

การศึกษาผลกระทบเชิงทฤษฎีของตัวแปรในการออกแบบ
ต่อการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงของยานยนต์



ไพรัช เติศอารยะพงษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-848-3

ลิขสิทธิ์บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**THEORETICAL EFFECTS OF DESIGN PARAMETERS ON
VEHICLE FUEL CONSUMPTION**

Mr. Pairat Lertarayapong

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

Department of Mechanical Engineering

Graduated School

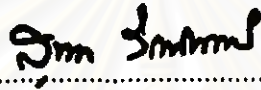
Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-332-848-3

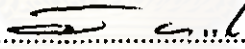
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาผลกระทบเชิงทฤษฎีของตัวแปรในการออกแบบต่อ
การเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงของยานยนต์
โดย นาย ไพรัช เลิศอารยะพงษ์
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณิต วัฒนวิเชียร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินหลักสูตรปริญญาโท



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ชงเจริญ)



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



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงศักดิ์ มลิธา)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิตราชัย หงษ์อุเทน)

ไพรัช เลิศอารยะพงษ์ : การศึกษาผลกระทบเชิงทฤษฎีของตัวแปรในการออกแบบต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของยานยนต์ (THEORETICAL EFFECTS OF DESIGN PARAMETERS ON VEHICLE FUEL CONSUMPTION) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. กณิศ วัฒนวิเชียร ; 255 หน้า. ISBN 974-332-848-3.

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษาผลกระทบเชิงทฤษฎีของตัวแปรการออกแบบในส่วนต่างๆของเครื่องยนต์และยานยนต์ ที่มีผลต่อกำลังงานสูญเสีย เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงตัวแปรการออกแบบเพื่อลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของยานยนต์ ในการลดกำลังงานสูญเสียนั้นสามารถทำได้จากการปรับปรุงประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์ การลดกำลังงานสูญเสียในส่วน of เครื่องยนต์และยานยนต์ จากการศึกษาผลกระทบเชิงทฤษฎี ซึ่งไม่รวมผลกระทบทางด้าน dynamic load ของตัวแปรการออกแบบต่อกำลังงานสูญเสียทั้งในส่วน of เครื่องยนต์และยานยนต์ โดยกำหนดขอบเขตของตัวแปรต่างๆในช่วงตัวแปรที่พิจารณาเพิ่มลดค่าของข้อมูล baseline engine data ในช่วงร้อยละ 10 นั้นพบว่า การปรับปรุงประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์สามารถกระทำได้โดยการลดค่าของ combustion duration การปรับองศาจุดระเบิดล่วงหน้าให้มีค่ามากขึ้น และการเพิ่มค่าอัตราส่วนกำลังอัด ซึ่งจากผลการประเมินเมื่อไม่คิดผลของ heat losses พบว่าการปรับปรุงค่าของตัวแปรต่างๆที่ได้จากการคำนวณเชิงทฤษฎีสามารถปรับปรุง Net indicated power ให้เพิ่มขึ้นได้ราวร้อยละ 44

จากการวิเคราะห์ผลเชิงทฤษฎีของการลดกำลังงานสูญเสียในส่วน of เครื่องยนต์พบว่า การปรับปรุงสามารถกระทำได้โดยการลดแรงเสียดทานทางกล อาทิ การลดค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น การลดขนาดของ Crank arm และการลดขนาดรัศมีของ connecting rod bearing ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งจากการพิจารณาเปรียบเทียบผลของการปรับปรุงตัวแปรต่างๆเทียบกับข้อมูล baseline engine data ในแต่ละองค์ประกอบกำลังงานสูญเสียมือเครื่องยนต์ที่ทำงานที่ความเร็วรอบ 2600 รอบต่อนาที พบว่าการปรับปรุงตัวแปรในส่วน of Crankshaft bearing , Piston ring , Connecting rod bearing , Piston skirt , Air conditioning compressor , Cam system , Pumping losses และ Alternator ตัดส่วนร้อยละของการลดกำลังงานสูญเสียเนื่องจากองค์ประกอบต่างๆเป็น 26.65 , 23.08 , 15.28 , 9.63 , 7.52 , 7.14 , 5.73 และ 4.97 ตามลำดับ จากการประเมินผลเชิงทฤษฎีของการปรับปรุงตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อกำลังงานสูญเสียในส่วน of เครื่องยนต์สามารถลดกำลังงานสูญเสียรวมลงได้ราวร้อยละ 19.7

ส่วนการลดกำลังงานสูญเสียในส่วน of ยานยนต์ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2600 รอบต่อนาที ซึ่งเทียบเท่าการทำงานเมื่อเครื่องยนต์ขับยานยนต์ ที่ความเร็วของยานยนต์ 83.3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถทำได้โดยการลดค่า Drag coefficient และ Frontal area ซึ่งกำลังงานสูญเสียในองค์ประกอบจาก Air resistance และ Rolling resistance สามารถลดลงได้ร้อยละ 17.99 และ 14.95 ตามลำดับ จากการคำนวณเชิงทฤษฎีพบว่าเมื่อปรับปรุงตัวแปรต่างๆที่มีต่อกำลังงานสูญเสียในส่วน of ยานยนต์สามารถลดกำลังงานสูญเสียลงราวร้อยละ 16.6

อนึ่งการปรับปรุงตัวแปรต่างๆจากช่วงตัวแปรที่พิจารณาที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์เล่มนี้นั้นเป็นเพียงกรณีศึกษาเพื่อพิจารณาผลและทิศทางของการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นเท่านั้น ในทางปฏิบัติช่วงตัวแปรบางช่วงอาจไม่สามารถเกิดขึ้นได้จริง อย่างไรก็ตามจากผลที่นำเสนอนี้คาดได้ว่าผลรวมที่ได้จากการปรับปรุงปัจจัยต่างๆของเครื่องยนต์และยานยนต์ต่างๆไปในทางปฏิบัตินั้น อาจลดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงรวมลงราวร้อยละ 15 น่าจะเป็นไปได้สูง

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิติ ไพรัช เลิศอารยะพงษ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา กณิศ วัฒนวิเชียร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

3971277921 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: ENGINE FRICTION / TRACTION POWER / DESIGN PARAMETERS IMPROVEMENT

PAIRAT LERTARAYAPONG : THEORETICAL EFFECTS OF DESIGN PARAMETERS ON VEHICLE FUEL CONSUMPTION. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. KANIT WATANAVICHIEEN , Ph.D. 255 pp. ISBN 974-332-848-3.

