บทที่ 2

พารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดการออกแบบและการทำงานของเครื่องยนต์

(Engine Design and Operating Parameters)

- เข้าใจคำจำกัดความและคำนวณหาอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ได้
- เข้าใจคำจำกัดความและคำนวณหากำลังของเครื่องยนต์ได้
- เข้าใจคำจำกัดความและคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องยนต์ได้
- เข้าใจคำจำกัดความและคำนวณหาความดันยังผลเฉลี่ยของเครื่องยนต์ได้
- เข้าใจคำจำกัดความและคำนวณหาการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ได้
- เข้าใจคำจำกัดความและคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ได้
- เข้าใจคำจำกัดความและคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ได้
- เข้าใจคำจำกัดความของน้ำหนักจำเพาะและปริมาตรจำเพาะของเครื่องยนต์ได้
- เข้าใจคำจำกัดความของการปล่อยมลพิษจำเพาะและดรรชนีมลพิษของเครื่องยนต์ได้
- เข้าใจวิธีการเพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้
- เข้าใจวิธีแยกประเภทข้อมูลการออกแบบและข้อมูลแสดงสมรรถนะได้

บทนำ
ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อผู้ใช้

- สมรรถนะของเครื่องยนต์ตลอดช่วงการทำงาน
- การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ภายในช่วงการทำงานและราคาของเชื้อเพลิง
- เสียงและมลพิษทางอากาศที่ออกมาจากเครื่องยนต์ภายในช่วงการทำงาน
- ราคาของเครื่องยนต์และการติดตั้ง
- ความน่าเชื่อถือและความคงทนของเครื่องยนต์ กาบำรุงรักษา

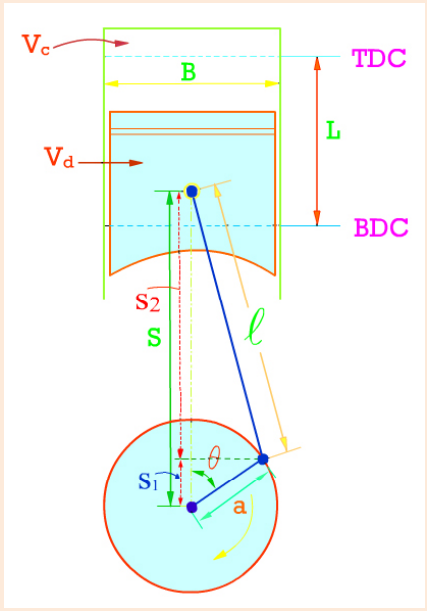
สมรรถนะของเครื่องยนต์

- กำลังสูงสุด หรือทอร์กสูงสุด ที่ให้ออกมาที่อัตราเร็วรอบๆหนึ่ง
  -กำลังที่กำหนดสูงสุด เป็นกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ให้ออกมาได้ในช่วงการทำงานสั้นๆ
  -กำลังที่กำหนดปกติเป็นกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ให้ออกมาได้ในช่วงการทำงานอย่างต่อเนื่อง
  -อัตราเร็วที่กำหนด เป็นอัตราเร็วรอบการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงซึ่งกำลังที่กำหนดถูกให้ออกมา
- ช่วงอัตราเร็วเครื่องยนต์ และกำลังที่เครื่องยนต์ทำงานได้ดี

สมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ

(Geometrical Properties of Reciprocating Engines)

พารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดสมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบมีดังต่อไปนี้



อัตราส่วนการอัด r_c

$$r_c = \frac{\text{ปริมาตรกระบอกสูบสูงสุด}}{\text{ปริมาตรกระบอกสูต่ำสุด}} = \frac{v_d + v_c}{v_c}$$

โดย V_d เป็นปริมาตรกระจัด

V_c เป็นปริมาตรช่องว่าง

ค่าทั่วไปของ r_c สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟจะมีค่า 8 ถึง 12 และสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดจะมีค่า 12 ถึง 24

สมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ

(Geometrical Properties of Reciprocating Engines) (ต่อ)

อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบกับระยะชัก R_{bs}

$$R_{bs} = \frac{B}{L}$$

ค่าทั่วไปของ R_{bs} สำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กและขนาดกลางจะมีค่า 0.8 ถึง 1.2 และจะลดลงเหลือประมาณ 0.5 สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดรอบต่ำขนาดใหญ่

สมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ

(Geometrical Properties of Reciprocating Engines) (ต่อ)

อัตราส่วนของความยาวก้านสูบกับรัศมีข้อเหวี่ยง R

$$R = \frac{\ell}{a}$$

ค่าทั่วไปของ R สำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็กและขนาดกลาง จะมีค่า 3 ถึง 4 และจะเพิ่มเป็น *5 ถึง 9 สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดรอบต่ำขนาดใหญ่*

สมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ

(Geometrical Properties of Reciprocating Engines) (ต่อ)

- ความสัมพันธ์ระหว่างระยะชักและรัศมีข้อเหวี่ยง

L=2a

- ปริมาตรกระบอกสูบ V ที่ตำแหน่งข้อเหวี่ยงใด ๆ θ

$$V = V_c + \frac{\pi B^2}{4}(\ell + a - s)$$

โดยที่ $s = a\cos\theta + (l^2 - a^2\sin^2\theta)^{1/2}$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\frac{V}{V_c} = 1 + \frac{1}{2}(r_c - 1)\left[R + 1 - \cos\theta - (R^2 - \sin^2\theta)^{1/2}\right]$$

สมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ

(Geometrical Properties of Reciprocating Engines) (ต่อ)

- **พื้นที่ผิวห้องเผาไหม้ A ที่ตำแหน่งข้อเหวี่ยงใด ๆ θ**

$$A = A_{ch} + A_p + \pi B (l + a - s)$$

โดย A_{ch} เป็นพื้นที่ผิวในส่วนของฝาสูบ

A_p เป็นพื้นที่ผิวด้านบนของลูกสูบ

สำหรับลูกสูบที่มีด้านบนแบบ $A_p = \pi B^2/4$ และแทนค่า s ลงในสมการจะได้ว่า

$$A = A_{ch} + A_p + \frac{\pi BL}{2}\left[R + 1 - \cos\theta - (R^2 - \sin^2\theta)^{1/2}\right]$$

สมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ

(Geometrical Properties of Reciprocating Engines) (ต่อ)

- อัตราเร็วลูกสูบเฉลี่ย (mean piston) speed $\bar{S}_p$

$$\bar{S}_p = 2LN$$

โดย N เป็นอัตราเร็วรอบการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง

ความต้านทางการไหลของแก๊สที่เข้าไปในเครื่องยนต์หรือความดันเนื่องจากความเฉื่อยของชิ้นสวนที่เคลื่อนที่ของเครื่องยนต์จะจำกัดอัตราเร็วลูกสูบเฉลี่ยสูงสุดให้อยู่ในช่วง 8-15 m/s ซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้กับรถยนต์จะทำงานที่ค่าสูงของช่วงดังกล่าว ส่วนเครื่องยนต์ดีเซลล์ที่ใช้กับเรือจะทำงานที่ค่าต่ำของช่วงดังกล่าว

สมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ

(Geometrical Properties of Reciprocating Engines) (ต่อ)

- ความเร็วลูกสูบที่ขณะใดขณะหนึ่ง (instantaneous piston velocity)

$$S_p = \frac{ds}{dt}$$

จากค่า $s = a\cos\theta + (l^2 - a^2\sin^2\theta)^{1/2}$ ดังนั้นจะได้ว่า

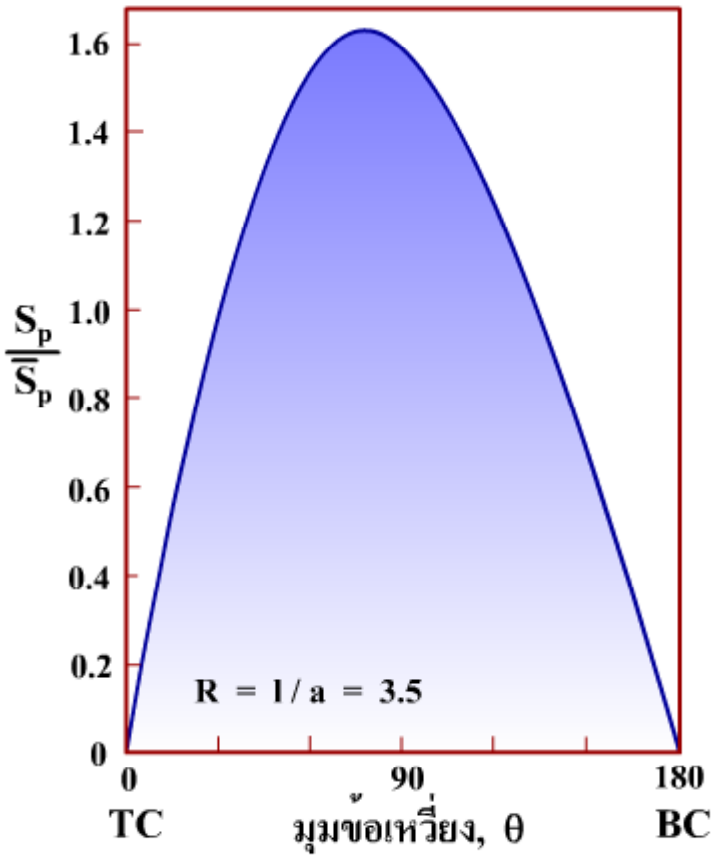
$$\frac{S_p}{\overline{S}_p} = \frac{\pi}{2}\sin\theta\left[1 + \frac{\cos\theta}{(R^2 - \sin^2\theta)^{1/2}}\right]$$

ซึ่งความเร็วของลูกสูบจะ*เป็นศูนย์ที่จุดเริ่มต้นของระยะชัก* มีค่าสูงสุดที่บริเวณใกล้*กึ่งกลางของระยะชัก*และลดลง*เป็นศูนย์อีกทีจุดสิ้นสุดของระยะชัก*

สมบัติทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ

(Geometrical Properties of Reciprocating Engines) (ต่อ)

ความเร็วลูกสูบที่ขณะใดขณะหนึ่งต่ออัตราเร็วลูกสูบเฉลี่ยที่มุมข้อเหวี่ยงต่าง ๆ



กำลัง (Power)

- กำลังบ่งชี้ (Indicated Power , P_i)
- กำลังเบรก (Brake Power, P_b)
- กำลังเสียดทาน (Friction Power, P_f)
- กำลังขับเคลื่อนบนถนน (Road-Load Power, P_r)

กำลังบ่งชี้ (Indicated Power , P_i)

- **กำลังบ่งชี้ (indicated power , P_i)**

เป็นกำลังที่ถ่ายทอดจากแก๊สภายในกระบอกสูบไปสู่ลูกสูบ กำลังบ่งชี้หาได้จากงานที่แก๊สถ่ายทอดไปสู่ลูกสูบ (เป็นงานบ่งชี้) ต่อวัฏจักรการทำงาน (indicated work per cycle , $W_{c,i}$) ที่ได้จากการอินทิเกรดโดยรอบกราฟระหว่างความดัน และปริมาตรกระบอกสูบ (P-V diagram) ตลอดวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ ทำให้ได้เป็นพื้นที่ที่ล้อมล้อมรอบด้วยเส้นกราฟ คือ

$$W_{c,i} = \oint p dV$$

$$P_i = \frac{W_{c,i} N}{n_R}$$

โดย N เป็นอัตราเร็วรอบการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง

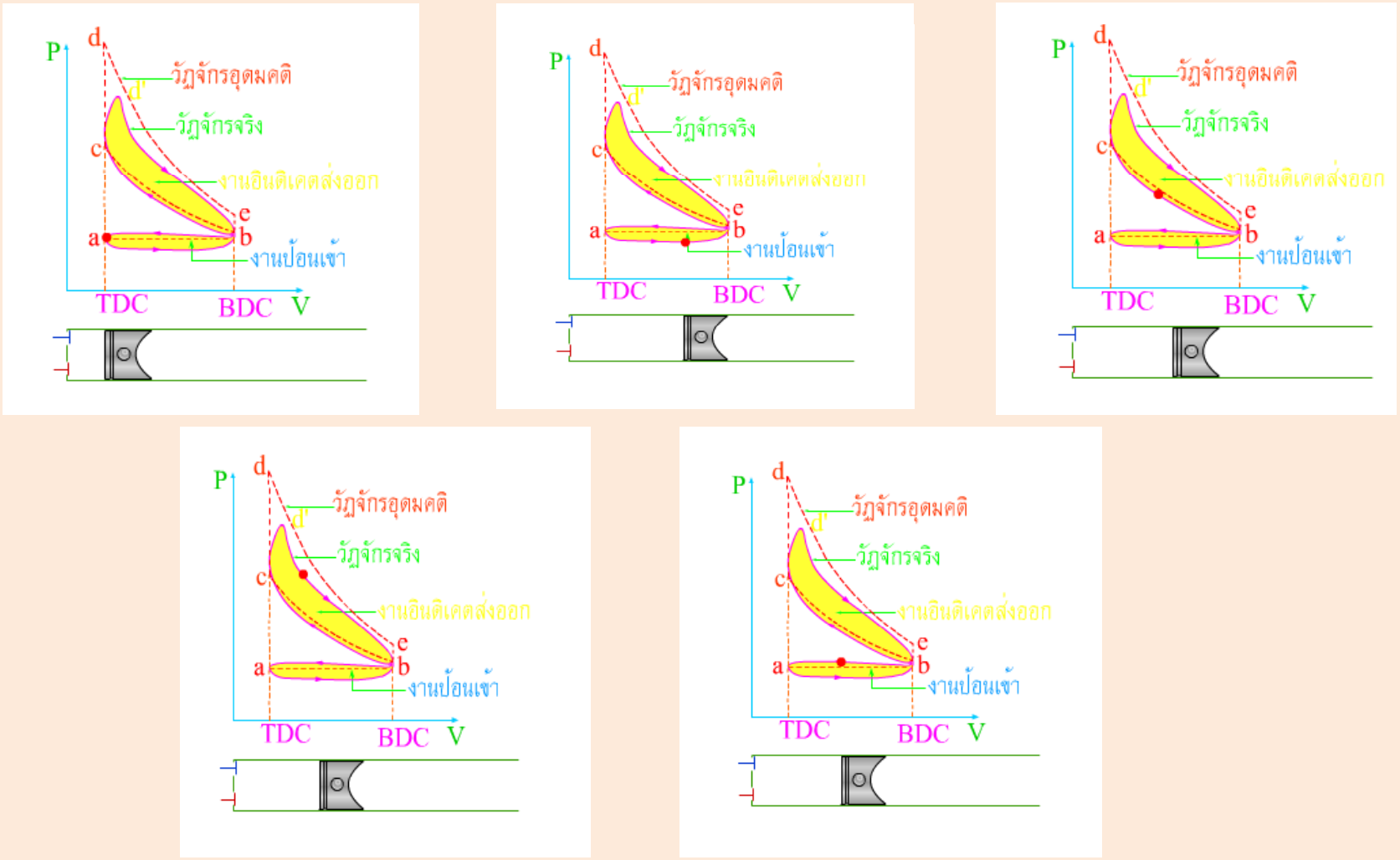
n_R เป็นจำนวนรอบการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงที่ให้จังหวะกำลัง 1 จังหวะต่อสูบ

