บทที่ 4
การทดลอง

4.1 วัตถุประสงค์และแนวคิด

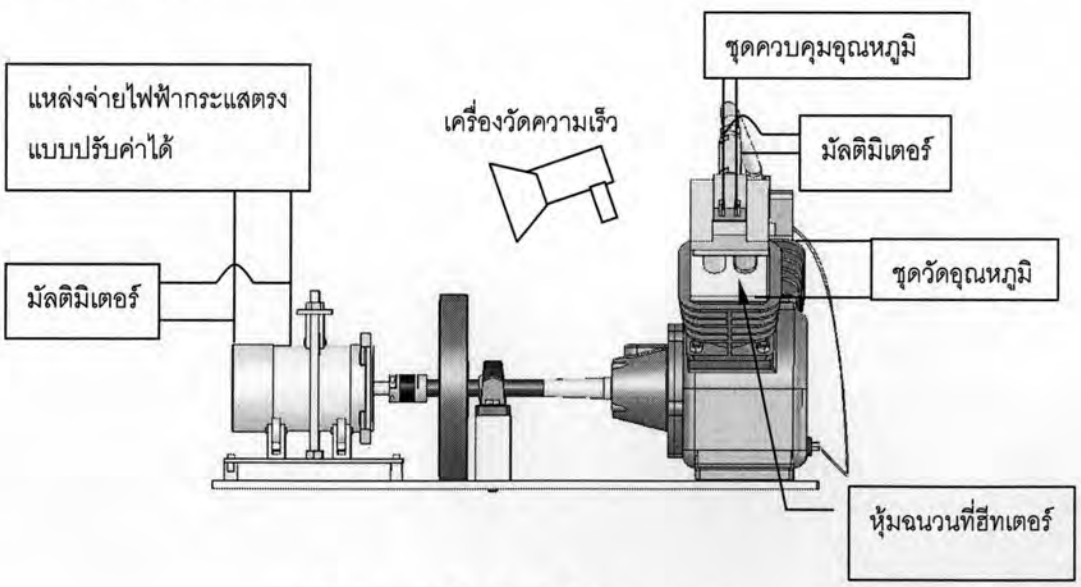
จากการทดสอบในเบื้องต้นพบว่าเครื่องยนต์ไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากจากกำลังบ่งชี้ที่ได้ยังไม่เพียงพอที่จะเอาชนะกำลังเสียดทาน ดังนั้นเพื่อที่จะทราบถึงสมรรถนะในเบื้องต้นของเครื่องยนต์ จึงได้พยายามทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของความร้อนที่ใส่ให้กับเครื่องยนต์

ซึ่งในการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของกำลังบ่งชี้ที่เครื่องยนต์ทำได้ โดยทำการทดลอง 4 กรณี คือไม่มีการใส่เส้นลวดในท่อรีเจนเนอเรเตอร์ และเมื่อใช้รีเจนเนอเรเตอร์ที่มีความพรุนต่างกัน โดยใช้ค่าความพรุน 0.93, 0.95, 0.9

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลอง, ขั้นตอน และอุปกรณ์การทดลองที่ใช้ ในการทดลองนี้จะใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 117 Watt แรงดัน 24 V เป็นอุปกรณ์ขับเครื่องยนต์ เนื่องจากมอเตอร์กระแสตรงสามารถปรับความเร็วรอบได้ง่ายโดยการปรับแรงดันไฟขาเข้า จากนั้นจึงใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันและกระแสไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ เพื่อนำไปคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ใช้

4.2 อุปกรณ์การทดลอง

แผนผังการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4-1 ส่วนอุปกรณ์การทดลองอื่นๆที่ต้องใช้มีรายละเอียดดังตารางที่ 4-2 ดังนี้



