

แบบจำลองการบริโภคเชื้อเพลิงและมลภาวะจากรถยนต์



นายสมพร คันติวงศ์ไพศาล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-942-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VEHICLE'S FUEL CONSUMPTION AND EMISSIONS MODEL

MR. SOMPORN TANTIWONGPAISAN

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

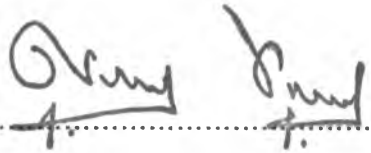
Chulalongkorn University

Academic Year 1997

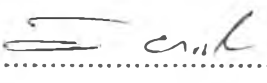
ISBN 974-638-942-4

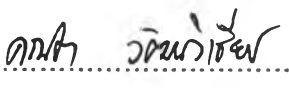
หัวข้อวิทยานิพนธ์ แบบจำลองการบริโภคเชื้อเพลิงและมลภาวะจากรถยนต์
โดย นายสมพร ต้นตึงศ์ไพศาล
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ชินเทพ เพ็ญชาติ

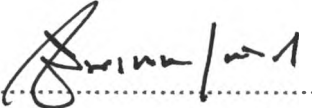
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


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


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ชินเทพ เพ็ญชาติ)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ศักดิ์ มลิธา)

สมพร ต้นตวงศ์ไพศาล : แบบจำลองการบริโภคเชื้อเพลิงและมลภาวะจากรถยนต์ (VEHICLE'S FUEL CONSUMPTION AND EMISSIONS MODEL) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. คณิต วัฒนวิเชียร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์ ชินเทพ เพ็ญชาติ ; 231 หน้า. ISBN 974-638-942-4.

แบบจำลองการบริโภคเชื้อเพลิงและมลภาวะจากรถยนต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ ทำการทำนายผลการบริโภคเชื้อเพลิงและมลภาวะที่ได้จากรถยนต์ เมื่อรถยนต์ถูกขับขึ้นตามรูปแบบการขับขี่ที่เลือก เพื่อความสะดวก, รวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายในการพิจารณาตัดสินใจ หรือในการพัฒนาปรับปรุงเครื่องยนต์เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการนำไปใช้กับรถยนต์รุ่นใดๆ โดยไม่ต้องนำเครื่องยนต์ไปติดตั้งในรถยนต์นั้นและ/หรือนำรถยนต์นั้นไปทดสอบบนแชสซิสไดนาโมมิเตอร์ แบบจำลองได้นำสมการแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของรถยนต์และความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับความเร็วของรถยนต์ และใส่เงื่อนไขการขับขี่รถยนต์ให้เหมือนการขับขี่รถยนต์จริง มาสร้างเป็นแบบจำลอง โดยใช้ภาษาฟอร์แทรน 77 ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลรุ่น 486-DX2 66 MHz มี RAM 8 เมกกะไบต์ และใช้ทฤษฎีการถดถอยหลายเชิงแบบเชิงเส้น (Multiple Linear Regression Method) เป็นทฤษฎีประมาณค่า

