บทที่ 2

ผลงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

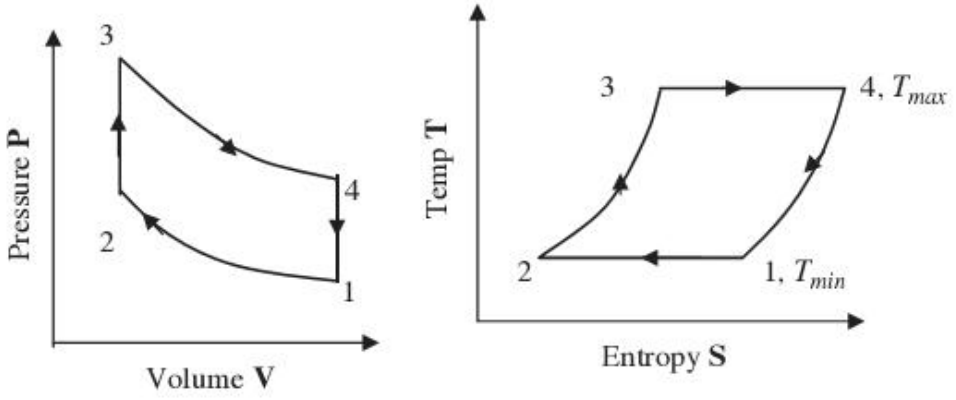
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เทอร์โมไดนามิกส์ของวัฏจักรสเตอลิง การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองที่อธิบายการทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิง รูปแบบของเครื่องยนต์สเตอลิง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ และตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะที่ได้จากเครื่องยนต์สเตอลิง และงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทอร์โมไดนามิกส์ของเครื่องยนต์ที่ทำงานตามวัฏจักรสเตอลิง

วัฏจักรสเตอลิงประกอบด้วยการอัดและขยายตัวแบบอุณหภูมิคงที่และการให้และคายความร้อนแบบไอเซนทรอปิก [5]

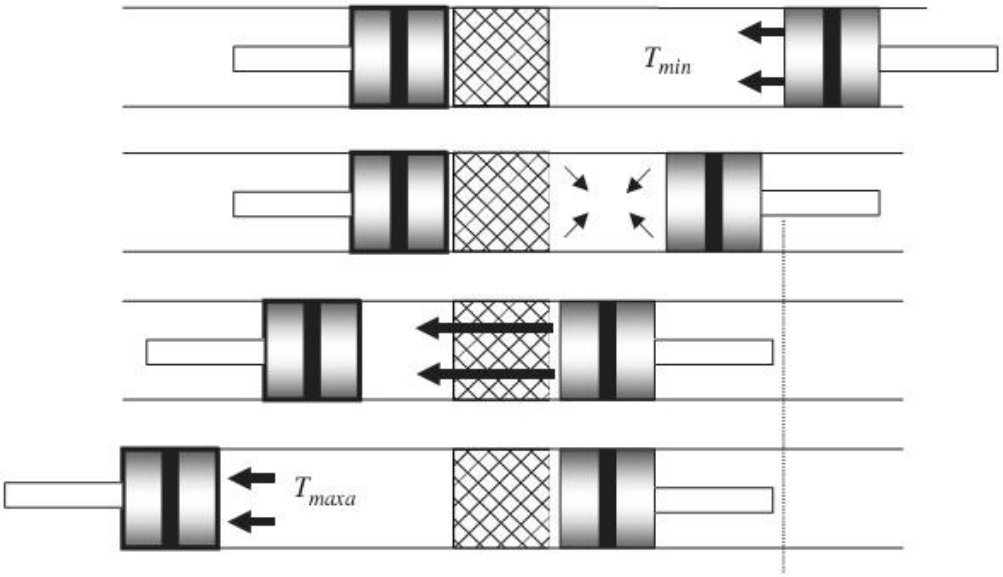
พิจารณาตามภาพที่ 2.1 กระบอกสูบที่มีลูกสูบสองด้านและคั่นระหว่างกลางด้วยรีเจนเนอเรเตอร์ รีเจนเนอเรเตอร์ทำหน้าที่ดูดซับและปล่อยความร้อนออก ลักษณะเป็นโลหะซึ่งมีรูพรุนเล็ก ๆ จำนวนมากซึ่งอาจจะเป็นตะแกรงแผ่นซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ปริมาตรที่อยู่ระหว่างลูกสูบด้านขวาและรีเจนเนอเรเตอร์คือปริมาตรขยาย และระหว่างรีเจนเนอเรเตอร์และลูกสูบด้านซ้ายคือปริมาตรอัด ส่วนขยายจะเป็นส่วนที่ให้อุณหภูมิสูงขณะที่ส่วนอัดจะทำให้มีอุณหภูมิต่ำ ค่าความต่างของอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองด้านของรีเจนเนอเรเตอร์จะถูกทำให้คงที่

