สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงและการจุดระเบิดในเครื่องยนต์รถแข่ง

INJECTION AND IGNITION CONTROL SYSTEM FOR RACING ENGINE

นายปริวรรต หนูเทศ
นายปิยบุตร อ่อนมั่น
นายพรภวิษย์ กิจปกรณ์สันติ

วศ.
ว 421 ร
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....81781
วัน,เดือน,ปี..24 มิ.ย. 2551

b.....11932321
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงและการจุดระเบิดในเครื่องยนต์รถแข่ง

INJECTION AND IGNITION CONTROL SYSTEM FOR RACING ENGINE

นายปริวรรต หนูเทศ
นายปิยบุตร อ่อนมั่น
นายพรภวิษย์ กิจปกรณ์สันติ

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงและการจุดระเบิดในเครื่องยนต์รถแข่ง

INJECTION AND IGNITION CONTROL SYSTEM FOR RACING ENGINE

ผู้จัดทำ

1. นายปริวรรต หนูเทศ รหัสนักศึกษา 47010438
2. นายปิยบุตร อ่อนมั่น รหัสนักศึกษา 47010457
3. นายพรภวิษย์ กิจปกรณ์สันติ รหัสนักศึกษา 47010487

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงและการจุดระเบิดในเครื่องยนต์รถแข่ง

นายปริวรรต หนูเทศ 47010438
นายปิยบุตร อ่อนมั่น 47010457
นายพรภวิษย์ กิจปกรณ์สันติ 47010487
ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ก็เพื่อศึกษาและพัฒนาการทำงานของหน่วยควบคุมเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะแบบหัวฉีด เพื่อใช้ในการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2008 Student Formula และใช้กับเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 95 โดยการศึกษาและทดลองนี้จะพัฒนาเครื่องยนต์ คาวาซากิ ZX6R 600cc จากเครื่องยนต์เดิม ซึ่งมีระบบจ่ายเชื้อเพลิงเป็นคาร์บูเรเตอร์และจุดระเบิดด้วยระบบ CDI ให้เป็นระบบจ่ายเชื้อเพลิงและควบคุมองศาจุดระเบิดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ และปรับแต่งระยะเวลาการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและองศาจุดระเบิดเพื่อให้ได้ซึ่งประสิทธิภาพทั้งกำลังและแรงบิด เปรียบเทียบกับเครื่องยนต์เดิมก่อนการปรับแต่งรวมถึง การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และมลพิษไอเสียด้วย

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนระบบจากระบบเดิมมาเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้เราสามารถควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงและการจุดระเบิดได้ และทำให้ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ เช่น กำลัง แรงบิด นั้นมีแนวโน้มที่ดีขึ้น และสามารถนำรถเข้าแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2008 Student formula ได้ ในด้านการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและมลพิษไอเสียที่วัดได้ มีค่าการสิ้นเปลืองค่อนข้างสูงกว่าปกติ แต่ไอเสียที่ได้มลพิษค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INJECTION AND IGNITION CONTROL SYSTEM FOR RACING ENGINE

Pariwat NOOTHES 47010438
Piyaboot ONMAN 47010457
Pornpawit KITPAKORNSANTI 47010487
Asst. Prof. Dr. Chinda CHAROENPORNPHANICH Advisor
Education Year 2007

Abstract

The objectives of this research is to study and develop electronic control unit for use in 4 strokes gasohol 95 fuel injection engine and compete in TSAE Auto Challenge 2008 Student Formula. In this study, Kawasaki ZX6R 600 cc engine is chosen to modify from carburetor to electronic fuel injection system. Ignition system is developing from CDI to electronic spark advance engine. Mapping ECU, tuning duration time of injection and spark advance provide operation torque and power in each rpm (revolution per minute). The result of mapping ECU experiment will be compared with standard performance curve. This experiment will provides fuel consumption and emission value.

In this experiment, if modify and tuning ECU we can control air/fuel ratio from injection time and power from ignition advance. The result obtains better power and torque in every operation revolution per minute, so we can compete TSAE Auto Challenge 2008 Student formula. In fuel consumption and emission test , the experiment show that the value of fuel consumption is rather high due to rich mixture tuning but the emission from exhaust pipe test is very low when compare with Pollution Control Department (PCD) standard.

© 2007 Department of Mechanical Engineering, KMITL. All rights reserved

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมาซึ่งต้องขอขอบพระคุณอย่างมาก

ทั้งนี้ยังต้องขอขอบคุณ พี่กรุง ที่คอยช่วยเหลือทางด้านอะไหล่เครื่องยนต์ พี่หมู พี่บอล พี่บี๊พ ที่ให้ความรู้และวิธีการใช้โปรแกรมของกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ พี่ยักษ์ พี่แขก พี่เอ๋ พี่หนุ่ม พี่วิทและพี่ตั๊ม ที่คอยให้คำแนะนำ และคำปรึกษาทางด้านเทคนิคต่างๆ ที่คอยช่วยเหลือ และสนับสนุนในหลายๆ อย่าง เพื่อนทีมโปรเจค โต๊ด กิ๊บ อ๊อฟ ที่ช่วยกันทำรถขึ้นมา น้องๆในชมรมยานยนต์ (ชาย โจ้อ้วน บูม อำ นู เซอร์ เป็ยก น้องบอม) ที่ช่วยในการจัดสร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ และพี่ๆ เพื่อนๆ อีกหลายคนที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่ทำให้พวกข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา ซึ่งได้เลี้ยงดูพวกข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังคอยให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆ ด้าน ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ปริวรรต หนูเทศ
ปิยบุตร อ่อนมั่น
พรภวิษย์ กิจปกรณ์สันติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	III
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	IV
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	XIII
บทที่ 1 บทนำ	I
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 แนวทางในการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการเผาไหม้ของเครื่องยนต์	4
2.1 การผสมระหว่างอากาศ และน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้	4
2.2 อัตราส่วนผสมของอากาศ และเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ต้องการในสภาวะต่างๆ	6
2.3 ข้อจำกัดในการทำงานของคาร์บูเรเตอร์	7
บทที่ 3 ระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด	10
3.1 ระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด	10
3.2 การควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมัน	11
3.3 การเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	12
3.4 ส่วนประกอบของระบบเชื้อเพลิง	12
3.5 ระบบประจุอากาศ	18
บทที่ 4 ระบบจุดระเบิด	22
4.1 ชนิดของระบบจุดระเบิด	22
4.2 หน้าที่ของระบบจุดระเบิด	22
4.3 ส่วนประกอบของระบบจุดระเบิด	23
4.4 จานจ่ายจุดระเบิด	23
4.5 วงจรปฐมภูมิและทุติยภูมิของระบบจุดระเบิด	24
4.6 ข้อดีของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 ส่วนประกอบของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์	25
4.8 การทำงานของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์	26
4.9 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าปิกอัพ	28
บทที่ 5 ระบบควมคุมอิเล็กทรอนิกส์	30
5.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	30
5.2 ตัวตรวจจับสัญญาณ และหน้าที่	30
5.3 หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	39
บทที่ 6 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง	43
6.1 อุปกรณ์การทดสอบ	43
6.2 ขั้นเตรียมการทดสอบ	46
6.3 ปัญหาในการดำเนินงาน	54
6.4 สภาวะการการทดสอบ	61
6.5 วิธีการทดสอบ	66
บทที่ 7 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง	69
7.1 ผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์	69
7.2 ผลด้านมลพิษ	72
บทที่ 8 สรุปผลการทดลอง และวิจารณ์ผลการทดลอง	75
8.1 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	75
บรรณานุกรม	77
ภาคผนวก	78
ก. กติกาและผลการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2008 Student Formula	79
ข. ตารางบันทึกผลการทดสอบและคำนิยามและสมการที่ใช้ในการทดสอบ	89
ค. กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอน จากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 อัตราส่วนผสมของอากาศ และเชื้อเพลิงตามทฤษฎี	4
2-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่อความสิ้นเปลืองน้ำมัน และกำลังของเครื่องยนต์	5
2-3 วงจรต่างๆ ของคาร์บูเรเตอร์	8
3-1 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ D-Jetronic หรือ EFI แบบ D	10
3-2 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ L-Jetronic หรือ EFI แบบ L	11
3-3 ไดอะแกรมการควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน	11
3-4 ไดอะแกรมการเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	12
3-5 ส่วนประกอบของระบบเชื้อเพลิง	13
3-6 ส่วนประกอบของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง	13
3-7 ส่วนประกอบของกรองน้ำมัน	14
3-8 ท่อจ่ายน้ำมันในระบบเชื้อเพลิง	14
3-9 ส่วนประกอบ และการทำงานของตัวควบคุมความดัน	15
3-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการฉีดกับค่าความแตกต่างของความดันน้ำมันเชื้อเพลิง และความดันของอากาศในท่อร่วมไอดี	16
3-11 หัวฉีดประจำสูบและตำแหน่งการติดตั้ง	17
3-12 โครงสร้างของหัวฉีดประจำสูบ	17
3-13 ตัวอย่างอุปกรณ์ในระบบประจุอากาศของเครื่องยนต์หัวฉีด EFI	18
3-14 ส่วนประกอบของมาตรวัดการไหลของอากาศ	19
3-15 เรือนลิ้นเร่งของเครื่องยนต์หัวฉีด	19
3-16 การทำงานของลิ้นเร่ง	20
3-17 ห้องประจุไอดี	20
4-1 ระบบจุดระเบิดแบบทองขาว	22
4-2 ระบบจุดระเบิดแบบทองขาว	23
4-3 ชิ้นส่วนต่างๆ ในจานจ่ายที่ใช้ทองขาว	24
4-4 วงจรปฐมภูมิในระบบจุดระเบิดแบบทองขาว	24
4-5 วงจรทุติยภูมิในระบบจุดระเบิดแบบทองขาว	25
4-6 ส่วนประกอบของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์	26
4-7 การเปรียบเทียบวงจรปฐมภูมิของระบบจุดระเบิดแบบทองขาวและแบบอิเล็กทรอนิกส์	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-8 ชิ้นส่วนต่างๆในจานจ่ายแบบหนึ่งของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์	27
4-9 การผ่านของฟันรีลักเตอร์บนคอยล์ปิกอัพ	28
4-10 วงจรปฐมภูมิจะถูกเปิดออกและเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงในวงจรทุติยภูมิ ในขณะที่ฟันของรีลักเตอร์เริ่มเคลื่อนที่ออกจากแนวของคอยล์ปิกอัพ	29
5-1 แสดงการควบคุมการฉีดพื้นฐาน	30
5-2 ส่วนประกอบของมาตรวัดการไหลของอากาศ	31
5-3 ตัวตรวจจับสุญญากาศ	31
5-4 ส่วนประกอบของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง	32
5-5 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งในตำแหน่งเดินเบา	32
5-6 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งในตำแหน่งกำลัง	33
5-7 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งในตำแหน่งว่าง	33
5-8 รูปร่างและตำแหน่งการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ	34
5-9 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ	34
5-10 การต่อวงจรตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ	35
5-11 แสดงตำแหน่งติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ	35
5-12 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ	36
5-13 ตำแหน่งติดตั้งตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน	36
5-14 ส่วนประกอบของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน	37
5-15 กราฟแสดงการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเมื่อไอดีมีอัตราส่วนผสมที่หนาและบาง	37
5-16 โรเตอร์สัญญาณและขดลวดกำเนิดสัญญาณ	38
5-17 สัญญาณที่เกิดจากตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง	38
5-18 หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	39
5-19 สัญญาณการจุดระเบิด	39
5-20 การสร้างสัญญาณควบคุมจังหวะการฉีดของ ECU	40
5-21 แผนภูมิแสดงระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	41
5-22 กราฟแสดงการแก้ไขระยะเวลาในการฉีดจากค่าแรงดันไฟฟ้า	41
5-23 กราฟแสดงการตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	42
6-1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ	43
6-2 กล่องควบคุมเครื่องยนต์ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6-3 ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ	44
6-4 ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ	44
6-5 ตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง	44
6-6 ตัวตรวจจับองศาลิ้นปีกผีเสื้อ	44
6-7 ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน	44
6-8 ตัวตรวจจับองศาเพลาลูกเบี้ยว	44
6-9 หัวฉีด	45
6-10 ตัวช่วยจุดระเบิด	45
6-11 คอยล์จุดระเบิด	45
6-12 แสดงน้ำมันเชื้อเพลิง Gasohol95	46
6-13 รูปแสดงสัญญาณที่ได้จากตัวรับรู้มุมเพลาข้อเหวี่ยง	47
6-14 รูปแสดงสัญญาณที่เกิดจาก ฟันที่หายไปของ encoder ซึ่งเอาไว้ระบุตำแหน่งลูกสูบ	47
6-15 12-1 Motronic trigger wheel	47
6-16 แสดงสัญญาณที่ได้จากการทดลอง ซึ่งไม่คงที่	48
6-17 แสดงจาน encoder แบบ 36 -1 Motronic trigger wheel	48
6-18 แสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับซึ่งติดอยู่ที่ เพลาลูกเบี้ยว	49
6-19 แสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับซึ่งติดอยู่ที่ เพลาลูกเบี้ยว (บน) และเพลาข้อเหวี่ยง (ล่าง)	49
6-20 แสดงจาน encoder แบบ 12 Multitooth และตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง	49
6-21 แสดงจาน encoder และตัวตรวจจับมุมเพลาลูกเบี้ยว	50
6-22 แสดงการจุดระเบิด ณ 7.5 degree BTDC	50
6-23 แสดงหน้าต่างการปรับตั้งค่าเบื้องต้นของเครื่องยนต์	51
6-24 แสดงการปรับตั้งค่าทั่วไปของระบบฉีดจ่ายเชื้อเพลิง	52
6-25 แสดงการปรับตั้งค่าทั่วไปของระบบจุดระเบิด	52
6-26 แสดงการฉีดเชื้อเพลิงแบบ Multipoint หรือ Simultaneous กับระบบจุดระเบิดแบบ Waste sparks	53
6-27 แสดงการฉีดเชื้อเพลิงแบบ Sequential กับระบบจุดระเบิดแบบ Waste sparks	54
6-28 แสดงจานทริกเกอร์ 36 หาย 2 ฟัน	54
6-29 สัญญาณที่อ่านได้จากตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยง	55
6-30 แสดงจานทริกเกอร์ 36 หาย 1 ฟัน	55
6-31 แสดงวงจรตัวขยายและกรองสัญญาณ	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6-32 แสดงถึงช่องว่างระหว่างฟัน12 หาย1 ฟัน	56
6-33 แสดงตัวตรวจจับที่ทำงานลักษณะเดียวกับสัญญาณทริกเกอร์ของโดโยต้า	57
6-34 แสดงนมหนูอากาศที่ได้ทำการเพิ่มเข้าไป	57
6-35 แสดงอุปกรณ์ one way clutch	58
6-36 แสดงตำแหน่งที่เสื้อร้าว	58
6-37 แสดงกำลังอัดของกระบอกสูบที่ต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น	59
6-38 แสดงกระบอกสูบของเครื่องอะไหล่ที่ผิวเป็นคลื่น	59
6-39 แสดงการตรวจสอบความตึงของน็อตฝาสูบ	60
6-40 แสดงตำแหน่งใหม่ของคอลย์จุดระเบิด	61
6-41 แสดงตารางการปรับตั้งระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิง	61
6-42 แสดงตารางการปรับตั้งองศาการจุดระเบิด	62
6-43 แสดงตารางการปรับตั้งองศาการจุดระเบิดสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น	62
6-44 แสดงตารางการปรับระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศเข้า	62
6-45 แสดงตารางการปรับระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น	63
6-46 แสดงตารางการปรับระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงสัมพันธ์กับระยะเวลาหลังสตาร์ท	63
6-47 แสดงการปรับระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิง โดยสัมพันธ์กับ AFR ที่ต้องการ	63
6-48 แสดงการปรับระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิง โดยวิธี Interpolation	64
6-49 แสดงการปรับตั้งองศาการจุดระเบิด โดยสัมพันธ์กับกำลังที่ได้	64
6-50 แสดงการปรับตั้งองศาการจุดระเบิด โดยวิธี Interpolation	65
6-51 การปรับรอบเครื่องยนต์บนแท่นไดมาโมมิเตอร์	66
6-52 เครื่องมือวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	67
6-53 อุปกรณ์การวัดมลพิษในแก๊สไอเสีย	68
7-1 กราฟแสดงค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ก่อนและหลังปรับตั้งค่าการจ่ายเชื้อเพลิง และองศาจุดระเบิด	69
7-2 กราฟแสดงค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ก่อนและหลังปรับตั้งค่าการจ่ายเชื้อเพลิง และองศาจุดระเบิด	70
7-3 กราฟแสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะเบรกของระบบการจ่ายเชื้อเพลิง แบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

7-4 กราฟแสดงค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ 71

7-5 กราฟแสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ 72

7-6 กราฟแสดงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ 73

7-7 กราฟแสดงปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ 73

7-8 กราฟแสดงปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมของอากาศ และน้ำมันเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ต้องการ	7
6-1 แสดงข้อมูลของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ	43
6-2 แสดงคุณสมบัติของหัวฉีด	45
6-3 แสดงข้อมูลของระบบจุดระเบิด	45
6-4 ตารางบันทึกผลการทดลองที่สภาวะลิ้นไอดีเปิดสุด	66
6-5 ตารางบันทึกผลการทดลองวัดปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	67
6-6 ตารางบันทึกผลมลพิษแก๊สไอเสีย	68
ก-1 คะแนนการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2008 Student Formula	88
ข-1 แสดงค่ากำลังเบรกและแรงบิดของเครื่องยนต์	90
ข-2 แสดงค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ	91
ข-3 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะเบรกของระบบการจ่ายเชื้อเพลิง แบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ	91
ข-4 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ	92
ข-5 แสดงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ	92
ข-6 กราฟแสดงปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะ โหลด และความเร็วต่างๆ	93
ข-7 แสดงปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มา

เนื่องด้วยทางชมรมยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้เข้าร่วมการแข่งขันของสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ไทย ในโครงการ TSAE Auto Challenge 2008 Student Formula โดยในการแข่งขันจะเป็นการแข่งขันสร้างรถยนต์ รถยนต์ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ที่มีลักษณะเป็น Formula car (อ้างอิง JSAE Formula) โดย มีการกำหนดให้ใช้เครื่องยนต์ที่มีขนาดไม่เกิน 610 cc และมีการคิดคะแนนในส่วนของสมรรถนะเครื่องยนต์และการประหยัดน้ำมัน ซึ่งได้เลือกใช้เครื่องยนต์ขนาด 600 cc แบบระบบฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เพื่อให้ทีมนั้นได้คะแนนตามข้อกำหนดให้มากที่สุด ซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้นั้นขนาด 600 cc นั้นเป็นเครื่องยนต์ระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์ ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น คณะผู้จัดทำจึงต้องนำเครื่องยนต์ดังกล่าวมาแปลงเป็นระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดแทนซึ่งต้องพัฒนาและปรับปรุงเครื่องยนต์ให้สามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิง Gasohol95 และเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องยนต์ขนาดเล็กให้มาเป็นระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาการทำงานของหน่วยควบคุมเครื่องยนต์ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์
2. พัฒนาประสิทธิภาพเครื่องยนต์ทางด้านกำลังและแรงบิดเพื่อให้ได้มากกว่าหรือเท่ากับเครื่องยนต์เดิมจากโรงงาน ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ระบบคาร์บูเรเตอร์
3. พัฒนาประสิทธิภาพเครื่องยนต์ทางด้านการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และมลพิษไอเสียโดยให้อยู่ในขอบเขตของกติกาการแข่งขันและกฎหมายควบคุมมลพิษ
4. นำเครื่องยนต์ที่ได้รับการปรับแต่งให้สามารถใช้ได้กับ Gasohol95 ไปใช้ในรถยนต์ที่สร้างขึ้น เพื่อใช้ในการแข่งขันในรายการ TSAE Auto Challenge 2008 Student Formula

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. พัฒนาเครื่องยนต์ คาวาซากิ ZX6R 600 cc จากเครื่องยนต์ระบบคาร์บูเรเตอร์มาเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปรับแต่งการฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง และการจุดระเบิด ให้ได้แรงบิดและกำลังใช้งานในรอบเครื่องยนต์ที่ต้องการ
3. ทดสอบมลภาวะโดยเครื่องมือทดสอบทางท่อไอเสีย เพื่อวัด CO, CO_2, HC, NO_x โดยการเปรียบเทียบกับมาตรฐานมลพิษ
4. เพิ่มระบบตัวรับรู้จากเครื่องยนต์เดิม เพื่อชดเชยระยะเวลาการฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง และองศาการจุดระเบิด ให้แม่นยำขึ้น

1.4 แนวทางในการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลต่างๆ ของระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด การปรับองศาการจุดระเบิด และการใช้โปรแกรมกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ตลอดถึงเครื่องยนต์ที่นำมาใช้ในการแข่งขัน
2. ติดตั้งระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แทนระบบคาร์บูเรเตอร์กับเครื่องยนต์เดิม
3. ควบคุมองศาจุดระเบิดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์
4. ปรับแต่งเครื่องยนต์ให้สามารถใช้เชื้อเพลิง Gasohol95 ได้
5. ทดสอบมลภาวะโดยเครื่องมือทดสอบทางท่อไอเสีย เพื่อวัด CO, CO_2, HC, NO_x โดยการเปรียบเทียบกับมาตรฐานมลพิษ
6. แล้วนำเครื่องยนต์ที่ได้รับการปรับปรุงแล้วไปทดสอบตัวเครื่องยนต์ที่จะใช้แข่งขันจริง

ซึ่งโครงงานนี้มีขอบเขตที่จะต้องนำมาพิจารณาโดยเป็นไปตามนี้

การแข่งขัน Formula TSAE 2008

จุดประสงค์ของการแข่งขัน Formula TSAE 2008 ก็เพื่อให้นักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์และกลุ่มนักศึกษาที่สนใจ จัดสร้างและทำการออกแบบรถเพื่อทำการแข่งขันในลักษณะของรถแข่งขนาดเล็ก กติกาเปิดกว้างสำหรับนักศึกษาเพื่อที่จะพัฒนานวัตกรรมใหม่ๆ ให้ดูแลการใช้ต้นทุนการสร้างให้ต่ำด้วยตนเอง และในเรื่องของด้านความปลอดภัยใช้หลักเดียวกับรถแข่งทั่วไป ซึ่งในด้านความปลอดภัย กรรมการจะเป็นผู้ทดสอบตรวจตรา แล้วจะรายงานว่าคันไหนพร้อมหรือไม่พร้อม เมื่อไม่พร้อมก็จะไม่มีสิทธิในการลงแข่งขัน ในขั้นพื้นฐานของตัวรถนั้น เครื่องยนต์ต้องไม่เกิน 800 cc ระบายก๊าซผ่านช่องเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 mm.

การแข่งขันได้ยึดหลักการประเมินการจัดสร้างและค่าใช้จ่ายในตัวรถ การนำเสนอต้องแสดงข้อมูลของกระบวนการสร้างของรถ และรถต้นแบบนั้นต้องมีทุนเกิน 100,000 บาท รถต้องเป็นรถที่มีสมรรถนะไม่ใช่เพื่อการแข่งขันเพียงอย่างเดียวแต่ต้องรวมไปถึงการไปถึงการจัดสร้างและซ่อมบำรุง วัสดุราคาแพงจากต่างประเทศที่มีลักษณะพิเศษจำเพาะยากต่อกระบวนการผลิตและยากต่อการซ่อมแซมหลังสร้างแล้วอาจเกิดความเสียหายขอให้หลีกเลี่ยง เนื่องจากอาจเกิดอันตรายจากการซ่อมผิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำเครื่องยนต์ออกไปใช้ร่วมการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2008 Student Formula
2. สามารถออกแบบเครื่องยนต์ให้สามารถใช้กับเชื้อเพลิง Gasohol 95 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีการเผาไหม้ของเครื่องยนต์

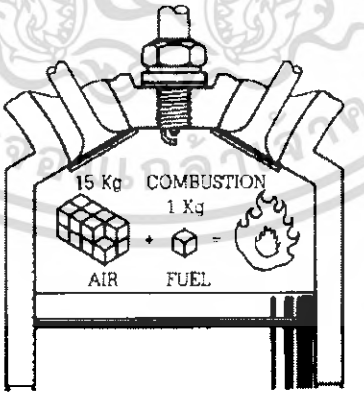
ความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ปัจจุบันเครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงมากยิ่งขึ้น คือนอกจากจะพยายามทำให้ได้กำลังสูงสุดแล้ว ยังต้องมีความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและเกิดมลภาวะเป็นพิษจากแก๊สไอเสียน้อยที่สุดอีกด้วย ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องยนต์นี้ จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลายประการด้วยกัน คือ

1. อัตราส่วนการอัด
2. กระบวนการในการเผาไหม้
3. อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้ากระบอกสูบ
4. การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์

อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิง นับเป็นสิ่งที่สำคัญมากอย่างหนึ่งที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ หากอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้ากระบอกสูบไม่เหมาะสมจะเป็นเหตุให้เครื่องยนต์มีกำลังงานต่ำ สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มาก ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์

2.1 อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิง

อัตราส่วนของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ใช้กับเครื่องยนต์ จะประกอบด้วยส่วนผสม 3 แบบ คือ



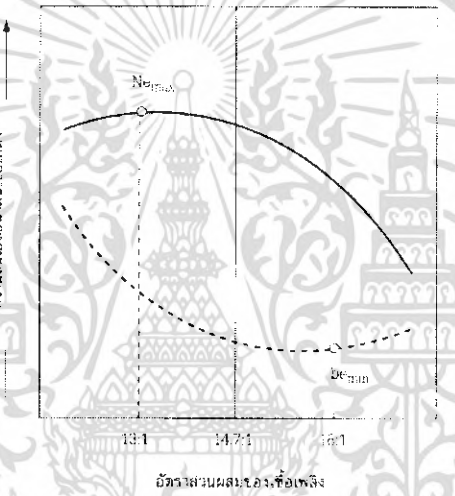
รูปที่ 2-1 อัตราส่วนผสมของอากาศ และเชื้อเพลิงตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (theoretical air-fuel ratio) หมายถึง อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.7:1 หรือประมาณ 15:1 เมื่อคิดโดยน้ำหนัก กล่าวคือ จะต้องใช้อากาศน้ำหนัก 14.7 กิโลกรัม ต่อ น้ำมันเบนซิน 1 กิโลกรัม หรือถ้าคิดโดยปริมาตรจะต้องใช้อากาศจำนวน 10,000 ลิตร ต่อน้ำมันเบนซิน 1 ลิตร

2.1.2 อัตราส่วนผสมหนา (rich mixture) อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี ถือว่าเป็นอัตราส่วนผสมที่พอดีสำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ถ้าอัตราส่วนผสมน้อยกว่า 14.7:1 เช่น 12:1 ซึ่งเป็นส่วนผสมที่ใช้อากาศน้อยกว่าทฤษฎี

2.1.3 อัตราส่วนผสมบาง (lean mixture) สำหรับส่วนผสมที่มีค่ามากกว่า 14.7:1 เช่น 16:1 ซึ่งเป็นส่วนผสมที่ใช้อากาศมากกว่าทฤษฎี



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่อความสิ้นเปลืองน้ำมันและกำลังของเครื่องยนต์

จากกราฟอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ประมาณ 16:1 (be_{min}) เป็นอัตราส่วนผสมที่มีความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุด และที่อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงประมาณ 12.5-13.5:1 (Ne_{max}) จะเป็นอัตราส่วนผสมที่ให้กำลังงานสูงสุด และในช่วงที่ผสมที่หนาหว่าอัตราส่วนผสมตามทฤษฎี จะเป็นช่วงที่ให้อัตราการเร่งดีเนื่องจากกราฟพุ่งขึ้นสู่ค่าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ต้องการ ในสภาวะการทำงานต่างๆ

เครื่องยนต์แก๊สโซลีนรุ่นแรกๆ หรือรุ่นประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา จะมีคาร์บูเรเตอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับทำหน้าที่จ่ายส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ากระบอกสูบในอัตราส่วนผสมต่างๆที่เหมาะสมกับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ ดังนี้ คือ

2.3.1 ขณะทำการสตาร์ท เครื่องยนต์จะต้องการส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ค่อนข้างหนามาก (ประมาณ 10:1) เนื่องจากในขณะสตาร์ท เครื่องยนต์ยังมีความเร็วรอบต่ำเป็นเหตุให้อากาศที่ไหลผ่านคอคอดของคาร์บูเรเตอร์มีความเร็วต่ำไปด้วย ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงไม่สามารถเป็นฝอยละอองได้ดี พร้อมทั้งเครื่องยนต์ยังมีความฝืดสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่หนามากกว่าปกติ เพื่อให้ได้กำลังงานในการขับเคลื่อนชิ้นส่วนมากขึ้น และเป็นการชดเชยการเป็นฝอยละอองของน้ำมันที่ยังไม่ดี

2.3.2 ขณะเดินเบา เครื่องยนต์มีความเร็วรอบประมาณ 600 – 800 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่ต่ำ ดังนั้นเครื่องยนต์จึงยังคงต้องการอัตราส่วนผสมที่หนา (ประมาณ 10:1) เพื่อให้เครื่องยนต์สามารถทำงานอยู่ได้โดยไม่สะดุดหรือดับไป เนื่องจากความฝืดของชิ้นส่วน และเพื่อเป็นการชดเชยการเป็นฝอยละอองของน้ำมันที่ยังไม่ค่อยดีนัก

2.3.3 ขณะอุณหภูมิต่ำ เครื่องยนต์ต้องการอัตราส่วนผสมที่หนาเพราะความเย็นจะทำให้ฝอยละอองของน้ำมันบางส่วนกลั่นตัวเป็นหยดน้ำมันติดตามผนังท่อไอดีและผนังกระบอกสูบ

2.3.4 ขณะใช้งานปกติ เครื่องยนต์รับภาระปานกลาง ความเร็วรอบประมาณ 2000 - 2500 รอบต่อนาที อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ต้องการจะอยู่ในช่วง 15:1 – 16:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ประหยัด และใกล้เคียงกับอัตราส่วนผสมตามทฤษฎี

2.3.5 ขณะเร่งเครื่อง อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ต้องการจะหนากว่าปกติ เพื่อให้ได้กำลังงานสำหรับเพิ่มความเร็วรอบได้อย่างทันทีทันใด

2.3.6 ขณะใช้กำลังงานสูงสุด เช่น ขณะบรรทุก เครื่องยนต์จะต้องการส่วนผสมที่หนาประมาณ 12.5:1 – 13.5:1 เพื่อให้ได้กำลังงานสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

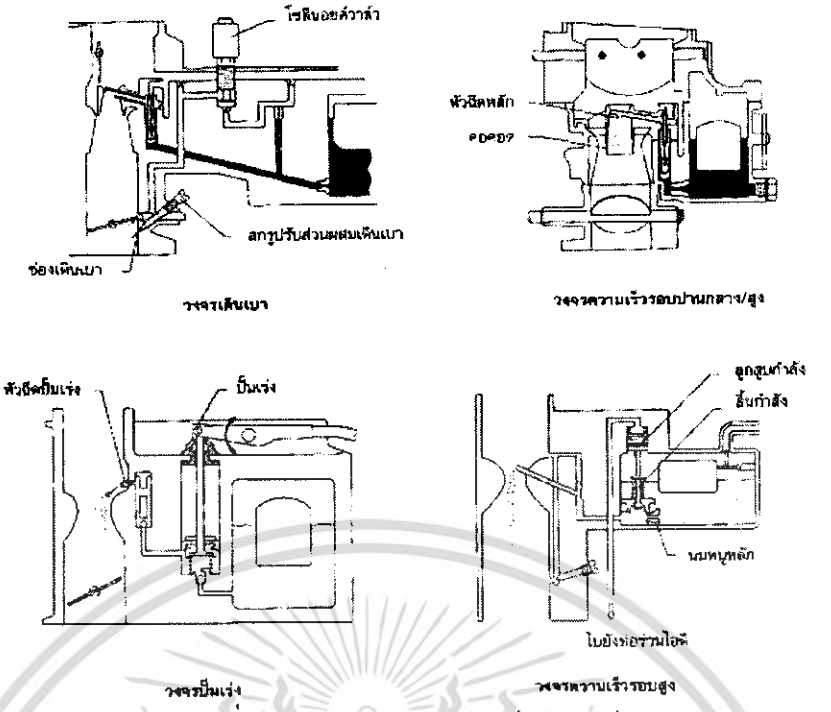
ตารางที่ 2-1 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมของอากาศ และน้ำมันเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ต้องการ

สภาวะการทำงานและผลกระทบ	AFR
เชื้อเพลิงหนาสุดที่กำหนด	6.0 : 1
กำลังเครื่องน้อย และมีควันดำ	9.0:1
กำลังเครื่องยนต์ดีที่สุด(เชื้อเพลิงหนา) ณ ลิ้นเร่งเปิดสุด	11.5 :1
กำลังเครื่องยนต์ดีที่สุด(ค่าปลอดภัย) ณ ลิ้นเร่งเปิดสุด	12.5 :1
กำลังเครื่องยนต์ดีที่สุด(เชื้อเพลิงบาง) ณ ลิ้นเร่งเปิดสุด	13.2 :1
เชื้อเพลิงบาง ใช้ช่วงภาระน้อย หรือ ภาระครึ่งหนึ่ง	15.5 :1
ค่าประหยัดที่สุด และใช้ภาระครึ่งหนึ่ง	16.2:1
ค่าขีดจำกัด เชื้อเพลิงบางที่สุด	18-22.0:1
สตาร์ทเครื่องยนต์	8-10:1
รอบเดินเบา	10:1
เครื่องยนต์เย็น	9-11:1
ใช้งานปกติ	14.5-16:1
ขณะเร่งเครื่อง	12.5:1
ขณะเหยียบคันเร่งสุด	12-13:1

2.3 ข้อจำกัดในการทำงานของคาร์บูเรเตอร์

เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องทำงานอยู่ภายใต้สภาวะการทำงานต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามสภาพการขับขี่ของผู้ใช้รถยนต์ ดังนั้นคาร์บูเรเตอร์จึงถูกออกแบบให้มีอุปกรณ์หรือกลไกต่างๆ ประกอบเข้าด้วยกันมากมาย เพื่อให้สามารถจ่ายส่วนผสมของเชื้อเพลิงได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วทันต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งในรถยนต์บางรุ่นได้นำเอาระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาควบคุมการทำงานของคาร์บูเรเตอร์ เพื่อให้จ่ายส่วนผสมของเชื้อเพลิงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่เครื่องยนต์ที่ใช้คาร์บูเรเตอร์ก็ยังไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดตามต้องการได้ เนื่องจากคาร์บูเรเตอร์ยังมีข้อจำกัดในการทำงานอยู่หลายประการ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-3 วงจรต่างๆ ของคาร์บูเรเตอร์

