

บทที่ 2

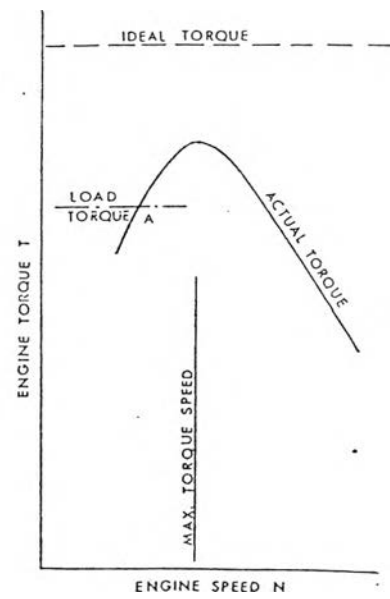
2.1 สมรรถนะของเครื่องยนต์

2.1.1 แรงบิด (Torque)

แรงบิดหรือ โมเมนต์ที่ใช้สำหรับหมุนให้เกิดการเคลื่อนที่เชิงมุมคล้ายๆ กับแรง (force) ในการเคลื่อนที่เชิงเส้น และจะเป็นตัววัดถึงขนาดของความสามารถของเครื่องยนต์

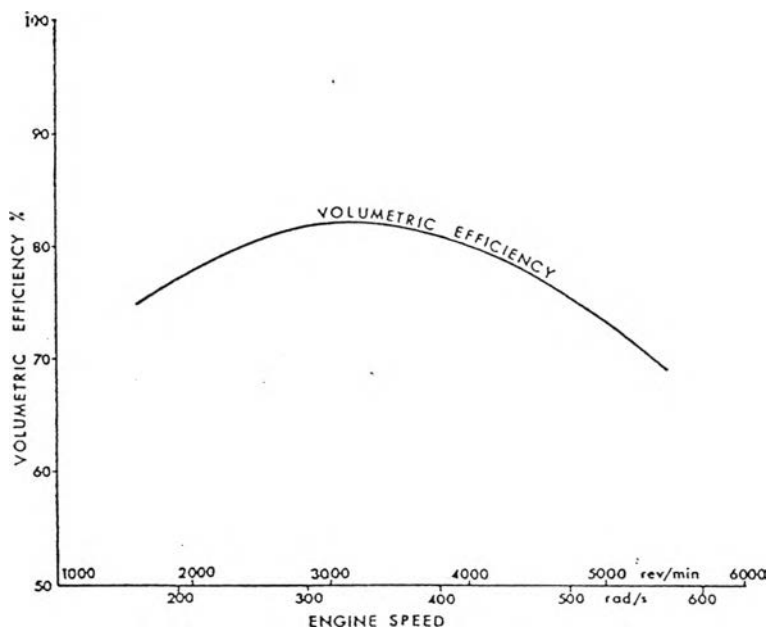
การวัดแรงบิดของเครื่องยนต์นั้นทำได้โดยติดตั้งเครื่องยนต์เข้ากับไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งไดนาโมมิเตอร์จะเป็นตัวต่อต้านแรงบิดที่เกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ และยังเป็นตัวแสดงค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ออกมาด้วย ถ้าเครื่องยนต์และไดนาโมมิเตอร์ต่างก็หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่และหมุนด้วยความเร็วรอบที่เท่ากัน แรงบิดที่ต้านทานของไดนาโมมิเตอร์ก็จะเท่ากับแรงบิดของเครื่องยนต์

ในเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) ซึ่งสามารถรับปริมาณมวลของอากาศกับมวลของเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ต่อวัฏจักรนั้นคงที่ในทุกๆ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และถ้าไม่มีแรงเสียดทาน ( friction losses) และอื่นๆ จะพบว่าแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์จะมีค่าคงที่ทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เนื่องจากปริมาณอากาศและปริมาณน้ำมันที่เท่ากัน จะทำให้เกิดแรงบนลูกสูบเท่ากันและมีแรงบิดส่งผ่านไปยัง crankshaft เท่ากัน โดยไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ดังนั้นลักษณะเส้นสมรรถนะของเครื่องยนต์ของแรงบิดในอุดมคติจะมีลักษณะเป็นเส้นประดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงเส้นแรงบิดที่ตำแหน่งวาล์วเปิดสุด ( Full Throttle )<sup>[3]</sup>

แต่อย่างไรก็ตาม ในความเป็นจริงแรงเสียดทาน (friction losses) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งปริมาณส่วนผสมที่เข้าไปในกระบอกสูบยังมีค่าลดลงตามประสิทธิภาพการบรรจุไอศ (Volumetric efficiency,  $\eta_v$ ) ทั้งช่วงความเร็วของเครื่องยนต์สูงและต่ำกว่า จุดออกแบบดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะทำให้เส้นสมรรถนะของเครื่องยนต์ของแรงบิดในความเป็นจริงมีลักษณะดังเส้นที่บดรูปที่ 2.1 อาจกล่าวได้ว่ากราฟของแรงบิดกับประสิทธิภาพการบรรจุไอศ (Volumetric efficiency) บนแกนของความเร็วรอบเครื่องยนต์มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งทั้งค่าของ Volumetric efficiency และแรงบิดจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงๆ จากความสัมพันธ์ของกราฟทั้งสองนั้น แสดงความสำคัญพอสรุปได้ว่า ถ้าสามารถเพิ่มปริมาณอากาศที่ไหลเข้าไปในเครื่องยนต์ได้ก็จะทำให้แรงบิดกลับสูงขึ้นได้เช่นกัน



รูปที่ 2.2 แสดงเส้นประสิทธิภาพการบรรจุไอศ (Volumetric efficiency,  $\eta_v$ ) ของเครื่องยนต์ SI ขนาด 1.5 ลิตร ที่ full throttle <sup>[3]</sup>

จากกราฟในรูปที่ 2.1 จะเห็นว่า ถ้าเครื่องยนต์กำลังทำงานที่ full throttle และที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำกว่าค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่แรงบิดสูงสุด เช่นที่จุด A ถ้าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงชั่วขณะ เครื่องยนต์จะไม่มีแรงบิดเพียงพอที่จะขับภาระ (load) ซึ่งเป็นผลให้รอบของเครื่องยนต์ตกลงอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกัน ถ้าเครื่องยนต์ทำงานอยู่ที่ความเร็วรอบที่สูงกว่าความเร็วรอบที่ค่าแรงบิดสูงสุด ถึงแม้ว่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะลดลง แต่เครื่องยนต์ก็ยังมีแรงบิดที่เพียงพอที่จะขับภาระได้

### 2.1.2 กำลัง (Power)

กำลังเป็นอัตราของการทำงานและเป็นผลที่ได้จากแรงบิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ดังนั้น กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$P = T \times N \quad (2.1)$$

เมื่อ  $P$  = กำลังของเครื่องยนต์ (watt)