This thesis presents a theoretical effects of design parameters on vehicle power losses in order to find the ways to improve design parameters for vehicle fuel consumption reduction. Power losses reduction can be achieved by three folds: improving thermodynamics cycle's efficiency, reducing engine's friction losses and reducing vehicle's traction power. Results of design parameters, dynamic load effects are exclusive, that limited parameters range within about 10 % of baseline engine data show that the thermodynamics efficiency improvement could be made by decreasing combustion duration, increasing degree of spark advance and increasing compression ratio. Theoretical investigation which heat losses effect is neglected was found that net indicated power may be increased about 44 %.

Results of theoretical analysis to reduce Engine friction losses show that the improvement could be made by reducing mechanical friction such as reducing absolute viscosity in oil lubrication, reducing crank arm size and reducing radius of connecting rod bearing etc. Comparative results between performance of improved parameters engine and baseline engine at engine speed of 2600 rev/min have been investigated. It was found that the proportion of decreasing engine friction losses from crankshaft bearing , piston ring , connecting rod bearing , piston skirt , air conditioning compressor , cam system , pumping losses and alternator are 26.65 % , 23.08 % , 15.28 % , 9.63 % , 7.52 % , 7.14 % , 5.73 % and 4.97 % respectively. The theoretical assessment of engine friction losses could be concluded that the engine power losses may be reduced about 19.7 %

Reducing the traction power at engine speed of 2600 rev/min which is equivalent to the operating condition of engine driven a vehicle at speed of 83.3 km/hr. may be achieved by decreasing drag coefficient and decreasing frontal area. By improving vehicle parameters, traction power from air resistance and rolling resistance may be reduced by 17.99 % and 14.95 % respectively. The theoretical calculation show that when we improved all parameters traction power may be improved by 16.6 %.

It should be noted that the range of designed parameters presented in this thesis are employed in order to consider results and directions of parameters changed. In practice, some parameters limit range that has been selected are fictitious values. However, the design parameters improvement for vehicle fuel economy about 15 % may be possible.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา..... 2542

ลายมือชื่อนิสิต..... *พรศร เวทีทอง: นศศ*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *กมลวิภา เวทีทอง*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยาลัยนพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณิต วัฒนวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยาลัยนพนธ์ ซึ่งท่านได้เสียสละเวลาอย่างมากในการให้ คำปรึกษา คำแนะนำ ถ่ายทอดความรู้ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อ งานวิจัย ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านไว้เป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

สำหรับการสนับสนุนจากเงินทุนโยธิน คอมเมอร์เชียล นี้ ช่วยลดภาระในการใช้จ่าย ต่างๆ ในปีการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

และขอขอบคุณ เพื่อน ๆ และ น้องๆ นิสิตปริญญาโท ที่ให้กำลังใจ และ ความช่วยเหลือในเรื่องเอกสารที่เป็นประโยชน์ ในการทำวิจัยฉบับนี้

ท้ายนี้ ประโยชน์และคุณค่าของวิทยาลัยนพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูบูชาแก่ คุณแม่ และ พี่สาว ที่คอยให้กำลังใจ และ คณาจารย์ทุกท่านที่ได้เสียสละความคิดในการถ่ายทอดความรู้ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

ไพรัช เติศอารยะพงษ์

สถาบันวิทย์บริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ท
คำอธิบายสัญลักษณ์	ผ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของวิชานีพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของวิชานีพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กฎการอนุรักษ์พลังงาน	4
2.2 สมการพื้นฐานของเครื่องยนต์ Reciprocating engine	6
2.3 ทฤษฎีการหล่อลื่นในเครื่องยนต์แบบ hydrodynamic lubrication.....	8
2.4 กระบวนการการเผาไหม้	12
2.5 กำลังงานสูญเสียจากเครื่องยนต์	19
2.5.ก. กำลังงานสูญเสียจาก Connecting rod bearing	19
2.5.ข. กำลังงานสูญเสียจาก Crankshaft bearing	28

2.5.ค.	กำลังงานสูญเสียจาก Piston	29
2.5.ง.	กำลังงานสูญเสียจาก Cam system	37
2.5.จ.	กำลังงานสูญเสียจาก Accessories load	45
2.5.ฉ.	กำลังงานสูญเสียจาก Pumping losses	53
2.6	กำลังงานสูญเสียจากยานยนต์และระบบส่งถ่ายกำลัง	55
2.6.ก.	กำลังงานสูญเสียจาก Air resistance	56
2.6.ข.	กำลังงานสูญเสียจาก Rolling resistance	57
2.6.ค.	กำลังงานสูญเสียจาก Gradient resistance	58
2.6.ง.	กำลังงานสูญเสียจากระบบส่งถ่ายกำลัง	58
2.7	ออปติไมเซชัน	60
บทที่ 3	ความสัมพันธ์ของตัวแปรการออกแบบของเครื่องยนต์และยานยนต์	61
3.1	ความสัมพันธ์ของตัวแปรการออกแบบทาง Thermodynamics	61
3.2	ความสัมพันธ์ของตัวแปรการออกแบบต่อกำลังงานสูญเสีย	
	ในส่วนของเครื่องยนต์	63
3.2.1	ความสัมพันธ์ในองค์ประกอบจาก Connecting rod bearing	64
3.2.2	ความสัมพันธ์ในองค์ประกอบจาก Crankshaft bearing	65
3.2.3	ความสัมพันธ์ในองค์ประกอบจาก Piston	65
3.2.4	ความสัมพันธ์ในองค์ประกอบจาก Cam system	68
3.2.5	ความสัมพันธ์ในองค์ประกอบจาก Accessories load	70
3.2.6	ความสัมพันธ์ในองค์ประกอบจาก Pumping losses	72
3.3	ความสัมพันธ์ของตัวแปรการออกแบบต่อกำลังงานสูญเสีย	
	ในส่วนของยานยนต์	74
3.3.1	ความสัมพันธ์ในองค์ประกอบจาก Air resistance	74
3.3.2	ความสัมพันธ์ในองค์ประกอบจาก Rolling resistance	75
3.3.3	ความสัมพันธ์ในองค์ประกอบจาก Gradient resistance	75
3.4	ช่วงการทำงานของตัวแปรการออกแบบ	76