สำหรับเครื่องยนต์ สองจังหวะ $n_R = 1$

และสำหรับเครื่องยนต์สี่จังหวะ $n_R = 2$

กำลังบ่งชี้ (Indicated Power , P_i) (ต่อ)

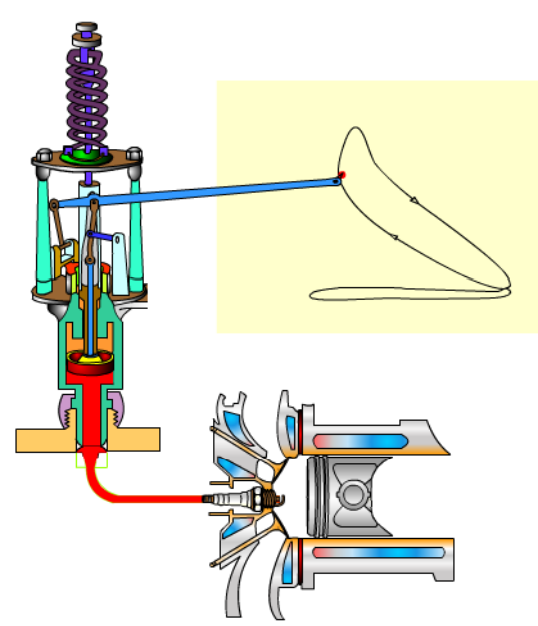
- กราฟระหว่างความดันและปริมาตรกระบอกสูบ



ตัวอย่างกราฟระหว่างความดันและปริมาตรของกระบอกสูบของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

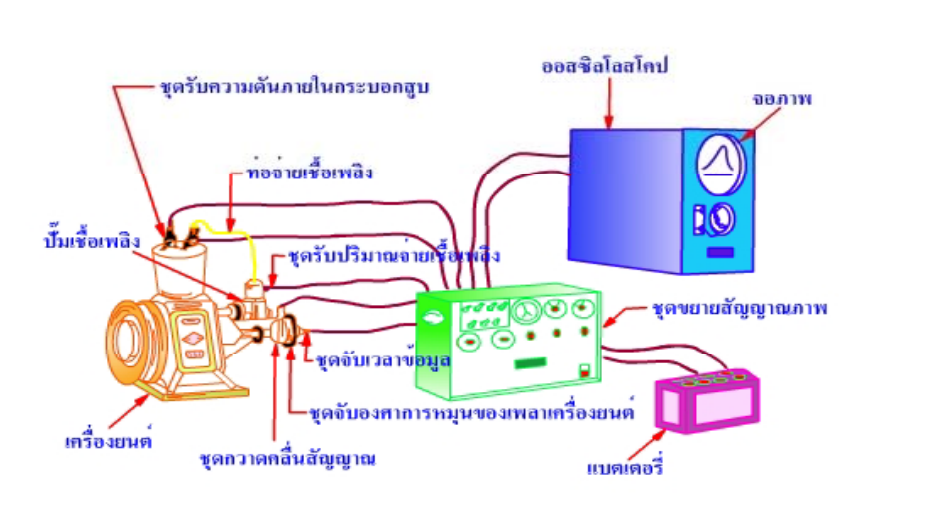
กำลังบ่งชี้ (indicated power , P_i) (ต่อ)

- เครื่องมือวาดอินดิเคเตอร์



อินดิเคเตอร์ทางกล.swf

แสดงลักษณะของเครื่องมือวาดอินดิเคเตอร์ทางกล



อินดิเคเตอร์ทางกล.swf

แสดงลักษณะของเครื่องอินดิเคเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์

กำลังเบรก (Brake Power, P_b)

- **กำลังเบรก (brake power, P_b)**

เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาข้อเหวี่ยงหรือที่ล้อตุนกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งานได้ การวัดกำลังเบรกจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ไดนาโมมิเตอร์ (dynamometer) ซึ่งมีอยู่หลายชนิด โดยจะวัดออกมาในรูปของทอร์กและรอบการหมุนของเครื่องยนต์ ซึ่งจะได้ทอร์ก

$$T = Fb$$

และกำลังเบรก

$$P_b = 2\pi TN$$

โดย N เป็นรอบการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงซึ่งในหน่วยเอสไอจะได้

$$P_b\,(kW) = 2\pi N(rev/s)\,T\,(N\text{-}m) \times 10^{-3}$$

กำลังเบรก (Brake Power, P_b) (ต่อ)

- การวัดแรงม้าเบรก

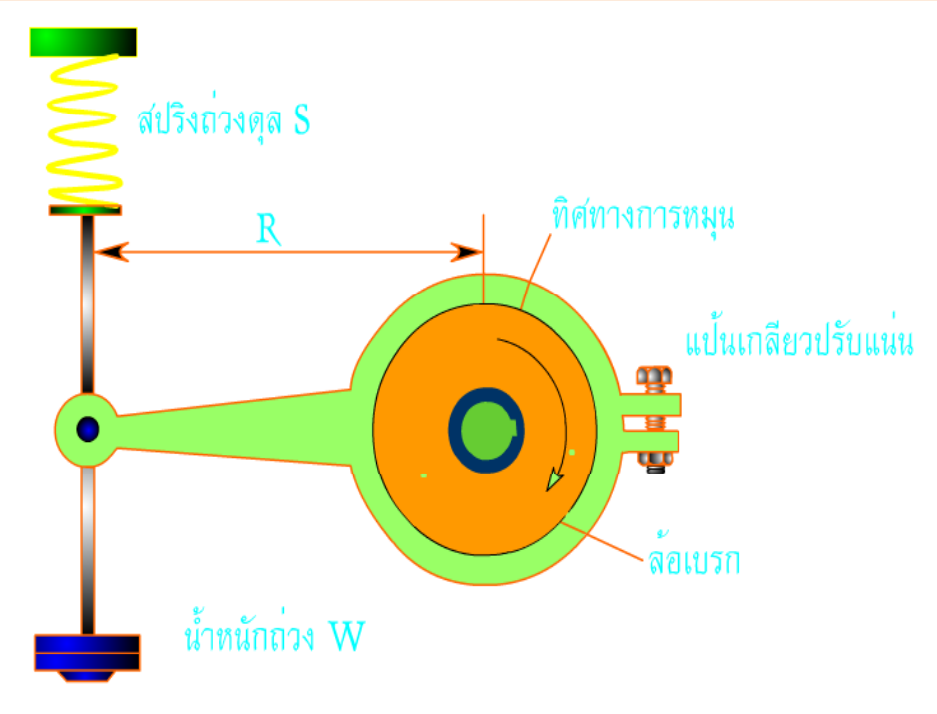
  การวัดแรงม้าเบรกสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น

