



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า
วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมป้อนกลับการฉีดเชื้อเพลิงโดยใช้ตัวกำหนดค่าอัตราขยายพีไอร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม

Development of Fuel Injection Feedback Control System Using PI Gain Scheduler and Artificial Neural Networks

นามผู้วิจัย นางสาวสุภรณ์ เหมือนหนู

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พีระยศ แสนโกชณ์, D.Sc.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์วรวรรณ ศรีนิตราภิมุข, M.S.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์จันทน์ รุ่งเรืองพิทยากุล, D.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงษ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาระบบควบคุมป้อนกลับการฉีดเชื้อเพลิงโดยใช้ตัวกำหนดค่าอัตราขยายพีไอร่วมกับ
โครงข่ายประสาทเทียม

Development of Fuel Injection Feedback Control System Using PI Gain Scheduling and Artificial
Neural Networks

โดย

นางสุภรณ์ เหมือนหนู

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุภรณ์ เหมือนหนู 2553: การพัฒนาระบบควบคุมป้อนกลับการฉีดเชื้อเพลิงโดยใช้ตัว
กำหนดค่าอัตราขยายพีไอร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหา
บัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์พีระยศ แสนโกชณ์, D.Sc. 87 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพัฒนาระบบควบคุมในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสมเอธานอล-
แก๊สโซลีนเพื่อควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้สมดุลที่สุด โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
ในการประมาณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงร่วมกับ PI Gain-Scheduling ควบคุมแบบป้อนกลับ
เพื่อชดเชยและรักษาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยพิจารณาที่
ความเร็วรอบ 2000-9000 รอบ ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 10%, 15% และ 20% ทดสอบกับเชื้อเพลิง
E0, E20, E85

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์
(stoichiometric) ของเชื้อเพลิงผสมระหว่างเอธานอลและแก๊สโซลีนในอัตราส่วนผสมต่างๆ ขณะที่
ที่โครงข่ายประสาทเทียมมีหน้าที่เป็นตัวควบคุมแบบวงเปิดและ gain scheduling เป็นระบบควบ
คุมแบบไม่เป็นเชิงเส้นชนิดพิเศษ ที่ใช้ควบคุมแบบป้อนกลับใช้กับระบบควบคุมที่ตัวแปรมีการ
เปลี่ยนแปลง โดยมอนิเตอร์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรล่วงหน้าและควบคุมให้เป็นเชิงเส้น โดย
gain scheduling เป็นการวัดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของระบบควบคุมเพื่อชดเชยความ
ไม่แน่นอนในระบบควบคุมที่ไม่เป็นเชิงเส้น ในการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบ Close loop นี้ใช้
ทดลองกับรถจักรยานยนต์ Yamaha 135 Spark-I เป็นเครื่องยนต์ 4 จังหวะขนาด 1 สูบ โดยใช้กับ
เชื้อเพลิงผสมระหว่าง เอธานอล-แก๊สโซลีน คือ E0, E20, E85 ซึ่งจากการทดลองวิจัยนี้เพื่อกำหนด
ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์ที่จุดทำงานที่สภาวะคงตัว

ในที่สุดผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้โครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับ PI Gain-
Scheduling สามารถทำให้เครื่องยนต์รักษาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Stoichiometric) ได้กับ
เชื้อเพลิงทุกอัตราส่วนผสม สามารถวัดประสิทธิภาพการควบคุมในการใช้เวลาเข้าสู่จุดสมดุล
1200 ms และมีค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว $+0.5/-0.5$

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Suporn Muannou 2010: Development of Fuel Injection Feedback Control System Using PI Gain Scheduler and Artificial Neural Networks. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Peerayot Sanposh , D.Sc. 87 pages.

This research is investigated the optimum air fuel ratio control strategy for a engine running on ethanol-gasoline blend fuel. The control strategy used the combination of neural network and PI Gain-Scheduling controller. The neural network was trained and served as open-loop fuel injection control, while the PI Gain-Scheduling was used as the closed-loop control to add air fuel ratio compensation to achieve its stoichiometric value. The driving conditions varied from RPM 2000 to 9000 and TPS varied from 10%, 15% and 20%. The fuel blends were E0, E20 and E85.

The research aimed to maintain the air/fuel ratio closed to a specified stoichiometric value that can vary according to the ratio between ethanol and gasoline in the fuel blend. While the neural network has a function as an open-loop control, the gain scheduling is a nonlinear feedback control of special type; it has a linear control whose parameters are changed as a function of operating conditions in a preprogrammed way. The gain scheduling based on measurements of operating conditions of the process is often a good way to compensate nonlinear uncertainties in system. This closed-loop fuel injection control were conducted on a motorcycle Yamaha 135 Spark-i four-stroke single-cylinder engine using different gasoline-ethanol blends: E0, E20 and E85. The experiments were performed to determined the optimum injection timing and duration for a specific engine under steady state operating conditions.

Finally, the experimental results show that the combination of neural network and PI Gain-scheduling control can make the engine to achieve the stoichiometric value over a wide range of fuel blends. The control performance can be measured as the settling time 1200 ms and the steady state error between +0.5/-0.5.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.พีระยศ แสนโกชณ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ รศ. วรวรรณ ศรีนัตราภิมุข กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาเอก ดร.จันทน์ รุ่งเรืองพิทยา
กุล กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชารอง คุณอมเรศ แก้วปัญญา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมจาก ศูนย์
อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจน
ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ดร. ชีระ ภัทราพรนันท์ และ คุณรัศมีจิต ฐิติพัฒน์พงศ์ นักวิจัย ศูนย์อิเล็กทรอนิกส์และ
คอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่, พร้อมทั้งงบประมาณจัดซื้อ NI Compact-RIO, มอเตอร์
ไซค์ YAMAHA 135I, เชื้อเพลิงและวัสดุอุปกรณ์อื่นๆ พร้อมทั้งให้คำแนะนำปรึกษาทางและวิธี
ทำวิจัยตลอดไปถึงวิธีการเขียนวารสารทางวิชาการเกี่ยวกับงานวิจัยเป็นอย่างดี

คุณจตุรวิทย์ จันไพบูลย์, คุณมนตรี ชาติพจน์ และทีมงานวิจัย หน่วยปฏิบัติการวิจัยพัฒนา
เทคโนโลยีสมองกลฝังตัวในรถยนต์ ศูนย์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ที่ให้คำปรึกษา
วิธีการบริหารจัดการระบบการจ่ายเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์และพร้อมช่วยติดตั้งเครื่องยนต์บนแท่น
ทดสอบ โดยเฉพาะคุณจตุรวิทย์ จันไพบูลย์ ขอขอบคุณอย่างยิ่งที่กรุณาให้ยืมไดนาโมมิเตอร์
ส่วนตัวใช้ในการทดสอบ เพื่อทำวิทยานิพนธ์จนงานเสร็จสมบูรณ์

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่คุณพ่อ คุณแม่ และ
ทุกคนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

สุภรณ์ เหมือนหนู

เมษายน 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	5
อุปกรณ์	5
วิธีการ	7
ผลและวิจารณ์	60
ผล	60
วิจารณ์	78
สรุปและข้อเสนอแนะ	82
สรุป	82
ข้อเสนอแนะ	83
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	84
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	87

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	น้ำหนักต่อโมลของก๊าซในอากาศ	10
2	การแบ่งโซน(Zone)ข้อมูล	42
3	ข้อมูลกลุ่มที่ 1	43
4	ข้อมูลกลุ่มที่ 2	43
5	ข้อมูลกลุ่มที่ 3	43
6	ข้อมูลที่ตัดทิ้ง	44
7	อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เผาไหม้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด	53
8	เปลี่ยนมวลของเชื้อเพลิง E20 เป็น โมล	54
9	เปลี่ยนมวลของเชื้อเพลิง E85 เป็น โมล	55
10	ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI	57
11	รายละเอียดอุปกรณ์และเซ็นเซอร์ของรถจักรยานยนต์ YAMAHA Spark I 135	59
12	ค่าพิสัยของข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลองจากระบบควบคุมแบบ Open loop ขนาด 3-30-30-1	62
13	ผลการทดสอบแบบจำลองแบบวงเปิด ที่สร้างด้วยฟังก์ชันTansig-Logsig-Pureline	63
14	ผลการทดสอบแบบจำลองแบบวงเปิด ที่สร้างด้วยฟังก์ชันTansig-Logsig-Poslin	64
15	ผลการประมาณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่จุด Stoichiometric ของแบบจำลองของระบบควบคุมแบบ Open loop	66
16	ค่าพิสัยของข้อมูลที่ใช้สร้างจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับขนาด 2-30-30-1	67
17	ผลการทดสอบแบบจำลองแบบป้อนกลับที่ประมาณระยะเวลาได้โดยทดสอบกับเครื่องยนต์โดยวิธีเปิดตาราง ใช้เชื้อเพลิง E0	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18	ผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับด้วยเชื้อเพลิง E0	69
19	ผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับด้วยเชื้อเพลิง E20	71
20	ผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับด้วยเชื้อเพลิง E20	72
21	เปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองจากระบบควบคุมแบบป้อนกลับของเชื้อเพลิงผสม	81

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เครื่องยนต์ 4 จังหวะ	7
2	การทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ	9
3	อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศในอัตราส่วนต่างๆ (Probst, 1991)	11
4	เซ็นเซอร์จับตำแหน่งลิ้นเร่ง	14
5	ออกซิเจนเซ็นเซอร์	14
6	ความสัมพันธ์ระหว่าง A/F กับแรงดันไฟฟ้าขาออกของ O ₂ Sensor ชนิด Narrow band	15
7	ความสัมพันธ์ระหว่าง A/F กับแรงดันไฟฟ้าขาออกของออกซิเจนเซ็นเซอร์ชนิด Wide band	15
8	เซ็นเซอร์ตรวจจับเพลาค้อเหวี่ยง	16
9	หลักการของระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนแบบ D-Jetronic	17
10	หลักการของระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนแบบ L-Jetronic	18
11	แผนผังการควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานจำแนกตามวิธีการวัดอากาศที่ดูดเข้า	19
12	แผนผังขั้นตอนการคำนวณหาปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง	19
13	การกำหนดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงโดยวิธี α -N	20
14	การกำหนดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงโดยวิธี P-N	20
15	ภาพรวมขั้นตอนการศึกษาวิจัยพัฒนาระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์	23
16	กระบวนการหาแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop)	24
17	โครงสร้างแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop)	25
18	โครงสร้างข้อมูลด้านขาเข้าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมแบบวงเปิด (Open loop)	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	กระบวนการหาแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ	27
20	กระบวนการหาแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ	28
21	โครงสร้างการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงแบบยึดหยุ่นในเครื่องยนต์สี่จังหวะแบบหัวฉีดในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	29
22	โครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	30
23	วงจร ฟิลเตอร์สัญญาณรบกวน RPM และ Injection	32
24	รูปสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่วัดได้จาก Sensor และ Controller	32
25	รูปสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในหนึ่งรอบเครื่องยนต์	34
26	ขั้นตอนในการรับสัญญาณและคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์	35
27	แสดงการทดลองเก็บข้อมูลด้วยเครื่องยนต์จักรยานยนต์ ที่ติดตั้งอยู่กับตัวถังรถ และอยู่บนแท่นทดสอบ	38
28	รายละเอียดการต่อชุดคาล์วค็อกเกอร์กับเซ็นเซอร์ของเครื่องยนต์	38
29	หน้าจอ คาล์วค็อกเกอร์	39
30	การต่อระหว่างเครื่องยนต์กับ มาตรฐาน ECU เพื่อควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงและเก็บข้อมูล	40
31	โครงสร้าง 3-30-30-1 ของแบบจำลองการหาระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงระบบควบคุมแบบ Open loop	44
32	โครงสร้าง 2-30-30-1 ของแบบจำลองการหาระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	45
33	แสดงโครงสร้างการทำงานของ CompactRIO	47
34	โครงสร้างโปรแกรมการทำงานการควบคุมใน cRIO	48
35	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบ Feedback และ Feed Forward	49
36	ตารางระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงแต่ละจุดทำงาน	50

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	Front panel การฉีดเชื้อเพลิง บน FPGA	51
38	แผนผังระบบควบคุม AFR แบบป้อนกลับของเชื้อเพลิงผสมแก๊ส โซลีน-เอธานอล	56
39	การต่อระบบควบคุมแบบ Open loop เข้ากับเซ็นเซอร์ของรถจักรยานยนต์ YAMAHA Spark I 135	58
40	หน้าจอการควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมแก๊ส โซลีน-เอธานอล แบบ	59
41	กราฟผลการทดสอบแบบจำลองแบบวงเปิดที่สร้างด้วยฟังก์ชันTansig-Logsig- Pureline	62
42	กราฟผลการทดสอบแบบจำลองแบบวงเปิดที่สร้างด้วยฟังก์ชันTansig-Logsig- Posline	63
43	กราฟผลการทดสอบแบบจำลองแบบป้อนกลับด้วยเชื้อเพลิง E0	69
44	กราฟผลการทดสอบแบบจำลองแบบป้อนกลับด้วยเชื้อเพลิง E20	71
45	กราฟผลการทดสอบแบบจำลองแบบป้อนกลับด้วยเชื้อเพลิง E85	72
46	ผลการควบคุมโดยใช้ P Controller (%TPS=10,RPM=4300)	73
47	กราฟการควบคุมโดยใช้ PI Controller (%TPS=10,RPM=4000)	74
48	กราฟการควบคุมโดยใช้ PID Controller (%TPS=10,RPM=3900)	75
49	ผลการควบคุมเชื้อเพลิงผสมในอัตราส่วนต่างๆที่จุดทำงานสภาวะชั่วขณะ (Transient state) และ สภาวะอยู่ตัว (Steady state) โดยใช้ NN&PIGS Controller	76
50	ผลการควบคุมเชื้อเพลิงผสมในอัตราส่วนต่างๆที่จุดทำงานสภาวะอยู่ตัว (Steady state) โดยใช้ NN&PIGS Controll	77
51	ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงผสม เอธานอล-แก๊ส โซลีน	81

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AFR	=	Air Fuel Ratio
A/F	=	Air Fuel Ratio
BCD	=	Bottom Dead Center
CDI	=	Capacitor Discharge Ignition
CNG	=	Compressed Natural Gas
ECU	=	Engine Control Unite
FPGA	=	Field Programmable Gate Array
I/O	=	Input/Output
LPG	=	Liquefied petroleum gas
NN	=	Neural network
PIGS	=	PI Gain-Scheduling
PI	=	Proportional Integral
PID	=	Proportional Integral Derivative
RPM	=	Revolutions Per Minute
RTC	=	Real Time Controller
TPS	=	Throttle Position
TDC	=	Top Dead Center
λ	=	Lamda
SP	=	Setpoint
PV	=	Process variable
K_p	=	Proportional gain
T_i	=	Integral time (reset time)
E0	=	แก๊สโซลีน 100 เปอร์เซ็นต์
E20	=	เอธานอลผสมแก๊สโซลีนในอัตราส่วน 20:100
E85	=	เอธานอลผสมแก๊สโซลีนในอัตราส่วน 85:15
E100	=	เอธานอล 100 เปอร์เซ็นต์
AFR_{E0}	=	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง E0
AFR_S	=	อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

T_{inj}	=	ระยะเวลาฉีดเชื้อเพลิง
α -N	=	วิธีการใช้รอบเครื่องยนต์และมุมการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อ
P-N	=	วิธีการใช้ความดันในท่อไอดีและรอบเครื่องยนต์
T_i	=	เป็นเวลาทั้งหมดในหนึ่งรอบ (ไมโครวินาที)
fn	=	$1/x$ ใน VI จำนวนความถี่เมื่อครบ 1 รอบ (โดย T_i หน่วย: ไมโครวินาที)
N_s	=	จำนวนรอบเครื่องยนต์ต่อวินาที
N_e	=	จำนวนรอบเครื่องยนต์ต่อวินาที
T_{inj_NN}	=	ค่าระยะเวลาที่ได้จากการประมาณค่าด้วยแบบจำลองแบบวงเปิด
$T_{inj_real\ Engine}$	=	ค่าระยะเวลาที่ได้จากการเก็บข้อมูลเครื่องยนต์ที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ
α	=	เฟคเตอร์เชื้อเพลิงผสมแต่ละชนิดที่ค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
T_{FF-Inj}	=	ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงผสม E0, E20, E85
T_{E0-Inj}	=	ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง แก๊สโซลีน E0
AFR_S^{E0}	=	อัตราส่วนเผาไหม้สมบูรณ์ของอากาศต่อเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน
AFR_S^{En}	=	อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอล อัตราต่างๆ ที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์

การพัฒนาระบบควบคุมป้อนกลับการฉีดเชื้อเพลิงโดยใช้ค่าอัตราขยายพีไอจากตาราง ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม

Development of Fuel Injection Feedback Control System Using PI Gain Scheduling and Artificial Neural Networks

คำนำ

ภายในศตวรรษที่ 21 นี้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ลดน้อยลงและราคาสูงมาก ในขณะที่ยานพาหนะและเครื่องยนต์สันดาปภายในมีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าจะมีพลังงานทดแทนอื่นเช่น LPG, CNG แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จนกระทั่งได้มีการนำแอลกอฮอล์มาใช้ผสมกับแก๊สโซลีนเรียกว่าเชื้อเพลิงผสมหรือเรียกว่าแก๊สโซฮอลล์ โดยปกติจะผสมระหว่างเมธานอลหรือเอทานอลกับแก๊สโซลีนในอัตราส่วนผสมต่างๆ ซึ่งที่ใช้กันแพร่หลาย คือมี E10, E20 และ E85 แต่เครื่องยนต์และระบบควบคุมที่ใช้กับพลังงานทดแทนนั้นเป็นเครื่องยนต์ที่ถูกออกแบบมาสำหรับแก๊สโซลีนโดยเฉพาะ ไม่ได้เหมาะสมกับการพลังงานทดแทนในอัตราผสมดังกล่าว ซึ่งในเบื้องต้นเพื่อให้เครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ขั้วจีในปัจจุบันสามารถใช้เชื้อเพลิงผสมได้จะต้องปรับจังหวะการจุดระเบิด และ ปรับปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงให้เหมาะสม

ที่ผ่านมาได้มีผู้วิจัยเกี่ยวกับพลังงานทดแทนมากมาย ในส่วนการควบคุมอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ ซึ่งในการทำงานของเครื่องยนต์จะส่งผลเกี่ยวกับ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel consumption), กำลังของเครื่องยนต์ (Power consumption), มลพิษ (Exhaust emissions).

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยพัฒนาในส่วนของระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอล (Gasoline-Ethanol) E0, E20, E85 ให้มีมลพิษน้อยที่สุด โดยรักษาค่าการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ตามชนิดของเชื้อเพลิงผสมในอัตราส่วนต่างๆ ที่จุดทำงานที่พิจารณาที่สถานะอยู่ตัว (Steady state) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง และควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ และ ใช้ตัวควบคุม NN& PIGS ที่ควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าโดยโครงข่ายประสาทเทียม (Fausett, 1994) ที่ทำงานแบบ Off line และควบคุมแบบป้อนกลับโดย PIGS เพื่อพัฒนาระบบควบคุมที่สามารถ รองรับการใช้เพลิงผสม แก๊สโซลีน-เอทานอลในทุกอัตราส่วนผสม นำไปสู่การจัดการระบบควบคุมที่เป็นเชื้อเพลิงแบบปรับตัวได้(Flexible Fuel)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน, เชื้อเพลิงผสม แก๊สโซลีน-เอทานอล ต่ออากาศ ที่เผาไหม้สมบูรณ์โดยสัมพันธ์กับรอบเครื่องยนต์และโหลดของเครื่องยนต์
2. เพื่อประยุกต์และศึกษาการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในเทคโนโลยียานยนต์ เกี่ยวกับการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงผสมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์
3. เพื่อใช้ในการศึกษาและทดสอบทฤษฎีการประมาณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงผสม แก๊สโซลีน-เอทานอล ต่ออากาศ E0,E20,E85 โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแทนวิธี Fine tune ซึ่งสามารถประมาณค่าที่ใกล้เคียงโดยไม่ต้องใช้ผู้ชำนาญในขั้นตอนการปรับจูนเวลาการฉีดเชื้อเพลิง
4. เพื่อนำ Gain scheduling ซึ่งเป็นทฤษฎี Nonlinear มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมยานยนต์
5. เพื่อศึกษาและควบคุมระบบฉีดเชื้อเพลิงในยานยนต์แบบป้อนกลับโดยใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอล-แก๊สโซลีน ให้ได้อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่นำไปสู่การลดมลพิษ
6. เพื่อพัฒนาระบบควบคุมที่สามารถรองรับการใช้เพลิงผสม แก๊สโซลีน-เอทานอลในทุกอัตราส่วน ซึ่งนำไปสู่การจัดการระบบควบคุมที่เป็นเชื้อเพลิงแบบปรับตัวได้(Flexible Fuel)
7. เพื่อศึกษาระบบควบคุมที่เหมาะสมกับ Plant ตามเงื่อนไขที่พิจารณา
8. เพื่อเป็นฐานข้อมูลและองค์ความรู้ระบบการจัดการข้อมูลเชื้อเพลิงผสม เอทานอล-แก๊สโซลีน ในส่วนการระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในทุกอัตราส่วนผสม และทุกจุดทำงาน ในการนำไปเป็นแนวทางพัฒนาต่อยอดในลำดับต่อไป

การตรวจเอกสาร

การควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงในยานยนต์เพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์และให้กำลังกับเครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนนั้นจะต้องหาระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมจึงจะได้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่สมดุล ดังนั้นงานวิจัยนี้พิจารณาเกี่ยวกับการหาค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อรักษาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ส่งผลให้ลดมลพิษโดยใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอล-แก๊สโซลีน (E0, E20, E85) ซึ่งส่วนใหญ่ได้มีผู้วิจัยเกี่ยวกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกันมากมายโดยใช้วิธีที่แตกต่างกันออกไป และใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนพิจารณาเป็นพื้นฐานเพื่อนำไปสู่การวิจัยการใช้โดยใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น ดังนี้

Choi and Hedrick (1998) ได้พัฒนาระบบควบคุมอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยใช้วิธี dynamic sliding mode control (DSMC) เพื่อให้การควบคุมมีการตอบสนองที่เร็วและทำให้แอมพลิจูดชัตเตอร์ริงลดลง (Chattering) ใน O_2 Sensor โดยทดลองกับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน

Won *et al.* (1998) ใช้วิธีควบคุมปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบออนไลน์โดยใช้การควบคุมปรับตัวได้ (Adaptive) ซึ่งเป็น โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ฟังก์ชัน Gaussian ร่วมกับ Sliding Mode เพื่อชดเชยความเป็นไดนามิกของการจ่ายเชื้อเพลิงในสภาวะชั่วขณะ (Transient) และ อากาศที่ไหลเข้าทางท่อไอดีซึ่งใช้กับเชื้อเพลิง แก๊สโซลีน

Yoon and Sunwoo (2001) หาพารามิเตอร์จากเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วในการควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงและใช้ Sliding Mode ในการประมาณค่า Speed Density

Wang *et al.* (2006) ได้หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Model Predictive Control (MPC) ในการหาค่าปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยใช้ Adaptive Neural network มาปรับพลวัตความไม่แน่นอนเชิงเส้น และความไม่แน่นอนเชิงพารามิเตอร์ของระบบ. โดยโครงสร้างการเชื่อมต่อเป็นแบบ Radial basis function (RBF) และใช้การเรียนรู้แบบ On-line learning โดยกระบวนการ recursive least-squares (RLS) ในการปรับ Weight การควบคุม และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการควบคุมแบบ PI แต่พบว่าระบบตอบสนองไม่ทัน

Zhai and Yu (2008) ได้ทำเรื่อง Neural network model-based automotive engine air/fuel ratio control and robustness evaluation โดยทำ Simulation ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมค ที่เป็นชนิด RBF ปรับปรุงแก้ไขมาจาก (Wang *et al.* (2006)) ให้เร็วขึ้นโดยใช้วิธี Secant และมีความคงทน โดยพัฒนาให้มีการปรับเลื่อน Set point ได้ ภายใต้ Disturbance ที่มีการเปลี่ยนแปลงของลิ้นปีกผีเสื้อ โดยใช้วิธี reduced Hessian ลดตัวแปรที่ไม่เป็นเชิงเส้นหลายมิติให้เหลือ 1 มิติ ซึ่งไม่ได้ทดลองบนเครื่องยนต์จริงแต่ทดลองจากแบบจำลองที่มีอยู่และปรับปรุงพารามิเตอร์โดยการทำ Simulation บน Matlab

Biao (2009) ปรับปรุง Elman โครงข่ายประสาทเทียม ในการประมาณค่าสัญญาณ AFR ที่ไม่มีการหน่วงเวลาสัญญาณจากออกซิเจนเซ็นเซอร์เป็นแบบ offline และใช้การควบคุมแบบ PI ปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงที่สภาวะชั่วขณะ (Transient) ทำ Simulation บน Simlink ด้วยโมเดลเครื่องยนต์สูบเดียวใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนเพื่อรักษาปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงให้ได้ค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ซึ่งมีค่าผิดพลาด $\pm 3\%$

Ahn *et al.* (2009) ทำเรื่อง “Fuel Puddle Model and AFR Compensator for Gasoline-Ethanol Blends in Flex-Fuel Engines” ศึกษาเกี่ยวกับผลการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงผสมในขณะฉีดเข้าห้องเผาไหม้ และหาพารามิเตอร์เพื่อชดเชยผลของอุณหภูมิอากาศ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด และอุณหภูมิน้ำ โดยคำนวณแบบ offline โดยใช้ข้อมูลเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนเป็นพื้นฐานและทำ Simulation แบบ online โดยการใช้เชื้อเพลิงผสมในอัตราส่วนต่างๆ และปรับตัวแปรดังนี้คือ มวลเชื้อเพลิง, ความเร็วรอบเครื่องยนต์, เชื้อเพลิงอัตราส่วนผสมต่างๆ, อุณหภูมิน้ำ, มวลอากาศ และความหนาแน่นของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด และดูผลกระทบเพื่อหาโมเดลที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์สำหรับเชื้อเพลิง E0-E85 เพื่อเป็นข้อมูลรองรับการนำไปใช้ในการพัฒนาการควบคุมการใช้เชื้อเพลิงแบบปรับตัว (Flexible Fuel)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าจากเซนเซอร์ของเครื่องยนต์
 - 1.1. Oscilloscope
 - 1.2. Multimeter
2. อุปกรณ์ที่ใช้พัฒนาการเก็บข้อมูลและการควบคุม
 - 2.1 O₂ Sensor Meter
 - 2.2 คอมพิวเตอร์แบบพกพา 1 ชุด
 - 2.3 NI Compact-RIO (NI-9012) และ สาย UTP แบบ Cross
 - 2.3.1 cRIO-9012 Realtime PowerPC controller for cRIO
 - 2.3.2 400 MHz processor, 128 MB nonvolatile storage, 64 MB DRAM memory
 - 2.3.3 10/100BASE-T Ethernet port with embedded Web and file servers with remote-panel user interface
 - 2.3.4 RS232 serial port for connection to peripherals; dual 9 to 35 VDC supply inputs
 - 2.3.5 Full-speed USB host port for connection to USB flash and memory devices
 - 2.3.6 -40 to 70 °C operating temperature range
 - 2.4 มอเตอร์ไซค์แบบหัวฉีด YAMAHA 135 Spark I
 - 2.5 Chassis dynamometer
 - 2.6 บอร์ด สร้างสัญญาณ RPM
 - 2.7 น้ำมันเชื้อเพลิง E0 (แก๊ซโซลีน), E20, E85
3. ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิจัยพัฒนาหาโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมและการควบคุมเวลาการฉีดเชื้อเพลิง
 - 3.1 NI LabVIEW Embedded graphical programming
 - 3.1.1 Labview 8.2.1

3.1.2 Realtime 8.2.1

3.1.3 NI Labview FPGA module 8.2.1

3.1.3.1 รอบการทำงาน (Loop rate) สูงถึง 40 Mhz

3.1.3.2 โปรแกรมมีลักษณะเป็นลจิก

3.1.3.3 ทำงานได้หลายอย่าง แบบ Multi tasking จึงมีหลาย Loop และสามารถทำงานพร้อมกันได้

3.1.4 NI-RIO 2.1.8

3.2 MATLAB 7.6.0 (R2008a)

4. ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิจัยพัฒนาหาโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมและการควบคุมเวลาการฉีดเชื้อเพลิง

4.1 NI LabVIEW Embedded graphical programming

4.1.1. Labview 8.2.1

4.1.2. Realtime 8.2.1

4.1.3. NI Labview FPGA module 8.2.1

4.1.1.1. รอบการทำงาน (Loop rate) สูงถึง 40 Mhz

โปรแกรมมีลักษณะเป็นลจิก

4.1.1.2. ทำงานได้หลายอย่าง แบบ Multi tasking จึงมีหลาย Loop และสามารถทำงานพร้อมกันได้

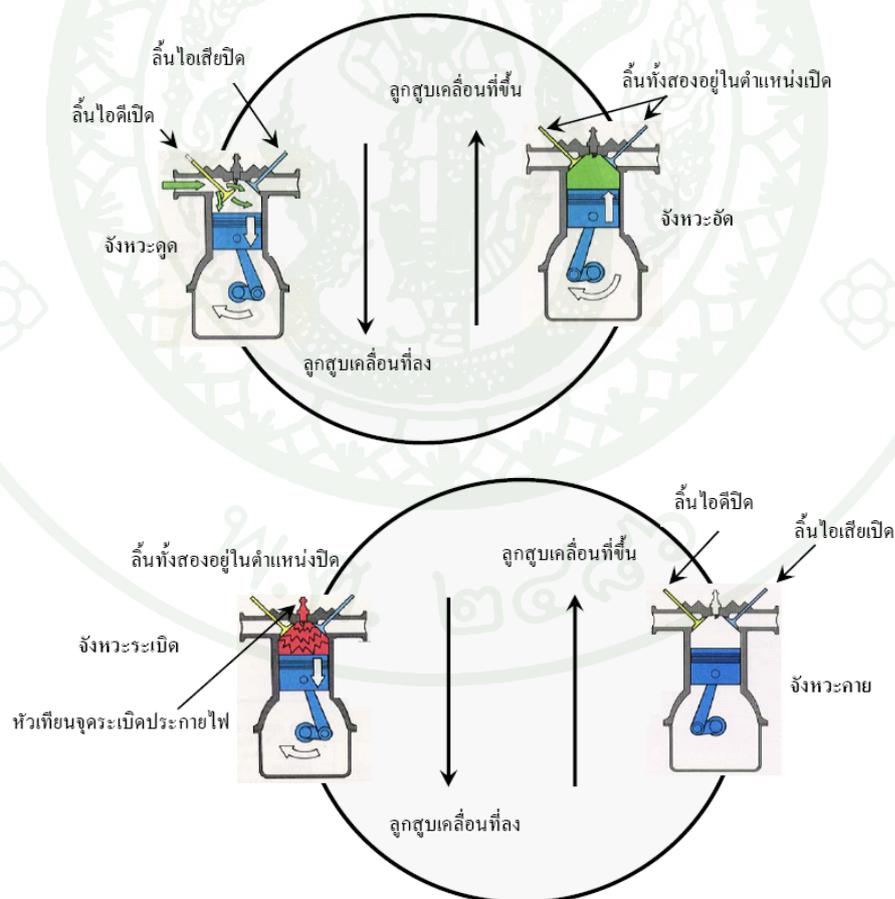
4.1.4. NI-RIO 2.1.8

วิธีการ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. เครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ประเภทนี้เรียกอีกชื่อว่าเครื่องยนต์เบนซิน เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ 4 จังหวะ(ประณต,2008.) แสดงการทำงานดังภาพที่1 โดยลักษณะการทำงานใน 1 รอบ หรือ 1 วัฏจักรการทำงานลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้น-ลง 4 ครั้ง คือเคลื่อนที่ขึ้น 2 ครั้ง เคลื่อนที่ลง 2 ครั้ง หรืออาจกล่าวได้ว่าเพลาค้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ จะได้งาน 1 ครั้ง จังหวะการทำงานจะหมุนเวียนกันอยู่เช่นนี้ตลอดไปจนกว่าเครื่องยนต์จะหยุดทำงาน



