



ปีการศึกษา 2531

Engine Test

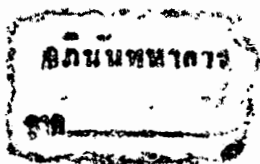
โดย

นาย เจริญ ปิ่นชมพูผลแสง

นาย เฉลิมรัฐ จิยะทัณฑ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. อัครเดช ลิ้มภักดิ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึง 023183 -9.ค.ศ. 2532

ปริญญาโทปีการศึกษา 2531

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง Engine Test

ผู้จัดทำ

นาย เจริญ ปิ่นชนนแสง

นาย เฉลิมรัฐ จิระพันธ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อัครเดช สินธุภัค)

Engine Test

นาย เจริญ ปิ่นชุ่มผลแสง

นาย เฉลิมรัฐ จีระพันธ์

ผศ. อัครเดช สิ้นธุภาค อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2531

บทคัดย่อ

ปริญาณีนพนธ์ฉบับนี้ เรียบเรียงขึ้นเพื่อแสดงผลการปรับปรุงและซ่อมแซมเครื่องมือวัดและทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล เพื่อให้ใช้งาน ได้และสามารถศึกษาทำการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ต่อไป โดยเป็นการปรับปรุงและซ่อมแซมใน ส่วนของเครื่องยนต์ให้พร้อมที่จะทดสอบเท่านั้น สำหรับในส่วนของวงจรถวลีเลคทรอนิกส์ซึ่งใช้การไม่ได้จะต้องทำการปรับปรุงใหม่ทั้งหมดต่อไป นอกจากนี้ยังแสดงรายละเอียดของเครื่องมือรวมทั้ง ทฤษฎีและสูตรที่นำมาใช้คำนวณหาค่าซึ่งแสดงถึงสมรรถนะเครื่องยนต์ โดยข้อมูลจะ ได้มาจากผล การทดสอบเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENGINE TEST

CHAREON PINCHUMPHOLSANG

CHALERMHAT JEEYAPUN

ASSISTANT PROFESSOR AKKRADECH SINDHUPHAK ADVISOR

ACADEMIC YEAR 1988

ABSTRACT

This project compiled up to show the result of the reparation of a engine test unit. The engine test unit is located in the Department of Mechanical Engineering. It has been used to find the engine's performance. At this stage, only its mechanical parts were repaired. Because of very much failure in electronic parts, a new curcuit has to be designed in the future. The project also shows theories and formulas which are used to calculate engine's performance. The data for calculation are obtained from engine test laboratory.

สารบัญ

1. บทนำ	1
2. ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 การทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ	2
2.2 ความหมายที่ควรทราบ	6
2.3 เครื่องยนต์ระบายความร้อนด้วยอากาศ	8
2.4 ทฤษฎีการวัดและการทดสอบเครื่องยนต์	8
3. การคำนวณและการสร้าง	
3.1 การคำนวณ	14
3.2 การตรวจสอบและซ่อมเครื่องยนต์	16
4. การทดลอง	17
5. บทวิจารณ์และสรุป	19
กิตติกรรมประกาศ	20 -
หนังสืออ้างอิง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 ลำดับการทำงานเมื่อเวลาข้อเหวี่ยงหมุนไปครบ 1 รอบ และลูกสูบเคลื่อนที่จากด้าน บนลงมายังด้านล่างและกลับขึ้นไปด้านบนอีกครั้งหนึ่ง	2
รูปที่ 2 ในระหว่างจังหวะดูด ลิ้นไอดีเปิดและลูกสูบเลื่อนลงดึงดูดไอดีเข้าไปในกระบอกสูบ	3
รูปที่ 3 จังหวะอัดลิ้นไอดีปิด ลิ้นไอเสียยังคงเปิดอยู่ ลูกสูบเลื่อนขึ้นอัดไอดีให้มีปริมาตรเล็กลง	4
รูปที่ 4 จังหวะระเบิด ระบบจุดระเบิดส่งประกายไฟไปให้หัวเทียน เกิดการสปาร์คที่หัวเทียนจุด ไอดีที่ถูกอัดตัวให้ลุกไหม้ เกิดความดันสูงผลักดันลูกสูบให้เลื่อนลง	5
รูปที่ 5 จังหวะคาย เริ่มจากลูกสูบเลื่อนลงในจังหวะระเบิดก่อนถึง ศูนย์ตายล่างประมาณ 48 องศา ลิ้นไอเสียเริ่มเปิดให้แกสไอเสียออก ลูกสูบเลื่อนลงเรื่อย ๆ จนผ่านศูนย์ตายล่าง ลูกสูบเริ่มเลื่อนขึ้น (ลิ้นไอเสียยังคงเปิดอยู่) ขับไล่แกสไอเสียออกจากกระบอกสูบ จนกระทั่งลูกสูบถึงศูนย์ตายบน จากนั้นเริ่มกลวัตรใหม่ต่อไป	6
รูปที่ 6 ความโต (Bore) และระยะชัก (Stroke) ของกระบอกสูบ	7
รูปที่ 7 อัตราส่วนการอัดในกระบอกสูบ (C.R.)	7
รูปที่ 8 เครื่องมือวัดอากาศโดยให้ถึงลม	10
รูปที่ 9 แสดงเครื่องมือวัดและทดสอบสมรรถนะ	18

บทที่ 1

บทนำ

การปรับปรุงและซ่อมแซม เครื่องมือวัดและทดสอบ เครื่องยนต์ของภาควิชา
วิศวกรรมเครื่องกล ในครั้งนี้ กระทำเพื่อนำเครื่องมือนี้ซึ่งว่างเว้นการใช้งานมานานมาใช้งานเพื่อ
ใช้วัดและทดสอบหาข้อมูลแสดงสมรรถนะ เครื่องยนต์

ซึ่งในบทที่ 2 จะแสดงทฤษฎีและหลักการในการหาค่าต่าง ๆ ที่แสดง
สมรรถนะ เครื่องยนต์

บทที่ 3 แสดงการซ่อมแซมในส่วนของเครื่องยนต์ที่จะทำการทดสอบ

บทที่ 4 แสดงสิ่งที่ต้องการหาเพื่อนำมาคำนวณ โดยค่าเหล่านี้ได้มาจากการ
ทดสอบโดยเครื่องมือนี้