รูปที่ 4-1 การติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่4-1 รายละเอียดของอุปกรณ์อื่นๆที่ต้องใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้	คุณสมบัติการใช้งาน
เครื่องวัดความเร็วรอบ (Strobo scope) ใช้ยี่ห้อ Monarch	สามารถวัดความเร็วรอบได้ในช่วง 80 – 6000 rpm และให้ความละเอียดได้ระดับ 1 rpm
ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperaturecontroller) ใช้ยี่ห้อ Omron รุ่น E5CN-2MCT-500	ให้ความละเอียดได้ระดับ 1องศาเซลเซียส ใช้แรงดันไฟขาเข้าเป็น กระแสสลับ 220 V ทนกระแสได้ 20 A และสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งทนความร้อนได้ประมาณ 800°C
มัลติมิเตอร์(Multimeter) ใช้ยี่ห้อ FLUKE และยี่ห้อ UNI-T	สามารถวัดกระแสได้สูงสุด 10 A ให้ความละเอียด 0.001 A และวัดแรงดันได้สูงสุด 1000 V ให้ความละเอียด 0.01 V
ชุดวัดอุณหภูมิ (Thermometer) ใช้ยี่ห้อ DIGICON	ประกอบด้วยเครื่องแสดงผลอุณหภูมิแบบดิจิตัล แบบ 2 ช่อง ให้ความละเอียด 1 องศาเซลเซียสและสายเทอร์โมคัปเปิลแบบ K
อุปกรณ์จ่ายไฟกระแสตรงแบบปรับแรงดันได้ (Regulated DC power supply) ใช้อุปกรณ์ยี่ห้อ Spectrum	มีช่วงการใช้งาน 0 –15 V และ 0 – 10 A โดยใช้แรงดันไฟป้อนเป็นกระแสสลับ 220 V

4.3 วิธีการทดลอง

1 ประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดเข้ากับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงตามรูปที่ 4-1 และใช้ฉนวนกันความร้อนหุ้มฮีทเตอร์โดยรอบ เพื่อลดการสูญเสียความร้อน ในการทดลองนี้ใช้ฉนวนที่ทำจากเส้นใยซิลิกาซึ่งทนความร้อนได้ประมาณ 1000°C

2. จ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เพื่อขับเครื่องยนต์ให้หมุนด้วยความเร็ว 150 rpm ในขั้นตอนนี้ไม่มีการใช้งานฮีทเตอร์ วิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ทำได้โดยการปรับแรงดันไฟและใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบเป็นอุปกรณ์ตรวจสอบ

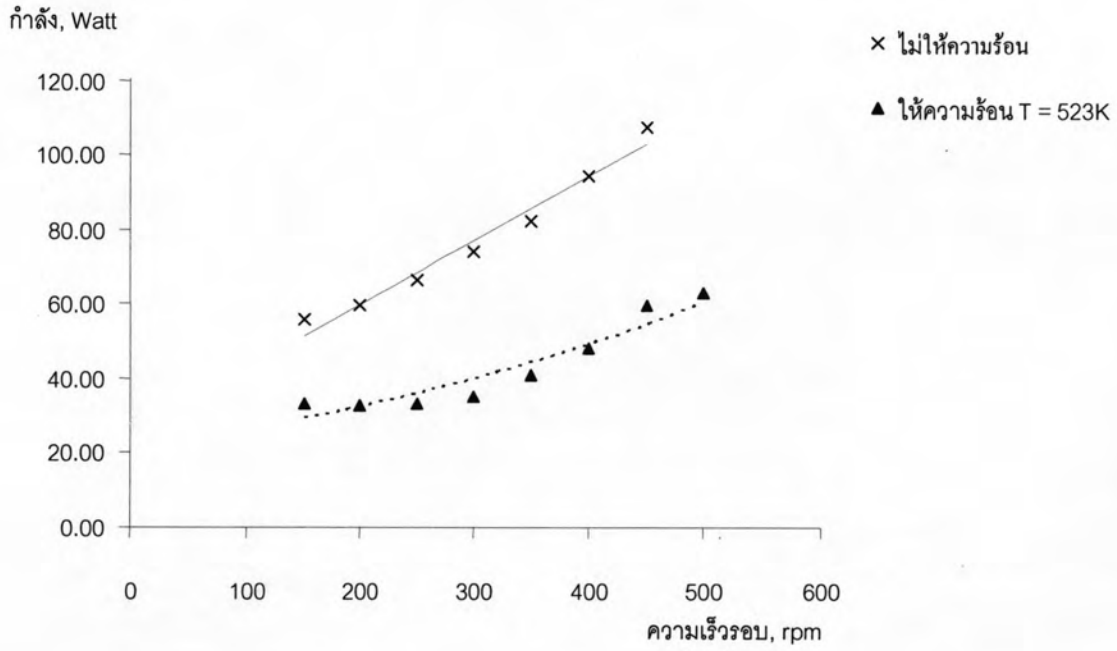
3. วัดแรงดันและกระแสไฟที่มอเตอร์ แล้วบันทึกค่าโดยเพิ่มความเร็วรอบทุกๆ 50 rpm โดยทำการทดลองในช่วงการทำงาน 150 rpm ถึง 500 rpm

4. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนรีเจนเนอเรเตอร์ให้มีค่าความพรุนต่างกันคือ 0.95, 0.93, และ 0.9

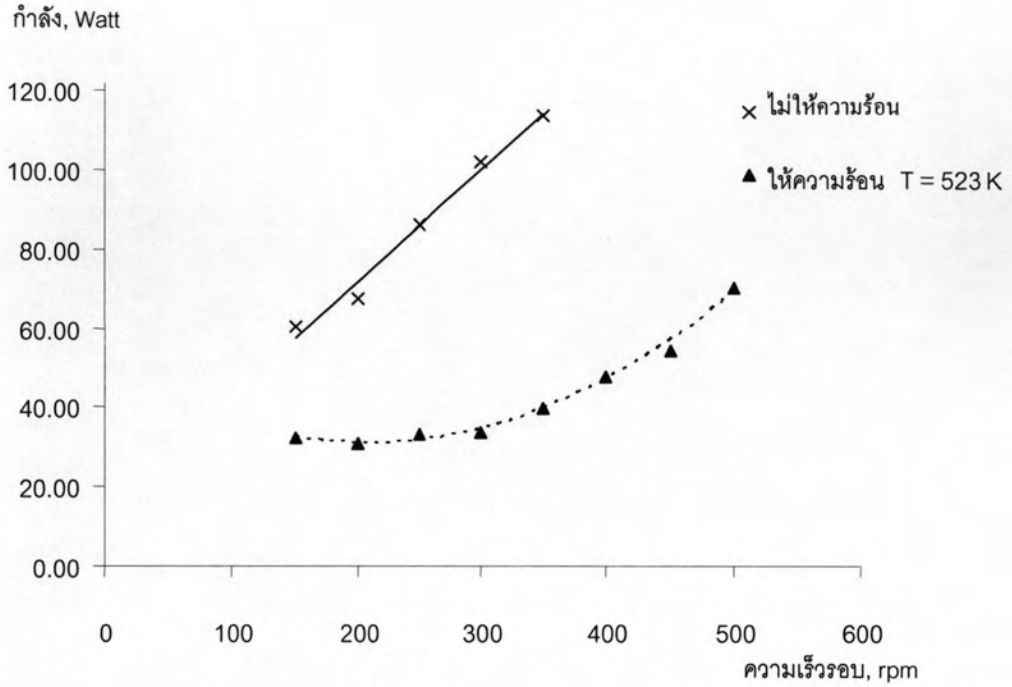
5. ให้ความร้อนกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยจ่ายไฟให้กับฮีทเตอร์ผ่านชุดควบคุมอุณหภูมิและกำหนดให้อุณหภูมิอากาศด้านร้อนมีค่า 250 °C เมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่กำหนดไว้ แล้วจึงจ่ายไฟให้กับมอเตอร์เพื่อขับเครื่องยนต์ ทำการทดลองแบบเดิมอีกครั้งให้ครบทั้ง 4 กรณี

