บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความเป็นของเครื่องยนต์ดีเซล น้ำมันดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซล [4]

ดร.รูดอล์ฟ ดีเซล ชาวเยอรมันเป็นผู้คิดค้นเครื่องยนต์ดีเซลได้สำเร็จในปี พ.ศ. 2425 โดยการใช้น้ำมันจากถั่วลิสงเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในการทดสอบเครื่องยนต์จนประสบความสำเร็จ และเป็นต้นแบบของเครื่องยนต์ดีเซลจนถึงปัจจุบัน

เครื่องยนต์ดีเซล ทำงานโดยการอัดอากาศให้เกิดความร้อนสูง เมื่อฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปก็จะเกิดการเผาไหม้ขึ้นทำให้แก๊สร้อนเกิดการขยายตัวดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ เพื่อให้กำลังงานออกมา

2.1.1 น้ำมันดีเซล [4]

น้ำมันดีเซล ได้จากการค้นพบน้ำมันดิบซึ่งซ่อนอยู่ใต้พื้นดิน และได้นำมากลั่น จนได้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญตัวหนึ่งคือ น้ำมันดีเซล ซึ่งได้มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในเครื่องยนต์ดีเซล

2.1.2 น้ำมันไบโอดีเซล [4]

น้ำมันไบโอดีเซล (Bio-diesel Fuel) คือ เชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซลที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ และน้ำมันที่ใช้ทำอาหารแล้ว ไบโอดีเซลที่ถูกผลิตโดยทั่วไป จะถูกผลิตขึ้นจากปฏิกิริยาของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ กับ Methanol หรือ Ethanol โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยที่จะทำให้ได้ Glycerin และ ไบโอดีเซล (ในทางเคมีเรียกว่า Methyl esters หรือ Ethyl esters) ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า “ทรานส์เอสเตอริฟิเคชั่น (Transesterification)” วัตถุประสงค์ของกระบวนการนี้คือช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมัน ในเรื่องความหนืดให้เหมาะสมกับการใช้งานกับเครื่องยนต์ และเพิ่มค่า Cetane number ของน้ำมัน ถึงแม้ว่าปัจจุบัน ประเทศไทยจะมีการวิจัยและผลิตน้ำมันไบโอดีเซลออกมาใช้บ้างแล้ว แต่ก็ยังไม่เป็นที่นิยมใช้ และยังไม่มีการใช้อย่างแพร่หลาย เพราะผู้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลส่วนใหญ่ ยังมีความกังวลและยังไม่มั่นใจ ในคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ในด้านผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ และผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเครื่องยนต์

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์

2.2.1 พารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์ [2]

เครื่องยนต์เป็นเครื่องจักรกลต้นกำลังที่ให้กำลังออกมาในรูปของทอร์คและความเร็วในการหมุน เพื่อให้นำไปใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ต่างๆ ดังนั้นลักษณะที่สำคัญของเครื่องยนต์จึงถูกกำหนดด้วยความต้องการในการนำไปใช้งาน สำหรับสมรรถนะหรือความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์จะถูกกำหนดโดย

1) กำลังสูงสุด (หรือทอร์กสูงสุด) ที่ให้ออกมาที่อัตราเร็วรอบหนึ่งๆ ตลอดช่วงการใช้งานของเครื่องยนต์

2) ช่วงของอัตราเร็วเครื่องยนต์ (อัตราเร็วรอบการหมุน) และกำลังที่เครื่องยนต์ทำงานได้ดีกำลังและอัตราเร็วที่นิยมใช้ในการแสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์จะแบ่งเป็น

1) กำลังที่กำหนดสูงสุด (maximum rated power) เป็นกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ให้ออกมาได้ในช่วงการทำงานสั้นๆ

2) กำลังที่กำหนดปกติ (normal rated power) เป็นกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ให้ออกมาได้สำหรับการทำงานอย่างต่อเนื่อง

3) อัตราเร็วที่กำหนด (rated speed) เป็นอัตราเร็วรอบการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง ซึ่งกำลังที่กำหนดถูกให้ออกมา

2.2.2 กำลัง [2]

