สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โปรแกรมจำลองระบบตรวจสอบ
และแก้ไขข้อขัดข้องของ
ระบบ EFI และ ระบบ ESA

Onboard Diagnostic System Simulation Program (EFI, ESA)

T046150

นาย วีระวัฒน์ ภูมิพัฒนพงศ์
นาย เอกสิน สินโสมนัส

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา2544

เลขหมู่........
เลขทะเบียน 46150
วัน, เดือน, ปี 20 ส.ค. 2546
.b.....
.i.....
b11286635

โปรแกรมจำลองระบบตรวจสอบ
และแก้ไขข้อขัดข้องของ
ระบบ EFI และ ระบบ ESA

Onboard Diagnostic System Simulation Program (EFI, ESA)

นาย วีระวัฒน์ ภูมิพัฒนพงศ์
นาย เอกสิน สินโสมนัส

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โปรแกรมจำลองระบบตรวจสอบและแก้ไขข้อขัดข้องของระบบ EFI และ ESA

ONBOARD DIAGNOSTICS SYSTEM SIMULATION PROGRAM (EFI, ESA)

ผู้จัดทำ

1. นายวีระวัฒน์ ภูมิพัฒนพงศ์ รหัสประจำตัว 41014399
2. นายเอกสิน สินโสมนัส รหัสประจำตัว 41014554

______________________ อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. บรรจง ปิยธำรง)

โปรแกรมจำลองระบบตรวจสอบและแก้ไขข้อขัดข้องของระบบ EFI และ ESA

นายวีระวัฒน์ ภูมิพัฒนพงศ์
นายเอกสิน สินโสมนัส
รศ. บรรจง ปิยธำรง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการผลิตรถยนต์พัฒนาอยู่เสมอ ทั้งในส่วนของการพัฒนาส่วนประกอบของอันมีผลให้รถยนต์มีสมรรถนะสูงขึ้นและในส่วนที่อำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ องค์ประกอบที่สำคัญที่ได้มีการพัฒนามาเมื่อไม่นานมานี้ คือ ระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นระบบที่คอยตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของการทำงานของเครื่องยนต์ ให้เครื่องยนต์ทำงานถูกต้องและแจ้งเตือนให้เจ้าของรถทราบหากเกิดปัญหาขึ้นที่เครื่องยนต์ตามข้อกำหนดที่ระบุไว้

ในช่วงแรกของการพัฒนา ความแตกต่างระบบการทำงานรถยนต์ในแต่ละรุ่นเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้การพัฒนาระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องในรถยนต์พัฒนาไปได้ช้า ซึ่งมีความจำเป็นต้องมีระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องที่ใช้เฉพาะรถยนต์รุ่นใดรุ่นหนึ่งเท่านั้น อย่างไรก็ตาม มีองค์กรที่ปรึกษาอากาศยานแห่งแคลิฟอร์เนีย (California Air Resources Board) ได้กำหนดให้มีมาตรฐานของระบบตรวจสอบข้อขัดข้องขึ้น เพื่อให้การพัฒนาระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องมีการพัฒนาไปในทิศทางเดียวกัน มาตรฐานดังกล่าวเรียกว่า (Onboard Diagnostic System : OBD) ซึ่งได้มีการพัฒนาต่อมาเรื่อยๆ จนครอบคลุมเกือบทุกการทำงานของเครื่องยนต์จวบจนปัจจุบันระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องได้พัฒนามาถึงขั้นที่สองแล้ว เรียกมาตรฐานนี้ว่า “OBD II”

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอ โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องของรถยนต์ โดยยึดถือ ตามมาตรฐาน OBD II จำลองการทำงานการตรวจสอบการทำงานของระบบฉีดน้ำมันอิเลกทรอนิกส์ และระบบการจุดระเบิดล่วงหน้าของรถยนต์ ซึ่งเป็นระบบสำคัญของรถยนต์ที่หากเกิดปัญหาขึ้น จะเกิดผลเสียต่อการอายุการใช้งานของรถยนต์

Onboard diagnostics System Simulation Program (EFI, ESA)

Weerawat Poompattanapong
Eakasin Sinsommanas
Assoc. Prof. Bunjong Piyatamrong Advisor

ABSTRACT

Automobile technology was very often developed both effieciently and facility modules. Onboard diagnostic system was the facility module that recently developed for diagnose the engine operation to assure the proper functioning of the engine and informed the driver when an emissions-related system or component malfunctions or deteriorates beyond agreed thresholds.

At first, the introduction of the onboard diagnostic system was raising fears that access to the crucial diagnostic data required for vehicle inspection and repair will become limited to approved car dealerships. Then, the regulation that requires manufacturers to implement on-board diagnostic was originally adopted by the California Air Resources Board (CARB) that called "OBD" standard. Through the years on-board diagnostic systems had becomed more sophisticated. OBD-II, a new standard introduced in the mid-'90s, provides almost complete engine control and also monitors parts of the chassis, body and accessory devices, as well as the diagnostic control network of the car.

This thesis present the onboard diagnostic system simulation program that compliance with OBD II standard. This program have developed for simulate electronic fuel injection system (EFI) and electronic spark advance system (ESA). EFI and ESA are the very important systems. If they have fault implementation, their results will affect the life time of engine.

กิตติกรรมประกาศ

การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่กล่าวถึงคือ รศ. บรรจง ปิยธำรง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ให้ความช่วยเหลือ เอาใจใส่และแนะนำเสมอมา

ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์คอมพิวเตอร์ทุกๆ ท่านที่ให้ความรู้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาในทุกๆ ด้านด้วยความจริงใจและปรารถนาดีเสมอมา

ขอขอบคุณสมาชิกห้อง network ทุกๆ ท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ในด้านต่าง ๆและห้อง network ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ให้ดำเนินโครงงานด้วยความราบรื่น

ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนที่ทุกๆ คนที่ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ ในด้านต่างๆ ตลอดมา

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่ทำให้มีข้าพเจ้าในวันนี้ คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักของข้าพเจ้า ซึ่งเลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี และให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ ท่านได้ให้ความรัก ความห่วงใย และคอยเป็นกำลังใจอยู่เคียงข้างข้าพเจ้าทั้งในยามสุขและยามทุกข์ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณของท่านที่มิอาจประมาณค่าได้และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

วีระวัฒน์ ภูมิพัฒนพงศ์
เอกสิน สินโสมนัส

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สารบัญ

		หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย		**I**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		**II**
กิตติกรรมประกาศ		**III**
สารบัญ		**IV**
สารบัญรูปภาพ		**IX**
สารบัญตาราง		**XIII**
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
1.1	**ความสำคัญและที่มาของเนื้อหา**	**1**
1.2	**วัตถุประสงค์ของโครงงาน**	**1**
1.3	**ขอบเขตของโครงงาน**	**1**
1.4	**วิธีการดำเนินงาน**	**2**
บทที่ 2	**ระบบวินิจฉัยความขัดข้อง (OBD)**	**3**
2.1	**วิวัฒนาการของระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องบนรถยนต์**	**3**
2.2	**ความหมายของ OBD**	**4**
2.3	**จุดมุ่งหมายของ OBD**	**4**
2.4	**ประโยชน์ของ OBD**	**4**
2.4.1	ลดมลภาวะที่เครื่องยนต์ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม	4
2.4.2	ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องยนต์	4
2.4.3	สนับสนุนการบริการหลังการขาย	5
2.4.4	ส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องยนต์	5
2.5	**หลักการทำงานของ OBD**	**5**
2.5.1	รหัสขัดข้อง	6
2.5.1.1	แบบรหัส 1 ตัวเลข	6
2.5.1.2	แบบรหัส 2 ตัวเลข	8
2.5.2	เงื่อนไขการแสดงข้อขัดข้อง	9
2.6	**OBD II**	**9**
2.6.1	วิธีสังเกตว่ารถยนต์ติดตั้ง OBD II	11
2.6.2	มาตรฐานการเชื่อมต่อของระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องรุ่นที่สอง	12

2.6.3	ฟังก์ชันการทำงานที่น่าสนใจและทิศทางการพัฒนาของ OBD II	12
2.6.3.1	ข้อมูลบริการ (Service Information)	12
2.6.3.2	ระบบตรวจสอบการจุดระเบิดขัดข้อง (Misfire Monitoring)	13
2.6.3.3	รหัสขัดข้อง (Fault Code)	13
2.6.3.4.	ระบบตรวจสอบออกซิเจนและอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมัน	13
บทที่ 3	**หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU)**	**15**
3.1	**ความหมายของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์**	**15**
3.2	**ส่วนประกอบสำคัญของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์**	**15**
3.2.1	CPU	15
3.2.2	ROM	16
3.2.3	A/D	17
3.2.4	I/O Unit	17
3.3	**หน้าที่ของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์**	**18**
3.3.1	ควบคุมระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	18
3.3.2	ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า	19
3.3.3	ควบคุมความเร็วรอบเดินเบา	20
3.3.4	การวินิจฉัยข้อขัดข้อง	20
3.3.5	ป้องกันการทำงานบกพร่อง	20
บทที่ 4	**ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ (EFI)**	**21**
4.1	**ความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์**	**21**
4.1.1	อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิง	21
4.1.2	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง VS ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและกำลังงานของเครื่องยนต์	21
4.1.3	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง VS ส่วนประกอบของไอเสีย	22
4.2	**ชนิดของระบบ EFI**	**23**
4.2.1	ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ D-Jetronic	23
4.2.2	ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ L-Jetronic	24
4.3	**การควบคุมจังหวะการฉีด**	**24**
4.4	**การควบคุมระยะเวลาในการฉีด**	**26**
4.4.1	การควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน	27

4.4.2	การแก้ไขระยะเวลาในการฉีดเพื่อเพิ่มความหนาของน้ำมันเชื้อเพลิง	29
4.4.3	การแก้ไขระยะเวลาในการฉีดจากค่าแรงดันไฟฟ้า	29
4.4.4	การตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	30
4.5	**ส่วนประกอบขอบระบบ EFI**	**31**
บทที่ 5	**ระบบควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า (ESA)**	**34**
5.1	**หลักการเบื้องต้นของ ESA**	**34**
5.2	**หน้าที่ของอุปกรณ์ในระบบควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า ESA**	**35**
5.3	**การกำหนดองศาการจุดระเบิดของ ESA**	**36**
5.3.1	องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้น	36
5.3.2	องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าพื้นฐาน	36
5.3.3	องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติม	37
5.4	**การควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าสูงสุดและต่ำสุด**	**39**
5.5	**การควบคุมตัวช่วยจุดระเบิด**	**39**
5.6	**การทำงานของระบบควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า ESA**	**39**
บทที่ 6	ตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor)	**42**
6.1	**ตัวตรวจจับสุญญากาศ(Vacuum Sensor)**	**43**
6.2	**มาตรวัดการไหลของอากาศ(Air Flow Meter)**	**48**
6.3	**ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง(Throttle Position Sensor)**	**49**
6.3.1	ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด	49
6.3.2	ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบเชิงเส้น	51
6.4	**ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ(Water Temperature Sensor)**	**53**
6.5	**ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature Sensor)**	**56**
6.6	**ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน(Oxygen Sensor or Lambda Sensor)**	**58**
6.6.1	ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารเซอร์โคเนียมไดออกไซด์	59
6.6.2	ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์	62
6.7	**ตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง (Crank Angle Sensor)**	**63**
6.7.1	แบบมี - ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ G 1 ฟัน ขดลวดพิคอัพ 1 ขด - ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ NE 4 ฟัน ขดลวดพิคอัพ 2 ขด	64
6.8	**ตัวตรวจจับการน็อก (Knock Sensor)**	**66**
6.9	**สัญญาณการสตาร์ท (Start Signal : STA)**	**68**
6.10	**ตัวตรวจจับความเร็วรถยนต์ (Vehicle Speed Sensor)**	**69**

6.10.1	ตัวตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบรีดสวิตซ์	69
บทที่ 7	**หลักการพัฒนาโปรแกรมด้วยวิธีการเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming)**	**70**
7.1	**หลักการเชิงวัตถุ**	**70**
7.2	**คุณสมบัติของหลักการเชิงวัตถุ**	**71**
7.2.1	Encapsulation/Information Hiding	71
7.2.2	Inheritance	71
7.2.3	Polymorphism	71
7.2.4	Abstraction	71
7.3	**ภาษาในการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ**	**72**
7.3.1.	จะต้องเป็นภาษาที่ใช้วัตถุมิใช่อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาเป็นหลัก	72
7.3.2	วัตถุที่ปรากฏในการเขียนโปรแกรมต้องเป็นอินสแทนต์ของคลาส	72
7.3.3	คลาสจะต้องมีความสามารถในการถ่ายทอดคุณสมบัติ	72
7.4	**การออกแบบระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุ**	**73**
7.5	**การวิเคราะห์ระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุ**	**73**
7.6	**วัตถุ**	**73**
7.6.1	แอททริบิวต์ (Attribute)	74
7.6.2	เมธอดหรือพฤติกรรม	74
7.6.3	Message	75
7.6.4	ความรับผิดชอบ	76
7.6.5	ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ	76
7.7	**คลาส**	**77**
7.7.1	ความสัมพันธ์ระหว่างคลาส	77
บทที่ 8	**ภาษาจาวา (JAVA)**	**79**
8.1	**ความสามารถของภาษาจาวา**	**79**
8.2	**การนำจาวาไปประยุกต์สร้างและพัฒนาในงานด้านต่างๆ**	**79**
8.3	**หลักการทำงานของภาษาจาวา**	**80**
8.3.1	การคอมไพเลอร์	80
8.3.2	การวางตำแหน่งในหน่วยความจำ	81
8.3.3	การรันโปรแกรม	81
8.3.4	คลาสโหลดเดอร์	81
8.3.5	ตรวจสอบไบท์โค้ด	82

8.3.6 การทำงานตามโค้ด	83
8.4 การสร้างและรันภาษาจาวา	83
บทที่ 9 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างโครงงาน	**86**
9.1 การวิเคราะห์ระบบ	86
9.2 การออกแบบโครงสร้างของโครงงาน	87
9.2.1 Sensor	88
9.2.2 Ecu	88
9.2.3 Obd	89
9.2.4 Gui	89
9.3 การสร้างโปรแกรมโครงงาน	89
9.3.1 การสร้างคลาสและเมธอดภายในคลาส	89
9.3.2 การควบคุมการทำงานของโปรแกรมแบบทำงานทีละช่วงเวลา (Scan Time Program)	93
9.3.3 การรับข้อมูล	94
9.3.4 การคำนวณเพื่อหาค่าของระบบ EFI และ ESA	95
9.3.5 การตรวจหาข้อขัดข้อง	96
9.3.6 การแสดงผล	97
บทที่ 10 บทวิจารณ์และสรุป	**101**
10.1 บทวิจารณ์และสรุป	101
10.1.1 ส่วนการศึกษาระบบ	101
10.1.2 ส่วนการวิเคราะห์ระบบ	101
10.1.3 ส่วนการออกแบบ	101
10.1.4 ส่วนการพัฒนาโปรแกรม	102
10.1.5 ส่วนวิจารณ์และบทสรุปโดยรวมของระบบ	102
10.2 ปัญหาและแนวทางในการพัฒนา	102
ภาคผนวก ก ค่ากำหนดระบบ EFI และ ESA สำหรับเครื่องยนต์ 4A-FE	**103**
ภาคผนวก ข OBD II Generl Diagnostic Code	**107**
ภาคผนวก ค OBD II manugacturer Specific Codes – TOYOTA	**123**
ภาคผนวก ง คู่มือการใช้โปรแกรม	**125**
บรรณานุกรม	**133**

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่		หน้าที่
2.1	หลอดไฟแสดงข้อขัดข้อง(MIL)	5
2.2	วงจรไฟฟ้าจ่ายกระแสให้กับ ECU ซึ่งติดตั้ง OBD	6
2.3	รูปแบบการกระพริบของหลอดไฟ MIL แบบรหัส 1 ตัวเลข รหัสหมายเลข 1	7
2.4	การแสดงรหัสข้อขัดข้องแบบ 1 ตัวเลขที่เกิดขึ้นหลายรหัส	7
2.5	การกระพริบของหลอดไฟ MIL แบบรหัส 2 ตัวเลข รหัสหมายเลข 12	8
2.6	การแสดงรหัสขัดข้องแบบ 2 ตัวเลข ที่เกิดขึ้นหลายรหัส	8
2.7	ลักษณะตัวเชื่อมต่อมาตรฐานของระบบตรวจสอบความขัดข้อง	11
3.1	ระบบ Single Processor ในกล่อง ECU ของ Nissan	15
3.2	ระบบ Multi Processor ในกล่อง ECU ของ NIPPON DENSO	16
3.3	กล่อง ECU RX7 ที่ติดตั้ง Daughter Board	16
3.4	กล่อง RB20DET เป็นชนิด External ROM	17
3.5	วงจร Sensor Interface	17
3.6	วงจร Ignition Output	18
3.7	วงจร Ignition Module	18
3.8	แผนภูมิแสดงการกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันของ ECU	19
4.1	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง VS ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและกำลังงานของเครื่องยนต์	22
4.2	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง VS ส่วนประกอบของไอเสีย	22
4.3	ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ D-Jetronic	23
4.4	ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ L-Jetronic	24
4.5	สัญญาณการจุดระเบิด	25
4.6	การสร้างสัญญาณควบคุมจังหวะการฉีดของ ECU	25
4.7	แผนภูมิการควบคุมระยะเวลาในการฉีด	26
4.8	แผนภูมิแสดงระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	27
4.9	Diagram การควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน	27
4.10	Diagram การเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	28
4.11	กราฟแสดงการแก้ไขระยะเวลาในการฉีดจากค่าแรงดันไฟฟ้า	29
4.12	กราฟแสดงการตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	30
4.13	ส่วนประกอบของระบบฉีดแบบ D-Jetronic	31
4.14	ส่วนประกอบของระบบฉีดแบบ L-Jetronic	32
5.1	กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า	34

5.2	หลักการของระบบควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า ESA	35
5.3	กราฟแสดงการปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขณะอุ่นเครื่อง	37
5.4	กราฟแสดงการปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าเมื่อเครื่องยนต์อุณหภูมิสูง	38
5.5	กราฟแสดงการปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าเมื่อเครื่องยนต์เกิดการน็อก	39
5.6	วงจรไฟฟ้าระบบควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า ESA ของเครื่องยนต์ 4A – GE	40
6.1	ตัวอย่างแผนภูมิระบบควบคุมเครื่องยนต์ TCCS	41
6.2	โครงสร้างและส่วนประกอบของตัวตรวจสุญญากาศ	42
6.3	วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับสุญญากาศ	42
6.4	กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของตัวตรวจสุญญากาศในรถยนต์	43
6.5	มาตรวัดการไหลของอากาศแบบแผ่นวัด	44
6.6	ส่วนประกอบของมาตรวัดการไหลอากาศแบบแผ่นวัด	44
6.7	หลักการวัดปริมาณอากาศของมาตรวัดการไหลของอากาศแบบแผ่นวัด	45
6.8	หลักการทำงานของตัวปรับแรงดันไฟฟ้า	45
6.9	วงจรไฟฟ้าของมาตรวัดการไหลของอากาศในเครื่องยนต์โตโยต้ารุ่น 5M-E	46
6.10	วงจรภายในของมาตรวัดชนิดแรงดันไฟฟ้ามาก เมื่อมุมการเปิดของแผ่นวัดมาก	47
6.11	วงจรไฟฟ้าของมาตรวัดชนิดแรงดันไฟฟ้ามาก เมื่อมุมการเปิดของแผ่นวัดมาก	47
6.12	วงจรภายในของมาตรวัดชนิดแรงดันไฟฟ้าน้อย เมื่อมุมการเปิดของแผ่นวัดมาก	47
6.13	วงจรไฟฟ้าของมาตรวัดชนิดแรงดันไฟฟ้าน้อย เมื่อมุมการเปิดของแผ่นวัดมาก	48
6.14	รูปร่างและตำแหน่งการติดตั้งของตัวตรวจจับลิ้นเร่ง	49
6.15	โครงสร้างของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด	49
6.16	ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด ณ ตำแหน่งเดินเบา	50
6.17	ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด ณ ตำแหน่งรับภาระปานกลาง	50
6.18	ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด ณ ตำแหน่งรับภาระสูงสุด	50
6.19	วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด	51
6.20	โครงสร้างของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบเชิงเส้น	52
6.21	วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบเชิงเส้น	53
6.22	รูปร่างและตำแหน่งการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ	54
6.23	ส่วนประกอบและคุณสมบัติของตัวตรวจอุณหภูมิน้ำ	55
6.24	วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ	55
6.25	ตำแหน่งการติดตั้งของตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ	56
6.26	กราฟแสดงการปรับส่วนผสมของเชื้อเพลิงตามอุณห ภูมิของอากาศ	57
6.27	วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ	58
6.28	ตำแหน่งของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน	59
6.29	ส่วนประกอบของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน	59

6.30	ส่วนประกอบของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน แบบใช้สารเซอร์โคเนียมไดออกไซด์	60
6.31	กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน	60
6.32	วงจรไฟฟ้าตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารเซอร์โคเนียมไดออกไซด์	61
6.33	วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบมีตัวทำความร้อนอยู่ภายใน	62
6.34	ส่วนประกอบของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน แบบใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์	62
6.35	วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์	63
6.36	ส่วนประกอบของตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง แบบมีไทมิ่งโรเตอร์ 1 ฟัน และ 4 ฟัน	65
6.37	คลื่นสัญญาณจากขดลวด G และ NE แบบไทมิ่งโรเตอร์ 1 ฟัน และ 4 ฟัน	66
6.38	วงจรไฟฟ้าสัญญาณจากขดลวด G และ NE แบบไทมิ่งโรเตอร์ 1 ฟัน และ 4 ฟัน	66
6.39	ตำแหน่งการติดตั้งและส่วนประกอบตัวตรวจจับการน็อก	67
6.40	คุณลักษณะของตัวตรวจจับการน็อก	67
6.41	วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับการน็อก	68
6.42	วงจรไฟฟ้าสัญญาณการสตาร์ท	68
6.43	ตัวตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบรีดสวิตซ์	69
6.44	วงจรไฟฟ้าตัวตรวจความเร็วรถยนต์แบบรีดสวิตซ์	69
7.1	ความสัมพันธ์แบบลิงค์ของวัตถุ	76
8.1	การประมวลผลของโปรแกรมทั่วไปแต่ระบบปฏิบัติการที่ต่างกัน	80
8.2	การประมวลผลของโปรแกรมภาษาจาวา	81
9.1	ระบบการทำงานที่เกี่ยวข้องกับระบบวินิจฉัยข้อขัดข้อง	86
9.2	แผนภาพความสัมพันธ์ของโปรแกรมจำลองระบบวินิจฉัยข้อขัดข้อง	88
9.3	หน้าจอแสดงผล Dash9.3 หน้าจอแสดงผล Dash	97
9.4	หน้าจอไฟล์เมนู	98
9.5	หน้าจอ open file	98
9.6	หน้าจอ veiw เมนู	99
9.7	หน้าจอแสดง About Dialog	99
9.8	หน้าจอแสดง Sensors	100

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้าที่
2.1	แสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการทำงานระหว่าง OBD I และ OBD II	3
2.2	แสดงติดตั้ง OBD II ของรถยนต์รุ่นที่ผลิตในปี 1994	9
2.3	แสดงติดตั้ง OBD II ของรถยนต์รุ่นที่ผลิตในปี 1995	10
5.1	หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบควบคุมการจุดระเบิด	35
9.1	แสดงการคำนวณหาค่าพื้นฐานของระบบ EFI และ ESA	95
9.2	Diagnostic Code ที่สภาวะการทำงานที่โปรแกรมตรวจเช็คได้	96

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของเนื้อหา

ระบบวินิจฉัยข้อขัดข้อง (Onboard Diagnostic System : OBD) เป็นหน่วยหนึ่งที่ถูกติดตั้งอยู่ในระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) มีหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์ในสภาวะต่างๆ ซึ่งหน่วยนี้เป็นหน่วยที่จำเป็นต่อระบบการทำงานของรถยนต์ในปัจจุบัน และเป็นหัวข้อที่สำคัญในการวิจัยและพัฒนาในวงการอุตสาหกรรมรถยนต์ เนื่องจากระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องมีคุณประโยชน์มากมายทั้งในด้านที่ช่วยลดมลภาวะที่เครื่องยนต์ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมและในส่วนของผู้ขับขี่เองที่สามารถทราบความผิดปกติในเครื่องยนต์ได้ นอกจากนี้ระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องนับเป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ติดตั้งในรถยนต์ในปัจจุบันซึ่งมีส่วนในการตรวจเช็คการทำงานของเครื่องยนต์ตามอายุการใช้งานของเครื่องยนต์อันเป็นประโยชน์ต่อการบริการหลังการขายของบริษัทผลิตรถยนต์อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบวินิจฉัยข้อขัดข้อง (Onboard Diagnostic System : OBD)

2. ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Unit : ECU)

3. ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Fuel Injection System : EFI)

4. ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า (Electronic Spark Advance : ESA)

5. ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของ Sensor ที่เกี่ยวข้องกับระบบ OBD, EFI และ ESA

6. ศึกษาการหลักการพัฒนาโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming : OOP) ด้วยภาษาจาวาโดยใช้ JBuilder5 เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม

7. นำความรู้ที่ได้ศึกษามาทั้งหมดออกแบบและพัฒนาโปรแกรมจำลองระบบตรวจสอบและแก้ไขข้อขัดข้องของระบบ EFI และ ระบบ ESA

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

โครงงานนี้ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมจำลองระบบตรวจสอบและแก้ไขข้อขัดข้องของระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์(Electronic Fuel Injection System : EFI) และ ระบบควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า(Electronic Spark Advance : ESA) ซึ่งเป็นเพียงส่วนหนึ่งของระบบตรวจสอบและแก้ไขข้อขัดข้อง (Onboard Diagnostic System : OBD) เท่านั้น

โครงงานนี้อ้างอิงถึงระบบเครื่องยนต์ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์แบบ TCCS (Toyota Computer Controlled System) หรือระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ของโตโยต้า ซึ่งระบบ TCCS นี้ ถูกนำมาแทนที่หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ในระบบ EFI แบบธรรมดา ซึ่งมีหน้าที่การทำงานเพียง 2 อย่าง คือ ควบคุมจังหวะการฉีด และควบคุม
ปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดเท่านั้น แต่ ระบบ TCCS นี้ จะมีหน้าที่การทำงานเพิ่มขึ้นมาอีกหลายประการ เช่น ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า ความเร็วรอบเดินเบา ควบคุมระบบประจุอากาศแบบเปลี่ยนแปลงได้ (เฉพาะบางรุ่น) นอกจากนี้ยังมีระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องของระบบด้วยตัวเอง (Onboard Diagnostic System : OBD) ระบบป้องกันการทำงานบกพร่อง และระบบการทำงานสำรอง โครงงานนี้ข้อมูลค่ามาตรฐานต่างๆ อ้างอิงถึงระบบรถยนต์รุ่น 4A-FE TOYATA COROLLA AE11- (1997) เป็นหลัก

โครงงานนี้พัฒนาขึ้นมาโดยใช้หลักการพัฒนาโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming : OOP) ด้วยภาษาจาวา โดยใช้ JBuilder5 เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ในระยะเริ่มแรกจะทำการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบวินิจฉัยข้อขัดข้อง (Onboard Diagnostic System : OBD) ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 2 หลังจากนั้น จะทำการศึกษาโครงสร้างและการทำงานของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 3 ในขั้นตอนต่อมา จะทำการศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Fuel Injection System : EFI) ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 4 หลังจากนั้น จะทำการศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของระบบควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า (Electronic Spark Advance : ESA) ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 5 ต่อจากนั้น จะทำการศึกษาโครงสร้างและการทำงานของ sensor ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบ OBD, EFI และ ESA ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 6

ในขั้นตอนต่อมา จะทำการศึกษาค้นคว้าหลักการพัฒนาโปรแกรมเชิงวัตถุและภาษาจาวา ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 7 และ บทที่ 8 หลังจากนั้น จะนำความรู้ที่ได้ศึกษามาทั้งหมดออกแบบและพัฒนาเป็นโปรแกรมจำลองระบบตรวจสอบและแก้ไขข้อขัดข้องของระบบ EFI และ ESA โดยใช้ Jbuilder5 เป็นเครื่องมือในการพัฒนา ซึ่งรายละเอียดจะอยู่ในบทที่ 9
ในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ สรุปผลการทำงาน และแนวทางในการพัฒนาประยุกต์ใช้ต่อไปของโครงงานนี้ ซึ่งรายละเอียดจะอยู่ในบทที่ 10

บทที่ 2
ระบบวินิจฉัยความขัดข้อง
(Onboard Diagnostic System : OBD)

2.1 วิวัฒนาการของระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องบนรถยนต์

ระบบวินิจฉัยข้อขัดข้อง (Onboard Diagnostic System : OBD) เป็นระบบมาตรฐานที่ติดตั้งไว้กับรถยนต์ส่วนใหญ่ที่วิ่งตามท้องถนนในปัจจุบัน OBD ได้ถือกำเนิดขึ้นในปี 1982 ที่รัฐแคลิฟอร์เนีย เมื่อองค์กรที่ปรึกษาอากาศยานแห่งแคลิฟอร์เนีย (California Air Resources Board : CARB) ประเทศสหรัฐอเมริกาได้พัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่เป็นอุปกรณ์มาตรฐานแก่ยานพาหนะ แต่ถูกนำมาใช้งานจริงบนอุตสาหกรรมรถยนต์ในปี 1985 โดยเป็นข้อกำหนดให้รถยนต์ทุกคันในรัฐแคลิฟอร์เนียตั้งแต่ปี 1988 เป็นต้นมาต้องติดตั้ง OBD ในรถยนต์ซึ่งถือว่าเป็น OBD รุ่นแรก (OBD I) โดย OBD I จะทำการวินิจฉัยข้อขัดข้องเฉพาะส่วนระบบพื้นฐานเท่านั้น เช่น Oxygen Sensor, EGR System, Fuel Delivery System และ Engine Control Module เป็นต้น

ต่อมาปี 1989 ได้มีการพัฒนา OBD ให้มีความสามารถในการทำงานสูงขึ้นโดยการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานต่างๆให้ครอบคลุมระบบต่างๆ มากยิ่งขึ้น โดยได้เปรียบเทียบไว้ในตารางด้านล่าง OBD รุ่นนี้เรียกว่า OBD รุ่นที่สอง (OBD II) ซึ่งเริ่มนำเข้ามาใช้ในสายการผลิตรถยนต์บางรุ่นตั้งแต่ปี 1994 ซึ่งต่อมาประสบความสำเร็จจนกลายเป็นมาตรฐานให้ติดตั้ง OBD II ไว้กับรถยนต์ทุกคันที่ขายและผลิตในสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ วันที่ 1 มกราคม ปี1996 ซึ่ง OBD II นี้เป็นระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องบนรถยนต์ที่ติดตั้งเป็นมาตรฐานเรื่อยมาจนกระทั่งปัจจุบัน

OBD I	OBD II
• Oxygen Sensor • EGR System • Fuel System • Electronic Input Components • Diagnostic Information • Fault Coded	• Oxygen Sensor • EGR System • Fuel System • Electronic Input Components • Diagnostic Information • Fault Coded • Electronic Output Component • Catalyst Efficiency • Catalyst Heating • Engine Misfire • Evaporative System • Secondary Air System • Engine Parameter Data • "Freeze Frame" Engine Parameter • Standardization

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการทำงานระหว่าง OBD I และ OBD II

OBD นี้มีการพัฒนามาโดยตลอดซึ่งในปัจจุบันอยู่ในการพัฒนารุ่นที่ 3 (OBD III) ซึ่งมีขอบเขตการทำงานที่เพิ่มในส่วนของช่องทางในการส่งข้อมูลโดยใช้ระบบออนไลน์ผ่านดาวเทียมซึ่งส่งข้อมูลจากรถยนต์ที่วิ่งอยู่บนท้องถนน ไปยังศูนย์ให้บริการซึ่งจะทำการตรวจเช็คสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ของรถยนต์แต่ละคัน ซึ่งข้อได้เปรียบของ OBD III ที่มีมากกว่า OBD II คือ ค่าใช้จ่ายที่ลูกค้าต้องจ่ายในการทำการทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์เมื่อพบการทำงานผิดพลาดในเครื่องยนต์

2.2 ความหมายของ OBD

ระบบวินิจฉัยข้อขัดข้อง (Onboard Diagnostic System : OBD) คือ กลุ่มของหน้าที่การทำงานที่มีหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์ในสภาวะต่างๆ โดย OBD จะเก็บข้อมูลสภาวะการทำงานภายในเครื่องยนต์ผ่านตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ที่ติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งต่างๆ แล้วนำมาประมวลผลโดยซอร์ฟแวร์เพื่อตรวจสอบสภาวะการทำงานของระบบภายในรถยนต์ ว่าระบบเหล่านี้ทำงานได้ถูกต้องหรือไม่ หากเกิดข้อผิดพลาดจะพยายามแก้ไขข้อผิดพลาดนั้นตามข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ แต่ถ้าหากไม่สามารถแก้ไขได้ก็จะส่งสัญญาณแจ้งเตือนให้ผู้ขับขี่ทราบผ่านหลอดไฟแสดงผลความผิดพลาด (Malfunction Indication Lamp : MIL) เพื่อทำการแก้ไขให้ทำงานได้อย่างถูกต้องต่อไป นอกจากนี้ข้อมูลการทำงานที่ผิดพลาดจะถูกเก็บไว้เพื่อเป็นประโยชน์ในการซ่อมและบำรุงรักษารถยนต์ต่อไป

2.3 จุดมุ่งหมายของ OBD

จุดมุ่งหมายของระบบตรวจสอบความขัดข้อง (Onboard Diagnostic System : OBD) คือ ความสามารถในการแจ้งเตือนให้คนขับทราบเมื่อมีระบบการทำงานส่วนใดส่วนหนึ่งในรถยนต์เกิดการทำงานที่ผิดพลาดหรือสภาวะการทำงานที่อันตรายเกินข้อกำหนดมาตรฐานที่ระบุไว้ โดยเตือนผ่านหลอดไฟแสดงผลความผิดพลาด (Malfunction Indicator Lamp : MIL) ซึ่งมักติดตั้งไว้ที่แผงหน้าปัด (Dashboard)

2.4 ประโยชน์ของ OBD

2.4.1 ลดมลภาวะที่เครื่องยนต์ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

เนื่องจากว่า OBD เป็นระบบที่ตรวจสอบเครื่องยนต์ในสภาวะการทำงานต่างๆ ดังนั้นหากมีการติดตั้งระบบนี้ไว้ในรถยนต์ก็เป็นการรับประกันได้ว่าในขณะที่ไม่มีการแจ้งเตือนจากหลอดไฟ MIL เครื่องยนต์จะทำงานในสภาวะปกติ หากเปรียบเทียบกับรถยนต์ที่ไม่ได้ติดตั้ง OBD นั้น จะเห็นได้ว่ารถยนต์ที่ไม่ได้ติดตั้ง OBD จะไม่มีทางทราบข้อขัดข้องของเครื่องยนต์ ซึ่งหากเกิดปัญหาขึ้น เช่น ระบบเผาไหม้มีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ปล่อยมลภาวะที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์สู่อากาศมากกว่าปกติ

2.4.2 ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องยนต์

จากที่กล่าวมาแล้วว่า OBD จะแจ้งเตือนสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ขัดข้องผ่านทางหลอดไฟ MIL ทันทีที่เกิดข้อขัดข้องขึ้นในเครื่องยนต์ซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้ผู้ขับขี่นำรถยนต์เข้าตรวจซ่อมได้ทันท่วงที เมื่อ

เปรียบเทียบกับรถยนต์ที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ OBD จะเห็นได้ว่ารถยนต์ที่ไม่ติดตั้ง OBD จะทราบปัญหาของเครื่องยนต์ก็ต่อเมื่อเครื่องยนต์แสดงอาการขัดข้องออกมาเท่านั้นซึ่งบางครั้งเครื่องยนต์อาจจะเสียไปแล้วก็ได้ เป็นผลให้เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมแพงกว่ารถยนต์ที่ติดตั้งระบบ OBD

2.4.3 สนับสนุนการบริการหลังการขาย

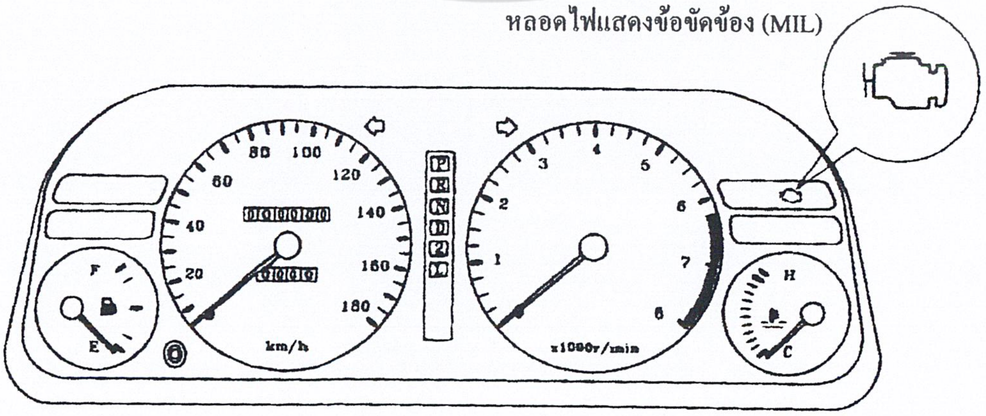
ในปัจจุบันการบริการหลังการขายนับเป็นหัวข้อสำคัญในธุรกิจรถยนต์ในส่วนของการรับประกันเครื่องยนต์ตามอายุการใช้งานซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบ OBD ซึ่งจะคอยตรวจเช็คสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ให้ทำงานได้ตามปกติซึ่งหากเกิดข้อขัดข้องขึ้น OBD ก็จะเก็บข้อมูลไว้เพื่อให้ศูนย์บริการของแต่ละบริษัทไว้ใช้ในการซ่อมบำรุง ดังนั้น OBD จึงมีส่วนทำให้แต่ละบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ได้พัฒนาบริการหลังการขายให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้

2.4.4 ส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องยนต์

ในการพัฒนาเครื่องยนต์รุ่นใหม่ๆ เป็นไปไม่ได้เลยที่จะไม่มีการทดสอบใดๆ เลยในห้องทดลอง OBD เป็นระบบไว้ตรวจสอบสภาวะการทำงานซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงต่อการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องยนต์รุ่นใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไปในอนาคต

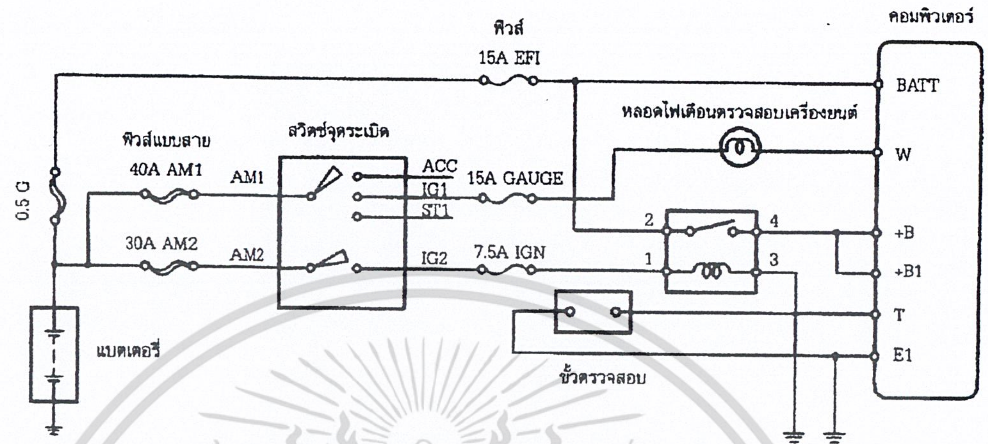
2.5 หลักการทำงานของ OBD

ลักษณะการทำงานของระบบตรวจสอบและแก้ไขข้อขัดข้องในเครื่องยนต์ (Onboard Diagnostic System : OBD) มีการทำงานร่วมกับส่วนคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องยนต์ (ECU) โดยจะตรวจสอบสภาวะการทำงานของแต่ละระบบในเครื่องยนต์โดยรับข้อมูลจากตัวตรวจจับสัญญาณ (Sensor) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าสภาวะมาตรฐานซึ่งค่ามาตรฐานนี้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของระบบ หากข้อมูลที่รับมาเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ OBD ก็จะแจ้งเตือนผู้ขับขี่ทราบผ่านทางหลอดไฟแสดงข้อขัดข้อง (Malfunction Indicator Lamp : MIL) เพื่อที่ว่าผู้ขับขี่จะได้นำรถยนต์เข้าตรวจซ่อม



รูปที่ 2.1 หลอดไฟแสดงข้อขัดข้อง(MIL)

นอกจากนี้ OBD จะเก็บข้อมูลขัดข้องที่เกิดขึ้นไว้ในหน่วยความจำตลอดไปจนกว่าจะมีการลบข้อมูลนี้ออกไป โดยตัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหน่วยความจำของ OBD



รูปที่ 2.2 วงจรไฟฟ้าจ่ายกระแสให้กับ ECU ซึ่งติดตั้ง OBD

2.5.1 รหัสขัดข้อง (Fault Code , Diagnostic Code)

การทำงานของ OBD ในสภาวะการทำงานปกติที่ไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้นกับตัว sensor เมื่อเปิดสวิตช์จุดระเบิด ON หลอดไฟ MIL จะติดสว่างขึ้นและหลอดไฟ MIL จะดับลงก็ต่อเมื่อเครื่องยนต์มีการทำงาน แต่ถ้าเมื่อใดก็ตามที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นในเครื่องยนต์ขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน หลอดไฟ MIL จะติดสว่างขึ้น (ไม่กระพริบ) เพื่อแจ้งเตือนผู้ขับขี่ทราบว่าขณะนี้มีความผิดปกติเกิดขึ้นในระบบควบคุมเครื่องยนต์ เพื่อจะได้นำรถยนต์เข้าตรวจซ่อมต่อไป

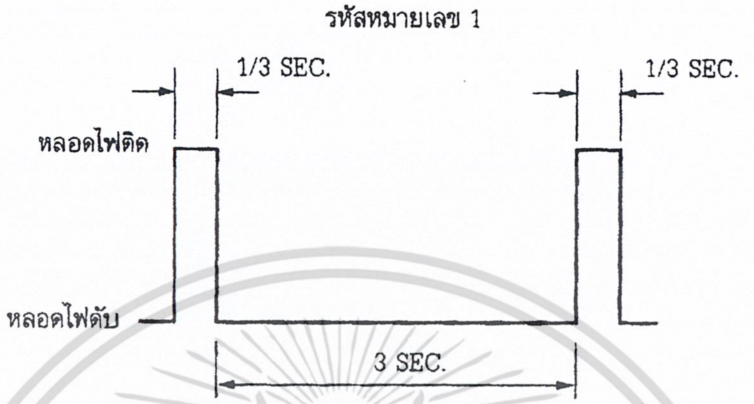
ในการตรวจซ่อม OBD จะสามารถระบุหน่วยหรือระบบในเครื่องยนต์ที่ทำงานผิดปกติได้ โดยแสดงเป็นรหัสขัดข้อง (Fault Code) โดยแสดงเป็นสัญญาณกระพริบของหลอดไฟ MIL แต่จะต้องกระทำในสภาวะที่เครื่องยนต์หยุดการทำงาน สวิตช์จุดระเบิดอยู่ในตำแหน่ง ON และมีการลัดวงจรที่ขั้ว T และ E1 ของ ECU หลอดไฟ MIL จะกระพริบเป็นจังหวะๆ เป็นรหัส แล้วนำรหัสที่แสดงออกมาไปแปลความหมายของข้อขัดข้องจากคู่มือซ่อมของรถยนต์รุ่นนั้นๆ โดยรหัสขัดข้องนี้มี 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนที่เป็นมาตรฐานซึ่งกำหนดโดยสมาคมวิศวกรรมยานยนต์นานาชาติ (Society of Automotive Engineering : SAE) ซึ่งอยู่ในรูปแบบ P0XXX โดยหมายถึงรหัสขัดข้องทั่วไปซึ่งใช้ร่วมกัน และ ส่วนที่บริษัทกำหนดขึ้นเอง ซึ่งอยู่ในรูปแบบ P1XXX หมายถึงรหัสขัดข้องเฉพาะที่แต่ละบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ผลิตเสนอให้จัดทำขึ้น

เนื่องจากโครงงานชิ้นนี้อ้างอิงระบบของ TOYOTA ดังนั้นจึงขออธิบายถึงลักษณะของรหัสขัดข้องของTOYOTA ซึ่งมีใช้อยู่ 2 แบบ คือ แบบรหัส1 ตัวเลข และแบบรหัส 2 ตัวเลข

2.5.1.1 แบบรหัส 1 ตัวเลข

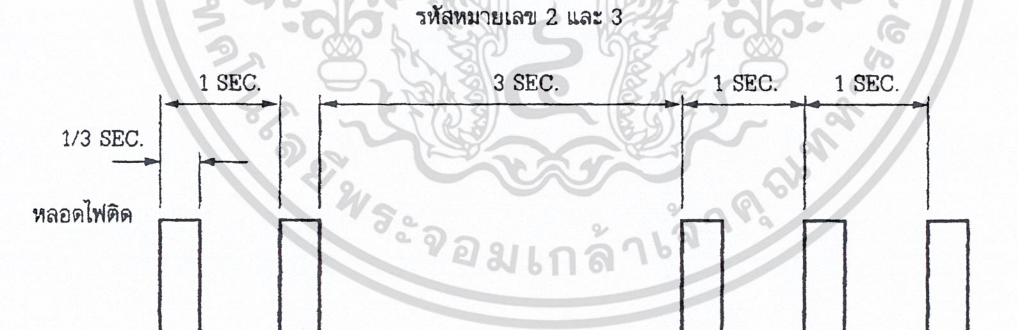
แบบรหัส 1 ตัวเลข จะเป็นการแสดงรหัสขัดข้อง 1 รหัส ด้วยรหัสตัวเลข 1 ตัว โดยแสดงผลการกระพริบของหลอดไฟ 1 ครั้ง แทนรหัสหมายเลข 1 ถ้าหลอดไฟกระพริบ 2 ครั้ง จะแทนรหัสหมายเลข 2 …. หลอด

ไฟกระพริบ 11 ครั้งแทนหมายเลข 11 การติดสว่างของหลอดไฟจะติดนาน 1/3 วินาที ในกรณีที่มีรหัสขัดข้องเกิดขึ้นเพียงรหัสเดียว เช่น รหัสหมายเลข 1 จะมีการกระพริบของหลอดไฟดังรูปด้านล่าง คือหลอด MIL จะติดนาน 1/3 วินาที และดับนาน 3 วินาที สลับกันไปเรื่อยๆ



รูปที่ 2.3 รูปแบบการกระพริบของหลอดไฟ MIL แบบรหัส 1 ตัวเลข รหัสหมายเลข 1

สำหรับกรณีที่มีรหัสขัดข้องเกิดขึ้นหลายรหัส เช่น รหัสหมายเลข 2 และ 3 หลอดไฟ MIL ก็จะแสดงรหัสขัดข้องจากรหัสหมายเลขน้อยไปหารหัสหมายเลขมาก ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

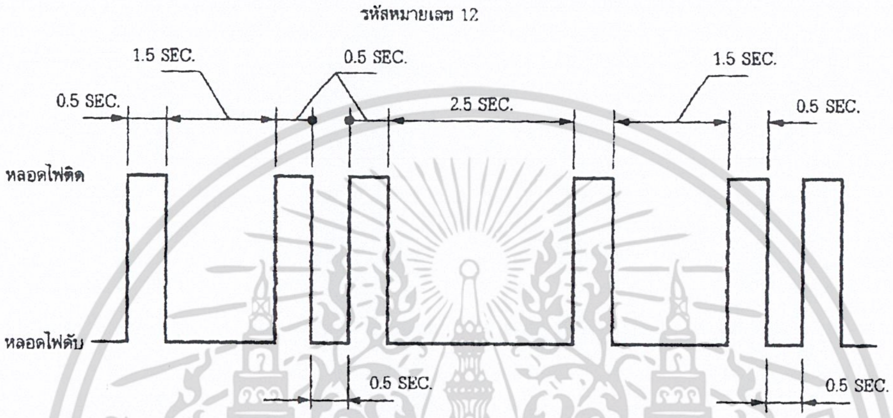


รูปที่ 2.4 การแสดงรหัสข้อขัดข้องแบบ 1 ตัวเลขที่เกิดขึ้นหลายรหัส

จากรูปเป็นการแสดงรหัสขัดข้องหมายเลข 2 และ 3 หลอดไฟ MIL ตรวจสอบเครื่องยนต์จะกระพริบ 2 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 วินาที เพื่อแสดงรหัสหมายเลข 2 แล้วดับ 3 วินาที จากนั้นกระพริบอีก 3 ครั้งแต่ละครั้งห่างกัน 1 วินาที เพื่อแสดงรหัสหมายเลข 3 หลอดไฟจะติดและดับตามรูปแบบนี้วนกันไปเรื่อยๆ จนกว่าจะมีการตัดไฟที่ป้อนให้ OBD หรือถอดสายที่ลัดวงจรระหว่างขั้ว T และ E1 ออก ในกรณีที่มีรหัสมากกว่า 2 รหัส การกระพริบของหลอดไฟ MIL จะเป็นไปในรูปแบบเดียวกัน

2.5.1.2 แบบรหัส 2 ตัวเลข

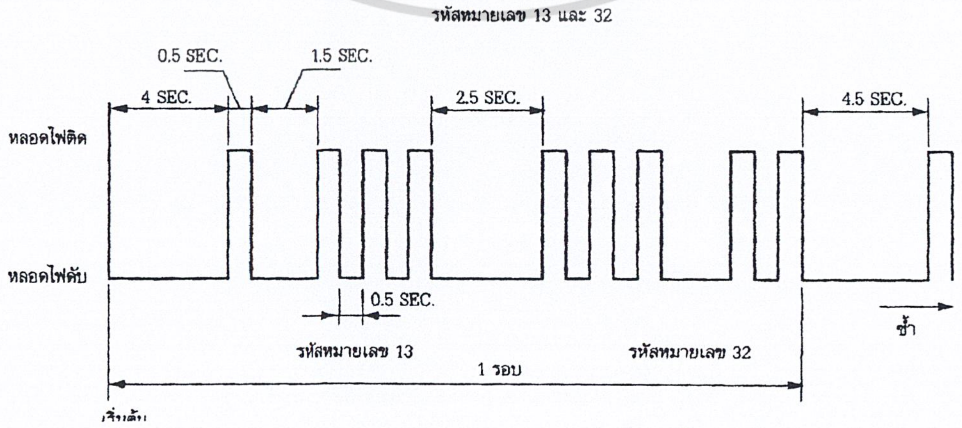
รหัสขัดข้องแบบ 2 ตัวเลข จะมีการแสดงรหัสขัดข้อง 1 รหัสด้วยตัวเลข 2 ตัว เช่น รหัสหมายเลข 12 หลอดไฟจะกระพริบตามรูปแบบ ดังในรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.5 การกระพริบของหลอดไฟ MIL แบบรหัส 2 ตัวเลข รหัสหมายเลข 12

จากรูปหมายเลข 12 หลอดไฟจะติดสว่าง 1 ครั้ง เพื่อแสดงรหัสเลข 1 แล้วดับ 1.5 วินาที จากนั้น จะติดสว่างอีก 2 ครั้ง เพื่อแสดงรหัสเลข 2 รวมเป็นรหัส 12 ในกรณีที่มีรหัสขัดข้อง 1 รหัสการกระพริบจะเกิดซ้ำในรูปแบบเดิม โดยการกระพริบในครั้งที่2 จะห่างจากการกระพริบครั้งแรก 2.5 วินาที

สำหรับกรณีที่มีรหัสขัดข้องเกิดขึ้นมากกว่า 1 รหัส หลอดไฟ MIL จะแสดงข้อขัดข้องน้อยไปหารหัสที่มีตัวเลขมาก เช่น รหัส 13 และหมายเลข 32 จะมีการกระพริบของหลอดไฟตามรูปแบบ ดังในรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.6 การแสดงรหัสขัดข้องแบบ 2 ตัวเลข ที่เกิดขึ้นหลายรหัส

จากรูป การกระพริบของหลอดไฟ MIL จะแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกจะแสดงรหัส 13 และกลุ่มที่สอง จะแสดงรหัส 32 โดยมีการเว้นระยะระหว่างกลุ่ม 2.5 วินาที และเมื่อมีการแสดงผลครบ 2 รหัสแล้ว จะหยุดเว้นระยะเวลาอีก 4.5 วินาที แล้วจึงแสดงซ้ำในรูปแบบเดิมต่อไปจนกว่าจะมีการตัดไฟเลี้ยงคอมพิวเตอร์หรือถอดสายลัดวงจรระหว่างขั้ว T และ E1 ออก ในกรณีที่มีรหัสขัดข้องมากกว่า 2 รหัส การแสดงผลก็จะแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ ละ 2 ตัวเลขและมีการเว้นระยะเวลาระหว่างกลุ่ม 2.5 วินาที

2.5.2 เงื่อนไขการแสดงข้อขัดข้อง

1. ขณะเครื่องยนต์มีการทำงาน แล้วเกิดความผิดปกติเกิดขึ้นกับสัญญาณจาก Sensor OBD จะสั่งการให้หลอดไฟตรวจสอบเครื่องยนต์ติดสว่างขึ้น ซึ่งทำให้ผู้ขับขี่รถยนต์ทราบว่าเกิดสิ่งผิดปกติขึ้นกับระบบควบคุมเครื่องยนต์ เพื่อนำรถยนต์เข้าตรวจซ่อม
2. กรณีที่ต้องการตรวจสอบหาข้อขัดข้องของระบบขณะที่ไม่มีการทำงานของเครื่องยนต์ โดยจะนำข้อมูลที่ผิดปกติซึ่งบันทึกไว้ในหน่วยความจำมาประมวลผล กรณีนี้มักทำที่ศูนย์ซ่อมหลังจากผู้ขับขี่รถยนต์ทราบว่าเกิดข้อขัดข้องขึ้นแล้ว

2.6 OBD II

เนื่องจากว่าโครงงานชิ้นนี้จะอ้างอิงหลักการทำงานของ OBD II ซึ่งเป็นระบบตรวจสอบข้อขัดข้องรุ่นที่สองซึ่งมีลักษณะการทำงานที่น่าสนใจและเป็นมาตรฐานที่ติดตั้งในรถยนต์ในปัจจุบันดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงข้อมูลส่วนที่น่าสนใจของ OBD II

ระบบตรวจสอบความขัดข้องรุ่นที่สอง (Onboard Diagnostic System 2 : OBD II) เป็นระบบที่รถยนต์ส่วนใหญ่ที่วิ่งตามท้องถนนติดตั้งไว้เพื่อตรวจสอบสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่รถยนต์ทุกคันที่ผลิตและจำหน่ายในสหรัฐอเมริกานับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ปี 1996 (หลัง 1 มกราคม ปี 2000 สำหรับรถยุโรป) เป็นต้นมาได้รับการรับประกันแล้วว่าได้ติดตั้งระบบตรวจสอบความขัดข้องเรียบร้อยแล้ว แต่มีรถยนต์บางรุ่นที่ผลิตในปี 1994 และ 1995 ที่ติดตั้ง OBD II แล้ว ดังมีข้อมูลซึ่งอ้างอิงจาก California Air Resources Board (CARB) ตามตารางด้านล่างดังนี้

1994 Model Year Certifications			
Engine Family	**Manufacturer**	**Model(s)**	**Fully Compliant?**
RAD2.8V8GFEM	Audi	100	No
RFM3.8V8G1EK	Ford	Mustang	No
RFM4.6V8G1EK	Ford	T-Bird, Cougar	No
RMB2.2VJGCEK	Mercedes-Benz	C220	No
RMB3.2VJGCEK	Mercedes-Benz	C 280, S 320, SL 320	No
RNS2.0VJGDEK	Nissan	G20	Yes
RTY3.0VJGFEK	Toyota	Camry, ES300	No
RTY2.7HGEEK	Toyota	T100	No
RTY2.42HGEEK	Toyota	Previa, Previa All-Trac	No
RVW2.8V8GFHM	Volkswagen	Corrado	No
RVV2.3VHGFEK	Volvo	850 Turbo	No

ตารางที่ 2.2 แสดงติดตั้ง OBD II ของรถยนต์รุ่นที่ผลิตในปี 1994

1995 Model Year Certifications			
Engine Family	**Manufacturer**	**Model(s)**	**Fully Compliant?**
SBM5.4V8GAEK	BMW	750cl(V12), 850ci(V12)	No
SCR2.0VJGFEK	Chrysler	Dodge Neon, Plymouth Neon	No
SCR122VJG2EK	Chrysler	Dodge Neon, Plymouth Neon	No
SCR2.0VJG2GK	Chrysler	Dodge Neon, Plymouth Neon	
SCR2.0VJGFEL	Chrysler	Dodge Neon, Plymouth Neon	No
SDS2.0VJGFEK	Diamond Star	Eagle Talon, Mitsubishi Eclipse, Chrysler Sebring, Dodge Avenger	No
SFM3.828G1EK	Ford	Windstar	No
SFM3.8V8G1EK	Ford	Mustang	No
SFM4.6V8G1EK	Ford	T-Bird, Cougar	No
SFM4.6V8G1GK	Ford	Grand Marquis, Town Car, Crown Victoria	No
SFM2.318G1EK	Ford	Ranger	No
SFM3.028G1EK	Ford	Windstar	No
SFM3.018G1EK	Ford	Ranger	No
SFM3.028G1FK	Ford	Ranger	No
SFM4.018G1EK	Ford	Ranger	No
SFM4.6VJG1EK	Ford	Continental	No
SFM4.028G1EK	Ford	Ranger	No
S1G3.8V8G1EK	GM	Camaro, Firebird	Yes
S3G4.319GFEJ	GM	S10 Pick-Up, Jimmy, Blazer	No
S3G4.329GFGJ	GM	S10 Pick-Up	No
SIG2.3VJG2GK	GMC	Cavalier, Sunfire	
SHN2.7VJG1EK	Honda	Accord LX, EX (V6)	Yes
SHN2.7VJGFEK	Honda	Accord LX, EX (V6)	Yes
SHN2.5VJGKEK	Honda	TL	Yes
SHN3.0VJGKEK	Honda	NSX	Yes
SJC4.0VJGAEK	Jaguar	AJ16 (SC)	Yes
SJC6.0V8GFFK	Jaguar	V12	No
SJC4.0VJGFEK	Jaguar	XJS	No
SKM1.8VJG1EK	KIA	Sephia	No
STK2.3VJGFEK	Mazda	Millenia	No
STK2.5VJGFEK	Mazda	Millenia	No
STK1.5VJG2EK	Mazda	Protégé	No
STK1.8VJG1EK	Mazda	Protégé	No
SFM2.318G1EK	Mazda*	B2300	No
SFM3.018G1EK	Mazda*	B3000	No
SFM3.028G1FK	Mazda*	B3000	No
SFM4.018G1EK	Mazda*	B4000	No
SFM4.028G1EK	Mazda*	B4000	No
SMB3.6VJGFEK	Mercedes Benz	S 320, C 280, SL 320	Yes
SMT1.5VJG2EK	Mitsubishi	Summit, Mirage	No
SMT1.8VJG2EK	Mitsubishi	Summit, & Summit Wagon, Mirage, Expo, LRV	No
SMT2.4VJG2EK	Mitsubishi	Summit Wagon, Expo, LRV	No
SNS2.4VJGFFK	Nissan	240 SX	Yes