4.4 ผลการทดลอง

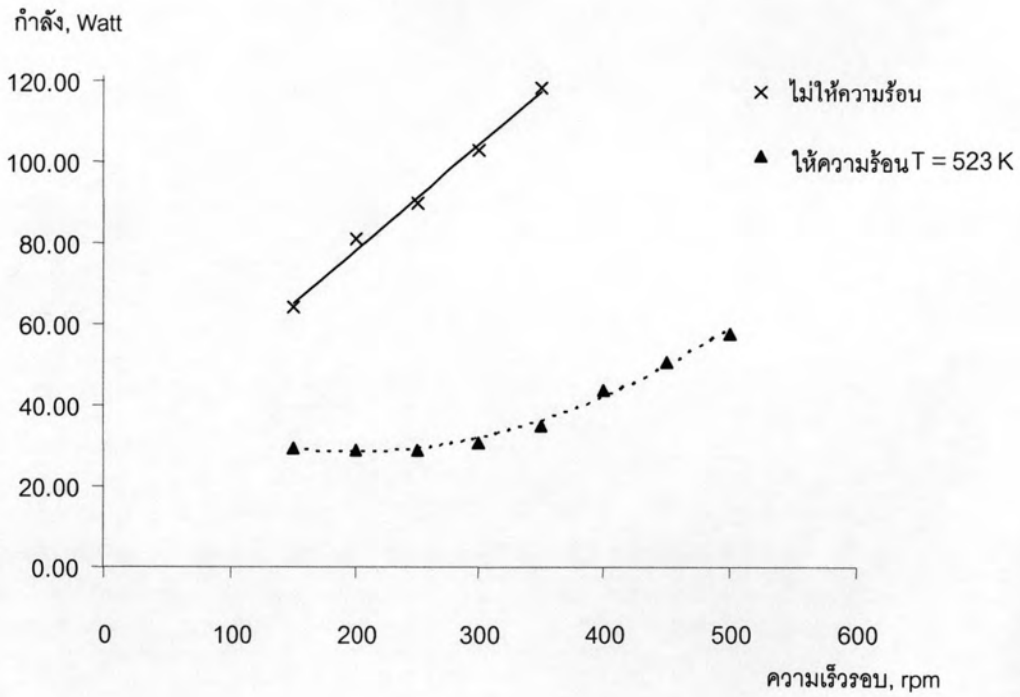
ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4-2 ถึงรูปที่ 4-4 ส่วนตารางแสดงผลการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ



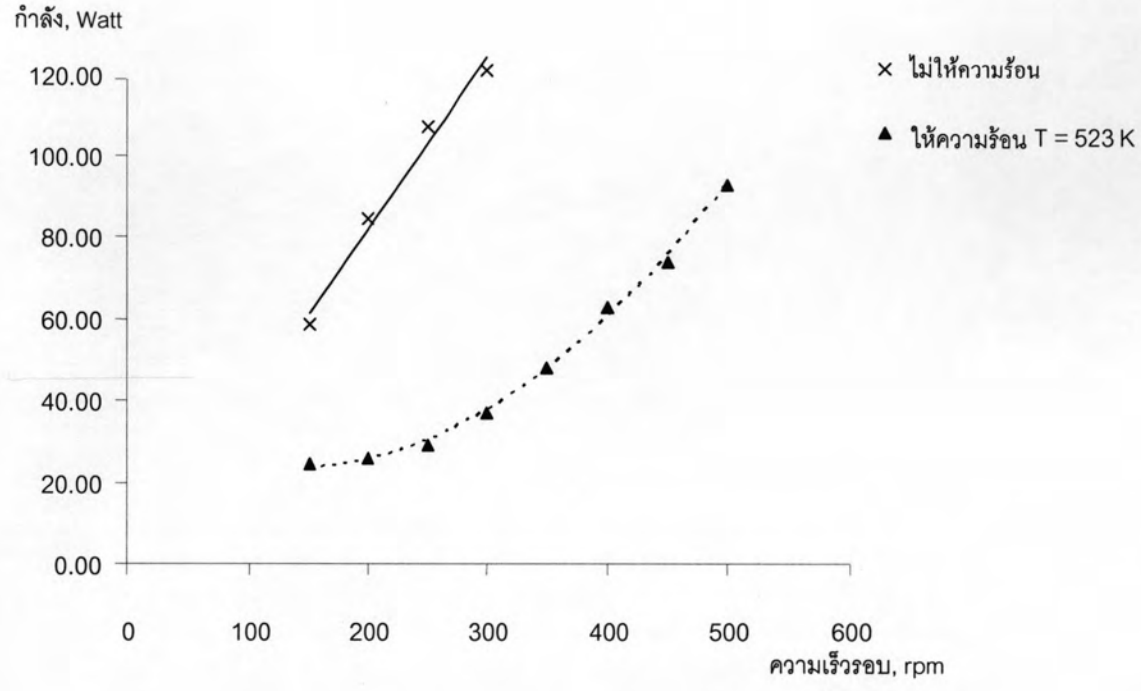
รูปที่-4 2 เปรียบเทียบกำลังขับของมอเตอร์ ในขณะให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อน โดยไม่มีการใส่เส้นลวดในท่อรีเจนเนอเรเตอร์