  - ใช้โพรนีเบรก (Prony Brake)
  - ใช้สายพานหรือเชือก (Rope Brake)
  - ไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์ (Hydraulic Dynamometer)
  - ไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า (Electrical Dynamometer)
  - แซสซีสไดนาโมมิเตอร์ (Chassis Dynamometer)

กำลังเบรก (Brake Power, P_b) (ต่อ)

การวัดแรงม้าเบรก

ใช้โพรนีเบรก (Prony Brake)



วิธีการวัด

ทำการปรับก้ามปูให้ชิดกับล้อช่วยแรงเป็นผลทำให้เครื่องยนต์รับโหลดมาขึ้นรอบเครื่องยนต์จะตกลงให้ทำการเร่งเครื่องยนต์พร้อมกับเพิ่มน้ำหนักในถาดเพื่อรักษาระดับของแขนให้ขนานกับพื้นเสมอทำการเร่งจนถึงรอบสูงสุด จากนั้นก็นำน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาแรงม้าตามสมการต่อไปนี้

$$T = WR$$

เมื่อ

T คือ ทอร์กที่เครื่องยนต์ส่งได้ ;N-m

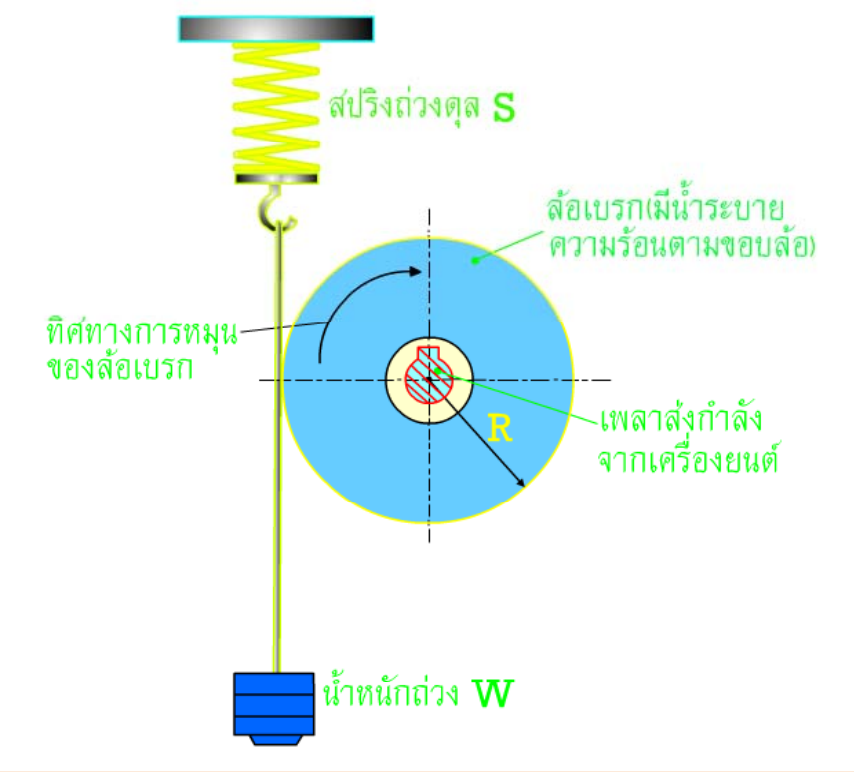
W คือ น้ำหนักที่แขวนที่ถาด ;N

R คือ ระยะจากศูนย์กลางล้อช่วยแรงถึงน้ำหนักที่แขวน ;m

กำลังเบรก (Brake Power, P_b) (ต่อ)

การวัดแรงม้าเบรก (ต่อ)

ใช้สายพานหรือเชือก (Rope Brake)



วิธีการวัด

มีหลักการทำงานและการวัดคล้าย ๆ กับ โพรนีเบรกโดยอาศัยความฝืดของสายพานซึ่งลักษณะของไดนาโมมิเตอร์แบบสายพานด้านหนึ่งจะถูกยึดกับถาดรองรับก้อนน้ำหนักสำหรับปรับภาระของเครื่องยนต์ ปลายด้านหนึ่งจะยึดอยู่กับตาชั่งสปริง หลักการวัดและการเพิ่มน้ำหนักก็กระทำคล้ายๆ กับโพรนีเบรก สำหรับสูตรการคำนวณหาค่าของทอร์กดังนี้คือ

$$T = (W-w)\,R$$

เมื่อ

T คือ ทอร์กที่เครื่องยนต์ส่งได้ ;N-m

W คือ น้ำหนักที่แขวนที่ถาด ;N

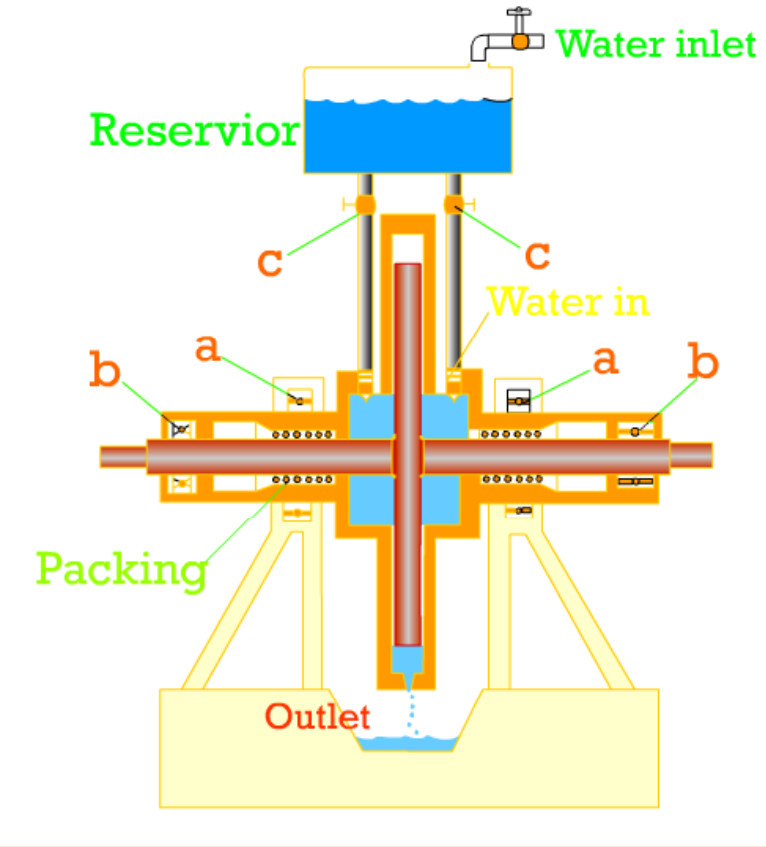
w คือ ค่าแรงที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง ; N