กำลัง (power) เป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน และเป็นค่าที่กำหนดความต้องการของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่จะใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับกำลังมีอยู่หลายตัว คือ กำลังบ่งชี้ กำลังเบรค และกำลังความเสียดทาน

2.2.2.1 กำลังม้าบ่งชี้ [2]

กำลังบ่งชี้ (indicated horse power) เป็นกำลังที่ถ่ายทอดจากแก๊สภายในกระบอกสูบไปสู่ลูกสูบ กำลังบ่งชี้หาได้จากงานที่แก๊สถ่ายทอดไปสู่ลูกสูบ ต่อวัฏจักรการทำงาน (indicated work per cycle) หาได้จาก

$$P_i = P_b + P_f \quad (2.1)$$

เมื่อ

P_i = กำลังม้าเบรคบ่งชี้ (hp)

P_b = กำลังม้าเบรค (hp)

P_f = กำลังม้าเบรคเสียดทาน (hp)

2.2.2.2 กำลังม้าเบรค [2]

กำลังม้าเบรค (brake horse power) เป็นกำลังที่วัดได้ที่เพลาข้อเหวี่ยง หรือที่ล้อตุนกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งานได้นั่นเอง การวัดกำลังเบรคจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไดนาโมมิเตอร์ (dynamometer) ซึ่งมีอยู่หลายชนิด โดยจะวัดออกมาในรูปของทอร์กและรอบการหมุนของเครื่องยนต์ ซึ่งจะได้ทอร์กและกำลังม้าเบรค

$$T = W \cdot L \quad (2.2)$$

$$P_b = \frac{2\pi \cdot T \cdot N}{60} \quad (2.3)$$

เมื่อ

P_b = กำลังม้าเบรค (W)

T = ทอร์กที่ได้จากเครื่องยนต์ (N.m)

W = ค่าภาระที่อ่านได้จากไดนาโมมิเตอร์ (kg_f)

L = ความยาวของแขนจากไดนาโมมิเตอร์ถึงเครื่องยนต์ (m)

N = ความเร็วรอบเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ (rpm)

2.2.2.3 กำลังม้าเสียดทาน [2]

กำลังเสียดทาน (friction horse power) เป็นกำลังที่รวมเอากำลังที่ใช้ในการนำไอดีเข้าและนำไอเสียออก กำลังที่เอาชนะความเสียดทานของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ และกำลังที่ใช้ในการขับอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อการทำงานของเครื่องยนต์ ดังนั้น จากนิยามของกำลังบ่งชี้และกำลังเบรค จะได้ซึ่งอัตราส่วนระหว่างกำลังเบรคกับกำลังบ่งชี้ จะเรียกว่า ประสิทธิภาพเชิงกล (mechanical efficiency) เนื่องจากกำลังเสียดทานนี้รวมถึงกำลังที่ใช้ในการนำไอเสียออกจากเครื่องยนต์ด้วย ประสิทธิภาพเชิงกลจึงขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งของลิ้นเร่ง รวมถึงการออกแบบเครื่องยนต์ และอัตราเร็วเครื่องยนต์ ค่าทั่วไปของประสิทธิภาพเชิงกลสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้กับรถยนต์ในปัจจุบัน ที่ตำแหน่งเปิดลิ้นเร่งเต็มที่ (wide-open throttle, WOT) จะมีค่าประมาณร้อยละ

90 ที่อัตราเร็วต่ำกว่า 30 – 40 rev/s และจะลดลงเป็นร้อยละ 70 ที่อัตราเร็วที่กำหนดสูงสุด เมื่อเปิดลิ้นเร่งบางส่วน ประสิทธิภาพเชิงกลจะลดลงและจะมีค่าเป็นศูนย์ในขณะเดินเบา (idle)

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณหากำลังม้าเสียดทาน คือ [1]

$$P_f = \frac{\eta_f \cdot L_f}{100} \tag{2.4}$$

เมื่อ

P_f = กำลังม้าเบรคเสียดทาน (hp)

η_m = การสูญเสียในแรงเสียดทาน (%)

L_f = แรงม้าเทียบเท่ากับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (hp)