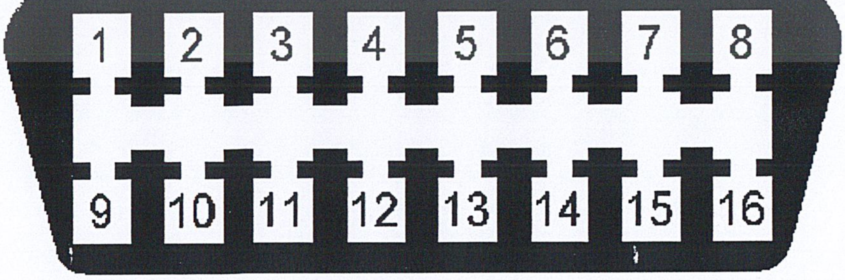
ตารางที่ 2.3 แสดงติดตั้ง OBD II ของรถยนต์รุ่นที่ผลิตในปี 1995

1995 Model Year Certifications			
Engine Family	Manufacturer	Model(s)	Fully Compliant?
SNS2.0VJGFFK	Nissan	G20	Yes
SNS3.0VJG1EK	Nissan	Maxima	No
SNS3.0VJG1FK	Nissan	Maxima	No
SNS2.4VJG2EK	Nissan	Altima	Yes
SNS1.6VJG2EK	Nissan	Sentra/200 SX	Yes
SNS2.0VJGFEK	Nissan	200SX SE-R	Yes
SNS3.0VJG1EK	Nissan	Maxima	No
SLR4.0H8GOEK	Rover	Range Rover New Model	No
SFJ2.2VJGFEK	Subaru	Legacy	Yes (A/T models only)
STY3.41JG1GK	Toyota	T100 2WD	Yes
STY3.42JG1GK	Toyota	T100 2WD & 4WD	Yes
STY3.0VJGFEK	Toyota	Camry, Camry Wagon, ES300, Avalon	Yes
STY2.42HGJEK	Toyota	Previa, Previa All-trac	No
STY2.71HGEEK	Toyota	T100 2WD	Yes
STY1.5VHGFEK	Toyota	Tercel	No
STY4.0VJG1GK	Toyota	LS 400	No
STY2.41HG1GK	Toyota	Tacoma 2WD	No
STY2.71HG1GK	Toyota	Tacoma 4WD	No
STY3.41JGFEK	Toyota	Tacoma 2WD/4WD	No
STY3.42JGFEK	Toyota	Tacoma 4WD	No
STY4.55JGFEK	Toyota	Land Cruiser	No
SVV2.3VJGFEK	Volvo (TC)	850 Turbo Sedan/Wagon	No
SVV2.4VJGFEK	Volvo	850 Sedan/Wagon	Yes

ตารางที่ 2.3 แสดงติดตั้ง OBD II ของรถยนต์รุ่นที่ผลิตในปี 1995(ต่อ)

2.6.1 วิธีสังเกตว่ารถยนต์ติดตั้ง OBD II

1. มีตัวเชื่อมต่อมาตรฐาน (Data Link Connector : DLC) ของระบบตรวจสอบความขัดข้อง ลักษณะตามรูปด้านล่าง ซึ่งส่วนมากคอนเนคเตอร์ (Connector) มักติดตั้งอยู่ด้านหลังแผงหน้าปัด (Dash Board)



รูปที่ 2.7 ลักษณะตัวเชื่อมต่อมาตรฐานของระบบตรวจสอบความขัดข้อง

Pin 2 - J1850 Bus+

Pin 4 - Chassis Ground

Pin 5 - Signal Ground

Pin 6 - CAN High (J-2284)

Pin 7 - ISO 9141-2 K Line

Pin 10 - J1850 Bus

Pin 14 - CAN Low (J-2284)

Pin 15 - ISO 9141-2 L Line

Pin 16 - Battery Power

2. มีข้อความบนสติกเกอร์หรือแผ่นป้ายชื่อที่ติดอยู่ที่ฝาครอบเครื่องยนต์ระบุคำว่า “OBD II Compliant”

2.6.2 มาตรฐานการเชื่อมต่อของระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องรุ่นที่สอง (OBD II Protocol)

ถึงแม้ว่าลักษณะของข้อมูลที่ระบบตรวจสอบความขัดข้องต้องการนั้นจะมีลักษณะเฉพาะรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น แต่ในส่วนของผู้ผลิตรถยนต์เองก็มีอิสระในการกำหนดมาตรฐานการสื่อสารขึ้นมาเองเช่นกันด้วยเหตุผลดังกล่าว มาตรฐานการสื่อสารของ OBD ในปัจจุบันจึงมีใช้อยู่ 3 ลักษณะ

1. SAE J1850 VPM (variable pulse width Modulation) เป็นมาตรฐานที่ติดตั้งในรถยนต์ที่ผลิตโดยบริษัท GM และรถกระบะ

2. ISO 9141 เป็นมาตรฐานที่ติดตั้งในรถยนต์ของบริษัท Chrysler รถยนต์ทั้งหมดที่ผลิตในยุโรปและรถยนต์ส่วนใหญ่ที่ผลิตในเอเชีย

3. SAE J1850 PWM (Pulse width Modulation) เป็นมาตรฐานที่ติดตั้งในรถยนต์ Ford

วิธีสังเกตว่ารถยนต์ที่ผลิตตั้งแต่ปี 1996 เป็นต้นมามีระบบตรวจสอบข้อขัดข้องแบบใดสามารถพิจารณาได้ดังนี้

J1850 VPW	ตัวคอนเนคเตอร์มีโลหะติดไว้ที่ขา **2, 4, 5,** และ **16,** แต่ไม่ติดไว้ที่ขา **10**
ISO 9141-2	ตัวคอนเนคเตอร์มีโลหะติดไว้ที่ขา **4, 5, 7, 15,** และ**16**
J1850 PWM	ตัวคอนเนคเตอร์มีโลหะติดไว้ที่ขา **2, 4, 5, 10,** และ **16**

บางครั้งอาจจะพบรูปแบบของคอนเนคเตอร์รูปแบบใดรูปแบบหนึ่งในรถยนต์รุ่นที่ผลิตก่อนปี 1996 ซึ่งไม่ถือว่าเป็น OBD II

2.6.3 ฟังก์ชันการทำงานที่น่าสนใจและทิศทางการพัฒนาของ OBD II

2.6.3.1 ข้อมูลบริการ (Service Information)

ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ต้องการข้อมูลบริการไว้เพียงแค่ใช้ในการซ่อมแซมข้อขัดข้องของเครื่องยนต์เท่านั้น โดยข้อมูลบริการดังกล่าวแต่ละบริษัทจะมีรูปแบบข้อมูลเป็นของตนเองซึ่งยังไม่สะดวกต่อการนำไปใช้งานในด้านอื่นมากนัก ยกตัวอย่างเช่น การส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย เป็นต้น

ในอนาคตโดยเริ่มต้นตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ปี 2002 เป็นต้นไป บริษัทผลิตรถยนต์แต่ละรายจะต้องสร้างข้อมูลบริการให้สอดคล้องมาตรฐานใหม่ที่ซึ่ง SAE เป็นผู้กำหนดขึ้นเพื่อเป็นประโยชน์ในการนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ในด้านอื่นๆ ต่อไป

2.6.3.2 ระบบตรวจสอบการจุดระเบิดขัดข้อง (Misfire Monitoring)

แม้ว่าในปัจจุบันนี้บริษัทผู้ผลิตรถยนต์ได้รับประกันว่าหลอดไฟ MIL จะทำงานแสดงผลในระบบการจุดระเบิดซึ่งมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ก็ตามแต่ก็เป็นการยากที่จะหาข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นถ้ามันเกิดขึ้นภายในระบบที่หลอดไฟ MIL ทำงานผิดพลาดเอง ซึ่งจะส่งผลเสียต่อการตรวจสอบข้อขัดข้องของระบบจุดระเบิดในเครื่องยนต์

ซึ่งการพัฒนาในอนาคตผู้ผลิตจะพัฒนาระบบตรวจสอบการจุดระเบิดให้มีความแม่นยำมากขึ้นเพื่อแก้ปัญหานี้

2.6.3.3 รหัสขัดข้อง (Fault Code)

ปัจจุบันรหัสขัดข้องเป็นข้อมูลที่ช่างเทคนิคนำไปใช้ในการบำรุงรักษาและซ่อมแซมเครื่องยนต์ ซึ่งรูปแบบมาตรฐานของรหัสขัดข้องที่ใช้ในปัจจุบันที่ใช้คือ SAE J2012 โดยรวบรวมข้อมูลข้อขัดข้องของแต่ละระบบการทำงานภายในเครื่องยนต์ไว้โดยรหัสขัดข้องมีทั้งส่วนที่ระบุเฉพาะอุปกรณ์ที่ทำงานผิดพลาดซึ่งเรียกว่า “รหัสขัดข้องทั่วไป” และรหัสขัดข้องที่ระบุถึงอาการที่เสียด้วยซึ่งเรียกว่า“รหัสขัดข้องเฉพาะ” ซึ่งบางบริษัทใช้เพียงแค่รหัสขัดข้องทั่วไปเท่านั้นในการระบุอุปกรณ์ที่ผิดพลาดและให้ผู้ขับขี่นำรถยนต์เข้าศูนย์ซ่อมเพื่อหาอาการที่ขัดข้องต่อไป

ตามมาตรฐาน SAE J2012 รหัสขัดข้องซึ่ง SAE กำหนดให้มีรูปแบบรหัส “P0XXX” ซึ่งสามารถตรวจสอบหาความหมายได้จากเครื่องตรวจวัดมาตรฐานทั่วไป (General Tool) นอกจากนี้ยังมีรหัสขัดข้องที่ทางผู้ผลิตรถยนต์กำหนดขึ้นซึ่งจะมีรูปแบบรหัสเป็น ”P1XXX” ซึ่งการแปลความหมายจากรหัสขัดข้องดังกล่าวต้องใช้เครื่องมือตรวจวัดของบริษัทที่ระบุรหัสเอง เรียกเครื่องมือที่ว่านี้ว่า“Dealer Tool”

รหัสขัดข้องที่ผู้ผลิตรถยนต์กำหนดขึ้นนี้บางส่วนใช้งานไม่เหมาะสมซึ่งทาง SAE กำลังตรวจสอบอยู่ในขณะนี้เพื่อระบุความหมายให้ถูกต้องต่อการใช้งานต่อไป

2.6.3.4. ระบบตรวจสอบออกซิเจนและอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมัน

ผู้ผลิตรถยนต์ส่วนใหญ่ใช้ตัวตรวจจับออกซิเจนขั้นที่สอง (Secondary Sensor) ในการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับออกซิเจนขั้นแรก (Primary Sensor) ซึ่งตัวตรวจจับออกซิเจนขั้นที่สองจะเก็บข้อมูลมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบกับเอาไว้ซึ่งข้อมูลที่รับมาหากเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด ตัวตรวจจับออกซิเจนขั้นที่สองจะทำการเก็บข้อมูลข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นไว้และแจ้งเตือนผู้ขับขี่ผ่านหลอดไฟ MIL

จะเห็นได้ว่าหากตัวตรวจจับออกซิเจนขั้นที่สองทำงานผิดพลาดขึ้นมาเอง เช่น การแจ้งเตือนผู้ขับขี่ทราบว่าเกิดข้อขัดข้องในเครื่องยนต์ทั้งๆ ที่เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างเป็นปกติ เป็นต้น ก็จะให้เกิดผลเสียทำให้ผู้ขับขี่นำรถเข้าศูนย์ซ่อมโดยไม่จำเป็น จากเหตุผลดังกล่าวการพัฒนาในระยะต่อไปก็คือการที่ OBD สามารถ

ตรวจสอบการทำงานของตัวตรวจจับออกซิเจนได้ทั้งตัวตรวจจับสัญญาณขั้นแรกและตัวตรวจจับออกซิเจนขั้นที่สอง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 3
หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์
(Electronic Control Unit : ECU)

3.1 ความหมายของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Unit : ECU)

หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Control Unit : ECU) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมระยะเวลาในการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดให้ได้อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับความต้องการของเครื่องยนต์ในสภาวะการทำงานต่างๆ

หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ จะรับสัญญาณความเร็วรอบเครื่องรอบเครื่องยนต์สัญญาณปริมาณอากาศหรือสัญญาณแรงดันอากาศในท่อร่วมไอดี สัญญาณอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น และสัญญาณสภาวะการทำงานต่างๆ ของเครื่องยนต์จากตัว เซนเซอร์แล้วกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ในขณะนั้น

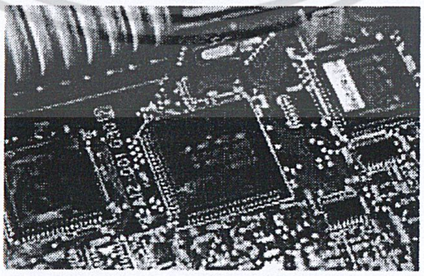
3.2 ส่วนประกอบสำคัญของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

3.2.1 CPU (Central Processor Unit)

คือ หน่วยประมวลผลที่ทำหน้าที่รับข้อมูลจาก sensor ที่ผ่านระบบ A/D แล้วนำมาคำนวณการฉีดน้ำมันและองศาการจุดระเบิดแล้วส่งต่อให้ระบบควบคุมฉีดและจุดระเบิดตามคำสั่งของ CPU โดย CPU ที่นำมาใช้ควบคุมการทำงานของกล่อง ECU สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. ระบบประมวลผลเดี่ยว (Single Processor System)

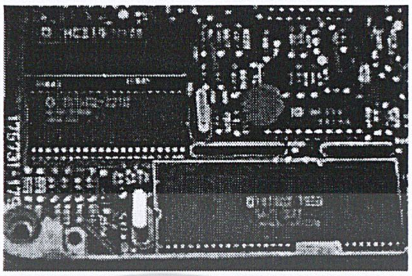
คือ หน่วยประมวลผลที่ใช้ CPU เพียงตัวเดียวในการประมวลผลทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นในส่วนของการจุดระเบิด หรือการฉีดน้ำมัน ดังนั้น CPU ที่ใช้จึงต้องมีขีดความสามารถสูง เช่น ECU ของ HONDA, NISSAN เป็นต้น



รูปที่ 3.1 ระบบ Single Processor ในกล่อง ECU ของ Nissan

2. ระบบประมวลผลหลายตัว (Multi Processor System)

คือ หน่วยประมวลผลที่ใช้ CPU ในการประมวลผลควบคุมระบบการทำงานอย่างละตัว ดังนั้นขีดความสามารถของ CPU จึงไม่จำเป็นต้องสูงมากนัก มักพบในระบบ ECU ของบริษัท Nippon Denso เช่น TOYOTA, MAZDA เป็นต้น



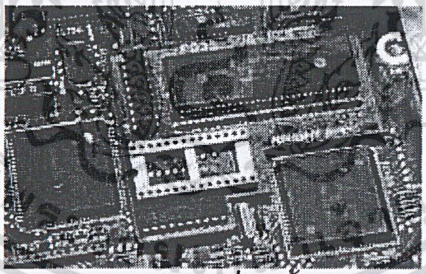
*รูปที่ 3.2 ระบบ **Multi Processor** ในกล่อง **ECU** ของ **NIPPON DENSO***

3.2.2 ROM (Read Only Memory)

คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกโปรแกรมการทำงานของกล่อง ECU โดยข้อมูลที่บันทึก เช่น ข้อมูลการสั่งจ่ายน้ำมัน และข้อมูลการจุดระเบิด เป็นต้น ซึ่งตามระบบการผลิต ECU สามารถจำแนก ROM ออกเป็นสองประเภทคือ

1. Internal ROM

คือ รอม (ROM) ชนิดที่ตัวชิพของรอมฝังตัวอยู่ภายในชิพของ CPU โดยรอมชนิดนี้ไม่สามารถนำมาเปลี่ยนข้อมูลภายในได้หากต้องการก็ต้องเปลี่ยนใหม่ทั้ง CPU เลย หรือติดตั้ง Daughter Board เพื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบ External ROM

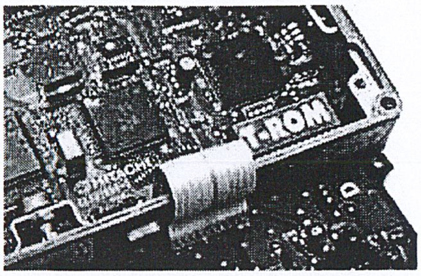


รูปที่ 3.3 กล่อง ECU RX7 ที่ติดตั้ง Daughter Board

2. External ROM

คือ รอมชนิดที่ชิพติดตั้งอย่ภายนอกชิพของ CPU โดยรอมชนิดนี้สามารถนำมา modify ได้ง่ายโดยการถอดเปลี่ยนรอม

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูป 3.4 กล่อง RB20DET เป็นชนิด External ROM

ตัวอย่างของรอมชนิดต่างๆ

1) เบอร์ 27512 ขนาด 64Kbyte 8 Bit มักพบในกล่อง Modify ที่ทำเป็น Switchเลือกได้ 2 โปรแกรมเช่น HONDA, NISSAN บางรุ่น ซึ่งจริงๆ แล้วมันก็เหมือนกับมี RO M 27256 2ตัว บรรจุโปรแกรม 2 แบบ

2) เบอร์ 27256 ขนาด 32Kbyte 8 Bit ใช้ใน HONDA B16A รุ่น EG, H22A รุ่นมีROM NISSAN SR20DET, RB20DET, RB26DET

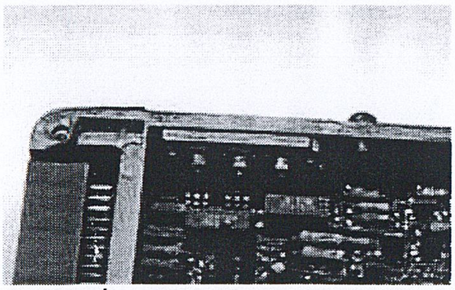
3) เบอร์ 27128 ขนาด 16Kbyte 8 Bit ใช้ใน MITSUBISHI VR4, EVOLUTION, NISSAN CA18DET

3.2.3 A/D (Analog to Digital Converter)

คือส่วนประกอบของ ECU ทำหน้าที่แปลงสัญญาณฟ้า (Voltage) ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog) ที่ได้รับจาก Sensor ต่างๆ ให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ซึ่ง CPU จะนำไปประมวลผล A/D ที่ดีนั้นจะต้องมีจำนวนบิตที่สูงเพื่อให้ค่าที่แปลงมามีความละเอียดมาก ทำให้การสั่งงานในระบบต่างๆ ดีขึ้น เช่น การสั่งจ่ายน้ำมันมีความแม่นยำมากขึ้น

3.2.4 I/O Unit คือหน่วยรับและส่งข้อมูลของระบบ

1. วงจร Sensor Interface คือวงจรที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยรับข้อมูล (Input Unit) จะประกอบด้วยวงจรกรองสัญญาณเพื่อตัดสัญญาณรบกวนออก และป้องกันการ Short จาก Sensor และวงจร Pre Amplifier เพื่อขยายสัญญาณให้มีความชัดเจนขึ้น



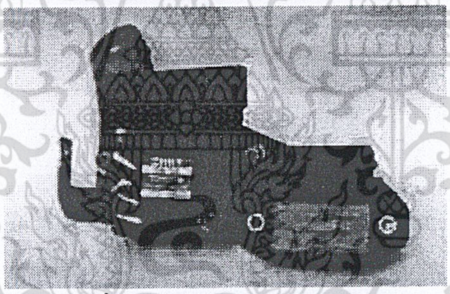
รูปที่ 3.5 วงจร Sensor Interface

46150

2. วงจร Injection Driver คือวงจรที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยส่งข้อมูล (Output Unit) ซึ่งหมายถึงจังหวะในการฉีดของหัวฉีด วงจร Injection Driver มักติดตั้งอยู่กับขอบกล่อง ECU เนื่องจากต้องการการระบายความร้อนที่ดี

3. วงจร Ignition Output คือวงจรที่ทำหน้าที่เป็นหน่วยส่งสัญญาณ (Output Unit) ซึ่งก็คือจังหวะการจุดระเบิดไปยังตัวช่วยจุดระเบิด (Ignition Module) เนื่องจากไม่ได้ส่งสัญญาณขับ Coil จุดระเบิดโดยตรงจึงไม่ต้องการการระบายความร้อนที่ดีนักอาจพบว่าติดตั้งตามขอบกล่อง ECU หรือติดตั้งที่ใดที่หนึ่งก็ได้

รูปที่ 3.6 วงจร Ignition Output



รูปที่ 3.7 วงจร Ignition Module

4. วงจร Idle Speed Control Output คือวงจรที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณควบคุมไปยังมอเตอร์ควบคุมการเดินรอบเบา

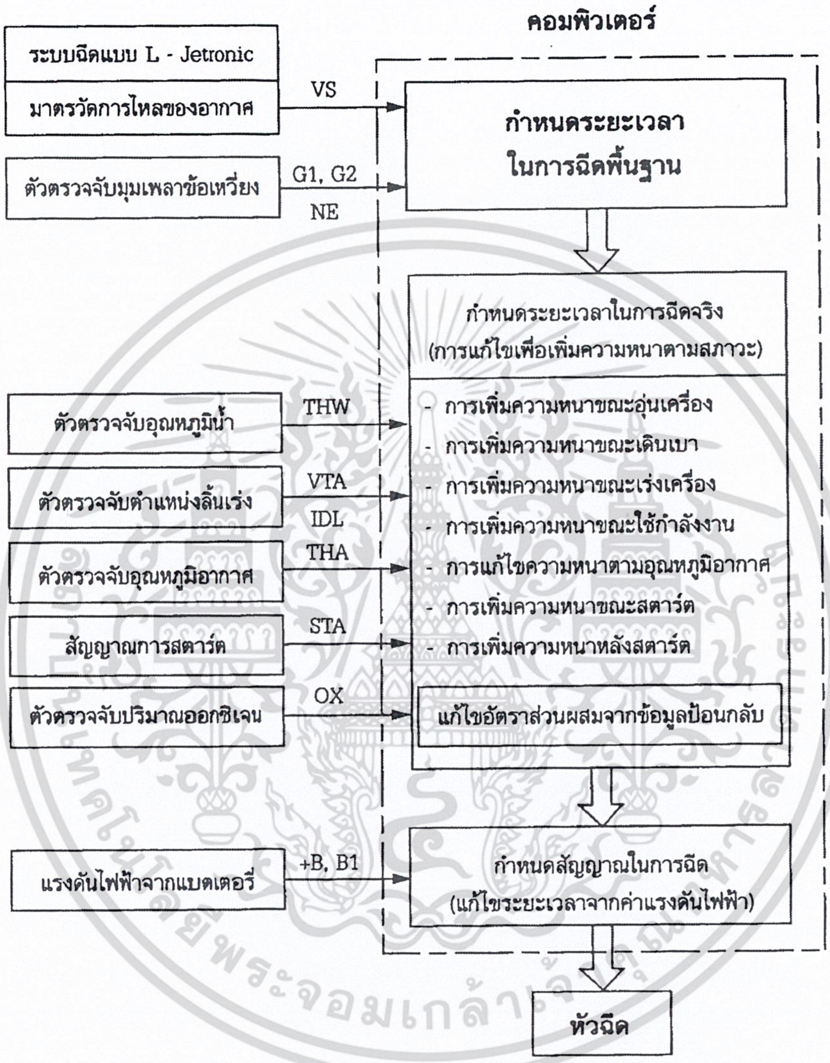
5. วงจร Optional Output คือวงจรที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปยัง อุปกรณ์เสริมต่างๆ เช่น VTEC, Vacuum Air, Vacuum Switch Valve ของ Waste Gate, Super Charger Relay, Relay พัดลมไฟฟ้า เป็นต้น

3.3 หน้าที่ของหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

3.3.1 ควบคุมระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Electronic Fuel Injection System : EFI)

หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ หรือกล่อง ECU จะรับสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์สัญญาณปริมาณอากาศหรือสัญญาณแรงดันอากาศในท่อร่วมไอดี สัญญาณอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น และสัญญาณ

สภาวะต่างๆ ของเครื่องยนต์จาก Sensor แล้วกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ในขณะนั้น



รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงการกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันของ ECU

3.3.2 ควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า (Electronic Spark Advance : ESA)

ระบบควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า (ESA) ถูกนำมาใช้แทนชุดเร่งไฟกลไก (mechanical Governor advance) และชุดเร่งไฟสุญญากาศ (vacuum advance mechanism) ที่มีใช้ในเครื่องยนต์ทั่วไป องศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมในแต่ละสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์จะถูกเก็บไว้ใน ROM ของ ECU โดยขณะเครื่องยนต์ทำงาน ECU จะได้รับข้อมูลสภาวะต่างๆ จาก Sensor หลังจากนั้น ECU จะเลือกค่าองศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมจากหน่วยความจำที่บันทึกไว้ จากนั้น ECU จะส่งสัญญาณการจุดระเบิดไปยังตัวช่วยจุดระเบิด (Igniter) เพื่อสร้างประกายไฟจุดระเบิดตามค่าที่ได้กำหนดไว้

3.3.3 ควบคุมความเร็วรอบเดินเบา (Idle Speed Control : ISC)

ค่าความเร็วรอบเดินเบาในแต่ละสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์จะถูกบันทึกไว้ใน ROM ของ ECU โดยขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน ECU จะได้รับสัญญาณที่เกี่ยวข้อง เช่น สัญญาณอุณหภูมิน้ำ สัญญาณการสตาร์ค สัญญาณการทำงานของเครื่องปรับอากาศ สัญญาณภาระทางไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่ง ECU จะเพิ่มความเร็วรอบเดินเบาของเครื่องยนต์ให้เหมาะสม โดยส่งสัญญาณไฟฟ้าไปควบคุมวาล์วสำหรับเพิ่มอากาศเข้าเครื่องยนต์ เพื่อให้เครื่องยนต์มีความเร็วรอบเดินเบาสูงขึ้นเหมาะสมกับสภาวะการทำงาน

3.3.4 การวินิจฉัยข้อขัดข้อง (Diagnosis)

ECU จะบรรจุระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องด้วยตัวเองไว้ภายใน สำหรับแสดงผลข้อขัดข้องของ Sensor แต่ละตัว เมื่อใดก็ตามที่ ECU ตรวจพบความผิดปกติ ECU จะส่งสัญญาณเตือนให้ผู้ขับขี่รถยนต์ทราบด้วยสัญญาณไฟตรวจสอบเครื่องยนต์ (check engine) ซึ่งติดตั้งไว้ในแผงหน้าปัดของรถยนต์และในเวลาเดียวกัน ECU จะบันทึกความผิดปกติของ sensor ลงในหน่วยความจำ ข้อมูลผิดปกตินี้จะไม่ถูกลบออกไป แม้ว่าสวิตซ์จุดระเบิด (ignition switch) จะถูกปิด ดังนั้นเราจึงสามารถเรียกข้อมูลจากหน่วยความจำขึ้นมาดูได้ เมื่อต้องการหาข้อขัดข้องขณะทำการตรวจซ่อม

3.3.5 ป้องกันการทำงานบกพร่อง (Fail — Safe Function)

เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ ในกรณีที่ตัวตรวจจับสัญญาณตัวใดตัวหนึ่งมีการทำงานบกพร่อง ECU จะพิจารณาสัญญาณที่ได้รับกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำว่าควรจะให้เครื่องยนต์ทำงานต่อไปหรือหยุดทำงาน

นอกจากนี้ในเครื่องยนต์บางรุ่น ECU ยังมีหน้าที่ควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง ควบคุมระบบประจุอากาศแบบเปลี่ยนแปลงได้ ควบคุมหัวฉีดสตาร์ทเย็น และยังมีระบบการทำงานสำรองหรือระบบช่วยเพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานต่อไปได้ (แต่ไม่ปกติ) ในกรณีที่มีการขาดวงจรของสัญญาณไอดีหรือสัญญาณจังหวะการจุดระเบิดขัดข้อง

บทที่ 4
ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์
(Electronic Fuel Injection System : EFI)

ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์(Electronic Fuel Injection System : EFI) หรือที่เรียกว่า ระบบ EFI เป็นระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ โดยใช้หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) ควบคุมระยะเวลาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดให้ได้อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับความต้องการของเครื่องยนต์ในสภาวะการทำงานต่าง ๆ

ในปัจจุบัน ระบบ EFI แบบธรรมดา คือ ระบบ EFI ที่ควบคุมโดยใช้ ECU ทำหน้าที่ 2 ประการ คือ ควบคุมจังหวะการฉีด และควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด

4.1 ความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

ปัจจุบันเครื่องยนต์แก๊สโซลีนได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น คือนอกจากจะพยายามทำให้ได้กำลังสูงสุดแล้ว ยังต้องมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและเกิดมลภาวะเป็นพิษจากแก๊สไอเสียน้อยที่สุดอีกด้วย ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญปลายประการด้วยกัน คือ

1. อัตราส่วนการอัด
2. กระบวนการในการเผาไหม้
3. อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้ากระบอกสูบ
4. การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์

อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิง นับเป็นสิ่งจำเป็นมากอย่างหนึ่งที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ หากอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้ากระบอกสูบไม่เหมาะสม จะเป็นเหตุให้เครื่องยนต์มีกำลังงานต่ำ สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และเกิดคาร์บอนมอนออกไซด์(CO) มาก ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อร่างกายของมนุษย์

4.1.1 อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิง

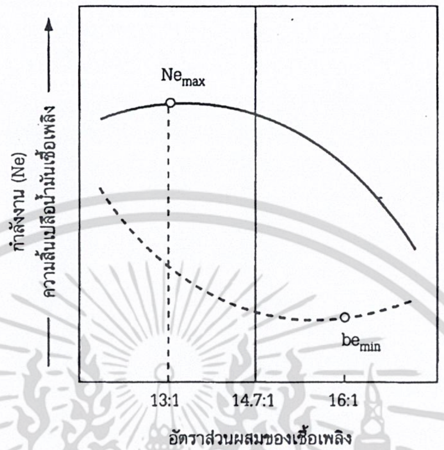
อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี คือ อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 14.7:1 หรือประมาณ 15:1 เมื่อคิดโดยน้ำหนัก กล่าวคือ จะต้องใช้อากาศหนัก 14.7 Kg ต่อน้ำมันเบนซิน 1 Kg หรือถ้าคิดโดยปริมาตรจะต้องใช้อากาศจำนวน 10,000 ลิตร ต่อน้ำมันเบนซิน 1 ลิตร

อัตราส่วนผสมหนา(Rich mixture) คือ อัตราส่วนผสมน้อยกว่า 14.7:1 เช่น 13:1 ซึ่งเป็นส่วนผสมที่อากาศน้อยกว่าทฤษฎี

อัตราส่วนผสมบาง(Lean mixture) คือ อัตราส่วนผสมมากกว่า 14.7:1 เช่น 16.7:1 ซึ่งเป็นส่วนผสมที่อากาศมากกว่าทฤษฎี

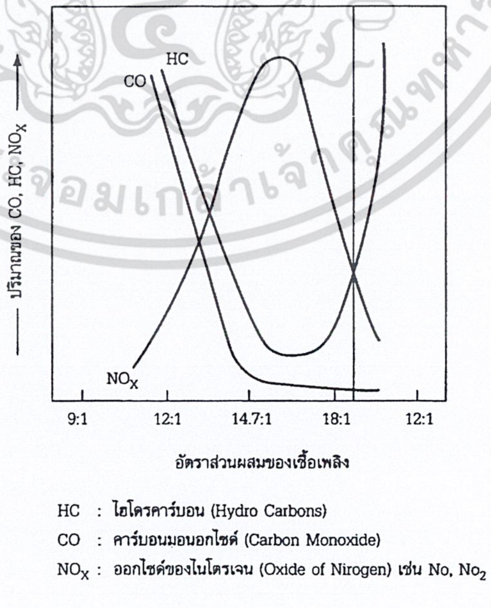
4.1.2 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง VS ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและกำลังงานของเครื่องยนต์

อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ประมาณ 16:1(be_{min}) เป็นอัตราส่วนผสมที่มีความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยที่สุด และอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงประมาณ 12-13.1:1(Ne_{max}) จะเป็นอัตราส่วนผสมที่ให้กำลังสูงสุด และในช่วงส่วนผสมที่หนากว่าอัตราส่วนผสมตามทฤษฎีจะเป็นช่วงที่ให้อัตราการเร่งดีเนื่องจากกราฟพุ่งขึ้นสู่ค่าสูงสุด



รูปที่ 4.1 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง VS ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและกำลังงานของเครื่องยนต์

4.1.3 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง VS ส่วนประกอบของไอเสีย



รูปที่ 4.2 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง VS ส่วนประกอบของไอเสีย

ในแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์จะประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ ที่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์คือ

- แก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์(Carbon Monoxide : CO)
- ออกไซด์ของไนโตรเจน(Oxide of Nitrogen : NO,NO_2)
- ไฮโดรคาร์บอน(Hydro Carbons : HC)

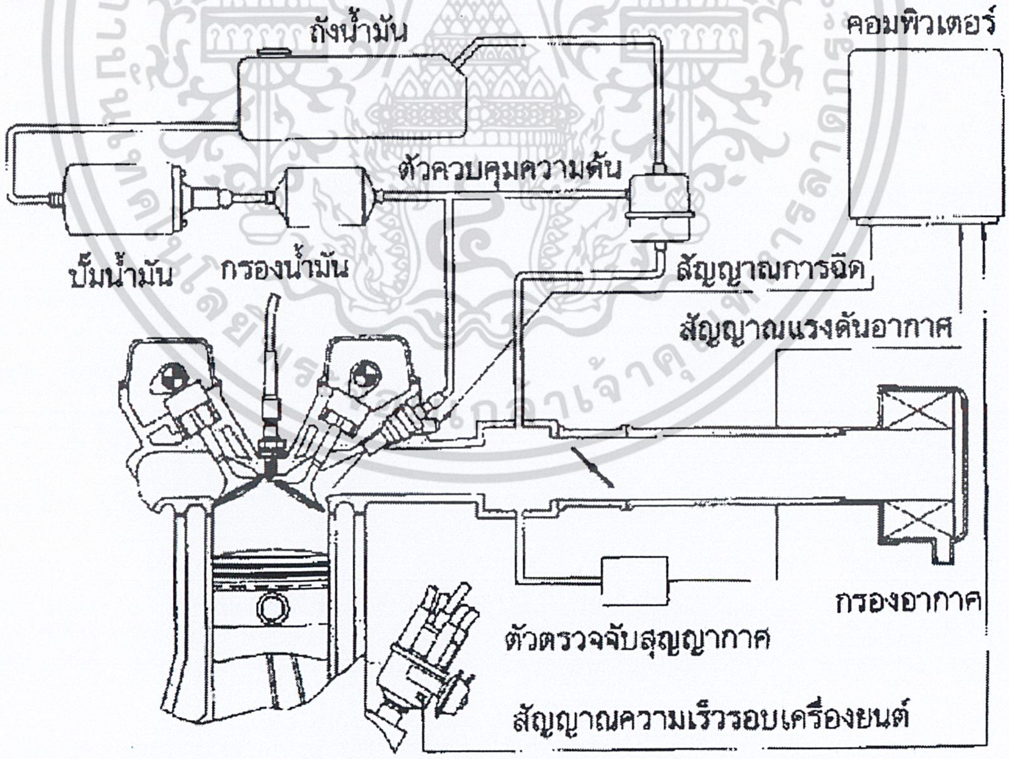
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับส่วนประกอบของไอเสีย ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนผสมหนาจะเกิดแก๊สคาร์บอนมอนออกไซด์(CO) และไฮโดรคาร์บอนมาก และที่ใกล้เคียงกับส่วนผสมตามทฤษฎี จะเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) มาก

4.2 ชนิดของระบบ EFI

ปัจจุบันแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ๆ โดยจะมีความแตกต่างกันตามวิธีของการวัดปริมาณอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบ ดังนี้

4.2.1 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ D-Jetronic

ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ D-Jetronic หรือเรียกว่า EFI แบบ D เป็นระบบฉีดที่มีการควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด โดยวิธีการวัดแรงดันของอากาศในท่อร่วมไอดี ด้วยตัวตรวจจับสุญญากาศ แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดของหัวฉีดที่เหมาะสมกับปริมาณอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบ



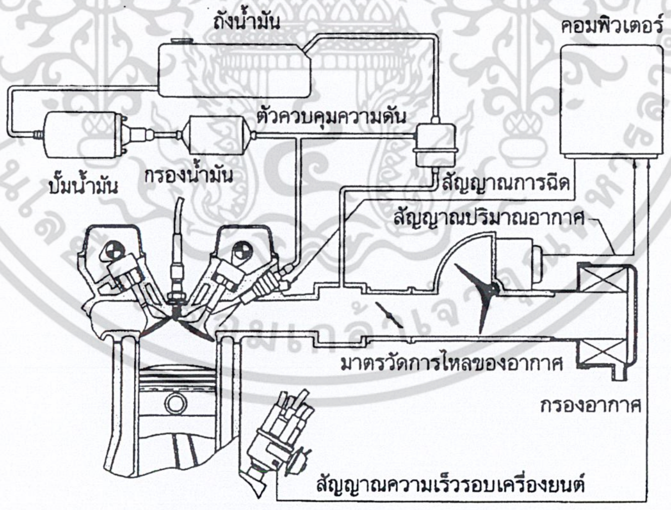
รูปที่4.3 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ D-Jetronic

หลักการทำงาน

ขณะที่เครื่องยนต์มีความเร็วรอบต่ำ ลิ้นเร่งจะเปิดให้อากาศไหลผ่านเข้ากระบอกสูบน้อย ความดันของอากาศในท่อร่วมไอดีจะต่ำ(เป็นสุญญากาศมาก) ตัวตรวจจับสุญญากาศ(vacuum sensor) จะส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับแรงดันอากาศในท่อร่วมไอดีขณะนั้น ป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ให้กำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงน้อย และในทางตรงกันข้าม หากลิ้นเร่งเปิดให้อากาศไหลเข้ากระบอกสูบมาก(ขณะเร่งเครื่องยนต์) ความดันอากาศในท่อร่วมไอดีจะสูงขึ้น(เป็นสุญญากาศน้อย) ตัวตรวจจับสุญญากาศจะส่งสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ให้กำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น

4.2.2 ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ L-Jetronic

ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ L-Jetronic หรือเรียกว่า EFI แบบ L เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบ EFI แบบ D-Jetronic ซึ่งมีการวัดปริมาณอากาศที่ไหลเข้ากระบอกสูบจากแรงดันอากาศในท่อร่วมไอดี แต่เนื่องจากปริมาตรกับแรงดันของอากาศมีสัดส่วนแปรผันไม่คงที่แน่นอน กล่าวคือ ปริมาตรของอากาศไม่แปรผันตรงกับแรงดัน ทำให้การวัดปริมาณอากาศจากค่าแรงดันไม่ค่อยตรง จึงเป็นเหตุให้คอมพิวเตอร์กำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงขาดความเที่ยงตรงไปด้วย จากเหตุผลดังกล่าว ในระบบฉีดแบบ L-Jetronic จะทำการวัดปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบโดยตรง โดยใช้มาตรวัดการไหลของอากาศ(air flow meter) เป็นตัวตรวจจับปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบ แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสม

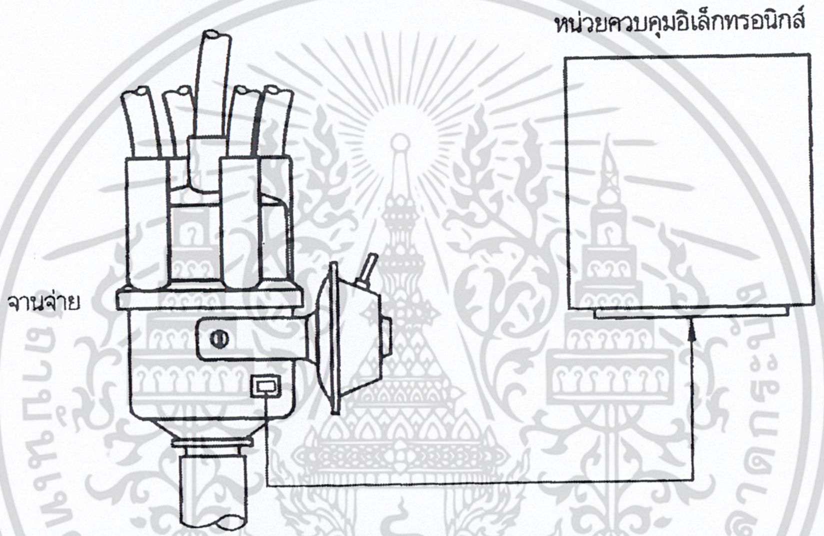


รูปที่4.4ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ แบบ L-Jetronic

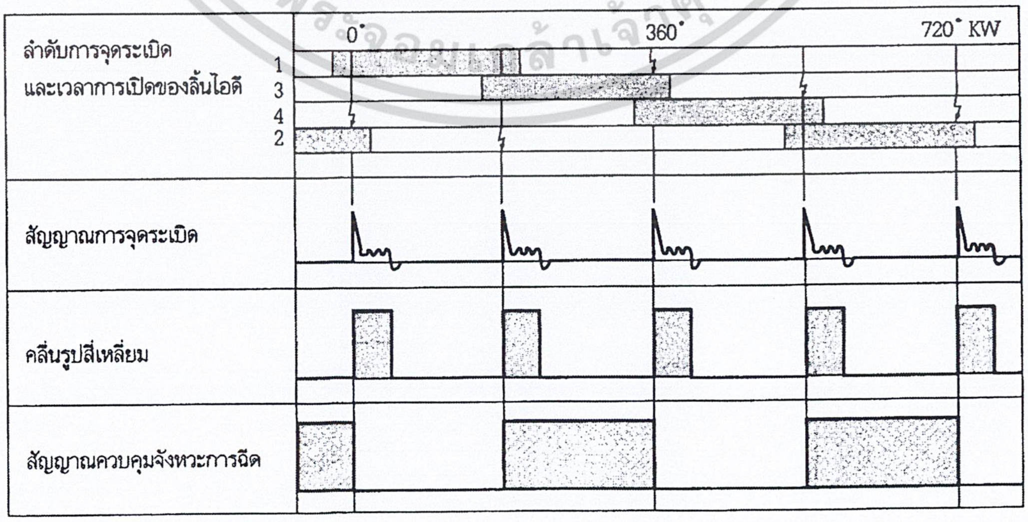
4.3 การควบคุมจังหวะการฉีด

ในระบบ EFI แบบธรรมดา น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปผสมกับอากาศในท่อไอดีเป็นจังหวะๆ โดยหัวฉีดจะทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง 1 ครั้ง ต่อการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง 1 รอบ กล่าวคือ จะมีการฉีด 2 ครั้ง ต่อ 1 รอบการทำงานของเครื่องยนต์ การเริ่มต้นการฉีดจะถูกกำหนดด้วยสัญญาณการจุดระเบิดจากขั้วจานจ่ายหรือที่ขั้วลบของคอยส์จุดระเบิด ดังในรูปที่ 4.5

หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จะคอยจับสัญญาณการจุดระเบิดจากขดลวดปฐมภูมิของคอยส์จุดระเบิด ซึ่งมีอยู่ 4 ครั้ง ต่อการหมุนของเครื่องยนต์ 4 สูบ สัญญาณการจุดระเบิดจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม (rectangular pulse) จากนั้นจะถูกวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลดจำนวนคลื่นลงเหลือครึ่งหนึ่ง คือ 2 ช่วงคลื่น สำหรับนำไปควบคุมจังหวะการฉีด ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 สัญญาณการจุดระเบิด



รูปที่ 4.6 การสร้างสัญญาณควบคุมจังหวะการฉีดของ ECU

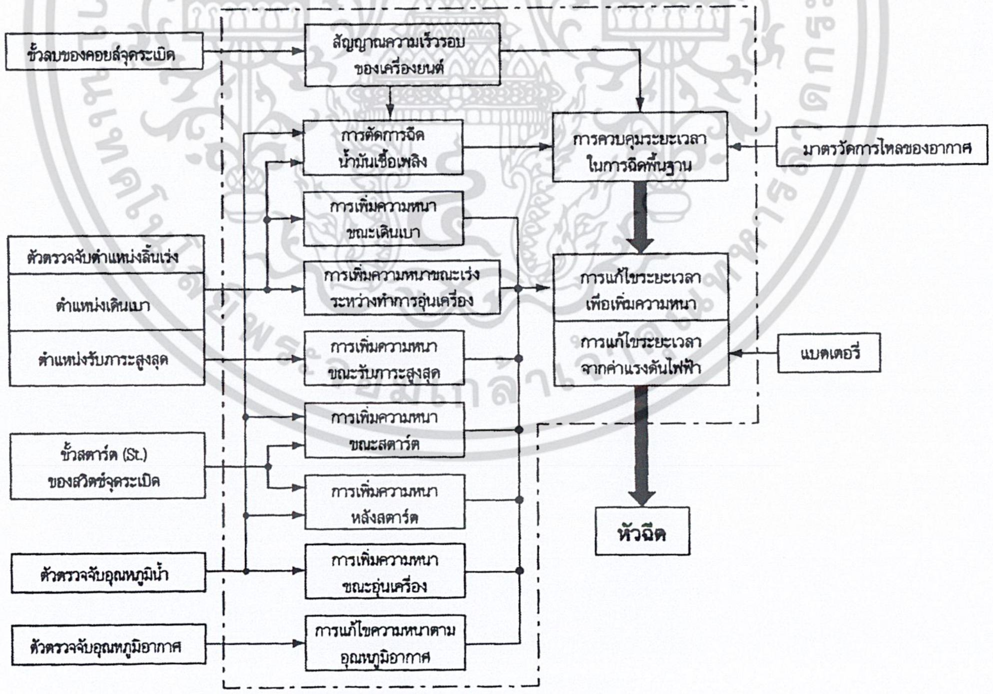
การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดที่กำหนดโดย ECU ทั้ง 2 ครั้ง จะเป็นการฉีดพร้อมกันทุกสูบ โดยไม่คำนึงถึงลำดับการจุดระเบิดและตำแหน่งการ ปิด-เปิด ของลิ้นไอดี กรณีที่มีการฉีดในจังหวะอื่นที่ไม่ใช่จังหวะดูด ซึ่งลิ้นไอดีปิด จะไม่มีปัญหาเรื่องน้ำมันตกค้างในท่อไอดี เนื่องจากใน 1 รอบการทำงานของเครื่องยนต์ มีระยะเวลาที่น้อยมากพร้อมทั้งบริเวณท่อไอดีที่น้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปนั้น มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง ดังนั้น น้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกมาจะถูกดูดเข้ากระบอกสูบในจังหวะดูดของรอบการทำงานต่อไป

4.4 การควบคุมระยะเวลาในการฉีด

การควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของ ECU จะประกอบด้วย การควบคุม 4 ส่วน ด้วยกัน คือ

1. การควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน (basic injection time control)
2. การแก้ไขระยะเวลาเพื่อความหนาของเชื้อเพลิง (enrichment correction)
3. การแก้ไขระยะเวลาการในการฉีดจากค่าแรงดันไฟฟ้า (voltage correction)
4. การตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel cut)

ECU จะควบคุมระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยรับสัญญาณไฟฟ้าจากตัวตรวจจับสัญญาณและสวิตซ์



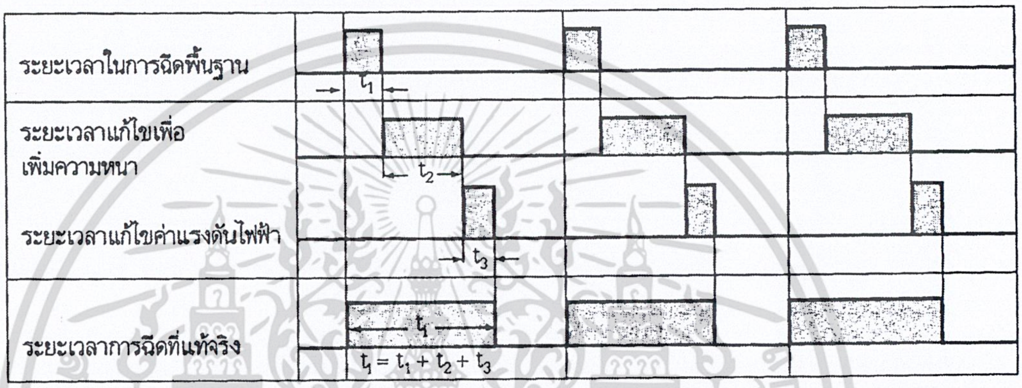
รูปที่ 4.7 แผนภูมิการควบคุมระยะเวลาในการฉีด

จากแผนภูมิ ECU จะคำนวณหาระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานจากสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์ และสัญญาณไฟฟ้าจากมาตรวัดการไหลของอากาศ หลังจากนั้นระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานจะถูกแก้ไขให้มีระยะเวลาในการฉีดมากขึ้น เพื่อเพิ่มความหนาของเชื้อเพลิงตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ โดยได้รับ

สัญญาณไฟฟ้าจากตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ และสัญญาณการสตาร์ท และระยะเวลาในการฉีดที่ได้จะถูกแก้ไขเพิ่มเติมจากค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนไปจากค่าแรงดันตามปกติ (12 V) แล้วส่งไปยังหัวฉีดเพื่อทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า

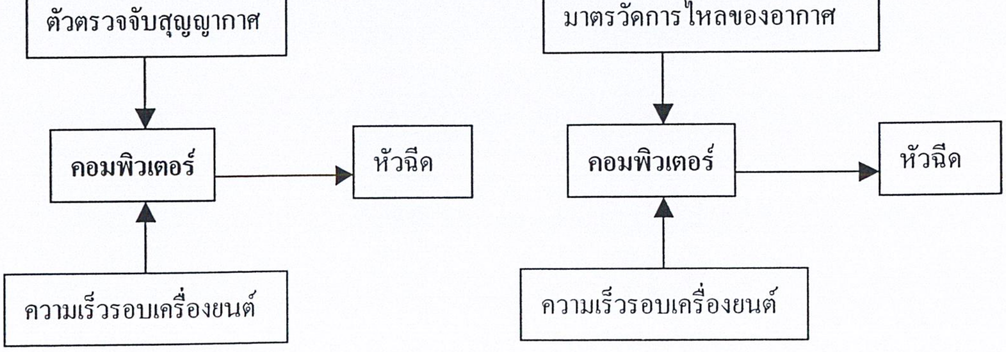
ระยะเวลาในการฉีดทั้งหมด = ระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน + ระยะเวลาที่แก้ไขเพื่อเพิ่มความหนาของเชื้อเพลิง + ระยะเวลาที่เก้ไขจากค่าแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

4.4.1 การควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน

ในระบบ EFI แบบ D-Jetronic จากรูปที่ 4.3 คอมพิวเตอร์จะได้รับสัญญาณไฟฟ้าจากตัวจับสุญญากาศ และสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (ในปัจจุบันจะได้รับสัญญาณความเร็วรอบจากตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง) และในระบบ EFI แบบ L-Jetronic จากรูปที่ 4.4 คอมพิวเตอร์จะได้รับสัญญาณไฟฟ้าจากมาตรวัดการไหลของอากาศและสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์สัญญาณไฟฟ้าทั้งสองที่ป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ จะเป็นสัญญาณที่ใช้สำหรับกำหนดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด ระยะเวลาในการฉีดที่ได้จากสัญญาณทั้งสองนี้ จะเรียกว่า ระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน(basic injection time) ซึ่งเป็นระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ได้อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (14.7 : 1)

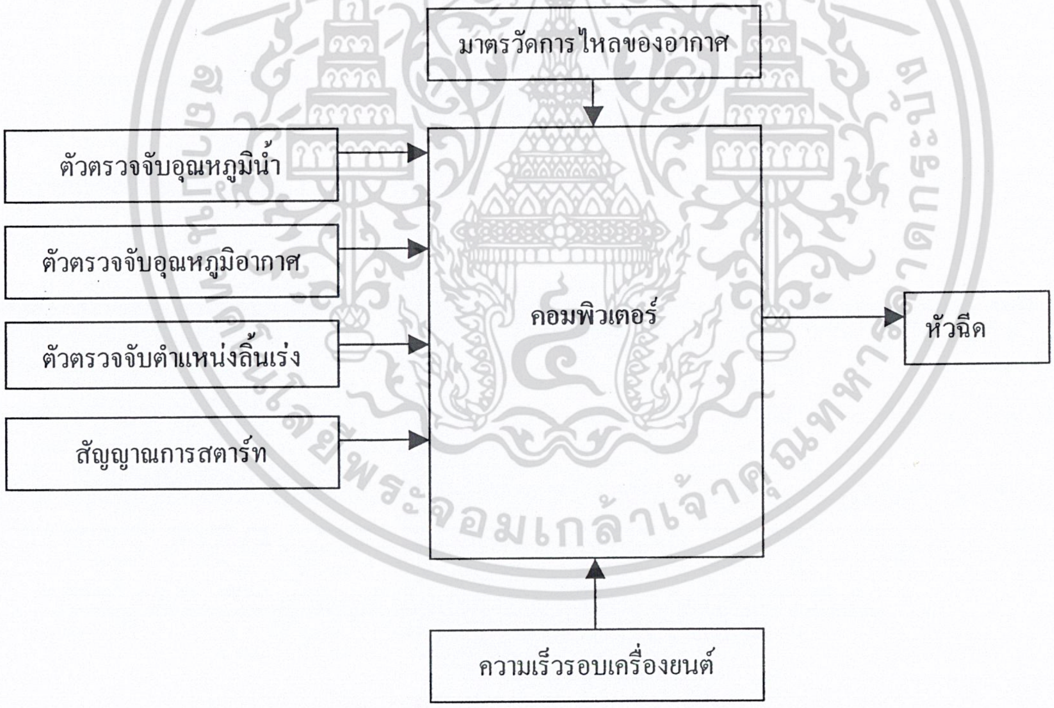


D-Jetronic L-Jetronic

รูปที่ 4.9 Diagram การควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน

4.4.2 การแก้ไขระยะเวลาในการฉีดเพื่อเพิ่มความหนาของน้ำมันเชื้อเพลิง

การทำงานของเครื่องยนต์นั้นอยู่ในสภาวะต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ทำให้อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่จ่ายให้กับเครื่องยนต์ ต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการทำงานเหล่านั้นด้วย ซึ่งทำให้อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี ที่ได้จากระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานไม่สามารถตอบสนองการทำงานของเครื่องยนต์ในทุกสภาวะได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้มากขึ้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่หนาเพียงพอกับความต้องการของเครื่องยนต์ ด้วยเหตุนี้ในระบบ EFI จะมีอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่เรียกว่า sensor เป็นตัวส่งข้อมูลการทำงานของเครื่องยนต์ในลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าไปยังคอมพิวเตอร์ ให้เพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานต่างๆ ที่เกิดขึ้น



รูปที่4.10 Diagram การเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 4.10 จะมีสัญญาณการสตาร์ทของเครื่องยนต์ และตัวตรวจจับ(sensor) 3 ตัว เป็นตัวส่งข้อมูลทางไฟฟ้าเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อให้เพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง จากระยะเวลาในการฉีดพื้นฐาน

ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ(water temperature sensor) จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าให้คอมพิวเตอร์เพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ให้เหมาะสมกับอุณหภูมิเครื่องยนต์ กล่าวคือ ระยะเวลาในการฉีดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเครื่องยนต์อุณหภูมิต่ำ

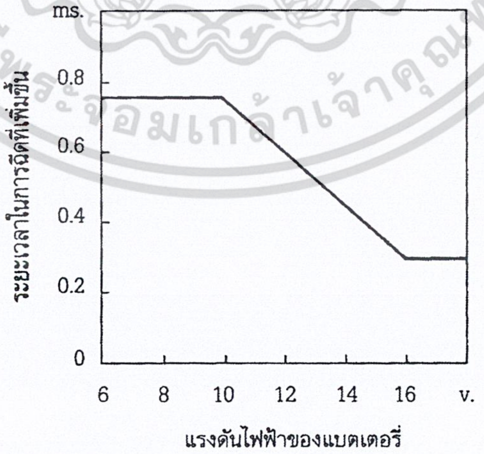
ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ(air temperature sensor) จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าให้คอมพิวเตอร์ปรับระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับอุณหภูมิอากาศ กล่าวคือ ระยะเวลาในการฉีดจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำกว่าค่าที่กำหนด และระยะเวลาการฉีดจะลดลง เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงกว่าที่กำหนด

ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง(throttle sensor) จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าให้คอมพิวเตอร์ปรับระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ เช่น ขณะเดินเบา เร่งรอบ หรือ ขณะรับภาระ (load)สูงสุด

สัญญาณการสตาร์ท(starting signal) จะเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งให้คอมพิวเตอร์ ทำการเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ในขณะสตาร์ทเครื่องยนต์

4.4.3 การแก้ไขระยะเวลาในการฉีดจากค่าแรงดันไฟฟ้า

การเปิดของเข็มหัวฉีดมีความไวสูงมาก แต่ยังมีความล่าช้าอยู่ โดยเฉพาะเมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ต่ำลง เพราะว่าการเปิดของเข็มหัวฉีดจะขึ้นอยู่กับอำนาจแม่เหล็กจากขดลวดโซลีนอยด์ ดังนั้นหากแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขดลวดโซลีนอยด์ของหัวฉีดลดลง ก็จะมีผลให้การเปิดของเข็มหัวฉีดช้าลง ซึ่งความล่าช้าที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้ระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงสั้นลงกว่าที่ได้จากการกำหนดของ ECU จึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขระยะเวลาในการฉีดให้ยาวขึ้น เพื่อเป็นการชดเชยค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ต่ำลง ดังตัวอย่างในกราฟข้างล่างนี้

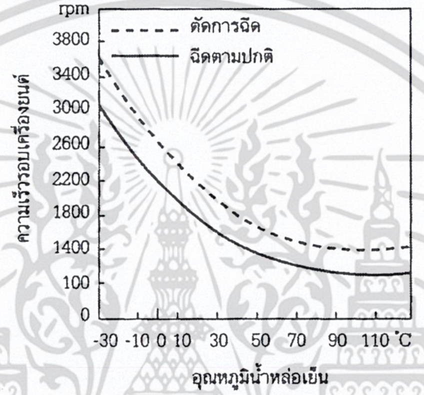


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการแก้ไขระยะเวลาในการฉีดจากค่าแรงดันไฟฟ้า

4.4.4 การตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

ECU จะควบคุมเพื่อตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด ในบางสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เพื่อความประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง และป้องกันเครื่องยนต์ชำรุด คือ

1. ขณะลดความเร็วรอบเครื่องยนต์อย่างทันทีทันใด เช่น ขณะเบรก หรือ ขับรถลงจากที่สูง ซึ่งเป็นสภาวะที่เครื่องยนต์ไม่ต้องการน้ำมันเชื้อเพลิง ECU จะตัดสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้าหัวฉีด โดยได้รับข้อมูลทางไฟฟ้ามาจากตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง (ตำแหน่งเดินเบา) และสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ กล่าวคือ หากเครื่องยนต์มีความเร็วรอบสูง แต่ลิ้นเร่งปิด ECU จะตัดน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับความเร็วรอบในการตัดการฉีดนั้น จะขึ้นกับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