$T$  = แรงบิดของเครื่องยนต์ (N.m)

$N$  = ความเร็วเชิงมุมของเพลาช้อเหวี่ยง (rad/s)

โดย  $Torque, T = W \times L_B$

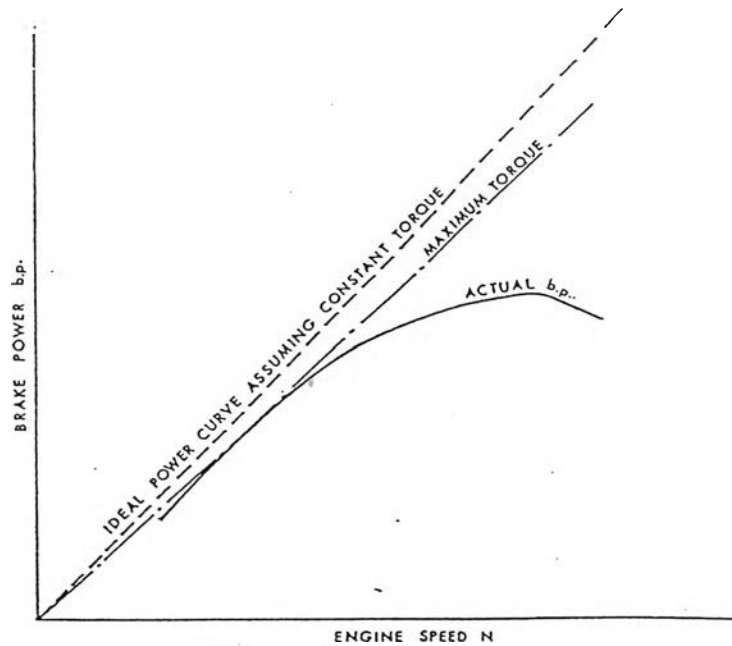
เมื่อ  $W$  = ภาระเบรค (N)

$L_B$  = ความยาวของแขนเบรค (m)

ดังนั้น เราสามารถเขียนได้ว่า  $P = WNL_B \quad (2.2)$

กำลังเบรค ( brake power , b.p. ) ของเครื่องยนต์ คือ กำลังที่ส่งออกมาทางเพลาช้อของเครื่องยนต์ในขณะที่ต้องสูญเสียกำลังบางส่วนไปเพื่อขับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ปั๊มน้ำ , ปั๊มน้ำมัน , พัดลม ฯลฯ ในขณะที่ กำลังเบรคสุทธิ ( nett brake power) เป็นกำลังที่ส่งออกมาทางเพลาช้อของเครื่องยนต์เมื่อตัดภาระอื่นๆ ออกไปแล้ว ซึ่งพบว่ากำลังทั้งสองอย่างนี้อาจมีค่าแตกต่างกันถึง 10% หรือมากกว่าก็ได้ ถ้าเส้นสมรรถนะแรงบิดของเครื่องยนต์เป็นเส้นตรงในแนวนอน ดังในรูป 2.1 ดังนั้นจากสมการที่ 2.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เส้นสมรรถนะของกำลังจะต้องเป็นเส้นตรงลากจากจุดกำเนิด ซึ่งจะมีลักษณะดังเช่นเส้นประในรูป 2.3

อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้ว แรงบิดของเครื่องยนต์มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ดังนั้นจึงทำให้เส้นสมรรถนะของกำลังที่เป็นจริงเป็นดังเส้นทึบในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงเส้นสมรรถนะกำลังของเครื่องยนต์<sup>[3]</sup>

### 2.1.3 กำลังชี้บ่ง ( Indicated Power, i.p.)

กำลังชี้บ่ง (Indicated Power) เป็นกำลังของเครื่องยนต์ที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบ และมีค่าเท่ากับกำลังเบรค (brake power) รวมกับกำลังสูญเสีย (power losses) อาทิ friction และ windage power ฯลฯ ซึ่งจะเห็นถ้าว่าไม่จัด pumping losses รวมอยู่ในกำลังสูญเสีย (power losses) ก็จะทำให้กำลังภายในกระบอกสูบเหมือนกับกำลังชี้บ่งทั้งหมด (gross indicated power) แต่ถ้ารวมกำลังที่สูญเสียใน pumping losses ก็จะมีค่าเท่ากับกำลังชี้บ่งสุทธิ ( nett indicated power ) ซึ่งความแตกต่างระหว่างกำลังชี้บ่งทั้งหมดและกำลังชี้บ่งสุทธิ ก็คือ กำลังที่สูญเสียในรูปของ pumping losses นั้นเอง

### 2.1.4 ความดันชี้บ่งเฉลี่ย (Indicated Mean Effective Pressure , Imep)

ความดันชี้บ่งเฉลี่ย (Imep) หาได้จากงานชี้บ่ง (Indicated work) ต่อความจุของกระบอกสูบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะมีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่หรือเป็นหน่วยของความดัน ซึ่งงานชี้บ่ง (indicated work) มีค่าเท่ากับงานที่เกิดขึ้นในกระบอกสูบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความดันและปริมาตรในหนึ่งรอบวัฏจักร นั่นคือพื้นที่ปิดบน PV diagram ของ instantaneous pressure ภายในกระบอกสูบกับ instantaneous

cylinder volume จึงถือได้ว่าเป็นงานต่อหนึ่งรอบวัฏจักรนั่นเอง คือมีพื้นที่เท่ากับพื้นที่ปิดที่อยู่ภายใน เส้นประดังรูปที่ 2.4 เราสามารถคำนวณหาค่า imep ได้จากสมการต่อไปนี้

$$imep = \frac{2\pi \cdot i.p.}{L \cdot A \cdot N \cdot e}, (kN / m^2) \quad (2.3)$$

โดย i.p. = งานชิงบ่ง ( Indicated work , kW)

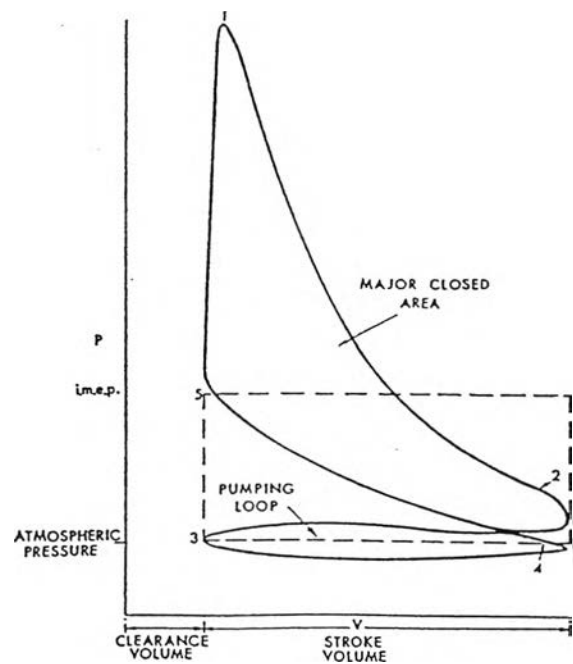
L = ความยาวของช่วงชัก (stroke ,m)