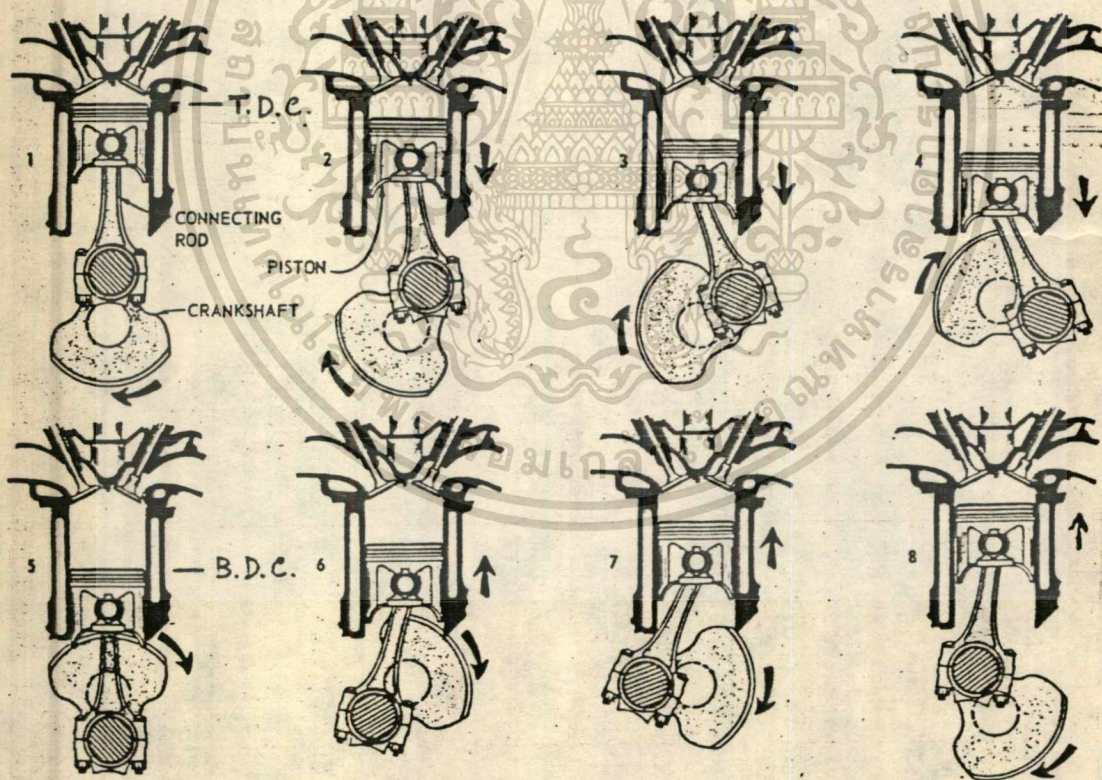
บทที่ 5 แสดงข้อขัดข้องในการปรับปรุงและซ่อมแซม เครื่องมือนี้และ ได้เสนอ
แนวทางเพื่อการปรับปรุงและซ่อมแซม เพื่อใช้งาน ได้สมบูรณ์ต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ (Engine operation)

อาการที่เกิดขึ้นในระบบสูบเครื่องยนต์แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนหรือ 4 จังหวะ (Strokes) คำว่า "จังหวะ" หมายถึงการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ซึ่งจำกัดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นได้สูงสุด (ตำแหน่งที่ 1 ของรูปที่ 1) เรียกว่า จุดศูนย์ตายบน (Top dead center or TDC) ซึ่งจำกัดที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงได้ต่ำสุด (ตำแหน่งที่ 5 ของรูปที่ 1) เรียกว่า จุดศูนย์ตายล่าง (Bottom dead center or BDC) จังหวะคือการเคลื่อนที่ของลูกสูบจากศูนย์ตายบนถึงศูนย์ตายล่าง หรือจากศูนย์ตายล่างถึงศูนย์ตายบน



รูปที่ 1 ลำดับการทำงานเมื่อเพลาช้อเหวี่ยงหมุนไปครบ 1 รอบและลูกสูบเคลื่อนที่จากด้านบนลงมายังด้านล่างและกลับขึ้นไปด้านบนอีกครั้งหนึ่ง

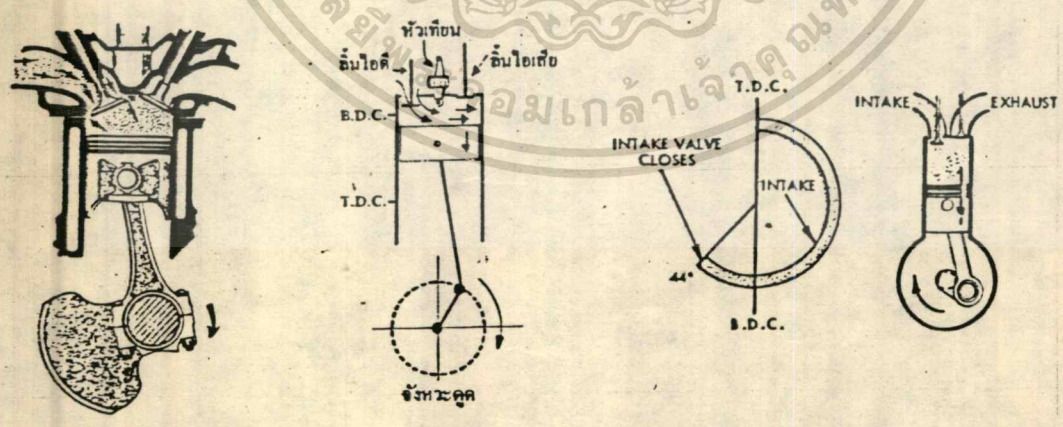
เอเจนซีการพิมพ์และกระจายเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกลวัตร (Cycle) ของการทำงานในกระบอกสูบต้องการจังหวะการทำงาน 4 จังหวะ (หรือเพลาคือเหวี่ยงหมุนไป 2 รอบ) เครื่องยนต์นี้เรียกว่า "เครื่องยนต์ 4 จังหวะ" (Four-stroke-cycle engine) ได้แก่ จังหวะดูด อัด ระเบิด และ คาย

2.1.1 จังหวะดูด (Suction or intake stroke)