จากกราฟ ที่อุณหภูมิหล่อเย็นต่ำ ความเร็วรอบในการตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะอยู่สูง และลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทั้งนี้เพื่อป้องกันการกระพือของเครื่องยนต์ ในการตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะเป็นการตัดเพียงชั่วขณะเท่านั้น หลังจากความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงต่ำถึงค่าที่กำหนด ECU จะสั่งให้หัวฉีด ทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงตามปกติ เพื่อไม่ให้เครื่องยนต์ดับไป

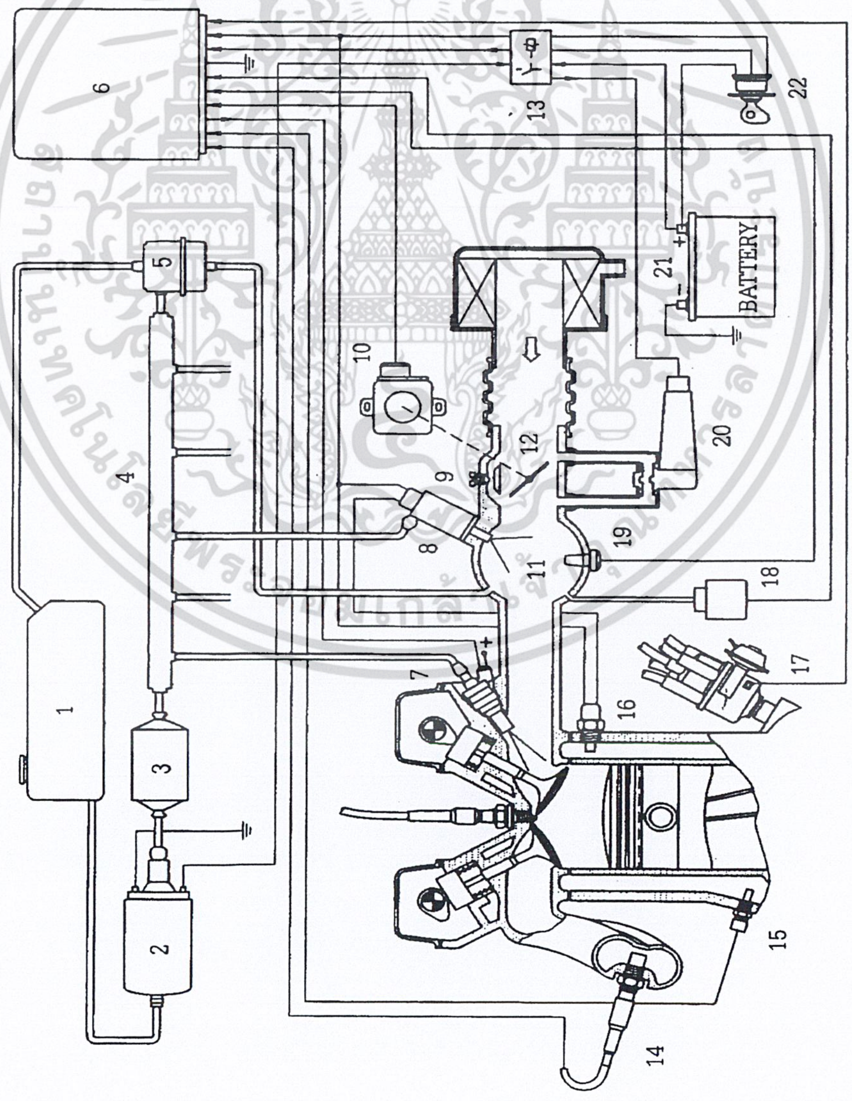
2. เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงเกินค่าที่กำหนด ECU จะทำการเปรียบเทียบความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับความเร็วรอบที่กำหนดไว้ในหน่วยความจำ หากเครื่องยนต์มีความเร็วรอบสูงเกินค่ากำหนด เช่น 6800 รอบ/นาที, 7500 รอบ/นาที (ขึ้นอยู่กับเครื่องยนต์ในแต่ละรุ่น) ECU จะตัดสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้าหัวฉีด เพื่อป้องกันความเร็วรอบสูงเกินกำหนด ซึ่งจะทำให้เครื่องยนต์ชำรุดเสียหายได้ และเมื่อความเร็วรอบลดลงต่ำกว่าที่กำหนด หัวฉีดจึงกลับมาฉีดตามปกติ

4.5 ส่วนประกอบขอบระบบ EFI

ในระบบ EFI ทั้งแบบ Dและแบบ L จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ที่สำคัญ หากแยกอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ไปตามหน้าที่การทำงาน จะสามารถแยกเป็นระบบย่อยๆ ได้ 3 ระบบ คือ

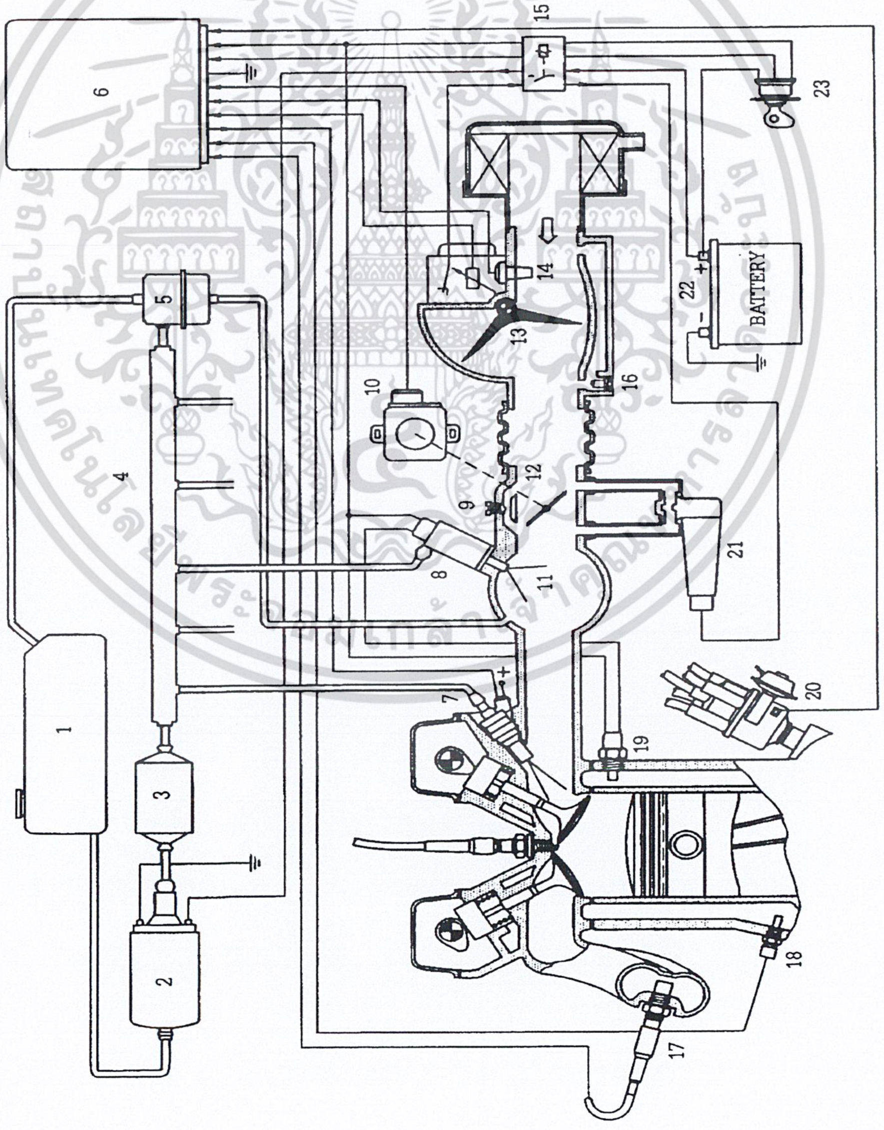
1. ระบบเชื้อเพลิง(fuel system) ที่ประกอบด้วย ถังน้ำมัน ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง กรองน้ำมันเชื้อเพลิง ท่อจ่ายน้ำมัน ตัวควบคุมความดันน้ำมัน หัวฉีดประจำสูบ และหัวฉีดสตาร์ทเย็น
2. ระบบประจุอากาศ(air induction system) ที่ประกอบด้วย กรองอากาศ มาตรวัดการไหลของอากาศ เรือนลิ้นเร่ง ห้องประจุไอดี ท่อไอดี และลิ้นอากาศ
3. ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ที่ประกอบด้วย หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์ ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง และตัวตรวจจับสัญญาณ(sensor) อื่น ๆ

ดังจะแสดงให้เห็นในรูป 4.13 และ 4.14



รูปที่ 4.13 ส่วนประกอบของระบบฉีดแบบ D-Jetronic

1. ถังน้ำมัน
2. ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง
3. กรองน้ำมัน
4. ท่อจ่าย
5. ตัวควบคุมความดัน
6. คอมพิวเตอร์
7. หัวฉีดประจำสูบ
8. หัวฉีดสตาร์ทเย็น
9. สกรูปรับแต่งรอบเดินเบา
10. ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง
11. ท่อร่วมไอดี
12. ลิ้นเร่ง
13. รีเลย์
14. ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน
15. ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ
16. สวิตซ์ควบคุมหัวฉีดสตาร์ทเย็น
17. จานจ่าย
18. ตัวตรวจจับสุญญากาศ
19. ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ
20. ลิ้นอากาศ
21. แบตเตอรี่
22. สวิตซ์จุดระเบิด



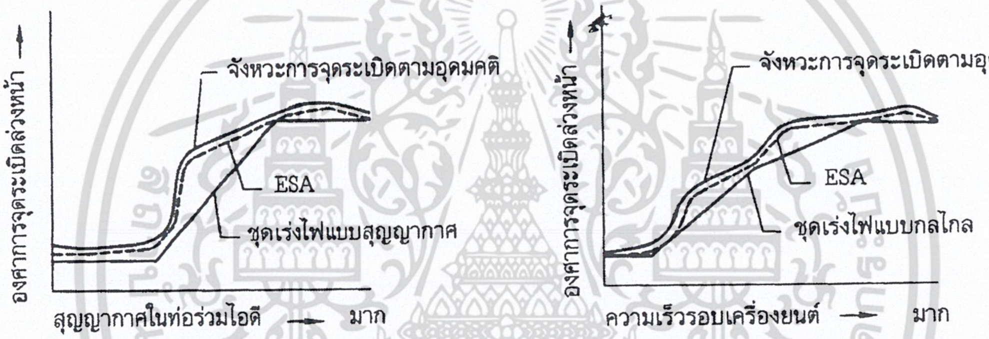
รูปที่ 4.14 ส่วนประกอบของระบบฉีดแบบ L-Jetronic

1. ถังน้ำมัน	2. ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง	3. กรองน้ำมัน	4. ท่อจ่าย	5. ตัวควบคุมความดัน
6. คอมพิวเตอร์	7. หัวฉีดประจำสูบ	8. หัวฉีดสตาร์ทเย็น	9. สกรูปรับแต่งรอบเดินเบา	10.ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง
11. ท่อร่วมไอดี	12. ลิ้นเร่ง	13. มาตรวัดการไหลของอากาศ	14. ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ	15. รีเลย์
16. สกรูปรับส่วนผสมเดินเบา	17. ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน	18. ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ	19. สวิตซ์ควบคุมหัวฉีดเย็น	20.จานจ่าย
21. แบตเตอรี่	22. สวิตซ์จุดระเบิด			

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 5
ระบบควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า
Electronic Spark Advance : ESA

ในเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบ EFI แบบธรรมดา องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าจะถูกควบคุมด้วยชุดเร่งไฟแบบสุญญากาศ (vacuum advance) และชุดเร่งไฟแบบกลไก (mechanical advance) ที่ติดตั้งอยู่ภายในจานจ่ายเหมือนกับเครื่องยนต์ที่ใช้คาร์บูเรเตอร์ทั่วไป ซึ่งการควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าของชุดเร่งไฟดังกล่าวนั้นไม่สามารถตอบสนองความต้องการในการจุดระเบิดล่วงหน้าที่ดีที่สุดได้ เนื่องจากจังหวะการจุดระเบิดที่ดีที่สุดจะขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ปลายประการ เช่น ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ปริมาณอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบ ลักษณะของห้องเผาไหม้ อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น

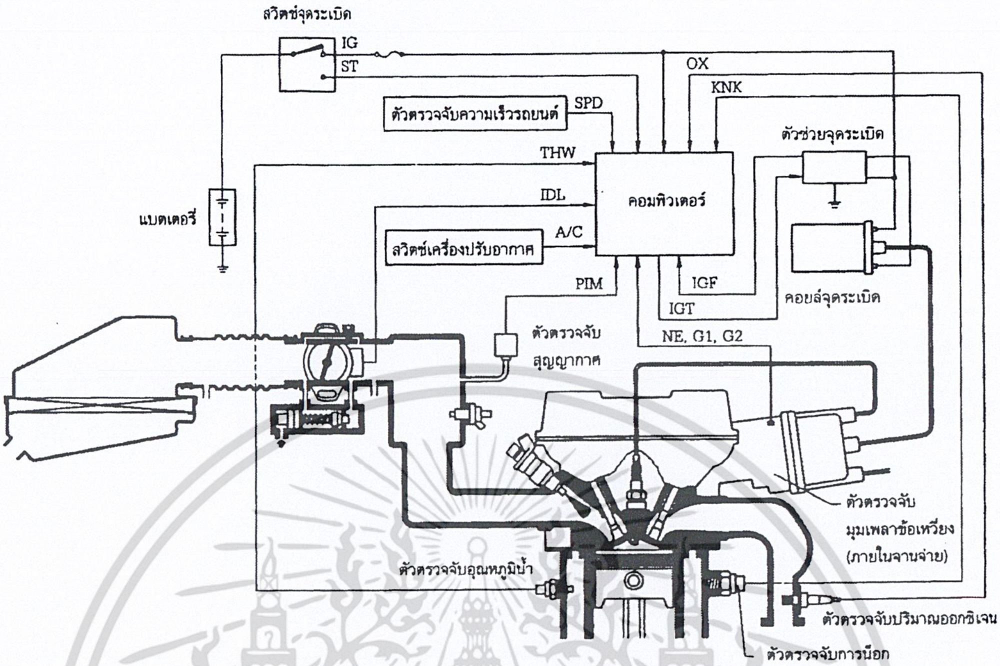


รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า

จากข้อจำกัดของชุดเร่งไฟแบบกลไก และแบบสุญญากาศที่ไม่สามารถกำหนดจังหวะการจุดระเบิดที่ดีที่สุดได้ ในระบบควบคุมเครื่องยนต์ TCCS จึงนำเอาระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาควบคุมการทำงานของระบบจุดระเบิด ซึ่งสามารถกำหนดองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าได้ใกล้เคียงกับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าตามอุดมคติ (องศาการจุดระเบิดที่ดีที่สุดสำหรับเครื่องยนต์รุ่นนั้นๆ) ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ระบบควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้านี้เรียกว่า Electronic Spark Advance หรือ ESA

5.1 หลักการเบื้องต้นของ ESA

การควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าของ ESA จะใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของตัวช่วยจุดระเบิด (igniter) ให้ตัดต่อการลงกราวด์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยส์จุดระเบิด ในการทำงานคอมพิวเตอร์จะได้รับสัญญาณไฟฟ้ามาจากตัวตรวจจับสัญญาณ (sensors) และสัญญาณสวิตซ์ต่างๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.2 จากนั้นคอมพิวเตอร์จะกำหนดจังหวะการจุดระเบิดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ แล้วส่งสัญญาณไปควบคุมตัวช่วยจุดระเบิดให้ทำงาน ทำให้คอยส์จุดระเบิดจ่ายไฟฟ้าแรงสูงไปยังจานจ่าย และหัวเทียนในแต่ละสูบ



รูปที่ 5.2 หลักการของระบบควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า ESA

5.2 หน้าที่ของอุปกรณ์ในระบบควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า ESA

ในการควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าของเครื่องยนต์ที่ใช้ในระบบ TCCS จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ต่างๆ ดังต่อไปนี้

อุปกรณ์	หน้าที่
มาตรวัดการไหลของอากาศหรือตัวตรวจจับสุญญากาศ	- ส่งสัญญาณปริมาณอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบให้คอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดจังหวะการจุดระเบิดที่เหมาะสม
ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ	- ส่งสัญญาณอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นให้คอมพิวเตอร์ใช้เป็นข้อมูลในการปรับจังหวะการจุดระเบิดให้เหมาะสมกับอุณหภูมิเครื่องยนต์
ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง	- ส่งสัญญาณสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ว่าอยู่ในตำแหน่งเดินเบาหรือไม่
ตัวตรวจจับความเร็วรถยนต์	
สวิตช์จุดระเบิด (ขั้ว ST)	- ส่งสัญญาณบอกสภาวะการสตาร์ทเครื่องยนต์ให้กับคอมพิวเตอร์ กำหนดจังหวะการจุดระเบิดที่เหมาะสม
สวิตช์เครื่องปรับอากาศ	- บอกสภาวะว่าคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศมีการทำงานหรือไม่ เพื่อให้คอมพิวเตอร์ปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่เหมาะสม

ตารางที่ 5.1 หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบควบคุมการจุดระเบิด

อุปกรณ์	หน้าที่

ตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง - สัญญาณ G1, G2 - สัญญาณ NE	- ส่งสัญญาณองศาการหมุนมาตรฐานของเพลาข้อเหวี่ยงเพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนดองศาการจุดระเบิดและการจุดระเบิดในแต่ละสูบ - ส่งสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์และองศาการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงที่แท้จริง
หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์	- กำหนดองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าพื้นฐานจากสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์และปริมาณอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบและปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าตามสภาวะการทำงาน จากสัญญาณที่ส่งมาจากตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆ
ตัวช่วยจุดระเบิด	- รับสัญญาณการจุดระเบิด (IGT) จากคอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมการตัดต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยส์จุดระเบิด ซึ่งทำให้เกิดฟ้าแรงสูงส่งไปยังหัวเทียน - ส่งสัญญาณยืนยันการจุดระเบิด (IGF) ป้อนกลับเข้าคอมพิวเตอร์ หลังจากมีการจุดระเบิดแล้ว

ตาราง 5.1 หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบควบคุมการจุดระเบิด (ต่อ)

5.3 การกำหนดองศาการจุดระเบิดของ ESA

องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าของระบบ ESA จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้น (initial ignition timing)
2. องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าพื้นฐาน (basic ignition advance angle)
3. องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติม (supplementary ignition advance angle)

ในการทำงานของเครื่องยนต์ องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าทั้งหมด จะเท่ากับ องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้น + องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าพื้นฐาน + องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติม

5.3.1 องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้น (initial ignition timing)

องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้น คือ องศามุมเพลาข้อเหวี่ยงเบื้องต้นที่มีการจุดระเบิดเกิดขึ้น โดยที่ระบบเร่งไฟควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ยังไม่มีการทำงาน องศาการจุดระเบิดขั้นต้นนี้ในเครื่องยนต์โตโยต้าหลายๆ รุ่น เช่น 4A – GE, 3S – GE ฯลฯ จะกำหนดไว้ที่ 10 °C ก่อนศูนย์ตายบน (BTDC) ซึ่งหมายความว่าเครื่องยนต์จะเริ่มทำงานที่ไฟจุดระเบิดล่วงหน้า 10 °C BTDC เป็นอย่างต่ำ ตัวอย่างเช่น ขณะทำการสตาร์ทความเร็วรอบของเครื่องยนต์ยังไม่สม่ำเสมอ คอมพิวเตอร์ยังไม่สามารถที่จะกำหนดองศาการจุดระเบิดได้อย่างถูกต้อง การเร่งไฟที่มากกว่าองศาการจุดระเบิดขั้นต้น (10 °C BTDC) จะยังไม่เกิดขึ้น จนกว่าเครื่องยนต์จะมีความเร็วรอบสม่ำเสมอ

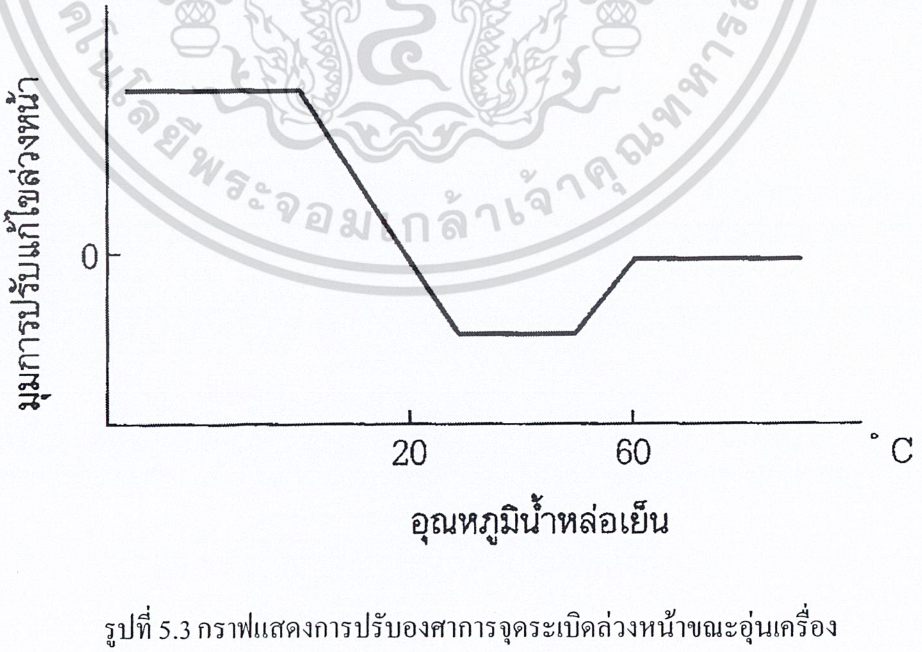
5.3.2 องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าพื้นฐาน (basic ignition advance angle)

ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ จะบรรจุข้อมูลองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่เหมาะสมกับปริมาตรอากาศ ที่บรรจุเข้ากระบอกสูบต่อหนึ่งรอบการหมุนของเครื่องยนต์ และความเร็วรอบของเครื่องยนต์เอาไว้ เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน คอมพิวเตอร์จะได้รับสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์จากขั้ว NE ของตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง และสัญญาณปริมาตรอากาศจากมาตรวัดการไหลของอากาศ (VS) หรือสัญญาณจากตัวตรวจสับสุญญากาศ (PIM) คอมพิวเตอร์จะทำการเลือกองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าพื้นฐาน (ที่สอดคล้องกับสัญญาณที่ได้รับ) จากหน่วยความจำมาใช้งาน

5.3.3 องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติม (supplementary ignition advance angle)

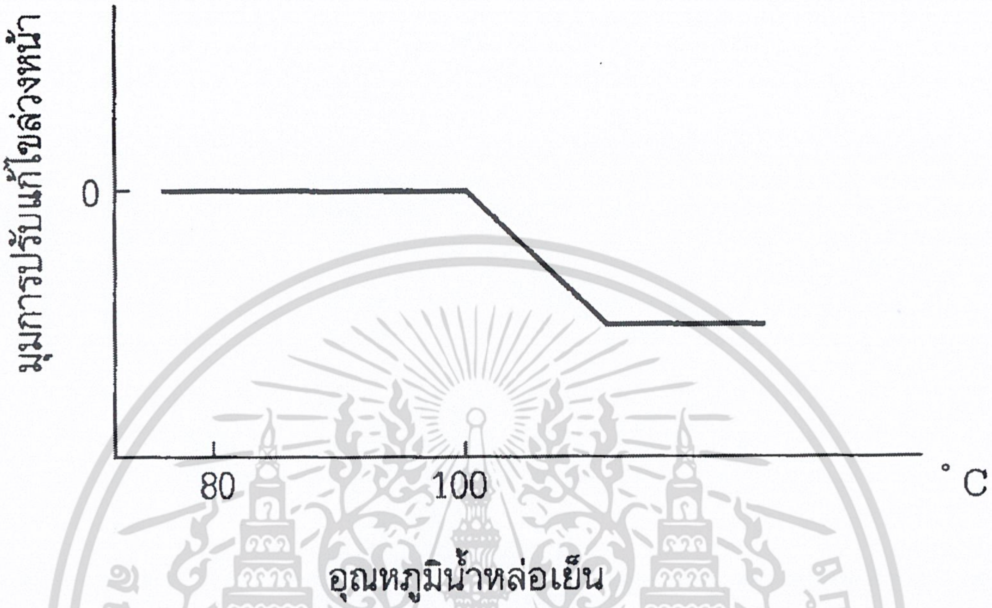
องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าแก้ไขเพิ่มเติมเป็นองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่แก้ไขตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น ขณะทำงาน ขณะเครื่องยนต์มีอุณหภูมิสูงเกินกำหนด ขณะเครื่องยนต์มีการน็อก คอมพิวเตอร์จะทำการปรับแก้ให้องศาการจุดระเบิดเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากผลรวมขององศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นต้น และองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าพื้นฐาน ดังตัวอย่างต่อไปนี้ คือ

1. การปรับแก้ไขขณะอุ่นเครื่อง เพื่อให้สมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ขณะมีอุณหภูมิต่ำดีขึ้น องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าจะถูกปรับแก้ไขให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง ในรูปที่ 5.3 เป็นกราฟการปรับแก้ไของศาจุดระเบิดล่วงหน้าของเครื่องยนต์ 3S – GE จากกราฟ ที่อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่ำ องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าจะถูกปรับเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 °C และความเร็วรอบมากกว่า 2500 รอบ/นาที หรือหน้าสัมผัส IDL ต่อกัน องศาการจุดระเบิดจะไม่ปรับเพิ่มขึ้น



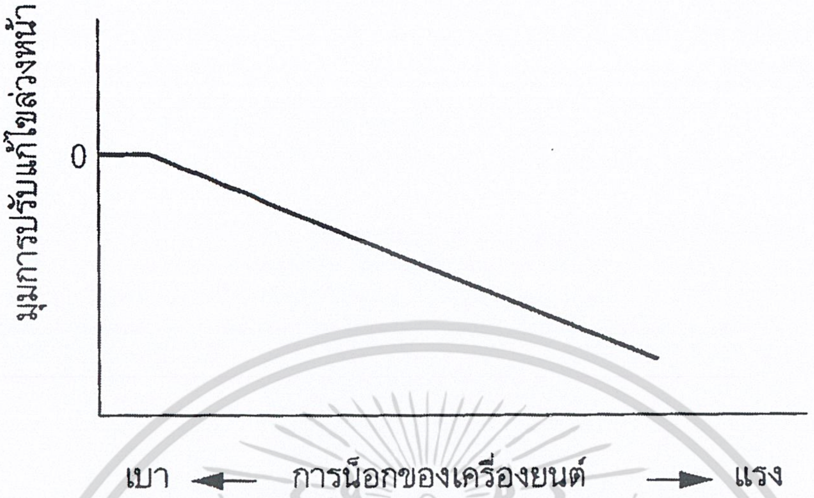
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขณะอุ่นเครื่อง

2. การปรับแก้ไขเมื่ออุณหภูมิเครื่องยนต์สูง เพื่อเป็นป้องกันการน็อกของเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์ร้อนจัด คอมพิวเตอร์จะทำการลดองศาการจุดระเบิดลง เมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นสูงเกิน 100 °C ดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงการปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าเมื่อเครื่องยนต์อุณหภูมิสูง

3. การปรับแก้ไขเมื่อเครื่องยนต์เกิดการน็อก ในเครื่องยนต์บางรุ่นจะมีตัวตรวจจับการน็อกติดตั้งอยู่ เมื่อเครื่องยนต์เกิดการน็อก คอมพิวเตอร์จะทำการปรับลดองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าลง ดังแสดงกราฟในรูปที่ 5.5 และเมื่อการน็อกสิ้นสุดลงแล้ว องศาการจุดระเบิดจะปรับเพิ่มขึ้นในตำแหน่งที่เหมาะสม



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงการปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าเมื่อเครื่องยนต์เกิดการน็อก

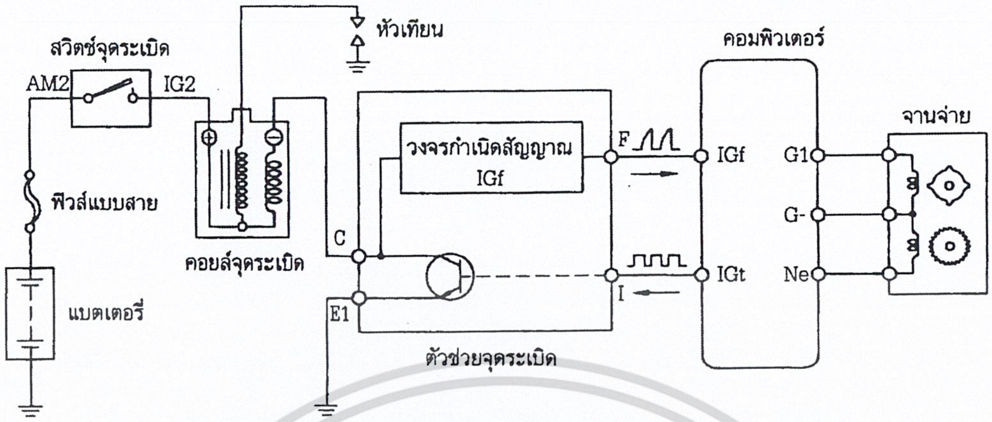
5.4 การควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าสูงสุดและต่ำสุด

ถ้าองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า (องศาการจุดระเบิดขั้นต้น + องศาการจุดระเบิดพื้นฐาน + องศาการจุดระเบิดแก้ไขเพิ่มเติม) มีความผิดปกติเกิดขึ้นจะมีผลเสียต่อการทำงานของเครื่องยนต์ ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันการผิดปกติที่จะเกิดขึ้น คอมพิวเตอร์จะควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่แท้จริง ไม่ให้สูงเกินค่าที่กำหนด เช่น ในเครื่องยนต์ 3S – GE จะกำหนดค่าองศาการเร่งไฟจุดระเบิดสูงสุดเท่ากับ 44 $^\circ$ และค่าองศาการลดไฟจุดระเบิดต่ำสุดเท่ากับ 10 $^\circ$

5.5 การควบคุมตัวช่วยจุดระเบิด

คอมพิวเตอร์จะเริ่มส่งสัญญาณ IGt ไปยังตัวช่วยจุดระเบิด (igniter) ที่ตำแหน่ง 30 $^\circ$ ก่อนถึงตำแหน่งที่มีการจุดระเบิดที่คอมพิวเตอร์คำนวณได้ ในขณะที่มีสัญญาณ IGt ป้อนเข้าตัวช่วยจุดระเบิด จะทำให้ไฟจากแบตเตอรี่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของคอยล์จุดระเบิด และเมื่อถึงตำแหน่งจุดระเบิดสัญญาณ IGt จะถูกตัด ทำให้กระแสไฟที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิหยุดลง จากการหยุดไหลของกระแสไฟในขดลวดปฐมภูมิอย่างทันทีทันใด ทำให้เกิดการยุบตัวของสนามแม่เหล็ก และมีการเหนี่ยวนำ เกิดไฟฟ้าแรงสูงขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิของคอยล์จุดระเบิด

5.6 การทำงานของระบบควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า ESA



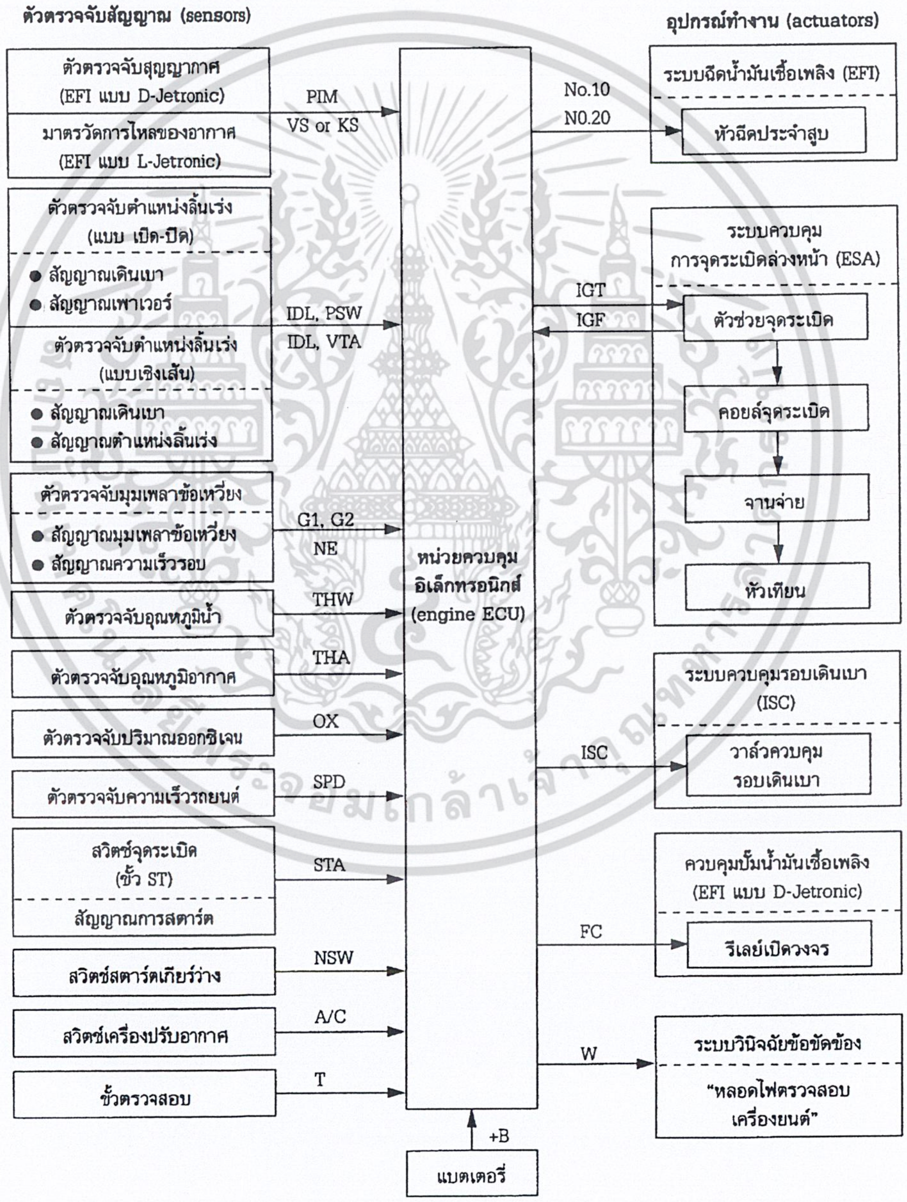
รูปที่ 5.6 วงจรไฟฟ้าระบบควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า ESA ของเครื่องยนต์ 4A — GE

จากวงจรไฟฟ้าในรูปที่ 5.6 เมื่อเปิดสวิตซ์จุดระเบิด กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะไหลเข้าขั้วบวกของคอยส์จุดระเบิด ผ่านขดลวดปฐมภูมิ (primary winding) ออกทางขั้วลบ ป้อนเข้าขั้ว C ของตัวช่วยจุดระเบิด (igniter) และภายในตัวช่วยจุดระเบิดจะมีตัวทรานซิสเตอร์กำลัง (power transistor) สำหรับตัดต่อวงจรไฟฟ้าจากขั้ว C เพื่อมาลงกราวด์ที่ขั้ว E1 ในการต่อวงจรไฟฟ้าลงกราวด์จะต้องมีสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (BIAS) ที่ขา B ของทรานซิสเตอร์ หากมีสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าที่ขา B จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิมาลงกราวด์ครบวงจรที่ขั้ว E1 ได้ ส่งผลให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ขดลวดปฐมภูมิ และหากมีการตัดสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้าขา B ทรานซิสเตอร์จะตัดวงจรไม่ให้กระแสไฟฟ้าจากขดลวดปฐมภูมิลงกราวด์ที่ขั้ว E1 ทำให้สนามแม่เหล็กที่ขดลวดปฐมภูมิเกิดการยุบตัวตัดกับขดลวดทุติยภูมิ (secondary winding) เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดไฟฟ้าแรงสูงขึ้นในขดลวดทุติยภูมิไปยังหัวเทียน

เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน (มีการหมุน) ตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยงที่ติดตั้งอยู่ภายในจานจ่ายจะส่งสัญญาณ NE และ G1 ป้อนเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อบอกองศาการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง และความเร็วรอบเครื่องยนต์ จากนั้นคอมพิวเตอร์จะกำหนดองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่เหมาะสมกับสภาวะการทำงานก่อนหน้าที่จะมีการจุดระเบิดล่วงหน้าที่คำนวณไว้ 30 ° คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ IGt ป้อนเข้าที่ขั้ว I ของตัวช่วยจุดระเบิดเพื่อกระตุ้นให้ทรานซิสเตอร์ต่อวงไฟฟ้าจากขั้วลบของคอยส์ลงกราวด์และเมื่อถึงตำแหน่งที่ต้องมีการจุดระเบิด คอมพิวเตอร์จะตัดสัญญาณ IGt ที่ป้อนเข้าขา B ของทรานซิสเตอร์ทำให้ทรานซิสเตอร์ตัดกระแสไฟฟ้าขั้วลบของคอยส์จุดระเบิดที่มาลงกราวด์ ส่งผลให้เกิดไฟแรงสูงส่งไปยังหัวเทียน สัญญาณ IGt นี้จะถูกส่งออกจากคอมพิวเตอร์เป็นจังหวะๆ สัมพันธ์กับองศาการจุดระเบิดในแต่ละสูบในเครื่องยนต์ 4 สูบ จะมีสัญญาณ IGt 4 ครั้งต่อการหมุนของเครื่องยนต์ 2 รอบ สำหรับสัญญาณ IGt จากตัวช่วยจุดระเบิด จะเป็นสัญญาณยืนยันการจุดระเบิดกลับให้คอมพิวเตอร์ทราบ หากไม่มีสัญญาณ IGt ป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ด้วยเหตุใดก็ตาม คอมพิวเตอร์จะหยุดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงทันที ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันน้ำมันท่วม

บทที่ 6
ตัวตรวจจับสัญญาณ
Sensors

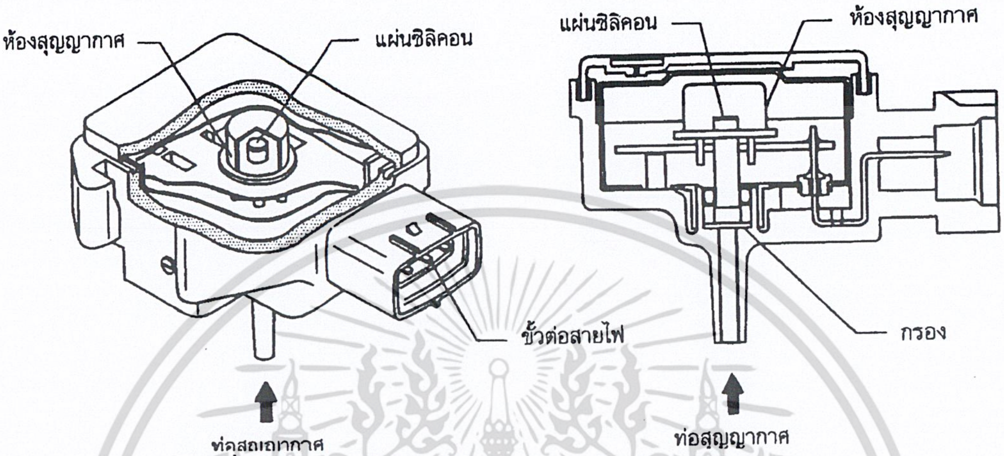
ในระบบเครื่องยนต์ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์แบบ TCCS (Toyota Computer Controlled System) ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ส่งสัญญาณป้อนเข้า ECU คือ ตัวตรวจจับสัญญาณต่างๆ และสัญญาณไฟฟ้าจากสวิตซ์ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 6.1 ตัวอย่างแผนภูมิระบบควบคุมเครื่องยนต์ TCCS

6.1 ตัวตรวจจับสุญญากาศ(Vacuum Sensor)

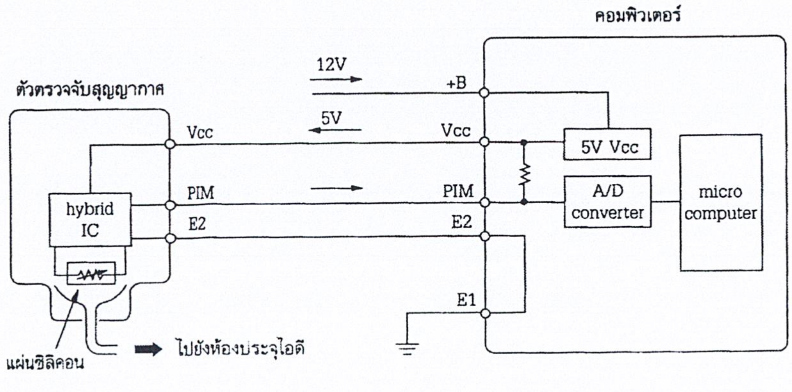
ตัวตรวจจับสุญญากาศหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ตัวตรวจจับแรงดันอากาศในท่อร่วมไอดี(maniford pressure sensor) ทำหน้าที่ตรวจวัดแรงดันของอากาศในท่อร่วมไอดี แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานของหัวฉีด



รูปที่ 6.2 โครงสร้างและส่วนประกอบของตัวตรวจสุญญากาศ

ตัวตรวจจับสุญญากาศ มีลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบภายใน ตามรูปที่ 6.2 ภายในตัวตรวจจับสุญญากาศประกอบด้วยตัวความต้านทาน ที่ทำจากแผ่นซิลิคอนต่อวงจรร่วมตัวไอซี(Integrate Circuit : IC) โดยแผ่นซิลิคอนติดตั้งไว้ที่ปลายของท่อสุญญากาศ ที่ต่อมาจากท่อร่วมไอดีของเครื่องยนต์ และปลายของท่อสุญญากาศยื่นเข้าไปในห้องสุญญากาศสมบูรณ์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอากาศในท่อร่วมไอดี มีผลให้แผ่นซิลิคอนบิดตัว ทำให้ค่าความต้านทานของแผ่นซิลิคอนเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของแรงดันอากาศ

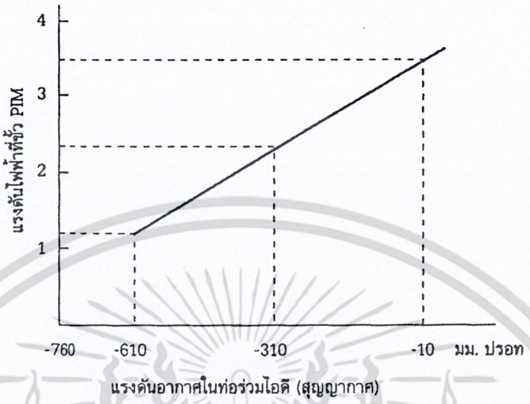
จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของแผ่นซิลิคอนไปตามแรงดันของอากาศ ตัวไอซีที่ต่อวงจรร่วมกับแผ่นซิลิคอนจะเปลี่ยนค่าความต้านทานเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าต่ำ เมื่อแรงดันอากาศในท่อร่วมไอดีต่ำ (สุญญากาศมาก) และแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าสูง เมื่อแรงดันอากาศในท่อร่วมไอดีสูง (สุญญากาศน้อย) สัญญาณไฟฟ้าจากตัวตรวจจับสุญญากาศจะป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ ดังรูป 6.3



รูปที่ 6.3 วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับสุญญากาศ

หลักการทำงาน

จากวงจรไฟฟ้าในรูป 6.3 ตัวตรวจจับสุญญากาศจะได้รับแรงดันไฟฟ้าคงที่ประมาณ 5 V จากขั้ว VCC ของคอมพิวเตอร์ ขั้ว PIM เป็นขั้วสัญญาณแรงดันอากาศที่ป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ และขั้ว E2 เป็นกราวด์ของตัวตรวจจับสัญญาณ



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของตัวตรวจสุญญากาศในรถยนต์

จากรูปที่ 6.4 นั้นที่ความดันบรรยากาศปกติ (ประมาณ —10 มม. ปรอท) ค่าแรงดันไฟฟ้าสัญญาณที่ขั้ว PIM จะมีค่าประมาณ 3.5 V และถ้าแรงดันอากาศลดลง (เป็นสุญญากาศมากขึ้น) ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว PIM จะลดต่ำลงตามลำดับ

ในระบบเครื่องยนต์ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์แบบ TCCS ตัวตรวจจับสุญญากาศทำหน้าที่ส่งสัญญาณแรงดันอากาศในท่อร่วมไอดีป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานของหัวฉีด และกำหนดองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าพื้นฐานให้กับระบบจุดระเบิด

6.2 มาตรวัดการไหลของอากาศ(Air Flow Meter)

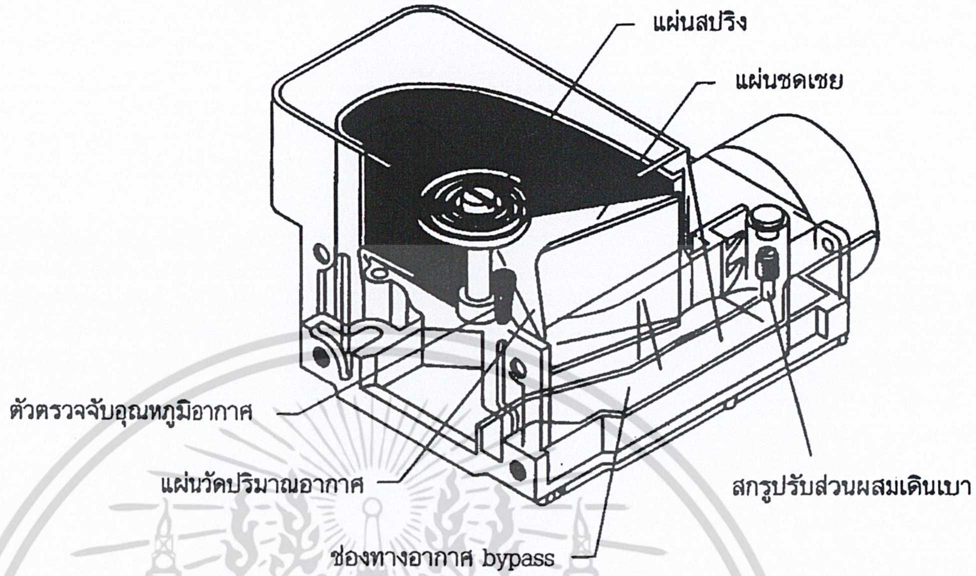
มาตรวัดการไหลของอากาศ เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในระบบประจุอากาศ และระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องยนต์หัวฉีด EFI โดยทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบ แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานของหัวฉีด มาตรวัดการไหลของอากาศที่ใช้ในเครื่องยนต์หัวฉีดตั้งแต่รุ่นแรกๆ จนถึงปัจจุบันจะมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ เช่น

1. แบบแผ่นวัด (flap or vane type)
2. แบบขดลวดความร้อน (hot wire type)
3. แบบคลื่นความถี่ไหลวนคาร์มาน (karman vortex type)
4. แบบแผ่นฟิล์มความร้อน (hot firm type)

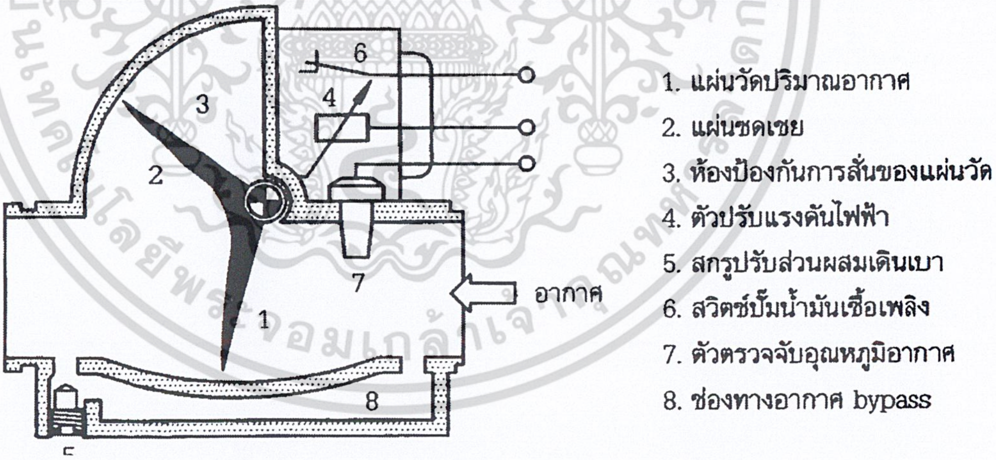
แต่ขอกล่าวถึงเฉพาะมาตรวัดการไหลของอากาศแบบแผ่นวัด (flap or vane type) เท่านั้น

มาตรวัดการไหลของอากาศแบบแผ่นวัด(flap type or vane type)

มาตรวัดการไหลของอากาศแบบแผ่นวัดที่ใช้ในเครื่องยนต์หัวฉีด EFI จะมีลักษณะดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 มาตรวัดการไหลของอากาศแบบแผ่นวัด

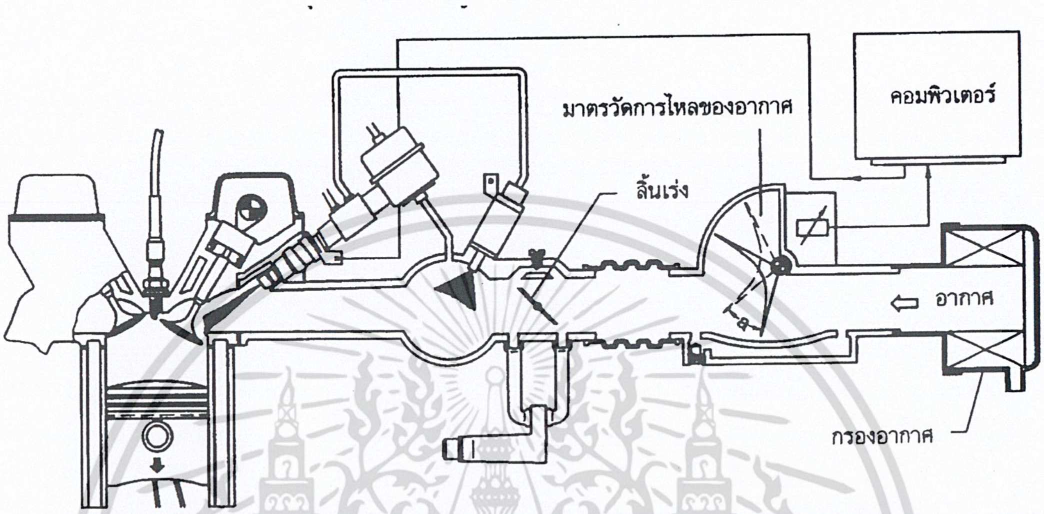


รูปที่ 6.6 ส่วนประกอบของมาตรวัดการไหลอากาศแบบแผ่นวัด

มาตรวัดการไหลของอากาศแบบแผ่นวัด ในส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจจับปริมาณอากาศ จะประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ แผ่นวัดปริมาณอากาศ (sensor flap), แผ่นชดเชย(compensation plate), ห้องป้องกันการสั่นของแผ่นวัด(damping chamber) และตัวปรับแรงดันไฟฟ้า(potentiometer) สำหรับสกรูปรับส่วนผสมเดินเบาและสวิตซ์ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นเพียงอุปกรณ์ที่นำมาติดตั้งให้ทำงานร่วมกับมาตรวัดการไหลของอากาศ ส่วนตัวตรวจอุณหภูมิอากาศ เป็นอุปกรณ์ในระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ที่นำมาติดตั้งไว้เพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

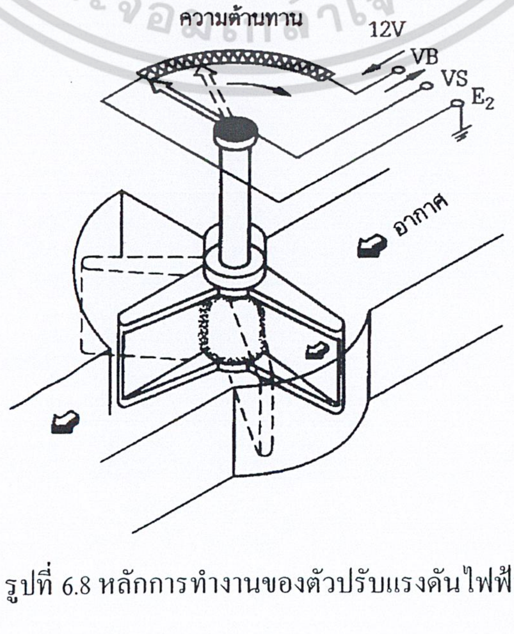
หลักการวัดปริมาณอากาศของมาตรวัดการไหลของอากาศ แบบแผ่นวัด

การวัดปริมาณอากาศของมาตรวัดการไหลของอากาศแผ่นวัด จะอาศัยแรงที่เกิดจากการไหลของอากาศที่ดูดเข้ากระบอกสูบ เมื่อเครื่องยนต์ทำงานอากาศจะถูกดูดผ่านแผ่นวัด แรงจากการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศจะดันให้แผ่นวัดหมุนไปดังแสดงในรูปที่6.7

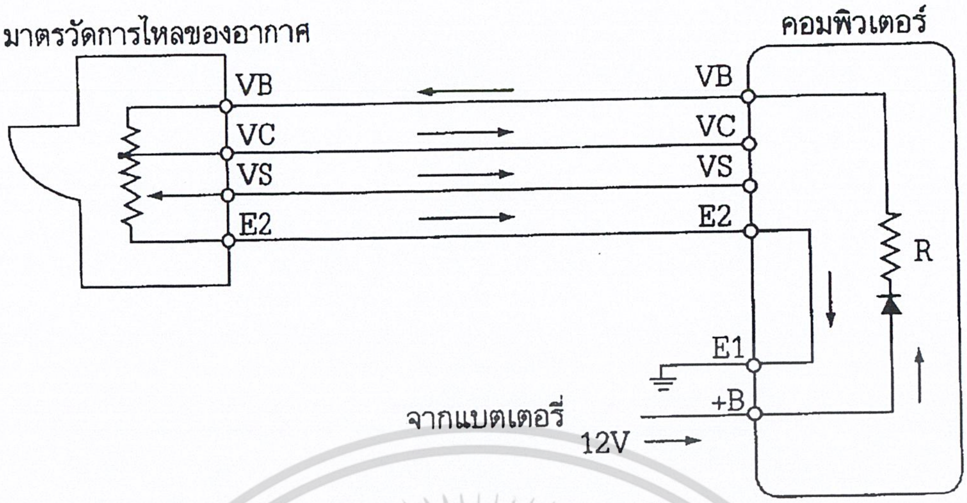


รูปที่ 6.7 หลักการวัดปริมาณอากาศของมาตรวัดการไหลของอากาศแบบแผ่นวัด

ในการหมุนเคลื่อนที่ไปของแผ่นวัดจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นกับปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบ ซึ่งถูกกำหนดโดยมุมการเปิดของลิ้นเร่งและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ กล่าวคือ หากอากาศถูกดูดเข้ามามาก แผ่นวัดปริมาณอากาศจะหมุนไปมาก(มุมกว้างขึ้น) ในการทำงานของแผ่นวัดจะมีสปริงดันให้แผ่นวัดหมุนคืนกลับเมื่อปริมาณอากาศที่ถูกดูดผ่านน้อยลง จากการหมุนของแผ่นวัดที่สัมพันธ์กับปริมาณอากาศที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบ จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยตัวปรับแรงดันไฟฟ้า ที่เรียกว่า potentiometer ซึ่งประกอบด้วยชุดแผ่นความต้านทานและหน้าคอนแทคที่เปลี่ยนค่าความต้านทานไปตามการหมุนของแผ่นวัด



รูปที่ 6.8 หลักการทำงานของตัวปรับแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 6.9 วงจรไฟฟ้าของมาตรวัดการไหลของอากาศในเครื่องยนต์โตโยต้ารุ่น 5M-E

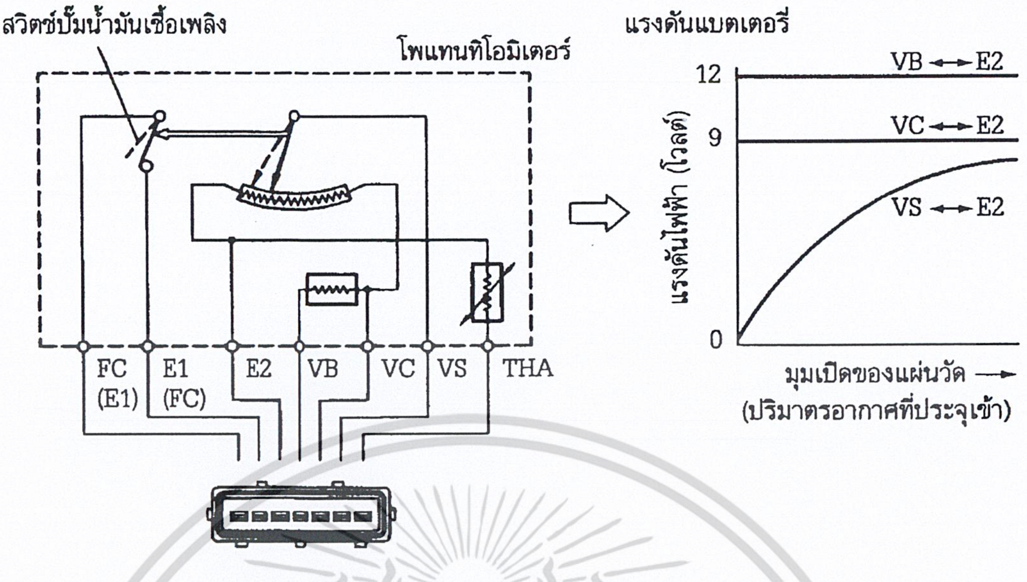
หลักการทำงาน

จากรูปที่ 6.9 แรงดันไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ถูกป้อนเข้าที่ขั้ว VB ผ่านตัวความต้านทานของตัวปรับแรงดันไฟฟ้ามาลงกราวด์ครบวงจรที่ขั้ว E2 สำหรับขั้ว VS จะเป็นขั้วที่ต่อกับหน้าคอนแทคที่สัมผัสบนแผ่นความต้านทานและเป็นขั้วส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเข้าคอมพิวเตอร์ ในตำแหน่งที่ยังไม่มีอากาศไหลผ่านแผ่นวัด หน้าคอนแทคของขั้ว VS จะสัมผัสที่ตำแหน่งปลายของตัวความต้านทาน ทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว VB และ VS มีค่าสูง ส่งผลให้มีแรงดันไฟฟ้าออกที่ขั้ว VS มีค่าน้อย และในทางตรงข้าม เมื่อมีอากาศไหลผ่านแผ่นวัดมาก แผ่นวัดจะหมุนไปเป็นมุมมากขึ้น หน้าคอนแทคของขั้ว VS ซึ่งหมุนไปกับเพลาของแผ่นวัด จะหมุนไปบนตัวความต้านทานในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ดังแสดงในรูป(ที่เป็นเส้นประ) ทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว VB และ VS มีค่าน้อยลง ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว VS สูงขึ้น