2.2.3 ความดันยังผลเฉลี่ยเบรค [2]

ในขณะที่ทอร์กเป็นการวัดความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ แต่ทอร์กจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องยนต์ (เครื่องยนต์ใหญ่จะให้ทอร์กสูง เครื่องยนต์เล็กจะให้ทอร์กต่ำ) จึงมีการกำหนด การวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบขึ้น โดยการหารงานต่อวัฏจักรด้วยปริมาตรการกระจัดต่อวัฏจักร ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่ จึงเรียกว่า ความดันยังผลเฉลี่ยเบรค (Brake mean effective pressure, $bmep$)

ความดันยังผลเฉลี่ยเบรคสูงสุดสำหรับเครื่องยนต์แต่ละชนิดที่ถูกออกแบบมาอย่างดี มักจะมีค่าเกือบคงตัวตลอดช่วง (ที่ค่อนข้างกว้าง) ของขนาดเครื่องยนต์ และมีการกำหนดค่าทั่วไปไว้ ดังนั้น จึงสามารถนำความดันยังผลเฉลี่ยเบรคที่กำหนดไว้นี้ ไปใช้กับการเปรียบเทียบค่าที่ได้จริง เพื่อประเมินว่าผู้ออกแบบได้ใช้ปริมาตรกระจัดของเครื่องยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด และยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบเบื้องต้น เพื่อหาปริมาตรกระจัดที่ต้องการสำหรับทอร์กหรือกำลังที่อัตราเร็วรอบที่กำหนดหนึ่งๆด้วย

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ [1]

$$bmep = \frac{P_b \times 60 \times a}{N \times V_d} \tag{2.5}$$

$$imep = \frac{P_i \times 60 \times a}{N \times V_d} \tag{2.6}$$

เมื่อ

$bmep$ = ความดันยังผลเฉลี่ยเบรค (kPa)

$imep$ = ความดันยังผลเฉลี่ยบ่งชี้ (kPa)

V_d = ปริมาตรกระจัด (dm^3 or l)

π = 3.1415

P_b = กำลังม้าเบรค (kW)

P_i = กำลังม้าบ่งชี้ (kW)

a = เป็นจำนวนรอบการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงที่ให้จังหวะกำลัง 1 จังหวะต่อสูบ สำหรับเครื่องยนต์ 2 จังหวะ $a = 1$ และสำหรับเครื่องยนต์สี่จังหวะ $a = 2$

N = ความเร็วรอบเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ (rpm)

2.2.4 การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค [2]

ในการทดสอบเครื่องยนต์ การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะถูกวัดเป็นอัตราการไหลของมวล ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบได้จึงกำหนดในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel consumption, sfc) ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมา และเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตงานออกมา

ค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงยิ่งต่ำก็ยิ่งดี และโดยทั่วไปแล้วจะคำนวณในรูปของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (brake specific fuel consumption, $bsfc$) คือ เป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังเบรคที่ให้ออกมา ค่า $bsfc$ ที่ดีที่สุดสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟจะมีค่าประมาณ 75 μ g/J ซึ่งเท่ากับ 270 g/(kW.h) และสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดใหญ่จะมีค่าต่ำกว่า 55 μ g/J หรือ 200 g/(kW.h)

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ [1]

$$sfc = \frac{b}{t} \times \frac{3600}{1000} \tag{2.7}$$

$$bsfc = \frac{sfc \cdot \gamma}{P_b} \tag{2.8}$$

เมื่อ

sfc = การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (l / h)

b = การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในระหว่างการจับเวลาเป็นวินาที (c.c)

t = เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการวัดการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (วินาที)

$bsfc$ = การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (kg/hp.hr)

P_b = กำลังม้าเบรค (hp)

γ = น้ำหนักจำเพาะของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิการทดลอง (kg / l)

2.2.5 การไหลของอากาศ [2]

