การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล

1. จุดประสงค์

เพื่อศึกษาและทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ รวมถึงสัมประสิทธิ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ได้แก่ กำลังเบรก ความดันผลเฉลี่ยเบรก ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร และประสิทธิภาพเชิงกล โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลสำหรับการทดสอบ

2. กล่าวนำ

เครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ทั่วไปในรถยนต์นั้น จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Spark ignition engine, SI engine) หรือที่นิยมเรียกว่าเครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยการอัด (Compression ignition engine, CI engine) หรือที่เรียกว่าเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพและสัมประสิทธิ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน โดยเอกสารฉบับนี้ผู้เขียนมีความคาดหวังว่าผู้ที่อ่านเอกสารฉบับนี้ได้ผ่านการศึกษาในรายวิชาเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engines) มาแล้ว จึงได้ตัดรายละเอียดต่างๆออกไป สำหรับรายละเอียดนั้นสามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิงที่ปรากฏอยู่ท้ายเอกสารนี้

3. สมรรถนะของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์สันดาปภายในโดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องยนต์แบบลูกสูบนั้นมีตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องอยู่ด้วยมากมาย มีทั้งที่สามารถวัดค่าได้อย่างง่ายๆจนกระทั่งถึงตัวแปรที่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการวัดค่า ในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล โดยจะจำกัดอยู่เฉพาะที่สามารถหาค่าได้ด้วยเครื่องมือทดสอบที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรดังต่อไปนี้

สัญลักษณ์	ตัวแปร	นิยาม	หน่วย
r_c	Compression ratio	อัตราส่วนของปริมาตรกระบอกสูบสูงสุดต่อปริมาตรที่น้อยที่สุด	-
V_c	Clearance volume	ปริมาตรกระบอกสูบที่น้อยที่สุด	cc
V_d	Displaced or Swept volume	ปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่ในกระบอกสูบ	cc
N	Engine speed	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์	rpm

สัญลักษณ์	ตัวแปร	นิยาม	หน่วย
B	Bore	เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ	cm
L	Stroke	ระยะจากศูนย์ตายบนถึงศูนย์ตายล่าง	cm
T	Brake torque	แรงบิดของเครื่องยนต์ที่วัดได้จากไดนาโมมิเตอร์	N-m
P_b	Brake power	กำลังของเครื่องยนต์ที่วัดได้จากไดนาโมมิเตอร์	kW
$bmep$	Brake mean effective pressure	กำลังของเครื่องยนต์ต่อปริมาตรกระบอกสูบของเครื่องยนต์	kPa
$bsfc$	Brake specific fuel consumption	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ต่อกำลังของเครื่องยนต์	g/kW.hr
η_{th}	Thermal efficiency	กำลังที่วัดได้ต่ออัตราการให้ความร้อน	-
A/F	Air fuel ratio	อัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง	-
η_v	Volumetric efficiency	อัตราส่วนปริมาตรการไหลของอากาศที่เข้าสู่เครื่องยนต์ต่อปริมาตรกระบอกสูบ	-

นิยามและความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ มีดังนี้

- อัตราส่วนการอัด (Compression Ratio, r_c)

อัตราส่วนของปริมาตรกระบอกสูบสูงสุดต่อปริมาตรที่น้อยที่สุด โดยเครื่องยนต์ดีเซลมีค่าอยู่ระหว่าง 12 ถึง 24

$$r_c = \frac{V_d + V_c}{V_c} \qquad (1)$$

- กำลังเบรก (Brake Power, P_b)

กำลังเบรกเป็นกำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการวัดงานจากเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ ณ ความเร็วรอบเครื่องยนต์นั้นๆ โดยใช้ไดนาโมมิเตอร์วัดค่าแรงบิดที่เกิดขึ้น เราสามารถคำนวณกำลังเบรกได้ ดังสมการที่ (2)

$$P_b = \frac{2\pi NT}{60} \qquad (2)$$

- ความดันผลเฉลี่ยเบรก (Brake Mean Effective Pressure, $bmep$)

ความดันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ มีค่าตัวแปรเปลี่ยนอย่างต่อเนื่องในวัฏจักร ซึ่งความดันผลเฉลี่ยเป็นตัวแปรที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบเครื่องยนต์ และเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะเดียวกัน โดยไม่คำนึงถึงปริมาตรในกระบอกสูบ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ หากเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่มีปริมาตรกระบอกสูบหนึ่งหน่วยเท่ากัน เครื่องยนต์จะสามารถผลิตงานได้มากน้อยเพียงใด ทั้งนี้ หากพิจารณากำลัง ความเร็วรอบเครื่องยนต์จะมีผลต่อค่านี้อย่างมาก เราสามารถให้คำจำกัดความของความดันผลเฉลี่ยถ้าใช้งานเพลาดังแสดงในสมการที่ (3) เราจะได้ ความดันเฉลี่ยเบรก โดยเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดจะมีค่าประมาณ 700 ถึง 900 kPa

$$bmep = \frac{Pn_R}{V_d N} \tag{3}$$

หมายเหตุ n_R คือจำนวนรอบของเพลาข้อเหวี่ยงที่หมุนต่อสูบ เท่ากับ 2 สำหรับเครื่องยนต์สี่จังหวะ
N ใช้หน่วยเป็น rps

- ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, $bsfc$)

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption) คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวลต่อกำลังหนึ่งหน่วยที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ภายในระยะเวลาหนึ่งหน่วย โดยการทดสอบเครื่องยนต์การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะถูกวัดเป็นอัตราการไหลของมวล ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นในการเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่มีขนาดแตกต่างกันในรูปแบบของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, $bsfc$) ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังเบรกที่ผลิตออกมา ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$bsfc = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \tag{4}$$

- ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency, η_b)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เป็นค่าที่บ่งบอกให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สามารถเปลี่ยนความร้อนที่ได้รับจากเชื้อเพลิงไปเป็นงานได้มากน้อยเพียงใด เราสามารถกำหนดประสิทธิภาพความร้อนได้เป็น 2 แบบ คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้และประสิทธิภาพเชิง

ความร้อนเบรก โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกจะมีค่าประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้าขนาดใหญ่มากอาจมีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

$$\eta_b = \frac{P_b}{\dot{m}_f Q_{HV}} = \frac{1}{bsfcQ_{HV}} \qquad (5)$$

- อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air Fuel ratio, A/F)

พลังงานซึ่งถูกป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทไฮโดรคาร์บอน โดยใช้ออกซิเจนในอากาศช่วยให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้น และการเผาไหม้ดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออากาศ (ออกซิเจน) และเชื้อเพลิงผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมเท่านั้น เราจึงใช้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F) เป็นตัวแปรในการกำหนดสัดส่วนความเข้มของไอดี ดังสมการที่ (6) โดยเครื่องยนต์ดีเซลจะมีค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F) ในช่วง 18 ถึง 70

$$A/F = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \qquad (6)$$

- ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric Efficiency, η_v)

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรถูกกำหนดให้เท่ากับค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของปริมาตรอากาศที่เข้าไปในระบบไอดีต่อค่าปริมาตรที่ถูกกวาดโดยลูกสูบ หรือพิจารณาความหนาแน่นอากาศเข้าอาจใช้เป็นความหนาแน่นของอากาศโดยรอบก็ได้ ค่าทั่วไปของประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงสุดสำหรับเครื่องยนต์ที่นำไอดีเข้าโดยธรรมชาติจะอยู่ในช่วงร้อยละ 80 ถึง 90 ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการที่ (7)

$$\eta_v = \frac{2\dot{m}_a}{\rho_a V_d N} \qquad (7)$$

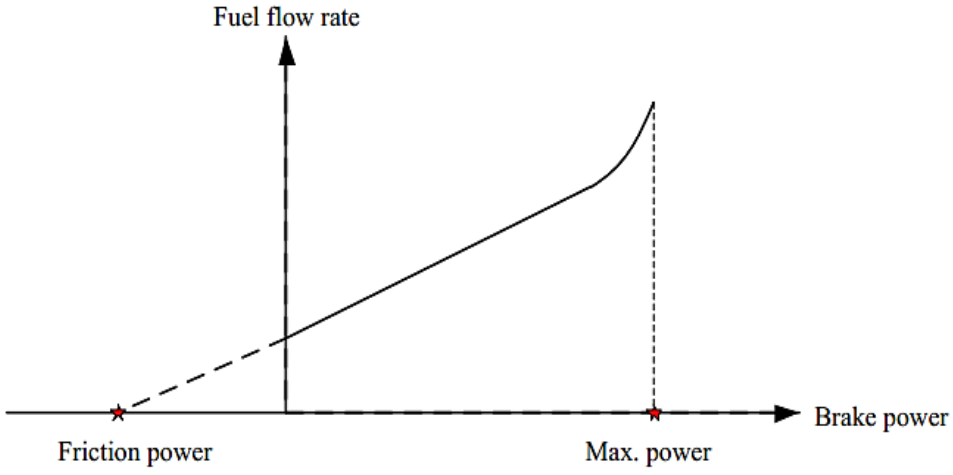
4. การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์สันดาปภายในโดยทั่วๆไปนั้น จะมีวิธีการทดสอบอยู่หลายแบบ แต่แบบที่เป็นที่นิยมที่สุดในการทดสอบจะมีอยู่ 2 แบบคือ การทดสอบที่กำลังสูงสุด (Full load testing) ในกรณีนี้ถ้าเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์เบนซิน การทดสอบจะเป็นการเปิดลิ้นเร่งสูงสุดแล้ว

