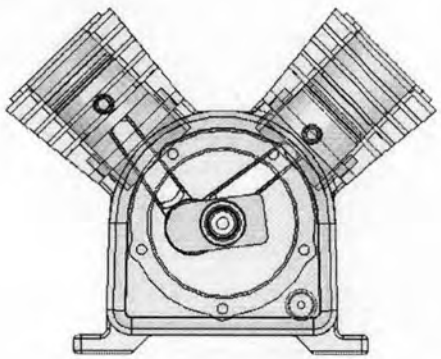
บทที่ 3
การออกแบบส่วนประกอบ

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงรายละเอียดการสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ในส่วนแรกคือการสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้แก่ ฮีทเตอร์ คูลเลอร์ และรีเจนเนอเรเตอร์ โดยจำเป็นต้องออกแบบและสร้างอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิด ให้มีความเหมาะสมสอดคล้องกับปริมาตรช่วงชักของเครื่องอัดอากาศ และส่วนที่สองคือการแก้ไขดัดแปลงเครื่องอัดอากาศ ให้มีลักษณะเหมาะสมเพื่อนำมาดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้

กลไกของเครื่องอัดอากาศ มีลักษณะเป็นเครื่องสองสูบรูปตัววี(V) แสดงในรูปที่ 3-1 จึงได้ดัดแปลงให้เป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงค์แบบอัลฟา ซึ่งง่ายที่สุดต่อการปรับใช้ สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนคือฮีทเตอร์ คูลเลอร์ และรีเจอเนอเรเตอร์ เพิ่มเข้าไป โดยมีแนวคิดการออกแบบดังนี้



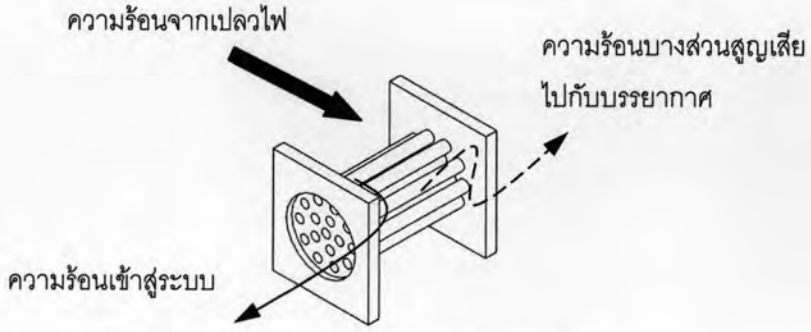
จำนวนสูบ	2
เส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกสูบ	65 มม.
ระยะชัก	50 มม.
มุมต่างเฟสของเพลาข้อเหวี่ยง	90°

รูปที่ 3-1 ส่วนประกอบของเครื่องอัดอากาศ

3.1 การออกแบบฮีทเตอร์

การให้ความร้อนกับเครื่องยนต์ทำได้สองกรณีคือ กรณีที่หนึ่งเป็นการใช้ขดลวดไฟฟ้าให้ความร้อนหรือกรณีที่สองเป็นการใช้เปลวไฟให้ความร้อนโดยตรง ซึ่งทั้งสองกรณีมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 ฮีทเตอร์แบบใช้เปลวไฟให้ความร้อน