ภาพที่ 1 เครื่องยนต์ 4 จังหวะ

จากภาพที่ 1 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน มีการทำงาน 4 จังหวะคือ จังหวะดูด -อัด - ระเบิด - คาย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. จังหวะที่ 1 จังหวะดูด (Intake stroke)

ลูกสูบจะเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบน (TDC) ลงสู่ศูนย์ตายล่าง (BCD) ลิ้นไอดีเปิด ส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงจะถูกดูดเข้ามาบรรจุอยู่ภายในกระบอกสูบโดยผ่านทางลิ้นไอดี จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ลงถึงศูนย์ตายล่างจึงหมดจังหวะดูด ขณะนี้ส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงจะถูกดูดเข้ามาบรรจุอยู่เต็มภายในกระบอกสูบ

2. จังหวะที่ 2 จังหวะอัด (Compression stroke)

จังหวะนี้จะต่อเนื่องมาจากจังหวะดูดคือ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงถึงศูนย์ตายล่างแล้ว จะเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นสู่ศูนย์ตายบน ขณะนี้ทั้งลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียจะปิดสนิท ส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบจะถูกอัดตัวขึ้นไปเรื่อยๆ ตามการเคลื่อนตัวของลูกสูบ จังหวะนี้จะสิ้นสุดลงก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นถึงศูนย์ตายบนเพียงเล็กน้อย

3. จังหวะที่ 3 จังหวะระเบิด (Expansion stroke)

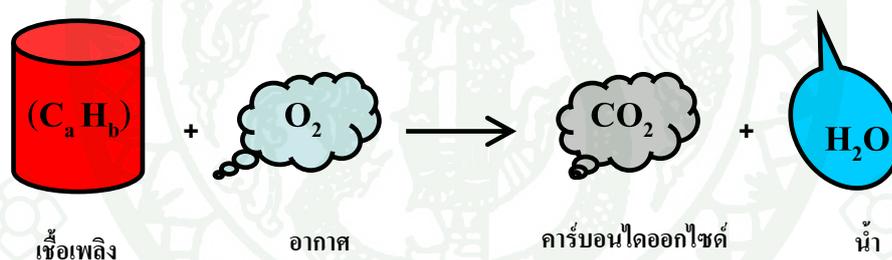
จังหวะนี้บางที่เรียกว่าจังหวะงาน (Power stroke) จังหวะนี้จะเกิดขึ้นตอนปลายจังหวะอัด โดยส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงจะถูกจุดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน จึงทำให้เกิดการเผาไหม้และเกิดแรงระเบิดอย่างรุนแรงผลักดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง เราจะไต่งานจากจังหวะนี้

4. จังหวะที่ 4 จังหวะคาย (Exhaust stroke)

หลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ลงอันเนื่องมาจากแรงระเบิดจนถึงศูนย์ตายล่าง ลิ้นไอเสียจะปลดปล่อยให้ไอเสียอันเกิดจากการเผาไหม้ออกไปจากกระบอกสูบ และยังคงเปิดอยู่จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งการเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะนี้จะเป็นการช่วยในการขับไอเสียอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงเวียนเข้าหาจังหวะดูดอีก และจะเป็นเช่นนี้ตลอดเวลาที่เครื่องยนต์ทำงาน

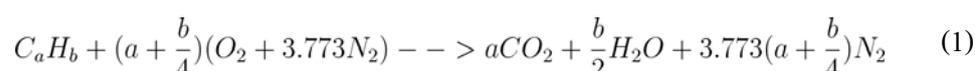
2. ปฏิกริยาของการสันดาปของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

เครื่องยนต์สันดาปภายในได้พลังงานจากการสันดาปของเชื้อเพลิง โดยทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนในอากาศกับไฮโดรคาร์บอน ทำให้ได้พลังงานในรูปของความร้อนออกมา และทำให้ความดันภายในกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากผลของปฏิกิริยาการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้เกิดขึ้นในจังหวะระเบิดของเครื่องยนต์จึงสามารถนำกำลังไปใช้งานได้ ในบรรยากาศโดยทั่วไปอากาศแห้งประกอบด้วยออกซิเจนประมาณ 21%, ไนโตรเจน 78%, อาร์กอน 0.93 % และ ก๊าซอื่นๆ 0.07 % โดยปริมาตร หรือ ออกซิเจนประมาณ 23% และ ไนโตรเจน 77% โดยน้ำหนัก(เจษฎา,2003) เชื้อเพลิงจะปลดปล่อยพลังงานเคมี (ความร้อน) ออกมาให้ใช้งานได้สูงสุด ก็ต่อเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในสัดส่วนสมมูล (stoichiometric) ปริมาณออกซิเจนเหมาะสมสูงสุดทางทฤษฎี จะเหมาะสมกับการแปลงคาร์บอน(C) ในเชื้อเพลิงให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)และแปลงไฮโดรเจน(H₂) เป็นน้ำ (H₂O) พอดี โดยไม่มี ออกซิเจน ภาพที่ 2 แสดงการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศดังนี้ (Probst, 1991)



ภาพที่ 2 การทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ

ปริมาณของอากาศที่เหมาะสมกับปริมาณของเชื้อเพลิงทำให้เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้สมมูล หรือเรียกว่า Stoichiometric Air-Fuel ratio ดังสมการเคมีสมดุลของเชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอนที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมมูล (Bayraktar, 2005) คือ



เมื่อ a และ b คือ จำนวนโมเลกุลของคาร์บอนและไฮโดรเจน ถ้าจำนวนโมเลกุลต่างกันจะทำให้มีลักษณะที่แตกต่างกัน

จากสมการที่ (1) จะเห็นว่าเชื้อเพลิง(HC) ทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจน(O) และไนโตรเจน(N) ดังนั้น จากความสัมพันธ์สัดส่วน โมเลกุลขององค์ประกอบของเชื้อเพลิงเขียนเป็น CH_y

กำหนดให้ $y = b/a$

ดังนั้นสัดส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศสำหรับปฏิกิริยาการสันดาปสมบูรณ์ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเชื้อเพลิงด้วย สำหรับสมการความสัมพันธ์ของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยน้ำหนักที่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์แสดงดังสมการที่ (2)

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{Mass_{Air}}{Mass_{Fuel}} = \frac{(1+y)(32 + 3.773x28.16)}{12.011 + 1.008y} \quad (2)$$

แสดงน้ำหนักต่อโมลของส่วนประกอบของก๊าซในอากาศสำหรับการเผาไหม้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักต่อโมลของก๊าซในอากาศ

ส่วนประกอบของก๊าซในอากาศสำหรับการเผาไหม้	น้ำหนักก๊าซ (กิโลกรัม/กิโลโมล)
ออกซิเจน (Oxygen)	32
ไนโตรเจน (Atmospheric nitrogen)	28.16
คาร์บอน (Atomic carbon)	12.011
ไฮโดรเจน (Atomic hydrogen)	1.008

เพื่อการควบคุมอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศให้ได้ตามต้องการจึงได้มีการวัดปริมาณออกซิเจน โดยใช้ O_2 เซ็นเซอร์ เพื่อตรวจวัดการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ในระหว่างที่มีการสันดาปที่ปลายท่อไอเสียของเครื่องยนต์ โดยวัดเป็นค่า λ (lamda) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 3

$$\lambda = \frac{(A/F)_{actual}}{(A/F)_{stoich}} \quad (3)$$

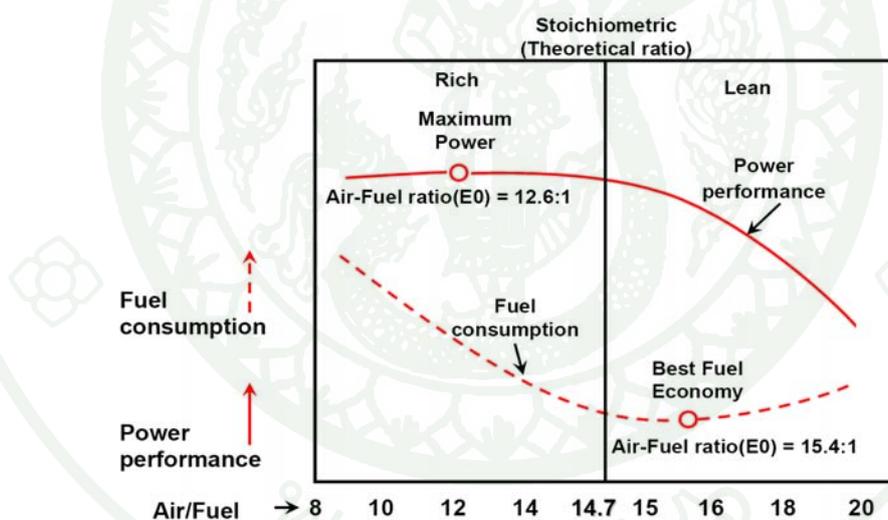
เมื่อ $(A/F)_{actual}$ เป็นปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบจริง

$(A/F)_{stoich}$ ปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎีที่ถูกดูดเข้ากระบอกสูบ

อัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (Stoichiometer Air Fuel Ratio) เป็นอัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำเป็นสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์สำหรับแก๊สโซลีนเท่ากับ 14.7:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่า $\lambda = 1$

ซึ่งถ้าคำนวณได้ $\lambda < 1$ เรียกว่าเป็น ส่วนผสมหนา (Rich) คือจำนวนอากาศไม่เพียงพอกับจำนวนเชื้อเพลิง และถ้า $\lambda > 1$ เรียกว่าเป็น ส่วนผสมบาง (Lean) คือจำนวนอากาศมากเกินไปสำหรับจำนวนเชื้อเพลิง โดยปริมาตรอากาศที่ป้อนจะถูกกำหนดโดยปริมาตรการดูด แต่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรการดูดและมวลของอากาศจะไม่เป็นสัดส่วนกันเสมอ มวลอากาศจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, ความดันบรรยากาศและความชื้น ดังนั้นส่วนผสม A/F จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศด้วย

จากอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงมีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์สามารถอธิบายด้วยกราฟดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศในอัตราส่วนต่างๆ (Probst. 1991)

จากภาพที่ 3 จะเห็นว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ส่วนผสมหนา (Rich) ในการเผาไหม้ส่งผลให้มีปริมาณเชื้อเพลิงหลงเหลือจากการเผาไหม้ ทำให้มีมลพิษเพิ่มขึ้นและเครื่องยนต์มีกำลังสูง ซึ่งในแก๊สโซลีนเครื่องยนต์ให้กำลังสูงสุดเมื่ออัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 12.6:1 จากการเผาไหม้ส่วนผสมหนา ค่า λ มีค่าน้อยกว่า 1

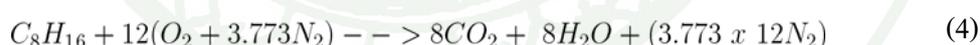
เมื่อเป็นอัตราส่วนผสมบาง (Lean) นั้นหมายความว่าปริมาณเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องยนต์น้อยเกินไป ทำให้เครื่องยนต์มีอุณหภูมิเครื่องยนต์มีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้มีมลพิษเพิ่มขึ้นและเครื่องยนต์มีกำลังลดลง ซึ่งอัตราส่วนเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนต่ออากาศที่ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยที่สุดเท่ากับ 14.4:1 และค่า λ ของการเผาไหม้ส่วนผสมบางมีค่ามากกว่า 1

การเผาไหม้ในอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงอากาศพอดีจากกราฟเส้นแบ่งครึ่งตรงกลางซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์มีมลพิษต่ำสุด แต่เป็นจุดทำงานที่ให้กำลังค่อนข้างสูงและค่อนข้างประหยัดเชื้อเพลิงที่อยู่ในเกณฑ์และจุดทำงานที่ให้ประสิทธิภาพดี โดยมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 14.7:1 เมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน และทำให้ค่า λ มีค่าเท่ากับ 1

2.1 แก๊สโซลีน

แก๊สโซลีน (E0) ทำมาจากส่วนผสมของสารไฮโดรคาร์บอน C_aH_b ซึ่งประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน (Heywood, 1988.) เนื่องจาก แก๊สโซลีน ที่มีขายตามท้องตลาดมีองค์ประกอบ

ของไฮโดรคาร์บอนจำนวนมาก โดยที่มีจำนวนโมเลกุล a และ b ของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนที่แตกต่างกันจึงทำให้มีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น เฮกเซน C_6H_{14} , ไอโซออกเทน C_8H_{18} ซึ่งองค์ประกอบธาตุที่ให้ค่า Stoichiometric เท่ากับ 14.7 คือ C_8H_{16} มีสมการการเผาไหม้สมบูรณ์ (เจษฎา, 2003) ดังนี้



เมื่อ C_8H_{16} เป็นเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน น้ำหนัก 112.2134 กิโลกรัม

ใช้อากาศ $12(O_2 + 3.773N_2)$ ในการเผาไหม้ น้ำหนัก 1652.323 กิโลกรัม

$$\text{ดังนั้นอัตราส่วน อากาศต่อเชื้อเพลิง } (AFR_s) = \frac{1652.323}{112.2134} = 14.7$$

3. ปริมาณอากาศและมวลอากาศ

มวลอากาศจะแปรผันกับอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความชื้น ดังนั้นอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F) เปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ (นิรนาม และ Yamaha, ม.ป.ป.)

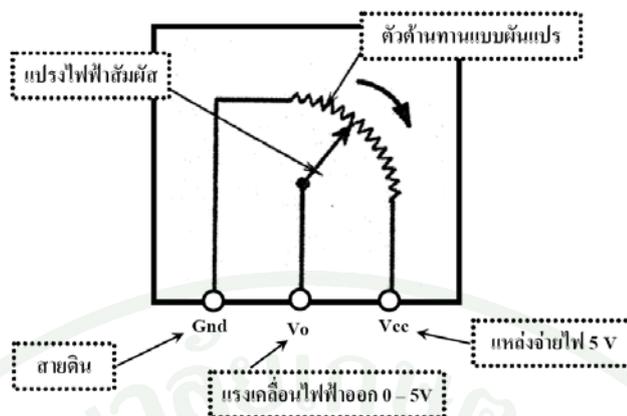
1. อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้โมเลกุลของอากาศอยู่ห่างกันมากขึ้นและส่งผลให้ความหนาแน่นของอากาศลดลงนั่นหมายความว่าน้ำหนักของอากาศลดลง ดังนั้นเมื่อเปิดลิ้นเร่งเท่าเดิมจึงทำให้อัตราส่วนผสม A/F หนาขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าอากาศเย็นลงถ้าเปิดลิ้นเร่งเท่าเดิมจ่ายเชื้อเพลิงเท่าเดิม เมื่ออากาศเข้ามาโมเลกุลอากาศจะมีความหนาแน่นมากขึ้นนั่นหมายความว่าน้ำหนักของอากาศมีค่ามากขึ้น จึงทำให้ ส่วนผสม A/F บาง

2. ความดันบรรยากาศ เนื่องจากความดันบรรยากาศเทียบกับระดับน้ำทะเล คือ ถ้าระดับน้ำทะเลสูงขึ้นจะทำให้มวลอากาศสูงขึ้น ความดันบรรยากาศมีผลต่อความหนาแน่นของมวลอากาศ เช่น ขณะที่เครื่องยนต์ทำงานในอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิง 14.7:1 ที่ระดับน้ำทะเลและถ้าระดับน้ำทะเลสูงขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นของอากาศลดลงนั่นหมายความว่ามวลอากาศลดลง ทำให้ส่วนผสมหนาขึ้น

3. ความชื้น มวลอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ คือ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้ความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้มวลอากาศลดลง เช่นถ้าเปิดลิ้นเร่งเท่าเดิม จ่ายน้ำมันเท่าเดิม แต่ความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น มีผลทำให้มวลอากาศลดลง จึงทำให้ได้อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F) มีอัตราส่วนผสมหนา

4. เซ็นเซอร์ที่ใช้ในระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงพื้นฐาน

4.1 เซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง (Throttle valve) (ภาพที่4) ทำหน้าที่ตรวจจับตำแหน่งการเปิดของลิ้นเร่ง ซึ่งได้จากแรงดันตกคร่อมความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงค่าตามตำแหน่งเปิดปิดของลิ้นเร่ง โดยเมื่อลิ้นเร่งปิดสนิทก็จะมีแรงดันตกคร่อม 0 โวลต์ แต่เมื่อลิ้นเร่งเปิดเต็มที่ก็จะมีแรงดันตกคร่อม 5 โวลต์ การป้อนอากาศ ท่อไอดีเป็นระบบนำไอดีเข้าสู่เครื่องยนต์ ซึ่งในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ถูกควบคุมโดยสายคันเร่งจากจากเป็นเหยียบคันเร่งรถ เพื่อให้ลิ้นเร่งเปิดควบคุมปริมาณอากาศเข้าสู่กระบอกสูบได้มากน้อยตามต้องการ ดังนั้นตัวตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่งจะทำหน้าที่บอกตำแหน่งของลิ้นเร่งเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า 0-5 โวลต์เพื่อนำไปใช้ควบคุมการในการปรับระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง (พิเชฐ, 2008)



ภาพที่ 4 เซ็นเซอร์จับตำแหน่งลิ้นเร่ง

4.2 เซ็นเซอร์ตรวจจับปริมาณ ออกซิเจน (Oxygen sensor) ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนบางที่เรียกว่า ตัวตรวจจับแลมบ์ดา (Lamda sensor) ดังภาพที่ 5 จะทำหน้าที่ตรวจจับปริมาณของออกซิเจนที่ท่อไอเสียแล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อป้อนกลับมาควบคุมการปรับระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เป็นไปตามหลักทฤษฎี จึงทำให้เครื่องยนต์มีการเผาไหม้สมบูรณ์ (นพดล, 2002)



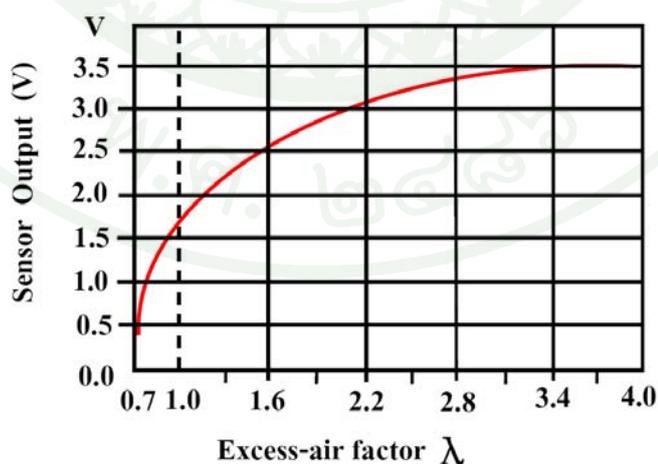
ภาพที่ 5 ออกซิเจนเซ็นเซอร์

ตัวตรวจจับปริมาณออกซิเจนแบ่งออกเป็นสองชนิดคือ Narrow Band และ Wide Band โดย Narrow Band จะมีช่วงในการวัดที่แคบ โดยค่า AFR อยู่ในช่วง 14-15 โดยปกติเซ็นเซอร์จะให้เอาท์พุท 0 และ 1 โวลต์ แสดงกราฟการทำงานดังภาพที่ 6 ปกติเซ็นเซอร์ชนิดนี้จะติดมากับรถที่ผ่านการปรับแต่งปริมาณเชื้อเพลิงต่ออากาศเรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง A/F กับแรงดันไฟฟ้าขาออกของ O₂ Sensor ชนิด Narrow band

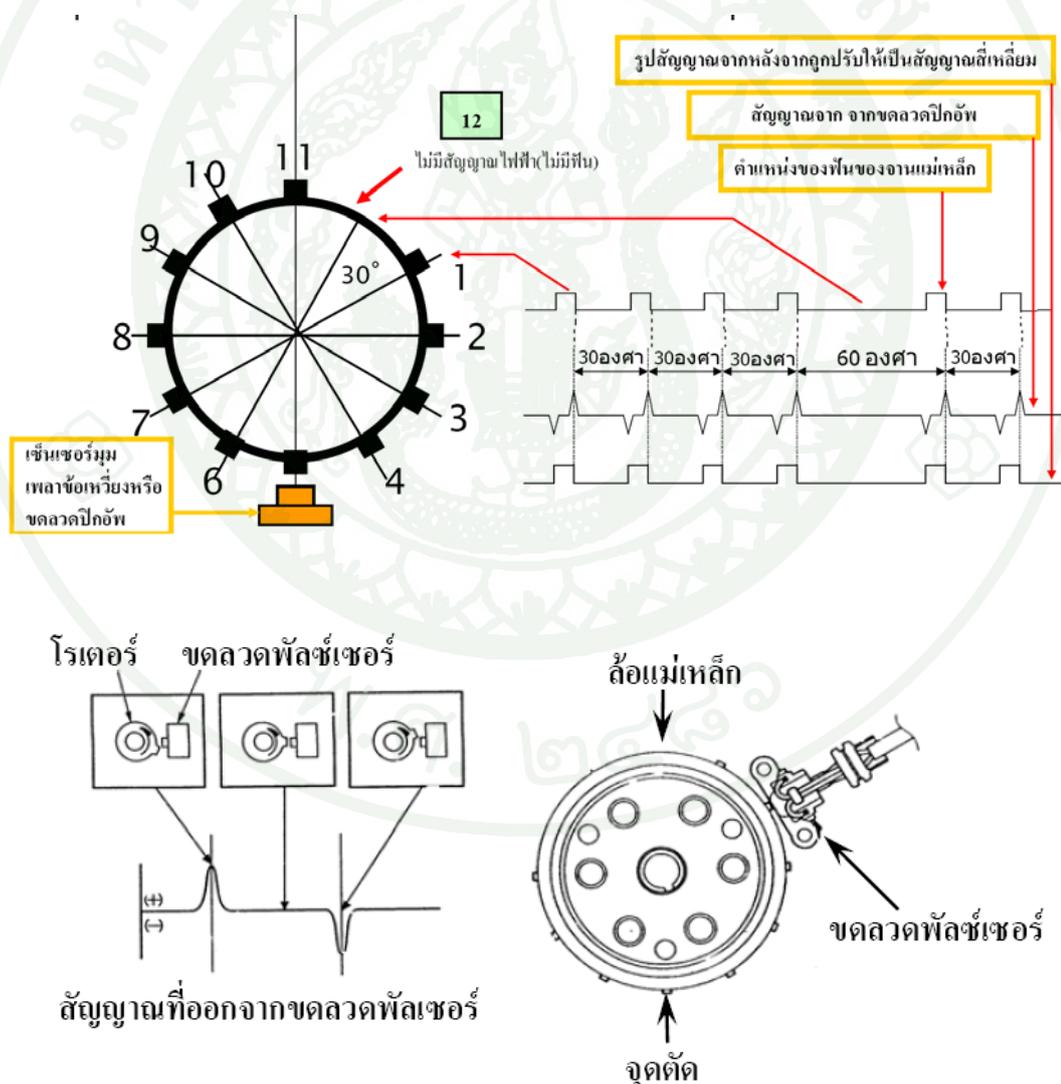
ส่วนแบบ Wide band วัดได้ละเอียดกว่าและให้ค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นเชิงเส้น ซึ่งให้ค่าเอาต์พุตเป็นกระแสเวลาใช้งานก็แปลงกระแสเป็นแรงดัน ซึ่งสามารถออกแบบขยายแรงดันได้ตามต้องการโดยสามารถทำการคำนวณค่าได้โดยเทียบบัญญัติไตรยางค์ ปกติที่ใช้กับมิเตอร์ก็จะใช้แรงดันในช่วง 0-1 โวลต์ และ 1-2 โวลต์ ซึ่งในภาพที่ 7 ผ่านการแปลงกระแสเป็นแรงดันแล้วให้เอาต์พุต 0.5 – 3.5 โวลต์ และตรวจจับปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิง(A/F) ได้ช่วง 10-58.8 ออกซิเจนเซ็นเซอร์ชนิดนี้ใช้เพื่อการปรับแต่งอัตราส่วนผสมแบบละเอียด



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง A/F กับแรงดันไฟฟ้าขาออกของออกซิเจนเซ็นเซอร์ชนิด

Wide band

4.3 เซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง (Crank Sensor เซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยง) (นิรนาม และ Yamaha, ม.ป.ป.) (ภาพที่ 8) ประกอบด้วยขดลวดปิกอัพ (pick up coil) หรือ ฟลักซ์เซอร์และโรเตอร์ โรเตอร์จะหมุนตามเพลาข้อเหวี่ยง เมื่อฟันของโรเตอร์หมุนผ่านขดลวดปิกอัพหรือฟลักซ์เซอร์ก็จะกำเนิดกระแสไฟฟ้าสลับขึ้น และที่งานแม่เหล็กที่ติดกับโรเตอร์จะมีฟันที่มีระยะเยื้องออก ซึ่งแตกต่างจากฟันอื่นๆของงานแม่เหล็ก ทำให้ไม่มีการเหนี่ยวนำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งจากภาพที่มีฟันจะมีสัญญาณไฟฟ้าเป็นช่วงๆ จากสัญญาณดังกล่าวทำให้สามารถหามุมเพลาข้อเหวี่ยงและรอบของเครื่องยนต์ได้ รวมทั้งในการหาจังหวะการฉีดเชื้อเพลิง ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ยังถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงร่วมกับสัญญาณจาก เซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง (TPS)

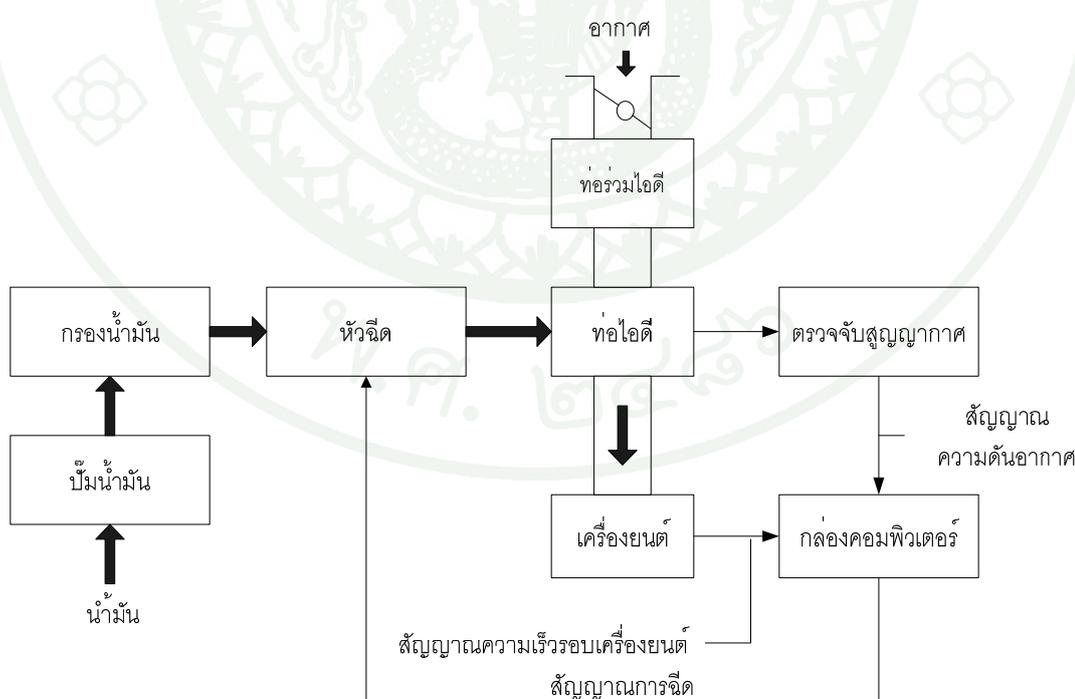


ภาพที่ 8 เซ็นเซอร์ตรวจจับเพลาข้อเหวี่ยง

5. ระบบหัวฉีดในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

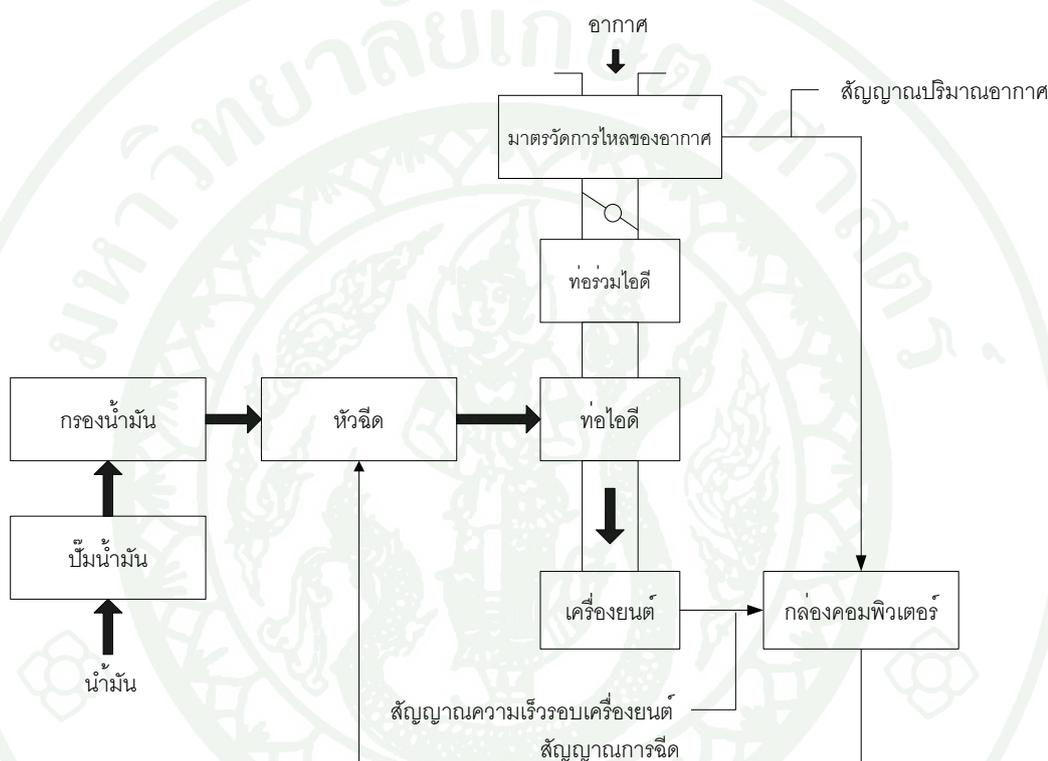
ระบบหัวฉีด ทำให้เพิ่มสมรรถนะในการป้อนไอดีและทำให้ได้กำลังเพิ่มขึ้นสำหรับเครื่องยนต์แบบหลายสูบ เนื่องจากมีการเพิ่มสมรรถนะระบบป้อนไอดี ระบบหัวฉีดจึงมีข้อดีสำหรับเครื่องยนต์ที่ต้องการให้มีส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศที่เหมาะสม สามารถจำแนกระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Fuel Injection System) เป็น 2 แบบ คือ D-Jetronic และแบบ L-Jetronic (นพคส, 2002)