บทที่ 4 การคำนวณผลตัวแปรการออกแบบต่อกำลังงานสูญเสีย	78
4.1 ข้อมูล baseline engine data	78
4.2 ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรม Indicate	83
4.3 ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรม Engine	87
4.4 ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรม Optimum	95
บทที่ 5 ผลการคำนวณ	106
5.1 ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม Indicate	106
5.2 ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม Engine	113
5.2.1 ผลการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขององค์ประกอบ กำลังงานสูญเสียต่างๆของเครื่องยนต์	114
5.2.1ก. ผลการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขององค์ประกอบ กำลังงานสูญเสียจาก Connecting rod bearing	114
5.2.1ข. ผลการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขององค์ประกอบ กำลังงานสูญเสียจาก Crankshaft bearing	117
5.2.1ค. ผลการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขององค์ประกอบ กำลังงานสูญเสียจาก Piston	119
5.2.1ง. ผลการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขององค์ประกอบ กำลังงานสูญเสียจาก Cam system	123
5.2.1จ. ผลการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขององค์ประกอบ กำลังงานสูญเสียจาก Accessories load	126
5.2.1ฉ. ผลการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขององค์ประกอบ กำลังงานสูญเสียจาก Pumping losses	128
5.2.2 ผลการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขององค์ประกอบ กำลังงานสูญเสียต่างๆของยานยนต์	130
5.2.2ก. ผลการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขององค์ประกอบ กำลังงานสูญเสียจาก Air resistance	130
5.2.2ข. ผลการคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขององค์ประกอบ กำลังงานสูญเสียจาก Rolling resistance	131

5.3 ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม Optimum	132
5.3.1. ผลการคำนวณหาค่าตัวแปรการออกแบบที่ทำให้กำลังงาน สูญเสียต่ำสุด (optimum data)	133
5.3.2. ผลการคำนวณหาสัดส่วนของกำลังงานสูญเสียในแต่ละ องค์ประกอบตามข้อมูลจาก baseline engine data	136
5.3.3. ผลการคำนวณหาลำดับงานสูญเสียของแต่ละองค์ประกอบในส่วน ของเครื่องชนิดและขนาดชนิดต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ เครื่องชนิดตามข้อมูล baseline engine data และ optimum data	136
5.3.4. ผลการคำนวณการเปรียบเทียบกำลังงานสูญเสียจาก baseline engine data กับ optimum data และ ผลการคำนวณการแจกแจงสัดส่วน ของแต่ละองค์ประกอบที่มีบทบาทในส่วนลดของกำลังงานสูญเสีย ที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงตัวแปรการออกแบบ.....	138
บทที่ 6 ผลการวิเคราะห์	141
6.1 ผลการวิเคราะห์ของตัวแปรการออกแบบที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	141
6.2 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆที่ทำให้กำลังงานต่ำสุด.....	158
6.3 ผลการวิเคราะห์การศึกษาสัดส่วนของกำลังงานสูญเสียในแต่ละ องค์ประกอบจาก baseline engine data	160
6.4 ผลการวิเคราะห์การศึกษาลำดับงานสูญเสียในส่วนเครื่องชนิดและ ขนาดชนิด จาก baseline engine data และ optimum data	161
6.5 ผลการเปรียบเทียบกำลังงานสูญเสียจาก baseline engine data กับ optimum data และ วิเคราะห์สัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบที่มีบทบาทต่อ กำลังงานสูญเสีย	162
บทที่ 7 สรุปผลและอภิปรายผล	164
7.1) สรุปผล	164
7.2) อภิปรายผล	169
7.3) ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อเนื่อง	171
รายการอ้างอิง	173

ภาคผนวก ก การคำนวณ Sensitivity..... 177

ภาคผนวก ข ข้อมูลตัวแปรการออกแบบจาก baseline engine data 180

ภาคผนวก ค เพิ่มข้อมูลป้อนค่าตัวแปรการออกแบบ 182

ภาคผนวก ง รายละเอียดโปรแกรม INDICATE 186

ภาคผนวก จ รายละเอียดโปรแกรม ENGINE 193

ภาคผนวก ฉ รายละเอียดโปรแกรม OPTIMUM 221

ประวัติผู้วิจัย 255



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.6.1	แสดงประสิทธิภาพการส่งถ่ายกำลังที่เกียร์ต่างๆ	59
ตารางที่ 3.4.1	สรุปช่วงตัวแปรการออกแบบและข้อมูลจาก baseline engine data ...	76
ตารางที่ 5.1.1	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของ Spark advance , Combustion duration , Connecting rod length , Compression ratio ต่อ Net indicated power	107
ตารางที่ 5.2.1ก.1	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น ที่ความเร็ว รอบเครื่องชนิดต่างๆ ใน Connecting rod ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	114
ตารางที่ 5.2.1ก.2	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความยาว crank arm ที่ความเร็วรอบ เครื่องชนิดต่างๆ ใน Connecting rod ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	114
ตารางที่ 5.2.1ก.3	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงความยาวก้านชัก ที่ความเร็วรอบเครื่องชนิด ต่างๆ ใน Connecting rod ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	115
ตารางที่ 5.2.1ก.4	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงรัศมีแบร็ง ที่ความเร็วรอบเครื่องชนิดต่างๆ ใน Connecting rod (big-end) ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	115
ตารางที่ 5.2.1ก.5	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงช่องว่างแนวรัศมีแบร็ง ที่ความเร็วรอบ เครื่องชนิดต่างๆ ใน Connecting rod (big-end) ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	115
ตารางที่ 5.2.1ก.6	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงระยะหน้ากว้างแบร็ง ที่ความเร็วรอบ เครื่องชนิดต่างๆ ใน Connecting rod (big-end) ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	116
ตารางที่ 5.2.1ก.7	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงรัศมีแบร็ง ที่ความเร็วรอบเครื่องชนิดต่างๆ ใน Connecting rod (small-end) ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	116
ตารางที่ 5.2.1ก.8	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงช่องว่างแนวรัศมีแบร็ง ที่ความเร็วรอบ เครื่องชนิดต่างๆ ใน Connecting rod (small-end) ที่มีต่อกำลังงาน สูญเสีย	116

