

การพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลโดยการตั้งจังหวะการ  
เปิดปิดวาล์วไอดีของลูกเบี้ยว

**DIESEL ENGINE EFFICIENCY DEVELOPMENT BY  
CAM PROFILE CHANGING**

นายธีรภัทร์ ลีลาวรรณสุข

MR.TEERAPAT LEELAVANSUK

นายบรรพต ฐิติบุญสุวรรณ

MR.BUNPOTH THITIBOONSUWAN

นายเมฆินทร์ คุวิจิตรสุวรรณ

MR.MAKIN KUVICHITSUWAN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

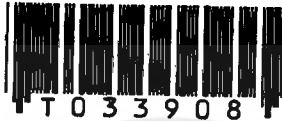
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DIESEL ENGINE EFFICIENCY DEVELOPMENT BY  
CAM PROFILE CHANGING**



MR. TEERAPAT LEELAVANSUK  
MR. BUNPOTH THITIBOONSUWAN  
MR. MAKIN KUVICHITSUWAN

267

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 33908  
วัน, เดือน, ปี 20 ก.ย. 2542

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1998

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์    การพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลโดยการตั้งจังหวะการเปิดปิด  
วาล์วไอศของลูกเบี้ยว  
DIESEL ENGINE EFFICIENCY DEVELOPMENT BY CAM  
PROFILE CHANGING

ชื่อนักศึกษา    นายธีรภัทร์    ลีถาวรณสุข    รหัสประจำตัว 38014210  
นายบรรพต    ชูติบุญสุวรรณ    รหัสประจำตัว 38014254  
นายเมฆินทร์    คูวิจิตรสุวรรณ    รหัสประจำตัว 38014400

หลักสูตร    วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต    สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์



(ผศ.วรัชชัย นาคพิพัฒน์)



(อ.จินดา เจริญพรพาณิชย์)



(อ.พงษ์ศักดิ์ คำมูล)

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลโดยการตั้งจังหวะ  
การเปิดปิดวาล์วไอดีของลูกเบี้ยว

นักศึกษา

นายธีรภัทร์ ลีลาวรรณสุข รหัสประจำตัว 38014210  
นายบรรพต ชูติบุญสุวรรณ รหัสประจำตัว 38014254  
นายเมฆินทร์ คูวิจิตรสุวรรณ รหัสประจำตัว 38014400

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

พ.ศ.

2541

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ผศ. ชวัลชัย นาคพิพัฒน์  
อาจารย์จินดา เจริญพรพาณิชย์  
อาจารย์พงษ์ศักดิ์ คำมูล

### บทคัดย่อ

การพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนให้สูงขึ้นวิธีหนึ่ง คือ การปรับ  
แต่งลูกเบี้ยวที่ใช้ควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วไอดี โดยทำให้วาล์วไอดีเปิดเร็วขึ้นหรือปิดช้าลงกว่าปกติ  
จากการทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของ แรงบิด, แรงม้า, ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง, ประ  
สิทธิภาพการดูด, และควันท่ำซึ่งเป็นผลของการปรับแต่งลูกเบี้ยวดังกล่าว ผลของการทดลองแสดง  
ให้เห็นว่าการทำให้วาล์วไอดีเปิดเร็วขึ้นจะมีผลในช่วงความเร็วรอบต่ำ ส่วนการทำให้วาล์วไอดีปิด  
ช้าลงจะมีผลในช่วงความเร็วรอบสูง การติดยูเปอร์ชาร์จร่วมกับการเปิดวาล์วไอดีเร็วขึ้นจะช่วยลด  
ควันท่ำ และการติดยูเปอร์ชาร์จร่วมกับการปิดวาล์วไอดีช้าลงจะช่วยเพิ่มสมรรถนะบ้างเล็กน้อย

**Thesis Title** Diesel Engine Efficiency Development by Cam Profile Changing

**Student** Mr. Teerapat Leelavansuk Student ID. 38014210  
 Mr. Bunpoth Thitiboonsuwan Student ID. 38014254  
 Mr. Makin Kuvichitsuwan Student ID. 38014400

**Degree** Bachelor of Engineering

**Programme** Mechanical Engineering

**Year** 1998

**Thesis Advisor** Associate Professor Thawatchai Narkphipat  
 Mr. Chinda Charoenpaonphanich  
 Mr. Pongsak Kummool

### ABSTRACT

Modification of intake valve cam is one method for improving thermal efficiency of diesel engine, by means of early opening or late closing of intake valve. This study concerns torque, brake horse power, fuel consumption, volumetric efficiency, and smoke emission as result of such modification. The results of experiment show that the early opening of intake valve effect in low revolution and the late closing of intake valve effect in high revolution. The early opening of intake valve with supercharger reduce smoke emission and the late closing of intake valve with supercharger has little effect in performance.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ศศ.ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์จินดา เจริญพรพามาธิชย์ ที่ช่วยเหลือแก้ไขและให้คำแนะนำในบางจุดที่คณะผู้วิจัยติดปัญหาบางอย่าง ซึ่งมีส่วนช่วยทำให้ผู้วิจัยเข้าใจในปัญหานั้น ขอขอบพระคุณ อาจารย์พงษ์ศักดิ์ คำมูล ที่ให้การช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์และเอกสารต่างๆ ที่ใช้ประกอบการวิจัย ซึ่งมีประโยชน์ต่องานวิจัยอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาคเครื่องกลที่ให้คำแนะนำต่างๆ แก่คณะผู้วิจัย

ขอขอบคุณ คุณมณฑา เทียมเมือง และเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้กับคณะผู้วิจัยตลอดมาทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธีรภัทร์ ลีลาวรรณสุข

บรรพต ชูติบุญสุวรรณ

เมฆินทร์ ภูวิจิตรสุวรรณ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะและหลักการทำงาน.....	5
บทที่ 3 แผนภาพเวลาการเปิด-ปิดลิ้นของเครื่องยนต์.....	7
บทที่ 4 การซูเปอร์ชาร์จ.....	9
4.1 หลักการของเครื่องซูเปอร์ชาร์จ.....	10
4.1.1 วิธีบีบจากส่วนล่างของสูบ.....	10
4.1.2 วิธีให้ลูกสูบอัดไปมา.....	10
4.1.3 วิธีโบลเวอร์.....	10
4.1.4 วิธีเทอร์โบชาร์จ.....	11
4.2 เครื่องยนต์วัฏจักรมิลเลอร์.....	11
บทที่ 5 ไคนาโมมิเตอร์.....	14
5.1 เอคคีเตอร์เรนตีไคนาโมมิเตอร์.....	15
บทที่ 6 เกจ หน้าปัด หรือ ไดอัล เกจ.....	16
6.1 เกจหน้าปัดชนิดมาตรฐาน.....	16

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2 เกณฑ์ปัดทศนิยม.....	17
6.3 การวัดความกลม.....	17
6.3.1 การวัดโดยการยื่นศูนย์ทั้งสองด้าน.....	17
6.3.2 การวัดโดยใช้ V บล็อก.....	18
<b>บทที่ 7 สมรรถนะของเครื่องชนิดและการคำนวณ.....</b>	<b>20</b>
7.1 กำลังม้าอินดิเคต.....	20
7.2 กำลังม้าเบรค.....	20
7.3 กำลังม้าความฝืด.....	21
7.4 ปริมาณการคูด.....	21
7.5 ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง.....	22
<b>บทที่ 8 การทดลอง.....</b>	<b>23</b>
8.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
8.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	29
<b>บทที่ 9 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....</b>	<b>30</b>
9.1 ตารางแสดงผลการทดลอง.....	31
9.2 กราฟแสดงผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	35
9.2.1 วิเคราะห์กราฟแสดงผลการทดลองระหว่างเครื่องยนต์ ที่ไม่ได้ปรับแต่ง(Base Data), เครื่องยนต์ที่ทำ Early Opening1, และเครื่องยนต์ที่ทำEarly Opening2.....	35
9.2.2 กราฟแสดงผลการทดลองเครื่องยนต์ที่ไม่ได้ปรับแต่ง (Base Data), เครื่องยนต์ที่ทำEarly Opening1, และ เครื่องยนต์ที่ทำEarly Opening2.....	35

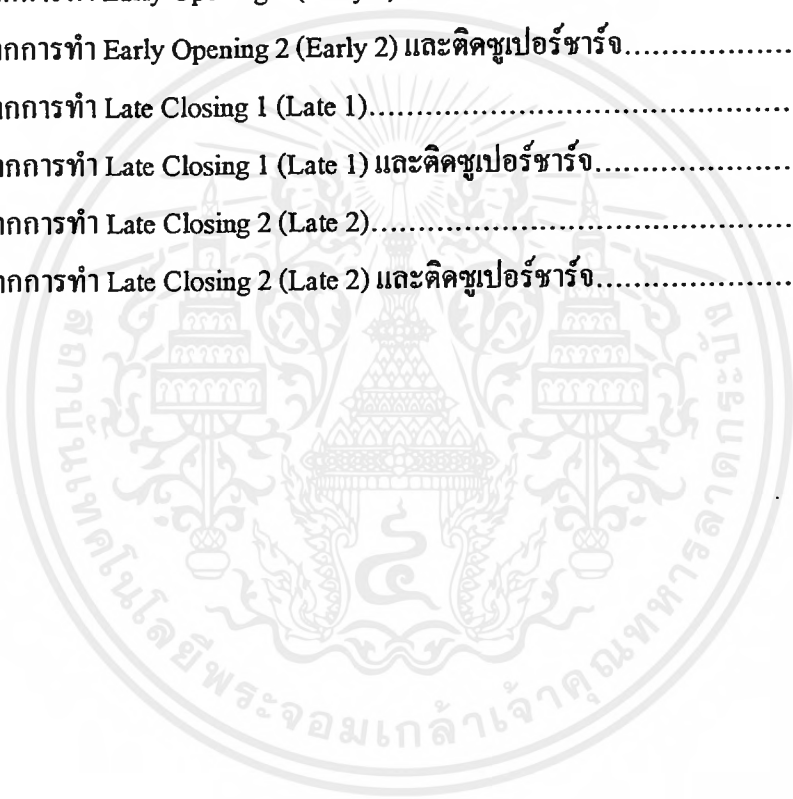
## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

9.2.3	วิเคราะห์กราฟแสดงผลการทดลองระหว่างเครื่องชนิดที่ ไม่ได้ปรับแต่ง(Base Data),เครื่องชนิดที่ทำ Late Closing 1, และเครื่องชนิดที่ทำ Late Closing 2.....	40
9.2.4	กราฟแสดงผลการทดลองระหว่างเครื่องชนิดที่ ไม่ได้ปรับแต่ง(Base Data),เครื่องชนิดที่ทำ Late Closing 1 และ เครื่องชนิดที่ทำ Late Closing 2.....	40
9.2.5	วิเคราะห์กราฟแสดงผลการทดลองระหว่างเครื่องชนิดที่ทำ Early Opening ที่ไม่ติดยเปอร์ซาร์จและติดยเปอร์ซาร์จ.....	44
9.2.6	กราฟแสดงผลการทดลองระหว่างเครื่องชนิดที่ทำ Early Opening ที่ไม่ติดยเปอร์ซาร์จและติดยเปอร์ซาร์จ.....	44
9.2.7	วิเคราะห์กราฟแสดงผลการทดลองของเครื่องชนิดที่ทำ Late Closing ที่ไม่ได้ติดยเปอร์ซาร์จและติดยเปอร์ซาร์จ.....	52
9.2.8	กราฟแสดงผลการทดลองของเครื่องชนิดที่ทำ Late Closing ที่ไม่ได้ติดยเปอร์ซาร์จและติดยเปอร์ซาร์จ.....	52
9.2.9	วิเคราะห์กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าควันทันของกรณีต่างๆ.....	58
9.2.10	การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ควันทัน.....	58
บทที่ 10	สรุปผลการทดลอง.....	62
10.1	ข้อเสนอแนะ.....	63
	เอกสารอ้างอิง.....	64

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
9.1 ค่าที่วัดจากเครื่องชนิดที่ไม่ได้ปรับแต่ง (Base Data).....	30
9.2 ค่าที่ได้จากการทำ Early Opening 1 (Early 1).....	31
9.3 ค่าที่ได้จากการทำ Early Opening 1 (Early 1) และติดยเปอร์ซาร์จ.....	31
9.4 ค่าที่ได้จากการทำ Early Opening 2 (Early 2).....	32
9.5 ค่าที่ได้จากการทำ Early Opening 2 (Early 2) และติดยเปอร์ซาร์จ.....	32
9.6 ค่าที่ได้จากการทำ Late Closing 1 (Late 1).....	33
9.7 ค่าที่ได้จากการทำ Late Closing 1 (Late 1) และติดยเปอร์ซาร์จ.....	33
9.8 ค่าที่ได้จากการทำ Late Closing 2 (Late 2).....	34
9.9 ค่าที่ได้จากการทำ Late Closing 2 (Late 2) และติดยเปอร์ซาร์จ.....	34



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 กราฟความดัน-ปริมาตรของเครื่องยนต์สี่เสลด 4 จังหวะ.....	1
1.2 กลไกการกวาดล้างของลูกเบี้ยว.....	1
1.3 ผลของความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ต่อประสิทธิภาพการดูดสำหรับ การปิดวาล์วไอดีหลังจุดศูนย์ตายล่างที่องศาต่างๆ กัน.....	2
1.4 ผลขององศาปิดของวาล์วไอดีหลังจุดศูนย์ตายล่างต่อประสิทธิภาพ การดูดสำหรับความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ที่ต่างๆ กัน.....	3
1.5 ผลของ Valve overlap ที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์ต่ำ.....	4
2.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สี่เสลด 4 จังหวะ.....	6
3.1 แผนภาพแสดงเวลาการเปิดปิดลิ้นของเครื่องยนต์สี่เสลด 4 จังหวะ.....	7
4.1 เครื่องซูเปอร์ชาร์จแบบแผ่นกวาดเชิงศูนย์.....	10
4.2 เครื่องซูเปอร์ชาร์จแบบรูปท.....	10
4.3 เครื่องซูเปอร์แบบเทอร์โบชาร์จ.....	11
4.4 ส่วนประกอบของ Miller Cycle Engine.....	11
4.5 เปรียบเทียบกราฟความดัน-ปริมาตรระหว่าง Conventional Engine กับ Miller Cycle Engine.....	12
4.6 ผลของ Miller Cycle Engine ต่อ BSFC และ CO <sub>2</sub> Emission.....	13
5.1 เอดีเคอร์เรนตีโคนาโมมิเตอร์.....	14
6.1 ชื่อส่วนต่างๆ ของเกอหน้าปิดชนิดมาตรฐาน.....	16
6.2 ชื่อส่วนต่างๆ ของเกอหน้าปิดชนิดคาน.....	17
6.3 เกอหน้าปิดชนิดคานแบบ T, แบบ Y และแบบ S ตามลำดับ.....	17
6.4 การวัดความกลมโดยการขันศูนย์กลางทั้งสองด้าน.....	18
6.5 การวัดความกลมโดยใช้ V บล็อกเป็นฐาน.....	18
8.1 เครื่องยนต์สี่เสลดติดตั้งเข้ากับ โคนาโมมิเตอร์.....	23
8.2 จอแสดงผลของ โคนาโมมิเตอร์.....	24
8.3 ถังพักอากาศ และชุด Orific.....	24
8.4 สเกลวัดผลต่างความดันระหว่าง Orific และเทอร์โมมิเตอร์.....	25
8.5 Burette Tube สำหรับวัดปริมาณน้ำมัน.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
8.6 เครื่องวัดควันท่ำ.....	26
8.7 ซูเปอร์ชาร์จแบบโบลเวอร์.....	26
8.8 Cam Profile ของกรณีที่ยังไม่ได้ปรับแต่ง (Base Data).....	27
8.9 การเปรียบเทียบ Cam Profile ระหว่างเครื่องชนิดที่ยังไม่ได้ปรับแต่ง และเครื่องชนิดที่มีการปรับแต่งแล้วในกรณีต่างๆ.....	28
8.10 โครงสร้างของชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	28
9.1 การเปรียบเทียบค่าแรงบิด (Torque) จาก Base Data, Early Opening 1 และ Early Opening 2.....	36
9.2 การเปรียบเทียบค่าแรงม้า (BHP) จาก Base Data, Early Opening 1 และ Early Opening 2.....	37
9.3 การเปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) จาก Base Data, Early Opening 1 และ Early Opening 2.....	38
9.4 การเปรียบเทียบ Volumetric Efficiency จาก Base Data, Early Opening 1 และ Early Opening 2.....	39
9.5 การเปรียบเทียบค่าแรงบิด (Torque) จาก Base Data, Late Closing 1 และ Late Closing 2.....	41
9.6 การเปรียบเทียบค่าแรงม้า (BHP) จาก Base Data, Late Closing 1 และ Late Closing 2.....	42
9.7 การเปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) จาก Base Data, Late Closing 1 และ Late Closing 2.....	43
9.8 การเปรียบเทียบ Volumetric Efficiency จาก Base Data, Late Closing 1 และ Late Closing 2.....	45
9.9 การเปรียบเทียบค่าแรงบิด (Torque) จาก Early Opening 1 ที่ไม่ได้ติด ซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	46
9.10 การเปรียบเทียบค่าแรงม้า (BHP) จาก Early Opening 1 ที่ไม่ได้ติด ซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	47
9.11 การเปรียบเทียบ SFC จาก Early Opening 1 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	48

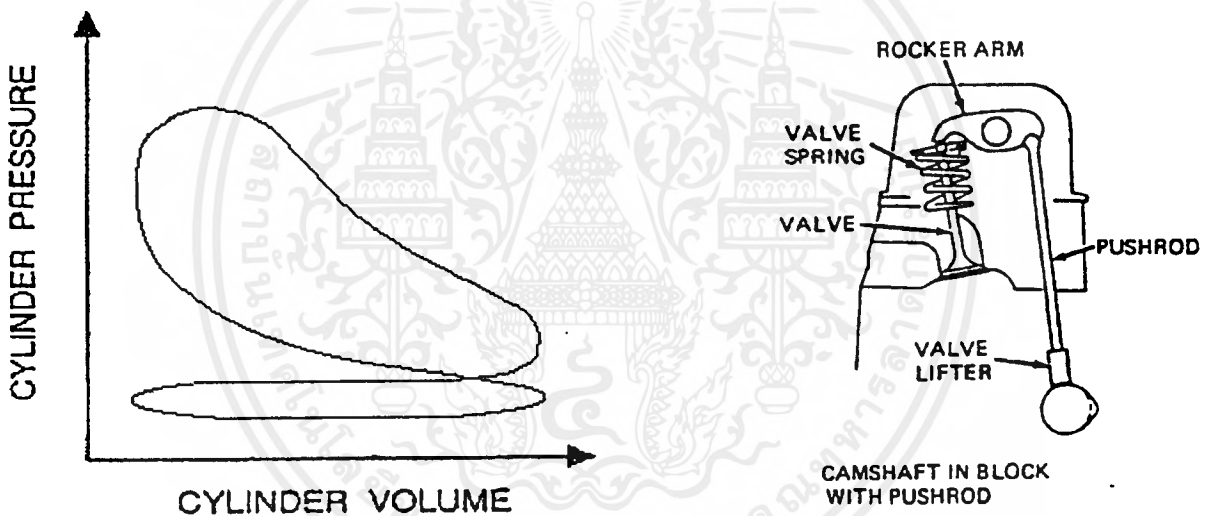
## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
9.12 การเปรียบเทียบค่าแรงบิด (Torque) จาก Early Opening 2 ที่ไม่ได้ติด ซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	49
9.13 การเปรียบเทียบค่าแรงม้า (BHP) จาก Early Opening 2 ที่ไม่ได้ติด ซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	50
9.14 การเปรียบเทียบ SFC จาก Early Opening 2 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	51
9.15 การเปรียบเทียบค่าแรงบิด (Torque) จาก Late Closing 1 ที่ไม่ได้ติด ซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	53
9.16 การเปรียบเทียบค่าแรงม้า (BHP) จาก Late Closing 1 ที่ไม่ได้ติด ซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	54
9.17 การเปรียบเทียบ SFC จาก Late Closing 1 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	55
9.18 การเปรียบเทียบค่าแรงบิด (Torque) จาก Late Closing 2 ที่ไม่ได้ติด ซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	56
9.19 การเปรียบเทียบค่าแรงม้า (BHP) จาก Late Closing 2 ที่ไม่ได้ติด ซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	57
9.20 การเปรียบเทียบ SFC จาก Late Closing 2 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	59
9.21 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ควันดำ (Smoke) ของทุกกรณีทั้งที่ไม่ ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge).....	60
9.22 การเปรียบเทียบ Volumetric Efficiency ของทุกกรณีที่ไม่ได้ติด ซูเปอร์ชาร์จ.....	61

# บทที่ 1

## บทนำ

เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ เป็นเครื่องยนต์ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะงานทางด้านเกษตรกรรม และรถบรรทุกต่าง ๆ เนื่องจากคุณสมบัติเด่นของเครื่องยนต์ดีเซลคือให้แรงบิดสูง ประหยัดน้ำมัน และน้ำมันที่ใช้ซึ่งก็คือน้ำมันดีเซลมีราคาถูก จากความนิยมดังกล่าวทำให้มีความพยายามที่จะพัฒนาในด้านต่าง ๆ เพื่อให้เครื่องยนต์ดีเซลมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพทางความร้อน เป็นสิ่งหนึ่งที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยตรง



รูปที่ 1.1 กราฟความดัน-ปริมาตรของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

รูปที่ 1.2 กลไกการกด

วาล์วของลูกเบี้ยว

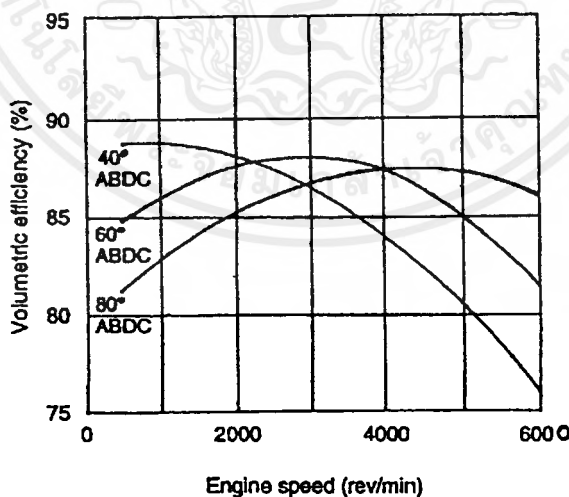
ประสิทธิภาพทางความร้อนจะสัมพันธ์กับพื้นที่ในกราฟความดัน-ปริมาตร (ดังรูปที่ 1.1) ซึ่งจะประกอบด้วย Positive Loop คือ Loop ที่แสดงถึงกำลังงานที่ได้รับจากเครื่องยนต์ เป็น Loop ที่อยู่ทางด้านบน และ Negative Loop คือ Loop ที่แสดงถึงกำลังงานที่ต้องสูญเสียไปเพื่อใช้ในการทำให้จังหวะการทำงานครบรอบ เป็น Loop ที่อยู่ทางด้านล่าง การเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนสามารถทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่ของ Positive Loop ซึ่งก็คือการพัฒนาในจังหวะการระเบิดให้มีการระเบิดที่รุนแรง เกิดความดันสูงเพื่อให้ได้งานที่ออกมาสูงขึ้นการพัฒนาวิธีนี้ต้องพิจารณาองค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบหลายอย่าง ซึ่งเป็นเรื่องที่ซับซ้อน ส่วนอีกวิธีหนึ่งก็คือ การลดพื้นที่ของ Negative Loop ซึ่งก็คือการลดงานที่สูญเสียไปในการประจุอากาศเข้าห้องเผาไหม้เพื่อให้ปริมาณอากาศที่เข้ามาในห้องเผาไหม้เป็นไปตามต้องการ ดังนั้นการลดพื้นที่ของ Negative Loop นั้นมีหลายวิธี การควบคุมจังหวะการเปิด-ปิดของวาล์วไอดีก็เป็นวิธีการอันหนึ่งที่เป็นผลมาจากรูปทรงของลูกเบี้ยวที่มากควาล์วนั่นเอง และเพื่อให้เกิดการไหลเข้าของไอดีที่มากขึ้นและสูญเสียงานในการดูด-อัดอากาศลดลง การใช้ทฤษฎีของ Miller cycle ก็เป็นการลด Negative Loop อีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำได้ง่ายกว่าการเพิ่ม Positive Loop บทความนี้จึงเลือกการลด Negative Loop มาใช้ในการทดลอง

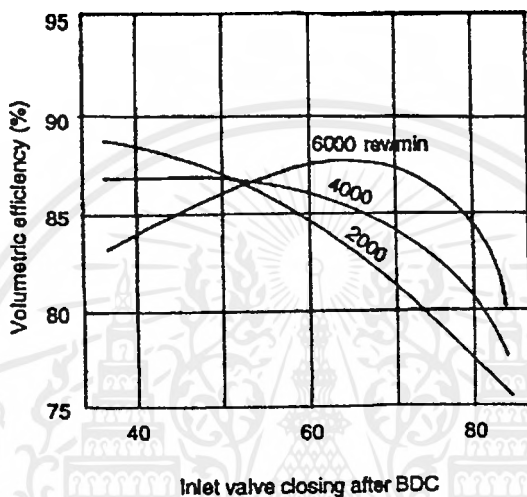
การลด Negative Loop หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Pumping Loss จะต้องทำให้ปริมาณอากาศที่เข้ามายังห้องเผาไหม้เพิ่มมากขึ้น วิธีหนึ่งที่สามารถทำได้คือการตั้งจังหวะการเปิด-ปิดวาล์วไอดี โดยการปรับแต่งลูกเบี้ยวที่ใช้กวาล์ว การปรับแต่งลูกเบี้ยวต้องพิจารณาจังหวะหรือองศาในการเปิดและปิดวาล์วไอดี และระยะที่วาล์วไอดีถูกกดลงเพื่อเปิดวาล์ว (Valve Lift)

การเปิดวาล์วไอดีที่ก่อนจุดศูนย์ตายบนในจังหวะที่เหมาะสม จะช่วยให้ไอดีเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้ดีและช่วยในการไล่ไอเสีย ยิ่งวาล์วไอดีเปิดเร็วขึ้นก็จะยังมีช่วง Overlap มากขึ้นซึ่งทำให้เกิด Internal Exhaust Gas Recirculation เป็นการทำให้ไอเสียไหลเข้าไปในท่อไอดีในจังหวะคาย และถูกดูดเข้ามาในห้องเผาไหม้พร้อมกับไอดี ทำให้ปริมาณไอดีที่ถูกดูดเข้ามามีปริมาณลดลงส่งผลให้คุณภาพในการเผาไหม้ลดลงนั่นคือช่วยลดก๊าซ  $\text{NO}_x$  นั่นเอง แต่ข้อเสียก็คือจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง



รูปที่ 1.3 ผลของความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ต่อประสิทธิภาพการดูดสำหรับการปิดวาล์วไอดีหลังจุดศูนย์ตายล่างที่องศาต่างๆ กัน

การปิดวาล์วไอดีหลังจุดศูนย์กลางในจังหวะต่างกันจะมีผลต่ออัตราส่วนการอัดและปริมาณอากาศที่ไหลเข้า ดังรูปที่ 1.3 และรูปที่ 1.4 ยิ่งปิดวาล์วไอดีช้าจะทำให้อัตราส่วนการอัดและกำลังงานที่ใช้ในการอัดลดลง แต่อัตราส่วนการอัดที่ต่ำเกินไปก็อาจทำให้เครื่องยนต์ไม่สามารถจุดระเบิดได้ การปิดวาล์วไอดีช้าลงนี้ส่งผลให้ปริมาณอากาศที่ไหลเข้ามาที่รอบต่ำลดลงเพราะปริมาตรห้องเผาไหม้มีน้อยลงในขณะที่วาล์วไอดีกำลังถูกปิด แต่ที่ความเร็วรอบสูงอากาศที่ถูกดูดเข้ามามีความเร็วสูง ดังนั้นอากาศจึงมีความเฉื่อย ทำให้ปริมาณไอดีมีมากขึ้นแม้ว่าจะปิดวาล์วไอดีช้าลง



รูปที่ 1.4 ผลขององศาปิดของวาล์วไอดีหลังจุดศูนย์กลางต่อประสิทธิภาพการดูดสำหรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ต่าง ๆ กัน

การตั้งระยะที่วาล์วไอดีถูกกดลงเพื่อเปิดวาล์ว (Valve Lift) ควรให้มีระยะมากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้ไอดีไหลเข้ามาในห้องเผาไหม้ได้สะดวก แต่ระยะดังกล่าวก็มีข้อจำกัด คือ ถ้ากดลงมากเกินไปอาจเกิดการชนกันระหว่างลูกสูบและหน้าวาล์วในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดศูนย์กลางบน อีกทั้งระยะควาล์วยิ่งมากยิ่งต้องใช้แรงกดสปริงค้ำวาล์วมาก ดังนั้น จึงต้องพิจารณากำลังงานที่ได้มากขึ้นจากการกระทำดังกล่าว กับกำลังงานที่ต้องสูญเสียไปใช้ในการกดวาล์ว

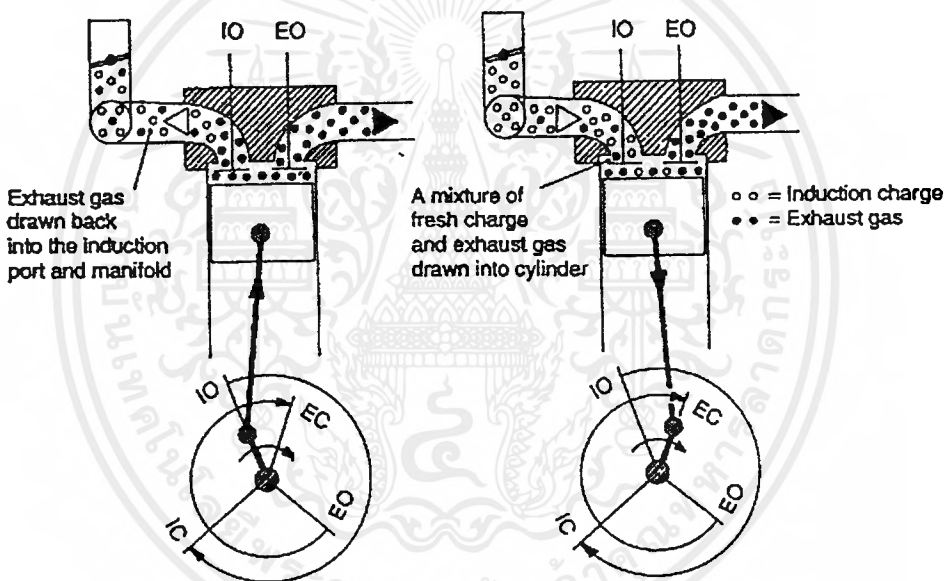
การหาจังหวะเปิด-ปิดวาล์วไอดีและระยะที่วาล์วไอดีถูกกดลงที่เหมาะสม จะต้องทำการทดลองปรับแต่งลูกเบี้ยวที่ใช้เปิด-ปิดวาล์วไอดีหลาย ๆ ครั้ง พร้อมทั้งวัดค่าแรงบิด และวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

วัตถุประสงค์ของการทดลองครั้งนี้คือ

1. ศึกษาพฤติกรรมของแรงบิดและแรงม้า เนื่องจากการเปลี่ยนจังหวะการเปิด-ปิดของวาล์วไอดี

2. ศึกษาพฤติกรรมของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เนื่องจากการเปลี่ยนจังหวะการเปิดปิดของ วาล์วไอดี
3. ศึกษาพฤติกรรมของประสิทธิภาพการดูดของเครื่องยนต์
4. ศึกษาปริมาณควันท่ำ

การศึกษาผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวเป็นการศึกษาในสภาวะที่ไอดีเข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้วยแรงดูดจาก ลูกสูบเพียงอย่างเดียว เมื่อปรับแต่งลูกเบี้ยวแล้วจะให้ผลได้ในระดับหนึ่ง จึงทดลองซ้ำโดยเพิ่มความดันในท่อไอดีเพื่อป้องกันการไหลของไอเสียเข้าไปในท่อไอดีในจังหวะคาย การเพิ่มความดันในท่อไอดีหรือการเพิ่มความดันไอดีกระทำโดยการติดตั้ง Supercharge ที่ท่อทางเข้าไอดี เพื่อใช้อัดอากาศที่เข้าสู่ท่อไอดี ในจังหวะคายไอดีมีความดันสูงก็จะช่วยไล่ไอเสียในช่วง Overlap ดังรูปที่ 1.5 ทำให้ไอเสียไม่สามารถเข้าไปในท่อไอดีได้และปริมาณ ไอดีที่เข้าสู่ห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.5 ผลของ Valve overlap ที่รอบการทำงาน of เครื่องยนต์ต่ำ

## บทที่ 2

### เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะและหลักการทำงาน

เครื่องยนต์ดีเซล นิยมใช้ในรถยนต์ รถไฟเรือ ใช้กับเครื่องขุดดิน โภยดิน เครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้างในด้านการเกษตรและอุตสาหกรรมก็ใช้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำ เครื่องมือสำหรับทำฟาร์ม ฯลฯ นอกจากนี้ยังใช้เป็นเครื่องกำเนิดกำลังในภาวะฉุกเฉินในอาคารอีกด้วย เครื่องยนต์ดีเซลแบ่งออกเป็น

1.เครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า คือเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วของเพลาช้อเหวี่ยงไม่เกิน 500 rpm

2.เครื่องยนต์ดีเซลหมุนปานกลาง คือเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วของเพลาช้อเหวี่ยงระหว่าง 500-1000 rpm

3.เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว คือเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วของเพลาช้อเหวี่ยง มากกว่า 1000 rpm

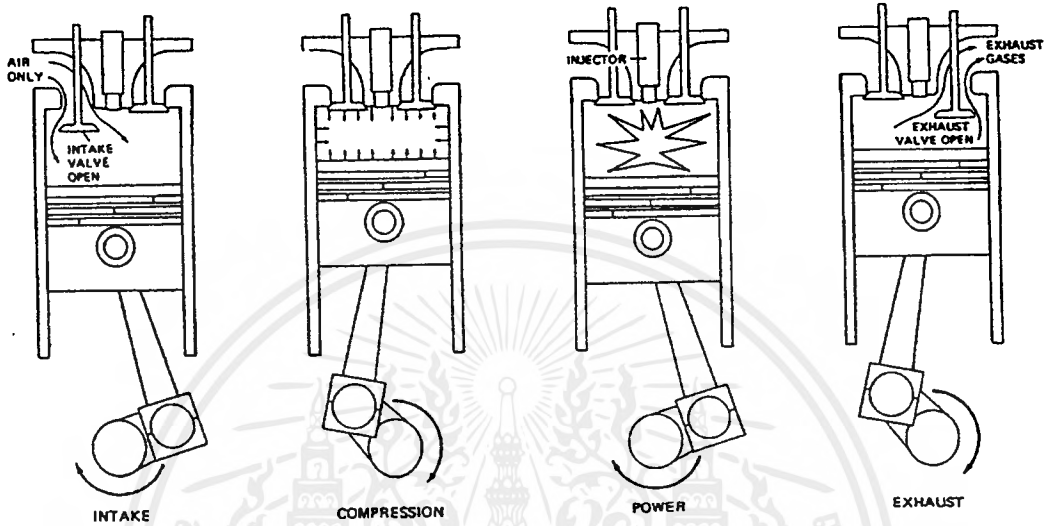
เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ จะให้งานหนึ่งครั้งเมื่อเพลาช้อเหวี่ยงหมุนไป 2 รอบ การจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลเกิดจากการอัดอากาศด้วยอัตราส่วนการอัดที่สูงทำให้มีอุณหภูมิและความดันที่สูงมากแล้วจึงฉีดน้ำมันเข้าไปที่ห้องเผาไหม้จากเหตุผลที่กล่าวมาทำให้น้ำมันสามารถติดไฟขึ้นมาได้ เครื่องยนต์ดีเซลที่นิยมใช้ทั่วไปในชีวิตประจำวันคือ เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องยนต์ดีเซลแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งจังหวะการทำงานสามารถอธิบายได้ดังนี้

จังหวะที่ 1 หรือ จังหวะดูด (intake stroke) ลูกสูบจะเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบน ลงสู่ศูนย์ตายล่าง ลิ้นไอดีเปิด อากาศแต่เพียงอย่างเดียวจะถูกดูดเข้ามาบรรจุอยู่ภายในกระบอกสูบโดยผ่านทางลิ้นไอดี จังหวะนี้จะมีติดต่อกันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ลงถึงศูนย์ตายล่าง จึงจะหมดจังหวะดูด ขณะนี้อากาศจะถูกดูดเข้ามาบรรจุอยู่เต็มภายในกระบอกสูบ

จังหวะที่ 2 หรือ จังหวะอัด (Compression Stroke) จังหวะนี้จะต่อเนื่องมาจากจังหวะดูด คือ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงสู่ศูนย์ตายล่างแล้ว จะเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นสู่ศูนย์ตายบน ขณะนี้ทั้งลิ้นไอดี และลิ้นไอดีจะปิดสนิท อากาศภายในกระบอกสูบ จะถูกอัดตัวขึ้นไปเรื่อยๆ ตามการเคลื่อนตัวของลูกสูบ จังหวะนี้จะสิ้นสุดลงก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อย

จังหวะที่ 3 หรือ จังหวะระเบิด (Expansion Stroke) จังหวะนี้บางทีเรียกว่าจังหวะงาน (power stroke) จังหวะนี้จะเกิดขึ้นในตอนปลายจังหวะอัด เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีกำลังดันสูงถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ ปะทะกับอากาศร้อนอันเกิดจากการอัดตัวของอากาศ จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ และการระเบิดอย่างรุนแรงผลักดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง เราจะ ได้งานจากจังหวะนี้

จังหวะที่ 4 หรือ จังหวะคาย (Exhaust Stroke) หลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ลงอันเนื่องมาจากแรงระเบิดจนเกือบจะถึงศูนย์ตายแล้ว ลิ้นไอเสียจะเปิด ปล่อยให้ไอเสียอันเกิดจากการเผาไหม้ออกไปจากกระบอกสูบ และยังคงเปิดอยู่จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ซึ่งการเคลื่อนตัวขึ้นของลูกสูบในจังหวะนี้ จะเป็นการช่วยในการขับไล่ไอเสียออกอีกครั้งหนึ่ง



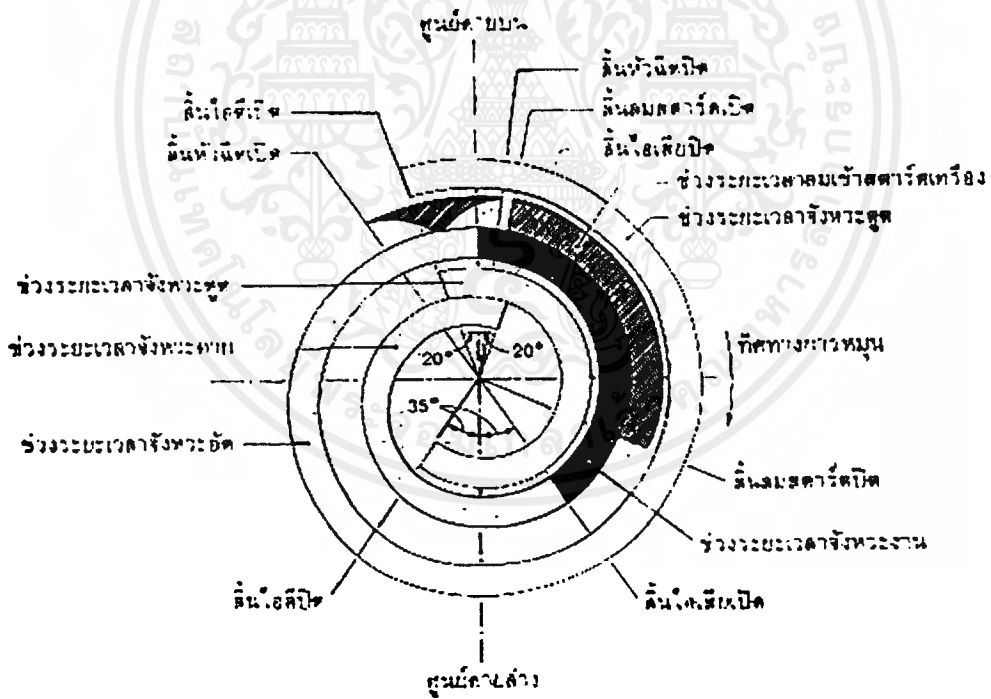
รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

เครื่องยนต์ดีเซลกินน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าเครื่องยนต์แกสโซลีนประมาณ 25% และใช้เชื้อเพลิงที่ราคาถูกกว่า ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องยนต์จึงถูกกว่า ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลก็มีส่วนประกอบที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม ความดันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ดีเซลสูงกว่า จึงทำให้จำเป็นต้องสร้างเครื่องยนต์ที่มีขนาดใหญ่กว่า น้ำหนักมากกว่า และเครื่องยนต์ดีเซลยังมีเสียงดังหนวกหูกว่าเครื่องยนต์แกสโซลีน

### บทที่ 3

## แผนภาพเวลาการเปิด-ปิดลิ้นของเครื่องยนต์

ในช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะจะมีเวลาการเปิด-ปิดของลิ้นแตกต่างกัน จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงโดยสอดคล้องกับวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ เรียกว่า แผนภาพเวลาการเปิด-ปิดลิ้นของเครื่องยนต์ (valve timing diagram) จะเห็นว่าลิ้นไอดีจะเริ่มเปิดเมื่อข้อเหวี่ยงหมุนอยู่ในตำแหน่งก่อนศูนย์ตายบน  $20^\circ$  ลูกสูบเลื่อนลงดูดอากาศเข้าสูบ และจะไปสิ้นสุดเมื่อข้อเหวี่ยงผ่านศูนย์ตายล่างไปแล้ว  $35^\circ$  ลิ้นไอดีจึงปิด อากาศซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจะช่วยดึงตัวมันเองผ่านลิ้นไอดีเข้าสูบ แม้ว่าลูกสูบจะลงถึงศูนย์ตายล่างและผ่านไปเริ่มจังหวะอัดแล้วก็ตาม การที่จัดให้ลิ้นไอดีปิดเมื่อผ่านศูนย์ตายล่างไปแล้วเช่นนี้เป็นการป้องกันอากาศบางส่วนย้อนกลับออกมาทางท่อไอดี



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงเวลาการเปิดปิดลิ้นของเครื่องยนต์สี่จังหวะ

หลังจากที่ลิ้นไอดีปิดแล้ว ขบวนการต่อไปลูกสูบจะอัดอากาศที่ดูดเข้ามาทั้งหมด จังหวะนี้คือจังหวะอัด เมื่อสุดจังหวะนี้ก่อนที่ลูกสูบจะถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อย หัวฉีดจะเริ่มฉีดเชื้อเพลิง มุมล่วงหน้าก่อนถึงศูนย์ตายบนซึ่งหัวฉีดเริ่มฉีดเชื้อเพลิงนี้เรียกว่า อินเจกชันแอดวานซ์ (injection advance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

advance) ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงมีความล่าช้าในการจุดระเบิดโดยวิธีนี้จะช่วยให้ถูกสูบได้พลังงานจากเชื้อเพลิงมาก

ก่อนที่เพลาล้อเหวี่ยงจะหมุนลงถึงศูนย์ตายล่าง  $35^\circ$  ลิ้นไอเสียจะเริ่มเปิดช่วยให้ไอเสียคายออกโดยการลดแรงดันของมันเอง แรงดันภายในกระบอกสูบจะลดลงจนเกือบเท่าความดันบรรยากาศปกติ ต่อไปเมื่อถูกสูบเลื่อนขึ้นเพื่อขับไล่ไอเสีย จังหวะนี้เป็นจังหวะคาย ลิ้นไอเสียยังคงเปิดให้ไอเสียออกจนกระทั่งผ่านศูนย์ตายบนไปแล้ว  $20^\circ$  จะเห็นว่าลิ้นไอเสียจะเริ่มเปิดเมื่อใกล้จะสุดจังหวะคายไอเสีย ดังนั้นที่ศูนย์ตายบน ลิ้นไอศึและลิ้นไอเสียจะเปิดร่วมกัน (valve overlap) การที่ลิ้นไอศึและลิ้นไอเสียเปิดร่วมกันเป็นการช่วยให้ไอศึประจุเข้ากระบอกสูบได้มากเนื่องจากการดึงของไอเสีย โอกาสที่ไอศึและไอเสียจะผสมกันมีน้อยมาก

มุมเปิดปิดของลิ้นตามรูปที่ 3.1 นี้เป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งเท่านั้น เครื่องยนต์ดีเซลอื่นๆ อาจจะมีมุมของการเปิดปิดแตกต่างกันไปจากนี้ ระยะเวลาที่มีผลต่อความเร็วของเครื่องมีอยู่ 2 กรณีคือช่วงเวลาดการทำงานของลิ้น และช่วงเวลาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง



## บทที่ 4

# การซูเปอร์ชาร์จ

การซูเปอร์ชาร์จ (supercharging) คือการอัดอากาศเข้าไปในสูบให้อากาศมีแรงดันสูงกว่าแรงดันที่เครื่องจะดูดได้เองตามปกติทำให้มีมวลของอากาศมากขึ้นกว่าธรรมดา เพราะฉะนั้นเครื่องยนต์

4 จังหวะที่ใช้เครื่องซูเปอร์ชาร์จจะมีแรงม้ามากกว่าและกินน้ำมันน้อยกว่าเครื่องยนต์ธรรมดา ปัจจุบันได้มีการคิดแปรงระบบกวาดไล่ไอเสีย (scavenging) โดยสร้างให้มีการซูเปอร์ชาร์จได้ในตัว ทั้งนี้โดยการเปลี่ยนเวลาการปิดเปิดของลิ้นให้ลิ้นไอเสียเปิดก่อนที่ลิ้นไอดีจะปิดในจังหวะไล่ไอเสีย การใช้เครื่องซูเปอร์ชาร์จนั้นอาจจะมีเหตุผลต่างๆสุดแต่กรณีคือ

1. เพื่อเอาชนะความกดอากาศเมื่ออยู่ในที่สูง เช่น ในกรณีเครื่องยนต์ที่ต้องนำขึ้นไปติดตั้งบนภูเขาสูงๆ
2. เพื่อเพิ่มกำลังแรงม้าของเครื่องยนต์ โดยลดน้ำหนักของเครื่องให้น้อยลง
3. เพื่อลดขนาดส่วนที่เกะกะของเครื่องให้เหมาะที่จะติดตั้งเครื่องนั้นในที่จำกัด เช่น เครื่องที่จะต้องติดตั้งในรถไฟ เรือเดินสมุทร
4. เพื่อเพิ่มกำลังของเครื่องยนต์เมื่อต้องการกำลังให้ได้มากกว่ากำลังที่แท้จริงของเครื่อง
5. เพื่อช่วยในการไล่ไอเสียให้ออกจากห้องเผาไหม้ได้หมดจดขึ้น

ปัจจุบันการซูเปอร์ชาร์จได้กลายเป็นที่นิยมมากทั้งในเครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเกือบทุกขนาดและทุกแบบเพราะมีข้อดีที่เหนือกว่าเครื่องยนต์ธรรมดาที่ไม่ใช้ซูเปอร์ชาร์จหลายประการ ซึ่งอาจสรุปเป็นข้อได้เปรียบของเครื่องที่ใช้ซูเปอร์ชาร์จได้ดังนี้

1. ขนาดและน้ำหนักของเครื่องยนต์น้อยลงโดยที่ให้แรงม้าออกมาสูง
2. เมื่อมีขนาดแรงม้าเท่ากัน เครื่องที่ใช้ซูเปอร์ชาร์จจะมีราคาต่ำกว่า
3. พลังงานที่สูญเสียไปกับไอเสียซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยนำไปขับเทอร์โบชาร์จ เท่ากับเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงด้วย

อย่างไรก็ตามในการใช้เครื่องซูเปอร์ชาร์จก็อาจมีข้อเสียอยู่บ้าง เช่น

1. ต้องเสียน้ำมันหล่อลื่นเพื่อใช้ในการหล่อลื่นเป็นจำนวนมากขึ้น
2. อาจเกิดแรงดันย้อนกลับได้
3. เครื่องยนต์มีราคาสูงขึ้น
4. อาจมีการสูญเสียกำลังไปกับการซูเปอร์ชาร์จได้
5. แหวนลูกสูบสึกหรอเร็วขึ้นเนื่องจากการอัดของซูเปอร์ชาร์จ

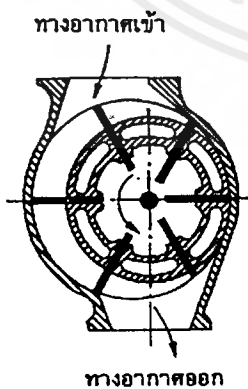
## 4.1 หลักการของเครื่องซูเปอร์ชาร์จ

คามปกติไอดีหรืออากาศที่เข้าสู่สูบนั้นเนื่องมาจากแรงดูดของลูกสูบแต่ถ้าพึ่งแรงดูดของลูกสูบเองมีอาจจะช่วยให้ไอดีเข้าบรรจุภายในสูบได้เท่ากับปริมาตรสูบของเครื่อง ทั้งนี้เพราะการขัดขวางด้านทานต่างๆเช่น ตัวลิ้นไอดีไอเสีย การเจือจางของไอดีเนื่องจากไอเสียที่ตกค้างภายในสูบ ตลอดจนการสูญเสียที่เกิดจากการบีบ การชักนำไอดีเข้าสู่สูบมากขึ้นมีส่วนแก้ปัญหาเหล่านี้ ต้องอาศัยอุปกรณ์อย่างหนึ่งเพิ่มเข้าไปซึ่งเรียกว่า โบลเวอร์หรือซูเปอร์ชาร์จ โดยมีหลักการใหญ่ๆอยู่ 4 วิธี ดังนี้

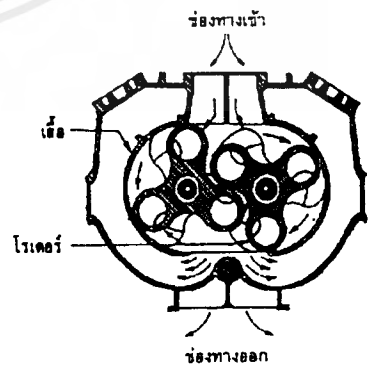
4.1.1 วิธีบีบจากส่วนล่างของสูบ ในขณะที่เครื่องชนิดทำงานนั้น ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลงอยู่ภายในกระบอกสูบ อากาศจากภายนอกจะถูกดูดเข้ามา เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้น ส่วนบนของลูกสูบจะอัดอากาศภายในกระบอกสูบไปสู่ท่อใช้งาน

4.1.2 วิธีให้ลูกสูบอัดไปมา วิธีนี้ให้เครื่องอัดอากาศทำเป็นลูกสูบขนาดใหญ่เดินด้วยกำลังขับเคลื่อนจากเพลลาของเครื่องชนิดใดโดยตรงหรืออาจจะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์แยกต่างหากและส่วนมากจะเป็นชนิดทำงานสองทาง คืออัดอากาศได้ทั้งขึ้นและลง ลูกสูบจะมีลักษณะคล้ายกับลูกสูบเครื่องชนิดแต่มีขนาดใหญ่กว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากสูบลูกสูบเดี่ยวจะต้องทำหน้าที่อัดอากาศสำหรับเครื่องชนิดทุกสูบ

4.1.3 วิธีโบลเวอร์ วิธีนี้อาจจะตัดเอากำลังงานจากเครื่องชนิดไปหมุน โบลเวอร์หรือใช้ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดพิเศษก็ได้ โบลเวอร์ที่นิยมนำมาใช้เป็นเครื่องซูเปอร์ชาร์จมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดสูบลูกอัดแทนที่ (positive displacement) และชนิดแรงเหวี่ยง (centrifugal) สำหรับชนิดสูบลูกอัดแทนที่นั้นยังมีแตกต่างกันไปอีกหลายแบบ เช่น แบบแผ่นกวาดเอียงศูนย์ (eccentric vane) (รูปที่ 4.1) แบบโรตารีหรือแบบรุต (rotary or root type) (รูปที่ 4.2)

