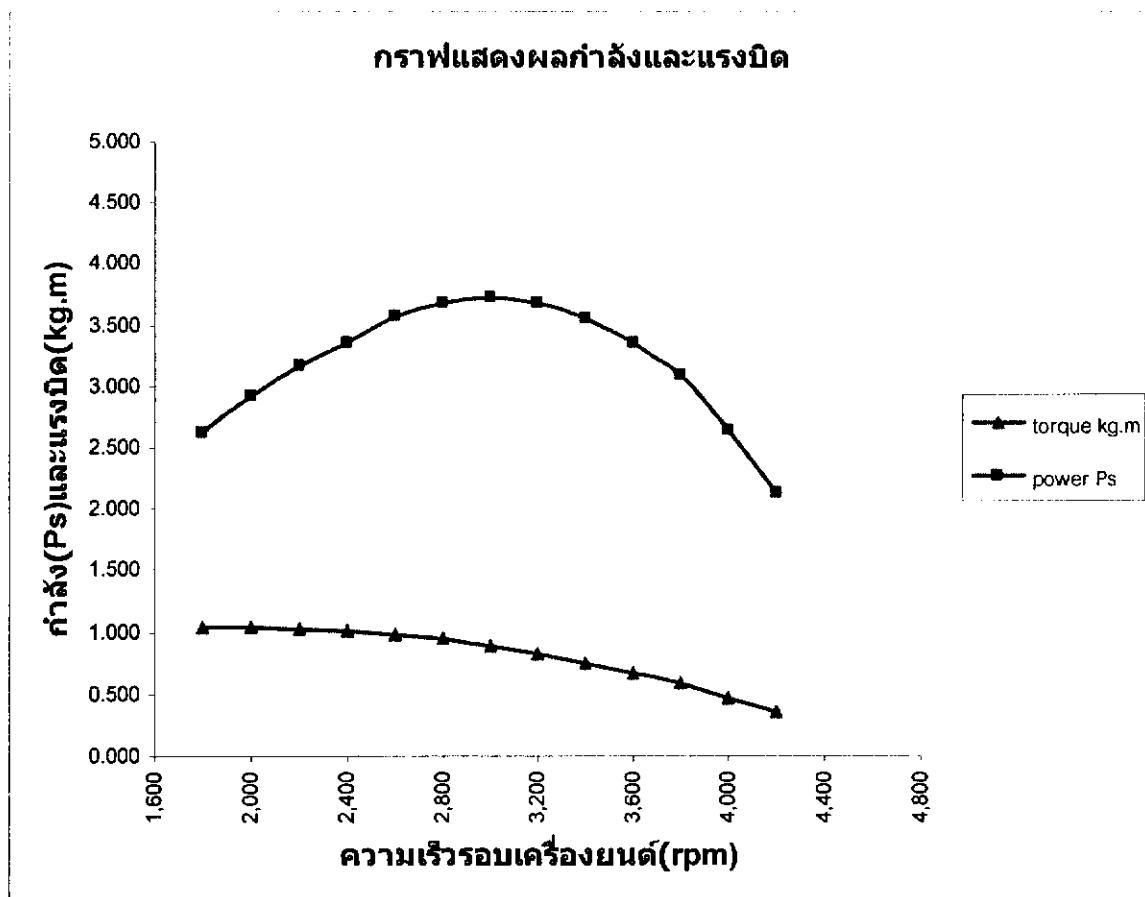


ภาพประกอบ 25 แสดงกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหงหลัก D

สรุป ผลการทดสอบจากตาราง 18 และภาพประกอบ 25 สรุปได้ คือ ค่าแรงบิดมากที่สุดที่ได้ 1.060 kg.m ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที กำลังมากที่สุดที่ได้ 3.57 Ps ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,800 รอบต่อนาที ไม่มีอาการ backfire ที่คาร์บูเรเตอร์ แต่มีอาการ backfire ที่ท่อไอเสียมาก

ตาราง 19 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหุ่นหลัก E

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		766 mm.Hg		29 °C	25 °C	Kerosene
Engine speed	load	Torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.37	1.043	2.62	72.3	130.0	
2,000	4.38	1.046	2.92	77.2	133.8	
2,200	4.31	1.029	3.16	81.4	135.2	
2,400	4.20	1.003	3.36	84.8	136.8	
2,600	4.12	0.983	3.57	87.5	137.3	
2,800	3.94	0.940	3.68	90.1	137.2	
3,000	3.72	0.888	3.72	92.6	136.5	
3,200	3.45	0.824	3.68	95.9	134.6	
3,400	3.14	0.750	3.56	99.4	132.4	
3,600	2.80	0.668	3.36	101.7	130.2	
3,800	2.44	0.582	3.09	104.2	126.8	
4,000	1.98	0.473	2.64	106.4	123.5	
4,200	1.52	0.363	2.13	107.5	119.4	

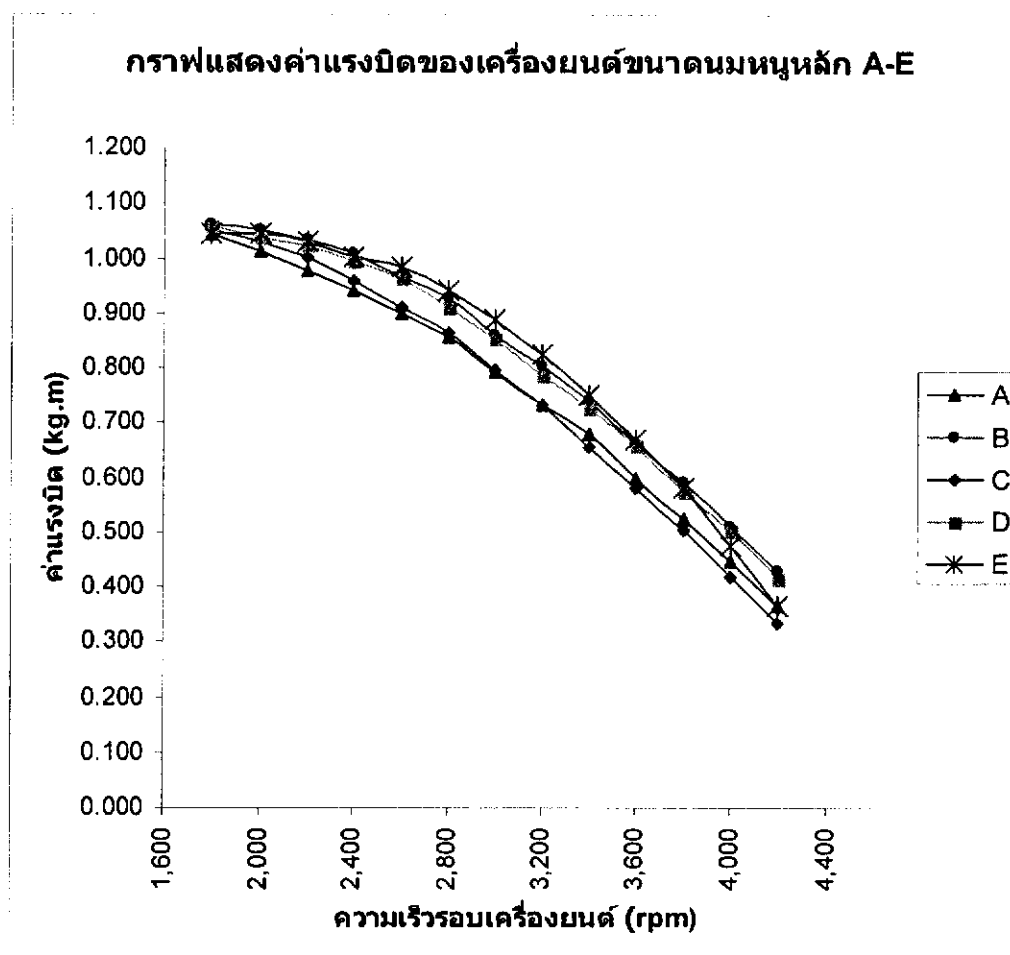


ภาพประกอบ 26 แสดงกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก E

สรุป ผลการทดสอบจากตาราง 19 และภาพประกอบ 26 สรุปได้ คือ ค่าแรงบิดมากที่สุดที่ได้ 1.045 kg.m ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 รอบต่อนาที กำลังมากที่สุดที่ได้ 3.72 Ps ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที ไม่มีอาการ backfire ที่คาร์บูเรเตอร์ มีอาการ backfire ที่ท่อไอเสียบ้างเล็กน้อย

ตาราง 20 แสดงผลการเปรียบเทียบแรงบิดของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหุนหลัก A – E

Main Jet	A	B	C	D	E
Engine speed rpm	Torque kg.m	Torque kg.m	Torque kg.m	Torque kg.m	Torque kg.m
1,800	1.043	1.062	1.053	1.060	1.043
2,000	1.014	1.053	1.031	1.038	1.046
2,200	0.976	1.034	1.003	1.024	1.029
2,400	0.940	1.010	0.960	0.993	1.003
2,600	0.900	0.967	0.909	0.964	0.983
2,800	0.855	0.926	0.862	0.909	0.940
3,000	0.792	0.859	0.795	0.852	0.888
3,200	0.733	0.804	0.733	0.785	0.824
3,400	0.678	0.740	0.654	0.726	0.750
3,600	0.597	0.661	0.580	0.659	0.668
3,800	0.523	0.592	0.504	0.575	0.582
4,000	0.446	0.511	0.418	0.504	0.473
4,200	0.363	0.430	0.332	0.413	0.363