เปลี่ยนแปลงค่าโหลดที่กระทำต่อเครื่องยนต์ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ของแรงบิดหรือกำลังของเครื่องยนต์ กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ส่วนในกรณีของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นการทดสอบแบบนี้จะเป็นการเพิ่มลิ้นเร่งแล้วสังเกตไอเสียที่เกิดจากเครื่องยนต์ โดยถ้าไอเสียที่ออกมาเริ่มเป็นสีเทาแสดงว่าปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าสู่กระบอกสูบนั้นเพียงพอและเริ่มที่จะเผาไหม้ไม่หมด ซึ่งถือเป็นปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุดที่จ่ายให้แล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด จากนั้นก็จะมีการปรับเปลี่ยนโหลดที่ให้กับเครื่องยนต์เพื่อหาความสัมพันธ์ของรอบเครื่องยนต์กับโหลด โดยในการปรับโหลดแต่ละครั้งจำเป็นต้องมีการปรับลิ้นเร่งใหม่ โดยสังเกตไอเสียทุกครั้ง ดังนั้นการทดสอบเช่นนี้ค่อนข้างยุ่งยากสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

สำหรับการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลที่นิยมอีกแบบหนึ่งก็คือ การทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ การทดสอบนี้จะปรับลิ้นเร่งของเครื่องยนต์ไปตามโหลดที่เปลี่ยนไป เพื่อรักษาระดับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้คงที่ (สำหรับการควบคุมความเร็วรอบให้คงที่นั้นอาจเป็นการยากในทางปฏิบัติ จึงนิยมให้เกิดความคลาดเคลื่อนของความเร็วรอบของเครื่องยนต์จากเดิมไปได้ 5 ถึง 10 เปอร์เซนต์) โดยการทดสอบนี้มุ่งที่จะหาความสัมพันธ์ของความดันผลเฉลี่ยเบรก ($bmep$) กับความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เบรก ($bsfc$) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก ของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบที่กำหนดนั้นเป็นหลัก นอกจากนั้นการทดสอบโดยวิธีความเร็วรอบคงที่นี้ยังสามารถนำมาเขียนกราฟ เพื่อใช้หาค่าการสูญเสียทางกลโดยวิธี Willans line Method ได้ด้วย

การหาพลังงานสูญเสียจากแรงเสียดทาน (Friction power loss) ของเครื่องยนต์ทำได้หลายวิธี วิธีการหนึ่งที่นิยมก็คือ Willans line Method วิธีการดังกล่าวเป็นการพล็อตกราฟของอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ($\dot{m}_f$) ในแนวแกนตั้งและกำลังเบรก (P_b) ในแนวแกนนอน (สำหรับเอกสารอ้างอิงบางเล่มอาจใช้ $bmep$ หรือ P_b)



รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกกับกำลังเบรก

จากรูปกราฟที่ได้ทั่วๆไปเช่นแสดงดังรูปที่ 1 จะพบว่า กราฟในช่วงแรกๆจะเป็นเส้นตรงถึงประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังเครื่องยนต์สูงสุด ดังนั้นในช่วงต้นถ้าเราพิจารณาว่ากราฟเป็นเส้นตรงจะทำให้เราสามารถต่อกราฟนี้ออกไปได้ และกราฟนี้จะตัดแกนตั้งทางด้านค่ากำลังของเครื่องยนต์เป็นลบตามที่แสดงเป็นเส้นประในรูปที่ 1 การต่อเส้นกราฟนี้อาจสามารถพิจารณาได้ว่าเมื่อเครื่องยนต์ไม่ได้ให้กำลังเลยจะต้องสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงปริมาณหนึ่ง น้ำมันที่สิ้นเปลืองไปนั้นใช้เพื่อเอาชนะแรงเสียดทานของเครื่องยนต์ ดังนั้นการต่อกราฟออกไปจุดตัดของกราฟจะหมายถึงกำลังที่ต้องสูยเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทาน Pumping Work และอื่นๆ