A = พื้นที่ของลูกสูบ ( $m^2$ )

N = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rad/s)

e = No. of power stroke per revolution

( มีค่า 0.5 ในเครื่องยนต์ 4 จังหวะ และมีค่า 1 ในเครื่องยนต์ 2 จังหวะ )



รูปที่ 2.4 แสดง P.V. diagram สำหรับ actual Otto cycle<sup>[3]</sup>

### 2.1.5 ความดันเฉลี่ยเบรค (Brake Mean Effective Pressure , bmep)

ความดันเฉลี่ยเบรค, bmep หาได้จากงานที่ได้จากเครื่องยนต์ในหนึ่งรอบวัฏจักรต่อความจุของกระบอกสูบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะมีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่หรือเป็นหน่วยของความดัน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง bmep กับ imep เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$b.m.e.p = i.m.e.p \times \eta_m \quad (2.4)$$

ซึ่งจากสมการที่ (2.3) และ จาก  $b.p = i.p \times \eta_m$  จะได้

$$b.p = \eta_m \times \frac{i.m.e.p \times L \times A \times N \times e}{2\pi}$$

หรือ

$$b.p = \frac{b.m.e.p \times L \times A \times N \times e}{2\pi} \quad (2.5)$$

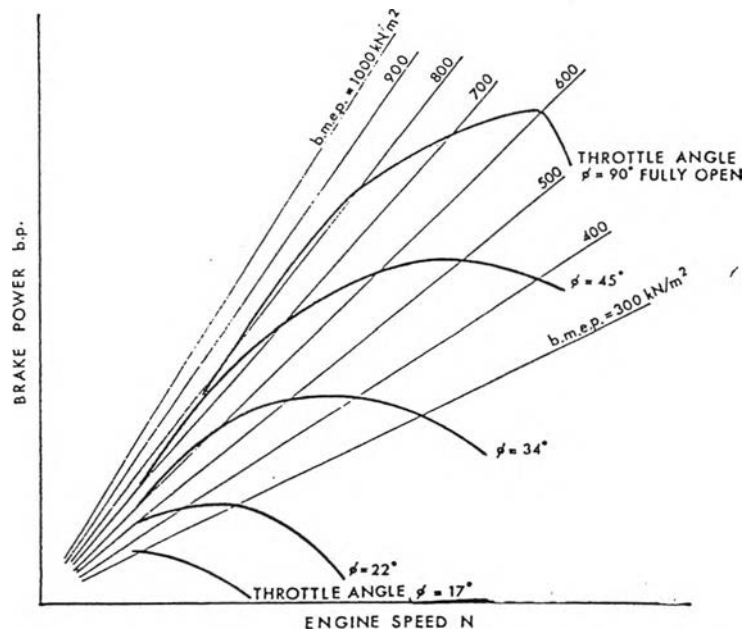
แต่อย่างไรก็ตาม L,A และ e เป็นค่าคงที่ ดังนั้นจะเห็นว่า  $b.p \propto b.m.e.p \times N$  หรือถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.1 และ 2.2 จะได้  $b.m.e.p \propto T \propto W$  ดังนั้นจะได้

$$b.m.e.p = \frac{2\pi}{L \times A \times e} \cdot T = \frac{2\pi}{K \times L \times A \times e} \cdot W \quad (2.6)$$

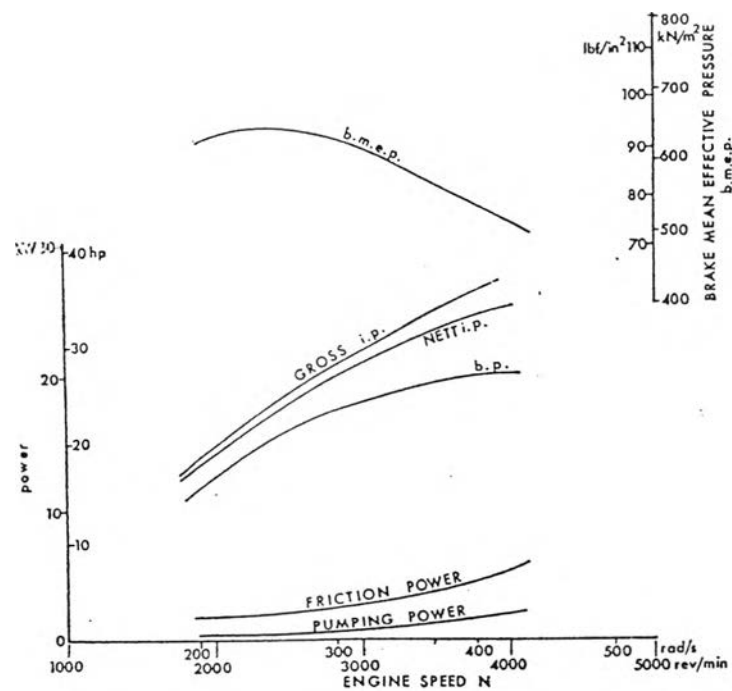
ดังนั้น ลักษณะกราฟของ b.m.e.p กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับกราฟของแรงบิดกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และกราฟค่าของ b.m.e.p คงที่ บนแกนระหว่าง b.p กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะมีลักษณะเช่นเดียวกับกราฟค่าแรงบิดคงที่ดังในรูปที่ 2.3

$$\text{ดังนั้น} \quad b.p = C \times b.m.e.p \times N \quad (2.7)$$

ดังนั้นเส้น b.m.e.p คงที่จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตัดแกนระหว่าง b.p. และ N ที่จุดกำเนิดซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.5 และในรูปที่ 2.5 ยังแสดงเส้น b.p. ที่ มุมปีกผีเสื้อต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่า ที่มุมปีกผีเสื้อเปิดสุด b.m.e.p จะมีค่าลดลงจาก 825 kN/m<sup>2</sup> ณ ตำแหน่งที่มีแรงบิดมากที่สุดไปอยู่ที่ 620 kN/m<sup>2</sup> ณ ตำแหน่งที่มีค่า b.p. มากที่สุด นอกจากนี้การลดมุมของวาล์วปีกผีเสื้อก็จะเป็นการลดอัตราการไหลของอากาศที่เข้าไปในเครื่องยนต์ด้วย ซึ่งไม่เพียงแต่กำลังของเครื่องยนต์จะลดลงแต่ maximum b.p. ของแต่ละค่ามุม Throttle Angle ก็ลดลงด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.5 แสดงกำลังของเครื่องยนต์ที่ตำแหน่งการเปิดวาล์วปีกผีเสื้อมุมต่างๆ [3]