2.4.1 คาร์บูเรเตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์ ที่เป็นกลไกอยู่จำนวนมาก ทำให้การจ่ายเชื้อมีความล่าช้าส่งผลให้การตอบสนองการเร่งไม่ดีเท่าที่ควร

2.4.2 เนื่องจากคาร์บูเรเตอร์ประกอบด้วยวงจรในการจ่ายส่วนผสมหลายวงจร เช่น วงจรความเร็วรอบเดินเบา วงจรความเร็วรอบปกติ วงจรปั๊มเร่ง วงจรความเร็วรอบสูง ฯลฯ ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงวงจรการทำงาน จำเป็นต้องมีการจ่ายส่วนผสมที่หนาไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์สะดุด ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

2.4.3 ประสิทธิภาพในการผสมของอากาศ และน้ำมันเชื้อเพลิง จะขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านคอคอด (Venturi) ของคาร์บูเรเตอร์ เช่น ในขณะความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ ความเร็วของอากาศจะต่ำ การผสมของอากาศกับน้ำมันจะไม่ค่อยดี (เป็นฝอยละอองได้ไม่ดี) ทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

2.4.4 กรณีที่เครื่องยนต์มีคาร์บูเรเตอร์ตัวเดียว ความยาวของท่อไอดีในแต่ละสูบจะไม่เท่ากัน กระบอกสูบที่มีท่อไอดียาวหรือมีความโค้งงอของท่อไอดีมาก จะมีความล่าช้าในการบรรจุส่วนผสม และมีการตกค้างของน้ำมันในท่อไอดีมาก ทำให้ส่วนผสมที่บรรจุเข้าในแต่ละกระบอกสูบไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลต่อกำลังของเครื่องยนต์

2.4.5 ขณะทำการลดอัตราการเร่งของเครื่องยนต์ลงทันทีทันใด (ปล่อยคันเร่ง) ซึ่งเป็นสภาวะที่เครื่องยนต์ไม่ต้องการน้ำมันเชื้อเพลิง แต่เครื่องยนต์ยังได้รับน้ำมันเชื้อเพลิงจากทางวงจรความเร็วรอบเดินเบา (เฉพาะในคาร์บูเรเตอร์แบบธรรมดา) และน้ำมันที่ตกค้างติดกับผนังท่อไอดี ซึ่งขณะลิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เร่งปิดจะเกิดสุญญากาศในท่อไอดีมาก เนื่องจากความเร็วรอบของเครื่องยนต์ยังสูงอยู่ ทำให้น้ำมันที่ตกค้างอยู่กลายเป็นฝอยละอองถูกดูดเข้ากระบอกสูบ จึงเป็นการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

2.4.6 ในขณะที่รถยนต์วิ่งบนถนนที่มีความลาดเอียง ระดับน้ำมันในห้องลูกลอยของคาร์บูเรเตอร์จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นเหตุให้คาร์บูเรเตอร์จ่ายส่วนผสมของเชื้อเพลิงหนาหรือบางไป จากที่เครื่องยนต์ต้องการ

จากข้อจำกัดในการทำงานของคาร์บูเรเตอร์ ทำให้มีการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์แบบใหม่ที่เรียกว่า "ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง" มาใช้แทนคาร์บูเรเตอร์

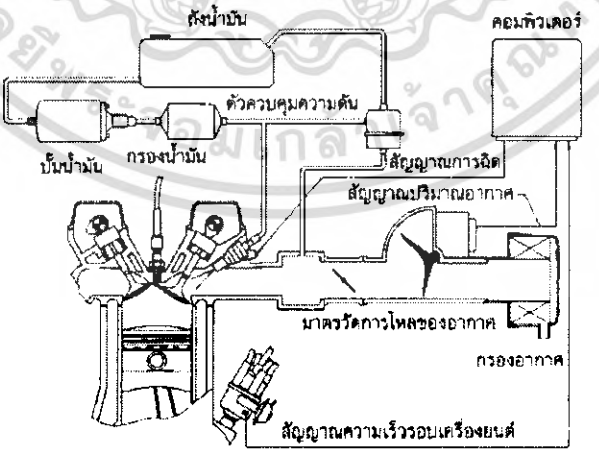
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด

3.1 ระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด (Fuel Injection System)

หลักการของระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด จะใช้หัวฉีด (Injection) ทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปผสมกับอากาศในท่อไอดี (Intake manifold หรือ Intake tube) โดยปริมาณและช่วงเวลาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะได้มาจากการวิเคราะห์ของ ECU ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณ มาจากตัวตรวจจับต่าง ๆ เช่น ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ปริมาณการไหลของอากาศ เป็นต้น ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทั่วไปจะมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบใหญ่ด้วยกัน คือ

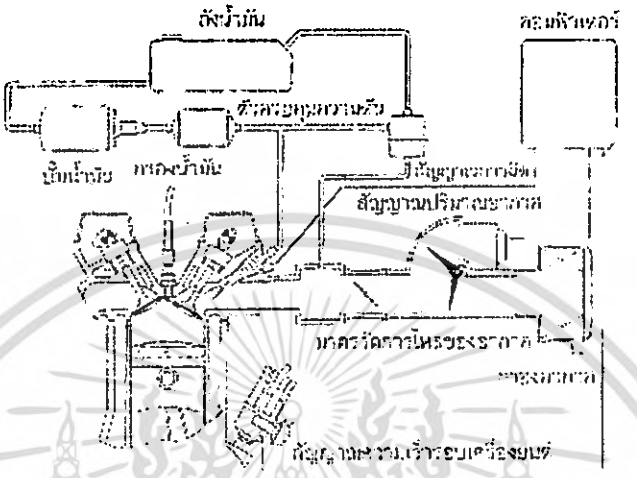
3.1.1 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ D-Jetronic หรือ EFI แบบ D เป็นระบบการฉีดที่มีการควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด โดยวิธีการวัดแรงดันของอากาศในท่อร่วมไอดี ด้วยตัวตรวจจับสุญญากาศแล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งเข้าสู่ ECU เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดของหัวฉีด ที่เหมาะสมกับอากาศที่เข้าสู่กระบอกสูบ โดยมีหลักการดังนี้คือ ขณะที่เครื่องยนต์มีความเร็วรอบต่ำ ลิ้นเร่งจะเปิดให้อากาศไหลผ่านได้น้อยทำให้ความดันของอากาศในท่อไอดีต่ำ (เป็นสุญญากาศมาก) ตัวตรวจจับสุญญากาศ จะส่งสัญญาณไปสู่ ECU เพื่อทำการประมวลผลแล้วสั่งหัวฉีดให้ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงน้อย ในทางตรงข้ามหากลิ้นปีกผีเสื้อเปิดให้อากาศไหลเข้ามาก ความดันอากาศในท่อไอดีจะสูงขึ้น (เป็นสุญญากาศน้อยลง) ตัวตรวจจับจะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปสู่ ECU เช่นเดิมแต่สัญญาณจะต่างจากเดิม และ ECU จะสั่งฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3-1 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ D-Jetronic หรือ EFI แบบ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

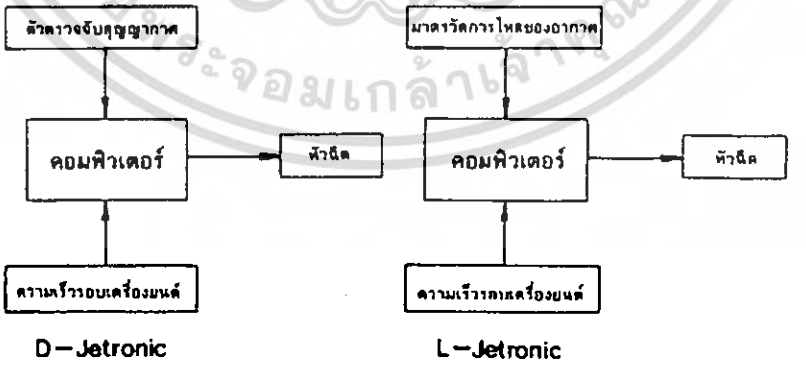
3.1.2 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ L-Jetronic หรือ EFI แบบ L เป็นระบบที่ใช้ตัววัดปริมาณอากาศที่ไหลในท่อร่วมไอดีแทนตัววัดความดัน เนื่องมาจากปริมาตรกับแรงดันของอากาศมีสัดส่วนแปรผันไม่คงที่แน่นอน ทำให้การวัดปริมาณอากาศจากค่าแรงดันไม่ค่อยเที่ยงตรง ซึ่งเป็นสาเหตุให้ ECU กำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่เหมาะสม



รูปที่ 3-2 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ L-Jetronic หรือ EFI แบบ L

3.2 การควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมัน

การควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน หลักการเบื้องต้นของระบบ EFI แบบ D คอมพิวเตอร์จะรับสัญญาณไฟฟ้าจากตัวตรวจจับสุญญากาศ และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ จะเป็นสัญญาณในการกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันของหัวฉีด ที่ได้อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันตามทฤษฎี

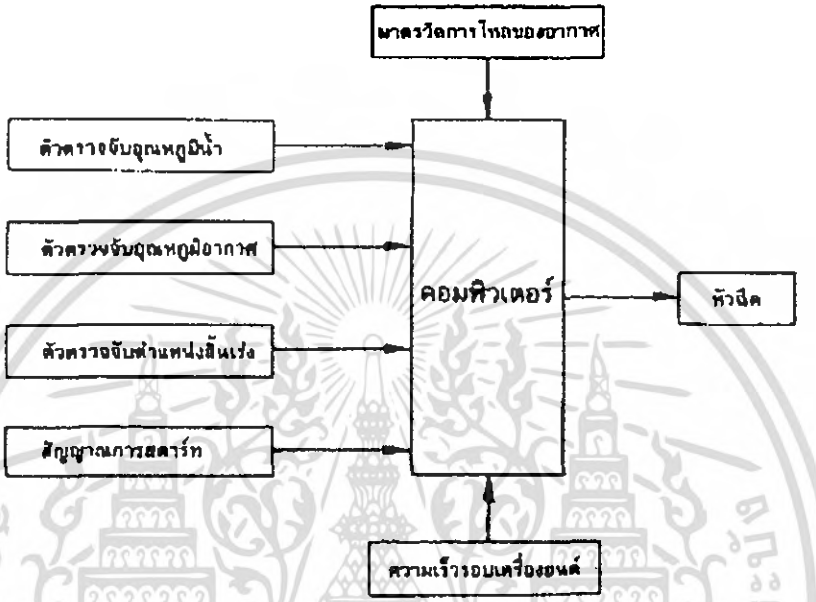


รูปที่ 3-3 ไดอะแกรมการควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

จะมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่เรียกว่า Sensor เป็นตัวส่งข้อมูลการทำงานของเครื่องยนต์ ในลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าไปยังคอมพิวเตอร์ ให้เพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันของหัวฉีดให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานต่างๆที่เกิดขึ้น เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่หนาเพียงพอกับความต้องการของเครื่องยนต์



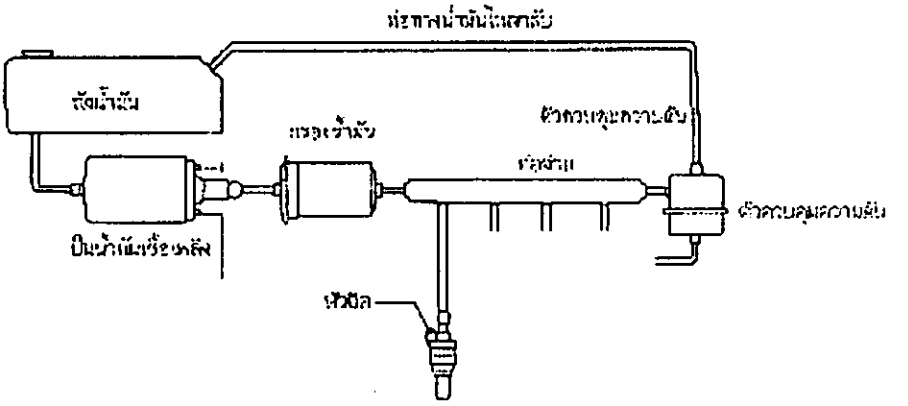
รูปที่3-4 ไดอะแกรมการเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

3.4 ส่วนประกอบของระบบเชื้อเพลิง

ระบบเชื้อเพลิงจะทำหน้าที่จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงภายใต้ความดันที่เหมาะสมให้กับหัวฉีดแต่ละชนิด ในปริมาณที่เพียงพอกับความต้องการในทุกสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ ในระบบเชื้อเพลิงประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ที่สำคัญ คือ ถังน้ำมัน ปั๊มน้ำมัน ตัวกรองน้ำ ท่อจ่ายน้ำมัน ตัวควบคุมความดัน หัวฉีด ดังแสดงในรูปที่ 3-5

การไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงในระบบ น้ำมันจากถังน้ำมันถูกดูดด้วยปั๊มไฟฟ้า ส่งผ่านกรองน้ำมันเข้าท่อจ่าย แล้วส่งต่อไปยังหัวฉีดของแต่ละสูบ น้ำมันภายในท่อจ่ายน้ำมันจะถูกรักษาความดันไว้ที่ประมาณ 2.5-3 บาร์ (2.5-3 kg/cm^2) ด้วยตัวควบคุมความดัน ถ้าความดันของน้ำมันในระบบสูงเกินไปน้ำมันจะถูกระบายกลับสู่ถังน้ำมันจนความดันน้ำมันลดลงถึงค่าที่กำหนด

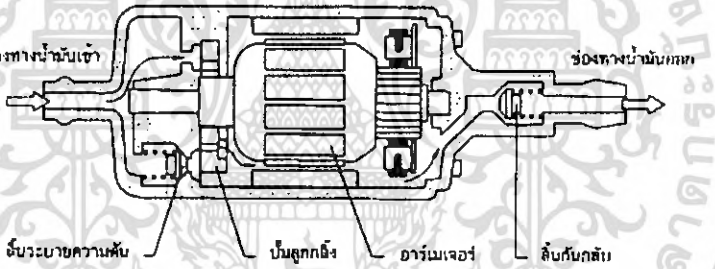
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-5 ส่วนประกอบของระบบเชื้อเพลิง

3.4.1 ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Pump)

ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงมีหน้าที่ดูดน้ำมันจากถังส่งไปยังหัวฉีด ภายใต้ความดันและมีปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการสูงสุดของเครื่องยนต์ ซึ่งปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงในระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด จะมีอยู่ 2 แบบ คือ ปั๊มแบบลูกกลิ้ง (Roller cell pump) และปั๊มแบบใบพัด (turbine pump)

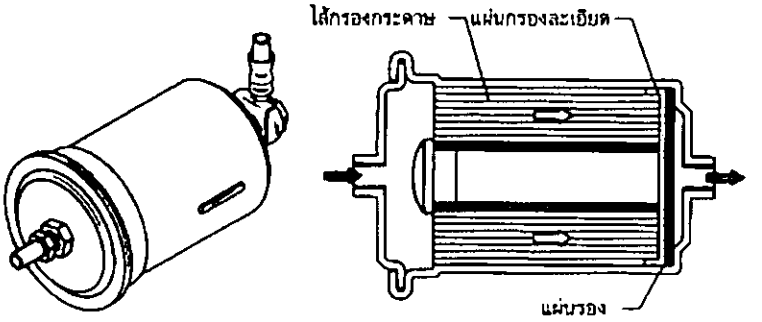


รูปที่ 3-6 ส่วนประกอบของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง

3.4.2 กรองน้ำมัน (Fuel Filter)

กรองน้ำมันมีหน้าที่กรองเอาสิ่งสกปรกต่างๆ ออกจากน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนที่จะส่งไปยังหัวฉีด โดยกรองน้ำมันจะถูกติดตั้งไว้ระหว่างปั๊มน้ำมัน และท่อจ่ายน้ำมันของหัวฉีด ถ้ามีการอุดตันภายในกรองน้ำมันจะทำให้ความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงในระบบลดลง ซึ่งจะเป็นเหตุให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดยาก เดินเบาไม่เรียบ เร่งสะดุด ไม่มีกำลัง หรือสตาร์ทไม่ติด เนื่องจากความดันของน้ำมันเชื้อเพลิงมีผลต่อปริมาณการฉีดของน้ำมัน กล่าวคือ ปริมาณน้ำมันที่ถูกฉีดจะน้อยลงเมื่อความดันลดลง ดังนั้นเมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งควรมีการเปลี่ยนกรองน้ำมันใหม่ ซึ่งช่วงเวลาในการเปลี่ยนจะขึ้นอยู่กับสภาพความสกปรกของน้ำมันที่ใช้ สภาพของกรองน้ำมันสามารถตรวจสอบได้จากการวัดค่าความดันของน้ำมันในระบบ

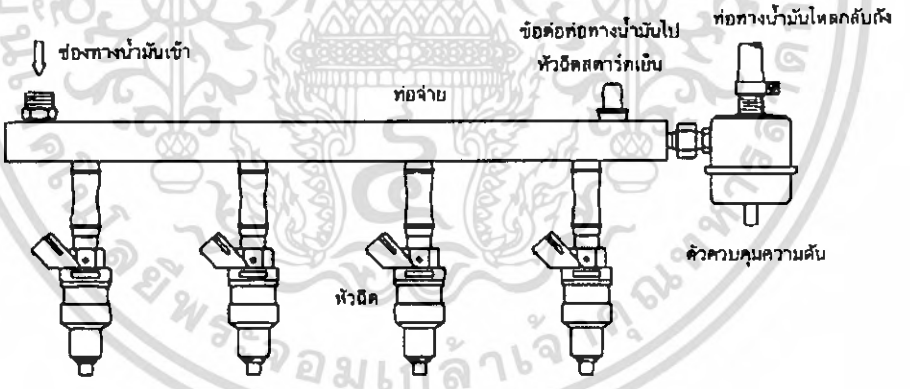
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-7 ส่วนประกอบของกรองน้ำมัน

3.4.3 ท่อจ่ายน้ำมัน (Distributor Pipe or Fuel Rail)

ท่อจ่ายน้ำมันเป็นอุปกรณ์สำหรับส่งน้ำมันไปยังหัวฉีด ดังแสดงในรูปที่ 3-6 โดยทั่วๆไป ท่อจ่ายจะมีขนาดค่อนข้างโต ทั้งนี้เพื่อให้สามารถจ่ายน้ำมันให้กับหัวฉีดได้ในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของเครื่องยนต์โดยที่ความดันน้ำมันไม่เปลี่ยนแปลง หากท่อจ่ายมีขนาดเล็กเกินไป เมื่อหัวฉีดทำงานพร้อม ๆ กันอาจทำให้น้ำมันไหลมาไม่ทัน ส่งผลให้ความดันน้ำมันต่ำลงกว่าที่กำหนด ทำให้ปริมาณการฉีดของหัวฉีดลดลงไป แต่อย่างไรก็ตาม ท่อจ่ายน้ำมันมีขนาดเล็กได้ ถ้าปั๊มน้ำมันที่ใช้มีขนาดใหญ่สามารถสร้างอัตราไหลของน้ำมันได้มากพอ



รูปที่ 3-8 ท่อจ่ายน้ำมันในระบบเชื้อเพลิง

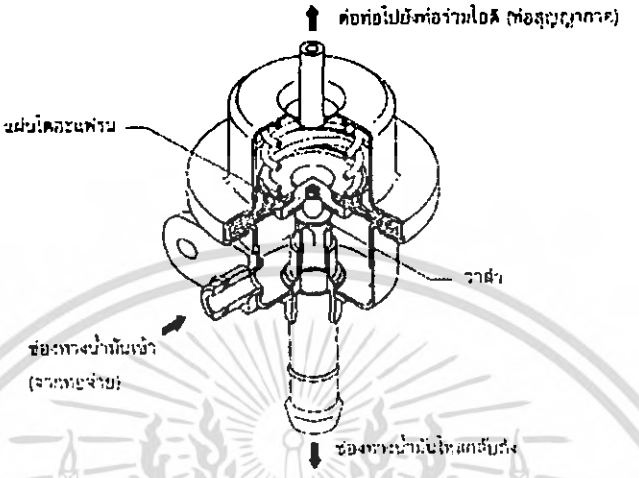
3.4.4 ตัวควบคุมความดัน (Pressure Regulator)

ตัวควบคุมความดัน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมค่าความแตกต่างระหว่างความดันของน้ำมันในระบบ กับค่าความดันของอากาศในท่อร่วมไอดีให้คงที่ตลอดเวลา

จากการที่ความตันของอากาศในท่อไอดีมีการเปลี่ยนไปตามความเร็วรอบและภาระของเครื่องยนต์ดังนั้นถ้าหากความดันของน้ำมันถูกควบคุมให้มีค่าคงที่เพียงค่าเดียวจะทำให้ค่าความแตกต่างระหว่างความดันน้ำมัน กับความดันอากาศมีค่าไม่คงที่ซึ่งทำให้น้ำมันที่ฉีดเข้าไปผสมกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศในท่อร่วมไอดีไม่เที่ยงตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมค่าความต่างระหว่างความดันน้ำมันกับความดันของอากาศในท่อร่วมไอดีให้คงที่ตลอดเวลา เพื่อให้ปริมาณการฉีดน้ำมันต่อหนึ่งหน่วยเวลาเท่ากัน แม้ว่าความดันของอากาศในท่อร่วมไอดี จะเปลี่ยนไปตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์

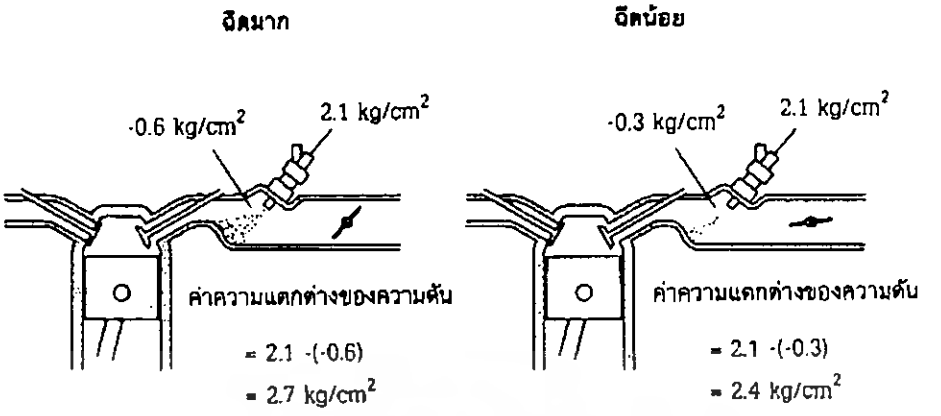


รูปที่ 3-9 ส่วนประกอบ และการทำงานของตัวควบคุมความดัน

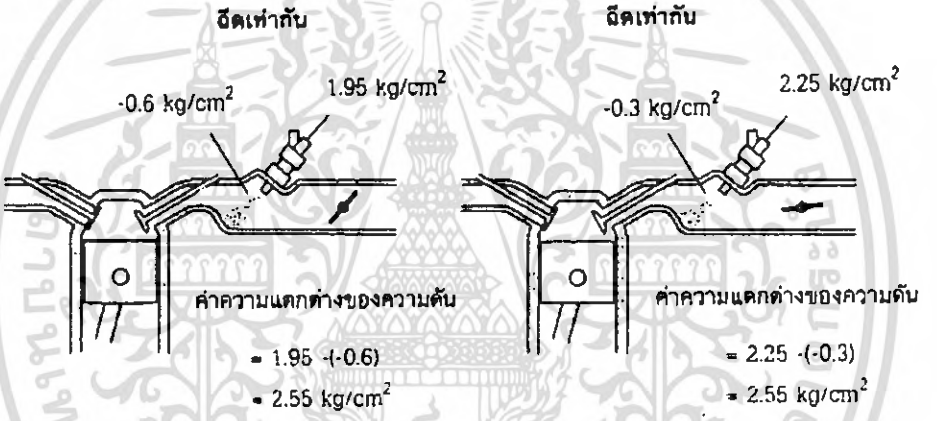
โดยมีหลักการทำงานดังนี้ น้ำมันจากท่อจ่ายจะไหลเข้าตัวควบคุมความดันทางช่องทางน้ำมันเข้า หากความดันของน้ำมันสูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ด้วยแรงดันของสปริง น้ำมันจะดันแผ่นไดอะแฟรมให้ยุบตัวลง แผ่นวาล์วที่ติดกับแผ่นไดอะแฟรมจะเปิดให้น้ำมันไหลออกจากตัวควบคุมความดันทางช่องทางน้ำมันไหลกลับสู่ถัง ทำให้ความดันน้ำมันถูกควบคุมไว้ค่าหนึ่งตามค่าแรงดันของสปริง

จากโครงสร้างและส่วนประกอบของตัวควบคุมความดัน จะเห็นว่าทางห้องด้านล่างของแผ่นไดอะแฟรมจะมีท่อสุญญากาศ สำหรับต่อกับความดันของอากาศในท่อร่วมไอดีของเครื่องยนต์ ขณะเครื่องยนต์ดับความดันอากาศในท่อร่วมไอดีจะเท่ากับความดันบรรยากาศ และเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบเดินเบา ความดันของอากาศในท่อร่วมไอดีจะมีค่าต่ำลง (มีสุญญากาศมาก) ดังนั้นภายในห้องด้านล่างของแผ่นไดอะแฟรมจะมีสุญญากาศเกิดขึ้นเหมือนในท่อร่วมไอดี ทำให้แผ่นไดอะแฟรมถูกดันให้ยุบตัวที่ความดันต่ำลง เนื่องจากมีแรงดูดจากท่อร่วมไอดีช่วย ณ ตำแหน่งนี้ความดันน้ำมันจะลดต่ำลงตามค่าแรงดันของอากาศในท่อร่วมไอดี และถ้ามีการเร่งเครื่องยนต์ (ลิ้นเร่งเปิดกว้าง) และเครื่องยนต์รับภาระหนัก แรงดันของอากาศในท่อไอดีจะเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้ความดันน้ำมันสูงขึ้นตามไปด้วย จากการทำงานนี้จะเป็นการรักษาค่าความแตกต่างของความดันน้ำมันในระบบ กับความดันของอากาศในท่อร่วมไอดีให้คงที่ตลอดเวลา ในการทำงานของตัวควบคุมความดันจะควบคุมความดันน้ำมันไว้ที่ประมาณ 3 kg/cm^2 (bar) เหนือความดันของอากาศในท่อร่วมไอดี ดังแสดงในรูปที่ 3-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค่าความดันเชื้อเพลิงคงที่ ค่าความแตกต่างของความดันจะแตกต่างกัน
ปริมาณการฉีดต่อหน่วยเวลาไม่เท่ากัน



ค่าความดันน้ำมันเชื้อเพลิงถูกควบคุมให้เปลี่ยนแปลงค่าความดันของอากาศในท่อร่วมไอดี
ค่าความแตกต่างของความดันจะเท่ากัน ปริมาณการฉีดต่อหน่วยเวลาจะเท่ากัน

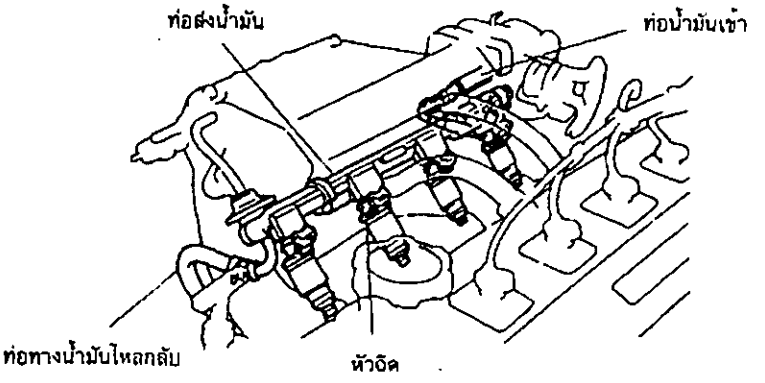
รูปที่ 3-10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการฉีดกับค่าความแตกต่างของความดันน้ำมันเชื้อเพลิง และความดันของอากาศในท่อร่วมไอดี

3.4.5 หัวฉีดประจำสูบ (Injector)

เครื่องยนต์ที่ใช้ระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดจะมีหัวฉีดสูบละ 1 ตัว ติดตั้งไว้ที่บริเวณท่อไอดี ดังในรูปที่ 3-11

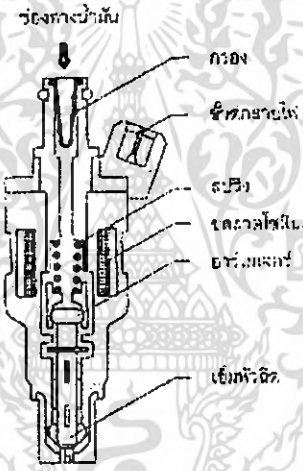
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 3-11 หัวฉีดประจำสูบและตำแหน่งการติดตั้ง

หัวฉีดที่ใช้จะเป็นแบบที่บังคับการปิดเปิดลิ้นของหัวฉีดด้วยโซลีนอยด์ไฟฟ้า โดยมีโครงสร้างและส่วนประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-12 โครงสร้างของหัวฉีดประจำสูบ

หลักการทำงานของหัวฉีด

จากรูปที่ 3-12 เมื่อน้ำมันจากท่อจ่ายจะไหลเข้าหัวฉีดโดยผ่านกรองละเอียดที่ช่องทางเข้าผ่านลงไปยังเข็มหัวฉีดที่ปลายด้านล่างของหัวฉีด ในตำแหน่งที่หัวฉีดยังไม่ทำงาน เข็มของหัวฉีดจะถูกสปริงดันให้แนบสนิทอยู่กับบ่าลิ้นไม่ให้น้ำมันไหลออก เมื่อมีสัญญาณไฟฟ้าจาก ECU ป้อนเข้าขดลวดโซลีนอยด์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่ขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะดูดให้ตัวอาร์เมเจอร์ที่อยู่ตรงกลางยกตัวขึ้น เข็มหัวฉีดที่ติดกับตัวอาร์เมเจอร์ก็จะยกตัวขึ้นจากบ่าลิ้น ทำให้น้ำมันซึ่งมีความดันประมาณ 3 บาร์ ถูกฉีดน้ำออกมาจากหัวฉีดในลักษณะของฝอยละออง สำหรับปริมาณน้ำมันที่ถูกฉีดออกมาจะมากหรือน้อยนั้น จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการป้อนสัญญาณไฟฟ้าเข้าขดลวดโซลีนอยด์ของหัวฉีด ในการเปิดและปิดของหัวฉีดจะมีความไวสูงมาก ประมาณ 1-1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
81781

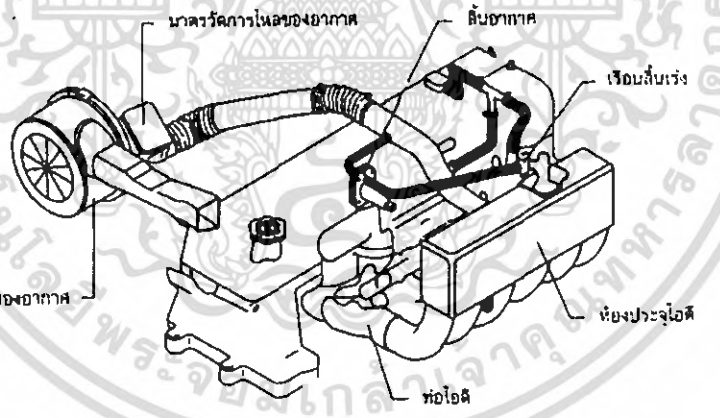
ms (มิลลิวินาที) และเนื่องจากหัวเข็มหัวฉีดมีระยะในการยกตัวน้อยมาก ประมาณ 0.1mm ดังนั้น ในการฉีดของหัวฉีดจึงมีความเที่ยงตรงและแม่นยำสูง

กรณีที่มีการอุดตันที่กรองของหัวฉีด หรือมีเขม่าจับที่ปลายหัวฉีด จะทำให้ปริมาณน้ำมันที่ถูกฉีดน้อยลง ซึ่งจะเป็นเหตุให้เครื่องยนต์เดินเบาไม่เรียบ เร่งไม่ขึ้น ไฟดีกลับ กำลังตก หรือหากมีสิ่งแปลกปลอมเข้าไปติดขัดบริเวณหน้าสัมผัสของเข็มหัวฉีด จะทำให้เกิดการรั่วของน้ำมันเชื้อเพลิงในขณะที่หัวฉีดยังไม่ทำงาน ซึ่งจะเป็นเหตุให้เครื่องยนต์เดินเบาไม่เรียบ

หัวฉีดที่ใช้ในเครื่องยนต์หัวฉีด EFI ลักษณะแบ่งแยกได้ตามลักษณะของเข็มหัวฉีดได้ 2 แบบ คือ หัวฉีดแบบเข็ม และหัวฉีดแบบรู (ไม่มีปลายเข็มหัวฉีด) และแบ่งตามค่าความต้านทานของหัวฉีดได้ 2 แบบ คือ หัวฉีดแบบค่าความต้านทานต่ำ และแบบค่าความต้านทานสูงในเครื่องยนต์หัวฉีดรุ่นแรกๆ มักจะใช้หัวฉีดแบบเข็มและแบบค่าความต้านทานต่ำ ส่วนเครื่องยนต์ในปัจจุบันจะใช้หัวฉีดแบบรูและแบบค่าความต้านทานสูง

3.5 ระบบประจุอากาศ

ระบบประจุอากาศระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับการบรรจุอากาศเข้ากระบอกสูบ คือ กรองอากาศ มาตรวัดการไหลของอากาศ เรือนลิ้นเร่ง ลิ้นอากาศ ห้องประจุไอดี หรือท่อร่วมไอดี และท่อไอดีดังในรูปที่ 3-13



รูปที่ 3-13 ตัวอย่างอุปกรณ์ในระบบประจุอากาศของเครื่องยนต์หัวฉีด EFI

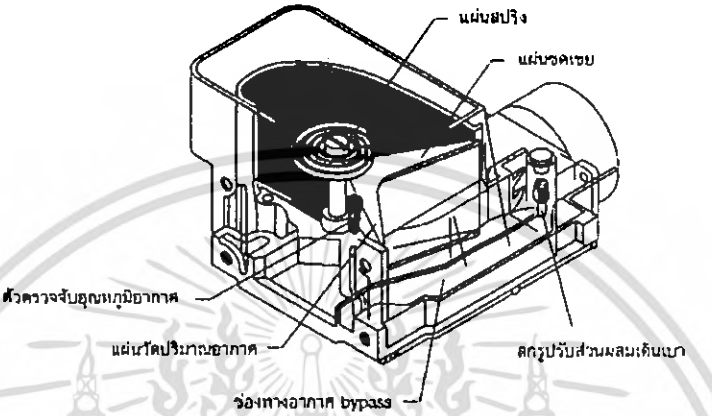
3.6.1 กรองอากาศ (Air Cleaner)