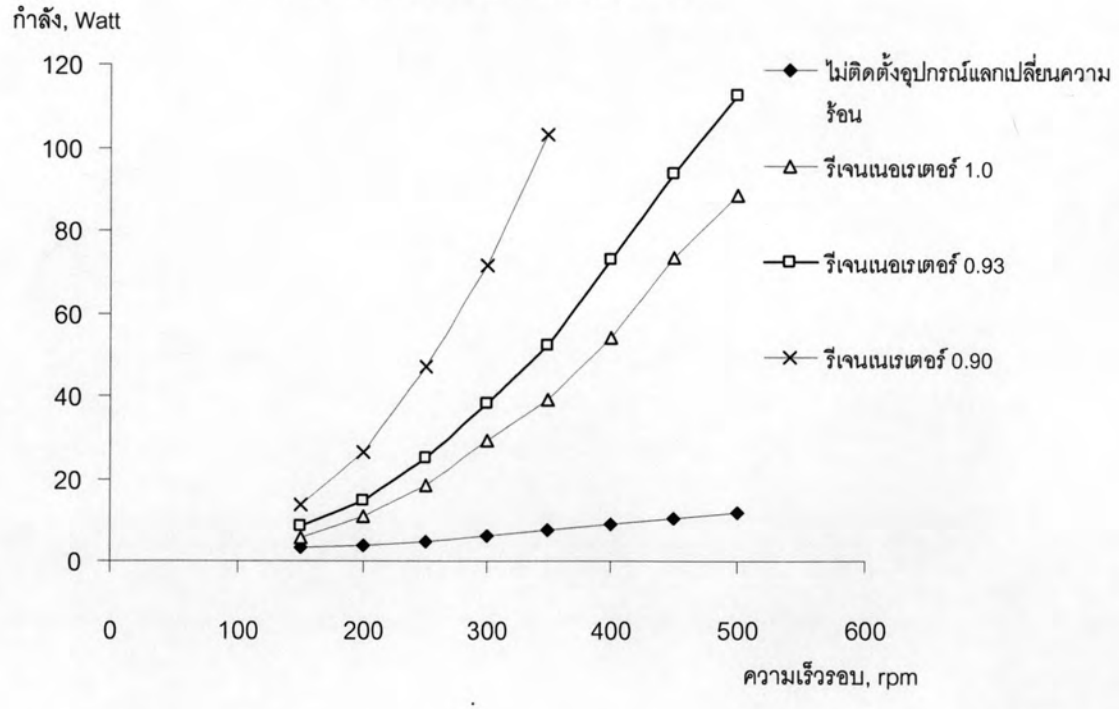
รูปที่ 4-3 เปรียบเทียบกำลังขับของมอเตอร์ ในขณะให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อน โดยใช้รีเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าความพรุน = 0.95



รูปที่ 4-4 เปรียบเทียบกำลังขับของมอเตอร์ ในขณะให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อน โดยใช้รีเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าความพรุน = 0.93



รูปที่ 4-5 เปรียบเทียบกำลังขับของมอเตอร์ ในขณะให้ความร้อนและไม่ให้ความร้อน โดยใช้รีเจนเนอเรเตอร์ที่มีค่าความพรุน = 0.9



รูปที่ 4-6 การประเมินแรงเสียดทานเชิงกลและการสูญเสียจากการไหลเปรียบเทียบในแต่ละกรณี