ตามภาพที่ 2.2 เริ่มแรกของวัฏจักรสมมติให้ลูกสูบอยู่ด้านขวาสุดของส่วนอัด และในส่วนขยายลูกสูบอยู่ติดกับรีเจนเนอเรเตอร์ สารทำงานทั้งหมดอยู่ในส่วนอัดที่เย็น ปริมาตรส่วนอัดจะสูงสุด อุณหภูมิและความดันจะต่ำสุดซึ่งแสดงด้วยจุดที่ 1 ใน ไดอะแกรม PV และ TS ไดอะแกรมการกระจัดและเวลาของลูกสูบแสดงในภาพที่ 2.3



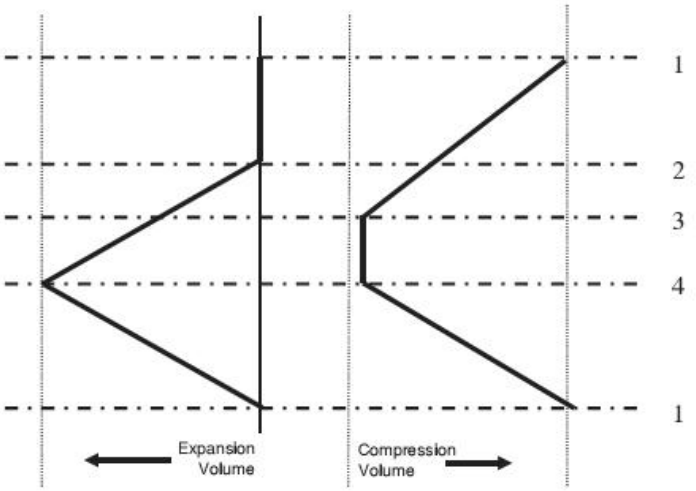
ภาพที่ 2.1

ไดอะแกรม PV และ TS ของวัฏจักรสเตอลิง [5]



ภาพที่ 2.2

ตำแหน่งของลูกสูบระหว่างกระบวนการต่าง ๆ [5]



ภาพที่ 2.3

ไดอะแกรมการกระจัดและเวลาของลูกสูบอัดและลูกสูบขยาย [5]

กระบวนการ 1-2 การอัดที่อุณหภูมิคงที่ การอัดจากสภาวะ 1 ไป 2 ลูกสูบอัดจะเคลื่อนเข้าหารีเจนเนอเรเตอร์โดยที่ลูกสูบขยายยังคงอยู่กับที่ ดังภาพที่ 2.2 (ภาพบนสุด) สารทำงานจะถูกอัดมีความดันเพิ่มขึ้นจาก P1 ไป P2 อุณหภูมิจะถูกรักษาให้คงที่เนื่องจากการที่ความร้อนจากการอัดถูกถ่ายเทออกสู่สิ่งแวดล้อม งานที่ทำบนสารทำงานเท่ากับขาดความร้อนที่ถูกทิ้งไป พลังงานภายในของกระบวนการจะคงที่ ผลของการอัดที่อุณหภูมิคงที่และความร้อนที่ถ่ายเทออกที่ Tmin