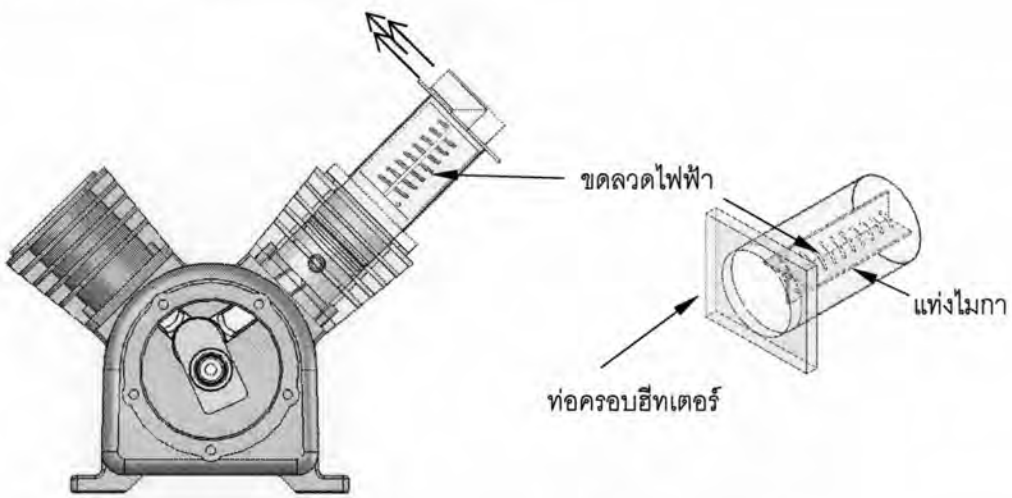


รูปที่ 3-2 ฮีทเตอร์แบบใช้เปลวไฟเผาให้ความร้อน

ในที่นี้ได้ทำการทดสอบเบื้องต้นกับฮีทเตอร์แบบใช้เปลวไฟให้ความร้อนโดยมีลักษณะดังรูปที่ 3-2 ประกอบด้วยท่อเล็กๆรวมกันอยู่ แล้วใช้เปลวไฟเผาโดยตรงที่ผิวท่อ เพื่อให้ความร้อนกับอากาศที่อยู่ภายในท่อ ในการทดลองใช้งานครั้งแรก เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนจึงเลือกใช้ท่อทองแดง เพราะนำความร้อนได้ดี แต่จากการทดลองใช้งานพบว่า ท่อเกิดการเสียรูปเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากทองแดงมีจุดหลอมเหลวต่ำ ในการทดลองครั้งต่อมาจึงเปลี่ยนมาใช้ท่อสแตนเลส ซึ่งทนความร้อนได้ดีกว่าท่อทองแดง ฮีทเตอร์แบบนี้มีข้อดีคือสามารถออกแบบให้มีปริมาตรได้ตามต้องการโดยการเพิ่มหรือลดจำนวนท่อ สามารถให้ความร้อนกับสารทำงานสูง จากการทดลอง ใช้เปลวไฟให้ความร้อนกับท่อสแตนเลสหนา 1 mm เป็นเวลาประมาณครึ่งชั่วโมง โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง พบว่าความร้อนจากเปลวไฟทำให้อุณหภูมิผิวลูกสูบมีค่าประมาณ 200°C ในขณะที่อุณหภูมิที่ผิวท่อมีค่าประมาณ 900°C ซึ่งมีรายละเอียดในภาคผนวก ช .

แต่ฮีทเตอร์แบบใช้เปลวไฟให้ความร้อนนี้มีข้อเสียคือ ไม่สามารถควบคุมปริมาณความร้อนและอุณหภูมิของอากาศได้ และถ้าหากให้เปลวไฟสัมผัสกับผิวท่อนานเกินไปจะทำให้ท่อเกิดจุดร้อนแดง ซึ่งทำให้เกิดรอยรั่วที่ผนังท่อ และในขณะให้ความร้อนยังมีพลังงานความร้อนบางส่วนสูญเสียไปกับบรรยากาศ ทำให้ไม่ทราบปริมาณความร้อนขาเข้าที่แน่นอนได้ ดังนั้นวิธีการนี้ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน จึงเปลี่ยนมาใช้ฮีทเตอร์แบบใช้ขดลวดไฟฟ้าให้ความร้อน

3.1.2 ฮีทเตอร์แบบใช้ขดลวดไฟฟ้าให้ความร้อน



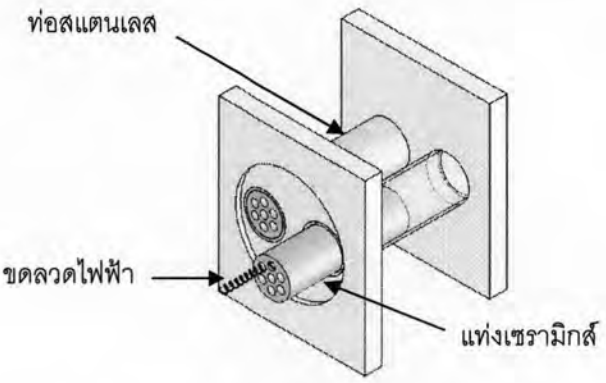
รูปที่ 3-3 ฮีทเตอร์แบบใช้แกนขดลวดไฟฟ้ายึดกับแท่งไมกา

ในรูป 3-3 คือฮีทเตอร์แบบใช้ขดลวดไฟฟ้า ขดเป็นเกลียวพันไว้กับแกนกลางที่ทำจากแท่งไมกา แล้วใช้ท่อโลหะทรงกระบอกครอบทับไว้ การใช้ฮีทเตอร์แบบขดลวดไฟฟ้า มีข้อดีตรงที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย และถูกต้องแม่นยำกว่า การควบคุมการสูญเสียความร้อนออกจากระบบก็สามารถทำได้ดีกว่า รวมทั้งสามารถทำงานได้อย่างสะอาด หลีกเลี่ยงการมีเปลวไฟและเขม่า

จากการทดลองใช้งาน โดยนำฮีทเตอร์ขนาด 1000 Watt มาติดตั้งไว้เหนือลูกสูบดังรูปที่ 3-3 แล้วให้ฮีทเตอร์ทำงานประมาณ 15 นาที ให้ลูกสูบหยุดนิ่งที่จุดศูนย์ตายบน แล้ววัดอุณหภูมิ พบว่า อุณหภูมิของขดลวดไฟฟ้า