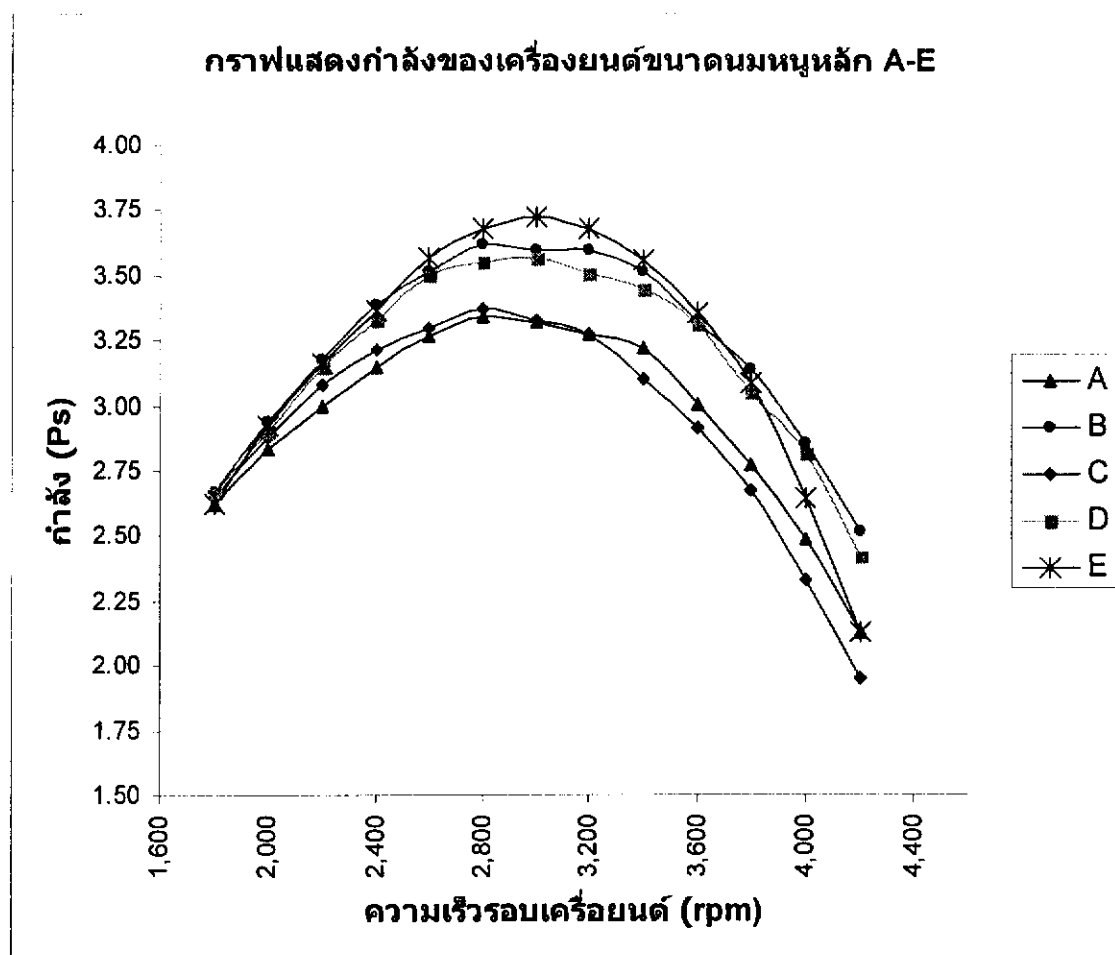


ภาพประกอบ 27 แสดงกราฟผลการเปรียบเทียบค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด
ขนาดของนมหนูหลัก A – E

สรุป ค่าแรงบิดที่ได้จาก ขนาดของนมหนูหลัก A-E จากตาราง 20 และภาพประกอบ 27 สรุปได้ คือ ค่าแรงบิดที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกันทุกค่า ส่วนค่าแรงบิดมากที่สุดที่ได้อยู่ที่ 1.062 kg.m ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที มีอาการ backfire ที่คาร์บูเรเตอร์เล็กน้อย แต่มีอาการ backfire ที่ท่อไอเสียมากและมีไฟออกที่ท่อไอเสีย

ตาราง 21 แสดงผลการเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ขนาดของนมหนูหลัก A – E

Setting	A	B	C	D	E
Engine speed	Power	Power	Power	Power	Power
rpm	Ps	Ps	Ps	Ps	Ps
1,800	2.62	2.67	2.65	2.66	2.62
2,000	2.83	2.94	2.88	2.90	2.92
2,200	3.00	3.18	3.08	3.15	3.16
2,400	3.15	3.38	3.22	3.33	3.36
2,600	3.27	3.51	3.30	3.50	3.57
2,800	3.34	3.62	3.37	3.55	3.67
3,000	3.32	3.60	3.33	3.57	3.72
3,200	3.28	3.59	3.28	3.51	3.68
3,400	3.22	3.51	3.10	3.45	3.56
3,600	3.00	3.32	2.92	3.31	3.36
3,800	2.77	3.14	2.67	3.05	3.09
4,000	2.49	2.85	2.33	2.81	2.64
4,200	2.13	2.52	1.95	2.42	2.13



ภาพประกอบ 28 แสดงกราฟผลการเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด
ขนาดของมมหนูหลัก A – E

สรุป กำลังที่ได้จากขนาดของมมหนูหลัก A – E จากตาราง 21 และภาพประกอบ 28 สรุปได้
คือ กำลังมากที่สุดที่ได้ 3.72 Ps ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที ไม่มีอาการ backfire ที่
คาร์บูเรเตอร์ แต่มีอาการ backfire ที่ท่อไอเสียเล็กน้อย

ตาราง 22 แสดงผลสรุปแรงบิด กำลังและอาการของเครื่องยนต์น้ำมันก๊าดที่ใช้ ขนาดของนมหนูหลัก A-E

Main Jet	Max.Torque(kg.m)	Max.Power(PS)	อาการ backfire ที่ คาร์บูเรเตอร์	อาการ backfire ที่ ท่อไอเสีย
A	1.043/1,800	3.34/2,800	มี	มีน้อย
B	1.062/1,800	3.62/2,800	มีน้อย	มี,มีไฟแลบ
C	1.053/1,800	3.37/2,800	ไม่มี	มี,มีไฟแลบ
D	1.060/1,800	3.57/3,000	ไม่มี	มี
E	1.045/2,000	3.72/3,000	ไม่มี	มีน้อย

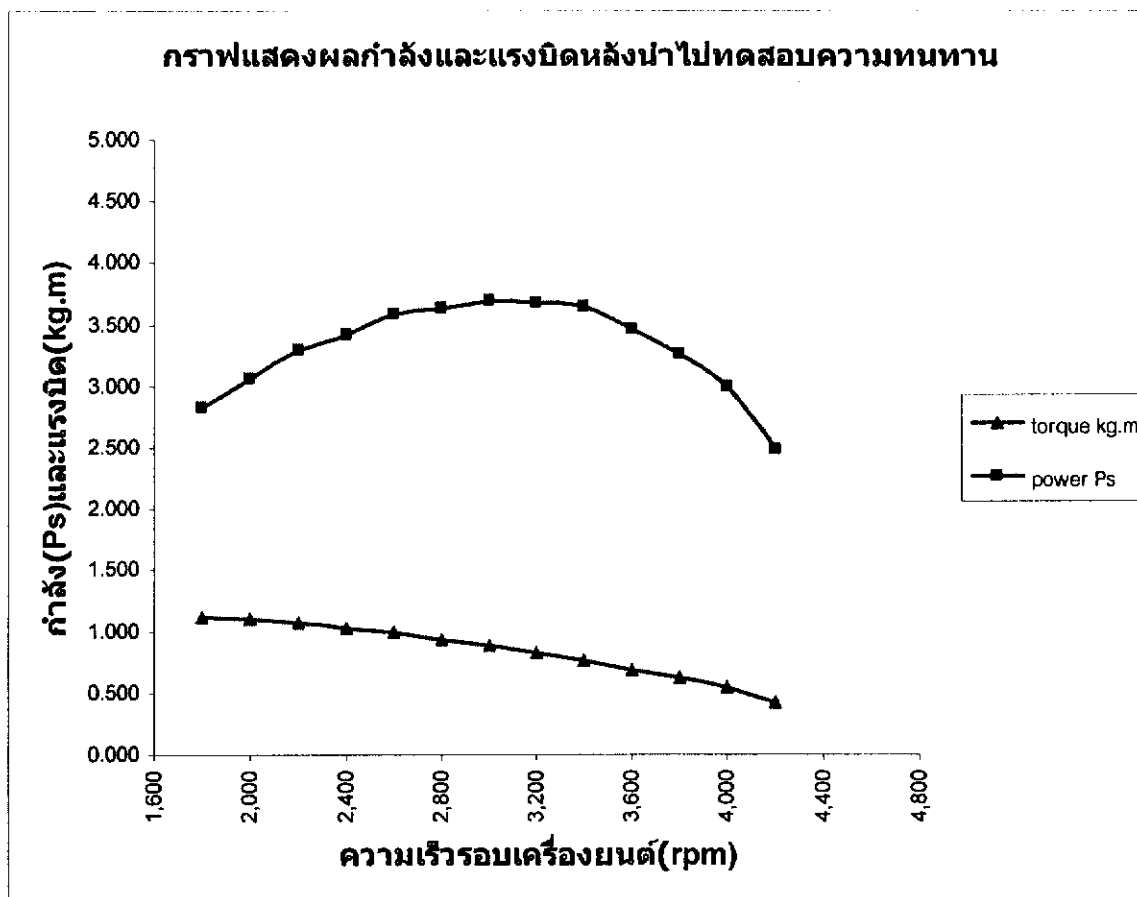
สรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบในช่วงที่ 3