กระบวนการ 2-3 การแลกเปลี่ยนความร้อนที่ปริมาตรคงที่ ในกระบวนการนี้ลูกสูบทั้งสองจะเคลื่อนที่พร้อมกัน โดยลูกสูบอัดจะเคลื่อนที่เข้าหารีเจนเนอเรเตอร์ขณะที่ลูกสูบขยายจะเคลื่อนที่ออกจากรีเจนเนอเรเตอร์ ดังภาพที่ 2.2 (ภาพที่ 2)ดังนั้นปริมาตรจึงคงที่สารทำงานจะถ่ายเทออกจากปริมาตรส่วนอัดสู่ปริมาตรส่วนขยายผ่านรูพรุนในรีเจนเนอเรเตอร์ อุณหภูมิจะเพิ่มจาก T_{min} เป็น T_{max} จาก ความร้อนที่ถ่ายเทจากรีเจนเนอเรเตอร์ไปยังสารทำงาน ในขั้นตอนนี้ไม่เกิดงาน สารทำงานจะมีพลังงานภายในและเอนโทรปีเพิ่มขึ้น

กระบวนการ 3-4 การขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่ ในกระบวนการนี้ลูกสูบขยายยังคงเคลื่อนที่ในทิศทางออกจากรีเจนเนอเรเตอร์ต่อไปยังตำแหน่งศูนย์ตายของลูกสูบ ในขณะที่ลูกสูบอัดอยู่กับที่ในตำแหน่งที่ชิดกับรีเจนเนอเรเตอร์ด้านขวา ดังภาพที่ 2.2 (ภาพที่ 3) ในการขยายตัวความดันจะลดลงขณะที่ปริมาตรเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจะถูกทำให้คงที่โดยความร้อนจากแหล่งความ

ร้อนภายนอก งานที่ทำบนลูกสูบโดยสารทำงานซึ่งจะมีขนาดเท่ากับความร้อนที่ให้แก่สารทำงาน พลังงานภายในจะไม่เปลี่ยนแปลงแต่เอนโทรปีจะเพิ่มขึ้น

กระบวนการ 4-1 การแลกเปลี่ยนความร้อนที่ปริมาตรคงที่ ในกระบวนการนี้ลูกสูบทั้งสองจะเคลื่อนที่พร้อมกันไปในทิศทางเดียวกันเพื่อถ่ายเทสารทำงานจากส่วนขยายไปยังส่วนอัดผ่านรีเจนเนอเรเตอร์ที่ปริมาตรคงที่ ดังภาพที่ 2.2 (ภาพที่ 4) อณหภูมิของสารทำงานจะลดลงเป็น T_{min} ในขั้นตอนนี้ไม่เกิดงานและสารทำงานจะมีพลังงานภายในเอนโทรปีลดลง

2.2 การวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอลิง

ในการออกแบบเครื่องยนต์สเตอลิงเพื่อที่จะทราบถึงประสิทธิภาพและกำลังที่จะได้จากเครื่องยนต์ จึงต้องทำการคำนวณกำลังเพื่อให้ได้แบบที่ได้กำลังตามที่ต้องการ ซึ่งการคำนวณหากำลังหรือการวิเคราะห์นี้ อาจแบ่งได้เป็น 4 ระดับ [6]

2.2.1 การวิเคราะห์อันดับที่ศูนย์

การวิเคราะห์อันดับที่ศูนย์ (Zeroth Order Analysis) การวิเคราะห์ระดับนี้มีพื้นฐานอยู่ที่การใช้ค่าที่จากประสบการณ์ สร้างเป็นสมการสำหรับทำนายสมรรถนะของเครื่องยนต์

1. **สมการของบีล** วิลเลียม บีล (William Beale) บริษัท Sunpower ซึ่งเป็นบริษัทที่ค้นคว้าวิจัยด้านเครื่องยนต์สเตอลิง ได้สังเกตว่าสำหรับเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่ได้สร้างขึ้นส่วนมากแล้ว ประสิทธิภาพจริงสามารถแสดงด้วยสมการอย่างง่าย

สมการนี้ได้มีการนำเสนอในหลายรูปแบบ แต่รูปแบหนึ่งซึ่งเป็นที่ยอมรับคือสมการที่เสนอโดยวอล์กเกอร์ (Walker)

$$W = 0.15\bar{p}fV_{swc}^2 \qquad (2.1)$$

โดยที่

W คือ งานที่ได้ (วัตต์)

$\bar{p}$ คือ ความดันเฉลี่ยในวัฏจักร (บาร์)

f คือ ความถี่ที่ทำงาน (เฮิร์ตซ์)

V_{swc} คือ ปริมาตรกวาดในส่วนอัด (ซีซี)