มีค่าประมาณ 700°C และอากาศที่อยู่เหนือลูกสูบมีอุณหภูมิประมาณ 100°C -150°C สรุปว่าวิธีการนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ เพราะมีข้อเสียตรงที่ต้องสร้างกระบอกโลหะครอบทับกับแกนขดลวด ทำให้ปริมาตรรวมของฮีทเตอร์มีค่ามาก และขนาดของทรงกระบอกจะขึ้นอยู่กับขนาดของแกนฮีทเตอร์ มีผลให้อัตราส่วนการอัดโดยรวมลดลง ส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะของเครื่อง และได้อุณหภูมิด้านร้อนมีค่าต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ (เท่ากับ 300°C)

จึงได้ปรับเปลี่ยนลักษณะของฮีทเตอร์อีกแบบหนึ่ง โดยมีลักษณะดังรูป 3-4 โดยใช้ขดลวดไฟฟ้าร้อยเข้าไปในแท่งเซรามิกส์ แล้วสวมลงไปในท่อสแตนเลสขนาด 1 นิ้ว ทำให้ฮีทเตอร์มีขนาด 660 Watt วิธีการนี้สามารถลดปริมาตรรวมของฮีทเตอร์ลงได้อย่างมาก และสามารถควบคุมพลังงานความร้อนได้โดยสะดวก โดยการใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิ เมื่อทดลองนำมาใช้งานโดยนำฮีทเตอร์มาติดตั้งเหนือลูกสูบลักษณะเดียวกับรูปที่ 3-3 แล้วจ่ายไฟให้กับฮีทเตอร์ พบว่าชนิดนี้สามารถอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงสุดได้ประมาณ 250°C - 260°C



รูปที่ 3-4 ฮีทเตอร์แบบมีขดลวดไฟฟ้าอยู่ในแท่งเซรามิกส์

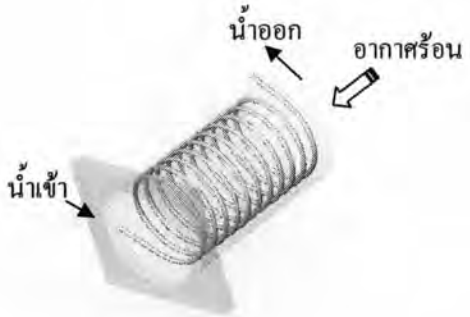
ในการทดลองได้ใช้ฉนวนกันความร้อนห่อหุ้มฮีทเตอร์ไว้โดยรอบ เพื่อกันการสูญเสียความร้อนและกันอุบัติเหตุจากความร้อน โดยใช้ฉนวนที่ทำจากเส้นใยซิลิกาซึ่งทนความร้อนได้ประมาณ 1000°C

3.2 การออกแบบคูลเลอร์

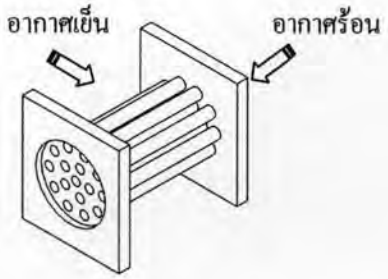
คูลเลอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากสารทำงานสู่บรรยากาศภายนอก การถ่ายเทความร้อนทำได้สองวิธีคือ วิธีแรกใช้ระบายความร้อนด้วยน้ำ วิธีที่สองคือใช้ระบายความร้อนด้วยอากาศ

สำหรับการระบายความร้อนด้วยน้ำ ทำได้โดยการนำท่อทองแดงมาขดเป็นเกลียวแล้วใช้น้ำไหลผ่านท่อ ดังรูปที่ 3-5 วิธีนี้มีข้อดีตรงที่สามารถใช้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำมากๆมาระบายความร้อนของอากาศ แต่มีจุดด้อยตรงที่ทำให้ปริมาตรของคูลเลอร์มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่ออกแบบไว้ ซึ่งไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

วิธีที่สองเป็นการระบายความร้อนด้วยอากาศ ด้วยการใช้อากาศที่อุณหภูมิห้องมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศร้อนในท่อเล็กๆ จำนวนหลายท่อเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 3-6 ซึ่งใช้แนวคิดเดียวกับฮีทเตอร์ แบบใช้เปลวไฟให้ความร้อน ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้วิธีระบายความร้อนด้วยอากาศเพราะมีข้อดีตรงที่ทำให้ปริมาตรของคูลเลอร์ลดลงและผลิตได้ง่ายกว่า



รูปที่ 3-5 คูลเลอร์ที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ



รูปที่ 3-6 คูลเลอร์ที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ

3.3 การออกแบบรีเจนเนอเรเตอร์

รีเจเนอเรเตอร์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยทำหน้าที่เก็บความร้อนเมื่อแก๊สร้อนไหลผ่านไปยังคูลเลอร์ และคายความร้อนให้กับแก๊สเย็นก่อนไหลกลับเข้าสู่ฮีทเตอร์โดยมีได้หลายลักษณะ เช่น นำแผ่นโลหะมาเจาะรู หรืออาจใช้เป็นแผ่นตาข่ายที่ทำจากลวดโลหะที่มีจำนวนรูต่อพื้นที่สูง นำมาเรียงซ้อนๆกัน หรือนำขดลวดในลักษณะเป็นฝอยมากดอัดในปริมาตรที่กำหนด