จากตาราง 22 สรุปได้ว่า ขนาดของนมหนูหลัก A – E ที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ ขนาดของนมหนูหลัก E โดยพิจารณาจาก กำลังงานที่ได้มีค่ามากที่สุดและอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นขณะทดสอบมีน้อยที่สุด ส่วนค่าแรงบิดใกล้เคียงกันกับ Setting อื่น ๆ

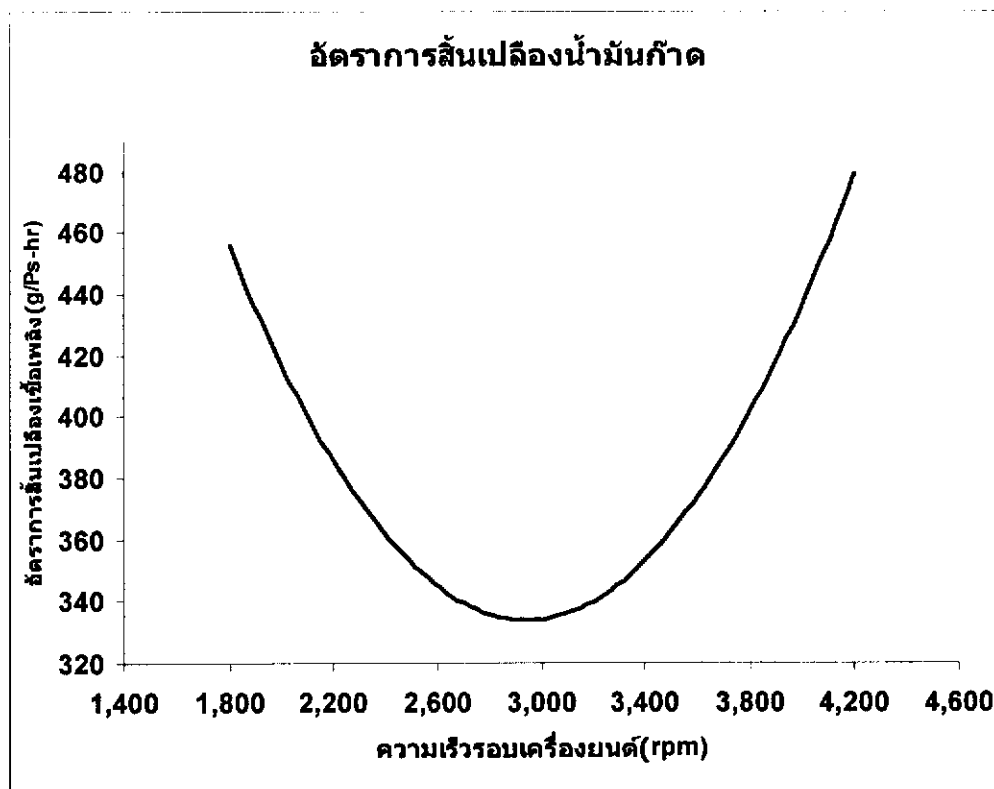
ช่วงที่ 4 : จากการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ในช่วงที่ 2 เราได้อัตราส่วนการอัดและองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมที่สุด ในช่วงที่ 3 เราได้ ขนาดของนมหนูหลักที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้น ในช่วงที่ 4 เป็นการนำเครื่องยนต์ไปทดสอบความทนทาน 300 ชั่วโมงต่อเนื่อง จากการทดสอบได้ผลดังนี้

ตาราง 23 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าดหลังจากการทดสอบความทนทาน

MODEL		atm.pressure		Db Temp.	Wb Temp.	FUEL
KAWASAKI FG230D		765 mm.Hg		29 °C	24 °C	kerosene
Engine speed	load	torque	power	oil temp.	plug seat temp.	
rpm	kg	kg.m	Ps	°C	°C	
1,800	4.70	1.122	2.82	33.4	106.8	
2,000	4.59	1.096	3.06	35.3	123.4	
2,200	4.48	1.069	3.28	47.6	134.8	
2,400	4.28	1.022	3.42	50.2	140.6	
2,600	4.14	0.988	3.59	66.7	147.1	
2,800	3.90	0.931	3.64	69.7	150.2	
3,000	3.69	0.881	3.69	73.6	148.9	
3,200	3.45	0.824	3.68	78.3	148.2	
3,400	3.22	0.769	3.65	80.6	147.2	
3,600	2.89	0.690	3.47	83.9	145.7	
3,800	2.58	0.616	3.27	86.7	142.6	
4,000	2.25	0.537	3.00	89.8	141.1	
4,200	1.78	0.425	2.49	97.6	138.5	



ภาพประกอบ 29 แสดงกราฟค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์น้ำมันก๊าดหลังทดสอบความทนทาน

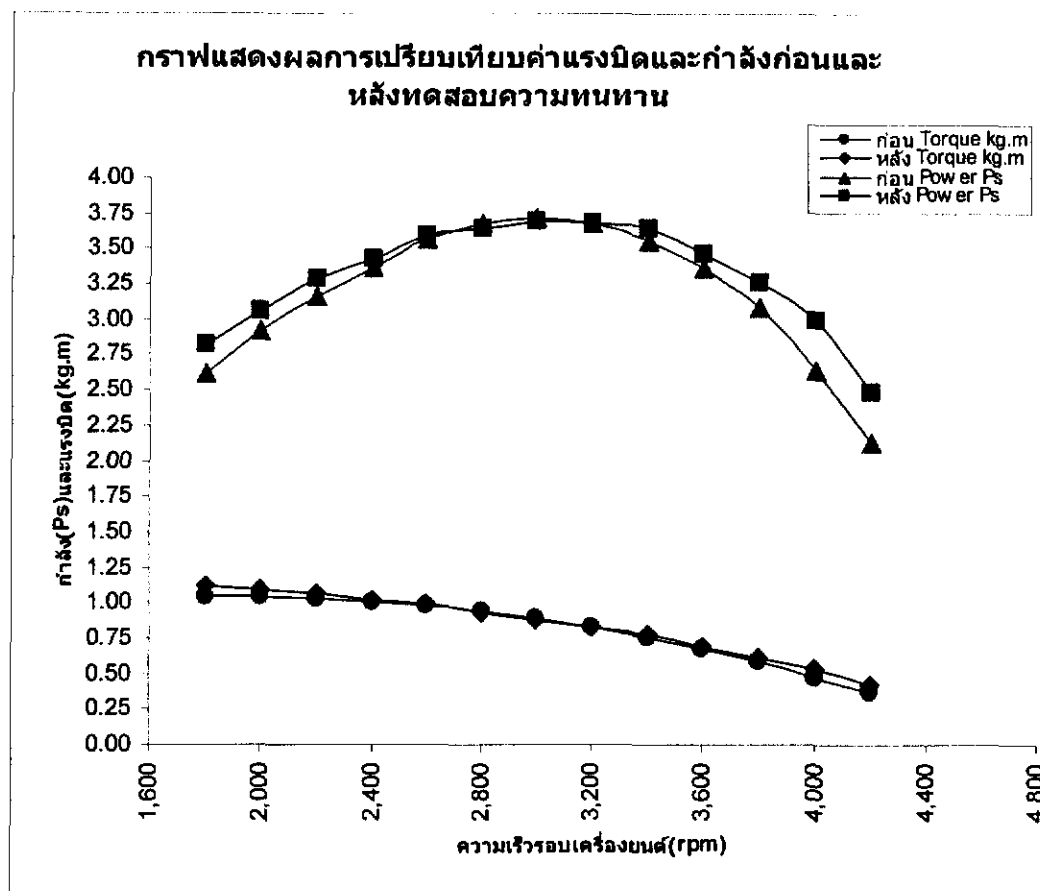


ภาพประกอบ 30 แสดงกราฟอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันก๊าด

สรุป กำลังที่ได้หลังจากทดสอบความทนทานตาราง 23 และภาพประกอบ 29 สรุปได้ คือ กำลังมากที่สุดที่ได้ 3.69 Ps ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที แรงบิด 1.122 kg.m อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยสุด (min. sfc.) = 337.28 g / Ps-hr ที่ 2,800 rpm

ตาราง 24 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน จำนวน 300 ชั่วโมง

engine speed rpm	Before Endurance Test			After Endurance Test		
	load	Torque	power	load	torque	power
	kg	kg.m	Ps	kg	kg.m	Ps
1,800	4.37	1.043	2.62	4.70	1.122	2.82
2,000	4.38	1.046	2.92	4.59	1.096	3.06
2,200	4.31	1.029	3.16	4.48	1.069	3.28
2,400	4.20	1.003	3.36	4.28	1.022	3.42
2,600	4.12	0.983	3.57	4.14	0.988	3.59
2,800	3.94	0.940	3.68	3.90	0.931	3.64
3,000	3.72	0.888	3.72	3.69	0.881	3.69
3,200	3.45	0.824	3.68	3.45	0.824	3.68
3,400	3.14	0.750	3.56	3.22	0.769	3.65
3,600	2.80	0.668	3.36	2.89	0.690	3.47
3,800	2.44	0.582	3.09	2.58	0.616	3.27
4,000	1.98	0.473	2.64	2.25	0.537	3.00
4,200	1.52	0.363	2.13	1.78	0.425	2.49