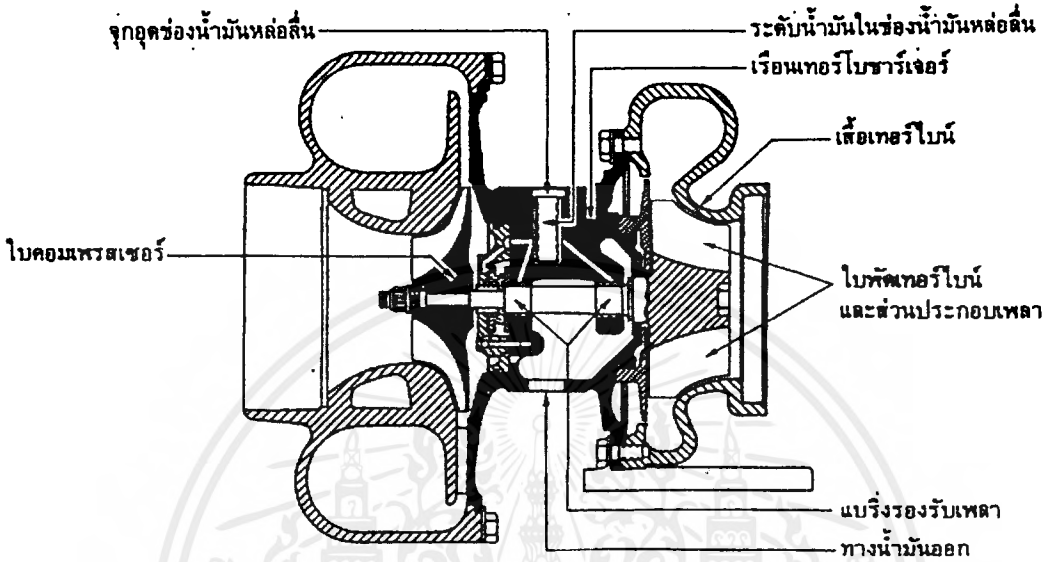


รูปที่ 4.1 เครื่องซูเปอร์ชาร์จแบบแผ่นกวาดเอียงศูนย์



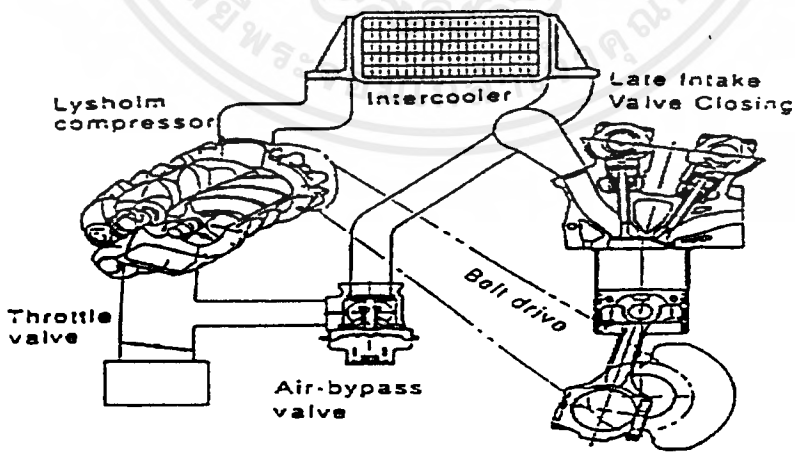
รูปที่ 4.2 เครื่องซูเปอร์ชาร์จแบบรุต

4.1.4 วิธีเทอร์โบชาร์จ วิธีนี้คล้ายกับวิธีโบลเวอร์ซึ่งทำเป็นกังหัน ตัวกังหันหมุนเร็วมาก ประมาณ 20,000 ถึง 30,000 rpm โดยใช้กำลังดันของไอเสียมาเป่าปีกกังหัน แล้วส่งกำลังไปขับ คอมเพรสเซอร์เพื่อทำการประจุไอดีเข้ากระบอกสูบ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 เครื่องสูบลูประจุแบบเทอร์โบชาร์จ

4.2 เครื่องยนต์วัฏจักรมิลเลอร์ (Miller Cycle Engine)

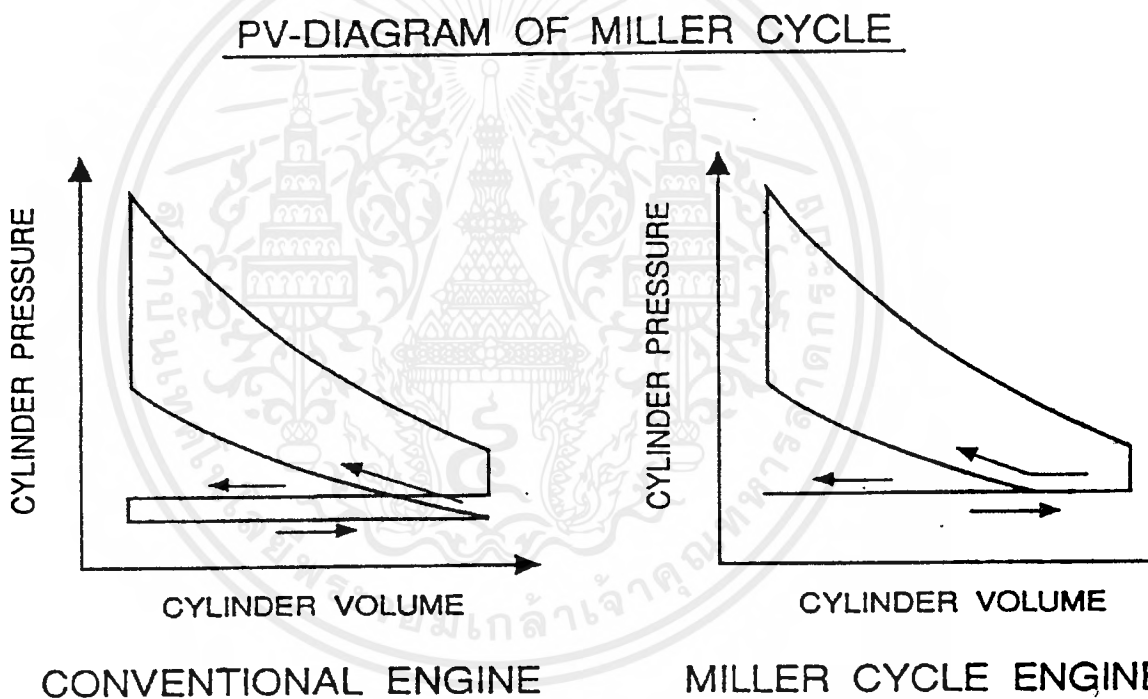


รูปที่ 4.4 ส่วนประกอบของ Miller Cycle Engine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

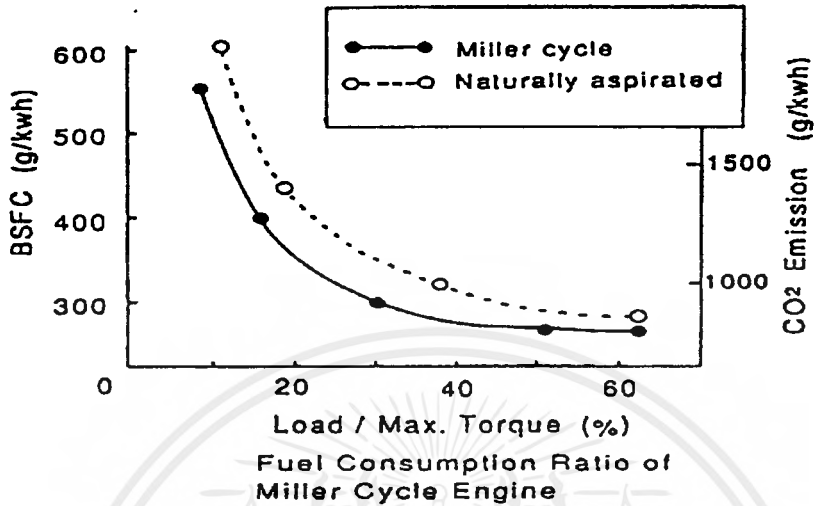
คือเครื่องยนต์ที่มีการติด Supercharge ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยในการอัดอากาศเข้าห้องเผาไหม้โดยจะประกอบไปด้วย คอมเพรสเซอร์อัดอากาศต้นกำลังของคอมเพรสเซอร์อาจจะมาจากการใช้มอเตอร์ซึ่งเป็นต้นกำลังภายนอก หรือใช้กำลังจากเครื่องยนต์ก็ได้โดยต่อกำลังจากเพลาข้อเหวี่ยงด้วยรูป จุดประสงค์ของ Supercharge จะคล้ายคลึงกับ Turbocharge คือช่วยอัดอากาศเข้าห้องเผาไหม้นั้นเอง ผลดีของเครื่องยนต์ที่ติด Supercharge คือทำให้เครื่องยนต์มีกำลังมากขึ้น การกินน้ำมันลดลง ซึ่งถ้าพูดโดยรวมก็คือมีประสิทธิภาพดีขึ้นนั่นเอง

PV-Diagram ข้างล่างเป็นการเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ไม่ได้ติด Supercharge และเครื่องยนต์ที่ติด Supercharge จะเห็นว่าเครื่องที่ติด Supercharge จะไม่มี negative loop ซึ่ง negative loop นี้คือช่วงที่เครื่องยนต์ต้องสูญเสียกำลังเนื่องจากการประจุไอหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า pumping loss นั่นเอง



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบกราฟความดัน-ปริมาตรระหว่าง Conventional Engine กับ Miller Cycle Engine

## EFFECT OF MILLER CYCLE

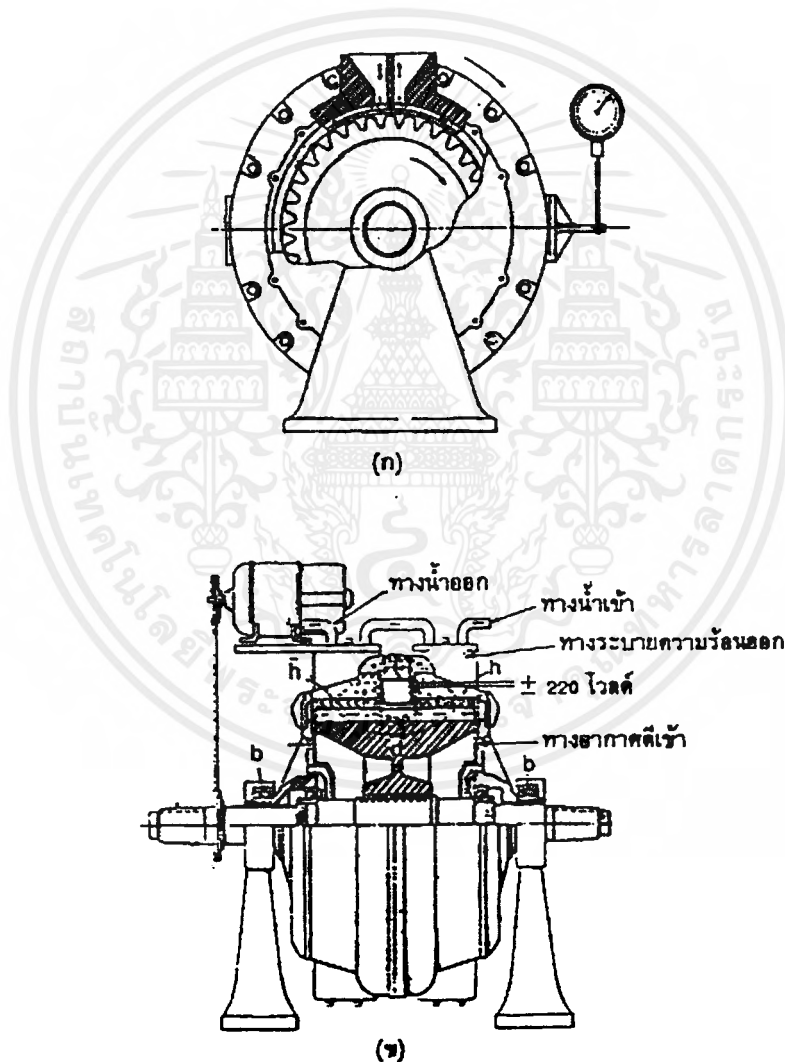


รูปที่ 4.6 ผลของ Miller Cycle Engine ต่อ BSFC และ CO<sub>2</sub> Emission

## บทที่ 5

## ไคนาโมมิเตอร์

ไคนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) มีหลายแบบ แต่ทุกแบบมีหลักการทำงานเหมือนกันคือ จะต้องวัดค่าแรงบิดของเครื่องชนต์ออกมาให้ได้ เพื่อที่จะนำค่าแรงบิดนี้ไปคำนวณหาแรงม้าเครื่องชนต์ ไคนาโมมิเตอร์แบ่งออกเป็นแบบต่างๆหลายแบบ แต่สำหรับในการทดลองนี้จะใช้แบบเอคคีเตอร์เรนตไคนาโมมิเตอร์



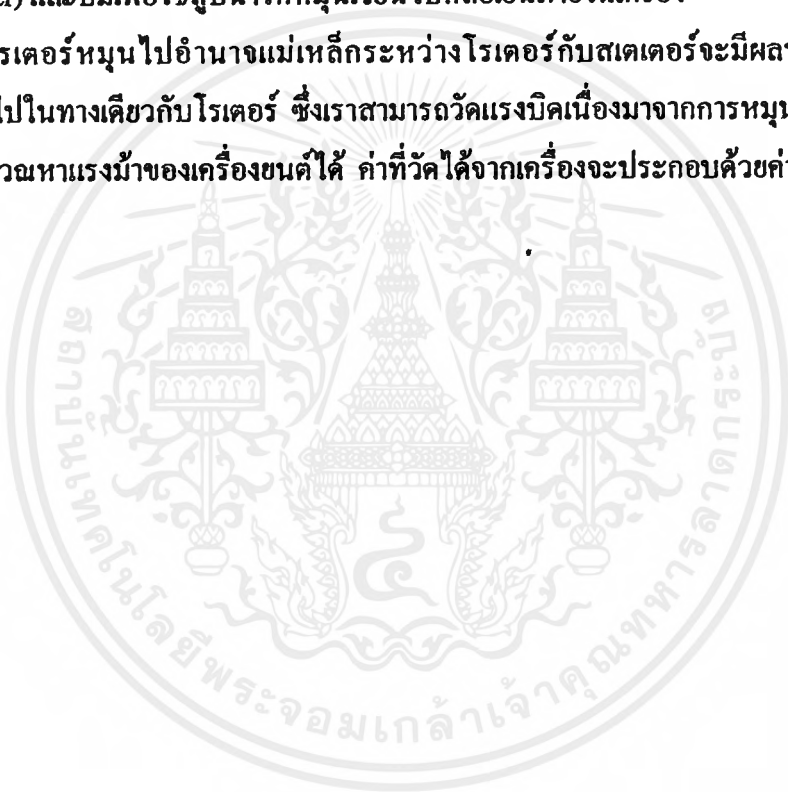
รูปที่ 5.1 เอคคีเตอร์เรนตไคนาโมมิเตอร์

## 5.1 เอดดี้เคอร์เรนต์ไดนามอมิเตอร์ (Eddy current dynamometer)

ประกอบด้วยงานหมุน ดังรูปที่ 5.1 ซึ่งขับโดยเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบโดยใช้คัปปลิ้งต่อระหว่างเพลาของเครื่องยนต์ทดสอบกับเพลาของเครื่องวัด ขณะที่งานหมุนหมุนไปจะไปตัดสนามแม่เหล็ก ซึ่งควบคุมความเข้มโดยการปรับกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่ขดลวด การทดสอบอาจใช้การเพิ่มโหลดที่กระทำต่อเพลาของเครื่องยนต์โดยเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่ขดลวดในเครื่องวัด ทำให้เกิดแรงต้านที่งานหมุนมากขึ้น ความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะต่ำลง

เมื่อโรเตอร์หมุนตัดสนามแม่เหล็ก ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่สเตเตอร์ กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้ทำให้สเตเตอร์มีความร้อนสูงจึงต้องใช้น้ำหล่อเย็น โดยติดตั้งคูลลิ่งทาวเวอร์ (Cooling tower) และปั๊มเพื่อใช้สูบน้ำให้หมุนเวียนไปหล่อเย็นภายในเครื่อง

ขณะที่โรเตอร์หมุนไปอำนาจแม่เหล็กระหว่างโรเตอร์กับสเตเตอร์จะมีผลทำให้สเตเตอร์พยายามหมุนไปในทางเดียวกับโรเตอร์ ซึ่งเราสามารถวัดแรงบิดเนื่องมาจากการหมุนนี้ได้จากสเกล แล้วนำมาคำนวณหาแรงม้าของเครื่องยนต์ได้ ค่าที่วัดได้จากเครื่องจะประกอบด้วยค่าแรงบิดและค่าความเร็วรอบ



## บทที่ 6

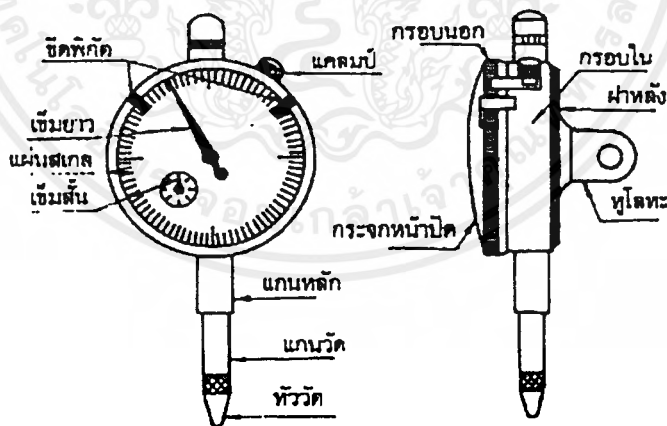
### เกจหน้าปัด หรือ ไดอัล เกจ

เกจหน้าปัด หรือ ไดอัล เกจ เป็นเครื่องมือวัดที่อ่านค่าการเคลื่อนที่ของแกนวัดด้วยเข็มที่ติดอยู่ที่หน้าปัด โดยอ่านค่าความแตกต่างที่ได้จากการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานค่าหนึ่ง ใช้วัดระดับความเป็นระนาบ ระดับความขนาน และการเอียงศูนย์ และใช้วัดเพื่อหาจุดศูนย์กลางในงานกัดกลึงได้อย่างดีมาก เกจหน้าปัดมีชนิดมาตรฐานอยู่ 2 ชนิด

#### 6.1 เกจหน้าปัดชนิดมาตรฐาน

เมื่อหัววัดและแกนวัดขยับขึ้นลงแล้ว เข็มที่หน้าปัดจะเคลื่อนที่ที่แสดงขนาดของการเคลื่อนไหวไปนั้น

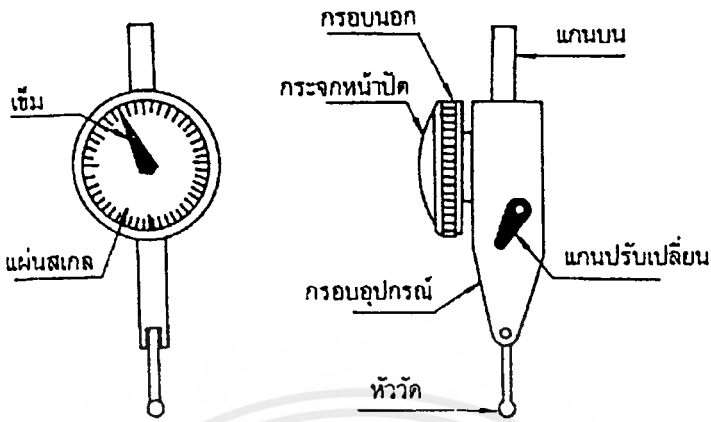
หน่วยของการวัด (กล่าวคือ สเตลที่เล็กที่สุด หรือช่องสเตล) มีแบบ 0.01 มม. และ 0.001 มม. ชื่อของเกจหน้าปัดชนิดนี้ไม่ได้เรียกกันว่า ชนิดมาตรฐาน แต่จะเรียกชื่อตามช่องสเตลตามชื่อที่กำหนดไว้ใน JIS ว่า เกจหน้าปัดชนิดสเตล 0.01 มม. และเกจหน้าปัดชนิดสเตล 0.001 มม.



รูปที่ 6.1 ชื่อส่วนต่างๆ ของเกจหน้าปัดชนิดมาตรฐาน

จากรูปที่ 6.1 เข็มยาวที่หน้าปัดจะหมุนไปทางขวา ส่วนเข็มสั้นจะหมุนไปทางซ้าย เมื่อเข็มยาวหมุนไปหนึ่งรอบเข็มสั้นจะหมุนไป 1 ช่องสเตลเมื่อมองที่หน้าปัดเข็มสั้น จะทราบได้ทันทีโดยไม่ต้องจดจำและไม่ผิดพลาดว่าเข็มยาวหมุนไปกี่รอบ

6.2 เกอหน้าปัดชนิดคาน



รูปที่ 6.2 ชื่อส่วนต่างๆ ของเกอหน้าปัดชนิดคาน

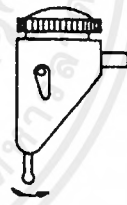
เกอหน้าปัดชนิดคาน (รูปที่6.2) จะใช้วัดในบริเวณแคบๆซึ่งไม่สามารถจะใช้เกอหน้าปัดชนิดมาตรฐานเข้าไปวัดได้เกอหน้าปัดชนิดคานแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังรูปที่ 6.3 ตามลักษณะการใช้งาน คือ แบบ T,Y,S ช่องสเกลจะมีชนิด 0.01 มม. และ 0.002 มม.คล้ายกับชนิดมาตรฐาน ช่วงการวัดมีตั้งแต่ 0.2 มม. และ 0.8 มม. ซึ่งเป็นช่วงที่ค่อนข้างแคบ



แบบแนวนอน (T)  
หัววัดจะเคลื่อนที่ไป  
ด้านหน้า-หลังเทียบกับ  
แผ่นสเกล



แบบแนวตั้งข้าง (Y)  
หัววัดจะเคลื่อนที่ไป  
ตามแนวซ้าย-ขวามือ  
เทียบกับแผ่นสเกล



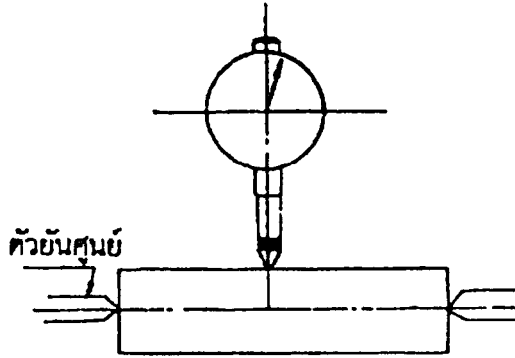
แบบแนวตั้ง (S)  
แผ่นสเกลจะอยู่ส่วนบน

รูปที่ 6.3 เกอหน้าปัดชนิดคานแบบ T, แบบ Y และ แบบ S ตามลำดับ

การวัดความกลม

6.3.1 การวัดโดยการยื่นศูนย์ทั้งสองด้าน ใช้ตัวยื่นศูนย์ยื่นที่ศูนย์กลางทั้งสองด้านของงานแล้วใช้หัววัดแตะที่ผิวงาน ดังรูปที่ 6.4 ทำการหมุนงานไปโดยรอบเพื่อวัดค่าการแกว่งของเข็ม ซึ่งค่าที่ได้ก็คือความนูนของชิ้นงานนั่นเอง

การวัดโดยวิธีนี้จะวัดกับงานที่ผ่านการตรวจสอบการเอียงศูนย์แล้วเท่านั้น มิฉะนั้นจะมีปัญหาความผิดพลาดเนื่องจากการเอียงศูนย์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย



### รูปที่ 6.4 การวัดความกลมโดยการขั้นศูนย์กลางทั้งสองด้าน

ตัวขั้นศูนย์ที่ใช้จะต้องไม่หมุน เพราะถ้าหมุนแล้วอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการแกว่งของตัวขั้นศูนย์ได้

6.3.2 การวัดโดยใช้ V บล็อก ในการวัดงานสั้น ให้วางชิ้นงานในร่อง V บล็อกดังรูปที่ 6.5 แล้วใช้หัววัดแตะที่จุดสูงสุดของงานแล้วหมุนตัวงานให้สัมผัสกับร่องตัว V เสมอ โดยวิธีนี้จะไม่มีผลกระทบจากการเอียงศูนย์แต่น้อย



### รูปที่ 6.5 การวัดความกลมโดยใช้ V บล็อกเป็นฐาน

ในกรณีของงานยาว จะใช้ V บล็อก 2 แห่งตั้งรูปทางด้านขวา วางในระยะห่างพอดีที่จะวางชิ้นงานได้มั่นคงแล้ววางชิ้นงานลงในร่องตัว V จุดที่สำคัญจะต้องให้หัววัดแตะปลายชิ้นงาน ณ จุดที่สูงที่สุดที่บริเวณเหนือ V บล็อกเพราะถึงแม้ชิ้นงานจะมีการโค้งงอ การเอียงศูนย์จากการโค้งงอจะเกิดระหว่างช่วง V บล็อก หรือส่วนที่เลข V บล็อกออกไปเท่านั้น ส่วนตรงเหนือ V บล็อกจะไม่มีผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทบจากการเชิงศูนย์ สามารถวัดความกลมได้ถูกต้องหลังจากนั้นให้หมุนชิ้นงานโดยให้สัมผัส  
ร่องอยู่เสมอ เช่นเดียวกับการวัดงานสั้น ระหว่างการวัด จะต้องไม่ให้ V บล็อกเคลื่อนที่เป็นอันตราย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สมรรถนะของเครื่องยนต์และการคำนวณ

การทำงานจริงของเครื่องยนต์จะแตกต่างหรือเบี่ยงเบนไปจากวัฏจักรอุดมคติ (Ideal cycle) ทั้งนี้เนื่องมาจาก

1. ในลูกสูบยังมีก๊าซจากการเผาไหม้ในวัฏจักรก่อนหลงเหลืออยู่ ไอตีที่ประจุในระบบสูบเพื่อทำงานในวัฏจักรต่อไปจึงไม่ใช่ไอตีล้วนๆ
2. การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ 100 %
3. การเผาไหม้ไม่อยู่ในสภาวะปริมาตรคงที่หรือความดันคงที่
4. ความร้อนจากการเผาไหม้ส่งถ่ายแก่ผนังกระบอกสูบและองค์ประกอบอื่นได้
5. การประจุไอตีและคายไอเสียมีความต้านทานการไหล
6. ที่แหวนลูกสูบบมีก๊าซรั่วไหลได้

สมรรถนะของเครื่องยนต์มีอยู่ด้วยกันหลายแบบ แต่ละแบบจะใช้ในการเปรียบเทียบเครื่องยนต์แต่ละเครื่องว่ามีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันอย่างไร โดยแบบที่นิยมใช้กันมีดังนี้

#### 7.1 กำลังม้าอินดิเคต

กำลังม้าอินดิเคต (Indicated horse power : IHP) เป็นกำลังที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบจะมีค่ามากกว่าแรงม้าที่วัดได้จากเพลลาออก เพราะยังไม่ได้หักพลังงานที่จะต้องสูญเสียไปกับความฝืดและที่จะต้องเอาไปขับหน่วยที่จำเป็นต่างๆ เช่น ปั๊มน้ำ ปั๊มน้ำมันเครื่อง ฯลฯ กำลังม้าอินดิเคตนี้จะหาได้ต้องอาศัยรูป P-V diagram โดยวัดพื้นที่ในรูปแล้วเอาไปคำนวณหาลำดับกำลังม้า