ในการศึกษาเอกสารอ้างอิงหมายเลข [12] แนะนำให้รีเจนเนอเรเตอร์มีค่าความพรุนประมาณ 0.5 และเส้นลวดควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 0.0025 – 0.0058 mm (0.001-0.002 นิ้ว) ดังนั้นในการทดลองนี้ได้นำแผ่นตาข่ายสแตนเลสที่มีขนาดที่ใกล้เคียงกับที่ได้กล่าวไว้คือ ขนาด 200 เส้นต่อความยาว 1 นิ้ว วัดขนาดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดได้ 0.013 ตัดเป็นแผ่นกลม แล้วใส่เข้าไปในท่อ ซ้อนกันหลายๆแผ่น ดังรูปที่ 3-7 จากการทดลองใช้พบว่ารีเจนเนอเรเตอร์แบบนี้ให้แรงต้านการไหลของอากาศสูงมาก ซึ่งแรงต้านขึ้นอยู่กับความพรุนและขนาดเส้นลวด โดยพบว่าหากใช้เส้นลวดขนาดเล็กและมีค่าความพรุนมากจะทำให้แรงต้านเพิ่มขึ้น จึงนำเส้นลวดที่มีลักษณะเป็นฝอยสแตนเลสมาใช้แทนที่แผ่นตาข่าย โดยมีขนาดเส้นลวดประมาณ 0.2 mm และลดค่าความพรุนให้เหลือ 0.1 ซึ่งพบว่าเหมาะสมกับการใช้ในการทดลองนี้มากกว่า เนื่องจากนอกจากผลิตได้ง่ายแล้ว ยังมีแรงต้านการไหลของอากาศที่น้อยพอที่จะทำการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นได้

ความพรุนคือสัดส่วนของปริมาตรกระบอกรีเจนเนอเรเตอร์ต่อปริมาตรของเส้นลวดสแตนเลส หรือเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{ความพรุน} = \frac{\text{ปริมาตรท่อรีเจนเนอเรเตอร์ - ปริมาตรของลวดสแตนเลส}}{\text{ปริมาตรท่อรีเจนเนอเรเตอร์}}$$

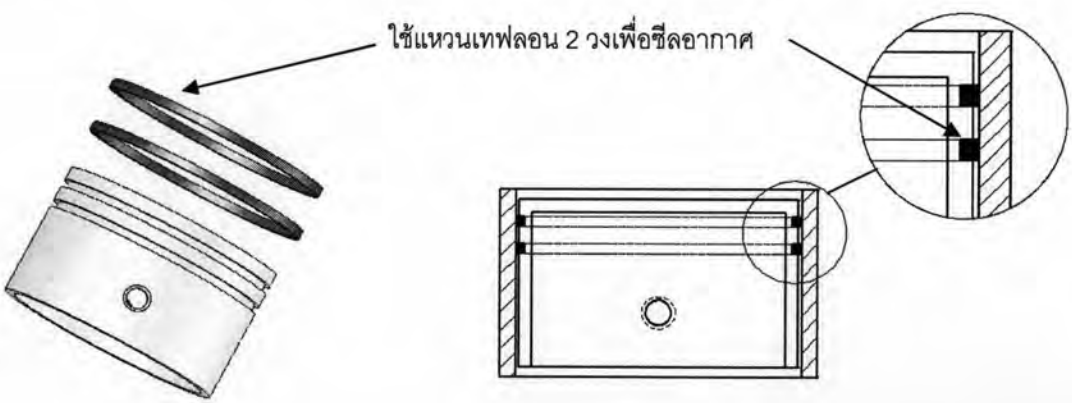
สำหรับปริมาตรของลวดสแตนเลสหาได้จากการนำไปชั่งน้ำหนักแล้วคูณกับความหนาแน่น โดยที่ความหนาแน่นของสแตนเลส มีเท่ากับ 8 g/ cc

รูปที่ 3-7 ท่อรีเจนเนอเรเตอร์ที่มีแผ่นตาข่ายสแตนเลสบรรจุอยู่ภายใน

3.4 การดัดแปลงเครื่องอัดอากาศ

3.4.1 แหวนลูกสูบ

เครื่องอัดอากาศที่นำมาใช้งานประกอบด้วยแหวนลูกสูบที่ทำจากโลหะจำนวน 2 วง ทำหน้าที่ในการซีลอากาศและช่วยกวาดน้ำมันหล่อลื่นที่ผนังกระบอกสูบ แต่การศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพบว่า แหวนลูกสูบที่ทำจากโลหะมีความฝืดสูงไม่เหมาะสำหรับการนำมาใช้งานเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิง และเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ออกแบบนี้มีข้อจำกัดเรื่องการใช้น้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากความร้อนจากฮีทเตอร์จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นระเหยเป็นไอแล้วไปเกาะที่รีเจนเนเรเตอร์ ส่งผลให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของรีเจนเนอเรเตอร์ลดลง การซีลลูกสูบจึงต้องได้เปลี่ยนมาใช้แหวนลูกสูบที่ทำจากเทฟลอน (PTFE, polytetrafluoroethylene) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกว่ากล่าวคือ มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำโดยไม่ต้องการน้ำมันหล่อลื่น และสามารถทนอุณหภูมิได้ประมาณ 300 °C