การไหลของอากาศในท่อไอดีมีทั้งการไหลเข้าจากลิ้นเร่ง และการไหลออกไปสู่กระบอกสูบรวมทั้งการไหลกลับ (Backflow) ของแก๊สจากกระบอกสูบสู่ระบบไอดี ซึ่งการไหลออกจากท่อไอดีจะเกิดเป็นช่วงๆ เป็นไปตามจังหวะดูดของสูบต่างๆ และเป็นผลให้การไหลเข้าท่อไอดีจากลิ้นเร่งเป็นช่วงๆไปด้วย ส่วนการไหลกลับจากกระบอกสูบเข้าไปสู่ท่อไอดีนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อมีการปิดลิ้นเร่งบางส่วนในช่วงต้นของกระบวนการดูด จนกระทั่งความดันในกระบอกสูบลดลงต่ำกว่าความดันในท่อไอดี ซึ่งการไหลกลับนี้สามารถเกิดขึ้นในช่วงต้นของจังหวะอัดก่อนที่วาล์วไอดีจะปิดด้วยเนื่องจากความดันกระบอกสูบที่เพิ่มขึ้น

การไหลของอากาศที่เข้าไปในแต่ละกระบอกสูบของเครื่องยนต์หลายสูบ แม้ภายใต้สภาวะคงตัวก็จะไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ เนื่องจากความยาวของท่อแยกและรูปร่างของช่องทางการไหลที่ไปยังแต่ละสูบแตกต่างกัน

นอกจากนี้ ยังมีปรากฏการณ์ที่สำคัญที่เกี่ยวกับการไหลของอากาศในท่อไอดีเกิดขึ้นอีก คือ เมื่อภาระของเครื่องยนต์เปลี่ยนไปโดยการเปิดหรือปิดลิ้นเร่ง มวลของอากาศในระบบไอดีจะใช้เวลาชั่วขณะหนึ่งในการปรับเข้ากับสภาวะการทำงานใหม่ เช่น เมื่อลิ้นเร่งเปิดมากขึ้น อากาศที่ไหลผ่านลิ้นเร่งเข้าท่อไอดีก็จะเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากท่อไอดีมีปริมาตรจำนวนหนึ่ง จึงทำให้ระดับความดันในท่อไอดีเพิ่มขึ้นช้ากว่าที่ควรจะเป็น เป็นผลให้ผลต่างของความดันที่ทางเข้าและทางออกของลิ้นเร่งมากกว่าในสภาวะการไหลคงตัว การไหลของอากาศผ่านลิ้นเร่งจึงสูงกว่าในสภาวะคงตัว ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ จะมีผลต่อการเตรียมสารผสมอากาศกับเชื้อเพลิงในกรณีที่ใช้คาร์บูเรเตอร์หรือการฉีดเชื้อเพลิงเข้าช่องปีกผีเสื้อ ซึ่งการไหลของเชื้อเพลิงจะต้องสัมพันธ์กับการไหลของอากาศผ่านลิ้นเร่ง ผลของอัตราการไหลของอากาศและความดันในท่อไอดีที่ตอบสนองต่อการเปิดลิ้นเร่ง(มุมของลิ้นเร่งเพิ่มขึ้น) ในระหว่างจังหวะดูด ความดันในกระบอกสูบจะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เนื่องจากความเสียดทานในการไหลผ่านส่วนต่างๆของระบบไอดี โดยค่าความดันที่ต่ำลงนี้จะขึ้นอยู่กับกำลังสองของอัตราเร็วของไอดี และจะเท่ากับผลรวมของการสูญเสียความดันในแต่ละส่วนของระบบไอดี ซึ่งได้แก่ เครื่องกรองอากาศ คาร์บูเรเตอร์ (ถ้าใช้) และลิ้นเร่ง ท่อร่วมไอดี ช่องไอดี โดยการสูญเสียความเสียความดัน จะเกิดขึ้นในช่องไอดีและวาล์วไอดีมากที่สุด และเป็นผลให้ความดันในกระบอกสูบในระหว่างกระบวนการดูดเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วใกล้กับความเร็วสูงสุดต่ำกว่าความดันบรรยากาศร้อยละ 10 ถึง 20

ในระบบไอเสียก็จะมีการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในการไหลผ่านชิ้นส่วนต่างๆของระบบไอดีเช่นกัน ซึ่งเป็นผลให้ความดันในท่อร่วมไอเสีย (และความดันในกระบอกสูบ) ในระหว่างกระบวนการคายความดันสูงกว่าบรรยากาศ