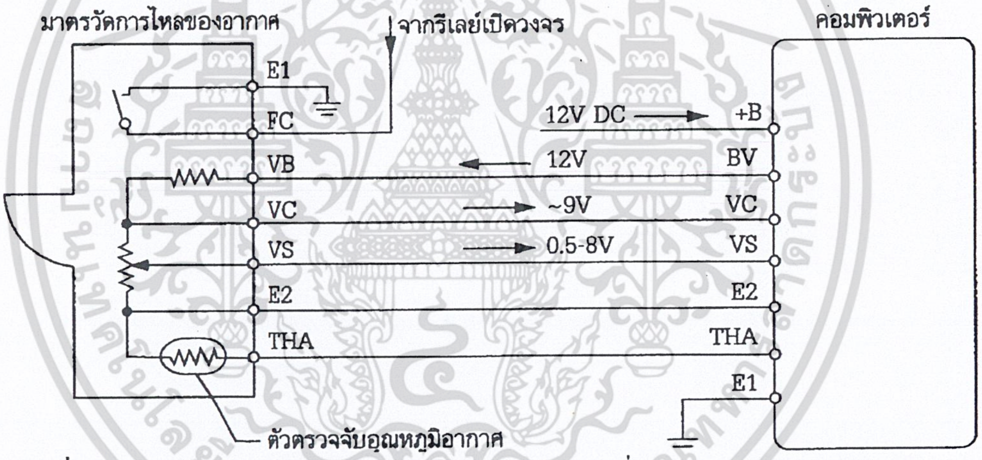
จากค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับมุมการเปิดของแผ่นวัดและปริมาณของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นวัด จะถูกใช้เป็นข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์กำหนดระยะเวลาในการฉีดของหัวฉีด คือ หากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว VS สูง (อากาศมาก) ระยะเวลาในการฉีดของหัวฉีดจะมาก และระยะเวลาในการฉีดจะลดลงเมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว VS น้อยลง (อากาศน้อย)

มาตรวัดการไหลของอากาศแบบแผ่นวัด ที่ใช้ในเครื่องยนต์หัวฉีด EFI สามารถแบ่งแยกออกตามลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว VS ได้เป็น 2 ชนิด คือ

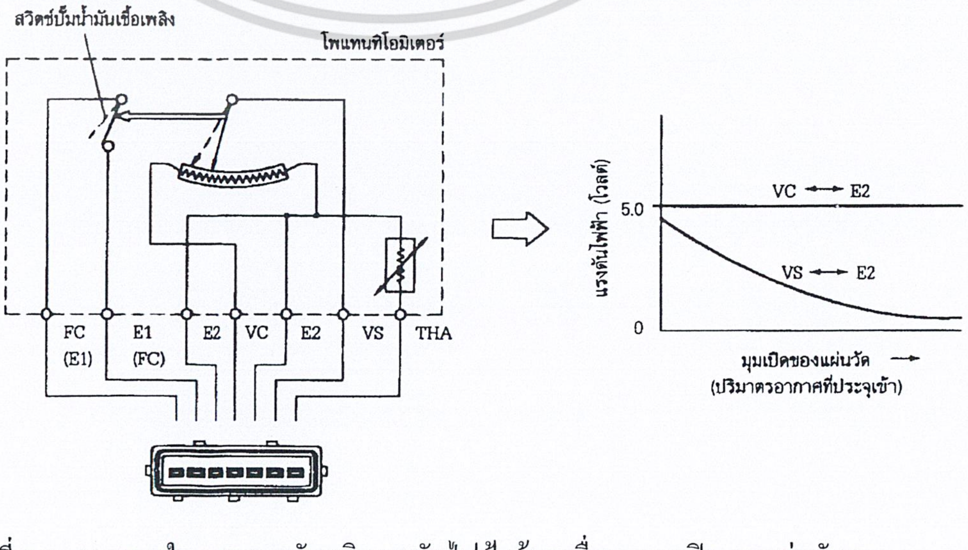
1. ชนิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว VS มาก เมื่อมุมการเปิดของแผ่นวัดมาก
2. ชนิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว VS น้อย เมื่อมุมการเปิดของแผ่นวัดมาก



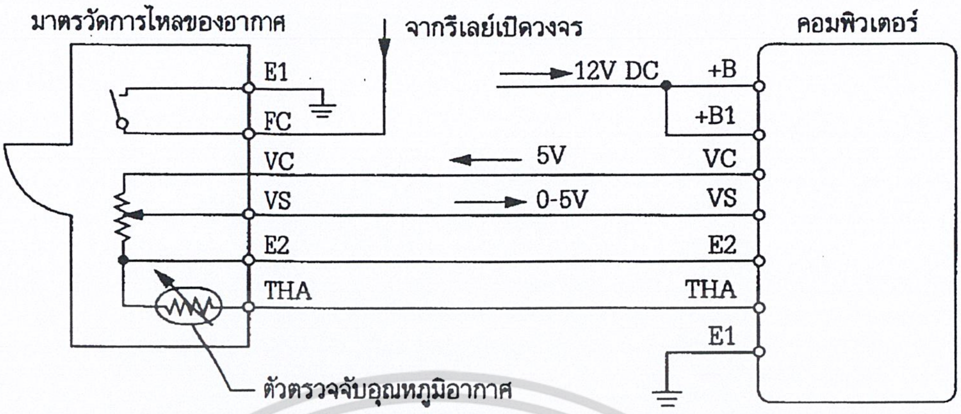
รูปที่ 6.10 วงจรภายในของมาตรวัดชนิดแรงดันไฟฟ้ามาก เมื่อมุมการเปิดของแผ่นวัดมาก



รูปที่ 6.11 วงจรไฟฟ้าของมาตรวัดชนิดแรงดันไฟฟ้ามาก เมื่อมุมการเปิดของแผ่นวัดมาก



รูปที่ 6.12 วงจรภายในของมาตรวัดชนิดแรงดันไฟฟ้าน้อย เมื่อมุมการเปิดของแผ่นวัดมาก



รูปที่ 6.13 วงจรไฟฟ้าของมาตรวัดชนิดแรงดันไฟฟ้าน้อย เมื่อมุมการเปิดของแผ่นวัดมาก

จากวงจรไฟฟ้ารูปที่6.11 และ รูปที่ 6.13 มาตราวัดการไหลของอากาศจะได้รับแรงดันไฟฟ้า 12 V จากแบตเตอรี่ทางขั้ว VB ไหลผ่านตัวความต้านทานคงที่ออกทางขั้ว VC และไหลผ่านตัวความต้านทางแบบเปลี่ยนค่าได้ (potentiometer) ลงกราวด์ที่ขั้ว E2 แล้วป้อนกลับเข้าคอมพิวเตอร์ โดยแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว VS จะเป็นข้อมูลสัญญาณปริมาณอากาศ และแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว VC จะเป็นแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบที่ป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ร่วมกับแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว VS เพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะเวลาในการฉีดของหัวฉีด แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว VC จะมีค่าคงที่ประมาณ 9 V ส่วนแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว VS จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามมุมการเปิดของแผ่นวัดปริมาณอากาศ ซึ่งมีค่าประมาณ 0.5-8 V ที่แผ่นวัดปิดจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5-2.5 V และที่แผ่นวัดเปิดเต็มที่จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าประมาณ 5-8 V

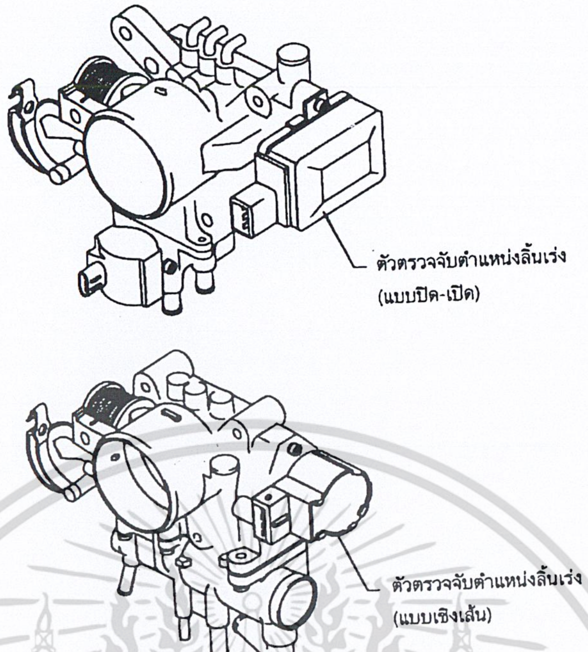
ในระบบเครื่องยนต์ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์แบบ TCCS มาตรวัดการไหลของอากาศทำหน้าที่ส่งสัญญาณปริมาณอากาศเข้า คอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานของหัวฉีดและกำหนดองศาการจุดระเบิดพื้นฐานให้กับระบบจุดระเบิด

6.3 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง(Throttle Position Sensor)

ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งทำหน้าที่บอกตำแหน่งการเปิดของลิ้นเร่ง หรือบอกสภาวะการรับภาระของเครื่องยนต์ ในรูปสัญญาณไฟฟ้าให้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง หรือตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง

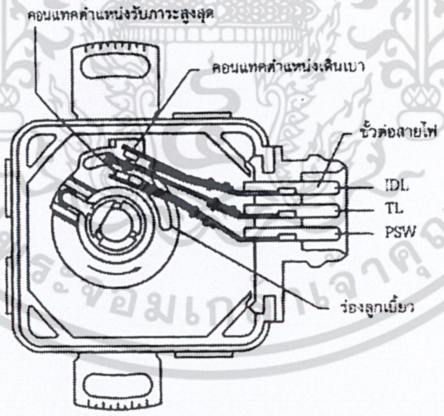
ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งที่ใช้ในระบบ EFI มีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ตามการออกแบบของผู้ผลิตรถยนต์ แต่ขอกล่าวเพียง 2 แบบ ที่นิยมใช้กันอย่างมากในปัจจุบัน คือ

1. แบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด(on-off type)
2. แบบเชิงเส้น(linear type)



รูปที่ 6.14 รูปร่างและตำแหน่งการติดตั้งของตัวตรวจจับลิ้นเร่ง

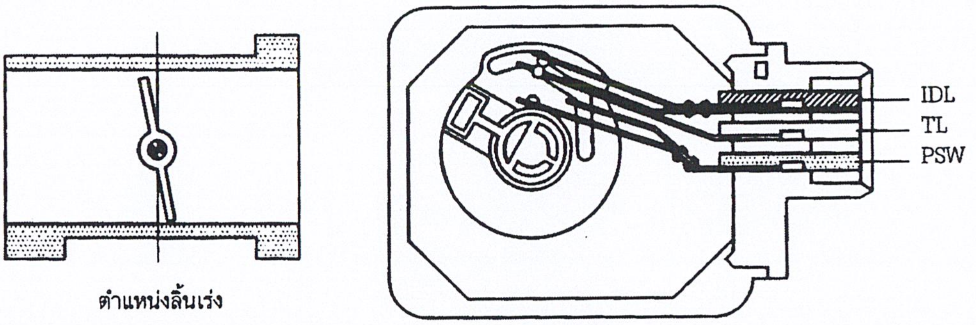
6.3.1 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด



รูปที่ 6.15 โครงสร้างของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด

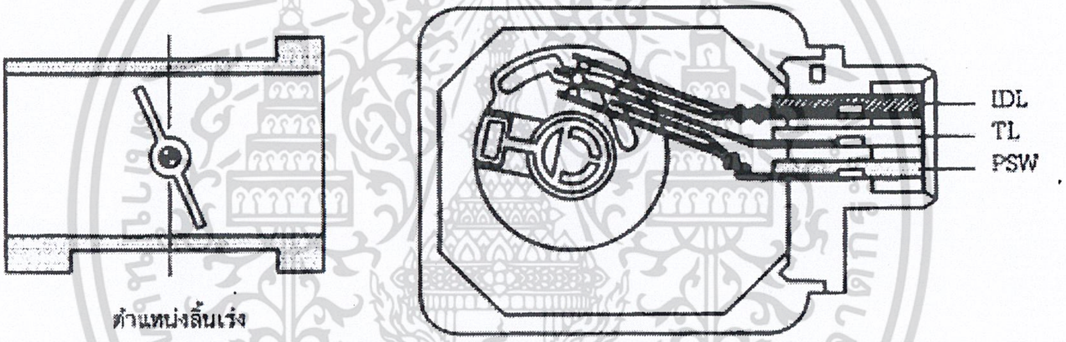
หลักการทำงาน

ที่ตำแหน่งเดินเบา ลิ้นเร่งปิดเปิดเพียงเล็กน้อย ร่องลูกเบี้ยวจะบังคับให้หน้าคอนแทคตำแน่งเดินเบา (ขั้ว IDL และ TL) จะต่อกัน ดังรูปที่ 6.16



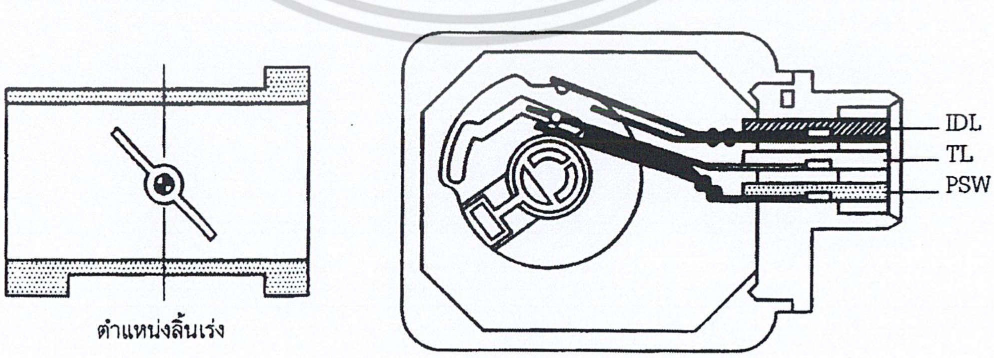
รูปที่ 6.16 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด ณ ตำแหน่งเดินเบา

ที่ตำแหน่งใช้รับภาระปานกลาง(part load) เป็นตำแหน่งที่ลิ้นเร่งเปิดกว้างขึ้นแต่ยังไม่เต็มที่ ในสภาวะนี้จะไม่มีการต่อของหน้าคอนแทคตำแหน่งเดินเบา(ขั้ว IDL และ TL) หรือตำแหน่งรับภาระสูงสุด(ขั้ว PSW และ TL) ดังรูป 6.17



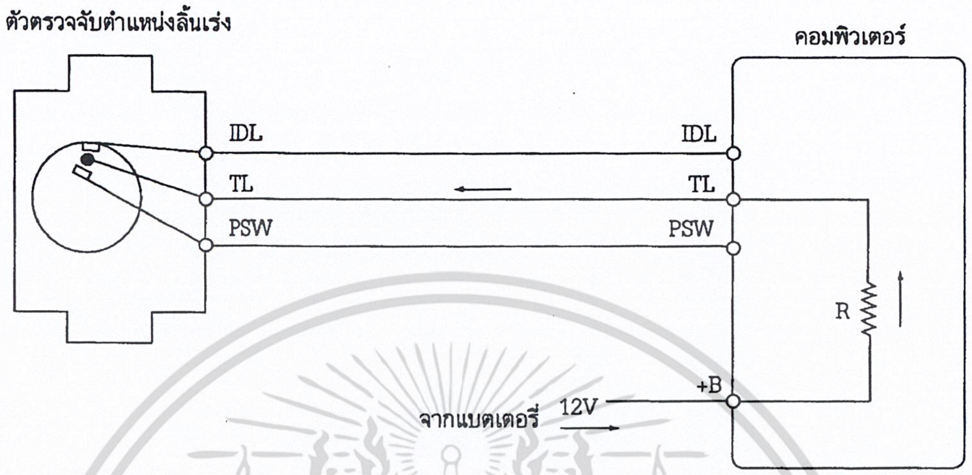
รูปที่ 6.17 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด ณ ตำแหน่งรับภาระปานกลาง

ที่ตำแหน่งรับภาระสูงสุด(full load) ลิ้นเร่งเปิดประมาณ 50-60 องศา จากตำแหน่งปิด หน้าคอนแทคตำแหน่งรับภาระสูงสุด(ขั้ว PSW และ TL) จะต่อกัน ดังรูป 6.18



รูปที่ 6.18 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด ณ ตำแหน่งรับภาระสูงสุด

จากการทำงานของตัวตรวจจับลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด จะถูกนำไปใช้บอกสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ให้คอมพิวเตอร์ทราบ เพื่อปรับแก้ไขระยะในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด ให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงาน โดยตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งจะต่อวงจรกับคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 6.19

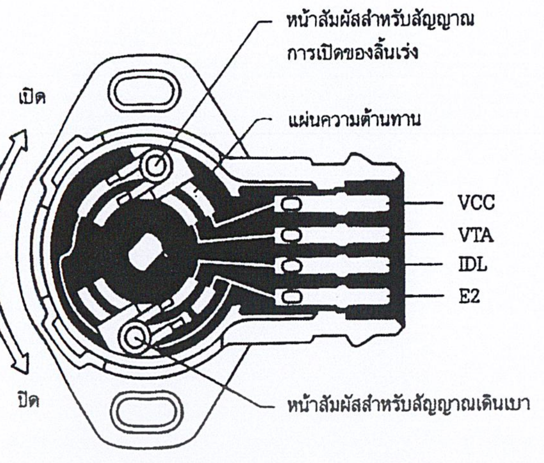


รูปที่ 6.19 วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบหน้าสัมผัสปิด-เปิด

จากวงจรไฟฟ้าดังรูปที่ 6.19 จะมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 12 V จากคอมพิวเตอร์จ่ายเข้ากับตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งที่ขั้ว TL ณ ตำแหน่งเดินเบา ขั้ว TL จะต่อกับขั้ว IDL (สัญญาณเดินเบา) ทำให้มีแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับเข้าคอมพิวเตอร์ที่ขั้ว IDL เพื่อบอกตำแหน่งเดินเบา เมื่อเครื่องยนต์รับภาระสูงสุดขั้ว TL จะต่อกับขั้ว PSW (สัญญาณกำลัง) ทำให้มีแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับเข้าขั้ว PSW ของคอมพิวเตอร์ เพื่อบอกตำแหน่งรับภาระสูงสุด และเมื่อเครื่องยนต์รับภาระปานกลาง ขั้ว TL จะไม่มีการต่อกับขั้ว IDL หรือ PSW ดังนั้นจะไม่มีกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าขั้ว IDL และ PSW ของคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์จะใช้สัญญาณ IDL ในการเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ขณะเดินเบาเครื่องยนต์และตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ขณะลดความเร็วรอบอย่างทันทีทันใด และจะใช้สัญญาณ PSW ในการเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ขณะเครื่องยนต์รับภาระมาก

6.3.2 ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบเชิงเส้น



รูปที่ 6.20 โครงสร้างของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบเชิงเส้น

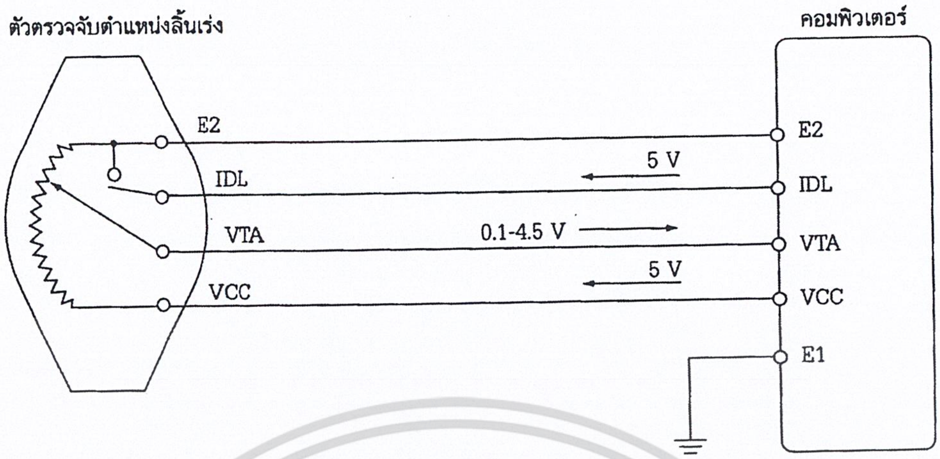
ภายในตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบเชิงเส้น จะประกอบด้วยแผ่นความต้านทาน ชุดหน้าสัมผัสสัญญาณเดินเบา ชุดหน้าสัมผัสสัญญาณการเปิดของลิ้นเร่ง และแผ่นวงจรไฟฟ้า ในการทำงานชุดหน้าสัมผัสทั้งสองที่ทำจากโลหะจะหมุนไปพร้อมกับการหมุนของลิ้นเร่ง ชุดหน้าสัมผัสจะเป็นสะพานไฟต่อเชื่อมระหว่างขั้วของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง โดยชุดหน้าสัมผัสสัญญาณเดินเบาจะต่อระหว่างขั้ว IDL และ E2 และชุดหน้าสัมผัสสัญญาณการเปิดของลิ้นเร่งจะต่อเชื่อมขั้ว VTA และ VCC ซึ่งมีตัวต้านทานต่ออยู่

หลักการทำงาน

ที่ตำแหน่งเดินเบา ลิ้นเร่งปิด ชุดหน้าสัมผัสสัญญาณทั้งสองจะหมุนมาอยู่ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจนสุด โดยชุดหน้าสัมผัสสัญญาณเดินเบา จะต่อวงจรระหว่างขั้ว IDL และ E2 และชุดหน้าสัมผัสสัญญาณการเปิดลิ้นเร่งจะต่อที่ปลายของแผ่นความต้านทานของขั้ว VCC และแผ่นวงจรของขั้ว VTA ในตำแหน่งนี้ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว VCC และ E2 จะมีค่ามาก

เมื่อเร่งเครื่องยนต์ ชุดหน้าสัมผัสสัญญาณเดินเบาและการเปิดของลิ้นเร่ง จะหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาพร้อมๆ กัน ทำให้การต่อวงจรระหว่างขั้ว IDL และ E2 จะถูกตัดขาด เนื่องจากชุดหน้าไมผัสสัญญาณเดินเบาสัมผัสเลยตำแหน่งที่แผ่นวงจรไฟฟ้าของขั้ว E2 ดังแสดงในรูป 6.20 ในขณะเดียวกันชุดหน้าสัมผัสสัญญาณการเปิดของลิ้นเร่งจะหมุนเลื่อนไป ทำให้ความยาวของแผ่นความต้านทานที่สัมผัสกับชุดหน้าสัมผัสลดลง ส่งผลให้ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว VCC กับ VTA ลดลงตามไปด้วย

จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานระหว่างขั้ว VCC และ VTA และการตัดต่อวงจรระหว่างขั้ว IDL และ E2 จะถูกนำไปใช้ในการส่งสัญญาณไฟฟ้าเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อบอกตำแหน่งของลิ้นเร่ง ดังแสดงในวงจร ในรูปที่ 6.21



รูปที่ 6.21 วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งแบบเชิงเส้น

จากวงจร ไฟฟ้าดังรูปที่ 6.21 คอมพิวเตอร์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ประมาณ 5 V เข้าที่ขั้ว VCC ของตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง ผ่านตัวความต้านทานภายใน ออกทางขั้ว VTA ป้อนกลับเข้าคอมพิวเตอร์ เป็นสัญญาณการเปิดของลิ้นเร่ง และลงกราวด์ที่ขั้ว E2 และคอมพิวเตอร์จ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ 5 V ออกทางขั้ว IDL เพื่อรอลงกราวด์ที่ขั้ว E2

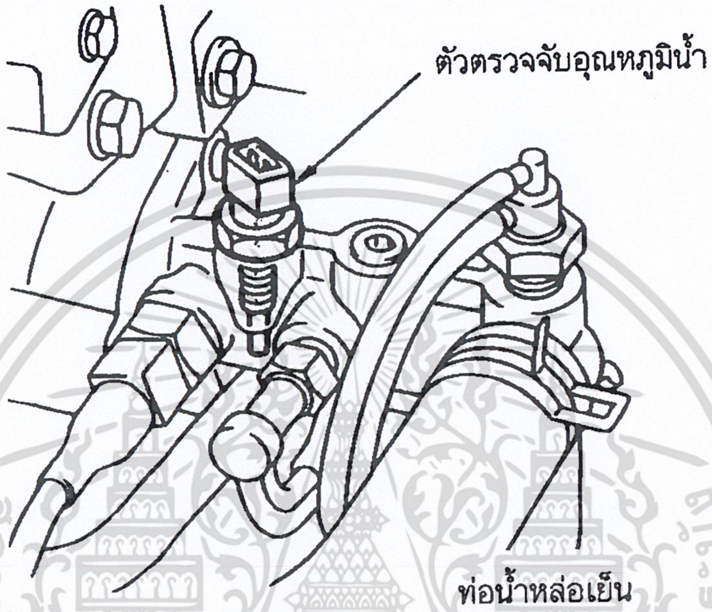
ที่ตำแหน่งเดินเบา หน้าสัมผัสเดินเบา(ขั้ว IDL และ E2) จะต่อถึงกัน ทำให้แรงดันไฟฟ้า 5 V ที่ขั้ว IDL มาลงกราวด์ที่ขั้ว E2 ซึ่งเป็นการบอกสภาวะเดินเบาของเครื่องยนต์ หรือลิ้นเร่งปิดให้คอมพิวเตอร์ทราบ ส่วนที่ชุดหน้าสัมผัสสัญญาณการเปิดของลิ้นเร่งในตำแหน่งเดินเบาค่าความต้านทานระหว่างขั้ว VCC และ VTA จะมีค่ามาก ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ไหลผ่านจากขั้ว VCC ออกทางขั้ว VTA มีค่าน้อยประมาณ 0.1-0.5 V

ที่ตำแหน่งเร่งเครื่องยนต์ ชุดหน้าสัมผัสสัญญาณเดินเบา จะตัดวงจรระหว่างขั้ว IDL และ E2 ทำให้กระแสไฟฟ้าจากขั้ว IDL ของคอมพิวเตอร์ไม่สามารถลงกราวด์ได้ ซึ่งเป็นการบอกถึงเครื่องยนต์ไม่ได้อยู่ในสภาวะเดินเบา ส่วนชุดหน้าสัมผัสสัญญาณการเปิดของลิ้นเร่ง ในสภาวะนี้ค่าความต้านทานระหว่างขั้ว VCC และ VTA จะลดลง ตามมุมการเปิดของลิ้นเร่ง ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากขั้ว VTA เพิ่มขึ้นจาก 0.1-0.5 V ที่ตำแหน่งเดินเบา จนถึงประมาณ 4.5 V ที่ตำแหน่งลิ้นเร่งเปิดสุด

ในระบบเครื่องยนต์ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์แบบ TCCS ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณเดินเบา (IDL) และสัญญาณมุมการเปิดของลิ้นเร่ง (PSW, VTA) ให้คอมพิวเตอร์ ใช้สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ สัญญาณเดินเบาถูกใช้สำหรับตัดการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงขณะลดความเร็วรอบและปรับจังหวะการจุดระเบิด ส่วนสัญญาณ PSW หรือ VTA ใช้ในการเพิ่มปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงขณะทำการเร่งเครื่องยนต์

6.4 ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ(Water Temperature Sensor)

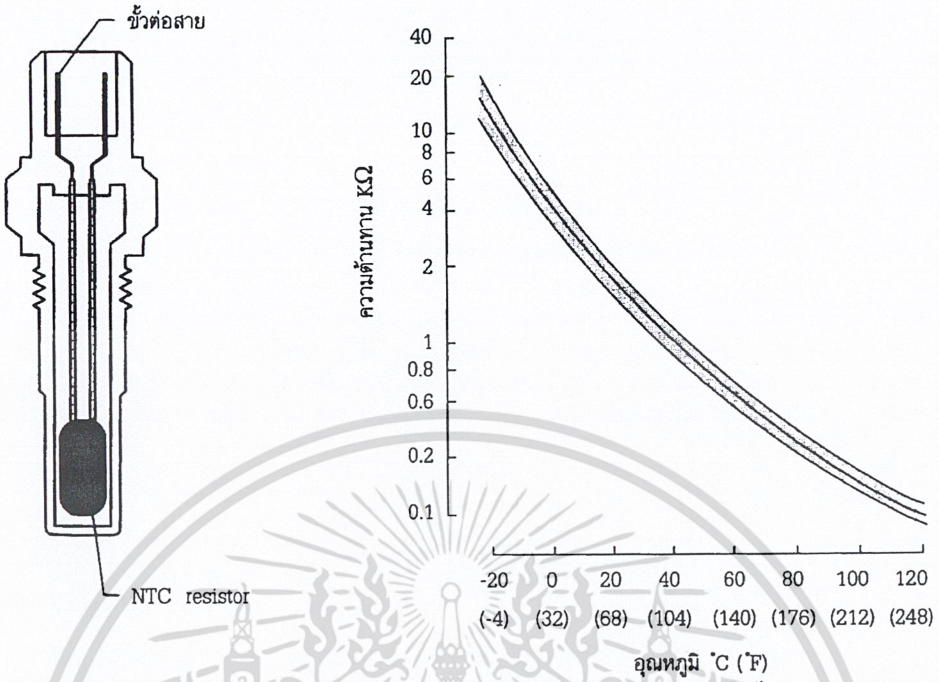
ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของเครื่องยนต์ แล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ ให้เพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 6.22 รูปร่างและตำแหน่งการติดตั้งตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ

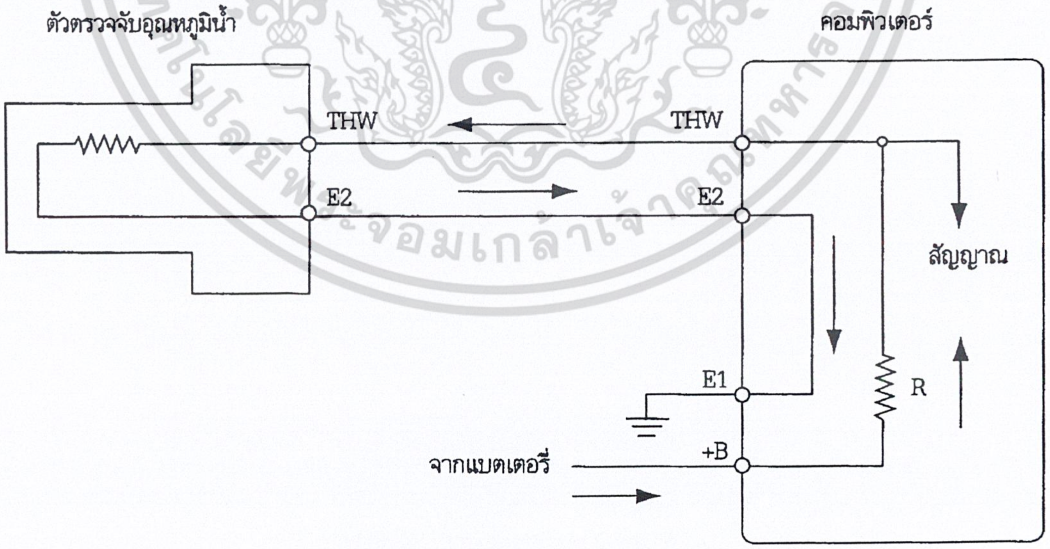
หลักการทำงาน

ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ จะถูกติดตั้งไว้ที่บริเวณช่องทางออกของน้ำหล่อเย็นที่ตัวเครื่องยนต์ ภายในตัวตรวจจับอุณหภูมิจะประกอบด้วย ตัวความต้านทานแบบมีค่าสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิเป็นลบที่เรียกว่า NTC (Negative Temperature Coefficient) resistor หรือเรียกว่า เทอร์มิสเตอร์ (themistor) ซึ่งจะมีค่าความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6.23



รูปที่ 6.23 ส่วนประกอบและคุณสมบัติของตัวตรวจอุณหภูมิน้ำ

จากคุณสมบัติของ NTC resistor จะถูกนำไปใช้เปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้า สำหรับป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นข้อมูลในการแก้ไขระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ให้มีส่วนผสมของเชื้อเพลิงเหมาะสมกับอุณหภูมิของเครื่องยนต์ กล่าวคือ มีส่วนผสมที่หนาขึ้น เมื่อเครื่องยนต์อุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 6.24 วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ

แรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ป้อนเข้าที่ขั้ว +B ของคอมพิวเตอร์ ผ่านวงจรภายในแล้วจ่ายออกทางขั้ว THW เข้าตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ กลับมาลงที่กราวด์ที่ขั้ว E2 ในขณะน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิต่ำค่าความต้านทานของ NTC resistor จะสูง ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมที่ขั้ว THW และ E2 สูงขึ้น (มีความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้ามาก) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูง จะนำไปเป็นข้อมูลให้คอมพิวเตอร์เพิ่มระยะเวลาในการ

ฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้มีส่วนผสมหนาขึ้น เหมาะสมกับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ และเมื่อเครื่องยนต์ทำงานจนน้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานของ NTC resistor จะต่ำลง ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขั้ว THW และ E2 ลดลง คอมพิวเตอร์ก็จะลดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงลง ทำให้ส่วนผสมของเชื้อเพลิงบางลง

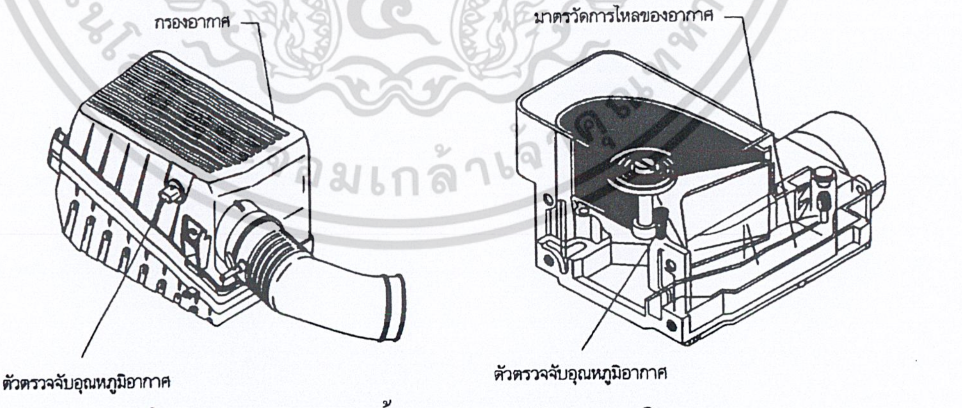
คอมพิวเตอร์จะเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่กำหนดในเครื่องยนต์แต่ละรุ่น เช่น ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นต้น

ในระบบเครื่องยนต์ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์แบบ TCCS ตัวตรวจจับอุณหภูมิจะทำหน้าที่อย่างอื่นด้วย เช่น ส่งสัญญาณให้กับคอมพิวเตอร์ปรับองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า และรอบเดินเบา (บางรุ่น) ให้เหมาะสมกับอุณหภูมิเครื่องยนต์ ส่งสัญญาณให้คอมพิวเตอร์สั่งให้หัวฉีดสตาร์ทเย็นทำงาน (เฉพาะบางรุ่น เช่น เครื่องยนต์รุ่น 3S-GE) แต่โครงสร้าง คุณลักษณะการทำงานและวงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำจะเหมือนกับระบบ EFI แบบธรรมดาทั่วไป

6.5 ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature Sensor)

ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ป้อนเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อปรับระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ให้เหมาะสมกับอุณหภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป

ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ จะถูกติดตั้งไว้ที่บริเวณทางผ่านของอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบ เช่น ที่ตัวกรองอากาศ ภายในตัวมาตรวัดการไหลของอากาศ หรือที่ห้องประจุไอดี ดังรูปที่ 6.25



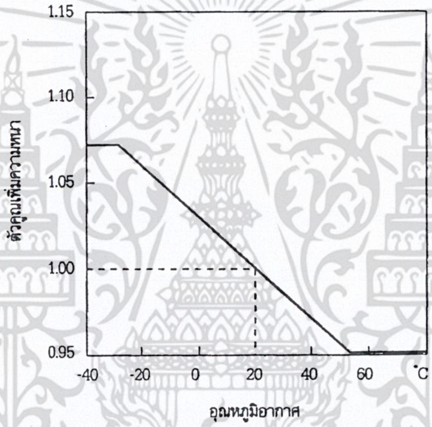
รูปที่ 6.25 ตำแหน่งการติดตั้งของตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ

หลักการทำงาน

จากหลักการของระบบ EFI ปริมาณอากาศที่บรรจุเข้ากระบอกสูบ จะเป็นข้อมูลให้คอมพิวเตอร์คำนวณหาระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้ได้ส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี แต่ด้วยเหตุที่อุณหภูมิของอากาศที่มีค่าไม่คงที่ ทำให้น้ำหนักต่อปริมาตรอากาศ (ความหนาแน่น) เปลี่ยนไป คือจะมีน้ำหนักต่อปริมาตรน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของอากาศตามอุณหภูมิ เป็นเหตุให้

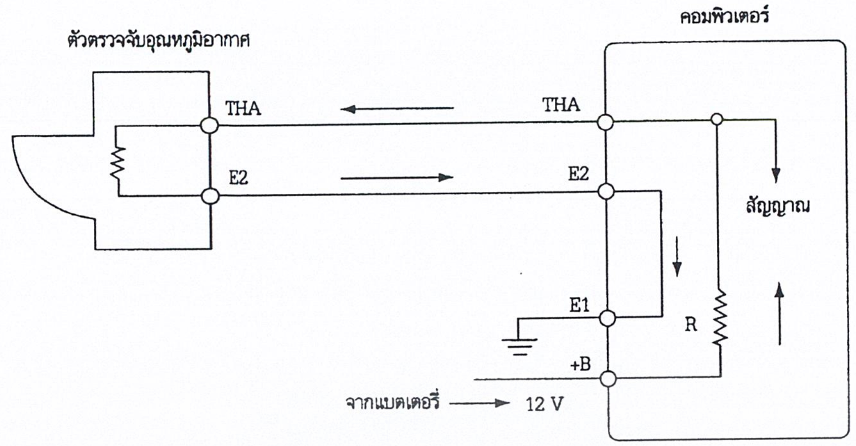
อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ได้จากการฉีดของหัวฉีดมีค่าไม่เที่ยงตรงตามที่คำนวณไว้ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นน้ำหนักของอากาศต่อปริมาตรจะน้อยลง ทำให้อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงหนาขึ้น และในทางกลับกัน ส่วนผสมของเชื้อเพลิงจะบางลง เมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำลง (น้ำหนักต่อปริมาตรมากขึ้น) ดังนั้น เพื่อเป็นการแก้ไขส่วนผสมที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิอากาศ จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำ และลดระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงลง เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น

ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ จะประกอบด้วย NTC resistor เหมือนกับที่ใช้ในตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศจะส่งสัญญาณให้คอมพิวเตอร์ เพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำกว่า 20 °C และจะลดเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 20 °C ดังแสดงในรูปที่ 6.26



รูปที่ 6.26 กราฟแสดงการปรับส่วนผสมของเชื้อเพลิงตามอุณหภูมิของอากาศ

ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ จะต่อวงจรไฟฟ้าร่วมกับคอมพิวเตอร์ ดังในรูป 6.27 คอมพิวเตอร์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมาทางขั้ว THA ผ่าน NTC resistor กลับมาลงกราวด์ที่ E2 เมื่ออุณหภูมิของอากาศที่ดูดเข้ากระบอกสูบเปลี่ยนแปลง ค่าความต้านทานของ NTC resistor จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมระหว่างขั้ว THA และ E2 เปลี่ยนแปลง จากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลในการปรับระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 6.27 วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ

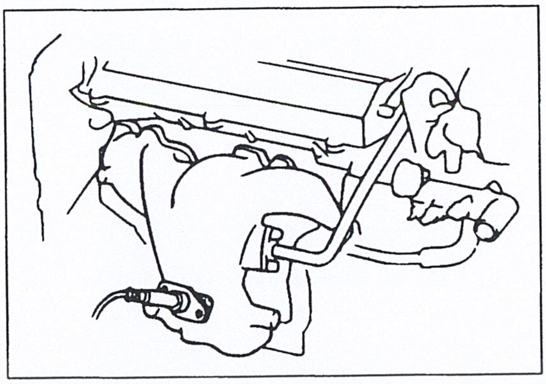
ในระบบเครื่องยนต์ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์แบบ TCCS ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศทำหน้าที่เช่นเดียวกับในระบบ EFI ธรรมดา

6.6 ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน(Oxygen Sensor or Lambda Sensor)

ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดออกซิเจน(O_2) ในแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ แล้วส่งสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากการวัดป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ ให้ปรับระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดให้ได้ส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (14.7 : 1) ขณะที่เครื่องยนต์ทำงานในสภาวะปกติ

ในสภาวะที่เครื่องยนต์ทำงานปกตินั้น เครื่องยนต์จะต้องการส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี ซึ่งเป็นส่วนผสมที่การเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ คอมพิวเตอร์ จะทำการกำหนดระยะเวลาในการฉีด โดยได้รับข้อมูลทางไฟฟ้ามาจากตัวตรวจจับสัญญาณ (sensor) ต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามอัตราส่วนผสมที่ได้จากการควบคุมของคอมพิวเตอร์ นั้นอาจมีการผิดพลาดเบี่ยงเบนไปจากค่า 14.7 : 1 ได้ เนื่องจากสาเหตุของความบกพร่อง หรือความคลาดเคลื่อนในการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ การเบี่ยงเบนไปของอัตราส่วนผสมนี้สามารถตรวจสอบได้โดยการวัดปริมาณของออกซิเจนในแก๊สไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ หากอัตราส่วนผสมที่ป้อนเข้ากระบอกสูบหนา การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีอากาศน้อย ทำให้ปริมาณของออกซิเจนในแก๊สไอเสียมีน้อย และทางตรงกันข้าม ถ้าอัตราส่วนผสมที่ป้อนเข้ากระบอกสูบบาง ปริมาณของออกซิเจนในแก๊สไอเสียจะมาก จากปริมาณของออกซิเจนในแก๊สไอเสีย ได้ถูกนำถูกมาใช้ปรับแก้ไขระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีด ให้ได้ส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี

ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน จะถูกติดตั้งไว้บริเวณปลายท่อร่วมไอเสีย ดังรูปที่ 6.28 หรือในเครื่องยนต์บางรุ่นอาจติดตั้งไว้ที่ท่อไอเสียด้านล่างก่อนเข้ากรองไอเสีย (TWC)



รูปที่ 6.28 ตำแหน่งของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน

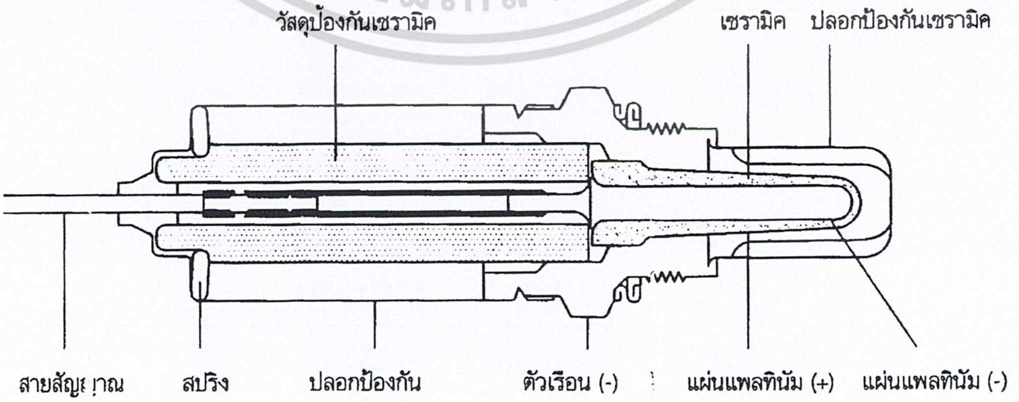
ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในระบบ TCCS แบ่งออกตามชนิดของสารที่ใช้ทำได้ 2 แบบ คือ

1. แบบใช้สารเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2)
2. แบบใช้สารไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2)

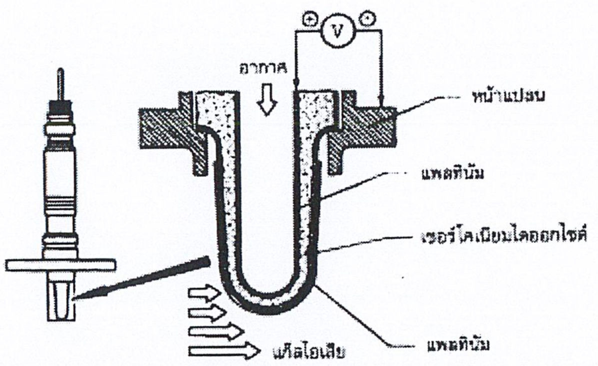
แต่แบบที่มีใช้มากจะเป็นแบบเซอร์โคเนียมไดออกไซด์

6.6.1 ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2)

ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO_2)นี้ จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เซรามิคชนิดพิเศษที่ทำจาก เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (Zirconium Dioxide) ฉาบผิวด้วยแผ่นแพลทินัม (ทองคำขาว) ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ทั้งด้านนอกและด้านในดังในรูปที่ 6.29 ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนจะถูกติดตั้งยื่นเข้าไปในท่อไอเสียของเครื่องยนต์ ให้แผ่นแพลทินัม (+) ที่ฉาบอยู่ด้านนอก สำหรับปลอกป้องกันจะเป็นท่อโลหะหุ้มตัวเซรามิค ที่มีช่องให้แก๊สไอเสียผ่านไปยังแผ่นแพลทินัมได้ ปลอกนี้จะทำหน้าที่ป้องกันของแข็งเล็กๆ ที่ปนอยู่ในแก๊สไอเสียกระทบกับเซรามิค



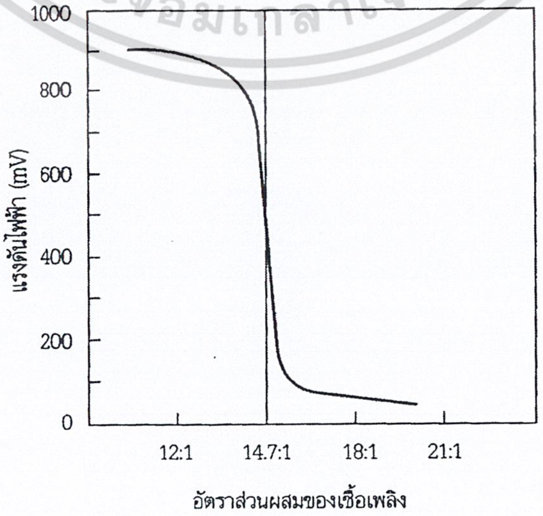
รูปที่ 6.29 ส่วนประกอบของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน



รูปที่ 6.30 ส่วนประกอบของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารเซอร์โคเนียมไดออกไซด์

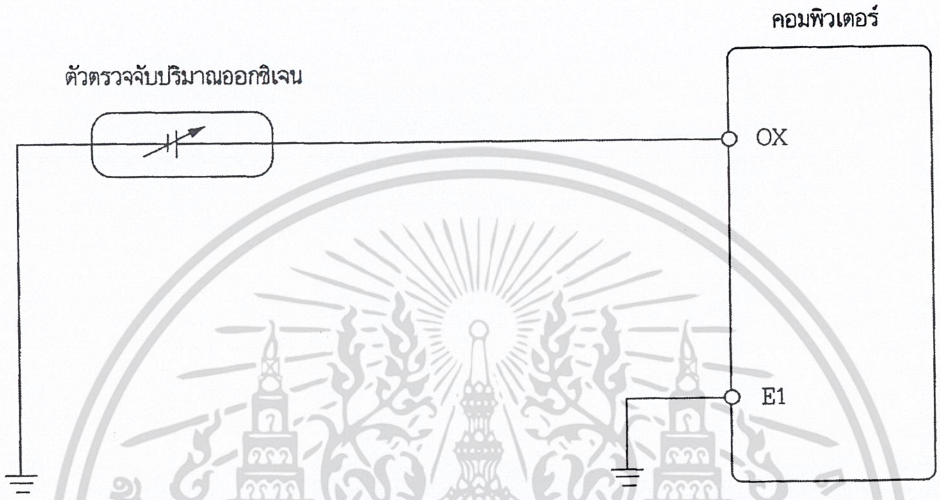
หลักการทำงาน

ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนจะเปรียบเสมือนแบตเตอรี่ขนาดเล็ก ที่มีการจ่ายค่าแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณออกซิเจนที่ได้รับจากแก๊สไอเสีย ในการทำงานของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนจะอาศัยความแตกต่างของจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น ระหว่างแผ่นแพลทินัมที่ฉาบไว้ทั้งสองด้านของเซรามิคและการเป็นตัวนำไฟฟ้าของเซรามิค เมื่อตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนได้รับออกซิเจนจากแก๊สไอเสีย แผ่นแพลทินัมจะมีอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้น โดยแผ่นแพลทินัมส่วนที่ติดกับบรรยากาศ (อากาศที่เข้ามา) ซึ่งได้รับออกซิเจนจำนวนมากจะมีอิเล็กตรอนเกิดขึ้นมาก ส่วนแผ่นแพลทินัมที่สัมผัสกับแก๊สไอเสียจะได้รับออกซิเจนน้อยกว่า ก็จะมีอิเล็กตรอนเกิดขึ้นน้อย สำหรับเซรามิคเมื่อได้รับออกซิเจนและความร้อนจากแก๊สไอเสียจะมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า ทำให้เกิดการถ่ายเทของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในแผ่นแพลทินัมทั้งสอง ดังนั้นหากมีการต่อแผ่นแพลทินัมทั้งสองเข้าด้วยกันเป็นวงจร ก็จะทำให้มีกระแสไหล จากการทำงานดังกล่าว จะมีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นประมาณ 100-900 mV (0.1-0.9 V) โดยแปรผันไปตามบริเวณของออกซิเจนในแก๊สไอเสีย กล่าวคือ หากในแก๊สไอเสียมีปริมาณออกซิเจนน้อยจะมีค่าแรงดันไฟฟ้ามากและในทางตรงข้าม หากมีปริมาณออกซิเจนในแก๊สไอเสียมากจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าน้อย ซึ่งมีผลมาจากอัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้ากระบอกสูบ ดังในรูปที่ 6.31



รูปที่ 6.31 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน

จากกราฟค่าแรงดันไฟฟ้าของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน จะเห็นว่าที่อัตราส่วนผสมหนา ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะสูง และจะลดต่ำลง เมื่ออัตราส่วนผสมบางลง จากค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะถูกป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการปรับระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้ได้อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงตามทฤษฎีดังในวงจรไฟฟ้าในรูปที่ 6.32

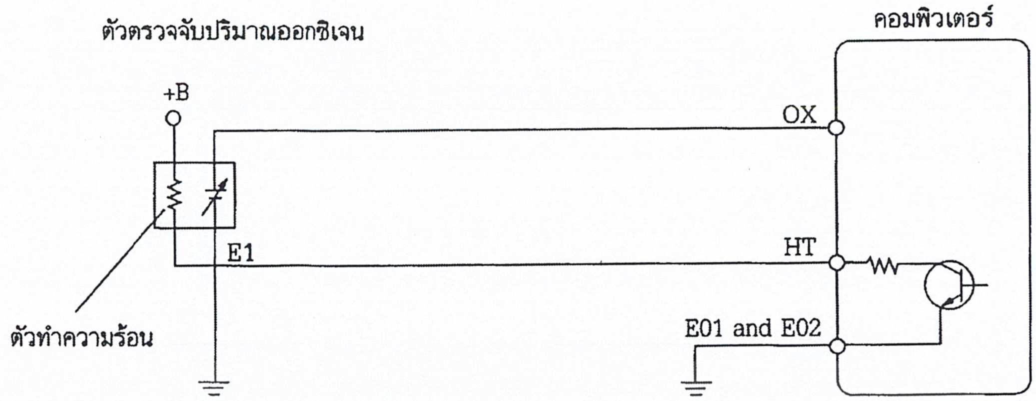


รูปที่ 6.32 วงจรไฟฟ้าตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารเซอร์โคเนียมไดออกไซด์

ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมาระหว่าง 0.1-0.9 V ป้อนเข้าขั้ว OX ของคอมพิวเตอร์ ผ่านตัวความต้านทานเข้าตัวไอซี และที่ตัวไอซีนี้จะมีแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบ 0.45 V เป็นค่ามาตรฐาน หากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว OX มากกว่า 0.45 V แสดงว่า เครื่องยนต์จะได้รับส่วนผสมของเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่หนาทำให้เกิดแก๊ส CO ในไอเสียมาก (มีปริมาณออกซิเจนน้อย) คอมพิวเตอร์ จะทำการปรับระยะเวลาในการฉีดน้อยลง และในทางกลับกัน ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 0.45 V แสดงว่า เครื่องยนต์จะได้รับส่วนผสมของเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่บางทำให้เกิดแก๊ส CO ในไอเสียน้อย (มีปริมาณออกซิเจนมาก) คอมพิวเตอร์ จะทำการปรับระยะเวลาในการฉีดมากขึ้น เพื่อให้ได้ส่วนผสมตามทฤษฎี

ค่าแรงดันไฟฟ้าจากตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนนี้ จะเชื่อถือได้ก็ต่อเมื่อมีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 350 องศาเซลเซียส เนื่องจากเซรามิคจะมีความต้านทานสูงที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นขณะที่ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนมีอุณหภูมิต่ำ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะไม่เที่ยงตรง

ในการทำงานตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน จะมีผลต่อการปรับอัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิง เฉพาะตอนที่เครื่องยนต์ทำงานอยู่ในสภาวะปกติ คือมีอุณหภูมิถึงอุณหภูมิทำงาน เครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 2000—2500 รอบ/นาที และอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงมีการเบี่ยงเบนไปจากอัตราส่วนผสมตามทฤษฎีไม่มากนัก ดังนั้นในการเครื่องยนต์รุ่นใหม่ๆ ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนจะมีตัวทำความร้อนที่ทำงานด้วยไฟฟ้า (heater) อยู่ภายใน เพื่อทำให้เซรามิคมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สามารถทำงานได้ โดยไม่ต้องรอความร้อนจากแก๊สไอเสีย ซึ่งบางครั้งอาจต้องใช้เวลานานหากอากาศที่บรรจุเข้าเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ ในรูปที่ 6.33

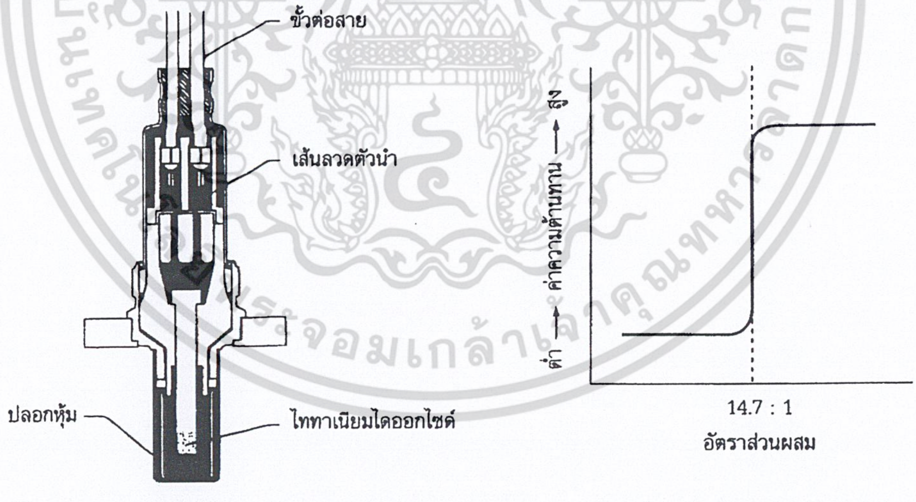


รูปที่ 6.33 วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบมีตัวทำความร้อนอยู่ภายใน

จากรูปวงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบมีตัวทำความร้อนอยู่ภายในนี้ ที่ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนจะมีขั้วต่อสายไฟ 4 ขั้ว คือ +B, HT, OX, และ E1 ตัวทำความร้อนจะได้รับไฟฟ้าจากรีเลย์หลัก (EFI main relay) ทางขั้ว +B มาลงกราวด์ครบวงจรที่ขั้ว HT ที่คอมพิวเตอร์

6.6.2 ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์(TiO_2)

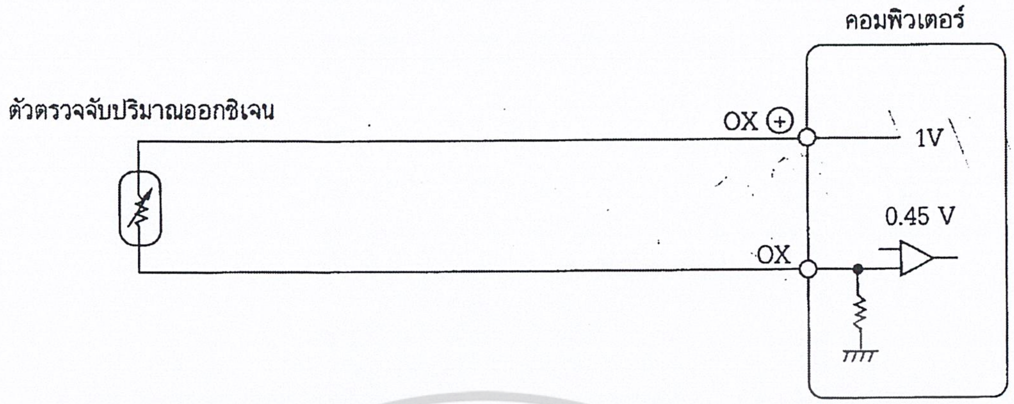
ตัวตรวจจับแบบนี้จะใช้เซรามิคที่ทำจากไททาเนียมไดออกไซด์(TiO_2) ดังแสดงในรูปที่ 6.34



รูปที่ 6.34 ส่วนประกอบของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์

หลักการทำงาน

การทำงานของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์ จะอาศัยคุณสมบัติของสารไททาเนียมไดออกไซด์ ที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไปตามค่าความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนในแก๊สไอเสีย โดยจะมีค่าความต้านทานต่ำเมื่อได้รับปริมาณออกซิเจนน้อย และจะมีค่าความต้านทานสูงขึ้นเมื่อได้รับปริมาณออกซิเจนมาก แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อค่าความต้านทาน ดังนั้นจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิให้มีค่าคงที่



รูปที่ 6.35 วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์

วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบบใช้สารไททาเนียมไดออกไซด์ มีสายไฟอยู่ 2 เส้นต่อกับคอมพิวเตอร์ที่ขั้ว OX+ และ OX ที่ขั้ว OX+ ของคอมพิวเตอร์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้า 1 V ออกมาเพื่อป้อนเข้าตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนที่เป็นตัวความต้านทานแบบเปลี่ยนค่าได้ แล้วไหลกลับเข้าคอมพิวเตอร์ที่ขั้ว OX ซึ่งขั้วนี้จะเป็นสัญญาณปริมาณออกซิเจนในแก๊สไอเสีย หากส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเครื่องยนต์หนา แก๊สไอเสียจะมี CO มาก (มีออกซิเจนน้อย) ค่าความต้านทานของเซรามิคจะน้อย ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า OX จะมีค่ามาก และในทางกลับกัน ถ้าส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเครื่องยนต์บาง แก๊สไอเสียจะมีค่า CO น้อย (มีออกซิเจนมาก) ค่าความต้านทานของเซรามิคจะเพิ่มขึ้นทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า OX จะมีค่าน้อยลง

วงจรภายในคอมพิวเตอร์นั้นมีค่าแรงดันไฟฟ้า 0.45 V เป็นค่ามาตรฐาน หากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว OX มากกว่า 0.45 V แสดงว่า เครื่องยนต์จะได้รับส่วนผสมของเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่หนาทำให้เกิดแก๊ส CO ในไอเสียมาก (มีปริมาณออกซิเจนน้อย) คอมพิวเตอร์ จะทำการปรับระยะเวลาในการฉีดน้อยลง และในทางกลับกัน ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 0.45 V แสดงว่า เครื่องยนต์จะได้รับส่วนผสมของเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่บาง ทำให้เกิดแก๊ส CO ในไอเสียน้อย (มีปริมาณออกซิเจนมาก) คอมพิวเตอร์ จะทำการปรับระยะเวลาในการฉีดมากขึ้น เพื่อให้ได้ส่วนผสมตามทฤษฎี

