การศึกษาผลของปริมาณออกซิเจนในไอเสียต่อสมรรถนะและมลภาวะ
ของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต

นาย สุรชัย คณาวิวัฒน์ไชย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-305-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

27 พ.ย. 2545

I19237224

EFFECTS OF EXHAUST GAS OXYGEN CONTENT ON OXYGENATED GASOLINE ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS

Mr. Surachai Kanawiwatchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1999
ISBN 974-332-305-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลของปริมาณออกซิเจนในไอเสียต่อสมรรถนะและมลภาวะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต
โดย	นายสุรชัย คณาวิวัฒน์ไชย
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณิต วัฒนวิเชียร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กีระนันทน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณิต วัฒนวิเชียร)

.... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงศักดิ์ มลิลา)

.... กรรมการ
(นาย นิโรจน์ อัครปัญญาวิทย์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สุรชัย คณาวิวัฒน์ไชย: การศึกษาผลของปริมาณออกซิเจนในไอเสียต่อสมรรถนะและมลภาวะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต (EFFECTS OF EXHAUST OXYGEN CONTENT ON OXYGENATED GASOLINE ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. คณิต วัฒนวิเชียร; 192 หน้า ISBN 974-332-305-8

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของปริมาณออกซิเจนในไอเสียต่อสมรรถนะและมลภาวะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันมาตรฐาน G100 และน้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต อันได้แก่ GE05, GE10, GE15, GM05, GM10 และ GM15 ตามลำดับเป็นเชื้อเพลิง การทดสอบกระทำโดยใช้เครื่องยนต์ TOYOTA Model 4A-FE ขนาด 1600 ซีซี ที่ติดตั้งบนแท่นไดนาโมมิเตอร์ด้วยโหมดการทำงานของระบบควบคุมที่ Constant Speed Mode การทดสอบกระทำที่สภาวะการจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ที่ติดตั้งบนรถยนต์ TOYOTA CORONA เมื่อเคลื่อนที่โดยใช้เกียร์ 4 บนถนนราบด้วยอัตราเร็วคงที่ 9 ค่า โดยแบ่งการทดสอบออกได้เป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นการทดสอบหาสมรรถนะและมลภาวะของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ส่วนที่สองเป็นการหาสมรรถนะและมลภาวะของเครื่องยนต์ TOYOTA 4A-FE เมื่อปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย พร้อมหาปริมาณออกซิเจนในไอเสียที่ให้ค่า Thermal Efficiency สูงที่สุดที่จะเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ (Normalized Peak Oxygen) ส่วนที่สามเป็นการนำผลในส่วนที่สองมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE

จากผลการวิเคราะห์ในส่วนแรกพบว่าน้ำมันเบนซินที่ผสมสารออกซิเจนเนตให้ค่า Brake Torque ที่ต่ำกว่าน้ำมันเบนซินมาตรฐาน (G100) และให้ค่า Specific CO_2 สูงกว่าน้ำมันเบนซินมาตรฐาน ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่าการผสม Ethanol ในน้ำมันเบนซินมีผลทำให้ Specific CO และ Specific CO_2 สูงกว่าการผสม MTBE ในน้ำมันเบนซิน

จากผลการวิเคราะห์ในส่วนที่สองแสดงให้เห็นว่าปริมาณออกซิเจนในไอเสียมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ เมื่อปริมาณออกซิเจนในไอเสียเพิ่มขึ้น (ไม่เกิน 0.7 % vol.) จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นและมีผลทำให้ปริมาณมลพิษจากเครื่องยนต์มีค่าลดลง ผลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสียได้ถูกนำมาวิเคราะห์หา Normalized Peak Oxygen ในไอเสียที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

ในส่วนที่สามเป็นการเปรียบเทียบผลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับปริมาณออกซิเจนในไอเสียกับผลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM พบว่าเครื่องยนต์ที่มีการปรับให้มีค่า Normalized Peak Oxygen ในไอเสียให้ประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์ OEM ในทุกๆ ความเร็วรอบ โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงกว่า 2000 rev/min ซึ่งผลการทดสอบน้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนตทั้งหมดให้ผลไปในแนวทิศทางเดียวกัน โดยประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ปรับให้มี Normalized Peak Oxygen ในไอเสียมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ OEM สูงสุดถึงร้อยละ 6.7

ภาควิชา ....วิศวกรรมเครื่องกล.... ลายมือชื่อนิสิต ....สุรชัย คณาวิวัฒน์ไชย....