สมการของบีลมีประโยชน์สำหรับการคำนวณคร่าว ๆ สำหรับการวางแผนการสร้าง ซึ่งจะเห็นว่าสมการของบีลนี้ไม่มีตัวแปรของอุณหภูมิ เนื่องจากได้ประเมินอุณหภูมิของเครื่องยนต์สเตอลิงส่วนมากว่า ด้านเย็นอยู่ในช่วง 300 เคลวิน และด้านร้อนอยู่ที่1,000 เคลวิน

2. **สมการของเวสต์** จากสมการของบีล และวอล์กเกอร์ ซึ่งไม่มีตัวแปรของอุณหภูมิทำงาน เวสต์ (West) ได้เสนอสมการประเมินกำลังที่ได้โดยรวมผลของอุณหภูมิทำงาน

$$W = 0.025\overline{p} f V_{swc} (T_h - T_c)/(T_h + T_c) \qquad (2.2)$$

โดยที่ T_h และ T_c แทนอุณหภูมิของด้านร้อนและด้านเย็นเป็นเคลวิน

3. **วัฏจักรสเตอลิงอุดมคติ** ในตำราทางเทอร์โมไดนามิกส์โดยทั่วไปจะอธิบายถึง วัฏจักรสเตอลิงโดยใช้วัฏจักรสเตอลิงอุดมคตินี้ ซึ่งได้กล่าวถึงแล้วในหัวข้อ 2.1 อย่างไรก็ตามผลที่ได้ เช่น กำลังที่ได้จากวัฏจักร,ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะต่างจากผลที่ได้จากเครื่องยนต์จริงหรือการประเมินด้วยสมการของบีลมาก วัฏจักรสเตอลิงอุดมคตินี้เป็นการอธิบายอย่างง่ายถึงการทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงสำหรับการเริ่มต้น แต่ไม่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์การทำงานจริงได้

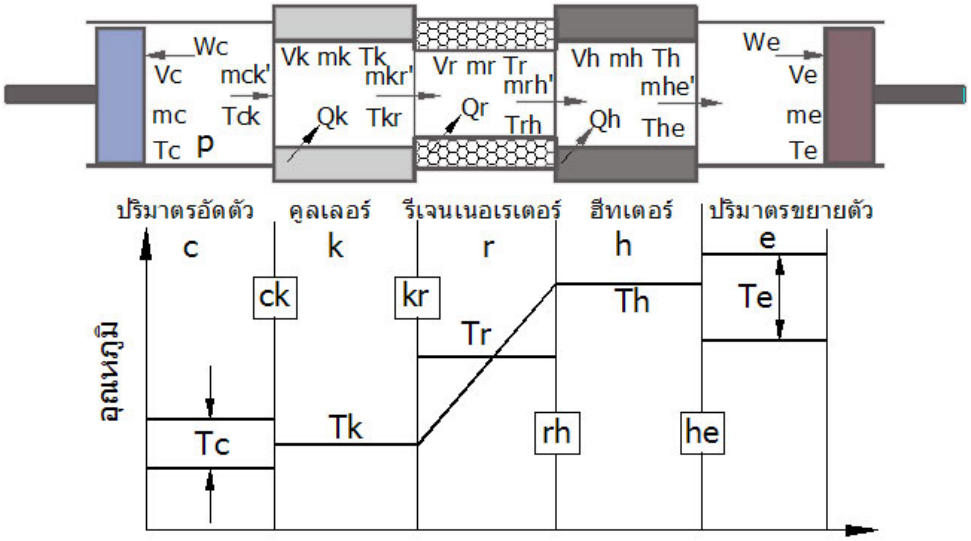
2.2.2 การวิเคราะห์อันดับที่หนึ่ง

การวิเคราะห์อันดับที่หนึ่ง (First Order Analysis) เป็นการวิเคราะห์การทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงโดยการใช้แบบจำลอง ซึ่งมีอยู่ 3 แบบหลัก ๆ คือ การวิเคราะห์แบบอุณหภูมิคงที่อุดมคติ (Ideal Isothermal Analysis) การวิเคราะห์แบบ Schmidt (Schmidt Analysis) และการวิเคราะห์แบบอะเดียบาติกอุดมคติ (Ideal Adiabartic Analysis) ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์แบบ Schmidt และแบบอะเดียบาติกอุดมคติ ซึ่งใช้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ รายละเอียดของการวิเคราะห์แบบ อะเดียบาติกอุดมคติแสดงในภาคผนวก ก.