แบบจำลองการบริโภคเชื้อเพลิงและมลภาวะจากรถยนต์ (Vehicle's Fuel Consumption and Emissions Model, V.F.C.E. Model) มีข้อมูลป้อนเข้าประกอบด้วยข้อมูลจากการทดสอบเครื่องยนต์แบบคงตัว (Steady State Performance and Emissions Map) โดยใช้เครื่องยนต์ของโตโยต้ารุ่น 4A-FE, ข้อมูลจำเพาะทางพลศาสตร์ของรถยนต์ โดยใช้รถยนต์โตโยต้ารุ่นโคโรลล่า ปี 1995 และรูปแบบมาตรฐานการขับขี่ สำหรับงานวิจัยนี้ใช้รูปแบบการขับขี่ตาม มอก.1280-2538 ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลคือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (NE), ความดันสัมบูรณ์ท่อร่วมไอดี (MAP), อัตราการบริโภคเชื้อเพลิง (FC) และอัตราการเกิดมลภาวะต่างๆ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) และปริมาณการบริโภคเชื้อเพลิง และปริมาณมลภาวะต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดการขับขี่ตามรูปแบบการขับขี่ โดยนำค่าความเร็วรอบและความดันสัมบูรณ์ท่อร่วมไอดีที่ประมวลผลจากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูล (ความเร็วรอบและความดันสัมบูรณ์ท่อร่วมไอดีของเครื่องยนต์) ที่ได้จากการทดสอบรถยนต์จริงบนแท่นทดสอบแชสซิสไดนาโมมิเตอร์ ข้อมูลการวัดค่าความดันสัมบูรณ์ท่อร่วมไอดีและความเร็วรอบของเครื่องยนต์จากการทดสอบรถยนต์จริงและข้อมูลจากการทดสอบเครื่องยนต์แบบคงตัว ได้ถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของการควบคุมความเร็วรอบเครื่องยนต์ตามแบบจำลอง จากการเปรียบเทียบผลที่ได้ พบว่าการทำนายค่าสะสมการบริโภคเชื้อเพลิงของรถยนต์มีค่าคลาดเคลื่อนกัน 0.4 เปอร์เซ็นต์, ค่าสะสมปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าคลาดเคลื่อนกัน 0.8 เปอร์เซ็นต์และค่าสะสมปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าคลาดเคลื่อนกัน 1.2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าสะสมปริมาณไฮโดรคาร์บอนจากรถยนต์มีค่าคลาดเคลื่อนสูงถึง 8.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุของความคลาดเคลื่อนเกิดจาก ลักษณะการขับขี่รถยนต์ของผู้ขับขี่ (Human Error) ลักษณะไม่คงตัวของการทำงานของเครื่องยนต์ในรถยนต์ (Transient Conditions) ความคลาดเคลื่อนจากเทคนิคการประมาณค่าของการถดถอยหลายเชิงแบบเชิงเส้น การเลือกขนาดความกว้างของช่วงข้อมูลค่าเข้าของเครื่องยนต์ที่ไม่เหมาะสม และสมมติฐานของที่ใช้ในแบบจำลองไม่เหมาะสมเพียงพอ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล.....
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล.....
ปีการศึกษา2540.....

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C716244 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: VEHICLE / FUEL CONSUMPTION / EMISSIONS / MODEL / ENGINE DYNAMOMETER
CHASSIS DYNAMOMETER

SOMPORN TANTIWONGPAISAN : VEHICLE'S FUEL CONSUMPTION AND
EMISSIONS MODEL. THESIS ADVISOR : KANIT WATANA VICH IEN, Ph.D.
THESIS CO-ADVISOR : CHINATEP BENYAJATI. 231 pp. ISBN 974-638-942-4.


The Vehicle's Fuel Consumption and Emissions Model (V.F.C.E. Model) is developed to predict a vehicle fuel consumption and emissions, while it is driving along a selecting driving pattern on a chassis dynamometer. Modeling give an easier, faster and saver preliminary information of a suitable engine-vehicle matching for consideration. The Vehicle's Fuel Consumption and Emission Model is written in FORTRAN 77 using automotive mechanics relations and a multiple linear regression method together with a set of driving assumption to estimate a set of result on a personal computer 486 DX2 66 MHz., 8 Mbytes RAM.