ข้อเสียของวิธีการนี้ก็คือเราไม่สามารถที่จะแน่ใจได้ว่าการต่อกราฟออกไปนั้นความจริงแล้วควรจะเป็นเส้นตรงหรือไม่หรือว่าค่าความคลาดผิดพลาดเมื่อประมาณการด้วยเส้นตรงจะมีค่ามากน้อยเพียงใด นอกจากนี้วิธีการนี้ยังเหมาะเฉพาะกับเครื่องยนต์ดีเซลเพราะไม่มีการไหลผ่านลิ้นเร่งทำให้อากาศไหลเข้าสู่เครื่องยนต์จะคงที่ตลอดเวลา

สำหรับสมการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องยนต์นั้น จากกราฟกำหนดให้ค่าพลังงานสูญเสียจากแรงเสียดทาน เท่ากับ P_f และกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์เป็น $P_{\max}$ เราสามารถประมาณได้ว่ากำลังงานบ่งชี้ (Indicated Power, P_i) จะเท่ากับ $P_{\max} + P_f$ ดังนั้นจะได้ประสิทธิภาพเชิงกล ซึ่งนิยามมีค่าเท่ากับกำลังเบรกต่อกำลังงานบ่งชี้ ดังแสดงในสมการที่ 8

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_i} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} + P_f} \qquad (8)$$

5. อุปกรณ์การทดสอบ

ในการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลนี้ เครื่องยนต์ได้ติดตั้งอยู่บนไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้น้ำเป็นโหลด สำหรับรายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้มี ดังนี้

Type	Ford XLD 418
Engine No.	D 1870/1 TL
Bore	82.5 mm
Stroke	82.0 mm
Number of Cylinder	4
Swept Volume	1753
Compression Ratio	21.5 to 1
Maximum Power	37 kW at 3600 RPM
Maximum Speed	5000 RPM

6. เครื่องมือการทดสอบ

ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลนั้นเป็นแบบใช้น้ำเป็นโหลด ซึ่งสามารถปรับขนาดของโหลดได้ด้วยการปรับอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าสู่ไดนาโมมิเตอร์ รายละเอียดไดนาโมมิเตอร์และเครื่องมือวัดอื่นๆ มีดังนี้

Dynamometer	
Make	Go-Power system
Capacity	450 kW
Type	D316
Maximum Speed	10000 RPM
Load	Water
Load Cell	
Make	Revere Transducers Inc.
Type	363-D3-500-20P3
Range	0-500 lbs.
Output	3.0 mV/V
Air Flow Meter	
Drum Size	42 in long x 27 diameter
Orifice Size	64.95 mm
Coefficient of Discharge	0.6
Fuel gauge	100, 200, 400 ml
Oil Pressure Gauge	UCC 0-10 bar
Oil Temperature Gauge	Zeal 20-150 °C

7. ขั้นตอนการทดสอบ

- **การติดเครื่องยนต์**

1) ตรวจวัดน้ำมันเครื่องว่ามีปริมาณที่เหมาะสมหรือไม่ ถ้าน้ำมันเครื่องต่ำกว่าขีดที่กำหนดให้แจ้งเจ้าหน้าที่ควบคุมห้องปฏิบัติการให้ทราบ
2) เปิดวาล์วน้ำของน้ำหล่อเย็นและน้ำที่ใช้เป็นโหลดของเครื่องยนต์

3) เปิดเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น ตรวจสอบดูว่าทำงานเป็นปกติหรือไม่ จากนั้นปรับการไหลให้เหมาะสม (ประมาณ 18-20 ลิตรต่อนาที)
4) ปรับโหลดให้ต่ำ โดยเปิดวาล์วเข้าไดนาโมมิเตอร์เพียงเล็กน้อย
5) เปิดวาล์วน้ำมันของถังน้ำมันเข้าสู่เครื่องยนต์
6) เปิดสวิตซ์ไฟไฟสีแดงบนแผงบังคับจะติด จากนั้นกดปุ่มสตาร์ทเครื่องยนต์
7) ในการกดปุ่มสตาร์ทไม่ควรกดแช่นานกว่า 10 วินาที ถ้าเครื่องยนต์ไม่ติดให้ปล่อยปุ่มก่อน แล้วค่อยลองกดใหม่ และเมื่อเครื่องยนต์ติดแล้วให้ปล่อยปุ่มสตาร์ททันที
8) ในระหว่างนี้อาจปรับอัตราการจ่ายน้ำมันให้เหมาะสม