5.1 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ D-Jetronic จะตรวจสอบความดันสูญญากาศโดยใช้ MAP และคำนวณปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าจากนั้นจึงฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงไปบนพื้นฐานที่กำหนดให้มีปริมาณเหมาะสมและควบคุมอัตราส่วน อากาศ-น้ำมันเชื้อเพลิง (A/F Ratio) ให้เหมาะสม ในการควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานซึ่งเป็นระยะเวลาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดที่ทำให้เกิดอัตราส่วนผสมของอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (โดยน้ำหนัก) ในระบบ D-Jetronic (ภาพที่ 9) ระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิง ถูกกำหนดด้วยสัญญาณไฟฟ้าจากค่าความดันอากาศในท่อร่วมไอดีและสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์



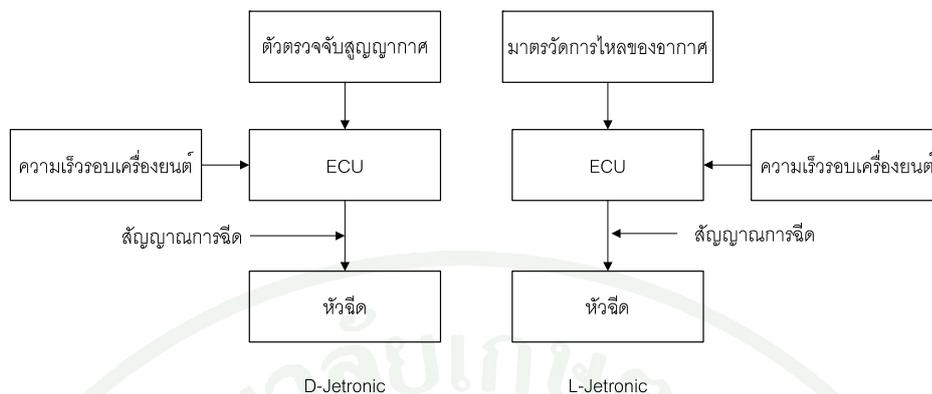
ภาพที่ 9 หลักการของระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนแบบ D-Jetronic

5.2 ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ L-Jetronic หลักการของระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนแบบ L-Jetronic ใช้ระบบวัดการไหลของมวล (น้ำหนัก) อากาศใช้มิเตอร์วัดปริมาณการไหลของอากาศ ระบบ L-Jetronic (ภาพที่10) ระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานของหัวฉีดจะถูกกำหนดด้วย สัญญาณไฟฟ้าจากมาตรวัดการไหลของอากาศหรือ Hot wire และสัญญาณความเร็วรอบของ เครื่องยนต์แสดงแผนผังการควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 หลักการของระบบฉีดเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนแบบ L-Jetronic

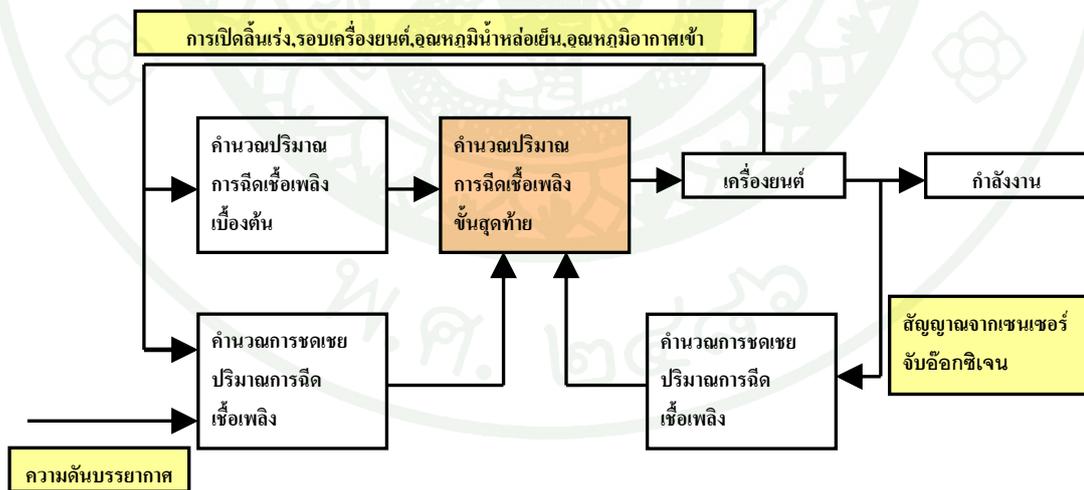
ดังนั้นจากระบบการฉีดเชื้อเพลิงข้างต้น เราสามารถจำแนกวิธีการวัดอากาศที่ดูเข้าได้เป็นสองวิธี แสดงดังภาพที่ 11 ประกอบด้วยการวัดปริมาณอากาศโดยตรงและวัดปริมาณอากาศทางอ้อม ซึ่งเรียกระบบวัดปริมาณการไหล (Mass Flow System) ซึ่งเป็นการวัดปริมาณอากาศโดยตรง ส่วนการวัดปริมาณอากาศทางอ้อม จะใช้ความสัมพันธ์ของความดันในท่อไอดี, องศาสิ้นเร่งและความเร็วรอบเครื่องยนต์ จากนั้น ECU จะคำนวณปริมาตรอากาศ และระบบการวัดทางอ้อม ซึ่งจะใช้ความดันในท่อไอดีเรียกว่าอัตราเร็วหนาแน่น (Speed density) ระบบการวัดปริมาณอากาศทางอ้อมใช้ของศาลิ้นเร่งเรียกว่า ความเร็วลิ้นเร่ง (Throttle Speed)



ภาพที่ 11 แผนผังการควบคุมระยะเวลาในการฉีดพื้นฐานจำแนกตามวิธีการวัดอากาศที่ดูดเข้า

6. การฉีดเชื้อเพลิง

ในการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงในรถที่ใช้แบบหัวฉีดโดยทั่วรถที่มีระบบการจ่ายเชื้อเพลิงแบบ D-Jetronic มีเงื่อนไขในการพิจารณาในการคำนวณหาปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงหลายขั้นตอนมีหลายสภาวะการทำงานและมีหลายตาราง

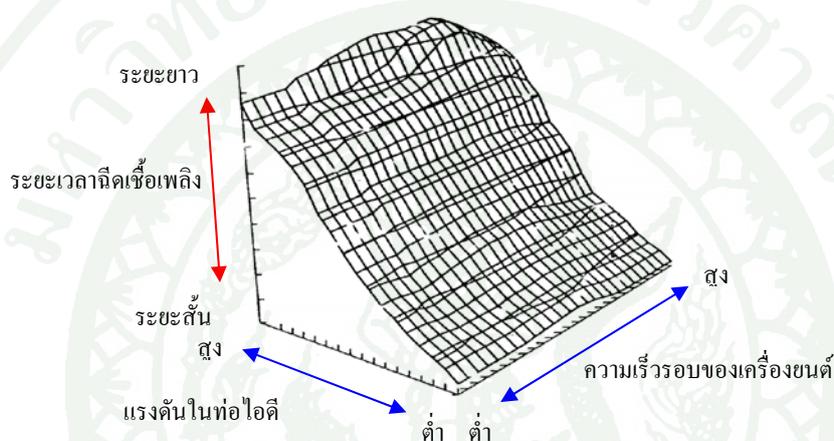


ภาพที่ 12 แผนผังขั้นตอนการคำนวณหาปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง

ซึ่งเงื่อนไขที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อคำนวณหาปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง คือ ความดันบรรยากาศ, การเปิดลิ้นเร่ง, ความเร็วรอบเครื่องยนต์, อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น, อุณหภูมิอากาศเข้า พิจารณาภาพที่ 12

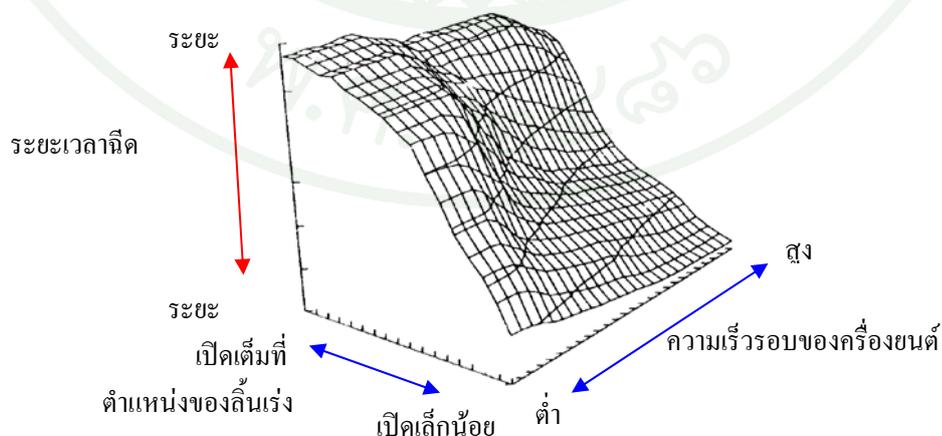
เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับมีการป้อนกลับสัญญาณจาก อ็อกซิเจนเซนเซอร์ เพื่อคำนวณหาปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง, จังหวะการฉีด, กำหนดระยะเวลาการฉีด โดยปริมาณการฉีดขั้นสุดท้ายจะขึ้นอยู่กับระบบควบคุม 2 ประเด็น คือ การควบคุมการฉีดเบื้องต้น และ การควบคุมการชดเชยปริมาณการฉีด ในระบบควบคุมหัวฉีดเชื้อเพลิง ดังนั้นค่าปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงพื้นฐานที่ใช้วิธีการวัดปริมาณอากาศทางอ้อม มี 2 วิธีคือ (นิรนาม และ Yamaha, ม.ป.ป.)

1. α -N เป็นวิธีการใช้รอบเครื่องยนต์และมุมการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อ



ภาพที่ 13 การกำหนดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงโดยวิธี α -N

2. P-N เป็นวิธีการใช้ความดันในท่อไอเสียและรอบเครื่องยนต์



ภาพที่ 14 การกำหนดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงโดยวิธี P-N

ระบบที่อาศัยความเร็วรอบเครื่องยนต์และมุมการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อ ($\alpha - N$) ปริมาณอากาศ (ภาพที่ 13) จะสัมพันธ์กับมุมการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อที่รอบเครื่องยนต์สูง แต่มีความถูกต้องไม่สูงนักที่รอบเครื่องต่ำ

ส่วนระบบ P-N (ภาพที่ 14) เป็นระบบที่ทำงานโดยอาศัยรอบเครื่องยนต์และความดันที่ท่อไอดี ปริมาณอากาศเข้าจะสัมพันธ์โดยตรงกับความดันในท่อไอดีที่รอบเครื่องยนต์ต่ำแต่จะถูกต้องไม่สูงนักที่รอบความเร็วสูง



วิธีการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการบริหารจัดการกับเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอลซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกนำมาใช้กับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่เป็นระบบไม่เป็นเชิงเส้น (Kiencke and Nielsen, 2003) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงผสมให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ลดมลพิษ ได้ทดลองกับจักรยานยนต์ยี่ห้อยามาฮา รุ่น 135 Spark I 4 จังหวะ ขนาด 1 สูบ แบบหัวฉีด ซึ่งเป็นระบบ D-Jettronic ในการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อให้การสันดาปมีการเผาไหม้สมบูรณ์ ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการสร้างแบบจำลองการทำงานของเครื่องยนต์อย่างหยาบและนำมาคำนวณหาระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงในช่วงที่พิจารณาตามเงื่อนไข โดยในการทดลองเก็บข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองได้ทำการทดลองกับ ECU ที่ติดมากับเครื่องยนต์เดิมซึ่งเป็นระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop) และได้ทำการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ(Feedback) โดยใช้มาสเตอร์ ECU ที่สร้างจาก NI Compact-RIO และทำการพัฒนาโปรแกรมบน NI LabVIEW embedded เพื่อฉีดเชื้อเพลิง และเก็บข้อมูลที่จุดทำงานสถานะคงตัวของเครื่องยนต์ที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ที่จุดที่พิจารณา และทดสอบผลการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง โดยเปรียบเทียบผลการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบเปิดตารางอย่างเดียว และการควบคุมแบบใช้ตารางร่วมกับ PI (Bayraktar, 2005) และได้มีการควบคุมโดยใช้ ตารางร่วมกับตัวควบคุมแบบ P, PID (Astrom and Hagglund, 1995), PIGS (Astrom and Wittenmark, 1995) เพื่อที่จะหาระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมที่สุดกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบนี้โดยสามารถสรุปรายละเอียดขั้นตอนการออกแบบวิจัยการสร้างแบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (Hagan, Demut and Beale, 1996) และขั้นตอนการศึกษาวิจัยพัฒนาระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมดังแผนผังภาพที่ 15

1. ภาพรวมขั้นตอนการศึกษาวิจัยพัฒนาระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์

เงื่อนไขการหาแบบจำลองประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงคือการที่แบบจำลองสามารถประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ โดยมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 14.7:1 โดยเริ่มเก็บข้อมูลจากเครื่องยนต์ที่ควบคุมแบบ Open loop และประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง ตรวจสอบว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ทำให้ได้ค่า AFR = 14.7 หรือไม่ จากการทดสอบพบว่า การหาแบบจำลองจากระบบควบคุมดังกล่าว

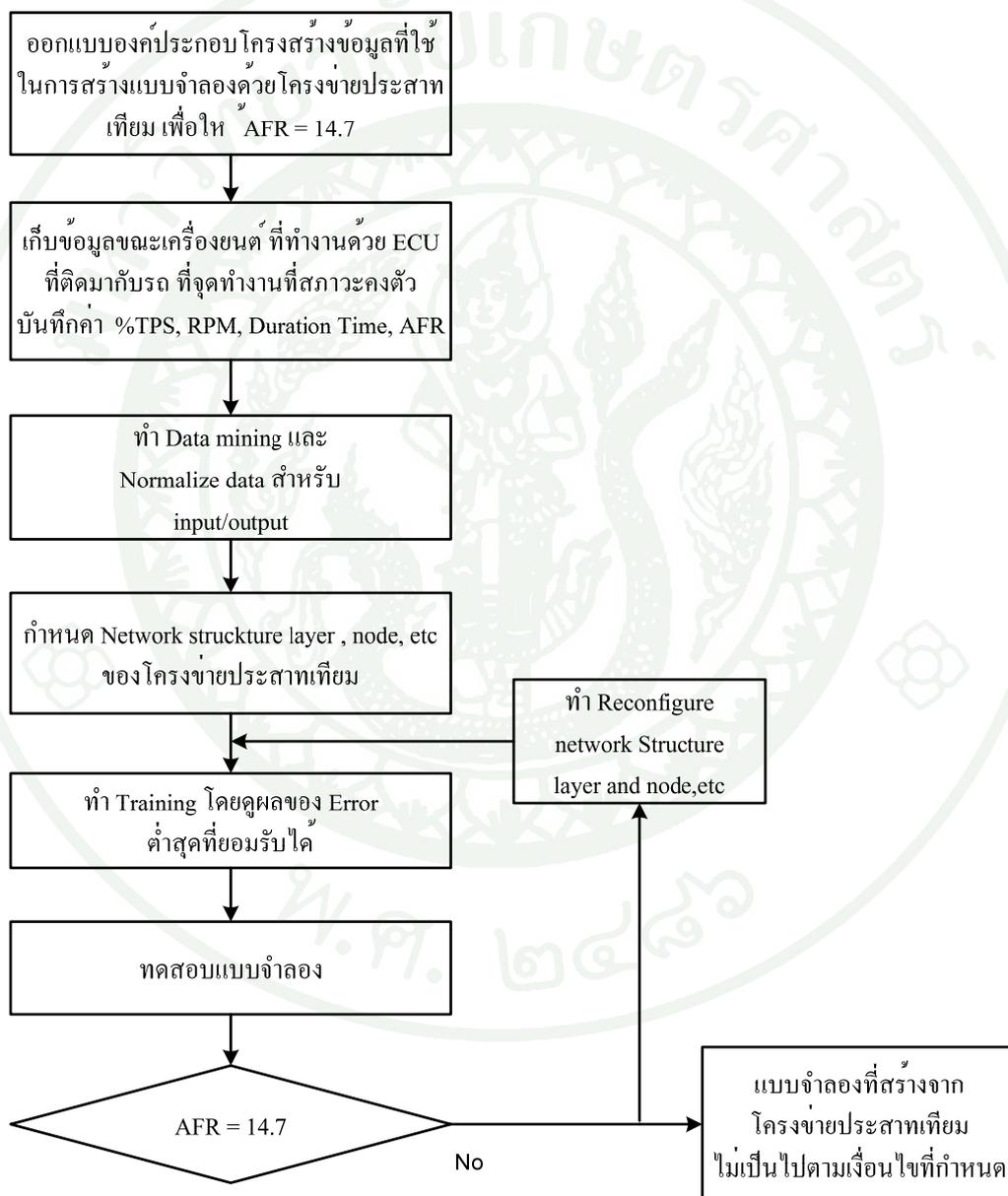
ไม่สามารถทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ ได้จึงเปลี่ยนเงื่อนไขโครงสร้างของข้อมูลแบบจำลอง โดยเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมที่เป็นแบบป้อนกลับ (Feedback control) และทำการทดสอบประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากแบบจำลองว่าเป็นไปตามเงื่อนไขหรือไม่ ($AFR = 14.7$) เมื่อได้ตามเงื่อนไข นำค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงมาควบคุมแบบเปิดตารางเป็นลักษณะการควบคุมแบบ Open loop และควบคุมแบบ โดยใช้วิธีเปิดตารางร่วมกับตัวควบคุม P, PI, PID, PIGS เป็นลักษณะการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) และทดสอบกับเชื้อเพลิงผสม E0, E20, E85 ตรวจสอบว่าควบคุม AFR ได้ตามค่า Set point ทุกจุดทำงานหรือ และเลือกระบบที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่สุดที่เป็นไปตามเงื่อนไขการควบคุม



ภาพที่ 15 ภาพรวมขั้นตอนการศึกษาวิจัยพัฒนาระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์

1.1 การหาแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop)

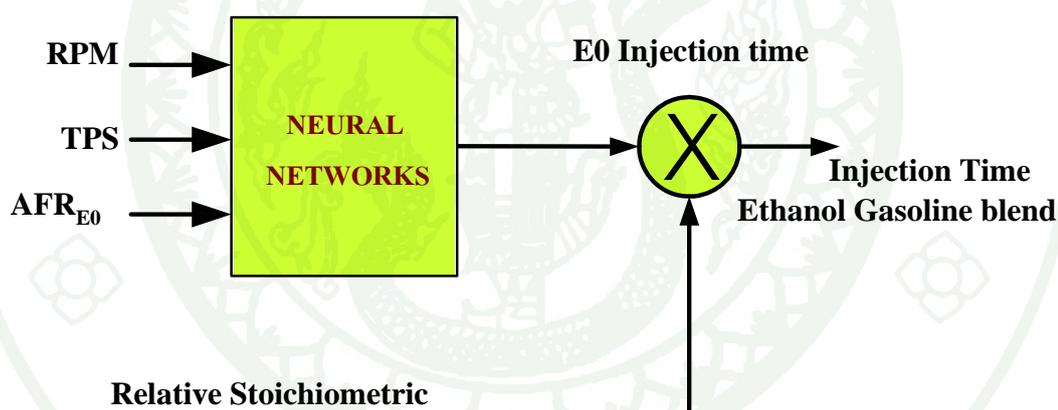
กระบวนการหาแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด แสดงดังภาพที่16



ภาพที่ 16 กระบวนการหาแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop)

1.1.1 การออกแบบของค้ประกอบโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop)

ในการควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงในระบบควบคุมแบบวงเปิดไม่ได้ทำการวัดปริมาณของอากาศโดยตรงแต่จะควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง โดยใช้สัญญาณตำแหน่งลิ้นเร่ง (TPS) และสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (RPM) เป็นข้อมูลในการหาปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง จะเห็นว่าการควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงพื้นฐานขึ้นอยู่กับตำแหน่งของลิ้นเร่งเปิดและความเร็วรอบเครื่องยนต์และเพื่อให้รู้อัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศจึงต้องมีการวัดปริมาณออกซิเจนที่ท่อไอเสีย เพื่อที่จะใช้สร้างแบบจำลองที่รักษาอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จึงได้ออกแบบ โครงสร้างข้อมูลของแบบจำลองดังภาพที่ 17 ข้อมูลที่ได้จากการคุมในการทดลองนี้ได้จาก ระบบควบคุมที่ติดมากับรถ



ภาพที่ 17 โครงสร้างแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop)

โดยโครงสร้างข้อมูลกำหนดให้มีอินพุทของแบบจำลอง 3 อินพุท 1 เอาท์พุท คือ

โครงสร้างข้อมูลทางด้านอินพุท

1. ใช้สัญญาณตำแหน่งลิ้นเร่ง (TPS)
2. สัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (RPM)

3. สัญญาณจาก O_2 เซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับปริมาณออกซิเจนและบอกปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงในขณะนั้น (AFR_{E_0})

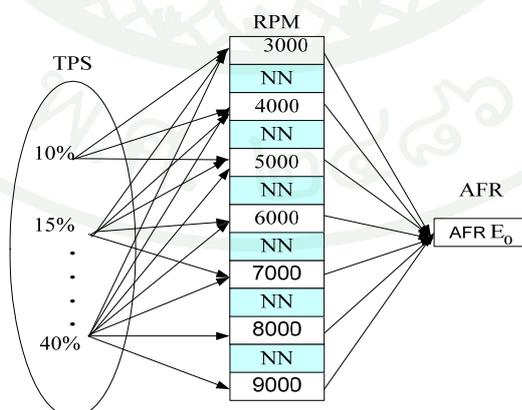
โครงสร้างข้อมูลทางด้านเอาท์พุท

1. เวลาการฉีดเชื้อเพลิง แก๊สโซลีน (EO Injection time)

ด้วยคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอล ต่อการทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จึงได้ค่าคงที่ค่าหนึ่งที่เป็นเฟคเตอร์ตัวคูณของเชื้อเพลิงผสม (Relative Stoichiometric) นำมาคูณกับเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากแบบจำลองที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน ก็จะได้เวลาใหม่ที่ใช้ในการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงผสมในอัตราต่างๆ ในที่นี้ขอเรียกเวลาใหม่ว่า Flex fuel injection time

1.1. การกำหนดรายละเอียดของ โครงสร้างข้อมูลขาเข้าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

เนื่องจากจุดทำงานของเครื่องยนต์มีหลายจุดทำงานจึงต้องกำหนดรายละเอียดของจุดทำงานที่พิจารณาโดยกำหนดการเก็บข้อมูลที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ (TPS) เปิดขนาด 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40% และความเร็วรอบ (RPM) 2000 – 9000 วนช่วงห่างช่วงละ 1000 สุดท้ายเป็นค่าอัตราส่วนผสมอากาศเชื้อเพลิง (AFR) ใช้สร้างแบบจำลองการฉีดเชื้อเพลิง

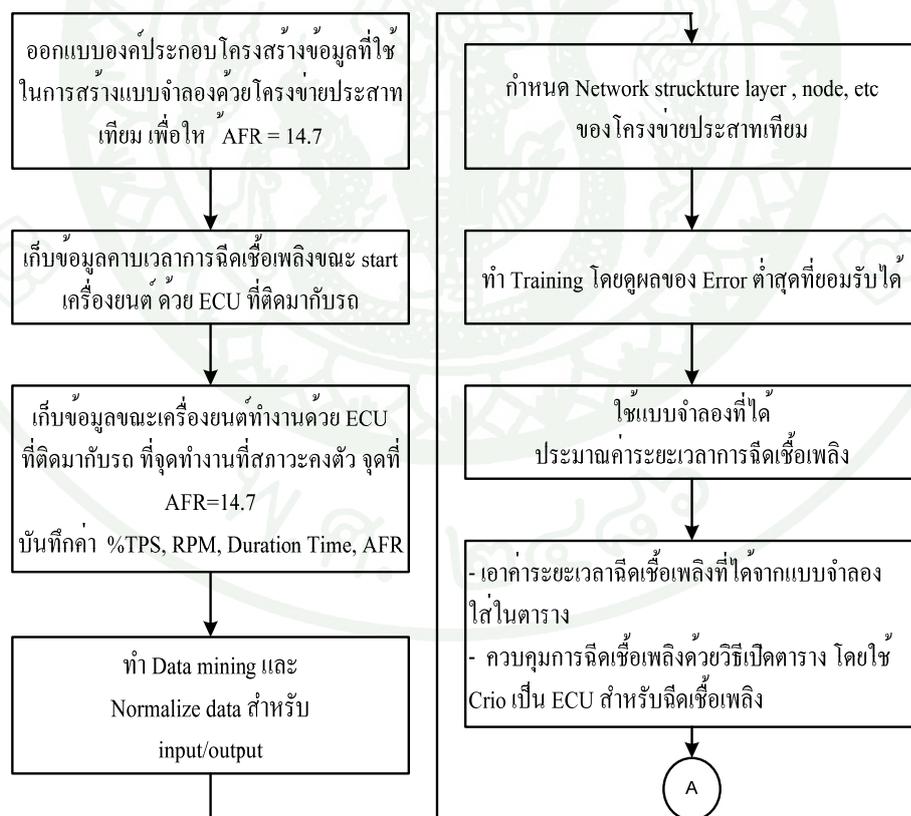


ภาพที่ 18 โครงสร้างข้อมูลด้านขาเข้าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมแบบวงเปิด (Open loop)

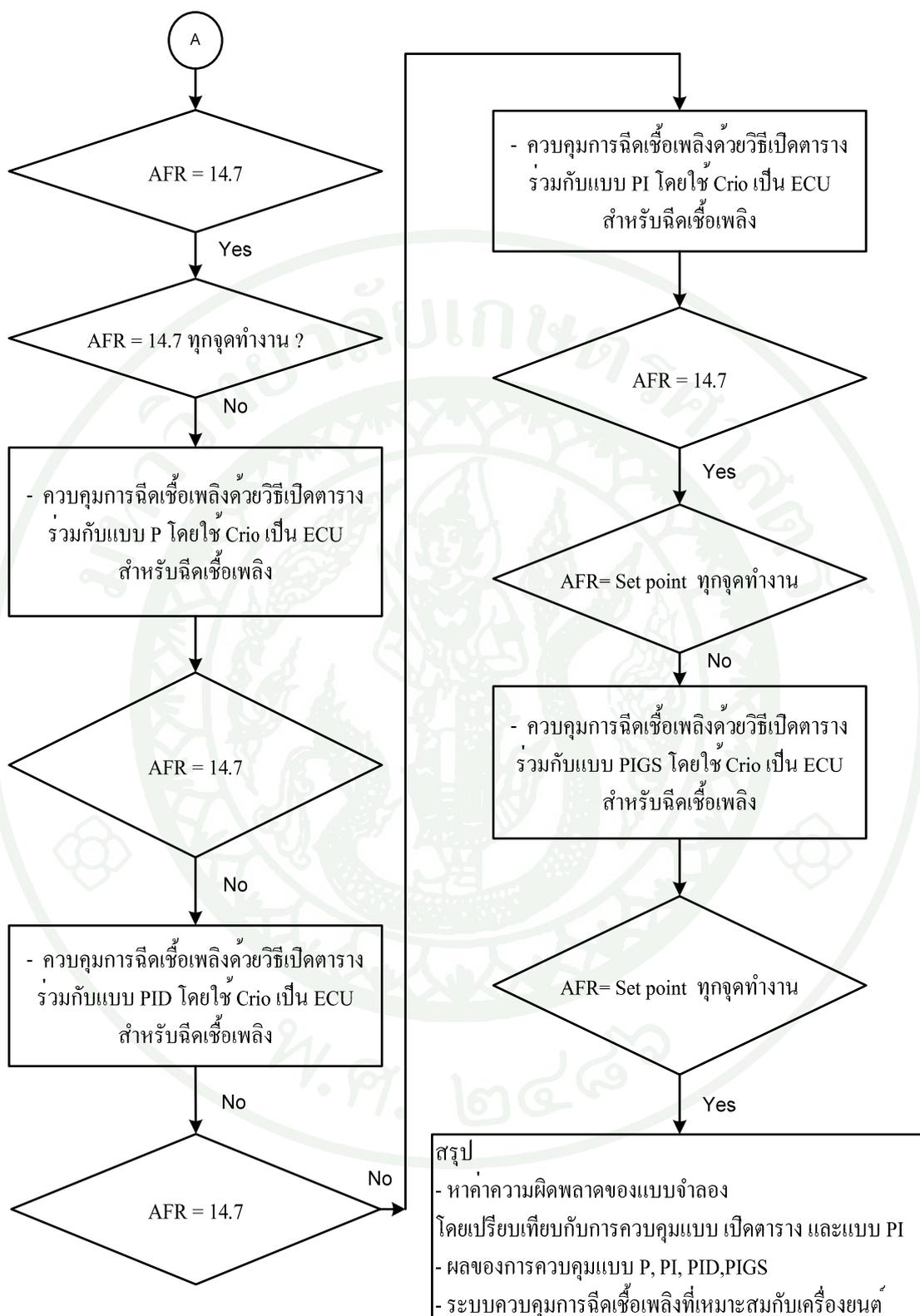
จากภาพที่ 18 เป็นโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการประมาณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิดโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน ที่แถบ NN โดยเว้นช่วงความเร็วรอบช่วงละ 100 ใช้แบบจำลองคำนวณหาค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์