กรองอากาศของเครื่องยนต์หัวฉีดจะทำหน้าที่ กรองฝุ่นละออง หรือสิ่งสกปรกออกจากอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบ กรองอากาศควรจะได้รับการเปลี่ยนเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด หรือควรต้องมีการตรวจสอบ และทำความสะอาดอยู่เสมอ เพราะหากกรองอากาศเกิดการอุดตัน จะเป็นสาเหตุให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดยาก เดินเบาไม่เรียบ หรืออาจสตาร์ทไม่ติด

3.6.2 มาตรวัดการไหลของอากาศ (Air Flow Meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

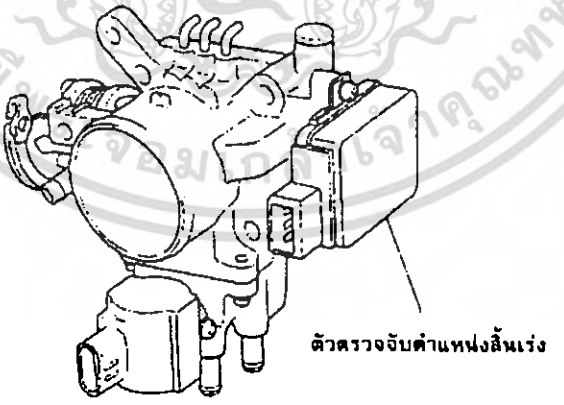
มาตรวัดการไหลของอากาศ ทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบ แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน (Basic Injection Time) ซึ่งมาตรวัดการไหลของอากาสนี้จะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ตัวตรวจจับการไหลของอากาศ (Air Flow Sensor) ภายในตัวมาตรวัดการไหลของอากาศ จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทางกลและอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 3-14



รูปที่ 3-14 ส่วนประกอบของมาตรวัดการไหลของอากาศ

3.6.3 เรือนลิ้นเร่ง (Throttle Body)

เรือนลิ้นเร่งของเครื่องยนต์หัวฉีดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ ลิ้นเร่ง (Throttle valve) สกรูปรับแต่งรอบเดินเบา (Idle speed adjusting screw) และยังมีอุปกรณ์อื่นๆ ติดตั้งอยู่ด้วยเช่น ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง ลิ้นอากาศ และลิ้นควบคุมความเร็วรอบเดินเบาดังรูปที่ 3-15



รูปที่ 3-15 เรือนลิ้นเร่งของเครื่องยนต์หัวฉีด

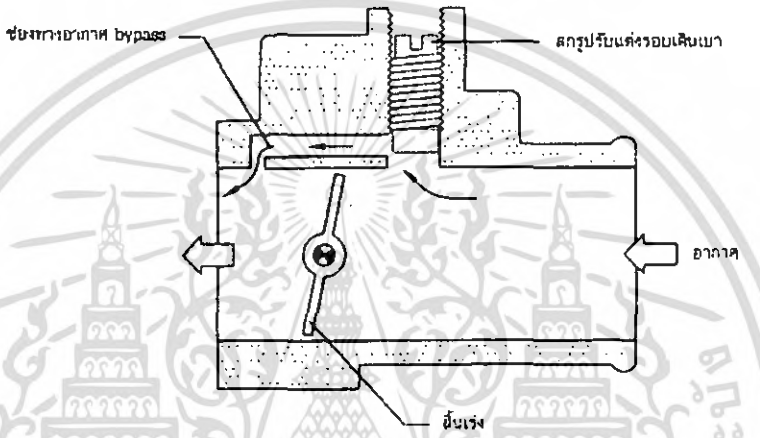
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3.1 ลิ้นเร่ง (Throttle Valve)

ลิ้นเร่งมีหน้าที่ควบคุมปริมาณอากาศที่ไหลเข้ากระบอกสูบ ซึ่งเป็นการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์

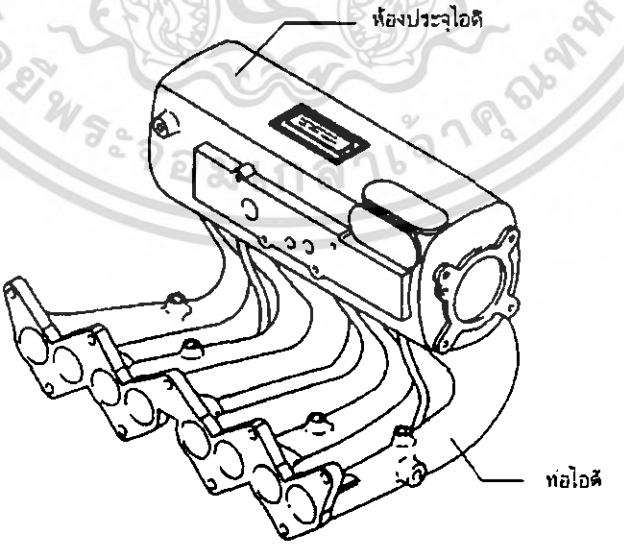
3.6.3.2 สกรูปรับแต่งรอบเดินเบา (Idle Speed Adjusting Screw)

สกรูปรับแต่งรอบเดินเบาจะทำหน้าที่เปิดช่องทางให้อากาศไหลเข้ากระบอกสูบโดยไม่ผ่านลิ้นเร่ง เนื่องจากขณะเดินเบาเครื่องยนต์ ลิ้นเร่งปิด ดังนั้นจึงต้องมีช่องทางพิเศษหรือช่องทาง Bypass ให้อากาศผ่านเข้ากระบอกสูบ เพื่อให้เครื่องยนต์เดินเบาอยู่โดยไม่ดับ การปรับสกรูให้อากาศไหลผ่านได้มากจะทำให้ความเร็วรอบเดินเบาสูงขึ้น



รูปที่ 3-16 การทำงานของลิ้นเร่ง

3.6.4 ห้องประจุไอดี (Air Intake Chamber)



รูปที่ 3-17 ห้องประจุไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องประจุไอดีหรือท่อร่วมไอดีของเครื่องยนต์หัวฉีด EFI จะมีหน้าที่ป้องกันการกระเพื่อมของอากาศในระบบ โดยห้องประจุไอดีได้ถูกออกแบบให้มีขนาดใหญ่สามารถบรรจุอากาศได้ปริมาณมาก

เนื่องจากการที่อากาศถูกดูดเข้ากระบอกสูบเป็นช่วงๆ ตามจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ หากท่อร่วมไอดี มีขนาดเล็กเหมือนเครื่องยนต์ทั่วไป อากาศที่ถูกดูดผ่านระบบประจุอากาศจะมีลักษณะเป็นคลื่น ซึ่งจะมีผลให้ความดันของอากาศในท่อร่วมไอดีเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ ที่มีการควบคุมการทำงานด้วยความดันอากาศในท่อร่วมไอดี เช่น ตัวตรวจจับสุญญากาศ ตัวควบคุมความดันน้ำมันเชื้อเพลิง มีการทำงานที่ไม่เที่ยงตรง และการกระเพื่อมของอากาศจะทำให้แผ่นวัดปริมาณอากาศของมาตรวัดการไหลของอากาศเกิดการสั่น ซึ่งมีผลต่อการวัดปริมาณอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ระบบจุดระเบิด

4.1 ชนิดของระบบจุดระเบิด

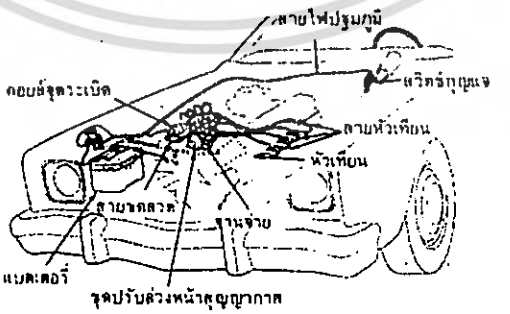
ระบบจุดระเบิดเป็นระบบที่ให้ประกายไฟในการจุดระเบิดเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง ประกายไฟต้องร้อนเพียงพอต่อการเริ่มเผาไหม้ส่วนผสมเมื่อประกายไฟอ่อน (ความร้อนไม่เพียงพอ) หรือเกิดประกายไฟไม่ถูกต้องตามเวลาที่เหมาะสม ความดันที่เกิดจากการเผาไหม้จะมีค่าไม่สูงสุด ดังนั้นการเกิดประกายไฟที่หัวเทียนจะต้องมีความเข้มข้นและตรงต่อเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้ได้กำลังสูงสุด ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงลดปริมาณก๊าซพิษในไอเสียและไม่เกิดการเผาไหม้ผิดปกติ

โดยทั่วไปแล้วระบบจุดระเบิดมี 2 แบบ คือ แบบทองขาวและแบบอิเล็กทรอนิกส์ ถึงแม้ว่าโครงสร้างและการทำงานของทั้ง 2 แบบแตกต่างกัน แต่หน้าที่อย่างเดียวกัน ก็คือหน้าที่ผลิตไฟฟ้าแรงดันสูงและจ่ายไปตามหัวเทียนต่างๆ ด้วยไทม์มิ่งที่เหมาะสม

4.2 หน้าที่ของระบบจุดระเบิด

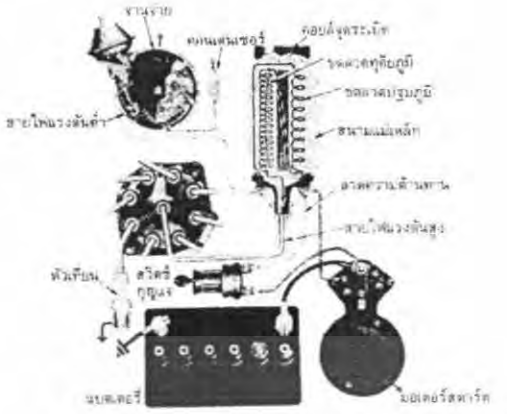
ระบบจุดระเบิด ทำให้เกิดประกายไฟสำหรับจุดระเบิดส่วนผสมอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง ประกายไฟจะเกิดขึ้นเมื่อใกล้สิ้นสุดจังหวะอัด ส่วนผสมจะเผาไหม้และเกิดความดันสูงกระทำกับลูกสูบ ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง

ระบบจุดระเบิดที่มีกลไกซึ่งเปลี่ยนแปลงไทมิ่งของการจุดระเบิดให้เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องยนต์เมื่อเครื่องยนต์เดินเบา ประกายไฟจะเกิดตรงตำแหน่งก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึง TDC เพียงเล็กน้อยเท่านั้นของจังหวะอัด แต่เมื่ออัตราความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ประกายไฟจะเกิดขึ้นล่วงหน้าเพื่อให้ส่วนผสมมีเวลานานเพียงพอต่อการเริ่มเผาไหม้ ซึ่งจะได้ความดันสูงสุดเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึง TDC และเริ่มเคลื่อนที่ลง



รูปที่ 4-1 ระบบจุดระเบิดแบบทองขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-2 ระบบจุดระเบิดแบบทองขาว

ในขณะที่วาล์วผีเสื้อเปิดบางส่วน ส่วนผสมที่เข้ากระบอกสูบมีจำนวนน้อย ส่วนผสมจำนวนน้อยที่ถูกอัดตัวในจังหวะอัด และการเผาไหม้จะเกิดขึ้นช้าลงเมื่อเริ่มการจุดระเบิดแล้ว ดังนั้นระบบจุดระเบิดจึงมีกลไกอีกอย่างหนึ่งในการปรับไทม์มิ่งจุดระเบิดให้เกิดขึ้นล่วงหน้าตามสภาพการทำงานดังกล่าว

4.3 ส่วนประกอบของระบบจุดระเบิด

ระบบจุดระเบิดประกอบด้วย แบตเตอรี่หรืออัลเทอร์เนเตอร์ (ต้นกำเนิดของกำลังไฟฟ้า) สวิตช์กุญแจจานจ่าย คอยล์จุดระเบิด หัวเทียนและสายไฟ ระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์จะมีชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ด้วยจานจ่ายและคอยล์ทำงานร่วมกันเพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าต่ำจากแบตเตอรี่หรืออัลเทอร์เนเตอร์เป็นแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อเกิดประกายไฟหัวเทียนในห้องเผาไหม้ ไฟฟ้าแรงดันสูงนั้นอาจมีค่าสูงสุดถึง 47,000 โวลต์ หรือมากกว่านี้ ซึ่งรูปที่ 4-2 จะแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบจุดระเบิดแบบทองขาว ระบบนี้เป็นระบบเก่าที่ใช้กันมานานหลายปีแล้ว แต่ปัจจุบันได้มีระบบใหม่มาใช้แทนคือ ระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์

4.4 จานจ่ายจุดระเบิด

ระบบจุดระเบิดแบบทองขาวและแบบอิเล็กทรอนิกส์ส่วนมากประกอบด้วย จานจ่ายจุดระเบิด (Ignition Distributor) ดังแสดงในรูปที่ 4-3 ซึ่งหน้าที่ของจานจ่ายจุดระเบิดได้แก่

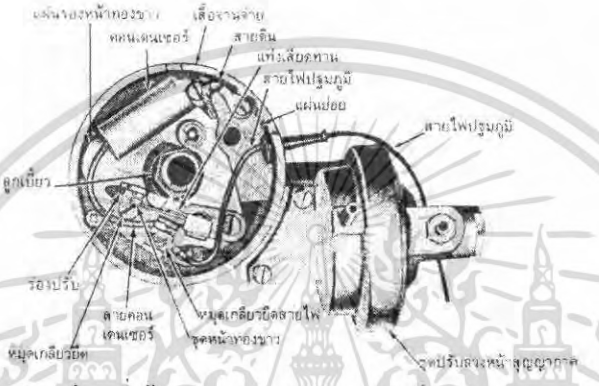
4.4.1 จานจ่ายมีหน้าทองขาว (Contact points) หรือทรานซิสเตอร์ (Transistor) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ในการตัดและต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรปฐมภูมิ ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงในคอยล์จุดระเบิด

4.4.2 จ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงไปยังหัวเทียนต่างๆ โดยการหมุนของโรเตอร์ในฝาครอบจานจ่าย โดยการจุดระเบิดของหัวเทียนเป็นไปตามลำดับการจุดระเบิดของแต่ละกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 จานจ่ายมีกลไกในการปรับไทม์มิ่งจุดระเบิดให้เกิดขึ้นล่วงหน้าหรือหน่วงให้ช้าลง โดยกลไกไปปรับล่วงแบบหน้าสุญญากาศและกลไกปรับล่วงหน้าทางกล (พบในระบบจุดระเบิดแบบทองขาวทั้งหมดและแบบอิเล็กทรอนิกส์บางชนิด)

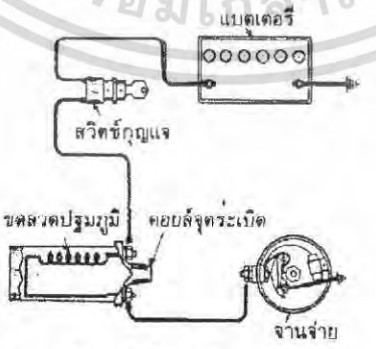
เมื่อใช้ไทม์มิ่งจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์ จะไม่มีกลไกปรับล่วงหน้าในจานจ่าย จานจ่ายเป็นเพียงจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงไปยังหัวเทียนต่างๆ เท่านั้น ระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากไม่มีจานจ่าย



รูปที่ 4-3 ชิ้นส่วนต่างๆในจานจ่ายที่ใช้ทองขาว

4.5 วงจรปฐมภูมิและทุติยภูมิของระบบจุดระเบิด

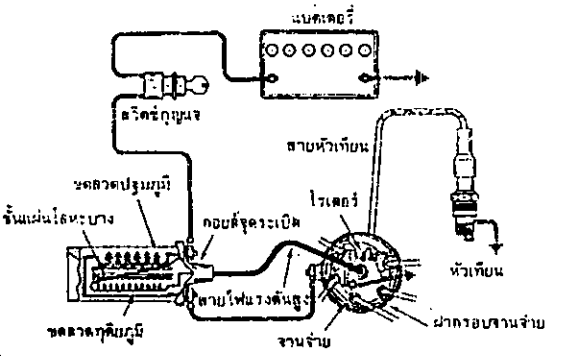
ระบบจุดระเบิดมีวงจรไฟฟ้าแยกเป็น 2 วงจร ได้แก่ วงจรปฐมภูมิ (Primary circuit) หรือวงจรไฟแรงต่ำและวงจรทุติยภูมิ (Secondary circuit) หรือวงจรไฟแรงสูง วงจรไฟแรงต่ำหรือวงจรปฐมภูมิประกอบด้วย แบตเตอรี่ แอมมิเตอร์ สวิตช์กุญแจ รีซิสเตอร์ (ตัวความต้านทาน) ขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิด หน้าทองขาวและคอนเดนเซอร์ ตัวถังหรือโครงรถยนต์และสายไฟในวงจรปฐมภูมิ



รูปที่ 4-4 วงจรปฐมภูมิในระบบจุดระเบิดแบบทองขาว

วงจรทุติยภูมิประกอบด้วย ขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จุดระเบิด ฝาครอบจานจ่ายและโรเตอร์ สายหัวเทียน หัวเทียน และตัวถังหรือโครงรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-5 วงจรทุติยภูมิในระบบจุดระเบิดแบบทองขาว

เมื่อสวิตช์กุญแจอยู่ที่ตำแหน่ง ON จะมีกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลผ่านวงจรปฐมภูมิ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิคอยล์และหน้าทองขาว (หน้าทองขาวปิด) ลงสู่สายดินและกลับสู่แบตเตอรี่ ลูกเบี้ยวซึ่งติดตั้งบนเพลาจานจ่ายทำให้หน้าทองขาวเปิดและปิดสลับกัน มุมการหมุนของลูกเบี้ยวที่ทำให้หน้าทองขาวยังคงปิดอยู่นั้นเรียกว่า มุมปิดหน้าทองขาว (Dwell Angle)

4.6 ข้อดีของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์

ในปัจจุบันเครื่องยนต์จำนวนมากใช้ระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ignition System หรือ EIS) ซึ่งมักจะเรียกว่า การจุดระเบิดโซลิดสเตด (Solid–State ignition หรือ SSI) ระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์จะใช้ทรานซิสเตอร์และเซมิคอนดักเตอร์ทำหน้าที่แทนหน้าทองขาว

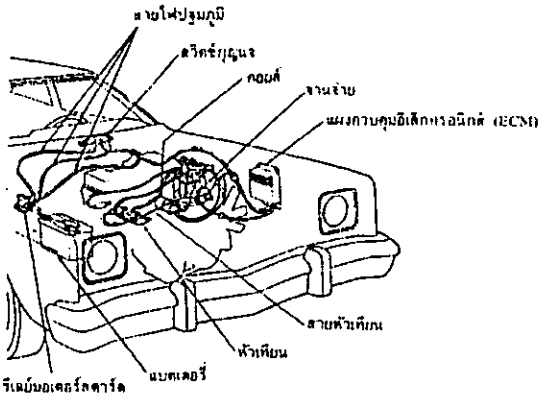
เมื่อไม่มีหน้าทองขาวที่จะสึกหรอและไม่มีการปรับและการเปลี่ยนจึงทำให้การบริการของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์น้อยลง นอกจากนี้ระบบจุดอิเล็กทรอนิกส์จะให้แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าระบบจุดระเบิดแบบทองขาว สิ่งนี้สำคัญมากเพราะว่าแรงดันฟ้าสูงจะทำให้เครื่องยนต์ทำงานได้ดีขึ้นเมื่อส่วนผสมบาง ระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้แรงดันไฟฟ้าสูงในวงจรทุติยภูมิมักเรียกว่าระบบจุดระเบิดพลังงานสูง (High–Energy Ignition หรือ HEI)

วงจรทุติยภูมิของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์ใช้สายไฟที่มีฉนวนหนากว่าระบบจุดระเบิดแบบทองขาว ดังนั้นสายไฟแรงดันสูงจะมีขนาด 8 mm ในขณะที่แบบทองขาวใช้ขนาด 7 mm ฉนวนทำด้วยสารประกอบซิลิคอน ซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนที่ดีสำหรับไฟแรงดันสูง

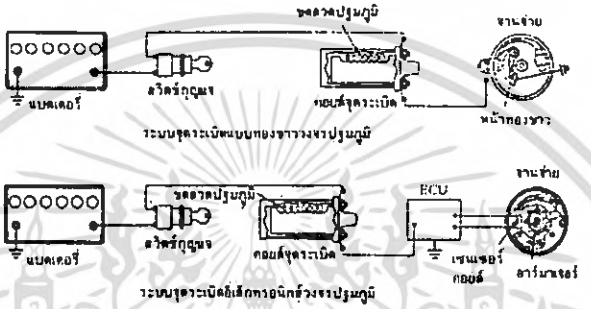
4.7 ส่วนประกอบของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์

ทั้ง 2 ระบบประกอบด้วยแบตเตอรี่หรืออัลเทอร์เนเตอร์ สวิตช์กุญแจ จานจ่ายจุดระเบิดคอยล์จุดระเบิด สายไฟ และหัวเทียน แต่ระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Unit หรือ ECU) หรือแผงควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Module หรือ ECM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-6 ส่วนประกอบของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4-7 การเปรียบเทียบวงจรปฐมภูมิของระบบจุดระเบิดแบบทองขาวและแบบอิเล็กทรอนิกส์

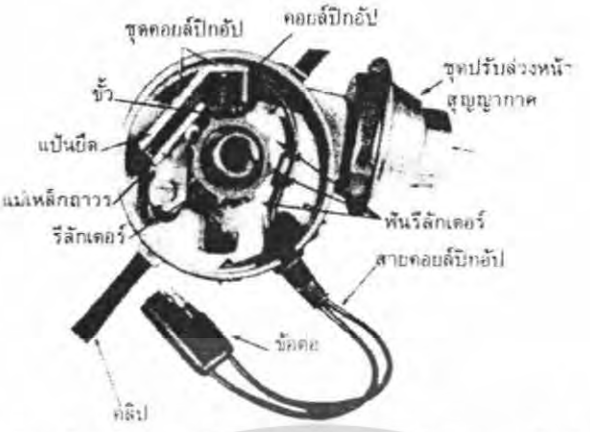
ในระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์ จานจ่ายจะมีอุปกรณ์ซึ่งสร้างสัญญาณกระตุ้นและส่งเข้าสู่ ECU เพื่อเปิดวงจรปฐมภูมิ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าในวงจรปฐมภูมิหยุดไหล สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบคอยล์จุดระเบิดจะสลายตัว ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่สูงซึ่งจะส่วนผ่านสายไฟแรงสูง โรเตอร์และฝาครอบจานจ่ายไปยังหัวเทียนในแต่ละกระบอกสูบ

ระบบจุดระเบิดของรถยนต์ส่วนมาก (ทั้งแบบทองขาวและแบบอิเล็กทรอนิกส์) เป็นระบบจุดระเบิดแบบเหนี่ยวนำ (Inductive ignition system) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามการเปิดและปิดวงจรปฐมภูมิของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์อาจแตกต่างกันไปบ้าง

4.8 การทำงานของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 4-8 แสดงจานจ่ายอิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปซึ่งถอดฝาครอบออก ชุดคอยล์ปิกอัพประกอบด้วยแม่เหล็กถาวรและคอยล์ซึ่งพันรอบแท่งโลหะซึ่งเรียกว่า ขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-8 ชิ้นส่วนต่างๆในจานจ่ายแบบหนึ่งของระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์

รีลักเตอร์มีลักษณะคล้ายเฟืองและยึดติดกับส่วนบนของเพลาจานจ่าย คล้ายกับลูกเบี้ยวของจานจ่ายที่ใช้ทองขาว รีลักเตอร์ทำด้วยเหล็กและมีจำนวนฟันเท่ากับจำนวนกระบอกสูบ ฟันของรีดักเตอร์จะมีระยะช่องว่างเล็กน้อยห่างจากชุดคอยล์ปิกอัพ ดังนั้นชิ้นส่วนทั้งสองจะไม่สัมผัสกัน

รีลักเตอร์ไม่ใช่แม่เหล็ก เมื่อฟันของรีลักเตอร์เข้าสู่แม่เหล็ก ฟันของรีลักเตอร์จะเป็นเส้นทางเดินของสนามแม่เหล็กดีกว่าอากาศโดยรอบ สิ่งนี้จะทำให้รีลักแตนซ์ (Reluctance) ลดลง ซึ่งรีลักแตนซ์ก็คือ ความต้านทานการไหลของเส้นแรงแม่เหล็กไปตามเส้นทางแม่เหล็ก

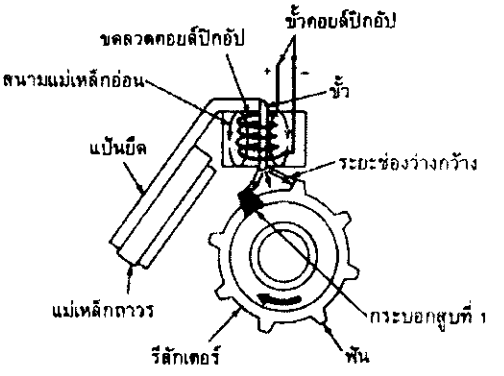
แม่เหล็กถาวรในชุดคอยล์ปิกอัพสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งมีความเข้มต่ำ สนามแม่เหล็กนี้ผ่านขดลวดของคอยล์ปิกอัพซึ่งพันโดยรอบขั้ว (ดูรูปที่ 4–9 (ก)) สนามแม่เหล็กนี้ค่อนข้างอ่อนเมื่อระยะช่องว่างระหว่างขั้วกับฟันของรีลักเตอร์มีขนาดกว้าง

ในขณะที่ฟันของรีลักเตอร์เข้าใกล้คอยล์ปิกอัพ ระยะช่องว่างนั้นลดลง เส้นทางเดินของสนามแม่เหล็กจะดีขึ้น (ดูรูปที่ 4–9 (ข)) ในขณะความเข้มของสนามแม่เหล็กรอบคอยล์ปิกอัพเริ่มเพิ่มขึ้น การเปลี่ยน (การเพิ่ม) ความเข้มของสนามแม่เหล็กจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าบวกที่ขั้วหนึ่งของขั้วคอยล์ปิดอัพ

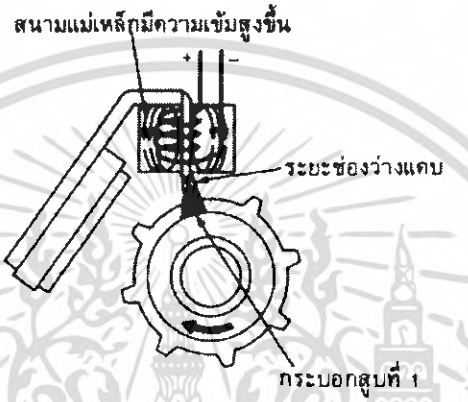
แรงดันไฟฟ้าบวกจะเข้มข้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งฟันของรีลักเตอร์อยู่ตรงกันข้ามกับขั้วในตำแหน่งนี้จะมีระยะช่องว่างระหว่างฟันของรีลักเตอร์น้อยที่สุด

หลังจากที่ฟันของรีลักเตอร์เคลื่อนที่ผ่านขั้วไปแล้ว ระยะช่องว่างนั้นจะเพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 3 – 9 (ค)) สิ่งนี้ทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยรอบคอยล์ปิกอัพเริ่มลดลงหรือสลายตัวการลดลงของความเข้มสนาม แม่เหล็กจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าลงที่ขั้วเดิมของคอยล์ปิกอัพ แรงดันไฟฟ้านี้จะเป็นสัญญาณป้อนเข้าสู่ ECU

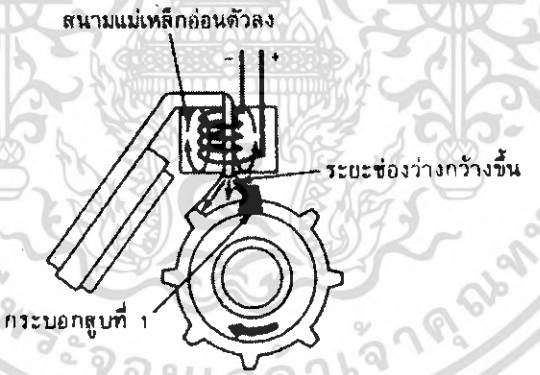
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ช่องว่างของอากาศต่อต้านสนามแม่เหล็ก



(ข) ความเข้มสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะเหนี่ยวนำได้แรงดันไฟฟ้าบวก



(ค) ความเข้มสนามแม่เหล็กอ่อนลงจะเหนี่ยวนำได้แรงดันไฟฟ้าลง

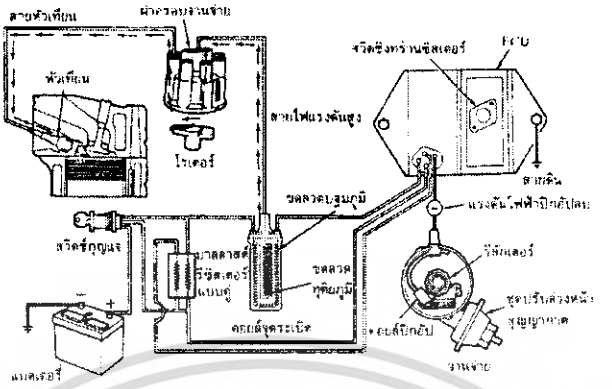
รูปที่ 4-9 การผ่านของฟันรีลักเตอร์บนคอยล์ปิกอัพ

4.9 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าปิกอัพ

แรงดันไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในคอยล์ปิกอัพเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็ก (อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลง) จะไม่มีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นถ้ารีลักเตอร์ไม่เคลื่อนที่ การเพิ่มขึ้นหรือการลดลงของสนามแม่เหล็กในขณะที่ฟันรีลักเตอร์เคลื่อนที่เข้าใกล้และออกห่างจากขั้วจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าบวกและลบสลับที่ขั้วของคอยล์ปิกอัพ แรงดันไฟฟ้านี้จะทำหน้าที่คล้ายกับเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณสวิตช์ ซึ่งจะมีผลทำให้ ECU ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิดและหยุดการไหลของกระแสไฟฟ้าซึ่งจะเกิดขึ้นสลับกัน



รูปที่ 4-10 วงจรปฐมภูมิจะถูกเปิดออกและเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงในวงจรทุติยภูมิในขณะที่ฟันของรีลักเตอร์เริ่มเคลื่อนที่ออกจากแนวของคอยล์ปิกอัพ

แรงดันไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำเกิดขึ้นในคอยล์ปิกอัพเรียกว่า แรงดันไฟฟ้าปิกอัพ (Pickup voltage) แรงไฟฟ้านี้มีค่าน้อยแต่เป็นสัญญาณที่มีความเที่ยงตรงสูงที่ป้อนเข้าสู่ ECU ซึ่ง ECU จะยอมให้กระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิดตราบเท่าที่สัญญาณแรงดันไฟฟ้าปิกอัพมีค่าบวก ในระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์ กระแสไฟจากแบตเตอรี่จะไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิดและผ่าน ECU ลงสู่สายดิน ซึ่ง ECU จะยอมให้กระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิลงสู่สายดิน จนกระทั่งมีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าลบจากคอยล์ปิกอัพ

เมื่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นลบ ECU จะหยุดการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดปฐมภูมิ (วงจรเปิด) ดูรูปที่ 4-9 ในขณะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ECU ลงสู่สายดิน จึงไม่มีผลทำให้สนามแม่เหล็กโดยรอบคอยล์จุดระเบิดสลายตัว สิ่งนี้จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงในขดลวดทุติยภูมิของคอยล์ ซึ่งทำให้หัวเทียนเกิดประกายไฟ หลักการเดียวกันกับวงจรทุติยภูมิของระบบจุดระเบิดแบบทองขาว

บาลลาสต์รีซิสเตอร์แบบคู่ (Dual–Ballast resistor) ดังแสดงในรูปที่ 4-9 นั้น จะทำหน้าที่รักษากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรปฐมภูมิให้มีค่าคงที่ถึงแม้ว่ารอบเครื่องยนต์จะเปลี่ยนแปลงก็ตาม สิ่งนี้จะทำให้ประกายไฟที่หัวเทียนมีความแรงสม่ำเสมอ กระแสไฟฟ้าจะไม่ผ่านรีซิสเตอร์ในขณะสตาร์ตเครื่องยนต์ ทั้งนี้เพราะว่าต้องการให้แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ป้อนเข้าสู่คอยล์จุดระเบิดได้เต็มที่ ทำให้มั่นใจได้ว่าจะเกิดประกายที่มีความแรงมากเพียงพอต่อการสตาร์ต

ระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์แบบอื่นใช้ฮอลล์เอฟเฟ็กเซนเซอร์ (Hall–Effect Sensor) แทนการใช้คอยล์ปิกอัพ

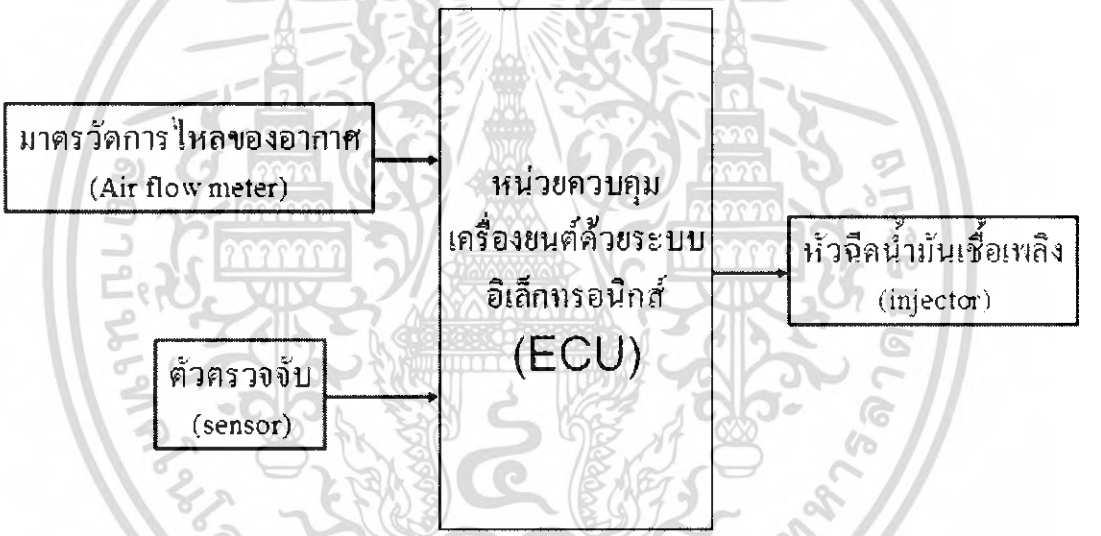
ข้อสังเกต ระบบจุดระเบิดอิเล็กทรอนิกส์ส่วนมากไม่ใช้รีซิสเตอร์ปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ระบบควมคุมอิเล็กทรอนิกส์