#### 7.2 กำลังม้าเบรก

กำลังม้าเบรก (Brake horse power : BHP) วัดได้ที่เพลลาออกของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่เหลือจากการต่อสู้ความต้านทานต่างๆ แล้ว เครื่องมือวัดกำลังม้าเบรกเรียกว่า ไคนาโมมิเตอร์ ซึ่งส่วนใหญ่ค่าที่วัดได้จากไคนาโมมิเตอร์จะประกอบด้วย ค่าแรงบิด (Torque) มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร (Kg-m) และ ค่าความเร็วรอบ (Revolution) มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (rpm) ซึ่งนำมาคำนวณหาลำดับกำลังม้าเบรกได้ดังนี้

$$\text{BHP} = \frac{2\pi TN}{4500} \quad (\text{hp})$$

T = แรงบิด ( Kg-m )

N = ความเร็วรอบ ( rpm )

### 7.3 กำลังม้าความฝืด

กำลังม้าความฝืด (Friction horse power : FHP) เป็นกำลังที่เครื่องยนต์สูญเสียไปกับความเสียดทานของชิ้นส่วนต่างๆ ที่สัมผัสกัน รวมถึงกำลังที่สูญเสียไปกับการขับเคลื่อนที่จำเป็นต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว กำลังม้าความฝืดหาได้ดังนี้

$$FHP = IHP - BHP \quad (\text{hp})$$

### 7.4 ปริมาณการดูด

ปริมาณการดูด หมายถึง มวลของอากาศที่เครื่องยนต์ดูดเข้าในจังหวะดูดครั้งหนึ่ง ซึ่งอาจจะดูดได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องยนต์ โดยสามารถกำหนดออกมาเป็นประสิทธิภาพของเครื่องยนต์แต่ละเครื่องเรียกว่า ประสิทธิภาพการดูด ( $\eta_v$ ) ของเครื่องยนต์หรือประสิทธิภาพทางปริมาตรของเครื่องยนต์ สามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$\eta_v = \frac{Q_{\text{actual}}}{Q_{\text{theory}}} \times 100 \quad (\%)$$

$Q_{\text{actual}}$  = ปริมาณการดูด (Kg/s)

$Q_{\text{theory}}$  = มวลของอากาศที่สามารถเข้าไปได้เต็มที่ (Kg/s)

เราสามารถหาปริมาตรการดูดของเครื่องยนต์ได้โดยคิดตั้งชุด Orific ที่ทางเข้าของอากาศก่อนหม้อพักอากาศ จากนั้นทำการวัด head ของน้ำที่ล้อม Orific เพื่อใช้ในการคำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

$$v = \sqrt{2gh} \quad (\text{m/s})$$

v = ความเร็วอากาศ (m/s)

g = ค่าความโน้มถ่วงโลก = 9.81 m/s<sup>2</sup>

h = head (m)

$$Q_{\text{theory}} = \frac{(V_D)(N)(\gamma)}{(n)(60)(1000)} \quad (\text{Kg/s})$$

$V_D$  = ปริมาตรกระบอกสูบ

$N$  = รอบของเครื่องยนต์ (Revolution) (rpm)

$n$  = จำนวนครั้งของการดูดเมื่อเพลาส่งกำลังหมุนหนึ่งรอบ

$\gamma$  = ความหนาแน่น ( $\text{Kg/m}^3$ )

$$Q_{\text{actual}} = f \epsilon A v \gamma \quad (\text{Kg/s})$$

$f$  = Coefficient of discharge

$\epsilon$  = Diviation of orific

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของ orific  $\text{m}^2$

หมายเหตุ สำหรับการวิจัยนี้  $V_D = 0.3871$ ,  $n = 1$  (เนื่องจากเพลาส่งกำลังเป็นเพลอันเดียวกับเพลาลูกเบี้ยว),  $\gamma = 0.85 \text{ Kg/m}^3$ ,  $f = 0.75$ ,  $\epsilon = 1$  และ  $A = 8.044 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

## 7.5 ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel consumption) คือปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ไปกับการทำงานของเครื่องยนต์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง การวัดค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวิธีที่ง่ายที่สุดสามารถทำได้โดยใช้ Burette tube ซึ่งมีลักษณะเป็นปล้องๆ มีขีดแบ่งแต่ละปล้องเพื่อใช้บอกปริมาตรของของเหลวภายใน นำมาต่อเข้าระหว่างถังน้ำมันเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ โดยมีวาล์วควบคุมการไหลเข้าไหลออกของน้ำมันใน Burette tube จากนั้นเปิดวาล์วให้น้ำมันไหลเข้าในปริมาตรหนึ่งๆ แล้วปิดวาล์วน้ำมันเข้า จับเวลาที่เครื่องยนต์ใช้น้ำมันใน Burette tube จนหมด นำปริมาตรน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ไปหารด้วยเวลาในหน่วยวินาทีจะได้ค่าความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption : SFC) คือความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่อกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ต่อชั่วโมง คำนวณได้ดังนี้

$$\text{SFC} = \frac{\text{ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่อชั่วโมง}}{\text{BHP}} \quad (\text{c.c./hr-hp})$$

BHP

## บทที่ 8

### การทดลอง

#### 8.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

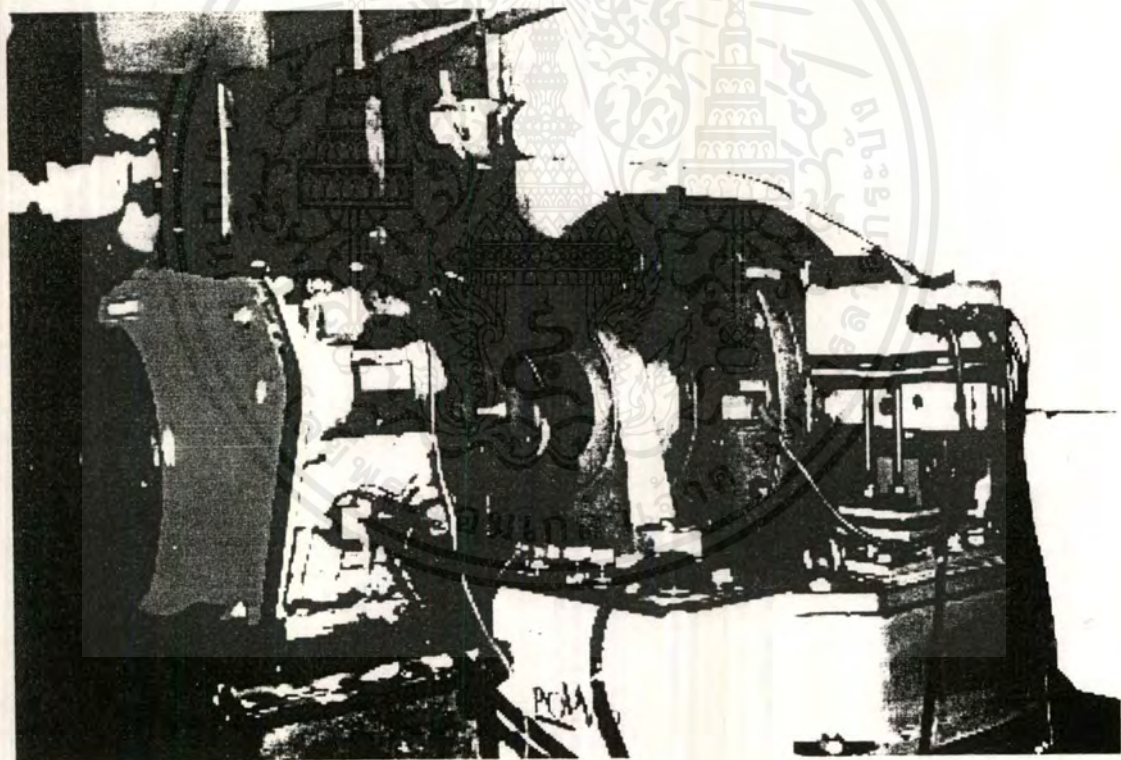
##### 1. เครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะ

YANMAR MODEL L90E-SE

Displacement 0.387 litres

Continuous Rating / Revolution 8.0 PS(5.9 KW) / 1800 rpm

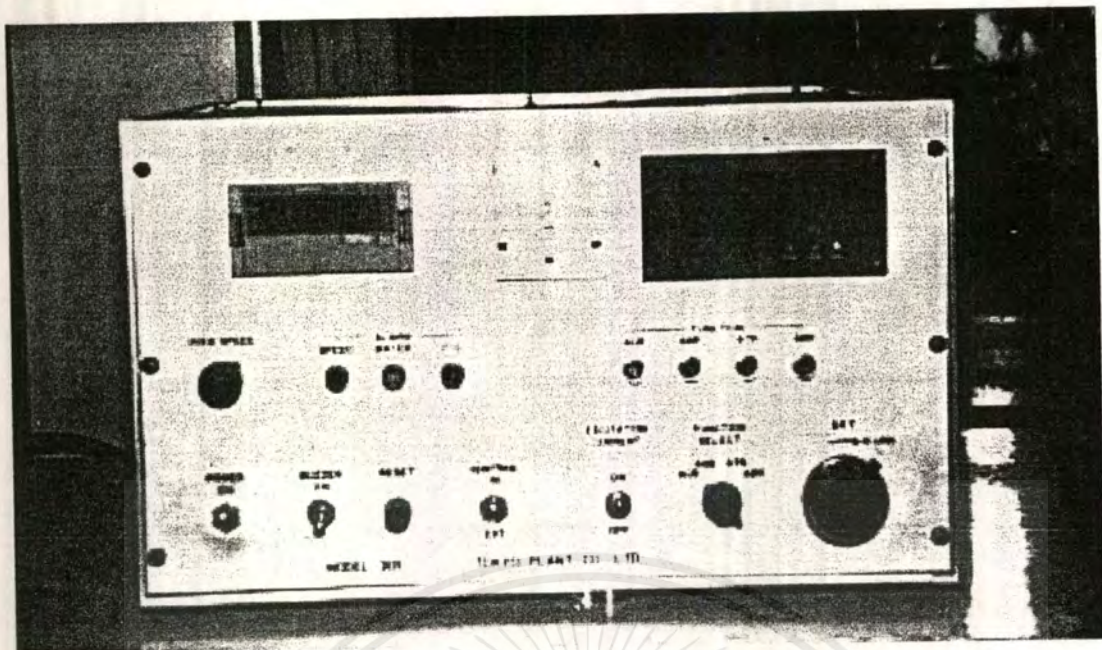
Maximum output / Revolution 9.0 PS(6.6 KW) / 1800 rpm



รูปที่ 8.1 เครื่องยนต์ดีเซลติดตั้งเข้ากับไดนาโมมิเตอร์

##### 2. ชุดไดนาโมมิเตอร์ และ จอแสดงค่าที่วัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.2 จอแสดงผลของไคนาโมมิเตอร์

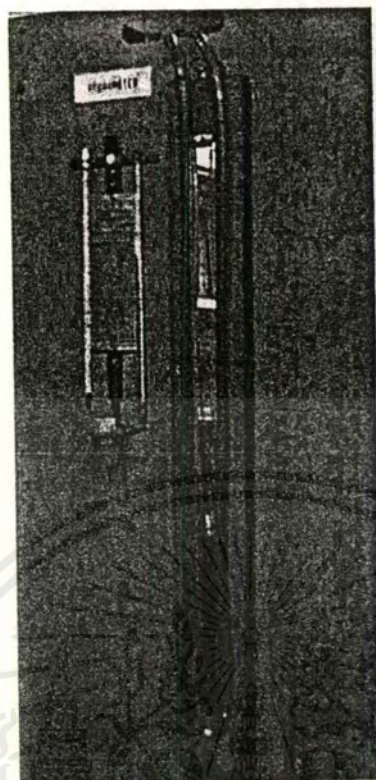
### 3. ถังพักอากาศ



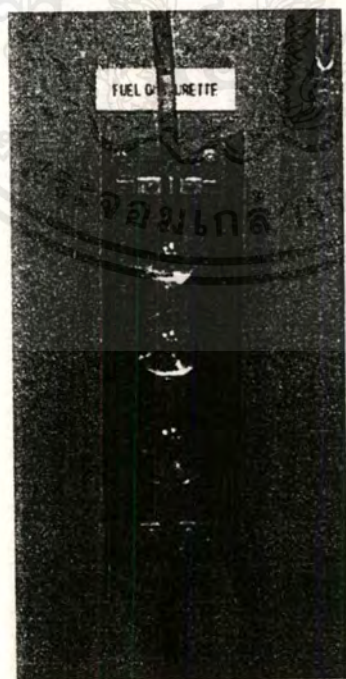
รูปที่ 8.3 ถังพักอากาศ และชุด Orific

4. ชุด Orific พร้อมทั้งสเกลวัดความดัน
5. เทอร์โมมิเตอร์ทั้ง Dry Bulb และ Wet Bulb
6. Burette tube และชุดวาล์วควบคุมทิศทางการน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



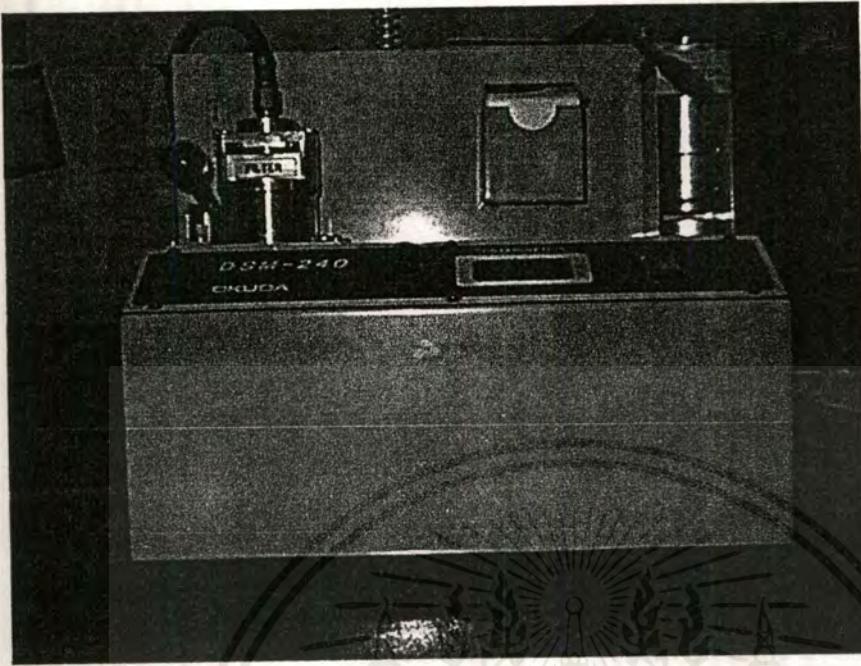
รูปที่ 8.4 มานอมิเตอร์วัดผลต่างของความดันระหว่าง Orific และเทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 8.5 Burette tube สำหรับวัดปริมาณน้ำมัน

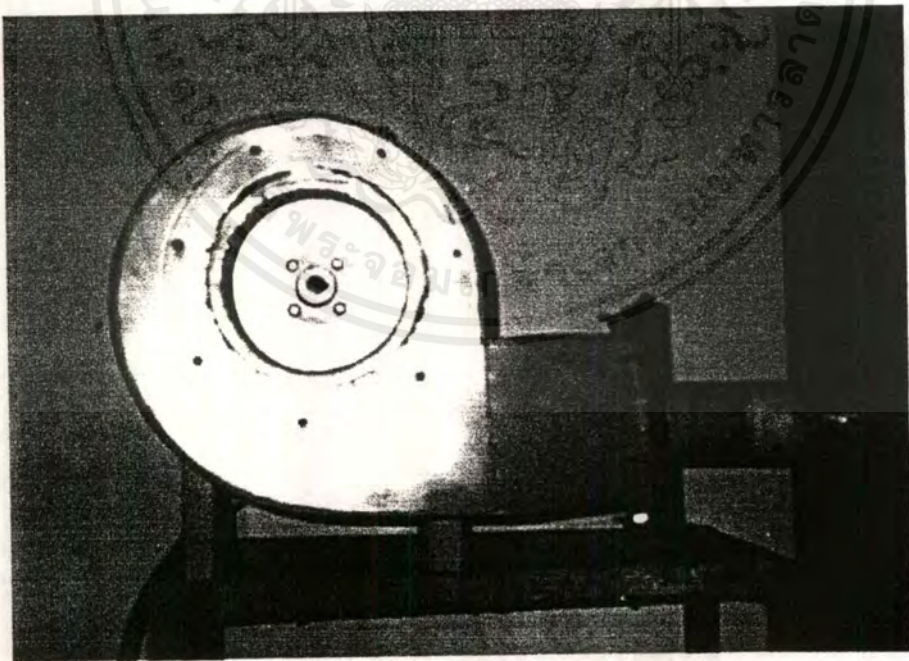
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. เครื่องวัดควันทัว พร้อมปั๊มลม



รูปที่ 8.6 เครื่องวัดควันทัว

## 8. ซูเปอร์ชาร์จ แบบ โบลเวอร์



รูปที่ 8.7 ซูเปอร์ชาร์จ แบบ โบลเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. โคอัล เกจ

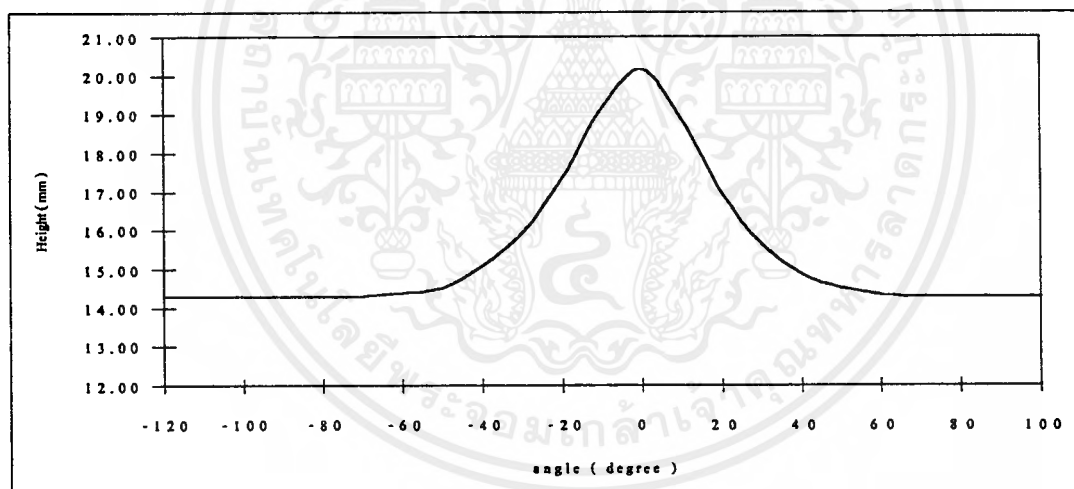
10. ชุดขั้นศูนย์เพลานิคสามารถหมุนเพลาไปแต่ละองศาได้

11. เครื่องเชื่อมโลหะ สำหรับพอกลูกเบี้ยว

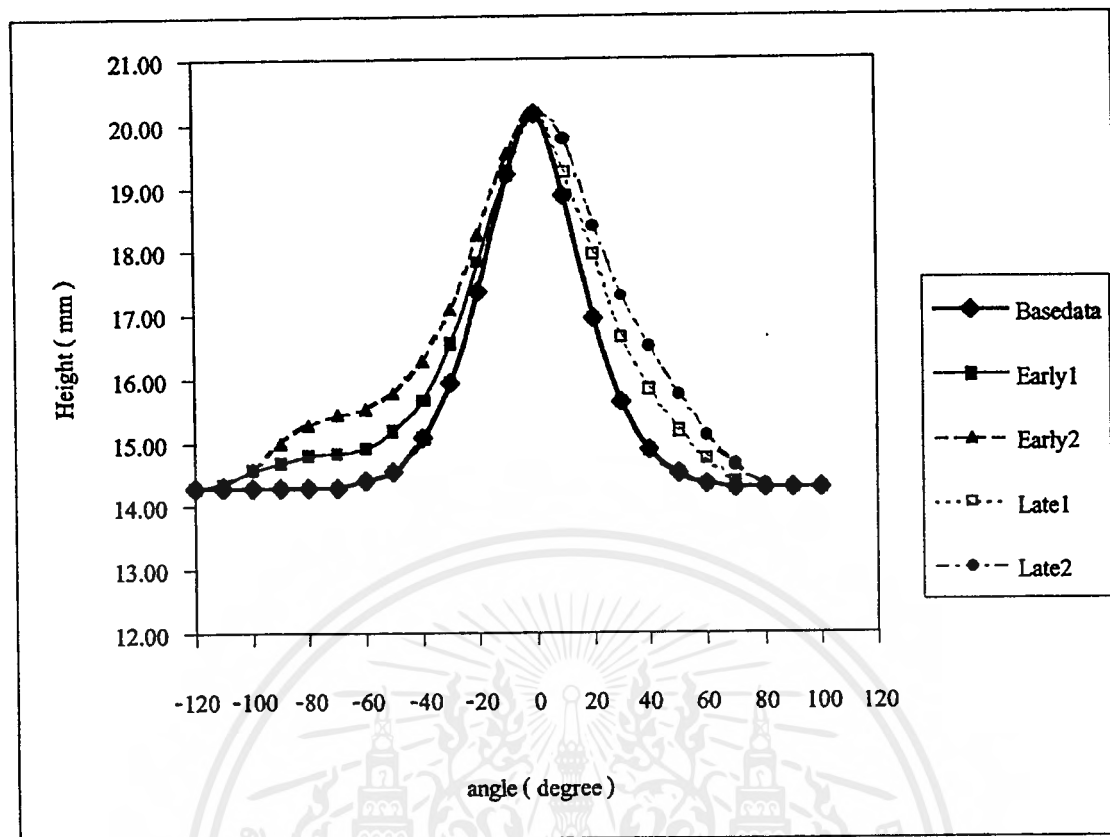
## 8.2 ขั้นตอนการทดลอง

แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

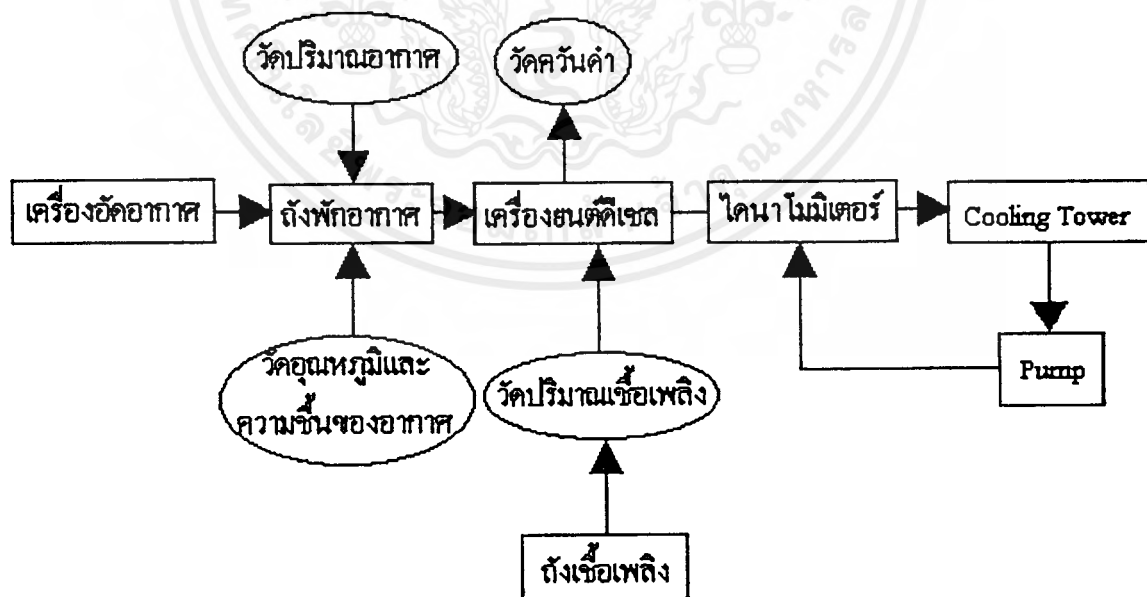
1. วัดค่าต่าง ๆ จากเครื่องที่ยังไม่มีการปรับแต่งใด ๆ โดยจะทำการทดลองหลาย ๆ ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน (Base Data) ในการเปรียบเทียบ
2. ทำการปรับแต่งลูกเบี้ยวของวาล์วไอดีแล้ววัดค่าต่างๆ โดยจะเปลี่ยนองศาการเปิด-ปิดหลายๆ แบบ และนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นฐาน
3. นำเครื่องที่ปรับแต่งลูกเบี้ยวแล้ว มาติดเซนเซอร์ชาร์จ โดยเมื่อเปลี่ยนองศาการเปิด-ปิดในขั้นตอนที่ 2 หนึ่งครั้ง ก็ทดลองติดเซนเซอร์ชาร์จเข้าไปด้วย วัดค่าที่ได้แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากขั้นตอนอื่น ๆ



รูปที่ 8.8 Cam Profile ของกรณีที่ยังไม่ได้ปรับแต่ง (Base Data)



รูปที่ 8.9 การเปรียบเทียบ Cam Profile ระหว่างเครื่องชนิดที่ยังไม่ได้ปรับแต่งและเครื่องชนิดที่มี การปรับแต่งแล้วในกรณีต่างๆ



รูปที่ 8.10 โครงสร้างของชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

### 8.3 วิธีการทดลอง

1. กำหนดเงื่อนไขของเครื่องชนิดใดอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนี้

1.1 เครื่องชนิดปกคิกลูกเบี้ยว ไม่มีการปรับแต่ง ใช้วัดค่า Base Data

1.2 เครื่องชนิดที่มีการปรับแต่งลูกเบี้ยว แบ่งเป็น 4 กรณี

1.2.1 Early Opening 1 (Early 1) คือ เครื่องชนิดที่มีการพอกลูกเบี้ยวแล้วไอดีให้มีความหนาแน่นที่ทำให้วาล์วเปิดมากกว่า Base Data และเริ่มเปิดวาล์วไอดีเร็วขึ้นกว่า Base Data  $40^{\circ}$

1.2.2 Early Opening 2 (Early 2) คือ เครื่องชนิดที่มีการพอกลูกเบี้ยวแล้วไอดีให้มีความหนาแน่นที่ทำให้วาล์วเปิดมากกว่า Early 1 แต่องศาที่วาล์วไอดีเปิดยังคงเท่ากับ Early 1

1.2.3 Late Closing 1 (Late 1) คือ เครื่องชนิดที่มีการพอกลูกเบี้ยวแล้วไอดีให้มีความหนาแน่นที่ทำให้วาล์วไอดีปิดมากกว่า Base Data และปิดวาล์วไอดีช้าลงกว่า Base Data  $10^{\circ}$