1.2. การออกแบบองค์ประกอบโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ (Feedback)

กระบวนการหาแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ (Feedback) แสดงดังภาพที่ 19 – ภาพที่ 20



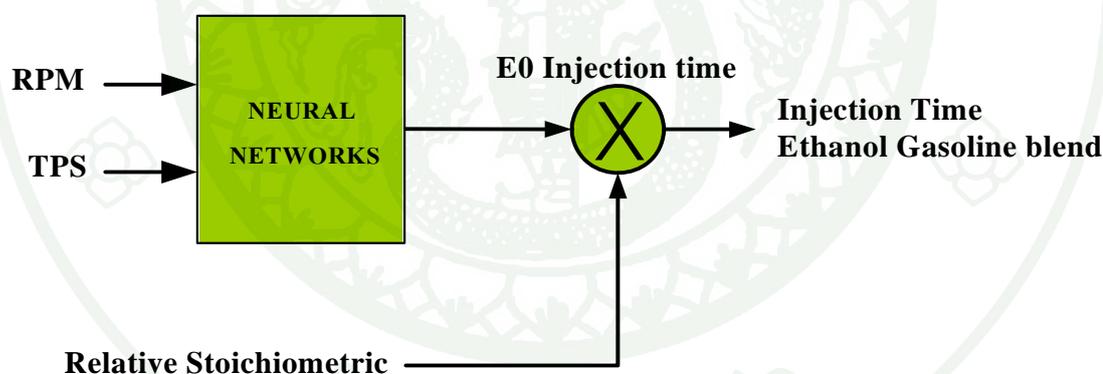
ภาพที่ 19 กระบวนการหาแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ



ภาพที่ 20 กระบวนการหาแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ

1.2.1 การออกแบบองค์ประกอบโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ

- ในการควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ไม่ได้ทำการวัดปริมาณของอากาศโดยตรง แต่จะควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง โดยใช้สัญญาณตำแหน่งลิ้นเร่ง (TPS) และ สัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (RPM) เป็นข้อมูลในการหาปริมาณการฉีดเชื้อเพลิง เช่นเดียวกับการควบคุมแบบ Open loop โดยใช้ NI Compact-RIO เป็นมาสเตอร์ ECU ซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ของบริษัท National Instruments ที่ออกแบบมาเพื่อรองรับงานควบคุมด้าน Automotive ซึ่งเป็น Real time embedded ทำงานโดยโค้ดคำสั่งจากโปรแกรม Labview ในที่นี่ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมบน NI LabVIEW Embedded เพื่อฉีดเชื้อเพลิงและปรับจูนเวลาการฉีดเชื้อเพลิง โดยเก็บข้อมูลที่จุดทำงานสถานะคงตัวของเครื่องยนต์ที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ที่จุดที่พิจารณาแสดงโครงสร้างของหลักของข้อมูลที่ใช้ในการหาแบบจำลองการฉีดเชื้อเพลิงของระบบควบคุมแบบป้อนกลับภาพที่ 21



ภาพที่ 21 โครงสร้างการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงแบบยืดหยุ่นในเครื่องยนต์สี่จังหวะแบบหัวฉีดในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

จากรูปโครงสร้างข้อมูลในการสร้างแบบจำลองจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ ไม่มีค่าอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง (AFR) เป็นอินพุตของระบบ เนื่องจากค่าดังกล่าวเป็นค่าคงที่คือ 14.7 ซึ่งในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ด้วย Matlab นั้นใส่หรือไม่ใส่ค่าคงที่ดังกล่าวก็จะให้ผลเท่าเดิม ดังนั้นจึงเหลือโครงสร้างข้อมูลแบบจำลองที่มีอินพุตของแบบจำลอง 2 อินพุต 1 เอาท์พุต คือ

โครงสร้างข้อมูลทางด้านอินพุท

1. ใช้สัญญาณตำแหน่งลิ้นเร่ง (TPS)
2. สัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (RPM)

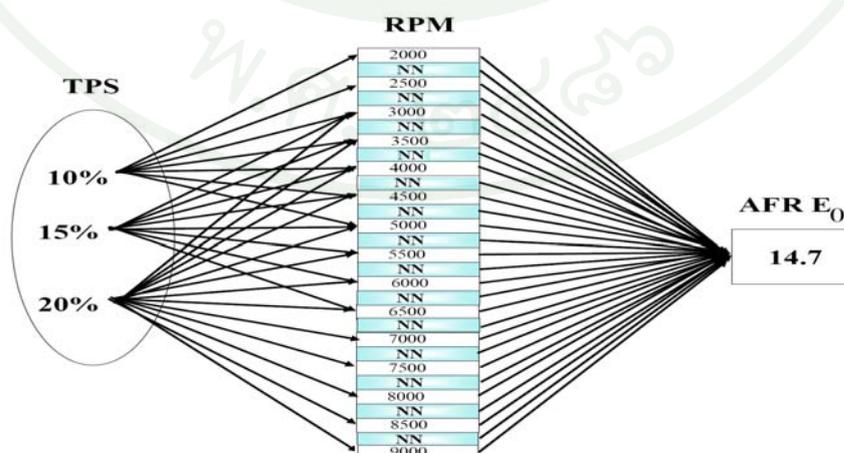
โครงสร้างข้อมูลทางด้านเอาต์พุท

1. เวลาการฉีดเชื้อเพลิง แก๊สโซลีน (EO Injection time)

การหาเวลาการฉีดเชื้อเพลิงผสมขั้นสุดท้ายก็ทำเช่นเดียวกับแบบจำลองการควบคุมวงเปิด โดยการนำพารามิเตอร์ตัวคูณของเชื้อเพลิงผสม(Relative Stoichiometric) นำมาคูณกับระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากแบบจำลอง(โดยเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน) ก็จะได้เวลาใหม่ที่ใช้ในการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงผสมในอัตราต่างๆ ในที่นี้ขอเรียกเวลาใหม่ว่า Injection Time Ethanol Gasoline blend

1.2.2 การกำหนดรายละเอียดของ โครงสร้างข้อมูลขาเข้าที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

เนื่องจากจุดทำงานของเครื่องยนต์มีหลายจุดทำงานจึงต้องกำหนดรายละเอียดของจุดทำงานที่พิจารณาโดยกำหนดการเก็บข้อมูลที่ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ(TPS) เปิดขนาด 10%, 15%, 20% และความเร็วรอบ (RPM) 2000 – 9000 เว้นช่วงห่างช่วงละ 500 โดยข้อมูลทุกจุดทำงานต้องทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ $AFR = 14.7:1$ ทุกจุดทำงานที่พิจารณา



ภาพที่ 22 โครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

จากภาพที่ 22 เป็นรายละเอียดโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองการประมาณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน เมื่อได้แบบจำลองแล้วจึงนำแบบจำลองมาคำนวณ ที่แถบ NN โดยเว้นช่วงความเร็วรอบช่วงละ 100 เพื่อคำนวณหาระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

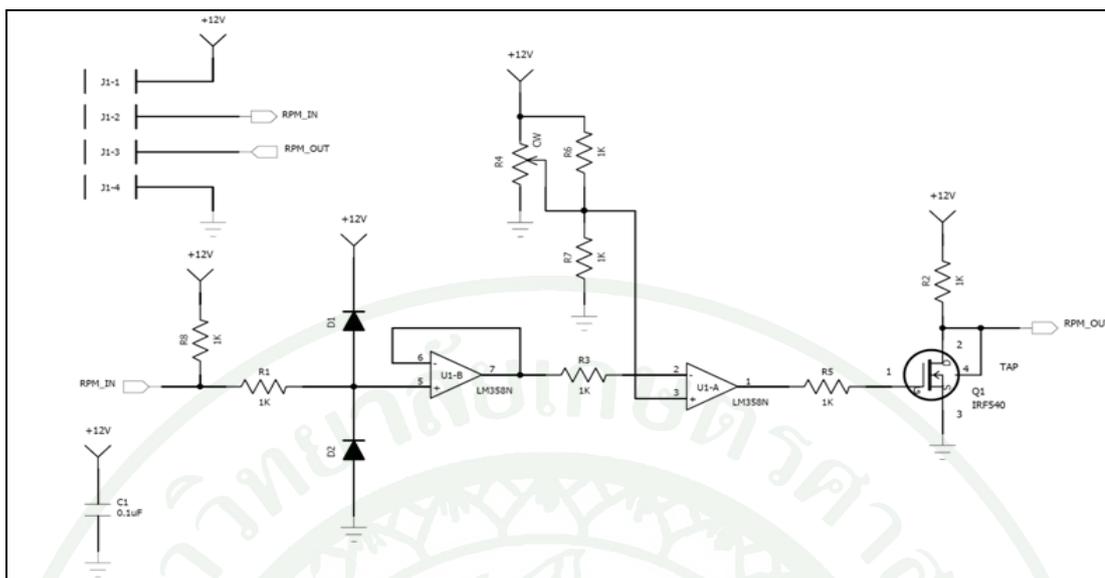
2. การเก็บข้อมูลเพื่อใช้สร้างแบบจำลอง

2.1 การพัฒนาโปรแกรมการเก็บข้อมูล

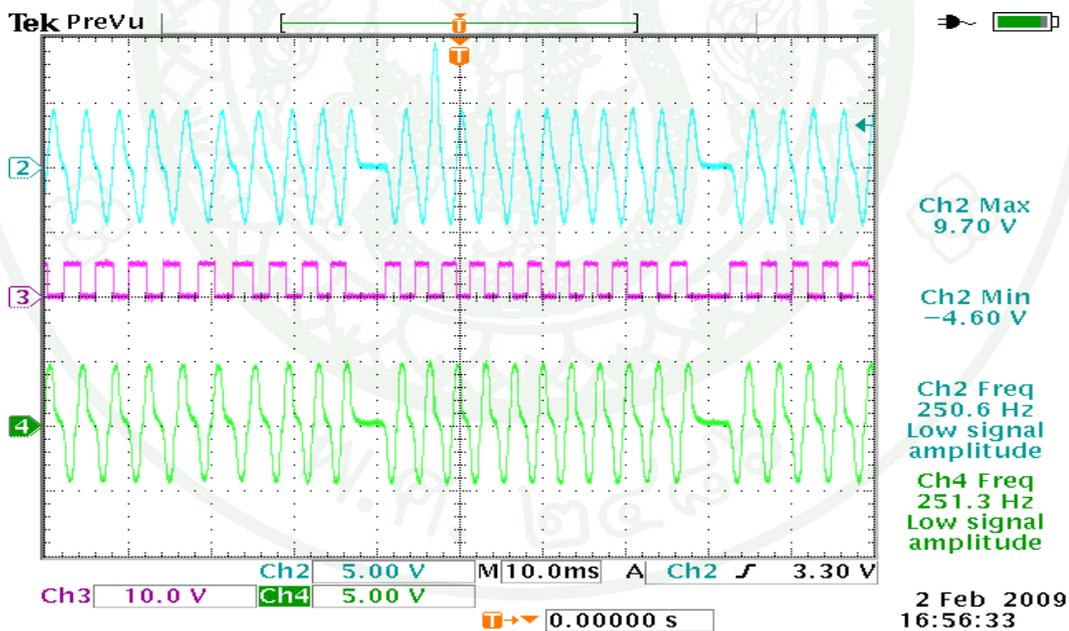
ข้อมูลที่เก็บจะเป็นลักษณะของสัญญาณไฟฟ้า 0-5 โวลต์ และ เป็นลักษณะของความถี่ โดยพัฒนาโปรแกรมเก็บข้อมูลด้วย NI LabVIEW Real time นำมาโปรแกรมลงบนตัวควบคุมที่เป็นฮาร์ดแวร์คือ NI Compact-RIO เมื่อซอฟต์แวร์กับฮาร์ดแวร์ทำงานร่วมกันจึงเรียกว่า คาร์ด้าล็อกเกอร์ ที่มีคุณสมบัติในการเก็บข้อมูล โดยมีรายละเอียดในการพัฒนาดังนี้

2.1.1 การวัดสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์

การวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์นั้นใช้ Module อนุาลอกอินพุท NI9205 พอร์ต DIO รับสัญญาณอินพุทเข้ามาและในการรับสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์ (RPM) และสัญญาณการฉีดเชื้อเพลิงมาจาก Sensor ของรถมอเตอร์ไซด์ไม่สามารถนำมาต่อกับ Controller ได้โดยตรง เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนและมีแรงดันสูงกว่าที่ Controller จะรับได้ดังนั้นจึงต้องทำวงจร Filter มารับสัญญาณเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนจากการจุดระเบิดของ CDI และจำกัดแรงดันแสดงรูปวงจрдังภาพที่ 23 และได้สัญญาณหลังจากผ่านการ ฟิลเตอร์แสดงรูปสัญญาณก่อนและหลังผ่านวงจรฟิลเตอร์ดังภาพที่ 24 และทำการปรับรูปคลื่นสัญญาณความเร็วรอบด้วย ซอฟต์แวร์อีกครั้ง เพื่อที่จะให้เป็นระดับลอจิก “0” และ “1” เพื่อให้เกิดความแม่นยำที่จะนำไปใช้นับลูกคลื่นในลำดับต่อไป



ภาพที่ 23 วงจร ฟิลเตอร์สัญญาณรบกวน RPM และ Injection



ภาพที่ 24 รูปสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่วัดได้จาก Sensor และ Controller

Ch2: สัญญาณ RPM ที่ที่เข้ามายัง port Digital I/O NI-9401(DIO0) และ ส่งออกมาที่ พอร์ตอนาลอก (Analog Out) ของ NI- 9263(AO0) จะเห็นว่าทั้งๆที่มีการขลิบสัญญาณบนล่าง

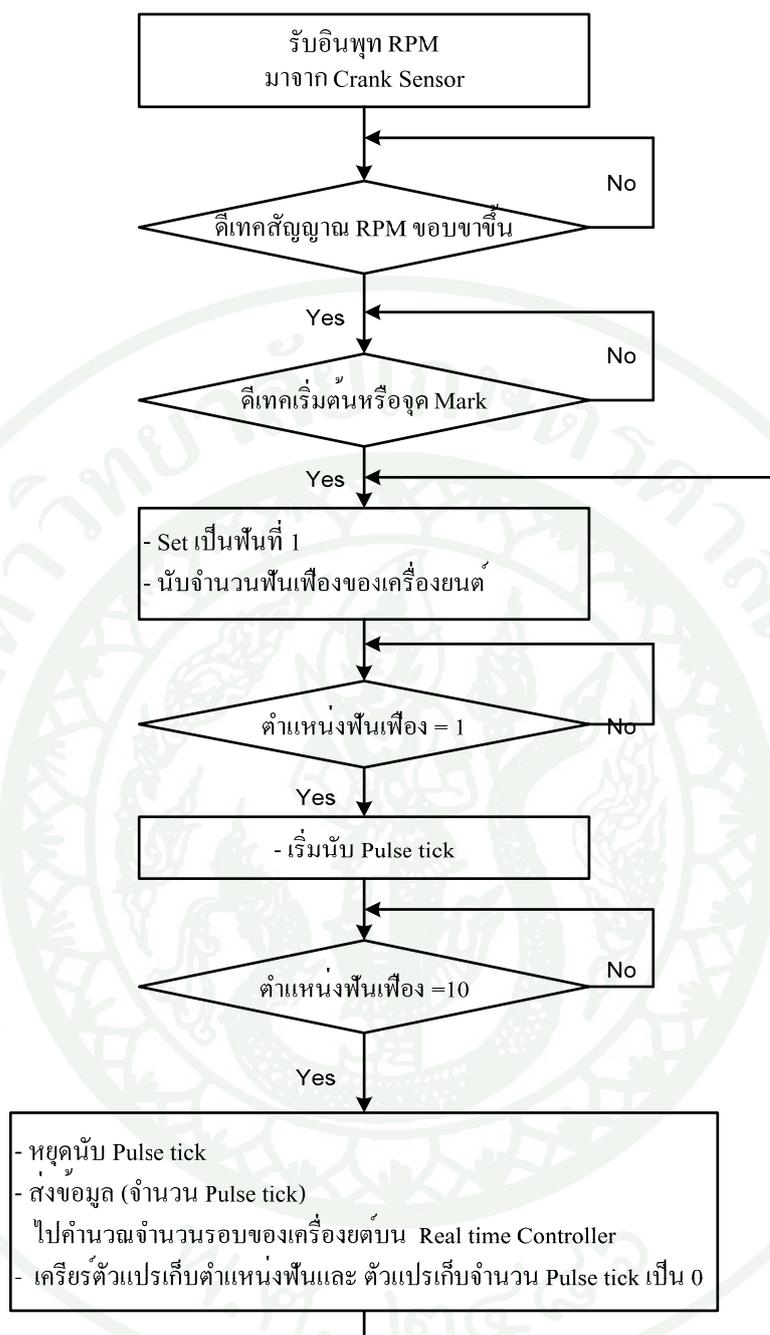
เป็น +/- 4.9V แต่ก็ยังมี spire เข้ามาที่พินที่สองของเฟือง ทูกรอบซึ่งเกิดจากการจุดระเบิดที่พินที่สอง ที่ความถี่ 251.3Hz สัญญาณยังไม่เพี้ยนยังมี Pulse 11 ลูกครบซึ่งถูกต้อง

Ch3: สัญญาณ RPM ที่ผ่าน Digital Filter และโดยการส่งออกมาที่พอร์ต Digital I/O ของ NI-9401(DIO4) ซึ่งกำหนดค่าพอร์ตให้ทำงานในโหมดเข้าที่พุท และจะเห็นว่าสัญญาณถูกต้องมี 11 ลูก

Ch4: เป็นรูปสัญญาณที่ออกจาก Pulser ของ มอเตอร์ไซค์

เมื่อทำการปรับแต่งรูปสัญญาณ RPM แสดงรูปสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์ในหนึ่งรอบ ดังภาพที่ 25 จากภาพจะเห็นว่าใช้ความถี่สุ่มที่มีขนาด 40Mhz (1พัลส์=25 นาโนวินาที) นับจำนวนลูกคลื่นของความถี่สุ่มในหนึ่งรอบเครื่องยนต์เพื่อใช้คำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยในเครื่องยนต์มีเฟือง 12 ฟันแต่ถูกหักออกไปหนึ่งฟันจึงเหลือเพียง 11 ฟัน ซึ่งไว้สำหรับเป็นตัวบอกรอบการหมุนของเครื่องยนต์ครบ 1รอบ และตรวจจับความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะตรวจจับขอบขาขึ้นของสัญญาณ โดยมีขั้นตอนการตรวจจับดังนี้

หาจุดเริ่มต้นหรือตำแหน่งอ้างอิง ฟันเฟืองที่ถูกหักไปซึ่งจะวัดความกว้างของ Pulse ซึ่งถ้ากว้างกว่าลูกอื่น 1.5 เท่า ก็แสดงว่าเป็นตำแหน่งอ้างอิง หรือที่เรียกว่า Index pulse ก็ให้ตั้งค่าเป็นลูกที่ 1 ในลูก ถัดไปเมื่อเจอสัญญาณขอบขาขึ้นและ นับต่อไปจนครบ 10 ฟัน ให้คิดเป็นหนึ่งรอบเครื่องยนต์ ในการนับ Counter ของ CompactRIO จะเริ่มนับตั้งแต่ขอบขาขึ้นของ pulse ลูกที่หนึ่ง และ และสิ้นสุดที่ขอบขาลงลูกที่ 10 โดยนับเป็น Pulse Tick (1 พัลส์ = 25 ns) และนำมาคำนวณหาความเร็วรอบ



ภาพที่ 26 ขั้นตอนในการรับสัญญาณและคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์

จากภาพที่ 26 สรุปขั้นตอนการหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์ดังนี้

1. รับอินพุท RPM มาจาก Sensor
2. ดีเทคสัญญาณ RPM ขอบขาขึ้น

3. หาจุดเริ่มต้นหรือจุด Mark ฟันเฟืองที่ถูกหักไปของสัญญาณ RPM ซึ่งขนาดความกว้างของพัลส์จะต้องมากกว่า 1.5 เท่าของพัลส์ปกติ ดังภาพที่ 25
4. การนับจำนวนฟันเฟืองของเครื่องยนต์เพื่อดีเทค RPM
5. จำนวน Pulse tick ที่ความถี่ Sampling Rate 40Mhz (1 พัลส์ = 25nS) ของ RPM
6. นำมาคำนวณหาความเร็วรอบของเครื่องยนต์

โดยคำนวณความเร็วรอบเครื่องยนต์หน่วยเป็น รอบ/ นาที (RPM) ดังนี้

กำหนดให้

T_t เป็นเวลาทั้งหมดในหนึ่งรอบ (ไมโครวินาที)

fn คือ $1/x$ ใน VI จำนวนความถี่เมื่อครบ 1 รอบ (โดย T_t หน่วย: ไมโครวินาที)

N_s จำนวนรอบเครื่องยนต์ต่อวินาที

N_e จำนวนรอบเครื่องยนต์ต่อวินาที

$$\frac{\text{จำนวนลูกคลื่นที่นับ(pulse tick) x 25 นาโนวินาที}}{10} = T_t \quad (5)$$

$$\frac{1}{T_t} = fn \quad (6)$$

$$\frac{fn}{12} = N_s \quad (7)$$

ดังนั้นความเร็วรอบของเครื่องยนต์(N_e) รอบต่อนาทีคำนวณได้จาก $N_e = N_s \times 60$

2.1.2 การวัดมุมปีกผีเสื้อ

เอาที่พุดที่ออกจาก Sensor ของลินปีกผีเสื้อ ออกมา 0-5V และนำมาคำนวณแปลงค่าการเป็น เปอร์เซนต์โดยใช้ Module อินพุต NI9205 ใช้ พอร์ต AI1 รับสัญญาณอินพุตเข้ามาคำนวณหาองศาการเปิดลินปีกผีเสื้อเป็นเปอร์เซนต์

โดยทำสเกลจาก 0.599 – 3.714 โวลต์ เป็น 0-100% โดยใช้สมการ

$$y = mx + c \quad (8)$$

$$\frac{(100 - 0)}{(12170 - 1964)} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = m \quad (9)$$

$$0.0098 = m \quad (10)$$

$$0.0098(x) + c = 0 \quad (11)$$

$$y = 0.0098(x) - 19.25 \quad (12)$$

2.1.3 การวัดค่า AFR

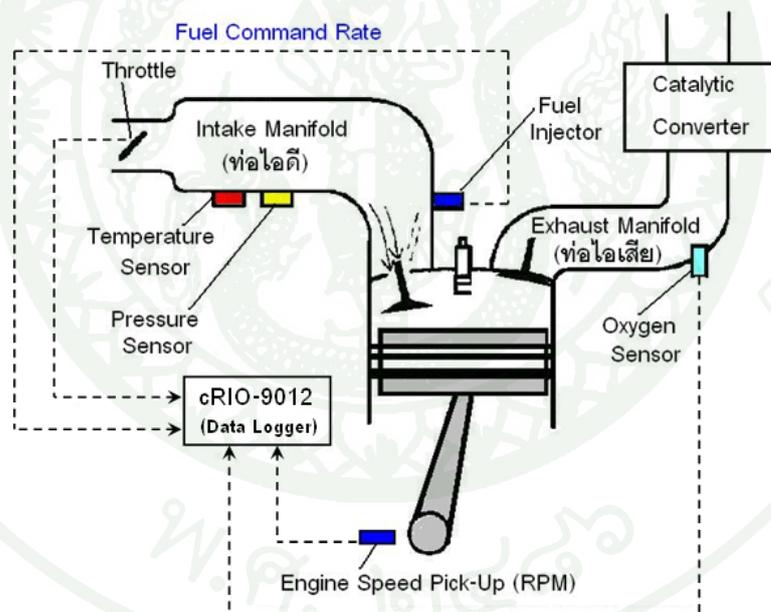
เอาท์พุทที่ออกจาก Sensor ของเครื่องวัด ออกมา 0-2V และนำมาคำนวณแปลงค่าการเป็นเป็นค่า AFR โดยทำสเกลจาก 0.889 – 1.79 โวลท์ เป็น 8-20 โดยใช้สมการเชิงเส้นเช่นเดียวกับการคำนวณเปอร์เซ็นต์การเปิดลิ้นปีกผีเสื้อ

2.2 การเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop)

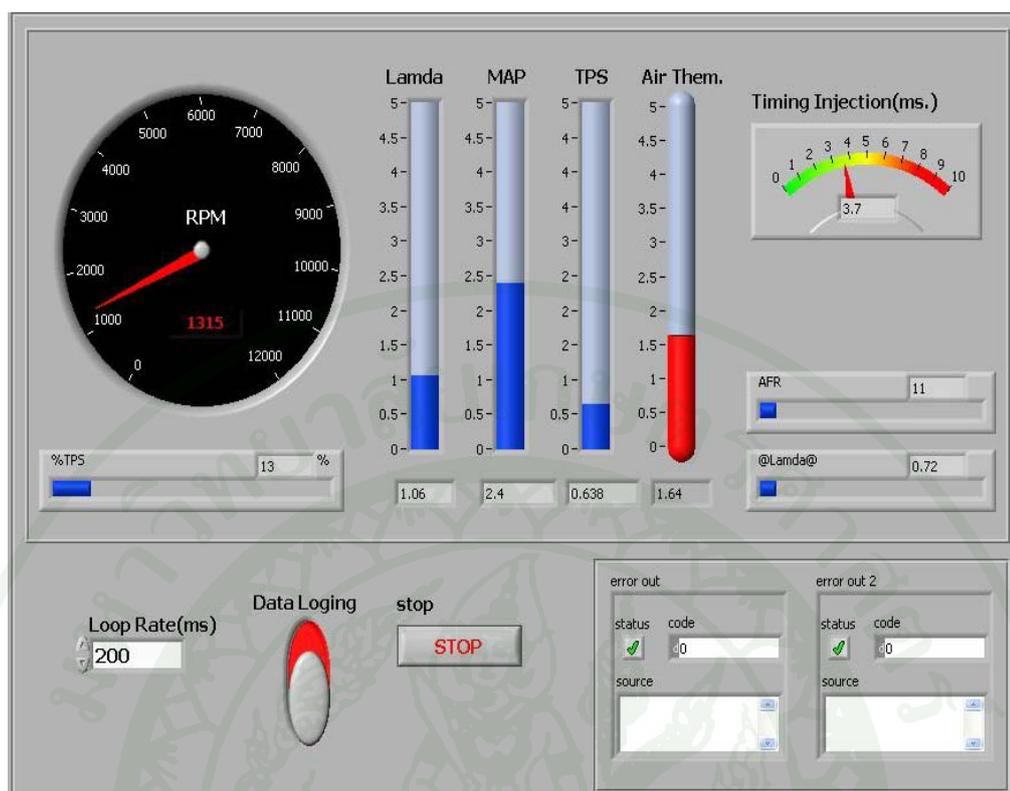
ทำการทดลองเก็บข้อมูลจากเครื่องยนต์จักรยานยนต์ แบบหัวฉีด ยี่ห้อ YAMAHA 135 Spark I ขณะทำงานและติดตั้งอยู่กับตัวถังรถและอยู่บนแท่นทดสอบแสดงดังภาพที่ 27 โดยใช้ดาต้าล็อกเกอร์ที่สร้างจาก NI Compact-RIO ที่พัฒนาด้วยโปรแกรม LabVIEW กำหนดให้บันทึกข้อมูลทุก 0.2 วินาที แสดงรายละเอียดการต่อชุดดาต้าล็อกเกอร์กับเซ็นเซอร์ของเครื่องยนต์ดังภาพที่ 28 โดยเก็บข้อมูลระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง, ตำแหน่งลิ้นเร่ง, ความเร็วรอบ และ AFR แสดงหน้าจอของดาต้าล็อกเกอร์(ภาพที่ 29) ขั้นตอนการทดลองเริ่มจาก สตาร์ทเครื่องยนต์ ปรับตำแหน่งเปิดลิ้นปีกผีเสื้อ(TPS) และตรึงให้อยู่ตำแหน่งที่กำหนด หลังจากนั้นปรับไปที่เกียร์ 3 ต่อจากนั้นปรับความเร็วรอบ(RPM) ไปที่รอบที่กำหนดโดยใช้เบรคเพิ่มแรงต้านเข้าไปที่ล้อเพื่อควบคุมความเร็วรอบให้มีค่าคงที่ และบันทึกค่าพารามิเตอร์ข้อมูลการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิดที่สภาวะคงตัว



ภาพที่ 27 แสดงการทดลองเก็บข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกยานยนต์ ที่ติดตั้งอยู่กับตัวถังรถและอยู่บนแท่นทดสอบ



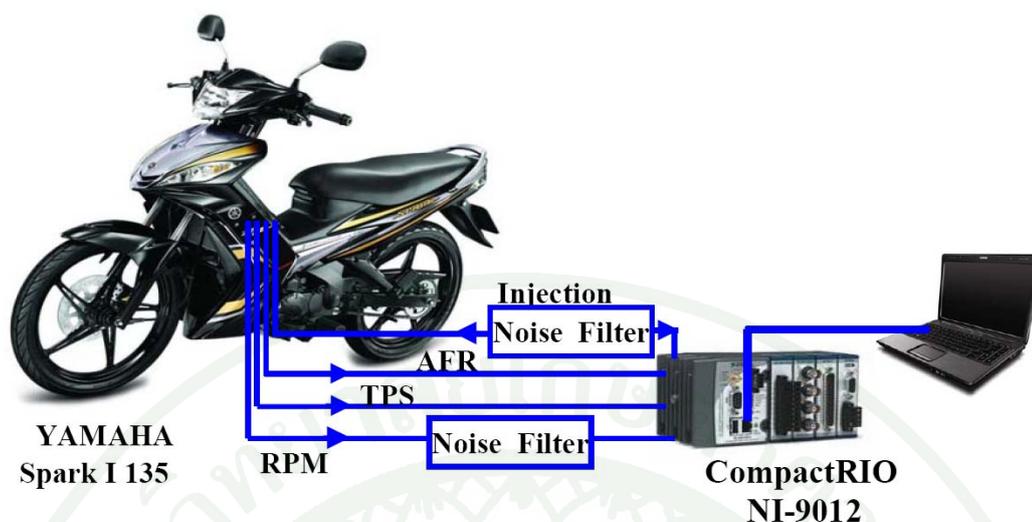
ภาพที่ 28 รายละเอียดการต่อชุดค่าตัวล็อกเกอร์กับเซ็นเซอร์ของเครื่องยนต์



ภาพที่ 29 หน้าจอ คาค้าล้อคเกอร์

2.3 การเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ(Feed back)