อัตราการไหลเชิงมวลของไอดี หาได้จาก

$$G_s = V \times A \times \rho_a \qquad (2.9)$$

เมื่อ

G_s = อัตราการไหลเชิงมวลของไอดี (kg/s)

V = ความเร็วลมที่ทางเข้าท่อร่วมไอดี (m/s)

A = พื้นที่หน้าตัดปากท่อร่วมไอดี (m^2)

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

2.2.6 อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงและอัตราส่วนอากาศเกิน [2]

อัตราการไหลของมวลอากาศและอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงมักจะถูกวัดในการทดสอบเครื่องยนต์ อัตราส่วนของอัตราการไหลเหล่านี้ จะเป็นประโยชน์ในการกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ [1]

$$R = \frac{G_s}{sfc \cdot \gamma} \times 3600 \qquad (2.10)$$

$$\lambda = \frac{R}{R_o} \qquad (2.11)$$

เมื่อ

R = อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิง (kg-air/kg-fuel)

R_o = อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี (kg-air/kg-fuel)

λ = อัตราส่วนอากาศเกิน

$R_o = 34.48 \left(\frac{C}{3} + H\right)$

C = ร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์บอนในเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล C = 0.87)

H = ร้อยละโดยน้ำหนักของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล H = 0.13)

G_s = อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)

sfc = การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (l/hr)

γ = น้ำหนักจำเพาะของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิทดสอบ (kg/l)

2.2.7 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดสมรรถนะเครื่องยนต์ [2]

สมรรถนะของเครื่องยนต์ถูกกำหนดด้วยกำลังและทอร์กที่เครื่องยนต์ให้ออกมา ซึ่งกำลังและทอร์กนี้ สามารถเขียนให้อยู่ในพจน์ของค่าที่ใช้กำหนดสมรรถนะต่างๆที่กำหนดไว้แล้ว คือ จากสมการของประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง

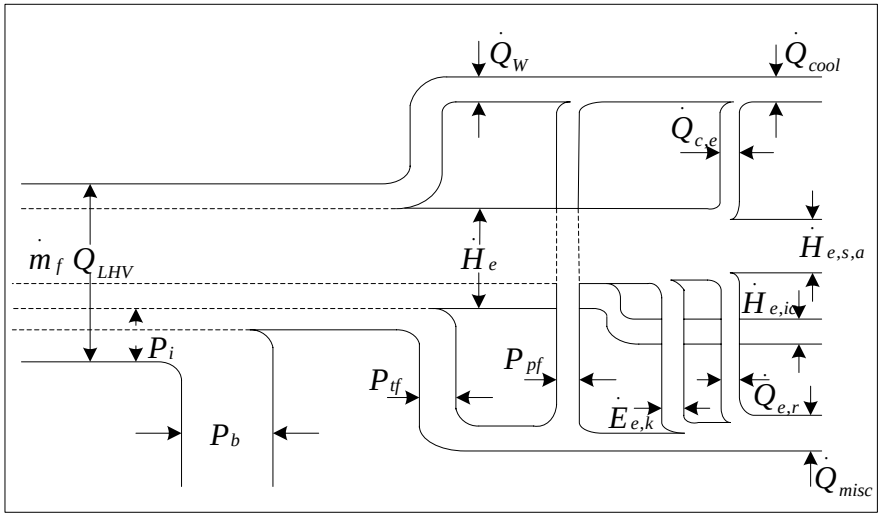
จากความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์ตามที่แสดงในสมการต่างๆเพื่อให้ได้สมรรถนะของเครื่องยนต์ (กำลังและทอร์ก) สูงจะต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้

1. มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูง
2. มีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูง
3. มีการเพิ่มความหนาแน่นของอากาศที่เข้า
4. มีอัตราส่วนเชื้อเพลิง/อากาศสูงสุดที่สามารถเผาไหม้ได้ในเครื่องยนต์
5. มีอัตราเร็วลูกสูบเฉลี่ยสูง

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและสมดุลพลังงานของเครื่องยนต์ [2]