สาขาวิชา ....วิศวกรรมเครื่องกล.... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....คณิต วัฒนวิเชียร....

ปีการศึกษา ....2542.... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

3972242021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: OXYGEN / OXYGENATED GASOLINE / OXYGEN SENSOR / ELECTRONIC CONTROL UNIT / FEED BACK CONTROL / TUNING

SUTACHAI KANAWIWATCHAI: EFFECTS OF EXHAUST OXYGEN CONTENT ON OXYGENATED GASOLINE ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF. KANIT WATANAVICHIEN, Ph.D. 192 pp. ISBN 974-332-305-8.

This research studied the effect of exhaust oxygen contents on oxygenated gasoline engine performance and exhaust emissions. The fuels employed were 6 oxygenated gasoline blends GE05, GE10, GE15, GM05, GM10, GM15 and a baseline fuel, G100. A TOYOTA engine model 4A-FE (1600 cc) was constant speeds steady state tested on a dynamometer. The test conditions were the simulated road loads as the engine has been installed in a vehicle, TOYOTA CORONA, which is driven with the fourth gear on a level road. The experiments have been divided into 3 parts. First, OEM (Original Equipment Manufacturing) TOYOTA 4A-FE engine's performance and exhaust emissions were investigated. Second, performance and exhaust emissions of TOYOTA 4A-FE which its exhaust oxygen contents were tuned have been investigated. Then oxygen contents which give the maximum engine thermal efficiency (applicable in practical) had been determined. Third, the results of the second part and the OEM of TOYOTA 4A-FE engine 's results were compared.

Results of the first part show that oxygenated gasolines give lower brake torque than the baseline fuel (G100) but produced higher specific CO than the standard gasoline. The results also indicate that the gasoline with Ethanol blends produced specific CO and specific CO_2 higher than the gasoline with MTBE blends.

Results of the second part show the influence of exhaust oxygen content on engine efficiency. The more the oxygen content in the exhaust gas (but not more than 0.7 % by vol.), the higher the engine efficiency and the lower the specific emissions. Normalized Peak Oxygen's data which is practically applicable were successfully evaluated from the tuned oxygen engine's data.

The comparative results between the tuned oxygen engine efficiencies and OEM's engine efficiencies in the third part show that at all engine speed especially beyond 2000 rev/min the efficiencies of Normalized Peak Oxygen engine were higher than OEM's engine efficiencies. All oxygenated gasolines used in this experiment show the same trend as describe above. The maximum improvement of Normalized Peak Oxygen engine efficiency of 6.7 % has been reported.

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต สุธชัย คณาวิวัฒน์ไชย

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา คณิต วัฒนวิเชียร

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ ผศ. ดร. คณิต วัฒนวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาโดยตลอด จนทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วาณิชย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบวงจรไฟฟ้า ขอขอบคุณ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยที่ได้เอื้อเฟื้อน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณฝ่ายฝึกอบรม บริษัท โตโยต้า (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้คำแนะนำและอนุญาตให้ใช้เครื่องยนต์ทดสอบเพื่อใช้ในการพัฒนาวงจร Simulated Oxygen Signal ขอขอบคุณ คุณ กฤษฎา พุกะทรัพย์ ผู้ช่วยทำการวิจัย และคุณ เสวย เกตุนาค ที่ให้ความสะดวกในการทดสอบเครื่องยนต์

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนทางด้านการศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ฌ

สารบัญภาพ .... ฑ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .... ค

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 สารออกซิเจนเนต 4

2.2 แนวคิดในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ใช้ 9
น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต

2.3 ระบบ Feed Back Control 9

2.4 การปรับปรุงระบบ Feed Back Control เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ 14
ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต

บทที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 15

บทที่ 4 วิธีการทดสอบ 21

4.1 ตัวแปรที่ทำการบันทึก 22

4.2 ขั้นตอนก่อนการทดสอบ 23

4.3 การทดสอบเครื่องยนต์ OEM 23
4.4 การทดสอบเครื่องยนต์เมื่อปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 24
บทที่ 5 ผลการทดสอบ 27
5.1 เครื่องยนต์ OEM 27
5.2 เครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 37
บทที่ 6 บทวิเคราะห์ 65
6.1 สมรรถนะและมลภาวะของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE 65
เมื่อใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต
6.2 ผลของปริมาณออกซิเจนในไอเสียต่อสมรรถนะและมลภาวะ 73
ของเครื่องยนต์
6.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ Normalized Peak 80
Oxygen กับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE
บทที่ 7 บทสรุป 98
7.1 สรุปผลการทดสอบ 98
7.2 ข้อเสนอแนะ 100
รายการอ้างอิง 102
ภาคผนวก ก การพัฒนาและสร้างวงจร Simulated Oxygen Signal 103
ภาคผนวก ข คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ 113
ภาคผนวก ค การคำนวณคาบของสัญญาณ 117
ภาคผนวก ง ตารางแสดงข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ 119
ภาคผนวก จ ตารางแสดงผลการคำนวณค่าสมรรถนะและมลภาวะของเครื่องยนต์ 162
ภาคผนวก ฉ ตารางแสดงปริมาณออกซิเจนในไอเสียและประสิทธิภาพของ.................. 184
เครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE และเครื่องยนต์ Normalized Peak Oxygen
ภาคผนวก ช ลักษณะของสัญญาณที่สร้างจากวงจร Simulated Oxygen Signal 187
ภาคผนวก ซ สมการ Normalized Peak Oxygen 190
ภาคผนวก ฌ วิธีการคำนวณค่าความชื้น 191
ประวัติผู้แต่ง 192

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติจำเพาะของสารออกซิเจนเนต	8
3.1	ข้อมูลเฉพาะของเครื่องยนต์	16
4.1	ค่าความดันท่อร่วมไอดีและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในสภาวะการทำงาน ...... ของเครื่องยนต์ที่ติดตั้งในรถยนต์ ขณะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่	21
4.2	ค่าคาปาซิแตนท์และความต้านทาน R_A และR_B ของวงจร Simulated Oxygen .... Signal ในแต่ละความเร็วรอบและความดันท่อร่วมไอดี	25
5.1	แสดงค่า Brake Torque ของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ที่ Road Load ...... ณ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อใช้น้ำมัน G100, GE05, GE10, GE15, GM05, GM10, GM15	28
5.2	แสดงค่า Efficiency ของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ที่ Road Load ...... ณ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อใช้น้ำมัน G100, GE05, GE10, GE15, GM05, GM10, GM15	30
5.3	แสดงค่า Specific CO ของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ที่ Road Load .... ณ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อใช้น้ำมัน G100, GE05, GE10, GE15, GM05, GM10, GM15	32
5.4	แสดงค่า Specific CO_2 ของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ที่ Road Load .... ณ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อใช้น้ำมัน G100, GE05, GE10, GE15, GM05, GM10, GM15	33
5.5	แสดงค่า Specific HC ของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ที่ Road Load .... ณ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่างๆ เมื่อใช้น้ำมัน G100, GE05, GE10, GE15, GM05, GM10, GM15	33

6.1 เปรียบเทียบค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องยนต์กับปริมาณออกซิเจนในไอเสียโดยทดสอบกับเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสียจากการใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต 7 ตัวอย่าง 75

6.2 เปรียบเทียบค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Specific CO กับปริมาณออกซิเจนในไอเสียที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสียเมื่อใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต 7 ตัวอย่าง 76

6.3 เปรียบเทียบค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Specific CO_2 กับปริมาณออกซิเจนในไอเสียที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสียเมื่อใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต 7 ตัวอย่าง 77

6.4 เปรียบเทียบค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Specific HC กับปริมาณออกซิเจนในไอเสียที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสียเมื่อใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต 7 ตัวอย่าง 79

7.1 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE, ปริมาณออกซิเจนในไอเสียที่ปรับได้และช่วงการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เมื่อปรับปริมาณออกซิเจนในไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต 7 ตัวอย่าง 99

ข.1 แสดงสูตรส่วนผสมของน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัย 114

ข.2 แสดงการเปรียบเทียบองค์ประกอบหลักและคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง 114

ข.3 แสดงค่าโดยประมาณของ C, H, O, H/C, O/C และ $(A/f)_s$ ของเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ 116

ง1.1.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อใช้น้ำมัน G100 120

ง1.1.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบกับน้ำมัน G100 121

ง1.2.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสียเมื่อทดสอบกับน้ำมัน G100 122

ง1.2.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสียเมื่อใช้น้ำมัน G100 124