ตารางที่ 5.2.1ก.9	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงระยะหน้ากว้างแบร็ง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ต่างๆ ใน Connecting rod (small-end) ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	117
ตารางที่ 5.2.1ก.10	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนก้านชักคอร์ดมีเพลลาข้อเหวี่ยง ที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ใน Connecting rod ที่มีต่อกำลังงาน สูญเสีย	117
ตารางที่ 5.2.1ข.1	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้ำมันหล่อลื่น ที่ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ต่างๆ ใน Crankshaft bearing ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	117
ตารางที่ 5.2.1ข.2	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงรัศมีแบร็ง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ใน Crankshaft bearing ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	118
ตารางที่ 5.2.1ข.3	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงหน้ากว้างแบร็ง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ต่างๆ ใน Crankshaft bearing ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย.....	118
ตารางที่ 5.1ข.4	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงช่องว่างแนวรัศมีแบร็ง ที่ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ต่างๆ ใน Crankshaft bearing ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย.....	118
ตารางที่ 5.2.1ค.1	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น ที่ความเร็ว รอบเครื่องยนต์ต่างๆ ใน Piston skirt ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	119
ตารางที่ 5.2.1ค.2	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงช่องว่างแนวรัศมีระหว่างกระบอกสูบกับลูกสูบ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ใน Piston skirt ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	119
ตารางที่ 5.2.1ค.3	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงความยาวของ skirt ในกระบอกสูบ ที่ความเร็ว รอบเครื่องยนต์ต่างๆ ใน Piston skirt ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	120
ตารางที่ 5.2.1ค.4	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงระยะ crank arm ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก Piston skirt.....	120
ตารางที่ 5.2.1ค.5	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงขนาดของ piston bore ที่ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ต่างๆที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก Piston skirt.....	120
ตารางที่ 5.2.1ค.6	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น ที่ความเร็ว รอบเครื่องยนต์ต่างๆ ใน Piston ring ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย.....	121

ตารางที่ 5.2.1ค.7	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงขนาดของ pressure ring depth ที่กระบอกสูบ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ใน Piston ring ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	121
ตารางที่ 5.2.1ค.8	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงขนาดของ oil ring depth ที่กระบอกสูบที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ใน Piston ring ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย.	121
ตารางที่ 5.2.1ค.9	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกสูบ ที่ความ เร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ใน Piston ring ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	122
ตารางที่ 5.2.1ค.10	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงระยะ crank arm ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ต่างๆ ใน Piston ring ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	122
ตารางที่ 5.2.1ง.1	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงขนาดมวลาตัวตาม ที่ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ต่างๆ ในระบบการขับ Cam ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	123
ตารางที่ 5.2.1ง.2	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่า spring stiffness ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ต่างๆ ในระบบการขับ Cam ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย.....	123
ตารางที่ 5.2.1ง.3	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่า valve preloading ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ต่างๆ ในระบบการขับ Cam ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย.....	124
ตารางที่ 5.2.1ง.4	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่า base radius และค่า tip radius ที่ความเร็ว รอบเครื่องยนต์ต่างๆ ในระบบการขับ Cam ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย ...	124
ตารางที่ 5.2.1ง.5	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงระยะยกวาล์ว ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ในระบบการขับ Cam ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย.....	125
ตารางที่ 5.2.1จ.1	แสดงผลการเปลี่ยนแปลง Cooling load ในระบบปรับอากาศของ รถยนต์ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย.....	126
ตารางที่ 5.2.1จ.2	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ rotor ในเครื่อง กำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆที่มีต่อ กำลังงานสูญเสีย	127
ตารางที่ 5.2.1จ.3	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวของ rotor ในเครื่องกำเนิด ไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆที่มีต่อกำลังงาน สูญเสีย	127

ตารางที่ 5.2.1๑.4	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงกำลังงานสูญเสียของปั๊ม ในรอบยนต์ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ	127
ตารางที่ 5.2.1๑.1	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงขนาดควาลวไอดี ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ และ manifold pressure ต่างๆที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย.....	128
ตารางที่ 5.2.1๑.2	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนกำลังอัด ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ และค่าManifold pressure ต่างๆ ที่มีต่อกำลังงานสูญเสีย	129
ตารางที่ 5.2.2ก.1	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่า drag coefficient ที่ความเร็วยานยนต์ต่างๆ ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจากแรงต้านทานอากาศของยานยนต์	131
ตารางที่ 5.2.2ก.2	แสดงผลการเปลี่ยนแปลง frontal area ที่ความเร็วยานยนต์ต่างๆ ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจากแรงต้านทานอากาศของยานยนต์.....	131
ตารางที่ 5.2.2ข.1	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่า rolling coefficient ที่ความเร็วยานยนต์ต่างๆที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจากแรงต้านทานการหมุน.....	132
ตารางที่ 5.2.2ข.2	แสดงผลการเปลี่ยนแปลงค่า vehicle mass ที่ความเร็วยานยนต์ต่างๆที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจากแรงต้านทานการหมุน.....	132
ตารางที่ 5.3.1	แสดงผลจากการหาตัวแปรออกแบบที่ทำให้กำลังสูญเสียต่ำสุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ.....	135
ตารางที่ 5.3.2	แสดงผลการคำนวณของสัดส่วนของกำลังงานสูญเสียในเครื่องยนต์ของแต่ละองค์ประกอบ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2600 รอบต่อนาที	136
ตารางที่ 5.3.3ก	แสดงผลการคำนวณกำลังงานสูญเสียแต่ละองค์ประกอบของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆจาก baseline data	136
ตารางที่ 5.3.3ข	แสดงผลการคำนวณกำลังงานสูญเสียแต่ละองค์ประกอบของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆจาก optimum data	137
ตารางที่ 5.3.3ค	แสดงผลการคำนวณกำลังงานสูญเสียยานยนต์ ที่ความเร็วยานยนต์ต่างๆจาก baseline data	137
ตารางที่ 5.3.3ง	แสดงผลการคำนวณกำลังงานสูญเสียยานยนต์ ที่ความเร็วยานยนต์ต่างๆจาก optimum data	137