1.2.4 Late Closing 2 (Late 2) คือ เครื่องชนิดที่มีการพอกลูกเบี้ยวแล้วไอดีให้มีความหนาแน่นที่ทำให้วาล์วไอดีปิดมากกว่า Late 1 และปิดวาล์วไอดีช้ากว่า Late 1  $10^{\circ}$  หรือช้ากว่า Base Data  $20^{\circ}$

1.3 เครื่องชนิดดังข้อ 1.1 และ 1.2 แต่มีการติดซูเปอร์ชาร์จ

2. เปิดสวิตช์อุปกรณ์วัดต่างๆ

3. สตาร์ทเครื่องยนต์และอุ่นเครื่องจนถึงอุณหภูมิทำงานปกติ

4. เร่งเครื่องยนต์จนสุด แล้วกดสวิตช์เครื่องวัด ไอเสียขณะความเร็วรอบใกล้ค่าสูงสุด

5. ลีดคันเร่งไว้ในตำแหน่งเร่งสูงสุด

6. ปรับ Load ของเครื่องยนต์จนกระทั่งความเร็วรอบเท่ากับที่ต้องการ (ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 1850 rpm)

7. จับเวลาที่น้ำมันเชื้อเพลิงถูกใช้ไปเท่ากับ 30 cc. แล้วบันทึกค่า

8. บันทึกค่า Load ที่ให้กับเครื่องยนต์, อุณหภูมิ Dry Bulb & Wet Bulb ของอากาศ และผลต่างความดันคร่อม Orific ที่ทางเข้าท่อไอดี

9. คำนวณหาค่า ปริมาตรการดูด และ SFC

10. ค่อยๆ ลดความเร็วรอบทีละ 1000 rpm แล้วทำซ้ำกับข้อ 6-9 จนกระทั่งไม่สามารถวัดค่าความเร็วรอบได้เนื่องจากเครื่องยนต์ทำงานไม่ Stable

11. เมื่อทำการทดลองจนครบแล้ว ทำการเปรียบเทียบข้อมูลพร้อมๆ กับวิเคราะห์ผลที่ได้

## บทที่ 9

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 9.1 ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ 9.1 ค่าที่วัดจากเครื่องชนิดที่ไม่ได้ปรับแต่ง (Base Data)

Revolution (rpm)	Torque (Kg-m)	BHP (HP)	SFC (Kg/hr-HP)	Q actual (Kg/s) x10 <sup>-3</sup>	Q theory (Kg/s) x10 <sup>-3</sup>	Vol.Eff. (%)
1000	4.8	6.70	0.55	0.328	7.230	4.537
1100	5.0	7.68	0.52	0.341	7.953	4.288
1200	4.8	8.04	0.52	0.341	8.677	3.930
1300	4.8	8.71	0.50	0.354	9.400	3.766
1400	4.7	9.19	0.50	0.354	10.123	3.497
1500	4.6	9.63	0.45	0.366	10.846	3.375
1600	4.2	9.38	0.43	0.366	11.569	3.164
1700	4.0	9.49	0.35	0.379	12.292	3.084
1800	1.3	3.27	0.33	0.379	13.015	2.912

วัดค่าควันดำ (Smoke) ได้เท่ากับ 96%

ตารางที่ 9.2 ค่าที่ได้จากการทำ Early Opening 1 (Early1)

Revolution (rpm)	Torque (Kg-m)	BHP (HP)	SFC (Kg/hr-HP)	Q actual (Kg/s) x10 <sup>-3</sup>	Q theory (Kg/s) x10 <sup>-3</sup>	Eff. (%)
1100	5.2	7.99	0.50	0.358	8.035	4.456
1200	5.1	8.55	0.49	0.370	8.766	4.221
1300	4.8	8.71	0.53	0.382	9.469	4.034
1400	4.8	9.38	0.52	0.395	10.226	3.863
1500	4.1	8.59	0.53	0.395	10.957	3.605
1600	3.9	8.71	0.39	0.395	11.687	3.380
1700	3.8	9.02	0.36	0.417	12.418	3.358
1800	1.4	3.52	0.27	0.427	13.148	3.248

วัดค่าควันดำ (Smoke) ได้เท่ากับ 90%

ตารางที่ 9.3 ค่าที่ได้จากการทำ Early Opening 1 (Early1) และติดซูเปอร์ชาร์จ

Revolution (rpm)	Torque (Kg-m)	BHP (HP)	SFC (Kg/hr-HP)
1100	5.2	7.99	0.50
1200	5.1	8.55	0.49
1300	5.0	9.07	0.48
1400	4.5	8.80	0.55
1500	4.3	9.01	0.54
1600	4.1	9.16	0.42
1700	3.9	9.26	0.31
1800	0.8	2.01	0.39

วัดค่าควันดำ (Smoke) ได้เท่ากับ 89%

ตารางที่ 9.4 ค่าที่ได้จากการทำ Early Opening 2 (Early2)

Revolution (rpm)	Torque (Kg-m)	BHP (HP)	SFC (Kg/hr-HP)	Q actual (Kg/s) x10 <sup>-3</sup>	Q theory (Kg/s) x10 <sup>-3</sup>	Eff. (%)
1000	5.1	7.12	0.54	0.334	7.372	4.504
1100	5.2	7.99	0.5	0.374	8.109	4.612
1200	4.9	8.21	0.53	0.386	8.846	4.364
1300	4.7	8.53	0.54	0.386	9.583	4.028
1400	4.3	8.41	0.50	0.398	10.320	3.857
1500	3.9	8.17	0.42	0.398	11.058	3.599
1600	3.6	8.04	0.39	0.409	11.795	3.468
1700	3.5	8.31	0.37	0.431	12.532	3.439
1800	1.2	3.02	0.38	0.442	13.269	3.331

วัดค่าควันดำ (Smoke) ได้เท่ากับ 85.7%

ตารางที่ 9.5 ค่าที่ได้จากการทำ Early Opening 2 (Early2) และคิซุเปอร์ชาร์จ

Revolution (rpm)	Torque (Kg-m)	BHP (HP)	SFC (Kg/hr-HP)
1000	5.0	6.98	0.55
1100	5.1	7.83	0.51
1200	5.0	8.38	0.52
1300	4.7	8.53	0.54
1400	4.2	8.21	0.59
1500	3.9	8.17	0.59
1600	3.8	8.49	0.47
1700	3.5	8.31	0.33
1800	0.8	2.01	0.50

วัดค่าควันดำ (Smoke) ได้เท่ากับ 85%

ตารางที่ 9.6 ค่าที่ได้จากการทำ Late Closing 1 (Late1)

Revolution (rpm)	Torque (Kg-m)	BHP (HP)	SFC (Kg/hr-HP)	Q actual (Kg/s) x10 <sup>-3</sup>	Q theory (Kg/s) x10 <sup>-3</sup>	Eff. (%)
1100	4.2	6.45	0.62	0.287	8.035	3.572
1200	4.3	7.20	0.61	0.303	8.766	3.457
1300	4.4	7.99	0.56	0.318	9.496	3.349
1400	4.4	8.60	0.56	0.331	10.226	3.237
1500	4.2	8.80	0.54	0.345	10.957	3.149
1600	4.1	9.16	0.42	0.345	11.687	2.952
1700	4.1	9.73	0.31	0.370	12.418	2.980
1800	0.9	2.26	0.39	0.395	13.148	3.001

วัดค่าควันดำ (Smoke) ได้เท่ากับ 91%

ตารางที่ 9.7 ค่าที่ได้จากการทำ Late Closing 1 (Late1) และติดชุดเปอร์ซาร์จ

Revolution (rpm)	Torque (Kg-m)	BHP (HP)	SFC (Kg/hr-HP)
1100	4.6	7.07	0.56
1200	4.6	7.01	0.61
1300	4.7	8.53	0.53
1400	4.5	8.80	0.53
1500	4.3	9.01	0.57
1600	4.1	9.16	0.43
1700	4.0	9.49	0.32
1800	0.9	2.26	0.39

วัดค่าควันดำ (Smoke) ได้เท่ากับ 92%

ตารางที่ 9.8 ค่าที่ได้จากการทำ Late Closing 2 (Late2)

Revolution (rpm)	Torque (Kg-m)	BHP (HP)	SFC (Kg/hr-HP)	Q actual (Kg/s) x10 <sup>-3</sup>	Q theory (Kg/s) x10 <sup>-3</sup>	Eff. (%)
1100	4.0	6.14	0.64	0.214	8.062	2.655
1200	4.1	6.87	0.64	0.234	8.795	2.661
1300	4.2	7.62	0.61	0.270	9.528	2.834
1400	3.8	7.43	0.62	0.318	10.261	3.099
1500	3.8	7.96	0.57	0.345	10.994	3.138
1600	3.7	8.27	0.44	0.358	11.728	3.053
1700	3.5	8.31	0.32	0.370	12.460	2.970
1800	0.6	1.51	0.52	0.382	13.193	2.896

วัดค่าควันดำ (Smoke) ได้เท่ากับ 89.6%

ตารางที่ 9.9 ค่าที่ได้จากการทำ Late Closing 2 (Late2) และคิคชูเปอร์ชาร์จ

Revolution (rpm)	Torque (Kg-m)	BHP (HP)	SFC (Kg/hr-HP)
1100	4.0	6.14	0.62
1200	3.9	6.53	0.63
1300	4.0	7.26	0.62
1400	4.0	7.82	0.59
1500	4.1	8.59	0.43
1600	3.9	8.71	0.41
1700	3.4	8.07	0.25
1800	0.7	1.76	0.45

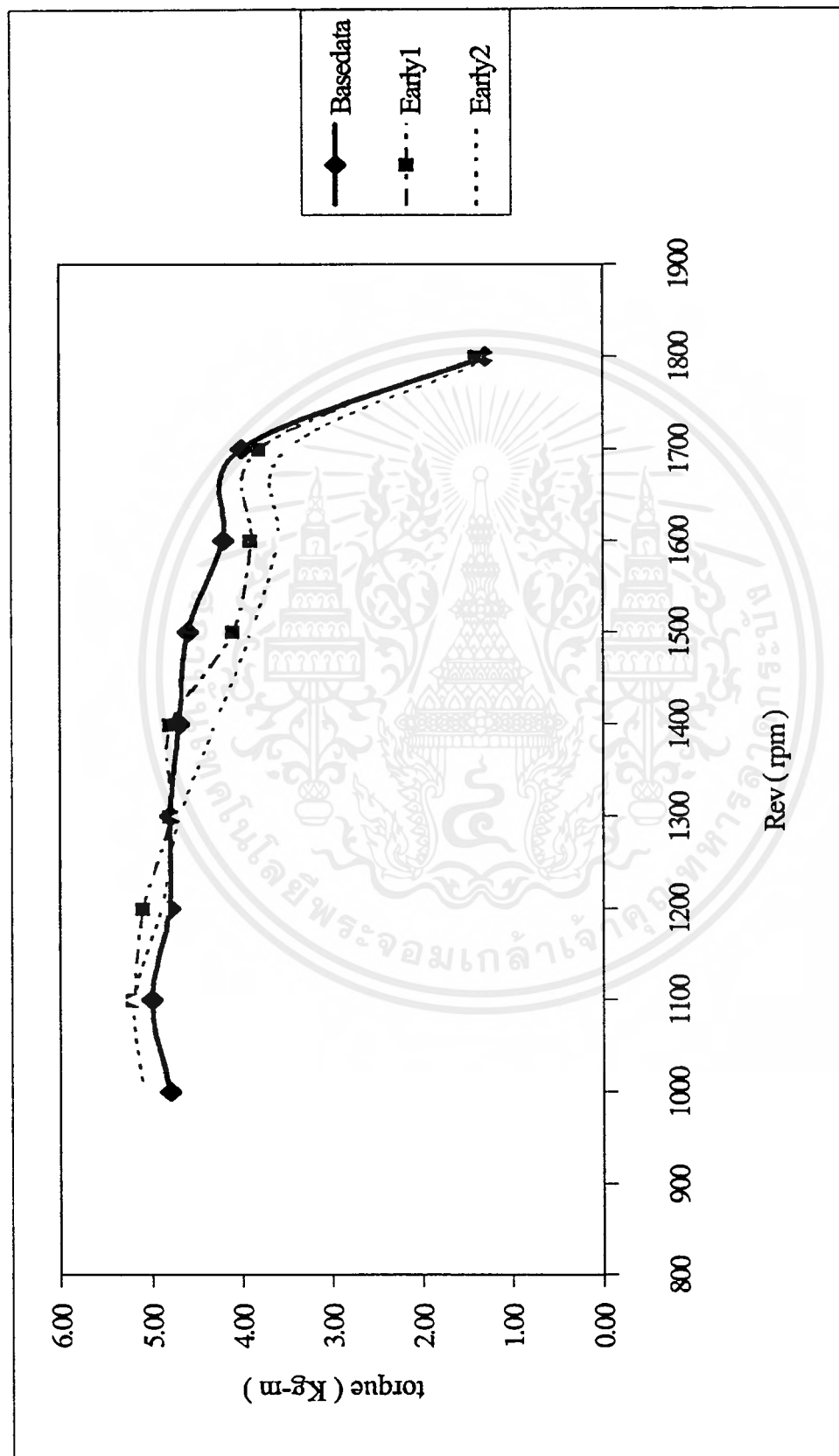
วัดค่าควันดำ (Smoke) ได้เท่ากับ 91%

## 9.2 กราฟแสดงผลการทดลองและการวิเคราะห์

9.2.1 วิเคราะห์กราฟแสดงผลการทดลองระหว่างเครื่องยนต์ที่ไม่ได้ปรับแต่ง(Base Data), เครื่องยนต์ที่ทำEarly Opening1, และเครื่องยนต์ที่ทำEarly Opening2

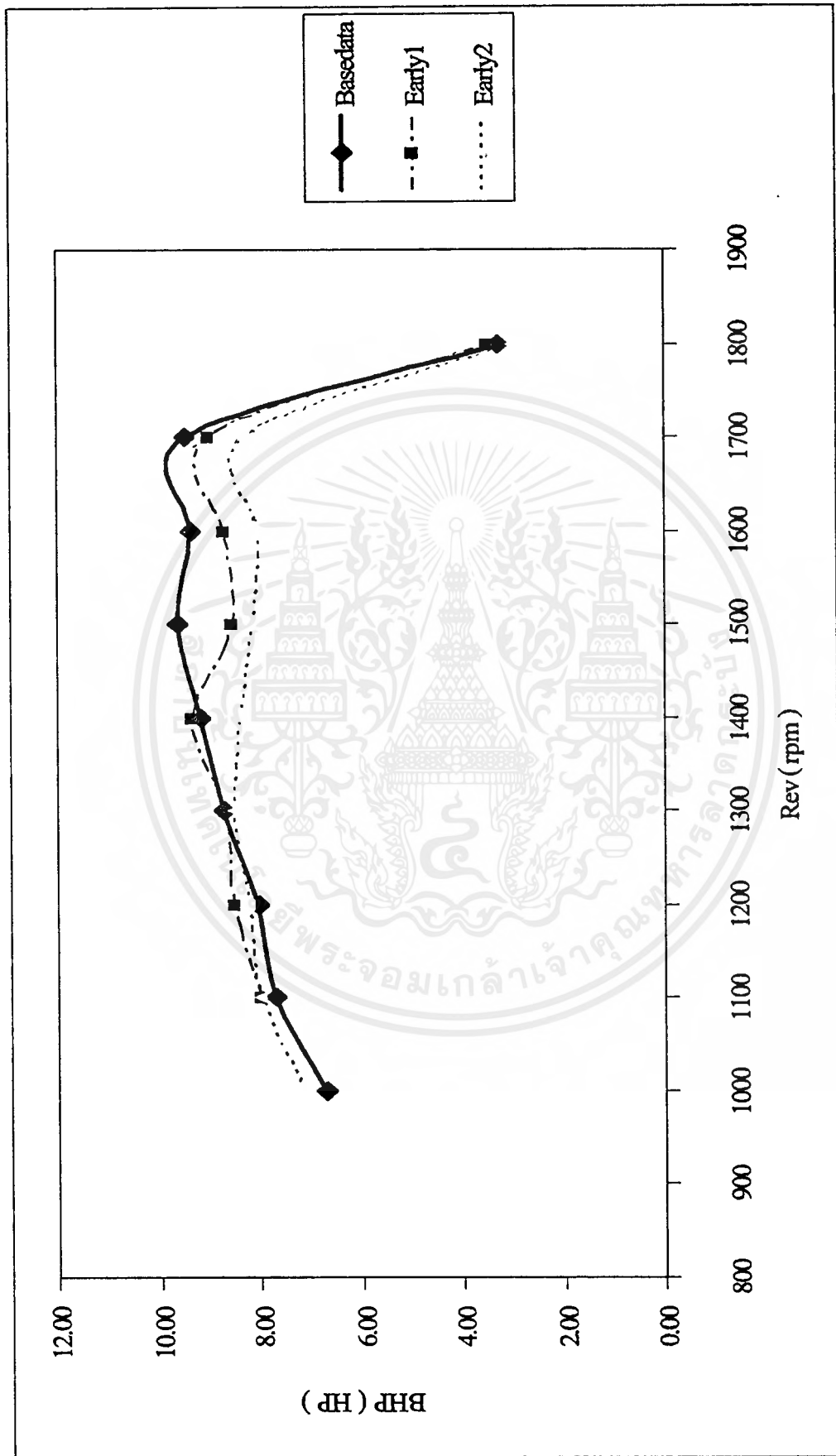
1. จากรูปที่ 9.1 และรูปที่ 9.2 จะเห็นได้ว่าในช่วงความเร็วรอบต่ำการทำ Early1 จะให้แรงบิดและแรงม้ามากกว่าเครื่องยนต์ที่ไม่ได้ปรับแต่ง (Base Data) และในช่วงกว้างกว่ากรณีที่ทำ Early2 คือในช่วงความเร็วรอบ 1000-1400 rpm (ใน Early2 ประมาณ 1000-1250 rpm) ส่วนที่ความเร็วรอบสูงการทำ Early Opening จะให้แรงบิดและแรงม้าน้อยกว่า Base Data
2. จากรูปที่ 9.3 ซึ่งแสดงค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ(SFC) จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทำ Early Opening มีค่าขึ้นลงสลับกับข้อมูลจาก Base Data จึงไม่อาจสรุปผลที่ชัดเจนลงไปได้
3. จากรูปที่ 9.4 จะเห็นได้ว่าการทำ Early Opening มีผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดของเครื่องยนต์ (Volumetric Efficiency) ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตลอดทุกความเร็วรอบ และการทำ Early2 จะให้ประสิทธิภาพการดูดมากกว่า Early1 ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการเปิดวาล์วไอดี (Valve Lift) ที่มากกว่า ทำให้อากาศไหลเข้าได้มากขึ้น

9.2.2 กราฟแสดงผลการทดลองเครื่องยนต์ที่ไม่ได้ปรับแต่ง(Base Data), เครื่องยนต์ที่ทำEarly Opening1, และเครื่องยนต์ที่ทำEarly Opening2



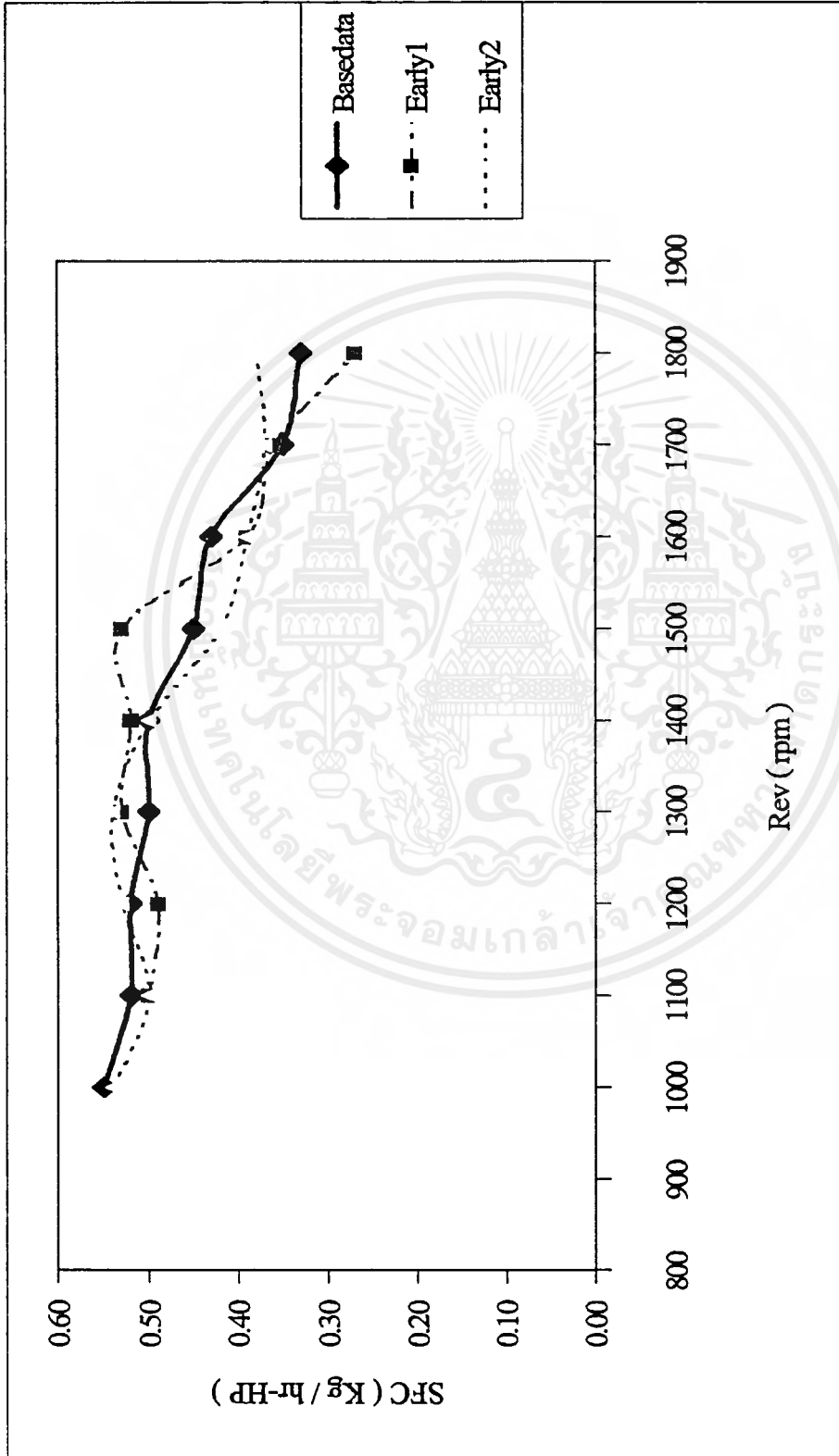
รูปที่ 9.1 การเปรียบเทียบ Torque จาก Base Data, Early Opening 1, และ Early Opening 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



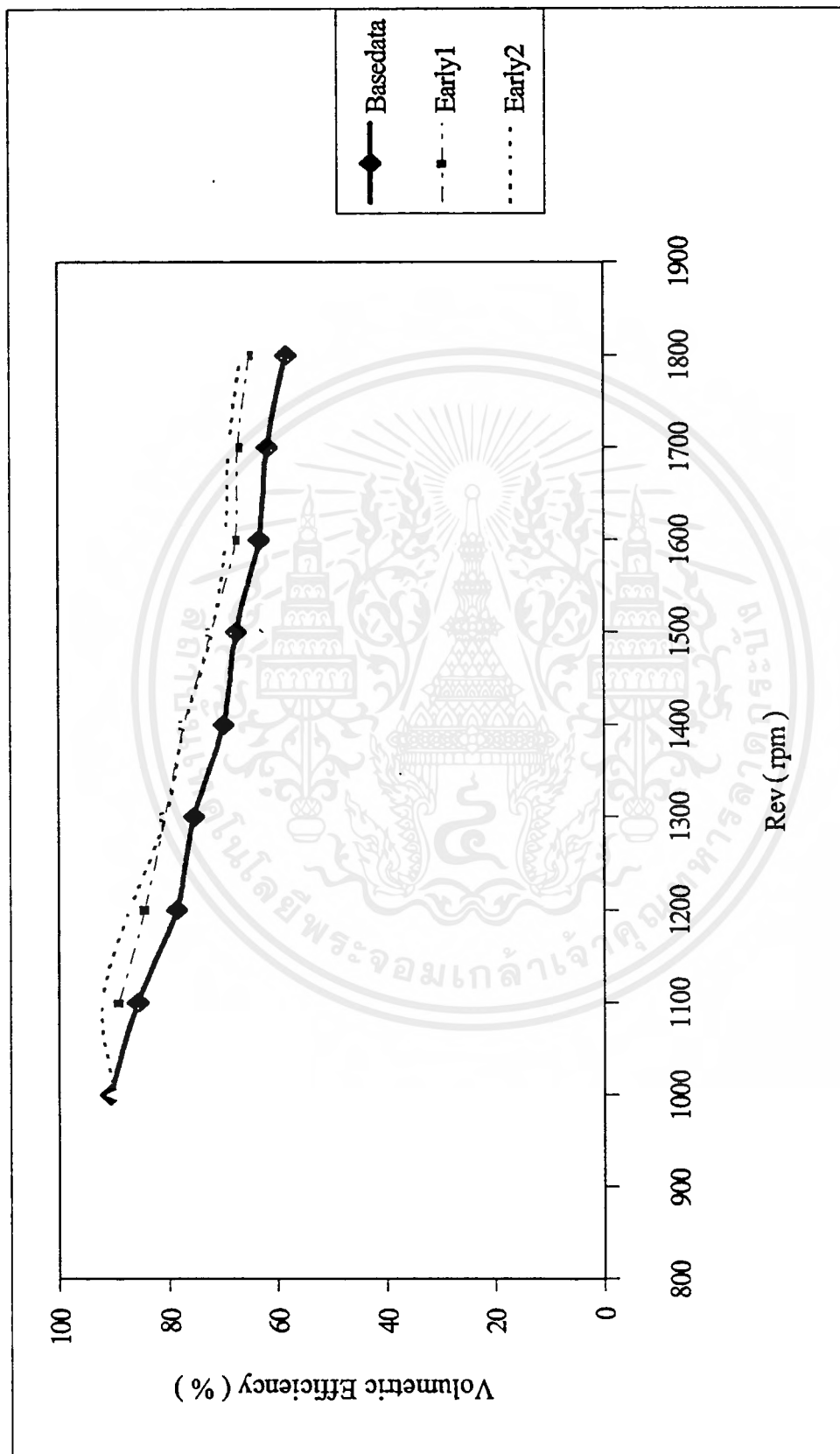
รูปที่ 9.2 การเปรียบเทียบ BHP จาก Base Data, Early Opening 1, Early Opening 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.3 การเปรียบเทียบ SFC จาก Base Data, Early Opening 1, Early Opening 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