1. **การวิเคราะห์แบบ Schmidt (Schmidt Analysis)** [7] การวิเคราะห์แบบนี้เสนอโดย Gustav Schmidt วิศวกรชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1871 มีพื้นฐานจากการวิเคราะห์แบบอุณหภูมิคงที่อุดมคติ แบบจำลองนี้แบ่งปริมาตรในเครื่องยนต์ออกเป็น 5 ส่วน โดยที่ส่วนต่าง ๆ อุณหภูมิคงที่สมการต่าง ๆ จะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตร Schmidt ได้พิจารณาให้การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรนี้เป็นรูปแบบเส้นโค้งไซน์ (sinusoidal) และใช้ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิต และใช้วิธีการทางแคลคูลัส เพื่อให้ได้สมการในรูปแบบปิด วิธีของ Schmidt นี้ เป็นที่นิยมกันแพร่หลายในการศึกษาเครื่องยนต์สเตอลิง ผลจากการวิเคราะห์แบบ Schmidt นี้จะให้ค่ากำลังบ่งชี้ที่ออกมาสูง งานที่ได้จริงจะมีค่าประมาณ 60% ของค่าที่คำนวณได้เท่านั้น

2. **แบบจำลองอะเดียบาติก** (Adiabartic Model) [1][6] แบบจำลองนี้แบ่งปริมาตรในเครื่องยนต์ออกเป็น 5 ส่วน ตามภาพที่ 2.4 แต่จะพิจารณาให้กระบวนการอัดและขยายเป็นแบบอะเดียบาติกคือไม่มีความร้อนถ่ายเทเข้าออก ในการทำงานจริงของเครื่องยนต์การทำงาน

ที่ความเร็วรอบสูงลูกสูบจะเคลื่อนที่ไปกลับอย่างรวดเร็ว ความร้อนจากการอัดไม่สามารถถ่ายเท ผ่านกระบอกสูบออกไปได้ในเครื่องยนต์จริงในส่วนพื้นที่ทำงานจะใกล้เคียงกับการพิจารณาแบบนี้ มีความใกล้เคียงกับอะเดียบาติกมากกว่าแบบอุณหภูมิคงที่ [1] ในการวิเคราะห์จะพิจารณาให้อุณหภูมิของสารทำงานใน ฮีทเตอร์ และ คูลเลอร์ เท่ากับผิวถ่ายเทความร้อนและมีค่าคงที่แทนด้วย T_h และ T_k ตามลำดับ อุณหภูมิรีเจนเนอเรเตอร์รวมทั้งสารทำงานภายในกระจายตัวแบบเชิงเส้น ก๊าซที่ไหลผ่านรอยต่อระหว่าง คูลเลอร์ และรีเจนเนอเรเตอร์เท่ากับอุณหภูมิ คูลเลอร์ ที่ T_k ก๊าซที่ไหลผ่านรอยต่อระหว่าง ฮีทเตอร์ และรีเจนเนอเรเตอร์เท่ากับอุณหภูมิ ฮีทเตอร์ ที่ T_h ในส่วนพื้นที่ทำงานพิจารณาให้เป็นอะเดียบาติก อุณหภูมิในส่วนอัดและขยายเป็น T_c และ T_e ตามลำดับ และเปลี่ยน แปลงในระหว่างวัฏจักรแบบอะเดียบาติก



ภาพที่ 2.4 [6]

แผนภาพแสดงแบบจำลองอะเดียบาติก

โดยการใช้สมการการอนุรักษ์มวลและพลังงาน สำหรับแต่ละปริมาตรจะได้ชุดสมการอนุพันธ์ออกมา 7 สมการหลัก เป็นสมการอนุพันธ์ของอุณหภูมิ 2 สมการการถ่ายเทความร้อน 3 สมการและสมการอนุพันธ์ของงาน 2 สมการ

$$dT_c = T_c(\frac{dp}{p} + \frac{dV_c}{V_c} - \frac{dm_c}{m_c}) \quad (2.3)$$

$$dT_e = T_e(\frac{dp}{p} + \frac{dV_e}{V_e} - \frac{dm_e}{m_e}) \quad (2.4)$$

$$dQ_k = \frac{V_k \cdot dp \cdot cv}{R} - cp(T_{ck} \cdot m'_{ck} - T_k \cdot m'_{kr}) \quad (2.5)$$