6.7 ตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง (Crank Angle Sensor)

ในเครื่องยนต์รุ่นแรกๆ ที่ใช้ระบบ EFI แบบธรรมดา สัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ป้อนเข้าคอมพิวเตอร์จะมาจากขั้วลบของคอยล์จุดระเบิด แต่ในระบบเครื่องยนต์ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์แบบ TCCS สัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์จะมาจาก sensor สำหรับตรวจจับองศาของมุมเพลาข้อเหวี่ยงโดยตรง โดย sensor จะถูกติดตั้งไว้ภายในจานจ่าย แต่ในเครื่องยนต์บางรุ่นอาจมีการติดตั้งไว้แยกต่างหากและไม่ใช้จานจ่าย

ตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยงในระบบ TCCS จะมีหน้าที่ส่งสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์ และสัญญาณมุมเพลาข้อเหวี่ยงป้อนเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อกำหนดระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานของหัวฉีด กำหนดจังหวะการฉีดและกำหนดจังหวะการจุดระเบิดให้กับระบบควบคุมการจุดระเบิดล่วงหน้า (ESA)

ตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยงที่ใช้ในระบบ TCCS จะมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ โดยในแต่ละแบบจะมีความแตกต่างกันที่จำนวนฟันของไทมิ่งโรเตอร์และจำนวนขดลวดกำเนิดสัญญาณ ซึ่งจะมีใช้มากในเครื่องยนต์ปัจจุบันอยู่ด้วยกัน 4 แบบ ดังนี้

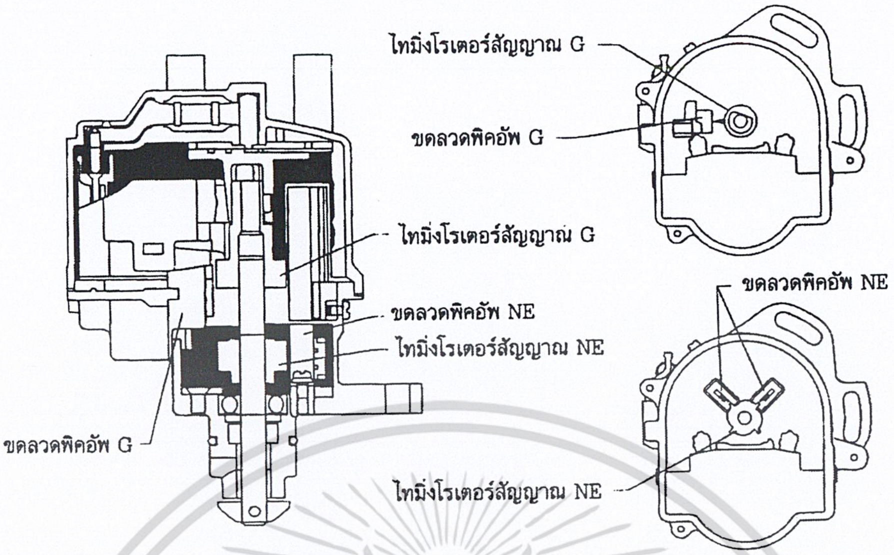
1. แบบมี- ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ G 4 ฟัน ขดลวดพิคอัพ 1 ขด
   - ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ NE 24 ฟัน ขดลวดพิคอัพ 1 ขด
2. แบบมี- ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ G 1 ฟัน ขดลวดพิคอัพ 2 ขด
   - ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ NE 24 ฟัน ขดลวดพิคอัพ 1 ขด
3. แบบมี- ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ G 1 ฟัน ขดลวดพิคอัพ 1 ขด
   - ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ NE 4 ฟัน ขดลวดพิคอัพ 2 ขด
4. แบบมี- ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ NE 4 ฟัน ขดลวดพิคอัพ 2 ขด

เนื่องจากโครงงานนี้อ้างอิงถึงเครื่องยนต์ 7A-FE ซึ่งใช้ตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยงในแบบที่ 3 จึงขอกล่าวเฉพาะแบบที่ 3 เท่านั้น

6.7.1 แบบมี - ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ G 1 ฟัน ขดลวดพิคอัพ 1 ขด

- ไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ NE 4 ฟัน ขดลวดพิคอัพ 2 ขด

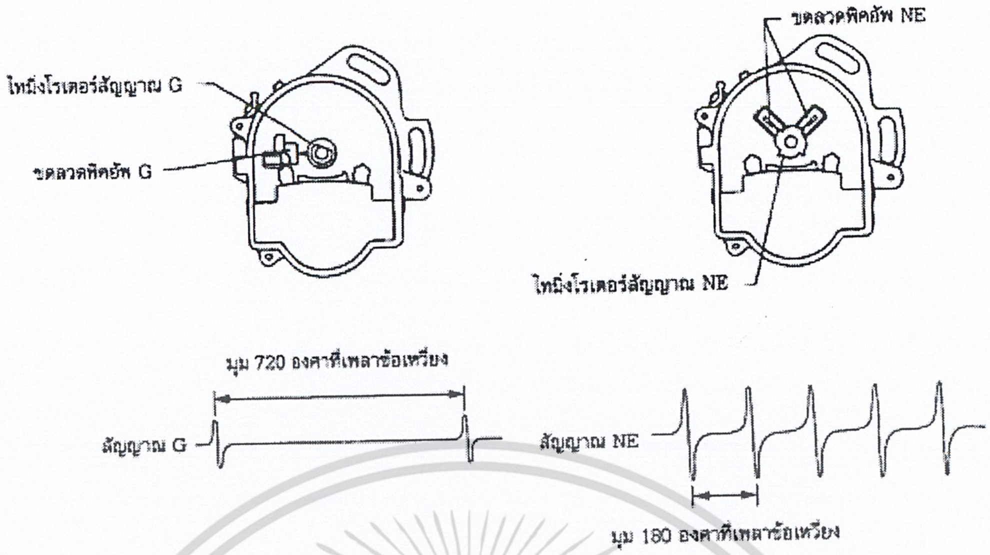
ตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยงแบบนี้ ประกอบด้วยไทมิ่งโรเตอร์ 2 ชุด ติดตั้งอยู่บนเพลาจานจ่าย ชุดบนเป็นไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ G 1 ฟัน และชุดล่างเป็นไทมิ่งโรเตอร์สัญญาณ NE 4 ฟัน สำหรับขดลวดพิคอัพสัญญาณ G จะมี 1 ขด และขดลวดสัญญาณ NE มี 2 ขด โดยติดตั้งให้ทำมุม 90 องศา



รูปที่ 6.36 ส่วนประกอบของตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยงแบบมีไทมิ่งโรเตอร์ 1 ฟัน และ 4 ฟัน

หลักการทำงาน

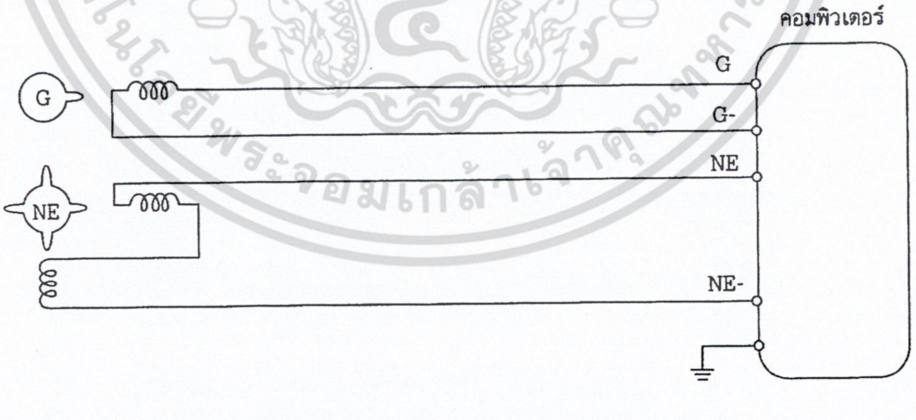
การทำงานของตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยงอาศัยหลักการสนามแม่เหล็กตัดกับขดลวด เมื่อมีการตัดของสนามแม่เหล็กกับขดลวด หรือมีการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ตัดกับขดลวด จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวด จากการที่โครงสร้างของขดลวดพิคอัพเป็นขดลวดพันอยู่บนแกนเหล็กที่ต่อกับแม่เหล็กถาวร ทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด แต่ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น เนื่องจากความเข้มของสนามแม่เหล็กคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อไทมิ่งโรเตอร์หมุนไปในตำแหน่งที่ปลายของไทมิ่งโรเตอร์ใกล้กับปลายของแกนเหล็กที่ขดลวดพันอยู่ เส้นแรงแม่เหล็กจากแกนเหล็กจะวิ่งผ่านปลายไทมิ่งโรเตอร์ที่ทำจากเหล็ก ทำให้ความเข้มสนามแม่เหล็กที่ขดลวดพิคอัพเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงเกิดการเหนี่ยวนำและมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในขดลวด G และ NE



รูปที่ 6.37 คลื่นสัญญาณจากขดลวด G และ NE แบบไทมิ่งโรเตอร์ 1 ฟัน และ 4 ฟัน

จากรูปที่ 6.37 ตัวตรวจจับมุมเพลาข้อเหวี่ยงแบบนี้ ใน 1 รอบการทำงานของเครื่องยนต์ (มุม 720 องศา ที่ข้อเหวี่ยง) ไทมิ่งโรเตอร์หมุน 1 รอบ จะมีการเหนี่ยวนำให้เกิดสัญญาณ G จำนวน 1 ครั้ง และเกิดสัญญาณ NE จำนวน 4 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 180 องศา

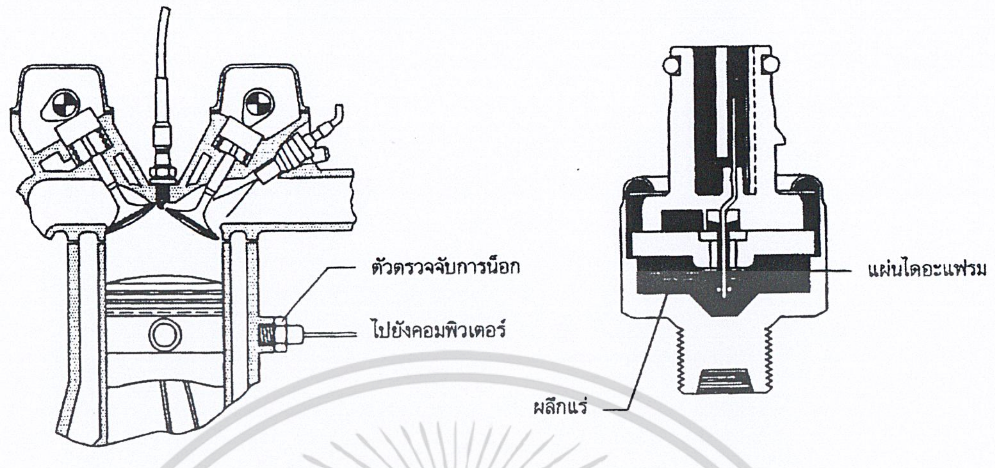
การกำเนิดสัญญาณ NE จะมีเพียง 4 ครั้ง ตามจำนวนฟันของไทมิ่งโรเตอร์ เนื่องจากขอลวดพิคอัพทั้ง 2 ขดต่ออนุกรมกัน และมีการทำงานพร้อมกัน



รูปที่ 6.38 วงจรไฟฟ้าสัญญาณจากขดลวด G และ NE แบบไทมิ่งโรเตอร์ 1 ฟัน และ 4 ฟัน

6.8 ตัวตรวจจับการน็อก (Knock Sensor)

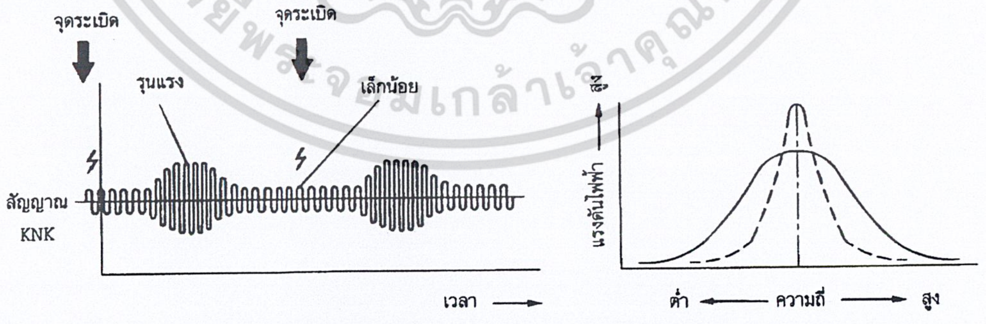
ตัวตรวจจับการน็อก มีไว้สำหรับตรวจจับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการน็อกของเครื่องยนต์ แล้วส่งสัญญาณให้คอมพิวเตอร์ลดองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า เพื่อให้การน็อกหยุดลง ตัวตรวจจับการน็อกจะถูกติดตั้งไว้ที่บริเวณเสื้อสูบของเครื่องยนต์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.39



รูปที่ 6.39 ตำแหน่งการติดตั้งและส่วนประกอบตัวตรวจจับการน็อก

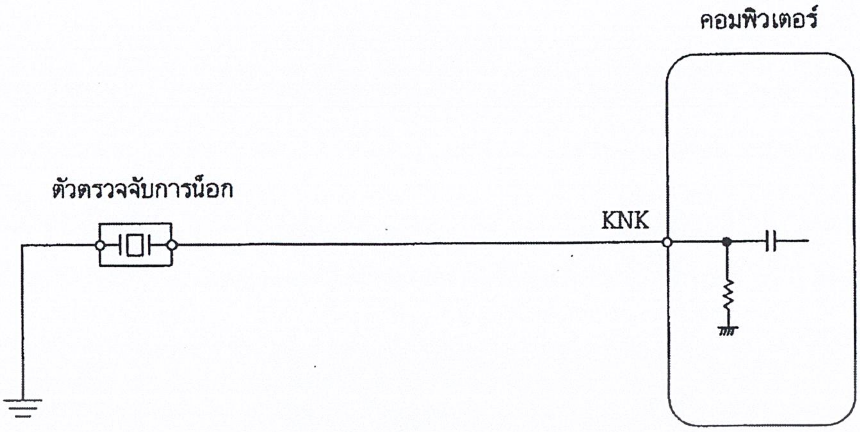
หลักการทำงาน

โครงสร้างภายในของตัวตรวจจับการน็อก จะประกอบด้วยแผ่นไดอะเฟรมและผลึกแร่ (piezoelectric element) ที่มีคุณสมบัติในการสร้างแรงดันไฟฟ้าขึ้น เมื่อมันมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง จากแรงสั่นสะเทือนของผนังกระบอกสูบ ที่เกิดจากเครื่องยนต์น็อก เมื่อเครื่องยนต์เกิดการน็อกจะมีแรงสั่นสะเทือนที่มีความถี่ประมาณ 7 kHz ผลึกแร่จะสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงสุดออกมา ดังแสดงในรูปที่ 6.40 สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้จะส่งให้คอมพิวเตอร์ทำการลดองศาการจุดระเบิดลง ซึ่งมีผลทำให้การน็อกของเครื่องยนต์หยุดลง



รูปที่ 6.40 คุณลักษณะของตัวตรวจจับการน็อก

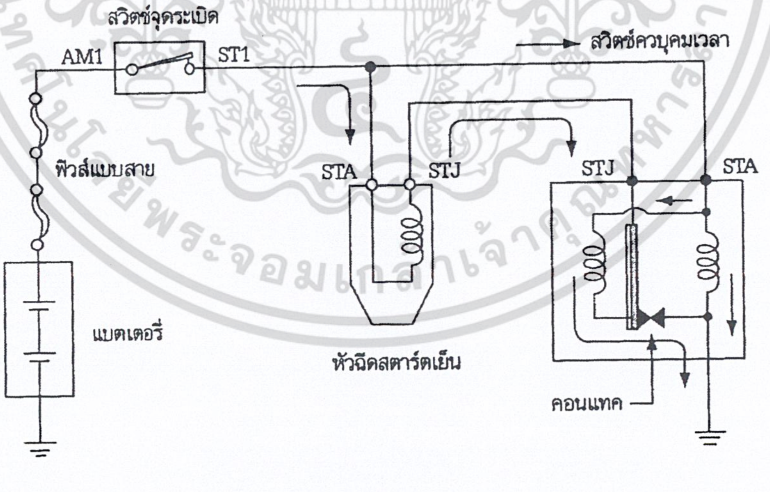
จากรูปที่ 6.40 ตัวตรวจจับการน็อกมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดให้แรงดันไฟฟ้าสูงในช่วงแคบของความถี่การสั่นสะเทือนและชนิดแรงดันไฟฟ้าสูงในช่วงกว้างของความถี่การสั่นสะเทือน



รูปที่ 6.41 วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับการน็อก

ตัวตรวจจับการน็อกจะส่งสัญญาณเข้าคอมพิวเตอร์ทางขั้ว KNK ดังรูปที่ 6.41

6.9 สัญญาณการสตาร์ท (Start Signal : STA)



รูปที่ 6.42 วงจรไฟฟ้าสัญญาณการสตาร์ท

หลักการทำงาน

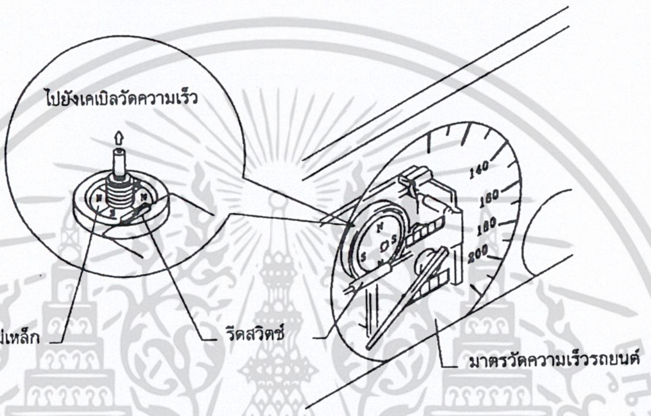
สัญญาณการสตาร์ทจะต่อมาจากขั้ว ST1 ของสวิตซ์จุดระเบิด ดังแสดงในรูปที่ 6.42 เมื่อมีการสตาร์ทเครื่องยนต์ กระแสไฟฟ้าจากขั้ว ST1 จะถูกป้อนเข้าที่ขั้ว STA ของคอมพิวเตอร์ หน้าที่หลักของสัญญาณนี้ คือ ส่งสัญญาณให้คอมพิวเตอร์เพิ่มระยะเวลาในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงขณะสตาร์ท

6.10 ตัวตรวจจับความเร็วรถยนต์ (Vehicle Speed Sensor)

ตัวตรวจจับความเร็วรถยนต์ใช้สำหรับส่งสัญญาณความเร็วรถยนต์ให้คอมพิวเตอร์ใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมระบบเดินเบา ควบควบอัตราส่วนของอากาศและน้ำมันขณะเร่งเครื่องหรือลดความเร็วรถยนต์

6.10.1 ตัวตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบรีดสวิตซ์ (reed switch)

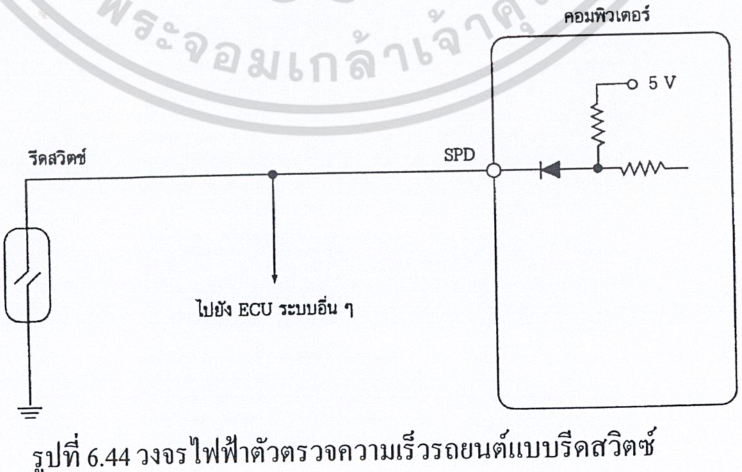
ตัวตรวจจับความเร็วรถยนต์ จะติดตั้งอยู่ภายในแผงมิเตอร์แบบเข็ม (เรือนไมล์วัดความเร็วรถยนต์) ภายในจะมีแม่เหล็กถาวรที่หมุนไปพร้อมกับสายไมล์วัดความเร็ว แม่เหล็กมีขั้ว N และ S รวม 4 ขั้ว เมื่อแม่เหล็กหมุนไป 1 รอบ จะดูดให้รีดสวิตซ์ปิดเปิด 4 ครั้ง การปิดเปิดของรีดสวิตซ์จะถูกนำไปใช้เป็นสัญญาณความเร็วรถยนต์



รูปที่ 6.43 ตัวตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบรีดสวิตซ์

หลักการทำงาน

วงจรไฟฟ้าของตัวตรวจจับความเร็วรถยนต์แบบรีดสวิตซ์ ขั้วของรีดสวิตซ์ด้านหนึ่งจะต่อลงกราวด์ และอีกด้านหนึ่งจะต่อเข้าที่ขั้ว SPD ของคอมพิวเตอร์ ซึ่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ 5 V ออกมา เมื่อรีดสวิตซ์ถูกแม่เหล็กดูดจะทำให้กระแสไฟฟ้าจากขั้ว SPD ไหลลงกราวด์ ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นสัญญาณความเร็วรถยนต์



รูปที่ 6.44 วงจรไฟฟ้าตัวตรวจความเร็วรถยนต์แบบรีดสวิตซ์

บทที่ 7
หลักการพัฒนาโปรแกรมด้วยวิธีการเชิงวัตถุ
(Object-Oriented Programming)

เทคโนโลยีในการพัฒนาโปรแกรมเชิงวัตถุเป็นหลักการทางวิศวกรรม ซึ่งบรรจุไว้ด้วยองค์ประกอบต่างๆ ที่เรียกว่าโมเดลของวัตถุ (Object Model) ในโมเดลเชิงวัตถุนั้นแบ่งออกเป็นการแยกแยะเอกลักษณ์ (Abstraction) การซ่อนรายละเอียด (Encapsulation) การรวมกลุ่มความสัมพันธ์ (Modularity) ลำดับชั้น (Hierarchy) ชนิด (Typing) การทำงานพร้อมกัน (Concurrency) และการรักษาสถานะ (Persistence) สำหรับลักษณะการวิเคราะห์และออกแบบระบบด้วยวิธีการเชิงวัตถุนั้น จะแตกต่างจากการออกแบบระบบด้วยวิธีโครงสร้างเนื่องจากรูปแบบในการคิดและการมองระบบจะต่างกัน นอกจากนี้การออกแบบและพัฒนาระบบแบบโครงสร้างจะขึ้นอยู่กับภาษาที่ใช้ ส่วนการวิเคราะห์และออกแบบระบบจะขึ้นอยู่กับภาษาในการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุเช่นกัน และในภาษาสำหรับการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุแต่ละภาษาก็มีรายละเอียดปลีกย่อยที่ต่างกันอีกด้วย

7.1 หลักการเชิงวัตถุ (Object-Oriented)

การพัฒนาโปรแกรมแบบโครงสร้างนั้น จะพยายามให้นักพัฒนาระบบแก้ปัญหาด้วยการแบ่งปัญหาออกเป็นส่วนๆ แล้วแก้ปัญหาในแต่ละส่วนด้วยอัลกอริทึม (Algorithm) และโครงสร้างข้อมูล (Data Structure) เฉพาะ สำหรับการพัฒนาระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุก็เช่นเดียวกัน แต่จะมีมุมมองต่อปัญหาเป็นวัตถุประกอบกับการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ การพัฒนาระบบเชิงวัตถุไม่เพียงจะเป็นแนวความคิดใหม่ในการเขียนโปรแกรมเท่านั้น แต่ยังมีข้อดีจากโมเดลของวัตถุ ซึ่งเป็นแนวความคิดใหม่ในวงการคอมพิวเตอร์อีกด้วย สามารถนำหลักการพัฒนาโปรแกรมเชิงวัตถุไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบได้ทั้งในส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ระบบฐานข้อมูลหรือแม้แต่การออกแบบสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ เนื่องจากหลักการของการพัฒนาโปรแกรมนั้นเป็นแนวความคิดที่จัดการกับความซับซ้อนของสิ่งต่างๆ อย่างมีระบบ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง

การวิเคราะห์และออกแบบระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุ เป็นวิวัฒนาการมิใช่เป็นการปฏิวัติการวิเคราะห์และออกแบบระบบที่มีอยู่ เนื่องจากการพัฒนาระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุนั้นยังคงข้อดีในการพัฒนาระบบแบบเก่าแต่ก็ได้เพิ่มข้อดีใหม่ๆ เข้าไปด้วย ในการพัฒนาระบบแบบเก่าจะพบกับความซับซ้อน เนื่องจากการแบ่งระบบออกเป็นส่วนย่อย เมื่อส่วนย่อยเหล่านี้มีมากขึ้นส่งผลให้การดูแลและแก้ไขระบบเป็นไปได้ยาก ในขณะที่หลักการของวัตถุนั้น มีการแบ่งปัญหาออกเป็นวัตถุ ซึ่งมีความผูกพันกันน้อย (Loose Couple) ทำให้การดูแลและแก้ไขส่วนต่างๆ ของระบบหรือวัตถุสามารถทำได้ง่าย และมีผลกระทบต่อส่วนอื่นๆ ของระบบน้อยที่สุด

แนวความคิดของการพัฒนาระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุเกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา โดยเริ่มจากการออกแบบสถาปัตยกรรมฮาร์ดแวร์ของคอมพิวเตอร์ นักพัฒนาฮาร์ดแวร์ได้ใช้แนวความคิดของการพัฒนาระบบด้วยวิธีเชิงวัตถช่วยในการลดช่องว่างระหว่างการแยกแยะเอกลักษณ์ในระดับสูง เช่น การเขียนโปรแกรม และการแยกแยะเอกลักษณ์ในระดับล่างซึ่งก็คือการทำงานของตัวฮาร์ดแวร์ ด้วยการนำหลักการ

พัฒนาระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุมาใช้ ทำให้การออกแบบและการพัฒนาฮาร์ดแวร์ สามารถตรวจสอบความผิดพลาดได้ง่าย ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติคำสั่ง ลดชนิดของคำสั่งของฮาร์ดแวร์ มีการคอมไพล์จากภาษาระดับสูงเป็นภาษาระดับต่ำที่ไม่ซับซ้อน และยังช่วยลดพื้นที่ในการเก็บข้อมูลอีกด้วยตัวอย่างระบบคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบโดยใช้แนวความคิดเชิงวัตถุ เช่น Burroughs 5000, Plessey 250 CAP, Intel 432 , IBM System/38 และ Rational R1000 เป็นต้น

7.2 คุณสมบัติของหลักการเชิงวัตถุ

7.2.1 Encapsulation/Information Hiding

Encapsulation/Information Hiding หมายถึง การแยกส่วนลักษณะภายนอก (Interface) ที่ติดต่อกับวัตถุอื่นๆ ออกจากส่วนที่ทำงาน (Implement) ภายในวัตถุซึ่งจะถูกใช้เฉพาะภายในวัตถุซึ่งมีข้อดีคือเพิ่มความสามารถในการปกป้องข้อมูลก่อนได้รับอนุญาต ทั้งนี้ตัววัตถุต้องสามารถทราบและทำการเปลี่ยนค่าได้ด้วยตัวเองซึ่งมีผลทำให้การควบคุมดูแลวัตถุ (Object Maintenance) ง่ายขึ้น

7.2.2 Inheritance

การถ่ายทอดคุณสมบัติ (Inheritance) คือ ลักษณะความสัมพันธ์ของคลาสที่ใช้ข้อมูลและพฤติกรรมร่วมกันโดยมีความสัมพันธ์ระหว่างคลาสในลักษณะ "is-a Relationship" ซึ่งมีหลักการในการถ่ายทอดคุณสมบัติของคลาสอันประกอบด้วยส่วนประกอบ (Attribute) และฟังก์ชันการทำงาน (Method) จากคลาสที่มีลำดับสูงกว่า (Super Class) มายังคลาสที่มีลำดับต่ำกว่า (Subclass) ซึ่งมีประโยชน์ในด้านความสอดคล้อง (Consistency) คือเมื่อเปลี่ยน Attribute หรือ Method ที่ Super Class จะมีผลทำให้ค่าใน Subclass เปลี่ยนไปด้วย นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการนำวัตถุมาใช้ใหม่ด้วย

7.2.3 Polymorphism

Polymorphism คือ คุณสมบัติของคลาสที่แบ่งแยกลักษณะการทำงานวัตถุ ให้มีความสามารถในการทำงานในหลายๆ รูปแบบ การส่ง message เดียวกันให้วัตถุที่ต่างกันทำให้วัตถุสามารถแสดงการทำงานที่ต่างกันออกมาได้ ข้อดีของ Polymorphism คือ การสนับสนุนการนำโปรแกรมกลับมาใช้ใหม่และสามารถเปลี่ยนแปลงซอฟต์แวร์ได้ในระหว่างการพัฒนา

7.2.4 Abstraction

Abstraction คือคุณสมบัติในการแยกเอกลักษณ์ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการแบ่งแยกสิ่งต่างๆ เพื่อลดความซับซ้อนของสิ่งๆ นั้น โดยแยกเอาเฉพาะสิ่งที่สนใจออกมา

Abstraction เป็นการแสดงคุณลักษณะที่สำคัญของวัตถุ วัตถุแต่ละตัวมีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น รถยนต์หากมองในแง่ของผู้ขับขี่ก็หมายถึง ยานพาหนะที่สามารถพาผู้โดยสารไปยังจุดหมายปลายทางได้ แต่ในแง่ของช่างเครื่องยนต์ รถยนต์หมายถึงชุดของเครื่องยนต์และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำงานร่วมกัน เป็นต้น

7.3 ภาษาในการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming : OOP)

การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ เป็นวิธีการในการสร้างโปรแกรม โปรแกรมจะถูกจัดให้มีโครงสร้างในการทำงานร่วมกันของวัตถุ ซึ่งวัตถุนั้นจะเป็นตัวตนหรือเป็นอินสแทนซ์ (Instance) ของคลาส และคลาสก็เป็นส่วนหนึ่งของลำดับชั้น (Hierarchy) ของคลาสที่มีความสัมพันธ์ในการสืบทอดคุณสมบัติ (Inheritance) โดยภาษาที่จะเป็นการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุได้นั้นจะต้องมีคุณสมบัติสามข้อคือ

7.3.1 จะต้องเป็นภาษาที่ใช้วัตถุมิใช่อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาเป็นหลัก

ถ้าเป็นภาษาในการเขียนโปรแกรมแบบเก่า หากเขียนโปรแกรมติดต่อกับอุปกรณ์สื่อสารก็จะแบ่งข้อมูลส่วนต่างๆ ติดต่อกับโมเด็มตามฟังก์ชันการทำงานต่างๆ เช่น รับ ส่ง หรือตรวจสอบข้อมูล แต่ถ้าเป็นภาษาในการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุแล้วผู้เขียนโปรแกรมจะต้องมองโมเด็มให้เป็นวัตถุตัวหนึ่งโดยในวัตถุโมเด็มก็อาจจะประกอบด้วยวัตถุย่อยๆ และวัตถุย่อยๆ เหล่านี้ก็จะมีการสื่อสารซึ่งกันและกัน สรุปคือ โปรแกรมดูที่ตัววัตถุเป็นหลัก

7.3.2 วัตถุที่ปรากฏในการเขียนโปรแกรมต้องเป็นอินสแทนต์ของคลาส

เนื่องจากว่าหลักการของการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุมองวัตถุเป็นหลักซึ่งวัตถุนี้ไม่สามารถกำหนดขึ้นมาลอยๆ ได้ จำเป็นต้องมีลักษณะคุณสมบัติของตัวมันเองซึ่งจะถูกกำหนดไว้ในคลาส ดังนั้นวัตถุจะต้องเป็นอินสแทนซ์ของคลาส

7.3.3 คลาสจะต้องมีความสามารถในการถ่ายทอดคุณสมบัติ

นอกเหนือจากหน้าที่ในการกำหนดคุณสมบัติของคลาส และมีตัวแทนของคลาสที่เรียกว่าอินสแทนซ์แล้ว แต่ละคลาสจำเป็นต้องมีความสัมพันธ์กันด้วย คุณสมบัติที่สำคัญต่อการกำหนดความสัมพันธ์ของคลาสคือคลาสต้องถ่ายทอดคุณสมบัติได้ หากขาดคุณสมบัติข้อนี้ไปก็ไม่มีประโยชน์อันใดในการพัฒนาระบบเชิงวัตถุขึ้นมา

ถ้าภาษาใดขาดคุณสมบัติหนึ่งในสามข้อนี้ไปก็จะไม่เรียกว่าเป็นภาษาการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ ตัวอย่างเช่น การสร้างคลาสวัตถุ แต่ไม่สนับสนุนการสืบทอดคุณสมบัติของคลาส เราจะเรียกภาษานั้นว่า ภาษาที่ทำงานบน Abstract Data Type หรือเรียกว่าภาษาในการเขียนโปรแกรมบนพื้นฐานของวัตถุ (Object-Based) มิใช่ภาษาในการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented)

ตัวอย่างของภาษาในการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ เช่น Smalltalk, Object Pascal, C++, Eiffel, CLOS และ Java ส่วนภาษาในการเขียนโปรแกรมบนพื้นฐานของวัตถุก็ เช่น Ada เป็นต้น ซึ่งในการที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเชิงวัตถุให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้เขียนโปรแกรมควรจะต้องมีการออกแบบด้วยหลักการพัฒนาระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุเช่นกัน

7.4 การออกแบบระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุ (Object-Oriented Design : OOD)

ก่อนที่จะลงมือสร้างผลงานทางวิศวกรรมใด วิศวกรจำเป็นต้องผ่านกระบวนการที่สำคัญอย่างหนึ่งก่อนคือขั้นตอนการออกแบบ ในระบบซอฟต์แวร์ก็เช่นเดียวกัน ผู้ที่จะพัฒนาระบบซอฟต์แวรที่จะต้องใช้ภาษาที่มีโปรแกรมเชิงวัตถุก็ควรจะต้องมีการออกแบบระบบซอฟต์แวร์ด้วยกระบวนการพัฒนาเชิงวัตถุเช่นเดียวกัน การออกแบบด้วยวิธีเชิงวัตถุ เป็นการออกแบบกระบวนการในการแยกย่อย และเป็นการใช้สัญลักษณ์แบบการพัฒนาระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุสำหรับโมเดลระบบทั้งในทางตรรก (Logic) และทางกายภาพ (Physical) รวมถึงโมเดลการทำงานแบบสแตติก (Static) และไดนามิก (Dynamic) สำหรับระบบที่ต้องการจะออกแบบ

ด้วยการแยกย่อยปัญหาด้วยวิธีการเชิงวัตถุ ทำให้ออกแบบระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุต่างจากการออกแบบโครงสร้าง เนื่องจากในการออกแบบระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุนั้น ผู้ออกแบบระบบจะมีการแยกแยะเอกลักษณ์โดยยึดหลักวัตถุเป็นหลัก ส่วนการออกแบบระบบแบบโครงสร้างจะมีการแยกแยะเอกลักษณ์โดยดูจากอัลกอริทึมการทำงานเป็นหลัก

7.5 การวิเคราะห์ระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุ (Object-Oriented Analysis : OOA)

การวิเคราะห์ระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุนั้นจะเน้นการโมเดลระบบในโลกความเป็นจริงโดยใช้มุมของการพัฒนาระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุ การวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงวัตถุเป็นวิธีวิเคราะห์และตรวจสอบความต้องการโดยใช้มุมมองจากคลาสและวัตถุจากคำศัพท์ที่อยู่ในโดเมนของปัญหา

โดยทั้งภาษาการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุและการออกแบบและการวิเคราะห์ระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุนั้นจะเกี่ยวข้องกันดังนี้ คือ หลังจากที่ได้วิเคราะห์ระบบแล้วก็จะได้โมเดลของระบบเชิงวัตถุ ซึ่งจะใช้เป็นหลักในการออกแบบ และเมื่อออกแบบเสร็จก็จะได้โครงสร้างหลักหรือพิมพ์เขียว (Blueprint) สำหรับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาในการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุต่อไป

7.6 วัตถุ (Object)

การพัฒนาโปรแกรมโครงสร้างนั้น จะมองระบบเป็นกลุ่มของข้อมูลและฟังก์ชันการทำงานโดยแบ่งเป็นส่วนย่อยๆ ส่วนการพัฒนาระบบด้วยมุมมองของการพัฒนาระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุจะต่างออกไปคือจะแบ่งแยกระบบออกเป็นวัตถุ โดยวัตถุในที่นี้คือ

กลุ่มก้อนของ Entity ที่ประกอบด้วยคุณสมบัติหรือส่วนประกอบ (Attribute), พฤติกรรม (Behavior or Method) และอาจจะมีสถานะ (State) ด้วย

แต่ถ้ากล่าวให้ครบถ้วนวัตถุประสงค์ของวัตถุเป็นสิ่งที่มีทั้งข้อมูลและพฤติกรรมวัตถุเป็นสิ่งที่ใช้แทนสิ่งที่มีอยู่ในโลกจริง เช่น ระบบการไหลของอากาศ เครื่องยนต์ หรืออาจจะแทนสิ่งที่มีตัวตนอยู่ในความคิด เช่น บัญชีธนาคาร เครื่องหมายการค้าหรือชื่อนักศึกษา หรือเป็นสิ่งที่มองเห็นได้เช่น ตัวอักษร ดินสอ ปากกา หนังสือ เป็นต้น โดยวัตถุทั้งหมดนั้นเป็นสิ่งที่ผู้พัฒนาสนใจซึ่งประกอบด้วย

- Attribute (ข้อมูล)
- Method (การกระทำ)
- Status (สถานะ)

- Identify (สิ่งบ่งชี้)
- Responsibility (ความรับผิดชอบ)

แนวความคิดของวัตถุคือ การรวบรวมคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องไว้ ณ ที่เดียวกัน โดยการพัฒนาระบบแบบโครงสร้างจะออกแบบให้ซอฟต์แวร์มีข้อมูลและฟังก์ชันที่แยกจากกัน

วัตถุนั้นเป็นเครื่องมือในการมองสิ่งต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพ เพราะว่าในโลกความเป็นจริงต้องติดต่อกับวัตถุอยู่ตลอดเวลาและวัตถุแต่ละวัตถุมีทั้งส่วนที่สนใจและไม่สนใจ สามารถมีพฤติกรรมหรือไม่มีพฤติกรรมก็ได้ในส่วนของวัตถุที่พฤติกรรมจำเป็นต้องมีการดูแล การโมเดลระบบเชิงวัตถุทำให้สามารถมองระบบต่างๆ ที่ติดต่อด้วยได้อย่างเข้าใจ ซึ่งการมองระบบแบบโครงสร้างไม่สามารถทำได้

โดยทั่วไปวัตถุอาจจะเป็นสิ่งที่สามารถทำงานได้ด้วยตัวเองซึ่งวัตถุแต่ละตัวจะมีข้อมูล บทบาท พฤติกรรม ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งในแต่ละระบบจะมีความสัมพันธ์กันของแต่ละวัตถุมากน้อยแตกต่างกันออกไป

7.6.1 แอททริบิวต์ (Attribute)

วัตถุจำเป็นจะต้องมีการเก็บข้อมูลของตัวเอง โดยข้อมูลที่วัตถุเก็บไว้นั้นอาจจะเก็บไว้เฉยๆ หรือเก็บไว้เพื่อที่จะให้ผู้อื่นเรียกไปใช้งาน เก็บไว้ประมวลผลเพื่อตอบสนองเหตุการณ์ภายนอก หรืออาจจะเก็บไว้เพื่อเป็นสถานะของตัววัตถุเอง สรุปว่าวัตถุส่วนใหญ่จะต้องเก็บข้อมูล เพื่อให้วัตถุนั้นสามารถทำหน้าที่ที่รับผิดชอบได้ถูกต้อง

โดยทั่วไปแอททริบิวต์ของวัตถุจะถูกซ่อนไว้จากผู้ที่ใช้งานวัตถุ ทั้งนี้เนื่องจากว่าการเข้าไปใช้งานแอททริบิวต์โดยตรงเปรียบเสมือนเป็นการเข้าถึงโครงสร้างของวัตถุ ดังนั้นการออกแบบวัตถุที่ดีจึงควรซ่อนแอททริบิวต์ไว้เพื่อไม่ให้ผู้ใช้เห็น

บางครั้งการออกแบบวัตถุที่ไม่ดีก็อาจจะทำให้วัตถุนั้นมีแต่แอททริบิวต์โดยไม่มีเมธอดได้ ซึ่งในกรณีนี้นักออกแบบจะต้องย้อนกลับไปดูว่าวัตถุนั้นควรจะมีเมธอดอะไร เพราะวัตถุที่มีแต่แอททริบิวต์นั้นก็ไม่ต่างจากโครงสร้างข้อมูล

7.6.2 เมธอดหรือพฤติกรรม

วัตถุที่ทำงานแบบพาสสิฟ (Passive Object) จะมีบริการไว้ให้วัตถุอื่น เรียกใช้ ส่วนวัตถุที่ทำงานแบบแอกทีฟ (Active Object) นั้นจะเป็นวัตถุหลักของเธรด ซึ่งจะมีหน้าที่เรียกใช้บริการจากวัตถุที่ทำงานแบบพาสสิฟโดยเมธอดแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

1. Simple Method

วัตถุจะให้บริการกับการร้องขอเข้ามาและไม่ค้างค่าในหน่วนความจำไว้สำหรับให้บริการครั้งต่อไป การกระทำเป็นหนึ่งเดียวและสมบูรณ์ในตัว วัตถุพื้นฐานจะมีข้อมูลชนิดพื้นฐานและการทำงานที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเหล่านี้

2. Automation Method

ผู้พัฒนาจะมองวัตถุเป็นเสมือนหนึ่งเป็นเครื่องจักร (State Machine) วัตถุชนิดนี้มีกลุ่มของสถานะที่มีขอบเขต วัตถุหนึ่งอาจจะมีสถานะ 1 หรือมากกว่า ณ เวลาใดๆ การที่วัตถุจะอยู่ในสถานะใดๆ นั้นก็จะขึ้นอยู่กับอีเวนต์ (Event) หรือเหตุการณ์ที่เข้ามาของสภาวะภายนอก เนื่องจากวัตถุชนิดนี้ทำงานแบบ State Machine เพื่อตอบสนองกับเหตุการณ์ภายนอก จึงเรียกวัตถุชนิดนี้ว่า วัตถุแบบรีแอกทีฟ (Reactive Object)

3. Continuous Method

วัตถุจะมีกลุ่มของสถานะไม่จำกัดและไม่มีขอบเขต การทำงานของวัตถุปัจจุบันจะขึ้นอยู่กับเมธอดและอินพุทก่อนหน้าซึ่งความเกี่ยวข้องระหว่างสถานะนี้อาจจะเป็นความสัมพันธ์แบบต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น ระบบ Fuzzy และตัวควบคุม PID ซึ่งเป็นเครื่องมือสร้างจำนวนแบบ Pseudo-random และตัวกรองดิจิตอล การทำงานของเมธอดของระบบเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอินพุทก่อนหน้า

7.6.3 Message

การสื่อสารกันระหว่างวัตถุสามารถทำได้โดยการส่ง message ซึ่งเป็นการแยกแยะเอกลักษณ์ของข้อมูลหรือข้อสารสนเทศ การควบคุมที่ส่งมาจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุอื่นๆ ในเชิงการเขียนโปรแกรม message สามารถทำงานได้หลายอย่างเช่น การเรียกฟังก์ชัน อินเตอร์รัพท์ (interrupt) เป็นต้น

ในการวิเคราะห์ระบบจะมีการกำหนด message ส่วนในขั้นตอนของการออกแบบนั้นจึงจะมากำหนดรูปแบบการซิงโคไนเซชัน (synchronization) และความต้องการทางด้านเวลาของแต่ละ message และเมื่อวัตถุได้รับ message มา วัตถุจะเปลี่ยน message ที่เข้ามาเป็นการทำงานเปลี่ยนสถานะ , คำสั่งหรือข้อมูลตามความเหมาะสม

การใช้ message ทำให้แต่ละวัตถุมีความเกี่ยวข้องกันน้อยลง ในขั้นตอนการวิเคราะห์ผู้พัฒนาระบบจะไม่ได้กำหนดรายละเอียดในการติดต่อของ message ว่าจะมีรายละเอียดของการเรียกฟังก์ชัน และเมื่อถึงขั้นตอนการออกแบบจึงจะจัดการกับรายละเอียดเหล่านี้

ส่วนอินเตอร์เฟซ (interface) ของวัตถุเป็นส่วนที่วัตถุใช้ติดต่อกับโลกภายนอก ซึ่งอินเตอร์เฟซจะทำหน้าที่กำหนดเซ็ตของโพรโตคอล (protocol) เพื่อสื่อสารกับวัตถุอื่นๆ โพรโตคอลของส่วนอินเตอร์เฟสนั้นประกอบด้วย 3 ส่วนคือ เงื่อนไปก่อนหน้า (Precondition), ซิกเนเจอร์ (Signature) และ เงื่อนไขท้าย (Postcondition)

precondition เป็นเงื่อนไขที่จะต้องมีค่าเป็นจริงก่อนที่จะส่งหรือรับ message โดยปกติ precondition จะเป็นหน้าที่ของวัตถุที่ผู้ส่ง message จะต้องตรวจสอบ ส่วน postcondition จะต้องเป็นเงื่อนไขที่มีค่าจริงหลังจากวัตถุได้ประมวลผล message เรียบร้อยแล้ว และเป็นหน้าที่ของวัตถุที่รับ message สำหรับ signature นั้น

เป็นรูปแบบในการส่ง message ซึ่งจะเป็นการเรียกฟังก์ชันพร้อมพารามิเตอร์และค่าที่คืนกลับมา (Return Type) หรือ message post/pend ของ RTOS หรือข้อตกลงของ message bus

อินเตอร์เฟซเป็นส่วนที่สำคัญในการแสดงคุณลักษณะของวัตถุ และสิ่งที่อยู่ภายนอกก็จะต้องเห็นส่วนอินเทอร์เฟซของวัตถุด้วย วัตถุสามารถซ่อนรายละเอียดที่ไม่สำคัญสำหรับผู้ใช้ได้หรือเรียกว่า Encapsulation ตัวอย่าง เช่น ภาษา Java ก็มีคำสั่งเพื่อใช้ซ่อนแอททริบิวต์และเมธอดได้

7.6.4 ความรับผิดชอบ (Responsibility)

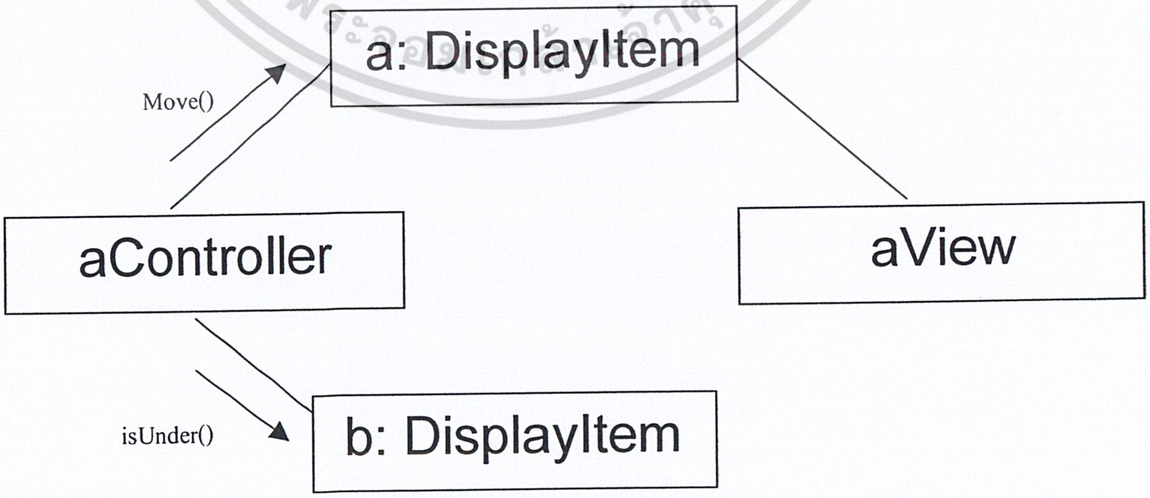
ความรับผิดชอบของวัตถุคือ หน้าที่และบทบาทของวัตถุต่อระบบ โดยส่วนอินเทอร์เฟซและเมธอดของวัตถุนั้นสามารถใช้เพื่อให้วัตถุทำหน้าที่รับผิดชอบได้ ความรับผิดชอบของวัตถุควรจะเป็นสิ่งแรกที่ผู้พัฒนาระบบกำหนดให้กับวัตถุ เพราะถ้าไม่รู้ว่าวัตถุนั้นมีหน้าที่อย่างไร ก็จะไม่สามารถกำหนดคุณลักษณะอื่นๆ ให้กับวัตถุได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน

7.6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ

โดยปกตินั้นวัตถุเพียงวัตถุเดียวไม่สามารถที่จะรับผิดชอบงานทั้งหมดของระบบได้วัตถุจะต้องมีความสัมพันธ์และต้องทำงานร่วมกันเพื่อให้ระบบสามารถทำหน้าที่รับผิดชอบได้ โดยเราแบ่งความสัมพันธ์ของวัตถุออกเป็นสองแบบ คือ Link และ Aggregation

1. Link

ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุแบบ Link เป็นการเชื่อมต่อระหว่างวัตถุในทางกายภาพหรือทางตรรก การที่วัตถุซึ่งมาประกอบกันเป็นระบบจะทำงานร่วมกันได้นั้น วัตถุเหล่านี้จะต้องมีการสื่อสารระหว่างกัน วัตถุจะสื่อสารกันโดยวัตถุที่เรียกใช้บริการ (service) จากวัตถุที่เรียกว่า วัตถุไคลเอ็นต์ (Client) ส่วนวัตถุที่มีบริการให้วัตถุอื่นเรียกว่า วัตถุเซิร์ฟเวอร์ (Server) หรือ Supplier



รูปที่ 7.1 ความสัมพันธ์แบบลิงค์ของวัตถุ

2. Aggregation

Aggregation เป็นความสัมพันธ์ที่วัตถุหนึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอีกวัตถุหนึ่ง โดยอาจจะเป็นความสัมพันธ์แบบที่เป็นส่วนหนึ่งแบบธรรมดาหรือคอมโพซิชัน (Composition) ซึ่งมีความแตกต่างกันถ้าเป็นความสัมพันธ์แบบคอมโพซิชันและคลาสที่ประกอบไปด้วยคลาสอื่นไม่สามารถแชร์ความเป็นเจ้าของได้ ส่วนคลาสที่เป็นเจ้าของก็จะมีหน้าที่สร้างและทำลายวัตถุของคลาสที่ประกอบอยู่ภายในด้วย ในการวาดโมเดลจะเขียนคลาสที่เป็นส่วนหนึ่งของคอมโพซิชันโดยใช้สัญลักษณ์เดียวกับ Aggregation ตัวอย่างการใช้ความสัมพันธ์แบบคอมโพซิชันคือ วัตถุทำงานแบบแอกทีฟซึ่งวัตถุที่ทำงานแบบแอกทีฟจะทำหน้าที่สร้างเธรดขึ้นมาเพื่อทำงาน โดยวัตถุที่เป็นส่วนประกอบก็จะทำงานอยู่ในเธรด (thread) ตัววัตถุซึ่งถูกสร้างจากคลาสที่เป็นเจ้าของจะทำหน้าที่รับ message จากภายนอก และส่ง message ที่ได้รับมาต่อให้กับวัตถุที่สร้างคลาสที่เป็นส่วนประกอบ

7.7 คลาส

ในโลกของการพัฒนาระบบด้วยวิธีเชิงวัตถุ คำว่าคลาสคือ การแยกแยะเอกลักษณ์ของคุณสมบัติพื้นฐานจากกลุ่มของวัตถุที่เหมือนกัน อาจจะกล่าวได้ว่าคลาสเป็นชนิดของวัตถุ ค่า 0 , -3 หรือ 4564 เป็น instance ของคลาส Integer ซึ่งแบ่งคุณสมบัติพื้นฐานที่ใช้ร่วมกันอยู่จะแตกต่างที่ instance แต่ว่าทุก instance จะต้องมีคุณสมบัตินี้อยู่

คลาสกำหนดแอททริบิวต์และเมธอดของวัตถุ ซึ่งเป็น instance แต่ว่าคลาสไม่มีความรับผิดชอบคุณสมบัติทั้งหมดของคลาสอยู่ในรูปของชนิด (Type) อย่างไรก็ตามความรับผิดชอบขึ้นอยู่กับการใช้วัตถุในสิ่งแวดล้อม เช่น วัตถุคอนเทนเนอร์ (Container Object) พื้นฐาน อาจจะเก็บบัญชีของลูกค้าทุกคนส่วนวัตถุคอนเทนเนอร์ของคลาสเดียวกันอาจจะเก็บเรคคอร์ดของคลังสินค้า และยังสามารถเข้าใช้ระบบของสินค้าคงคลังได้อีกด้วย จะเห็นได้ว่าความรับผิดชอบในชนิดนั้นจะเหมือนกันแต่จะแตกต่างกันหากนำไปใช้งานจริง คลาสของวัตถุกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบของวัตถุเฉพาะเมื่อวัตถุที่ถูกสร้างขึ้นจากคลาสทั้งหมดใช้ในสภาวะแวดล้อมและมีหน้าที่เหมือนกัน

7.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างคลาส

1. Association

เมื่อวัตถุหนึ่งใช้บริการของอีกวัตถุหนึ่งแต่ว่าไม่ได้เป็นเจ้าของวัตถุนั้น จะเรียกความสัมพันธ์นี้ว่าแอสโซซิเอชัน (Association) ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบนี้จะใช้ได้อย่างเหมาะสมก็ต่อเมื่อ

- วัตถุใช้บริการของอีกวัตถุหนึ่ง แต่ไม่ได้มีความสัมพันธ์แบบเป็นส่วนหนึ่งของ
- วงจรชีวิตของคลาสที่ใช้ไม่ได้เป็นหน้าที่ความรับผิดชอบของคลาสที่เรียกใช้ทั้งการสร้างและทำลายวัตถุ
- มีความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุนั้นน้อยกว่าความสัมพันธ์แบบเป็นส่วนหนึ่งของ
- มีความสัมพันธ์ในลักษณะของไคลเอ็นต์-เซิร์ฟเวอร์
- วัตถุมีการถูกเรียกใช้บริการจากหลายๆ วัตถุ และถูกใช้มากเท่าๆ กับที่วัตถุอื่นๆ เรียกใช้

2. Inheritance

เมื่อคลาสหนึ่งเป็นความเฉพาะของอีกคลาสหนึ่งจะใช้ความสัมพันธ์ที่เรียกว่า การสืบทอดคุณสมบัติ หรือ Generalization หรือ Inheritance หมายความว่าคลาสลูกจะมีคุณสมบัติทุกอย่างที่คลาสพ่อแม่มี ถึงแม้ว่าคลาสลูกจะมีความเฉพาะมากกว่าก็ตาม คลาสลูกอาจจะเพิ่มคุณสมบัติของคลาสพ่อแม่โดยการเพิ่มแอททริบิวต์และเมธอดเข้าไป เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า "เป็นชนิดหนึ่งของ" เช่นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเป็นชนิดหนึ่งของสัตว์เป็นต้น

เพื่อความง่ายต่อการนำกลับมาใช้ใหม่ ผู้พัฒนาสามารถสร้างลำดับขั้นของชนิด (Type Hierarchies) ขึ้นจากคลาส และความสัมพันธ์ในการสืบทอดคุณสมบัติ

3. Aggregation

Aggregation นั้นจะใช้ก็ต่อเมื่อมีวัตถุหนึ่งบรรจุอีกวัตถุหนึ่งไว้ทั้งในทางตรรกและทางกายภาพ คลาสที่ใหญ่กว่าจะเรียกว่าเจ้าของหรือ Owner หรือ Whole ส่วนคลาสที่เล็กกว่านั้นเรียกว่า คลาสส่วนประกอบหรือคอมโพเนนท์ (Component) หรือ Owned หรือ Part โดยทั่วไป คลาสเจ้าของมีหน้าที่สร้างและทำลายได้หลายคลาส และเมื่อวัตถุมีหลายเจ้าของ ผู้พัฒนาก็จะพิจารณาว่าคลาสใดจะทำหน้าที่สร้างและทำลายคลาสคอมโพเนนท์นั้น

บทที่ 8
ภาษาจาวา
(JAVA)

จาวาเป็นโปรแกรมขั้นสูง ที่พัฒนาขึ้นมาโดยบริษัท ซันไมโครซิสเต็มส์ (Sun Microsystems) เริ่มแรก Sunได้คิดค้นภาษาจาวาขึ้นมาเพื่อใช้กับระบบปฏิบัติการ Set Top Box คือ โครงการของระบบตลาดอิเล็กทรอนิกส์ ที่ต้องการให้ระบบสามารถทำการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้โดยไม่ขึ้นกับแพลตฟอร์ม (Platform Independent) ซึ่งหมายความว่าการพัฒนาระบบปฏิบัติการหรือซอรฟแวร์ให้สามารถทำงานได้ โดยไม่สนใจว่าไมโครโปรเซสเซอร์จะใช้รุ่นใด ยี่ห้อไหน ฮาร์ดแวร์เป็นของอะไร ทั้งยังได้รวมความสามารถไปถึงการเชื่อมต่อ การแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารทั่วไปและทางด้านธุรกิจผ่านทางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

จาวาเป็นหนึ่งในภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งทางทีมงานเล็งความเจริญเติบโตของภาษาจาวาและคุณลักษณะเด่นในด้านการพัฒนาโปรแกรมเชิงวัตถุ จึงเลือกภาษาจาวาเป็นภาษาในการพัฒนาโปรแกรมในโครงงาน ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะทั่วไปของภาษาจาวา

8.1 ความสามารถของภาษาจาวา

ความสามารถของภาษาจาวาสรุปได้ดังต่อไปนี้

- เป็นภาษาพัฒนาโปรแกรมเชิงวัตถุ
- การใช้งานที่ไม่ขึ้นกับแพลตฟอร์ม โดยใช้วิธีการแปลงข้อมูลแบบไบต์โค้ด (Byte code)
- การใช้เมธอดจัดการกับข้อมูลแทนการใช้ฟังก์ชัน
- ความสามารถในการดึงคลาสไลบรารีจากที่ต่างๆ ผ่านทาง HTTP และ FTP
- ความสามารถในการโต้ตอบแบบเรียลไทม์
- เป็นระบบมัลติเธรด (Multithread) คือ สามารถทำงานได้หลายงานพร้อมกันในเวลาเดียวกัน
- ไม่มีตัวแปรแบบพอยต์เตอร์ จึงหมดปัญหาในการใช้งานหน่วยความจำ
- มีความปลอดภัยสูง