รูปที่ 2.6 แสดงกราฟของกำลังเบรค (b.p.) , ความดันเฉลี่ย (b.m.e.p), กำลังซึ่งทั้งหมด (gross i.p) , กำลังซึ่งสุทธิ (nett i.p), friction power, pumping power จากการทดสอบโดยวาล์วปีกผีเสื้อเปิดสุดจากเครื่องยนต์ SI ขนาด 1.172 ลิตร 4 สูบ 4 จังหวะ [3]

สำหรับรูปที่ 2.6 เป็นรูปที่แสดงกราฟของกำลังเบรค (b.p.) , ความดันเฉลี่ย (b.m.e.p), กำลังซี่บ่งทั้งหมด (gross i.p) , กำลังซี่บ่งสุทธิ (nett i.p.), friction power, pumping power จากการทดสอบโดยวาล์วปีกผีเสื้อเปิดสุดจากเครื่องยนต์ SI ขนาด 1.172 ลิตร 4 สูบ 4 จังหวะ โดยค่า i.p. วัดจาก Farnboro's Indicator

### 2.1.6. ประสิทธิภาพเชิงกล (Mechanical Efficiency)

ประสิทธิภาพเชิงกล สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_m = \frac{b.p.}{i.p.} \quad (2.8)$$

ซึ่งประสิทธิภาพเชิงกล (mechanical efficiency) จะเป็นตัวบ่งชี้ถึง กำลังสูญเสียทางกลทั้งหมด ซึ่งกำลังสูญเสียนั้นจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

### 2.1.7 Fuel Power, F.P.

กำลังที่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิงได้จากการปลดปล่อยพลังงานจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงภายในเครื่องยนต์ในอากาศที่เพียงพอ ซึ่งเปลี่ยนไปเป็นกำลังกล ( mechanical power ) ซึ่ง

$$\text{Fuel Power} = \text{Fuel mass flow rate} \times C_L \quad (2.9)$$

เมื่อ  $C_L$  = Lower Calorific value ( MJ/kg)

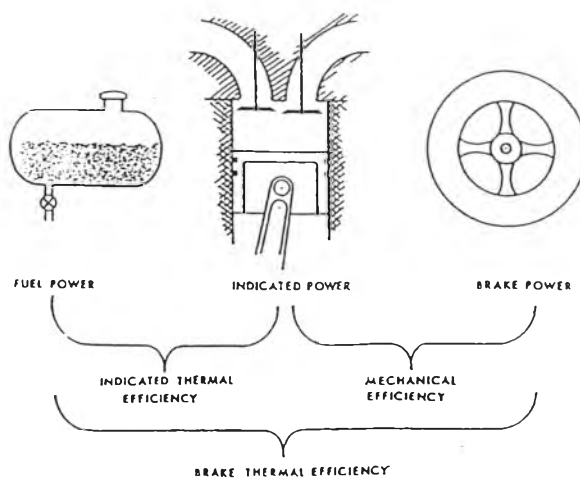
### 2.1.8 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เป็นอัตราส่วนของกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์กับกำลังที่ได้จากน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้น

$$\text{brake thermal efficiency} = \frac{b.p.}{f.p.} \quad (2.10)$$

$$\text{และ indicated thermal efficiency} = \frac{i.p.}{f.p.} \quad (2.11)$$



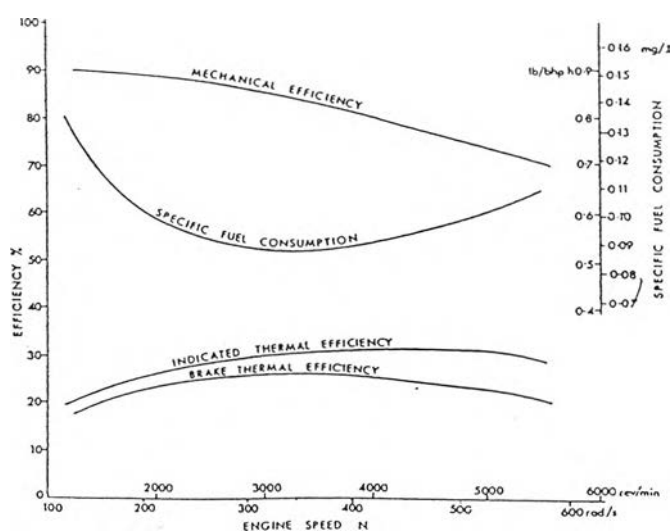


รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงค่าจำกัดความของ กำลังและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์<sup>[3]</sup>

ซึ่งรูปที่ 2.7 เป็นแผนภาพแสดงค่าจำกัดความของ fuel power , indicated power, brake power, indicated และ brake thermal efficiency และ mechanical efficiency

### 2.1.9 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption, s.f.c)

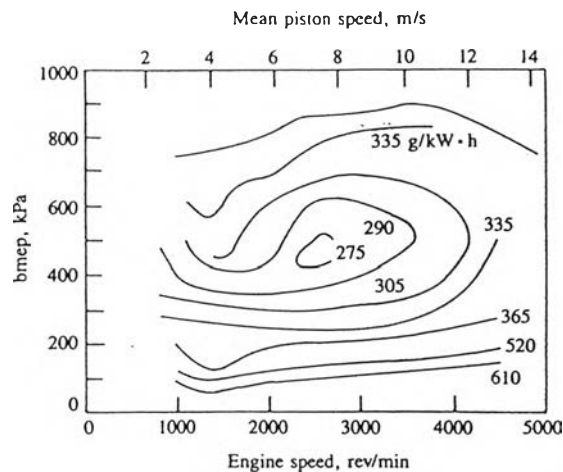
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (s.f.c) เป็นอัตราส่วนของอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ หน่วยของ s.f.c โดยทั่วๆ ไปคือ kg/kW.hr อาจกล่าวได้ว่า s.f.c. เป็นอัตราส่วนกลับของประสิทธิภาพเชิงความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงกราฟของ brake thermal efficiency , indicated thermal efficiency , s.f.c และ mechanical efficiency บนแกนของความเร็วรอบของเครื่องยนต์ SI ขนาด 1 ลิตร 4 สูบ 4 จังหวะ<sup>[3]</sup>

### 2.1.10 Performance Map

จากสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้งหมดที่กล่าวมา เราสามารถนำมาพิจารณาได้สะดวกขึ้นโดยนำมารวมกันเป็นแผนภูมิเพียงรูปเดียว ซึ่งก็คือ Performance Map ดังในรูปที่ 2.9 ซึ่งเครื่องยนต์ต่างๆ ที่มีลักษณะทาง geometrically คล้ายกันก็จะมีลักษณะของ Performance Map คล้ายคลึงกัน<sup>[2]</sup>