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในรูปที่ 4-2 ถึงรูปที่ 4-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ใช้ขับเครื่องยนต์กับความเร็วรอบ โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 กรณีคือ ไม่มีการใส่ลวดในท่อรีเจนเนอเรเตอร์ และใช้รีเจนเนอเรเตอร์ที่มีความพรุนเท่ากับ 0.93, 0.95 และ 0.9 ผลการทดลองในแต่ละกรณี แสดงให้เห็นว่า เมื่อให้ความร้อนแก่ระบบโดยกำหนดให้อุณหภูมิด้านร้อนมีค่าคงที่ประมาณ 250°C แล้วพบว่ามอเตอร์ใช้กำลังขับลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เป็นผลมาจากความร้อนทำให้อากาศขยายตัวก่อให้เกิดแรงดันที่ลูกสูบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการทำงานของวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์

นอกจากนี้แล้ว ในการทดลองเครื่องยนต์สเตอร์นี้ยังได้มีการทดลองนำรีเจอเนอเรเตอร์ที่มีความพรุนสูงมาใช้งาน โดยนำแผ่นตาข่ายสแตนเลสมาเป็นวัสดุเก็บความร้อน โดยให้มีความพรุน 0.7 และ 0.5 หลังจากทดลองใช้งานแล้วพบว่า รีเจนเนอเรเตอร์ทั้งสองชิ้นนี้ สร้างความฝืดแก่ระบบอย่างมากจนมอเตอร์ไม่สามารถขับเครื่องยนต์ให้หมุนได้ จึงไม่มีผลการทดลองของรีเจนเนอเรเตอร์ทั้งสองชิ้นนี้

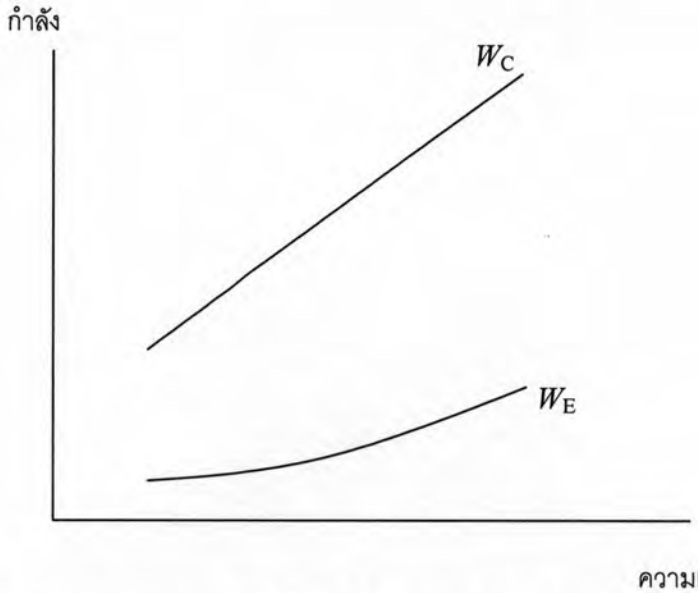
สำหรับรีเจนเนอเรเตอร์ใช้เส้นลวดเป็นวัสดุเก็บความร้อน ในรูปที่ 4-6 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งชุดถ่ายเทความร้อนมีผลอย่างมากต่อกำลังเสียดทานของระบบ โดยระบบท่อของชุดถ่ายเทความร้อนทั้งสามมีผลทำให้กำลังเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นจากกำลังเสียดทานเชิงกล จากในระดับ 10 วัตต์ เป็นระดับ 100 วัตต์ เมื่อรวมแรงต้านการไหล เมื่อรีเจนเนอเรเตอร์ที่มีความแน่นมากขึ้น (จาก 1.0, 0.93 และ 0.90) ในส่วนของการประเมินแรงเสียดทานนี้ เป็นที่สังเกตได้ว่าเนื่องจากการเปิดท่อมีผลทำให้ปริมาณการไหลเข้า –ออกผ่านชุดถ่ายเทความร้อนทั้งสามมีได้มากกว่าการปิดท่อ ค่าการประเมินแรงเสียดทานที่ได้ 5 จึงเป็นการแสดงค่ากำลังเสียดทานจากการไหลของแก๊สที่ควรจะมีค่ามากกว่าการทำงานจริง

ในการปรับใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงนี้ พบว่ากำลังบ่งชี้ที่ประมาณไว้ในข้างต้นมีค่าน้อยกว่ากำลังเสียดทานและเครื่องยนต์ไม่สามารถให้กำลังขาออกที่เป็นบวกได้ซึ่งเป็นสิ่งปกติสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ทำงานที่ความดันบรรยากาศและความร้อนปานกลาง(ไม่เกิน1000 °C) ที่จะมีกำลังขาออกในระดับ 10- 1 Watt เท่านั้น แต่อย่างไรก็ดีเพื่อที่จะทราบถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ในบางส่วนได้ งานวิทยานิพนธ์นี้จึงมีแนวคิดที่จะทดลองเครื่องยนต์ดังนี้

เพื่อที่จะบังคับให้เครื่องยนต์มีการทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์ระดับหนึ่งเพื่อการวัดสมรรถนะ เราจะได้ทำการขับเครื่องยนต์ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ในขั้นแรกจะสังเกตได้ว่าหากเครื่องยนต์ถูกขับโดยไม่ใส่ความร้อนแล้ว เครื่องยนต์จะทำงานเป็นเครื่องสูบความร้อน โดยพบว่าลูกสูบฝั่งคูลเลอร์จะทำหน้าที่เป็นฮีทเตอร์เพื่อคายความร้อนออกมา ส่วนลูกสูบฝั่งฮีทเตอร์จะทำหน้าที่เป็นคูลเลอร์เพื่อดูดความร้อนเข้า จนเมื่อมีการให้ความร้อน ระบบนี้จึงทำงานเป็นเครื่องยนต์ โดยที่ด้านฮีทเตอร์มีการให้ความร้อนกับแก๊สและด้านคูลเลอร์มีการระบายความร้อนออกมา

ด้วยข้อสังเกตในข้างต้นและจากผลการทดลอง พบว่า การขับเครื่องยนต์โดยไม่ใส่ความร้อนจะได้ผลดังเส้น W_C และเมื่อมีการให้ความร้อนจะได้ผลดังเส้น W_E ในรูปที่ 1-5 โดยหากพิจารณาในรายละเอียดของการขับเคลื่อนเครื่องยนต์แล้วจะสามารถจำแนกได้ว่า กำลังเพื่อขับเครื่องยนต์ให้เป็นเครื่องสูบความร้อน)กำลังขาออกเป็นลบ(, W_C จะประกอบด้วย

$$W_C = W_{\text{indicated, C}} + W_{\text{thermal, C}} + W_{\text{windage, C}} + W_{\text{mech friction, C}}$$
$$(-) \quad (-) \quad (-) \quad (-) \quad (-)$$



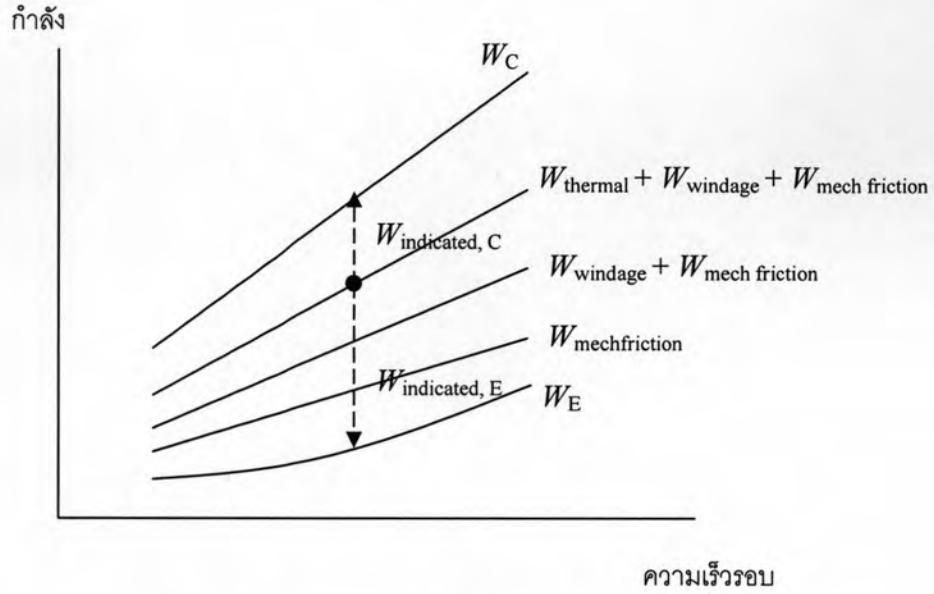
รูปที่ 4-5 ความแตกต่างของกำลังที่วัดได้เนื่องจากการใส่ความร้อนให้กับเครื่องยนต์