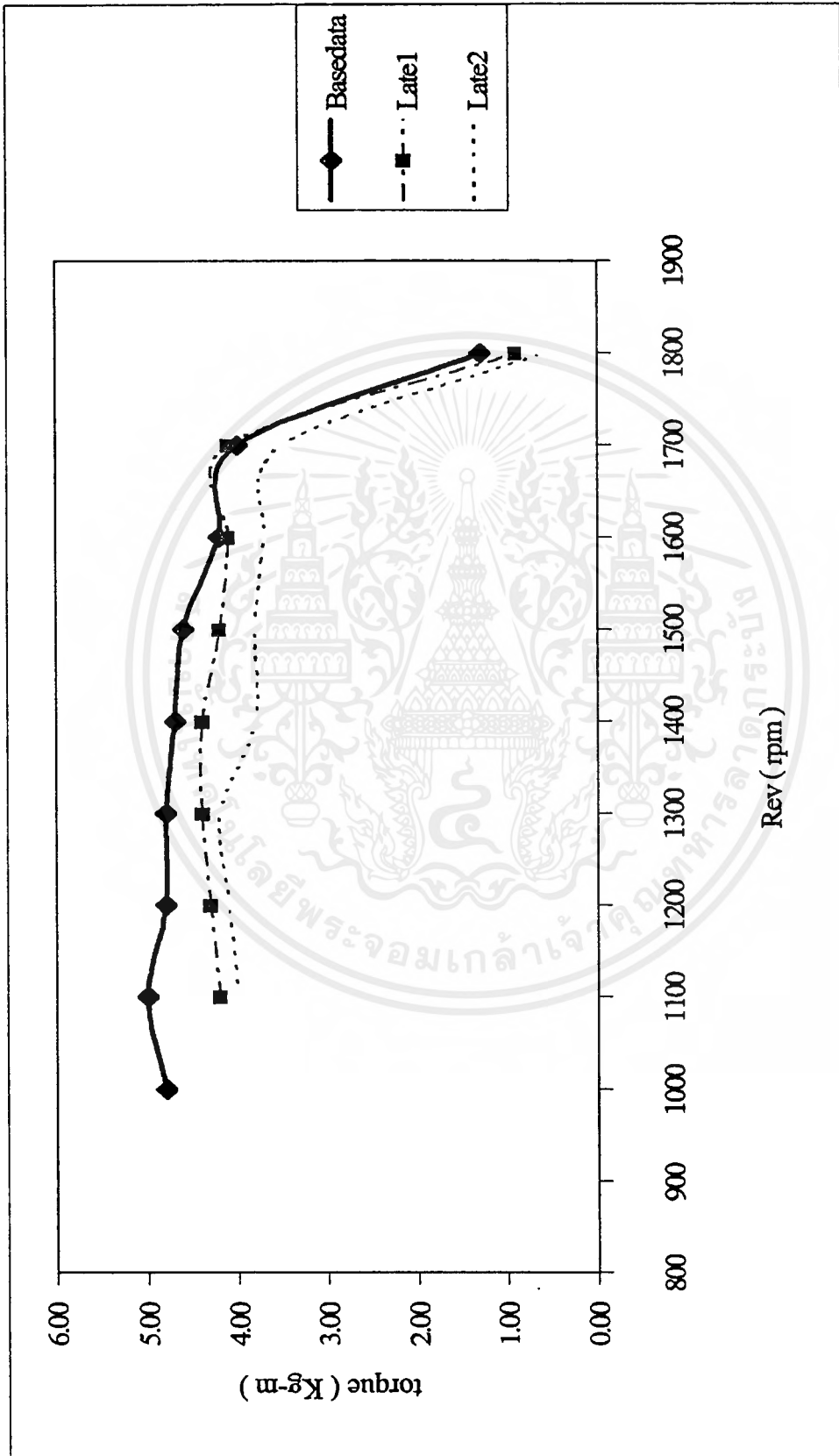
รูปที่ 9.4 การเปรียบเทียบ Volumetric Efficiency จาก Base Data, Early Opening 1, Early Opening 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 9.2.3 วิเคราะห์กราฟแสดงผลการทดลองระหว่างเครื่องยนต์ที่ไม่ได้ปรับแต่ง(Base Data), เครื่องยนต์ที่ทำ Late Closing 1, และเครื่องยนต์ที่ทำ Late Closing 2

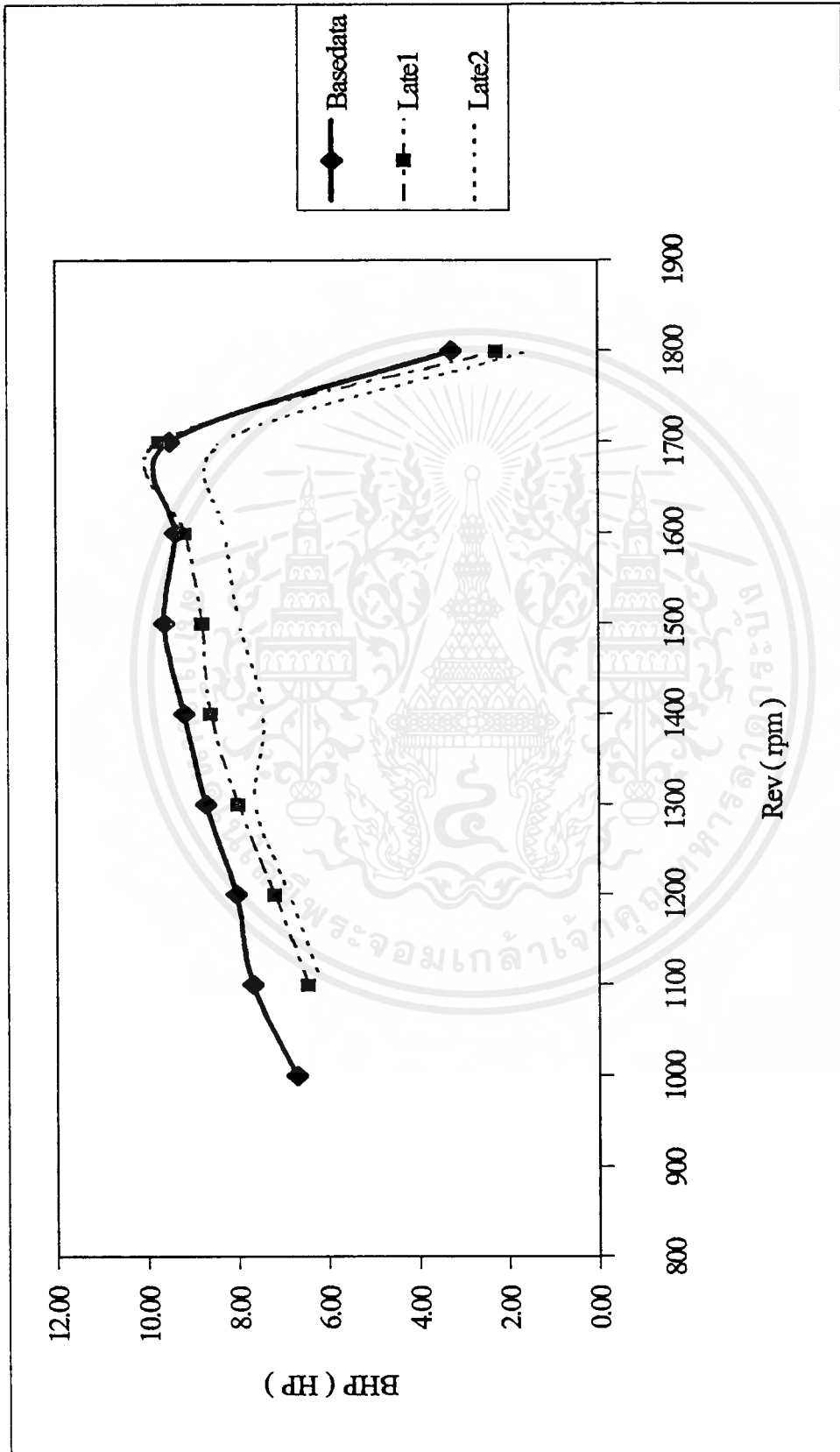
1. จากรูปที่ 9.5 และ รูปที่ 9.6 การทำ Late1 จะให้แรงบิดและแรงม้าต่ำกว่ากรณีที่ไม่ได้ปรับแต่งเครื่องยนต์ ยกเว้นในช่วงความเร็วรอบประมาณ 1600-1700 rpm. ซึ่งเป็นช่วงความเร็วรอบสูงของเครื่องยนต์ โดยค่าผลต่างของ Base Data และ Late1 จะลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้น แต่การทำ Late2 จะให้ค่าแรงบิดและแรงม้าต่ำกว่า Base Data ทุกช่วงความเร็วรอบ เหตุที่การทำ Late Closing มีแนวโน้มทำให้ค่าแรงบิดและแรงม้ามีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงความเร็วรอบสูง ก็เพราะว่าในช่วงนี้อากาศที่ถูกดูดเข้ามา มีความเร็วมาก ดังนั้นจึงมีความเฉื่อยสูง จะไปช่วยคั้นไม่ให้อากาศในห้องเผาไหม้ ซึ่งกำลังจะถูกอัด(ในจังหวะนี้ถูกสูบกำลังเคลื่อนที่ขึ้นเพื่ออัดอากาศ แต่วาล์วไอดียังเปิดอยู่)ไหลย้อนเข้ามา จึงส่งผลให้ปริมาณของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น แต่อัตราส่วนการอัดลดลง กำลังที่ได้ออกมาจึงเพิ่มขึ้นนั่นเอง การทำ Late Closing ถ้ามามากจนเกินไปจะทำให้สมรรถนะตกลง ดังเช่นการทำ Late2 และถ้าทำมากกว่านี้เครื่องยนต์จะสตาร์ทไม่ติด
2. จากรูปที่ 9.7 การทำ Late Closing จะทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (SFC) เพิ่มมากขึ้นในทุกช่วงความเร็วรอบ ยกเว้นในช่วงความเร็วรอบสูงของเครื่องประมาณ 1600-1700 rpm. ซึ่งเป็นช่วงที่เครื่องยนต์ให้ Torque สูงที่สุดดังแสดงที่รูปที่ 9.5 และค่า SFC จากการทำ Late2 จะมากกว่าการทำ Late1 โดยตลอด
3. ประสิทธิภาพการดูด (Volumetric Efficiency) ของเครื่องยนต์เนื่องจากการทำ Late Closing จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จาก Base Data ที่ทุกความเร็วรอบ แต่ผลต่างของ Volumetric Efficiency ระหว่าง Base Data กับ Late Closing จะลดลง เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น เหตุผลที่ประสิทธิภาพการดูดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับข้อ 1

### 9.2.4 กราฟแสดงผลการทดลองระหว่างเครื่องยนต์ที่ไม่ได้ปรับแต่ง(Base Data),เครื่องยนต์ที่ทำ Late Closing 1, และเครื่องยนต์ที่ทำ Late Closing 2



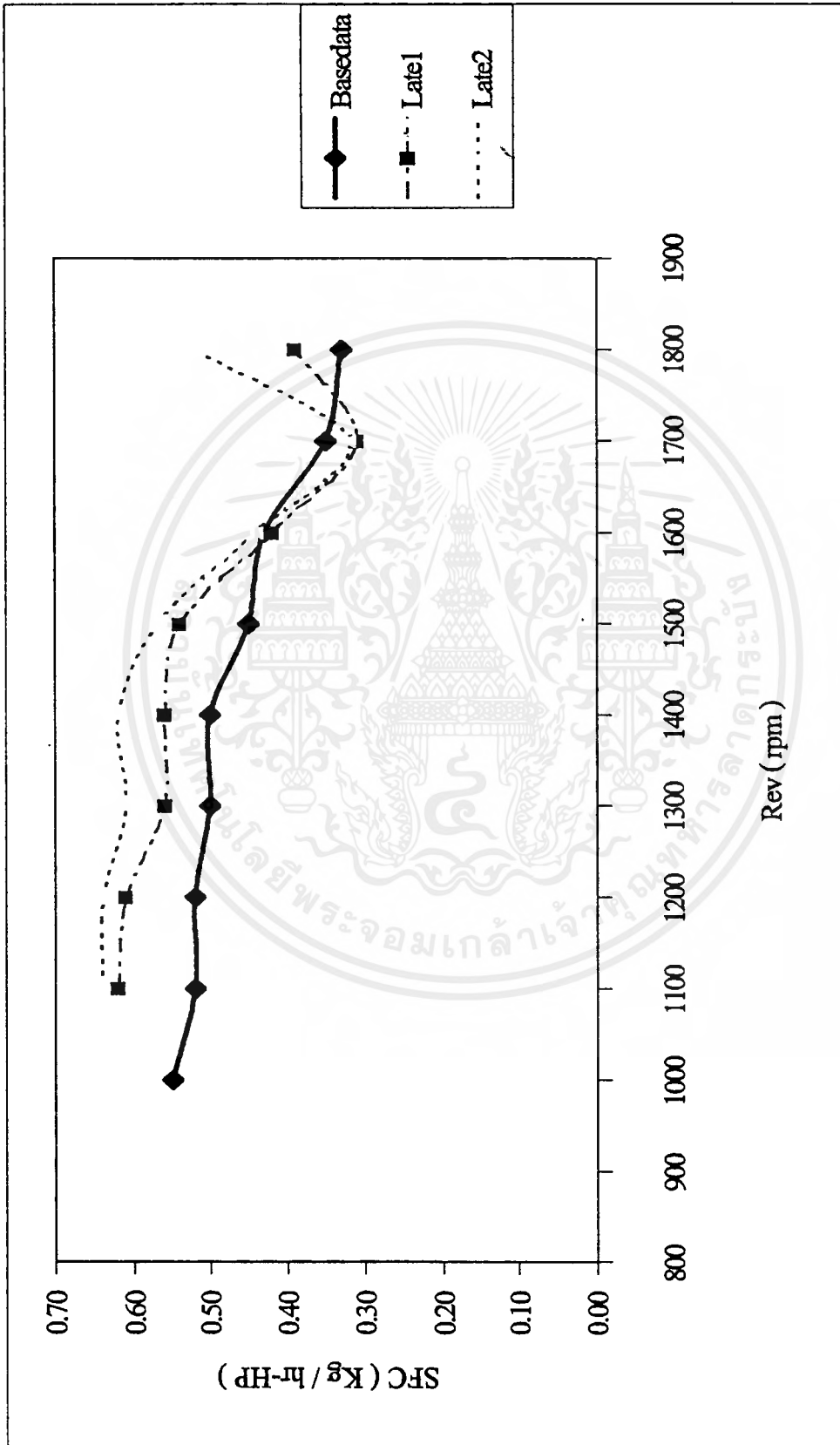
รูปที่ 9.5 การเปรียบเทียบ Torque จาก Base Data, Late Closing 1, และ Late Closing 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.6 การเปรียบเทียบ BHP จาก Base Data, Late Closing 1, และ Late Closing 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.7 การเปรียบเทียบ SFC จาก Base Data, Late Closing 1, และ Late Closing 2

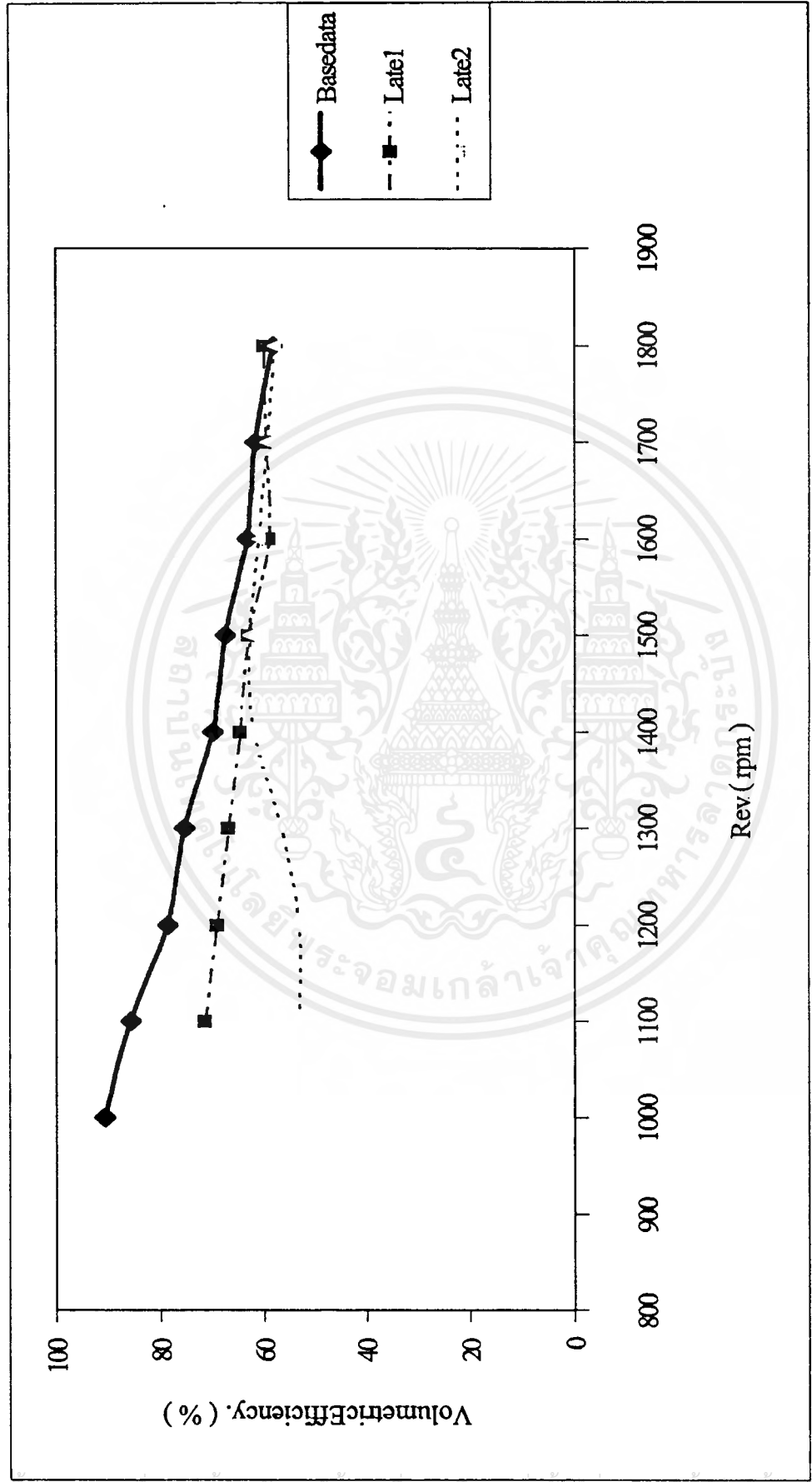
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 9.2.5 วิเคราะห์กราฟแสดงผลการทดลองระหว่างเครื่องยนต์ที่ทำ Early Opening ที่ไม่ติด ชูเปอร์ชาร์จและติดชูเปอร์ชาร์จ

จากรูปที่ 9.9-9.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงบิด แรงม้า และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะที่ได้จากการทำ Early Opening ทั้ง 2 ครั้ง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างกรณีที่ติดชูเปอร์ชาร์จและไม่ติดชูเปอร์ชาร์จ จะเห็นว่าแตกต่างกันไม่มากและมักมีค่าสลับกันขึ้นๆ ลงๆ จนไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าการทำ Early Opening นั้นไม่เหมาะที่จะมีการอัด อากาศเข้าช่วย เพราะแทบจะไม่ได้ช่วยให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพดีขึ้นเลย

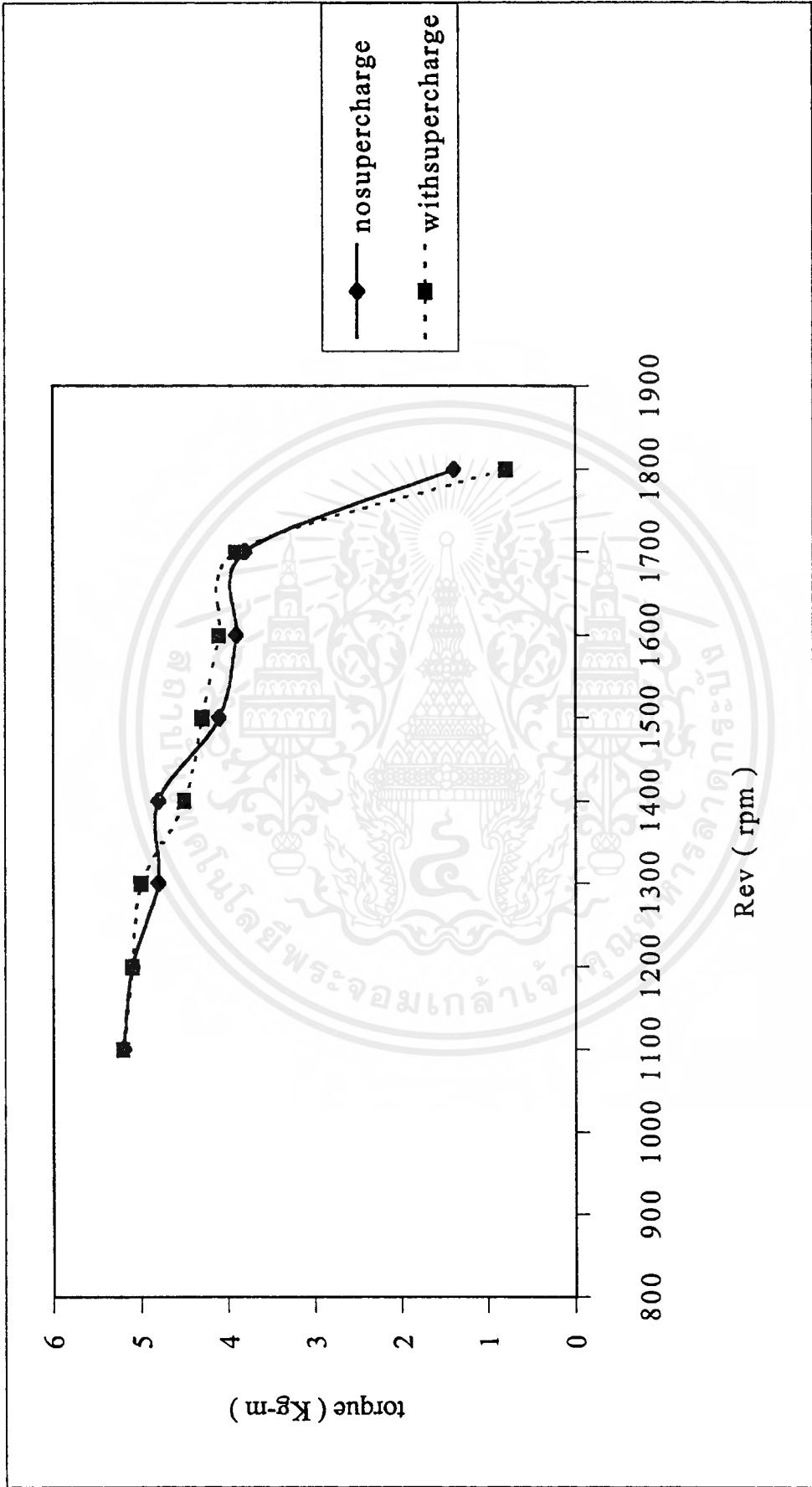
### 9.2.6 กราฟแสดงผลการทดลองระหว่างเครื่องยนต์ที่ทำ Early Opening ที่ไม่ติดชูเปอร์ชาร์จและติดชูเปอร์ชาร์จ





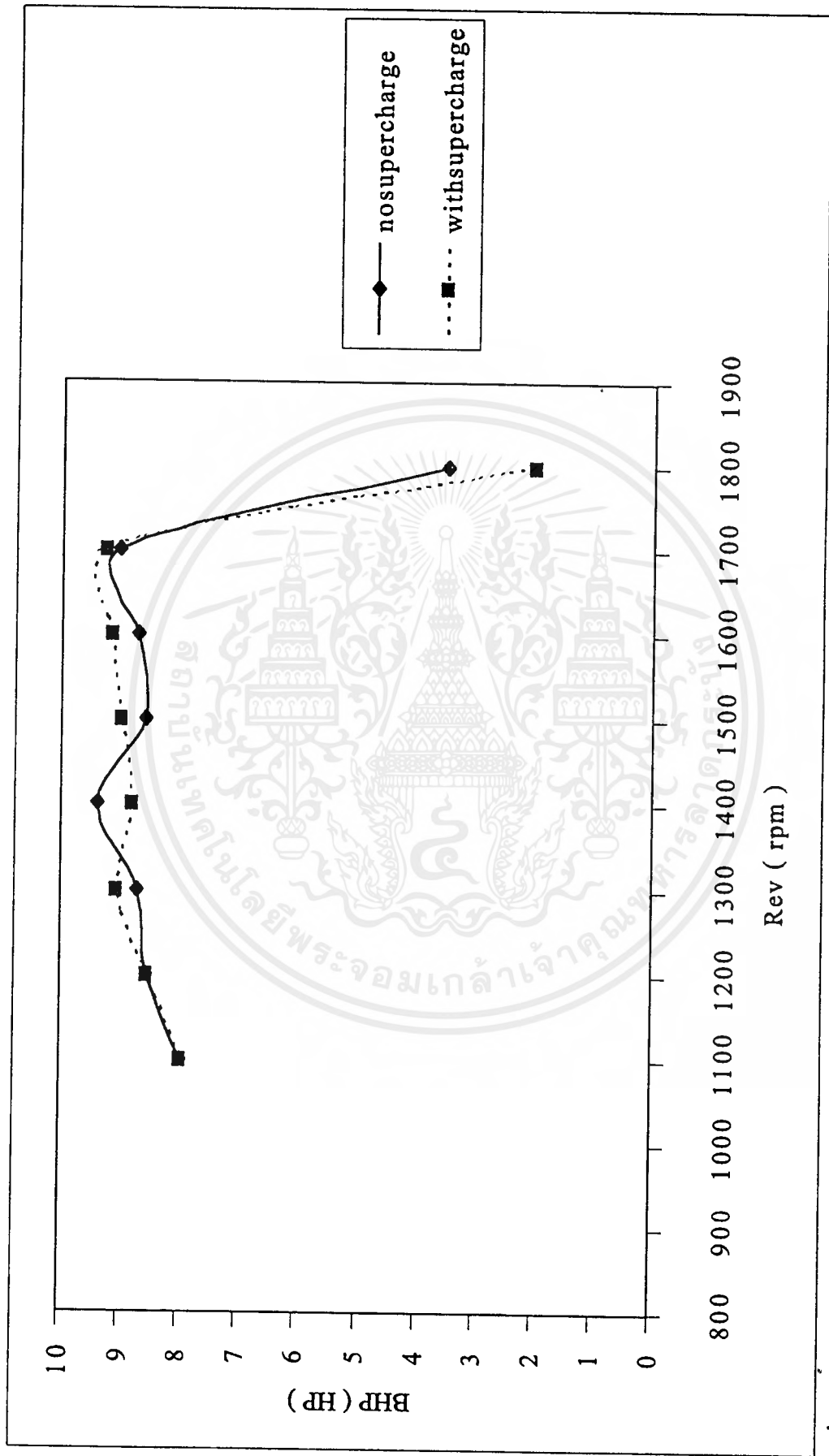
รูปที่ 9.8 การเปรียบเทียบ Volumetric Efficiency จาก Base Data, Late Closing 1, และ Late Closing 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