กำหนดให้บันทึกข้อมูลทุก 1 ms แสดงรายละเอียดการต่อระบบควบคุมและชุดคาค้าล้อคเกอร์ของเครื่องยนต์ดังภาพที่ 30 โดยเก็บข้อมูลระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง, RPM, %TPS, AFR และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องลงเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นข้อมูลในรูปแบบ Excel ในขั้นตอนการทดลองเริ่มจาก สตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงขนาด 4 ms ปรับตำแหน่งเปิดลิ้นปีกผีเสื้อ (TPS) และตรึงให้อยู่ตำแหน่งที่กำหนด หลังจากนั้นปรับไปที่เกียร์ 3 ต่อจากนั้น ปรับความเร็วรอบ(RPM) ไปที่รอบที่กำหนดโดยใช้เบรคเพิ่มแรงดันเข้าไปที่ล้อเพื่อควบคุมควบคุมความเร็วรอบให้มีค่าคงที่และปรับจนเวลาการฉีดเชื้อเพลิงให้ได้อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิง 14.7:1 (ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน) พร้อมกับบันทึกค่าพารามิเตอร์ข้อมูลการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิดที่สภาวะคงตัว ที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ทุกจุดทำงานที่พิจารณา คือ ตำแหน่งลิ้นเร่ง 10%, 15%, 20% และความเร็วรอบเครื่องยนต์ช่วง 2000-9000 รอบต่อนาที เว้นช่วงละ 500



ภาพที่ 30 การต่อระหว่างเครื่องยนต์กับ มาสเตอร์ ECU เพื่อควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงและเก็บข้อมูล

3. การทำค้ำไม้ทิ้งและการปรับข้อมูล

จากผลการทดลองการฉีดเชื้อเพลิงด้วย ECU ของรถเดิมที่มีอยู่ ได้เก็บข้อมูลของเครื่องยนต์ ในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะคงตัวมาจำนวน 4000 จุด และนำมาจัดการกับข้อมูลโดยการทำ Data Mining เพื่อกำจัดข้อมูลที่ไม่มีประโยชน์และข้อมูลที่คาบเกี่ยวทับซ้อนกัน (Overlap) เริ่มจากการทำ Data Cleaning และใช้ Data Segmentation ซึ่งนำไปสู่ การทำ Data Reduction โดยกระบวนการดังกล่าวของ Data Mining เรียกว่าการทำ Data Preprocessing โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดการกลั่นกรองข้อมูลให้สามารถนำข้อมูลเข้าสู่อัลกอริทึมของ โครงข่ายประสาทเทียมได้ ซึ่งข้อมูลที่ผ่านกระบวนการทำ Data Mining ลดเหลือ 329 จุด ซึ่งครอบคลุมความเร็วรอบ 3000,4000,5000, 6000,7000,8000,9000 รอบ และ องศาการเปิดลิ้นปีกผีเสื้อ 10,15,20,25,30,35,40 เปอร์เซ็นต์

3.1 ขั้นตอน การทำค้ำไม้ทิ้ง (Data mining)

เพื่อนำข้อมูลที่จำเป็นและมีประโยชน์และถูกต้องต่อพฤติกรรมการทำงานของ เครื่องยนต์ในการสร้างแบบจำลอง จึงได้นำขั้นตอนการเตรียมข้อมูล ซึ่งเป็นกระบวนการปรับ ข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมมีขั้นตอนดังนี้

1. การคัดเลือกข้อมูล (Data Selection) เป็นการนำข้อมูลที่ต้องการออกจากฐานข้อมูล เพื่อสร้างกลุ่มข้อมูลสำหรับพิจารณาในเบื้องต้น โดยมีขั้นตอนการเลือกข้อมูลดังนี้

1) วิเคราะห์ข้อมูลหาค่าต่ำสุดและสูงสุด

2) แบ่งช่วงข้อมูล โดยการแบ่งช่วงข้อมูลแต่ละชนิดซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของงานแต่ละชนิดว่าจะแบ่งช่วงห่างกันแค่ไหนหรือที่ว่าการแบ่งโซน ดังตัวอย่างในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การแบ่งโซน(Zone)ข้อมูล

Rang RPM	Zone RPM	Rang TPS	Zone TPS	Rang AFR	Zone AFR	Rang Inj_time	Zone Inj_time
2950-3051	Z1	9.318-9.494	Z1	8.962-9.188	Z1	3.928-3.966	Z1
3052-3099	Z2	9.514-10.494	Z2	9.368-9.483	Z2	3.974-3.996	Z2
3900-3949	Z3	10.533-0.925	Z3	9.505-9.799	Z3	4.002-4.090	Z3
3950-4050	Z4	14.002-14.491	Z4	9.802-10.199	Z4	4.108-4.198	Z4
4051-4100	Z5	14.511-15.501	Z5	10.205-9.799	Z5	4.200-4.298	Z5
4900-4948	Z6	15.510-15.991	Z6	11.148-1.597	Z6	4.300-4.399	Z6
4951-5050	Z7	19.351-19.498	Z7	13.321-3.674	Z7	4.401-4.498	Z7
5051-5100	Z8	19.508-0.498	Z8	16.957	Z8	4.501-4.599	Z8
5901-5949	Z9	20.547-20.997	Z9	18.181-18.634	Z9	4.605-4.690	Z9
5950-6050	Z10	24.005-24.505	Z10	19.229-19.815	Z10	4.701-4.798	Z10
6051-6100	Z11	24.515-25.495	Z11			4.801-4.899	Z11
6901-6948	Z12	29.042-29.483	Z12			4.900-4.999	Z12

2. จัดกลุ่มข้อมูล โดยการนำข้อมูลแต่ละชนิดที่มีโซนเดียวกันมาจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันหรือโซนที่ใกล้เคียงขึ้นอยู่กับความต้องการความละเอียดของข้อมูล ดังแสดงตัวอย่างการจัดกลุ่มข้อมูล 3 กลุ่ม(ตารางที่ 3, ตารางที่ 4, ตารางที่ 5)

ตารางที่ 3 ข้อมูลกลุ่มที่ 1

RPM1	zoneRPM1	%TPS1	zoneTPS1	AFR1	zoneAFR1	Injec	
						Time1	zoneINJ_T1
3065	Z2	9.455	Z1	10.565	Z5	4.214	Z5
3066	Z2	9.475	Z1	10.317	Z5	4.230	Z5
3098	Z2	9.426	Z1	10.639	Z5	4.218	Z5
3080		9.438		10.462		4.221	<-- ค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4 ข้อมูลกลุ่มที่ 2

RPM2	zoneRPM2	%TPS2	zoneTPS2	AFR2	zoneAFR2	Injec	
						Time2	zoneINJ_T2
3054	Z2	9.612	Z2	9.591	Z3	4.216	Z5
3054	Z2	10.073	Z2	9.681	Z3	4.204	Z5
3066	Z2	9.553	Z2	9.647	Z3	4.196	Z4
3094	Z2	9.965	Z2	9.610	Z3	4.194	Z4
3067		9.801		9.632		4.203	<-- ค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 5 ข้อมูลกลุ่มที่ 3

RPM3	zoneRPM3	%TPS3	zoneTPS3	AFR3	zoneAFR3	Injec	
						Time3	zoneINJ_T3
9051	Z20	35.832	Z17	9.139	Z1	5.647	Z19
9075	Z20	35.900	Z17	9.157	Z1	5.621	Z19
9086	Z20	35.871	Z17	9.136	Z1	5.549	Z18
9098	Z20	35.626	Z17	9.142	Z1	5.121	Z14
9078		35.807		9.144		5.485	<-- ค่าเฉลี่ย

3. การกรองข้อมูล (Data cleaning) เพื่อเลือกข้อมูลที่ตรงประเด็น และเป็นประโยชน์กับระบบ ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่เราจะได้มาซึ่งคุณภาพของข้อมูล ที่จะนำไปวิเคราะห์

ทำต่อจากข้อ 1 มีสองขั้นตอนดังนี้

3.1 ตัดข้อมูลที่ไม่มีกลุ่มทิ้ง โดยข้อมูลที่ตัดออกไม่เข้าพวกและไม่สามารถจัดกลุ่มได้ แสดงดังตัวอย่าง ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลที่ตัดทิ้ง

RPM	zoneRPM	%TPS	zoneTPS	AFR	zoneAFR	Injec	
						Time	zoneINJ_T
xxxx	Z1	x4.133	Z10	1x.766	Z5	x.1xx	Z10
xxxx	Z14	x9.035	Z10	x9.374	Z9	x.8xx	Z11

3.2 หาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในโซนเดียวกันและกลุ่มเดียวกัน

4. การแปลงรูปแบบข้อมูล (Data reduction and transformation) โดยการลดรูปและจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน มีรูปแบบ (Format) ที่เป็นมาตรฐาน โดยเป็นกระบวนการในการปรับขอบเขตของข้อมูลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในการสอนให้โครงข่ายประสาทเทียมเกิดการเรียนรู้ สำหรับในโมเดลที่ใช้หลักการของโครงข่ายประสาทเทียมนั้น กระบวนการแปลงค่าข้อมูลที่ต้องนำมาใช้คือ การนอร์มัลไลซ์ข้อมูล (Normalization) ซึ่งเป็นการลดค่าของข้อมูลให้อยู่ในขอบเขตที่น้อยลงเพื่อให้เหมาะสมกับฟังก์ชันที่ใช้งานของโครงข่ายประสาทเทียม โดยการแปลงค่าข้อมูลในลักษณะเป็นเชิงเส้น (Min-max Normalization) เพื่อแปลงข้อมูลให้อยู่ในช่วง [0.000 – 1.000] ดังสมการที่ 27

$$\hat{X} = \frac{X - Min_{old}}{Max_{old} - Min_{old}} \quad (13)$$

โดยที่

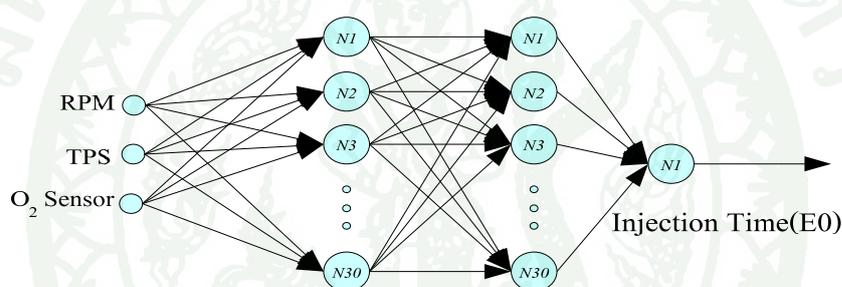
\hat{X} คือ ค่าของข้อมูลใหม่หลังผ่านสมการ
 X คือ ค่าของข้อมูลเก่าก่อนผ่านสมการ

Min_{old} คือ ค่าของข้อมูลเก่าที่มีค่าต่ำสุดก่อนผ่านสมการ
 Max_{old} คือ ค่าของข้อมูลเก่าที่มีค่าสูงสุดก่อนผ่านสมการ

4. การฝึกสอน (Training)

4.1 แบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงจากข้อมูลการควบคุมเครื่องยนต์แบบวงเปิด (Open loop)

จากพารามิเตอร์ต่างๆที่เก็บมาใช้ในการฝึกสอน (Training) จำนวน 329 จุด สามารถออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมมี 3 อินพุต 2 ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และ 1 เอาต์พุต แสดงดังภาพที่ 31

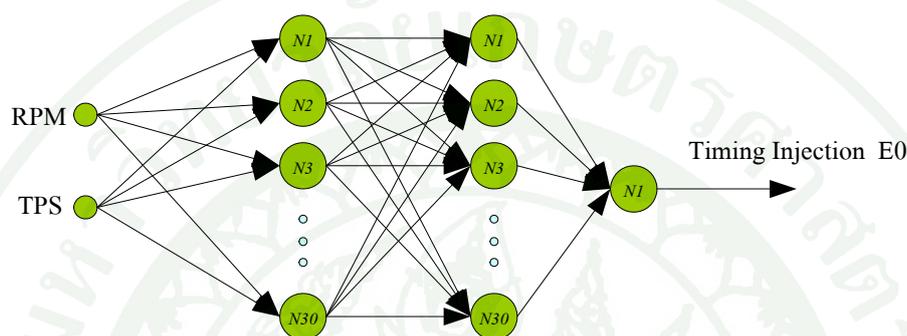


ภาพที่ 31 โครงสร้าง 3-30-30-1 ของแบบจำลองการหาระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงระบบควบคุมแบบ Open loop

โดยชั้นอินพุตมี จำนวน 3 โหนด ส่วนชั้นซ่อนมี 2 ชั้น แต่ละชั้นมีจำนวนโหนดเท่าๆกัน คือชั้นละ 30 โหนด ในชั้นเอาต์พุตมีเพียง 1 โหนด โดยชั้นซ่อน 1,2 ใช้ฟังก์ชัน $tansig(n)$, $logsig(n)$ และ ชั้นเอาต์พุต ใช้ฟังก์ชัน $purelin(n)$ โดยกำหนดค่าระยะเวลาการเรียนรู้ (epochs) เท่ากับ 10000 รอบ และกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของผลรวมค่าผิดพลาดกำลังสอง (Mean of sum Squares Errors) เท่ากับ 1×10^{-6} โครงข่ายประสาทเทียมในภาพที่ 31 ได้ออกแบบเป็นชนิดมัลติเลเยอร์เพอร์เซ็ปตรอน และกำหนดให้มีการเรียนรู้ (Training) ด้วยวิธีแพร่ย้อนหลัง (Backpropagation) แบบ Levenberg-Marquardt Backpropagation (LMBP)

4.2 แบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงจากข้อมูลการควบคุมเครื่องยนต์แบบป้อนกลับ

ในแบบจำลองนี้ นำข้อมูล ที่ได้จากการเก็บข้อมูลที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ทุกจุดซึ่งผ่านขั้นตอนการทำคาลิเบรชันแล้วได้ 28 จุด ทำงาน ซึ่งครอบคลุมจุดทำงานของ ตำแหน่งลิ้นเร่ง (TPS) 10%, 15%, 20% และความเร็วรอบเครื่องยนต์ (RPM) ช่วง 2000-9000 รอบต่อนาที เว้นช่วงละ 500 โดยนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลองการประมาณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 อินพุต 2 ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และ 1 เอาท์พุท แสดงดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 โครงสร้าง 2-30-30-1 ของแบบจำลองการหาระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

โดยชั้นอินพุตมี จำนวน 2 โหนด ส่วนชั้นซ่อนมี 2 ชั้น แต่ละชั้นมีจำนวนโหนดเท่าๆกัน คือชั้นละ 30 โหนด ในชั้นเอาท์พุทมีเพียง 1 โหนด โดยชั้นซ่อน 1,2 ใช้ฟังก์ชัน $\tanh(n)$, $\log\text{sig}(n)$ และ ชั้นเอาท์พุท ใช้ฟังก์ชัน $\text{purelin}(n)$ โดยกำหนดค่าระยะเวลาการเรียนรู้ (epochs) เท่ากับ 10000 รอบ และกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของผลรวมค่าผิดพลาดกำลังสอง (Mean of sum Squares Errors) เท่ากับ 1×10^{-6} โครงข่ายประสาทเทียมในภาพที่ 32 ได้ออกแบบเป็นชนิดมัลติเลเยอร์เพอร์เซ็ปตรอน และกำหนดให้มีการเรียนรู้ (Training) ด้วยวิธีแพร่ย้อนหลัง (Backpropagation) แบบ Levenberg-Marquardt Backpropagation (LMBP) เช่นเดียวกับระบบเปิด

5 การพัฒนาระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง

5.1 การพัฒนาระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ

เพื่อให้ได้ค่าระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงที่ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์จึงต้องมีการพัฒนาโปรแกรม และมีการควบคุมแบบป้อนกลับโดยใช้ NI CompactRIO ทำเป็นมาสเตอร์ ECU

สำหรับควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง พัฒนาระบบควบคุมโดยใช้ NI Labview สำหรับ Window เพื่อใช้จัดการการติดต่อกับข้อมูลและอุปกรณ์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ (Host PC) รวมไปถึงการเก็บข้อมูลและตั้งค่าการใช้งานของ CompactRIO และติดต่อกับผู้พัฒนาเพื่อสั่งงานระบบควบคุม, Labview Real-Time ใช้ประมวลผลข้อมูล, การจัดการระบบควบคุมเช่น PID, การอ่านเขียนข้อมูล, จัดการกับอุปกรณ์และอินเตอร์เฟซต่างๆ บน Real-Time Controller, LabVIEW FPGA ใช้จัดการรับส่งข้อมูลจาก อินพุต/เอาต์พุต พอร์ต คือ Digital I/O และ Analog I/O แสดงโครงสร้างการทำงานของ CompactRIO ดังรูป 40 ดังนั้น จากรูปจะเห็นว่า CompactRIO มีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ FPGA และ Real-Time Controller ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. FPGA ทำงานที่ความถี่ 40 Mhz ซึ่งเป็นความถี่สูง ด้วยทำงานที่รอบเวลาการทำงานรอบเดียว (Single cycle time loop) สามารถทำพร้อมกันในเวลาสั้นได้หลายอย่างแบบ Multi tasking ทำหน้าที่ในระบบควบคุมดังนี้

1.1 รับสัญญาณ เข้า/ ออก

1.1.1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์(RPM)

1.1.2 ตำแหน่งลิ้นเร่ง(TPS)

1.1.3 ออกซิเจนเซ็นเซอร์

1.1.4 ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง

1.2 กำหนดรอบการฉีดของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

1.3 ตรวจจับตำแหน่งอ้างอิงของสัญญาณความเร็วรอบ

1.4 ตรวจจับขอบขาขึ้นของสัญญาณความเร็วรอบ

1.5 นับพัลส์เพื่อหาความเร็วรอบในเบื้องต้น

1.6 กำหนดตำแหน่งการฉีดเชื้อเพลิง

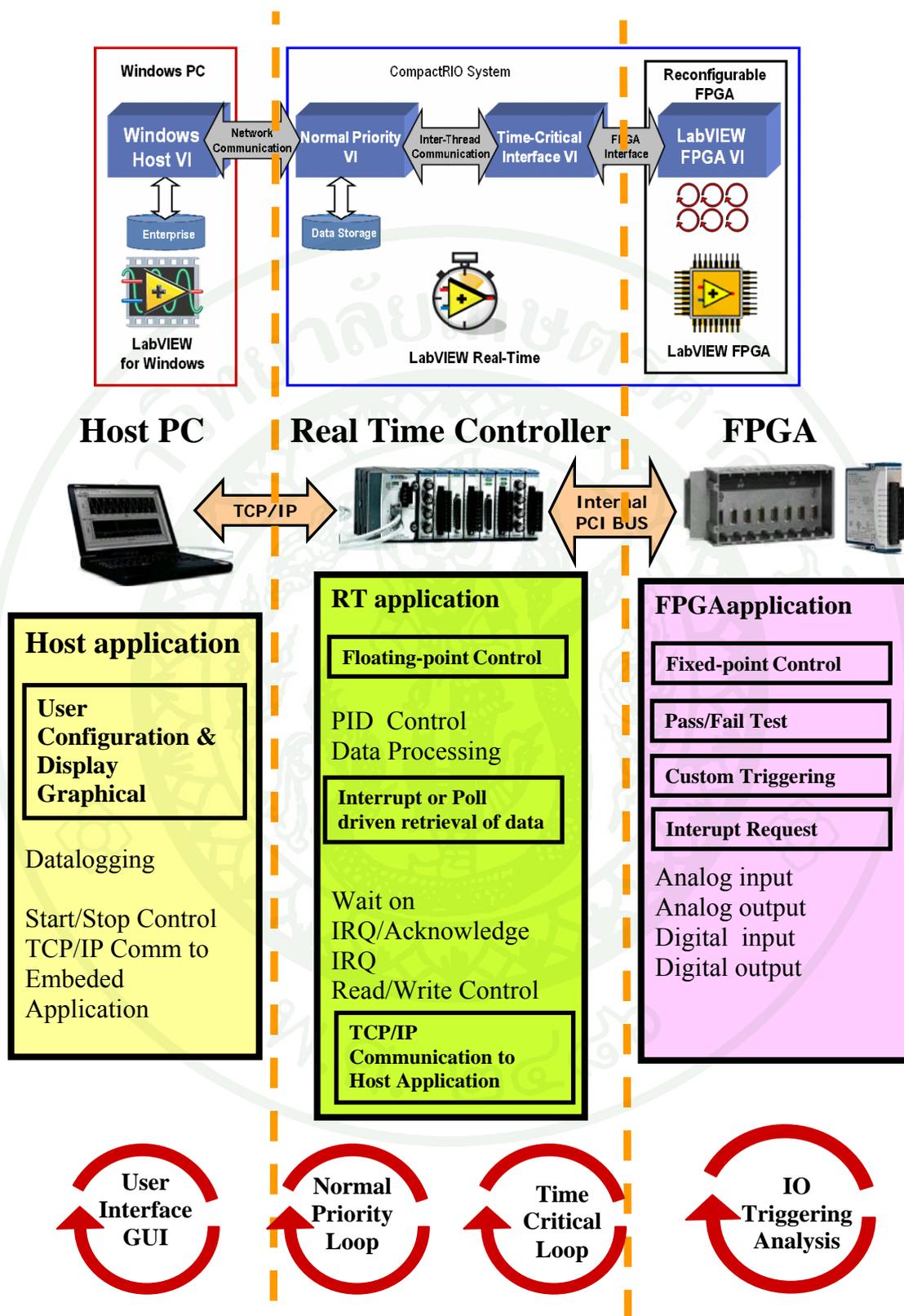
1.7 คำนวณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงจากความถี่หลักขนาด 20 MHz หรือ 50 uS โดยการนับพัลส์และเปรียบเทียบกับเวลาที่ได้อมาจากตัวคุม PI

2. Real-Time Controller ทำงานที่ความถี่ต่ำ โดยมีรอบการทำงาน (Loop rate) 1KHz ทำหน้าที่ในระบบควบคุมดังนี้

2.1 คำนวณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงให้ได้ค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

2.2 คำนวณเปอร์เซ็นต์การเปิดตำแหน่งลิ้นเร่ง

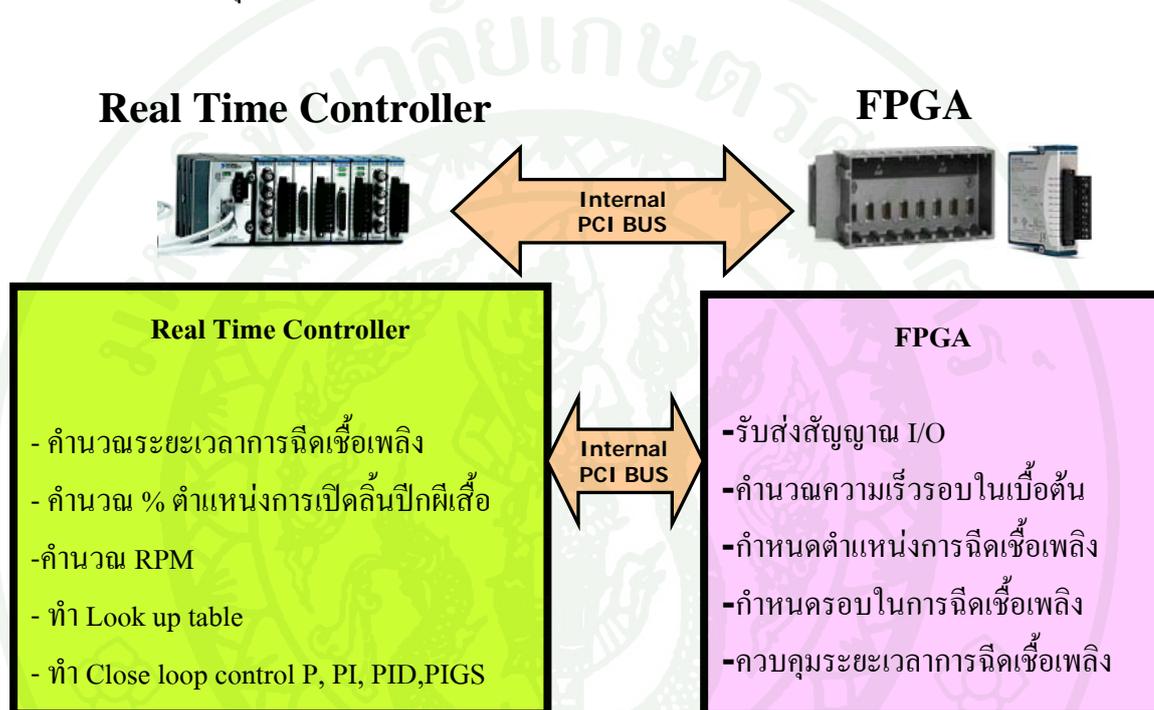
2.3 คำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง



ภาพที่ 33 แสดงโครงสร้างการทำงานของ CompactRIO

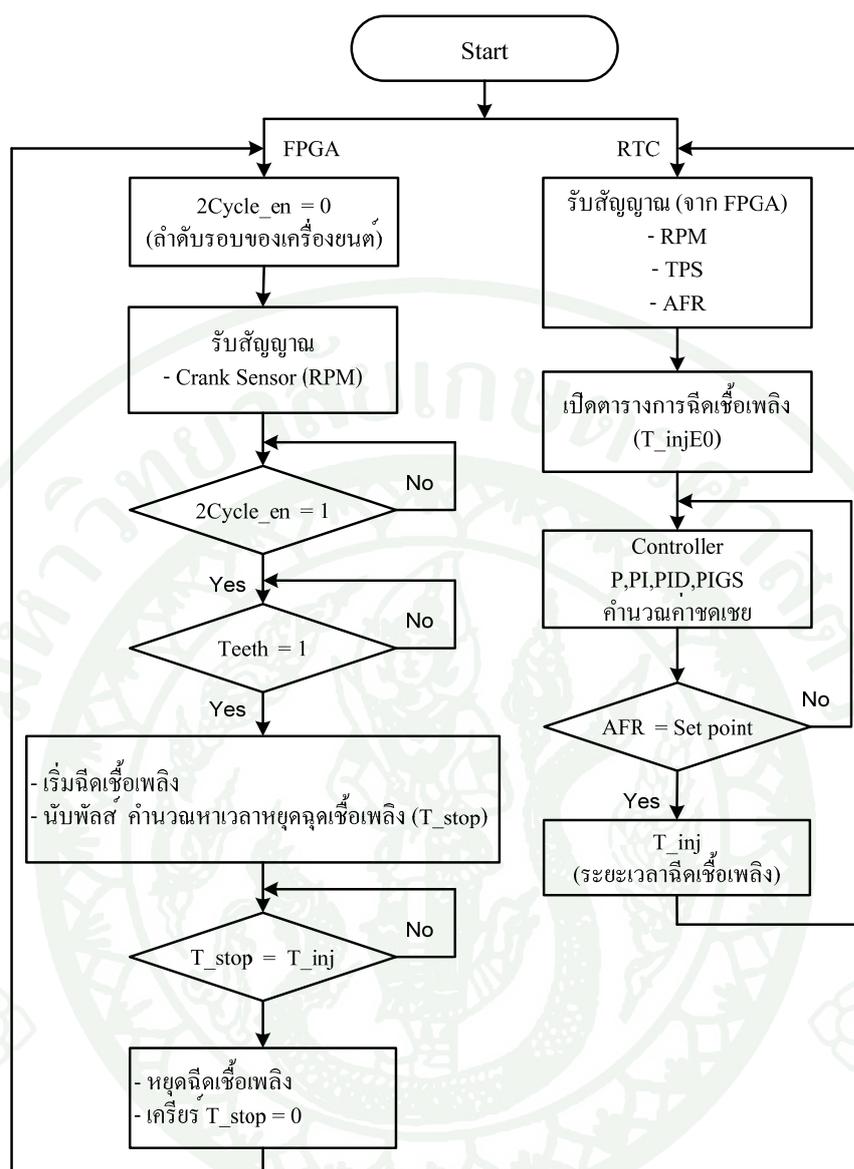
5.1.1 การออกแบบโปรแกรมการฉีดเชื้อเพลิง

จากโครงสร้างของ cRIO (ภาพที่ 33) ประกอบด้วยส่วนควบคุม 2 ส่วนคือ FPGA และ Real time Controller ที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง โดยจะทำหน้าที่ในการรับข้อมูลเข้าและส่งข้อมูลออกพร้อมทั้งคำนวณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงแสดง โครงสร้างโปรแกรมการทำงานการควบคุมใน cRIO ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 โครงสร้างโปรแกรมการทำงานการควบคุมใน cRIO

ในการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงใช้ ฮาร์ดแวร์ cRIO ซึ่งมี FPGA ทำงานที่ความเร็วสูง (40MHz) ต่อกับเซ็นเซอร์ของเครื่องยนต์รับสัญญาณ RPM, TPS, AFR มาจากเครื่องยนต์และฉีดเชื้อเพลิงผ่านไคร์เวอร์ตามเงื่อนไขการฉีดเชื้อเพลิงของระบบควบคุมแบบต่างๆที่ประมวลผลโดย Real time Controller เป็นการฉีดเชื้อเพลิงแบบรอบเวียนรอบ ในการพัฒนาโปรแกรมจะต้องกำหนดตัวแปรในการเก็บค่ารอบ โดยใช้ 2Cycle_en เป็นตัวบอกรอบของเครื่องยนต์ โดยฉีดในรอบที่ 1 (นับ 0-1) และ มี Pulse Enable เป็นตัวแปรกำหนดจังหวะการฉีด โดยเริ่มจากฟันที่หนึ่งของรอบ โดยกำหนดให้มีการฉีดช่วงฟันที่ 1-7 และในการฉีดเชื้อเพลิงสิ่งที่สำคัญที่สุดคือต้องฉีดให้แม่นยำตรงกับระยะเวลาที่คำนวณมาจากระบบควบคุม แสดงขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมการฉีดเชื้อเพลิงดังนี้



ภาพที่ 35 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบ Feedback และ Feed Forward

จากภาพที่ 35 แสดงขั้นตอนการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ ประกอบไปด้วย การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าโดยวิธีเปิดตาราง และป้อนกลับโดยใช้ตัวควบคุม P, PI, PID, PIGS ตรวจสอบค่า AFR ให้เป็นไปตาม Setpoint ที่ตั้งไว้ และปรับค่าเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จาก ตารางให้ AFR อยู่เข้าสู่จุด Setpoint ขั้นตอนการฉีดเชื้อเพลิงมีวิธีการดังนี้

- 1 กำหนดรอบการฉีดของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ซึ่งออกแบบให้มีการฉีดรอบเว้นรอบ