8.2 การนำจาวาไปประยุกต์สร้างและพัฒนาในงานด้านต่างๆ

เราสามารถใช้ภาษาจาวาสร้างและพัฒนาแอพพลิเคชันด้านต่างๆซึงกล่าวโดยสังเขปดังนี้

จาวาสามารถเป็นเครื่องมือในการพัฒนาแอพพลิเคชันด้านไคลเอนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านกราฟฟิกและระบบติดต่อกับผู้ใช้ ปัจจุบันโปรแกรมที่เขียนขึ้นจากภาษาจาวาจะทำงานที่ฝั่งไคลเอนต์เป็นส่วนใหญ่ เช่น จาวาแอพพลิเคชัน (Java Application) เป็นต้น

ส่วนการสร้างโปรแกรมประยุกต์บนเซิร์ฟเวอร์ จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงการทำงานอยู่สามอย่าง คือ การเชื่อมต่อฐานข้อมูลโดยตรง การทำงานให้สอดคล้องกับอินพุทและเอาท์พุท และความเร็วของการรันต้องเพิ่มขึ้นให้เท่ากับโปรแกรมประยุกต์ทั่วๆไป

จาวาได้สร้างสภาพแวดล้อมเสมือน Java Virtual Machine (JVM) ซึ่งอนุญาตเฉพาะ จาวาแอพพลิเคชัน และจาวาแอพเพล็ต ซึ่งเป็นไปท์โค้ดเท่านั้นที่สามารถรันได้โดยที่ไบท์โค้ดจะปราศจากไวรัสหรือส่วนที่จะทำอันตรายต่อระบบ อันเนื่องจาก JVM จะจำกัดสิทธิ์การเข้าใช้ทรัพยากรของไบท์โค้ด ในอนาคตการรักษาความปลอดภัยอีกระบบหนึ่งก็กำลังถูกนำมาปรับใช้ คือ "การเข้ารหัสข้อมูล"

8.3 หลักการทำงานของภาษาจาวา

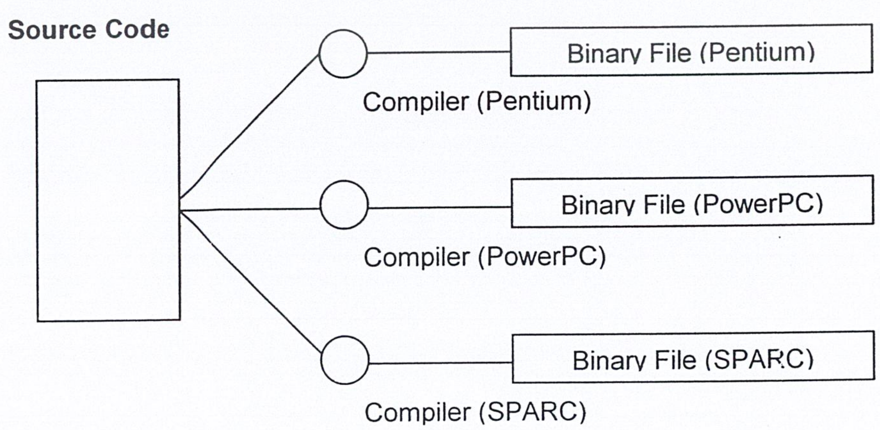
ในที่นี้จะอธิบายการทำงานของภาษาจาวาเริ่มต้นตั้งแต่การคอมไพล์ตัวโปรแกรมจนกระทั่งเราเรียกใช้งานแอพพลิเคชันได้

8.3.1 การคอมไพเลอร์

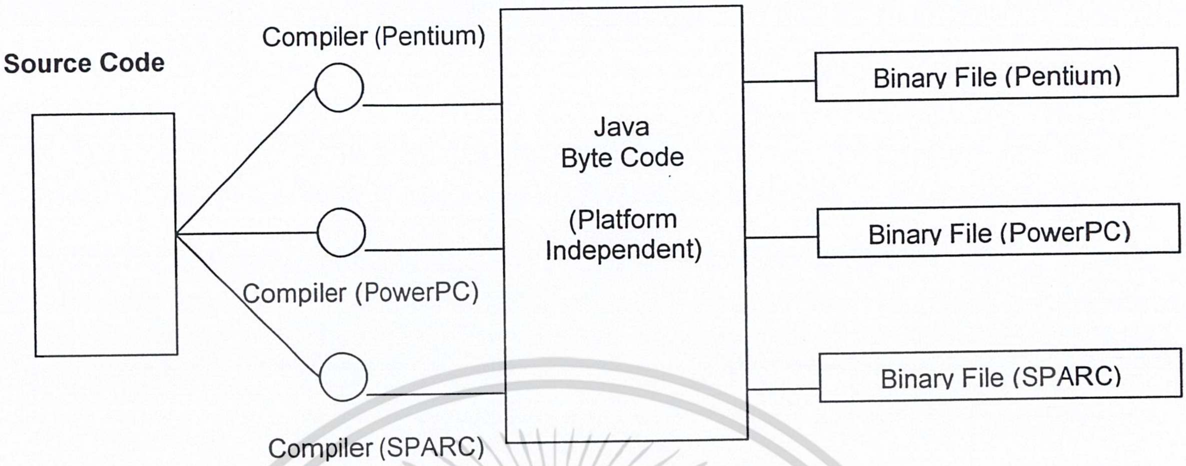
การคอมไพล์ของภาษาจาวาก็เช่นเดียวกับคอมไพเลอร์ภาษาอื่นๆ คือ มันจะสร้างรหัสภาษาเครื่อง (Machine Code หรือ Assemble Code) จากภาษาในระดับที่สูงกว่าเพื่อให้คอมพิวเตอร์ (Central Control Unit : CPU) สามารถแปรความหมายและนำไปประมวลผลต่อได้

แต่ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างคอมไพเลอร์ของภาษาจาวากับภาษาอื่นๆ คือ CPU ที่จะทำหน้าที่ปฏิบัติตามคำสั่งที่ได้จากการคอมไพล์ภาษาจาวานั้นไม่มีอยู่จริง เป็นเพียงสิ่งที่สมมติขึ้นมาที่เรียกว่า Java Virtual Machine นอกจากนี้การอ้างถึงส่วนต่าง ๆ ของโปรแกรมที่คอมไพล์ด้วยคอมไพเลอร์ภาษาจาวาก็จะมีวิธีการที่แตกต่างออกไป

คอมไพเลอร์ภาษาจาวาจะไม่เปลี่ยนการอ้างถึงส่วนของโปรแกรมจากการใช้ชื่อแบบในภาษาระดับสูงไปเป็นตัวเลขเหมือนที่คอมไพเลอร์ภาษาอื่น ๆ ทำกัน และคอมไพเลอร์ของภาษาจาวาจะไม่มีการสร้างแผนที่ของการจัดวางโปรแกรมบนหน่วยความจำขึ้นมาในระหว่างการคอมไพล์ ด้วยเหตุผลที่สำคัญคือ เพื่อเป็นการสร้างพอร์ตเทเบิล (Portable) ให้กับตัวโปรแกรม การจัดวางตำแหน่งของโปรแกรมจะต้องขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานของโปรเซสเซอร์ตัวใดตัวหนึ่ง การยังไม่จัดวางตำแหน่งช่วยทำให้โปรแกรมที่ได้จากการคอมไพล์มีความเป็นกลาง สามารถนำไปใช้บนคอมพิวเตอร์แพลตฟอร์มอื่นๆได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความปลอดภัยอีกด้วย สิ่งที่ได้จากการคอมไพล์ภาษาจาวาเรียกว่า ไบท์โค้ด (Byte Code)



รูปที่ 8.1 การประมวลผลของโปรแกรมทั่วไปแต่ระบบปฏิบัติการที่ต่างกัน



รูปที่ 8.2 การประมวลผลของโปรแกรมภาษาจาวา

8.3.2 การวางตำแหน่งในหน่วยความจำ

ภาษาจาวาไม่มีการลดรูปแบบการอ้างอิงถึงส่วนต่างๆ ของโปรแกรมจากการเรียกเป็นชื่อให้เหลือเพียงตัวเลขหรือแอดเดรสที่กำหนดขึ้นจากการจัดวางตำแหน่งของโปรแกรมลงในหน่วยความจำ คอมไพเลอร์ภาษาจาวาจะทิ้งชื่อของแต่ละส่วนของโปรแกรม เอาวางไว้ในตัวโปรแกรมที่สร้างขึ้น เมื่อโปรแกรมทำงานจะเป็นหน้าที่ของตัวอินเตอร์พริเตอร์ (interpreter) ที่จะคอยเปิดตารางค้นหาที่อยู่ของเมธอดที่ต้องการเรียกใช้งาน โดยก่อนที่จะเริ่มทำงานจริง อินเตอร์พริเตอร์ จะต้องสร้างแผนที่ในการจัดการวางสิ่งต่างๆ ลงในหน่วยความจำลงในหน่วยความจำขึ้นมาก่อนแล้วจึงสร้างตารางขึ้นมาใหม่ เพื่อช่วยหาตำแหน่งของเมธอดเมื่อมีการเรียกใช้งาน โดยใช้ชื่อของเมธอด

8.3.3 การรันโปรแกรม

การรันโค้ดที่คอมไพล์เอาไว้สำหรับ Java Virtual Machine เป็นหน้าที่ของตัวอินเตอร์พริเตอร์การรันโปรแกรมจะแบ่งเป็น 3 ขั้นหลัก ๆ คือ การอ่าน การตรวจสอบความถูกต้อง และการทำตามโค้ด หน้าที่ในการอ่านโค้ดเข้าสู่ระบบจะเป็นของ Class Loader หน้าที่การทำงานในส่วนนี้จะไม่ได้อ่านเข้ามาเฉพาะไฟล์จาวาที่กำลังจะเรียกใช้เท่านั้น แต่จะอ่านคลาสที่มีการอ้างถึง และคลาสที่มีการ inherited มาโดยคลาสที่อ้างถึง เมื่อผ่านขั้นตอนนี้แล้ว โค้ดทั้งหมดก็จะถูกส่งผ่านตัวตรวจสอบไบท์โค้ดเพื่อให้แน่ใจว่าโค้ดที่ส่งมามีความถูกต้องตามมาตรฐานของจาวา และจะไม่รบกวนเสถียรภาพระบบ เมื่อผ่านการตรวจสอบแล้วโค้ดก็จะถูกส่งต่อไปยังระบบรันไทม์ (Run-Time System) ซึ่งจะสั่งงานไปยังฮาร์ดแวร์อีกต่อหนึ่ง หลักการทำงานในแต่ละขั้นตอนที่กล่าวมาขั้นต้นเป็นดังนี้

8.3.4 คลาสโหลดเดอร์(Class Loader)

ตัวคลาสโหลดเดอร์ จะทำหน้าที่ดึงโค้ดทั้งหมดที่จำเป็นในการทำงานของแอพพลิเคชัน ไม่ว่าจะเป็นคลาสที่ถูก Inherited มาหรือคลาสอื่น ๆ ที่มีการเรียกใช้ เมื่อโหลดเดอร์ดึงคลาสใดเข้าแล้วก็จะจัดคลาสนั้นๆใส่เข้าไว้ใน namespace ของมันเอง โดยการเก็บจะใช้ชื่อคลาสเป็นสำคัญ ไม่ได้ใช้การอ้างถึงเป็นตัวเลข หลักการนี้ก็จะเหมือนกันกับการทำงานของ Virtual Machine ที่ระบบปฏิบัติการสร้างขึ้นให้กับแอพพลิเคชันแต่ละตัวทำงาน ถ้าไม่ได้มีการเจาะจงเรียกใช้คลาสที่มีอยู่นอก namespace นี้ การเรียกใช้ชื่อต่าง ๆ ในคลาสก็จะไม่มีการรบกวนกันระหว่างคลาสเลย

คลาสทั้งหมดที่อยู่บนเครื่องโลคอล (Local) เอง จะได้รับห้วงแอดเดรส (Address Space) เป็นของตัวเองส่วนคลาสต่าง ๆ ที่ดึงมาจากภายนอกจะได้รับ namespace เป็นของตัวเอง การทำงานลักษณะนี้จะช่วยให้คลาสที่อยู่บนโลคอลทำงานได้ประสิทธิภาพดีขึ้น เพราะใช้ namespace ร่วมกันได้ แต่ก็ยังมีทางป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดจากคลาสที่ดึงเข้ามาจากคลาสภายนอก และในทางกลับกัน คลาสที่อิมพอร์ต (import) เข้ามาก็ปลอดภัยจากความผิดพลาดที่อาจเกิดจากคลาสโลคอลด้วย

เมื่อคลาสทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทำงานถูกอิมพอร์ตเข้ามาเรียบร้อยแล้ว การจัดวางหน่วยความจำสำหรับเริ่มต้นการทำงานก็จะเกิดขึ้นได้ การเรียกชื่อต่างๆ ก็จะสามารถจับคู่กับแอดเดรสจริง ๆ ของหน่วยความจำได้ แล้วตัวโหลดเดอร์จะสร้างตารางสำหรับค้นหาที่อยู่เลี่ยงจากการทำงานผิดปกติของซุปเปอร์คลาส และการอ้างอิงแอดเดรสที่ไม่ถูกต้องได้

8.3.5 ตรวจสอบไบท์โค้ด

เมื่อโค้ดเดินทางมาจนถึงขั้นตอนการสร้างตารางจับคู่ชื่อกับแอดเดรสแล้ว ก็ยังไม่สามารถแน่ใจได้ว่าโค้ดที่อ่านเข้ามาจะมีความปลอดภัย ดังนั้นจึงต้องมีตัว verifier หรือตัวตรวจสอบไบท์โค้ด ทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องทีละบรรทัดว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของจาวา และสอดคล้องกับการทำงานของตัวโปรแกรมเองหรือไม่ การตรวจสอบโค้ดในเชิงทฤษฎีจะสร้างค้นหาปัญหาต่างๆ ได้หลายอย่าง เช่น จะไม่มีการสร้างพอยเตอร์ที่เกินกว่าหน่วยความจำจริง ไม่มีคำสั่งใดสามารถละเมิดสิทธิ์การทำงานของตัวโปรแกรมได้ ไม่มีการจับคู่ ไม่มีการจับคู่ออบเจ็คผิด จะไม่มีการให้ operant มากหรือน้อยเกินไป การกำหนดค่าต่างๆ สำหรับไบท์โค้ดจะต้องถูกต้องครบถ้วน และจะไม่มีการแปลงข้อมูลผิดรูปแบบ

การใช้ตัวตรวจสอบตอบสนองจุดประสงค์ 2 ประการสำคัญ คือสิ่งต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้วจะถูกตรวจสอบก่อนทำให้ตัวอินเตอร์พริเตอร์มั่นใจได้ว่า ไบท์โค้ดที่ส่งเข้าไปทำงานจะไม่มีขั้นตอนการทำงานที่สร้างปัญหาให้กับตัวระบบ และจุดประสงค์ที่สองคือ ตัวอินเตอร์พริเตอร์จะทำงานตามไบท์โค้ดได้เร็วกว่า เพราะไม่ต้องคอยระวังว่าจะมีปัญหาเกิดขึ้น และไม่ต้องหยุดเป็นช่วงๆ เมื่อพบปัญหาและต้องแก้ไข

ในการทำงาน ไบท์โค้ดจะถูกตรวจสอบเพียงครั้งเดียวเท่านั้น และจะทำงานไปได้ตลอดไม่ต้องมีการตรวจสอบซ้ำอีกเมื่อมีการเรียกกลับมาทำงานที่ส่วนเดิมของโปรแกรม

8.3.6 การทำงานตามโค้ด

เมื่อตัวโหลดเดอร์ได้รวบรวมโค้ดเข้ามาสู่ระบบ ระบบก็จะจัดวางในหน่วยความจำ และตัวตรวจสอบได้ตรวจสอบความถูกต้องแล้ว โค้ดก็จะถูกส่งต่อไปยังตัวอินเตอร์พริเตอร์ทำงานตามคำสั่ง การทำงานตามคำสั่งของไบท์โค้ดก็คือ การเปลี่ยนโค้ดให้กลายเป็นคำสั่งการทำงานจริงที่ตัวระบบไคลเอ็นต์ที่รับโค้ดนี้สามารถทำงานได้ ซึ่งวิธีการที่ทำได้มีอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ ตัวอินเตอร์พริเตอร์ทำการคอมไพล์โค้ดเหล่านี้ให้กลายเป็นเนทีฟโค้ด (native code) ที่ตัวไคลเอ็นต์เข้าใจได้ แล้วค่อยทำงาน เพื่อให้ได้ความเร็วสูงสุดในการทำงาน กับอีกวิธีหนึ่งก็คือ อินเตอร์พริเตอร์อ่านโค้ดมาแล้วตีความหมายการทำงานไปทีละคำสั่ง และตีความไปเรื่อยตลอดการทำงาน

โดยปกติแล้ว ผู้สร้างอินเตอร์พริเตอร์มักจะเลือกใช้วิธีการหลัง รูปแบบของไบท์โค้ดในภาษาจาวามีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะสามารถเปลี่ยนไปทำงานบนเครื่องไคลเอ็นต์แบบต่างๆ ได้โดยไม่มีการก่อให้เกิดโอเวอร์เฮด (overhead) มากเกินความจำเป็น อย่างไรก็ตามไคลเอ็นต์ของจาวาบางระบบมีความสามารถในการทำงานได้ทั้งสองวิธี คือ โปรแกรมเมอร์สามารถจะเลือกใช้วิธีการคอมไพล์กับงานที่เน้นการคำนวณมากๆ เพื่อเป็นการเพื่อสมรรถนะในการทำงานให้ได้เต็มที่

การสร้างระบบรันไทม์ที่ดีจะต้องถ่วงดุลความสำคัญ 3 ประการให้ได้พอเหมาะ นั่นคือ portable, ความปลอดภัย และสมรรถนะ ในเรื่องของ portable ทำได้โดยการใช้รูปแบบของไบท์โค้ดที่มีความเป็นกลางเพียงพอ สามารถนำไปใช้รันบนเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องต่างๆ ได้โดยง่าย นอกจากนั้น การที่ตัวอินเตอร์พริเตอร์กำหนดการจัดการตำแหน่งหน่วยความจำในช่วงรันไทม์ แทนที่จะเป็นระหว่างคอมไพล์เหมือนภาษาอื่นๆ ก็เป็นการเพิ่มความแน่นอนว่า คลาสต่างๆที่ อิมพอร์ตเข้ามาจะยังคงใช้ได้อยู่ตลอดเวลา ส่วนเรื่องความปลอดภัยเป็นสิ่งที่มีการคำนึงถึงตลอดกระบวนการรันไทม์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวตรวจสอบไบท์โค้ด ที่ทำให้แน่ใจว่า โปรแกรมจะทำงานได้ถูกต้องตามข้อกำหนดของจาวา ส่วนเรื่องของสมรรถนะนั้นก็สามารถจัดการได้ในสองระยะ คือ พยายามเอาโอเวอร์เฮดทั้งหลายไปใส่ไว้ที่ตอนเริ่มต้นโหลดโปรแกรมเข้ามาสู่ระบบ หรือไม่ก็กำหนดให้ทำงานเป็นแบบแบ็คกราวน์ (Back-Ground Thread)

ด้วยตัวอย่างเหล่านี้ ทำให้จาวาสามารถแสดงสมรรถนะในระดับที่น่าพอใจออกมาได้โดยที่ยังคงไว้ซึ่งพอร์ตเทเบิล และสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย นอกจากนั้น ยังสามารถจะดึงสมรรถนะระดับสูงสุดออกมาใช้ได้ทันทีเมื่อต้องการ

8.4 การสร้างและรันภาษาจาวา

การสร้างโปรแกรมด้วยภาษาจาวาก็เหมือนกับภาษาอื่นๆ คือเขียนโปรแกรมจาก Editor ใดๆ ก็ได้บันทึกอยู่ในนามสกุล .java จากนั้นจึงนำไปคอมไพล์ด้วยคอมไพเลอร์ของ Java จะได้ไฟล์ใหม่นามสกุล .class ที่เก็บรหัสของการคอมไพล์ไว้ จาวาเรียกรูปแบบข้อมูลที่อยู่ในไฟล์ใหม่นี้ว่า Byte Code ไฟล์ที่ได้จะไม่สามารถรันได้ทันทีเหมือนไฟล์นามสกุล .exe หรือ .com ที่เราคุ้นเคยกันเพราะข้อมูลแบบ Byte Code จะมีรูปแบบข้อมูลที่อยู่กึ่งกลางระหว่างโค้ดโปรแกรม (Source Code) กับโค้ดที่คอมพิวเตอร์อ่านแล้วนำไปปฏิบัติงานได้ทันที (Machine Code) หากจะรันไฟล์ .class บนระบบใดๆต้องใช้อินเตอร์พริเตอร์จาวาของระบบนั้นๆ

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของ Byte Code แล้วแปลให้เป็นรหัสภาษาเครื่องส่งให้ระบบปฏิบัติการทำไปรันต่อไปขั้นตอนการทำงาน

ลักษณะของการเขียนโปรแกรมภาษาจาวาเป็นการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming : OOP) ตัวโปรแกรมต้องถูกคอมไพล์เป็นโค้ด ซึ่งเรียกว่า Java Byte Code เครื่องมือในการพัฒนาภาษาโปรแกรมจาวามีการจำลองตัวมันเองเป็น JVM (Java Virtual Machine) ซึ่งเป็นการสมมติให้มีคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งขึ้นมาโดยเครื่องนี้จะใช้สำหรับคอมไพล์ภาษาจาวาทุกโปรแกรม และเอ็กซิคิวท์ (execute) คำสั่งแต่ละในจาวาโค้ดให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามคำสั่งได้ ข้อดีของการเขียนโปรแกรมจาวามีดังนี้

- เป็นภาษาที่เรียนรู้ได้อย่างรวดเร็ว
- ในการเขียนโปรแกรมหนึ่งๆ ขนาดของโค้ดจะเล็ก
- สามารถนำไปใช้งานกับเครื่องประเภทอื่นได้

การเขียนโปรแกรมภาษาจาวาที่เป็นที่นิยมมี 2 รูปแบบคือ

- จาวาแอพพลิเคชัน เป็นโปรแกรมแบบ stand alone ไม่สามารถใช้งานบนเว็บบราวเซอร์ได้
- จาวาแอพเพลต สามารถใช้งานบนเว็บบราวเซอร์ได้

การเขียนโปรแกรมภาษาจาวานั้น เราต้องติดตั้งตัวแปลภาษาจาวาก่อน ซึ่งในการพัฒนาโครงงานนี้ เราได้เลือก JDK 1.4 เป็นคอมไพเลอร์ เราสามารถใช้คำสั่ง javac เพื่อคอมไพล์โปรแกรม ผลที่ได้จากการคอมไพล์โปรแกรมจาวา คือ ไฟล์นามสกุล .class เป็นเหมือนกับไฟล์เอ็กซิคิวของจาวา การเรียกให้ไฟล์ .class นี้ทำงานไม่ต้องใส่นามสกุล .class

การเขียนโปรแกรมภาษาจาวาจะต้องกำหนดให้ชื่อไฟล์กับชื่อเดียวกัน เพราะในการคอมไพล์ หรือรันโปรแกรม เราจะเรียกโดยใช้ชื่อคลาสนั้นเอง ซึ่งไฟล์ .class ของจาวาสามารถทำงานข้ามแพลตฟอร์มได้ และตรงนี้เองทำให้ภาษาจาวาได้รับความนิยมและนำไปใช้งานมากขึ้น

ตัวอย่าง การใช้จาวา แสดงข้อความ Hello World ! ออกมาที่คอมมานด์ไลน์ (command line)

1. เขียนซอร์สโค้ดชื่อ Hello.java โดยมีรายละเอียดโค้ดดังนี้

```
Class Hello {
            public static void main(String arg[]) {
            System.out.println("Hello World !");}
}
```

2. คอมไพล์ซอร์สโค้ด โดยใช้คำสั่ง # javac Hello.java
   ซึ่งในขั้นตอนนี้จะได้ไฟล์ Hello.class

3. รัน Hello.class ด้วยคำสั่ง #java Hello

ผลที่ได้จากการรัน Hello.class เป็นดังนี้

```
#java Hello
Hello World !
```

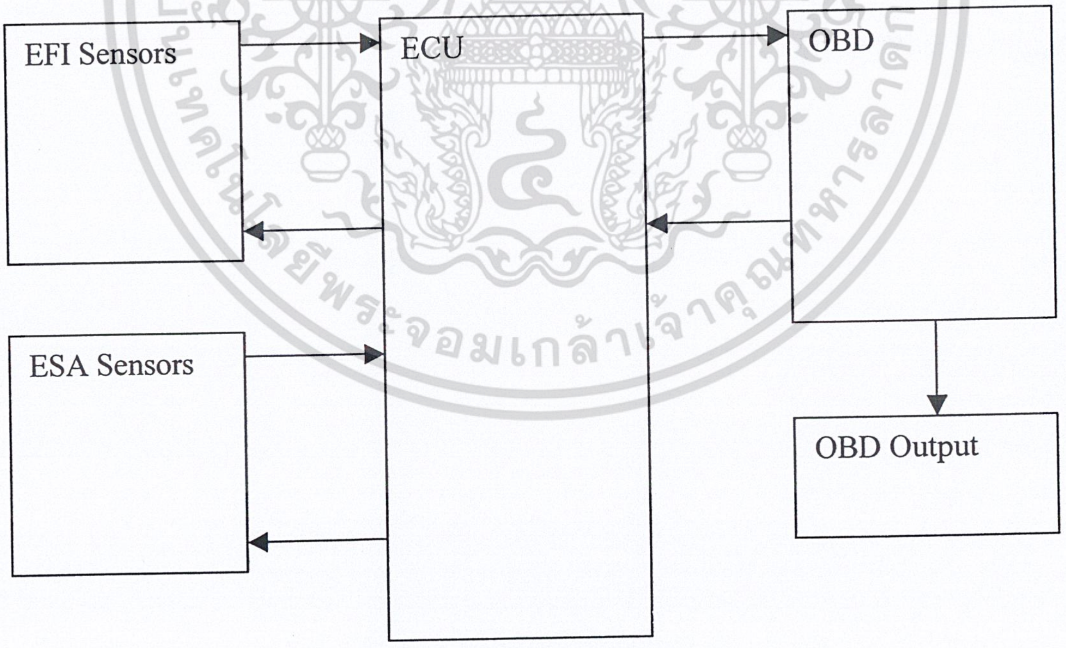
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 9
ขั้นตอนการออกแบบและสร้างโครงงาน

หลังจากศึกษารวบรวมข้อมูลทั้งหมดแล้ว ก็เข้าสู่การสร้างตัวชิ้นงานซึ่งเป็นส่วนสำคัญของโครงงานที่จะใช้ทดสอบทฤษฎีต่างๆ ที่ได้ศึกษามาทั้งหมด โดยตัวโครงงานที่สร้างขึ้นเป็นโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นระบบที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่และมีส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องในการสร้างตัวโครงงานหลายส่วน การวิเคราะห์ระบบและการดำเนินงานเป็นขั้นตอนเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการสร้างตัวโครงงานให้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

9.1 การวิเคราะห์ระบบ

ระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องของเครื่องยนต์ในรถยนต์ เป็นระบบที่มีการทำงานที่เกี่ยวข้องกับระบบอื่นๆ ในรถยนต์อีกหลายระบบ แต่โครงงานชิ้นนี้เป็นระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องที่ทดสอบเฉพาะระบบควบคุมการฉีดน้ำมันอิเล็กทรอนิกส์(EFI) และ ระบบควบคุมองศาการจุดระเบิด (ESA)เท่านั้น ทั้งสองระบบมีการทำงานร่วมกับตัวตรวจจับสัญญาณ (sensors) และ หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ โดยแสดงได้ตาม Block Diagram ตามรูป ดังนี้



รูปที่ 9.1 ระบบการทำงานที่เกี่ยวข้องกับระบบวินิจฉัยข้อขัดข้อง

การทำงาน ECU จะทำการคำนวณค่าระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และ องศาการจุดระเบิด จากค่าที่รับเข้ามาจาก Sensors ซึ่งบ่งบอกถึงสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ขณะนั้น แล้วนำมาเปิดตารางหาค่าระยะเวลาการฉีดน้ำ

มันจาก Rom Code ซึ่งอยู่ใน ECU เพื่อหาระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และ องศาการฉีดน้ำมันที่เหมาะสม กับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ขณะนั้น

การทำงานของระบบ OBD จะทำงานร่วมกับ ECU ซึ่งจะรับข้อมูลจาก Sensors ทั้งในส่วนที่เป็น Sensors ของระบบ EFI และ ESA หลังจากรับข้อมูลจาก Sensors แล้ว ECU ก็จะทำหน้าที่คำนวณค่าระยะเวลาการฉีดน้ำมัน แล้วส่งค่ากลับไปยังระบบ EFI เพื่อสั่งฉีดน้ำมัน รวมถึงค่าองศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่จะส่งกลับไปยังระบบ ESA เพื่อสั่งการจุดระเบิด ต่อไป

ระหว่างที่ ECU รับค่าจาก Sensors ของระบบ EFI และ ESA ระบบ OBD จะนำค่าจาก Sensor ไปตรวจสอบว่าค่าที่ได้ถูกต้องตามมาตรฐานหรือไม่ หากพบว่ามีการทำงานผิดพลาดเกิดขึ้น ระบบ OBD จะส่งค่ารหัสขัดข้อง (Diagnostic Code) ออกมายัง OBD Output ซึ่งมีหน้าที่แจ้งข้อผิดพลาดของการทำงานของ ระบบ EFI และ ESA ออกมา ซึงปัจจุบันมาตรฐานการแสดงผลจะใช้ หลอดไฟแสดงข้อผิดพลาด (MIL) เป็นตัวแสดงผลออก

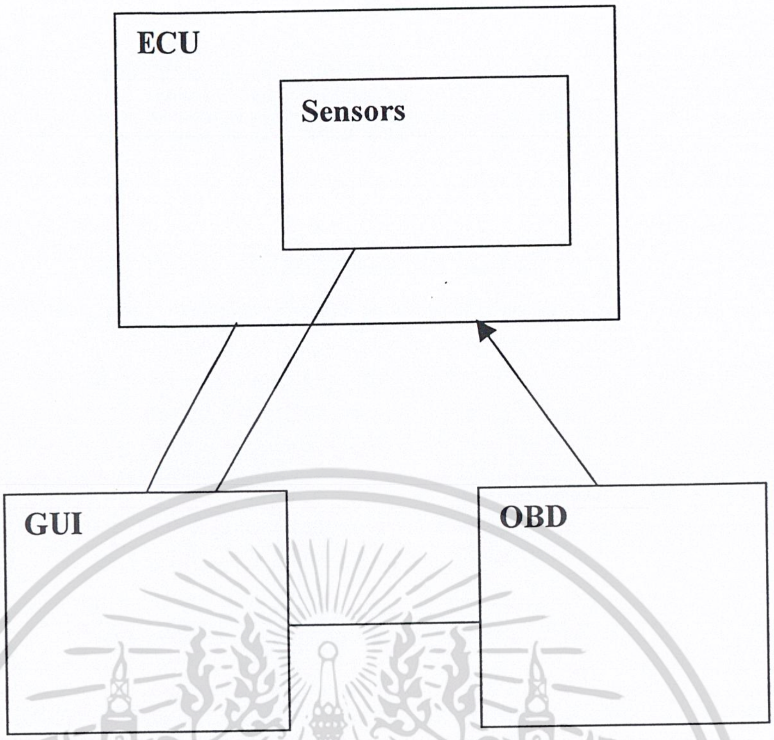
ในส่วนของโครงงานที่สร้างขึ้น จะทำการจำลองการทำงานดังกล่าวโดยในขั้นแรกจะจำลองการรับข้อมูลจากข้อมูลจาก Sensor โดยรับข้อมูลจาก file ก่อนโดยค่าที่ได้จาก file นั้นจะบ่งบอกถึงสภาวะการทำงานในแต่ละช่วงเวลาของเครื่องยนต์ จากนั้นจะนำข้อมูล Sensors ที่จำลองขึ้น นำมาคำนวณระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และ องศาการจุดระเบิดล่วงหน้า โดยจะมีการจำลอง Rom Code ซึ่งจะเก็บไว้ที่ file เช่นกันมาใช้ในการคำนวณหาระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และ องศาการจุดระเบิด ระหว่างนี้โปรแกรมก็จะจำลองการทำงานของ OBD ขึ้นมาเพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบ หากเกิดข้อผิดพลาดในการทำงานเกิดขึ้น ระบบ OBD ก็จะแจ้ง Diagnostic Code ออกมา นอกจากนี้ค่าที่ได้จาก Sensor จะแสดงผลออกทางหน้าจอผ่านทาง Graphic User Interface (GUI) ของวินโดว์ต่อไป

9.2 การออกแบบโครงสร้างของโครงงาน

เมื่อวิเคราะห์ระบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นต่อมา คือ นำผลการวิเคราะห์นั้นมาออกแบบมาแตกรายละเอียดเพื่อสร้างเป็นโมดูลแต่ละตัวเพื่อง่ายต่อการพัฒนาเป็นโปรแกรมต่อไป โดยการแตกรายละเอียดเพื่อสร้างโมดูลนั้นจะแตกรายละเอียดตามลักษณะการทำงานเป็นหลัก โดยมองจากระบบใหญ่ซึ่งเป็นภาพรวมก่อนแล้วจึงแตกระบบออกเป็นโมดูลย่อยลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้โมดูลมีขนาดที่เหมาะสมที่สามารถนำมาเขียนโปรแกรมประยุกต์ได้

ในส่วนโปรแกรมจำลองระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องที่สร้างขึ้นมาได้มีการออกแบบโดยมองจากระบบที่เป็นระบบใหญ่ก่อนที่เป็นภาพรวมก่อน โดยมองโมดูลหลักอยู่ที่การทำงานของ ECU ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของส่วนอื่นๆ ก่อน ซึ่ง ECU มีหน้าที่รับข้อมูลจาก Sensors ซึ่งแยกเป็นอีกโมดูลหนึ่ง แล้วทำการคำนวณหาระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และ ค่าองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า และ OBD ทำหน้าที่วินิจฉัยข้อผิดพลาดของระบบโดยตรวจสอบข้อมูลที่ได้จาก ECU อีกทีหนึ่ง นอกจากนี้การแสดงผลผ่าน GUI จะนำข้อมูลทั้งในส่วนของ ECU และ OBD มาแสดงผลอีกครั้ง จะเห็นได้ว่าจากการวิเคราะห์จะได้ module ที่ต้องใช้งานอยู่ 4 โมดูลใหญ่ๆ คือ Sensor, ECU, OBD และ GUI

นอกจากนั้นการวิเคราะห์การทำงานของระบบข้างต้นยังสามารถเขียนความสัมพันธ์ของโมดูลแต่ละโมดูลออกมาเป็น Class Diagram ได้ดังรูป 6.2



รูปที่ 9.2 แผนภาพความสัมพันธ์ของโปรแกรมจำลองระบบวินิจฉัยข้อขัดข้อง

จากรูปที่ 9.2 แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละโมดูลโดยแยกเป็นคลาสหลักๆ ได้ 4 คลาส ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

- Sensor เป็นส่วนหนึ่งของ Ecu
- Obd สืบทอดคุณสมบัติมาจาก Ecu
- GUI มีความสัมพันธ์แบบแอสโซซิเอชัน กับ Sensor, Ecu, Obd

9.2.1 Sensor

Sensors เป็นคลาสพื้นฐานที่สุดของระบบซึ่งเป็น input ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ โดย Sensor มีความสัมพันธ์เป็นส่วนหนึ่งของ Ecu ซึ่งจะถูกนำไปใช้คำนวณหาระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และองศาการจุดระเบิดโดย Ecu รวมถึงการเรียกใช้จาก Obd เพื่อนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตรวจสอบหาข้อผิดพลาดของการทำงานของเครื่องยนต์ต่อไป

9.2.2 Ecu

Ecu เป็นคลาสที่มีหน้าที่คำนวณระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และ องศาการจุดระเบิดซึ่งได้รับข้อมูลจาก Sensor นอกจากนั้น Ecu ยังมีหน้าที่คำนวณหาค่าข้อมูลที่จำเป็นอื่นๆ ของระบบ EFI และ ESA โดยการทำงานของ Ecu ที่ออกแบบขึ้นมาจะมีส่วนประกอบเป็น Sensor และค่า Signal ภายในเป็นการบ่งบอกค่าที่ได้จากระบบ EFI และ ESA

9.2.3 Obd

Obd เป็นคลาสที่มีหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์ ซึ่งรับข้อมูลจาก Sensor มาประมวลผลแล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาตรวจสอบว่า ณ แต่ละสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ นั้นทำงานถูกต้องหรือไม่ โดยพิจารณาจากข้อมูลจาก Sensor เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ หากเกิดข้อผิดพลาดก็จะแสดง Diagnostic Code ออกมา

9.2.4 Gui

Gui เป็นคลาสที่มีหน้าที่แสดงข้อมูลรวมถึงควบคุมการทำงานของโปรแกรมจากผู้ใช้ โดยจะรับข้อมูลจาก Sensor, Obd และ Ecu เพื่อแสดงผลแก่ผู้ใช้ เช่น ค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์ ระยะเวลาฉีดน้ำมัน องศาการจุดระเบิดล่วงหน้า เป็นต้น

9.3 การสร้างโปรแกรมโครงงาน

เมื่อเสร็จขั้นตอนการ ออกแบบโครงสร้างของโครงงาน ก็จะเข้าสู่การสร้างโปรแกรม

9.3.1 การสร้างคลาสและเมธอดภายในคลาส

จากการขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างจะได้ โมดูลออกมา 4 ส่วน คือ Sensor, Ecu, Obd และ Gui โดยแต่ละตัวมีการกำหนดค่าดังนี้

```
public class Sensor
{
        public String name;          // ชื่อของ Sensor
        public String unit;          // หน่วยของ Sensor
        public double value;         // ค่าของ Sensor
        public int type;             // ประเภทของ Sensor
}
```

```
public class Ecu
{
        /* ค่า input ที่รับมาจาก Sensor เพื่อการคำนวณหาค่าของระบบ EFI และ ESA
        ชื่อตัวแปรและความหมายของ Sensor แต่ละตัว สามารถดูได้ที่ สามารถดูได้ที่ ภาคผนวก ก
        */
        protected Sensor pim;
        protected Sensor idl;
        protected Sensor vta;
        protected Sensor g1;
        protected Sensor g;
        protected Sensor ne_plus;
```

```
protected Sensor ne_sub;
protected Sensor knk;
protected Sensor thw;
protected Sensor tha;
protected Sensor ox;
protected Sensor spd;
protected Sensor sp2;
protected Sensor b;
protected Sensor sta;
protected Sensor nsw;
protected Sensor ac1;
protected Sensor act;
protected Sensor tt;
protected Sensor igf;
protected Sensor b_k;
protected Sensor rp;
protected Sensor w ;

/* ค่าของระบบ EFI และ ESA */

protected double map ;                // แรงดันสุญญากาศ
protected double throttle ;           // ตำแหน่งลิ้นเร่ง
protected double rpm ;                // ความเร็วรอบเครื่องยนต์
protected double water_temp ;         // อุณหภูมิน้ำ
protected double air_temp ;           // อุณหภูมิอากาศ
protected double o2 ;                 // ค่าปริมาณส่วนผสมของอากาศ
protected double speed ;              // ความเร็วรถยนต์
protected double batt_ecu ;           // ค่าแรงดันแบตเตอรี่ที่ต่อเข้ากับ Ecu
protected double tt_ecu ;             // ค่าแรงดันแบตเตอรี่ที่ต่อเข้ากับ Ecu ขั้ว Test

protected boolean idl_status ;        // สภาวะรอบเดินเบา
protected boolean knk_status ;        // สภาวะการน็อก
protected boolean sta_status ;        // สภาวะการสตาร์ทเครื่องยนต์
protected boolean nsw_status ;        // สภาวะเกียร์ว่าง
```

```
        protected boolean ac_status ;            // สภาวะการเปิดเครื่องปรับอากาศ
        protected boolean igf_status ;           // สภาวะการจุดระเบิด
        protected boolean bk_status ;            // สภาวะการเบรก

        /* EFI Output */
        protected double duration;               // ค่าระยะเวลาการฉีดน้ำมัน
        protected double duration_basic;         // ค่าระยะเวลาการฉีดน้ำมันพื้นฐาน
        protected double fuel_value;             // ค่าการฉีดน้ำมัน

        /* ESA output */
        protected double advance_basic;          // องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าขั้นพื้นฐาน
        public double advance;                   // องศาการจุดระเบิดล่วงหน้า

        /* OBD output */
        protected boolean mil;                   // หลอดไฟแสดงความผิดพลาดของเครื่องยนต์

        /* การ initiate ค่าเริ่มต้นให้กับ Rom Code */
        public void loadRomCode(File fuel, File adv);

        /* การขอดูค่าที่อยู่ใน Ecu */
        public void loadData();

}

public class Obd extends Ecu
{
        /* ค่า Diagnostic Code  ที่เกิดขึ้น */
        private String [] faultcode = new String [100] ;

        /* การตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์ */
        public void checkFaultCode();

        /* การขอดูค่า Diagnostic Code ที่เกิดขึ้น */
        public void getFaultCode();
```

```
}

//คลาสแสดงเมนูบาร์
public class MenuObd extends JFrame
{
// สร้าง เมนูบาร์ขึ้นมา โดยภายในจะ มีอยู่ 3 เมนูด้วยกันคือ File, View และ Help
JMenuBar bar = new JMenuBar();  // create menubar
 setJMenuBar( bar );  // set the menubar for the Jframe

// สร้างFile เมนูขึ้นมาโดยภายในจะมีอยู่ด้วยกัน 5 item คือ New, Open, Save, Save As และ Exit
JMenu fileMenu = new JMenu( "File" );
JMenuItem newItem = new JMenuItem( "New" );
JMenuItem openItem = new JMenuItem( "Open" );
JMenuItem saveItem = new JMenuItem( "Save" );
JMenuItem saveAsItem = new JMenuItem( "Save As..." );
JMenuItem exitItem = new JMenuItem( "Exit" );

// สร้าง View เมนูขึ้นมาโดยภายในจะมีอยู่ด้วยกัน 6 item คือ Dash, Sensors, Graphs, Errorcodes และ Recordings
JMenu viewMenu = new JMenu( "View" );
JMenuItem dashItem = new JMenuItem( "Dash" );
JMenuItem sensorsItem = new JMenuItem( "Sensors" );
JMenuItem graphsItem = new JMenuItem( "Graphs" );
JMenuItem errorcodesItem = new JMenuItem( "Errorcodes" );
JMenuItem recordingsItem = new JMenuItem( "Recordings" );

// สร้าง Help เมนูขึ้นมา โดยภายในจะมีอยู่ด้วยกัน 2 item คือ Help และ About
JMenu HelpMenu = new JMenu( "Help" );
JMenuItem helpItem = new JMenuItem( "Help" );
JMenuItem aboutItem = new JMenuItem( "About..." );
}


//คลาสแสดง TabbedPane
public class TabbedObd extends JPanel {
```

/* สร้าง TabbedPane ขึ้นมาโดยภายในจะมีอยู่ด้วยกัน 6 Tab คือ Dash, Sensors, Graphs, Errorcodes, Recordings และ Rom Code*/

```
tabbedPane.addTab("Dash", icon, panel1, "Display Dash board");
tabbedPane.addTab("Sensors", icon, panel2, "Display Sensors");
tabbedPane.addTab("Graphs", icon, panel3, "Display Graphs");
tabbedPane.addTab("Errorcodes", icon, panel4, "Display Errorcodes");
tabbedPane.addTab("Recordings", icon, panel5, "Display Recordings");
tabbedPane.addTab("Rom Code", icon, panel6, "Display Ecu Rom Code");
}

// คลาสแสดง Dash
public class DashObd extends JFrame
{
// สร้าง Container ขึ้นมาเพื่อใช้เก็บส่วนต่างๆที่ต้องการแสดงผล
Container c = getContentPane();

//  กำหนดค่าเริ่มต้นให้สัญญาณ input แต่ละตัว ซึ่งนำไปแสดงผล
public void create(JPanel p, JLabel n, JTextField v, JLabel u)
// รับค่าใหม่จาก sensors เข้ามาและ เปลี่ยนแปลงค่าของสัญญาณ input แต่ละตัว หลังจากนั้นจึงนำไปแสดงผล
public void updateDash(Sensors)
}
```

9.3.2 การควบคุมการทำงานของโปรแกรมแบบทำงานทีละช่วงเวลา (Scan Time Program)

ลักษณะการทำงานของโปรแกรมจำลองระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องที่สร้างขึ้นเป็นโปรแกรมที่ทำงานแบบทำงานทีละช่วงเวลา (Scan Time Program) โดยมีการจับเวลาในการรับ ข้อมูล Sensors ที่จำลองขึ้นจาก input file ทีละบรรทัด ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง เป็นรอบๆ ตามเวลาที่ระบุไว้ในโปรแกรม โดยแต่ละรอบการทำงาน จะนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าของระบบ EFI และ ESA รวมทั้งเปรียบเทียบค่ากับค่ามาตรฐานเพื่อวินิจฉัยข้อขัดข้องของระบบ EFI และ ESA และ แสดงค่าผ่านทาง GUI ต่อไป

ในส่วนของการจับเวลาในการทำงานของซึ่งถือเป็นแกนหลักของโปรแกรมจะมีลักษณะการนำมาประยุกต์ใช้งานตามตัวอย่างที่ตามมา ซึ่งจะเป็นการทดสอบการทำงานแต่ละรอบทุกๆ 1000 ms ดังนี้

```
Public static final long WAIT_TIME = 1000;

while (true)
```

```
{
        long end_t = System.currentTimeMillis();

                while(( differ = (end_t - begin_t)) < WAIT_TIME)
                {
                        end_t = System.currentTimeMillis();
                }

        begin_t = System.currentTimeMillis();
        IMPLEMENTATION CODE

}
```

9.3.3 การรับข้อมูล

ด้วยเหตุที่โปรแกรมที่สร้างขึ้นเป็นเพียงโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบวินิจฉัยข้อขัดข้องเท่านั้น ค่า input ที่รับมา ไม่ได้เป็นข้อมูลจริงที่ได้รับจาก Sensor ในรถยนต์ การรับค่าในโปรแกรมนี้จึงทดสอบโดยการรับข้อมูลจาก file ซึ่งนอกจาก จำลองที่ได้รับจาก Sensor ในรถยนต์แล้ว ยังมีส่วนที่เป็น Rom Code อีกด้วย การรับข้อมูลดังกล่าว มีลักษณะการสร้างดังนี้

Input file ที่เป็นข้อมูลจำลองค่า Sensors ตัวต่างๆ ที่รับเข้ามาจะต้องมีการกำหนดรูปแบบลำดับข้อมูลที่แน่นอน โดยจะต้องตรงกับรูปแบบลำดับข้อมูลที่ระบุไว้ในโปรแกรม โดยจะรับข้อมูลจาก Input file 1 บรรทัด ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ยกตัวอย่างรูปแบบลำดับข้อมูล ดังนี้

```
/* sensorSequence คือ array ที่ระบุว่า 1 บรรทัด ของ input file จะรับข้อมูลตามลำดับดังนี้ */
static final int sensorSequence [] = {    Sensor.PIM, Sensor.IDL, Sensor.VTA, Sensor.G1,
                                          Sensor.G, Sensor.NE_PLUS, Sensor.NE_SUB, Sensor.KNK,
                                          Sensor.THW, Sensor.THA, Sensor.OX, Sensor.SPD,
                                          Sensor.SP2, Sensor.B, Sensor.STA, Sensor.NSW,
                                          Sensor.AC1, Sensor.ACT, Sensor.TT, Sensor.IGF,
                                          Sensor.BK, Sensor.W                                    };
```

```
/* การ Load Rom Code */
File fuel = new File("fuel_rom.dat");     // Rom Code ของระยะเวลาการฉีดน้ำมัน
File adv = new File("adv_rom.dat");       // Rom Code ขององศาการจุดระเบิดพื้นฐาน
Obd.loadRomCode(fuel, adv);               // นำข้อมูล Rom Code เข้าสู่ระบบ
```

```
File datfile = new File("input_signal.dat");    // ข้อมูล Sensors จำลอง

/* นำข้อมูล Sensors จำลองเข้าสู่ Stream แล้วนำไปประมวลผลต่อไป */
FileInputStream fin = new FileInputStream(datfile);
BufferedReader din = new BufferedReader( new InputStreamReader(fin)) ;
IMPLEMENTATION CODE
```

9.3.4 การคำนวณเพื่อหาค่าของระบบ EFI และ ESA

ในแต่รอบการทำงานของโปรแกรม โปรแกรมจะรับค่าที่ได้จาก sensor มาคำนวณเพื่อหาค่าของระบบ EFI และ ระบบ ESA เพื่อเป็นพื้นฐานในการคำนวณหาค่า ระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และ องศาการจุดระเบิดล่วงหน้า โดยค่าที่รับจาก Sensor นำมาคำนวณตามตาราง 9.1

EFI & ESA value	Formular	Unit
MAP	PIM * 250	Mbar
THROTTLE	((VTA – 0.1) * 100) / 4.4	%
RPM	(((G1-185)*53.37) + ((G185)*53.37) + ((NE_PLUS -370)*26.67) + ((NE_SUB 370)*26.67)) / 4	Rpm
WATER TEMP	40 – (THW / 100)	°C
AIR TEMP	40 – (THA / 100)	°C
O2	OX	Volt
SPEED	(SP + SP2) /2	Kph
+B	B	Volt
TE	TT	Volt
IDL_STATUS	If (IDL >= 5) TRUE else FALSE	TRUE/FALSE
KNK_STATUS	If (KNK >= 7000) TRUE else FALSE	TRUE/FALSE
STA_STATUS	If (STA >= 6) TRUE else FALSE	TRUE/FALSE
NSW_STATUS	If (NSW <= 5) TRUE else FALSE	TRUE/FALSE
IGF_STATUS	If (IGF >= 5) TRUE else FALSE	TRUE/FALSE
AC_STATUS	If ((AC1 >= 0) AND (AC1 <= 3) AND (AC1 >= 4.5) AND (AC1 >= 5.5))	TRUE/FALSE

EFI & ESA value	Formular	Unit
	TRUE else FALSE	
BK_STATUS	If (BK >= 5) TRUE else FALSE	TRUE/FALSE

ตาราง 9.1 แสดงการคำนวณหาค่าพื้นฐานของระบบ EFI และ ESA

หลังจากคำนวณหาค่าพื้นฐานของระบบ EFI และ ESA แล้วขั้นตอนถัดไป คือ การคำนวณหาค่า ระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และ องศาการจุดระเบิดที่แท้จริงซึ่งได้จากการนำเอาค่าพื้นฐานของระบบมาเปิดตารางหาค่าระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และองศาการจุดระเบิดขึ้นพื้นฐาน หลักจากนั้นจึงค่าดังกล่าวมาคำนวณหา ระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และ องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าที่แท้จริง ตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์อีกครั้ง

9.3.5 การตรวจหาข้อขัดข้อง

ในแต่ละรอบการทำงานของโปรแกรม ระบบจะตรวจหาข้อขัดข้องของการทำงานของเครื่องยนต์ โดยการเทียบค่า Sensor แต่ละตัวในว่าอยู่ภายในมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ หากไม่อยู่มาตรฐานที่กำหนด ระบบก็จะแจ้ง Diagnostic Code ออกมา โดยส่งออกมาเป็นรหัสตัวเลข จากข้อมูลที่ได้จะนำไปเป็นรหัสในการสืบค้นเพื่อหาความหมายของ Diagnostic Code ดังกล่าวจากฐานข้อมูลต่อไป โดยความหมายของ Diagnostic Code แต่ละตัวได้รวบรวมไว้ที่ ภาคผนวก ก และ ภาคผนวก ข

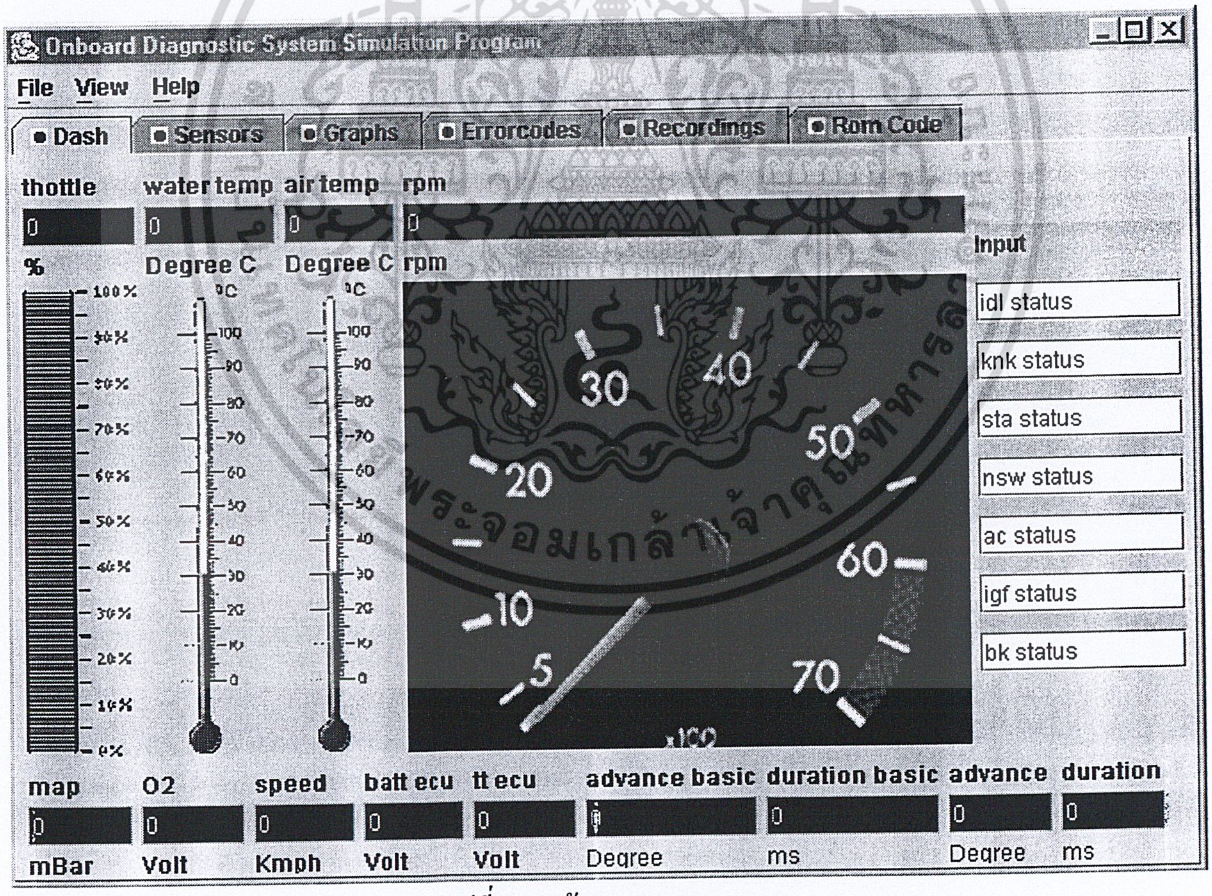
ในส่วนของโปรแกรมที่สร้างขึ้นมานั้นเป็นการจำลองการวินิจฉัยข้อขัดข้องเพียงบางจุดเท่านั้น ซึ่งตัวอย่างการวินิจฉัยข้อขัดข้องที่มีการวินิจฉัยข้อขัดข้องดังตาราง 9.2

Condition	Diagnostic Code	Condition	Diagnostic Code
NE- < 370	P0654	WATER TEMP > 120	P0115, P0118
NE- > 650	P0654	WATER TEMP < 10	P0115, P0117
NE < 370	P0654	AIR TEMP < -5	P0070, P0072
NE > 650	P0654	AIR TEMP > 90	P0070, P0073
G < 185	P0654	AC1 < 0	P0530, P0532
G > 325	P0654	AC1 > 9	P0530, P0533
G1 < 185	P0654	ACT < 4.5	P0530, P0532
G1 > 325	P0654	ACT > 9	P0530, P0533
RPM < 0	P0654, P0505, P0506	STA < 0	P0615, P0616, P1500
RPM > 7500	P0505, P0507	STA < 14	P0615, P0617, P1500
SPEED < 0	P0500, P502	B/K < 0	P0570, P0571
W < 9	P0650	B/K > 14	P0570, P0572

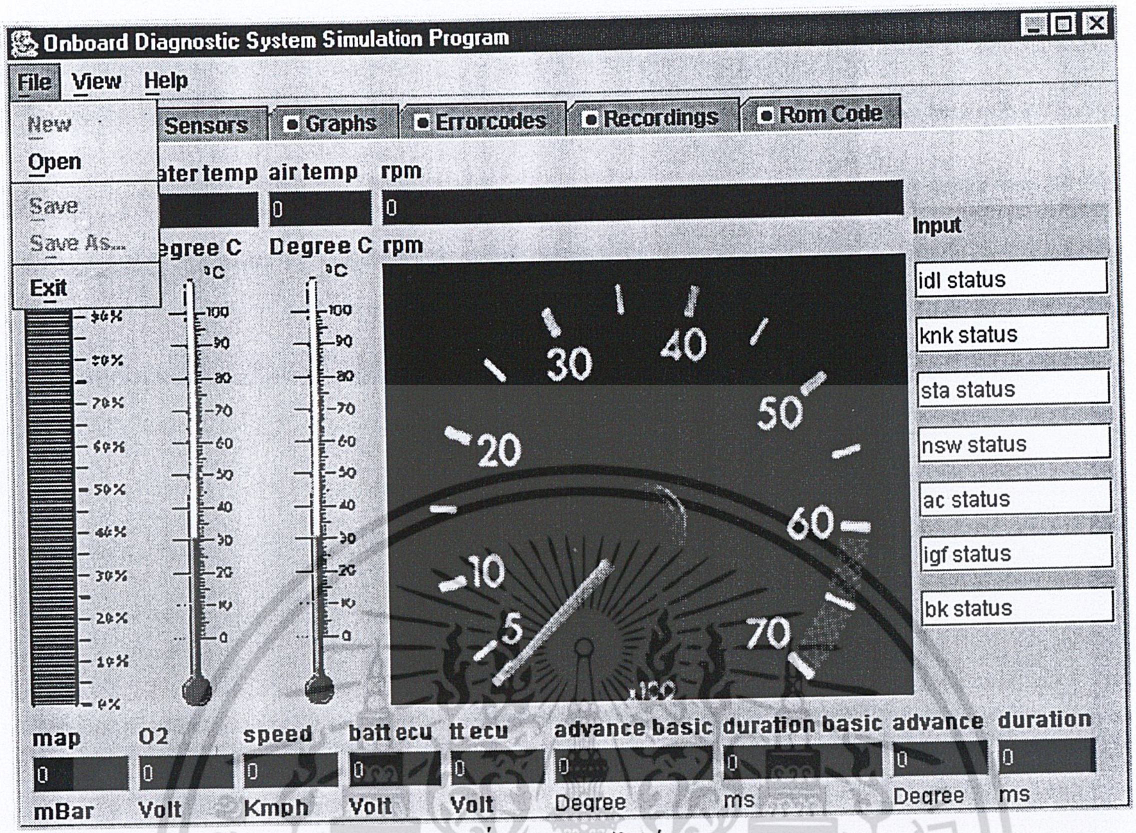
W > 14	P0650	IGF < 0	P1300
O2 < 0.1	P0130, P0131	IGF > 14	P1300
O2 > 0.9	P0130, P0132	NSW < 0	P1899
MAP < 0	P0105, P0107	NSW > 14	P1899
MAP > 1051	P0105, P0108	KNK < 0	P0325, P0327, P1605
VTA < 0.1	P0120, P0122	KNK > 20000	P0325, P0328
VTA > 4.5	P0120, P0123	B+ < 0	P0560, P0562
IDL < 0	P0505, P0508	B+ > 20	P0560, P0563
IDL > 14	P0505, P0509		

ตาราง 9.2 Diagnostic Code ที่สภาวะการทำงานที่โปรแกรมตรวจเช็คได้

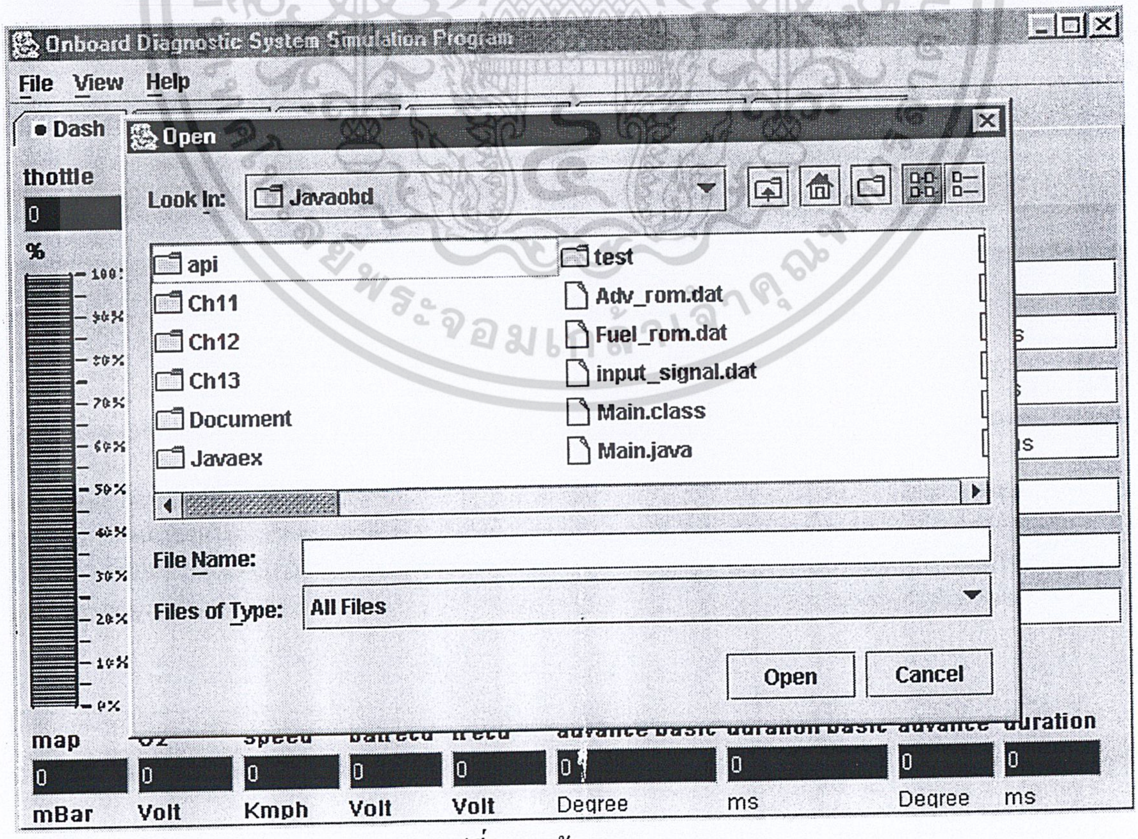
9.3.6 การแสดงผล



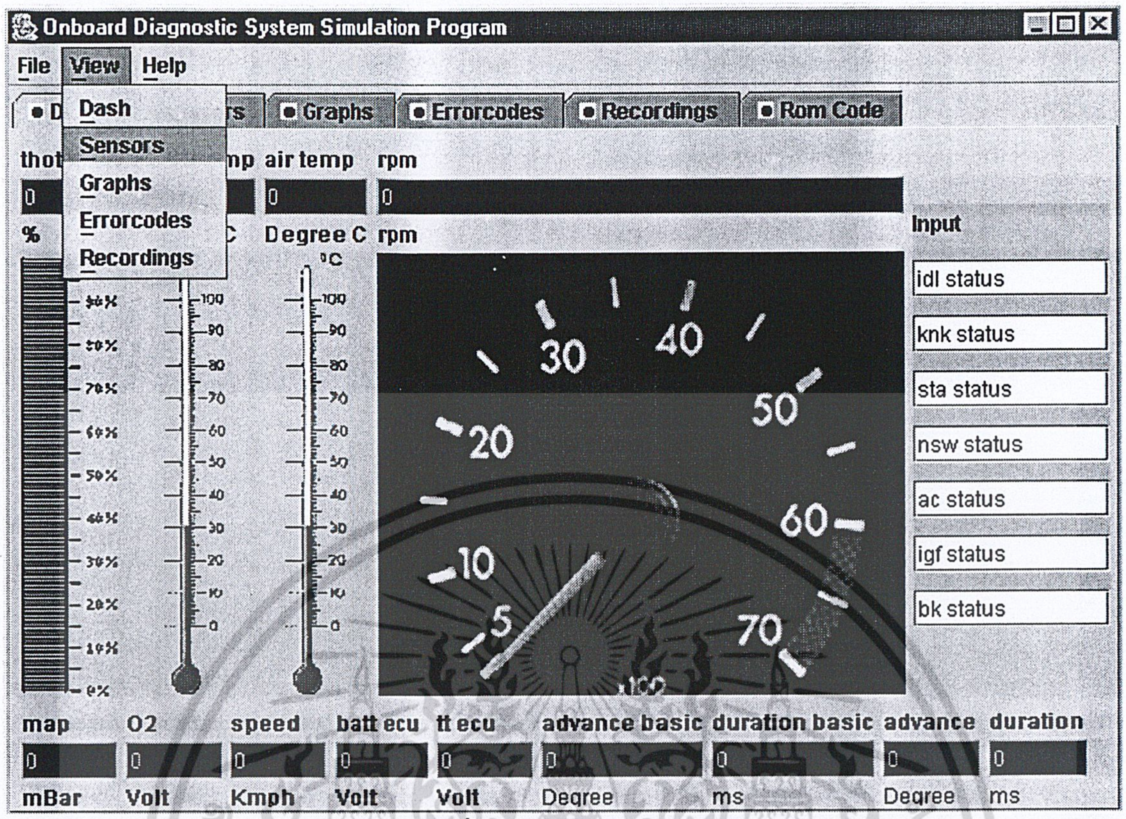
รูปที่ 9.3 หน้าจอแสดงผล Dash



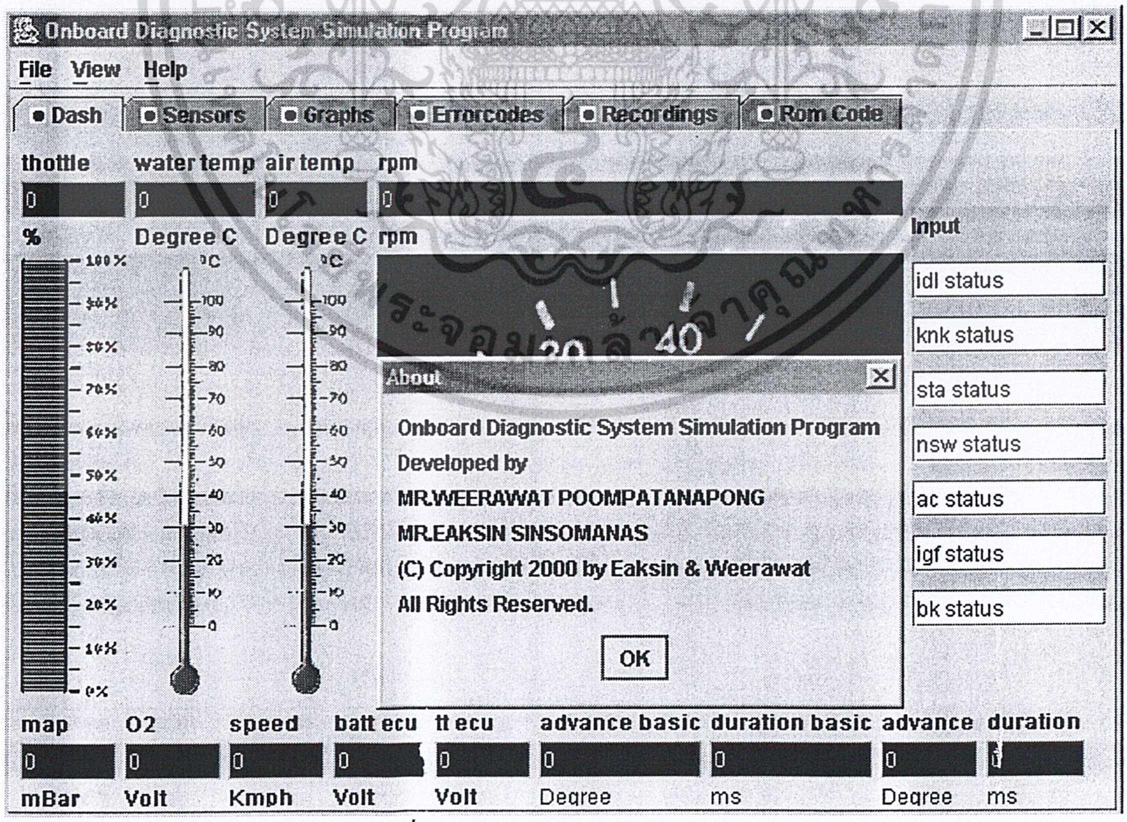
รูปที่ 9.4 หน้าจอไฟล์เมนู



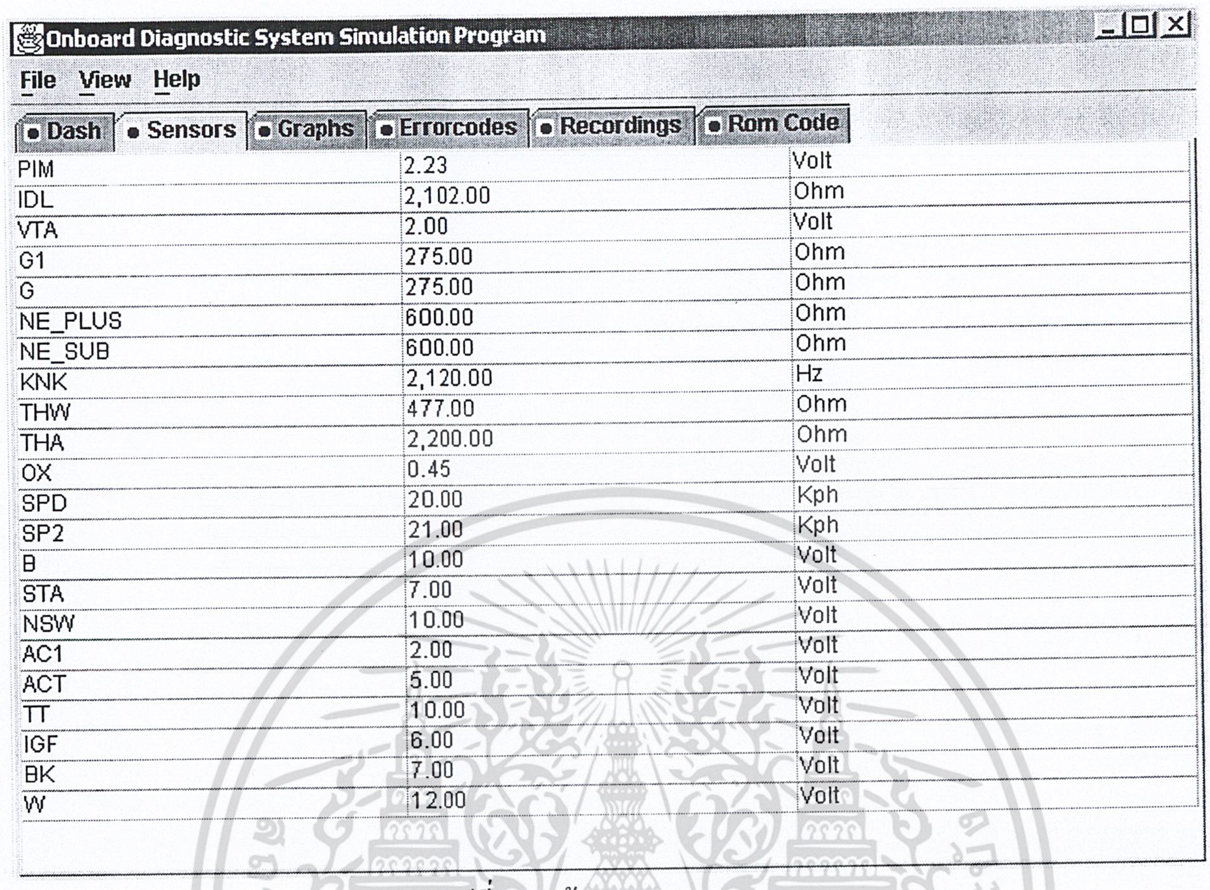
รูปที่ 9.5 หน้าจอ open file



รูปที่ 9.6 หน้าจอ veiw เมนู



รูปที่ 9.7 หน้าจอแสดง About Dialog



PIM	2.23	Volt
IDL	2,102.00	Ohm
VTA	2.00	Volt
G1	275.00	Ohm
G	275.00	Ohm
NE_PLUS	600.00	Ohm
NE_SUB	600.00	Ohm
KNK	2,120.00	Hz
THW	477.00	Ohm
THA	2,200.00	Ohm
OX	0.45	Volt
SPD	20.00	Kph
SP2	21.00	Kph
B	10.00	Volt
STA	7.00	Volt
NSW	10.00	Volt
AC1	2.00	Volt
ACT	5.00	Volt
TT	10.00	Volt
IGF	6.00	Volt
BK	7.00	Volt
W	12.00	Volt

รูปที่ 9.8 หน้าจอแสดง Sensors

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 10
บทวิจารณ์และสรุป

10.1 บทวิจารณ์และสรุป

สำหรับบทวิจารณ์และสรุป จะเป็นการสรุปการทำงานในแต่ละขั้นตอน โดยจะกล่าวที่ละส่วน พร้อมทั้งกล่าวถึงปัญหาและวิธีการแก้ไข รวมทั้งได้สรุปการทำงานโดยรวมของระบบไว้ด้วย

10.1.1 ส่วนการศึกษาระบบ

ในขั้นตอนแรกของการทำโครงงานคือ การศึกษาการทำงานของระบบต่างๆ ที่ต้องการจำลอง ได้แก่ ระบบตรวจสอบและวินิจฉัยข้อขัดข้อง หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ ระบบควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า และตัวตรวจจับสัญญาณ

หลังจากได้ศึกษาแล้วสรุปได้ว่า แต่ละชิ้นส่วนในระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์และระบบควบคุมองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า จะมีตัวตรวจจับสัญญาณอยู่ และส่งสัญญาณไปให้หน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อทำการควบคุมการทำงาน ในส่วนของระบบตรวจสอบและวินิจฉัยข้อขัดข้องจะมีการทำงานร่วมกับหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์โดยนำสัญญาณต่างๆ ที่ได้รับจากตัวตรวจจับสัญญาณ มาทำการเปรียบเทียบกับค่าสภาวะมาตรฐานซึ่งค่ามาตรฐานนี้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของระบบ หากข้อมูลที่ได้รับมาเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ระบบตรวจสอบและวินิจฉัยข้อขัดข้องจะแจ้งเตือนให้ทราบผ่านทางหลอดไฟแสดงข้อขัดข้อง

10.1.2 ส่วนการวิเคราะห์ระบบ

สำหรับในส่วนวิเคราะห์และออกแบบโปรแกรมจำลองระบบตรวจสอบและวินิจฉัยข้อขัดข้องใช้หลักการเชิงวัตถุ วิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาโปรแกรม ซึ่งมีข้อดีคือ มีการแบ่งส่วนต่างๆ เป็นวัตถุซึ่งมีความผูกพันกันน้อย ทำให้การดูแลและแก้ไขส่วนต่างๆ ของระบบสามารถทำได้ง่าย และมีผลกระทบต่อส่วนอื่นๆ ของระบบน้อยที่สุด ทำให้การพัฒนาโปรแกรมสามารถทำการวิเคราะห์และออกแบบได้อย่างเป็นระบบ รวดเร็วและครอบคลุมความต้องการของระบบได้

10.1.3 ส่วนการออกแบบ

ในส่วนของการออกแบบโปรแกรมนั้น จะจำลองข้อมูลที่ได้รับจากตัวตรวจจับสัญญาณ ให้รับข้อมูลจากไฟล์ โดยค่าที่ได้รับจากไฟล์จะบ่งบอกถึงสภาวะการทำงานในแต่ละช่วงเวลาของเครื่องยนต์ จากนั้นจะนำข้อมูลที่จำลองขึ้นมาคำนวณระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และ องศาการจุดระเบิดล่วงหน้า โดยจะมีการจำลอง Rom Code ซึ่งจะเก็บไว้ที่ไฟล์เช่นกัน มาใช้ในการคำนวณหาระยะเวลาการฉีดน้ำมัน และองศาการจุดระเบิด ระหว่างนี้โปรแกรมก็จะจำลองการทำงานของ OBD ขึ้นมาเพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบ หากเกิดข้อผิดพลาดในการทำงานเกิดขึ้น ระบบ OBD ก็จะแจ้ง Diagnostic Code ออกมา ซึ่งค่า

ต่างๆ ที่ได้รับจากตัวตรวจจับสัญญาณที่จำลองมาจะถูกนำไปแสดงผลออกทางหน้าจอเป็น Graphic ผ่านทาง Graphic User Interface

10.1.4 ส่วนการพัฒนาโปรแกรม

การพัฒนาโปรแกรมเลือกใช้ภาษาจาวาในการพัฒนา ซึ่งเป็นภาษาที่สนับสนุนการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ จากการที่ส่วนต่างๆ ออกแบบใช้หลักการเชิงวัตถุมา ทำให้ง่ายต่อการพัฒนา คือ สร้างหนึ่งคลาสต่อหนึ่งวัตถุ ช่วยให้สะดวกและรวดเร็วในการพัฒนา อีกทั้งคลาสต่างๆแยกจากการกันมีความผูกพันธ์กันน้อย ทำให้สามารถปรับปรุงแก้ไข แต่ละคลาสได้ง่าย และไม่มีผลกระทบต่อคลาสอื่นๆ

10.1.5 ส่วนวิจารณ์และบทสรุปโดยรวมของระบบ

ระบบตรวจสอบและแก้ไขข้อขัดข้องนั้นถือเป็นเรื่องใหม่เพิ่งจะเข้ามาประเทศไทยเมื่อเร็วๆ นี้และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง อีกทั้ง โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบตรวจสอบและแก้ไขข้อขัดข้องในปัจจุบันนั้นมีน้อยอีกทั้งเท่าที่ได้ศึกษาสำรวจมายังไม่มีการสร้างขึ้นมาโดยคนไทย

สำหรับโครงงานนี้ถือว่าประสบความสำเร็จตามที่ได้คาดหวังไว้ โปรแกรมสามารถนำข้อมูลมาคำนวณเปรียบเทียบกับค่าสภาวะมาตรฐาน หากข้อมูลที่ได้รับมาเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้โปรแกรมระบบตรวจสอบและวินิจฉัยข้อขัดข้องจะแจ้งเตือน ซึ่งในส่วนของการแสดงผลนี้จะแสดงข้อมูลของสัญญาณต่างๆ และ Errorcode และ graph ของสัญญาณ ณ เวลาต่างๆ ด้วย

10.2 ปัญหาและแนวทางในการพัฒนา

ปัญหาในการทำโครงงานนี้ เนื่องจากเป็นเรื่องใหม่ในประเทศไทยการศึกษา ค้นคว้า หาข้อมูลค่อนข้างลำบากและทำใช้เวลานาน อีกทั้งการติดต่อประสานงานยุ่งยากและไม่ค่อยได้รับความร่วมมือเท่าที่ควร ดังนั้นโครงงานนี้จึงเป็นเพียงจุดเริ่มต้นในการสร้างโปรแกรมจำลองระบบตรวจสอบและแก้ไขข้อขัดข้องเท่านั้น ข้อมูลสัญญาณต่างๆ เป็นข้อมูลที่จำลองขึ้นมา แนวทางในการพัฒนาต่อไปคือ การพัฒนาในส่วนที่ติดต่อกับรถยนต์จริงๆ และนำข้อมูลที่ได้รับจากตัวตรวจจับสัญญาณจริงๆ มาเก็บเป็นไฟล์ input เพื่อนำมาเข้าโปรแกรมต่อไป

ภาคผนวก ก

ค่ากำหนดระบบ EFI และ ESA สำหรับเครื่องยนต์ 4A-FE

ขั้วกล่อง ECU

สัญลักษณ์	ขั้วกล่อง	สัญลักษณ์	ขั้วกล่อง
E01	กราวด์กล่อง ECU	OX/VAF	ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจน หรือตัวความต้านทานปรับค่าได้
E02	กราวด์ของกล่อง ECU	TE2	ขั้วตรวจสอบ
#10	หัวฉีด	KNK	ตัวตรวจจับการน็อกของเครื่องยนต์
#20	หัวฉีด	THW	ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ
HT	ตัวอุ่นตัวตรวจจับ O_2	IDL	สัญญาณตำแหน่งลิ้นเร่ง (เดินเบา)
RSO	ลิ้นควบคุมรอบเดินเบา	THA	ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ
RSC	ลิ้นควบคุมรอบเดินเบา	VTA	สัญญาณตำแหน่งลิ้นเร่ง
SEL	กราวด์	PIM	สัญญาณแรงดันในท่อร่วมไอดี
ISC	A/C IDLE – UP VSV	VC	แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 5 V
IGT	สัญญาณการจุดระเบิด	E2	กราวด์ตัวจับสัญญาณ
2	สวิตช์ตำแหน่งเกียร์ 2	STA	สัญญาณการสตาร์ต
L	สวิตช์ตำแหน่งเกียร์ L	NSW	สวิตช์สตาร์ตเกียร์ว่าง
G	ตัวจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง (จานจ่าย)	AC1	แอมพลิฟลายเออร์เครื่องปรับอากาศ
G1	ตัวจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง (จานจ่าย)	ACT	แอมพลิฟลายเออร์เครื่องปรับอากาศ
NE+	ตัวจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง (จานจ่าย)	SPD	ตัวตรวจจับความเร็วรถยนต์
NE-	ตัวจับมุมเพลาข้อเหวี่ยง (จานจ่าย)	OD1	สวิตช์โอเวอร์ไดร์ฟ
IGF	สัญญาณยืนยันการจุดระเบิด	OD2	สวิตช์โอเวอร์ไดร์ฟหลัก
SP2	ตัวตรวจจับความเร็วรถ NO.2	KSW	Kick Down Switch
S1	โซลีนอยด์วาล์ว ECT	W	หลอไฟเตือนตรวจเช็กเครื่องยนต์
S2	โซลีนอยด์วาล์ว ECT	B/K	สวิตช์เบรก
SL	โซลีนอยด์วาล์ว ECT	R/P	ขั้วต่อหรือสวิตช์ควบคุมเชื้อเพลิง
E1	กราวด์ของกล่อง ECU	ED	ED มอร์เตอร์
VF	แรงดันไฟฟ้าป้อนกลับ	FC	รีเลย์ควบคุมปั๊มน้ำมัน
E21	กราวด์ตัวตรวจจับสัญญาณ	ELS	สัญญาณภาระไฟฟ้า
TT	ขั้วตรวจสอบ	+B	กระแสไฟเข้า ECU

สัญลักษณ์	ขั้วกล่อง	สัญลักษณ์	ขั้วกล่อง
TE1	ขั้วตรวจสอบ	BATT	กระแสไฟเข้าระบบวินิจฉัยข้อขัดข้อง
O/D	โซลีนอยด์วาล์วโอเวอร์ไดรฟ์	+B1	กระแสไฟเข้า ECU

ตัวตรวจจับสัญญาณ

หัวข้อ	สภาวะ	ค่ากำหนด
ตัวควบคุมความดันน้ำมัน	ความดันน้ำมัน เมื่อไม่มีสูญญากาศ	2.7 – 3.1 kgf/cm^2 (38-44 psi)
ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง	ค่าความต้านทานขณะเย็น	0.2 – 3.0 ohm
หัวฉีด	 - ปริมาณการฉีดน้ำมัน - ค่าความแตกต่างระหว่างน้ำมันแต่ละสูบ - การรั่วซึม	ประมาณ 13.8 ohm 40 – 50 cc/15 วินาที 5 cc หรือ น้อยกว่า 1 หยด / นาที หรือ น้อยกว่า
ตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง	ระยะห่างระหว่างสกรูยันและขาลิ้นเร่ง 0 mm (0in) 0.40 mm (in) 0.90 mm (in) ลิ้นเร่งเปิดสุด -	 0.2 – 0.6 Kohm 2.3 Kohm หรือน้อยกว่า INFINITY 3.3 – 10.0 Kohm 4.0 – 8.5 Kohm
ตัวตรวจจับอุณหภูมิน้ำ และ ตัวตรวจจับอุณหภูมิอากาศ	ค่าความต้านทาน - 20°C 0 °C 20 °C 40 °C 60 °C 80 °C	 10 – 20 Kohm 4 – 7 Kohm 2 – 3 Kohm 0.9 – 1.3 Kohm 0.4 – 0.7 Kohm 0.2 – 0.4 Kohm
ลิ้นควบคุมรอบเดินเบา	ค่าความต้านทาน +B - RSC +B - RSO	 19.3 – 22.3 ohm 19.3 – 22.3 ohm
คอยล์จุดระเบิด	ค่าความต้านทาน	

หัวข้อ	สภาวะ	ค่ากำหนด
- ขดลวดปฐมภูมิ	เย็น ร้อน	1.11 – 1.75 ohm 1.41 – 2.05 ohm
- ขดลวดทุติยภูมิ	ค่าความต้านทาน เย็น ร้อน	 9.0 – 15.7 ohm 11.4 – 18.4 ohm
ขดลวดกำเนิดสัญญาณ NE และ NE-	ค่าความต้านทาน เย็น ร้อน	 370 – 550 ohm 475 – 650 ohm
ขดลวดกำเนิดสัญญาณ G1 และ G	ค่าความต้านทาน เย็น ร้อน	 185 – 275 ohm 240 – 325 ohm
ระยะห่างระหว่างโรเตอร์และแกนเหล็ก		0.2 – 0.4 mm (0.008 – 0.016 mm)
องศาการจุดระเบิดล่วงหน้า	ที่ความเร็วรอบเดินเบา - ลัดวงจรระหว่างขั้ว TE1 และ E1 - ถอดสายลัดวงจรระหว่างขั้ว TE1 และ E1	 10°C ก่อนศูนย์ตายบน 5 – 15 °C ก่อนศูนย์ตายบน
ความเร็วรอบเดินเบา	พัดลมระบายความร้อนหยุดทำงาน	700 ±50 รอบต่อนาที
ปริมาณแก๊ส CO	ที่ความเร็วรอบเดินเบา	0 – 0.5 %
ตัวจับปริมาณออกซิเจน	ค่าความต้านทานตัวอุ่น	5.1±6.3 ohm ที่ 20°C

ตัวตรวจจับสุญญากาศ

ระดับสุญญากาศ (มม. ปรอท)	100	200	300	400	500
ค่าแรงดันไฟฟ้า (V)	0.3 – 0.5	0.7 – 0.9	1.1 – 1.3	1.5 – 1.7	1.9 – 2.1

กล่อง ECU

อุปกรณ์	ระหว่างขั้ว	สภาวะ	แรงดันไฟฟ้า
กล่อง ECU	+B – E1	สวิตช์จุดระเบิด ON	9 – 14 V
	+B1– E1	สวิตช์จุดระเบิด ON	9 – 14 V
	BATT-E1	สวิตช์จุดระเบิด ON	9 – 14 V
	IDL – E2	สวิตช์จุดระเบิด ON ลิ้นเร่งเปิด	9 – 14 V
	VTA – E2	สวิตช์จุดระเบิด ON ลิ้นเร่งปิดสุด	0.3 – 0.8 V
	VTA –E2	สวิตช์จุดระเบิด ON ลิ้นเร่งเปิดสุด	3.2 – 4.9 V
	#10 – E1/E2	สวิตช์จุดระเบิด ON	9 – 14 V
	#20 – E1/E2	สวิตช์จุดระเบิด ON	9 – 14 V
	W – E1	เครื่องยนต์ทำงาน	9 – 14 V
	PIM – E2	สวิตช์จุดระเบิด ON	3.3 – 3.9 V
	VC – E2	สวิตช์จุดระเบิด ON	4.5 – 5.5 V
	THA – E2	สวิตช์จุดระเบิด ON อุณหภูมิ 20°C	0.5 – 3.4 V
	THW – E2	สวิตช์จุดระเบิด ON อุณหภูมิ 80°C	0.2 – 1.0 V
	STA – E1	สตาร์ตเครื่องยนต์	6 V หรือ มากกว่า
	IGT – E1	เครื่องยนต์หมุน	5 V หรือ มากกว่า
	RSC – E1	สวิตช์จุดระเบิด ON	9 – 14 V
	RSO – E1	สวิตช์จุดระเบิด ON	9 – 14 V
	W – E1	เครื่องยนต์ทำงาน และหลอดไฟเตือนดับ	9 – 14 V
	AC1 – E1	สวิตช์จุดระเบิด ON และ เครื่องปรับอากาศทำงาน	0 – 3 V
	ACT – E1	สวิตช์จุดระเบิด ON และ เครื่องปรับอากาศทำงาน	4.5 – 5.5 V
	TE1 – E1	สวิตช์จุดระเบิด ON และ ขั้วตรวจสอบไม่ถูกลัดวงจร	9 – 14 V
	TE1 – E1	สวิตช์จุดระเบิด ON และ ขั้วตรวจสอบถูกลัดวงจร	3V หรือ น้อยกว่า

ภาคผนวก ข

OBD II General Diagnostic Code

Diagnostic Code	Definition
P0010	"A" Camshaft Position Actuator Circuit (Bank 1)
P0011	"A" Camshaft Position - Timing Over-Advanced or System Performance (Bank 1)
P0012	"A" Camshaft Position - Timing Over-Retarded (Bank 1)
P0013	"B" Camshaft Position - Actuator Circuit (Bank 1)
P0014	"B" Camshaft Position - Timing Over-Advanced or System Performance (Bank 1)
P0015	"B" Camshaft Position - Timing Over-Retarded (Bank 1)
P0020	"A" Camshaft Position Actuator Circuit (Bank 2)
P0021	"A" Camshaft Position - Timing Over-Advanced or System Performance (Bank 2)
P0022	"A" Camshaft Position - Timing Over-Retarded (Bank 2)
P0023	"B" Camshaft Position - Actuator Circuit (Bank 2)
P0024	"B" Camshaft Position - Timing Over-Advanced or System Performance (Bank 2)
P0025	"B" Camshaft Position - Timing Over-Retarded (Bank 2)
P0030	HO2S Heater Control Circuit (Bank 1 Sensor 1)
P0031	HO2S Heater Control Circuit Low (Bank 1 Sensor 1)
P0032	HO2S Heater Control Circuit High (Bank 1 Sensor 1)
P0033	Turbo Charger Bypass Valve Control Circuit
P0034	Turbo Charger Bypass Valve Control Circuit Low
P0035	Turbo Charger Bypass Valve Control Circuit High
P0036	HO2S Heater Control Circuit (Bank 1 Sensor 2)
P0037	HO2S Heater Control Circuit Low (Bank 1 Sensor 2)
P0038	HO2S Heater Control Circuit High (Bank 1 Sensor 2)
P0042	HO2S Heater Control Circuit (Bank 1 Sensor 3)
P0043	HO2S Heater Control Circuit Low (Bank 1 Sensor 3)
P0044	HO2S Heater Control Circuit High (Bank 1 Sensor 3)
P0050	HO2S Heater Control Circuit (Bank 2 Sensor 1)
P0051	HO2S Heater Control Circuit Low (Bank 2 Sensor 1)
P0052	HO2S Heater Control Circuit High (Bank 2 Sensor 1)
P0056	HO2S Heater Control Circuit (Bank 2 Sensor 2)
P0057	HO2S Heater Control Circuit Low (Bank 2 Sensor 2)
P0058	HO2S Heater Control Circuit High (Bank 2 Sensor 2)
P0062	HO2S Heater Control Circuit (Bank 2 Sensor 3)
P0063	HO2S Heater Control Circuit Low (Bank 2 Sensor 3)
P0064	HO2S Heater Control Circuit High (Bank 2 Sensor 3)
P0065	Air Assisted Injector Control Range/Performance
P0066	Air Assisted Injector Control Circuit or Circuit Low
P0067	Air Assisted Injector Control Circuit High
P0070	Ambient Air Temperature Sensor Circuit

Diagnostic Code	Definition
P0071	Ambient Air Temperature Sensor Range/Performance
P0072	Ambient Air Temperature Sensor Circuit Low Input
P0073	Ambient Air Temperature Sensor Circuit High Input
P0074	Ambient Air Temperature Sensor Circuit Intermittent
P0075	Intake Valve Control Solenoid Circuit (Bank 1)
P0076	Intake Valve Control Solenoid Circuit Low (Bank 1)
P0077	Intake Valve Control Solenoid Circuit High (Bank 1)
P0078	Exhaust Valve Control Solenoid Circuit (Bank 1)
P0079	Exhaust Valve Control Solenoid Circuit Low (Bank 1)
P0080	Exhaust Valve Control Solenoid Circuit High (Bank 1)
P0081	Intake Valve Control Solenoid Circuit (Bank 2)
P0082	Intake Valve Control Solenoid Circuit Low (Bank 2)
P0083	Intake Valve Control Solenoid Circuit High (Bank 2)
P0084	Exhaust Valve Control Solenoid Circuit (Bank 2)
P0085	Exhaust Valve Control Solenoid Circuit Low (Bank 2)
P0086	Exhaust Valve Control Solenoid Circuit High (Bank 2)
P0100	Mass or Volume Air Flow Circuit Malfunction
P0101	Mass or Volume Circuit Range Performance Problem
P0102	Mass or Volume Circuit Low Input
P0103	Mass or Volume Circuit High Input
P0104	Mass or Volume Circuit Intermittent
P0105	Manifold Absolute Pressure/Barometric Pressure Circuit Malfunction
P0106	Manifold Absolute Pressure/Barometric Pressure Circuit Range/Performance
P0107	Manifold Absolute Pressure/Barometric Pressure Circuit Low Input
P0108	Manifold Absolute Pressure/Barometric Pressure Circuit High Input
P0109	Manifold Absolute Pressure/Barometric Pressure Circuit Intermittent
P0110	Intake Air Temperature Circuit Malfunction
P0111	Intake Air Temperature Circuit Range/Performance Problem
P0112	Intake Air Temperature Circuit Low Input
P0113	Intake Air Temperature Circuit High Input
P0114	Intake Air Temperature Circuit Intermittent
P0115	Engine Coolant Temperature Circuit Malfunction
P0116	Engine Coolant Temperature Circuit Range/Performance Problem
P0117	Engine Coolant Temperature Circuit Low Input
P0118	Engine Coolant Temperature Circuit High Input
P0119	Engine Coolant Temperature Circuit Intermittent
P0120	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch A Circuit Malfunction
P0121	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch A Circuit Range/Performance Problem
P0122	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch A Circuit Low Input
P0123	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch A Circuit High Input
P0124	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch A Circuit Intermittent
P0125	Insufficient Coolant Temperature for Closed Loop Fuel Control
P0126	Insufficient Coolant Temperature for Stable Operation

Diagnostic Code	Definition
P0127	Intake Air Temperature Too High
P0128	Coolant Thermostat (Coolant Temperature Below Thermostat Regulating Tempera
P0130	O2 Sensor Circuit Malfunction (Bank 1 Sensor 1)
P0131	O2 Sensor Circuit Low Voltage (Bank 1 Sensor 1)
P0132	O2 Sensor Circuit High Voltage (Bank 1 Sensor 1)
P0133	O2 Sensor Circuit Slow Response (Bank 1 Sensor 1)
P0134	O2 Sensor Circuit No Activity Detected (Bank 1 Sensor 1)
P0135	O2 Sensor Heater Circuit Malfunction (Bank 1 Sensor 1)
P0136	O2 Sensor Circuit Malfunction (Bank 1 Sensor 2)
P0137	O2 Sensor Circuit Low Voltage (Bank 1 Sensor 2)
P0138	O2 Sensor Circuit High Voltage (Bank 1 Sensor 2)
P0139	O2 Sensor Circuit Slow Response (Bank 1 Sensor 2)
P0140	O2 Sensor Circuit No Activity Detected (Bank 1 Sensor 2)
P0141	O2 Sensor Heater Circuit Malfunction (Bank 1 Sensor 2)
P0142	O2 Sensor Circuit Malfunction (Bank 1 Sensor 3)
P0143	O2 Sensor Circuit Low Voltage (Bank 1 Sensor 3)
P0144	O2 Sensor Circuit High Voltage (Bank 1 Sensor 3)
P0145	O2 Sensor Circuit Slow Response (Bank 1 Sensor 3)
P0146	O2 Sensor Circuit No Activity Detected (Bank 1 Sensor 3)
P0147	O2 Sensor Heater Circuit Malfunction (Bank 1 Sensor 3)
P0148	Fuel Delivery Error
P0149	Fuel Timing Error
P0150	O2 Sensor Circuit Malfunction (Bank 2 Sensor 1)
P0151	O2 Sensor Circuit Low Voltage (Bank 2 Sensor 1)
P0152	O2 Sensor Circuit High Voltage (Bank 2 Sensor 1)
P0153	O2 Sensor Circuit Slow Response (Bank 2 Sensor 1)
P0154	O2 Sensor Circuit No Activity Detected (Bank 2 Sensor 1)
P0155	O2 Sensor Heater Circuit Malfunction (Bank 2 Sensor 1)
P0156	O2 Sensor Circuit Malfunction (Bank 2 Sensor 2)
P0157	O2 Sensor Circuit Low Voltage (Bank 2 Sensor 2)
P0158	O2 Sensor Circuit High Voltage (Bank 2 Sensor 2)
P0159	O2 Sensor Circuit Slow Response (Bank 2 Sensor 2)
P0160	O2 Sensor Circuit No Activity Detected (Bank 2 Sensor 2)
P0161	O2 Sensor Heater Circuit Malfunction (Bank 2 Sensor 2)
P0162	O2 Sensor Circuit Malfunction (Bank 2 Sensor 3)
P0163	O2 Sensor Circuit Low Voltage (Bank 2 Sensor 3)
P0164	O2 Sensor Circuit High Voltage (Bank 2 Sensor 3)
P0165	O2 Sensor Circuit Slow Response (Bank 2 Sensor 3)
P0166	O2 Sensor Circuit No Activity Detected (Bank 2 Sensor 3)
P0167	O2 Sensor Heater Circuit Malfunction (Bank 2 Sensor 3)
P0168	Fuel Temperature Too High
P0169	Incorrect Fuel Composition
P0170	Fuel Trim Malfunction (Bank 1)

Diagnostic Code	Definition
P0171	System too Lean (Bank 1)
P0172	System too Rich (Bank 1)
P0173	Fuel Trim Malfunction (Bank 2)
P0174	System too Lean (Bank 2)
P0175	System too Rich (Bank 2)
P0176	Fuel Composition Sensor Circuit Malfunction
P0177	Fuel Composition Sensor Circuit Range/Performance
P0178	Fuel Composition Sensor Circuit Low Input
P0179	Fuel Composition Sensor Circuit High Input
P0180	Fuel Temperature Sensor A Circuit Malfunction
P0181	Fuel Temperature Sensor A Circuit Range/Performance
P0182	Fuel Temperature Sensor A Circuit Low Input
P0183	Fuel Temperature Sensor A Circuit High Input
P0184	Fuel Temperature Sensor A Circuit Intermittent
P0185	Fuel Temperature Sensor B Circuit Malfunction
P0186	Fuel Temperature Sensor B Circuit Range/Performance
P0187	Fuel Temperature Sensor B Circuit Low Input
P0188	Fuel Temperature Sensor B Circuit High Input
P0189	Fuel Temperature Sensor B Circuit Intermittent
P0190	Fuel Rail Pressure Sensor Circuit Malfunction
P0191	Fuel Rail Pressure Sensor Circuit Range/Performance
P0192	Fuel Rail Pressure Sensor Circuit Low Input
P0193	Fuel Rail Pressure Sensor Circuit High Input
P0194	Fuel Rail Pressure Sensor Circuit Intermittent
P0195	Engine Oil Temperature Sensor Malfunction
P0196	Engine Oil Temperature Sensor Range/Performance
P0197	Engine Oil Temperature Sensor Low
P0198	Engine Oil Temperature Sensor High
P0199	Engine Oil Temperature Sensor Intermittent
P0200	Injector Circuit Malfunction
P0201	Injector Circuit Malfunction - Cylinder 1
P0202	Injector Circuit Malfunction - Cylinder 2
P0203	Injector Circuit Malfunction - Cylinder 3
P0204	Injector Circuit Malfunction - Cylinder 4
P0205	Injector Circuit Malfunction - Cylinder 5
P0206	Injector Circuit Malfunction - Cylinder 6
P0207	Injector Circuit Malfunction - Cylinder 7
P0208	Injector Circuit Malfunction - Cylinder 8
P0209	Injector Circuit Malfunction - Cylinder 9
P0210	Injector Circuit Malfunction - Cylinder 10
P0211	Injector Circuit Malfunction - Cylinder 11
P0212	Injector Circuit Malfunction - Cylinder 12
P0213	Cold Start Injector 1 Malfunction
P0214	Cold Start Injector 2 Malfunction

Diagnostic Code	Definition
P0215	Engine Shutoff Solenoid Malfunction
P0216	Injection Timing Control Circuit Malfunction
P0217	Engine Overtemp Condition
P0218	Transmission Over Temperature Condition
P0219	Engine Overspeed Condition
P0220	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch B Circuit Malfunction
P0221	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch B Circuit Range/Performance Problem
P0222	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch B Circuit Low Input
P0223	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch B Circuit High Input
P0224	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch B Circuit Intermittent
P0225	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch C Circuit Malfunction
P0226	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch C Circuit Range/Performance Problem
P0227	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch C Circuit Low Input
P0228	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch C Circuit High Input
P0229	Throttle/Pedal Position Sensor/Switch C Circuit Intermittent
P0230	Fuel Pump Primary Circuit Malfunction
P0231	Fuel Pump Secondary Circuit Low
P0232	Fuel Pump Secondary Circuit High
P0233	Fuel Pump Secondary Circuit Intermittent
P0234	Engine Overboost Condition
P0235	Turbocharger Boost Sensor A Circuit Malfunction
P0236	Turbocharger Boost Sensor A Circuit Range/Performance
P0237	Turbocharger Boost Sensor A Circuit Low
P0238	Turbocharger Boost Sensor A Circuit High
P0239	Turbocharger Boost Sensor B Circuit Malfunction
P0240	Turbocharger Boost Sensor B Circuit Range/Performance
P0241	Turbocharger Boost Sensor B Circuit Low
P0242	Turbocharger Boost Sensor B Circuit High
P0243	Turbocharger Wastegate Solenoid A Malfunction
P0244	Turbocharger Wastegate Solenoid A Range/Performance
P0245	Turbocharger Wastegate Solenoid A Low
P0246	Turbocharger Wastegate Solenoid A High
P0247	Turbocharger Wastegate Solenoid B Malfunction
P0248	Turbocharger Wastegate Solenoid B Range/Performance
P0249	Turbocharger Wastegate Solenoid B Low
P0250	Turbocharger Wastegate Solenoid B High
P0251	Injection Pump A Rotor/Cam Malfunction
P0252	Injection Pump A Rotor/Cam Range/Performance
P0253	Injection Pump A Rotor/Cam Low
P0254	Injection Pump A Rotor/Cam High
P0255	Injection Pump A Rotor/Cam Intermitted
P0256	Injection Pump B Rotor/Cam Malfunction

Diagnostic Code	Definition
P0257	Injection Pump B Rotor/Cam Range/Performance
P0258	Injection Pump B Rotor/Cam Low
P0259	Injection Pump B Rotor/Cam High
P0260	Injection Pump B Rotor/Cam Intermitted
P0261	Cylinder 1 Injector Circuit Low
P0262	Cylinder 1 Injector Circuit High
P0263	Cylinder 1 Contribution/Balance Fault
P0264	Cylinder 2 Injector Circuit Low
P0265	Cylinder 2 Injector Circuit High
P0266	Cylinder 2 Contribution/Balance Fault
P0267	Cylinder 3 Injector Circuit Low
P0268	Cylinder 3 Injector Circuit High
P0269	Cylinder 3 Contribution/Balance Fault
P0270	Cylinder 4 Injector Circuit Low
P0271	Cylinder 4 Injector Circuit High
P0272	Cylinder 4 Contribution/Balance Fault
P0273	Cylinder 5 Injector Circuit Low
P0274	Cylinder 5 Injector Circuit High
P0275	Cylinder 5 Contribution/Balance Fault
P0276	Cylinder 6 Injector Circuit Low
P0277	Cylinder 6 Injector Circuit High
P0278	Cylinder 6 Contribution/Balance Fault
P0279	Cylinder 7 Injector Circuit Low
P0280	Cylinder 7 Injector Circuit High
P0281	Cylinder 7 Contribution/Balance Fault
P0282	Cylinder 8 Injector Circuit Low
P0283	Cylinder 8 Injector Circuit High
P0284	Cylinder 8 Contribution/Balance Fault
P0285	Cylinder 9 Injector Circuit Low
P0286	Cylinder 9 Injector Circuit High
P0287	Cylinder 9 Contribution/Balance Fault
P0288	Cylinder 10 Injector Circuit Low
P0289	Cylinder 10 Injector Circuit High
P0290	Cylinder 10 Contribution/Balance Fault
P0291	Cylinder 11 Injector Circuit Low
P0292	Cylinder 11 Injector Circuit High
P0293	Cylinder 11 Contribution/Balance Fault
P0294	Cylinder 12 Injector Circuit Low
P0295	Cylinder 12 Injector Circuit High
P0296	Cylinder 12 Contribution/Balance Fault
P0298	Engine Oil Over Temperature
P0300	Random/Multiple Cylinder Misfire Detected
P0301	Cylinder 1 Misfire Detected
P0302	Cylinder 2 Misfire Detected

Diagnostic Code	Definition
P0303	Cylinder 3 Misfire Detected
P0304	Cylinder 4 Misfire Detected
P0305	Cylinder 5 Misfire Detected
P0306	Cylinder 6 Misfire Detected
P0307	Cylinder 7 Misfire Detected
P0308	Cylinder 8 Misfire Detected
P0309	Cylinder 9 Misfire Detected
P0310	Cylinder 10 Misfire Detected
P0311	Cylinder 11 Misfire Detected
P0312	Cylinder 12 Misfire Detected
P0313	Misfire Detected with Low Fuel
P0314	Single Cylinder Misfire (Cylinder not specified)
P0320	Ignition/Distributor Engine Speed Input Circuit Malfunction
P0321	Ignition/Distributor Engine Speed Input Circuit Range/Performance
P0322	Ignition/Distributor Engine Speed Input Circuit No Signal
P0323	Ignition/Distributor Engine Speed Input Circuit Intermittent
P0324	Knock Control System Error
P0325	Knock Sensor 1 Circuit Malfunction (Bank 1 or Single Sensor)
P0326	Knock Sensor 1 Circuit Range/Performance (Bank 1 or Single Sensor)
P0327	Knock Sensor 1 Circuit Low Input (Bank 1 or Single Sensor)
P0328	Knock Sensor 1 Circuit High Input (Bank 1 or Single Sensor)
P0329	Knock Sensor 1 Circuit Intermittent (Bank 1 or Single Sensor)
P0330	Knock Sensor 2 Circuit Malfunction (Bank 2)
P0331	Knock Sensor 2 Circuit Range/Performance (Bank 2)
P0332	Knock Sensor 2 Circuit Low Input (Bank 2)
P0333	Knock Sensor 2 Circuit High Input (Bank 2)
P0334	Knock Sensor 2 Circuit Intermittent (Bank 2)
P0335	Crankshaft Position Sensor A Circuit Malfunction
P0336	Crankshaft Position Sensor A Circuit Range/Performance
P0337	Crankshaft Position Sensor A Circuit Low Input
P0338	Crankshaft Position Sensor A Circuit High Input
P0339	Crankshaft Position Sensor A Circuit Intermittent
P0340	Camshaft Position Sensor Circuit Malfunction
P0341	Camshaft Position Sensor Circuit Range/Performance
P0342	Camshaft Position Sensor Circuit Low Input
P0343	Camshaft Position Sensor Circuit High Input
P0344	Camshaft Position Sensor Circuit Intermittent
P0345	Camshaft Position Sensor "A" Circuit (Bank 2)
P0346	Camshaft Position Sensor "A" Circuit Range/Performance(Bank 2)
P0347	Camshaft Position Sensor "A" Circuit Low Input (Bank 2)
P0348	Camshaft Position Sensor "A" Circuit High Input (Bank 2)
P0349	Camshaft Position Sensor "A" Circuit Intermittent (Bank 2)
P0350	Ignition Coil Primary/Secondary Circuit Malfunction
P0351	Ignition Coil A Primary/Secondary Circuit Malfunction

Diagnostic Code	Definition
P0352	Ignition Coil B Primary/Secondary Circuit Malfunction
P0353	Ignition Coil C Primary/Secondary Circuit Malfunction
P0354	Ignition Coil D Primary/Secondary Circuit Malfunction
P0355	Ignition Coil E Primary/Secondary Circuit Malfunction
P0356	Ignition Coil F Primary/Secondary Circuit Malfunction
P0357	Ignition Coil G Primary/Secondary Circuit Malfunction
P0358	Ignition Coil H Primary/Secondary Circuit Malfunction
P0359	Ignition Coil I Primary/Secondary Circuit Malfunction
P0360	Ignition Coil J Primary/Secondary Circuit Malfunction
P0361	Ignition Coil K Primary/Secondary Circuit Malfunction
P0362	Ignition Coil L Primary/Secondary Circuit Malfunction
P0365	Camshaft Position Sensor "B" Circuit (Bank 1)
P0366	Camshaft Position Sensor "B" Circuit Range/Performance(Bank 1)
P0367	Camshaft Position Sensor "B" Circuit Low Input (Bank 1)
P0368	Camshaft Position Sensor "B" Circuit High Input (Bank 1)
P0369	Camshaft Position Sensor "B" Circuit Intermittent (Bank 1)
P0370	Timing Reference High Resolution Signal A Malfunction
P0371	Timing Reference High Resolution Signal A Too Many Pulses
P0372	Timing Reference High Resolution Signal A Too Few Pulses
P0373	Timing Reference High Resolution Signal A Intermittent/Erratic Pulses
P0374	Timing Reference High Resolution Signal A No Pulses
P0375	Timing Reference High Resolution Signal B Malfunction
P0376	Timing Reference High Resolution Signal B Too Many Pulses
P0377	Timing Reference High Resolution Signal B Too Few Pulses
P0378	Timing Reference High Resolution Signal B Intermittent/Erratic Pulses
P0379	Timing Reference High Resolution Signal B No Pulses
P0380	Glow Plug/Heater Circuit Malfunction
P0381	Glow Plug/Heater Indicator Circuit Malfunction
P0382	Glow Plug/Heater Circuit "B" Malfunction
P0385	Crankshaft Position Sensor B Circuit Malfunction
P0386	Crankshaft Position Sensor B Circuit Range/Performance
P0387	Crankshaft Position Sensor B Circuit Low Input
P0388	Crankshaft Position Sensor B Circuit High Input
P0389	Crankshaft Position Sensor B Circuit Intermittent
P0390	Camshaft Position Sensor "B" Circuit (Bank 2)
P0391	Camshaft Position Sensor "B" Circuit Range/Performance(Bank 2)
P0392	Camshaft Position Sensor "B" Circuit Low Input (Bank 2)
P0393	Camshaft Position Sensor "B" Circuit High Input (Bank 2)
P0394	Camshaft Position Sensor "B" Circuit Intermittent (Bank 2)
P0400	Exhaust Gas Recirculation Flow Malfunction
P0401	Exhaust Gas Recirculation Flow Insufficient Detected
P0402	Exhaust Gas Recirculation Flow Excessive Detected
P0403	Exhaust Gas Recirculation Circuit Malfunction
P0404	Exhaust Gas Recirculation Circuit Range/Performance

Diagnostic Code	Definition
P0405	Exhaust Gas Recirculation Sensor A Circuit Low
P0406	Exhaust Gas Recirculation Sensor A Circuit High
P0407	Exhaust Gas Recirculation Sensor B Circuit Low
P0408	Exhaust Gas Recirculation Sensor B Circuit High
P0409	Exhaust Gas Recirculation Sensor "A" Circuit
P0410	Secondary Air Injection System Malfunction
P0411	Secondary Air Injection System Incorrect Flow Detected
P0412	Secondary Air Injection System Switching Valve A Circuit Malfunction
P0413	Secondary Air Injection System Switching Valve A Circuit Open
P0414	Secondary Air Injection System Switching Valve A Circuit Shorted
P0415	Secondary Air Injection System Switching Valve B Circuit Malfunction
P0416	Secondary Air Injection System Switching Valve B Circuit Open
P0417	Secondary Air Injection System Switching Valve B Circuit Shorted
P0418	Secondary Air Injection System Relay "A" Circuit Malfunction
P0419	Secondary Air Injection System Relay "B" Circuit Malfunction
P0420	Catalyst System Efficiency Below Threshold (Bank 1)
P0421	Warm Up Catalyst Efficiency Below Threshold (Bank 1)
P0422	Main Catalyst Efficiency Below Threshold (Bank 1)
P0423	Heated Catalyst Efficiency Below Threshold (Bank 1)
P0424	Heated Catalyst Temperature Below Threshold (Bank 1)
P0425	Catalyst Temperature Sensor (Bank 1)
P0426	Catalyst Temperature Sensor Range/Performance (Bank 1)
P0427	Catalyst Temperature Sensor Low Input (Bank 1)
P0428	Catalyst Temperature Sensor High Input (Bank 1)
P0429	Catalyst Heater Control Circuit (Bank 1)
P0430	Catalyst System Efficiency Below Threshold (Bank 2)
P0431	Warm Up Catalyst Efficiency Below Threshold (Bank 2)
P0432	Main Catalyst Efficiency Below Threshold (Bank 2)
P0433	Heated Catalyst Efficiency Below Threshold (Bank 2)
P0434	Heated Catalyst Temperature Below Threshold (Bank 2)
P0435	Catalyst Temperature Sensor (Bank 2)
P0436	Catalyst Temperature Sensor Range/Performance (Bank 2)
P0437	Catalyst Temperature Sensor Low Input (Bank 2)
P0438	Catalyst Temperature Sensor High Input (Bank 2)
P0439	Catalyst Heater Control Circuit (Bank 2)
P0440	Evaporative Emission Control System Malfunction
P0441	Evaporative Emission Control System Incorrect Purge Flow
P0442	Evaporative Emission Control System Leak Detected(small leak)
P0443	Evaporative Emission Control System Purge Control Valve Circuit Malfunction
P0444	Evaporative Emission Control System Purge Control Valve Circuit Open
P0445	Evaporative Emission Control System Purge Control Valve Circuit Shorted
P0446	Evaporative Emission Control System Vent Control Circuit Malfunction
P0447	Evaporative Emission Control System Vent Control Circuit Open

Diagnostic Code	Definition
P0448	Evaporative Emission Control System Vent Control Circuit Shorted
P0449	Evaporative Emission Control System Vent Valve/Solenoid Circuit Malfunction
P0450	Evaporative Emission Control System Pressure Sensor Malfunction
P0451	Evaporative Emission Control System Pressure Sensor Range/Performance
P0452	Evaporative Emission Control System Pressure Sensor
P0453	Evaporative Emission Control System Pressure Sensor High Input
P0454	Evaporative Emission Control System Pressure Sensor Intermittent
P0455	Evaporative Emission Control System Leak Detected(gross leak)
P0456	Evaporative Emission Control System Leak Detected (very small leak)
P0457	Evaporative Emission Control System Leak Detected (fuel cap loose/off)
P0460	Fuel Level Sensor Circuit Malfunction
P0461	Fuel Level Sensor Circuit Range/Performance
P0462	Fuel Level Sensor Circuit Low Input
P0463	Fuel Level Sensor Circuit High Input
P0464	Fuel Level Sensor Circuit Intermittent
P0465	Purge Flow Sensor Circuit Malfunction
P0466	Purge Flow Sensor Circuit Range/Performance
P0467	Purge Flow Sensor Circuit Low Input
P0468	Purge Flow Sensor Circuit High Input
P0469	Purge Flow Sensor Circuit Intermittent
P0470	Exhaust Pressure Sensor Malfunction
P0471	Exhaust Pressure Sensor Range/Performance
P0472	Exhaust Pressure Sensor Low
P0473	Exhaust Pressure Sensor High
P0474	Exhaust Pressure Sensor Intermittent
P0475	Exhaust Pressure Control Valve Malfunction
P0476	Exhaust Pressure Control Valve Range/Performance
P0477	Exhaust Pressure Control Valve Low
P0478	Exhaust Pressure Control Valve High
P0479	Exhaust Pressure Control Valve Intermittent
P0480	Cooling Fan 1 Control Circuit Malfunction
P0481	Cooling Fan 2 Control Circuit Malfunction
P0482	Cooling Fan 3 Control Circuit Malfunction
P0483	Cooling Fan Rationality Check Malfunction
P0484	Cooling Fan Circuit Over Current
P0485	Cooling Fan Power/Ground Circuit Malfunction
P0486	Exhaust Gas Recirculation Sensor "B" Circuit
P0487	Exhaust Gas Recirculation Throttle Position Control Circuit
P0488	Exhaust Gas Recirculation Throttle Position Control Range/Performance
P0491	Secondary Air Injection System (Bank 1)
P0492	Secondary Air Injection System (Bank 2)
P0500	Vehicle Speed Sensor Malfunction
P0501	Vehicle Speed Sensor Range/Performance

Diagnostic Code	Definition
P0502	Vehicle Speed Sensor Circuit Low Input
P0503	Vehicle Speed Sensor Intermittent/Erratic/High
P0505	Idle Control System Malfunction
P0506	Idle Control System RPM Lower Than Expected
P0507	Idle Control System RPM Higher Than Expected
P0508	Idle Control System Circuit Low
P0509	Idle Control System Circuit High
P0510	Closed Throttle Position Switch Malfunction
P0512	Starter Request Circuit
P0513	Incorrect Immobilizer Key ("Immobilizer" pending SAE J1930 approval)
P0515	Battery Temperature Sensor Circuit
P0516	Battery Temperature Sensor Circuit Low
P0517	Battery Temperature Sensor Circuit High
P0520	Engine Oil Pressure/Switch Circuit Malfunction
P0521	Engine Oil Pressure/Switch Range/Performance
P0522	Engine Oil Pressure/Switch Low Voltage
P0523	Engine Oil Pressure/Switch High Voltage
P0524	Engine Oil Pressure Too Low
P0530	A/C Refrigerant Pressure Sensor Circuit Malfunction
P0531	A/C Refrigerant Pressure Sensor Circuit Range/Performance
P0532	A/C Refrigerant Pressure Sensor Circuit Low Input
P0533	A/C Refrigerant Pressure Sensor Circuit High Input
P0534	Air Conditioner Refrigerant Charge Loss
P0540	Intake Air Heater Circuit
P0541	Intake Air Heater Circuit Low
P0542	Intake Air Heater Circuit High
P0544	Exhaust Gas Temperature Sensor Circuit (Bank 1)
P0545	Exhaust Gas Temperature Sensor Circuit Low (Bank 1)
P0546	Exhaust Gas Temperature Sensor Circuit High (Bank 1)
P0547	Exhaust Gas Temperature Sensor Circuit (Bank 2)
P0548	Exhaust Gas Temperature Sensor Circuit Low (Bank 2)
P0549	Exhaust Gas Temperature Sensor Circuit High (Bank 2)
P0550	Power Steering Pressure Sensor Circuit Malfunction
P0551	Power Steering Pressure Sensor Circuit Range/Performance
P0552	Power Steering Pressure Sensor Circuit Low Input
P0553	Power Steering Pressure Sensor Circuit High Input
P0554	Power Steering Pressure Sensor Circuit Intermittent
P0560	System Voltage Malfunction
P0561	System Voltage Unstable
P0562	System Voltage Low
P0563	System Voltage High
P0564	Cruise Control Multi-Function Input Signal
P0565	Cruise Control On Signal Malfunction
P0566	Cruise Control Off Signal Malfunction

Diagnostic Code	Definition
P0567	Cruise Control Resume Signal Malfunction
P0568	Cruise Control Set Signal Malfunction
P0569	Cruise Control Coast Signal Malfunction
P0570	Cruise Control Accel Signal Malfunction
P0571	Cruise Control/Brake Switch A Circuit Malfunction
P0572	Cruise Control/Brake Switch A Circuit Low
P0573	Cruise Control/Brake Switch A Circuit High
P0574	Cruise Control System - Vehicle Speed Too High
P0575	Cruise Control Input Circuit
P0576	Cruise Control Input Circuit Low
P0577	Cruise Control Input Circuit High
P0578	Reserved for Cruise Control Codes
P0580	
P0600	Serial Communication Link Malfunction
P0601	Internal Control Module Memory Check Sum Error
P0602	Control Module Programming Error
P0603	Internal Control Module Keep Alive Memory (KAM) Error
P0604	Internal Control Module Random Access Memory (RAM)Error
P0605	Internal Control Module Read Only Memory (ROM) Error
P0606	PCM Processor Fault
P0607	Control Module Performance
P0608	Control Module VSS Output "A" Malfunction
P0609	Control Module VSS Output "B" Malfunction
P0610	Control Module Vehicle Options Error
P0615	Starter Relay Circuit
P0616	Starter Relay Circuit Low
P0617	Starter Relay Circuit High
P0618	Alternative Fuel Control Module KAM Error
P0619	Alternative Fuel Control Module RAM/ROM Error
P0620	Generator Control Circuit Malfunction
P0621	Generator Lamp "L" Control Circuit Malfunction
P0622	Generator Field "F" Control Circuit Malfunction
P0623	Generator Lamp Control Circuit
P0624	Fuel Cap Lamp Control Circuit
P0630	VIN Not Programmed or Mismatch - ECM/PCM
P0631	VIN Not Programmed or Mismatch - TCM
P0635	Power Steering Control Circuit
P0636	Power Steering Control Circuit Low
P0637	Power Steering Control Circuit High
P0638	Throttle Actuator Control Range/Performance (Bank 1)
P0639	Throttle Actuator Control Range/Performance (Bank 2)
P0640	Intake Air Heater Control Circuit
P0645	A/C Clutch Relay Control Circuit
P0646	A/C Clutch Relay Control Circuit Low

Diagnostic Code	Definition
P0647	A/C Clutch Relay Control Circuit High
P0648	Immobilizer Lamp Control Circuit ("Immobilizer" pending SAE J1930 approval)
P0649	Speed Control Lamp Control Circuit
P0650	Malfunction Indicator Lamp (MIL) Control CircuitMalfunction
P0654	Engine RPM Output Circuit Malfunction
P0655	Engine Hot Lamp Output Control Circuit Malfunction
P0656	Fuel Level Output Circuit Malfunction
P0660	Intake Manifold Tuning Valve Control Circuit (Bank 1)
P0661	Intake Manifold Tuning Valve Control Circuit Low (Bank 1)
P0662	Intake Manifold Tuning Valve Control Circuit High (Bank 1)
P0663	Intake Manifold Tuning Valve Control Circuit (Bank 2)
P0664	Intake Manifold Tuning Valve Control Circuit Low (Bank 2)
P0665	Intake Manifold Tuning Valve Control Circuit High (Bank 2)
P0700	Transmission Control System Malfunction
P0701	Transmission Control System Range/Performance
P0702	Transmission Control System Electrical
P0703	Torque Converter/Brake Switch B Circuit Malfunction
P0704	Clutch Switch Input Circuit Malfunction
P0705	Transmission Range Sensor Circuit Malfunction (PRNDL Input)
P0706	Transmission Range Sensor Circuit Range/Performance
P0707	Transmission Range Sensor Circuit Low Input
P0708	Transmission Range Sensor Circuit High Input
P0709	Transmission Range Sensor Circuit Intermittent
P0710	Transmission Fluid Temperature Sensor Circuit Malfunction
P0711	Transmission Fluid Temperature Sensor Circuit Range/Performance
P0712	Transmission Fluid Temperature Sensor Circuit Low Input
P0713	Transmission Fluid Temperature Sensor Circuit High Input
P0714	Transmission Fluid Temperature Sensor Circuit Intermittent
P0715	Input/Turbine Speed Sensor Circuit Malfunction
P0716	Input/Turbine Speed Sensor Circuit Range/Performance
P0717	Input/Turbine Speed Sensor Circuit No Signal
P0718	Input/Turbine Speed Sensor Circuit Intermittent
P0719	Torque Converter/Brake Switch B Circuit Low
P0720	Output Speed Sensor Circuit Malfunction
P0721	Output Speed Sensor Circuit Range/Performance
P0722	Output Speed Sensor Circuit No Signal
P0723	Output Speed Sensor Circuit Intermittent
P0724	Torque Converter/Brake Switch B Circuit High
P0725	Engine Speed Input Circuit Malfunction
P0726	Engine Speed Input Circuit Range/Performance
P0727	Engine Speed Input Circuit No Signal
P0728	Engine Speed Input Circuit Intermittent
P0730	Incorrect Gear Ratio

Diagnostic Code	Definition
P0731	Gear 1 Incorrect Ratio
P0732	Gear 2 Incorrect Ratio
P0733	Gear 3 Incorrect Ratio
P0734	Gear 4 Incorrect Ratio
P0735	Gear 5 Incorrect Ratio
P0736	Reverse Incorrect Ratio
P0737	TCM Engine Speed Output Circuit
P0738	TCM Engine Speed Output Circuit Low
P0739	TCM Engine Speed Output Circuit High
P0740	Torque Converter Clutch Circuit Malfunction
P0741	Torque Converter Clutch Circuit Performance or Stuck Off
P0742	Torque Converter Clutch Circuit Stuck On
P0743	Torque Converter Clutch Circuit Electrical
P0744	Torque Converter Clutch Circuit Intermittent
P0745	Pressure Control Solenoid Malfunction
P0746	Pressure Control Solenoid Performance or Stuck Off
P0747	Pressure Control Solenoid Stuck On
P0748	Pressure Control Solenoid Electrical
P0749	Pressure Control Solenoid Intermittent
P0750	Shift Solenoid A Malfunction
P0751	Shift Solenoid A Performance or Stuck Off
P0752	Shift Solenoid A Stuck On
P0753	Shift Solenoid A Electrical
P0754	Shift Solenoid A Intermittent
P0755	Shift Solenoid B Malfunction
P0756	Shift Solenoid B Performance or Stuck Off
P0757	Shift Solenoid B Stuck On
P0758	Shift Solenoid B Electrical
P0759	Shift Solenoid B Intermittent
P0760	Shift Solenoid C Malfunction
P0761	Shift Solenoid C Performance or Stuck Off
P0762	Shift Solenoid C Stuck On
P0763	Shift Solenoid C Electrical
P0764	Shift Solenoid C Intermittent
P0765	Shift Solenoid D Malfunction
P0766	Shift Solenoid D Performance or Stuck Off
P0767	Shift Solenoid D Stuck On
P0768	Shift Solenoid D Electrical
P0769	Shift Solenoid D Intermittent
P0770	Shift Solenoid E Malfunction
P0771	Shift Solenoid E Performance or Stuck Off
P0772	Shift Solenoid E Stuck On
P0773	Shift Solenoid E Electrical
P0774	Shift Solenoid E Intermittent

Diagnostic Code	Definition
P0775	Pressure Control Solenoid "B"
P0776	Pressure Control Solenoid "B" Performance or Stuck Off
P0777	Pressure Control Solenoid "B" Stuck On
P0778	Pressure Control Solenoid "B" Electrical
P0779	Pressure Control Solenoid "B" Intermittent
P0780	Shift Malfunction
P0781	1-2 Shift Malfunction
P0782	2-3 Shift Malfunction
P0783	3-4 Shift Malfunction
P0784	4-5 Shift Malfunction
P0785	Shift/Timing Solenoid Malfunction
P0786	Shift/Timing Solenoid Range/Performance
P0787	Shift/Timing Solenoid Low
P0788	Shift/Timing Solenoid High
P0789	Shift/Timing Solenoid Intermittent
P0790	Normal/Performance Switch Circuit Malfunction
P0791	Intermediate Shaft Speed Sensor Circuit
P0792	Intermediate Shaft Speed Sensor Circuit Range/Performance
P0793	Intermediate Shaft Speed Sensor Circuit No Signal
P0794	Intermediate Shaft Speed Sensor Circuit Intermittent
P0795	Pressure Control Solenoid "C"
P0796	Pressure Control Solenoid "C" Performance or Stuck Off
P0797	Pressure Control Solenoid "C" Stuck On
P0798	Pressure Control Solenoid "C" Electrical
P0799	Pressure Control Solenoid "C" Intermittent
P0801	Reverse Inhibit Control Circuit Malfunction
P0803	1-4 Upshift (Skip Shift) Solenoid Control Circuit Malfunction
P0804	1-4 Upshift (Skip Shift) Lamp Control Circuit Malfunction
P0805	Clutch Position Sensor Circuit
P0806	Clutch Position Sensor Circuit Range/Performance
P0807	Clutch Position Sensor Circuit Low
P0808	Clutch Position Sensor Circuit High
P0809	Clutch Position Sensor Circuit Intermittent
P0810	Clutch Position Control Error
P0811	Excessive Clutch Slippage
P0812	Reverse Input Circuit
P0813	Reverse Output Circuit
P0814	Transmission Range Display Circuit
P0815	Upshift Switch Circuit
P0816	Downshift Switch Circuit
P0817	Starter Disable Circuit
P0818	Driveline Disconnect Switch Input Circuit
P0820	Gear Lever X-Y Position Sensor Circuit
P0821	Gear Lever X Position Circuit

Diagnostic Code	Definition
P0822	Gear Lever Y Position Circuit
P0823	Gear Lever X Position Circuit Intermittent
P0824	Gear Lever Y Position Circuit Intermittent
P0825	Gear Lever Push-Pull Switch (Shift Anticipate)
P0830	Clutch Pedal Switch "A" Circuit
P0831	Clutch Pedal Switch "A" Circuit Low
P0832	Clutch Pedal Switch "A" Circuit High
P0833	Clutch Pedal Switch "B" Circuit
P0834	Clutch Pedal Switch "B" Circuit Low
P0835	Clutch Pedal Switch "B" Circuit High
P0836	Four Wheel Drive (4WD) Switch Circuit
P0837	Four Wheel Drive (4WD) Switch Circuit Range/Performance
P0838	Four Wheel Drive (4WD) Switch Circuit Low
P0839	Four Wheel Drive (4WD) Switch Circuit High
P0840	Transmission Fluid Pressure Sensor/Switch "A" Circuit
P0841	Transmission Fluid Pressure Sensor/Switch "A" Circuit Range/Performance
P0842	Transmission Fluid Pressure Sensor/Switch "A" Circuit Low
P0843	Transmission Fluid Pressure Sensor/Switch "A" Circuit High
P0844	Transmission Fluid Pressure Sensor/Switch "A" Circuit Intermittent
P0845	Transmission Fluid Pressure Sensor/Switch "B" Circuit
P0846	Transmission Fluid Pressure Sensor/Switch "B" Circuit Range/Performance
P0847	Transmission Fluid Pressure Sensor/Switch "B" Circuit Low
P0848	Transmission Fluid Pressure Sensor/Switch "B" Circuit High
P0849	Transmission Fluid Pressure Sensor/Switch "B" Circuit Intermittent

ภาคผนวก ค

OBD II Manufacturer Specific Codes – TOYOTA

Diagnostic Code	Definition
P1100	BARO Sensor Circuit malfunction
P1103	Turbocharger Waste Gate Actuator Malfunction
P1104	Turbocharger Waste Gate Solenoid Malfunction
P1105	Fuel Pressure Solenoid Malfunction
P1120	Accelerator Pedal Position Sensor Circuit Malfunction
P1121	Accelerator Pedal Position Sensor Range/Performance Problem
P1125	Throttle Control Motor Circuit Malfunction
P1126	Magnetic Clutch Circuit Malfunction
P1127	ETCS Actuator Power Source Circuit Malfunction
P1128	Throttle Control Motor Lock Malfunction
P1129	Electric Throttle Control System Malfunction
P1130	Air-Fuel Sensor Circuit Range/Performance
P1133	Air-Fuel Sensor Circuit Response Malfunction
P1135	Air-Fuel Sensor Heater Circuit Response Malfunction
P1150	A/F Sensor Circuit Range/Performance Malfunction
P1153	A/F Sensor Circuit Response Malfunction
P1155	A/F Sensor Heater Circuit Malfunction
P1195	Slow Switching O2 Sensor Bank One Sensor One During catalyst monitoring
P1196	Slow Switching O2 Sensor Bank two Sensor one During catalyst monitoring
P1197	Slow Switching O2 Sensor Bank One Sensor two During catalyst monitoring
P1198	Radiator Temperature Sensor Input voltage too high
P1199	Radiator Temperature Sensor Input voltage too low
P1200	Fuel Pump Relay Circuit Malfunction
P1281	Engine is cold too long
P1282	Fuel Pump Relay control circuit
P1283	Idle select signal invalid
P1284	Fuel Injection pump battery voltage sensor out of range
P1285	Fuel Injection pump controller always on
P1286	Accelerator Position Sensor (APPS) supply voltage too high
P1287	Fuel Injection pump Controller Supply voltage low
P1288	Intake manifold short runner tuning valve solenoid circuit
P1289	Manifold tune valve solenoid circuit
P1290	CNG Fuel system pressure too high
P1291	No Temp rise seen from intake heaters
P1292	CNG Pressure sensor voltage too high
P1293	CNG Pressure sensor voltage too low
P1294	Target idle not reached
P1295	No 5 volts to TP sensor
P1296	No 5 volts to MAP sensor

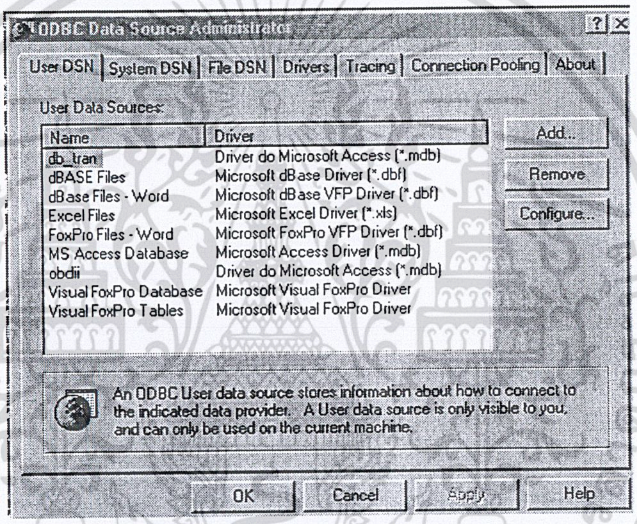
Diagnostic Code	Definition
P1297	No change in MAP sensor from start to run
P1298	lean operation at wide open throttle
P1299	Vacuum Leak detected (IAC fully seated)
P1300	Igniter Circuit Malfunction No. 1
P1305	Igniter Circuit Malfunction No. 2 (1998-2000 Land Cruiser,2000 Celica & Tundra)
P1310	Igniter Circuit Malfunction No. 2 (Except 1998-2000 Land Cruiser, 2000 Celica &
P1315	Igniter Circuit Malfunction No. 4 (1998-2000 Land Cruiser,2000 Celica & Tundra)
P1320	Igniter Circuit Malfunction No. 5 (1998-2000 Land Cruiser & 2000 Tundra)
P1325	Igniter Circuit Malfunction No. 6 (1998-2000 Land Cruiser & 2000 Tundra)
P1330	Igniter Circuit Malfunction No. 7 (1998-2000 Land Cruiser & 2000 Tundra)
P1335	No CKP Sensor Signal Engine Running
P1340	Igniter Circuit Malfunction No. 8 (1998-2000 Land Cruiser & 2000 Tundra)
P1346	VVT Sensor /Camshaft Position Sensor Circuit Range/Performance Problem (Bank 1)
P1349	VVT System Malfunction
P1388	Auto shutdown relay control circuit
P1389	No ASD relay output voltage at PCM
P1390	Timing belt skipped one tooth or more
P1391	Intermittent loss of CMP or CKP
P1398	Mis-Fire Adaptive Numerator at Limit (PCM is unable to learn the crank sens
P1399	Wait to start lamp circuit
P1400	Sub-Throttle Position Sensor Malfunction
P1401	Sub-Throttle Position Sensor Range/Performance Problem
P1403	No 5 volt feed to EGR
P1405	Turbo Pressure Sensor Circuit Malfunction
P1406	Turbo Pressure Sensor Range/Performance Problem
P1410	EGR Valve Position Sensor Circuit Malfunction
P1411	EGR Valve Position Sensor Circuit Ranger/Performance
P1475	Auxiliary 5 volt supply is too high
P1476	Too little secondary air
P1477	Too much secondary air
P1478	Battery Temp Sensor Volts out of limit
P1479	Transmission Fan Relay Circuit
P1480	PCV Solenoid Circuit
P1481	EATX (Electronic Automatic Transaxle) RPM pulse generator performance
P1482	Catalyst Temperature Sensor Circuit shorted low
P1483	Catalyst Temperature Sensor Circuit shorted high
P1484	Catalytic Converter overheat detected
P1485	Air injection solenoid circuit
P1486	EVAP Leak Monitor found a pinched hose
P1487	Hi Speed Fan #2 Circuit

ภาคผนวก ง
คู่มือการติดตั้งและใช้โปรแกรม

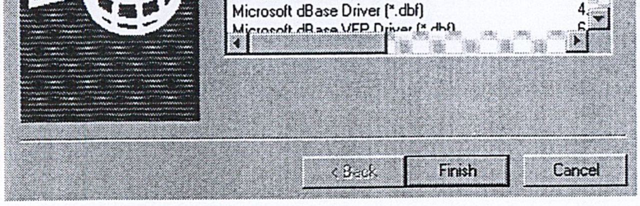
ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมเข้าสู่ระบบ

1. ติดตั้ง jdk1.3.0 ขึ้นไปรวมทั้ง ติดตั้ง JRE (Java Runtime Environment)
2. ติดตั้งโปรแกรมโครงงานซึ่ง file ทั้งหมดซึ่งอยู่ในไดเรกทอรี Obd_program เข้าสู่ระบบโดยไม่เจาะจงว่าต้องใส่ไว้ที่ใด ยกตัวอย่าง เช่น c:\Obd_program\
3. ติดตั้ง OBD II data source โดยกำหนด Data Source (ODBC) ดังนี้

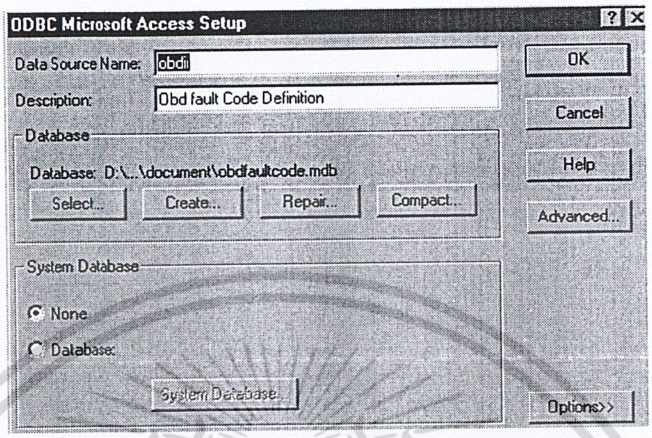
   3.1 ที่หน้าจอ ODBC Data Source Administrator คลิกที่ปุ่ม Add



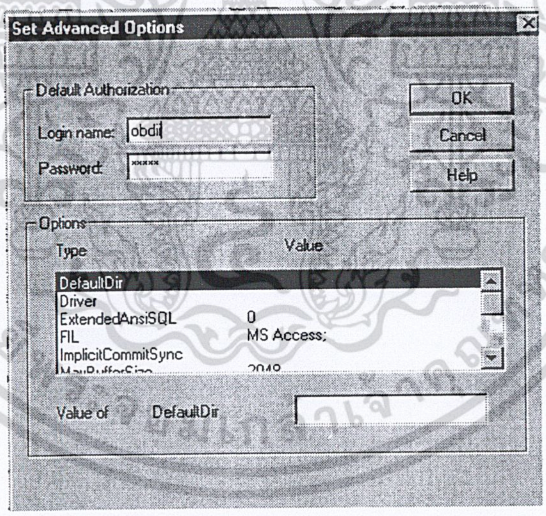
   3.2 ที่หน้าจอ Create New Data Source เลือกที่ Driver do Microsoft dBase (*.mdb) แล้วคลิก Finish



3.3 ที่หน้าจอ ODBC Microsoft Access Setup ให้ตั้งชื่อ Data Source Name ว่า “obdii” จากนั้นคลิกที่ Advance



3.4 ที่หน้าจอ Set Advance Options ให้ใส่ Login Name และ Password เป็น “obdii” แล้วคลิก OK เป็นอันว่าเสร็จสิ้นการติดตั้ง



4. คอมไพล์ java file ภายในไดเรกทอรี Obd_program และ ภายในสับไดเรกทอรี api เพื่อให้ได้ class file โดยต้องคอมไพล์ตามลำดับดังนี้

Sensor.java --> Ecu.java --> Obd.java -->CenterRenderer.java --> CenterRendererC.java --> VJTable.java --> CJTable.java --> Drawmeter.java --> DashObd.java --> TabbedObd.java --> MenuObd.java -->TestObd.java

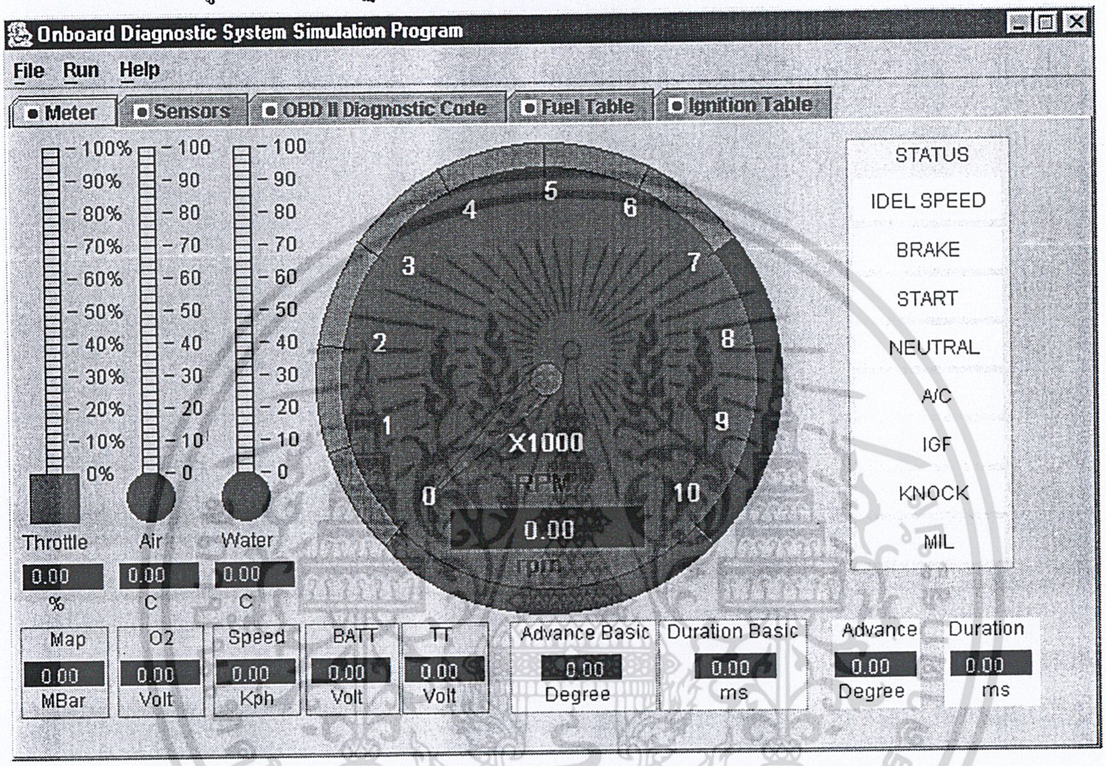
5. เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมโดยใช้คำสั่ง

$ java TestObd

ลักษณะการทำงานของโปรแกรมโครงงาน

โปรแกรมจำลองระบบตรวจสอบและแก้ไขข้อขัดข้องของระบบ EFI , ESA มีลักษณะขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1. เริ่มต้นโดยการเรียก Command ขึ้นมา เข้าไป directory ไฟล์โปรแกรมแล้วพิมพ์ java TestObd หากทำตามขั้นตอนถูกต้องจะปรากฏหน้าจอของโปรแกรมขึ้นมา



Throttle = เปอร์เซ็นต์การเหยียบคันเร่ง

Air = อุณหภูมิอากาศในกระบอกสูบ

Water = อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

RPM = ความเร็วรอบรถยนต์

Map = ความดันอากาศท่อร่วมไอดี

O2 = ปริมาณออกซิเจนในแก๊สไอเสีย

Speed = ความเร็วรถยนต์

BATT = แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วกล่อง ECU

TT = แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วตรวจสอบ

IDEL SPEED = สภาวะรอบเดินเบา

BRAKE = สภาวะการเหยียบเบรค

START = สภาวะการสตาร์ท

NEUTRAL = สภาวะเกียร์ว่าง

A/C = สภาวะแอมพลิฟลายเออร์แอร์

IGF = สภาวะการจุดระเบิด

KNOCK = สภาวะการน็อคของเครื่องยนต์

MIL = สภาวะหลอดไฟแสดงข้อขัดข้อง

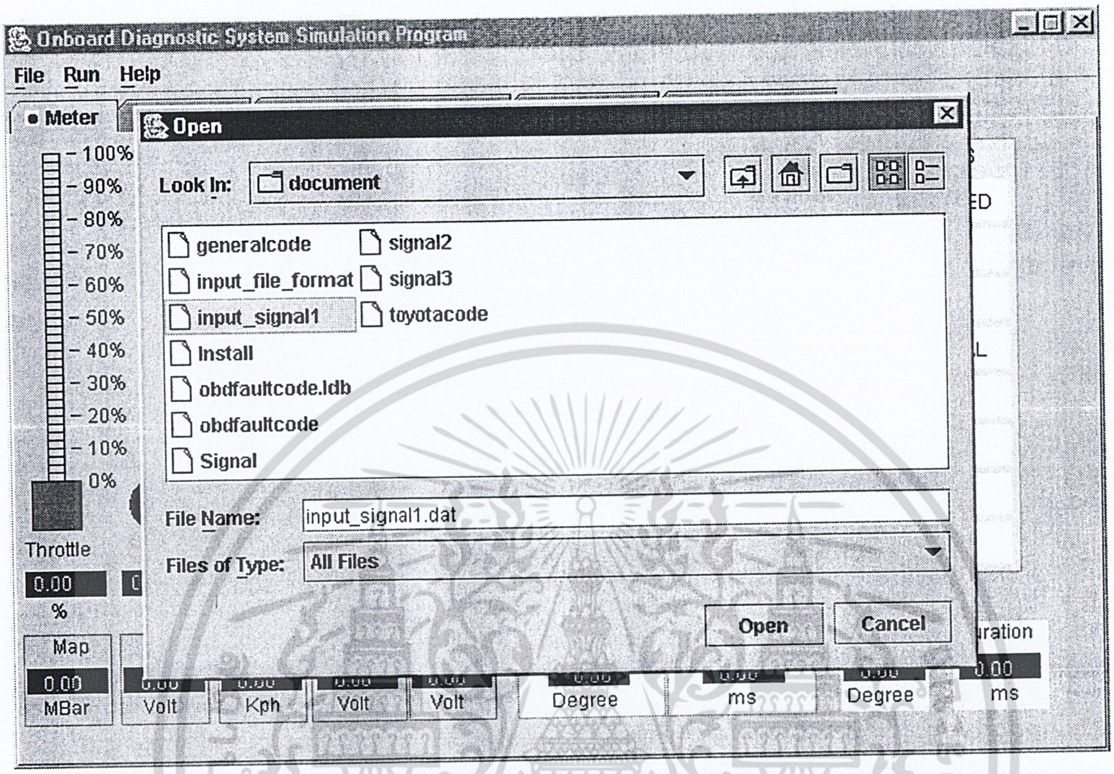
Advance Basic = องศาการจุดระเบิดล่วงหน้าพื้นฐาน

Duration Basic = ระยะเวลาในการฉีดน้ำมันพื้นฐาน

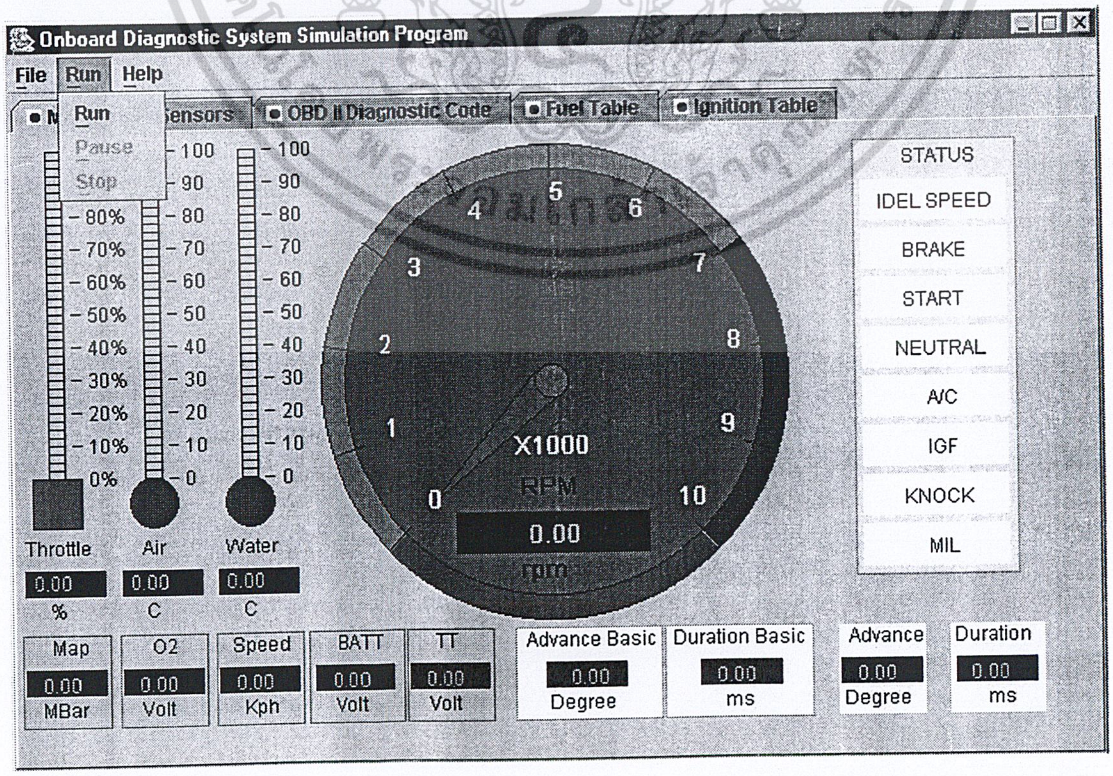
Advance = องศาการจุดระเบิดล่วงหน้า

Duration = ระยะเวลาในการฉีดน้ำมัน

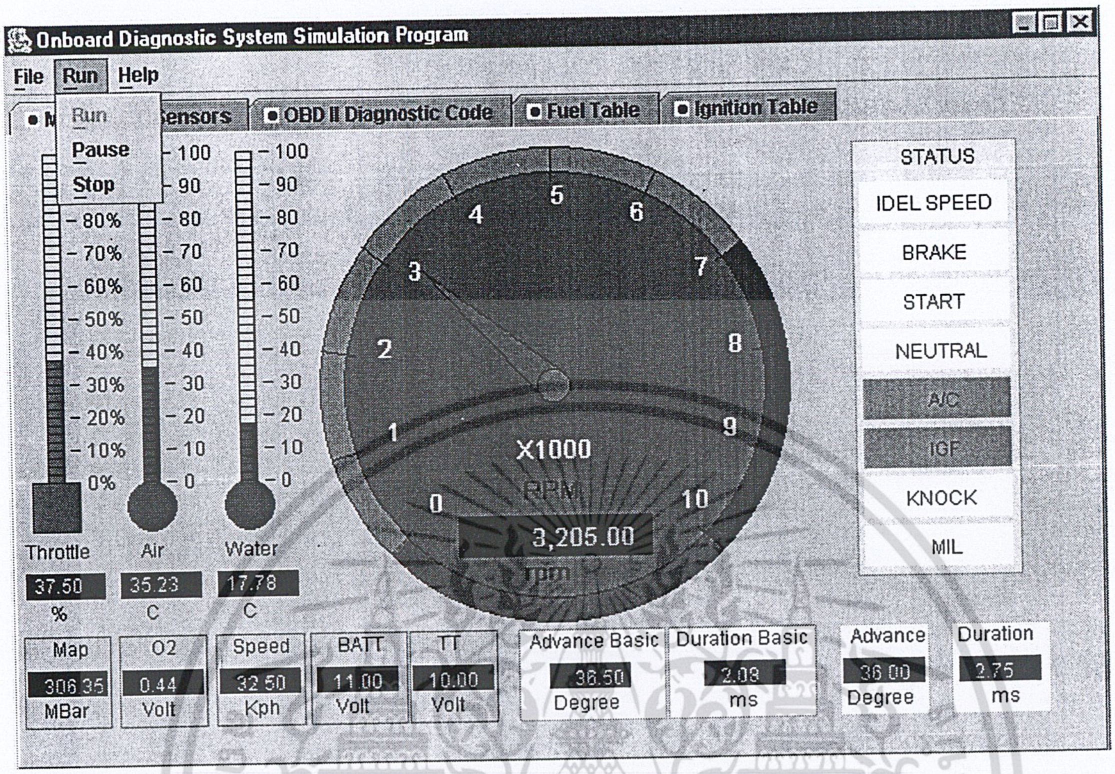
2. เลือกไฟล์ข้อมูล input ที่ต้องการโดย คลิกเลือกเมนู File และ เลือก Open ตามลำดับ ดังรูป



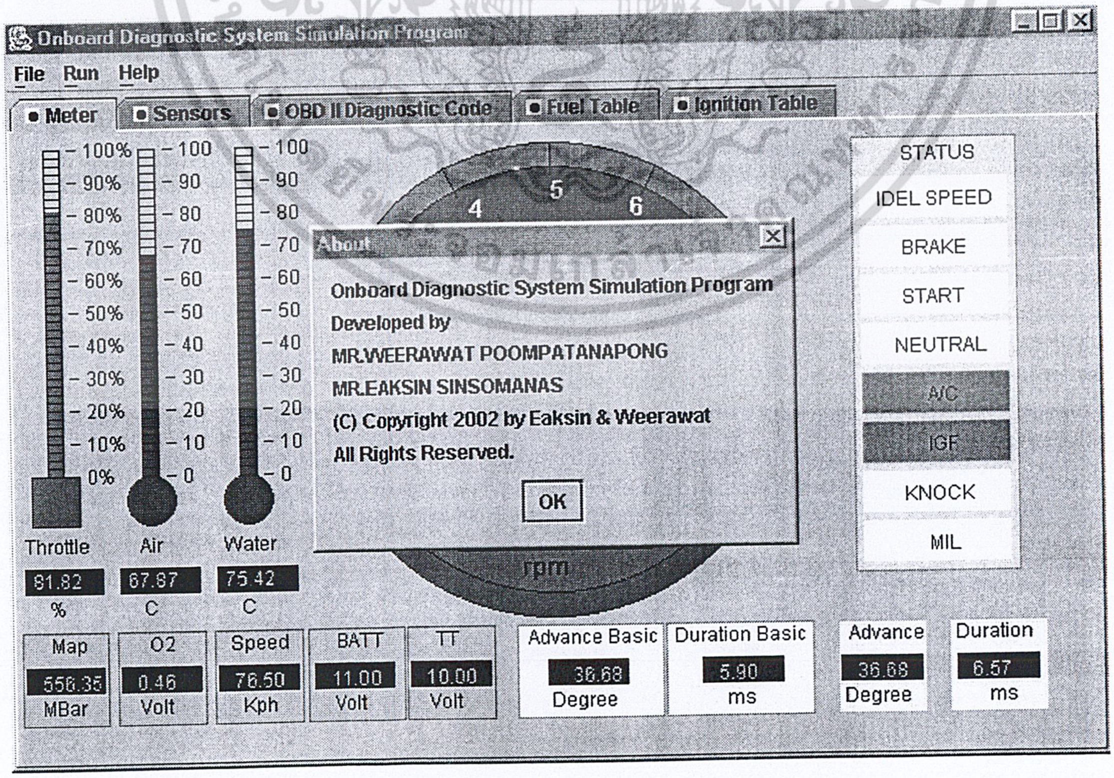
3. เลือกเมนู Run และ สั่ง Run เพื่อเริ่มต้นประมวลและแสดงผลจากข้อมูลที่รับเข้ามา ดังรูป



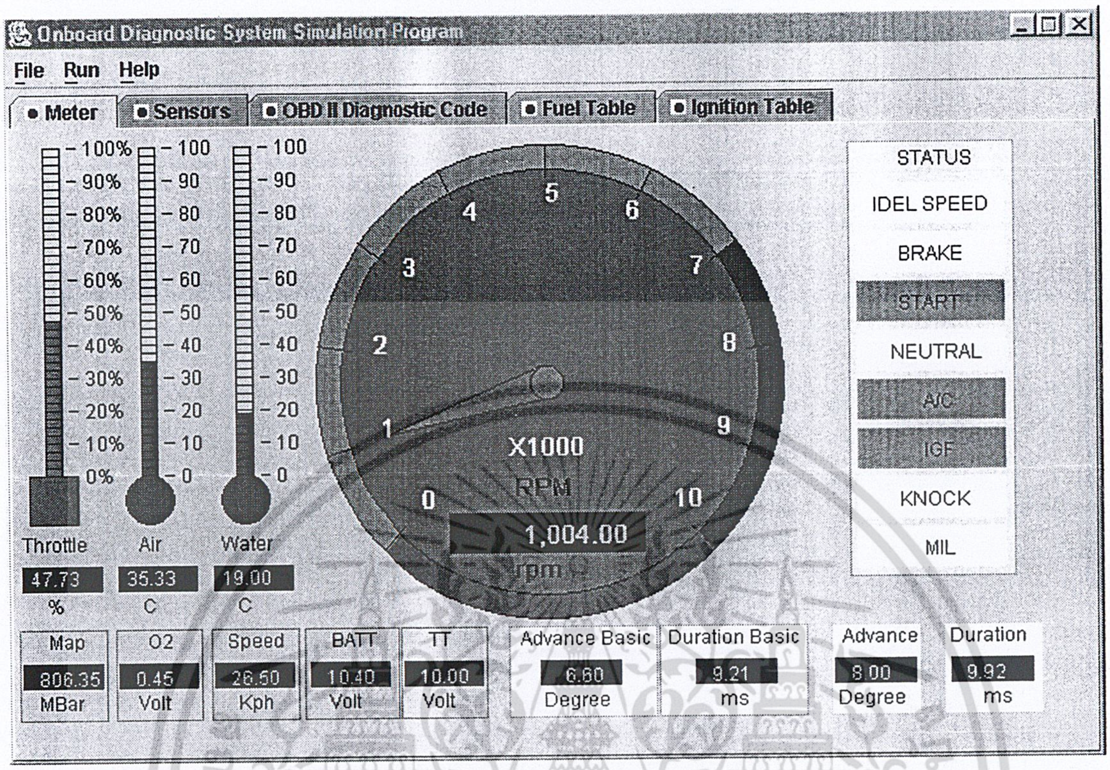
4.ขณะที่ทำงานอยู่สามารถสั่ง Pause เพื่อหยุดชั่วคราว และ Stop เพื่อจบการทำงานได้ ดังรูป



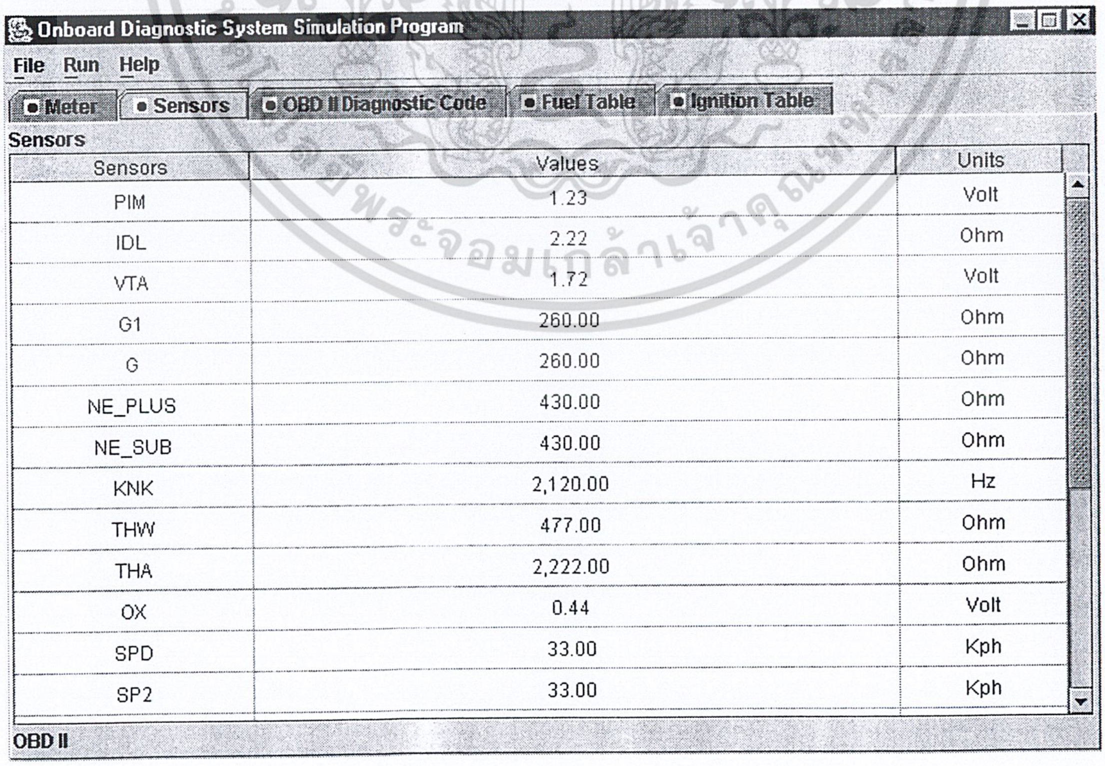
5. แสดงหน้าจอ About โดยการเลือกเมนู Help และเลือก About ตามลำดับ



6. แสดง Meter ของหน้าจอ Dash Board ขณะที่โปรแกรมกำลังทำงาน



7. แสดงหน้าจอของ Sensors ที่เป็นข้อมูล input ป้อนเข้าโปรแกรมขณะกำลังทำงาน


Onboard Diagnostic System Simulation Program

File Run Help

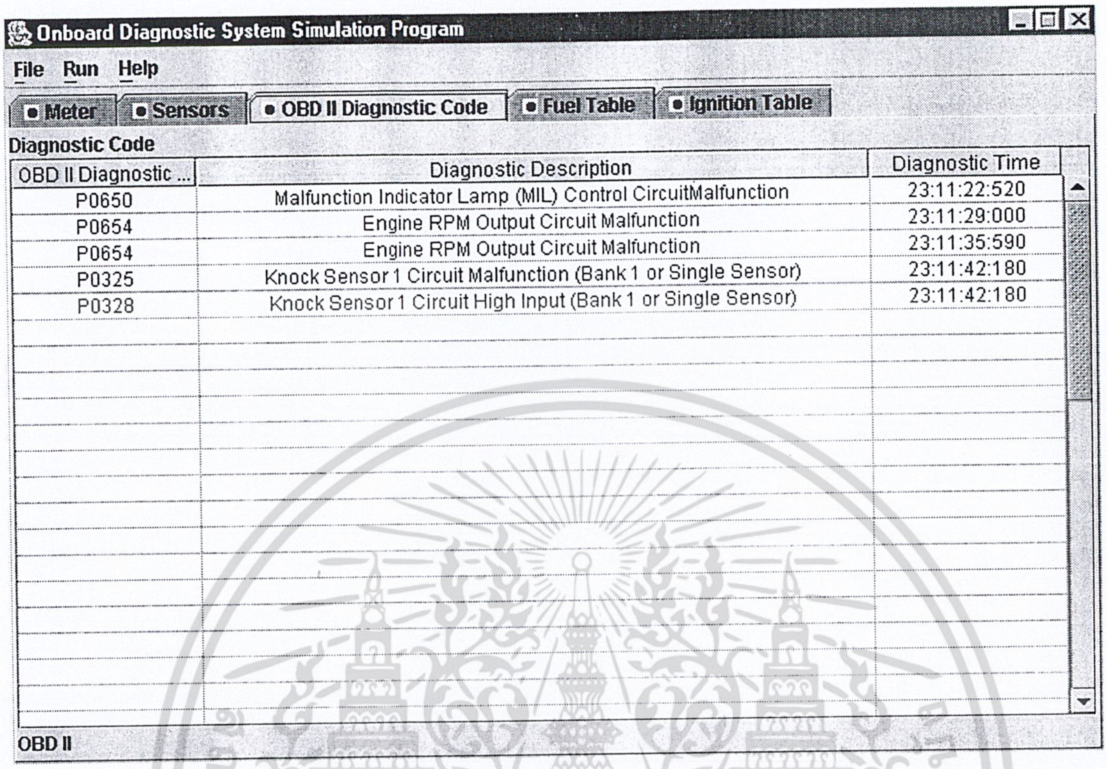
Meter | Sensors | OBD II Diagnostic Code | Fuel Table | Ignition Table

Sensors

Sensors	Values	Units
PIM	1.23	Volt
IDL	2.22	Ohm
VTA	1.72	Volt
G1	260.00	Ohm
G	260.00	Ohm
NE_PLUS	430.00	Ohm
NE_SUB	430.00	Ohm
KNK	2,120.00	Hz
THW	477.00	Ohm
THA	2,222.00	Ohm
OX	0.44	Volt
SPD	33.00	Kph
SP2	33.00	Kph

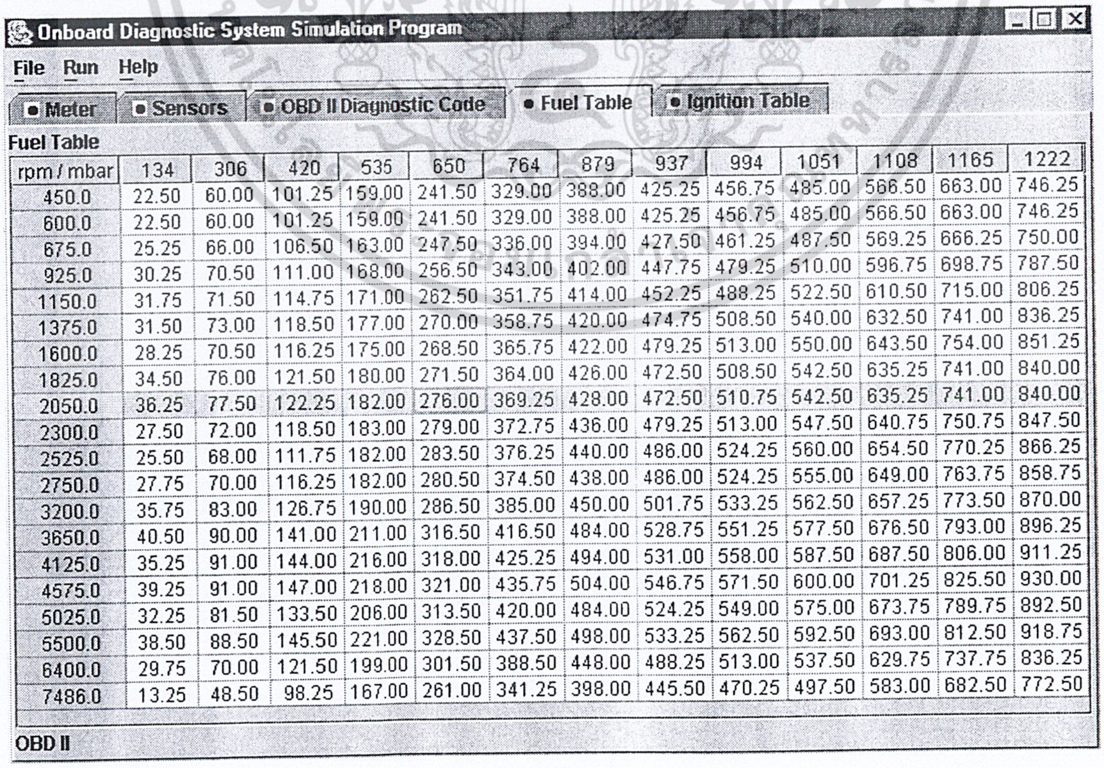
OBD II

8. แสดงหน้าจอ OBD II Diagnostic Code ขณะโปรแกรมกำลังทำงาน



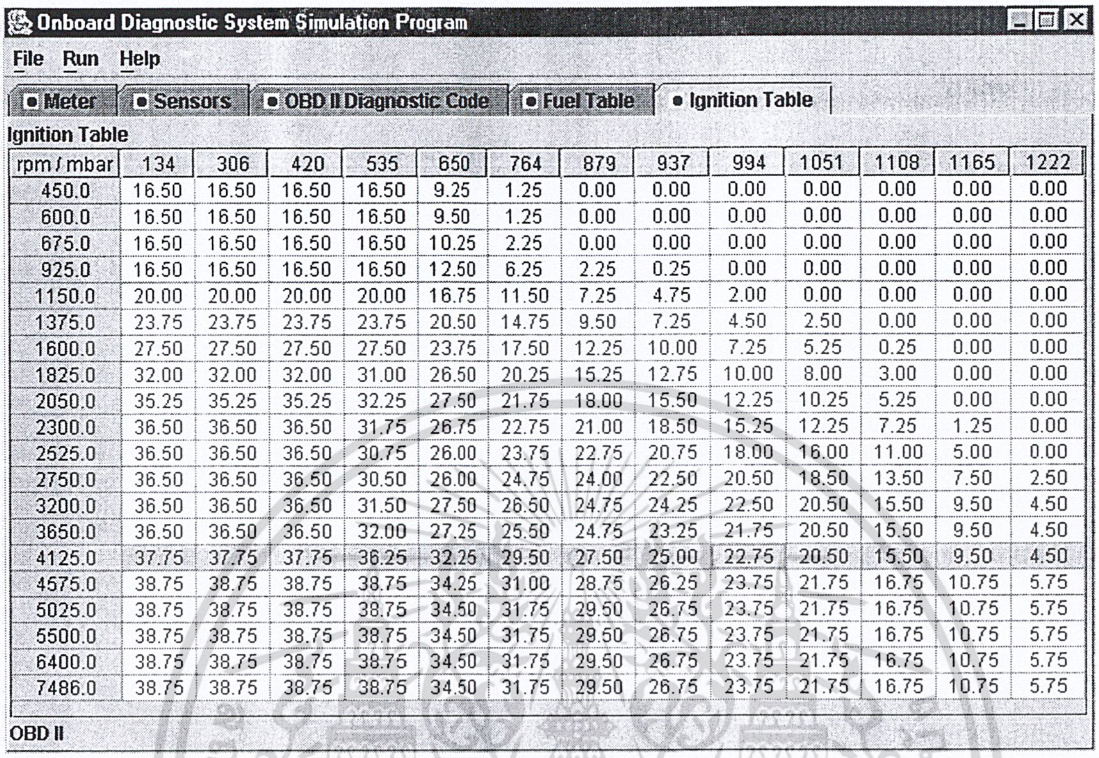
OBD II Diagnostic ...	Diagnostic Description	Diagnostic Time
P0650	Malfunction Indicator Lamp (MIL) Control CircuitMalfunction	23:11:22:520
P0654	Engine RPM Output Circuit Malfunction	23:11:29:000
P0654	Engine RPM Output Circuit Malfunction	23:11:35:590
P0325	Knock Sensor 1 Circuit Malfunction (Bank 1 or Single Sensor)	23:11:42:180
P0328	Knock Sensor 1 Circuit High Input (Bank 1 or Single Sensor)	23:11:42:180

9. แสดง ตารางระยะเวลาการฉีดน้ำมัน



rpm / mbar	134	306	420	535	650	764	879	937	994	1051	1108	1165	1222
450.0	22.50	60.00	101.25	159.00	241.50	329.00	388.00	425.25	456.75	485.00	566.50	663.00	746.25
600.0	22.50	60.00	101.25	159.00	241.50	329.00	388.00	425.25	456.75	485.00	566.50	663.00	746.25
675.0	25.25	66.00	106.50	163.00	247.50	336.00	394.00	427.50	461.25	487.50	569.25	666.25	750.00
925.0	30.25	70.50	111.00	168.00	256.50	343.00	402.00	447.75	479.25	510.00	596.75	698.75	787.50
1150.0	31.75	71.50	114.75	171.00	262.50	351.75	414.00	452.25	488.25	522.50	610.50	715.00	806.25
1375.0	31.50	73.00	118.50	177.00	270.00	358.75	420.00	474.75	508.50	540.00	632.50	741.00	836.25
1600.0	28.25	70.50	116.25	175.00	268.50	365.75	422.00	479.25	513.00	550.00	643.50	754.00	851.25
1825.0	34.50	76.00	121.50	180.00	271.50	364.00	426.00	472.50	508.50	542.50	635.25	741.00	840.00
2050.0	36.25	77.50	122.25	182.00	276.00	369.25	428.00	472.50	510.75	542.50	635.25	741.00	840.00
2300.0	27.50	72.00	118.50	183.00	279.00	372.75	436.00	479.25	513.00	547.50	640.75	750.75	847.50
2525.0	25.50	68.00	111.75	182.00	283.50	376.25	440.00	486.00	524.25	560.00	654.50	770.25	866.25
2750.0	27.75	70.00	116.25	182.00	280.50	374.50	438.00	486.00	524.25	555.00	649.00	763.75	858.75
3200.0	35.75	83.00	126.75	190.00	286.50	385.00	450.00	501.75	533.25	562.50	657.25	773.50	870.00
3650.0	40.50	90.00	141.00	211.00	316.50	416.50	484.00	528.75	551.25	577.50	676.50	793.00	896.25
4125.0	35.25	91.00	144.00	216.00	318.00	425.25	494.00	531.00	558.00	587.50	687.50	806.00	911.25
4575.0	39.25	91.00	147.00	218.00	321.00	435.75	504.00	546.75	571.50	600.00	701.25	825.50	930.00
5025.0	32.25	81.50	133.50	206.00	313.50	420.00	484.00	524.25	549.00	575.00	673.75	789.75	892.50
5500.0	38.50	88.50	145.50	221.00	328.50	437.50	498.00	533.25	562.50	592.50	693.00	812.50	918.75
6400.0	29.75	70.00	121.50	199.00	301.50	388.50	448.00	488.25	513.00	537.50	629.75	737.75	836.25
7486.0	13.25	48.50	98.25	167.00	261.00	341.25	398.00	445.50	470.25	497.50	583.00	682.50	772.50

10. แสดงหน้าจอตารางองศาการจุดระเบิดล่วงหน้า



rpm / mbar	134	306	420	535	650	764	879	937	994	1051	1108	1165	1222
450.0	16.50	16.50	16.50	16.50	9.25	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
600.0	16.50	16.50	16.50	16.50	9.50	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
675.0	16.50	16.50	16.50	16.50	10.25	2.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
925.0	16.50	16.50	16.50	16.50	12.50	6.25	2.25	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1150.0	20.00	20.00	20.00	20.00	16.75	11.50	7.25	4.75	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1375.0	23.75	23.75	23.75	23.75	20.50	14.75	9.50	7.25	4.50	2.50	0.00	0.00	0.00
1600.0	27.50	27.50	27.50	27.50	23.75	17.50	12.25	10.00	7.25	5.25	0.25	0.00	0.00
1825.0	32.00	32.00	32.00	31.00	26.50	20.25	15.25	12.75	10.00	8.00	3.00	0.00	0.00
2050.0	35.25	35.25	35.25	32.25	27.50	21.75	18.00	15.50	12.25	10.25	5.25	0.00	0.00
2300.0	36.50	36.50	36.50	31.75	26.75	22.75	21.00	18.50	15.25	12.25	7.25	1.25	0.00
2525.0	36.50	36.50	36.50	30.75	26.00	23.75	22.75	20.75	18.00	16.00	11.00	5.00	0.00
2750.0	36.50	36.50	36.50	30.50	26.00	24.75	24.00	22.50	20.50	18.50	13.50	7.50	2.50
3200.0	36.50	36.50	36.50	31.50	27.50	26.50	24.75	24.25	22.50	20.50	15.50	9.50	4.50
3650.0	36.50	36.50	36.50	32.00	27.25	25.50	24.75	23.25	21.75	20.50	15.50	9.50	4.50
4125.0	37.75	37.75	37.75	36.25	32.25	29.50	27.50	25.00	22.75	20.50	15.50	9.50	4.50
4575.0	38.75	38.75	38.75	38.75	34.25	31.00	28.75	26.25	23.75	21.75	16.75	10.75	5.75
5025.0	38.75	38.75	38.75	38.75	34.50	31.75	29.50	26.75	23.75	21.75	16.75	10.75	5.75
5500.0	38.75	38.75	38.75	38.75	34.50	31.75	29.50	26.75	23.75	21.75	16.75	10.75	5.75
6400.0	38.75	38.75	38.75	38.75	34.50	31.75	29.50	26.75	23.75	21.75	16.75	10.75	5.75
7486.0	38.75	38.75	38.75	38.75	34.50	31.75	29.50	26.75	23.75	21.75	16.75	10.75	5.75

11. สิ้นสุดการใช้โปรแกรมโดยเลือก เมนู File แล้วเลือก Exit หรือ คลิกที่ปุ่มกากบาทมุมบนขวา

บรรณานุกรม

[1] นภดล เวชวิฐาน (2544) : "*เครื่องยนต์หัวฉีด EFI*", - - กรุงเทพฯ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น) 2544.

[2] อภิเนตร อูนากูล (2543) : "*Object-Oriented Analysis and Design*" ,แผนกตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2543.

[3] Deitel, Harvey M. (1999) : "*Java how to program / H.M. Deitel, P.J. Deitel*" . - - 3 rd ed. Deitel & Associates, Inc. 1999.

[4] http://eficlub.hypermart.net

[5] http://www.obdii.com

[6] http://www.sema.org

[7] http://members.aol.com/library

[8] http://www.fia.com

[9] http://www.epa.gov

[10] http://www.obd-2.com

[11] http://www.hondata.com

[12] http://java.sun.com