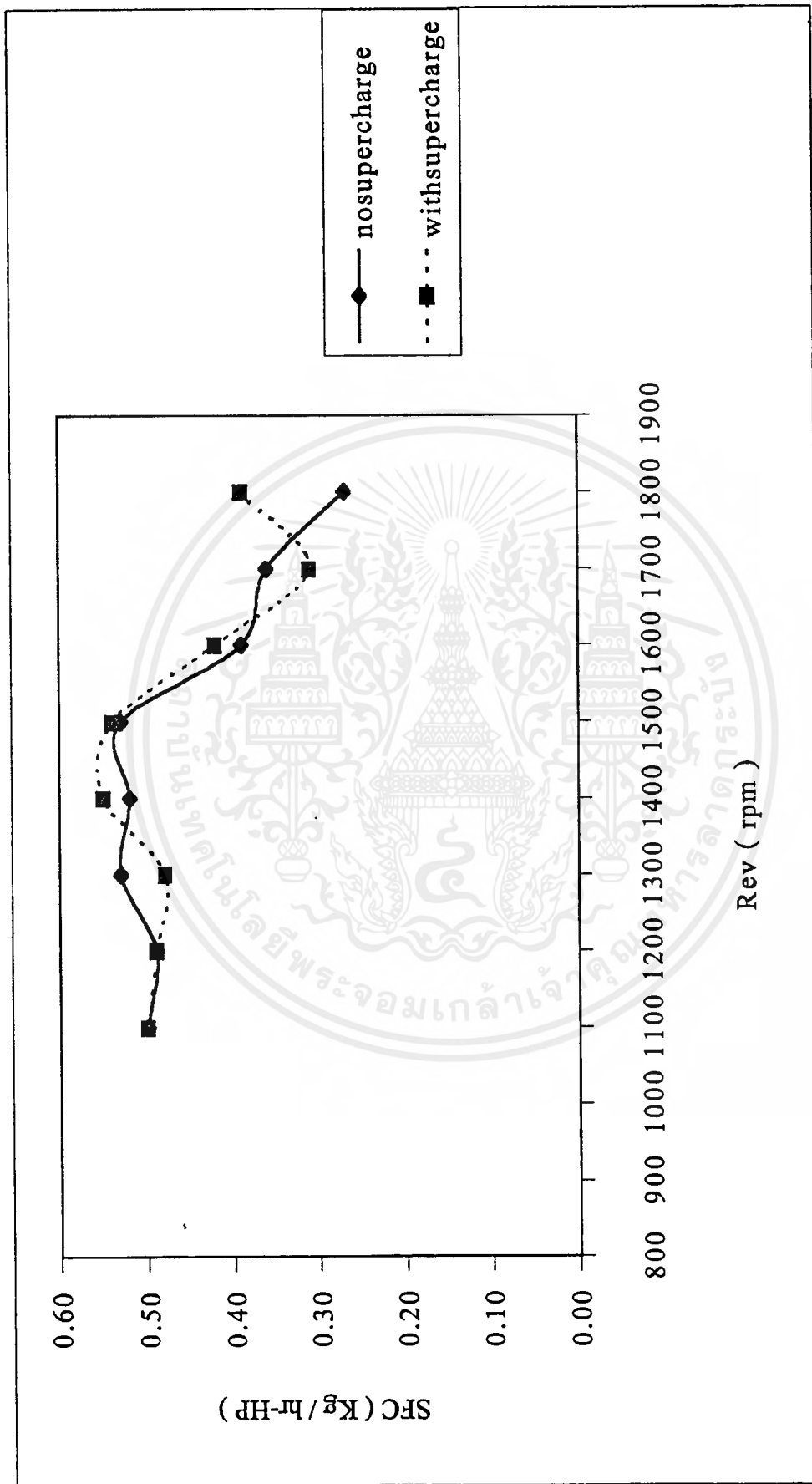
รูปที่ 9.9 การเปรียบเทียบ Torque จาก Early Opening 1 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และ Early Opening 1 ที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



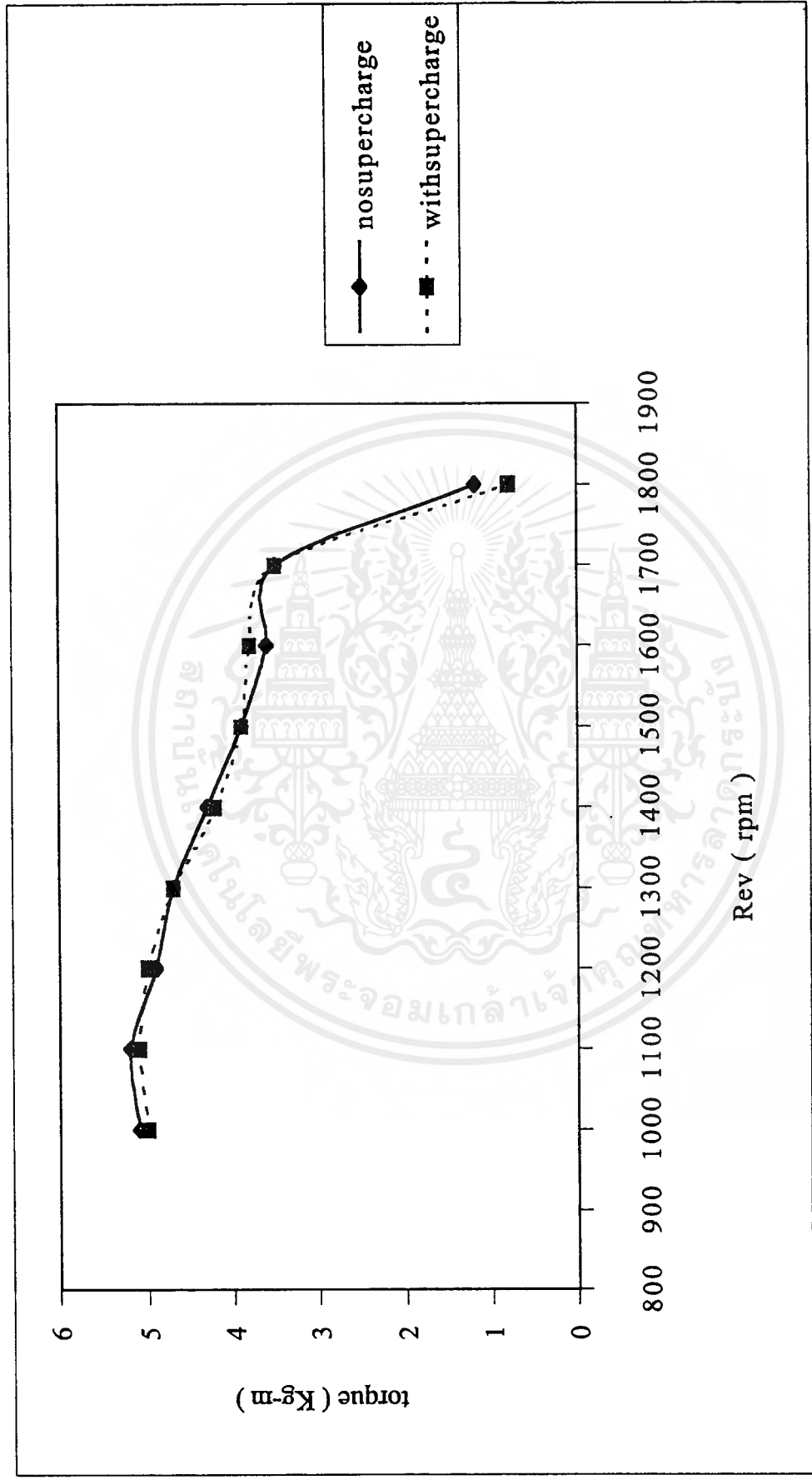
รูปที่ 9.10 การเปรียบเทียบ BHP จาก Early Opening 1 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และ Early Opening 1 ที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใช้



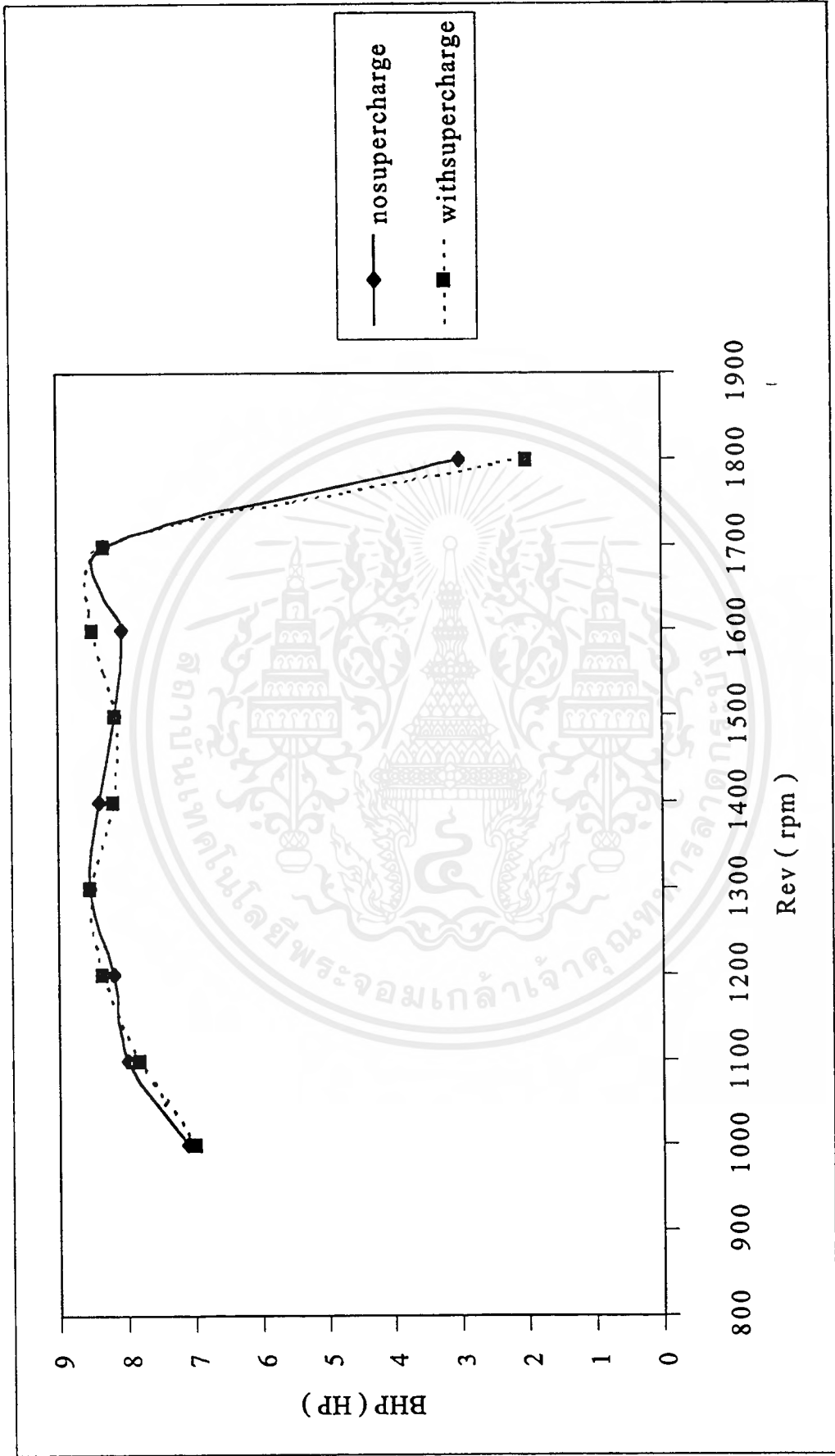
รูปที่ 9.11 การเปรียบเทียบ SFC จาก Early Opening 1 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และ Early Opening 1 ที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.12 การเปรียบเทียบ Torque จาก Early Opening 2 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และ Early Opening 2 ที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.13 การเปรียบเทียบ BHP จาก Early Opening 2 ที่ไม่ ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และ Early Opening 2 ที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



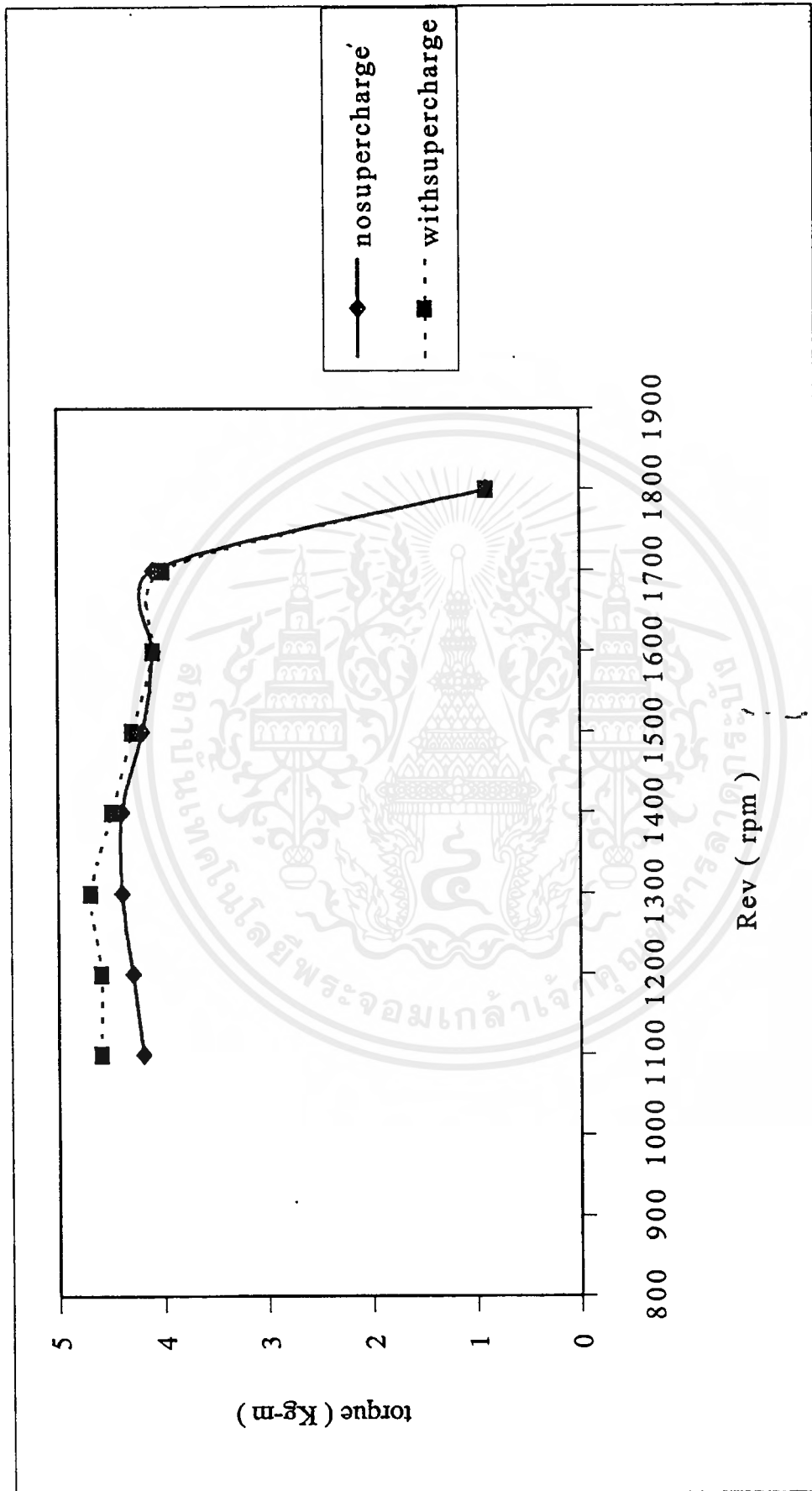
รูปที่ 9.14 การเปรียบเทียบ SFC จาก Early Opening 2 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และ Early Opening 2 ที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 9.2.7 วิเคราะห์กราฟแสดงผลการทดลองของเครื่องยนต์ที่ทำ Late Closing ที่ไม่ได้ติดยูเปอร์ชาร์จและติดยูเปอร์ชาร์จ

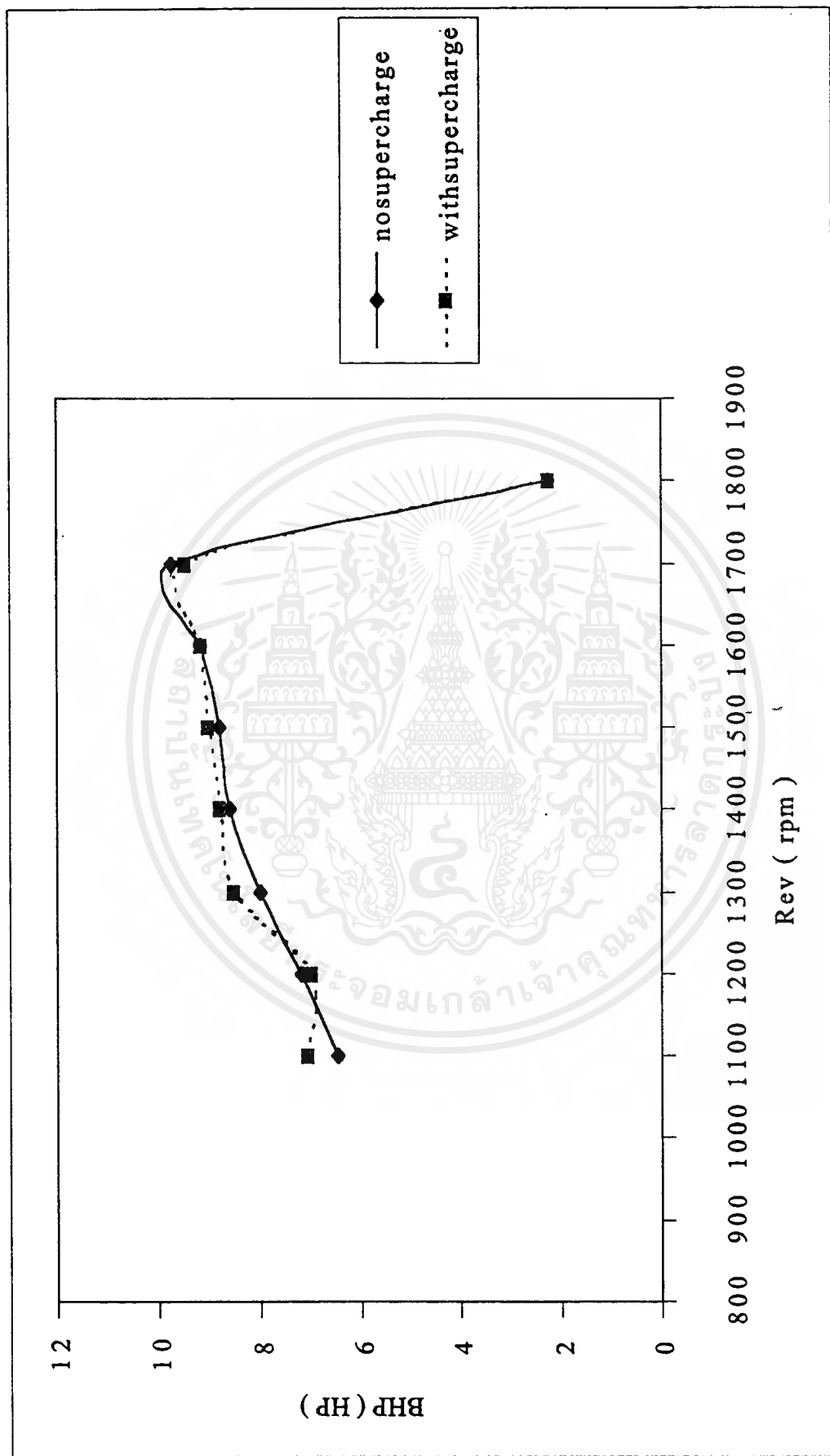
1. จากรูปที่ 9.15 และรูปที่ 9.16 ค่าแรงบิดและแรงม้าจากการทำ Late1 ที่ติดยูเปอร์ชาร์จจะมากกว่าที่ไม่ติดยูเปอร์ชาร์จ ตั้งแต่ที่ความเร็วรอบต่ำจนถึงความเร็วรอบประมาณ 1650 rpm ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า Torque และ BHP สามารถอธิบายได้ดังนี้ ก่อนที่วาล์วไอดีจะปิด ลูกสูบจะอยู่ในตำแหน่งเลขศูนย์ตายล่างไปแล้วและกำลังเคลื่อนที่ขึ้นเพื่ออัดอากาศ ในจังหวะนี้เองอากาศบางส่วนจะถูกลูกสูบผลักออกไป แต่เมื่อเรานำยูเปอร์ชาร์จเข้ามาใช้ ตัวยูเปอร์ชาร์จนี้จะช่วยดันอากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้ และด้านการไหลออกของอากาศในห้องเผาไหม้ ทำให้การประจุอากาศทำได้มากขึ้นกว่ากรณีที่ไม่มียูเปอร์ชาร์จ เมื่ออากาศมีมากขึ้น อัตราส่วนการอัดจึงเพิ่มขึ้น ปริมาณการฉีดน้ำมันก็จะมากขึ้น ทำให้ได้กำลังมากขึ้น แต่ที่รอบสูงกว่า 1650 rpm การติดยูเปอร์ชาร์จจะไม่ได้ช่วยอะไร เพราะความดันที่ใช้อัดอากาศมีค่าต่ำเกินไป
2. จากรูปที่ 9.17 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ได้จากการทำ Late1 และติดยูเปอร์ชาร์จจะมีค่าต่ำกว่ากรณีไม่ติดยูเปอร์ชาร์จในช่วงรอบต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงนี้เครื่องยนต์มีกำลังที่มากขึ้น
3. จากรูปที่ 9.18 และรูปที่ 9.19 ค่าแรงบิดและแรงม้าที่ได้จากการทำ Late2 และติดยูเปอร์ชาร์จจะมีมากกว่าเมื่อไม่ได้ติดยูเปอร์ชาร์จที่รอบประมาณ 1350-1650 rpm ซึ่งเป็นช่วงรอบสูงของเครื่องยนต์ เหตุผลของการเพิ่มขึ้นของแรงบิดและแรงม้าเช่นเดียวกันกับในข้อที่ 1
4. จากรูปที่ 9.20 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ได้จากการทำ Late2 และติดยูเปอร์ชาร์จจะต่ำกว่ากรณีไม่ได้ติดยูเปอร์ชาร์จในเกือบทุกช่วงความเร็วรอบโดยเฉพาะในช่วงที่ความเร็วรอบสูงกว่า 1400 rpm. ขึ้นไปจะเห็นได้ชัดเจนมาก เหตุผลที่ค่า SFC ลดลงนี้เหมือนกับในข้อ 2

### 9.2.8 กราฟแสดงผลการทดลองของเครื่องยนต์ที่ทำ Late Closing ที่ไม่ได้ติดยูเปอร์ชาร์จและติดยูเปอร์ชาร์จ



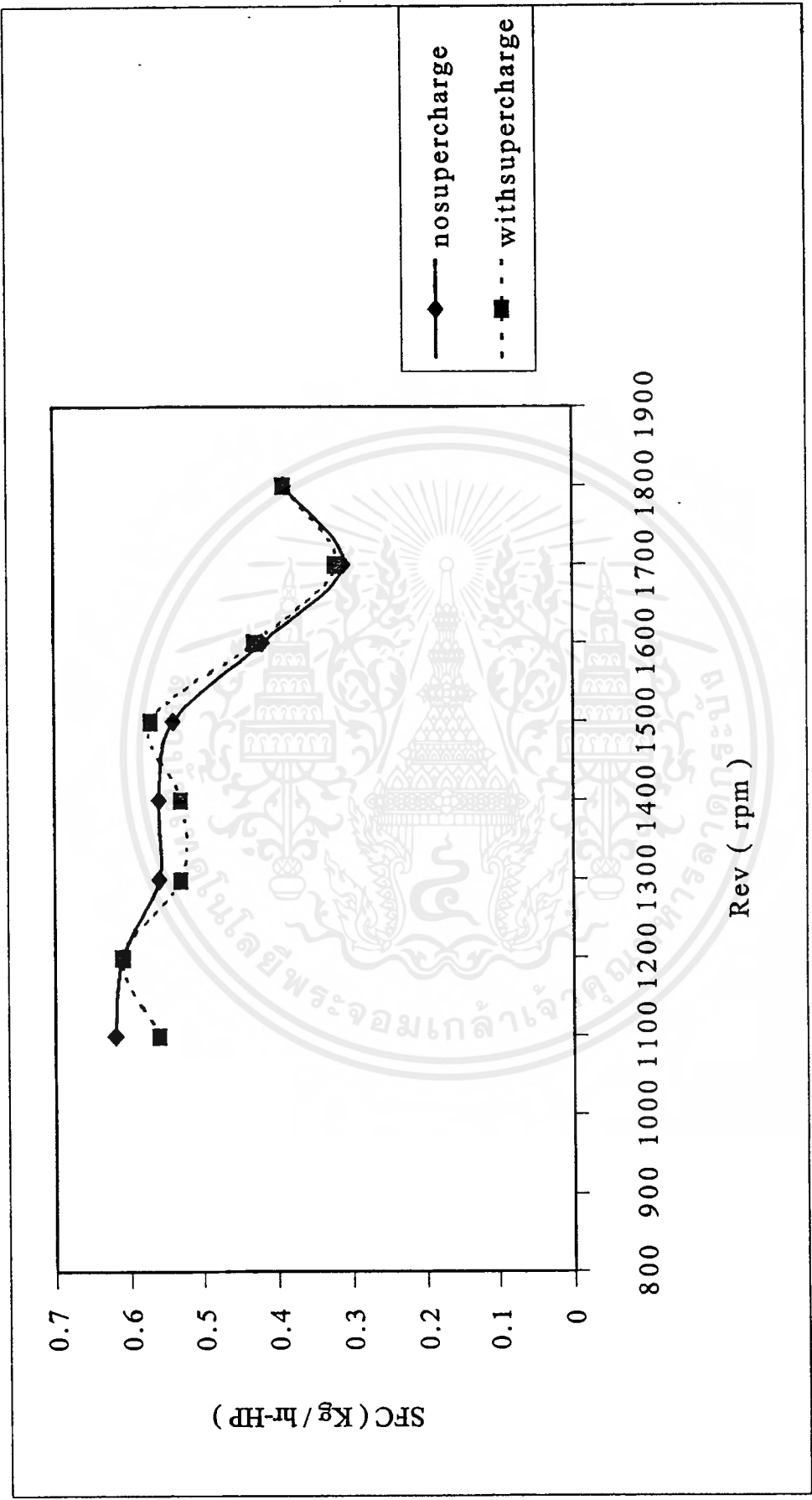
รูปที่ 9.15 การเปรียบเทียบ Torque จาก Late Closing 1 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และ Late Closing 1 ที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