- **การทดสอบ**

การทดสอบนี้ควรจะใช้คนร่วมปฏิบัติการและจดบันทึกค่าประมาณ 4 คนเป็นอย่างต่ำ คือ

คนที่ 1 คอยตรวจอ่านค่าแรงดันน้ำมันเครื่อง อุณหภูมิน้ำมันเครื่อง และควบคุมการติดเครื่องยนต์
คนที่ 2 คอยอ่านค่าอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ แรงบิด และความเร็วรอบ พร้อมทั้งควบคุมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้ความเร็วรอบตามต้องการ
คนที่ 3 ตรวจจับอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง อัตราการไหลของอากาศ
คนที่ 4 ควบคุมการไหลของน้ำและบันทึกความดันของน้ำที่เข้าสู่ไดนาโมมิเตอร์

- **ขั้นตอนทดสอบ**

1) ในกรณีที่เครื่องยนต์เย็นอยู่ก่อน เมื่อเครื่องยนต์ติดแล้วควรปล่อยให้เครื่องยนต์เดินเบาประมาณ 5 นาที จึงเริ่มการทดสอบ
2) ณ ที่โหลดเบาที่สุด ทำการปรับการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้รอบการทำงานเป็นไปตามที่กำหนด (ความเร็วรอบจะถูกกำหนดโดยผู้สอนปฏิบัติการ) โดยประมาณว่าสามารถมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้ความเร็วรอบตามที่ต้องการแล้ว บันทึกผลของค่าต่างๆที่ต้องการลงในตาราง
3) สำหรับการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงจะใช้นาฬิกาจับอัตราน้ำมันเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ใช้ โดยใช้ถังตวงที่ติดมากับชุดจ่ายน้ำมันขอเงครื่องยนต์และติดตั้งอยู่บริเวณผนังห้อง
4) เปลี่ยนแปลงให้อัตราการไหลข้าวของน้ำเข้าสู่ไดนาโมมิเตอร์เพิ่มขึ้น จากนั้นปรับการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้รอบกลับมาคงที่เหมือนเดิม <u>ระวังในการเพิ่มโหลดนั้นถ้ามากขึ้น</u>

อย่างรวดเร็วอาจทำให้เครื่องยนต์ดับได้ และเมื่อความเร็วรอบคงที่ตามที่ต้องการแล้วจึงจดบันทึกค่าลงในตาราง

5) การทดสอบนี้จะทำจากโหลดต่ำๆค่อยๆเพิ่มจนกระทั่งถึงโหลดสูงสุด โดยต้องมีจุดข้อมูลไม่น้อยกว่า 6 จุด และเมื่อถึงโหลดสูงสุดแล้ว ทำการทดสอบซ้ำเดิมโดยเป็นวิธีการลดโหลดจากสูงสุดจนถึงต่ำสุด ดังนั้นจุดข้อมูลรวมทั้งหมดไม่ควรต่ำกว่า 10 จุด
6) เมื่อทดสอบเสร็จสิ้นแล้วให้ปิดเครื่องยนต์ ปิดวาล์วจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ปิดวาล์วน้ำที่เข้าสู่ไดนาโมมิเตอร์ และปล่อยให้เครื่องสูบน้ำหล่อเย็นทำงานต่อสักระยะเวลาหนึ่ง จนกระทั่งเครื่องยนต์เย็นลงพอสมควร แล้วจึงปิดเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น
7) ปิดวาล์วน้ำทั้งหมด ปิดสวิตซ์ไฟ ถ้าเครื่องยนต์จะไม่ใช้งานเป็นเวลานาน ให้ทำการถอดขั้วแบตเตอรี่ออก

8. การประเมินผล

1) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ($bsfc$), ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (η_b) กับความดันผลเฉลี่ยเบรก ($bmep$)
2) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก ($bsfc$) ความดันผลเฉลี่ยเบรก ($bmep$) กับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F)
3) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ($\dot{m}_f$) กับกำลังเบรก (P_b) และหาค่าประสิทธิภาพเชิงกล (η_m) ด้วยวิธี Willans line method

9. เอกสารอ้างอิง

Heywood, J.B., "*Internal Combustion Engines Fundamentals*," McGraw-Hill, 1988.

Obert, E.F., "*Internal Combustion Engines*," 3rd ed., International Text Company, 1968.