5.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบฉีด จะประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิด เพื่อใช้สำหรับควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด ซึ่งได้แก่ มาตรวัดการไหลของอากาศ (สำหรับระบบ EFI แบบ L) ตัวตรวจจับสุญญากาศ (สำหรับระบบ EFI แบบ D) สัญญาณความเร็วรอบ ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน ตัวตรวจจับการน็อกของเครื่องยนต์ และหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

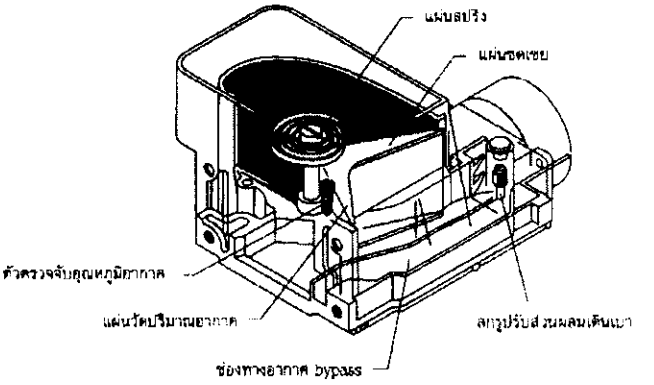


รูปที่ 5-1 แสดงการควบคุมการฉีดพื้นฐาน

5.2 ตัวตรวจจับสัญญาณ และหน้าที่

5.2.1 มาตรวัดการไหลของอากาศ ทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน (Basic Injection Time) ซึ่งมาตรวัดการไหลของอากาสนี้จะเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ตัวตรวจจับการไหลของอากาศ (Air Flow Sensor) ภายในตัวมาตรวัดการไหลของอากาศ จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทางกลและอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 5-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

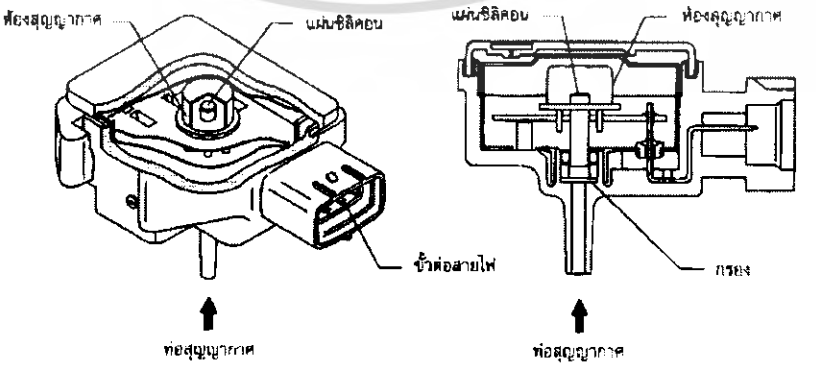


รูปที่ 5-2 ส่วนประกอบของมาตรวัดการไหลของอากาศ

สำหรับสกรูปรับส่วนผสมเดินเบา และสวิตช์ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นเพียงอุปกรณ์ที่นำมาติดตั้งให้ทำงานร่วมกับมาตรวัดการไหลของอากาศ ส่วนตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศเป็นอุปกรณ์ในระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ที่นำมาติดตั้งไว้เพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศที่จะบรรจุเข้ากระบอกสูบ

5.2.2 ตัวตรวจจับสุญญากาศ (Vacuum Sensor) จะทำหน้าที่ตรวจวัดแรงดันของอากาศในท่อร่วมไอดี แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานของหัวฉีด

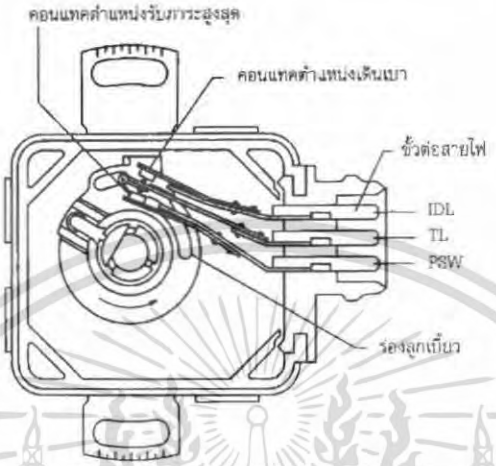
ภายในตัวตรวจจับสุญญากาศจะประกอบด้วย ตัวต้านทาน ที่ทำจากแผ่นซิลิกอนต่อวงจรไฟฟ้าร่วมกับตัวไอซี แผ่นซิลิกอนจะถูกต่อกับปลายท่อสุญญากาศที่ต่อมาจากท่อร่วมไอดีของเครื่องยนต์ เพื่อทำการวัดแรงดันของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะเครื่องยนต์ทำงานแผ่นซิลิกอนจะมีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปตามแรงดันของอากาศที่กระทำกับแผ่นซิลิกอน สำหรับไอซีจะมีหน้าที่เปลี่ยนความต้านทานของแผ่นซิลิกอนเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้านี้จะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันของอากาศจากท่อร่วมไอดีที่กระทำกับแผ่นซิลิกอน กล่าวคือ ค่าแรงดันไฟฟ้าจะสูง เมื่อแรงดันของอากาศในท่อร่วมไอดีสูง (เป็นสุญญากาศน้อย)



รูปที่ 5-3 ตัวตรวจจับสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง (Throttle Position Sensor) ติดตั้งอยู่ที่เรือนลิ้นเร่ง โดยจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณมุมการเปิดของลิ้นเร่งตามภาระของเครื่องยนต์ไปยังหน่วยควบคุมเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5-4

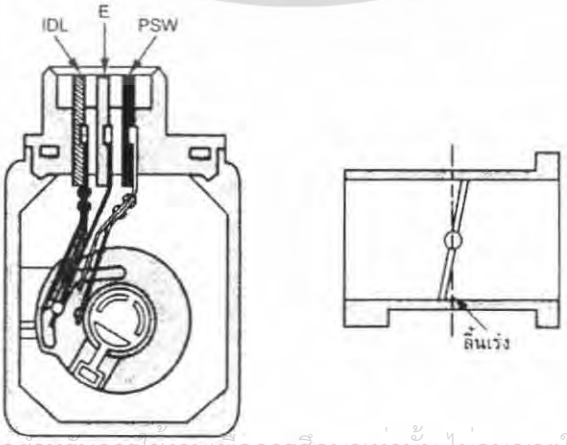


รูปที่ 5-4 ส่วนประกอบของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง

ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งจะมีสัญญาณที่ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณการฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง และตัดปริมาตรการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงที่ส่งไปยัง ECU อยู่ 2 สัญญาณด้วยกัน คือ

1. สัญญาณ IDL จะทำหน้าที่หลักในการควบคุมการตัดการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง
2. สัญญาณ PSW จะทำหน้าที่หลักในการควบคุมปริมาตรการฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและกำลังความเร็วของเครื่องยนต์ให้เพิ่มขึ้น

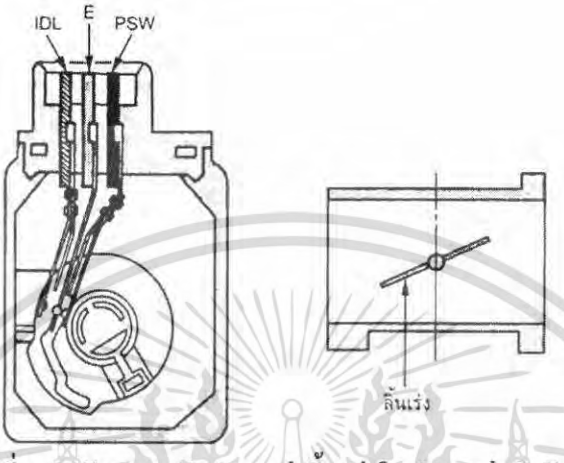
การทำงานของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง ตำแหน่งลิ้นเร่งเมื่อลิ้นเร่งปิดสนิท หน้าทองขาวที่เคลื่อนที่และหน้าทองขาวตำแหน่งเดินเบา (IDL) จะสัมผัสกัน ซึ่งจะเป็นการส่งสัญญาณตำแหน่งเดินเบาของเครื่องยนต์ไปยัง ECU จากสัญญาณตำแหน่งเดินเบานี้ เชื้อเพลิงจะถูกตัดการฉีดจ่ายน้ำมันเข้าในกระบอกสูบเมื่อผู้ขับขี่ถอนคันเร่งดังแสดงในรูปที่ 5-5



รูปที่ 5-5 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งในตำแหน่งเดินเบา

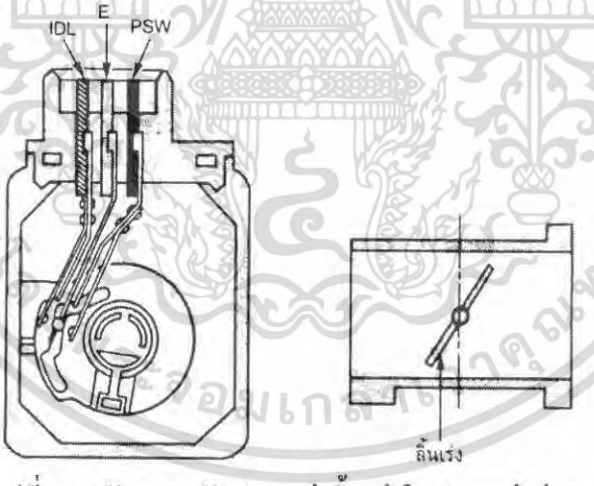
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งกำลัง เมื่อลิ้นเร่งถูกเปิดขึ้นประมาณ 70 องศา (จากตำแหน่งลิ้นเร่งปิด) หน้าทองขาวที่เคลื่อนที่จะเคลื่อนที่สัมผัสกับหน้าทองขาวกำลัง (PSW) เป็นการส่งสัญญาณข้อมูลตำแหน่งโหลดสูงสุดไปยัง ECU ดังแสดงในรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-6 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งในตำแหน่งกำลัง

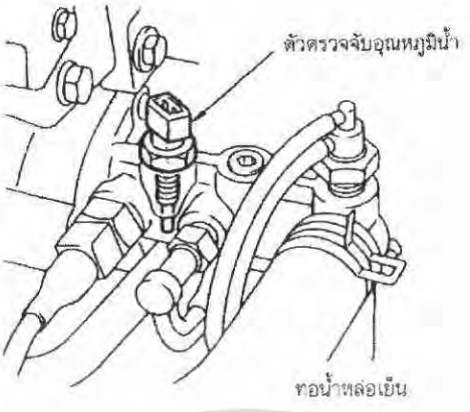
ตำแหน่งว่าง หน้าทองขาวจะอยู่ในตำแหน่งไม่สัมผัสกับหน้าทองขาวของตำแหน่งใดทั้งสิ้นดังแสดงในรูปที่ 5-7



รูปที่ 5-7 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งในตำแหน่งว่าง

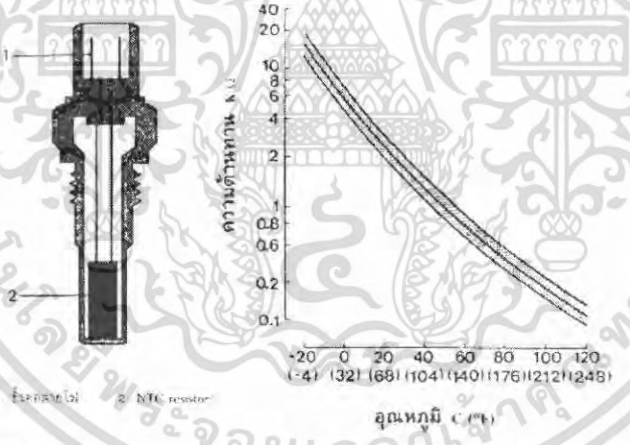
5.2.4 ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ (Water Temperature Sensor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ให้เพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-8 รูปร่างและตำแหน่งการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ

ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำจะถูกติดตั้งไว้ที่บริเวณช่องทางออกของน้ำหล่อเย็นที่ตัวเครื่องยนต์ ภายในตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำจะประกอบไปด้วย ตัวต้านทานแบบมีค่าสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิเป็นลบ ที่เรียกว่า NTC resistor (NTC ย่อมาจาก Negative Temperature Coefficient) ซึ่งจะมีค่าความต้านทานลดลงเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5-9

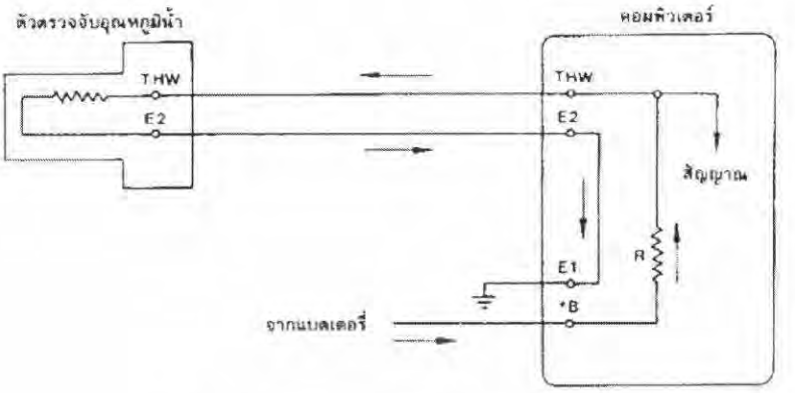


รูปที่ 5-9 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ

จากคุณสมบัติของ NTC resistor จะถูกนำไปใช้เปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า สำหรับป้อนเข้าหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นข้อมูลในการแก้ไขระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเหมาะสมกับอุณหภูมิของเครื่องยนต์ กล่าวคือ มีส่วนผสมที่หนาขึ้น เมื่อเครื่องยนต์อุณหภูมิต่ำ

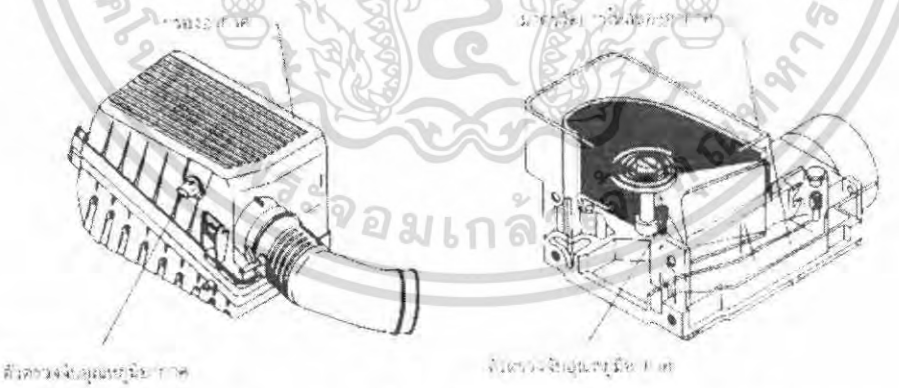
วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ แสดงในรูปที่ 5-10 ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำจะต่อเข้ากับหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ความต้านทานภายในหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์กับเทอร์มิสเตอร์ซึ่งอยู่ภายในตัวตรวจจับจะต่อกันเป็นวงจรแบบอนุกรม สัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าขั้ว THW ของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



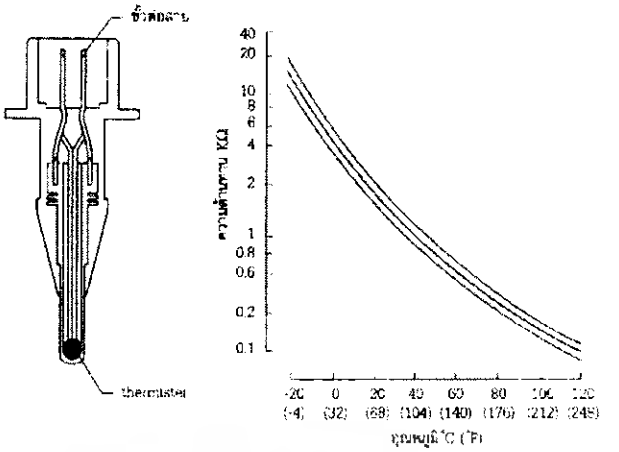
รูปที่ 5-10 การต่อวงจรตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ

5.2.5 ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature Sensor) มีลักษณะที่คล้ายกับตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 5-11 ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศจะติดตั้งอยู่บริเวณท่อทางเดินของอากาศ จะทำหน้าที่วัดอุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้ากระบอกสูบ อุณหภูมิจะทำให้แรงดันและความหนาแน่นของอากาศเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นแรงดันภายในท่อร่วมไอดีจะตรวจวัดจากตัวตรวจจับแรงดันที่ท่อร่วมไอดี ปริมาตรการฉีดเชื้อเพลิงจะถูกเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของไอดี หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะควบคุมปริมาตรการฉีดเชื้อเพลิงให้ได้มาตรฐานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และจะลดปริมาตรการฉีดเชื้อเพลิงเมื่ออุณหภูมิของไอดีสูงกว่ามาตรฐาน หรือเพิ่มปริมาตรการฉีดจากอุณหภูมิของไอดีต่ำกว่ามาตรฐาน แสดงในรูปที่ 5-12



รูปที่ 5-11 แสดงตำแหน่งติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

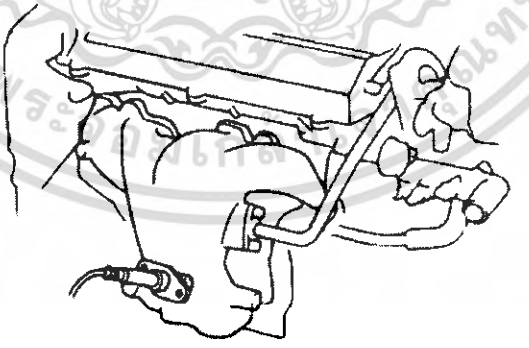


รูปที่ 5-12 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ

จากหลักการนี้ทำให้การควบคุมอัตราส่วนผสมของไอดีถูกต้องตามอุณหภูมิของไอดีดังรูปที่ 5-12

5.2.6 ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน (Oxygen Sensor) ใช้สำหรับเครื่องยนต์ที่ติดตั้งหม้อปรับสภาพแก๊สไอเสีย 3 ทางไว้เพื่อควบคุมมลภาวะอากาศเป็นพิษที่เกิดจากแก๊สไอเสียให้เป็นไปได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องทำให้อากาศที่ถูกขับออกมาก่อนผ่านหม้อปรับสภาพแก๊สไอเสียมีปริมาณแก๊สไอเสียที่น้อยที่สุด

ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องปรับอัตราส่วนของไอดีให้มีอัตราส่วน 14.7:1 หรือมีความใกล้เคียงทฤษฎีมากที่สุด โดยการติดตั้งตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนไว้ที่ท่อทางออกของท่อไอเสีย ดังแสดงในรูปที่ 5-13 ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนจะทำหน้าที่วัดอัตราส่วนผสมไอดีที่หนาและบางกว่าอัตราส่วนผสมของไอดีทางทฤษฎี

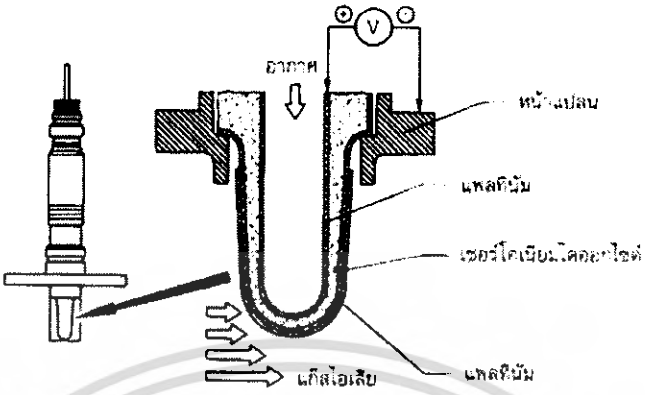


รูปที่ 5-13 ตำแหน่งติดตั้งตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน

ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนประกอบด้วยวัสดุไซโคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) โดยจะเคลือบผิวทั้งภายในและภายนอกด้วยทองคำขาวบางๆ ซึ่งทองคำขาวนี้จะทำหน้าที่ช่วยให้ออกซิเจนในไอเสียทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ อากาศโดยรอบจะไหลผ่านเข้าออกตัวตรวจจับ

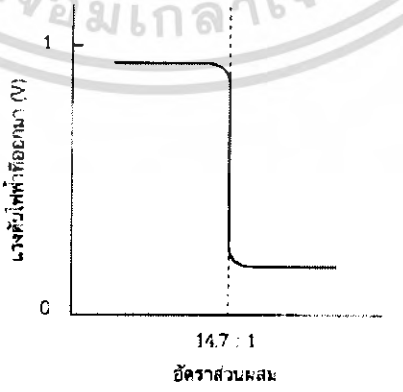
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณออกซิเจน ส่วนภายในตัวตรวจจับนั้น จะสัมผัสกับไอเสียในท่อโดยตรง ในรูปที่ 5-14 แสดงส่วนประกอบของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน



รูปที่ 5-14 ส่วนประกอบของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน

เมื่อปริมาณความเข้มของออกซิเจนภายในไซโคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2) มีความแตกต่างกันมาก ผิวด้านนอกจะมีอุณหภูมิสูงถึง 400 องศาเซลเซียส จะทำให้ไซโคเนียมไดออกไซด์ มีปฏิกิริทางด้านไฟฟ้า เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น เมื่ออัตราส่วนผสมของไอดีบาง ออกซิเจนในไอเสียจะมีปริมาตรที่มากกว่าอัตราส่วนผสมไอดีที่หนา จากความแตกต่างของอัตราส่วนผสมไอดี ปริมาณของออกซิเจนภายในและภายนอกตัวตรวจจับจะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งมีผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากวัสดุไซโคเนียมไดออกไซด์ ต่ำ แต่ในขณะเดียวกัน ถ้าอัตราส่วนผสมของไอดีหนา ออกซิเจนภายในและภายนอกตัวตรวจจับจะมีมาก ซึ่งทำให้เกิดแรงเคลื่อนที่วัสดุไซโคเนียมไดออกไซด์มาก ECU จะคำนวณและกำหนดการเพิ่มปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อคงรักษาอัตราส่วนผสมของไอดีให้ได้ตามทฤษฎี ในรูปที่ 5-15 เป็นกราฟแสดงการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเมื่อไอดีมีอัตราส่วนผสมที่หนาและบาง



รูปที่ 5-15 กราฟแสดงการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเมื่อไอดีมีอัตราส่วนผสมที่หนาและบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

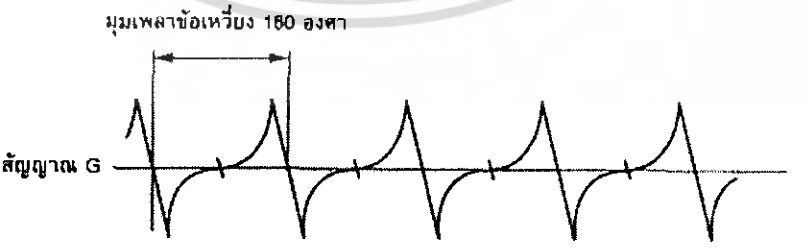
5.2.7 ตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft Angle Sensor) เมื่อสัญญาณ G1 ของตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยงส่งสัญญาณมุมเพลาข้อเหวี่ยงในตำแหน่งจุดศูนย์ตายบนไปยังหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ECU จะคำนวณและกำหนดระยะเวลาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและจังหวะการจุดระเบิดของเครื่องยนต์

ภายในจานจ่ายของอุปกรณ์จุดระเบิดแบบรวมที่ใช้กับเครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ จะประกอบไปด้วยโรเตอร์สัญญาณซึ่งยึดติดอยู่กับเพลาจานจ่าย เมื่อโรเตอร์สัญญาณหมุนไปแต่ละรอบ จะทำให้เกิดสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าส่งผ่านไปยังหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเรียกสัญญาณนี้ว่า สัญญาณ G (จำนวนฟันของโรเตอร์สัญญาณที่ใช้ในอุปกรณ์จุดระเบิดแบบรวมจะขึ้นอยู่กับจำนวนสูบของเครื่องยนต์)

ขดลวดกำเนิดสัญญาณถูกยึดไว้ภายในตัวเรือนของจานจ่าย และทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าเมื่อโรเตอร์สัญญาณตัดผ่านสนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 5-16

รูปที่ 5-16 โรเตอร์สัญญาณและขดลวดกำเนิดสัญญาณ

จากการที่โรเตอร์สัญญาณมีจำนวน 4 สูบ เมื่อหมุนตัดขดลวดกำเนิดสัญญาณของมุมเพลาข้อเหวี่ยง สัญญาณที่เกิดขึ้นนี้หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะตรวจจับสัญญาณไว้ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ใกล้ถึงจุดศูนย์ตายบนตามการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง ดังแสดงในรูปที่ 5-17

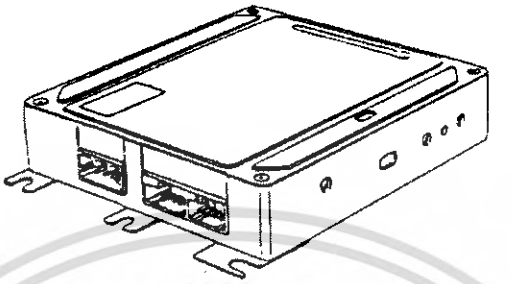


รูปที่ 5-17 สัญญาณที่เกิดจากตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ECU

หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันของหัวฉีดให้ได้อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันที่เหมาะสมกับความต้องการของเครื่องยนต์ในสภาวะต่างๆ

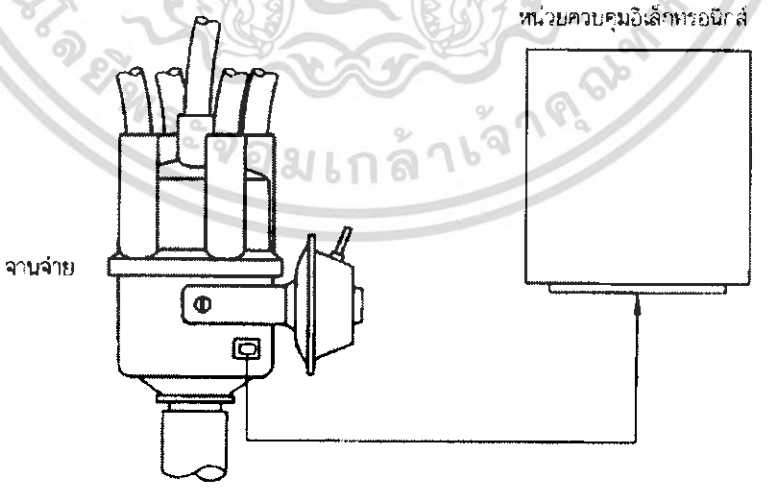


รูปที่ 5-18 หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ในเครื่องยนต์หัวฉีด ระบบ EFI ธรรมดา จะมีหน้าที่อยู่เพียง 2 ประการ คือ ควบคุมจังหวะการฉีด และควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันของหัวฉีด

5.3.1 การควบคุมจังหวะการฉีด

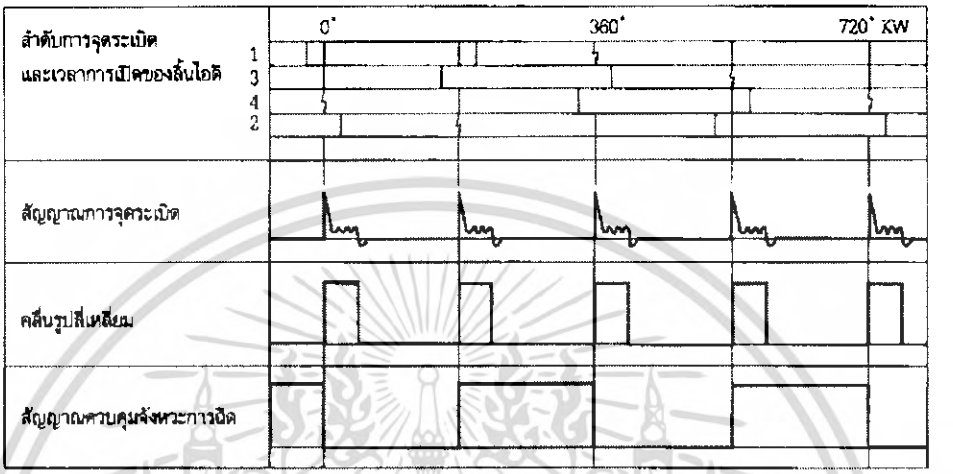
น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในท่อไอดีเป็นจังหวะๆ โดยหัวฉีดจะทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 1 ครั้ง ต่อการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง 1 รอบ ซึ่งจะมีการฉีด 2 ครั้งต่อ 1 รอบการทำงานของเครื่องยนต์การเริ่มต้นการฉีดจะถูกกำหนดด้วยสัญญาณการจุดระเบิดจากขั้วจานจ่าย หรือที่ขั้วลบของคอยล์จุดระเบิด



รูปที่ 5-19 สัญญาณการจุดระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะคอยตรวจจับสัญญาณการจุดระเบิดจากขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิดซึ่งมีอยู่ 4 ครั้งต่อการหมุนของเครื่องยนต์ 2 รอบ สำหรับเครื่องยนต์ 4 สูบ สัญญาณการจุดระเบิดจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม จากนั้นจะถูกวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลดจำนวนคลื่นลงเหลือครึ่งหนึ่ง คือ 2 ช่วงคลื่น สำหรับนำไปควบคุมจังหวะการฉีด ดังนั้นใน 1 รอบการทำงานของเครื่องยนต์จะมีการฉีด 2 ครั้ง



รูปที่ 5-20 การสร้างสัญญาณควบคุมจังหวะการฉีดของ ECU

5.3.2 การควบคุมระยะเวลาในการฉีด

การควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยการควบคุม 4 ส่วนด้วยกัน คือ

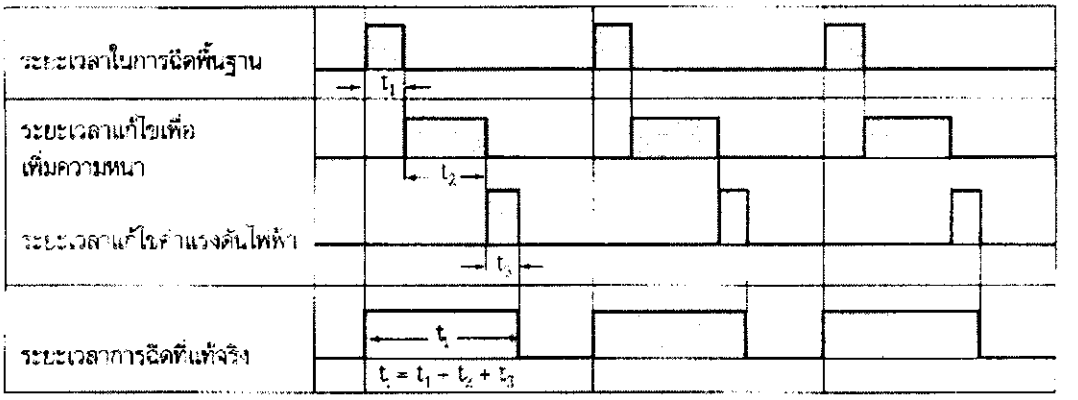
1. การควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน
2. การแก้ไขระยะเพื่อเพิ่มความหนาของเชื้อเพลิง
3. การแก้ไขเวลาในการฉีดจากค่าแรงดันไฟฟ้า
4. การตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมัน โดยรับสัญญาณไฟฟ้าจากตัวตรวจจับสัญญาณและสวิตช์

จากแผนภูมิหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการหาระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานจากสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์ และสัญญาณไฟฟ้าจากมาตรวัดการไหลของอากาศ หลังจากนั้นระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานจะถูกแก้ไขให้มีระยะเวลาในการฉีดมากขึ้น เพื่อเพิ่มความหนาของเชื้อเพลิงตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์

สรุปแล้วระยะเวลาในการฉีดทั้งหมด จะเท่ากับ ระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน + ระยะเวลาที่แก้ไขเพื่อเพิ่มความหนาตามสภาวะการทำงาน + ระยะเวลาที่แก้ไขจากค่าแรงดันไฟฟ้า

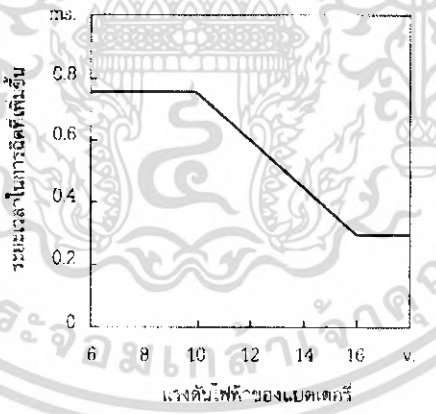
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-21 แผนภูมิแสดงระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

5.3.3 การแก้ไขระยะเวลาในการฉีดจากค่าแรงดันไฟฟ้า

การทำงานของหัวฉีด ในการเปิดของเข็มหัวฉีดจะมีความไวสูง แต่การเปิดของเข็มหัวฉีดก็ยังคงมีความล่าช้าอยู่ โดยเฉพาะเมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ต่ำลง ดังนั้นถ้าหากแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขดลวดโซลีนอยด์ของหัวฉีดลดลงก็จะมีผลให้การเปิดของเข็มหัวฉีดช้าลง จะทำให้ระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงสั้นลงกว่าที่ได้จากการกำหนดของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขระยะเวลาในการฉีดให้ยาวขึ้น เพื่อเป็นการชดเชยค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ต่ำลง



รูปที่ 5-22 กราฟแสดงการแก้ไขระยะเวลาในการฉีดจากค่าแรงดันไฟฟ้า

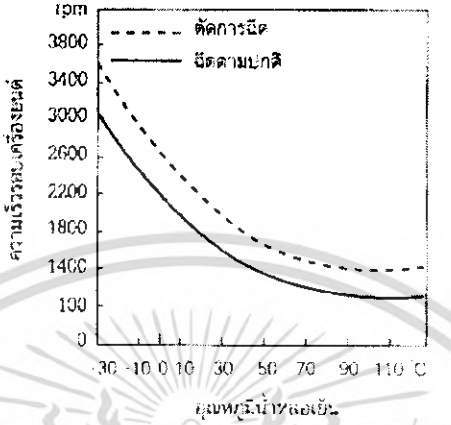
5.3.4 การตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะควบคุมเพื่อตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด ในบางสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เพื่อความประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง และป้องกันเครื่องยนต์ชำรุด คือ