รูปที่ 2.9 แสดง Performance Map ของเครื่องยนต์ SI<sup>[4]</sup>

### 2.2 การทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์นั้นสามารถแบ่งเป็น 4 ประเภทคือ

1. Routine tests เป็นการทดสอบโดยผู้ผลิตหรือผู้ซื้อเครื่องยนต์ เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องยนต์อยู่ในมาตรฐาน
2. Development test รวมถึงการทดสอบเครื่องยนต์รุ่นใหม่ หรือทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการออกแบบ
3. Research test เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาทางวิทยาศาสตร์ถึงสิ่งที่ไม่เข้าใจหรือทดสอบภายใต้สภาวะที่ต้องการศึกษา
4. Educational test ซึ่งการทดสอบนี้ วัตถุประสงค์พื้นฐานเพื่อให้เห็นภาพที่เกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน

ดังนั้นการที่จะเริ่มการทดสอบนั้น จำเป็นจะต้องศึกษาเกี่ยวกับวิธีทดสอบเพื่อวัดค่าทางสมรรถนะของเครื่องยนต์ต่างๆ ภายในห้องทดสอบ เครื่องยนต์จะถูกติดตั้งไว้อย่างเหมาะสมกับไดนาโมมิเตอร์บนแท่นทดสอบ รวมทั้งยังต้องติดตั้งสิ่งที่จำเป็นต่างๆ เป็นต้นว่า ระบบเชื้อเพลิง, ระบบหล่อเย็น, ระบบไฟฟ้า, ระบบไอเสีย ให้เรียบร้อย ซึ่งในการทดสอบมีรายการที่จะต้องวัดและทดสอบที่สำคัญๆ ได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์, ปริมาณอากาศ, ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง และแรงบิด ฯลฯ

### 2.2.1 การวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (Measurement of Rotational Speed)

อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์จำแนกได้ดังนี้

1. Revolution Counter
2. Tachometers
3. Electronic Stroboscope

**2.2.1.1. Revolution Counter** เป็นเครื่องมือที่บันทึกนับจำนวนรอบการหมุนของเพลลาหรือเครื่องยนต์เท่านั้น ไม่สามารถแสดงผลออกมาเป็นความเร็วรอบของเครื่องยนต์ได้ ดังนั้นการใช้งานจะต้องใช้ร่วมกับนาฬิกาจับเวลา และแปลงออกมาเป็นจำนวนรอบต่อเวลาที่กำหนด

**2.2.1.2. Tachometers** เป็นเครื่องมือที่ใช้อ่านความเร็วรอบการหมุนของเครื่องยนต์โดยตรง ซึ่งกลไกภายในอาจเป็นแบบที่ใช้หลักการทางกล หรือทางไฟฟ้าก็ได้ ซึ่ง Tachometer ที่ใช้หลักการทางไฟฟ้าจะได้รับความนิยมมากกว่า ซึ่งภายในประกอบด้วย แม่เหล็กถาวรและโวลต์มิเตอร์ ซึ่งความเร็วรอบที่อ่านได้เกิดจากการที่ขดลวดหมุนตัดกับเส้นแรงแม่เหล็ก

#### 2.2.1.3. Electronic Stroboscope

ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องยนต์ก็สามารถวัดได้จาก Electronic Stroboscope เช่นกัน โดยประการแรกจะต้อง Mark ตำแหน่งบนเพลลา ก่อน หลังจากนั้นจึงจะสามารถใช้ Electronic Stroboscope ทำการวัดได้ โดยอุปกรณ์นี้จะสร้างแสง flash ขึ้นมาในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่ง Stroboscope จะปรับให้ความเร็วของแสง flash ให้ตรงกับความเร็วการหมุนของเพลลา โดยค่าความถี่ของแสง flash นั้นก็จะมีค่าเท่ากับความเร็วรอบการหมุนของเพลลานั้นเอง

### 2.2.2. การวัดอัตราการไหลของน้ำมัน ( Measurement of Fuel Flow )

การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ เราสามารถทราบได้โดยวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี สำหรับในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวเพียง 2 แบบ คือ การใช้ Pipette และ การใช้ Orifice Flowmeter

**2.2.2.1 Pipette** ปิเปต เป็นเครื่องมือแบบง่ายๆ และใช้วัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงได้แม่นยำ ซึ่งสามารถวัดอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ได้ทั้ง ปริมาตร 50 cc. และ 100 cc. ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องยนต์

ปิเปต เป็นหลอดแก้วตั้งตรงในแนวตั้ง มีตำแหน่ง Mark 2 ตำแหน่งทางด้านบนและด้านล่างของหลอดแก้ว วิธีวัดทำได้โดยจับเวลาการบริโภคเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ระหว่างที่ปริมาณน้ำมันอยู่ที่ตำแหน่งขีดบนและขีดล่างของปิเปต สมมติว่าปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ระหว่างขีดทั้งสองของปิเปตมีค่า 50 cc. และเวลาที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดังกล่าวที่วัดได้ เท่ากับ  $t$  วินาที

$$\text{ดังนั้น Rate of Fuel consumption} = \frac{50\rho_f}{t \times 10^6} \quad \text{kg/s} \quad (2.12)$$

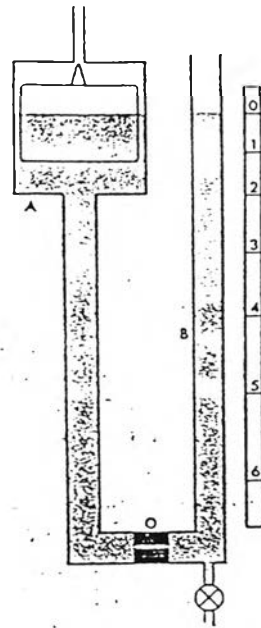
เมื่อ  $\rho_f$  คือ ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง ,  $\text{kg/m}^3$

#### 2.2.2.2 Orifice Flowmeter

เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงได้ตลอดเวลา และสามารถวัดค่าได้ทั้งหน่วย ml/s หรือ g/s ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.10

จากรูป A และ B เป็นหลอดแก้วที่ตั้งตรงในแนวตั้ง ซึ่งตอนล่างของหลอดแก้วมี orifice เล็กๆ O ติดอยู่ ระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในหลอดแก้ว A สามารถรักษาให้มีระดับคงที่ได้โดยกลไก float-feed แบบเดียวกับในคาร์บูเรเตอร์ ที่ด้านล่างของหลอดแก้ว B มีวาล์วที่ต่อไปยังระบบป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ เมื่อวาล์วปิด แสดงว่าไม่มีการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในหลอดแก้ว A และ B จะมีระดับเท่ากัน แต่เมื่อเปิดวาล์ว และเครื่องยนต์บริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงก็จะทำให้ระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในหลอดแก้ว B ลดลง ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไหลผ่าน Orifice O ซึ่งอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผ่าน Orifice นี้จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในหลอดแก้ว A และ B ดังสมการ  $V_f = K\sqrt{2gh}$  ดังนั้นระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในหลอด B จะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งอัตราการไหลผ่าน Orifice C เท่ากับอัตราการบริโภคน้ำมัน

เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ดังนั้นระดับน้ำมันเชื้อเพลิงในหลอดแก้ว B ก็จะบ่งบอกถึงอัตราการบริโภค น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์



รูปที่ 2.10 แสดง Orifice Flowmeter<sup>[3]</sup>

### 2.2.3 การวัดอัตราการบริโภคของอากาศ (Measurement of Air Supply)

ในการทดสอบเครื่องยนต์ จำเป็นจะต้องวัดอัตราการบริโภคอากาศของเครื่องยนต์ ซึ่งการที่จะวัดอัตราการไหลของอากาศนั้นทำได้ยาก เพราะธรรมชาติของอากาศเองและรวมถึงสภาวะแวดล้อมภายใต้การวัด ถ้าพิจารณาถึงปริมาณอากาศที่ไหลเข้าไปในลูกสูบของเครื่องยนต์นั้นไม่สม่ำเสมอระหว่างมุม  $180^\circ$  ถึง  $720^\circ$  ของ crankshaft ของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ซึ่งอัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์จึงไม่คงที่และมักจะไม่น่าเชื่อถือ เป็นคลื่น การวัดอัตราการไหลของอากาศโดยตรง อ่านค่าได้ไม่แน่นอนเพราะเข็มวัดสั่นขึ้นๆ ลงๆ ดังนั้นจึงควรวัดอัตราการไหลของอากาศโดยทำให้ความดันของอากาศสม่ำเสมอ ก่อน โดยวิธีติดตั้งถังลมหรือทำให้การไหลของอากาศเป็นแบบ laminar flow ซึ่งวิธีวัดประเภทนี้ได้แก่

#### 2.2.3.1. Tank and Orifice Method

วิธีนี้เป็นวิธีธรรมดาสำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ และเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดวิธีหนึ่งด้วย ซึ่งอากาศจะไหลผ่านแผ่น Orifice แล้วจึงไหลผ่านเข้าไปในเครื่องยนต์

ซึ่งอัตราการไหลของอากาศวัดได้จาก Pressure ที่ ตกลงระหว่างที่อากาศไหลผ่านแผ่น Orifice ซึ่งจากสมการ Energy ( Bernoulli's ) equation ก็จะสามารถคำนวณหาความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านแผ่น Orifice ได้จากสมการ

$$V_{air} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_{air}}}, (m/s) \quad (2.13)$$

และ mass flow ของอากาศก็จะสามารถคำนวณได้จาก

$$M_{air} = \rho_{air} \cdot V_{air} \cdot A_o \cdot C_d, (kg/s) \quad (2.14)$$

ดังนั้นจะได้ 
$$M_{air} = C_d \cdot A_o \sqrt{2\Delta P \cdot \rho_{air}}, (kg/s) \quad (2.15)$$

เมื่อ  $C_d$  = สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านแผ่น Orifice

( the coefficient of discharge of the orifice)

$A_o$  = พื้นที่หน้าตัดของแผ่น Orifice ( $m^2$ )

$\rho_{air}$  = ความหนาแน่นของอากาศ ( $kg/m^3$ )

เนื่องจาก Pressure Drop ( $\Delta P$ ) ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องใช้หลอดแก้วรูปตัวยูวัดระดับน้ำที่แตกต่างกันของทั้งสองข้างของหลอดแก้ว ดังนั้น

$$\Delta P = \rho_w \cdot \Delta H \cdot g, (N/m^2) \quad (2.16)$$

ซึ่ง  $\rho_w$  = ความหนาแน่นของของเหลวในหลอดแก้วรูปตัวยู ( $kg/m^3$ )

$\Delta H$  = ความแตกต่างของระดับความสูงของของเหลวทั้งสองข้างในหลอดแก้วรูปตัวยู (m)

$g$  = ค่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก ( $m/s^2$ )

ดังนั้นจากทั้งหมด จะได้ 
$$M_{air} = C \sqrt{\Delta H \cdot \rho_{air}}, (kg/s) \quad (2.17)$$

โดย  $C = C_d \cdot A_o \cdot \sqrt{2g \cdot \rho_w}$

ซึ่งเครื่องมือวัดชนิดนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.11 โดยถังลมนี้จะต้องมีขนาดใหญ่ เพื่อเป็นที่พักอากาศที่จะไหลเข้าไปในเครื่องยนต์ และเพื่อลดการกระเพื่อมของอากาศนั่นเอง ดังนั้น ขนาดของถังลมจึงมีส่วนสำคัญที่จะทำให้การวัดมีความแม่นยำ ซึ่งขนาดปริมาตรของถังลมที่น้อยที่สุดสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$V_{\text{tank}} = \frac{4.57 \times 10^6 \times d^4 E^2}{N_{\text{min}}^2 n V_s} \text{ (m}^3\text{)} \quad (2.18)$$

โดย  $d$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่น Orifice (m.)

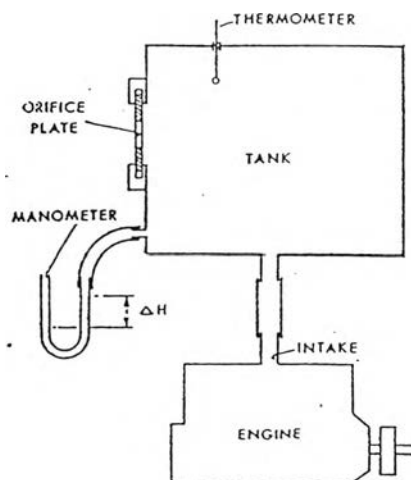
$E$  = ค่าคงที่ 1 สำหรับเครื่องยนต์ 2 จังหวะ

2 สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

$n$  = จำนวนกระบอกสูบของเครื่องยนต์

$V_s$  = ปริมาตรแทนที่ของเครื่องยนต์ทั้งหมด (m<sup>3</sup>)

$N_{\text{min}}$  = ความเร็วเชิงมุมของเพลาค้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ต่ำที่สุด (rad/s)