The model's input data consist of steady state performance and emission maps (TOYOTA 4A-FE), specific vehicle information (TOYOTA COROLLA 1995) and a driving pattern (TIS.1280-2538). The output are flow rate at each time and accumulated fuel consumption and emissions ; carbondioxide, carbonmonoxide and hydrocarbon. The comparison has been considered between output data from modeling that uses the driving pattern as the input data and that uses the experimental data from vehicle testing, the engine speed and manifold pressure, as the input data. The errors from simulation of fuel consumption is 0.4 percents and carbondioxide is 0.8 percents and carbonmonoxide is 1.2 percents and the model gives high error of hydrocarbon 8.4 percents. The causes of these errors come from human error in controlling vehicle speed along the driving pattern, transient engine characteristics, error from Multiple Linear Regression Techniques, the use of unsuitable interval of engine grid data, and the use of insufficient assumption conditions.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....

ปีการศึกษา..... 2540.....

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์คือ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร และ อ.ชินเทพ เพ็ญชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ท่านให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางและให้โอกาสผู้เขียนในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณบริษัทโตโยต้ามอเตอร์ประเทศไทย จำกัด คุณนินนาท ไชยธีรภิญโญ กรรมการอาวุโส, คุณสุภรต์น์ สิริสุวรรณางกูร ผู้อำนวยการฝ่ายวิศวกรรมและวิจัย และวิศวกรพร้อมทั้งช่างเทคนิคทุกท่านที่มีได้กล่าวนาม ทั้งจากสำนักงานใหญ่, ศูนย์ฝึกอบรมที่สุวินทวงศ์และโรงงานเกตเวย์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลเทคนิคของเครื่องยนต์และรถยนต์ และการทดสอบรถยนต์แก่ผู้เขียนเป็นอย่างดี

ขอบคุณครูปฏิบัติการประจำห้องทดสอบเครื่องยนต์และรถยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกและให้ความรู้แก่ผู้เขียนในการทดสอบเครื่องยนต์โดยใช้แท่นทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ อีกทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล รวมไปถึงน้อง ๆ นิสิตปริญญาโทของภาควิชา ที่ช่วยเป็นกำลังใจและช่วยทดสอบเครื่องยนต์

ผู้เขียนขอขอบคุณท่านอธิการบดีและมหาวิทยาลัยสยาม ในการให้โอกาสแก่ผู้เขียนทำงานพิเศษเป็นอาจารย์สอนในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในระหว่างที่ผู้เขียนทำวิทยานิพนธ์อยู่

ขอขอบคุณสุดี เวชกุล ที่ช่วยเป็นกำลังใจเมื่อยามที่ผู้เขียนท้อแท้ อีกทั้งช่วยเกี่ยวกับการพิมพ์รายงานวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเป็นรูปเล่มอย่างสมบูรณ์ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ จากแผนก CFD บริษัท สัทธิพรแอสโซซิเอต จำกัด ที่เป็นกำลังใจให้ตลอด ขอขอบคุณคุณจรรยาศรี ที่ช่วยพิมพ์รายงาน และคุณกัญญาที่ให้ยืมเครื่องคอมพิวเตอร์หลังจากที่เครื่องของผู้เขียนชำรุด ให้สามารถทำงานต่อเนื่องได้จนวิทยานิพนธ์สำเร็จ

ขอบคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่ให้กำลังใจและทำให้ผู้เขียนมีความพยายามศึกษาจนถึงทุกวันนี้ ขอขอบคุณ รศ.นอ.ดร.วราภรณ์ ขำพิศ และอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทุกท่านที่ให้ความรู้และให้กำลังใจแก่ผู้เขียนในช่วงสุดท้ายของการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
3. แนวทางการพัฒนาแบบจำลองการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลภาวะจากรถยนต์.....	17
4. การทดสอบ.....	32
5. ผลการทดสอบ.....	40
6. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย.....	50
รายการอ้างอิง.....	80
ภาคผนวก ก รูปแบบการจับจีที่ป้อนแก่โปรแกรมแบบจำลอง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม มอก. 1280-2538.....	81
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบของการทดสอบเครื่องยนต์ 4A-FE บน Engine Dynamometer.....	102
ภาคผนวก ค ข้อมูลของการทดสอบเครื่องยนต์ที่ปรับค่าตาม AS 2789.1-1985.....	113
ภาคผนวก ง ข้อมูลป้อนเข้าโปรแกรมแบบจำลอง (Input Data).....	124
ภาคผนวก จ โปรแกรมแบบจำลอง.....	133
ภาคผนวก ฉ สมการที่ได้จากการประมาณค่าข้อมูลดิบ เพื่อทำการปรับค่าช่วงแรงบิด ของเครื่องยนต์ให้คงที่.....	163
ภาคผนวก ช สมการที่ได้จากการประมาณค่าข้อมูลดิบ เพื่อทำการปรับค่าช่วงความดัน สัมบูรณ์ทอร์วม ไอศิของเครื่องยนต์ให้คงที่.....	167
ภาคผนวก ซ การเปรียบเทียบข้อมูลที่ี้จากการคำนวณ และการประมาณค่าจาก V.F.C.E. Model กับค่าที่ได้จากการทดสอบรถยนต์ และการประมาณค่า จากแบบจำลองที่ถูกดัดแปลง.....	170

	หน้า
ภาคผนวก ฉ แสดงค่าคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบค่าจาก V.F.C.E. Model	
กับค่าที่วัดได้หรือค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ถูกดัดแปลง.....	218
ประวัติผู้วิจัย.....	231

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์ของโตโยต้า รุ่น 4A-FE.....	32
4.2 แสดงข้อมูลของ Engine Dynamometer และ Gas Analyser.....	33
4.3 แสดงข้อมูลรถยนต์ของโตโยต้า รุ่น โคโรลล่า ปี 1995 ที่ใช้ในการทดสอบ.....	36
4.4 แสดงข้อมูลของ Chassis Dynamometer and Gas Analyser.....	37
6.1 รายละเอียดการทดสอบลักษณะที่ 1 ส่วนที่ 1.....	64
6.2 รายละเอียดการทดสอบลักษณะที่ 1 ส่วนที่ 2.....	65
6.3 ตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของค่าต่าง ๆ เมื่อประมวลผล โดย V.F.C.E. Model และโปรแกรมแบบจำลองที่ถูกดัดแปลง เมื่อขับจี้รถยนต์ตาม มอก.1280-2538.....	67
6.4 ตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของค่าต่าง ๆ เมื่อประมวลผล โดย V.F.C.E. Model และโปรแกรมแบบจำลองที่ถูกดัดแปลง (เฉพาะช่วงเปลี่ยนเกียร์) เมื่อขับจี้รถยนต์ตาม มอก.1280-2538.....	71
6.5 ตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของค่าต่าง ๆ เมื่อประมวลผล โดย V.F.C.E. Model และโปรแกรมแบบจำลองที่ถูกดัดแปลง (เฉพาะช่วงก่อนการเร่งความเร็วรถยนต์) เมื่อขับจี้รถยนต์ตาม มอก.1280-2538.....	72
6.6 ตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของค่าต่าง ๆ เมื่อประมวลผล โดย V.F.C.E. Model และโปรแกรมแบบจำลองที่ถูกดัดแปลง (เฉพาะช่วงก่อนเข้าสู่ช่วงความเร็วคงที่) เมื่อขับจี้รถยนต์ตาม มอก.1280-2538.....	74
6.7 ตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของค่าต่าง ๆ เมื่อประมวลผล โดย V.F.C.E. Model และโปรแกรมแบบจำลองที่ถูกดัดแปลง (เฉพาะช่วงก่อนลดความเร็วรถยนต์) เมื่อขับจี้รถยนต์ตาม มอก.1280-2538.....	75
6.8 ตารางแสดงค่าคลาดเคลื่อนของค่าต่าง ๆ เมื่อประมวลผล โดย V.F.C.E. Model และโปรแกรมแบบจำลองที่ถูกดัดแปลง (เฉพาะช่วงก่อนการเดินเบาเครื่องยนต์) เมื่อขับจี้รถยนต์ตาม มอก.1280-2538.....	76