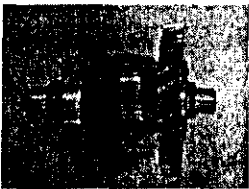
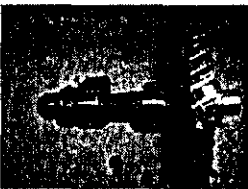
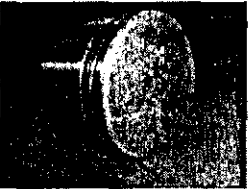
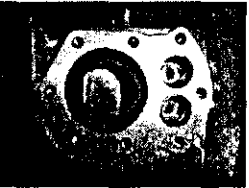
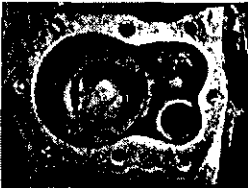
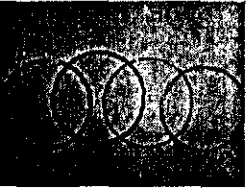
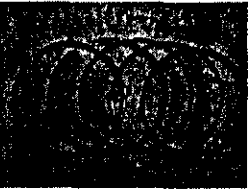
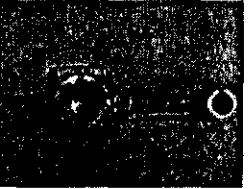
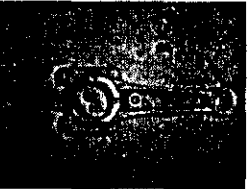


ภาพประกอบ 31 แสดงกราฟผลการเปรียบเทียบค่าแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ก่อน
และหลังการทดสอบความทนทาน จำนวน 300 ชั่วโมง

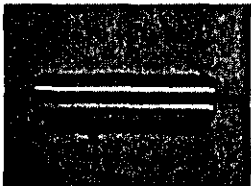
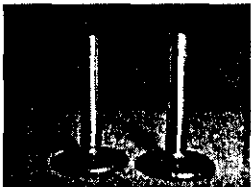
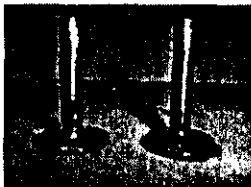
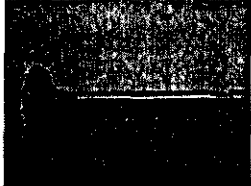
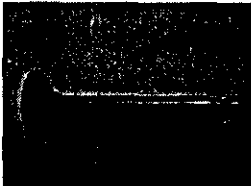
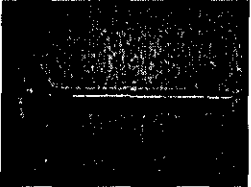
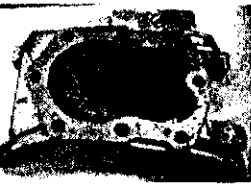
สรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบในช่วงที่ 4

กำลังและแรงบิดที่ได้ก่อนและหลังการทดสอบความทนทาน จากตาราง 24 และภาพประกอบ 31 สรุปได้ คือ ก่อนทดสอบความทนทานกำลังมากที่สุดที่ได้ 3.72 Ps ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที แรงบิด 1.046 kg.m ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 รอบต่อนาที หลังทดสอบความทนทานกำลังมากที่สุดที่ได้ 3.69 Ps ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที แรงบิด 1.122 kg.m ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที ซึ่งค่าที่ได้ทั้งก่อนและหลังไม่แตกต่างกันมาก หลังจากนำเครื่องยนต์ไปทดสอบความทนทาน 300 ชั่วโมงต่อเนื่องแล้วนั้นผู้วิจัยได้นำกลับมาตรวจสอบความสึกหรอของชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ได้ผลดังนี้

ตาราง 25 แสดงผลการเปรียบเทียบลักษณะชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ใช้น้ำมันก๊าด ก่อนและหลังการทดสอบ
ความทนทาน จำนวน 300 ชั่วโมง

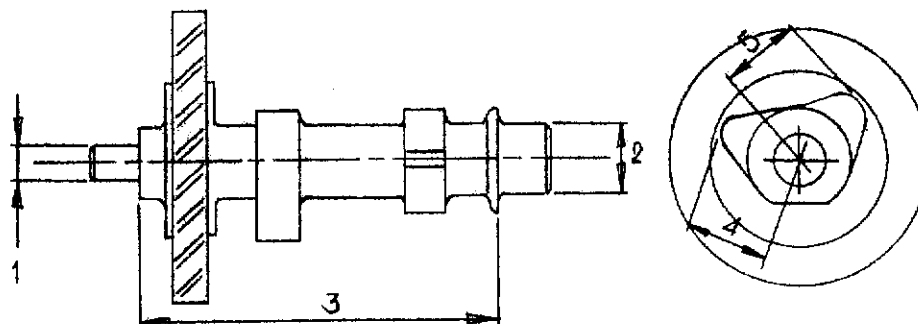
ชื่อชิ้นส่วน	ก่อนทำการทดสอบ	หลังจากทำการทดสอบ 300 ชั่วโมง
เพลาลูกเบี้ยว		
ลูกสูบ		
กระบอกสูบ		
แหวนลูกสูบ		
ก้านสูบ		

ตาราง 25 (ต่อ)

ชื่อชิ้นส่วน	ก่อนทำการทดสอบ	หลังจากทำการทดสอบ 300 ชั่วโมง
สลักลูกสูบ		
ลูกกระทุ้งลิ้น		
เพลาช้อเหวี่ยง		
วาล์วไอดี		
วาล์วไอเสีย		
ฝาสูบ		

จากตาราง 25 พบว่าชิ้นส่วนที่มีความเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจนมากที่สุด คือ ลูกสูบและฝาสูบ คือ มีเขม่าติดอยู่ค่อนข้างมาก ส่วนชิ้นส่วนอื่น ๆ ลักษณะไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิม นอกจากนี้ยังได้ชิ้นส่วนเหล่านี้ไปวัดขนาดเพื่อหาค่าความสึกหรอ ได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. เฟลาตุกเบี้ยว (Camshaft)

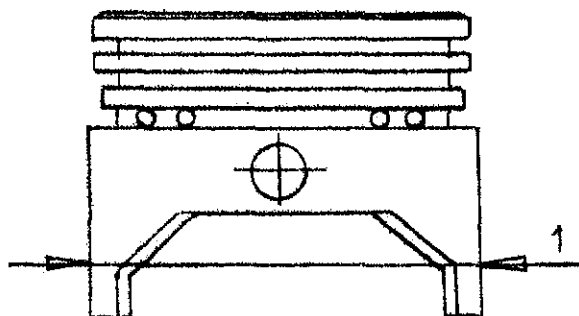


ภาพประกอบ 32 แสดงตำแหน่งการวัดเฟลาตุกเบี้ยว (Camshaft)

ตาราง 26 แสดงผลการตรวจวัดเฟลาตุกเบี้ยว

จุดวัด	SPEC.	เครื่องมือ	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	OK	NG
1	$15^{-0.05}$	Micrometer	14.984	14.983	●	
2	$16.96^{-0.05}$	Micrometer	16.960	16.959	●	
3	$91.3^{-0.1}$	Verniercaliper	91.3	91.3	●	
4	$19.65^{-0.1}$	Vernier High Gauge	19.65	19.65	●	
5	$19.65^{-0.1}$	Vernier High Gauge	19.65	19.65	●	

2. ลูกสูบ (Piston)

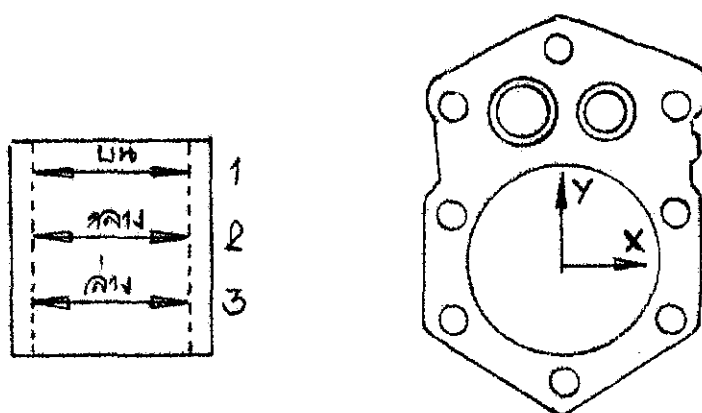


ภาพประกอบ 33 แสดงตำแหน่งการวัดลูกสูบ

ตาราง 27 แสดงผลการตรวจวัดลูกสูบ

จุดวัด	SPEC.	เครื่องมือ	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	OK	NG
1	73.95 ± 0.01	Micrometer	73.950	73.948	●	

3. กระบอกสูบ (Cylinder)