Ferguson, C.R., "*Internal Combustion Engines: Applied Thermo sciences,*" Wiley, 1986.

Ganeson, V., "*Internal Combustion Engines*," McGraw-Hill, 1994.

PLINT & PARTNERS Ltd.: MANUAL#TE20/A: Instructional Test & Experiments on Internal Combustion Engines.

H.N.Gupta, "*Fundamentals of Internal Combustion Engines*," PHI Learning Private Limited, 2009.

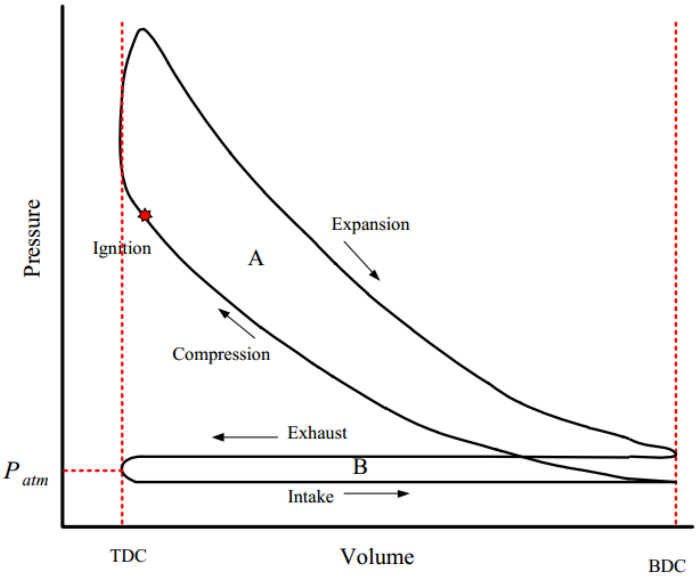
ตารางบันทึกผลการทดสอบ

Lecturer:						**Group:**		**Date:**			
Engine: FORD XLD 418, 4 Cylinder				***Fuel***		***Air***			***Engine Cooling Water***		***Dynamometer***
Engine Speed	**Load**	**Brake Power**	**bmep**	**Time**	**bsfc**	**Intake Temp.**	**Exhaust Temp.**	**Air Speed**	**In**	**Out**	**Water Pressure**
(RPM)	(N-m)	(kW)	(kPa)	(sec.)	(g/kW-hr)	(°C)	(°C)	(m/s)	(°C)	(°C)	(Bar)

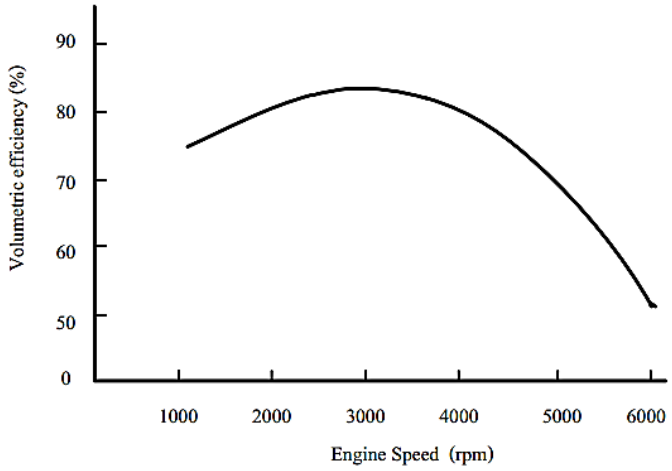
ผู้สอนปฏิบัติการ : .....

วันที่ทำปฏิบัติการ : ...../...../.....