$$dQ_r = \frac{V_r \cdot dp \cdot cv}{R} - cp(T_k \cdot m'_{kr} - T_h \cdot m'_{rh}) \quad (2.6)$$

$$dQ_h = \frac{V_h \cdot dp \cdot cv}{R} - cp(T_h \cdot m'_{rh} - T_{he} \cdot m_{he}) \quad (2.7)$$

$$dW_c = pdV_c \quad (2.8)$$

$$dW_e = pdV_e \quad (2.9)$$

การหาคำตอบของชุดสมการอนุพันธ์สามัญเหล่านี้จะใช้การกำหนดค่าเริ่มต้นขึ้นและใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการหาคำตอบ

2.2.3 **การวิเคราะห์อันดับที่สอง**

การวิเคราะห์อันดับที่สอง (Second Order Analysis) เป็นการนำผลที่ได้จากการคำนวณด้วยการวิเคราะห์ระดับที่หนึ่ง ซึ่งอาจ จะเป็นวิธีของ Schmidt แบบ Adiabatic หรือแบบอื่น ๆ และคำนวณผลของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ เช่น การสูญเสียจากความดันลดในส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน การสูญเสียทางความร้อนภายในเครื่องยนต์

2.2.4 **การวิเคราะห์อันดับที่สาม**

การวิเคราะห์อันดับที่สาม (Third Order Analysis) เป็นการวิเคราะห์โดยแบ่งส่วนภายในเครื่องยนต์ออกเป็นจุดต่อ (node) ย่อย ๆ และใช้สมการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน ในการสร้างชุดของสมการอนุพันธ์ควบคุม และสมการของการสูญเสียต่าง ๆ และทำการแก้สมการเหล่านี้เพื่อหาคำตอบ

2.3 **การคำนวณกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์และการสูญเสียในเครื่องยนต์** [1,8]

ในเครื่องยนต์สเตอลิงค่าที่ทำการคำนวณหาในการออกแบบ ได้แก่ กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ การสูญเสียซึ่งประกอบด้วยการสูญเสียความร้อนในเครื่องยนต์และการสูญเสียกำลังจากความดันลดในเครื่องยนต์ ความร้อนที่ต้องให้แก่เครื่องยนต์ และประสิทธิภาพ

2.3.1 **กำลังขั้นต้น**

กำลังขั้นต้น (Basic Power, P_{basic}) คือ กำลังที่ได้จากผลการคำนวณงาน

ต่อวัฏจักรที่ได้การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองแบบอุดมคติ เช่น Schmidt หรือ อะเดียบาติกคูณด้วยความเร็วรอบ

$$P_{basic} = W_{cycle} \times f \qquad (2.10)$$

โดยที่ W_{cycle} คืองานต่อวัฏจักรและ f คือ ความเร็วรอบต่อวินาที กำลังที่ได้นี้ไม่พิจารณาผลของแรงเสียดทานจากการไหลของสารทำงานและการสูญเสียจากแรงเสียดทานทางกลภายในเครื่องยนต์

2.3.2 กำลังบ่งชี้

กำลังบ่งชี้ (Indicated power, P_i) คือ กำลังที่เกิดจากการขยายตัวของก๊าซกระทำกับลูกสูบให้เกิดการเคลื่อนที่ ในการคำนวณด้วยโปรแกรมด้วยการวิเคราะห์ระดับที่สอง จะนำกำลังที่คำนวณได้จาก Basic Power ลบออกด้วยการกำลังที่สูญเสียจากความดันลด

2.3.3 กำลังสุทธิ

กำลังสุทธิ (Net Power, P_{net}) คือ กำลังที่วัดได้จริงที่ล้อช่วยแรงหรือเพลาข้อเหวี่ยงซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้ขับภาระภายนอกอื่น ๆ กำลังสุทธิจะมีค่าลดลงจากกำลังบ่งชี้เนื่องจากแรงส่วนหนึ่งต้องสูญเสียไปกับแรงเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนเครื่องยนต์ และ กลไกขับเคลื่อน เช่น แรงเสียดทานในตลับลูกปืน ความเสียดทานในกลไกขับเคลื่อน