- 2 กำหนดให้คิดเชื้อเพลิงแบบนครอ และคิดช่วงฟันที่ 1-7
- 3 ตรวจสอบตำแหน่งฟันอ้างอิงของสัญญาณความเร็วรอบเครื่องยนต์เพื่อเป็นจุดอ้างอิงเริ่มต้นในการนับพัลส์เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นคิดเชื้อเพลิงในที่นี้ใช้ฟันที่ 1
- 4 ตรวจสอบว่าเวลาการคิดเท่ากับเวลาที่ส่งมาจากตัวควบคุมที่ได้จาก RTC (Real time Controller) หรือยัง ถ้าเวลาที่นับพัลส์(1 พัลส์ = 50 uS) บน FPGA เท่ากับที่เวลา RTC ส่งมาให้หยุดคิดเชื้อเพลิงและคำนวณการคิดในรอบการคิดถัดไปแบบเดิมอีกครั้งซ้ำๆ

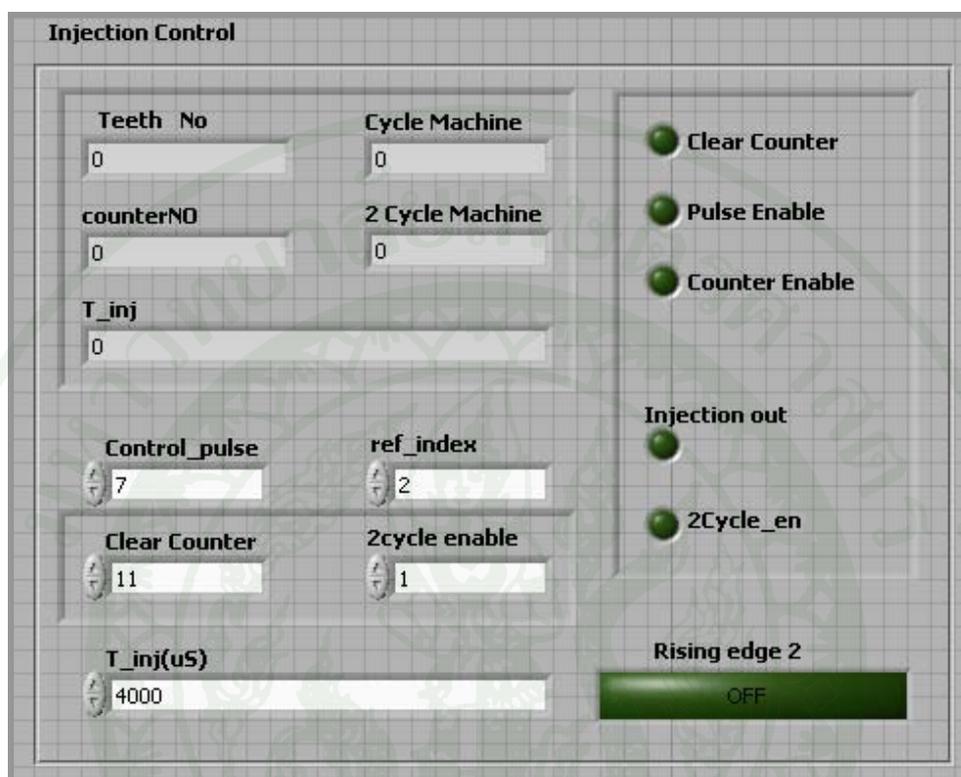
ระยะเวลาการคิดเชื้อเพลิงได้มาจากความสัมพันธ์ ของความเร็วรอบของเครื่องยนต์และตำแหน่งลิ้นเร่ง ซึ่งเป็นลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นในเบื้องต้นจึงได้เก็บข้อมูลคร่าวๆ จาก ECU เดิมของเครื่องยนต์ที่ ตำแหน่งลิ้นเร่ง 10%, 15%, 20% และความเร็วรอบเครื่องยนต์ช่วง 2000-9000 รอบต่อนาที เว้นช่วงละ 500 เมื่อได้ข้อมูลจึงเอามาสร้างตาราง 2 มิติ โดยให้ตารางแนวนอน เป็นความเร็วรอบเครื่องยนต์และแนวตั้งเป็น ตำแหน่งลิ้นเร่งหรือเป็นข้อมูลอินพุทของระบบ และรายละเอียดข้อมูลในตารางเป็นระยะเวลาการคิดเชื้อเพลิง (ภาพที่ 36) เมื่อได้ข้อมูลดังกล่าวทั้งหมดก็นำมาพัฒนาโปรแกรมและทำการคำนวณบน Real-Time Controller เมื่อระบบรับสัญญาณตำแหน่งลิ้นเร่ง (TPS) และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (RPM) ก็จะเปิดตารางหาระยะเวลาการคิดเชื้อเพลิงที่จุดทำงานจุดนั้นๆ และส่งค่าระยะเวลาการคิดเชื้อเพลิงให้ FPGA คำนวณเวลาการเปิดปิด โซลินอยของหัวฉีดเพื่อคิดเชื้อเพลิงในลำดับถัดไป

	RPM									
%TPS	3400	3500	3600	3700	3800	3900	4000	4100	4200	
1%	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
5%	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
10%	2980	3200	3020	3100	3150	3100	2900	3000	2950	
15%	5393	5920	6266	5795	5534	5256	4700	4997	4612	
20%	5479	4500	5143	4277	3832	3469	4350	3451	4910	

ภาพที่ 36 ตารางระยะเวลาการคิดเชื้อเพลิงแต่ละจุดทำงาน

ในการควบคุมสามารถปรับค่าการคิดได้โดยปรับค่าผ่าน Front panel การคิดเชื้อเพลิง (ภาพที่ 37) โดย ตรงส่วน Front panel สามารถตั้งค่า เริ่มต้น และ Set เป็นค่า Default ไว้ ทุกครั้งที่ ECU

เริ่มทำงานก็จะเริ่มต้นใช้ข้อมูลที่ Set ไว้ ซึ่งในการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงทุกชนิดระยะเวลาที่ใช้ฉีดเชื้อเพลิงในการ Start เครื่องยนต์ กำหนดโดย $T_{inj}(uS)$ เท่ากับ 4000 uS



ภาพที่ 37 Front panel การฉีดเชื้อเพลิง บน FPGA

6. การควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับของเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอล

งานวิจัยนี้ขอเสนอแนวคิดในการประมาณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงแบบยืดหยุ่นซึ่งใช้แก๊สโซลีน-เอทานอล ผสมในอัตราส่วนต่างๆ ในการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงให้มีการเผาไหม้สมบูรณ์ลดมลพิษนั้นจะต้องรู้อัตราส่วนปริมาณอากาศต่อปริมาณเชื้อเพลิงแต่ละชนิดจึงจะสามารถคำนวณเวลาการฉีดเชื้อเพลิงแบบผสมได้ โดยสามารถคำนวณปริมาณอากาศได้จากปฏิกิริยาสันดาปของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดและระยะเวลาที่ตั้งต่อไปนี้

6.1 ปฏิกิริยาของการสันดาป (Combustion Reactions) ของเชื้อเพลิงผสม (แก๊สโซลีน-เอทานอล)

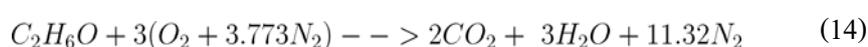
เชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้เบนซิน 91 หรือที่เรียกว่า “แก๊สโซลีน” 100 เปอร์เซ็น (E0) และใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่าง แก๊สโซลีน กับ แอลกอฮอล์ (ได้แก่ เอทานอล) ซึ่งก็จะมี E20, E85 แสดงอัตราส่วนผสมและคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ใช้ทดลองดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงและอัตราส่วนปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เผาไหม้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

เชื้อเพลิง	อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิง		อัตราส่วนปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เผาไหม้สมบูรณ์ (AFR _{st})	ค่า α ($\frac{AFR_s^{E0}}{AFR_s^{En}}$)
	เอทานอล	แก๊สโซลีน		
แก๊สโซลีน E0	0%	100%	14.7	1
แก๊สโซฮอลล์ E20	20%	80%	13.6	1.08
แก๊สโซฮอลล์ E85	85%	15%	9.9	1.49
เอทานอล E100	100%	0	9.0	1.6

เครื่องยนต์สันดาปภายในส่วนใหญ่ ได้พลังงานจากการสันดาปของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนกับอากาศโดยแปลงพลังงานเคมีของเชื้อเพลิง เป็นพลังงานภายในของก๊าซในเครื่องยนต์ เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนนี้ มีรูปแบบแตกต่างกันหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของไฮโดรเจนและคาร์บอนแต่อาจมีออกซิเจน ไนโตรเจน หรือ กำมะถันเป็นส่วนประกอบ เชื้อเพลิงจะปลดปล่อยพลังงานเคมี (ความร้อน) ออกมาให้ใช้งานได้สูงสุด ก็ต่อเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในสัดส่วนสมบูรณ์ (stoichiometric) (GmbH, 2004.)

ปริมาณออกซิเจนเหมาะสมสูงสุดทางทฤษฎี จะเหมาะสมกับการแปลงคาร์บอน(C) ในเชื้อเพลิงให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และแปลงไฮโดรเจน (H₂) เป็นน้ำ (H₂O) พอดี โดยไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่ ดังสมการ (1) และสมการเคมีที่สมดุลของเอทานอล (Ethanol) C₂H₆O ซึ่งสันดาปกับออกซิเจนในสัดส่วนสมบูรณ์ดังสมการ 14



นั่นคือออกซิเจนสามโมล ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงหนึ่งโมลและได้คาร์บอนไดออกไซด์สองโมลกับน้ำ 3 โมล เนื่องจากโมเลกุลทำปฏิกิริยากับโมเลกุลด้วยกันจึงใช้จำนวนโมเลกุลแทนจำนวนมวลในการทำสมการเคมีให้สมดุล หนึ่งกิโลกรัมโมลของสสาร จึงมีมวลเท่ากับ ค่าน้ำหนักโมเลกุล และมีหน่วยเป็นกิโลกรัมดังสมการ

$$m = NM \quad (15)$$

โดย: m = มวล, N = จำนวนโมล, M = น้ำหนักโมเลกุล จะได้

$$1 \text{ กรัม/โมล ของเอทานอล } C_2H_6O = 2 \times 12.01078 \times 6 \times 1.007947 \times 15.99943 = 46.06867$$

$$1 \text{ กรัม/โมล ของอากาศ } 3(O_2 + 3.773N_2) = (3 \times 2 \times 15.9994) + (3 \times 3.773 \times 2 \times 14.00672) = 413.0807$$

เมื่อ C_2H_6O เป็นเชื้อเพลิงเอทานอล น้ำหนัก 46.06867 กิโลกรัม

ใช้อากาศ $3(O_2 + 3.773N_2)$ ในการเผาไหม้ 413.0807 กิโลกรัม

$$\text{ดังนั้น อัตราส่วน อากาศต่อเชื้อเพลิงเอทานอล } 100\% (AFR_s) = \frac{413.0807}{46.06867} = 9$$

หากมีการเปลี่ยนอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงผสม เอทานอลแก๊สโซลีน ทำให้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เปลี่ยน สามารถคำนวณหา AFR_s ของเชื้อเพลิงผสม โดยการเปลี่ยนมวลของเชื้อเพลิงเป็นโมล ดังตารางที่ 8 และตารางที่ 9 เป็นการเปลี่ยนมวลของเชื้อเพลิง E0 และ E85 โดยอนุโลมให้ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง เอทานอลและแก๊สโซลีนเท่ากัน

ตารางที่ 8 เปลี่ยนมวลของเชื้อเพลิง E20 เป็นโมล

เชื้อเพลิง	มวล, m (กก)	น้ำหนักโมเลกุล, M	โมล	
			$N = m/M$	จำนวนโมล (กิโลกรัมโมล)
แก๊สโซลีน C_8H_{16}	0.80	112.2134	0.007129273	0.62152475
เอทานอล C_2H_6O	0.20	46.06867	0.004341345	0.37847525
	1.00		0.011470619	1.00

เชื้อเพลิงผสมเอทานอลแก๊สโซลีน (E20) 1 กิโลกรัม โมลทำปฏิกิริยากับอากาศด้วยอัตราส่วนสมมูลที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์



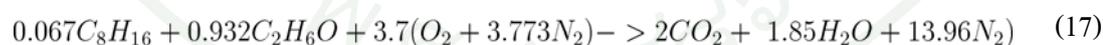
เมื่อ $0.621C_8H_{16} + 0.378C_2H_6O$ เป็นเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอล น้ำหนัก 87.3 กิโลกรัม ใช้อากาศ $8.7(O_2 + 3.773N_2)$ ในการเผาไหม้ 1196 กิโลกรัม

ดังนั้น อัตราส่วน อากาศต่อเชื้อเพลิงผสมเอทานอล 20% (AFR_s) = $\frac{1196}{87.3} = 13.69$

ตารางที่ 9 เปลี่ยนมวลของเชื้อเพลิง E85 เป็นโมล

เชื้อเพลิง	มวล, m (กก)	น้ำหนักโมเลกุล, M	โมล	
			$N = m/M$	จำนวนโมล (กิโลกรัมโมล)
แก๊สโซลีน C_8H_{16}	0.10	112.2134	0.001336739	0.067554869
เอทานอล C_2H_6O	0.85	46.06867	0.018450717	0.932445131
	1.00		0.019787456	1.00

สมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมเอทานอลแก๊สโซลีน (E85) 1 กิโลกรัม โมลทำปฏิกิริยากับอากาศด้วยอัตราส่วนสมมูลที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ (Stoichiometric)



เมื่อ $0.067C_8H_{16} + 0.932C_2H_6O$ เป็นเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอล น้ำหนัก 51 กิโลกรัม ใช้อากาศ $3.7(O_2 + 3.773N_2)$ ในการเผาไหม้ 508.5 กิโลกรัม

ดังนั้น อัตราส่วน อากาศต่อเชื้อเพลิงผสมเอทานอล 85% (AFR_s) = $\frac{508.5}{51} = 9.97$

9.2 การคำนวณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงผสม แก๊สโซลีน-เอทานอล

การควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงผสมในอัตราต่างๆ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะต้องคำนวณ

ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงผสมแต่ละอัตราส่วนผสม โดยการนำเฟคเตอร์เชื้อเพลิงผสมแต่ละชนิดที่ค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (Relative Stoichiometric) คูณกับระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากแบบจำลองที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน โดยสามารถคำนวณหาเวลาการฉีดเชื้อเพลิงผสม (แก๊สโซลีน-เอธานอล) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$\alpha = \frac{AFR_S^{E0}}{AFR_S^{E_n}} \quad (18)$$

$$T_{FF-Inj} = T_{E0-Inj} \times \alpha \quad (19)$$

กำหนดให้

α	เฟคเตอร์เชื้อเพลิงผสมแต่ละชนิดที่ค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
T_{FF-Inj}	ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงผสม E0, E20, E85
T_{E0-Inj}	ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิง แก๊สโซลีน E0
AFR_S^{E0}	อัตราส่วนเผาไหม้สมบูรณ์ของอากาศต่อเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน
$AFR_S^{E_n}$	อัตราส่วนเผาไหม้สมบูรณ์ของอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมเอธานอล-แก๊สโซลีน

9.3 ระบบควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอธานอล แบบป้อนกลับ

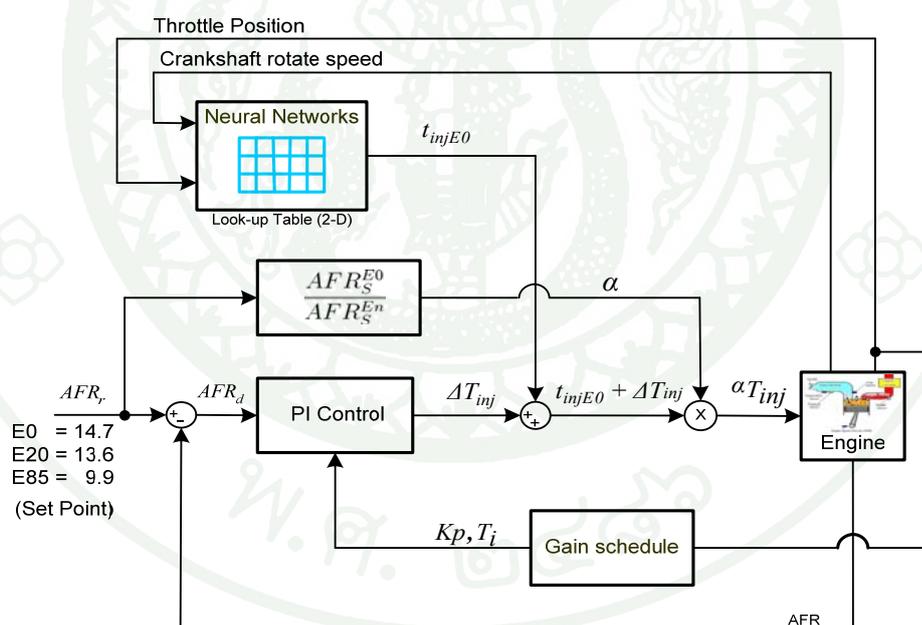
ในการควบคุมนี้เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ(Feedback) ภาพที่ 38 ประกอบด้วยการควบคุม 2 ส่วนคือ การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า(Feed Forward) และการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feed Back) โดยการป้อนกลับสัญญาณจากออกซิเจนเซนเซอร์ซึ่งปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิง (AFR) นำมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุตอ้างอิง (Setpoint) ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด โดยค่าอินพุตอ้างอิงเป็นค่าอัตราส่วนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด กำหนดให้ AFR_d เป็นค่าอินพุตอ้างอิง มีค่าดังต่อไปนี้ $E0 = 14.7$, $E20 = 13.6$, $E85=9.9$ ใช้ตัวควบคุม PI ที่สามารถปรับเกน(Gain) ได้โดยการใช้ Gain schedule ในการมอนิเตอร์สัญญาณบอกตำแหน่งลิ้นเร่งของเครื่องยนต์มาปรับเกน (Gain) เพื่อให้สามารถควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีการเผาไหม้สมบูรณ์ทุกจุดทำงานที่พิจารณาที่สภาวะอยู่ตัว (Steady state) ตลอดช่วงที่พิจารณา โดยให้ ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเป็นตัวปรับค่า Gain ของตัวควบคุม PI ดังตารางที่ 10

โดยที่ K_p	คือ	Proportional gain
T_i	คือ	Integral gain.

ตารางที่ 10 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับ Gain PI (%TPS)	K_p	T_i
10%	180	200
15%	180	200
20%	350	200

การควบคุมแบบ Feed Forward ได้ข้อมูลระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงพื้นฐานมาจากแบบจำลองการประมาณระยะเวลาแบบป้อนกลับ มาตรฐานตาราง 2 มิติ โดยรับข้อมูลอินพุตมาจากเครื่องยนต์ (Engine) คือตำแหน่งลิ้นเร่ง (Throttle Position) และ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (Crankshaft rotation speed) มาเป็นเงื่อนไขในการเปิดตาราง (Look-up Table) ทำการเปิดตารางโดยตัวควบคุม PI จะทำการชดเชยและปรับค่าการฉีดเชื้อเพลิงให้ได้ตาม อินพุตอ้างอิง (Set Point)



ภาพที่ 38 แผนผังระบบควบคุม AFR แบบป้อนกลับ ของเชื้อเพลิงผสมแก๊ส โซลีน-เอธานอล

ในระบบควบคุม AFR ของเชื้อเพลิงผสมแก๊ส โซลีน-เอธานอลแบบป้อนกลับ(Feedback) โดยการคำนวณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์โดยมีขั้นตอนดังนี้

$$AFR_d = AFR_r - AFR \quad (20)$$

$$\Delta T_{inj} = K_p(AFR_d + \frac{1}{T_i} \int_0^t AFR_d) \quad (21)$$

$$\alpha = \frac{AFR_s^{E0}}{AFR_s^{En}} \quad (22)$$

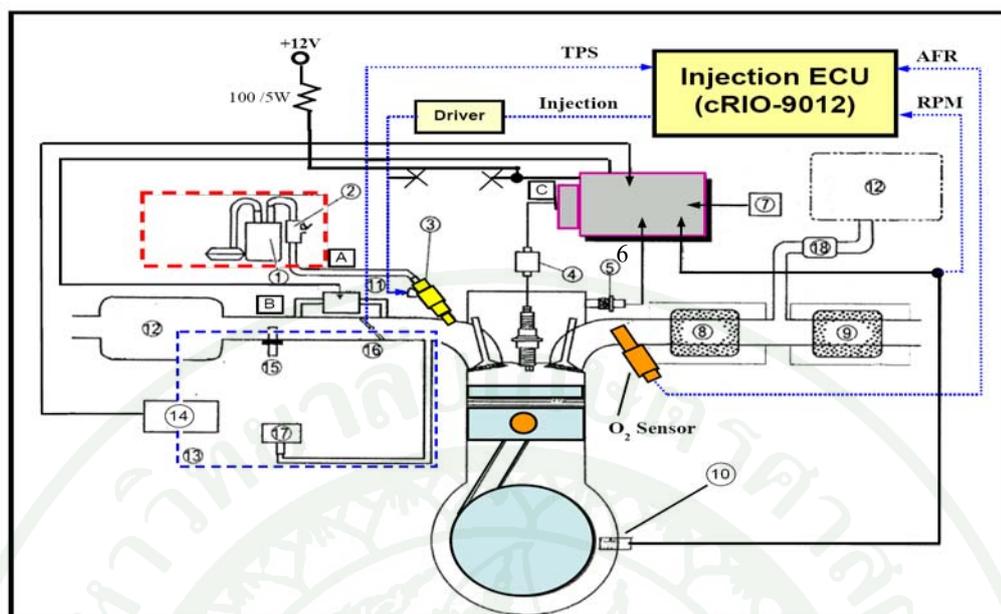
$$\alpha T_{inj} = \alpha(T_{injE0} + \Delta T_{inj}) \quad (23)$$

โดยที่

α เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของค่า AFR_s^{E0} ของเชื้อเพลิง E0 ที่จุด Stoichiometric AFR_s^{En} ของเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอลในอัตราส่วนต่างๆ ที่จุด Stoichiometric เช่นกัน

ดังนั้นระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงผสมจึงได้จากผลรวมของ ΔT_{inj} และ T_{injE0} คูณกับ α

ในการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ ต่างจากระบบเดิมที่เป็นแบบวงเปิด (Open Loop) คือ ระบบที่ควบคุมแบบป้อนกลับ มีการป้อนกลับ AFR มาทำการควบคุมให้เพื่อให้สามารถควบคุมได้ตามอินพุตอ้างอิงของระบบ ภาพที่ 39 เป็นผังการต่อสายสัญญาณการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงในรถยนต์ยามาฮ่า รุ่น Spark I 135 โดย Injection ECU (cRIO 9012) ที่พัฒนาระบบการฉีดแบบป้อนกลับแทนตัวเดิม ได้ตัดสัญญาณการฉีดเชื้อเพลิงออกจาก ECU เดิมที่ติดมากับรถและทำการ Pull up สายสัญญาณฉีด ECU เดิม ด้วยตัวต้านทานขนาด 100 โอห์ม 1 วัตต์ และเพิ่มออกซิเจนเซ็นเซอร์เข้าไปตรงคอท่อไอเสียก่อน แกดตะไลติกคอนเวอร์เตอร์ เพื่อวัด AFR โดยอาศัยการจุดระเบิดจาก ECU เดิมที่ติดมากับรถ



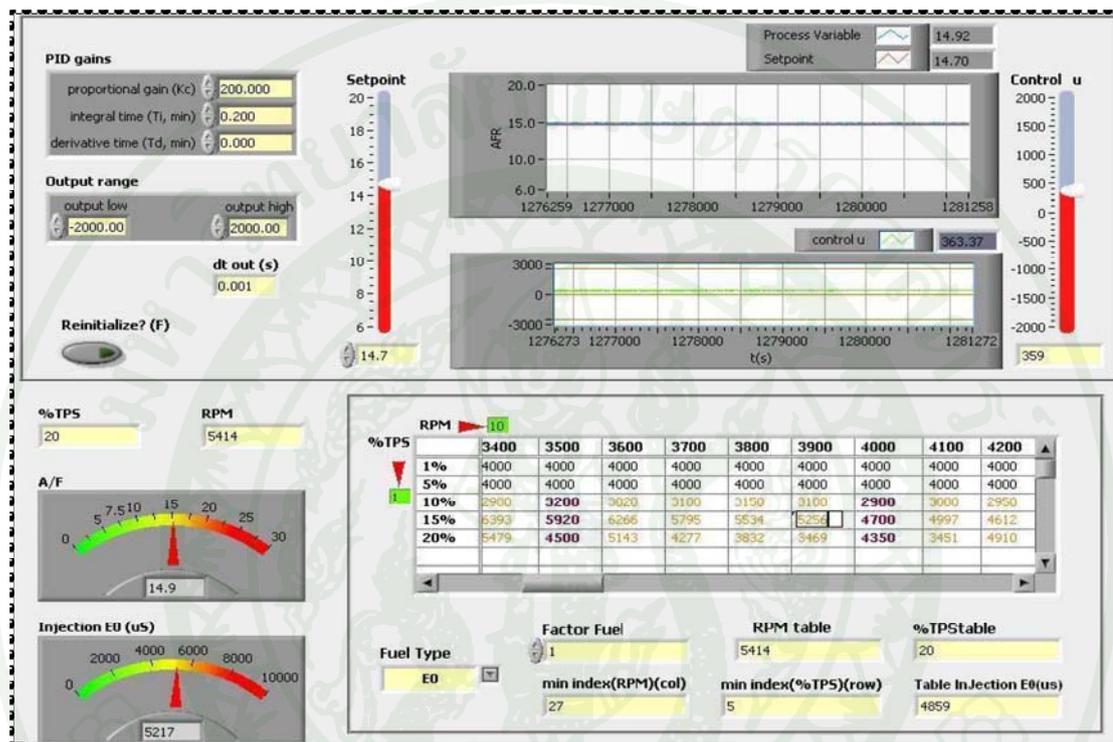
ภาพที่ 39 การต่อระบบควบคุมแบบ Open loop เข้ากับเซ็นเซอร์ของรถจักรยานยนต์ YAMAHA Spark I 135

ตารางที่ 11 รายละเอียดอุปกรณ์และเซ็นเซอร์ของรถจักรยานยนต์ YAMAHA Spark I 135

เซ็นเซอร์และรายการอุปกรณ์	เซ็นเซอร์และรายการอุปกรณ์
1 ป้อนน้ำมันเชื้อเพลิง	10 เซ็นเซอร์จับตำแหน่งพลาซ้าเอียง
2 รีเลย์มอเตอร์ปรับแรงดัน	11 FID (ชุดควบคุมรอบเดินเบาเร็ว)
3 หัวฉีด	12 หม้อกรองอากาศ
4 คอยล์จุดระเบิด	13 เรือนลิ้นเร่ง
5 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ	14 ชุดเซ็นเซอร์เรือนลิ้นเร่ง
6 ECU (ชุดควบคุมเครื่องยนต์ที่ติดมากับรถ)	15 เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศเข้า
7 เซ็นเซอร์วัดมุมเอียงตัวรถ	16 เซ็นเซอร์ตรวจจับตำแหน่งลิ้นเร่ง
8 แคมตาไลติกคอนเวอร์เตอร์ (คอท่อไอเสีย)	17 เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศเข้า
9 แคมตาไลติกคอนเวอร์เตอร์ (ปลายท่อไอเสีย)	18 หรีดวาล์ว

A ระบบเชื้อเพลิง B ระบบอากาศ C ระบบควบคุม

ในการควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอล แบบป้อนกลับ เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงจะต้องปรับตั้งค่า Setpoint (อ้างอิง) กับ Factor Fuel (α) และชนิดของเชื้อเพลิง ทุกครั้งจึงจะสามารถควบคุมให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำโดยปรับผ่าน Host PC ซึ่งติดต่อระหว่างผู้ใช้และระบบควบคุม ซึ่งเรียกว่า Front panel แสดงหน้าจอ ดังภาพที่ 40



ภาพที่ 40 หน้าจอการควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอล แบบป้อนกลับ

ผลและวิจารณ์

ผล

เงื่อนไขการทดสอบ

การทดสอบแบบจำลองการประมาณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงในอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอล เพื่อลดมลพิษที่จุดทำงานที่พิจารณาที่สภาวะอยู่ตัว (Steady state) โดยมีวิธีการทดสอบ 2 วิธี คือ ทดสอบแบบจำลองกับข้อมูลที่ถูกต้องที่มีอยู่แล้วและทดสอบโดยการนำแบบจำลองที่ได้ใช้ในการประมาณค่าระยะเวลาและทดสอบว่าค่าที่ประมาณมาได้ถูกต้องหรือไม่โดยการนำค่าระยะเวลาที่ประมาณได้ทดสอบกับเครื่องยนต์โดยวิธีเปิดตาราง (Lookup table) ควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า (Feed Forward) และเพื่อควบคุมให้ได้ค่าตามอินพุตอ้างอิงจึงได้เพิ่มการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback) เป็นลักษณะการควบคุมแบบวงปิด (Close loop) เพื่อควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ทุกจุดทำงานลดมลพิษที่จุดทำงานที่สภาวะอยู่ตัว (Steady state)

1. ผลการทดสอบ

แบ่งผลการทดสอบเป็น 3 ส่วนดังนี้

- 1) แบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop)
- 2) แบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ
- 3) ระบบควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอลแบบป้อนกลับ

1.1. ค่าพิสัยของข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลองจากระบบควบคุมแบบ Open loop

ในการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop) ทดสอบโดยการ นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนที่ 1 ใช้หาแบบจำลอง และ ส่วนที่ 2 ใช้ในการทดสอบ โดยข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองจำนวน 329 จุด รายละเอียดโดยสรุปของแบบจำลองดังตารางที่

ตารางที่ 12 ค่าพิสัยของข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลองจากระบบควบคุมแบบ Open loop
ขนาด 3-30-30-1

พิสัย	ข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลอง ขนาด 3-30-30-1				
	จำนวนข้อมูลที่ใช้ ทดสอบ	RPM	%TPS	AFR	T_{injE0} (mS)
ค่าต่ำสุด		2970	9.36	9	4.027
ค่าสูงสุด	329	9078	41.18	19.75	7.255
ค่าเฉลี่ย		5684	24.65	12.07	5.128

จาดตารางที่ 12 ข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลอง จะมี 3 ตัวแปรเท่านั้นคือ RPM, %TPS, AFR และค่าที่ได้จากการประมาณค่าโดยแบบจำลองคือ T_{injE0} โดยที่ค่า AFR ที่ใช้หาแบบจำลองอยู่ในช่วง 9 – 19.75