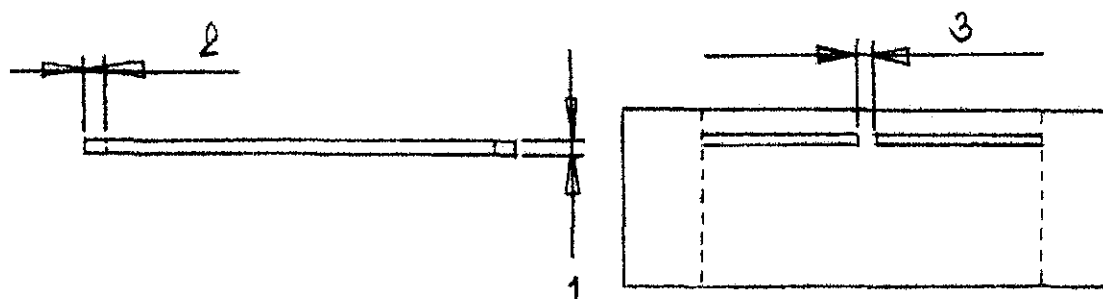


ภาพประกอบ 34 แสดงตำแหน่งการวัดกระบอกสูบ

ตาราง 28 แสดงผลการตรวจวัดกระบอกสูบ

จุดวัด	SPEC.	เครื่องมือ	ก่อน ทดสอบ	หลัง ทดสอบ	แกน	OK	NG
1	74 ^{+0.02}	Bore Gauge	73.988	74.002	X	●	
			73.978	74.007	Y	●	
2		Bore Gauge	73.977	74.006	X	●	
			73.977	74.007	Y	●	
3		Bore Gauge	73.975	74.003	X	●	
			73.976	74.008	Y	●	

4. แหวนลูกสูบ (Piston Ring)

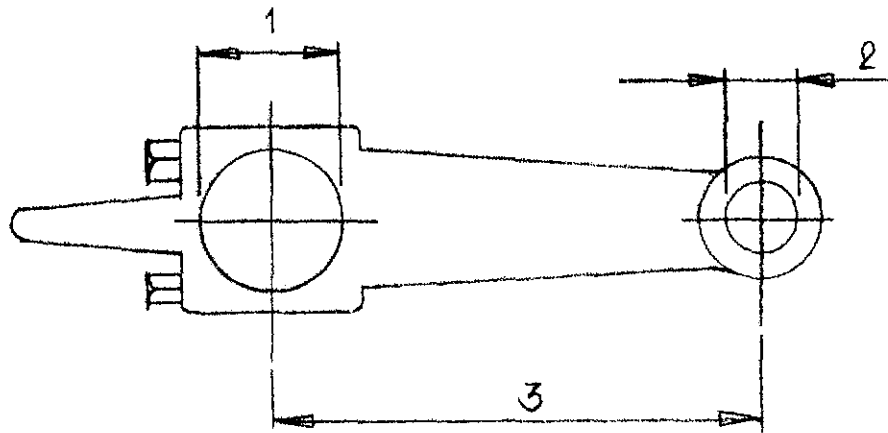


ภาพประกอบ 35 แสดงตำแหน่งการวัดแหวนลูกสูบ

ตาราง 29 แสดงผลการตรวจวัดแหวนลูกสูบ

จุดวัด	SPEC.	เครื่องมือ	ก่อน ทดสอบ	หลัง ทดสอบ	OK	NG
1 ST แหวนอัด						
1	$1.48^{-0.03}$	Micrometer	1.479	1.479	●	
2	3.22 ± 0.01	Verniercaliper	3.22	3.21	●	
3	0.3 ± 0.1	Feeler Gauge	0.25	0.25	●	
2 ND แหวนอัด						
1	$1.48^{-0.03}$	Micrometer	1.479	1.479	●	
2	3.22 ± 0.01	Verniercaliper	3.22	3.22	●	
3	0.3 ± 0.1	Feeler Gauge	0.30	0.30	●	
3 TH แหวนกวาดน้ำมัน						
1	0.45 ± 0.01	Micrometer	0.456	0.456	●	
2	2.27 ± 0.01	Verniercaliper	2.27	2.27	●	
3	0.5 ± 0.1	Feeler Gauge	0.55	0.55	●	
4 TH แหวนกวาดน้ำมัน						
1	0.45 ± 0.01	Micrometer	0.454	0.454	●	
2	2.27 ± 0.01	Verniercaliper	2.27	2.27	●	
3	0.5 ± 0.1	Feeler Gauge	0.55	0.55	●	

5. ก้านสูบ (Connecting Rod)

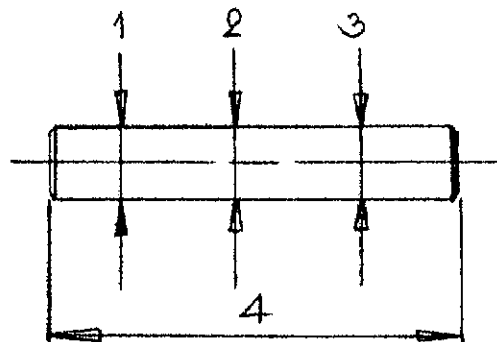


ภาพประกอบ 36 แสดงตำแหน่งการวัดก้านสูบ

ตาราง 30 แสดงผลการตรวจวัดก้านสูบ

จุดวัด	SPEC.	เครื่องมือ	ก่อน ทดสอบ	หลัง ทดสอบ	OK	NG
1	27 ± 0.15	CMM	27.004	27.011	●	
2	$15^{+0.015}$	CMM	15.006	15.008	●	
3	102.4 ± 0.1	CMM	102.471	102.475	●	

6. สลักลูกสูบ (Piston Pin)

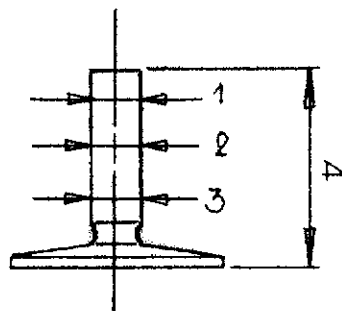


ภาพประกอบ 37 แสดงตำแหน่งการวัดสลักลูกสูบ

ตาราง 31 แสดงผลการตรวจวัดสลักลูกสูบ

จุดวัด	SPEC.	เครื่องมือ	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	OK	NG
1	$15^{-0.1}$	Micrometer	14.992	14.992	●	
2	$15^{-0.1}$	Micrometer	14.994	14.994	●	
3	$15^{-0.1}$	Micrometer	14.996	14.995	●	
4	54 ± 0.2	Verniercaliper	54.12	54.12	●	

7. ลูกกระทุ้งลิ้น (Valve Tappet)

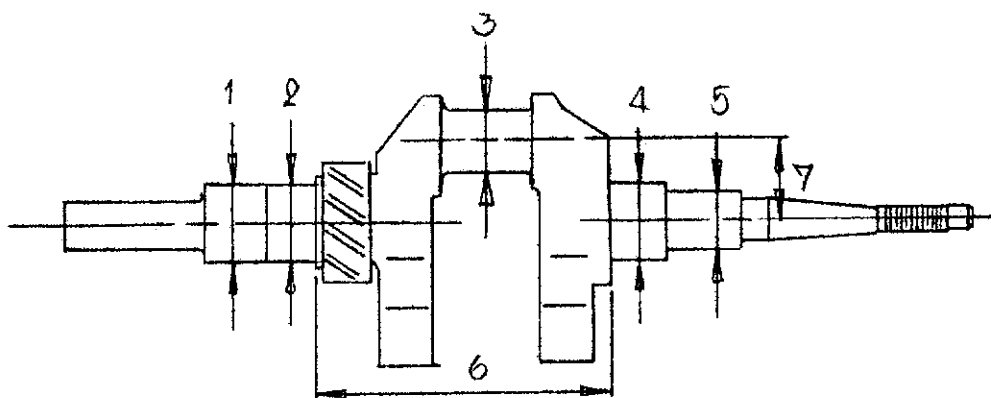


ภาพประกอบ 38 แสดงตำแหน่งการวัดลูกกระทุ้งลิ้น

ตาราง 32 แสดงผลการตรวจวัดลูกกระทุ้งลิ้น

จุดวัด	SPEC.	เครื่องมือ	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	OK	NG
ไอดี						
1	$7^{-0.025}$	Micrometer	6.980	6.980	●	
2	$7^{-0.025}$	Micrometer	6.983	6.982	●	
3	$7^{-0.025}$	Micrometer	6.982	6.982	●	
4	40.5 ± 0.02	Verniercaliper	40.48	40.48	●	
ไอเสียน						
1	$7^{-0.025}$	Micrometer	6.980	6.980	●	
2	$7^{-0.025}$	Micrometer	6.983	6.982	●	
3	$7^{-0.025}$	Micrometer	6.982	6.981	●	
4	40.5 ± 0.02	Verniercaliper	40.48	40.48	●	

8. เพลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft)