ตารางที่ 5.3.4ก	แสดงผลการคำนวณของสัดส่วนการลดลงของกำลังงานสูญเสียใน เครื่องยนต์ของแต่ละองค์ประกอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2600 รอบต่อนาที	138
ตารางที่ 5.3.4ข	แสดงผลการคำนวณของสัดส่วนการลดลงของกำลังงานสูญเสียใน ยานยนต์ของแต่ละองค์ประกอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2600 รอบต่อนาที	138
ตารางที่ 5.3.4ค	แสดงผลการคำนวณสัดส่วนการลดลงของกำลังงานสูญเสียในเครื่องยนต์ ของแต่ละองค์ประกอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2600 รอบต่อนาที....	139
ตารางที่ 5.3.4ง	แสดงผลสรุปสัดส่วนการลดกำลังงานสูญเสียรวมในแต่ละตัวแปร การออกแบบในส่วน of เครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2600 รอบต่อนาที	139
ตารางที่ 5.3.4จ	แสดงผลสรุปสัดส่วนการลดกำลังงานสูญเสียรวมในแต่ละตัวแปร การออกแบบในส่วน of ยานยนต์ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2600 รอบต่อนาที	140
ตารางที่ 6.1	สรุปตัวแปร(Optimum data) ที่ทำให้ Net indicated power สูงสุด	144
ตารางที่ 6.2	สรุปตัวแปร(Optimum data) ที่ทำให้กำลังงานสูญเสียต่ำสุดในเครื่องยนต์ และยานยนต์	159
ตารางที่ 7.1	สรุปทิศทาง และ Sensitivity ของตัวแปรการออกแบบเพื่อให้เกิด Net indicated power สูงสุด และเพื่อให้เกิดการลดกำลังงานสูญเสียในส่วน ของเครื่องยนต์ , ยานยนต์.....	164
ตาราง ก.1	แสดงผลการคำนวณค่า Sensitivity ของตัวแปรต่างๆที่ความเร็วรอบ 2600 รอบต่อนาที	178
ตาราง ข.1	แสดงข้อมูล baseline engine data	180

สารบัญภาพ

	หน้า
รูป 2.1.1 แสดงสมคุดพลังงานสำหรับระบบปริมาตรควบคุมในรูดยนต์	4
รูป 2.2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆใน reciprocating engine	6
รูป 2.3.1 แสดง Stribeck diagram ของ journal bearing	8
รูป 2.3.2 แสดงแรงที่กระทำ fluid element ที่เกิดขึ้นในชั้นน้ำมัน	9
รูป 2.3.3 แสดง velocity distribution ของของไหลในแนว x	10
รูปที่ 2.4.1 แสดงระบบเปิดสำหรับห้องเผาไหม้.....	13
รูป 2.5.ก.1 แสดงรูปร่างของตัว journal bearing	19
รูป 2.5.ก.2 แสดงตัวแปรที่เกี่ยวข้องในตัว connecting rod bearing	21
รูป 2.5.ก.3 แสดง pressure distribution ที่สมมาตรในแนว center line ที่กระทำต่อ bearing	24
รูป 2.5.ก.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆใน connecting rod (big-end)	25
รูป 2.5.ก.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆใน connecting rod (small-end) ...	26
รูป 2.5.ก.6 แสดง velocity diagram ของตัว connecting rod	26
รูป 2.5.ค.1 แสดงแรงที่กระทำ fluid element ในชั้นน้ำมันระหว่างลูกสูบกับผนัง กระบอกสูบ	29
รูป 2.5.ค.2 แสดง profile ของ sliding surface ใน piston ring	31
รูป 2.5.ค.3 แสดงรูปร่างและตัวแปรต่างๆ ของ piston ring	33
รูป 2.5.ค.4 แสดงรูปร่างของแหวนลูกสูบในช่วง lubricating	36
รูป 2.5.ง.1 แสดงรูปร่างและตัวแปรต่างๆ ของ cam	37
รูป 2.5.ง.2 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆของ cam แบบ Petter AV1	39
รูป 2.5.ง.3 แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรจากรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก	39
รูป 2.5.ง.4 แสดงแรงที่กระทำต่อตัว valve follower	42
รูป 2.5.ง.5 แสดงแรงที่กระทำต่อตัว cam	42
รูป 2.5.จ.1 แสดงรูปร่าง reciprocating compressor และ P-V daigram	45

รูป 2.5.จ.2	แสดงลักษณะ P-h diagram ของสารทำความเย็น	48
รูป 2.5.จ.3	แสดงลักษณะการทำงานของ compressor ที่ความเร็วรอบต่างกัน	49
รูป 2.6.ข.1	แสดงแรงที่กระทำต่อลอร์รอนต์	57
รูป 2.6.ค.1	แสดงแรงต้านต่างๆจากความลาดชันของถนน	58
รูป 2.7.1	แสดงวิธีค้นหาจากตัวแปรที่ละตัวแปร	60
รูป 4.1	แสดงแผนผังการคำนวณหลักของโปรแกรม Indicate	84
รูป 4.2	แสดงแผนผังการคำนวณหลักของโปรแกรม Engine	87
รูป 4.3	แสดงแผนผังรายละเอียดการคำนวณการเปลี่ยนแปลงจากตัวอย่างตัวแปรที่พิจารณา	90
รูป 4.4	แสดงแผนผังรายละเอียดการคำนวณการเปลี่ยนแปลงตัวแปรจาก pumping losses	94
รูป 4.5	แสดงแผนผังการคำนวณหลักของโปรแกรม Optimum	98
รูป 4.6	แสดงแผนผังรายละเอียดตัวอย่างการคำนวณตัวแปรที่เหมาะสมในหมวด 1	100
รูป 4.7	แสดงแผนผังรายละเอียดตัวอย่างการคำนวณตัวแปรที่เหมาะสมในหมวด 2	103
รูปที่ 6.1.1ก1	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลง spark advance ต่อ Net Indicated Power ที่ combustion duration ต่างๆ, con-rod length=0.136 m, $R_c=8.5$, $N = 2600$ รอบต่อนาที	143
รูปที่ 6.1.1ก2	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลง spark advance ต่อ Net Indicated Power ที่ combustion duration ต่างๆ, con-rod length=0.136 m, $R_c=9.3$, $N = 2600$ รอบต่อนาที	143
รูปที่ 6.1.1ข	แสดงผลของการเปลี่ยนแปลง con-rod length ต่อ Net Indicated Power, $\theta_b = 40.8^\circ$ crank angle, $\theta_s = -26^\circ$ crank angle, $N=2600$ รอบต่อนาที	143
รูปที่ 6.1.1ง	แสดงผลของการเปรียบเทียบ Net Indicated ที่ baseline engine data กับ optimum data, $N = 2600$ รอบต่อนาที	143
รูป 6.1.2.1ก1	แสดงผลของ radius bearing ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก Connecting rod (big-end)	145