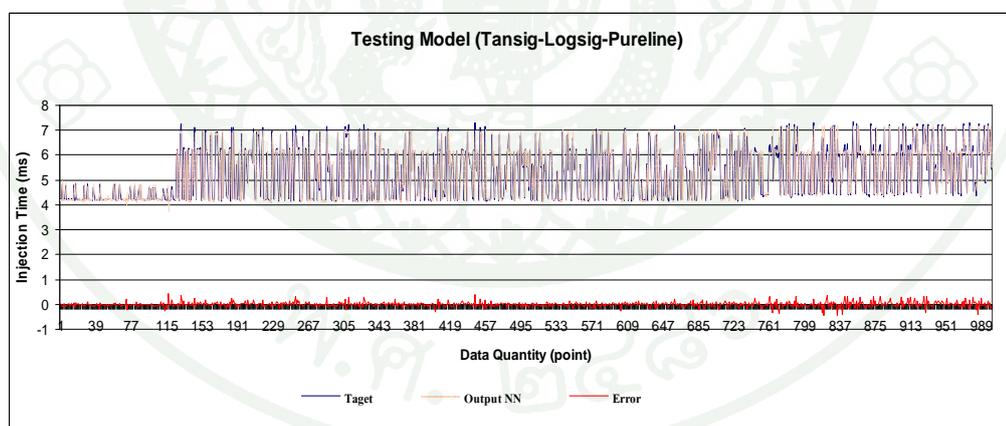
1.2. ผลการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงของแบบจำลองแบบ Open loop เมื่อแบบจำลองมีค่า AFR ที่ใช้ทดสอบอยู่ในช่วง 8.96 – 19.77

แบบจำลองที่ได้ข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop) สร้างด้วยฟังก์ชัน Tansig-Logsig-Pureline และ ฟังก์ชัน Tansig-Logsig-Posline มีขนาดโหนดและจำนวนชั้นเท่ากัน โดยให้แบบจำลองทั้งสองประมาณค่าระยะเวลาและนำมาเปรียบเทียบกับค่าเวลาที่ได้จากผลการทดสอบมาจากเครื่องยนต์จริง ที่ความเร็วรอบ, ตำแหน่งดินเร่ง, และ AFR ดังรายละเอียดช่วงข้อมูลในตารางที่ 13 และ ตารางที่ 14 ซึ่งให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ย 0.05 เปอร์เซ็นต์, ค่าผิดพลาดสูงสุด 4.51 เปอร์เซ็นต์ (ฟังก์ชัน Tansig-Logsig-Pureline) และ 25.01 เปอร์เซ็นต์แต่ให้ค่าผิดพลาดสูงสุด 100 เปอร์เซ็นต์ (ฟังก์ชัน Tansig-Logsig-Poslin) ข้อสังเกตในการทดสอบนี้คือ AFR ที่ใช้ไม่ใช่ค่าที่ทำให้ได้อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงมีการเผาไหม้สมบูรณ์ (14.7:1) ทุกจุดทำงาน

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบแบบจำลองแบบวงเปิด ที่สร้างด้วยฟังก์ชัน Tansig-Logsig-Pureline

พิสัย	ข้อมูลที่ใช้ทดสอบแบบจำลอง ที่สร้างด้วยฟังก์ชัน (Tansig-Logsig-Pureline)					ผลการทดสอบแบบจำลอง		
	จำนวนข้อมูล ที่ใช้ทดสอบ	RPM	%TPS	T_{injE0_R} (mS)	AFR	T_{injE0_M} (mS)	ค่า	%
							ผิดพลาด	ผิดพลาด
ค่าต่ำสุด		2950	9.32	3.928	8.96	3.751	- 0.939	2.68
ค่าสูงสุด	2076	9099	41.46	7.34	19.77	7.143	0.629	4.51
ค่าเฉลี่ย		5726	27.83	5.425	11.47	5.422	0.002	0.05

จากตารางที่ 13 เมื่อเปรียบเทียบค่า T_{injE0_R} (เป็นค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บระบบควบคุมแบบ Open loop (โดยECU เดิมที่ติดมากับรถ) เปรียบเทียบกับค่า T_{injE0_M} (ระยะเวลาฉีดเชื้อเพลิงที่ประมาณค่าโดยแบบจำลอง) ให้ค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ย 0.05% และเมื่อนำมาพล็อตกราฟ ค่า T_{injE0_R} และ T_{injE0_M} ทับกันเกือบสนิทจะเห็นว่าค่าผิดพลาดเข้าใกล้จุดศูนย์ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 กราฟผลการทดสอบแบบจำลองแบบวงเปิดที่สร้างด้วยฟังก์ชัน Tansig-Logsig-Pureline

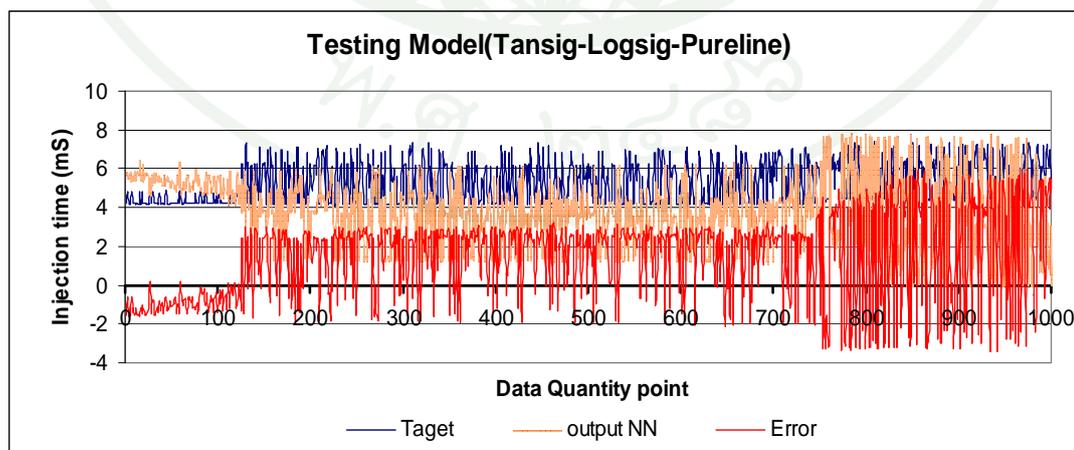
กำหนดให้

Taget	ค่าระยะเวลาที่ได้จากการเก็บข้อมูลเครื่องยนต์ที่มีการควบคุมแบบเปิด
OutputNN	ค่าระยะเวลาที่ได้จากการประมาณค่าด้วยแบบจำลอง
Error	ค่าผิดพลาดของแบบจำลอง

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบแบบจำลองแบบวงเปิด ที่สร้างด้วยฟังก์ชัน Tansig-Logsig-Poslin

ผลลัพธ์	ข้อมูลที่ใช้ทดสอบแบบจำลอง ที่สร้างด้วย		ฟังก์ชัน					
	จำนวน		Tansig-Logsig-Poslin					
	ข้อมูลที่ใช้	ทดสอบ	RPM	%TPS	T_{injE0_R} (mS)	AFR	T_{injE0_M} (mS)	ค่าผิดพลาด
ค่าต่ำสุด	2076	2950	9.32	3.928	8.96	0.000	-3.261	-73.822
ค่าสูงสุด		9099	41.46	7.34	19.77	7.678	6.427	100.00
ค่าเฉลี่ย		5726	27.83	5.425	11.47	3.886	1.538	25.01

จากตารางที่ 14 เมื่อเปรียบเทียบค่า T_{injE0_R} (เป็นค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บระบบควบคุมแบบ Open loop (โดย ECU เดิมที่ติดมากับรถ) เปรียบเทียบกับค่า T_{injE0_M} (ระยะเวลาฉีดเชื้อเพลิงที่ประมาณค่าโดยแบบจำลอง) ให้ค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ย 25.01% แต่ให้ค่าผิดพลาดสูงสุด 100 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำมาพล็อตกราฟ ค่า T_{injE0_R} และ T_{injE0_M} ไม่ทับกันและค่าผิดพลาดออกห่างจากจุดศูนย์และไม่มีแนวโน้มที่จะดูเข้าดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 กราฟผลการทดสอบแบบจำลองแบบวงเปิดที่สร้างด้วยฟังก์ชัน Tansig-Logsig-Posline

กำหนดให้

Taget	ค่าระยะเวลาที่ได้จากการเก็บข้อมูลเครื่องชนิดที่มีการควบคุมแบบเปิด
OutputNN	ค่าระยะเวลาที่ได้จากการประมาณค่าด้วยแบบจำลอง
Error	ค่าผิดพลาดของแบบจำลอง

1.1.2 ผลการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงของแบบจำลองแบบ Open loop เมื่อ กำหนดให้ AFR = 14.7 ทุกจุดทำงาน

จากผลการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงของแบบจำลองแบบ Open loop เมื่อแบบจำลองมีค่า AFR ที่ใช้ทดสอบอยู่ในช่วง 8.96 – 19.77 แบบจำลองที่สร้างด้วยฟังก์ชัน Tansig-Logsig-Pureline ให้ค่าเฉลี่ยผิดพลาดต่ำสุดคือ 0.05% จึงนำค่าแบบจำลองมาใช้ในการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ทำอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ (Stoichiometric (14.7:1) AFR = 14.7 ทุกจุดทำงาน และเปรียบเทียบผลการประมาณค่ากับแบบจำลองที่สร้างจากสร้างจากฟังก์ชันที่แตกต่างกัน 3 แบบ โดยแบบจำลองประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงทั้งหมด 2076 จุด จะเห็นว่า แบบจำลองทั้ง 3 แบบให้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันแต่แบบ Tansig, Logsig, Purelin และ Tansig,Tansig,Pureline ประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงออกมาเป็นลบ แสดงผลการประมาณค่าระยะเวลาทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์โดยสรุปดังตารางที่ 15 ซึ่งไม่สามารถนำแบบจำลองมาใช้งานตามวัตถุประสงค์ได้จึงเปลี่ยนเป็นการหาแบบจำลองจากระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 15 ผลการประมาณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่จุด Stoichiometric ของแบบจำลองของระบบควบคุมแบบ Open loop

พิกัด	ข้อมูลขาเข้าที่ใช้ประมาณค่าแบบจำลอง			ระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ค่า Stoichiometric ที่ประมาณโดยแบบจำลองที่สร้างจากฟังก์ชันที่แตกต่างกัน (mS)			
	จำนวน	% TPS		AFR _{Stoich}	Tansig, Logsig, Posline	Tansig, Logsig, Pureline	Tansig, Tansig, Pureline
	ข้อมูลที่ใช้ทดสอบ	RPM				e	
ค่าต่ำสุด		2950	9	14.7	1.15	-2.31	-0.95
ค่าสูงสุด	2076	9099	41	14.7	7.46	11.32	10.91
ค่าเฉลี่ย		5726	27	14.7	4.35	5.560	4.90

1.2 แบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ

ในการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ โดยการทดสอบด้วยเครื่องยนต์จริง โดยการนำค่าที่ประมาณค่าโดยแบบจำลอง มาทดสอบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบเปิดตาราง แบบ และแบบ เปิดตารางร่วมกับแบบ PI โดยข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองมีจำนวน 28 จุด รายละเอียดโดยสรุปของแบบจำลองดังตารางที่ 16 พิจารณาข้อมูลในตารางจะเห็นว่า AFR มีค่า 14.7 ทุกจุดทำงาน

ตารางที่ 16 ค่าพิสัยของข้อมูลที่ใช้สร้างจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ
ขนาด 2-30-30-1

พิสัย	ข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลอง				
	ขนาด 3-30-30-1				
	จำนวนข้อมูลที่ใช้ทดสอบ	RPM	%TPS	AFR	T _{injE0} (mS)
ค่าต่ำสุด		2000	10		7.000
ค่าสูงสุด	28	9000	20	14.7	3.300
ค่าเฉลี่ย		5018	16		4.807

ในการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ โดยการนำค่าที่ทำกรประมาณโดยแบบจำลองมาใช้ทดสอบกับเครื่องยนต์จริงด้วย ECU ที่พัฒนาขึ้นที่มีการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงโดยวิธีการเปิดตารางและปรับจุดทำงานไปที่ต้องการทดสอบที่สภาวะอยู่ตัว (Steady state) สุ่มมาเป็นบางค่า

ในการทดสอบ แบ่งการทดสอบตามชนิดของ เชื้อเพลิง คือ ตรวจสอบระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดคือ E0 (ภาพที่ 43), E20 (ภาพที่ 44), E85 (ภาพที่ 45) โดยเปรียบเทียบระยะเวลาที่ประมาณได้ด้วยแบบจำลอง มาเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ทดสอบฉีดจริงโดยเบื้องต้นทดลองควบคุมแบบ Open loop โดยวิธีเปิดตารางทดสอบปรับความเร็วรอบแบบ Random ช่วง 2000-6693 ที่ตำแหน่ง TPS 16-20% เป็นการทดสอบโดยวิธีเปิดตารางอย่างเดียว แสดงผลการทดสอบตารางที่ 17 ซึ่งค่าของ AFR สวิงอยู่ในช่วง 14.6 -15 เป็นค่าที่ยอมรับได้แต่ ไม่ได้ AFR = 14.7 ทุกจุดทำงาน จึงเปลี่ยนเป็นการควบคุมแบบป้อนกลับและใช้วิธีเปิดตารางร่วมกับคอนโทรลเลอร์ PI แสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบดังตารางที่ 18, ตารางที่ 19 และตารางที่ 20

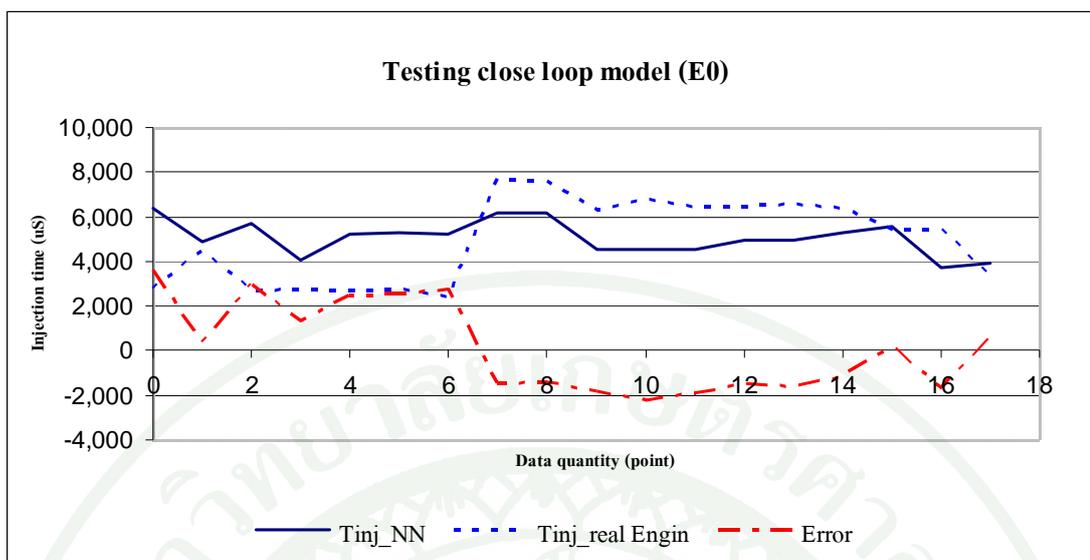
ตารางที่ 17 ผลการทดสอบแบบจำลองแบบป้อนกลับที่ประมาณระยะเวลาได้โดยทดสอบกับ
เครื่องยนต์โดยวิธีเปิดตาราง ใช้เชื้อเพลิง E0

พิสัย	ข้อมูลและเงื่อนไขที่ใช้ทดสอบแบบจำลอง ขนาด 3-30-30-1			ผลการทดสอบ แบบจำลอง	
	จำนวนข้อมูลที่ใช้ ทดสอบ	RPM	%TPS	AFR	AFR
ค่าต่ำสุด		2000	16	14.7	14.6
ค่าสูงสุด	28	6693	20	14.7	15
ค่าเฉลี่ย		3953	18	14.7	14.9

ตารางที่ 18 ผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ ด้วยเชื้อเพลิง E0

ลำดับ	%TPS	RPM	AFR	ระยะเวลาฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดสอบกับ		Error	%Error	
				การประมาณค่าด้วยแบบจำลอง (uS)	ระยะเวลาฉีดเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ (uS)			
1	10	2000		6350	2755	3595	57	
2	10	2800		4853	4494	359	7	
3	10	3200		8682	2717	5965	52	
4	10	3900		4056	2756	1300	32	
5	10	4000		5200	2720	2480	48	
6	10	4200		5280	2755	2525	48	
7	10	4300		5228	2453	2775	53	
8	15	3200		6197	7698	1501	24	
9	15	3200	14.7	6197	7588	1391	22	
10	15	4600		4532	6346	1814	40	
11	15	4600		4532	6777	2245	50	
12	15	4600		4532	6442	1910	42	
13	15	4700		4955	6442	1487	30	
14	15	4700		4955	6565	1610	32	
15	15	4800		5277	6403	1126	21	
16	20	4400		5577	5445	132	2	
17	20	5200		3751	5414	1663	44	
18	20	5500		3900	3296	604	15	
						ค่าผิดพลาดสูงสุด	5965	57
ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยเชื้อเพลิง E0						ค่าผิดพลาดต่ำสุด	132	2
						ค่าผิดพลาดเฉลี่ย	2028.95	33.9

จากตารางที่ 18 ผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ ด้วยเชื้อเพลิง E0 ที่ควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบเปิดตารางร่วมกับ PI โดยเปรียบเทียบผลการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงให้ได้ค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือ $AFR = 14.7$ มีค่าผิดพลาดเฉลี่ย 33.9% เมื่อนำมาพล็อตกราฟ (ภาพที่ 43) จะเห็นว่าค่าการควบคุม ลู่เข้าไปในทิศทางเดียว ค่าผิดพลาดสวิงอยู่รอบๆจุดศูนย์ ช่วง ± 2000 uS



ภาพที่ 43 กราฟผลการทดสอบแบบจำลองแบบป้อนกลับด้วยเชื้อเพลิง E0

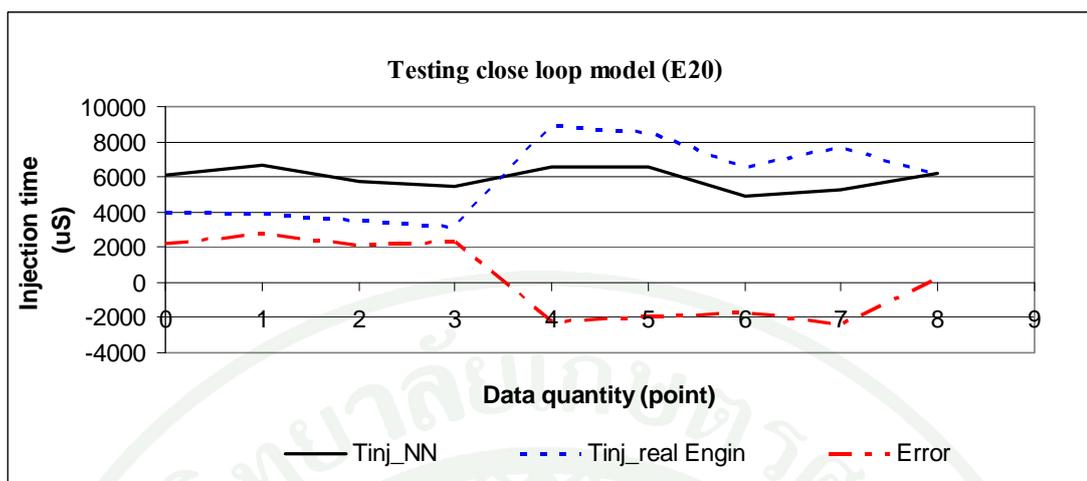
กำหนดให้

- Tinj_NN ค่าระยะเวลาที่ได้จากการประมาณค่าด้วยแบบจำลองแบบป้อนกลับ
- Tinj_real Engin ค่าระยะเวลาที่ได้จากการเก็บข้อมูลเครื่องยนต์ที่มีการควบคุมป้อนกลับ
- Error ค่าผิดพลาดของแบบจำลองแบบป้อนกลับ

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ ด้วยเชื้อเพลิง E20

ลำดับ	%TPS	RPM	AFR	ระยะเวลาฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการประมาณค่าด้วยแบบจำลอง (uS)	ระยะเวลาฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดสอบกับเครื่องยนต์ (uS)	Error	%Error
1	10	3200		6136	3934	2202	35.88
2	10	3400		6703	3927	2776	41.41
3	10	4200		5702	3537	2165	37.96
4	10	4400		5441	3116	2325	42.73
5	15	3000	13.3	6588	8847	-2259	34.28
6	15	3000		6588	8541	-1953	29.64
7	15	4600		4895	6538	-1643	33.56
8	20	4200		5302	7681	-2379	44.86
9	20	4300		6236	6075	161	2.58
					ค่าผิดพลาดสูงสุด	2776	44.86
ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยเชื้อเพลิง E20					ค่าผิดพลาดต่ำสุด	-2379	2.58
					ค่าผิดพลาดเฉลี่ย	155	33.65%

จากตารางที่ 19 ผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ ด้วยเชื้อเพลิง E20 ที่ควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบเปิดตารางร่วมกับ PI โดยเปรียบเทียบผลการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงให้ได้ค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือ AFR = 13.6 มีค่าผิดพลาดเฉลี่ย 33.65% เมื่อนำมาพล็อตกราฟ (ภาพที่ 44) จะเห็นว่าค่าการควบคุม ลู่เข้าไปในทิศทางเดียว ค่าผิดพลาดสวิงอยู่รอบๆจุดศูนย์ ช่วง +2700/- 2300 uS

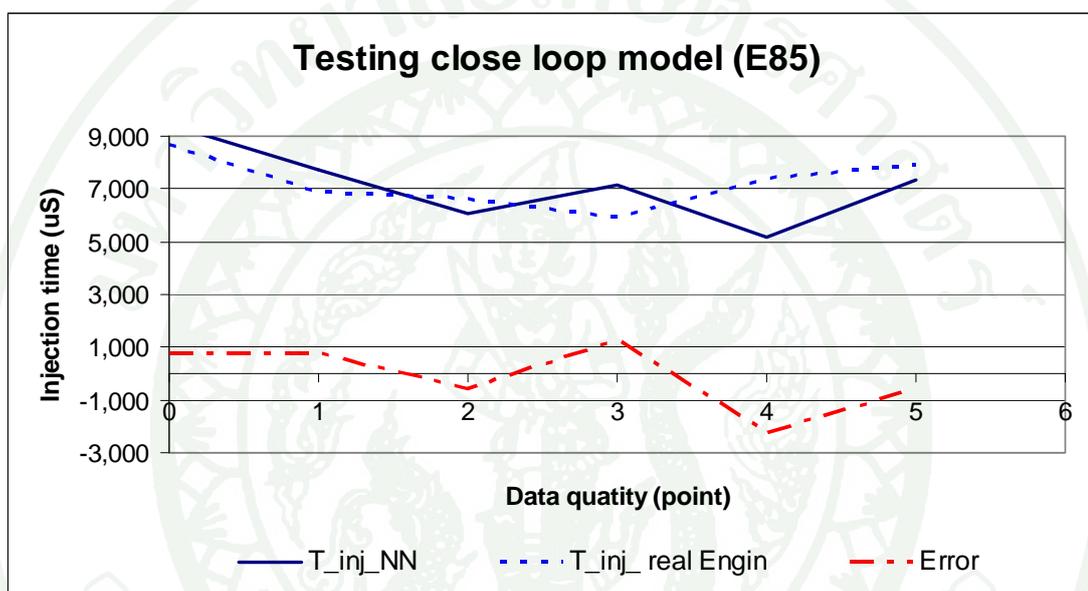


ภาพที่ 44 กราฟผลการทดสอบแบบจำลองแบบป้อนกลับด้วยเชื้อเพลิง E20

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ ด้วยเชื้อเพลิง E85

ลำดับ	%TPS	RPM	AFR	ระยะเวลาฉีด		Error	%Error
				เชื้อเพลิงที่ได้จากการประมาณค่าด้วยแบบจำลอง (uS)	ระยะเวลาฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการทดสอบกับเครื่องยนต์ (uS)		
1	10	2000	9.9	9462	8710	752.00	7.95
2	10	3100		7711	6925	786.00	10.19
3	10	3900		6043	6637	-594.00	9.83
4	10	4600		7175	5930	1245.00	17.35
5	20	4100		5143	7390	-2247.00	43.69
6	20	4700		7365	7926	-561.00	7.62
					ค่าผิดพลาดสูงสุด	1245.00	43.69
ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยเชื้อเพลิง E85					ค่าผิดพลาดต่ำสุด	-2247.00	7.62
					ค่าผิดพลาดเฉลี่ย	-103.17	16.11

จากตารางที่ 20 ผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ ด้วยเชื้อเพลิง E0 ที่ควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบเปิดตารางร่วมกับ PI โดยเปรียบเทียบผลการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงให้ได้ค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ คือ $AFR = 9.9$ มีค่าผิดพลาดเฉลี่ย 16.11% เมื่อนำมาพล็อตกราฟ (ภาพที่ 45) จะเห็นว่าค่าการควบคุม ลู่เข้าไปในทิศทางเดียว ค่าผิดพลาดสวิงอยู่รอบๆ จุดศูนย์ ช่วง $+1200/- 2200$ uS

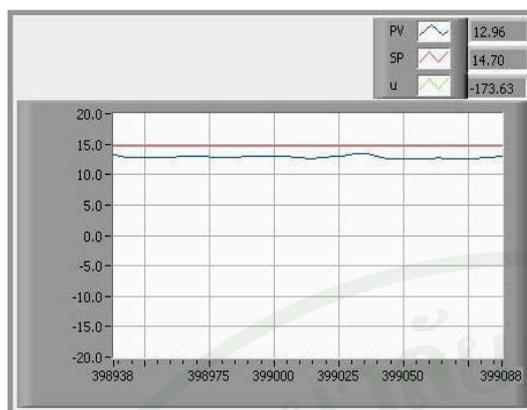
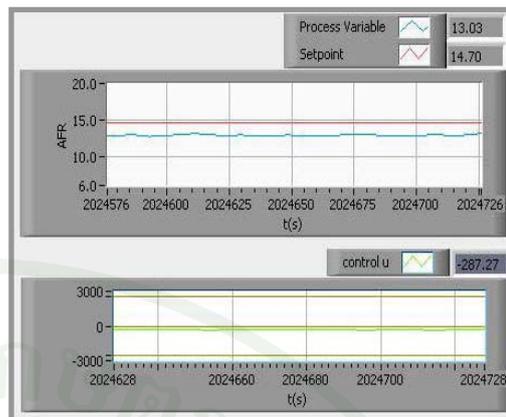


ภาพที่ 45 กราฟผลการทดสอบแบบจำลองแบบป้อนกลับด้วยเชื้อเพลิง E85

1. การควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอล แบบป้อนกลับ

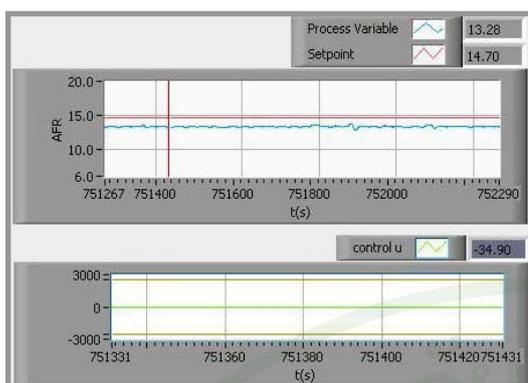
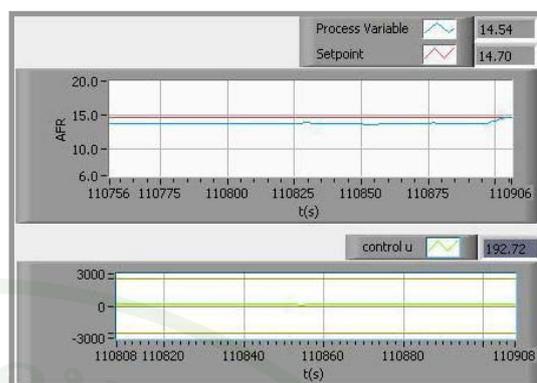
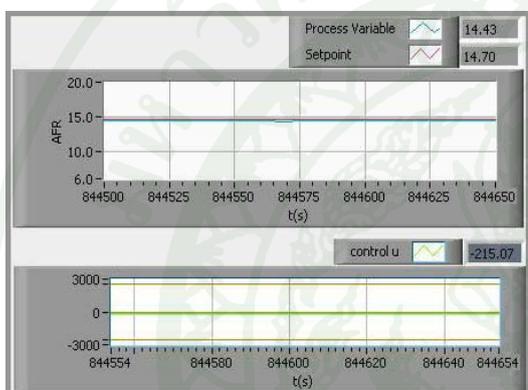
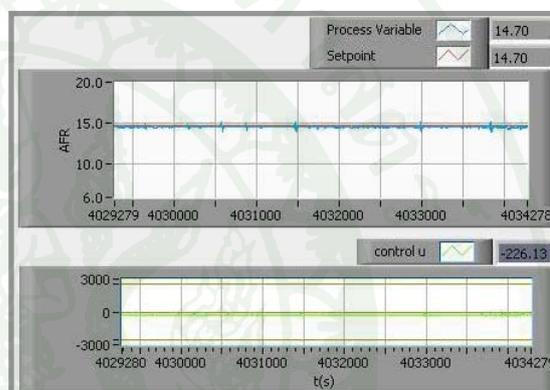
ผลการทดลองการควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ ประกอบไปด้วยผลการทดลองด้วยระบบควบคุมที่ใช้ตัวควบคุม (Controller) 4 ชนิดคือ

- 1) P Control (Proportional Control ภาพที่ 46)
- 2) PI Control (Proportional Integral Control ภาพที่ 47)
- 3) PID Control (Proportional Integral Derivative Control ภาพที่ 48)
- 4) NN&PIGS Control (Neural network & PI Gain-Scheduling Control ภาพที่ 49 และ ภาพที่ 50) ให้ผลการทดสอบดังนี้