10. ภาคผนวก

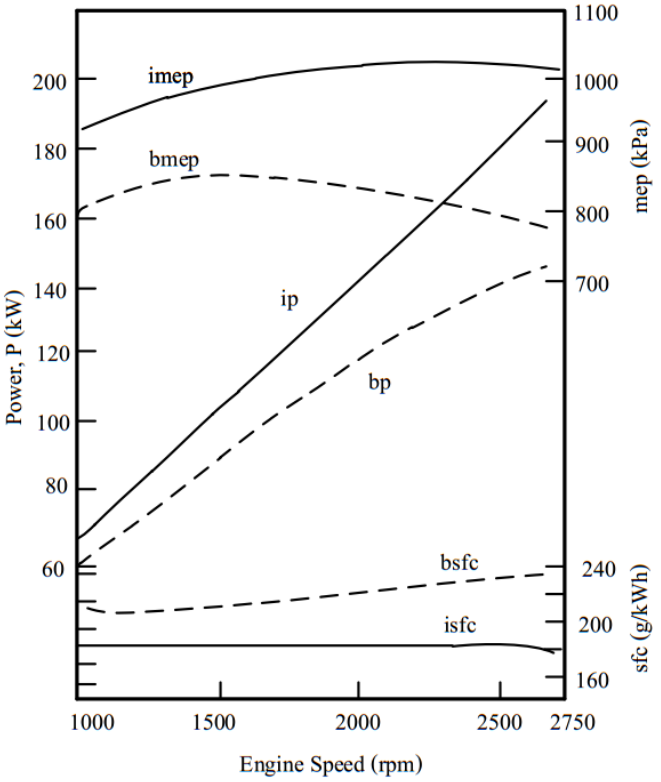


รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรกระบอกสูบของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงปริมาตรกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

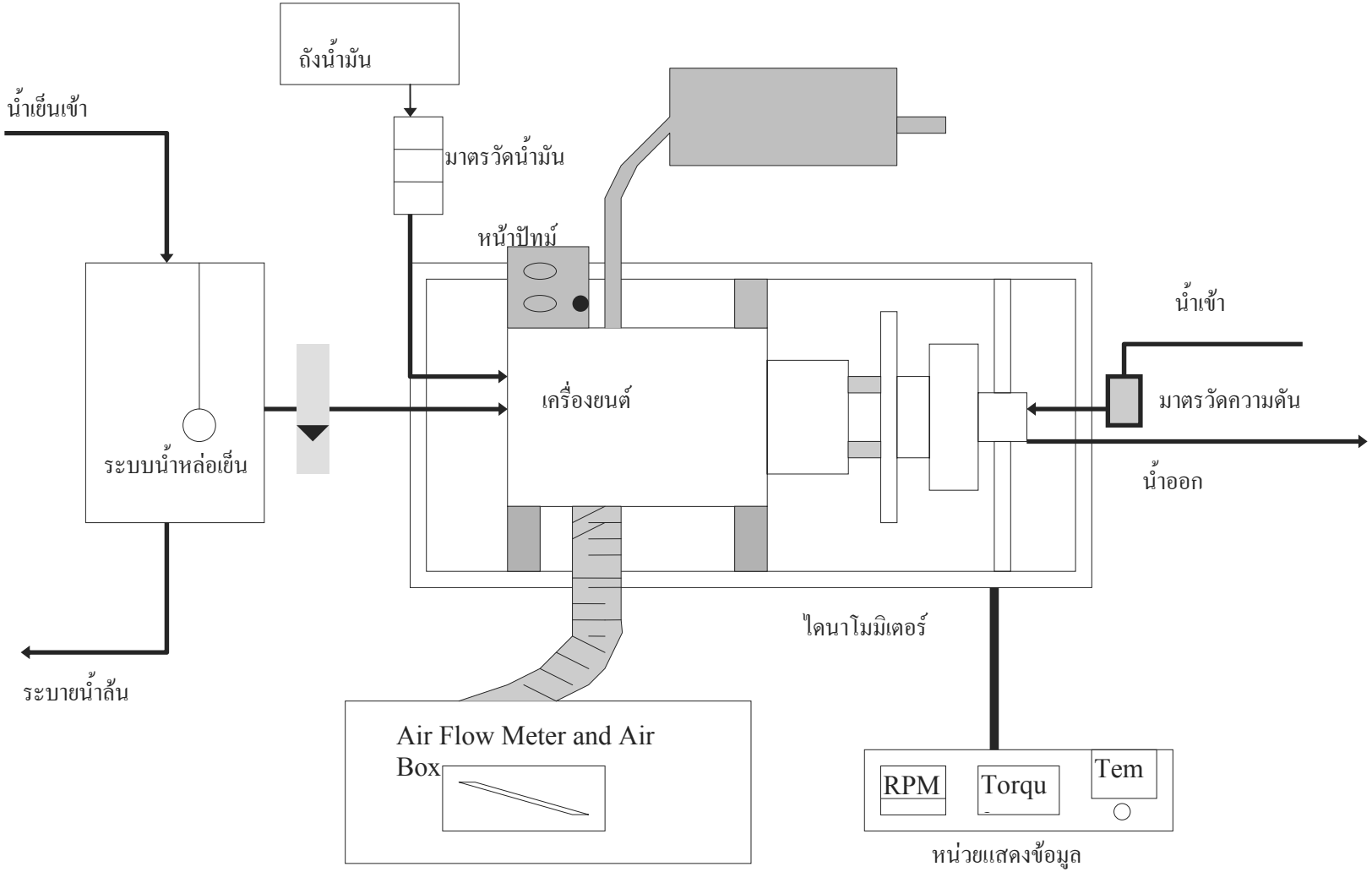
(ที่มา: Fundamentals of Internal Combustion Engines, H.N.Gupta, 2009)