สมดุลทางความร้อน (Heat balance) คือ พลังงานเชื้อเพลิง (ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง) ที่ใส่เข้าไปแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ สมดุลพลังงานของเครื่องยนต์ที่ใช้กับรถยนต์ทั่วไป เมื่อคิดร้อยละของค่าความร้อนของเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ดีเซลจะมากกกว่าเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ แสดงว่าเครื่องยนต์ดีเซลมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงสูงกว่าเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (เมื่อคิดให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเท่ากัน)

สมดุลพลังงานภายในเครื่องยนต์ คือ กำลังบ่งชี้เป็นผลรวมของกำลังเบรคและกำลังความเสียดทาน ส่วนหนึ่งของกำลังความเสียดทาน (ประมาณครึ่งหนึ่ง) จะถูกใช้เพื่อเอาชนะความเสียดทานระหว่างลูกสูบและแหวนลูกสูบกับกระบอกสูบ และถูกถ่ายเทไปยังสารหล่อเย็นในรูปของพลังงานความร้อน กำลังความเสียดทานที่เหลือจะถูกใช้ไปในแบริ่งชุดกลไกวาล์ว หรือใช้ไปในการขับอุปกรณ์ประกอบ และถูกถ่ายทอดไปยังน้ำมันหล่อลื่นหรือสิ่งแวดล้อมโดยรอบในรูปของพลังงานความร้อนเช่นกัน สำหรับเอนทาลปีเริ่มต้นในไอเสียสามารถแบ่งได้เป็นส่วนต่างๆ คือ เอนทาลปีสัมผัส (60%) การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ (20%) และการถ่ายเทความร้อนไปสู่ระบบไอเสีย (12%) (ความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกถ่ายเทโดยการแผ่รังสีไปยังสิ่งแวดล้อม และส่วนที่เหลือจะถูกถ่ายเทไปยังสารหล่อเย็น) ดังนั้นความร้อนที่ถูกพาออกไปโดยสารหล่อเย็นก็จะประกอบด้วย ความร้อนที่ถูกถ่ายเทไปยังห้องเผาไหม้จากแก๊สในกระบอกสูบ ความร้อนที่ถูกถ่ายเทไปสู่วาล์วไอเสียและช่องไอเสียในกระบวนการคาย และความร้อนที่เปลี่ยนจากงานเนื่องจากความเสียดทาน



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงแผนการไหลพลังงานสำหรับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน [2]

จากรูปที่ 2.1 จะได้ว่า

$\dot{m}_f\ Q_{LHV}$ = อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง x ค่าความร้อนต่ำ

$\dot{Q}_W$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนไปสู่ผนังห้องเผาไหม้

$\dot{H}_e$ = ฟลักซ์เอนทาลปีของไอเสีย

P_b = กำลังเบรค

P_{tf} = กำลังความเสียดทานรวม

P_i = กำลังบ่งชี้

P_{pf} = กำลังความเสียดทานของลูกสูบ

$\dot{Q}_{cool}$ = อัตราความร้อนที่ถูกถ่ายเทสู่น้ำหล่อเย็น

$\dot{Q}_{c,e}$ = อัตราการถ่ายเทความร้อนไปสู่สารหล่อเย็นในช่องไอเสีย

$\dot{H}_{e,s,a}$ = ฟลักซ์เอนทาลปีสัมผัสของไอเสียซึ่งเข้าไปในบรรยากาศ

$\dot{H}_{e,ic}$ = ฟลักซ์เอนทาลปีของไอเสียเนื่องจากการเผาไหม้สมบูรณ์

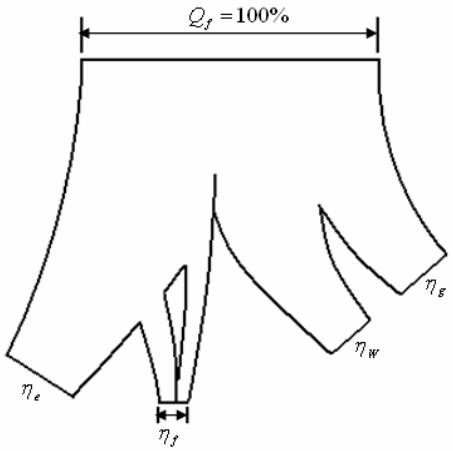
$\dot{Q}_{e,r}$ = ฟลักซ์ความร้อนที่แผ่รังสีจากระบบไอเสีย