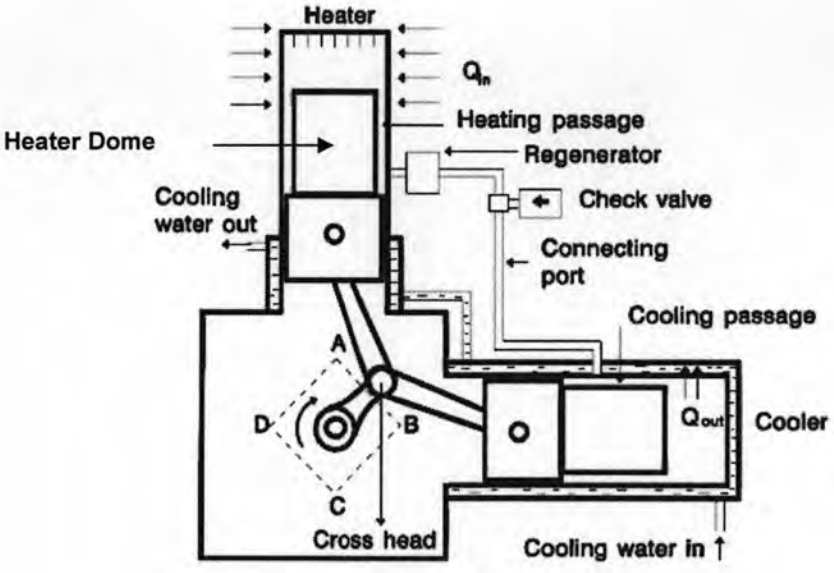


รูปที่ 3-8 แหวนเทฟลอนใช้ซีลอากาศที่ลูกสูบ

3.4.2 การใช้แผ่นสะท้อนรังสีความร้อน

ปัญหาที่พบอีกอย่างหนึ่งในการนำเครื่องอัดอากาศมาใช้งานเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ก็คือความร้อนจากฮีทเตอร์ที่ส่งผ่านมายังลูกสูบอลูมิเนียม ซึ่งมีค่าสูงกว่าการทำงานปกติของเครื่องอัดอากาศมาก ทำให้ลูกสูบขยายตัวและติดขัด

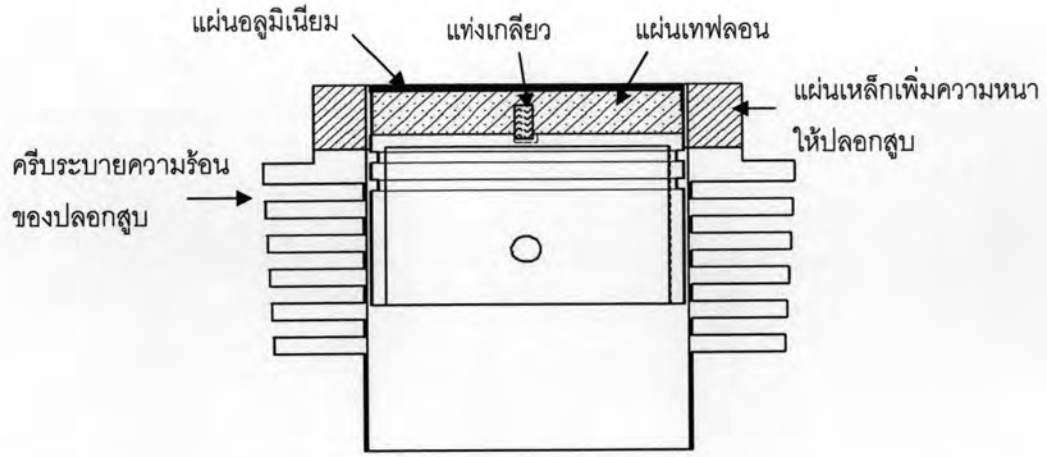
Halit Karabulut [13] เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีอุณหภูมิสูง แก้ปัญหานี้โดยการใช้ลูกสูบที่ผลิตจากวัสดุที่มีคุณสมบัติการขยายตัวจากความร้อนต่ำ ใช้แล้วใช้โดมครอบที่หัวลูกสูบอีกชั้นหนึ่ง และและมีการหล่อเย็นด้วยน้ำที่ปลอกลูกสูบด้านนอก ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3-9