ง2.1.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อใช้น้ำมัน GE05 126

ง2.1.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบ ... 127
กับน้ำมัน GE05
ง2.2.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 128
เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GE05
ง2.2.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 130
เมื่อใช้น้ำมัน GE05
ง3.1.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อใช้น้ำมัน GE10 132
ง3.1.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบ 133
กับน้ำมัน GE10
ง3.2.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 134
เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GE10
ง3.2.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 136
เมื่อใช้น้ำมัน GE10
ง4.1.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อใช้น้ำมัน GE15 138
ง4.1.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบ 139
กับน้ำมัน GE15
ง4.2.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 140
เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GE15
ง4.2.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 142
เมื่อใช้น้ำมัน GE15
ง5.1.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อใช้น้ำมัน GM05 144
ง5.1.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบ 145
กับน้ำมัน GM05
ง5.2.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 146
เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GM05
ง5.2.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 148
เมื่อใช้น้ำมัน GM05
ง6.1.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อใช้น้ำมัน GM10 150
ง6.1.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบ 151
กับน้ำมัน GM10

ง6.2.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 152
เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GM10

ง6.2.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 154
เมื่อใช้น้ำมัน GM10

ง7.1.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อใช้น้ำมัน GM15 156

ง7.1.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบ 157
กับน้ำมัน GM15

ง7.2.1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 158
เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GM15

ง7.2.2 ข้อมูลมลภาวะจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย .. 160
เมื่อใช้น้ำมัน GM15

จ1.1 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบกับ 163
น้ำมัน G100

จ1.2 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 164
เมื่อทดสอบกับน้ำมัน G100

จ2.1 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบกับ 166
น้ำมัน GE05

จ2.2 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 167
เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GE05

จ3.1 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบ 169
กับน้ำมัน GE10

จ3.2 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 170
เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GE10

จ4.1 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบ 172
กับน้ำมัน GE15

จ4.2 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 173
เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GE15

จ5.1 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบกับ............ 175
น้ำมัน GM05

จ5.2 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GM05 176

จ6.1 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GM10 178

จ6.2 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GM10 179

จ7.1 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GM15 181

จ7.2 ผลข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับแปรปริมาณออกซิเจนในไอเสีย เมื่อทดสอบกับน้ำมัน GM15 182

ฉ1 ปริมาณออกซิเจนในไอเสียและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต 7 ตัวอย่าง 185

ฉ2 ปริมาณออกซิเจนในไอเสียและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ Normalized Peak Oxygen ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต 7 ตัวอย่าง 186

ช1 ค่าTime Interval และ Duty Cycle ของสัญญาณออกซิเจนที่ป้อนให้ ECU ในแต่ละจุดทำงาน 188

ซ1 แสดงสมการ Normalized Peak Oxygen 190

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 Feed Back Control EFI 10

2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ Catalyst Efficiency กับ A/F Ratio ค่าต่างๆ 10

2.3 แสดงภาคตัดตัวขวางของ Oxygen Sensor ที่ยึดติดกับผนังของ Exhaust Manifold ... 11

2.4 แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สร้างจาก Oxygen Sensor 12

2.5 Block Diagram ของ Controller 12

2.6 Reference adjustment of λ-control 13

3.1 แสดงผังอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์ 15

5.1 แสดงความสัมพันธ์ของ Brake Torque ของเครื่องยนต์ OEM กับความเร็วรอบ 29
ของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบผลจากการใช้เชื้อเพลิง G100, GE05, GE10, GE15, GM05, GM10, GM15 และ Brake Torque ที่ได้จากทางทฤษฎี

5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเครื่องยนต์ OEM กับความเร็วรอบของ 31
เครื่องยนต์ เปรียบเทียบผลจากการใช้เชื้อเพลิง G100, GE05, GE10, GE15, GM05, GM10, GM15

5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Specific CO ในไอเสียจากเครื่องยนต์ OEM 34
กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบผลจากการใช้เชื้อเพลิง G100, GE05, GE10, GE15, GM05, GM10, GM15

5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Specific CO_2 ในไอเสียจากเครื่องยนต์ OEM 35
กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบผลจากการใช้เชื้อเพลิง G100, GE05, GE10, GE15, GM05, GM10, GM15

5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Specific HC ในไอเสียจากเครื่องยนต์ OEM 36
กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบผลจากการใช้เชื้อเพลิง G100, GE05, GE10, GE15, GM05, GM10, GM15