จังหวะนี้ความดันบรรยากาศจะดันส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศ (ไอดี) เข้าไปในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ เมื่อลูกสูบเลื่อนลงทำให้ปริมาตรภายในกระบอกสูบเพิ่มขึ้น จากผลนี้ทำให้อากาศภายในกระบอกสูบจางลง ดังนั้นความดันภายในกระบอกสูบจึงต่ำกว่าความดันบรรยากาศภายนอกกระบอกสูบ ถ้ามีรูหรือช่องทางเปิดในกระบอกสูบความดันภายนอกจะดันอากาศเข้าไปในกระบอกสูบจนกระทั่งความดันภายในกระบอกสูบเท่ากับความดันภายนอกหรือความดันบรรยากาศ ลิ่มไอดีของกระบอกสูบเมื่อถูกเปิดด้วยกลไกกลันจะมีสภาพเหมือนกับรูหรือช่องทางเปิดดังกล่าว

ส่วนผสมของน้ำมันกับอากาศหรือ ไอดีที่เข้าไปในกระบอกสูบนี้เกิดขึ้นโดยจังหวะดูดของลูกสูบ จังหวะนี้เป็นจังหวะแรกของเครื่องยนต์ดังรูปที่ 2



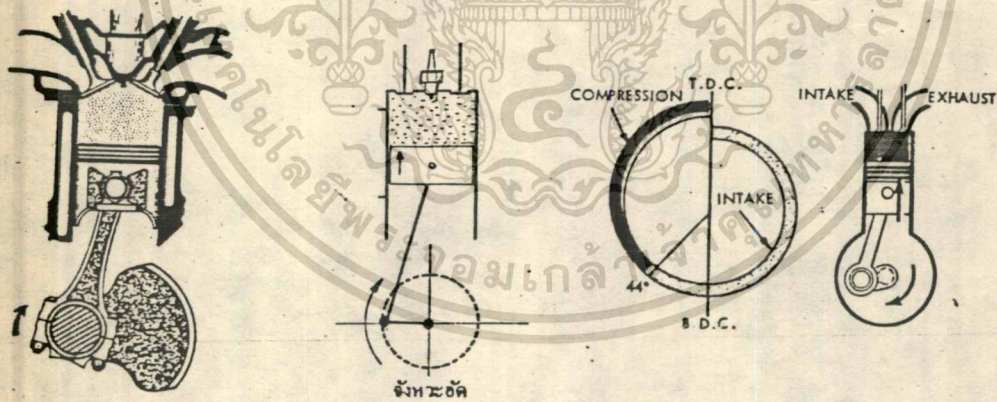
รูปที่ 2 ในระหว่างจังหวะดูด ลิ้นไอดีเปิดและลูกสูบเลื่อนลงดึงดูดไอดีเข้าไปในกระบอกสูบ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จังหวะดูด เริ่มต้นจากลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน (TDC) เมื่อลูกสูบเริ่มเคลื่อนลงในจังหวะดูด ทำให้ในกระบอกสูบเกิดเป็นสุญญากาศ (ความดันต่ำกว่า 14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว) ความดันบรรยากาศภายนอกกระบอกสูบจึงสูงกว่าภายในกระบอกสูบ ด้วยเหตุนี้อากาศจึงเริ่มต้นเคลื่อนที่เข้าไปในกระบอกสูบ โดยครั้งแรกอากาศจะผ่านอุปกรณ์ผสมน้ำมันกับอากาศหรือคาร์บูเรเตอร์แล้วผสมกับเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่เหมาะสมเป็นไอดี ไอดีนี้จะไหลผ่านท่อไอดี (Intake manifold) ซึ่งต่ออยู่ระหว่างคาร์บูเรเตอร์กับกระบอกสูบเข้าไปในกระบอกสูบ

เมื่อลูกสูบเคลื่อนลงถึงศูนย์ตายล่าง (BDC) ความดันภายในกระบอกสูบยังคงต่ำกว่าความดันของบรรยากาศภายนอก ดังนั้น ไอดียังคงเข้าบรรจุในกระบอกสูบต่อไปแม้ว่าลูกสูบจะเคลื่อนผ่านศูนย์ตายล่างไปแล้วและเริ่มเคลื่อนขึ้น ในจังหวะอัดจนกระทั่งกันสูบทำมุมประมาณ 44 องศาหลังศูนย์ตายล่าง ที่จุดนี้ลูกสูบบีบให้สิ้น ไอดีปิดสนิท

สรุป ในจังหวะดูด ลูกสูบเคลื่อนลง ลิ้นไอดีเปิด ลิ้นไอเสียปิด
 2.1.2 จังหวะอัด (Compression stroke)



รูปที่ 3 จังหวะอัดลิ้นไอดีปิด ลิ้นไอเสียยังคงเปิดอยู่ ลูกสูบเคลื่อนขึ้นอัดไอดีให้มีปริมาตรเล็กลง

รูปที่ 3 จังหวะอัดนี้เกิดขึ้นต่อจากจังหวะดูดทันทีในจังหวะนี้ลูกสูบเคลื่อนขึ้นลิ้นไอดีเปิด ลิ้นไอเสียยังคงเปิดอยู่ ไอดีถูกกักอยู่ภายในกระบอกสูบ เมื่อลูกสูบเคลื่อนขึ้นจะอัดไอดีขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนขึ้นถึงจุดศูนย์ตายบน ไอดีจะถูกอัดให้เหลือปริมาตรเพียง 1/7

ของปริมาตรเดิม หรือเล็กกว่านี้อีก การอัดตัวของไอดีนี้ทำให้ความดันในกระบอกสูบเพิ่มขึ้น หรือไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