$\dot{E}_{e,k}$ = ฟลักซ์พลังงานจลน์ของไอเสีย

$\dot{Q}_{misc}$ = ผลรวมของฟลักซ์พลังงานและการถ่ายเทความร้อนอื่นๆ)

2.3.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency) [3]

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่เครื่องยนต์ส่งออก (Power output) กับพลังงาน (Energy) ที่เกิดจากการสันดาปน้ำมันเชื้อเพลิง ความร้อนที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิงเราไม่สามารถนำมาใช้ได้ทั้งหมด เพราะความร้อนบางส่วนต้องสูญเสียให้กับระบบหล่อเย็น (Cooling) ระบบหล่อลื่น (Lubrication) และยังสูญเสียไปกับการระบายแก๊สร้อนหรือไอเสีย ซึ่งถือว่ามีปริมาณการสูญเสียมากที่สุดในเครื่องยนต์ การสูญเสียความร้อนดังกล่าว เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสามารถหาได้จากหลายกรณี บางครั้งหาได้จากกำลังม้าบ่งชี้ เรียกว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้หรือฐานอินดิเคต (Indicated Thermal Efficiency) หรืออาจหาได้จากกำลังม้าเบรค ซึ่งเรียกว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในเครื่องยนต์หรือบนฐานเบรค (Brake Thermal Efficiency)



รูปที่ 2.2 การกระจายของพลังงาน (Energy distribution) [1]

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าการสูญเสียในแรงเสียดทานและอื่นๆ คือ [1]

$$\eta_f = 100 - \eta_w - \eta_e - \eta_g \qquad (2.12)$$

เมื่อ

η_f = การสูญเสียในแรงเสียดทานและอื่นๆ (%)

η_g = การสูญเสียพลังงานที่ก๊าซไอเสีย (%)

η_w = การสูญเสียความร้อนในน้ำหล่อเย็น (%)

η_e = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (%)

2.3.2 ค่าความร้อนเทียบเท่ากับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง [1]

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$Q_f = HHV \cdot sfc \cdot \gamma \qquad (2.13)$$

$$L_f = \frac{Q_f}{632 \times 4.184} \qquad (2.14)$$

เมื่อ

η_e = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (%)

P_b = กำลังม้าเบรค (hp)

Q_f = ค่าความร้อนเทียบเท่ากับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kJ/hr)

L_f = แรงม้าเทียบเท่ากับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (hp)

HHV = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่อกิโลกรัม (44,000 kJ/kg สำหรับน้ำมันดีเซล และ 39,630 kJ/kg สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารา)

sfc = อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (l/h)

γ = น้ำหนักจำเพาะของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิทดสอบ (kg/l)

1 hp = 632 kcal/hr

1 kcal = 4.184 kJ

2.3.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake Thermal efficiency; η_e) [1]

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$\eta_e = \frac{632 \times 4.184 \times P_b}{Q_f} \times 100 \qquad (2.15)$$

เมื่อ

η_e = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค (%)

P_b = กำลังม้าเบรค (hp)

Q_f = ค่าความร้อนเทียบเท่ากับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kJ/hr)

632 = 1 hp = 632 kcal/hr

1 kcal = 4.184 kJ

2.3.4 การสูญเสียความร้อนในน้ำหล่อเย็น (Loss in Cooling Water; Q_w, η_w) [1]

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$Q_w = G_w \cdot C_{pw}(t_{w2} - t_{w1}) \times 4.184 \quad (2.16)$$

$$\eta_w = \frac{Q_w}{Q_f} \times 100$$

เมื่อ

Q_w = การสูญเสียความร้อนในน้ำหล่อเย็น (kJ/h)

η_w = การสูญเสียความร้อนในน้ำหล่อเย็น (%)

G_w = การสิ้นเปลืองน้ำหล่อเย็น (kg/h)