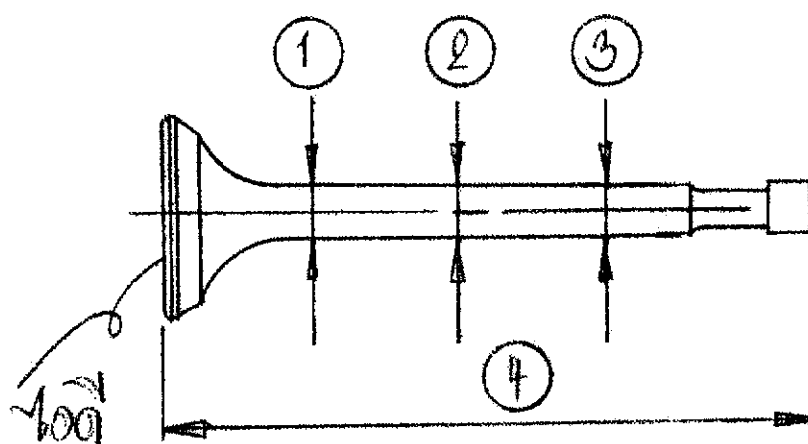


ภาพประกอบ 39 แสดงตำแหน่งการวัดเพลาข้อเหวี่ยง

ตาราง 33 แสดงผลการตรวจวัดเพลาลูกข้อเหวี่ยง

จุดวัด	SPEC.	เครื่องมือ	ก่อน ทดสอบ	หลัง ทดสอบ	OK	NG
1	$25^{-0.1}$	Micrometer	24.949	24.949	●	
2	$25^{-0.1}$	Micrometer	24.984	24.981	●	
3	$27^{-0.1}$	Micrometer	26.967	26.966	●	
4	$25^{-0.1}$	Micrometer	24.979	24.976	●	
5	$22^{-0.1}$	Micrometer	21.985	21.985	●	
6	$90.5^{-0.1}$	Verniercaliper	90.48	90.45	●	
7	$27^{-0.1}$	Vernier High Gauge	26.93	26.93	●	

9 ลิ้นไอดี (Intake Valve)

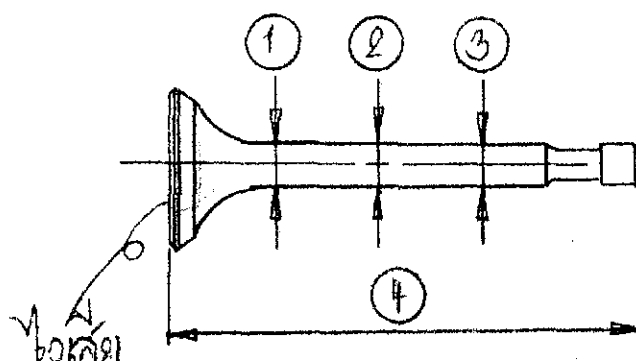


ภาพประกอบ 40 แสดงตำแหน่งการวัดลิ้นไอดี

ตาราง 34 แสดงผลการตรวจวัดลิ้นไอดี

จุดวัด	SPEC.	เครื่องมือ	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	OK	NG
1	$7^{-0.05}$	Micrometer	6.982	6.982	●	
2	$7^{-0.05}$	Micrometer	6.983	6.983	●	
3	$7^{-0.05}$	Micrometer	6.982	6.982	●	
4	$82.27^{-0.2}$	Verniercaliper	87.26	87.26	●	

10. ลิ้นไอเสีย (Exhaust Valve)



ภาพประกอบ 41 แสดงตำแหน่งการวัดลิ้นไอเสีย

ตาราง 35 แสดงผลการตรวจวัดลิ้นไอเสีย

จุดวัด	SPEC.	เครื่องมือ	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	OK	NG
1	$7^{-0.037}$	Micrometer	6.981	6.981	●	
2	$7^{-0.037}$	Micrometer	6.983	6.982	●	
3	$7^{-0.037}$	Micrometer	6.982	6.982	●	
4	$87.34^{-0.2}$	Verniercaliper	87.33	87.33	●	

สรุป ผลจากการวัดขนาดของชิ้นส่วนหลังการทดสอบความทนทาน 300 ชั่วโมง พบว่าขนาดของชิ้นส่วนที่เปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกันมาก บางชิ้นไม่เปลี่ยนแปลงเลย

สรุปผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบในช่วงที่ 4

จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ หลังจากนำไปทดสอบความทนทาน 300 ชั่วโมงต่อเนื่อง พบว่าค่าแรงบิดและกำลังที่ได้ไม่ต่างกัน ส่วนในเรื่องการสึกหรอของชิ้นส่วน จากการตรวจวัดชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่พบว่าค่าที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ที่ยอมรับได้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผล

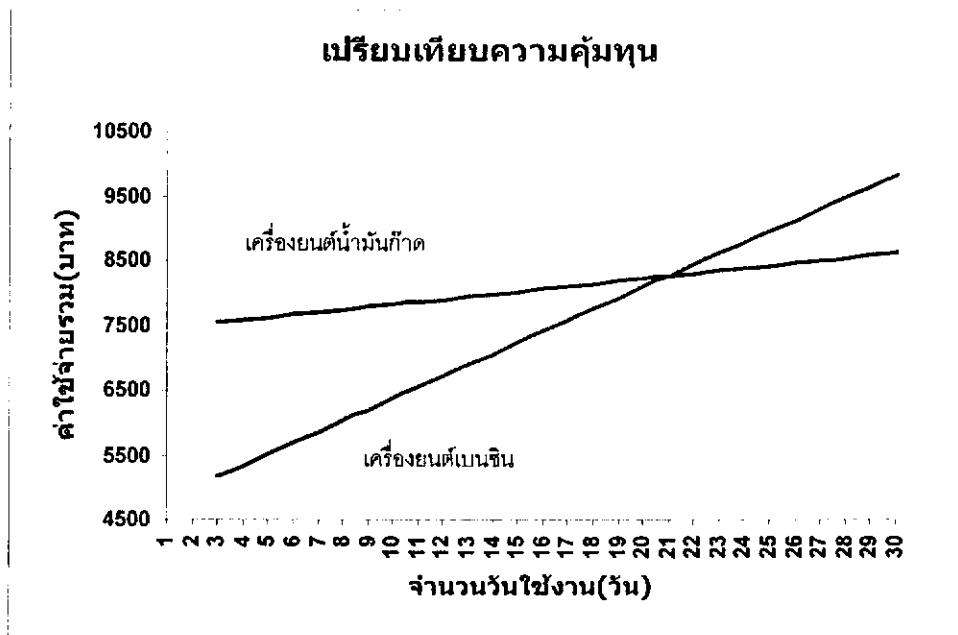
5.1 สรุปและวิจารณ์ผล

จากการทดลองสรุปได้ว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงนั้นไม่สามารถที่จะนำมาใช้กับน้ำมันก๊าดได้โดยตรงจะต้องมีการดัดแปลงแก้ไขเพื่อให้เกิดความเหมาะสม ผู้วิจัยจึงได้ทำการดัดแปลงเครื่องยนต์เล็กเอนกประสงค์ให้สามารถใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงโดยอาศัยหลักการทางทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น โดยมีการดัดแปลงดังนี้ ปรับอัตราส่วนการอัดให้น้อยลงจากเดิม 6.4:1 เหลือ 4.5:1 โดยวิธีการเพิ่มปริมาตรในห้องเผาไหม้ ดัดแปลง Main Jet ในคาร์บูเรเตอร์จากเบอร์ 75 เป็น 77.5 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เป็นการทดสอบที่ความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1,800 ถึง 4,200 รอบต่อนาที ภาระงานเดิมที่ใช้ Eddy Current Dynamometer เป็นอุปกรณ์วัดแรงบิด การทดสอบความสึกหรอโดยใช้ Load เป็นปั้มน้ำขนาด 3 นิ้ว ติดเครื่องยนต์ที่รอบ Full load ต่อเนื่องเป็นเวลา 300 ชั่วโมงโดยมีการบำรุงรักษาตามระยะเวลา

ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินพบว่า แรงบิดที่ได้ลดลง 15% กำลังงานลดลง 28.9% เนื่องจากการลดอัตราส่วนการอัด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น 15% เนื่องจากการเพิ่มปริมาตรห้องเผาไหม้ การสึกหรอไม่แตกต่างกัน โดยสรุป น้ำมันก๊าดน่าจะเป็นเชื้อเพลิงอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันเบนซินได้

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ มีปัจจัยในเรื่องของความต้องการเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงในประเทศที่น้ำมันเบนซินมีราคาสูง เช่น อินเดีย เนปาล บังคลาเทศ ปากีสถาน เป็นต้น ราคาน้ำมันเบนซินในประเทศเหล่านั้นมีราคาสูงกว่าน้ำมันก๊าดมากถึง 4 เท่า ซึ่งถ้าซื้อเครื่องยนต์ที่มีสมรรถนะเท่ากับราคาของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันก๊าดจะแพงกว่าประมาณ 20 % แต่เมื่อนำมาใช้แล้วราคาน้ำมันก๊าดที่ซื้อใช้ถูกกว่าน้ำมันเบนซินถึง 75 % ซึ่งถ้ามองถึงการลงทุนระยะยาวถือว่าคุ้มค่า จึงกล่าวได้ว่าการทดสอบเครื่องยนต์เอนกประสงค์ที่ใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลักนี้ประสบความสำเร็จในระดับหนึ่ง ในประเทศไทยราคาน้ำมันเบนซินซึ่งมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตลอดเวลาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่อนาคตประเทศไทยอาจจะต้องหันมาใช้เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิง

เปรียบเทียบความคุ้มค่าใช้เครื่องยนต์ที่มีขนาดแรงม้าเท่ากับเครื่องยนต์ที่ดัดแปลง ราคา 7,500 บาท เครื่องยนต์ทั่วไปราคา 5,000 บาท จากข้อมูลสมมติว่าผลิตเพื่อขายในประเทศอินโดนีเซีย ราคาน้ำมันเบนซิน ลิตรละ 10 บาท น้ำมันก๊าด ลิตรละ 2 บาท ใช้งานวันละ 8 ชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง น้ำมันเบนซิน 2.15 ลิตรต่ออนาที น้ำมันก๊าด 2.51 ลิตรต่ออนาที



ภาพประกอบ 42 แสดงกราฟเปรียบเทียบความคุ้มค่าถ้าใช้เครื่องยนต์ที่มีขนาดแรงม้าเท่ากัน

จากภาพประกอบ 42 จะเห็นได้ว่าถ้าใช้เครื่องยนต์เบนซินที่มีขนาดแรงม้าเท่ากันถึงแม้ราคาเครื่องยนต์จะถูกกว่าก็จริง แต่เมื่อคิดราคาเครื่องยนต์รวมราคาน้ำมันที่ต้องใช้งานจะเห็นว่าจุดคุ้มทุนในการใช้งานจะอยู่ที่ประมาณ 21 วัน หลังจากวันที่ 21 เป็นต้นไป ต้นทุนของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันก๊าดจะถูกกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันเบนซิน

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

5.2.1 ผู้ที่สนใจสามารถที่จะนำข้อมูลที่ได้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อที่จะใช้ในการพัฒนาเครื่องยนต์เล็กอเนกประสงค์ที่ใช้น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงหลักให้มีสมรรถนะให้ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันเบนซินหรือจะนำไปปรับใช้กับรถยนต์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทยต่อไป

5.2.2 สามารถนำไปพัฒนาให้ใช้กับเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ได้

5.2.3 สามารถนำไปพัฒนาให้เป็นเครื่องยนต์ที่สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิดในเครื่องยนต์เดียว

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา. (2538). การทดลองใช้แก๊สโซฮอลล์เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์. ขวัญชัย จ้อยเจริญ. (2539). การประยุกต์ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายใน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- ลลิต ใสหนู. (2544). ผลกระทบของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (เทคโนโลยีและพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- เทพพร จินดาประเสริฐ. (2544). การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของก๊าซชีวภาพในเครื่องยนต์สันดาปภายใน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. (2533). ความรู้และการทดสอบผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม. ฝ่ายวิศวกรรมและบริการด้านการตลาด. การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย.
- หลาบ รับศิริ. (2528). เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์.
- ชีเพิล ชื่อดวง. (2538). เครื่องยนต์สันดาปภายใน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- ประเสริฐ เทียนนิมิตร และคณะ. (2539). เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- เทพ ชูชา และคณะ. (2542). เครื่องยนต์สันดาปภายใน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- อมรชวัญ ตันติกุล. (2544). ปฏิบัติเครื่องยนต์สันดาปภายใน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ.
- อมรศรี พิรุณเกษตร. (2544). เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- ธีรยุทธ สุวรรณประทีป. (2541). หลักการทำงานและการบำรุงรักษาเครื่องยนต์เล็ก. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- ไทยคาวาซากิมอเตอร์ บริษัท จำกัด. คู่มือบริการเครื่องยนต์เอนกประสงค์คาวาซากิ รุ่น FG230D.
- Brackman, N.D. (1981). *Ethanol Fuel a Single-cylinder Engine Study of Efficiency and Exhaust Emissions*. Paper 810345 presented at the International Congress and Exposition. Detroit, Michigan.

- Birrell, J.S. (1982). *Ethanol as a Petrol Extender in Spark Ignition Engine*. Paper 825026 presented at the XIX International Fisita Congress. Melboure. Australia.
- Paul, J.K. (1979). *Ethyl Alcohol Production and use as a Motor Fuel*. Proceedings : International Symposium on Alcohol Fuel Technology (Methanol and Ethanol), November 21-23.
- King, E.T. and Chui, G.K. (1984). *Hardware Effects on the Wear of Methanol Fueled Engine*. VI International Symposium on Alcohol Fuel Technology. Ottawa Canada. May 21-25.
- Myung, C.L., et al, (1993) *Research and development of Hyundai Flexible Fuel Vehicles*. Future Fuels and Emission System, Society of Automotive Engineers (SAE).
- Yunus A. Cengel & Michael A. Boles. *Thermodynamics An Engineering Approach 3 th. ed.* McGraw-Hill,Inc., Newyork.
- Heawood, J.B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundaments*. McGraw-Hill,Inc., Newyork.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ

การเผาไหม้น้ำมันก๊าด

$C_{12}H_{26}$	+	18.5O ₂	+	69.56N ₂		12CO ₂	+	13H ₂ O	+	69.56N ₂
170 kg	+	592 kg	+	1,947.68 kg		528 kg	+	234 kg	+	1,947.68 kg
1 kg	+	3.48 kg	+	11.46 kg		3.11kg	+	1.38 kg	+	11.46 kg
1 kg	+	14.94 kg of Air								
						15.94 kg of product				

ปริมาณอากาศที่ต้องใช้ 14.94 kg ต่อเชื้อเพลิง 1 kg (A/F=14.94)

สมการหาขนาดนมหนูหลัก

$$d_K = d_L \sqrt{\frac{\alpha_L}{\alpha_K} \frac{1}{\lambda L_{\min}}} \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_K}}$$

สัมประสิทธิ์การไหลของอากาศ	$\alpha_L \approx 0.8$
สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำมันก๊าด	$\alpha_K \approx 0.85$
ความหนาแน่นของน้ำมันก๊าด	$\rho_K \approx 0.840$ kg/Liter
ความหนาแน่นของอากาศ	$\rho_L \approx 1.2$ kg/m ³
เส้นผ่านศูนย์กลางที่คอขวด	$d_L = 15mm.$ (วัดที่ตัวคาร์บูเรเตอร์)
ปริมาณต่ำสุดของอากาศที่ต้องการใช้	$L_{\min} = 14.94$ kg อากาศต่อเชื้อเพลิง 1 kg
อัตราส่วนอากาศ	$\lambda \approx 1$ (ส่วนผสมพอดี)
แทนค่าทั้งหมดลงในสมการหา d_K จะได้ขนาดนมหนู	

$$d_K = 15 \sqrt{\frac{0.8}{0.85} \frac{1}{1(14.94)}} \sqrt{\frac{1.2}{840}} = 0.732 \text{ mm.}$$

อัตราส่วนอากาศ $\lambda \approx 0.9$ (ส่วนผสมที่ให้กำลังงานสูงสุด)

แทนค่าทั้งหมดลงในสมการหา d_K จะได้ขนาดนมหนู

$$d_K = 15 \sqrt{\frac{0.8}{0.85} \frac{1}{0.9(14.94)}} \sqrt{\frac{1.2}{840}} = 0.772 \text{ mm.}$$

สมการหาแรงม้าเบรค

$$BHP = \frac{2\pi NT}{4,500} = \frac{NT}{716.2}$$

$$N = 3,000 \text{ rpm}$$

$$T = 0.881 \text{ kg-m}$$

แทนค่าทั้งหมดลงในสมการหา BHP จะได้แรงม้าเบรค

$$BHP = \frac{3,000 \times 0.881}{716.2} = 3.69 Ps = 2.752 kW$$

สมการหาอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{B.H.P}$$

$$\dot{m}_f = 1.244 \text{ kg/hr} \text{ จากการจับเวลา (จากการจับเวลา น้ำมัน 5 cc. ใช้เวลา 12.15 s.)}$$

$$BHP = 2.752 \text{ kW}$$

แทนค่าทั้งหมดลงในสมการหา bsfc จะได้

$$bsfc = \frac{1.244}{2.752} = 0.45 \text{ kg / kW - hr}$$

สมการหาพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อกำลังงานเบรค

$$bsec = Q_{H.V} \times bsfc$$

$$Q_{H.V} = 46 \text{ xMJ/kg}$$

แทนค่าทั้งหมดลงในสมการหา bsec จะได้

$$\begin{aligned}
 bsec &= 46,000 \text{ kJ/g} \times 0.45 \text{ kg/kW-hr} \\
 &= 20,798.35 \text{ kJ/kW-hr}
 \end{aligned}$$

ตาราง 36 แสดงผลการคำนวณสมรรถนะเครื่องยนต์น้ำมันก๊าด

engine speed	load	torque	power	power	sfc	$\dot{m}_f$	bsfc	bsec
rpm	kg	kg-m	Ps	kW	sec / 5cc.	kg / hr.	kg / kW- hr.	kJ / kW- hr
1,800	4.70	1.122	2.82	2.103	11.95	1.265	0.601	27,664.55
2,000	4.59	1.096	3.06	2.282	11.91	1.270	0.556	25,591.13
2,200	4.48	1.069	3.28	2.451	11.93	1.267	0.517	23,785.95
2,400	4.28	1.022	3.42	2.554	11.90	1.270	0.497	22,880.18
2,600	4.14	0.988	3.59	2.676	11.85	1.276	0.477	21,931.11
2,800	3.90	0.931	3.64	2.715	12.10	1.250	0.460	21,179.91
3,000	3.69	0.881	3.69	2.752	12.15	1.244	0.452	20,798.35
3,200	3.45	0.824	3.68	2.745	11.93	1.268	0.462	21,243.90
3,400	3.22	0.769	3.65	2.722	11.94	1.267	0.465	21,408.96
3,600	2.89	0.690	3.47	2.587	11.93	1.267	0.490	22,533.10
3,800	2.58	0.616	3.27	2.438	12.05	1.255	0.515	23,683.86
4,000	2.25	0.537	3.00	2.238	11.91	1.270	0.567	26,102.95
4,200	1.78	0.425	2.49	1.859	11.93	1.267	0.682	31,364.83