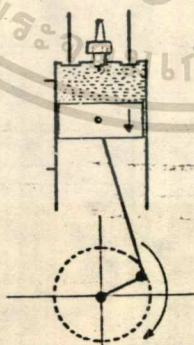
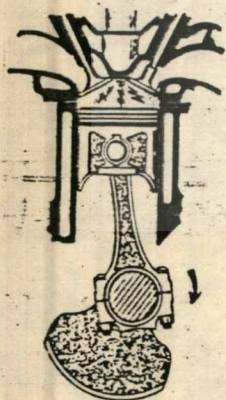
กล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า โมเลกุลที่ประกบกันขึ้นเป็นไอศุกผลักกันให้ใกล้ชิดกันมากขึ้นดังนั้น โมเลกุลนี้จึงชนกับผนังกระบอกสูบและหัวลูกสูบรุนแรงขึ้น นั่นคือความดันเพิ่มขึ้นเมื่อ โมเลกุลยิ่งถูกตีให้ชิดกันมากขึ้นจะปะทะซึ่งกันและกันด้วยความถี่เพิ่มขึ้นทำให้มันเคลื่อนที่เร็วขึ้น ซึ่งเราทราบแล้วว่าการเคลื่อนที่เร็วขึ้นอุณหภูมิย่อมสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อ ไอศุกถูกอัดตัวนอกจากจะทำให้ความดันในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นแล้วยังทำให้อุณหภูมิของ ไอศุกสูงขึ้นด้วย

สรุป ในจังหวะอัด ลูกสูบเลื่อนขึ้น ลิ้นไอดีเปิด ลิ้นไอเสียปิด

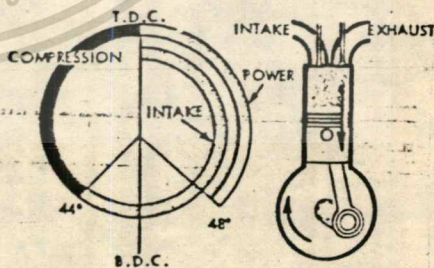
2.1.3 จังหวะระเบิดหรือจังหวะกำลัง (Power or expansion stroke)

รูปที่ 4 ในจังหวะนี้ลิ้นทั้งสองปิดเมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นเกือบถึงศูนย์ตายบนในจังหวะอัด ไอศุกจะถูกอัดตัวจนกระทั่งมีความดันประมาณ 125 ปอนด์/ตารางนิ้ว ไอศุกจะถูกจุดให้ลุกไหม้ด้วยหัวเทียน (Spark plug) การเผาไหม้ทำให้เกิดความดันสูงถึงประมาณ 800 ปอนด์/ตารางนิ้ว กำลังดันนี้จะถ่ายทอดสู่ลูกสูบและส่งผ่านก้านสูบไปยังข้อเหวี่ยงและเพลาคือเหวี่ยง ทำให้เพลาคือเหวี่ยงหมุนไปได้และสามารถขับเคลื่อนรถยนต์กับความดันที่ภายนอก รวมทั้งสะสมพลังงานไว้ในล้อช่วยแรง (Flywheel) เพื่อใช้ในจังหวะดูด อัด คาย ต่อไป

สรุป จังหวะระเบิด ลูกสูบเลื่อนลง ลิ้นไอดีและลิ้นไอเสียปิด



จังหวะงาน

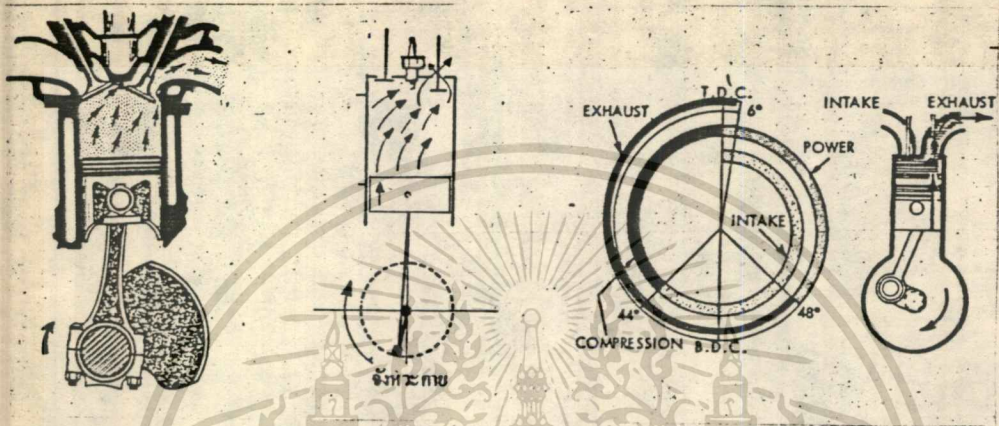


รูปที่ 4 จังหวะระเบิด ระบบจุดระเบิดส่งประกายไฟไปให้หัวเทียน เกิดการสปาร์คที่เชื้อว

เอกสารนี้เป็น หัวเทียนจุด ไอศุกที่ถูกอัดตัว ให้ลุกไหม้เกิดความดันสูงผลักดันลูกสูบให้เลื่อนลง ระเบียบขั้นตอนการคำนวณว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 จังหวะคาย (Exhaust stroke)

รูปที่ 5 เมื่อลูกสูบเลื่อนลงจนเกือบถึงศูนย์ตายล่าง ลิ้นไอเสียเปิดเพื่อลดความดันแกสไอเสียภายในกระบอกสูบและเมื่อลูกสูบเลื่อนลงจนถึงศูนย์ตายล่างก็จะเลื่อนขึ้นเพื่อขับไล่อไอเสียซึ่งเป็นการคายไอเสียที่ความดันคงที่



รูปที่ 5 จังหวะคาย เริ่มจากลูกสูบเลื่อนลงในจังหวะระเบิดก่อนถึงศูนย์ตายล่างประมาณ 48 องศา ลิ้นไอเสียเริ่มเปิดให้แกสไอเสียออก ลูกสูบเลื่อนลงเรื่อยๆ จนผ่านศูนย์ตายล่าง ลูกสูบเริ่มเลื่อนขึ้น (ลิ้นไอเสียยังคงเปิดอยู่) ขับไล่นแกสไอเสียออกจากกระบอกสูบ จนกระทั่งลูกสูบขึ้นถึงศูนย์ตายบน จากนั้นเริ่มกลวัตรใหม่ต่อไป

2.2 ความหมายที่ควรรทราบ

2.2.1 ความโตของกระบอกสูบและระยะชัก (Bore and Stroke)

ความโตของกระบอกสูบ (Bore or diameter) เป็นการบอกขนาดของกระบอกสูบ เครื่องยนต์และระยะชัก (Stroke or distance) คือระยะจากศูนย์ตายล่างถึงศูนย์ตายบน ดังรูปที่ 6

2.2.2 ความจุของกระบอกสูบ (Piston displacement = V_d)

คือปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายล่างถึงศูนย์ตายบน

$$\text{สูตร } V_d = (3.1416 * D^2 * L) / 4$$

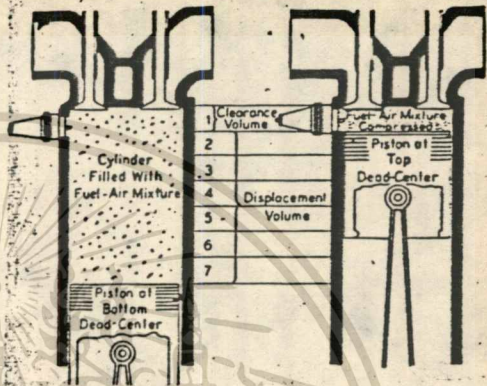
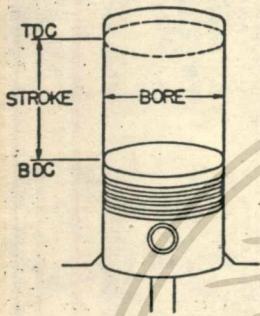
โดยที่ D = ความโตของกระบอกสูบ (Bore)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 L = ระยะชัก (Stroke)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 อัตราส่วนการอัดในกระบอกสูบ (Compression ratio=C.R.)

คืออัตราส่วนระหว่างปริมาตรในกระบอกสูบเมื่อลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายล่าง

(Cylinder volume) ต่อปริมาตรในกระบอกสูบเมื่อลูกสูบอยู่ที่ศูนย์ตายบน (Clearance volume = V_c) ดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 ความโต (Bore) และระยะชัก (Stroke) ของกระบอกสูบ

รูปที่ 7 อัตราส่วนการอัดในกระบอกสูบ (C.R.)

เนื่องจากปริมาตรของกระบอกสูบ

คือปริมาตรที่ลูกสูบแทนที่

(Displacement volume = V_d) รวมกับปริมาตรของช่องว่าง (Clearance volume = V_c)

สูตร $C.R. = (V_c + V_d) / V_d$

2.2.4 กำลังม้าอินดิเคต (Indicated Horse Power = IHP)

หมายถึงกำลังงานที่วัดได้จากเครื่องชนิด โดยยังไม่หักพลังงานที่สูญเสียไปใน

ทางต่าง ๆ มีหน่วยเป็นแรงม้า หรือเป็นกิโลวัตต์

2.2.5 กำลังม้าเบรค (Brake Horse Power = BHP)

หมายถึงกำลังงานที่วัดได้ที่เพลลาออก นั่นคือกำลังม้าอินดิเคตที่หักกำลังงาน

ที่สูญเสียไปภายในเครื่องชนิดแล้ว มีหน่วยเป็นแรงม้า หรือเป็นกิโลวัตต์

2.2.6 แรงบิด (Torque) หมายถึงแรงที่พยายามจะหมุนหรือบิดที่เครื่องชนิด

ใช้ผ่านเพลลาข้อเหวี่ยง แรงผลักดันบนลูกสูบซึ่งมากเท่าไรแรงบิดก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น มีหน่วยเป็น

2.3 เครื่องยนต์ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-cooled engine)

เครื่องยนต์แบบนี้ตรงบริเวณรอบ ๆ ระบายออกสู่และฝาสูบจะทำเป็นครีบริบ (Fins or ribs) เพื่อให้พื้นที่ถ่ายเทความร้อนกับอากาศได้มาก ความร้อนจากกระบอกสูบจะกระจายอยู่ตามบริเวณครีบริบเหล่านี้แล้วถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่มาสัมผัสอีกต่อหนึ่ง

เครื่องยนต์ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศนี้ อาศัยหลักการง่าย ๆ ที่ว่าอากาศโดยรอบจะเย็นกว่าที่ตัวเครื่องยนต์ ดังนั้นเมื่อทำให้อากาศเกิดการหมุนเวียนแล้วส่งผ่านครีบริบเหล่านี้ก็จะระบายความร้อนได้ การส่งอากาศทำได้โดยใช้พัดลม (Fan or blower)

เครื่องยนต์ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศจะมีอุณหภูมิสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ ดังนั้นช่องว่างระหว่างชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่จะต้องจัดไว้ให้พอเหมาะเพื่อป้องกันการขยายตัว นอกจากนี้น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้จะต้องมีความหนืดสูงกว่าที่ใช้ตามปกติ

การระบายความร้อนด้วยอากาศมีส่วนสำคัญดังนี้คือ

1. สร้างให้เหลือพื้นที่ถ่ายเทกับอากาศได้มาก โดยทำเป็นครีบริบที่ระบายออกสู่และฝาสูบ เพื่อให้ความร้อนจากกระบอกสูบกระจายอยู่ตามบริเวณครีบริบ
2. สร้างลิ้นไอเสียให้มีขนาดใหญ่ หรือหลายอัน เพื่อให้แก๊สไอเสียออกได้เร็ว เนื่องจากแก๊สที่เผาไหม้แล้วยังมีความร้อนสูงมาก
3. ทำให้เครื่องยนต์มีความเร็วในการเคลื่อนที่สูง เพื่อให้อากาศผ่านมาสัมผัสและพาความร้อนไปอย่างรวดเร็ว
4. ติดพัดลมเพื่อส่งอากาศผ่านระบายความร้อนเครื่องยนต์

2.4 ทฤษฎีการวัดและการทดสอบเครื่องยนต์

2.4.1 การวัดความเร็วรอบ

ความเร็วของเครื่องยนต์วัดเป็นจำนวนรอบต่อหนึ่งหน่วยเวลา เครื่องมือที่ใช้วัดรอบเรียกว่า แทคโคมิเตอร์ (Tachometer) กลไกภายในอาจเป็นทางกลหรือทางไฟฟ้าก็ได้ แทคโคมิเตอร์ทางไฟฟ้าที่นิยมใช้กันมากประกอบด้วย แม่เหล็กถาวรและโวลต์มิเตอร์ เข็มจะชี้ที่ตัวเลขมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วรอบที่ชดลวดตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้ค่าที่ได้ผิดไปได้เหมือนกัน ความถูกต้องของเครื่องมือชนิดนี้ไม่มากนัก มีเครื่องมือวัดความเร็วรอบการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อีกชนิดหนึ่งเรียกว่า แมกเนติก-พิกอัพ (Magnetic-pick up) เครื่องวัดชนิดนี้จะมีพื้นหรือร่องติดอยู่บนเพลลาหรือส่วนที่หมุน เช่น ล้อศูนย์กลาง ทุก ๆ รอบที่ร่องนี้ผ่านแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงกระตุ้น และจะไปปรากฏบนหน้าปัด บอกค่าเป็นจำนวนรอบต่อหนึ่งหน่วยเวลา