C_{pw} = ความร้อนน้ำจำเพาะ (1 kcal/kg/^{o} C) 1 kcal = 4.184 kJ

t_{w1} = อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ทางเข้า (^{o} C)

t_{w2} = อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ทางออก (^{o} C)

Q_f = ค่าความร้อนเทียบเท่ากับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kJ/hr)

2.3.5 ความร้อนที่ถูกพาไปโดยก๊าซไอเสีย (Heat Carried Away by Exhaust Gases) [1]

$$G_g = G_s + \frac{sfc \cdot \gamma}{3600} \quad (2.17)$$

$$Q_g = G_g \cdot C_{pg}(t_{g2} - t_{g1}) \times 3600 \times 4.184 \quad (2.18)$$

$$\eta_g = \frac{Q_g}{Q_f} \times 100 \quad (2.19)$$

เมื่อ

G_g = อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สไอเสีย (kg/s)

G_s = อัตราการไหลเชิงมวลของไอดี (kg/s)

Q_g = การสูญเสียพลังงานในแก๊สไอเสีย (kJ/kg)

η_g = การสูญเสียพลังงานที่ก๊าซไอเสีย (%)

Q_f = ค่าความร้อนเทียบเท่ากับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kJ/hr)

sfc = อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (l /h)

γ = น้ำหนักจำเพาะของเชื้อเพลิง (kg/l)

C_{pg} = ความร้อนจำเพาะ ที่ความดันคงที่ของแก๊สไอเสีย (kcal/kg ^{o} C)

t_{g1} = อุณหภูมิไอดี (^{o} C)

t_{g2} = อุณหภูมิไอเสีย (^{o} C) 1 kcal = 4.184 kJ

2.3.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (Indicated thermal efficiency) [1]

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$\eta_i = \frac{P_i}{L_f} \times 100 \qquad (2.20)$$

เมื่อ

η_i = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (%)

P_i = กำลังม้าบ่งชี้ (hp)

L_f = แรงม้าเทียบเท่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (hp)

2.4 ประสิทธิภาพทางกล (Mechanical efficiency) [3]

ประสิทธิภาพทางกลของเครื่องยนต์ เป็นอัตราส่วนของกำลังที่เครื่องยนต์ออกมาได้จริง (กำลังม้าเบรค) กับกำลังที่ได้จากกระบอกสูบของเครื่องยนต์ (กำลังม้าบ่งชี้) ที่ความเร็วรอบต่อนาทีที่เท่ากัน โดยปกติทั่วไปกำลังที่ส่งออก หรือกำลังม้าเบรคจะมีค่าน้อยกว่ากำลังม้าที่ผลิตได้จากกระบอกสูบ เนื่องจากต้องมีการสูญเสียกำลังม้าบางส่วนไปกับการเอาชนะความฝืดจากจุดสัมผัสที่มีการหมุนหรือเคลื่อนที่

โดยทั่วไปประสิทธิภาพทางกลของเครื่องยนต์สันดาปภายในนั้นจะมีค่าประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์ เครื่องยนต์แก๊สโซลีนจะมีประสิทธิภาพเชิงกลประมาณ 86-93 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่เครื่องยนต์ดีเซลที่มีขนาดเท่ากันจะมีประสิทธิภาพทางกลประมาณ 83-86 เปอร์เซ็นต์ ปกติค่าประสิทธิภาพทางกลจะมีค่าสูงเมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ แต่ที่ความเร็วรอบสูงขึ้นประสิทธิภาพเชิงกลจะลดลง การเพิ่มประสิทธิภาพทางกลทำได้โดยการออกแบบแบริ่งหรือจุดที่ทำให้เกิดความฝืดให้น้อยที่สุด อุปกรณ์ประกอบต่างๆ ต้องออกแบบให้ใช้กำลังเครื่องยนต์ให้น้อยที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุดนั่นเอง

สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$\eta_m = \frac{P_b}{P_i} \times 100 \qquad (2.21)$$

เมื่อ

η_m = ประสิทธิภาพเชิงกล (%)

P_b = กำลังม้าเบรค (hp)

P_i = กำลังม้าบ่งชี้ (hp)