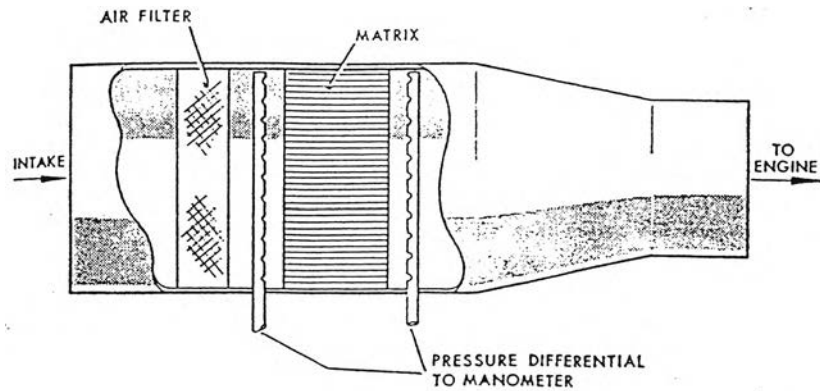


รูปที่ 2.11 แสดง Tank และ Orifice<sup>[3]</sup>

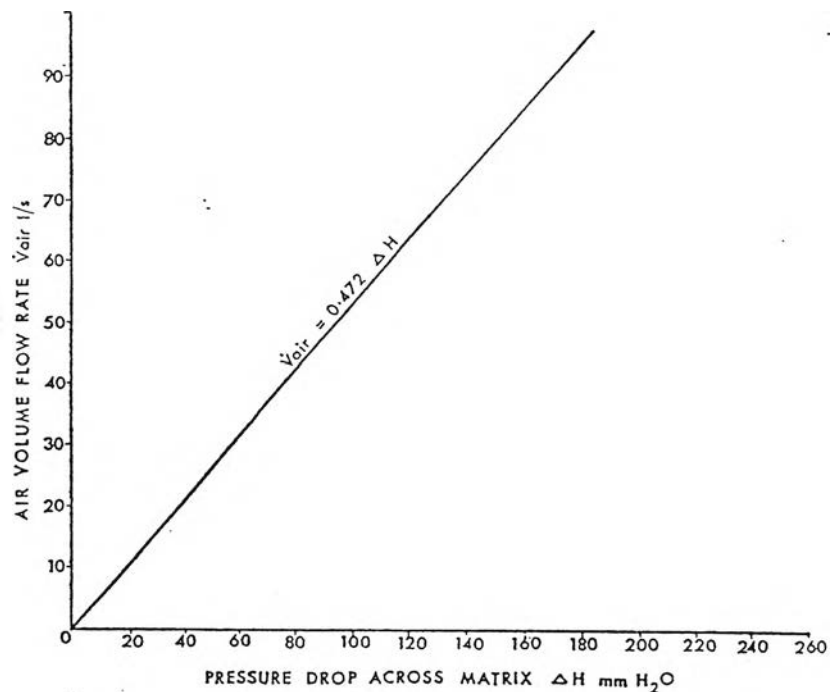
### 2.2.3.2. วิธีใช้ค่าความหนืดการไหล (Viscous Flow Air Meter)

วิธีการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยวิธีนี้ จะไม่ได้รับผลกระทบจากการที่อากาศไหลโดยไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากภายในของ viscous flow air meter จะประกอบไปด้วยท่อเล็กๆ หลายๆ ท่อรวมกันคล้ายรังผึ้งดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.12 ดังนั้นจึงสามารถทำให้การไหลของอากาศเป็นแบบ laminar flow ได้ จึงสามารถวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศได้แม่นยำ ปริมาณการไหลของอากาศที่ได้

มีความสัมพันธ์กับความแตกต่างของความดันที่ตกคร่อมของ test section ซึ่งจะเป็นสมการเส้นตรง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 แสดง Viscous Flowmeter สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศ<sup>[3]</sup>



รูปที่ 2.13 แสดงเส้น Calibration ของ viscous flowmeter<sup>[3]</sup>

#### 2.2.4 วิธีวัดแรงบิด

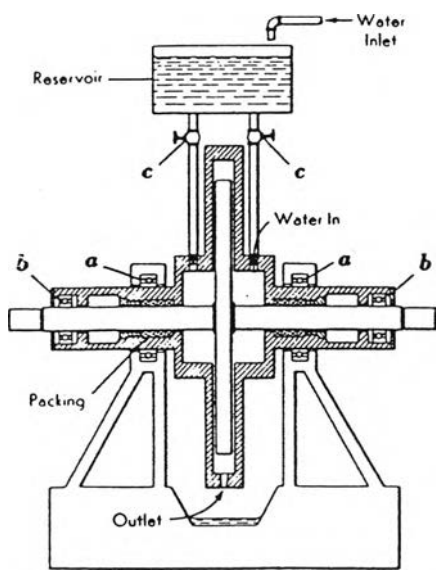
สิ่งที่ขาดไม่ได้ในการทดสอบเครื่องยนต์ คือการวัดแรงบิดที่ส่งออกมาจากเครื่องยนต์ ซึ่งอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้วัดแรงบิดมีอยู่ด้วยกันมากมายหลายชนิดแต่อุปกรณ์ที่เป็นที่นิยมใช้สำหรับวัดแรงบิดมากที่สุดก็คือ ไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งไดนาโมมิเตอร์ที่มีใช้กันอยู่นั้นก็มีมากมายหลายแบบหลาย



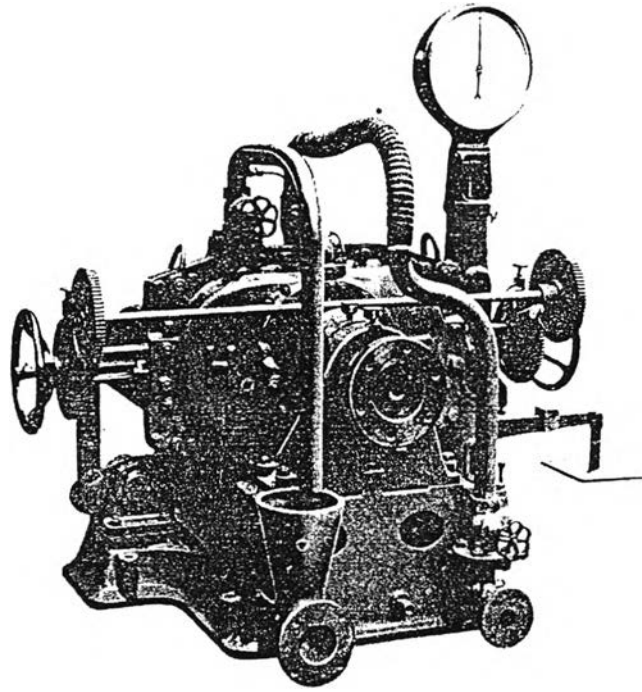
ชนิด แต่เราสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ด้วยกันคือ Absorption Dynamometer และ Transmission Dynamometer สำหรับในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวเนื้อหาเฉพาะ Fluid Dynamometer ซึ่งจัดอยู่ในจำพวก Absorption Dynamometer

Fluid Dynamometer การเบรคของของไหลนั้นจำแนกออกเป็น 2 แบบ คือ แบบ friction และแบบ agitator<sup>[2]</sup> ในแบบ friction นั้นแรงคู่ควบที่ใช้สำหรับต้านแรงบิดจากเครื่องยนต์จะเกิดขึ้นและจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม Viscous Shearing ของของไหลระหว่าง rotor และ stator สำหรับในแบบ agitator นั้นแรงคู่ควบที่ใช้สำหรับต้านแรงบิดจากเครื่องยนต์จะเกิดขึ้น และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหลขณะที่มันไหลผ่านจากใบ rotor ไปยังใบ stator และไหลกลับมาอีก