2.4.2 การวัดความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ควรวัดเป็นน้ำหนัก กล่าวคือ เอนาภาชนะที่ใส่น้ำมันตั้งบนตาชั่ง อ่านน้ำหนักของน้ำมันและภาชนะก่อนใช้ เมื่อจบการทดลองแล้ว อ่านค่าของน้ำมันที่เหลือบนตาชั่งอีกครั้งหนึ่ง ผลต่างของการอ่านทั้งสองครั้งนี้คือ ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ แต่ในทางปฏิบัติวัดเป็นปริมาตร แล้วเอาความถ่วงจำเพาะของน้ำมันคูณกับปริมาตร จะได้ความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง โดยมีหน่วยเป็นน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยเวลาเช่นเดียวกัน

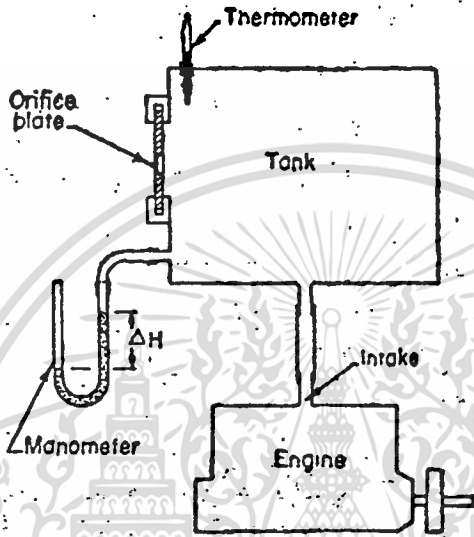
2.4.3 การวัดความสิ้นเปลืองอากาศ

ตัวกำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์ คือ อากาศเพราะเครื่องยนต์หนึ่ง ๆ มีปริมาตรแทนที่จำกัด ปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่ที่ว่าอากาศจะมีพอกับการเผาไหม้หรือไม่ ขณะที่อากาศถูกดูดเข้าไปในเครื่อง การไหลของอากาศมักจะ ไม่ราบเรียบ เป็นคลื่นและสับสนได้เมื่อถูกอัด การวัดการไหลของอากาศโดยตรงจะทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่แน่นอนเท่าที่ควร ดังนั้น การวัดจึงควรทำให้ความดันของอากาศที่ไหลสม่ำเสมอเสียก่อน เครื่องมือที่ทำให้ความดันของอากาศที่ไหลสม่ำเสมอได้แก่ ถังลม

การวัดความสิ้นเปลืองอากาศโดยใช้ถังลม ประกอบด้วย ถังลมขนาดใหญ่ ถ้าเป็นเครื่องยนต์สูบเดี่ยว ถังลมนั้นควรจะมีจุ 500-600 เท่าของปริมาตรแทนที่ของเครื่องยนต์ ถ้าเป็นเครื่องยนต์หลายสูบ ตัวเลขนี้ก็ลดลงได้ตามส่วน มานอร์มิเตอร์มีไว้สำหรับวัดความแตกต่างของความดัน เทอร์โมมิเตอร์มีไว้สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศในถัง และแผ่นออริฟิซ (Orifice plates) เป็นแผ่นที่มีรูจำกัดให้อากาศผ่าน แต่ละแผ่นมีรูขนาดต่าง ๆ กันคิดไว้เพื่อจะได้เลือกใช้ได้ตามต้องการ

อากาศจะผ่านช่องทางนี้เข้ามาอยู่ในถัง แล้วจะถูกดูดเข้าเครื่อง อากาศที่เข้ามาพักในถังนี้จะลดการเป็นคลื่นลง มานอร์มิเตอร์จะวัดสภาวะอากาศหรือความดันต่างในถัง ถ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร 023183

เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศมาก ความดันต่างก็มากด้วย อย่างไรก็ตาม ความดันนี้ไม่ควรเกิน 10 เซนติเมตรของน้ำ เพราะถ้าเกินแล้วจะทำให้อากาศหดตัวมากเกินไป และจะไปกระทบกระเทือนต่อประสิทธิภาพทางปริมาตรของเครื่องวัด



รูปที่ 8 เครื่องวัดอากาศโดยใช้ถังลม

ความเร็วของอากาศที่ขยายตัวได้อย่างอิสระจากจุดอยู่กับที่ภายใต้ความแตกต่างของความดันโดยมีความหนาแน่นเท่ากันตลอด จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta P = (\rho \cdot \bar{V}^2) / 2 \quad \text{----- (1)}$$

เมื่อ ΔP = ความดันต่าง N/m^2

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ kg/m^3

\bar{V} = ความเร็ว m/sec

ถ้าความดันต่างวัดเป็น ซม. ของน้ำ โดย 1 ซม. ของน้ำ = $98.1 N/m^2$

สมการ (1) จะเปลี่ยนมาเป็น

$$98.1 h = (\rho \cdot \bar{V}^2) / 2 \quad \text{----- (2)}$$

เมื่อ h = ความดันของน้ำหน่วยเป็น ซม.

$$\rho = (10^3 * P) / (R * T) \quad \text{-----} \quad (3)$$

เมื่อ P = ความดันของบรรยากาศ kN/m^2

T = อุณหภูมิของอากาศ $^{\circ}\text{K}$

R = ค่าคงที่ของอากาศ = 287 J/kg.K

เอาสมการ (1) และ (2) รวมกันจะได้

$$V = 237.3 \sqrt{(h * T) / (10^3 * P)} \quad \text{-----} \quad (4)$$

อัตราการไหลของอากาศคิดเป็นปริมาตร จะได้

$$V = 10^{-3} * (\pi D^2 / 4) * K_3 * \sqrt{(h * T) / (10^3 * P)} \quad \text{-----} \quad (5)$$