รูปที่ 4 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเครื่องยนต์สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (8.4 ลิตร, 6-cylinder engine)

(ที่มา: Fundamentals of Internal Combustion Engines, H.N.Gupta, 2009)

รูปแสดงส่วนประกอบของเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ



General Properties for Some Common Fuels

This data is aggregated from 26 sources in order to give a representative view of each fuel's properties, with global scope and no specific application. The tables on the following pages give the data presented in each source, which can be used to represent more specific situations (e.g. automobile fuels in Europe).

		Density at STP (kg/m^3)	Ratio of HHV to LHV energy content	Net Calorific Value / LHV		Gross Calorific Value / HHV		Carbon Intensity ($g\ CO_2$-eq / MJ LHV)
				(MJ/L)	(MJ/kg)	(MJ/L)	(MJ/kg)	
Crude Oil		856 ± 24	1.052 ± 0.001	36.84 ± 1.05	43.05 ± 1.40	38.76 ± 1.10	45.30 ± 1.47	73.5 ± 2.6
Petrol / Gasoline		741 ± 4	1.063 ± 0.015	32.70 ± 0.44	44.15 ± 0.74	34.77 ± 0.47	46.94 ± 0.70	70.8 ± 4.4
Diesel		837 ± 8	1.063 ± 0.011	35.94 ± 0.45	42.91 ± 0.46	38.19 ± 0.47	45.60 ± 0.49	74.3 ± 2.3
Fuel Oil		959 ± 17	1.058 ± 0.008	39.21 ± 1.09	40.87 ± 0.94	41.50 ± 1.15	43.26 ± 1.00	77.8 ± 2.1
LPG		533 ± 18	1.077 ± 0.008	24.67 ± 0.80	46.28 ± 0.74	26.57 ± 0.86	49.84 ± 0.80	63.9 ± 2.1
Kerosene		807 ± 6	1.053 ± 0.001	35.24 ± 0.41	43.69 ± 0.51	37.10 ± 0.43	45.99 ± 0.54	72.0 ± 1.8
Hydrogen	**(35 MPa)**	23.65 ± 0.09	1.183 ± 0.001	2.837 ± 0.003	119.95 ± 0.13	3.355 ± 0.004	141.88 ± 0.16	0
	(70 MPa)	39.69 ± 0.16		4.761 ± 0.005		5.631 ± 0.006		
	(liquid)	72.41 ± 0.72		8.685 ± 0.010		10.273 ± 0.011		

		(kg/m^3)	(HHV / LHV)	(MJ/kg)		(MJ/kg)	(g/MJ LHV)
Coal			1.050 ± 0.004	-	25.75 ± 2.64	-	27.05 ± 2.77	95.7 ± 7.0

		(kg/m^3)	(HHV / LHV)	(MJ/m^3)	(MJ/kg)	(MJ/m^3)	(MJ/kg)	(g/MJ LHV)
Natural Gas		0.768 ± 0.039	1.109 ± 0.003	35.22 ± 2.22	45.86 ± 3.95	39.05 ± 2.47	50.84 ± 4.38	56.9 ± 3.4
Hydrogen	**(1 atm.)**	0.0838 ± 0.0008	1.183 ± 0.001	10.05 ± 0.01	119.95 ± 0.13	11.88 ± 0.01	141.88 ± 0.16	0

TABLE A–9

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. T, °C	Density ρ, kg/m^3	Specific Heat c_p J/kg·K	Thermal Conductivity k, W/m·K	Thermal Diffusivity α, m^2/s	Dynamic Viscosity μ, kg/m·s	Kinematic Viscosity ν, m^2/s	Prandtl Number Pr
−150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
−100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
−50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
−40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
−30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
−20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
−10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Note: For ideal gases, the properties c_p, k, μ, and Pr are independent of pressure. The properties ρ, ν, and α at a pressure P (in atm) other than 1 atm are determined by multiplying the values of ρ at the given temperature by P and by dividing ν and α by P.

Source: Data generated from the EES software developed by S. A. Klein and F. L. Alvarado. Original sources: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, and P. Hestermans, IFI/Plenun, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.