รูปที่ 2.14 แสดงรูปของ friction brake อย่างง่ายๆ ประกอบไปด้วยแผ่น disk ที่อยู่ภายในภาชนะปิด (Case) ซึ่งบรรจุของเหลวคือน้ำอยู่ภายใน โดยเมื่อเพิ่มแรงบิด ปริมาณของน้ำในภาชนะก็จะเพิ่มขึ้น โดยปรับวาล์ว C ซึ่งจะปรับให้น้ำไหลเข้าและไหลออกจากภาชนะอย่างต่อเนื่อง เพื่อรักษาความหนืดของน้ำให้คงที่ (อุณหภูมิคงที่) ซึ่งแรงบิดจะต้องคงที่ด้วย ซึ่งแรงเสียดทานเบรคนี้สามารถปรับให้มีความมากขึ้นได้โดยเพิ่มอัตราการไหลของน้ำหรือเพิ่มจำนวนแผ่น disk rotor หรือ vane rotor

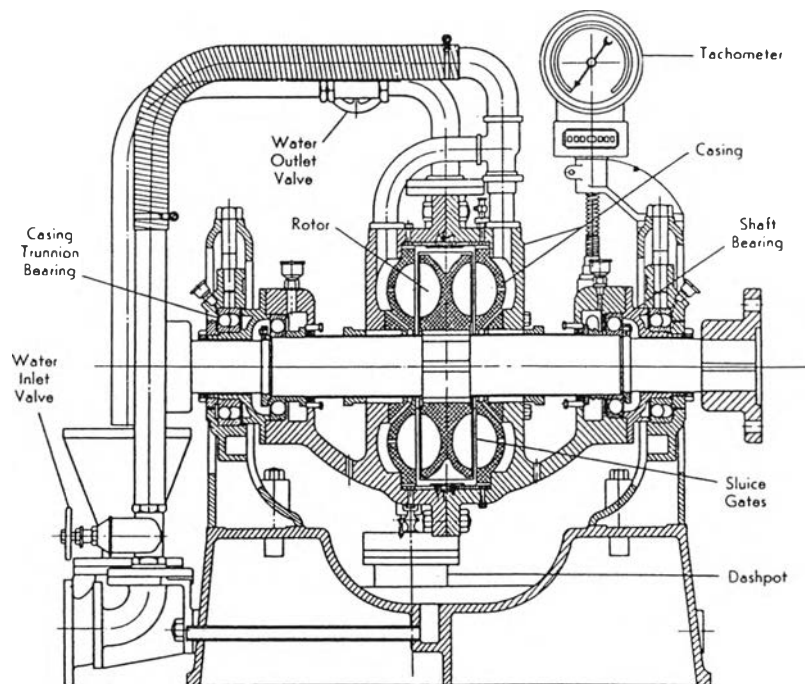


รูปที่ 2.14 แสดง Viscous water brake<sup>[2]</sup>



รูปที่ 2.15 แสดง Heenan-Froude water brake ซึ่งเป็น Fluid Dynamometer แบบ agitator <sup>[2]</sup>

สำหรับรูปที่ 2.15 เป็นแผนภาพแสดง Fluid Dynamometer แบบ agitator แบบง่ายๆ และแสดงภาพตัดไว้ในรูปที่ 2.16



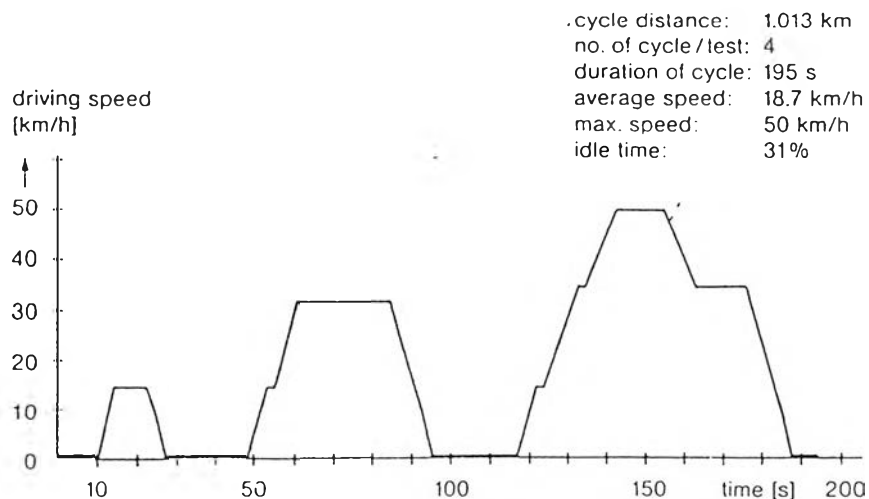
รูปที่ 2.16 แสดงภาพตัดขวางของ Heenan-Froude water brake <sup>[2]</sup>

น้ำที่ไหลจาก vane ของ rotor ไปสู่ vane ของ stator และไหลกลับไปสู่ rotor กลับไปมาอย่างนี้ ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลวนอย่างสูง ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมนั่นเอง

### 2.3 รูปแบบการขับขี่มาตรฐาน ( Driving Pattern )

รูปแบบการขับขี่มาตรฐาน ได้จากการศึกษาข้อมูลทางสถิติของสภาพการจราจรภายในประเทศว่ามีสภาพการจราจรในแต่ละท้องถิ่นนั้นๆ อย่างไร เป็นต้นว่า รถยนต์จะแล่นที่ความเร็วเท่าไร, มีอัตราเร่งหรืออัตราหน่วงในการขับขี่อย่างไร แล้วจึงสรุปจำลองสภาพการจราจรออกมาเป็นรูปแบบการขับขี่

เนื่องจากรถยนต์ต่างๆ ที่จะนำมาขับขี่นั้นจะต้องถูกควบคุมด้วยมาตรฐานควบคุมมลพิษจากไอเสียรถยนต์ ซึ่งจำเป็นต้องมีรูปแบบการขับขี่มาตรฐานเพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบรถยนต์ กรณีของประเทศไทยได้อ้างอิงมาตรฐานควบคุมมลพิษจากไอเสียของรถยนต์ตาม ECE.R83 annex B ซึ่งใช้ mode ของ ECE15 ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.17 ซึ่งวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ก็ได้ใช้รูปแบบการขับขี่มาตรฐานของ ECE 15 สำหรับคำนวณปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่สิ้นเปลืองใน 1 cycle ซึ่ง 1 cycle มีระยะทาง 1.013 กิโลเมตร และใช้เวลาทั้งสิ้น 195 วินาที, ความเร็วโดยเฉลี่ย 18.1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีความเร็วสูงสุด 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 2.17 E.C.E driving mode [5]