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการกระจายแรงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของรถยนต์ขึ้นทางชัน.....	5
2.2 แผนภูมิแสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	9
2.3 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของภาระของเครื่องยนต์ กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์.....	10
2.4 รูปแบบการขับจีตามมาตรฐาน มอก. 1280-2538.....	11
2.5 แสดงฟังก์ชันในรูปแบบของแผ่นเรียบที่ประดิษฐ์ขึ้น โดยวิธีการถดถอยแบบหลายเชิง แบบเชิงเส้น จากข้อมูล g ที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรต้น x_1 และ x_2	15
3.1 แสดงแบบจำลองการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลภาวะของรถยนต์ V.F.C.E. Model.....	18
3.2 แสดงฟังก์ชันรวมของแบบจำลอง.....	19
3.3 แสดงการแบ่งรูปแบบการขับจีเป็นช่วง ๆ.....	20
3.4 แสดงโปรแกรมที่ดัดแปลงจากแบบจำลองการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลภาวะจาก รถยนต์ เพื่อใช้วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผลของการควบคุมความเร็วรถยนต์ ซึ่งใช้ข้อมูลป้อนเข้าเป็นข้อมูลที่วัดค่าความเร็วรอบและความดันสัมบูรณ์ที่พร้อมไอดี จากการทดสอบรถยนต์จริงบนแท่นทดสอบเชตซิส ไคนา โมมิเตอร์	21
3.5 แสดงฟังก์ชันรวมของโปรแกรมแบบจำลองที่ถูกดัดแปลงเพื่อวิเคราะห์ผลของความ คลาดเคลื่อนอันเนื่องจากการควบคุมความเร็วรถยนต์.....	22
3.6 แสดงเพิ่มข้อมูล “PARA.DAT”.....	23
3.7 แสดงรูปแบบข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์แบบสภาวะคงตัว ป้อนเข้า V.F.C.E Model.....	24
3.8 แสดงตัวอย่างเพิ่มข้อมูล “MAP.DAT” (TE, NE).....	25
3.9 แสดงรูปแบบข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์แบบสภาวะคงตัว ป้อนเข้า แบบจำลองที่ดัดแปลง.....	25
3.10 แสดงตัวอย่างเพิ่มข้อมูล “MAP.DAT” (MAP, NE).....	26
3.11 แสดงตัวอย่างเพิ่มข้อมูล “DRIVING.DAT”.....	26
3.12 แสดงรูปแบบการขับจี ตาม มอก.1280-2538.....	27
3.13 แสดงตัวอย่างเพิ่มข้อมูล “NE_MP.DAT”.....	28
3.14 ตัวอย่างเพิ่มข้อมูล “RESULT.OUT” เมื่อประมวลผลตาม V.F.C.E. Model.....	31
3.15 ตัวอย่างเพิ่มข้อมูล “RESULT.OUT” เมื่อประมวลผลตามแบบจำลองที่ดัดแปลง เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนจากความเร็วการขับจี.....	31

