

แบบจำลองโดยทั่วไปของเครื่องยนต์สำหรับการทำนายอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง



นายกฤษฎา พุคะทรัพย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-332-303-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๕ ๑ ๒.๕ 2544

A GENERALISED ENGINE MODEL FOR FUEL CONSUMPTION PREDICTION

MR. KRITSADA PUGASAB

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 1998

ISBN 974-332-303-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

แบบจำลองโดยทั่วไปของเครื่องยนต์สำหรับการทำนาย  
อัตราการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง

โดย

นายกฤษฎา พุกะทรัพย์

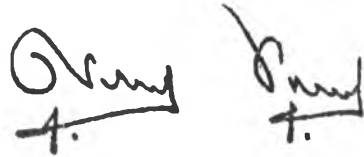
ภาควิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร

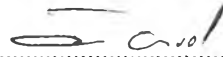
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

( ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ

( รองศาสตราจารย์ ดร.วิथा ขงเจริญ )



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร )



..... กรรมการ

( รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ศักดิ์ มลิลา )



..... กรรมการ

( อาจารย์ ฉัตรชัย หงษ์อุเทน )

กฤษฎา พุคะทรัพย์ : แบบจำลองโดยทั่วไปของเครื่องยนต์สำหรับการทำนายอัตราการสิ้นเปลือง  
น้ำมันเชื้อเพลิง (GENERALISED ENGINE MODEL FOR FUEL CONSUMPTION  
PREDICTION) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร; 157 หน้า. ISBN 974-332-303-1.

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเครื่องยนต์บนแท่นไดนาโมมิเตอร์จะถูกนำมาสร้างเป็น Performance Map ได้ ซึ่งเป็นที่มาของแผนภูมิที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแรงบิดเบรค, อัตราส่วนความเร็วรอบ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถใช้เปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่แตกต่างกันได้ ดังนั้นจำนวนการทดสอบของชนิดเครื่องยนต์ที่เหมาะสมจะสามารถนำมาสร้างเป็นแผนภูมิเฉลี่ย (Generalised Map) ด้วยวิธีทางสถิติได้ ประกอบกับความรู้ในเรื่องอัตราทดเกียร์และรูปแบบการขับขี่ แผนภูมินี้จะสามารถประมาณอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นได้ในเครื่องยนต์ชนิดต่างๆ นอกจากนี้ยังสามารถขยายไปใช้งานกับศูนย์บริการหรือบริษัทที่ทำการวิจัยเพื่อปรับปรุงเครื่องยนต์ต่างๆ ได้ นั่นคือเมื่อมี Generalised Map แล้ว ความจำเป็นที่จะต้องมามีข้อมูลเฉพาะของเครื่องยนต์แต่ละเครื่องก็จะลดลงได้

ในงานวิจัยนี้ได้สร้าง Generalised Map มาจากข้อมูลการทดสอบของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE ขนาด 1587 cc. , เครื่องยนต์ Toyota Model 3E ขนาด 1498 cc. และเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B ขนาดเครื่องยนต์ 1597 cc. ซึ่งมีสัดส่วนการใช้งานรวมในเขตกรุงเทพฯ เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ขนาดเดียวกันคิดเป็นปริมาณร้อยละ 60 ดังนั้นจึงสามารถใช้ Generalised Map เป็นตัวแทนของเครื่องยนต์เบนซินขนาด 1300-1600 cc. ในเขตกรุงเทพฯ ได้

ในการสร้าง Generalised Map นั้นจะได้จากการเฉลี่ยข้อมูลจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่สภาวะคงที่บนแท่นไดนาโมมิเตอร์ด้วยวิธีทางสถิติ พร้อมปรับสัดส่วนเนื่องจากปริมาณการใช้งานที่แตกต่างกันในท้องตลาดของเครื่องยนต์แต่ละเครื่องและปรับสัดส่วนเนื่องจากปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งพบว่าช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ใน Generalised Map ที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดถึง 24.537 % คือ ช่วงอัตราส่วนแรงบิดเบรค 0.80 และอัตราส่วนความเร็วรอบ 0.45 สำหรับการนำ Generalised Map ไปใช้ในการทำนายอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการขับขี่ ซึ่งใช้เครื่องยนต์ขนาด 1600 cc. ตามแบบแผนการขับขี่ ( Driving Pattern ) ที่กำหนดโดย ECE 15 พบว่าสามารถทำนายการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการขับขี่ใน 1 วิถจักร ได้ประมาณ 231.69 cc ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเพียงร้อยละ 0.54 เท่านั้นเมื่อเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยที่คำนวณจาก Performance Map ของแต่ละเครื่องยนต์

ภาควิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา ..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต ..... กฤษฎา พุคะทรัพย์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... คณิต วัฒนวิเชียร  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 3970038021 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: ENGINE GENERALISED MAP / ENGINE MAP / FUEL CONSUMPTION PREDICTION

KRITSADA PUGASAB : GENERALISED ENGINE MODEL FOR FUEL  
CONSUMPTION PREDICTION. THESIS ADVISOR : KANIT WATANAICHEN, Ph.D.  
157 pp. ISBN 974-332-303-1.

Data obtained during the engine dynamometer testing are used to produce engine performance maps. The engine maps employ normalised brake torque, normalised speed and brake thermal efficiency to allow comparison between dissimilar engines. A sufficient number of engine tests has been carried out and sufficient data have been collected to construct a generalised engine map by statistical method. With the application of suitable equations and a knowledge of which gear the vehicle is used, over a driving cycle, this map may be used to determine the fuel consumption for a variety of different engines. Furthermore, this could be extended to tuning centres and engine modified companies whom deal with many different makes. The existence of a generalised map would implied that carrying the data for each individual engine would be unnecessary.

Generalised Map in this thesis has been constructed from engine testing data of a Toyota Model 4A-FE (1587 cc.) , a Toyota Model 3E (1498 cc.) and a Mitsubishi Model G32B (1597 cc.) which all have the total market share of 60% compare with the same capacity of engine's population employed in Bangkok. this Generalised Map also compiles the statistical weights due to both amount of different engine's models and the use of different fuel grades in the market share. Therefore, this generalised map can represent SI engine capacity of 1300-1600 cc. in Bangkok.

The result was found that Generalised Map has the maximum brake thermal efficiency of 24.537% at normalised brake torque 0.8 and normalised speed 0.45. Fuel consumption that is estimated from Generalised Map by simulating a drive of a vehicle along the ECE15 driving pattern shows an approximate fuel consumption of 231.69 cc. per a test cycle. This figure contains 0.54% error compares with an estimated average value from the individual engine performance maps.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล  
ปีการศึกษา.....2541

ลายมือชื่อนิสิต.....กฤษณา หักะวิทพันธ์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....กฤษณา หักะวิทพันธ์  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ ดร.คณิต วัฒนวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย รวมทั้งความเอาใจใส่และความช่วยเหลือทางด้านต่างๆ ตลอดจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณสุรชัย คณาวิวัฒน์ไชย เพื่อนนิสิตปริญญาโท ผู้ช่วยเหลือในการติดตั้งและทดสอบเครื่องยนต์ คุณประพันธ์ คลวิชัย ผู้ช่วยเหลือในการทดสอบเครื่องยนต์รวมทั้งให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมแบบจำลอง คุณธนกร สุวาศยวรรณ ผู้ช่วยเหลือในการทดสอบเครื่องยนต์ คุณเสวย เกตุนาถ ที่ให้คำแนะนำในการติดตั้งเครื่องยนต์ และเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโททุกท่าน ที่ให้กำลังใจและให้คำปรึกษา จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จเป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ผู้ให้ชีวิต ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนทางการศึกษาจนถึงทุกวันนี้ รวมทั้งพี่ๆ ร่วมสายโลหิตที่คอยให้กำลังใจตลอดมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์.....	5
2.2 การทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	14
2.3 รูปแบบการขับเคลื่อนมาตรฐาน.....	23
บทที่ 3 แนวคิดในการสร้าง Generalised Map.....	24
3.1 แนวคิดในการสร้าง Performance Map.....	24
3.2 การประเมินความแม่นยำของ Performance Map.....	30
3.3 แนวคิดในการสร้าง Normalised Map.....	32
3.4 แนวคิดในการสร้าง Generalised Map.....	33
3.5 การประเมินความแม่นยำของ Generalised Map.....	35
3.6 การถอดอยแบบพหุนาม.....	37
3.7 ระเบียบวิธีการกำจัดแบบเกาส์.....	39
บทที่ 4 การพิจารณาหาตัวแทนของเครื่องยนต์ที่ใช้ในเขตกรุงเทพฯ.....	41
4.1 หลักการในการพิจารณาหาตัวแทนของเครื่องยนต์.....	41
4.2 ผลการพิจารณาหาตัวแทนของเครื่องยนต์.....	41
4.3 การกำหนดค่า weight ปริมาณสัดส่วนร้อยละของเครื่องยนต์.....	43
4.4 การกำหนดค่า weight ปริมาณสัดส่วนร้อยละของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	44