รูป 6.1.2.1ก2	แสดงผลของ radius bearing ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก connecting rod (small-end)	145
รูป 6.1.2.1ข1	แสดงผลของ radius clearance ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก connecting rod (big-end)	145
รูป 6.1.2.1ข2	แสดงผลของ radius clearance ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก connecting rod (small-end)	145
รูป 6.1.2.1ค1	แสดงผลของ bearing width ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก connecting rod (big-end)	145
รูป 6.1.2.1ค2	แสดงผลของ bearing width ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก connecting rod (small-end)	145
รูป 6.1.2.1ง	แสดงผลของ crank arm ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก connecting rod	146
รูป 6.1.2.1จ	แสดงผลของ absolute viscosity ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก connecting rod	146
รูป 6.1.2.1ฉ	แสดงผลของ con-rod length ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก connecting rod ...	146
รูป 6.1.2.1ช	แสดงผลของ connecting rod length to crankarm ratio ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก connecting rod	146
รูป 6.1.2.2ก	แสดงผลของ radius bearing ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก crankshaft bearing	148
รูป 6.1.2.2ข	แสดงผลของ bearing width ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก crankshaft bearing	148
รูป 6.1.2.2ค	แสดงผลของ radius clearance ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก crankshaft bearing	148
รูป 6.1.2.2ง	แสดงผลของ absolute viscosity ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก crankshaft bearing	148
รูป 6.1.2.3ก	แสดงผลของ piston clearance ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก piston skirt	150
รูป 6.1.2.3ข	แสดงผลของ skirt length ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก piston skirt	150
รูป 6.1.2.3ค1	แสดงผลของ absolute viscosity ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก piston skirt ..	150
รูป 6.1.2.3ค2	แสดงผลของ absolute viscosity ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก piston ring ...	150
รูป 6.1.2.3ง1	แสดงผลของ pressure ring depth ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก piston ring ..	150

รูป 6.1.2.3จ2	แสดงผลของ oil ring depth ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก piston ring	150
รูป 6.1.2.3จ1	แสดงผลของ crank arm ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก piston skirt	150
รูป 6.1.2.3จ2	แสดงผลของ crank arm ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก piston ring	150
รูป 6.1.2.3ฉ1	แสดงผลของ bore (fix crank arm=0.0385 m) ที่มีผลต่อกำลังงานสูญเสียจาก piston ring	151
รูป 6.1.2.3ฉ2	แสดงผลของ bore (fix $V_c=1587$ cc) ที่มีผลต่อกำลังงานสูญเสียจาก piston ring	151
รูป 6.1.2.4ก	แสดงผลของ base radius (tip radius=2.5mm) ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก cam system.....	152
รูป 6.1.2.4ข	แสดงผลของ tip radius ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก cam system	152
รูป 6.1.2.4ค	แสดงผลของ valve lift ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก cam system	153
รูป 6.1.2.4ง	แสดงผลของ valve preloading ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก cam system ...	153
รูป 6.1.2.4จ	แสดงผลของ spring stiffness ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก cam system	153
รูป 6.1.2.4ฉ	แสดงผลของ valve follower mass ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก cam system	153
รูป 6.1.2.5ก1	แสดงผลของ cooling load ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจากภาระในการขับ compressor	154
รูป 6.1.2.5ก2	แสดงผลของความเร็วรอบ ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจากภาระในการขับ compressor	154
รูป 6.1.2.5ข	แสดงผลของ rotor diameter ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจากภาระในการขับ alternator	155
รูป 6.1.2.5ค	แสดงผลของ rotor length ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจากภาระในการขับ alternator	155
รูป 6.1.2.6ก	แสดงผลของ inlet valve diameter ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก pumping losses	156
รูป 6.1.2.6ค	แสดงผลของ compression ratio ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก pumping losses	156
รูป 6.1.3.1ก	แสดงผลของ drag coefficient ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก air resistance	157

รูป 6.1.3.1ข	แสดงผลของ frontal area ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก air resistance	157
รูป 6.1.3.2ก	แสดงผลของ rolling coefficient ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก rolling resistance	158
รูป 6.1.3.2ข	แสดงผลของ vehicle mass ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจาก rolling resistance ..	158
รูป 6.3	แสดงสัดส่วนกำลังงานสูญเสียของแต่ละองค์ประกอบของ baseline engine data ที่ความเร็วรอบ 2600 รอบต่อนาที	160
รูป 6.4ก	แสดงผลของความเร็วรอบ ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจากข้อมูล baseline engine data ในแต่ละองค์ประกอบในส่วนของเครื่องยนต์	161
รูป 6.4ข	แสดงผลของความเร็วรอบ ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียจากข้อมูล optimum data ในแต่ละองค์ประกอบในส่วนของเครื่องยนต์	161
รูป 6.4ค	แสดงผลของความเร็วรอบ ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียในส่วนของยานยนต์ จาก ข้อมูล baseline engine data	162
รูป 6.4ง	แสดงผลของความเร็วรอบ ที่มีต่อกำลังงานสูญเสียในส่วนของยานยนต์ จาก ข้อมูล optimum data	162
รูป 6.5ก	แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานสูญเสียเครื่องยนต์รวม ระหว่างข้อมูลตัวแปร ของ baseline กับ optimum ที่ความเร็วรอบ 2600 รอบต่อนาที	162
รูป 6.5ข	แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานสูญเสียในแต่ละองค์ประกอบของเครื่องยนต์ ระหว่างข้อมูลตัวแปรของ baseline กับ optimum ที่ความเร็วรอบ 2600 รอบต่อนาที	163
รูป 6.5ค	แสดงสัดส่วนการลดกำลังงานสูญเสียแต่ละองค์ประกอบของ baseline engine data เมื่อปรับให้ตัวแปรต่างๆมีค่าตาม optimum data ที่ความเร็วรอบ 2600 รอบต่อนาที	163
รูป 6.5ง	แสดงการเปรียบเทียบกำลังงานสูญเสียรวมของเครื่องยนต์จาก optimum data กับ baseline data ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ	163
รูป ก.1	แสดงตัวแปรต่างๆในการคำนวณหาค่า sensitivity	177