1. ขณะลดความเร็วรอบเครื่องยนต์อย่างทันทีทันใด เช่น ขณะทำการเบรก หรือ ขับรถลงลงจากที่สูง ซึ่งเป็นสภาวะที่เครื่องยนต์ไม่ต้องการน้ำมันเชื้อเพลิง หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการตัดสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้าหัวฉีด โดยได้รับข้อมูลทางไฟฟ้ามาจากตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง (ตำแหน่งเดินเบา) และสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ กล่าวคือ หากเครื่องยนต์มีความเร็วรอบสูง แต่ลิ้นเร่งปิด หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับความเร็วรอบในการตัดการฉีดนั้น จะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น



รูปที่ 5-23 กราฟแสดงการตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

จากกราฟ ที่อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่ำ ความเร็วรอบในการตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะอยู่สูง และลดต่ำลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เพื่อป้องกันการกระพือของเครื่องยนต์ ในการตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะเป็นการตัดเพียงชั่วขณะเท่านั้น หลังจากความเร็วรอบเครื่องยนต์ลดลงต่ำถึงค่าที่กำหนด หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะสั่งให้หัวฉีด ทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงตามปกติ เพื่อไม่ให้เครื่องยนต์ดับไป

2. เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงเกินค่าที่กำหนด หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะทำการเปรียบเทียบความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับความเร็วรอบที่กำหนดไว้ในหน่วยความจำ หากเครื่องยนต์มีความเร็วรอบสูงเกินค่ากำหนด หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะตัดสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้าหัวฉีด เพื่อเป็นการป้องกันความเร็วรอบสูงเกินกำหนด ซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์ชำรุดเสียหายได้และเมื่อความเร็วรอบลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด หัวฉีดจะกลับมาฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงต่อไปตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

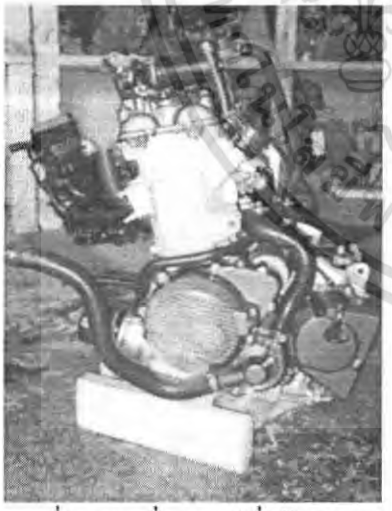
สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ จะเป็นการทดลองปรับตั้งตัวแปรต่างๆเช่น ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง องศาการจุดระเบิด และเก็บผลภาพรวมด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ ทั้งทางด้านกำลัง การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ตลอดจนมลพิษไอเสียที่เกิดขึ้น

ในบทนี้จะเริ่มต้นจากอุปกรณ์การทดลองต่างๆที่จำเป็น เช่น เครื่องยนต์, หน่วยควบคุมเครื่องยนต์แบบอิเล็กทรอนิกส์, เครื่องมือวัดต่างๆ ตลอดจนอุปกรณ์รับรู้ที่ใช้กับเครื่องยนต์ที่จะนำมาทดลอง ต่อจากนั้นจะกล่าวถึงการเตรียมการทดลอง ซึ่งจะรวมถึงหลักการทำงานของอุปกรณ์การทดลองต่างๆด้วย และท้ายสุดของบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองรวมทั้งปัญหาและอุปสรรคที่พบในการทดลอง

6.1 อุปกรณ์การทดลอง

6.1.1 เครื่องยนต์ทดลอง

ตารางที่ 6-1 แสดงข้อมูลของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 6-1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดลอง

Motorcycle		Kawasaki ZXR600
Type engine		4 stroke DOHC. 4 cylinder
Displacement		599 mL
Bore Stroke		66mm x 43.8mm
Gear ratios	1^{st}	2.923
	2^{nd}	2.062
	3^{rd}	1.631
	4^{th}	1.380
	5^{th}	1.217
	6^{th}	1.083
Maximum horsepower		81.6 kW@12,500 rpm
Maximum Torque		6.7 kg.m@10,000 rpm
Compression ratio		12.8 : 1
Carburetion system		Carburetors, Mikuni BDSR 36R x 4
Spark Plug		NGK CR9E
Transmission		6 speed constant mesh return shift
Clutch Type		Wet multi disc
Engine Oil	Grade	SE, SF or SG class
	Viscosity	SAE10W-40, 10W-50, 20W-40 or 20W-50
	Capacity	3.8L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2 กล่องควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์

ใช้กล่องอิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ Haltech รุ่น E6X ในการทดลอง ซึ่งเป็นกล่องแบบ Stand alone

รูปที่ 6-2 กล่องควบคุมเครื่องยนต์ด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์

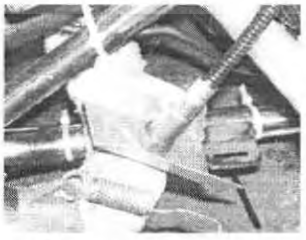
6.1.3 ตัวตรวจจับที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 6-3 ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ

รูปที่ 6-4 ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ

รูปที่ 6-5 ตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง

รูปที่ 6-6 ตัวตรวจจับองศาลิ้นปีกผีเสื้อ



รูปที่ 6-7 ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน

รูปที่ 6-8 ตัวตรวจจับองศาเพลาลูกเบี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.4 ระบบการจ่ายเชื้อเพลิง

ตารางที่ 6-2 แสดงคุณสมบัติของหัวฉีด

รูปที่ 6-9 หัวฉีด	Model	Suzuki GSXR 600
	Injector Model	Keihin KN4, 0J07 AAA A
	Flow rate	240cc/min
	Resistance	13Ω
	Fuel Pressure	45psi/100%

6.1.5 ระบบควบคุมองศาจุดระเบิด

ตารางที่ 6-3 แสดงข้อมูลของระบบจุดระเบิด

รูปที่ 6-10 ตัวช่วยจุดระเบิด	Mitsubishi power transistor (coil charge time 3 ms)
รูปที่ 6-11 คอยล์จุดระเบิด	Mitsubishi Evolution Dual coil

6.1.7 น้ำมันเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองคือ Gasohol95 ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นส่วนผสมระหว่างเอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอล ชนิดความบริสุทธิ์ 99.5% โดยปริมาตร ที่ได้จากการหมักและกลั่นผลิตผลทางการเกษตร (อ้อยและมันสำปะหลัง) ผสมกับน้ำมันเบนซิน ชนิดพิเศษ ในอัตราส่วนเบนซิน 9 ส่วน เอทานอล 1 ส่วน ได้เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองนั้น ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัทบางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ปริมาณ 400 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-12 แสดงน้ำมันเชื้อเพลิง Gasohol 95

6.2 ขั้นเตรียมการทดลอง

6.2.1 ระบบสายไฟ

สัญญาณขาเข้า

สัญญาณเพลาข้อเหวี่ยง : ใช้ในการวัดรอบเครื่องยนต์

สัญญาณเพลาลูกเบี้ยว : ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของลูกสูบแต่ละสูบ

สัญญาณอุณหภูมิอากาศ : ใช้ในการวัดอุณหภูมิอากาศเข้าพื่อชดเชยปริมาณ การจ่ายน้ำมันให้สัมพันธ์กับมวลของอากาศเข้าที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิภายนอก

สัญญาณอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น: ใช้ในการตรวจอุณหภูมิการทำงานเครื่องยนต์

สัญญาณแรงดันอากาศ : ใช้ในการวัดแรงดันอากาศสัมบูรณ์เพื่อชดเชยปริมาณ การจ่ายน้ำมันให้สัมพันธ์กับมวลของอากาศเข้าที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดัน

สัญญาณองศาลิ้นปีกผีเสื้อ : ใช้ในการกำหนดภาวะบรรทุก (load) ของเครื่องยนต์โดยเปลี่ยนแปลงตามองศาลิ้นปีกผีเสื้อ เริ่มจาก 0 % – 100 %

สัญญาณขาออก

สัญญาณจุดระเบิด : ใช้ในการกำหนดองศาการจุดระเบิด โดยสัมพันธ์กับรอบเครื่องยนต์ (rpm) และภาวะบรรทุก (load)

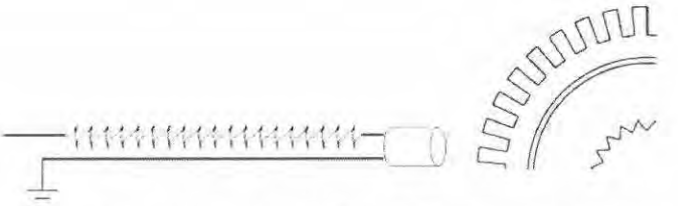
สัญญาณหัวฉีด : ใช้ในการกำหนดระยะเวลาการยกหัวฉีดในการจ่าย เชื้อเพลงโดยสัมพันธ์กับรอบเครื่องยนต์ (rpm) และภาวะบรรทุก (load)

6.2.2 สัญญาณวัดรอบเครื่องยนต์และสัญญาณเพลาลูกเบี้ยว

สัญญาณที่สำคัญในการติดเครื่องยนต์ประกอบด้วย สัญญาณเพลาข้อเหวี่ยงและสัญญาณเพลาลูกเบี้ยว ซึ่งหน้าที่การทำงานของตัวตรวจจับทั้งสอง ได้กล่าวไว้แล้วในข้อที่ 1

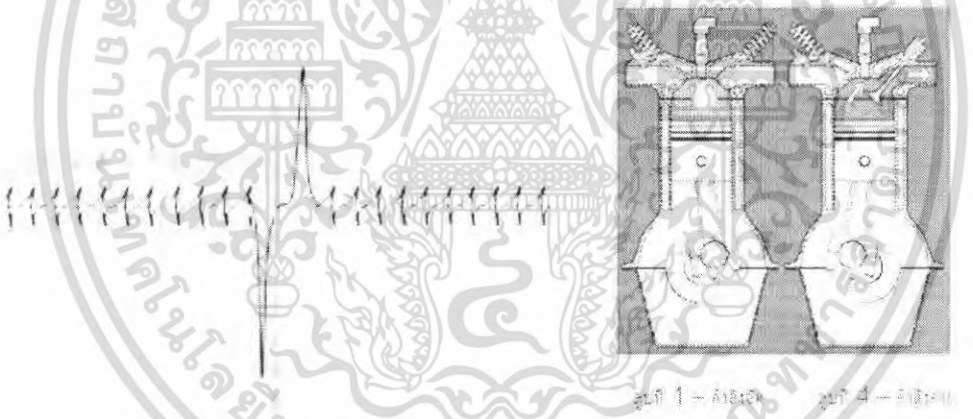
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณเพลาข้อเหวี่ยง เป็นสัญญาณที่ใช้ในการวัดรอบเครื่องยนต์ ลักษณะสัญญาณจะเป็น Analog โดยตัวตรวจจับจะสร้างสัญญาณด้วยตัวของมันเอง ดังรูป

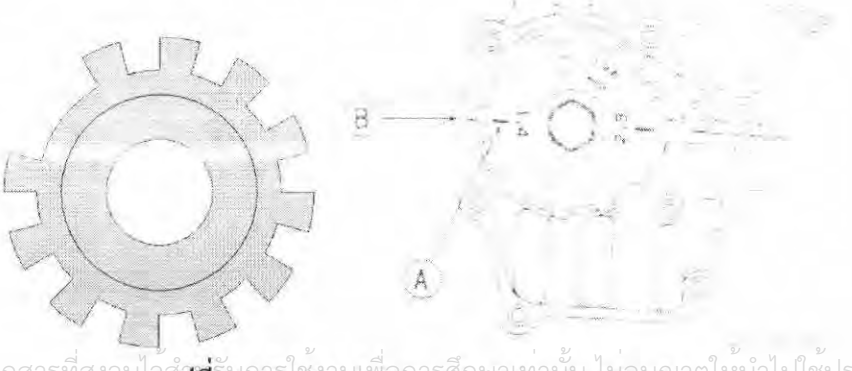


รูปที่ 6-13 แสดงสัญญาณที่ได้จากตัวรับรู้มุมเพลาข้อเหวี่ยง

สำหรับในขั้นเตรียมการทดลองนี้ เริ่มจาก สัญญาณจากจานฟัน Encoder ที่มาจากโรงงานซึ่งติดมากับเครื่องยนต์ โดยลักษณะฟันจะเป็นแบบ 12 ฟัน หาย 1 ฟัน (12-1 motronic trigger wheel) โดยฟันที่หายไปจะเป็นสัญญาณ ระบุตำแหน่งของลูกสูบที่ 1 แทนสัญญาณเพลาลูกเบี้ยว



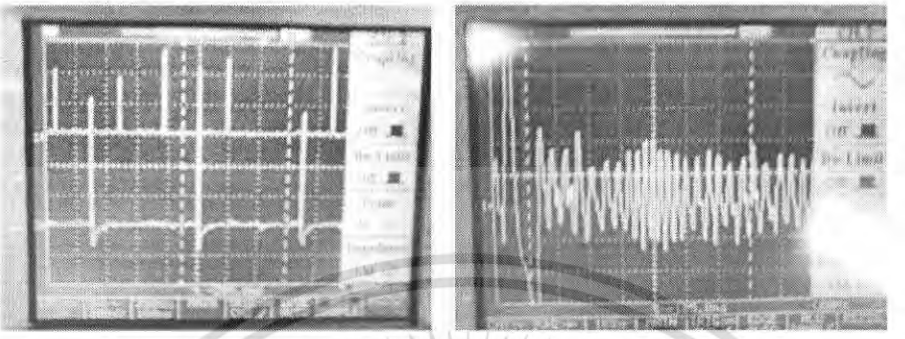
รูปที่ 6-14 รูปแสดงสัญญาณที่เกิดจาก ฟันที่หายไปของ encoder ซึ่งเอาไว้ระบุตำแหน่งลูกสูบ



รูปที่ 6-15 12-1 Motronic trigger wheel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สัญญาณที่ว่านี้ หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ Haltech ไม่สามารถรองรับได้ดี สัญญาณรอบและองศาการจุดระเบิดจึงคลาดเคลื่อนไป ดังรูป



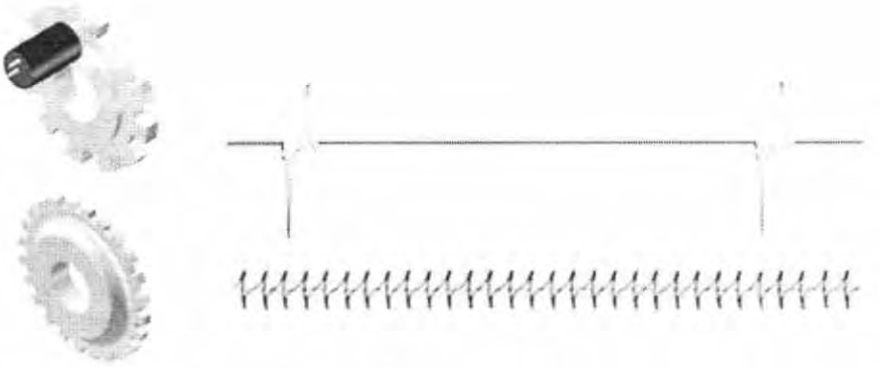
รูปที่ 6-16 แสดงสัญญาณที่ได้จากการทดลอง ซึ่งไม่คงที่

จึงได้ทำการเปลี่ยนแปลงมาเป็น จาน Encoder แบบ 36-1 motronic trigger wheel เพื่อให้ตรวจจับองศาข้อเหวี่งที่เปลี่ยนแปลงไปละเอียดขึ้น โดย ช่วงห่างระหว่างฟันต่อฟัน จะนับเป็น 5 องศาเพลาข้อเหวี่ยง

รูปที่ 6-17 แสดงจาน encoder แบบ 36 -1 Motronic trigger wheel

แต่ลักษณะสัญญาณที่ได้ก็ยังเป็นเช่นเดิม คือ ไม่คงที่สม่ำเสมอเมื่อตอนสตาร์ทเครื่องยนต์ เมื่อรอบเครื่องยนต์ไม่คงที่ จึงทำให้การจุดระเบิดผิดเพี้ยนไป จึงได้ทดลองใช้ Encoder มาตรฐานแบบของ เครื่องยนต์ Toyota ลักษณะ encoder ของ Toyota จะเป็นลักษณะ ฟันเต็ม 24 ฟันที่เพลาลูกเบี้ยว และใช้ อีก 1 จาน encoder ซึ่งมี 1 ฟัน ในการบอกตำแหน่ง ลูกสูบที่ 1 อยู่ที่ TDC

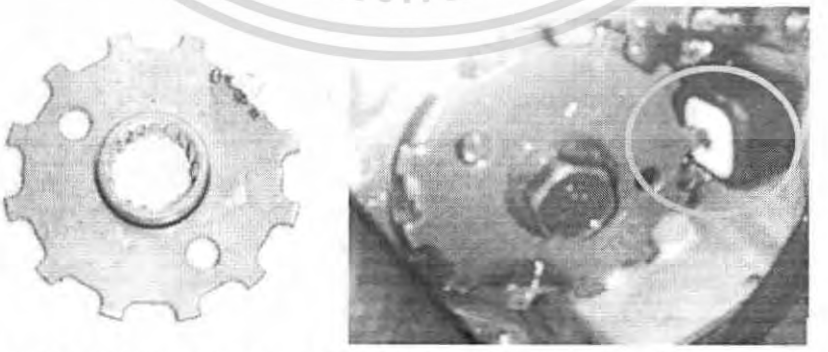
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-18 แสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับซึ่งติดอยู่ที่ เพลาลูกเบี้ยว

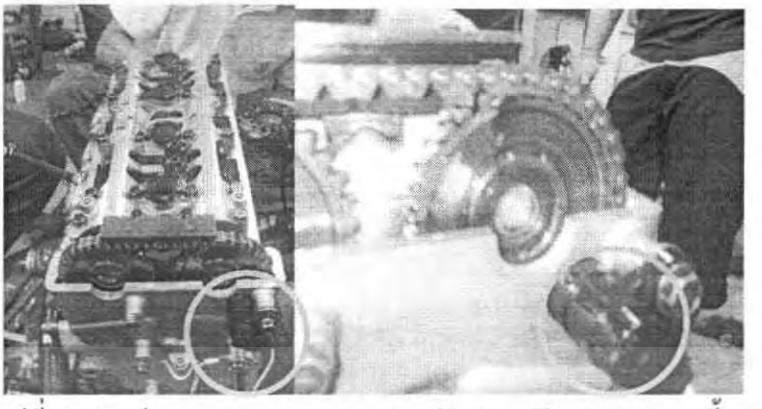
แต่เนื่องจากข้อจำกัดในการติดตั้งตัวตรวจจับไว้ที่เดียวกัน ณ ตำแหน่งหัวเพลาลูกเบี้ยว จึงได้ดัดแปลง สัญญาณวัดรอบไว้ที่ เพลาข้อเหวี่ยง โดยลดจำนวนฟัน Encoder ให้เหลือเพียง 12 ฟัน (เมื่อเพลาลูกเบี้ยวหมุนไป 1 รอบ ก็จะได้จำนวนลูกสัญญาณ 24 ลูกสัญญาณเท่ากัน)

รูปที่ 6-19 แสดงสัญญาณจากตัวตรวจจับซึ่งติดอยู่ที่ เพลาลูกเบี้ยว (บน) และเพลาข้อเหวี่ยง (ล่าง)



รูปที่ 6-20 แสดงจาน encoder แบบ 12 Multitooth และตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



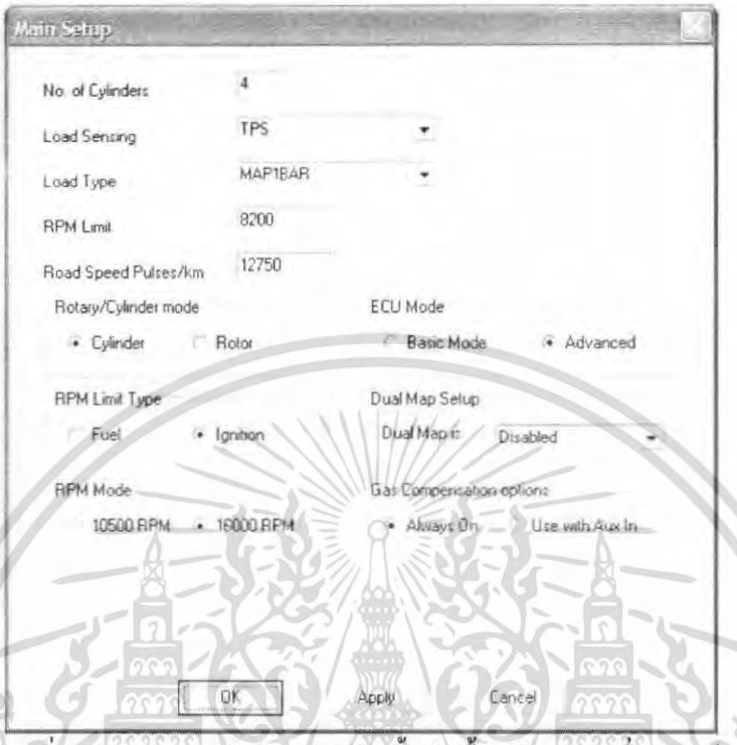
รูปที่ 6-21รูปแสดงจาน encoder และตัวตรวจจับมุมเพลาลูกเบี้ยว

หลังจากติดตั้ง Encoder แบบ 24 Multitooth +1 cam home trigger wheel ปรากฏว่าสัญญาณรอบและจุดระเบิดแม่นยำมากขึ้น

รูปที่ 6-22 แสดงการจุดระเบิด ณ 7.5 degree BTDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.3 การปรับตั้งหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น

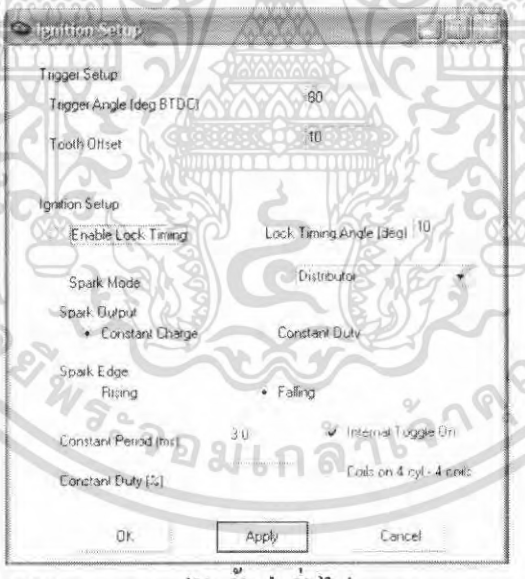


รูปที่ 6-23 แสดงหน้าต่างการปรับตั้งค่าเบื้องต้นของเครื่องยนต์

ในการทดลองนี้ใช้องศาลิ้นปีกผีเสื้อเป็นตัวกำหนดภาวะบรรทุก (Load) ของเครื่องยนต์ และใช้การตัดการจุดระเบิดในการตัดการทำงานของเครื่องยนต์ เมื่อรอบเกิน 8200 rpm ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันเครื่องยนต์เผาไหม้เชื้อเพลิงบางไป ถ้าตัดน้ำมันเชื้อเพลิงแทน ซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์ knock และเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-24 แสดงการปรับตั้งค่าทั่วไปของระบบฉีดจ่ายเชื้อเพลิง

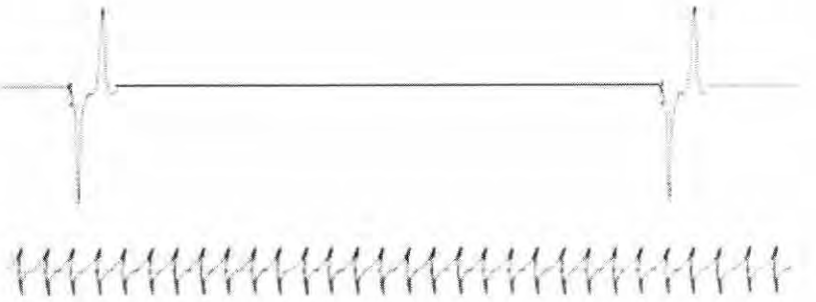


รูปที่ 6-25 แสดงการปรับตั้งค่าทั่วไปของระบบจุดระเบิด

สำหรับการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงและจุดระเบิดนั้นแบบ เดิมจะเป็นลักษณะ จ่ายเชื้อเพลิงแบบ Multipoint หรือ Simultaneous คือ ฉีดเชื้อเพลิงพร้อมๆกันในทุกสูบ ใน 1 รอบของการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว แต่ละสูบจะฉีดจ่ายเชื้อเพลง 2 ครั้ง

จุดระเบิดแบบ Waste spark คือ จุดระเบิด 2 ครั้งใน 1 รอบของการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง

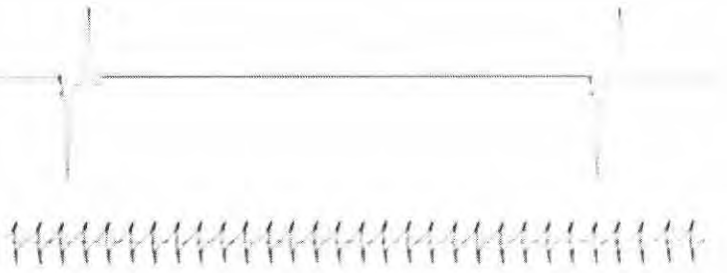
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-26 แสดงการฉีดเชื้อเพลิงแบบ Multipoint หรือ Simultaneous กับระบบจุดระเบิดแบบ Waste sparks

แต่พบว่าการควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงนั้นเป็นไปได้ยาก และเชื้อเพลิงที่ใช้เพื่อให้เครื่องสามารถเดินได้เรียบนั้นจะสิ้นเปลืองมาก ดังนั้นจึงเปลี่ยนมาเป็น ระบบการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงแบบ Sequential คือ ฉีดจ่ายเชื้อเพลิง แต่ละสูบเรียงตาม firing order (1-2-4-3) เพราะฉะนั้นในแต่ละรอบเพลาลูกเบี้ยวเชื้อเพลิงจะจ่ายเพียง 1 ครั้ง 1 รอบเพลาลูกเบี้ยว

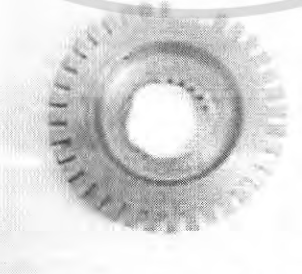
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-27 แสดงการฉีดเชื้อเพลิงแบบ **Sequential** กับระบบจุดระเบิดแบบ **Waste sparks**

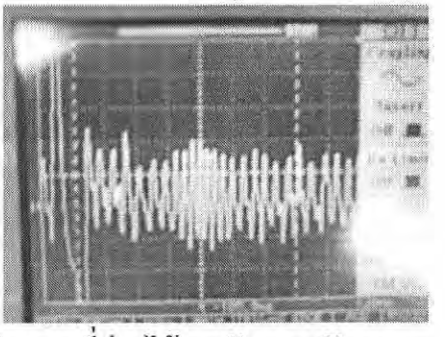
6.3 ปัญหาในการดำเนินงาน

1. รูปแบบของสัญญาณทริกเกอร์ที่กล่อง Haltech รับรู้มีจำกัด ในการทดลองครั้งแรกได้ใช้จานทริกเกอร์ 36 ฟัน หาย 2 ฟัน ประสบปัญหากล่องไม่เข้าใจสัญญาณ ประกอบกับสัญญาณที่ตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยงสร้างออกมามีแอมพลิจูดที่ต่ำและความถี่ของสัญญาณไม่แน่นอน ทำให้รอบเครื่องยนต์ที่อ่านได้ขณะสตาร์ตมีค่าไม่คงที่



รูปที่ 6-28 แสดงจานทริกเกอร์ 36 ฟัน หาย 2 ฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-29 สัญญาณที่อ่านได้จากตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยง

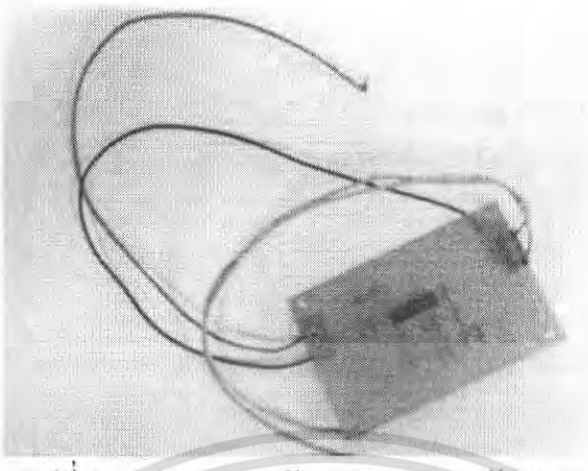
2. แก้ปัญหาโดยการใช้จานทริกเกอร์ 36 หาย 1 ฟัน ซึ่งเป็นรูปแบบที่กล่อง Haltech รองรับ แต่ประสบปัญหาคือจานทริกเกอร์ที่ทำมาทำเป็นลักษณะของเฟืองเกียร์ ซึ่งตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยงเหนี่ยวนำสัญญาณได้ไม่ดีเพราะช่องว่างระหว่างเฟืองมีความกว้างที่สั้นกว่าความกว้างของหัวตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ทำให้สัญญาณที่ได้มีลักษณะแอมพลิจูดและความถี่ไม่คงที่เหมือนลักษณะในข้อที่ 1

รูปที่ 6-30 แสดงจานทริกเกอร์ 36 หาย 1 ฟัน

3. ทำการทดลองเปลี่ยนรูปแบบของตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยง จากเดิมเป็นแบบแม่เหล็กเหนี่ยวนำเป็นระบบ Photo Transistor แต่ประสบปัญหาสัญญาณจะเหนี่ยวนำไม่ได้เมื่อจานทริกเกอร์หมุนที่ความเร็วรอบสูง

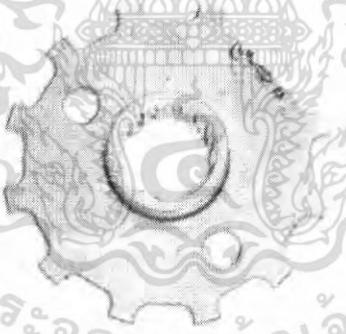
4. ทำวงจรตัวขยายและกรองสัญญาณ เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกที่อ่านได้จากตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยงแบบแม่เหล็กให้เป็นรูปแบบสัญญาณดิจิตอล และทำการตั้งค่าตัวขยายและตัวกรองสัญญาณของกล่อง Haltech เป็นศูนย์ แต่กล่องไม่เข้าใจสัญญาณที่วงจรกระทำต่อสัญญาณเมื่อสตาร์ตรอบเครื่องยนต์ที่อ่านได้มีค่าเป็นศูนย์ ทำให้กล่องไม่สั่งจ่ายสัญญาณเชื้อเพลิงและสัญญาณจุดระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-31 แสดงวงจรตัวขยายและกรองสัญญาณ

5. วิเคราะห์ว่าปัญหาเกิดจากที่หัวตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยงมีความกว้างมากกว่าช่องว่างของจานฟันทริกเกอร์ ซึ่งเดิมจานฟันทริกเกอร์ตัวนี้ใช้กับจานทริกเกอร์12 ฟันหาย 1 ฟัน ซึ่งเป็นระบบเดิมของเครื่องยนต์ เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของจานทริกเกอร์ 12 ฟันหาย 1 ฟันและ 36 ฟันหาย 1 ฟันเท่ากัน ช่องว่างของจานทริกเกอร์ 36 ฟัน หาย 1 ฟันย่อมต้องมีขนาดเล็กกว่าจานทริกเกอร์ 12 ฟันหาย 1 ฟัน ซึ่งทำให้สัญญาณที่เหนี่ยวนำได้ไม่เพียงพอต่อการรับรู้ของกล่อง Haltech



รูปที่ 6-32 แสดงถึงช่องว่างระหว่างฟัน 12 หาย 1 ฟัน

6. แก้ไขปัญหาโดยการลดขนาดของหัวตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยง จุดมุ่งหมายคือต้องการให้ความกว้างหัวตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยงมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างของจานทริกเกอร์ เพื่อที่จะเหนี่ยวนำสัญญาณได้ดีขึ้น ผลคือสัญญาณที่ได้ออกมาแอมพลิจูดคงที่กว่าเดิมแต่ความถี่ของสัญญาณไม่คงที่ทำให้รอบเครื่องยนต์ขณะสตาร์ตไม่คงที่

7. นำจานทริกเกอร์ 36 ฟันหาย 2 ฟัน มาทดลองกับตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่ทำการลดขนาดหัวลงไปแล้ว ปรากฏว่าสัญญาณที่ได้มีความถูกต้องทั้งแอมพลิจูดและความถี่ เพราะช่องว่างระหว่างฟันกว้างกว่าจานทริกเกอร์ 36 ฟันหาย 1 ฟันทำให้เครื่องยนต์สามารถติดได้แต่ติดเพียง 2 สูบเพราะรูปแบบจานทริกเกอร์ 36 ฟันหาย 2 ฟันไม่เป็นที่รองรับของกล่อง Haltech

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น นอกจากนี้ ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

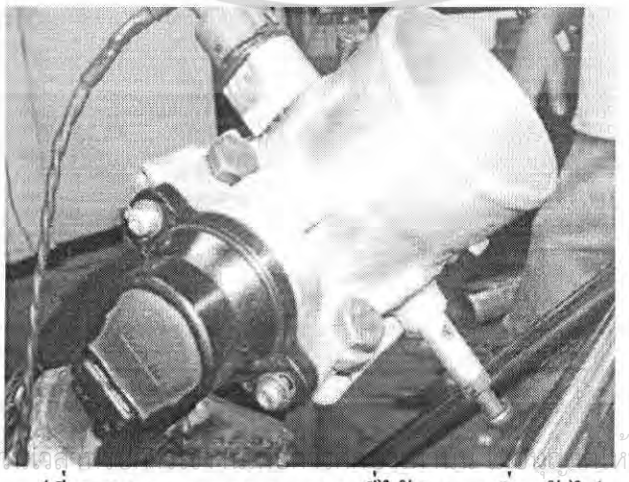
8. พิจารณารูปแบบสัญญาณทริกเกอร์อื่นๆที่กล่องรองรับ โดยมีข้อแม้หลักคือควรจะใช้ตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่ไม่ได้ทำการลดขนาดหัว และใช้จานทริกเกอร์เดิมของเครื่องยนต์คือ 12 หาย 1 ฟัน เพื่อที่สัญญาณที่ออกมาจะมีแอมพลิจูดและความถี่ที่ถูกต้อง