	หน้า
4.1 แสดงอุปกรณ์ในการทดสอบเครื่องยนต์.....	34
4.2 แสดงอุปกรณ์ในการทดสอบรถยนต์.....	38
5.1 แสดงตัวอย่างการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์ที่อ้อมไอดี (MAP) กับแรงบิดของเครื่องยนต์ (T) ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อวินาที.....	41
5.2 แสดงชุดข้อมูลซึ่งถูกปรับค่าให้ช่วงแรงบิดมีค่าคงที่ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่ 750 รอบต่อนาที.....	42
5.3 แสดงตัวอย่างข้อมูลจากการทดสอบรถยนต์.....	43
5.4 แสดงค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์ (Simulation) และความเร็วของรถยนต์ (TIS.1280-2538) ที่ทำนายจากโปรแกรมแบบจำลอง V.F.C.E. Model ในช่วงเวลา 0-195 วินาที.....	44
5.5 แสดงค่าความดันสัมบูรณ์ที่อ้อมไอดีของเครื่องยนต์ (Simulation) และความเร็วของรถยนต์ (TIS.1280-2538) ที่ทำนายจากโปรแกรมแบบจำลอง V.F.C.E. Model ในช่วงเวลา 0-195 วินาที.....	45
5.6 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Simulation) และความเร็วของรถยนต์ (TIS.1280-2538) ที่ทำนายจากโปรแกรมแบบจำลอง V.F.C.E. Model ในช่วงเวลา 0-195 วินาที.....	45
5.7 แสดงค่าอัตราการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (Simulation) และความเร็วของรถยนต์ (TIS.1280-2538) ที่ทำนายจากโปรแกรมแบบจำลอง V.F.C.E. Model ในช่วงเวลา 0-195 วินาที.....	46
5.8 แสดงค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ (Simulation) และความเร็วของรถยนต์ (TIS.1280-2538) ที่ทำนายจากโปรแกรมแบบจำลอง V.F.C.E. Model ในช่วงเวลา 0-195 วินาที.....	46
5.9 แสดงค่าอัตราการเกิดไฮโดรคาร์บอน (Simulation) และความเร็วของรถยนต์ (TIS.1280-2538) ที่ทำนายจากโปรแกรมแบบจำลอง V.F.C.E. Model ในช่วงเวลา 0-195 วินาที.....	47
5.10 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและความเร็วของรถยนต์ ที่ทำนายจากโปรแกรมแบบจำลองที่ดัดแปลง ในช่วงเวลา 0-195 วินาที.....	48
5.11 แสดงค่าอัตราการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์และความเร็วของรถยนต์ ที่ทำนายจากโปรแกรมแบบจำลองที่ดัดแปลง ในช่วงเวลา 0-195 วินาที.....	48
5.12 แสดงค่าอัตราการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์และความเร็วของรถยนต์ ที่ทำนายจากโปรแกรมแบบจำลองที่ดัดแปลง ในช่วงเวลา 0-195 วินาที.....	49

5.13 แสดงค่าอัตราการเกิดไฮโดรคาร์บอนและความเร็วของรถยนต์ ที่ทำนาย จากโปรแกรมแบบจำลองที่ดัดแปลง ในช่วงเวลา 0-195 วินาที.....	49
6.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าสะสมของการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงของรถยนต์ จากการ ทำนายค่าของ V.F.C.E. Model กับจากการทำนายค่าของโปรแกรมแบบจำลอง ที่ถูกดัดแปลง เมื่อขับขี้อยนต์ตามรูปแบบการขับขี่ มอก. 1280-2538.....	56
6.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าสะสมของการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ จากการทำนาย ค่าของ V.F.C.E Model กับจากการทำนายค่าของโปรแกรมแบบจำลองที่ถูกดัดแปลง เมื่อขับขี้อยนต์ตามรูปแบบการขับขี่ มอก. 1280-2538.....	58
6.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าสะสมของการเกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ จากการทำนายค่า ของ V.F.C.E. Model กับจากการทำนายค่าของโปรแกรมแบบจำลองที่ถูกดัดแปลง เมื่อขับขี้อยนต์ ตามรูปแบบการขับขี่ มอก. 1280-2538.....	59
6.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าสะสมของการเกิดไฮโดรคาร์บอน จากการทำนายค่าของ V.F.C.E. Model กับจากการทำนายค่าของโปรแกรมแบบจำลองที่ถูกดัดแปลง เมื่อขับขี้อยนต์ ตามรูปแบบการขับขี่ มอก. 1280-2538.....	60
6.5 แสดงรูปแบบการทดสอบลักษณะที่ 1.....	61
6.6 แสดงรูปแบบการทดสอบ 1 วัฏจักรมูลฐานของส่วนที่ 1.....	62
6.7 แสดงรูปแบบการทดสอบ ส่วนที่ 2.....	63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