R คือ รัศมีของล้อช่วยแรง ;m

กำลังเบรก (brake power, P_b) (ต่อ)

การวัดแรงม้าเบรก (ต่อ)

ไฮดรอลิคไดนาโมมิเตอร์ (Hydraulic Dynamometer)



วิธีการวัด

หลักการของไดนาโมมิเตอร์แบบไฮดรอลิคนี้ จะอาศัยหลักการความฝืดของของเหลว เป็นเป็นตัวส่งถ่ายกำลังระหว่างตัวโรเตอร์ (rotor) ไปยังเรือนเปลือกนอก หรือตัวถัง ซึ่งเรือนนี้จะมีแขนต่อไปเพื่อไว้ถ่วงน้ำหนักไว้ดังรูปที่ 3 เพื่อให้ระดับของแขนอยู่ในแนวระดับเสมอ ในการคำนวณหาแรงม้าเบรกเราก็จะนำหนักที่ถ่วงไปคำนวณหาทอร์ก

$$T = WR$$

เมื่อ

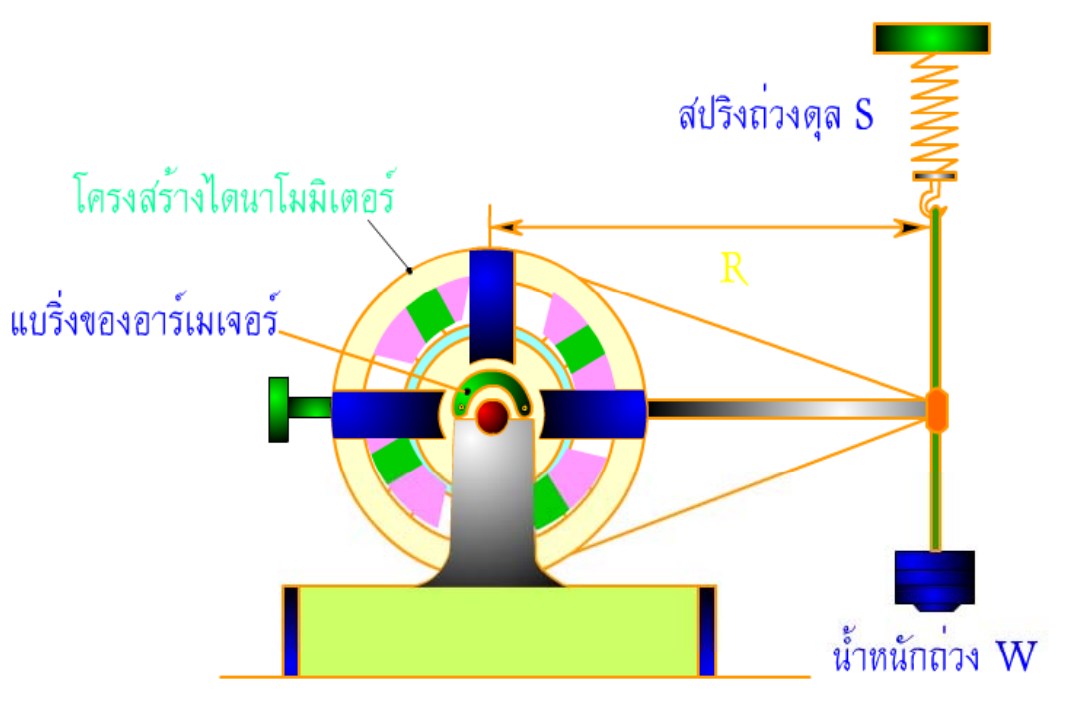
T คือ ทอร์กที่เครื่องยนต์ส่งได้ ;N-m

W คือ น้ำหนักที่แขวนที่ถาด ;N

R คือ ระยะจากศูนย์กลางล้อช่วยแรงถึงน้ำหนักที่แขวน ;m

กำลังเบรก (brake power, P_b) (ต่อ)

- การวัดแรงม้าเบรก(ต่อ)
  - ไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า (Electrical Dynamometer)



วิธีการวัด

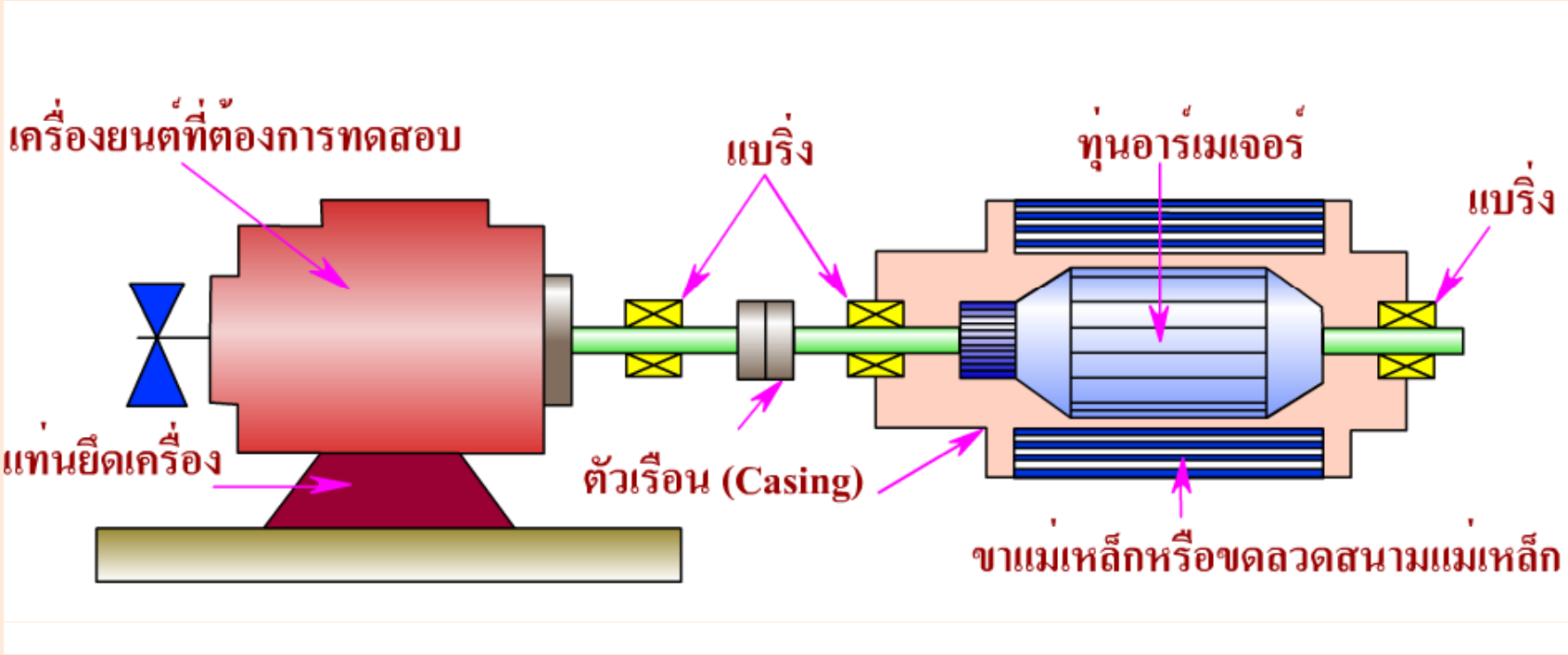
หลักการทดสอบโดยการนำเอาเยนเนอเรเตอร์มาติดตั้งบนเพลาซึ่งมีแบริ่งรองรับขณะเดียวกันจะต่อเพลาของอาร์เมเจอร์เข้ากับเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องหมุนทุนอาร์เมเจอร์ก็จะหมุนไปด้วย สนามแม่เหล็กที่อยู่ระหว่างขาแม่เหล็กซึ่งอยู่กับที่กับทุ่นอาร์เมเจอร์ จะบังคับให้ตัวเรือนของอาร์เมเจอร์หมุนตามในทิศทางเดียวกัน ตัวเรือนจะติดตั้งตราชั่งสปริงซึ่งสามารถหาแรงได้โดยการนำค่าที่อ่านได้ไปคำนวณหาแรงม้า สำหรับวิธีการคำนวณหาสามารถทำได้ 2 กรณีคือ