คำอธิบายสัญลักษณ์

		หน่วย
a	รัศมีเพลลาข้อเหวี่ยง หรือ แขนเพลลาข้อเหวี่ยง (Crank arm)	m
a ₁	ค่าคงที่ของรูปร่างแหวน (Ring constant)	
A	พื้นที่	m ²
A _r	พื้นที่หน้าตัดรถยนต์ (Frontal area)	m ²
A _v	ความเร่งของวาล์ว (Valve follower acceleration)	m/s ²
b	พื้นที่หล่อลื่นของแหวนกระบอกสูบ (Lubricating surface)	mm
b' _{press}	ระยะหน้ากว้างแหวนอัด (Pressure ring depth)	mm
b' _{oil}	ระยะหน้ากว้างแหวนน้ำมัน (Oil ring depth)	mm
B	เส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกสูบ (Piston bore)	m
B _{com}	เส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกสูบของ compressor (Compressor piston bore)	m
C _{crank}	ช่องว่างแนวรัศมีแบรริง (Radius clearance) ใน crankshaft bearing	m
C _{big}	ช่องว่างแนวรัศมีแบรริง (Radius clearance) ใน connecting rod bearing , big-end side	m
C _d	สัมประสิทธิ์แรงดูด (Drag coefficient)	
C _p	ช่องว่างระหว่างกระบอกสูบกับลูกสูบ (Piston clearance)	m
C _{small}	ช่องว่างแนวรัศมีแบรริง (Radius clearance) ใน connecting rod bearing , small-end side	m
D _r	เส้นผ่าศูนย์กลางตัวหมุนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Rotor diameter in alternator)	m
D _{iv}	เส้นผ่าศูนย์กลางวาล์วไอดี (Intake valve diameter)	m
e	ระยะเยื้องศูนย์กลาง (Eccentricity)	m
e'	ค่าความเยื้อง	
e _c	ประสิทธิภาพในการอัดตัวของ gas (Compression efficiency)	
e _m	ประสิทธิภาพเชิงกล (Mechanical efficiency)	
e [^]	เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแนวเส้นผ่านจุดศูนย์กลางตัว journal และ bearing	

f	รัศมี flank (Flank radius)	mm
f_R	สัมประสิทธิ์การคานการหมุน (Rolling coefficient)	
f'	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of friction)	
f_L'	Hydrodynamic coefficient of friction	
f_s'	Coefficient of dry friction	
F	แรงเสียดทาน (Friction force)	N
F'	ค่าคงที่การไหลผ่านวาล์ว	
F_p	แรงกดวาล์วเริ่มต้น (Preloading)	N
F_s	แรงจากสปริงที่กระทำต่อวาล์ว (Spring force)	N
g	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วง	m/s^2
G_D	อัตราทดเฟืองทาส (Differential ratio)	
G_G	อัตราทดเกียร์ (Gear ratio)	
G_T	อัตราทดรวม (Total gear ratio)	
h	ความหนาของน้ำมัน (Oil thickness)	mm
$h(x)$	รูปร่างผิวหน้าแหวน (Ring surface)	mm
h_a	Enthalpy at saturated vapour at low pressure side	kJ/kg
h_d	Enthalpy at saturated liquid at high pressure side	kJ/kg
HV	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating value)	kJ/kg
Δh	ความดันร่วมท่อไอดี (Intake manifold pressure)	In.Hg
$\Delta h'$	ช่วงในการคำนวณ	
h'	Specific enthalpy ของมวลเขาออก crevice area	J/kg
h'_2	ความหนาน้ำมันต่ำสุด (Oil minimum thickness)	mm
$imep_c$	ค่าแก้ไขของความดันประสิทธิภาพเฉลี่ย (Corrective indicated mean effective pressure)	kPa
I_a	กระแสไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator current)	Amp.
k	ดัชนี ไอเซนทรอปิก ของสารทำความเย็น R12 (Isentropic index)	
K	ค่าคงที่ของสปริง (Spring stiffness)	N/m

K	ค่าแก้ไข (Correction factor)	
l	ความยาวของก้านชัก (Connecting rod length)	m
L	ระยะยกของวาล์วตัวตาม (Valve follower lift)	mm
L_a	ความยาวตัวหมุนในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Rotor active length in alternator)	m
L_{com}	ระยะชักของลูกสูบใน compressor (Compressor piston stroke length)	m
L_{big}	หนากว้างของ connecting rod bearing ด้าน big-end (Bearing width)	m
L_{crank}	หนากว้างของ crankshaft bearing (Bearing width)	m
L_{skirt}	ความยาวพื้นที่ผิวด้านข้างลูกสูบ (Skirt length)	m
L_{small}	หนากว้างของ connecting rod bearing ด้าน small-end (Bearing width)	m
L'	ระยะชักลูกสูบ (Piston stroke length)	m
m	มวลของวาล์วตัวตาม (Valve follower mass)	kg
m_c	Percent clearance	%
m_{cr}	มวลของ gas ที่อยู่ในบริเวณ crevice area	
m_f	อัตราการไหลเชิงมวลของเชื้อเพลิง (Fuel mass flow rate)	kg/s
m_{ref}	อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น (Refrigerant mass flow rate)	kg/s
m_g	มวลของ gas ที่อยู่ภายในระบบ	kg
m_v	มวลของรถยนต์ (Vehicle mass)	kg
n	Index of fraction of the heat release	
n_b	จำนวนแบร์ริงที่รองรับ crankshaft (Number of bearing support)	
n_{cyl}	จำนวนลูกสูบทั้งหมดของเครื่องยนต์ (Number of piston cylinder)	
n_{com}	จำนวนลูกสูบทั้งหมดของ compressor (Number of compressor piston)	
n_{iv}	จำนวน inlet valve ต่อกระบอกสูบ	
n_r	ค่าคงที่ของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ = 2	
n_{valve}	จำนวนวาล์วต่อกระบอกสูบ	
n	จำนวนช่วงในการคำนวณด้วย Numerical method	
N	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (Engine speed)	rev/min