บทที่ 5 การทดสอบ.....	46
5.1 ข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์, เครื่องยนต์และเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ.....	46
5.2 ขั้นตอนการทดสอบ.....	50
บทที่ 6 ผลการทดสอบ.....	53
6.1 ผลการคำนวณ.....	53
6.2 แผนภูมิ Performance Map.....	59
6.3 แผนภูมิ Normalised Map.....	63
6.4 แผนภูมิ Generalised Map.....	66
บทที่ 7 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย.....	69
7.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของ Performance Map.....	70
7.2 การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดจากการเปรียบเทียบ Generalised Map กับ Normalised Map.....	71
7.3 วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนจากการนำ Generalised Map ไปทำนาย อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงตามรูปแบบการขับขี่มาตรฐาน.....	78
บทที่ 8 แนวคิดในการพัฒนา Generalised Map ในอนาคต.....	81
รายการอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดสอบเครื่องยนต์.....	83
ภาคผนวก ข. ข้อมูลแสดงผลการคำนวณค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์.....	96
ภาคผนวก ค. ผลคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนของ Performance Map กับการทดสอบจริง.....	109
ภาคผนวก ง. ข้อมูลแสดงผลการคำนวณเปรียบเทียบปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ใน 1 cycle ตามรูปแบบการขับขี่มาตรฐาน.....	116
ภาคผนวก จ. คำอธิบายการใช้โปรแกรมและข้อมูลที่ป้อนใน โปรแกรมแบบจำลอง.....	125
ภาคผนวก ฉ. โปรแกรมแบบจำลอง.....	133
ประวัติผู้วิจัย.....	157



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงค่า $\eta_{meb}$ ที่ค่าแรงบิดแบเรคและความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ซึ่งใช้สำหรับสร้าง Performance Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE โดยใช้ใช้น้ำมันออกเทน 95 ซึ่งมีแรงบิดแบเรคสูงสุด 131.727 N.m .....	29
3.2 ผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ค่าคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบค่าของประสิทธิภาพเชิงความร้อนแบเรคที่ได้จากการประมาณค่าใน Performance Map กับค่าที่ได้จากการทดสอบของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91 และน้ำมันออกเทน 95.....	31
3.3 แสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพเชิงความร้อนแบเรคของเครื่องยนต์ทั้งหมดที่จะนำไปสร้างเป็น Generalised Map.....	34
3.4 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95.....	36
4.1 แสดงปริมาณรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่จดทะเบียนใหม่ในเขตกรุงเทพมหานคร ในช่วงปี 2535 - 2539.....	42
4.2 แสดงปริมาณการผลิตรถยนต์ส่วนบุคคลขนาดต่างๆ ระหว่างปี พ.ศ. 2537 - 2538.....	44
5.1 แสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์ต่างๆ ที่นำมาทดสอบ.....	46
5.2 ข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันเบนซินตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2538) เรื่องกำหนดคุณภาพของน้ำมัน.....	49
6.1 แสดงผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนแบเรคที่จะนำไปสร้าง Performance Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91.....	54
6.2 แสดงผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนแบเรคที่จะนำไปสร้าง Performance Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95.....	55
6.3 แสดงผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนแบเรคที่จะนำไปสร้าง Performance Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 3E เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91.....	56
6.4 แสดงผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนแบเรคที่จะนำไปสร้าง Performance Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 3E เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95.....	57
6.5 แสดงผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนแบเรคที่จะนำไปสร้าง Performance Map ของเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91.....	58
6.6 แสดงผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนแบเรคที่จะนำไปสร้าง Performance Map ของเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95.....	59