กำลังที่สุญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทาน (Friction power,P_f) การหาค่าให้ได้อย่างถูกต้อง ต้องใช้การวัดและทดสอบจากเครื่องยนต์จริง ในการคำนวณค่าโดยประมาณโดย Martini [8] ให้ค่า P_f เท่ากับ 20% ของกำลังบ่งชี้

$$P_{net} = 0.8P_i \qquad (2.11)$$

ซึ่งอัตราส่วนระหว่างกำลังขาออกต่อกำลังบ่งชี้นี้คือ ประสิทธิภาพทางกล (mechanical efficiency)

2.3.4 ความดันที่ลดลงจากความเสียดทานการไหล

ความเสียดทานของไหลซึ่งเกิดขึ้นในการไหลผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้เกิดความดันลด (pressure drop) ซึ่งมีผลให้กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ลดลง สมการที่ใช้สำหรับคำนวณหาความดันที่ลดลงจาก Urelli [1] คือ

$$\Delta p = \frac{-2C_{ref}\,\mu u V}{d^2 A} \qquad (2.12)$$

โดยที่ $C_{ref} = \mathrm{Re}\, C_f$ คือ"สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเรย์โนลด์" (Reynold Friction Coefficient) Re คือ เลขเรย์โนลด์ C_f คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหล

$d = 4V / A_{wg}$ คือ hydraulic diameter V คือ ปริมาตรช่องว่างในตัวแลกเปลี่ยนความร้อน A_{wg} คือ พื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน A คือ พื้นที่หน้าตัดขวางของการไหล μ คือ ความหนืดจลน์ และ u คือ ความเร็วในการไหล

2.3.5 **ความร้อนขั้นต้นที่ให้กับเครื่องยนต์**

ความร้อนขั้นต้นที่ให้กับเครื่องยนต์ (Basic Heat Input, Q_{basic}) คือ ปริมาณความร้อนที่ต้องให้แก่เครื่องยนต์สเตอลิง เพื่อให้ได้กำลังขาออกตามที่ต้องการ ซึ่งได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง Schmidt หรือแบบจำลองอะเดียบาติก โดยความร้อนนี้จะไม่พิจารณาความร้อนที่สูญเสียภายในเครื่องยนต์

2.3.6 **ความร้อนสุทธิ**

ความร้อนสุทธิ (Net heat input, Q_{net}) คือ ปริมาณความร้อนที่ให้กับเครื่องยนต์เพื่อให้ได้กำลังตามที่ต้องการ ในการคำนวณจะใช้ความร้อนขั้นต้นที่ได้คำนวณได้บวกกับความร้อนที่เพิ่มเข้าไปเพื่อชดเชยส่วนที่เสียไปจากการสูญเสียความร้อนในเครื่องยนต์

$$Q_{net} = Q_{basic} + Q_{sh} + Q_{con} \tag{2.13}$$

เมื่อ Q_{basic} คือ ความร้อนขั้นต้นที่ได้คำนวณได้ Q_{sh} คือ ความร้อนที่สูญเสียจากการเคลื่อนที่ไปกลับของลูกสูบขยาย และ Q_{con} คือ ความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนของชิ้นส่วนเครื่องยนต์

2.4 **ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

Ureili จากเอกสารอ้างอิง [1] และข้อมูลจากเว็บไซต์ [3] จะกล่าวถึงการวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอลิงโดยใช้แบบจำลองต่าง ๆ และการคำนวณการสูญเสียจากความดันลดที่เกิดในส่วนแลกเปลี่ยนความร้อน คือ ฮีทเตอร์ คูลเลอร์ และรีเจนเนอเรเตอร์ ได้เสนอแบบจำลองที่ชื่อว่า Simple และได้คำนวณโดยใช้ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ GPU-3 คำนวณโดยใช้แบบจำลองต่าง ๆ เปรียบเทียบกัน ผลการคำนวณกำลังที่ได้ยังสูงกว่าประมาณ 2 เท่าของข้อมูลกำลังจากการทดสอบ ในเว็บไซต์เป็นการสรุปส่วนสำคัญจากตำราเพื่อใช้ประกอบการสอน โดยจะเน้นเรื่องการคำนวณโดยใช้โปรแกรมซึ่งมีทั้งภาษาซีและโปรแกรม MATLAB ซึ่งโปรแกรม Simple ของ Ureili จะนำมาปรับปรุงและใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