รูปที่ 3-9 วิธีลดความร้อนที่ลูกสูบของ Halit Karabulut

สำหรับการทดลองนี้ พิจารณาการถ่ายเทความร้อนมาสู่ลูกสูบอลูมิเนียมเป็นสองส่วนคือ การแผ่รังสีความร้อนจากขดลวดไฟฟ้าและการพาความร้อนของแก๊สในกระบอกสูบ ในการแผ่รังสีความร้อนแก้ไขโดยใช้แผ่นกันรังสีความร้อนติดไว้เหนือลูกสูบ เนื่องจากลักษณะของเครื่องอัดอากาศมีครีบระบายความร้อนอยู่ที่บริเวณปลอกสูบ ไม่สามารถเพิ่มเติมระบบน้ำหล่อเย็นได้ สำหรับแผ่นกันความร้อนเลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมเพราะมีน้ำหนักเบา และสามารถสะท้อนความร้อนได้ดี อีกส่วนหนึ่งคือการพาความร้อนแก้ปัญหาโดยนำแผ่นเทฟลอนมายึดติดกับลูกสูบเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศร้อนสัมผัสกับลูกสูบโดยตรง ในตารางที่ 3-1 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อนของวัสดุต่างๆ

สำหรับลักษณะการติดอุปกรณ์กันรังสีความร้อนแสดงไว้ในรูปที่ 3-10 สามารถทำได้โดยการเจาะลูกสูบแล้วฝังแท่งเกลียวไว้ตรงกลางเพื่อยึดติดกับแผ่นเทฟลอนมีความหนาประมาณ 10 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับลูกสูบ แล้วใช้แผ่นอลูมิเนียมความหนา 1 mm ยึดติดบนแผ่นเทฟลอนอีกชั้นหนึ่ง



รูปที่ 3-10 การติดตั้งอุปกรณ์กันรังสีความร้อน

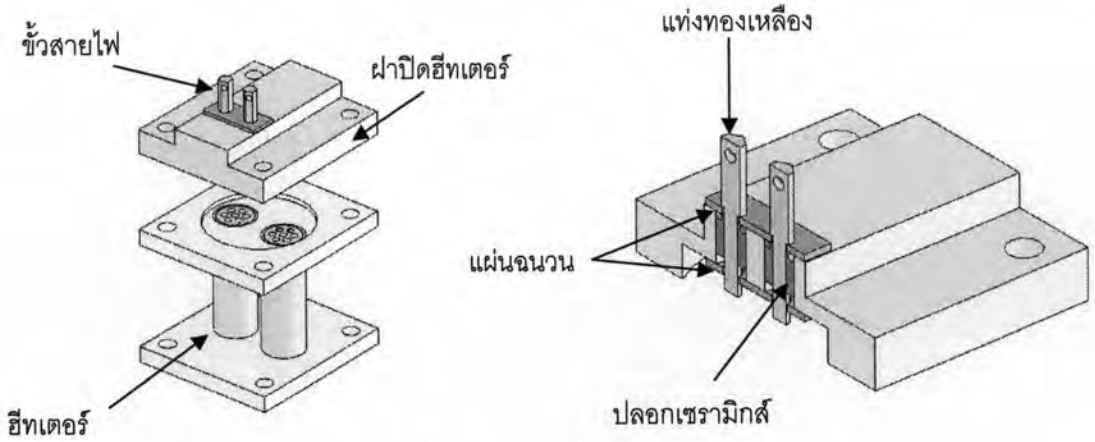
ตารางที่ 3-1 สภาพสะท้อนของวัสดุบางชนิด [3]

Material		Reflectivity
Aluminum	Bright	90-95%
	Anodized	45%
	Oxidized	70-80%
Brass	Bright	97%
	Oxidized	39%
Chromium	Polished	92%
Copper	Bright	95%
	Oxidized	22%

3.4.3 การซีลอากาศและท่อจ่ายลม

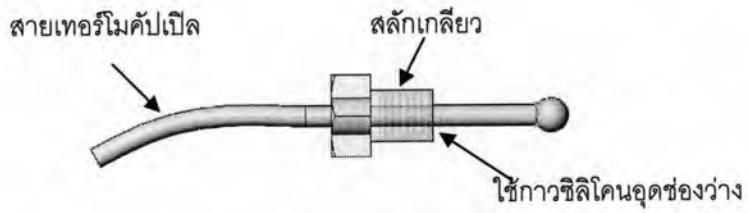
ความดันเฉลี่ยใช้งานเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีผลโดยตรงต่อกำลังของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ให้กำลังสูงๆมักจะมีการเพิ่มความดันเฉลี่ยใช้งานให้มากกว่าความดันบรรยากาศ