เมื่อ V = อัตราการไหลของอากาศคิดเป็น ลิตร/วินาที

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องทางอากาศผ่านคิดเป็น มิลลิเมตร

K_3 = สัมประสิทธิ์แห่งการไหลของช่องทาง

อัตราการไหลของอากาศคิดเป็นมวล จากสมการ (3) และ (5)

$$\dot{m} = 10^{-6} * (\pi D^2 / 4) * K_3 * 0.827 \sqrt{(h * P) / T * 10^3} \quad \text{---} \quad (6)$$

เมื่อ \dot{m} = มวลของอากาศคิดเป็น กิโลกรัม/วินาที

ถ้ารูที่อากาศผ่านเป็นมุมคม ค่าสัมประสิทธิ์แห่งการไหลจะประมาณ 0.6 ฉะนั้น

สมการ (5) จะเป็น

$$V = 0.003536 * D^2 \sqrt{(h * T) / P} \quad \text{-----} \quad (7)$$

และสมการ (6) จะเป็น

$$\dot{m} = 0.00001232 * D^2 \sqrt{(h * P) / T} \quad \text{-----} \quad (8)$$

ความสิ้นเปลืองของอากาศอาจคิดจาก

$$V = \eta_v * (V_D * \rho) / (K_2 * 60) \quad \text{-----} \quad (9)$$

เมื่อ K_2 = ค่าคงที่

= 1 สำหรับเครื่องยนต์ 2 จังหวะ

= 2 สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 V_D = ปริมาตรแทนที่ คิดเป็น ลิตร
 ไม่ว่าจะตีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n = \text{จำนวนรอบ/นาที}$$

สมการ (9) อาจเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\eta_v = (60 * K_2 * V) / (n * V_D) \quad \text{----- (10)}$$

เพื่อที่จะช่วยให้เลือกขนาดของรูอากาศผ่าน (Orifice) ได้ใกล้เคียงและรวดเร็วขึ้น ตารางข้างล่างนี้จะให้อัตราการไหลของอากาศโดยประมาณตามขนาดของรูภายใต้สภาวะมาตรฐานคือ $h = 10$ ซม. , $T = 293$ K , $P = 100$ kN/m²

ขนาดของรู (มิลลิเมตร)	ปริมาตรของอากาศ (ลิตร/วินาที)	มวลของอากาศ (กิโลกรัม/วินาที)
10	2	0.002
20	8	0.009
40	31	0.036
60	69	0.082
80	122	0.150
100	190	0.230

หมายเหตุ ถ้าความเร็วของเครื่องในช่วงของการทดลองเปลี่ยนแปลงเกิน 2:1 ควรจะใช้รูอากาศผ่านที่มีขนาดต่างกัน 2 หรือ 3 ขนาดถ้าใช้รูอากาศขนาดใหญ่ตลอดการทดลองจริงอยู่ที่ความเร็วสูง ๆ ให้ค่าถูกต้องดี แต่ที่ความเร็วต่ำ ๆ ค่าของความดันที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์จะไม่ค่อยถูกต้องนัก ทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้

การหาปริมาตรของถังลม

โดยทั่ว ๆ ไป ถังลมควรจะมีปริมาตรให้มากที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้อากาศมีความหนาแน่นสม่ำเสมอ และราบเรียบไม่เป็นคลื่น แต่ก็มีปัญหาเรื่องการเกาะเกาะ กินเนื้อที่ และราคา

เครื่องชนิดใหญ่ เครื่องชนิดรอบเช้า และเครื่องชนิดที่มีจำนวนสลับน้อย ถังลมจะต้องใหญ่ขึ้น ดังนั้นไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงควรมีหลักเกณฑ์กำหนดขนาดของถังลมขึ้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพิจารณา Kastner ได้ให้
สูตรสำหรับหาปริมาตรถังลมไว้ดังนี้

$$V_B = (4.18 \cdot 10^2 \cdot D^4 \cdot K_2^2) / (n^2 \cdot N \cdot V_D) \quad \text{----- (11)}$$

V_B = ปริมาตรของถังลม คิดเป็น ลิตร

N = จำนวนกระบอกสูบ

n = จำนวนรอบ/นาทีของเครื่องชนิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง3.1 การคำนวณ

การวัดและการทดสอบเครื่องยนต์ มีความจำเป็นสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบเพื่อที่จะได้ปรับปรุงการออกแบบให้เหมาะสมยิ่งขึ้นไป และเพื่อที่จะประเมินค่า หรือ วิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์ การวัดและการทดสอบขั้นพื้นฐานจึงเป็นการคำนวณหาสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เครื่องมือทดลอง	Engine Test Unit
รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ	
เครื่องยนต์เบนซิน สูบเดี่ยว 4 จังหวะปรับ	Compression ratio ได้ 3 ค่า
เส้นผ่าศูนย์กลางของลูกสูบ	60.33 มม.
ระยะชัก (Stroke)	44.45 มม.
Swept Volume	127 ซม. ³
อัตราส่วนการอัด (Compression ratio)	4:1, 5:1 และ 6:1

3.1.1 กำลังม้าเบรค (Brake Horse Power = BHP)

$$\text{BHP} = (2 * n * T) / (75 * 9.81) \quad \text{-----} \quad (3.1)$$

n = จำนวนรอบของเครื่องยนต์/วินาที

T = แรงบิด (Torque) N-m

3.1.2 การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Consumption = \dot{m}_f)

ให้ x = เวลาที่เครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงจำนวน 10 ซม.³

$$\dot{m}_f = (10 * \rho_f * 3600) / (x * \text{BHP} * 100_g)$$

$$\text{เมื่อ } \rho_f = \rho_w * S_f = 10^3 * 0.68 \quad \text{Kg/m}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= (24.48)/(x*BHP) \quad \text{----- (3.2)}$$

เมื่อ \dot{m}_f มีหน่วยเป็น $\text{kg}_f/(\text{Bhp-hr})$

3.1.3 การสิ้นเปลืองอากาศ (Air Consumption = \dot{m}_a)

$$\dot{m}_a = (\rho_a * Q)/BHP$$

$$Q = \text{air flow} = K\sqrt{h} * 3600 \text{ หน่วยเป็น } \text{m}^3/\text{hr}$$

$$K = \text{ค่าคงที่} = 2.3 * 10^{-4}$$

$$h = \text{Pressure drop across the crifice หน่วยเป็น มม.}$$

ของน้ำ

$$\rho_a = \text{ความหนาแน่นของอากาศ หน่วยเป็น } \text{Kg}/\text{m}^3$$

$$\dot{m}_a = (\rho_a * K\sqrt{h} * 3600)/BHP \quad \text{----- (3.3)}$$

เมื่อ \dot{m}_a มีหน่วยเป็น $\text{Kg}_f/(\text{BHP-hr})$

3.1.4 ปริมาตรถังลม (Volume of air box = V_0)