9. ในระบบจานทริกเกอร์ของโตโยต้าที่กล่อง Haltech รองรับเป็นแบบจานทริกเกอร์ 24 ฟัน พร้อมสัญญาณอ้างอิงตำแหน่งขณะที่สูบ 1 อยู่ในจังหวะระเบิด 1 ฟัน สัญญาณอ่านที่ตัวตรวจจับองศาเพลาราวลิ้น เมื่อพิจารณาจานทริกเกอร์เดิมเมื่ออ่านค่าในตัวตรวจจับองศาเพลาราวลิ้นจะได้ 24 ฟัน จึงได้ทำการเพิ่มฟันที่หายจากเดิม 12 ฟันหาย 1 ฟัน เป็น 12 ฟันเต็ม พร้อมทั้งติดตั้งสัญญาณอ้างอิงตำแหน่งของสูบที่ 1 สัญญาณที่อ่านได้มีความคงที่ทั้งแอมพลิจูดและความถี่ แต่ไม่สามารถสตาร์ตเครื่องยนต์ให้ติดได้

รูปที่ 6-33 แสดงตัวตรวจจับที่ทำงานลักษณะเดียวกับสัญญาณทริกเกอร์ของโตโยต้า

10. ตรวจสอบอุปกรณ์อื่นๆที่เกี่ยวข้อง คือคอลย์จุดระเบิด,โมดุลและหัวเทียน พบว่าโมดุลจุดระเบิดเสีย จึงได้ทำการเปลี่ยน เครื่องยนต์จึงสตาร์ตติดได้

11. ไม่สามารถคงรอบเครื่องยนต์ขณะเดินเบาได้เนื่องจากไม่มีระบบควบคุมรอบเดินเบา จึงได้ทำการเพิ่มอุปกรณ์ลักษณะเหมือนนมหนูอากาศในคาร์บูเรเตอร์ เพื่อคงรอบเครื่องยนต์ขณะเดินเบาได้



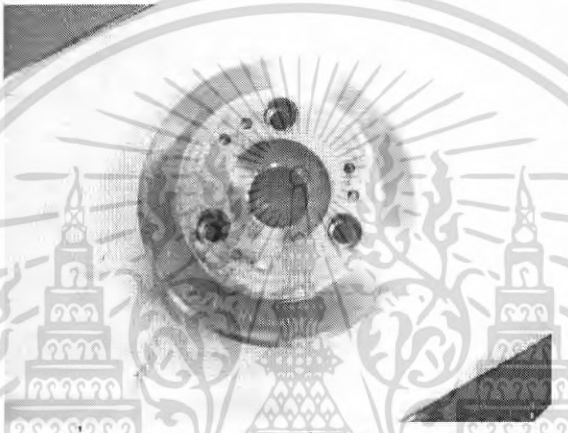
รูปที่ 6-34 แสดงนมหนูอากาศที่ได้ทำการเพิ่มเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. Rectifier เกิดการเสียหายทำให้ระบบไม่มีไฟชาร์จกลับเข้าแบตเตอรี่

13. ขณะทำการสตาร์ตสัญญาณจุดระเบิดที่ออกมาจากกล่องไม่ได้เป็นสัญญาณทริกเกอร์แบบกระตุ้นแต่กลับเป็นสัญญาณทริกเกอร์แบบจ่ายตลอดส่งผลให้หัวเทียนจุดระเบิดต่อเนื่อง ทำให้เกิดการน็อคของเครื่องยนต์และเกิดแรงกระทำต่อทิศทางตรงข้ามของอุปกรณ์ชุดสตาร์ตหรือ one way clutch และการน็อคของเครื่องยนต์ส่งผลให้หัวเทียนบอดอีกด้วย

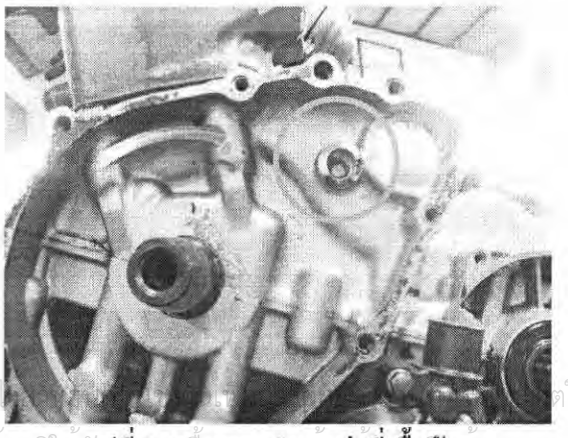
14. เกิดการเสียหายของ one way clutch เครื่องยนต์ไม่สามารถสตาร์ตติดได้ ต้องทำการซ่อม



รูปที่ 6-35 แสดงอุปกรณ์ one way clutch

15. การซ่อม one way clutch มีชิ้นส่วนที่สวมอัดแน่นเกินไปส่งผลให้ชุด one way clutch ไม่สามารถหมุนได้ ไดสตาร์ตจึงทำงานลักษณะเป็นไดนาโม ส่งผลให้ไดสตาร์ตไหม้ จึงทำการเปลี่ยนไดสตาร์ต

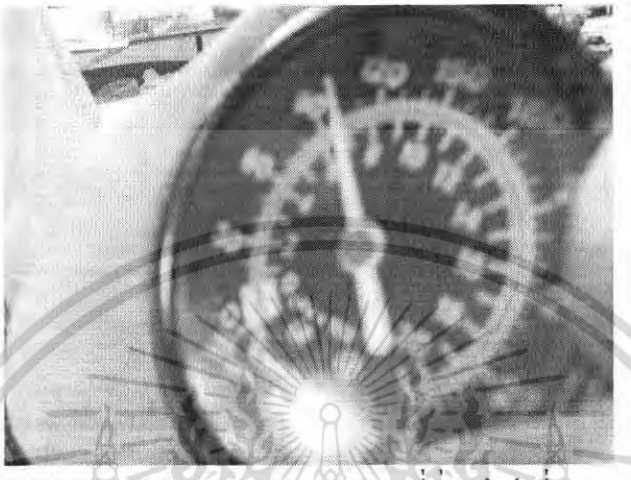
16. เมื่อทำการทดลองรถ ไม่มีระบบชาร์จไฟกลับส่งผลให้แบตเตอรี่ไม่มีไฟเพียงพอที่จะป้อนให้ระบบ ส่งผลให้เครื่องยนต์ดับและสตาร์ตไม่ติด เมื่อทำการสตาร์ตต่อเนื่อง ชุดเฟือง one way clutch เกิดการสึกหรอและยังทำให้เสื้อสูบที่ยึดชุดเฟืองที่ขับ one way clutch เกิดการแตกร้าว



รูปที่6-36 แสดงตำแหน่งที่เสื้อร้าว

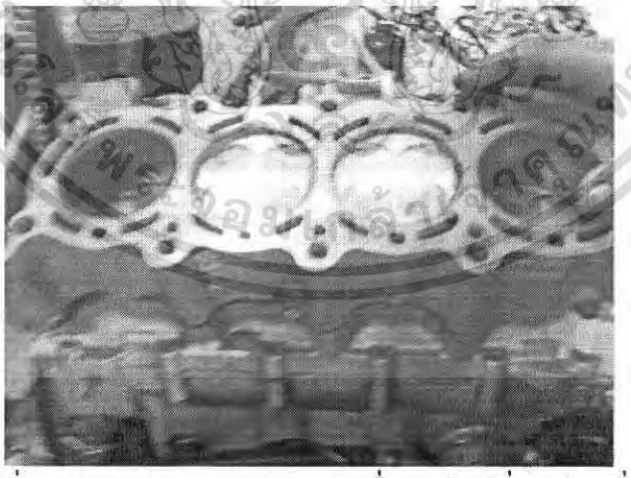
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. ทำการเปลี่ยนเสื้อสูบจากเครื่องอะไหล่และเปลี่ยนชุดลูกสูบ แหวน กระบอกสูบจากเครื่องอะไหล่ และทำการตั้งวาล์ว เมื่อทำการประกอบและตรวจสอบแรงอัดกระบอกสูบปรากฏว่าแรงอัดกระบอกสูบลดต่ำลงไปมาก



รูปที่ 6-37 แสดงกำลังอัดของกระบอกสูบที่ต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น

18. เช็คสภาพกระบอกสูบของเครื่องอะไหล่ เมื่อทำการตรวจสอบพบว่าผิวกระบอกสูบเป็นคลื่นไม่เหมาะต่อการนำมาใช้งานต่อ จึงได้นำชุดกระบอกสูบเดิมพร้อมลูกสูบและแหวนลูกสูบกลับมาใส่และตรวจเช็คชิมวาล์ว พบชิมวาล์วที่หลุดออกจากตำแหน่งทำให้เกิดอาการวาล์วรั่ว ส่งผลให้แรงอัดในกระบอกสูบต่ำกว่าความเป็นจริง



รูปที่ 6-38 แสดงกระบอกสูบของเครื่องอะไหล่ที่ผิวเป็นคลื่น

19. ทำการประกอบเครื่องยนต์และตรวจสอบแรงอัดกระบอกสูบพบว่าอยู่ในค่าปกติพร้อมทั้งตรวจสอบสัญญาณที่อ่านได้จากตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยง ปรากฏว่าสัญญาณที่ได้มีลักษณะแอมพลิจูดและความถี่ไม่คงที่ ส่งผลให้เครื่องยนต์ไม่สามารถสตาร์ตติดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

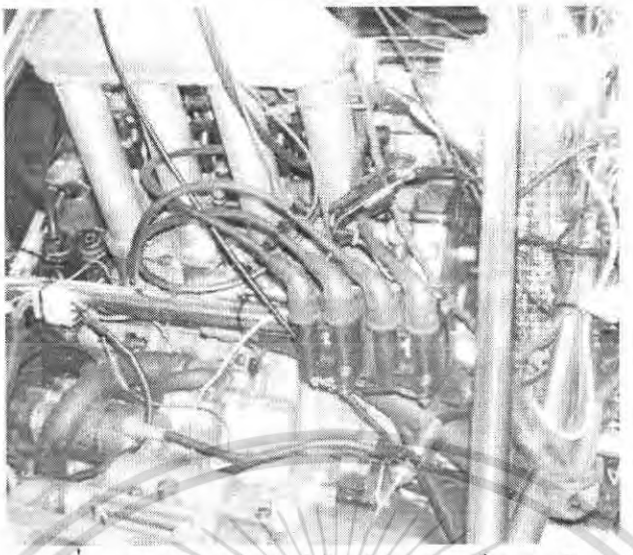
20. สันนิษฐานว่าปัญหาเกิดจากตัวจานทริกเกอร์มีการเหวี่ยงหนีศูนย์ขณะหมุน ทำการทดลองโดยการนำไปหมุนกับแท่นเครื่องกลึงในลักษณะหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์พร้อมนำตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยงเคลื่อนเข้าไปใกล้ตัวจานเพื่อตรวจสอบสัญญาณที่ได้ออกมา ปรากฏว่าสัญญาณที่ได้มีความคงที่ทั้งแอมพลิจูดและความถี่ แสดงว่าปัญหาไม่ได้เกิดจากตัวจานทริกเกอร์เหวี่ยงหนีศูนย์

21. ข้อสันนิษฐานต่อไปคือเครื่องยนต์มีความฝืดมากเกินไปหรือมีการประกอบด้วยแรงขันที่ผิดสเปค ทำการเช็คความตึงของน็อตที่ฝาสูบและน็อตยึดประกับเพลาราวลิ้น ปรากฏว่าไม่พบปัญหาใดๆ

รูปที่ 6-39 แสดงการตรวจสอบความตึงของน็อตฝาสูบ

22. ข้อสันนิษฐานสุดท้ายคือมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกกระทำสู่สัญญาณจากองศาเพลาข้อเหวี่ยงและเพลาราวลิ้น จึงได้ทำการย้ายคอลย์จุดระเบิดให้ไกลจากสายสัญญาณของตัวตรวจจับองศาเพลาข้อเหวี่ยงและองศาเพลาราวลิ้น ส่งผลให้สัญญาณที่ได้มีความถูกต้อง และเครื่องยนต์สามารถสตาร์ตติดได้

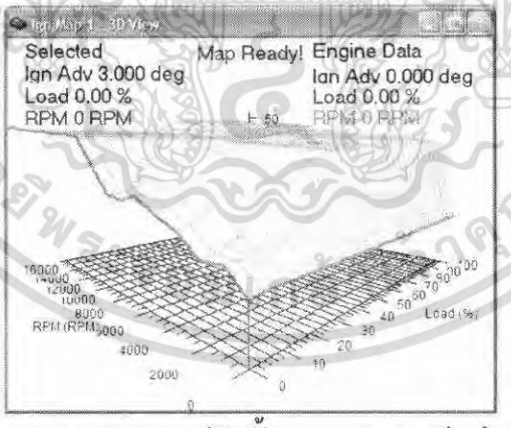
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-40 แสดงตำแหน่งใหม่ของคอลย์จุดระเบิด

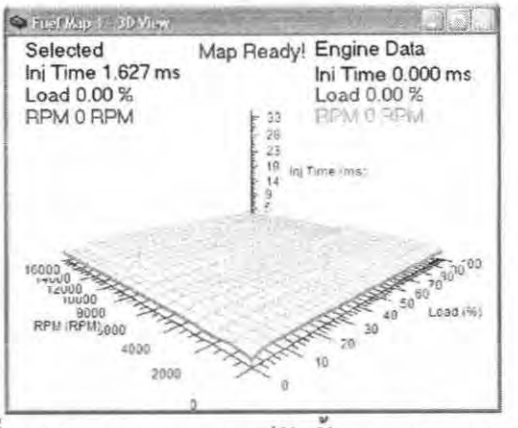
6.4 สภาวะการการทดลอง

1. เริ่มต้นจากการปรับตั้งค่า ระยะเวลาการฉีดจ่ายน้ำมันและองศาการจุดระเบิดในรอบเดินเบาก่อน โดยอาศัยตารางปรับตั้งค่าการฉีดจ่ายเชื้อเพลิง และตารางการปรับตั้งค่าองศาจุดระเบิด เป็นหลักในการปรับตั้งและใช้ ตารางการชดเชยเชื้อเพลิง และองศาจุดระเบิดช่วยในการปรับตั้งแบบละเอียด เพื่อให้ได้ รอบเดินเบาที่ 1,200 – 1,300 rpm และ AFR ที่ประมาณ 13.5 - 14.5

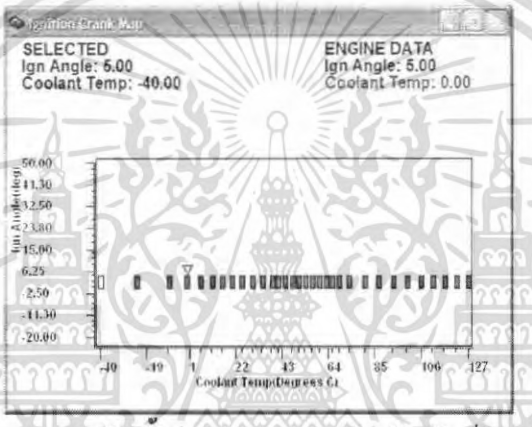


รูปที่ 6-41 แสดงตารางการปรับตั้งระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิง

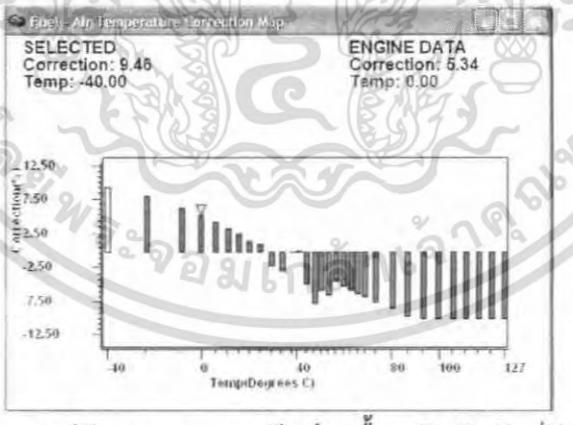
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-42 แสดงตารางการปรับตั้งองศาการจุดระเบิด

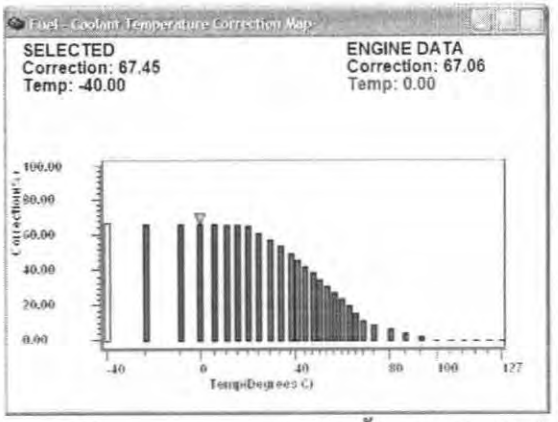


รูปที่ 6-43 แสดงตารางการปรับตั้งองศาการจุดระเบิดสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

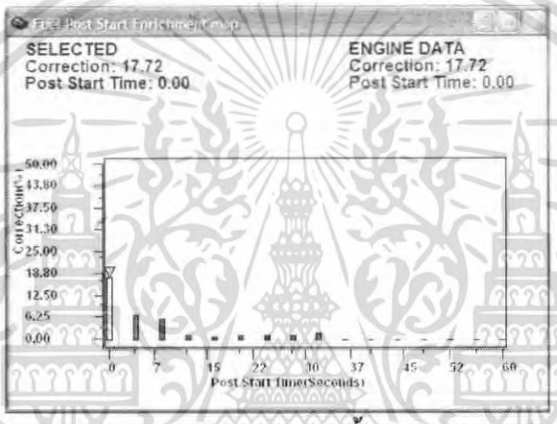


รูปที่ 6-44 แสดงตารางการปรับระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

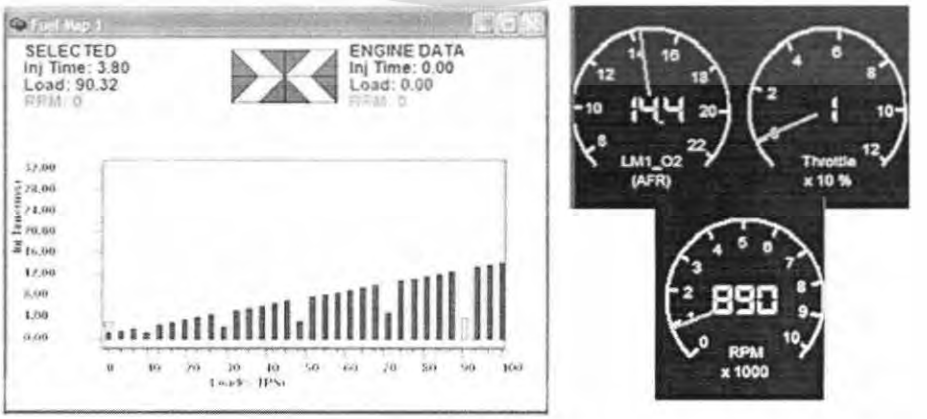


รูปที่ 6-45 แสดงตารางการปรับระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น



รูปที่ 6-46 แสดงตารางการปรับระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงสัมพันธ์กับระยะเวลาหลังสตาร์ท

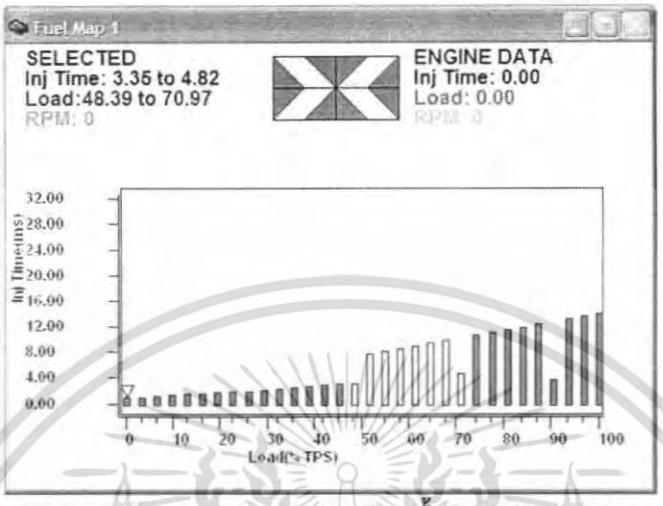
2. หลังจากนั้นจะเริ่มปรับตั้งระยะเวลาการฉีดน้ำมันก่อน ในช่วง 0 – 6,000 rpm แรก โดยพยายามให้ AFR อยู่ที่ประมาณ 13.5 – 14.5 การปรับตั้งเริ่มจากคงรอบไว้ที่ ความเร็วคงที่ 2,000 rpm แล้วค่อยๆปรับระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิง ณ ลิ้นปีกผีเสื้อ 10%, 30%, 50%, 70% และ 90% หลังจากนั้นคงรอบคงที่ ที่ 3,000rpm และปรับระยะเวลาการจ่ายเชื้อเพลิงเช่นเดิม ทำเช่นนี้ จนกระทั่ง ถึง 6,000 rpm



รูปที่ 6-47 แสดงการปรับระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิง โดยสัมพันธ์กับ AFR ที่ต้องการ

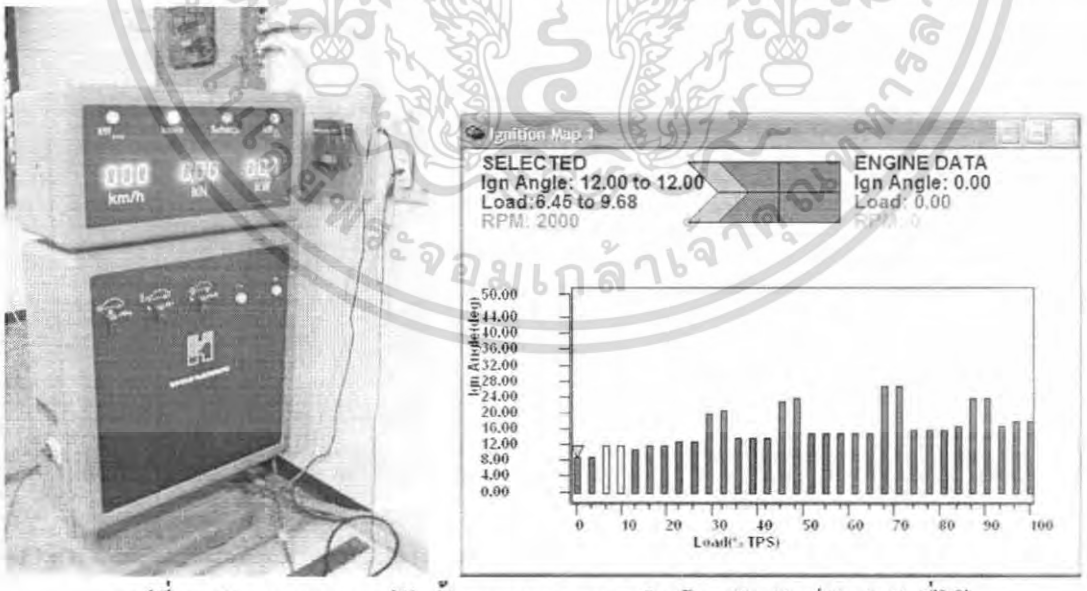
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กลับมาปรับ เฉลี่ยกราฟการฉีดจ่ายน้ำมันใหม่อีกที โดยใช้ การ interpolation ภายในช่วงกราฟที่เหลือ



รูปที่ 6-48 แสดงการปรับระยะเวลาการฉีดจ่ายเชื้อเพลิง โดยวิธี Interpolation

4. ปรับตั้งองศาการจุดระเบิด ในช่วง 0 – 6,000 rpm แรก เริ่มต้นที่ 2,000 rpm เช่นเดิม แล้วปรับเพิ่มองศาไฟจุดระเบิด ณ ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 10% โดยปรับเพิ่มไฟจุดระเบิดขึ้นเรื่อยๆ แล้วดูค่า กำลังที่ได้เป็น kW ที่ ไดนาโมมิเตอร์ จนกระทั่งกำลังที่ได้ ไม่เพิ่มขึ้นอีก หรือเริ่มลดลง เสร็จแล้ว ลดไฟจุดระเบิดสุดท้ายลงมา 2 degree

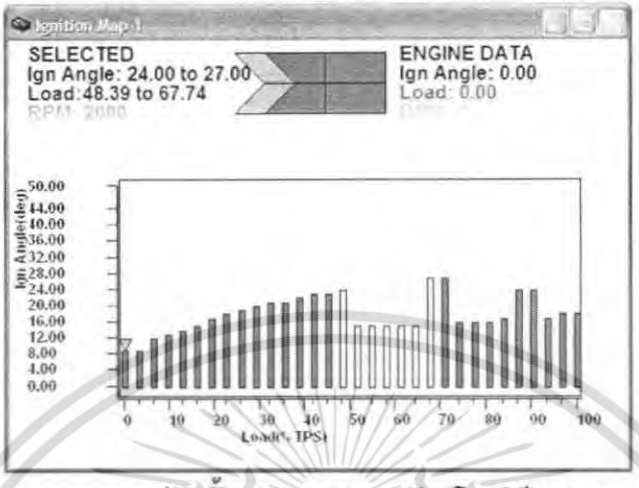


รูปที่ 6-49 แสดง การปรับตั้งองศาการจุดระเบิด โดยสัมพันธ์กับกำลังที่ได้

5. เริ่ม ปรับตั้งไฟจุดระเบิดใหม่ที่ 30%, 50%, 70% และ 90% หลังจากนั้นคงรอบคงที่ ที่ 3,000 rpm และปรับตั้งองศาการจุดระเบิดเช่นเดิม ทำเช่นนี้ จนกระทั่ง ถึง 6,000 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กลับมาปรับ เฉลี่ยกราฟการจุดระเบิดใหม่อีกที โดยใช้ การ interpolation ภายในช่วงกราฟที่เหลือ



รูปที่ 6-50 แสดงการปรับตั้งองศาการจุดระเบิด โดยวิธี Interpolation

7. สำหรับการปรับตั้งระยะเวลาการฉีดน้ำมันและองศาการจุดระเบิด ในช่วง 6,000–12,000 rpm หลัง นั้น จะทำเช่นเดียวกันกับช่วง 0-6,000 rpm แรก แต่ต่างกันที่ การปรับตั้งค่า จะไม่ใช้การคงรอบ แล้วปรับตั้ง เนื่องจาก เครื่องยนต์จะใช้รอบสูง เป็นระยะเวลานาน ทำให้ ความร้อนขึ้นเกินขีดจำกัดก่อนที่จะปรับตั้งค่าได้ทั้งหมด การปรับตั้งในช่วง 6,000–12,000 rpm จะปรับตั้งค่าไว้ก่อนแล้วจึงเร่งรอบ ไปให้ถึง รอบที่ต้องการ ถ้า AFR น้อย หรือ มากกว่า ช่วงที่ต้องการ (13.5-14.5) จะเบาเครื่องให้เดินเบาก่อนแล้วปรับเชื้อเพลิงเพิ่มหรือลดไว้ หลังจากนั้นจึงเร่งรอบ ขึ้นไปใหม่ จนได้ ค่า AFR ที่ต้องการ ทำเช่นนี้ จนครบ ทั้ง 0–100% องศาลิ้นปีกผีเสื้อ และ ครบทั้ง 6,000–12,000 rpm

8. การปรับตั้งองศาการจุดระเบิดก็กระทำเช่นเดียวกัน แต่ ต่างกันตรงที่ใช้ กำลังสูงสุดจากไดนาโมมิเตอร์เป็นค่าเป้าหมายแทน AFR

9. ทดลองหากำลัง และแรงบิดสูงสุด โดยกำหนดให้ทำการทดลองที่ความเร็วคงที่ ตั้งแต่ 60-120 km/h และเหยียบคันเร่งสุด หลังจากนั้นบันทึกค่ากำลัง และแรงบิดสูงสุดในแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6-4 ตารางบันทึกผลการทดลองที่สภาวะลิ้นไอดีเปิดสุด

สภาวะที่	ความเร็ว (km/hr)	ความเร็วรอบ (rpm)	กำลังเบรก (kW)	แรงบิด (kN)
1	60			
2	70			
3	80			
4	90			
5	100			
6	110			
7	120			

6.5 วิธีการทดลอง

6.5.1 การทดลองสมรรถนะทางด้านกำลัง

1. ทดลองหากำลัง และแรงบิดของเครื่องยนต์ ณ ภาวะบรรทุกเต็มที่ (Full load) โดย ใช้เกียร์ 5 ในการขับเคลื่อน และเร่งลิ้นปีกผีเสื้อไปที่ 100 % หลังจากนั้นปรับเครื่องไดนาโมมิเตอร์ให้คงรอบเครื่องยนต์คงที่ ที่ 2,000 rpm

2. ค่อยๆ ปรับรอบ เครื่องยนต์จากเครื่องไดนาโมมิเตอร์ให้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆทีละ 200 rpm และบันทึกผลกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากหน้าจอไดนาโมมิเตอร์ ณ ความเร็วรอบต่างๆ จนกระทั่งครบ 12,000 rpm

รูปที่ 6-51 การปรับรอบเครื่องยนต์บนแท่นไดมาโมมิเตอร์

3. นำผลการทดลองที่ได้มาพล๊อตกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรอบเครื่องยนต์ และกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและรอบเครื่องยนต์

4. เปรียบเทียบผลที่ได้กับเครื่องยนต์เดิมก่อนการเปลี่ยนแปลงเป็นระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงและองศาการจุดระเบิดแบบอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5.2 การทดลองสมรรถนะทางการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

1. ทดลองหาการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดย ใช้เกียร์ 5 ในการขับเคลื่อน

2. ทดลองโดยกำหนดให้ความเร็วคงที่ที่ 50 , 60 และ 70 km/hr และกำหนดโหลดเป็น 5 สภาวะด้วยกัน ได้แก่ สภาวะโหลดที่มีค่าความดันเฉลี่ยเบรกเท่ากับ 100 kPa, 300 kPa, 500 kPa, 700 kPa และ 900 kPa

3. นำผลการทดลองที่ได้ มาพล็อตกราฟอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง สัมพันธ์กับความเร็วรถและสภาวะบรรทุก

4. นำค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (g/hr) และกำลัง ไปคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนต่อไป ซึ่งได้ทำการบันทึกสมการและช่องผลการทดลองไว้ก่อนแล้วในโปรแกรม Microsoft Excel

รูปที่ 6-52 เครื่องมือวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

ตารางที่ 6-5 ตารางบันทึกผลการทดลองวัดปริมาณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

Km/hr	BMEP(kPa)	rpm	bp	Cons(g/min)	BSFC	BSEC	η_{bth}
50	100						
	300						
	500						
	700						
	900						
60	100						
	300						
	500						
	700						
	900						
70	100						
	300						
	500						
	700						
	900						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

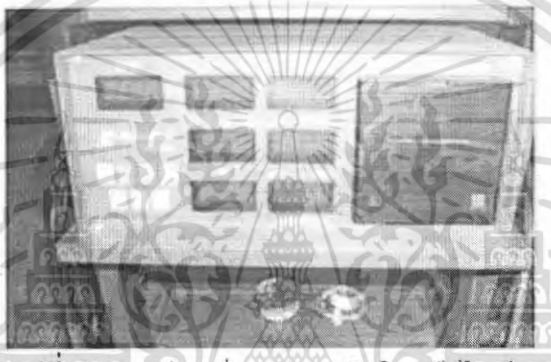
6.5.3 การทดลองสมรรถนะทางด้านมลพิษ

1. ทดลองหาการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดย ใช้เกียร์ 5 ในการขับเคลื่อน

2. ทดลองโดยกำหนดให้ความเร็วคงที่ ที่ 50, 60 และ 70 km/hr และกำหนดโหลดเป็น 5 สภาวะด้วยกัน ได้แก่ สภาวะโหลดที่มีค่าความดันเฉลี่ยเบรกเท่ากับ 100 kPa, 300 kPa, 500 kPa, 700 kPa และ 900 kPa

3. วัดค่ามลพิษไอเสียจากเครื่องมือวัดมลพิษที่สภาวะการทดลองต่างๆ 6 สภาวะ

4. นำผลการทดลองที่ได้มาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษไอเสียกับความเร็วรถและสภาวะบรรทุกต่างๆ



รูปที่ 6-53 อุปกรณ์การวัดมลพิษในแก๊สไอเสีย

ตารางที่ 6-6 ตารางบันทึกผลมลพิษแก๊สไอเสีย

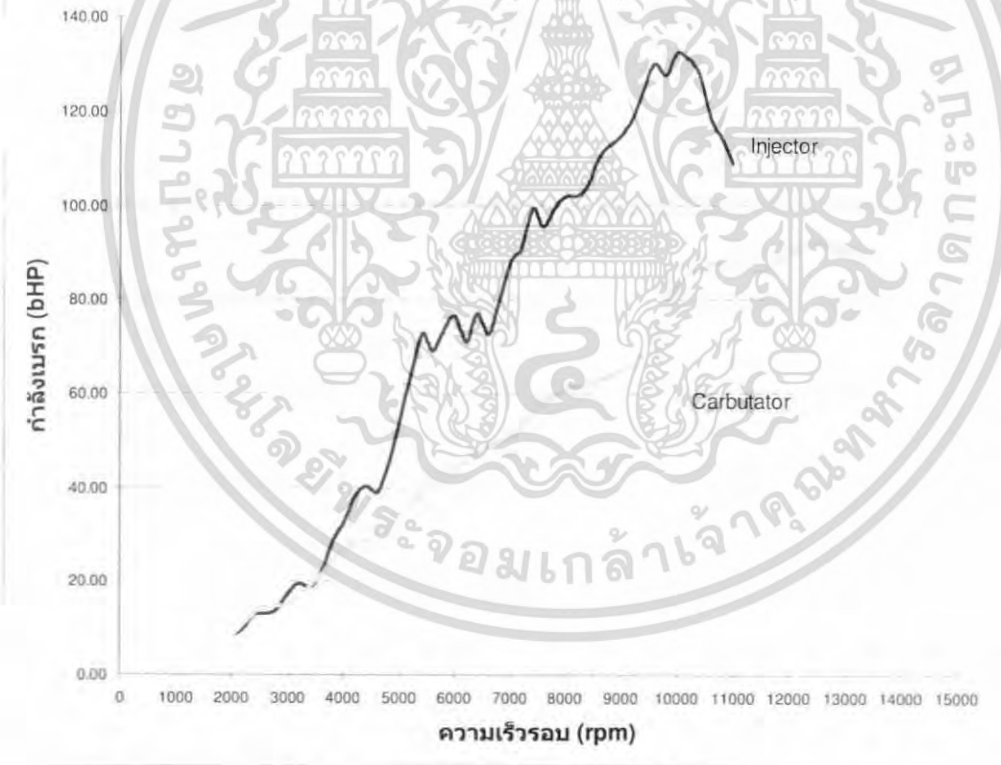
Km/hr	BMEP(kPa)	rpm	bp	CO (%vol)	HC (ppm)	CO_2 (%vol)	NO_x (ppm)
50	100						
	300						
	500						
	700						
	900						
60	100						
	300						
	500						
	700						
	900						
70	100						
	300						
	500						
	700						
	900						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
ผลการทดลอง