6.7 แสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคของเครื่องยนต์ทั้งหมดที่จะนำไปสร้างเป็น Generalised Map.....	67
7.1 แสดงช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดจาก Performance Map.....	69
7.2 แสดงช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดจาก Normalised Map.....	69
7.3 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91.....	72
7.4 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95.....	73
7.5 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 3E เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91.....	74
7.6 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 3E เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95.....	75
7.7 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 91.....	76
7.8 แสดงค่า error ของ Generalised Map เมื่อเทียบกับ Normalised Map ของเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B เมื่อใช้น้ำมันออกเทน 95.....	77
7.9 แสดงผลการทำนายปริมาณเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองใน 1 cycle ของการขับขี่ตามแบบแผน การขับขี่ของ ECE15.....	79
7.10 แสดงค่า error จากการเปรียบเทียบผลการทำนายปริมาณเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลือง ใน 1 cycle ระหว่าง Generalised Map กับ Normalised Map ของการขับขี่ตามแบบแผน การขับขี่ของ ECE15.....	79

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ SI แสดง เส้นอัตราอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงคงที่.....	2
1.2 แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ SI แสดง เส้นอัตราอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงคงที่.....	2
2.1 แสดงเส้นแรงบิดที่ตำแหน่งวาล์วปีกผีเสื้อเปิดสุด (Full Throttle).....	5
2.2 แสดงเส้นประสิทธิภาพการบรรจุไอศ (Volumetric efficiency, $\eta_v$ ) ของเครื่องยนต์ SI ขนาด 1.5 ลิตร ที่ full throttle.....	6
2.3 แสดงเส้นสมรรถนะกำลังของเครื่องยนต์.....	8
2.4 แสดง P.V. diagram สำหรับ actual Otto cycle.....	9
2.5 แสดงกำลังของเครื่องยนต์ที่ตำแหน่งการเปิดวาล์วปีกผีเสื้อมุมต่างๆ.....	11
2.6 แสดงกราฟของกำลังเบรค (b.p.), ความดันเฉลี่ย (b.m.e.p), กำลังซี่บ่งทั้งหมด (gross i.p.), กำลังซี่บ่งสุทธิ (nett i.p.), friction power, pumping power จากการทดสอบโดยวาล์วปีกผีเสื้อ เปิดสุดจากเครื่องยนต์ SI ขนาด 1.172 ลิตร 4 สูบ 4 จังหวะ.....	11
2.7 แผนภาพแสดงค่าจำกัดความของกำลังและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์.....	13
2.8 แสดงกราฟของ brake thermal efficiency, indicated thermal efficiency, s.f.c และ mechanical efficiency บนแกนของความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ SI ขนาด 1 ลิตร 4 สูบ 4 จังหวะ.....	13
2.9 แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ SI.....	14
2.10 แสดง Orifice Flowmeter.....	17
2.11 แสดง Tank และ Orifice.....	19
2.12 แสดง Viscous Flowmeter สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศ.....	20
2.13 แสดงเส้น Calibration ของ viscous flowmeter.....	20
2.14 แสดง Viscous water brake.....	21
2.15 แสดง Heenan-Froude water brake ซึ่งเป็น Fluid Dynamometer แบบ agitator.....	22
2.16 แสดงภาพตัดขวางของ Heenan-Froude water brake.....	22
2.17 E.C.E driving mode.....	23
3.1 แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE โดยใช้น้ำมันออกเทน 95.....	24
3.2 แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ SI.....	25
3.3 แสดง Flow Chart ของขั้นตอนหลักๆ ที่ใช้ในการสร้าง Performance Map.....	30