การหาขนาดของถังลมจำเป็นจะต้องสร้างให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะมันมีผลต่อขนาดและลักษณะอื่น ๆ ของเครื่องยนต์หากว่าการไหลของอากาศผ่าน orifice สม่่าเสมอเพียงพอจะทำให้อ่านค่าความแตกต่างของความดันของ orifice ได้แน่นอนและถูกต้อง

การวิเคราะห์ของ Kastner, Proa, I, Mech.E, "The Air box Method of Measuring Air Consumption" 1947, vol 157, P.367 ใช้สูตรสำหรับ เครื่องยนต์ 4 จังหวะดังนี้

$$V_0 = (0.375 * 10^9 * d^4 * A^2)/(N^2 * \rho * v) \quad \text{----- (3.4)}$$

$$V_0 = \text{Volume of air box หน่วยเป็น } \text{m}^3$$

$$d = \text{orifice diameter}$$

$$A = 1 \text{ สำหรับเครื่องยนต์ 2 จังหวะ}$$

$$= 2 \text{ สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ}$$

$$N = \text{ความเร็วของเครื่องยนต์ หน่วยเป็น รอบ/นาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $\rho = \text{จำนวนสูบ}$ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$v =$ Swept volume per cylinder

3.2 การตรวจสอบและซ่อมเครื่องยนต์

1. ถอดเครื่องยนต์ออกจากที่ตั้งในเครื่องมือวัดและทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์
2. ถอดฝาสูบออกพบว่า มีเขม่าจับบริเวณฝาสูบมากรวมทั้งบริเวณเขี้ยวหัวเทียน

จึงทำการขัดล้าง แล้วเปลี่ยนหัวเทียนใหม่

3. ส่วนของคาร์บูเรเตอร์และระบบจุดระเบิดปกติดีใช้งานได้
4. ถอดฝาครอบข้างของห้องเพลาค้อเหวี่ยงออก แล้วถอดเพลาค้อเหวี่ยง ก้าน

สูบ สลักก้านสูบออก

5. ตรวจสอบคูหาทั้งสองยังใช้งานได้ กระบอกสูบไม่สึกหรอเกินกำหนด

6. ตรวจสอบระบบควบคุมวาล์วพบว่า วาล์วโอเลียด เนื่องจากชนกับลูกสูบ ขณะวาล์วค้างเนื่องจากมีเขม่ามาจับก้านวาล์วมากจึงทำการเปลี่ยนวาล์วใหม่ ส่วนวาล์วโอเลียดใช้งานได้

7. เปลี่ยนปะเก็นฝาสูบใหม่
8. ล้างชิ้นส่วนทั้งหมดและขัดเขม่าออก แล้วประกอบเครื่องยนต์
9. เติมน้ำมันหล่อลื่นใหม่

บทที่ 4การทดลอง

จะเป็นการหาค่าต่าง ๆ เพื่อมาคำนวณดังนี้

1. จำนวนรอบเครื่องชนิด, n (Revoltion/second)
2. ภาระกรรม, load (volt)
3. แรงบิด, T (N-m)
4. เวลาที่เครื่องชนิดใช้เชื้อเพลิงจำนวน 10 ซีซี (second)
5. ความดันที่ตกลงของน้ำขณะผ่านออริฟิซ, h (mm H₂O)
6. กำลังม้าเบรค, BHP
7. อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง, m_f (kg_f/BHP-hr)
8. อัตราการสิ้นเปลืองอากาศ, m_a (kg_a/BHP-hr)

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

เครื่องมือนี้ได้เว้นว่างการใช้งานมานานและในอดีตได้ผ่านการใช้งานมาพอสมควร เครื่องชนิดสีหรือไม้มากแต่การเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ ไม่สมบูรณ์มาก เพราะมีคราบเขม่าเกาะอยู่ค่อนข้างหนาในทุกชิ้นส่วนที่ไอเสียเคลื่อนที่ผ่าน แต่ก็ได้ทำการซ่อมแซมและทำความสะอาดเรียบร้อย

ปัญหาสำคัญที่เผชิญก็คือ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่ทำงานเนื่องจากอุปกรณ์บางชิ้นไม่ทำงานเพราะหมดอายุหรือเสื่อมสภาพ การตรวจสอบเพื่อหาจุดที่บกพร่องทำได้ยากมาก เพราะว่ามันทราบว่าวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกออกแบบมาเป็นระบบการทำงานแบบใด ฉะนั้น การวัดและการทดสอบในขั้นนี้จึงทำไม่ได้ จึงขอเสนอแนวทางปรับปรุงต่อไปคือ ต้องมีการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ใหม่โดยเป็นการออกแบบที่ทันสมัยและรูปแบบง่าย ๆ แล้วนำมาติดตั้งร่วมกับระบบทางเครื่องกลที่ใช้การได้ปกติ เพื่อให้ได้เครื่องมือชิ้นใหม่ที่ทันสมัยและใช้งานได้เต็มทีต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ อัครเดช สินธุ์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา คุณ นงษ์ศักดิ์ คำมูล และ อาจารย์อีกหลายท่านจากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและศูนย์บริการและพัฒนาวิศวกรรม รวมทั้งอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามในที่นี้ ที่ได้ช่วยเหลือและสนับสนุน ให้วิทยานิพนธ์และผลงานดำเนินไปตามประสงค์ ซึ่งคณะผู้จัดรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งและจะเก็บความรู้สึกนี้ไว้ในความทรงจำตลอดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. บุญกัน สมนึก และคณะ, "เครื่องดนตรี", อัมรินทร์การพิมพ์, 588 หน้า, 2525.
2. หลาบ รับสิริ, "เครื่องดนตรีเผาไหม้ภายใน", นิลิกส์เซ็นเตอร์, 540 หน้า, 2528.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้