การทำงานทางเทอร์โมไดนามิกส์ในกรณีที่ระบบทำงานเป็นเครื่องสูบความร้อน กำลังบ่งชี้ที่ได้($W_{\text{indicated, C}}$) จะมีค่าเป็นลบ และการสูญเสียก็เป็นลบเช่นเดียวกัน ประกอบด้วย การสูญเสียจากกำลังเสียดทานเชิงกล($W_{\text{mech friction, C}}$), การสูญเสียจากการไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ)$W_{\text{windage, C}}$) และสุดท้ายคือการสูญเสียจากความร้อนในส่วนต่างๆ)$W_{\text{thermal, C}}$) อันประกอบด้วย การสูญเสียในรีเจนเนอเรเตอร์, การสูญเสียจากการที่แก๊สวิ่งกลับไปกลับมาในช่องแคบต่างๆ)shuttle heat transfer loss), การสูญเสียจากการนำความร้อนและการแผ่รังสี

เช่นเดียวกันหากระบบทำงานเป็นเครื่องยนต์ กำลังขาออกที่เป็นบวกจะประกอบด้วย

$$W_E = W_{\text{indicated, E}} + W_{\text{thermal, E}} + W_{\text{windage, E}} + W_{\text{mech friction, E}}$$
$$(+) \quad (+) \quad (-) \quad (-) \quad (-)$$

หากพิจารณาในเบื้องต้นว่า ค่าการสูญเสียทั้งสามมีค่าประมาณเท่ากันในการทำงานแบบเป็นเครื่องสูบความร้อนและแบบเป็นเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบเดียวกัน ก็จะได้ลักษณะของกำลังในรูปที่ 2-5 นี้



รูปที่ 4-6 ลักษณะของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในการทดลอง

นั้นก็คือความแตกต่างระหว่างเส้น W_C และ W_E เป็นผลมาจากความแตกต่างระหว่างกำลังบ่งชี้ในการทำงานทั้งสองแบบ ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการวัดกำลังเสียดทานเชิงกลโดยตรง(รูปที่ ฉ (4-ในขณะที่ทำการวัดความสูญเสียจากกำลังเสียดทานเชิงกล และความสูญเสียจากการไหลผ่านอุปกรณ์ ในลักษณะการประมาณ) รูปที่ ฉ (6-ทั้งนี้เนื่องจากการเปิดท่อมีผลทำให้ปริมาณการไหลเข้า -ออกผ่านฮีทเตอร์, คูลเลอร์ และรีเจนเนอเรเตอร์ มีได้มากกว่าการปิดท่อสำหรับรูปที่ ฉ-6 ซึ่งเป็นการแสดงค่ากำลังเสียดทานจากการไหลของแก๊สที่มีมากการทำงานแบบปกติ แต่อย่างไรก็ดีการสูญเสียจากความร้อนซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆมากมาย และไม่สามารถวัดได้ในที่นี้ แม้แต่ในงานวิจัยระดับสูงก็ยังไม่สามารถวัดได้

โดยสรุปแล้วด้วยข้อสมมติฐานข้างต้น ความแตกต่างระหว่าง W_C และ W_E สามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงกำลังบ่งชี้ที่ความเร็วรอบต่างๆได้