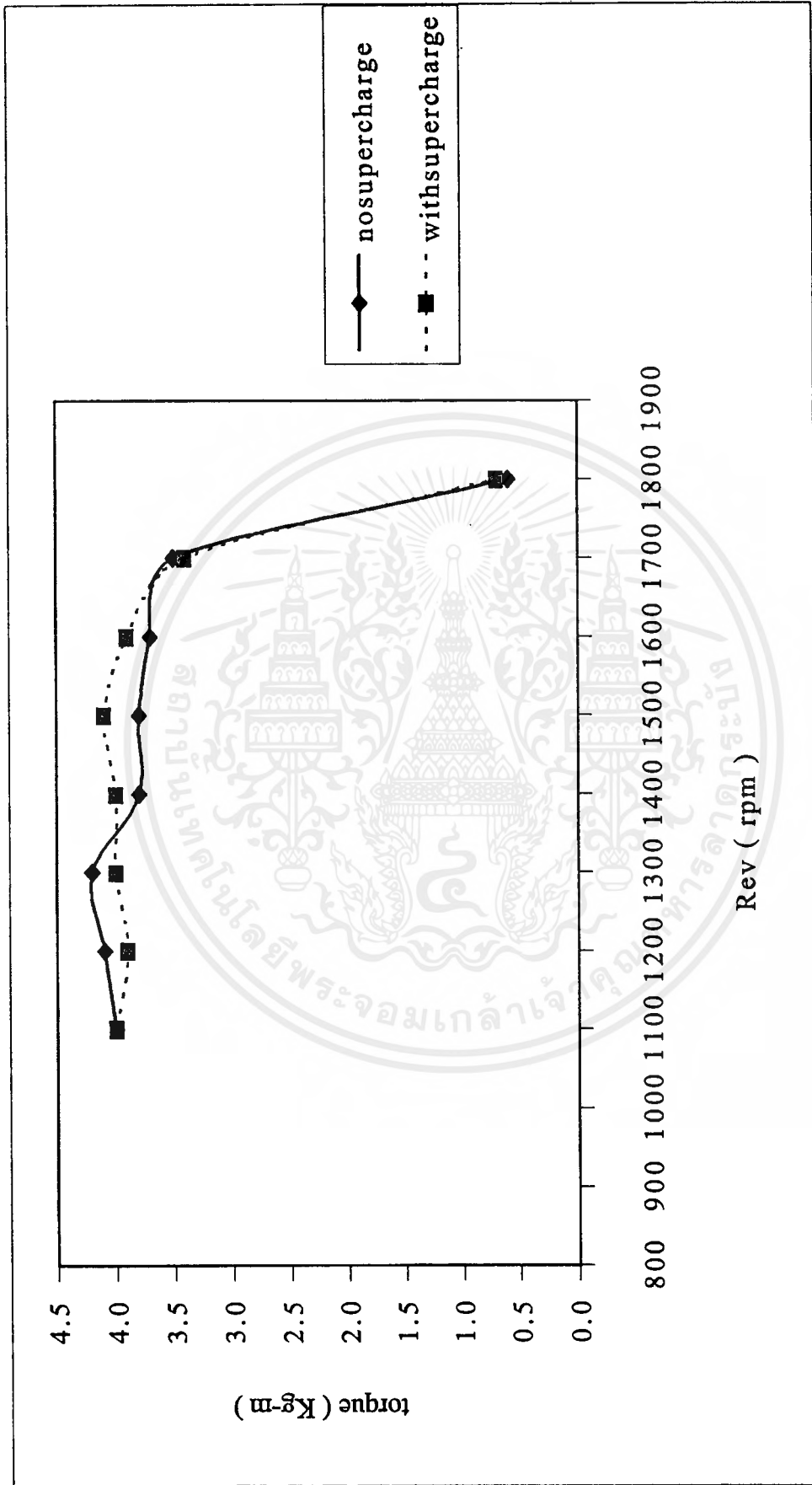
รูปที่ 9.16 การเปรียบเทียบ BHP จาก Late Closing 1 ที่ไม่ได้ติดยเปอร์ซาร์จ (no supercharge) และ Late Closing 1 ที่ติดยเปอร์ซาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



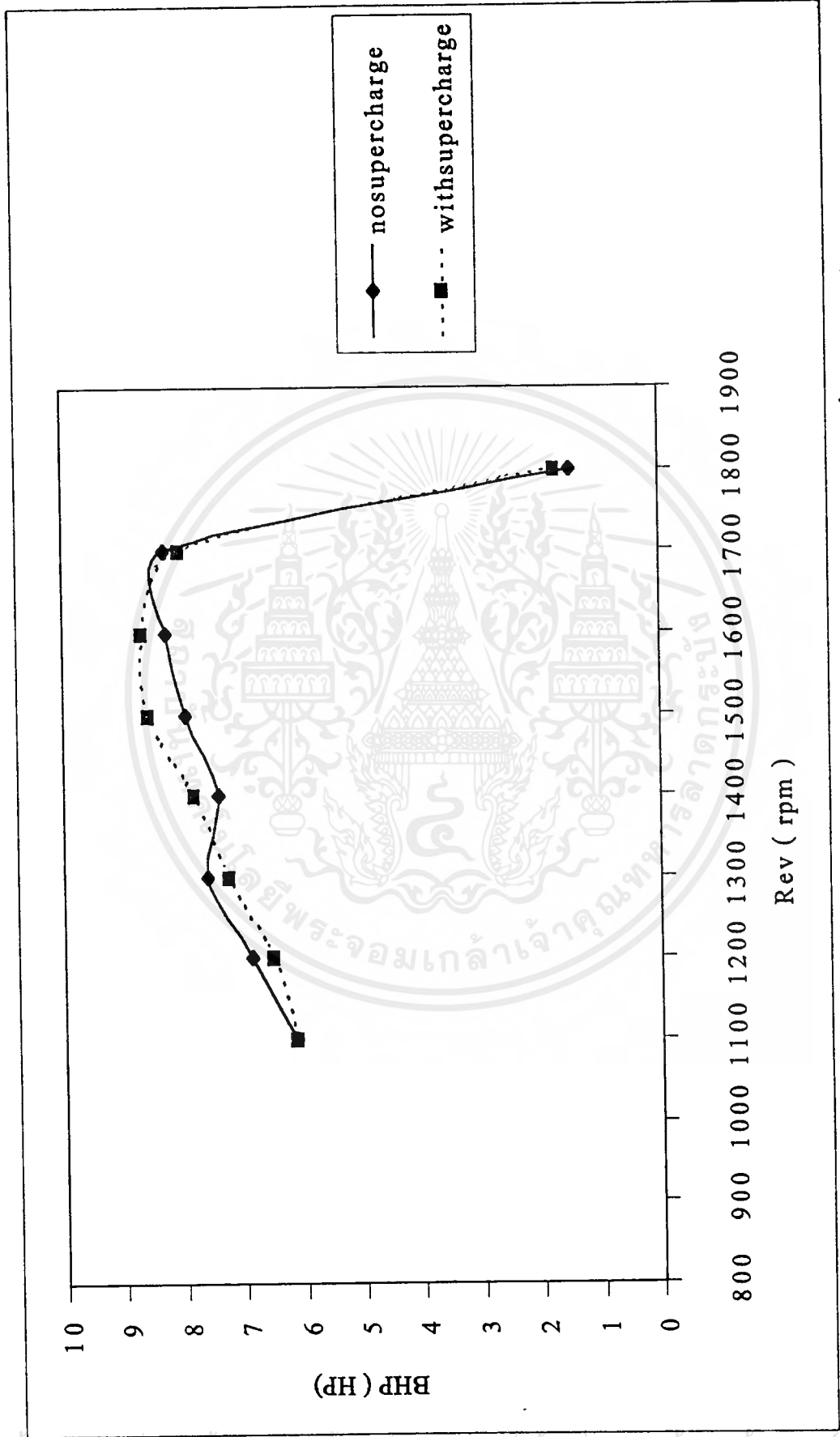
รูปที่ 9.17 การเปรียบเทียบ SFC จาก Late Closing 1 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และ Late Closing 1 ที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



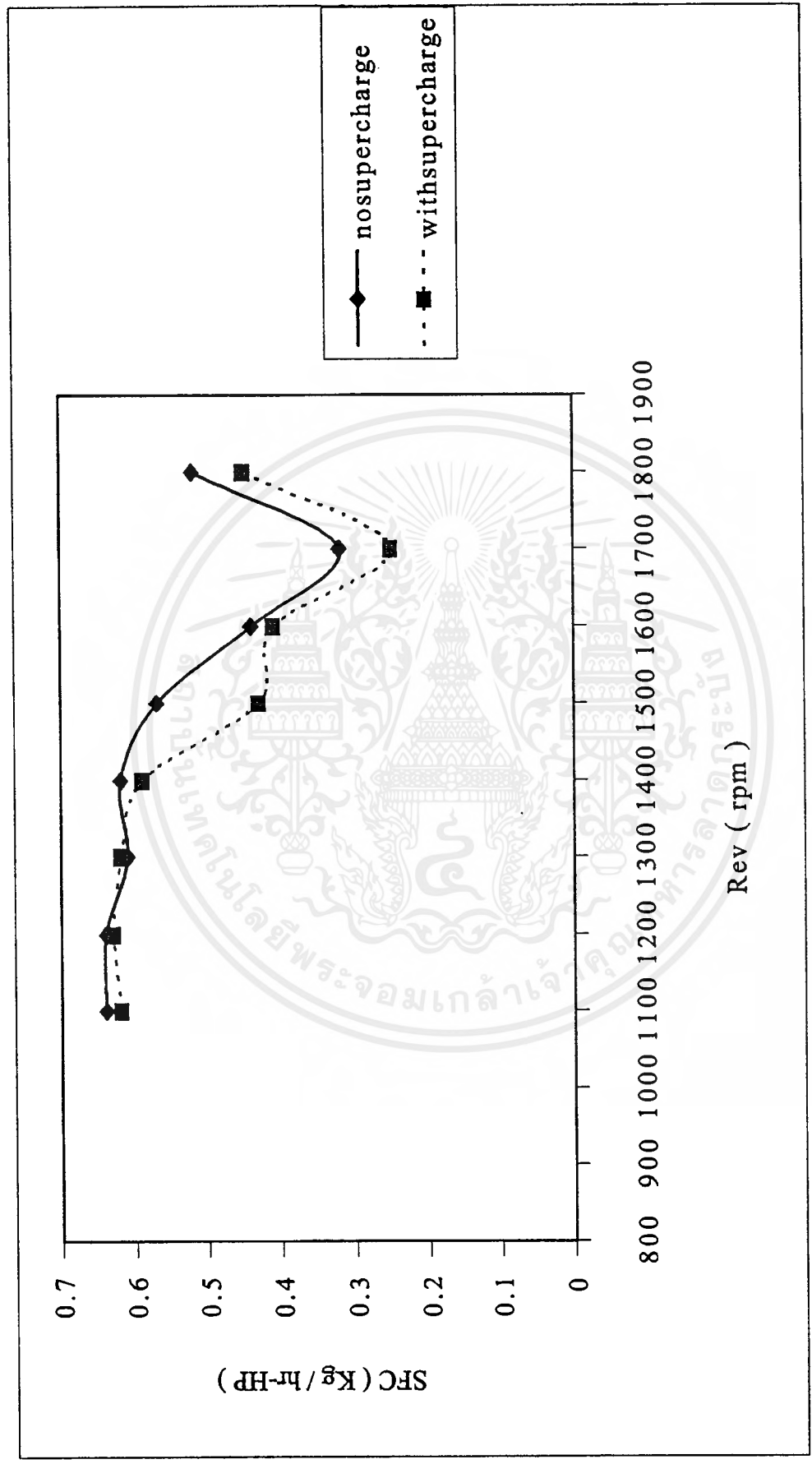
รูปที่ 9.18 การเปรียบเทียบ Torque จาก Late Closing 2 ที่ไม่ได้ติดยูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และ Late Closing 2 ที่ติดยูเปอร์ชาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



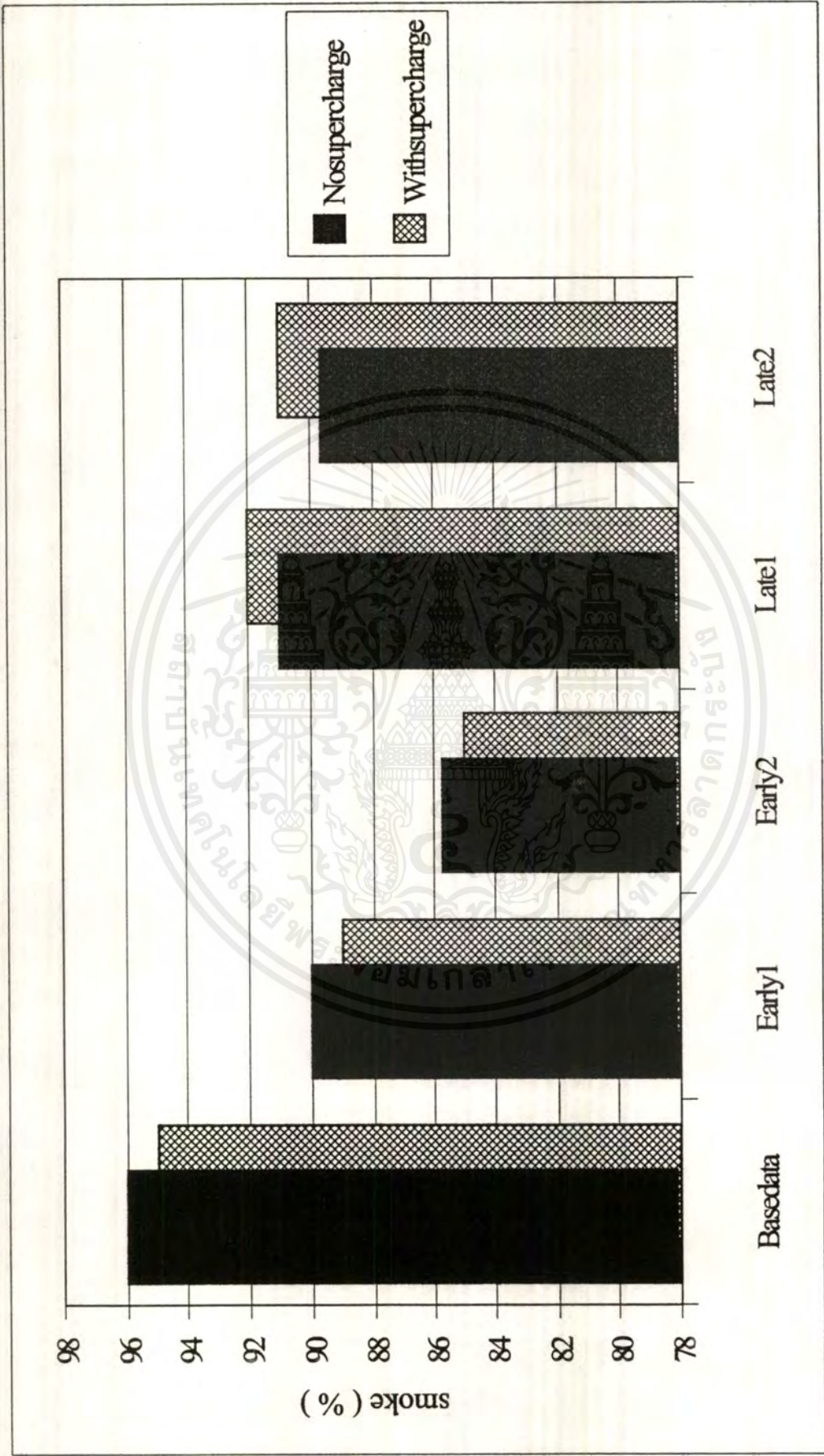
รูปที่ ๑.๑๙ การเปรียบเทียบ BHP จาก Late Closing 2 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และ Late Closing 2 ที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



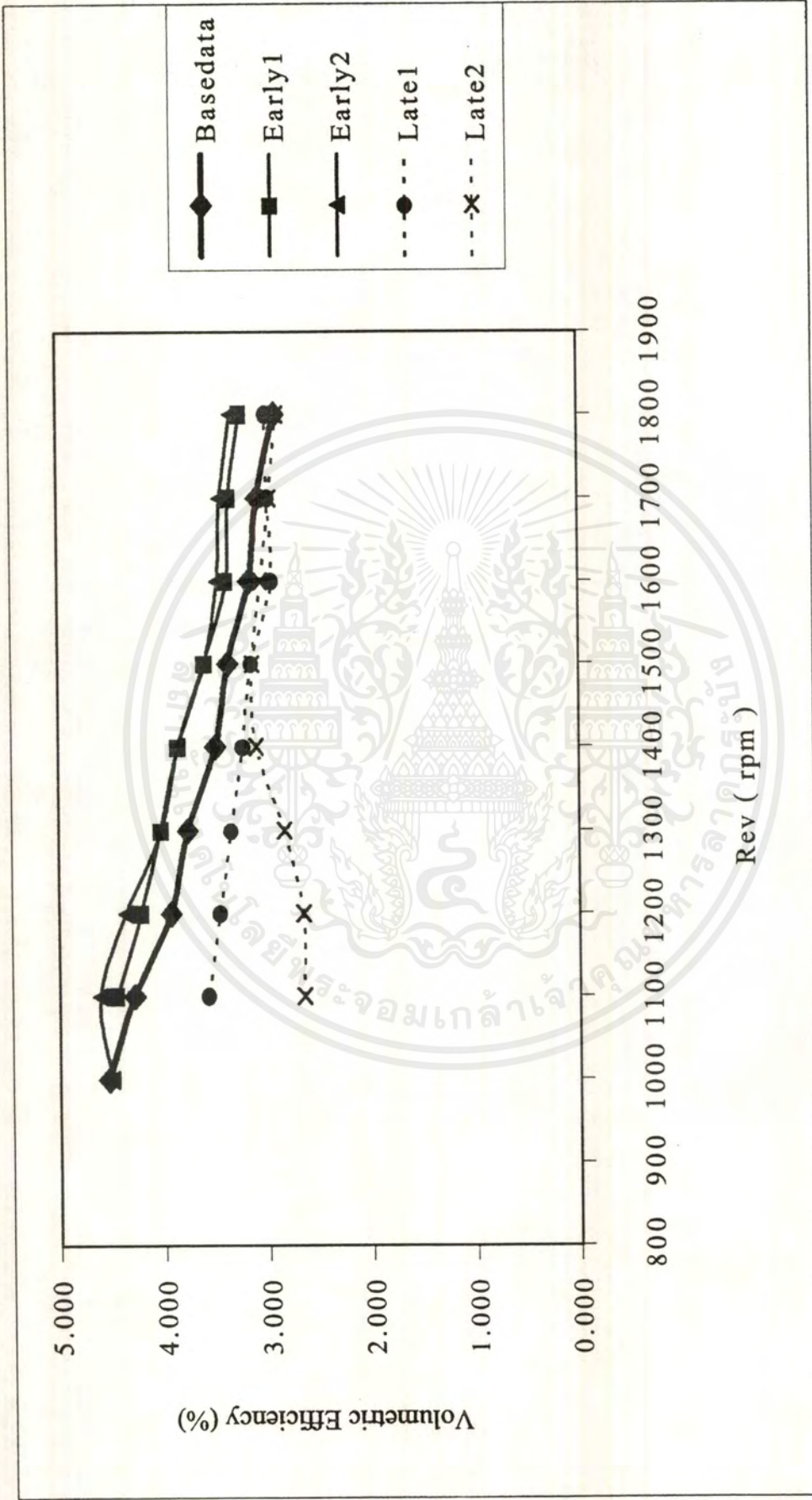
รูปที่ 9.20 การเปรียบเทียบ SFC จาก Late Closing 2 ที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และ Late Closing 2 ที่ติดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.21 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ควันค่า (Smoke) ของทุกกรณีทั้งที่ไม่คิดซูเปอร์ชาร์จ (no supercharge) และคิดซูเปอร์ชาร์จ (with supercharge)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.22 การเปรียบเทียบ Volumetric Efficiency ของทุกกรณีที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 10

### สรุปผลการทดลอง

1. การทำให้วาล์วไอดีเปิดเร็วขึ้น (Early Opening) จะมีผลดังนี้
  - 1.1 ทำให้ได้สมรรถนะดีขึ้น คือแรงบิดและแรงม้ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ Base Data ในช่วงความเร็วรอบต่ำประมาณ 1000-1400 rpm และการเปิดวาล์วไอดีให้เร็วขึ้นนี้จะต้องมีขอบเขต คือถ้าเปิดมากเกินไปอาจทำให้สมรรถนะตกหมดเลยก็ได้
  - 1.2 ประสิทธิภาพในการดูด (Volumetric Efficiency) ของเครื่องยนต์มีค่าสูงขึ้นทุกช่วงความเร็วรอบ หมายความว่าปริมาณอากาศสามารถเข้าเครื่องยนต์ได้มากขึ้น
  - 1.3 ค่าคว้นค่าของเครื่องยนต์มีค่าลดลง
2. การทำให้วาล์วไอดีปิดช้าลง (Late Closing) จะมีผลดังนี้
  - 2.1 แรงบิดและแรงม้ามีค่ามากกว่า Base Data ที่ความเร็วรอบสูง แต่จะน้อยกว่าที่ความเร็วรอบต่ำ
  - 2.2 เนื่องจากแรงบิดและแรงม้าที่เพิ่มขึ้นในรอบสูง จึงส่งผลให้ความสิ้นเปลืองจำเพาะต่ำลงด้วย
  - 2.3 ผลต่างของประสิทธิภาพในการดูดมีค่าลดลงเทียบกับ Base Data เมื่อรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น
  - 2.4 จากที่กล่าวมาข้างต้น กล่าวโดยรวมได้ว่า การทำ Early Opening ให้ผลดีในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ ส่วนการทำ Late Closing จะให้ผลดีที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูง
  - 2.5 ค่าคว้นค่ามีค่าลดลงเล็กน้อย
3. เมื่อมีการติดซูเปอร์ชาร์จกับกรณีต่างๆ
  - 3.1 กับการทำ Early Opening แทนจะไม่ได้ช่วยให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะเพิ่มขึ้น แต่ช่วยให้คว้นค่าลดลงได้บ้าง
  - 3.2 กับการทำ Late Closing ทำให้สมรรถนะดีขึ้นกว่ากรณีที่ไม่ได้ติดซูเปอร์ชาร์จเล็กน้อยในรอบประมาณ 1000-1650 rpm. แต่ถ้ารอบสูงกว่านี้จะไม่ค่อยเห็นความแตกต่างเพราะความดันที่ใช้ในการอัดไม่เพียงพอ

## 10.1 ข้อเสนอแนะ

การทำ Project ในครั้งนี้ เราพบปัญหาบางประการที่ทำให้ผลการทดลองอาจมีความคลาดเคลื่อน (Error) เกิดขึ้น ซึ่งปัญหาหลักก็คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดไม่เหมาะสม อย่างเช่น การใช้โคนาโมมิเตอร์ที่มีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้การปรับโพลคของเครื่องชนิดก่อนข้างลำบาก และไม่สามารถวัดค่าในช่วงความเร็วรอบต่ำกว่า 1000 rpm ได้ และอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศเข้าเครื่องชนิดหรือเรียกว่า Orifice ซึ่ง Orifice ที่เราใช้นั้นมีขนาดที่ใหญ่เกินไป ทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ใช่ค่าที่แท้จริง จะสังเกตเห็นได้จากค่าประสิทธิภาพการดูดของเครื่องชนิด (ดูจากตารางในบทที่ 5) มีค่าที่ต่ำมากกว่า ซึ่งจริงๆแล้ว มันไม่ควรที่จะต่ำกว่า 50% แต่ที่เราแสดงให้ดูก็เพื่อให้เห็นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเท่านั้น ถ้ามีการผิดพลาดประการใดก็ขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ในเรื่องของซูเปอร์ที่เราใช้นั้นก็ยังมีความถี่ที่สูงเกินไป ทำให้ความดันที่ใช้วัดค่าที่วัดได้จึงออกมาไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นถ้าเราใช้ซูเปอร์ซาร์จที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะสามารถเห็นผลที่ชัดเจนขึ้น



## เอกสารอ้างอิง

ประจต กุลประสูตร. 2538. เครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีน ดีเซล และแก๊สเหลว. พิมพ์ครั้งที่ 3.

กรุงเทพมหานคร : บริษัท ประชาชน จำกัด.

หยาบ รับศิริ. 2538. เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน. กรุงเทพมหานคร : ฟิสิกส์ เซนเตอร์ การพิมพ์

พงศ์ศักดิ์ วรสุนทรโรสถ และ โคอิชิ ซึคะ. 2518. เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว. Tokyo Japan : Kinmei

Printing co, ltd.

ปราโมทย์ อ่อนประไพ. 2535. เทคโนโลยีเครื่องยนต์ดีเซล. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น

จำกัด

จ่านง ถนอม และ อุดม ล้อมวงศ์พานิช. 2535. เทคโนโลยีดีเซล. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ด

ยูเคชั่น จำกัด

John B. Heywood. 1988. Internal Combustion Engine. Singapore : McGraw Hill ,INC

Schulz / Evridge. 1989. Diesel Mechanics. 3<sup>rd</sup> edition. Singapore : McGraw Hill ,INC

Heinz Heisler. 1995. Advanced Engine Technology. Great Britain : Edward Arnold , a division

of Hodder Headline PLC

เบงคิจิ โมริยามา ( Benkichi Moriyama ). 2538. เทคนิคเครื่องมือวัดเชิงกล. แปลจาก Measuring

Tools Fundamental and Applications. โดย ดร.ปรีทรรศน์ พันธุ์บรรยงก์ ดร.ประสงค์ ศรี

เจริญชัย. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพ : บริษัท ดวงกลมสมัช จำกัด