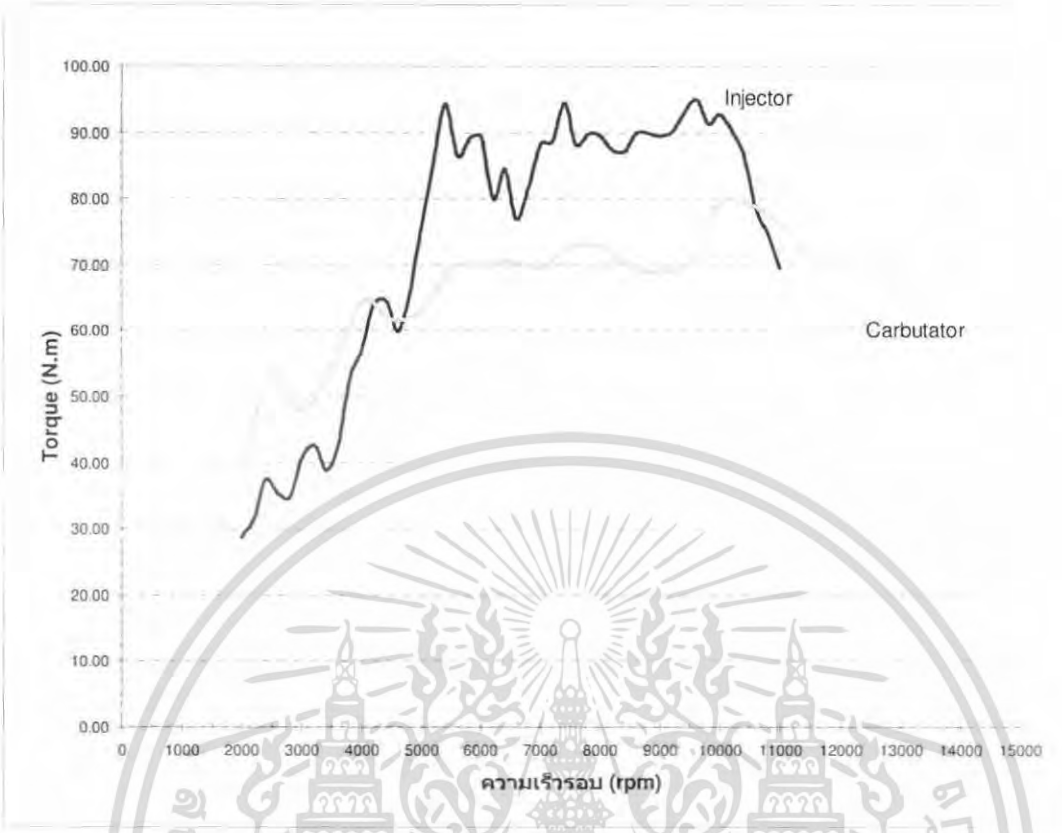
จากการออกแบบระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดเพื่อใช้แทนระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์นั้นได้ทำการทดสอบโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 95 ซึ่งได้แบ่งการทดลองออกเป็นการศึกษา และการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้มีกำลัง และแรงบิดที่ดีขึ้นกว่าเดิมจากนั้นทำการทดสอบเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงว่าประหยัดเชื้อเพลิงมากน้อยเพียงใด จากนั้นทำการทดสอบปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นแล้วทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น ซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

7.1 ผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์



รูปที่ 7-1 กราฟแสดงค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ก่อนและหลังปรับตั้งค่าการจ่ายเชื้อเพลิงและองศาจุดระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



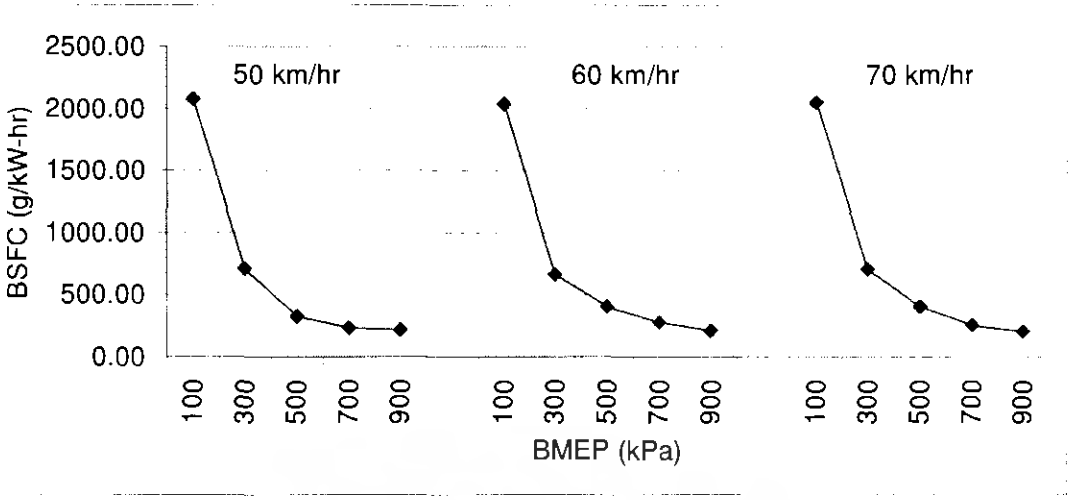
รูปที่ 7-2 กราฟแสดงค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ก่อนและหลัง ปรับตั้งค่าการจ่ายเชื้อเพลิงและองศาจุดระเบิด

จากรูปที่ 7-1 และ 7-2 จะเห็นได้ว่ากำลัง และแรงบิดของเครื่องยนต์เมื่อใช้ระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดรวมถึงระบบจุดระเบิดที่สามารถปรับตั้งองศาจุดระเบิดได้จะสูงกว่าทุกความเร็วรอบโดยมีกำลัง และแรงบิดสูงกว่าประมาณ 58.05 % เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์ทำงานร่วมกับระบบจุดระเบิดแบบ CDI เนื่องจากระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดรวมถึงระบบจุดระเบิดที่สามารถปรับตั้งองศาจุดระเบิดได้จะมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์กว่าระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์ทำงานร่วมกับระบบจุดระเบิดแบบ CDI

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption)

จากรูปที่ 7-3 จะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ซึ่งควบคุมด้วยหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะมีค่าเกือบคงที่ทุกความเร็วรอบ และทุกสภาวะบรรทุก เนื่องจาก ในการปรับตั้งค่าระยะเวลาฉีดจ่ายเชื้อเพลิง ผู้ทดลองได้ควบคุมอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงตลอดเวลา จาก AFR meter และปรับตั้งองศาจุดระเบิดให้ได้กำลังมากที่สุดในแต่ละรอบเครื่องยนต์ ส่งผลให้เครื่องยนต์ไม่ต้องทำงานที่รอบสูงเพื่อให้ได้กำลังที่เท่ากัน จึงใช้เชื้อเพลิงปริมาณน้อยกว่า

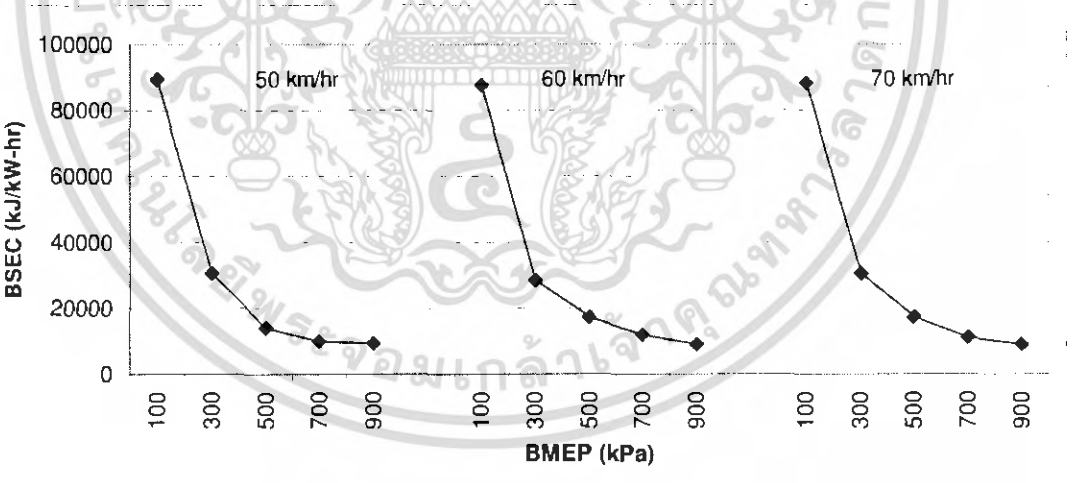
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-3 กราฟแสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะเบรกของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่าง ๆ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption)

ระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดนั้นจะมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะ (รูปที่ 7-4) ต่ำสุดที่ความเร็วเท่า 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีภาวะบรรทุกสูงกว่า 300 kPa ขึ้นไป เนื่องมาจากการออกแบบท่อไอดีที่เหมาะสมกับความเร็วที่ความเร็ว ประมาณ 4000 - 8000 rpm



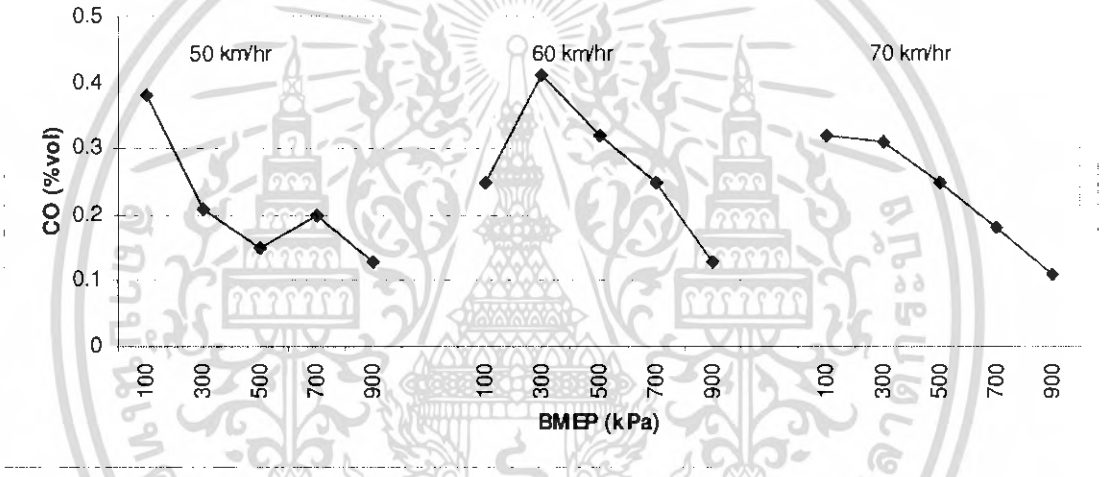
รูปที่ 7-4 กราฟแสดงค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ผลด้านมลพิษ

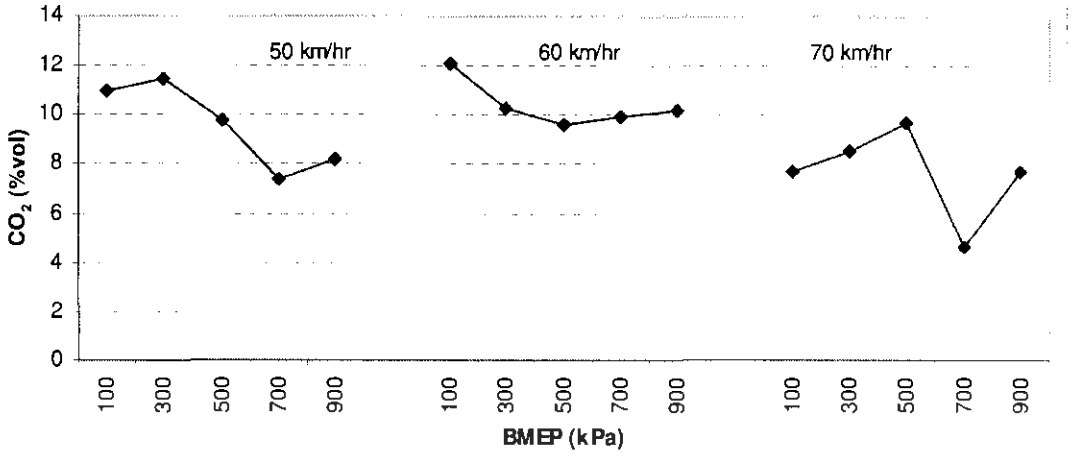
ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิง ซึ่งได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และไนโตรเจนออกไซด์ ผลที่ได้จากกราฟแสดงดังรูปที่ 7-5 ถึง 7-8

โดยปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียของเครื่องยนต์ซึ่งควบคุมด้วยหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องมาจากการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดนั้นจะมีการฉีดเชื้อเพลิงเป็นละอองทำให้เชื้อเพลิงมีการกระจาย และสามารถควบคุมการฉีดจ่ายเชื้อเพลิงได้ละเอียด จากกราฟในช่วงภาวะบรรทุก 100-300 kPa ที่ความเร็ว 50, 60 และ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีการกระจายของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ค่อนข้างมาก เนื่องจากค่า AFR ในช่วงนี้มีค่าการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก



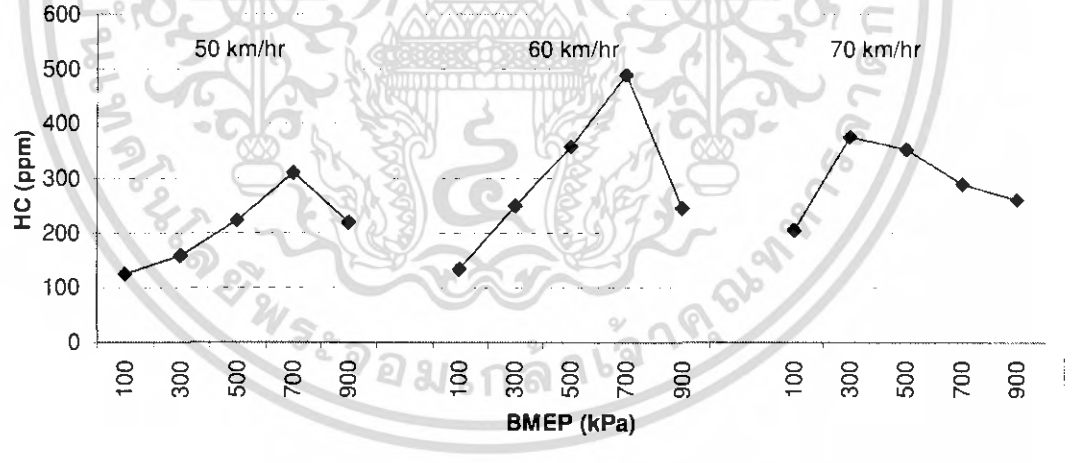
รูปที่ 7-5 กราฟแสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7-6 กราฟแสดงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่าง ๆ

จากรูปที่ 7-6 จะเห็นว่าประมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของของเครื่องยนต์ซึ่งควบคุมด้วยหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าค่อนข้างสูงในช่วงความเร็วต่ำ เนื่องจากมีการปรับตั้งองศาการจุดระเบิดให้จุดในช่วงก่อนถึงศูนย์ตายบนไม่มากนักและฉีดเชื้อเพลิงให้ค่อนข้างหนา เพื่อป้องกันการกระพือของความเร็วรอบรอบที่ขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงที่ความเร็วสูงขึ้น

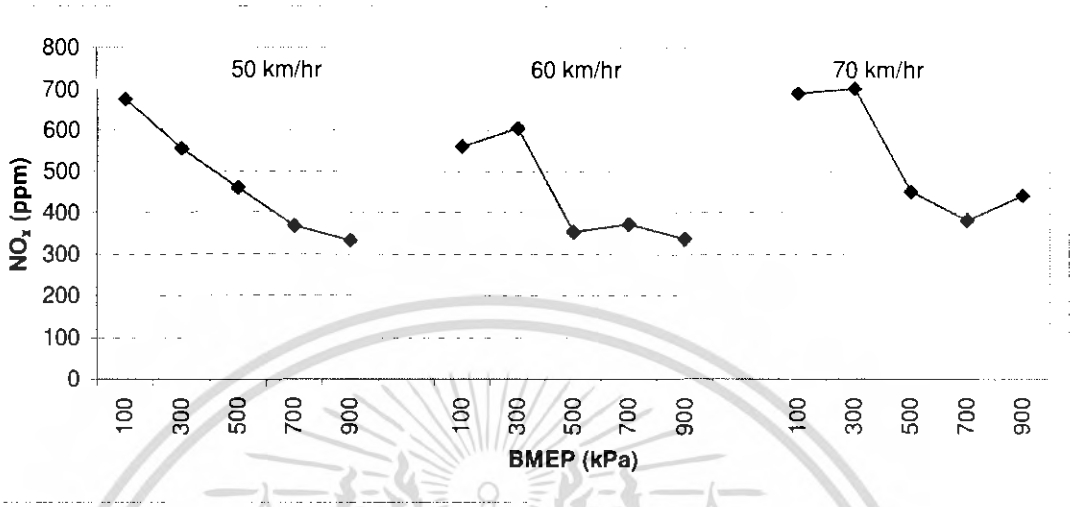


รูปที่ 7-7 กราฟแสดงปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่าง ๆ

จากรูปที่ 7-7 ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนจะค่อยๆเพิ่มมากขึ้น แล้วลดลงที่ทุกความเร็วรอบ และภาวะบรรทุก เนื่องจาก ในรอบความเร็วสูง คอคอดบริเวณท่อไอดี ประกอบกับท่อพักไอดีจะเร่งความเร็วของอากาศที่เข้ามามาก ทำให้อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง เพิ่มขึ้นนิดหน่อย ทำให้อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เข้าไปยังห้องเผาไหม้ใกล้เคียง Stoichiometric มากขึ้นและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังเกี่ยวข้องกับระบบจุดระเบิด ในส่วนการปรับค่าองศาจุดระเบิดในช่วงรอบความเร็วสูงจะตั้งไว้ ณ ตำแหน่งก่อนถึงศูนย์ดายบนค่อนข้างมาก เพื่อการเผาไหม้ได้สมบูรณ์แม้เชื้อเพลิงจะมีปริมาณมาก ส่งผลให้ค่าไฮโดรคาร์บอนลดลง



รูปที่ 7-8 กราฟแสดงปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลดและความเร็วต่างๆ

จากรูปที่ 7-8 สังเกตได้ว่าปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์จะมีปริมาณสูงขึ้นเมื่ออยู่ที่สภาวะโหลดที่สูงขึ้นเมื่อใช้ระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด เพราะมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์เกิดอุณหภูมิสูงทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์มาก ที่ความดัน 300 kPa จะเห็นว่าที่ความเร็ว 60 และ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์จะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากตำแหน่งนี้มีค่า AFR มากกว่า 1 ทำให้ห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงเพราะไม่มีเชื้อเพลิงส่วนเกินที่สามารถลดอุณหภูมิห้องเผาไหม้ลงได้ รวมถึงระบบจุดระเบิดที่เผาไหม้ได้สมบูรณ์จะไม่มีเชื้อเพลิงส่วนเกินเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8
สรุปผลการทดลอง

8.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองนำระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดมาใช้ในเครื่องยนต์ขนาดเล็กแทนระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์ทำให้สามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และทำให้ประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ ของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นอีกด้วย

จากการทดลองสรุปผลดังนี้

1. ผลทางด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้ระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหัวฉีดและระบบจุดระเบิดที่สามารถกำหนดองศาจุดระเบิดได้จะมีสมรรถนะทางด้านกำลังเบรกสูงขึ้นจากเดิม 43.06 % และสมรรถนะด้านแรงบิดเพิ่มขึ้น 58.05 %
2. ค่า AFR จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เพราะในทางทฤษฎีกำลังเบรกจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อค่า AFR มีค่าอยู่ในช่วง 12-13 : 1 และเป็นจุดประสงค์ของผู้ทำการทดลองที่ต้องการป้องกันความเสียหายต่อเครื่องยนต์ในการทำการทดลอง
3. กำลังเบรกสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ควบคุมด้วย Haltech จะเกิดขึ้นที่รอบเครื่องยนต์ต่ำกว่าเครื่องยนต์ระบบคาร์บูเรเตอร์และจุดระเบิดด้วยระบบ CDI คือเกิดขึ้นที่ 10,000 รอบต่อนาที และแรงบิดสูงสุดจะเกิดขึ้นที่รอบต่ำกว่าเช่นกัน คือ 7,400 รอบต่อนาที เพราะเครื่องยนต์ที่ควบคุมโดยกล่อง Haltech มีคอคอดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร อยู่หลังลิ้นปีกผีเสื้อตามกติกาของการแข่งขัน
4. จากกราฟกำลังเบรกและแรงบิดจะเห็นได้ว่ามีกราฟบางช่วงมีการลดลงของข้อมูล เมื่อพิจารณากราฟ AFR จะเห็นได้ว่าในช่วงที่มีการลดลงของข้อมูลจะเป็นช่วงที่ค่า AFR มีค่าเพิ่มขึ้นหรืออีกความหมายหนึ่งคือเชื้อเพลิงมีส่วนผสมเทียบกับอากาศน้อยเกินไป แสดงว่าค่า AFR ที่ไม่พอดีมีผลอย่างมากต่อแรงบิดและกำลังเบรก
5. ในช่วงแรกของกราฟแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์เดิมมีค่าสูงกว่าและค่าแรงบิดจะมีค่าค่อนข้างคงที่ไปจนถึง 14,000 รอบต่อนาที แต่กราฟแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ควบคุมด้วยกล่อง Haltech จะมีค่าแรงบิดสูงกว่ากราฟที่ได้จากเครื่องยนต์เดิมในช่วง 4,000 รอบต่อนาที จนถึง 10,000 รอบต่อนาที หลังจาก 10,000 รอบต่อนาที เป็นต้นไปแรงบิดจะตกลงอย่างต่อเนื่อง เป็นเพราะในขณะที่เป็นระบบจ่ายเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์ทางผู้ผลิตน่าจะตั้งค่าให้ส่วนผสมค่อนข้างหนา เพื่อกำลังเบรกที่ได้ในรอบสูงจะมีค่ามาก ส่งผลให้แรงบิดตั้งแต่รอบเครื่องยนต์ต่ำมีค่าสูง ในขณะที่เครื่องยนต์ที่ใช้กล่อง Haltech ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถตั้งค่าให้ส่วนผสมของอากาศและน้ำมันอยู่ในขอบเขตที่พอดีได้ แต่ ณ ตำแหน่ง 4,000 รอบต่อนาที ไปแล้วเครื่องยนต์ที่ใช้กล่อง Haltech ควบคุมจะมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า ส่งผลให้แรงบิดที่ได้มีค่าสูงกว่าในขณะที่อัตราส่วนผสมอากาศและเชื้อเพลิงหนาเหมือนกัน

6. พิจารณากราฟกำลังเบรก กราฟของการทดลองเครื่องยนต์ที่ควบคุมโดยกล่อง Haltech จะมีกำลังเบรกสูงกว่าทุกช่วงรอบเครื่องยนต์เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์เดิม เพราะการเผาไหม้จะสมบูรณ์กว่าระบบคาร์บูเรเตอร์และจุดระเบิดด้วยระบบ CDI
7. อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการทดลองจะมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกค่อนข้างคงที่ในทุกๆความเร็วที่ใช้ เพราะผู้ทำการทดลองได้ปรับค่า AFR และปรับองศาไฟจุดระเบิดให้เหมาะสมกับทุกรอบการทำงานของเครื่องยนต์
8. ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในช่วงภาระ 100 ถึง 500 กิโลปาสคาล จะต่ำที่สุดในช่วงความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และในช่วง 700 ถึง 900 กิโลปาสคาล จะต่ำที่สุด ณ ความเร็ว 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อมองภาพรวมของทั้ง 3 กราฟ ข้อมูลจะมีการกระจายตัวเพราะในช่วงนี้มีการกระจายตัวของค่า AFR ซึ่งมีผลต่อปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์
9. ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ทุกช่วงภาระจะต่ำที่สุด ณ ความเร็ว 70 กิโลเตรต่อชั่วโมง
10. จากกราฟแสดงปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน ทุกช่วงภาระที่ความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจะให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่น้อยที่สุด เพราะมีปริมาณไอดีเข้าไปน้อยเมื่อเทียบกับความเร็ว 60 และ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ แต่ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงจะให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่สูงที่สุด เป็นเพราะเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากองศาจุดระเบิดใกล้ศูนย์ตายบนเกินไปในช่วงนี้
11. ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ในช่วง 700 ถึง 900 กิโลปาสคาล จะมีค่าใกล้เคียงกัน ณ ความเร็ว 50 และ60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และในช่วง 100 ถึง 500 กิโลปาสคาล นั้นที่ความเร็ว 60 และ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีลักษณะกราฟเช่นเดียวกันแต่ที่ความเร็ว 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะมีปริมาณไนโตรเจนออกไซด์มากกว่า เพราะเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่า ส่งผลให้ไอเสียมีความร้อนมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ธีระยุทธ สุวรรณประทีป (2536), หลักการทำงานและการซ่อมบำรุงเครื่องยนต์, กรุงเทพฯ ซีเอ็ดยูเคชั่น

ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ (2548), งานระบบควบคุมเครื่องยนต์ด้วยอิเล็กทรอนิกส์, กรุงเทพฯ ซีเอ็ดยูเคชั่น

นพดล เวชวิฐาน (2548), ทฤษฎีระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

Ganesane, V. (2004), Internal Combustion Engines, 2nd Eds Singapore: Mc Graw Hill

Bell, A.G. (2006), Four-Stroke Performance Tuning, 3rd Eds Great Britain, Haynes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

กฎกติกาการแข่งขัน TSAE

ผลการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2008 Student Formula

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการจัดการแข่งขัน

TSAE Auto Challenge 2008
Student Formula

วัตถุประสงค์

- ส่งเสริม สนับสนุนการพัฒนาทักษะวิศวกรรมยานยนต์
- เสริมสร้างบุคลากรด้านยานยนต์ในประเทศไทย
- สนับสนุนการออกแบบ การสร้างยานยนต์และการจัดการอย่างครบวงจร
- ส่งเสริมให้เกิดนวัตกรรมด้านยานยนต์โดยฝีมือคนไทย
- เพื่อนำไปสู่การแข่งขันระดับโลก

ประเภทการแข่งขัน

- รถยนต์ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ที่มีลักษณะเป็น Formula car (อ้างอิง JSAE และ SAE Formula) http://www.jsae.or.jp/formula/

ข้อกำหนดทั่วไป

- ใช้เครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ ขนาดไม่เกิน 610cc
- ใช้ Gasohol 95 เป็นเชื้อเพลิง
- เป็นยานยนต์ที่มี 4 ล้อ
- มีที่นั่งเดียว (ผู้ขับขี่)
- เป็นการแข่งขันออกแบบและสร้างทางวิศวกรรม

ทุนสนับสนุน ทีมที่ผ่านการคัดเลือกจะได้รับทุนสนับสนุนทีมละ 100,000 บาท

อุปกรณ์สนับสนุน ทีมจะต้องแจ้ง Spec ของอุปกรณ์ที่ต้องการมาที่สมาคมฯ ภายในวันที่ 3 ธันวาคม 2550 เพื่อสมาคมฯ จะดำเนินการขอสนับสนุนจากผู้ผลิตชิ้นส่วนให้ตามความเหมาะสม

คุณสมบัติของผู้สมัคร

- สมัครเป็นทีม
- สมาชิกทีมทุกคนต้องเป็นสมาชิกของ TSAE
- ผู้ร่วมแข่งขันหลักต้องมาจากสถาบันการศึกษา ในทีมต้องมีอย่างน้อย 10 คน และไม่เกิน 30 คน ซึ่งประกอบด้วยนักศึกษาระดับอุดมศึกษา หรือระดับ ปวส. ขึ้นไป (ต้องมีอาจารย์เป็นที่ปรึกษาของทีม)อาจมีบุคคลทั่วไปเข้าร่วมได้ (กรรมการขอสงวนสิทธิ์ในการคัดเลือก)
- ทีมต้องเป็นผู้ออกแบบและสร้างรถต้นแบบเองโดยสมาชิกทีม
- สมาคมจะพิจารณาให้ทุนสนับสนุนหนึ่งทุนต่อหนึ่งสถาบันการศึกษาเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมพร้อมของผู้ขับขี่

- ต้องเป็นนักศึกษา อายุมากกว่า 18 ปี
- มีสุขภาพดีและความพร้อมในการขับขี่ (จะมีพยาบาลตรวจก่อนลงแข่งขัน)
- ต้องแต่งกายรัดกุม สวมรองเท้าหุ้มส้น
- ต้องมีหมวกกันน็อกสำหรับการขับขี่
- ต้องมีใบอนุญาตขับขี่รถยนต์
- ต้องเซ็นใบยินยอม

รางวัลการแข่งขัน

- **รางวัลชนะเลิศ**

  - ถ้วยรางวัลพระราชทานของ สมเด็จพระเทพฯ พร้อมเงินรางวัล 100,000บาท

- **รางวัลรองชนะเลิศลำดับที่ 1**

  - ถ้วยรางวัลของ ที่ปรึกษากองทุน สมเด็จพระเทพฯ พร้อมเงินรางวัล 50,000 บาท

- **รางวัลรองชนะเลิศลำดับที่ 2**

  - ถ้วยรางวัลของ นายกสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ไทย พร้อมเงินรางวัล 30,000 บาท

กำหนดการ

กิจกรรม	วัน
• เริ่มรับสมัคร	พ. 18 ก.ค. 2550
• ชี้แจงรายละเอียด (ต้องส่งผู้แทนเข้าร่วมประชุม มิฉะนั้นจะตัดสิทธิ์) • แนะนำการดำเนินการและการออกแบบ	ส. 11 ส.ค. 2550
• ส่งรายงานแสดงแนวความคิดในการออกแบบ (Conceptual design) แผนดำเนินการและประมาณการรายจ่าย เพื่อเข้าคัดเลือกและขอรับทุนสนับสนุน	ศ.7 ก.ย. 2550
• กรรมการตัดสินตรวจแบบและรายงาน	ส. 8 - อา 9 ก.ย. 2550
• เสนอผลแก่กรรมการสมาคมฯ เพื่อขออนุมัติ	อ. 18 ก.ย. 2550
• ประกาศชื่อผู้มีสิทธิแข่งขันและรับทุนสนับสนุน	พฤ. 20 ก.ย. 2550
• พิธีแจกทุนสนับสนุนครั้งที่ 1	ส. 6 ต.ค.2550
• ตรวจติดตามความก้าวหน้า	พ.ย. 2550
• พิธีแจกทุนสนับสนุนครั้งที่ 2	ส. 8 ธ.ค. 2550
• ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์	ศ. 25 ก.พ. 2551
• นำเสนอผลงาน	ส. 8 มี.ค. 2551
• การแข่งขัน	ส. 15- อา. 16 มี.ค. 2551
• Motor Show	มี.ค. – เม.ย. 2551

หมายเหตุกำหนดการอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกณฑ์การตัดสิน ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

Technical Inspection ไม่มีคะแนน

เป็นการตรวจสอบเกี่ยวกับความปลอดภัยของตัวรถ, การทดสอบเบรก, วัดระดับเสียงจากท่อไอเสีย, การทดสอบรถบนทางเอียง (tilt table test) ต้องไม่มีการรั่วของเชื้อเพลิงที่ 45 องศา และไม่พลิกคว่ำ ที่ 60 องศา เมื่อมีผู้ขับขี่ หมายเหตุ ในการแข่งขันปีนี้ อาจยังไม่มีการทดสอบรถบนทางเอียง (Tilt table test) เนื่องจากความไม่พร้อมของเครื่องมือทดสอบ

Static Competitions **325** คะแนน แบ่งเป็น

1. Cost **100**

(Formula SAE กำหนดให้ใช้งบไม่เกิน 25,000 ดอลล่า สำหรับ TSAE กำหนดให้ใช้งบไม่เกิน 1,000,000 บาท ซึ่งงบประมาณดังกล่าวรวม ค่าแรงในการสร้างและออกแบบรถด้วย ในส่วนนี้จะให้คะแนนตามงบที่ใช้และความสมเหตุสมผล รวมทั้ง ความถูกต้องของการรายงานค่าใช้จ่ายกับรถจริง)

แบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

คะแนนจากงบประมาณในการสร้างรถ **30 คะแนน**

คำนวณจากสูตร $\frac{30 \times (1{,}000{,}000 - P_{your})}{(1{,}000{,}000 - P_{\min})}$

โดย P_{your} คืองบของทีมที่จะคิดคะแนนนี้ $P_{\min}$ คืองบของทีมที่ถูกที่สุดในการแข่งขัน

คะแนนจากรายงานการใช้จ่าย **30 คะแนน**

อ้างอิงตามเอกสารกฎของ Formula SAE โดยราคาและค่าใช้จ่ายของชิ้นส่วนโลหะ, เครื่องยนต์, ค่าแรง รวมทั้งกระบวนการผลิตจะใช้ rate เดียวกันแต่แปลงหน่วยเป็นเงินบาท (เนื่องจากหากส่งทีมไปแข่งต่างประเทศก็จะต้องคิดราคาตามกฎนี้)

คะแนนจากการตรวจสอบรถจริงในวันแข่ง **20 คะแนน**

คะแนนจากการสัมภาษณ์เกี่ยวกับ ขบวนการผลิตของชิ้นส่วน 2 ชิ้น จาก รายการดังต่อไปนี้ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ทีมส่วนใหญ่ต้องซื้อ โดยทำการเลือกแบบ random **20 คะแนน**

Fuel filter

Brake master cylinder

Suspension spring

Brake light

Spark plug

Steering wheel quick release

Throttle cable

Safety Harness

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Presentation **75**

(ให้คะแนนตามความสามารถในการนำเสนอของผู้เข้าร่วมแข่งขัน)

3. Design **150**

(ให้คะแนนจากรายงานการออกแบบเป็นหลักร่วมกับตัวรถจริง โดยจะดูจากเทคโนโลยีที่ใช้, ความสามารถในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี และอินโนเวชั่น รวมทั้งจะดูถึงการออกแบบชิ้นส่วนให้ง่ายต่อการสร้าง, ซ่อมบำรุง และ ประกอบด้วย)

Dynamic Competitions **675 คะแนน แบ่งเป็น**

1. Acceleration

75

ทดสอบอัตราเร่งของรถ โดยเร่งความเร็วจาก ระยะทาง 0 ถึง 75 ม.