(a) $K_p = 100, T_i=0, T_d=0$ (b) $K_p = 180, T_i=0, T_d=0$

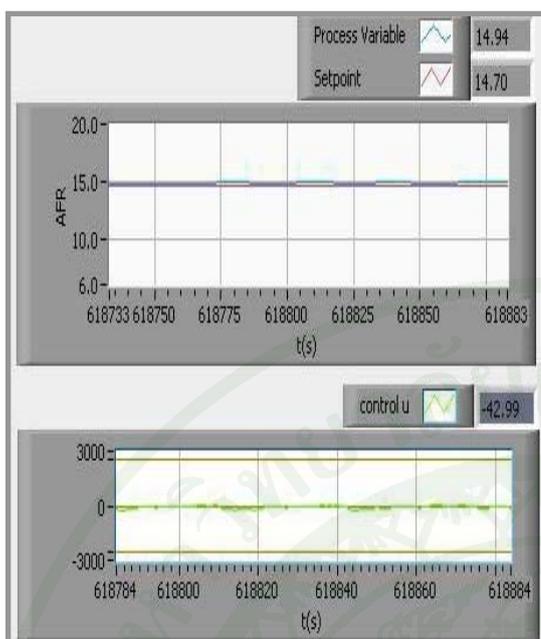
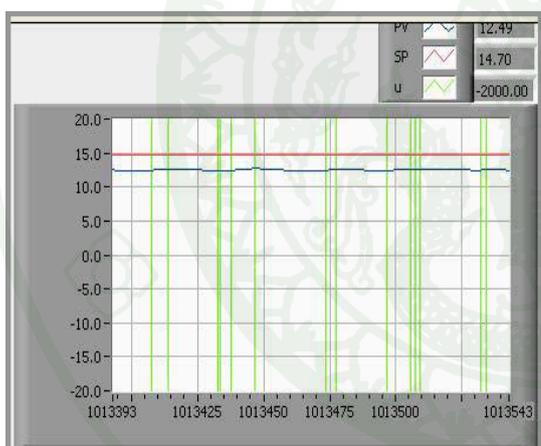
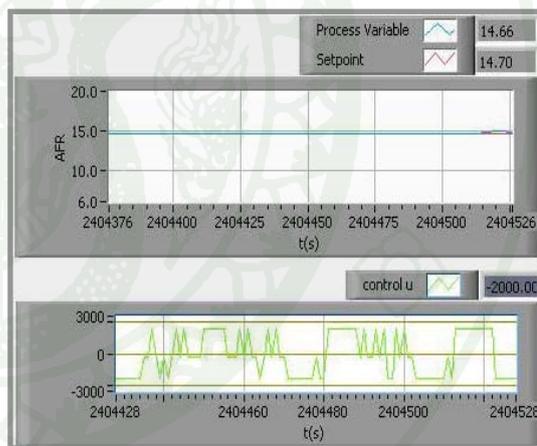
ภาพที่ 46 ผลการควบคุมโดยใช้ P Controller (%TPS=10, RPM=4300)

จากภาพที่ 46 เป็นผลจากการควบคุมโดยใช้ P Controller ทดสอบกับเชื้อเพลิง E0 จะเห็นว่าผลการควบคุมค่อนข้างเรียบ แต่ค่าการควบคุมไม่ลู่เข้าสู่จุดอ้างอิง เมื่อค่า K_p สูงขึ้น ค่าการควบคุมก็ขยับค่าเข้าสู่จุด Setpoint มากขึ้น แต่ก็ยังมีค่า Offset

(a) $K_p=10, T_i = 200\text{ms}, T_d = 0\text{ms}$ (b) $K_p=100, T_i = 200\text{ms}, T_d = 0\text{ms}$ (c) $K_p=150, T_i = 200\text{ms}, T_d = 0\text{ms}$ (d) $K_p=180, T_i = 200\text{ms}, T_d = 0\text{ms}$

ภาพที่ 47 กราฟการควบคุมโดยใช้ PI Controller (%TPS=10,RPM=4000)

จากภาพที่ 47 เป็นผลจากการควบคุมโดยใช้ PI Controller ทดสอบกับเชื้อเพลิง E0 จะเห็นเมื่อใส่ค่า $T_i = 200\text{ ms}$ เข้าไปในระบบมีค่าเท่ากันทุกค่า ภาพ (a), (b), (c), (d) ยังไม่ลู่เข้าสู่ Setpoint แต่เมื่อปรับค่า K_p เป็น 180 ซึ่งทำให้ค่าการควบคุมลู่เข้าสู่ค่า Setpoint ซึ่งในขณะที่ การควบคุมแบบ P (ภาพ 46 b) แม้จะใส่ค่า K_p เป็น 180 แต่ผลการควบคุมไม่เข้าสู่ Setpoint

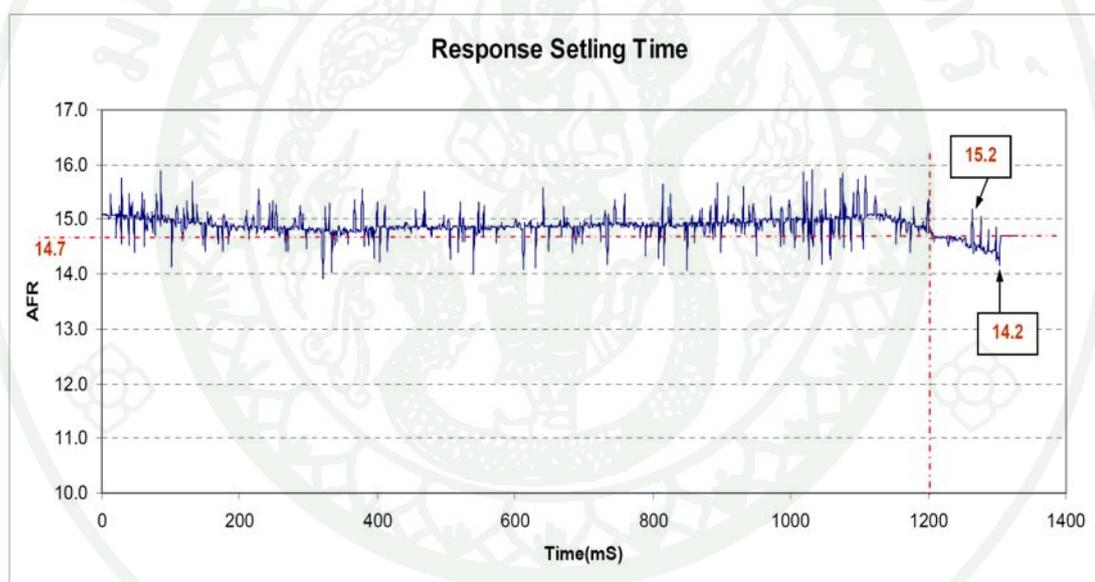
(a) $K_p=180, T_i = 200\text{ms}, T_d = 1\text{ms}$ (b) $K_p=180, T_i = 200\text{ms}, T_d = 5\text{ms}$ (c) $K_p=100, T_i = 200\text{ms}, T_d = 50\text{ms}$ (d) $K_p=180, T_i = 700\text{ms}, T_d = 50\text{ms}$

ภาพที่ 48 กราฟการควบคุมโดยใช้ PID Controller (%TPS=10,RPM=3900)

จากภาพที่ 48 เป็นผลจากการควบคุมโดยใช้ PID Controller ทดสอบกับเชื้อเพลิง E0 จะเห็นได้ว่าใส่ค่า $T_d = 1\text{ms}$ ภาพ (a) เข้าไปในระบบซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่ ฮาร์ดแวร์สามารถทำได้แต่ก็ยังไม่ลู่เข้าสู่ Setpoint และเครื่องมีอาการสั่นเล็กน้อย แต่เมื่อปรับค่า T_d มากขึ้นตามภาพที่ 48 (b), (c), (d) เครื่องสั่นมากขึ้น ดังนั้นค่า T_d สูง เครื่องสั่นมาก และผลการควบคุมไม่เข้าสู่ Setpoint

จากการการควบคุมแบบ P, PI, PID การควบคุมที่ให้ผลดีที่สุดคือแบบ PI แต่ไม่สามารถควบคุมได้ทุกจุดทำงานคือช่วง %TPS 10-20% ต้องมีการปรับค่า Gain PI จึงจะสามารถควบคุมได้ทุกจุดทำงานจึงเปลี่ยนมาเป็นการควบคุมแบบตารางร่วมกับ PIGS ซึ่งให้ผลการควบคุมดังนี้

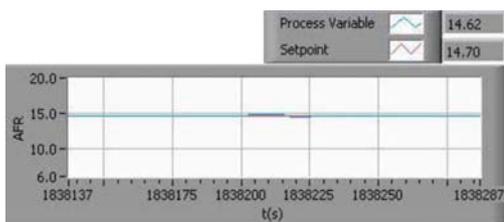
ทดสอบที่ความเร็วรอบ(RPM) 4000 รอบ และ ตำแหน่งลิ้นเร่ง (%TPS) 10% โดยใช้เชื้อเพลิง E0 (ค่า Setpoint = 14.7) และบันทึกพารามิเตอร์ มีผลตอบสนองชั่วขณะ (Transient) ของระบบควบคุมแบบป้อนกลับดังนี้คือ ช่วงเวลาเข้าที่ (Settling time) 1200 mS และมีค่า Steady state error +0.5/-0.5 ดังภาพที่ 49 และเมื่อควบคุมโดยใช้ เชื้อเพลิง E0, E20, E85 และเก็บผลการทดสอบที่สภาวะอยู่ตัว (Steady state) ให้ผลการทดสอบ เข้าสู่จุด Setpoint ในเชื้อเพลิงทุกชนิด แสดงผลการทดสอบสู่มาบางจุดทำงานดังภาพที่ 50



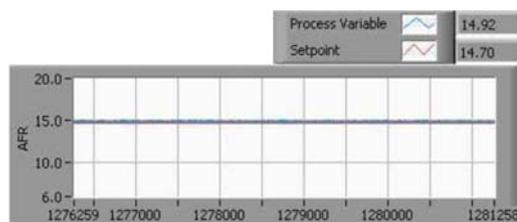
TPS 10%, RPM 4000, ค่า settling time 1200 mS, ค่า Steady state error +0.5/-0.5

ภาพที่ 49 ผลการควบคุมเชื้อเพลิงผสมในอัตราส่วนต่างๆที่จุดทำงานสภาวะชั่วขณะ

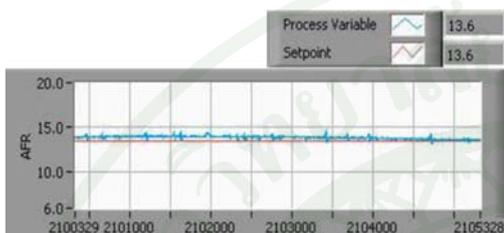
(Transient state) และ สภาวะอยู่ตัว (Steady state) โดยใช้ NN&PIGS Controller



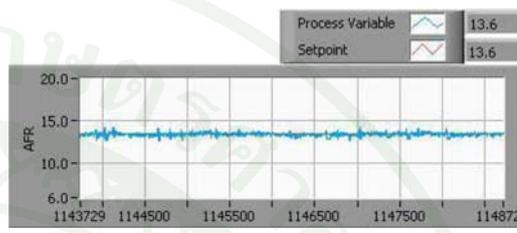
(a) E0, TPS10%, RPM 4000



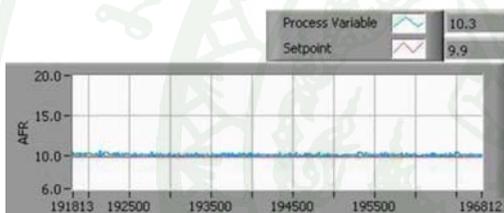
(b) E0, TPS20%, RPM 5500



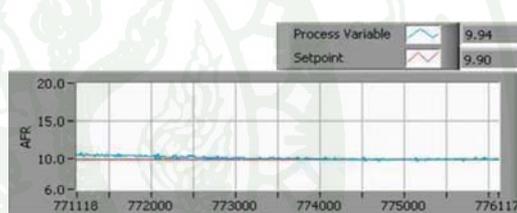
(c) E20, TPS10%, RPM 4500



(d) E20, TPS20%, RPM 4500



(e) E85, TPS10%, RPM 3000



(f) E85, TPS20%, RPM 3000

ภาพที่ 50 ผลการควบคุมเชื้อเพลิงผสมในอัตราส่วนต่างๆที่จุดทำงานสถานะอยู่ตัว (Steady state) โดยใช้ NN&PIGS Controller

วิจารณ์

จากการสร้างแบบจำลองประมาณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงผสม เอทานอล-แก๊ส โซลีน และของแบบจำลองทั้ง 2 แบบ คือ แบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop) และ แบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับยังได้มีการควบคุมแบบป้อนกลับ ระบบควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมแก๊ส โซลีน-เอทานอล โดยมีจุดประสงค์ เพื่อควบคุมให้อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมเอทานอล-แก๊ส โซลีนมีการมีเผาไหม้สมบูรณ์ลดมลพิษ ผลจากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า

1. ผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop)

จากผลการทดสอบแบบจำลองระบบควบคุมแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบวงเปิด (Open loop) ไม่สามารถสร้างแบบจำลองที่สามารถประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ได้ แม้ว่าค่า AFR ที่นำมาสร้างแบบจำลอง (ตาราง 12) อยู่ในช่วง 9-19.15 ซึ่งผ่านจุด 14.7 ซึ่งแบบจำลองแบบวงเปิดมี 2 แบบ ให้ผลการทดสอบที่น่าสนใจดังนี้

แบบจำลอง (Tansig-Logsig-Pureline) ด้วยข้อมูลที่เก็บมาจากเครื่องยนต์ที่มีการควบคุมแบบเปิดให้ค่าเฉลี่ย 0.05 (ตารางที่ 13) และเมื่อพล็อตกราฟ (ภาพที่ 41) เปรียบเทียบค่าที่ประมาณได้กับค่าจริงซ้อนทับกันเกือบสนิท แต่เมื่อนำแบบจำลองมาประมาณค่าระยะเวลาที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ โดยให้ค่า AFR เท่ากับ 14.7:1 ทุกจุดทำงานแต่กลับให้ค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงเป็นลบ

แบบจำลอง (Tansig-Logsig-Posline) ให้ค่าผิดพลาดสูงสุด 100% (พิจารณาตารางที่ 14) เมื่อทดสอบด้วยข้อมูลที่เก็บมาจากเครื่องยนต์ที่มีการควบคุมแบบเปิด และเมื่อพล็อตกราฟ (ภาพที่ 42) เปรียบเทียบค่าที่ประมาณได้กับค่าจริงไม่ซ้อนทับกันแต่มีทิศทางลู่เข้าสู่จุดทำงานทิศทางเดียวกัน แต่เมื่อนำแบบจำลองมาประมาณค่าระยะเวลาที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ให้ค่าระยะเวลาเป็นบวก (ตารางที่ 15)

ดังนั้นจากการทดสอบที่ให้ผลขัดแย้งกันและให้ค่าระยะเวลาเป็นลบ ที่เป็นเช่นนี้ เป็นเพราะเงื่อนไขของข้อมูลที่เก็บมายังไม่ครบตามเงื่อนไขการสร้างแบบจำลองที่ต้องการประมาณค่าระยะเวลาที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ แต่แบบจำลองนี้สามารถใช้ในการประมาณค่าจุดทำงานต่างๆ ได้โดยมีเงื่อนไขที่เป็นแรงบิดจะได้ตามช่วงจุดทำงานที่เก็บมาที่สามารถใช้จับชี้ได้แต่ไม่สามารถลดมลพิษในสภาวะจุดทำงานสมดุลได้

2. ผลการทดสอบแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงแบบป้อนกลับ

จากผลการทดสอบแบบจำลองระบบควบคุมแบบป้อนกลับ โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ด้วยเชื้อเพลิง E0 โดยวิธีเปิดตารางที่ความเร็วรอบ 2000-6693 รอบ และตำแหน่งลิ้นเร่งช่วง 15-20% จำนวนจุดทำงาน 1326 จุดที่สุ่มตรวจสอบมา ให้ค่า AFR อยู่ในช่วง 14.6-15 ซึ่งมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยต่ำสุด 0.68 % (ตารางที่ 17) เมื่อพิจารณาแล้วค่าการควบคุมเข้าสู่จุดอ้างอิงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองการประมาณค่าระยะเวลาระบบควบคุมแบบป้อนกลับสามารถประมาณค่าระยะเวลาตามเงื่อนไขได้อย่างถูกต้องโดยให้ค่าผิดพลาดเพียงเล็กน้อยที่เป็นเช่นนี้ค่าความชื้น, อุณหภูมิอากาศ และความดันบรรยากาศในขณะที่ทดลองเก็บข้อมูลสร้างแบบจำลองกับค่าในขณะที่ทดสอบแบบจำลองใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าระยะเวลาที่ประมาณได้กับค่าที่ได้จากการควบคุมด้วย PI ด้วยเชื้อเพลิง E0, E20, E85

เชื้อเพลิง E0 (ตารางที่ 18) ทดสอบที่ความเร็วรอบ 2200-5500 รอบ และตำแหน่งลิ้นเร่งช่วง 10%, 15% และ 20% สุ่มทดสอบจำนวนจุดทำงาน 19 จุดมีค่าผิดพลาดต่ำสุด 2 % เมื่อพล็อตกราฟ (ภาพที่ 43) ค่าผิดพลาดสวิงอยู่รอบๆจุดศูนย์ค่าเฉลี่ย +/- 2000 uS

เชื้อเพลิง E20 (ตารางที่ 19) ทดสอบที่ความเร็วรอบ 4895-6703 รอบ และตำแหน่งลิ้นเร่งช่วง 10%, 15% และ 20% สุ่มทดสอบจำนวนจุดทำงาน 9 จุด มีค่าผิดพลาดต่ำสุด 2.58 % เมื่อพล็อตกราฟ (ภาพที่ 44) ค่าผิดพลาดสวิงอยู่รอบๆจุดศูนย์ค่าเฉลี่ย +2700/- 2300 uS

เชื้อเพลิง E85 (ตารางที่ 20) ทดสอบที่ความเร็วรอบ 2000-4700 รอบ และตำแหน่งลิ้นเร่ง ช่วง 10%, 15% และ 20% สุ่มทดสอบจำนวนจุดทำงาน 6 จุด มีค่าผิดพลาดต่ำสุด 7.62 % เมื่อพล็อตกราฟ (ภาพที่ 45) ค่าผิดพลาดสวิงอยู่รอบๆจุดศูนย์ค่าเฉลี่ย +1200/- 2200 uS

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบผลการทดสอบแบบจำลองจากระบบควบคุมแบบป้อนกลับของเชื้อเพลิงผสม

ชนิดของเชื้อเพลิงผสม	% ผิดพลาด	% ผิดพลาด	% ผิดพลาดเฉลี่ย
	สูงสุด	ต่ำสุด	
E0	57	2	33.90
E20	44.86	2.58	33.65
E85	43.70	7.62	16.10
% ผิดพลาดเฉลี่ย ของเชื้อเพลิงทุกชนิดที่พิจารณา			28.80

เชื้อเพลิงผสมเอทานอล-แก๊สโซลีนที่พิจารณาทุกอัตราส่วนผสมให้ค่าระยะเวลาผิดพลาดเฉลี่ย 28.8 % (ตาราง 21) ตลอดช่วงจุดทำงานที่พิจารณาซึ่งถือว่าสูง ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจาก ข้อมูลที่เก็บมาสร้างแบบจำลองแบบป้อนกลับเกินไปไม่ครอบคลุม ความเป็นไดนามิกของอากาศ เช่น ความชื้น, อุณหภูมิอากาศ และความดันบรรยากาศ เปลี่ยนแปลง มีผลทำให้มวลอากาศเปลี่ยน ซึ่งช่วงการทดสอบกับช่วงเก็บข้อมูลกระทำที่สภาวะที่อากาศแตกต่างกัน

3. ผลการควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงผสมแก๊สโซลีน-เอทานอล แบบป้อนกลับ

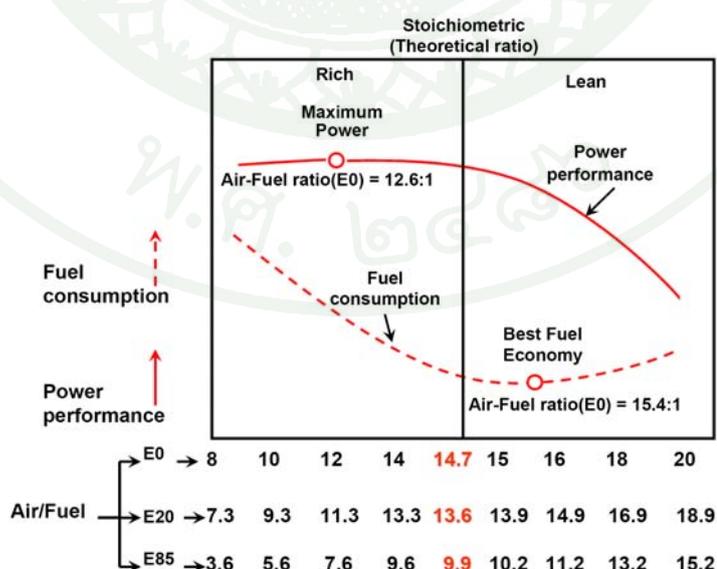
ผลการควบคุมแบบป้อนกลับ ในการควบคุมแบบ P (ภาพที่ 46) ค่าการควบคุมจะไม่ลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิง (Setpoint) จะมีค่า ออฟเซ็ท (Offset) อยู่ค่าหนึ่ง และเมื่อปรับค่า K_p เพิ่มขึ้นก็จะลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิงมากขึ้น ดังนั้นจึงเปลี่ยนเป็นการควบคุมแบบ PI (ภาพที่ 47) ซึ่งให้ผลการควบคุมดี ค่าที่ควบคุมลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิง แต่เมื่อเปลี่ยนมาเป็นตัวควบคุมแบบ PID (ภาพที่ 48) จะให้ค่า Control u ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วสวิงขึ้นลงและมีผลทำให้เครื่องสั่น

ดังนั้นในระบบนี้จึงใช้การควบคุมแบบ PI จะให้ผลดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบ P และ PID แต่การใช้การ แบบ PI เมื่อจุดทำงานเปลี่ยน จะต้องเปลี่ยนค่า Gain เพื่อให้การควบคุมรักษา

เสถียรภาพเอาไว้ได้ ซึ่งต้องหยุดเครื่องและต้องปรับตั้งค่าใหม่ แต่เมื่อปรับการควบคุมแบบ NN&PIGS (Neural network & PI Gain-Scheduling Control) ก็จะทำให้ PI สามารถปรับ Gain ได้ เป็นลักษณะ Adaptive PI ที่ระบบสามารถปรับ Gain เองได้และสามารถควบคุมให้ได้ตามอินพุท อ้างอิงได้ทุกจุดทำงาน ซึ่งจากการควบคุมมีค่า Steady state error อยู่ช่วง $+0.5/-0.5$ และ ใช้เวลาคู่ เข้าสู่จุดสมดุล 1200 ms

การควบคุมแบบ NN&PIGS เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับค่า AFR เพื่อที่จะรักษาค่า AFR ให้ได้ตามตามค่า อ้างอิง จากการวิจัยทดลองพบว่าให้ผลดีกว่าระบบควบคุมแบบเดิมที่ติดมากับรถ ซึ่งเป็นระบบที่ไม่มีมีการป้อนกลับ โดยการควบคุมแบบเดิมที่จุดทำงานสภาวะคงตัวไม่ทำให้เกิดเผาไหม้ใหม่ที่สมบูรณ์ในขณะที่การควบคุมแบบ NN&PIGS สามารถควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงให้เกิดการเผาไหม้ใหม่ที่สมบูรณ์ได้ทุกจุดทำงานที่พิจารณา

ดังนั้นในการควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงผสม เอทานอล-แก๊สโซลีนให้ผลการควบคุมตามเป้าหมายคือสามารถควบคุมค่าได้คู่เข้าสู่จุดอ้างอิงทุกจุดทำงาน และเชื้อเพลิงทุกชนิด ซึ่งผลของการควบคุมให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์นอกจากลดมลพิษแล้วยังให้ผลก่อนข้างดีในกรณีการการประหยัดเชื้อเพลิง (Fuel consumption) และประสิทธิภาพการให้กำลัง (Power performance) เครื่องยนต์ให้ผลก่อนข้างดีตั้งรายละเอียดอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ และประสิทธิภาพดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงผสม เอทานอล-แก๊สโซลีน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงในยานยนต์ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงผสม เอทานอล-แก๊สโซลีน มีค่าผิดพลาดเฉลี่ยต่ำสุด 0.68 % เมื่อทดสอบด้วยวิธีควบคุมเปิดตารางที่ความเร็วรอบ 2000-6693 รอบ และตำแหน่งลิ้นเร่งช่วง 15-20% และเมื่อทดสอบด้วยวิธีควบคุมแบบเปิดตารางร่วมกับ PI มีค่าผิดพลาดเฉลี่ย 27.88% ที่ความเร็วรอบ 2000-5500 รอบ และตำแหน่งลิ้นเร่งช่วง 10-20% โดยทดสอบกับเชื้อเพลิง E0, E20, E85 ซึ่งถือว่าให้ผ่อนความผิดพลาดค่อนข้างสูง เนื่องจากความเป็นเชิงเส้นของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดที่นำมาผสมกันทำให้สามารถใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงได้คร่าวๆ ในช่วงที่พิจารณา และมีประโยชน์ในการที่จะประมาณระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงอย่างละเอียดเมื่อรู้ช่วงกว้างๆ โดยไม่ต้องทำ Fine tune สามารถนำค่ามาใส่ในตารางได้และทำการชดเชยด้วยตัวควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งจากการทดลองวิจัยนี้ตัวควบคุมที่ใช้ควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ PIGS ทำให้ระบบควบคุมเป็นแบบปรับตัว (Adaptive Control) ได้ ซึ่งรองรับการใช้เชื้อเพลิงแบบปรับตัวได้ (Flexible Fuel) ซึ่งระบบนี้หากมี Sensor ที่สามารถตรวจจับปริมาณแอลกอฮอล์ ก็สามารถควบคุมเชื้อเพลิงที่ผสม เอทานอล-แก๊สโซลีน ได้ทุกอัตราส่วนผสม ที่ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ทุกจุดทำงานที่พิจารณาที่สภาวะอยู่ตัว (Steady state)

จากการทดลองในงานวิจัยนี้ขอยืนยันว่าวิธีการประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้งานในยานยนต์ได้จริงและระบบควบคุมแบบ NN&PIGS เหมาะสมกับการควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงผสมเอทานอล-แก๊สโซลีนในอัตราส่วนผสมต่างๆ ในเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (SI) สามารถควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ที่สภาวะอยู่ตัวทุกจุดทำงาน

ข้อเสนอแนะ

ในการใช้โครงข่ายประสาทเทียมประมาณค่าระยะเวลาการฉีดเชื้อเพลิงสามารถใช้งานได้ แต่ถ้าจะให้มีประสิทธิภาพมากกว่านี้จะต้องเพิ่มพารามิเตอร์ให้กับอินพุทของ โครงข่ายประสาทเทียมเนื่องจากมวลอากาศมีผลต่ออุณหภูมิ ดังนั้นควรมีเพิ่มอุณหภูมิกอากาศในส่วนอินพุทของแบบจำลองด้วย แต่ความไม่แน่นอนจากการวัดและจากระบบในการควบคุมการใช้นิวรอนอย่างเดียวไม่เพียงพอจึงควรจะไปใส่ตัวควบคุมอื่นเข้าไปด้วยเพื่อชดเชยค่าต่างๆเช่น ไดนามิกของอากาศ

เนื่องจากระบบควบคุม NN&PIGS สามารถทำงานได้ทำเป้าหมายช่วง TPS 10%,15%,20% เท่านั้น ดังนั้นในการมอนิเตอร์พารามิเตอร์ของระบบเพื่อนำมาใช้ปรับ Gain ของ PI ควรจะใช้ AFR เนื่องจาก ค่า AFR จะสวิงอยู่ช่วง 8-22 ทุกจุดทำงาน (จากข้อมูลที่บันทึกโดยคาล์ว ลีคเกอร์) และกำหนดช่วงของ Control u ของตัวควบคุมใหม่ และทำการปรับจูนละเอียดก็จะสามารถควบคุมให้ค่าการควบคุมเข้าสู่ค่าอินพุทอ้างอิง ทุกจุดทำงาน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- เจษฎา ตัณฑเสรษฐี. 2003. เครื่องยนต์สันดาปภายใน. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า, กรุงเทพฯ.
- นพดล คำมณี. 2002. ทฤษฎีเครื่องยนต์เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., กรุงเทพฯ.
- นิรนาม และ Yamaha. ม.ป.ป. **Technical Academy Fuel Injection system.** ม.ป.ท.
- ประณต กุลประสูตร. 2008. ทฤษฎีเครื่องยนต์เบนซิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- พิเชฐ เขียวสีม่วง. 2008. อิเล็กทรอนิกส์รถยนต์. พิมพ์ครั้งที่ 8. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. กรุงเทพฯ.
- Charles O. Probst. 1991. **Bosch Fuel Injection & Engine Management.** Bentley.
- Hakan Bayraktar. 2005. xperimental and theoretical investigation of using gasoline–ethanol blends in spark-ignition engines. **Renewable Energy 30:** 1733-1747
- John B. Heywood. 1988. **Internal Combustion Engineer Fundamentals.** McGraw-Hill.
- Karl J. Astrom and Bjorn Wittenmark. 1995. **ADAPTIVE CONTROL.** 2nded. Addison Wesley Longman.
- Karl J. Astrom and Tore Hagglund. 1995. **PID Controller:Theory, Design, and Tuning.** 2nded. Intrument Society of Amarica, USA.
- Kiencke and L. Nielsen. 2003. **Automotive Control Systems for Engine, Driveline, and Vehicle.** Springer, Berline.

- Kyung-ho Ahn, Anna G. Stefanopoulou and Mrdjan Jankovic. 2009 Fuel Puddle Model and AFR Compensator for Gasoline-Ethanol Blends in Flex-Fuel Engines, pp. 1148-1155. **IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference**.
- Laurene Fausett. 1994. **Fundamentals of Neural Networks**. Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- M. Won, S.B. Choi and J.K. Hendrick. 1998. Air-to-fuel ratio control of spark ignition engines using Gaussian network sliding control. **IEEE Transactions On Control Systems Technology**: 678-687.
- Martin T.Hagan, Howard B. Demut and Mark Beale. 1996. **Neural Network Design**. Thomsom, Singapore.
- Yu-Jia Zhai and Ding-Li Yu. 2009. Neural network model-based automotive engine air/fuel ratio control and robustness evaluation. **Engineering Application of Artificial Intelligence**: 117-180.
- Robert Bosch GmbH. 2004. **Gasoline-Engine Management**. 2nd ed. Bentley Publishers.
- P. Yoon and M. Sunwoo. 2001 An adaptive sliding mode controller for air–fuel ratio control of spark ignition engines. **Journal of Automobile Engineering**: 305-315.
- Seibum B, Choi and J. Karl Hedrick. 1998. An Observer-Based Controller Design Method for Improving Air/Fuel Characteristics of Spark Ignition Engines. **IEEE Transactions on Control Systems Technology**: 325-334.
- S.W. Wang, D.L. Yu, J.B. Gomm, G.F. Page and S.S. Douglas. 2006. Adaptive neural network model based predictive control for air–fuel ratio of SI engines. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**: 189–200.

Yao Ju-Biao. 2009. Research on Transient Air Fuel Ratio Control of Gasoline Engines.

IEEE Information Technology and Applications: 610-613.



ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสุภรณ์ เหมือนหนู
วัน เดือน ปี ที่เกิด	12 มีนาคม 2515
สถานที่เกิด	จังหวัดพัทลุง
ประวัติการศึกษา	
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ 112 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-