ภาคผนวก ข

คำอธิบายสัญลักษณ์

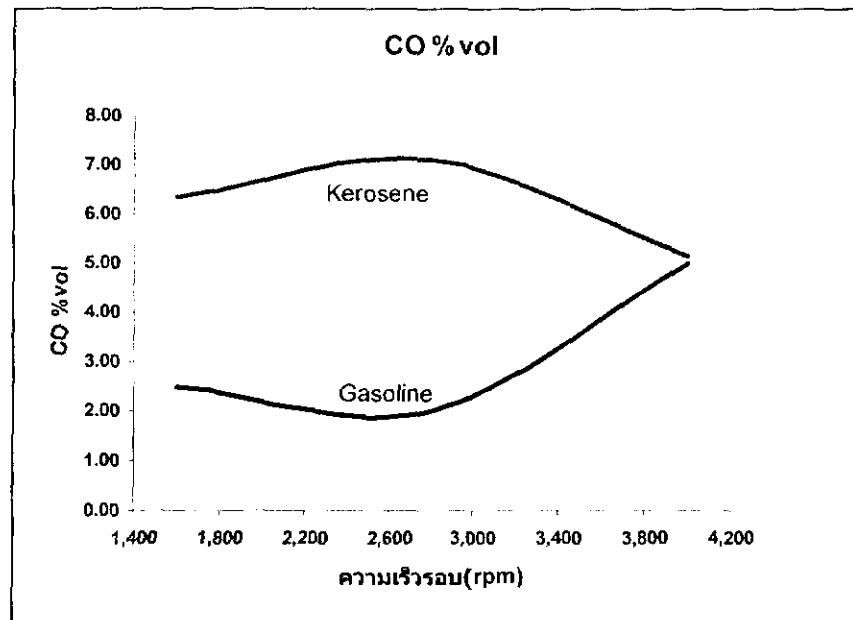
คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A/F	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง	-
BTDC	ก่อนศูนย์ตายบน	-
BHP	แรงม้าเบรค	Ps
F	แรงที่ใช้ในการเบรค	kg
N	จำนวนรอบการจุดระเบิด	rpm
$Q_{h,v}$	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง	kJ/kg
T	แรงบิดของเครื่องยนต์	kg.m
V_c	ปริมาตรที่ห้องเผาไหม้	cc
V_d	ปริมาตรของกระบอกสูบ	cc
bsec	พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อกำลังงานเบรคของเครื่องยนต์	kW/Ps
bsfc	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะบนฐานเบรค	kg/Ps-hr
$\dot{m}_f$	ปริมาณหรือมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้	kg/s
r	แขนแรงที่ใช้ในการเบรค	m.
r_c	อัตราส่วนการอัด	-
λ	อัตราส่วนอากาศ	
α_k	สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำมันก๊าด	
α_L	สัมประสิทธิ์การไหลของอากาศ	
ρ_k	ความหนาแน่นของน้ำมันก๊าด	kg/L
ρ_L	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m ³

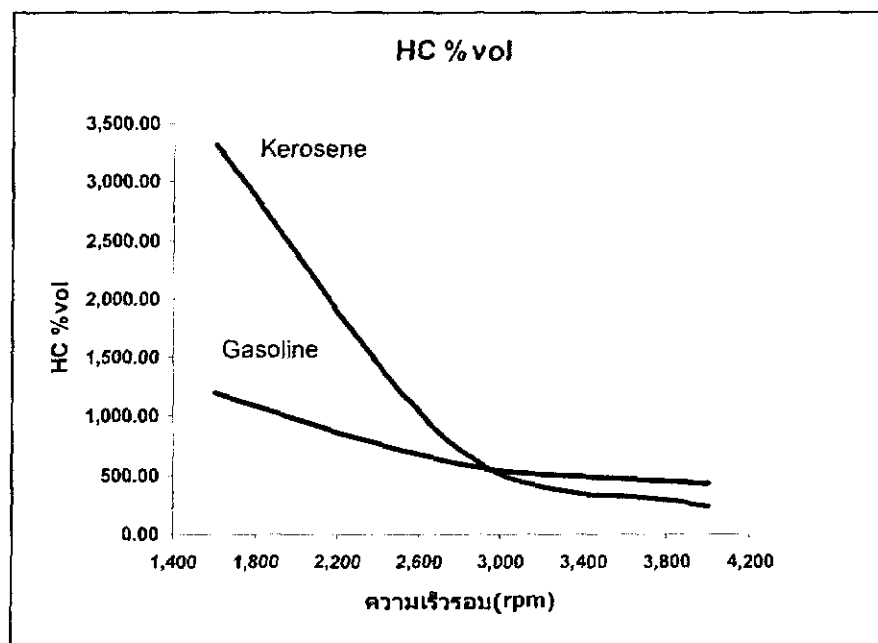
ภาคผนวก ค

การวัดปริมาณแก๊สไอเสียเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินกับน้ำมันก๊าด
กราฟแสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ KAWASAKI FG230D ที่ใช้น้ำมันเบนซิน

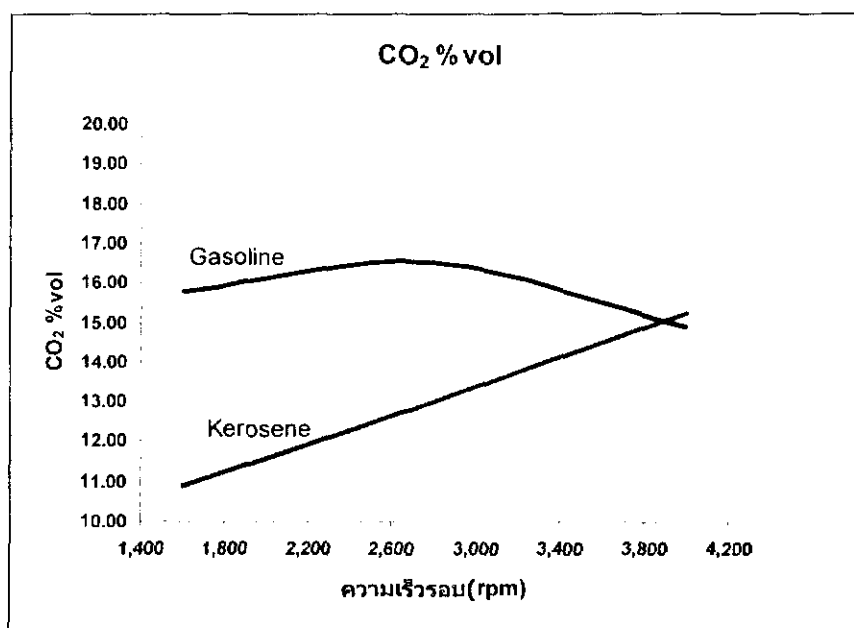
การวัดปริมาณแก๊สไอเสียเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินกับน้ำมันก๊าด



ภาพประกอบ 43 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณก๊าซ CO

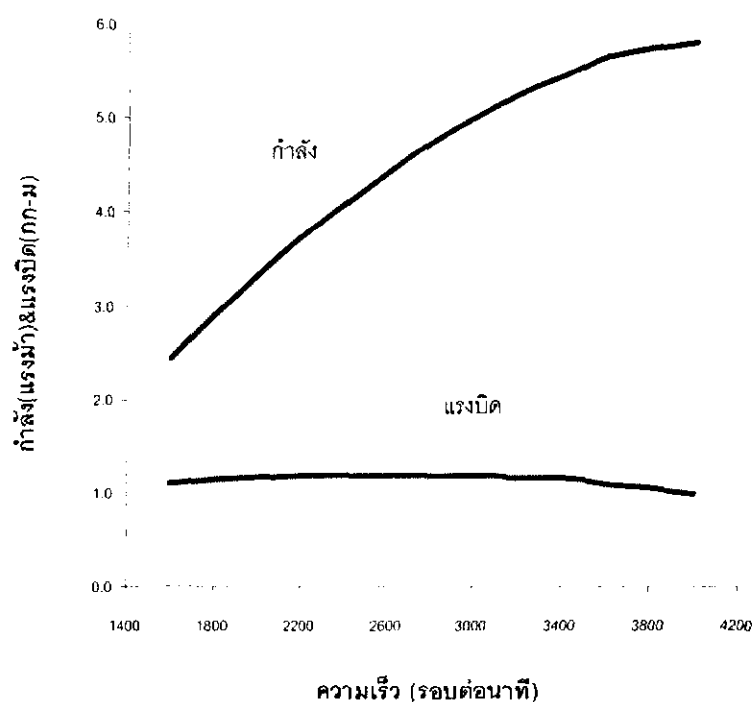


ภาพประกอบ 44 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณก๊าซ HC



ภาพประกอบ 45 แสดงกราฟเปรียบเทียบปริมาณก๊าซ CO₂

กราฟแสดงสมรรถนะเครื่องยนต์



ภาพประกอบ 46 แสดงกราฟสมรรถนะเครื่องยนต์ KAWASAKI FG230D ที่ใช้น้ำมันเบนซิน

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	ว่าที่ร้อยตรีสุรัชย์ ทรัพย์ธนบูรณ์
วันเดือนปีเกิด	6 สิงหาคม 2519
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	47/83 ม.9 ซ.โรงเรียนคลองหนองใหญ่ ถ.สุขาภิบาล1 แขวงบางแค เขตบางแค จ. กรุงเทพฯ 10160
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2533	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนวัดนวลนรดิศ
พ.ศ. 2536	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์ ช่างกล ขส.ทบ.
พ.ศ. 2539	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
พ.ศ. 2543	อุดมศึกษา(วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
พ.ศ. 2549	บัณฑิตศึกษา(วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