% Vol.	ร้อยละโดยปริมาตร
Δt	ช่วงเวลา 1 วินาที
λ	Relative Air Fuel Ratio
cc.	ลูกบาศก์เซนติเมตร
cc/s	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที
chng.	Gear Change
CO	คาร์บอนมอนนอกไซด์
CO ₂	คาร์บอนไดออกไซด์
const.	Constant Speed
dec.	Decreasing Speed
E.C.E.	Economic Commission for Europe Regulation
EFI	Electronic Fuel Injection
F.S.	Full Scale
FC	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
g/km	กรัมต่อกิโลเมตร
g/s	กรัมต่อวินาที
HC	ไฮโดรคาร์บอน
idle	Idle Speed
inc.	Increasing Speed
kg	กิโลกรัม
kg/m ³	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
km	กิโลเมตร
km/lt.	กิโลเมตรต่อลิตร
kph	กิโลเมตรต่อชั่วโมง
lt./km	ลิตรต่อกิโลเมตร
m	เมตร
m/s	เมตรต่อวินาที
m ²	ตารางเมตร
MAP	ความดันสัมบูรณ์ที่ร่วม ไอดี (mmHg)
m _f	อัตราการสิ้นเปลืองมวลเชื้อเพลิง (g/s)

mmHg	มิลลิเมตรปรอท
MP	ความดันท่อร่วมไอดี (mmHg)
N	นิวตัน
N.m	นิวตันเมตร
NE	ความเร็วรอบที่เพลาช้อเหวี่ยง (rev/min)
NO _x	ออกไซด์ของไนโตรเจน
O ₂	ออกซิเจน
ppm	ส่วนในล้านส่วน
rev/min	รอบต่อนาที
s.	วินาที
t	เวลา
TCCS	TOYOTA Computerize Control System
TE	แรงบิดที่เพลาช้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ (N)
V	ความเร็วเชิงเส้นของรถยนต์ (m/s)
W	วัตต์
มอก.	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
F	แรงขับที่รถยนต์ต้องการ
R _a	แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากอากาศพลศาสตร์
R _g	แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากความชัน
R _r	แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากความเสียดทานที่ล้อ
F _{acc}	แรงขับเคลื่อนที่ที่รถยนต์ต้องการใช้เพื่อเปลี่ยนแปลงความเร็ว
k	สัมประสิทธิ์ของแรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากอากาศพลศาสตร์
f _r	สัมประสิทธิ์ที่ขึ้นกับสภาพยางรถ และลักษณะถนน
W	น้ำหนักของรถยนต์ (N)
θ	มุมเอียงของพื้นถนน (Degree)
m _e	มวลประสิทธิภาพของรถยนต์ (kg)
a	อัตราเร่ง
m	มวลของรถยนต์ (kg)
m _r	มวลเทียบเท่าของชิ้นส่วนหมุน (kg)
N _w	ความเร็วรอบที่ล้อรถ (rev/min)
G	อัตราทดของระบบส่งกำลัง
G _t	อัตราทดของชุดเกียร์

G_d	อัตราคของเพื่องท้าย
r	รัศมีประสิทธิภาพของล้อขับ (m)
P_v	กำลังที่รถยนต์ต้องการใช้เพื่อการขับเคลื่อน (Watt)
P_E	กำลังของเครื่องยนต์ (Watt)
η_t	ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลัง
G_{t_1}	อัตราคของชุดเกียร์ 1
G_{t_2}	อัตราคของชุดเกียร์ 2
G_{t_3}	อัตราคของชุดเกียร์ 3
G_{t_4}	อัตราคของชุดเกียร์ 4
G_{t_5}	อัตราคของชุดเกียร์ 5
V.F.C.E.	Vehicle's Fuel Consumption and Emissions