13.swf

T = (W-w) R หรือ T=VI

กำลังเบรก (Brake Power, P_b) (ต่อ)

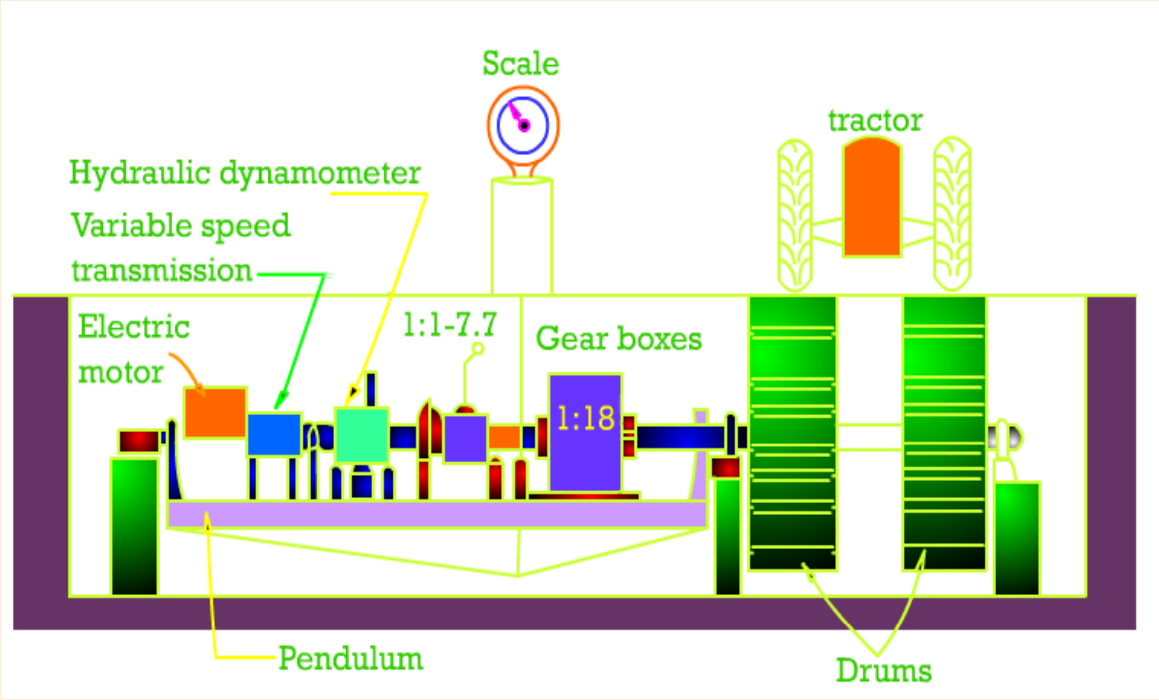
- การวัดแรงม้าเบรก(ต่อ)
  - ไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้า (Electrical Dynamometer)



แสดงส่วนประกอบของไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้าอย่างง่าย

กำลังเบรก (Brake Power, P_b) (ต่อ)

- การวัดแรงม้าเบรก(ต่อ)
  - แซสซีสไดนาโมมิเตอร์ (Chasis Dynamometer)



วิธีการวัด

เป็นเครื่องทดสอบแรงม้าเครื่องยนต์ที่ประกอบเป็นรถยนต์ทั้งคันแล้ว โดยที่รถยนต์จะวิ่งอยู่บนลูกกลิ้งของไดนาโมมิเตอร์ที่ต่ออุปกรณ์วัดและควบคุมไว้แล้ว

กำลังเสียดทาน (Friction Power , P_f)

- **กำลังเสียดทาน(friction Power , P_f)**

เป็นกำลังที่รวมเอากำลังที่ใช้ในการนำไอดีเข้าและนำไอดีเสียออก กำลังที่เอาชนะความเสียดทานของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ และกำลังที่ใช้ในการขับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานของเครื่องยนต์ ดังนั้นจากนิยามของกำลังบ่งชี้และกำลังเบรก จะได้

$$P_{ig} = P_b + P_f$$

ซึ่งในอัตราส่วนระหว่างกำลังเบรกกับกำลังบ่งชี้จะเรียกว่า ประสิทธิภาพเชิงกล (Mechanical efficiency , η_m)

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_{ig}} = 1 - \frac{P_f}{P_{ig}}$$

กำลังเสียดทาน(Friction Power , P_f) (ต่อ)

- **กำลังเสียดทาน(friction Power , P_f)**

ค่าทั่วไปของประสิทธิภาพเชิงกลสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้กับรถยนต์ใน ปัจจุบันที่ตำแหน่งเปิดลิ้นเร่งเต็มที่ (Wide-open throttle, WOT) จะมีค่าประมาณร้อยละ 90 ที่อัตราเร็วต่ำกว่า 30-40 rev/s และจะลดลงเป็นร้อยละ 70 ที่อัตราที่กำหนดสูงสุด เมื่อเปิดลิ้นเร่งบางส่วน ประสิทธิภาพเชิงกลจะลดลงและจะมีค่าเป็นศูนย์ในขณะเดินเบา (idle)

กำลังขับเคลื่อนบนถนน (Road –Load power , P_r)