บริษัทฟิลลิปส์ ประเทศเนเธอร์แลนด์ ได้ทำการศึกษาและพัฒนาเครื่องยนต์สเตอลิงแบบเบต้า หลายแบบและหลายขนาดตั้งแต่ปี ค.ศ.1937 ซึ่งมีทั้งขนาดเล็ก 200 วัตต์จนถึงขนาด

ใหญ่ขนาด 65 กิโลวัตต์เพื่อใช้เป็นต้นกำลัง จากเอกสาร [9] โดย Hargreves กล่าวถึงการคำนวณวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอลิง การปรับปรุงเครื่องยนต์สเตอลิงแบบเบต้ารุ่นต่าง ๆ ของบริษัทฟิลลิปส์ และรายละเอียดส่วนประกอบของเครื่องยนต์

บริษัท เจเนอรัลมอเตอร์ ได้วิจัยและสร้างเครื่องยนต์สเตอลิง กระบอกสูบเดียวแบบเบต้าขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องต้นกำลัง (Ground Power Unit) โดยใช้ต้นแบบจากบริษัท ฟิลลิปส์ ซึ่งได้ทำการพัฒนาขึ้นหลายโมเดลจาก GPU-1 GPU-2 และโมเดลสุดท้ายคือ GPU-3 การทดสอบทำโดยสถาบันวิจัยลูอิสขององค์การนาซ่า สหรัฐอเมริกา โดยทำการทดสอบโดยการใช้ทั้งฮีเลียมและไฮโดรเจนเป็นสารทำงาน สามารถให้กำลังสุทธิได้สูงสุดที่ 7.5 กิโลวัตต์ เมื่อใช้สารทำงานเป็นไฮโดรเจนที่ 6.9 เมกะปาสคาล อุณหภูมิส่วนด้านร้อน 977 เคลวิน และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ไหลเข้า 288 เคลวิน มีรายละเอียดการทดสอบและผลตามเอกสารอ้างอิง [4] ซึ่งแสดงวิธีการวัดกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ ค่าที่ทำการวัด เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น และผลของกำลังที่ได้จากการทดสอบ

Walker [7] ได้ทำการศึกษาวิจัยทางด้านเครื่องยนต์สเตอลิงและเขียนเป็นตำรา โดยได้เรียบเรียงเนื้อหาและอธิบายเกี่ยวกับเครื่องยนต์สเตอลิงไว้อย่างครอบคลุมทั้งในส่วนทฤษฎีแบบจำลองการวิเคราะห์เครื่องยนต์ รูปแบบของเครื่องยนต์สเตอลิง ส่วนประกอบของเครื่องยนต์ ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ และสรุปข้อมูลการพัฒนาของเครื่องยนต์สเตอลิงของบริษัทต่าง ๆ เช่น เจเนอรัลมอเตอร์ ยูไนเต็ดสเตอลิง ฟิลลิปส์ รวมทั้งการประยุกต์ใช้เครื่องยนต์สเตอลิงในงานด้านต่าง ๆ

Martini [2,8] ได้กล่าวถึงการคำนวณและออกแบบเครื่องยนต์สเตอลิง โดยได้กล่าวถึงกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์สเตอลิง การคำนวณกำลังที่สูญเสีย การคำนวณแบบไม่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์สเตอลิง 4L23 แต่ผลการคำนวณที่ได้ยังไม่ตรงกับผลการทดสอบ ซึ่งแก้ไขโดยใช้ค่าคงที่คูณผลที่คำนวณได้เพื่อการปรับแก้ค่าที่คำนวณได้

จากเอกสารที่ได้ศึกษามาข้างต้น จะใช้โปรแกรมของ Ureili มาปรับปรุงการเพื่อให้ได้ผลที่ใกล้เคียงกับผลการทดสอบ เนื่องจากได้อธิบายลำดับขั้นและการวิเคราะห์ไว้อย่างชัดเจนและมี source code โปรแกรมที่นำมาศึกษาและปรับปรุงได้