ในการทดลองนี้พยายามเพิ่มความดันให้กับระบบ โดยการอัดอากาศเข้าไปในพื้นที่ว่างตรงชุดเพลาข้อเหวี่ยง และต่อท่อทองแดงขนาดเล็กเข้ามายังคูลเลอร์ เพื่อให้อากาศสามารถกระจายไปได้อย่างทั่วถึงในทุกๆ ปริมาตร สำหรับชิ้นส่วนที่ไม่มีการเคลื่อนไหวได้ใช้ปะเก็นหนังทนความร้อนเป็นวัสดุกันรั่วและใช้กาวซิลิโคนเป็นตัวยึดติดที่รอยต่อของชิ้นส่วน บริเวณที่ยากในการซีลอากาศคือรอยต่อของฝาปิดฮีทเตอร์เพราะต้องออกแบบให้มีชุดต่อขั้วไฟฟ้ายื่นออกมา และบริเวณนี้มีความร้อนสูงอาจทำให้กาวเสื่อมสภาพได้ ในรูปที่ 3-11 แสดงวิธีการซีล โดยใช้แท่งทองเหลืองสวมเข้าไปในฝาปิดฮีทเตอร์เพื่อเป็นขั้วไฟฟ้า โดยใช้แผ่นฉนวนกันไม่ให้ผิวของโลหะสัมผัสกัน และในรูสวมมีการใช้ปลอกเซรามิกส์กันไว้อีกชั้นหนึ่ง



รูปที่ 3-11 การซีลที่ฝาปิดฮีทเตอร์

อีกจุดหนึ่งก็คือที่รูเจาะเพื่อสวมสายเทอร์โมคัปเปิลที่ฐานของฮีทเตอร์ ที่จุดนี้จะใช้วิธีร้อยสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับสลักเกลียวที่เจาะรูทะลุ แล้วใช้กาวซิลิโคนอุดช่องว่าง จากนั้นจึงยึดขันเกลียวยึดกับฐานฮีทเตอร์ดังรูปที่ 3-12