5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Brake Torque กับปริมาณออกซิเจน 38
ในไอเสีย เปรียบเทียบผลจากการใช้เชื้อเพลิง G100, GE05, GE10, GE15, GM05,
GM10, GM15
5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องยนต์กับปริมาณ 44
ออกซิเจนในไอเสีย เปรียบเทียบผลจากการใช้เชื้อเพลิง G100, GE05, GE10,
GE15, GM05, GM10, GM15
5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Specific CO กับปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 50
เปรียบเทียบผลจากการใช้เชื้อเพลิง G100, GE05, GE10, GE15, GM05,
GM10, GM15
5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Specific CO_2 กับปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 55
เปรียบเทียบผลจากการใช้เชื้อเพลิง G100, GE05, GE10, GE15, GM05,
GM10, GM15
5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Specific HC กับปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 60
เปรียบเทียบผลจากการใช้เชื้อเพลิง G100, GE05, GE10, GE15, GM05,
GM10,GM15
6.1 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของ Brake Torque ที่ความเร็วรอบต่างๆ 67
ของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ระหว่างน้ำมัน GE05, GE10, GE15,
GM05, GM10, GM15 เทียบกับน้ำมัน G100
6.2 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ 68
ที่ความเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ระหว่างน้ำมัน
GE05, GE10, GE15,GM05, GM10, GM15 เทียบกับน้ำมัน G100
6.3 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของ Specific CO ที่ความเร็วรอบต่างๆ 70
ของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ระหว่างน้ำมัน GE05, GE10, GE15,
GM05, GM10, GM15 เทียบกับน้ำมัน G100
6.4 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของ Specific CO_2 ที่ความเร็วรอบต่างๆ 71
ของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ระหว่างน้ำมัน GE05, GE10, GE15,
GM05, GM10, GM15 เทียบกับน้ำมัน G100
6.5 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของ Specific HC ที่ความเร็วรอบต่างๆ 72
ของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ระหว่างน้ำมัน GE05, GE10, GE15,
GM05, GM10, GM15 เทียบกับน้ำมัน G100

6.6 แสดงผลของปริมาณออกซิเจนในไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ ในแง่ของ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ปรับแปร ปริมาณออกซิเจนในไอเสียเมื่อปรับค่าออกซิเจนมากที่สุดและน้อยที่สุดกับ เครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันเบนซินผสมสารออกซิเจนเนต 81

6.7 แผนภูมิแสดงเส้น Normalized Peak Oxygen ของเครื่องยนต์ที่ปรับแปร ปริมาณออกซิเจนในไอเสีย 89

6.8 แผนภูมิเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ Normalized Peak Oxygen กับเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE ที่สภาวะจำลองการทำงานของเครื่องยนต์ ที่ติดตั้งในรถยนต์ที่วิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่ 93

6.9 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ความเร็วรอบต่างๆ ระหว่างเครื่องยนต์ที่ Normalized Peak Oxygen กับเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE 97

7.1 บล็อคไดอะแกรมของวงจรประยุกต์ Simulated Oxygen Signal 101

ก.1 วงจร Simulated Oxygen Signal ในขั้นตรวจสอบลักษณะการทำงาน 104

ก.2 แสดงวงจรไฟฟ้าของหัวฉีด 104

ก.3 แสดงผลของ Voltage ที่ป้อนเข้า ECU ต่อ Duty cycle ที่ความเร็วรอบคงที่ 106

ก.4 วงจร Simulated Oxygen Signal ในขั้นพัฒนาและสร้าง 112

ค.1 รูปคลื่นที่ได้จากวงจร Simulated Oxygen Signal 118

ช.1 สัญญาณที่สร้างจากวงจร Simulated Oxygen Signal 187

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

		หน่วย
λ	Relative Air/Fuel ratio	
Φ_r	Relative humidity	%
R	ความต้านทาน	Ω
C	คาปาซิแตนท์	F
A/F	Air-Fuel ratio	
$(A/F)_s$	Air-Fuel ratio ที่ stoichometric	
P	Pressure	kPa
T	Temperature	K
CO	Carbon monoxide	
CO_2	Carbon dioxide	
HC	Hydrocarbon	
NO_x	Nitrogen Oxide	
O_2	Oxygen	
η_{OEM}	ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE	%
$\eta_{improve}$	ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่ปรับปริมาณออกซิเจนในไอเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อ เทียบกับเครื่องยนต์ OEM TOYOTA 4A-FE	%
D	Duty Cycle	ms

T_T	Transport Delay Time	
T_D	Delay Time	
SI	Spark Ignition	
OEM	Original Equipment Manufacturing	
ECU	Electronic Control Unit	
TEL	Tetraethyl Lead	
TML	Tetramethyl Lead	
RON	Research Octane Number	
MON	Motor Octane Number	
MTBE	Methyl Tertiary Butyl Ether	
EPA	Environmental Protection Agency	
bsfc	Brake specific fuel consumption	kg/kW.hr
MAP	Manifold Absolute Pressure	in.Hg
HHV	Higher Heating Value	MJ/kg
vol.	Volume	litre