ให้คะแนนจากสูตร $AccScore = 71.5 \times \frac{(5.8/T_{your})-1}{(5.8/T_{\min})-1} + 3.5$

โดย T_{your} คือเวลาของทีมหลังจากปรับเวลาแล้ว T_{min} คือเวลาน้อยที่สุดในการแข่งขัน 5.8 มาจากเวลาที่มากที่สุดที่ยอมรับได้ในการแข่งขัน โดยรถจะวิ่งด้วยความเร็วเฉลี่ยประมาณ 46.55 km/hr (ค่านี้อาจสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสมตามสภาวะของการแข่งขัน) 3.5 คือคะแนนที่จะให้กับทีมที่วิ่งได้ครบตามคอร์ส

2. Skid pad **50**

ทดสอบความสามารถในการเลี้ยวของรถ เช่น วิ่งเป็นรูปเลข8 โดยสูตรในการคำนวณขึ้นกับลักษณะคอร์สการวิ่งซึ่งอาจแตกต่างจากของ SAE เนื่องจากข้อจำกัดของสนามแข่ง

3. Autocross **150**

ทดสอบการวิ่ง โดยวิ่งในรอบสนามความยาวประมาณ 900 ม. ซึ่งมีทั้งทางตรงโค้ง สลาลม วิ่งทั้งหมด 4 รอบ โดยใช้คนขับ 2 คน ขับคนละ 2 รอบ ให้คะแนนจากเวลาในการวิ่ง ทีมที่ทำเวลาได้ดีที่สุดจะได้ออกตัวก่อนในการแข่ง Endurance

ให้คะแนนจากสูตร $AutocrossScore = 142.5 \times \frac{(T_{\max}/T_{your})-1}{(T_{\max}/T_{\min})-1} + 7.5$

โดย 7.5 คือ คะแนนที่ให้กับทีมที่วิ่งได้ครบคอร์ส และ T_{max} คิดจาก 125% ของ T_{min}

4. Endurance **350**

ทดสอบความทนทาน และ Reliability ของรถ โดยวิ่งในสนามทดสอบ ยาว 900 ม. จำนวน 22 รอบ (อ้างอิงตาม SAE แต่ในการแข่งขันจริงอาจลดจำนวนลงเพื่อความเหมาะสมของเวลาในการแข่งขัน) โดยให้คะแนนจากเวลาในการวิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้คะแนนจากสูตร $EnduranceScore = 300 \times \frac{(T_{\max} / T_{your}) - 1}{(T_{\max} / T_{\min}) - 1} + 50$

โดยT_{max} คิดจาก 133% ของ T_{min} ซึ่งอาจมีการปรับค่า T_{max} ได้ตามดุลยพินิจ ของกรรมการตามสภาวะการแข่งขัน ทีมที่ทำเวลาได้มากกว่า T_{max} จะได้ 0 คะแนน 50 คือคะแนนที่จะได้หากวิ่งครบทั้งคอร์ส

5. Fuel economy **50**

ทำการทดสอบพร้อมกับ Endurance Test โดยจะให้คะแนนตามปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ไป

ให้คะแนนจากสูตร $FuelEconomyScore = 50 \times \frac{(V_{\max} / V_{your}) - 1}{(V_{\max} / V_{\min}) - 1}$

โดย V_{max} เท่ากับ 5.72 ลิตร (ในกรณีที่คอร์สวิ่งยาว 22 กม.) ซึ่งคำนวณจากอัตรากินน้ำมันสูงสุดที่ยอมรับได้ คือ 26 ลิตร ต่อ 100 กม. ซึ่งต้องมีการปรับค่า V_{max} ตามความยาวคอร์สจริงที่ใช้แข่ง

<u>หมายเหตุ</u> รายละเอียดของการแข่งขัน Skid pad, Autocross และ Endurance เช่น ลักษณะและความยาวของสนามทดสอบและจำนวนรอบในการวิ่ง รวมทั้งสูตรในการคิดคะแนนอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เพื่อให้เหมาะสมกับสนามแข่งขันและเวลาในการแข่งขัน ส่วนการตัดคะแนนและกฎในการลงโทษต่างๆให้อ้างอิงตามกฎของ Formula SAE

คะแนนรวมทั้งหมด **1000 คะแนน**

Outline of Requirement

เป็นแนวทางของการออกแบบและแข่งขัน รายละเอียดอื่นๆที่ไม่ได้ระบุใน Outline นี้ ให้อ้างอิงตามเอกสารกฎการแข่งขันของ Formula SAE

1. Design Requirement

1. เป็นรถแบบฟอร์มูล่า (Formula car) คือ ซุ้มล้อเป็นแบบเปิด และห้องขับขี่แบบเปิด
2. ใช้เครื่องยนต์ 4 จังหวะ ที่มีความจุไม่เกิน 610 ซีซี มี Restrictor ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 20 มม. เพื่อควบคุมกำลังของเครื่องยนต์ไม่ให้มากเกินไป โดยติดตั้งที่ intake ระหว่าง ปีกผีเสื้อ (throttle) กับเครื่องยนต์ และสามารถใช้ Supercharger หรือ Turbocharger กับเครื่องยนต์นั้นได้ แต่ต้องออกแบบโดยทีมแข่งเอง (Turbocharger หรือ Supercharge ที่มากับเครื่องยนต์โดยตรงและไม่ได้ออกแบบโดยทีมแข่ง จะใช้ในการแข่งไม่ได้) โดย Sequence ในการคิดตั้งคือ throttle, restrictor, compressor, engine และให้ใช้ อากาศ (ambient air) ในการหล่อเย็น intercooler เท่านั้น และน้ำมันที่ใช้เป็นน้ำมัน Gasohol 95 และ Throttle actuator ต้องใช้แบบกลไก (mechanical actuator) เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มีฐานล้อ (Wheel base) ขนาดไม่น้อยกว่า 1525 มม. โดยมีระยะ tread ค่าที่น้อยกว่ามีค่าไม่น้อยกว่า 75% ของค่าที่มากกว่า (ล้อหน้า หรือ หลัง)

4. ความดังของไอเสีย ไม่เกิน 110 dB เมื่อวัดที่ตำแหน่ง 45 องศา ห่างออกมา 50 ซม. จาก แนวปลายท่อไอเสีย

5. ในกฎของ SAE Formula มีการกำหนดให้ติดตั้ง Transponder บนตัวรถ เพื่อใช้ในการจับเวลาในการแข่งขัน แต่เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีราคาแพงและอาจหาได้ไม่ง่ายนัก **จึงขอละเว้นการติดตั้ง Transponder** ดังกล่าว โดยในการแข่งขัน จะใช้นาฬิกาจับเวลาแทน

6. ในการตรวจสอบเครื่องความปลอดภัยของโครงสร้างและรายงานการใช้จ่าย กรรมการจะต้องตรวจสอบขนาดและความหนาของโครงสร้าง รวมทั้งชิ้นส่วนต่างๆ ที่ทีมแข่งระบุไว้ใน BOM ดังนั้นทีมแข่งต้องเตรียม inspection hole หรือ ออกแบบให้สามารถถอด Body ของรถออกได้ขณะทำการตรวจสอบชิ้นส่วนภายใน

7. รถแข่งของแต่ละทีมจะมี เบอร์ในการแข่งขัน ต้องออกแบบให้ตัวถังมีพื้นที่สำหรับติดสติกเกอร์ เบอร์ในการแข่งขัน ใน 3 บริเวณ คือ ด้านหน้า และด้านข้างซ้ายและขวา โดยมีความสูงไม่น้อยกว่า 15.24 cm และต้องมีชื่อสถาบันของทีมแข่งที่ด้านข้างของรถทั้งสองด้านด้วยโดยมีความสูงไม่น้อยกว่า 5 cm และต้องมีพื้นที่สำหรับติดสติกเกอร์ โลโก้ ของ TSAE ที่ด้านหน้าและด้านข้างทั้งสอง ซึ่งจะแจ้งรายละเอียดของขนาดให้ทราบอีกครั้ง และต้องมีพื้นที่บริเวณด้านบนของจมูกด้านหน้าของตัวถัง (upper nose of vehicle) เพื่อใช้ติดสติกเกอร์ Technical inspection ซึ่งจะได้รับหากผ่านการตรวจ Technical inspection แล้ว ทีมใดที่ไม่มีสติกเกอร์ดังกล่าวจะไม่ได้รับอณุญาติให้วิ่งใน Dynamic competitions

2. Safety Requirement

1. เพื่อที่จะทำให้ผู้ขับขี่มีความปลอดภัยจากการพลิกคว่ำ หรือ ชนจากด้านหน้าหรือด้านข้าง จึงมีข้อกำหนดให้โครงสร้างของรถมีส่วนประกอบ ดังนี้ คือ Main hoops, Front hoops, Front bulkhead, Brace, Support ต่างๆของโครงสร้าง และ Side impact structure โดยจะมีการกำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับขนาด, ชนิดของวัสดุที่ใช้ และการติดตั้งอ้างอิงจากเอกสารกดิกาของ Formula SAE

2. โครงสร้างต้องไม่มีส่วนที่เปิดออกได้ในบริเวณ ด้านหน้ารถจนถึง เฟรมหลัก หรือ Fire wall

3. เพื่อที่จะดูดซับแรกกระแทกที่เกิดขึ้นในการชนด้านหน้า จึงกำหนดให้ต้องมีการติดตั้งตัวรับแรงกระแทก (Impact attenuator) ที่ด้านหน้าของรถ หมายเหตุ ในกฎของ SAE Formula มีการระบุว่าทีมแข่งต้องส่งข้อมูลการทดสอบ impact attenuator ด้วย โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบโดย ใช้มวลขนาด 300 kg วิ่งด้วยความเร็ว 7 m/s แล้วชนกับตัวรับการชน (barrier) ความหน่วงของมวลโดยเฉลี่ยต้องไม่เกิน 20 g แต่เนื่องจากการทดสอบยังทำได้ยากและทีมแข่งอาจยังไม่พร้อม **จึงขอละเว้นการส่งข้อมูลทดสอบ impact attenuator ไปก่อน** แต่ทีมแข่งต้องแสดงให้กรรมการเห็นว่ามีการติดตั้ง impact attenuator จริงและมีแนวโน้มว่าจะสามารถรับแรงกระแทกได้

4. เพื่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ ต้องมีระบบยึดเหนี่ยวผู้ขับขี่ไว้กับตัวรถ โดยใช้เข็มขัดนิรภัยแบบ 5 หรือ 6 จุด และต้องมีอุปกรณ์ป้องกัน เช่น หมวกกันน็อค, ชุดแข่งที่ปกปิดร่างกายได้มิดชิด, ถุงมือ, รองเท้า เป็นต้น และรถต้องมีทรรศนวิสัยในการขับขี่ที่ดี, มีพนักพิงศีรษะ (Head rest), ผู้ขับขี่ต้องสามารถออกจากตัวรถได้ภายใน 6 วินาที (มีการทดสอบด้วย ในTechnical Inspection) มีผนังกั้นระหว่างห้องเครื่องและห้องขับขี่ (Firewall) มีอุปกรณ์ดับเพลิง, และ มีส่วนป้องกันขาและเท้าของผู้ขับขี่ เป็นต้น

5. ระบบเบรกที่ใช้ต้องเป็นเบรก 4 ล้อ โดยมีวงจรเบรกเป็นแบบไฮดรอลิก แยกอิสระ 2 วงจร และต้องมี Over travels switch สำหรับ ดับเครื่องยนต์โดยอัตโนมัติ ในกรณีที่เกิดความบกพร่องในระบบเบรก โดย Over travel switch จะตัดวงจรของระบบจุดระเบิด และต้องออกแบบป้องกันไม่ให้ผู้ขับขี่ Reset การดับเครื่องยนต์โดย Over travel switch ด้วย

6. ต้องมีการติดตั้ง Master switches 2 ตัว เพื่อใช้ดับเครื่องยนต์ ตัวแรกติดตั้งที่ด้านขวามือของรถบริเวณ Main hoop สูงประมาณหัวไหล่ เพื่อให้สามารถกดสวิทช์นี้ได้ง่ายจากภายนอก ส่วนตัวที่สอง ติดตั้งภายในห้องโดยสาร เพื่อให้ผู้ขับขี่สามรถกดได้ เวลาเกิดเหตุฉุกเฉิน ส่วนรายละเอียดอื่นๆอ้างอิงตามเอกสารกฎของ Formula SAE

3. Competition Requirements

1. ผู้เข้าร่วมแข่งขันต้องส่งรายงานเกี่ยวกับรายการค่าใช้จ่ายและการออกแบบ ต่อคณะกรรมการก่อนการแข่งขัน ประมาณ 1 เดือน ในกรณีที่ผู้เข้าร่วมแข่งขันไม่ส่งรายงานรายการค่าใช้จ่าย จะถูกตัด 100 คะแนน จากคะแนนเกี่ยวกับ ค่าใช้จ่าย (Cost) และ หากไม่ส่งรายงานการออกแบบ จะได้ ศูนย์เต็ม ในส่วนของคะแนนการออกแบบ

2. เมื่อผ่านการตรวจสอบรถแล้วจะได้รับสติคเกอร์เพื่อแสดงว่าผ่านการตรวจแล้ว รถที่จะเข้าซ้อมวิ่งหรือเข้าร่วม Dynamic competition จะต้องผ่านการตรวจและติดสติคเกอร์ดังกล่าวด้วย

3. ในการแข่งขัน Dynamic competition ผู้ขับขี่ 1 คน สามารถขับได้ไม่เกิน 2 ประเภทการแข่งขัน แต่ในการแข่งขัน Endurance และ Fuel consumption จะทำการแข่งขัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมกัน จึงนับเป็น 1 ประเภทการแข่งขัน หากการแข่งขันต้องทำการวิ่ง 4 รอบ จะต้องใช้คนขับ 2 คน ขับคนละ 2 รอบ

4. ในการตรวจสอบรถใน Technical inspection และการตรวจสอบเพื่อให้คะแนนในส่วนของ Cost และ Design ผู้แข่งขันจะสามารถปรับปรุงหรือซ่อมแซมรถได้ ก็ต่อเมื่อได้รับอณุญาตจากผู้ตรวจสอบเท่านั้น และต้องมีการบันทึก ข้อมูลการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงและซ่อมแซมดังกล่าวใน Inspection form ด้วย และเมื่อรถได้รับอณุญาติให้เข้าแข่งขันใน **Dynamic Competitions** แล้ว ทีมแข่งสามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงรถได้เฉพาะหัวข้อเหล่านี้

a. การปรับความดันลมยาง
b. การปรับ Brake bias
c. การปรับระบบกันสะเทือน เฉพาะที่ไม่มีการใส่ส่วนประกอบใหม่เข้าไป (ยกเว้น spring, sway bar และ shims ที่สามารถเปลี่ยนได้)
d. การปรับกระจกมองข้าง/หลัง
e. การปรับ สายพาน (belt) และ โซ่
f. การปรับ wing angle
g. การปรับ พารามิเตอร์ในการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น ส่วนผสมไอดี (Fuel mixture) และ จังหวะการจุดระเบิด (Ignition timing)
h. การเติมของเหลว/น้ำมัน (Fluids)
i. การเปลี่ยน ยางและผ้าเบรก ที่สึกหรอแล้ว

หมายเหตุ ☞ ทีมที่ได้ลำดับ 1-5 และมีคุณสมบัติสอดคล้องกับกฎ JSAE Formula จะได้รับการพิจารณาเข้าแข่งขัน Student Formula SAE Competition of Japan โดยจะพิจารณาจากลำดับที่ 1 ก่อน (โดยคณะกรรมการ TSAE สงวนสิทธิ์ในการพิจารณา)

☞ การวัดคะแนน ทำตามที่คณะกรรมการจะจัดแข่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 คะแนนการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2008 Student Formula

Team	cost	Presentation	Design	Acceleration	Skid pad	Autocross	Endurance	Fuel Economy	Total	Ranking
	50	75	150	75	50	150	350	50	1000	
1.Auto CMU Racing	80.26	43.60	116.25	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	243.61	
2. Auto Mec. Racing-SPU 2007	71.44	60.90	86.24	3.50	37.86	7.50	131.14	25.73	424.31	
3.Bangkok Tech	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4.DRP II	75.00	54.10	52.08	46.08	45.93	113.40	0.00	0.00	386.59	
5. G-KU. Src	67.49	64.10	89.18	3.50	40.50	0.00	0.00	0.00	264.77	
6.Initial IV	62.53	69.70	129.63	3.50	41.48	150.00	350.00	6.80	813.64	1
7.Maximas	60.08	67.40	133.75	3.50	7.58	0.00	0.00	0.00	272.31	
8.MU Speed	80.85	59.90	105.88	3.50	5.58	7.50	50.00	19.76	332.97	
9.RMU Khonkaen Team	74.10	53.00	77.92	3.50	14.73	7.50	50.00	44.58	325.33	
10.Schnell	82.21	65.80	134.40	75.00	49.73	83.27	289.75	15.69	795.85	2
11.SI 13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
12.Siam Mechanics	79.22	47.20	77.79	3.50	22.59	7.50	0.00	0.00	237.80	
13.Steady-state	78.65	53.70	63.80	3.50	27.70	7.50	50.00	27.07	311.92	
14.Sudsakhorn	89.91	50.90	96.94	3.50	8.72	7.50	50.00	50.00	357.47	
15.TAT-F1	68.10	69.40	114.64	3.50	0.00	45.71	113.71	29.49	444.55	
16.TGSAE	90.83	70.40	137.50	3.50	9.98	0.00	121.23	21.75	455.19	
17.ULTIMA - I	90.36	50.40	55.27	3.50	0.00	7.50	50.00	0.00	257.03	
18.ดาลโตนด	93.23	58.50	69.13	38.60	29.19	36.12	142.15	34.61	501.53	3
19. Auto Mec. Racing-SPU Blue shark	74.62	63.80	101.31	3.50	33.33	7.50	50.00	0.00	334.06	
20.CMU-F1	60.85	59.30	62.51	3.50	37.07	46.22	204.53	28.50	502.48	disqualified
21.Cu Kangzing	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
22.Pirun Racing	79.80	64.60	121.30	0.00	50.00	69.83	0.00	0.00	385.53	
23.Steadfast I	0.00	61.30	76.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	138.16	

ภาคผนวก ข.

ตารางบันทึกผลการทดลอง

คำนิยามและสมการที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 แสดงค่ากำลังเบรกและแรงบิดของเครื่องยนต์

Rpm	Torque (N/m)	Power (kW)	Power (HP)	AFR	Ignition adv	Injection
2000	28.65	6.00	8.16	14.30	40.00	3.083
2200	31.69	7.30	9.93	13.40	35.00	3.107
2400	37.40	9.40	12.78	13.30	38.00	3.083
2600	35.26	9.60	13.06	14.70	40.00	3.035
2800	34.79	10.20	13.87	15.50	43.00	2.995
3000	40.74	12.80	17.41	14.80	45.00	2.995
3200	42.67	14.30	19.45	14.50	45.00	3.011
3400	38.76	13.80	18.77	13.70	45.00	3.107
3600	42.44	16.00	21.76	13.70	46.00	3.131
3800	53.02	21.10	28.70	16.90	47.00	3.915
4000	57.06	23.90	32.50	14.80	48.00	3.275
4200	63.89	28.10	38.22	13.40	47.00	3.427
4400	64.46	29.70	40.39	12.60	46.00	3.482
4600	59.79	28.80	39.17	14.00	45.00	3.594
4800	65.45	32.90	44.74	13.50	45.00	3.65
5000	76.20	39.90	54.26	14.30	44.00	3.706
5200	85.58	46.60	63.38	15.50	43.00	3.826
5400	94.26	53.30	72.49	15.40	43.00	3.898
5600	86.46	50.70	68.95	15.10	42.00	4.018
5800	89.07	54.10	73.58	14.80	41.00	4.089
6000	89.29	56.10	76.30	14.70	40.00	4.217
6200	80.09	52.00	70.72	12.60	40.00	4.313
6400	84.45	56.60	76.98	12.20	40.00	4.321
6600	76.97	53.20	72.35	11.90	40.00	4.361
6800	82.01	58.40	79.42	11.90	41.00	4.385
7000	88.26	64.70	87.99	11.80	41.00	4.377
7200	88.60	66.80	90.85	12.00	41.00	4.369
7400	**94.33**	73.10	99.42	12.10	41.00	4.361
7600	88.21	70.20	95.47	12.10	41.00	4.361
7800	89.74	73.30	99.69	13.70	41.00	4.321
8000	89.52	75.00	102.00	13.70	41.00	4.321
8200	87.46	75.10	102.14	14.60	41.00	4.321
8400	87.19	76.70	104.31	15.10	41.00	4.481
8600	89.94	81.00	110.16	13.70	41.00	4.688
8800	89.96	82.90	112.74	13.70	41.00	4.688
9000	89.55	84.40	114.78	12.90	41.00	4.848
9200	90.10	86.80	118.05	12.70	41.00	4.968
9400	92.95	91.50	124.44	12.50	41.00	4.984
9600	95.00	95.50	129.88	12.00	41.00	5.072
9800	91.30	93.70	127.43	11.70	41.00	5.144
10000	92.82	**97.20**	**132.19**	11.80	40.00	5.224
10200	90.16	96.30	130.97	11.80	40.00	5.248
10400	86.40	94.10	127.98	11.70	39.00	5.232
10600	78.56	87.20	118.59	11.50	39.00	5.232
10800	74.54	84.30	114.65	11.50	41.00	5.256
11000	69.54	80.10	108.94	11.40	41.00	5.256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 แสดงค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่าง ๆ

Km/hr	rpm	BMEP (kPa)	BSFC
50	4078	100	2077.49
	4078	300	710.15
	4078	500	329.57
	4078	700	235.41
	4078	900	221.02
60	5840	100	2035.96
	5840	300	660.84
	5840	500	403.01
	5840	700	282.39
	5840	900	214.61
70	7045	100	2052.52
	7045	300	709.82
	7045	500	404.43
	7045	700	261.58
	7045	900	210.80

ตารางที่ ข-3 แสดงค่าความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะเบรกของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่าง ๆ

Km/hr	rpm	BMEP (kPa)	BSEC
50	4078	100	89332.026
	4078	300	30536.538
	4078	500	14171.653
	4078	700	10122.609
	4078	900	9504.0052
60	5840	100	87546.233
	5840	300	28416.324
	5840	500	17329.589
	5840	700	12142.661
	5840	900	9228.3105
70	7045	100	88258.339
	7045	300	30522.167
	7045	500	17390.433
	7045	700	11248.099
	7045	900	9064.5533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่าง ๆ

Km/hr	rpm	BMEP (kPa)	CO (%vol)
50	4078	100	0.38
	4078	300	0.21
	4078	500	0.15
	4078	700	0.2
	4078	900	0.13
60	5840	100	0.25
	5840	300	0.41
	5840	500	0.32
	5840	700	0.25
	5840	900	0.13
70	7045	100	0.32
	7045	300	0.31
	7045	500	0.25
	7045	700	0.18
	7045	900	0.11

ตารางที่ ข-5 แสดงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่าง ๆ

Km/hr	rpm	BMEP (kPa)	CO_2 (%vol)
50	4078	100	10.9
	4078	300	11.4
	4078	500	9.8
	4078	700	7.4
	4078	900	8.2
60	5840	100	12.1
	5840	300	10.3
	5840	500	9.6
	5840	700	9.9
	5840	900	10.2
70	7045	100	7.7
	7045	300	8.5
	7045	500	9.7
	7045	700	4.6
	7045	900	7.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 กราฟแสดงปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่าง ๆ

Km/hr	rpm	BMEP (kPa)	HC (ppm)
50	4078	100	122
	4078	300	156
	4078	500	222
	4078	700	310
	4078	900	219
60	5840	100	133
	5840	300	250
	5840	500	357
	5840	700	489
	5840	900	245
70	7045	100	205
	7045	300	375
	7045	500	352
	7045	700	288
	7045	900	260

ตารางที่ ข-7 แสดงปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ของระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบหัวฉีด ที่สภาวะโหลด และความเร็วต่างๆ

Km/hr	rpm	BMEP (kPa)	NO_x (ppm)
50	4078	100	674
	4078	300	553
	4078	500	459
	4078	700	367
	4078	900	331
60	5840	100	560
	5840	300	604
	5840	500	352
	5840	700	371
	5840	900	336
70	7045	100	689
	7045	300	701
	7045	500	452
	7045	700	381
	7045	900	442

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยามและสมการที่ใช้ในการทดสอบ

B_p คือ พลังงานในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ หรือส่วนต่างของพลังงานที่เกิดจากการเผาไหม้ทางทฤษฎีและพลังงานที่ใช้ในการเอาชนะความฝืดของเครื่องยนต์ มีสูตรดังต่อไปนี้

$$B_P = \frac{2\pi NT}{60000}$$

เมื่อ B_p คือ กำลังเบรก (kW)
N คือ รอบของเครื่องยนต์ (rpm)
T คือ แรงบิด (N.m)

η_{bth} คืออัตราส่วนของพลังงานสุทธิต่อปริมาณการไหลของมวลเชื้อเพลิงใน 1 วินาทีคูณกับค่าความจุความร้อนเชื้อเพลิงจำเพาะ เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\eta_{bth} = \frac{B_P}{\dot{m}_f CV}$$

เมื่อ $\dot{m}_f$ คือ ปริมาณการไหลของเชื้อเพลิง (g/hr)
CV คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

BSFC คืออัตราส่วนระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใน 1 หน่วยเวลาเทียบกับพลังงานสุทธิ เขียนเป็นสมการคือ

$$BSFC = \frac{\dot{m}_f}{B_P}$$

BMEP คือความดันเฉลี่ยที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้แบบภายใน มีสูตรดังนี้

$$BMEP = \frac{60000 \times B_P}{LAnK}$$

เมื่อ L คือ ความยาวของช่วงชักของลูกสูบ (m)
A คือ พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (m^2)
n คือ จำนวนครั้งของจังหวะกำลังที่เกิดขึ้นในรอบเครื่องยนต์ที่กำหนดไว้ โดยที่เครื่องยนต์ 4 จังหวะจะมี ค่าเท่ากับรอบเครื่องยนต์หารด้วยสอง
K คือ จำนวนลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอน จากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า ๕
เล่ม ๑๒๒ ตอนพิเศษ ๑๔๑ ง ราชกิจจานุเบกษา ๕ ธันวาคม ๒๕๔๘

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์

โดยที่ได้มีการปฏิรูประบบราชการโดยให้มีการจัดตั้งกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมขึ้นมา และให้โอนภารกิจของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ ไปเป็นของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ประกอบกับเป็นการสมควรแก้ไขปรับปรุงค่ามาตรฐานก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และค่าก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ จึงสมควรแก้ไขปรับปรุงประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง การกำหนดมาตรฐานค่าก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ และประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง การกำหนดมาตรฐานค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ แก้ไขโดยมาตรา ๑๐๔ แห่งพระราชกฤษฎีกาแก้ไขบทบัญญัติให้สอดคล้องกับการโอนอำนาจหน้าที่ของส่วนราชการให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปรับปรุงกระทรวงทบวง กรม พ.ศ. ๒๕๔๕ พ.ศ. ๒๕๔๕ อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๕ มาตรา ๔๘ มาตรา ๕๐และมาตรา ๕๑ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้ยกเลิก

(๑) ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ ลงวันที่ ๑๗ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๓๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(๒) ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๓๗) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ ลงวันที่ ๑๔ กันยายน พ.ศ. ๒๕๓๗

ข้อ ๒ ในประกาศนี้

"รถจักรยานยนต์" หมายความว่า รถจักรยานยนต์ตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์

"เครื่องมือ" หมายความว่า เครื่องที่ทำงานด้วยระบบนันดีสเปอร์ซีฟอินฟราเรด(Non - dispersive
Infrared, NDIR) สำหรับใช้วัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากท่อไอเสียที่มีช่วงการวัดสูงสุดไม่น้อยกว่าร้อยละ ๔.๕ โดยปริมาตร และวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียที่มีช่วงการวัดไม่น้อยกว่า ๑๐,๐๐๐ ส่วนในล้านส่วน (ppm) ของค่าเทียบเท่านอร์มัลเฮ็กเซน(N-Hexane) หรือเครื่องมือระบบอื่นที่มีมาตรฐานเทียบเท่า

"ทาง" หมายความว่า ทางตามกฎหมายว่าด้วยการจราจรทางบก

ข้อ ๓ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับกับรถจักรยานยนต์ใช้ในทาง

ข้อ ๔ ให้กำหนดมาตรฐานไอเสียจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ที่จดทะเบียนก่อนวันที่ ๑กรกฎาคม ๒๕๔๙ ไว้ดังต่อไปนี้

(๑) ค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ต้องไม่เกินร้อยละ ๔.๕ โดยปริมาตรที่วัดได้ด้วยเครื่องมือ

(๒) ค่าก๊าซไฮโดรคาร์บอน ต้องไม่เกิน ๑๐,๐๐๐ ส่วนในล้านส่วนที่วัดได้ด้วยเครื่องมือข้อ ๕ ให้กำหนดมาตรฐานไอเสียจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ที่จดทะเบียนตั้งแต่วันที่ ๑ กรกฎาคม ๒๕๔๙ ไว้ดังต่อไปนี้

(๑) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ต้องไม่เกินร้อยละ ๓.๕ โดยปริมาตรที่วัดได้ด้วยเครื่องมือ

(๒) ค่าก๊าซไฮโดรคาร์บอน ต้องไม่เกิน ๒,๐๐๐ ส่วนในล้านส่วนที่วัดได้ด้วยเครื่องมือ

ข้อ ๖ วิธีการตรวจวัดค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ตามข้อ ๔ และข้อ ๕ ให้ทำตามขั้นตอน ดังนี้

(๑) ปรับเทียบ (Calibrate) เครื่องมือด้วยก๊าซมาตรฐาน (Standard Gas) ตามคู่มือการใช้งานของผู้ผลิตเครื่องมือ

(๒) เดินเครื่องยนต์ให้อยู่ในอุณหภูมิใช้งานตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(๓) ขณะที่เครื่องยนต์เดินเบาให้สอดหัววัด (Probe) ของเครื่องมือเข้าไปในท่อไอเสียให้ลึกที่สุดตามคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องมือ

ในกรณีที่ไม่สามารถสอดหัววัดของเครื่องมือเข้าไปในท่อไอเสียได้ เพราะติดอุปกรณ์ระงับเสียงให้ใช้ท่อพิเศษต่อที่ปลายท่อไอเสียแล้วจึงสอดหัววัดของเครื่องมือเข้าไปในท่อพิเศษที่เสริมต่อจากปลายท่อไอเสียนั้น

(๔) ให้อ่านค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอนเมื่อเครื่องมือแสดงผลคงที่ ในกรณีที่เครื่องมือแสดงผลไม่คงที่ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของค่าที่อ่านได้ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของการวัดครั้งนั้น

(๕) ให้ปฏิบัติตาม (๓) และ (๔) ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง แล้วใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดสองครั้งเป็นเกณฑ์ตัดสิน

ข้อ ๗ ให้ทำความสะอาดและเปลี่ยนไส้กรองของเครื่องมือตามคู่มือการใช้งานของผู้ผลิตเครื่องมือ

ข้อ ๘ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๓ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๔๘

ยงยุทธ ดิยะไพรัช

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า ๕
เล่ม ๑๒๔ ตอนพิเศษ ๒๕ ง ราชกิจจานุเบกษา ๑๔ มีนาคม ๒๕๕๐

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ฉบับที่ ๒ (พ.ศ. ๒๕๕๐)
เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
และก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์

โดยที่ได้มีการปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรถจักรยานยนต์ เฉพาะด้านความปลอดภัย : สารมลพิษจากเครื่องยนต์ขึ้นใหม่ จึงเห็นควรเพิ่มเติมค่ามาตรฐานก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และค่าก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ ให้สอดคล้องกับการปรับปรุงแก้ไขมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมรถจักรยานยนต์ดังกล่าวด้วย

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ แก้ไขโดยมาตรา ๑๑๔ แห่งพระราชกฤษฎีกาแก้ไขบทบัญญัติให้สอดคล้องกับการโอนอำนาจหน้าที่ของส่วนราชการให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติปรับปรุงกระทรวง ทบวง กรม พ.ศ. ๒๕๔๕ พ.ศ. ๒๕๔๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ จึงออกประกาศไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นข้อ ๕/๑ ของประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ ลงวันที่ ๑๓ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๔๘

"ข้อ ๕/๑ ให้กำหนดมาตรฐานไอเสียจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ที่จดทะเบียน ตั้งแต่วันที่ ๑ มกราคม ๒๕๕๒ ไว้ ดังต่อไปนี้

(๑) ค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ต้องไม่เกินร้อยละ ๒.๕ โดยปริมาตรที่วัดได้ด้วยเครื่องมือ

(๒) ค่าก๊าซไฮโดรคาร์บอน ต้องไม่เกิน ๑,๐๐๐ ส่วนในล้านส่วนที่วัดได้ด้วยเครื่องมือ"

ข้อ ๒ ให้ยกเลิกความในข้อ ๖ ของประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ ฉบับลงวันที่ ๑๓ ตุลาคม ๒๕๔๘ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"ข้อ ๖ วิธีการตรวจวัดค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ตามข้อ ๔ ข้อ ๕ และข้อ ๕/๑ ให้ทำตามขั้นตอน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(๑) ปรับเทียบ (Calibrate) เครื่องมือด้วยก๊าซมาตรฐาน (Standard Gas) ตามคู่มือการใช้งานของผู้ผลิตเครื่องมือ

(๒) เดินเครื่องยนต์ให้อยู่ในอุณหภูมิใช้งานตามปกติ

(๓) ขณะที่เครื่องยนต์เดินเบาให้สอดหัววัด (Probe) ของเครื่องมือเข้าไปในท่อไอเสียให้ลึกที่สุดตามคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องมือในกรณีที่ไม่สามารถสอดหัววัดของเครื่องมือเข้าไปในท่อไอเสียได้ เพราะติดอุปกรณ์ระงับเสียงให้ใช้ท่อพิเศษต่อที่ปลายท่อไอเสียแล้วจึงสอดหัววัดของเครื่องมือเข้าไปในท่อพิเศษที่เสริมต่อจากปลายท่อไอเสียนั้น

(๔) ให้อ่านค่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอนเมื่อเครื่องมือแสดงผลคงที่ ในกรณีที่เครื่องมือแสดงผลไม่คงที่ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของค่าที่อ่านได้ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของการวัดครั้งนั้น

(๕) ให้ปฏิบัติตาม (๓) และ (๔) ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง แล้วใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดสองครั้งเป็นเกณฑ์ตัดสิน"

ข้อ ๓ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๘ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๕๐

เกษม สนิทวงศ์ ณ อยุธยา

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้