- **กำลังขับเคลื่อนบนถนน(road –load power , P_r)**

  เป็นกำลังที่ต้องการใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ ไปบนถนนระดับที่ความเร็วคงตัว ซึ่งก็คือกำลังเพื่อเอาชนะความต้านทานของการกลิ้งของล้อ (rolling resistance) และแรงด้านอากาศพลวัด (aerodymic drag) นั่นเอง กำลังขับเคลื่อนบนถนนสามารถหาได้จากสมการโดยประมาณ คือ

$$P_r = (C_R M_v g + \frac{1}{2}\rho_a C_D A_v S_v^2) S_v$$

โดยที่ C_R = สัมประสิทธิ์ความต้านทานการกลิ้งของล้อ มีค่าทั่วไปคือ $0.012 < CR < 0.015$

M_v = มวลของรถยนต์ (สำหรับรถยนต์นั่งเท่ากับมวลของตัวรถบวกมวลของผู้โดยสาร คิดเท่ากับ 68 kg ต่อคน)

g = ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศโดยรอบ

C_D = สัมประสิทธิ์แรงต้านทานอากาศพลวัด มีค่าทั่วไปสำหรับรถยนต์นั่งอยู่ในช่วง 0.3-0.5

A_v = พื้นที่ด้านหน้าของรถ

S_v = อัตราเร็วของรถยนต์

ความดันยังผลเฉลี่ย (Mean Effective Pressure)

ในขณะที่ทอร์กเป็นการวัดความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ แต่ทอร์กจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องยนต์ (เครื่องยนต์ใหญ่ให้ทอร์กสูง เครื่องยนต์เล็กให้ทอร์กต่ำ) จึงมีการกำหนดการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบขึ้นโดยได้จากการหารงานต่อวัฏจักรด้วยปริมาตรกระจัดต่อวัฏจักรค่าที่ได้มีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่ จึงเรียกว่า ความดันเฉลี่ย (mead effective pressure , mep) ซึ่งจากสมการ

$$(W_{c,i}) = \frac{Pn_R}{N}$$

งานต่อวัฏจักร

$$mep = \frac{Pn_R}{V_d N}$$

จะได้ความดันยังผลเฉลี่ยเป็น

ความดันยังผลเฉลี่ย (Mean Effective Pressure) (ต่อ)

ค่าทั่วไปของความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (bmep) จะมีดังต่อไปนี้

สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบนำไอดีเข้าโดยธรรมชาติจะมีค่า bmep อยู่ในช่วง 850 ถึง 1050 kPaที่อัตราเร็วเครื่องยนต์ที่ได้ทอร์กสูงสุด (ประมาณ 3000 rev/min) และจะต่ำลงร้อยละ 10 ถึง 15 เมื่อกำลังกำหนสูงสุด

สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบบเทอร์โบชาร์จที่ใช้กับเครื่องยนต์จะมีค่า bmep สูงสุดอยู่ในช่วง 1250 ถึง 1700 kPa และที่กำลังที่กำหนดสูงสุดจะมีค่าอยู่ในช่วง 900 ถึง 1400 kPa

สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลสี่จังหวะแบบนำไอดีเข้าโดยธรรมชาติจะมีค่า bmep สูงสุดอยู่ในช่วง 700 ถึง 900 kPa และที่กำลังที่กำหนดสูงสุดจะมีค่าประมาณ 700 kPa

ความดันยังผลเฉลี่ย (Mean Effective Pressure) (ต่อ)

ค่าทั่วไปของความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (bmep) จะมีดังต่อไปนี้

สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลสี่จังหวะแบบเทอร์โบชาร์จ จะมีค่า bmep สูงสุดอยู่ในช่วง 1000 ถึง 1200 kPa และถ้าเป็นเครื่องยนต์เทอรน์โบชาร์จที่มีการหล่อเย็นหลังการอัด (turbocharged aftercooled engine) ค่าสูงสุดนี้สามารถเพิ่มขึ้นถึง 1400 kPa และที่กำลังที่กำหนดสูงสุดจะมีค่าอยู่ในช่วง 850 ถึง 950 kPa)

สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลสองจังหวะจะมีค่า bmep เทียบเคียงได้กับเครื่องยนต์สี่จังหวะ แต่ถ้าเป็นเครื่องยนต์ดีเซลสองจังหวะหมุนช้าขนาดใหญ่อาจมีค่า bmep สูงสุดประมาณ 1600 kPa

การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและประสิทธิภาพ

(Specific Fuel Consumption and Efficiency)

การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption)

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P}$$

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง (fuel conversion efficiency)

$$\eta_f = \frac{W_c}{m_f Q_{HV}} = \frac{(Pn_R / N)}{\dot{m}_f n_R / N) Q_{HV}} = \frac{P}{\dot{m}_f Q_{HV}}$$

อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงต่ออากาศ

(Air/Fuel and Fuel/Air Efficiency)

อัตราส่วนอากาศ/เชื้อเพลิง (A/F)

$$\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f}$$

อัตราส่วนเชื้อเพลิง/อากาศ (F/A)

$$\frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a}$$

ในช่วงการทำงานปกติสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟทั่วไปที่ใช้น้ำมันเบนซินจะมีอัตราส่วนทั้งสอง คือ $12 < A/F < 18$ ($0.056 < F/A < 0.083$) และสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดที่ใช้น้ำมันดีเซลจะมีอัตราส่วนทั้งสอง คือ $18 < A/F < 70$ ($0.014 < F/A < 0.056$)

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

(Volumetric Efficiency)

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร(volumetric efficiency)

$$\eta_v = \frac{2\dot{m}_a}{\rho_{a,i} V_d N}$$

โดย $\rho_{a,i}$ เป็นความหนาแน่นของอากาศที่เข้า หรือ

$$\eta_v = \frac{m_a}{\rho_{a,i} V_d}$$

ค่าทั่วไปของค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงสุดสำหรับเครื่องยนต์ที่นำไอดีเข้าโดยธรรมชาติจะอยู่ในช่วงร้อยละ 80 ถึง 90 โดยประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ดีเซลจะสูงกว่าเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

น้ำหนักและปริมาตรจำเพาะของเครื่องยนต์

(Engine Specific Weight and Specific Volume)

น้ำหนักและปริมาตรจำเพาะของเครื่องยนต์ (engine specific weight and specific volume) เป็นน้ำหนักและปริมาตรของเครื่องยนต์ต่อหน่วยกำลังที่กำหนด

$$\text{น้ำหนักจำเพาะ} = \frac{\text{น้ำหนักเครื่องยนต์}}{\text{กำลังที่กำหนด}}$$

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ} = \frac{\text{ปริมาตรเครื่องยนต์}}{\text{กำลังที่กำหนด}}$$

ตัวปรับแก้สำหรับกำลังและประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

(Correction Factors for Power and Volumetric Efficiency)

โดยปกติแล้ว ความดัน ความชื้น และอุณหภูมิของอากาศโดยรอบจะมีผลต่ออัตราการไหลของมวลอากาศ และกำลังที่เครื่องยนต์ให้ออกมาได้ ดังนั้นการกำหนดสภาวะอากาศมาตรฐานขึ้นเพื่อให้การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ต่างๆ เช่นมาตรฐาน SAE (Society of Automotive Engineers)