N_{cool}	ความเร็วรอบเครื่องชนิดต่ำสุดในการขับ Compressor เพื่อเอาชนะ Cooling load	rev/min
p	ความดันน้ำมัน (Oil pressure)	Pa.
P	กำลังงานสูญเสีย (Power loss)	W
	ความดันของสารทำความเย็น R12	Pa
P_1	ความดันสารทำความเย็นที่ด้านความดันต่ำ (Evaporating pressure)	kPa
P_2	ความดันสารทำความเย็นที่ด้านความดันสูง (Condensing pressure)	kPa
P_a	ความดันบรรยากาศ (Absolute ambient pressure)	kPa
$P_{e.g}$	ความดันเกจที่ท่อรวมไอเสีย (Exhaust manifold gauge pressure)	kPa
$P_{i.g}$	ความดันเกจที่ท่อรวมไอดี (Intake manifold gauge pressure)	kPa
P'_e	ความดันสัมพัทธ์ไอเสีย (Exhaust manifold gauge pressure)	kPa
q	อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate)	m^3/s
Q_d	Displacement rate	m^3/s
Q'	ปริมาณความร้อน (Heat)	J.
Q'_m	ปริมาณความร้อนที่ได้จากการแปรทพลังงานเคมีที่สะสมในเชื้อเพลิง	J./cycle
Q'_m	ความร้อนที่ถ่ายเท ไปสู่ผนังห้องเผาไหม้	J
r	รัศมีปลาย cam (Cam tip radius)	mm
	อัตราส่วนก้านชักต่อรัศมีเพลาค้อเหวี่ยง (Connecting rod length to crankarm ratio)	
r_s	อัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลาง pulley ที่ crankshaft กับ alternator	
r_{com}	อัตราของ pulley ที่ crankshaft ต่อ pulley ที่ compressor	
r_p	คางง์ของแหวน	
R	รัศมีฐาน cam (Cam base radius)	mm
R_{big}	รัศมีของ connecting rod bearing ด้าน big-end side (Radius bearing)	m
R_{crank}	รัศมีของ crankshaft bearing (Radius bearing)	m
R_{small}	รัศมีของ connecting rod bearing ที่ด้าน small-end side (Radius bearing)	m
R_w	รัศมีล้อรถยนต์ (Vehicle wheel radius)	m
R'	แรงเสียดทานที่แหวนต่อความยาวแหวน (Ring friction force)	N/m

R_c	อัตราส่วนกำลังอัด (Compression ratio)	
s	ระยะขจัดลูกสูบ (Piston displacement)	m
S	ระยะขจัดของวาล์วตัวตาม (Valve follower displacement)	mm
S_p	ความเร็วลูกสูบ (Piston speed)	m/s
S_{net}	ค่าความไวต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังงานสุทธิหรือ Net indicated power (Sensitivity)	
\bar{S}_p	ความเร็วเฉลี่ยลูกสูบ (Mean piston speed)	m/s
T	แรงบิด (Torque)	N/m
	อุณหภูมิสารทำความเย็น R12 (Refrigerant temperature)	°C
u	ความเร็วของของไหล (Fluid velocity)	m/s
U	ความเร็วของของไหลบนผิวบน (Fluid velocity on top flim)	m/s
U_{middle}	ความเร็วลูกสูบที่กึ่งกลางระยะชัก (Middle stroke speed)	m/s
V	ความเร็วเชิงเส้น	m/s
	ความเร็วเชิงเส้นที่รัศมีเพลาข้อเหวี่ยง	m/s
V_e	แรงดันไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	Volt.
V_c	ปริมาตรกระบอกสูบรวมที่ตำแหน่ง TDC (Clearance volume)	m ³
V_{cc}	ปริมาตรกระบอกสูบในหนึ่งกระบอกสูบที่ตำแหน่ง TDC	m ³ /cylinder
V_d	ปริมาตรกวาดของลูกสูบรวม (Displacement volume)	m ³
V'_d	ปริมาตรกวาดของลูกสูบในหนึ่งกระบอกสูบ	m ³ /cylinder
V_s	ความเร็วยานยนต์ (Vehicle speed)	m/s
V_v	ความเร็ววาล์วตัวตาม (Valve follower speed)	mm/s
w	งานในการอัดตัวของ gas ต่อมวลสาร (Compression work)	J/kg
w_{act}	งานในการอัดตัวของ gas ต่อมวลสารที่เกิดขึ้นจริง (Actual compression work)	J/kg
W	แรงจากแคมกระทำต่อวาล์วตัวตาม (cam force act on valve follower)	N
ρ_a	ความหนาแน่นอากาศ (Air density)	kg/m ³
ρ_{Hg}	ความหนาแน่นปรอท (Mercury density)	kg/m ³
μ	ค่าความหนืดสมบูรณ์ (Absolute viscosity)	Pa.s

μ_c	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ผิวแคม (Friction coefficient in cam surface)	
ω	ความเร็วรอบเครื่องยนต์เชิงมุม (Engine angular velocity)	rad/s
ω_c	ความเร็วแคมเชิงมุม (Cam angular velocity)	rad/s
θ	องศาเพลาข้อเหวี่ยง (Crankshaft angle)	degree crank angle
	องศาแคม (Camshaft angle)	degree cam angle
θ_b	ช่วงเวลาการเผาไหม้ (Combustion duration)	degree crank angle
θ_c	มุมวิกฤต (Critical angle)	degree cam angle
θ_R	มุมความลาดชันถนน	degree
θ_s	มุม spark advance (Spark advance)	degree crank angle
β	มุมบอกตำแหน่งในค้ำ journal bearing	degree
α	Metal-metal contact constant	
γ	อัตราส่วนความร้อนจำเพาะ (Specific heat ratio)	
ϕ	มุมเริ่มต้น (Starting angle)	degree cam angle
ϕ^{\wedge}	เวกเตอร์หนึ่งหน่วย ในแนวตั้งฉากกับแนวจุดศูนย์กลางของ journal และ bearing	
ϵ	อัตราส่วนระยะเยื้องศูนย์กลาง (Eccentricity ratio)	
τ	แรงเฉือน (Shear stress)	N/m ²
v	ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume)	m ³ /kg
η_T	ประสิทธิภาพการส่งถ่ายกำลัง (Transmission efficiency)	%
η_{vc}	Clearance volumetric efficiency	

ศูนย์บริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย