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.

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 70
(Object-Oriented Programming)
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 131

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

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 กราฟแสดงการปรับส่วนผสมของเชื้อเพลิงตามอุณหภูมิของอากาศ 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