ความดันอากาศแห้ง	= 736.6 mm-Hg
ความดันไอน้ำ	= 9.65 mm-Hg
อุณหภูมิ	= 29.4 ^{o}C

ตัวปรับแก้สำหรับกำลังและประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

(Correction Factors for Power and Volumetric Efficiency) (ต่อ)

ซึ่งถ้าสภาวะอากาศโดยรอบในขณะทำการวัดกำลัง และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรมีค่าผิดไปจากมาตรฐานก็จะต้องใช้ตัวแก้เพื่อให้ค่าที่วัดได้เป็นค่าตามสภาวะมาตรฐาน ซึ่งตัวปรับแก้จะมีพื้นฐานมาจากสมการการไหลแบบอัดตัวได้คงตัวในหนึ่งมิติผ่าน orifice ดังนี้

$$\dot{m} = \frac{A_E p_0}{\sqrt{RT_0}} \left\{ \frac{2\gamma}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{2/\gamma} - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{(\gamma+1)/\gamma} \right] \right\}^{1/2}$$

เมื่อ $\dot{m}$ = mass flow rate

A_E = effective area

R = gas constance

$c_p/c_v = \gamma$ (ratio of specific heat)

p_0 = total pressure upstream

T_0 = total temperature upstream

p = pressure at the throttle of the restriction

ตัวปรับแก้สำหรับกำลังและประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

(Correction Factors for Power and Volumetric Efficiency) (ต่อ)

$$P_{i,s} = C_F P_{i,m} \qquad \text{เมื่อ} \qquad C_F = \frac{P_{s,d}}{P_m - P_{v,m}} \left(\frac{T_m}{T_s} \right)^{1/2}$$

เมื่อ

$P_{i,s}$ = standard indicated power

C_F = correction factor

$P_{i,m}$ = measure indicated power

$p_{s,d}$ = standard dry - air absolute pressure

p_m = measure ambieant - air absolute pressure

$p_{v,m}$ = measure ambieant - water vapour partial pressure

p = pressure at the throttle of the restriction

T_m = measure ambieant temperature, K

T_s = standard ambieant temperature, K

ตัวปรับแก้สำหรับกำลังและประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

(Correction Factors for Power and Volumetric Efficiency) (ต่อ)

$$C_F' = \frac{\eta_{v,s}}{\eta_{v,m}} = \left(\frac{T_s}{T_m}\right)^{1/2}$$

เมื่อ

C'_F = effective area

T_m = measure ambieant temperature, K

T_s = standard ambieant temperature, K

$\eta_{v,s}$ = standard volumetric efficiency

$\eta_{v.m}$ = smeaasure volumetric efficiency

การปล่อยมลพิษจำเพาะและดรรชนีมลพิษ

(Specific Emissions and Emissions Index)

การปล่อยมลพิษจำเพาะ (specific emission)

คือ อัตราการไหลของมวลมลพิษต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมา

$$^{s}NO_x = \frac{\dot{m}_{NO_x}}{P}$$

$$^{s}CO = \frac{\dot{m}_{CO}}{P}$$

$$^{s}HC = \frac{\dot{m}_{HC}}{P}$$

$$^{s}part = \frac{\dot{m}_{part}}{P}$$

การปล่อยมลพิษจำเพาะและดรรชนีมลพิษ

(Specific Emissions and Emissions Index) (ต่อ)

ดรรชนีการปล่อยมลพิษ (emission index, EI)

คือ อัตราการไหลของมลพิษต่อหน่วยอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง

$$EI_{NO_x} = \frac{\dot{m}_{NO_x}(g/s)}{\dot{m}_f(kg/s)}$$

$$EI_{CO} = \frac{\dot{m}_{CO}(g/s)}{\dot{m}_f(kg/s)}$$

$$EI_{HC} = \frac{\dot{m}_{HC}(g/s)}{\dot{m}_f(kg/s)}$$

$$EI_{part} = \frac{\dot{m}_{part}(g/s)}{\dot{m}_f(kg/s)}$$

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดสมรรถนะเครื่องยนต์

(Relationships Between Performance Parameters)

จากสมการของประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงจะได้

$$\eta_f = \frac{W_c}{m_f Q_{HV}}$$

$$W_c = \eta_f m_f Q_{HV}$$

และจากสมการของกำลัง และสมการของอัตราส่วนเชื้อเพลิง/อากาศ จะได้

$$P = \frac{\eta_f m_a N Q_{HV} (F/A)}{n_R}$$

สำหรับเครื่องยนต์สี่จังหวะจากสมการของประสิทธิภาพเชิงปริมาตร จะได้

$$P = \frac{\eta_f \eta_v N V_d Q_{HV} \rho_{a,i} (F/A)}{2}$$

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดสมรรถนะเครื่องยนต์ (Relationships Between Performance Parameters) (ต่อ)

และจากสมการกำลังและทอร์ก จะได้ทอร์ก

$$T = \frac{\eta_f \eta_v V_d Q_{HV} \rho_{a,i} (F/A)}{4\pi}$$

จากสมการของความดันยังผลเฉลี่ยกับทอร์ก จะได้

$$mep = \eta_f \eta_v Q_{HV} \rho_{a,i} (F/A)$$

กำลังจำเพาะ (specific power) เป็นการวัดความสำเร็จของผู้ออกแบบเครื่องยนต์ในการใช้พื้นที่ลูกสูบที่มีอยู่โดยไม่คำนึงถึงขนาดของกระบอกสูบ

$$\frac{P}{A} = \frac{\eta_f \eta_v N L Q_{HV} \rho_{a,i} (F/A)}{2}$$

และจากสมการของอัตราเร็วลูกสูบเฉลี่ย จะได้ $\frac{P}{A} = \frac{\eta_f \eta_v \bar{S}_p Q_{HV} \rho_{a,i} (F/A)}{4}$

ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดสมรรถนะเครื่องยนต์ (Relationships Between Performance Parameters) (ต่อ)

จากความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์ตามที่แสดงในสมการต่าง ๆ ข้างต้นจะเห็นว่าเพื่อให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ (กำลังและทอร์ก) สูงจะต้องคำนึงถึงปัจจัยดังนี้

- มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูง
- มีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูง (สำหรับเครื่องยนต์สี่จังหวะ)
- มีการเพิ่มความหนาแน่นของอากาศที่เข้า
- มีอัตราส่วนเชื้อเพลิง/อากาศสูงสุดที่สามารถเผาไหม้ได้ในเครื่องยนต์มีอัตราเร็วลูกสูบเฉลี่ยสูง

ข้อมูลการออกแบบและสมรรถนะของเครื่องยนต์

(Engine Design and Performance Data)

- ข้อมูลการออกแบบ ได้แก่ ชนิด ประเภท วัฏจักรการทำงาน อัตราส่วนการอัด เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ ระยะชัก จำนวนสูบ และปริมาตรกระจัด เป็นต้น มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูง
- ข้อมูลแสดงสมรรถนะ ได้แก่ กำลังสูงสุดที่ความเร็วรอบที่กำหนด ทอร์กสูงสุดที่ความเร็วรอบที่ได้และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ เป็นต้น