3.4	แสดง Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE โดยใช้น้ำมันออกเทน 95.....	32
3.5	แสดง Generalised Map ซึ่งเป็นตัวแทนของเครื่องยนต์ในกลุ่มศึกษาของงานวิจัย.....	34
3.6	การถดถอยแบบพหุนาม โดยการประคิษฐ์ฟังก์ชันพหุนามจากชุดของข้อมูลที่กำหนดมาให้.....	37
5.1	แสดงหลอดแก้วที่ใช้วัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง.....	47
5.2	แสดงจุดเมตริกทดสอบ.....	51
6.1	แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE โดยใช้น้ำมันออกเทน 91.....	60
6.2	แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE โดยใช้น้ำมันออกเทน 95.....	60
6.3	แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 3E โดยใช้น้ำมันออกเทน 91.....	61
6.4	แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 3E โดยใช้น้ำมันออกเทน 95.....	61
6.5	แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B โดยใช้น้ำมันออกเทน 91..	62
6.6	แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B โดยใช้น้ำมันออกเทน 95..	62
6.7	แสดง Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE โดยใช้น้ำมันออกเทน 91.....	63
6.8	แสดง Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 4A-FE โดยใช้น้ำมันออกเทน 95.....	64
6.9	แสดง Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 3E โดยใช้น้ำมันออกเทน 91.....	64
6.10	แสดง Normalised Map ของเครื่องยนต์ Toyota Model 3E โดยใช้น้ำมันออกเทน 95.....	65
6.11	แสดง Normalised Map ของเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B โดยใช้น้ำมันออกเทน 91....	65
6.12	แสดง Normalised Map ของเครื่องยนต์ Mitsubishi Model G32B โดยใช้น้ำมันออกเทน 95....	66
6.13	แสดง Generalised Map.....	68

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	Piston Area, m <sup>2</sup>
A <sub>o</sub>	area of the orifice, m <sup>2</sup>
b <sub>mep</sub>	Brake Mean Effective Pressure, N/m <sup>2</sup>
b.p.	Brake Power, watt
C <sub>d</sub>	Coefficient of discharge of the Orifice
C <sub>L</sub>	Lower Calorific value, MJ/kg
d	orifice diameter, m.
e	No. of power stroke per revolution
error <sub>i</sub>	ค่าคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบ Generalised Map กับ Normalised Map
F.P.	Fuel Power, watt
g	gravitational acceleration, m/s <sup>2</sup>
i <sub>mep</sub>	Indicated Mean Effective Pressure, N/m <sup>2</sup>
i.p.	Indicated Power, watt
L	Length of Stroke, m.
L <sub>B</sub>	Brake arm Length, m.
MAP	Manifold Absolute Pressure, in.Hg
n	number of engine cylinders
N	Speed, rev/min
N <sub>max</sub>	Maximum Speed, rev/min
N <sub>nor</sub>	Normalised Speed
P	Power, watt
rev/min	Revolution per minute
s.f.c	Specific fuel consumption, kg/kW.hr
S.I.	Spark Ignition
t	Time, sec.
T	Torque, N.m
T <sub>b</sub>	Brake Torque, N.m
T <sub>b,max</sub>	Maximum Brake Torque, N.m
T <sub>db</sub>	Dry Bulb Temperature, °C
T <sub>wb</sub>	Wet Bulb Temperature, °C

$T_{max}$	Maximum Torque, N.m
$T_{b,Nor}$	Normalised Brake Torque
$V_{air}$	Volumetric air flow rate, m <sup>3</sup> /s
$V_S$	Total engine swept volume, m <sup>3</sup>
$W$	Brake Load, N.
$w_i$	weight ของปริมาณสัดส่วนร้อยละของเครื่องยนต์ในท้องตลาด
$w_{91}$	weight of engine for fuel octane 91
$w_{95}$	weight of engine for fuel octane 95
$\eta_m$	Mechanical Efficiency, %
$\eta_{th}$	Thermal Efficiency, %
$\eta_{th,b}$	Brake Thermal Efficiency, %
$\eta_{th,b,Gen}$	Brake Thermal Efficiency in Generalised Map, %
$\eta_{th,b,Nor}$	Brake Thermal Efficiency in Normalised Map, %
$\eta_{th,b,Nor,91}$	Brake Thermal Efficiency in Normalised Map of engine for fuel octane 91, %
$\eta_{th,b,Nor,95}$	Brake Thermal Efficiency in Normalised Map of engine for fuel octane 95, %
$\eta_{th,b,Per}$	Brake Thermal Efficiency in Performance Map, %
$\eta_{th,b,Test}$	Brake Thermal Efficiency from Test, %
$\eta_v$	Volumetric Efficiency, %
$\rho_{air}$	Density of air, kg/m <sup>3</sup>
$\rho_w$	Density of manometer fluid, kg/m <sup>3</sup>
$\rho_f$	Density of fuel, kg/m <sup>3</sup>
$\Delta H$	vertical difference in the fluid level in the two manometer limbs, m.