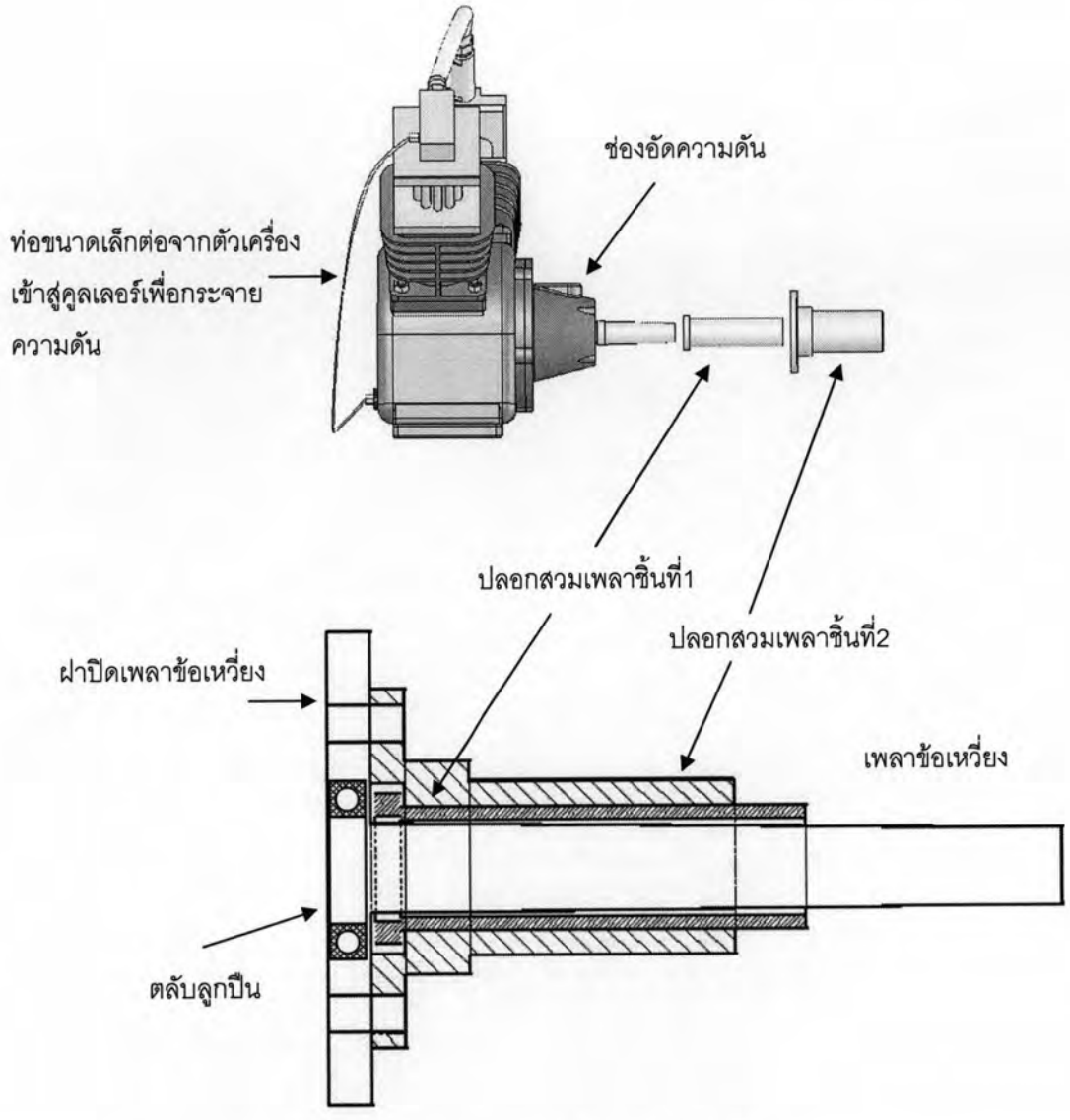


รูปที่ 3-12 การซีลสายเทอร์โมคัปเปิล

ส่วนบริเวณที่มีการหมุน คือรอยต่อของตลับลูกปืนกับเพลาข้อเหวี่ยง ได้ใช้รูปแบบของการซีลด้วยช่องว่างขนาดเล็ก (Clearance seal) ทั้งนี้ก็ด้วยโดยธรรมชาติของงานนี้ที่คาดหมายถึงการรับการอัดความดันได้ในระดับต่ำของชุดเครื่องอัดอากาศเดิม รวมทั้งต้องการหลีกเลี่ยงซีลในลักษณะของ mechanical seal ซึ่งมีราคาสูง ดังนั้นการรั่วไหลได้บ้างของแก๊สจากรูปแบบของซีลแบบนี้จึงเป็นที่ยอมรับได้

รูปที่ 3-13 แสดงถึงวิธีการซีลอากาศ โดยในบริเวณนี้จะใช้ปลอกโลหะสวมกับเพลาข้อเหวี่ยง 2 ชิ้น ชิ้นแรกยึดติดกับเพลาข้อเหวี่ยงโดยใช้กาวซิลิโคนปิดช่องว่างระหว่างหน้าสัมผัส ส่วนชิ้นที่สองยึดติดกับฝาปิดเพลาข้อเหวี่ยง ใช้ปะเก็นซีลที่หน้าสัมผัส

สำหรับปลอกสวมเพลาชิ้นที่1 จะยึดติดและเคลื่อนที่โดยการหมุนไปกับเพลาข้อเหวี่ยง และจะใช้ช่องว่างระหว่างปลอกโลหะทั้งสองให้ทำหน้าที่ซีลอากาศ ซึ่งกำหนดให้มีขนาด 0.05 mm



รูปที่ 3-13 การซีลที่รูสวมเพลาข้อเหวี่ยง

3.4.4 การติดตั้งล้อช่วยแรง

ในระหว่างการทำงานของเครื่องยนต์นั้น กำลังขับที่ลูกสูบส่งให้กับเพลาข้อเหวี่ยงนั้นมีค่าไม่สม่ำเสมอ จึงเป็นเหตุให้เครื่องยนต์หมุนช้าบ้างเร็วบ้าง ล้อช่วยแรงบนเพลาข้อเหวี่ยง มีหน้าที่ช่วยสะสมพลังงาน เพื่อเฉลี่ยการส่งถ่ายกำลังขับจากลูกสูบสู่เพลาข้อเหวี่ยง ทำให้การหมุนของเพลามีความเร็วรอบที่สม่ำเสมอขึ้น

การติดตั้งล้อช่วยแรงมีผลอย่างสำคัญต่อเครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยเฉพาะในเครื่องยนต์ที่ทำงานที่ระดับความดันบรรยากาศ ซึ่งมักมีระดับกำลังขับต่ำอยู่แล้ว หากไม่มีการติดตั้งล้อช่วยแรงที่ขนาดเหมาะสม เครื่องยนต์จะไม่สามารถขับเคลื่อนไปอย่างต่อเนื่องด้วยตัวเอง ในงานนี้ได้ติดตั้งล้อช่วยแรงโดยมีขนาดของโมเมนต์ความเฉื่อยที่ 0.052 $kg \cdot m^2$

3.5 ปัญหาที่พบในการผลิตและการประกอบเครื่องยนต์

3.5.1 ปัญหาจากการผลิตอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ในการผลิตชิ้นงานจริงพบว่าปริมาตรของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีปริมาตรมากกว่าออกแบบไว้ เนื่องจากต้องสร้างฝาปิดของฮีทเตอร์และคูลเลอร์เพื่อการซีลอากาศ และต้องมีท่อนำอากาศเพื่อเป็นช่องทางไหลของอากาศระหว่างรีเจนเนอเรเตอร์และคูลเลอร์ ทำให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีปริมาตรคงที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ฮีทเตอร์มีปริมาตร 90 cc คูลเลอร์มีปริมาตร 60 cc และท่ออากาศมีปริมาตร 25 cc ส่งผลให้อัตราส่วนการอัดตัวเชิงปริมาตรลดลงจาก 2 เป็นเท่ากับ 1.87

3.5.2 ปัญหาอากาศรั่วบริเวณหน้าแปลนที่ฝาประกบเพลาข้อเหวี่ยงและรูสวมเพลาข้อเหวี่ยง

หลังจากที่ได้ทดลองอัดอากาศเข้าไปในระบบแล้วพบว่า มีอากาศรั่วออกมามากที่บริเวณหน้าแปลนของฝาประกบเพลาข้อเหวี่ยง เนื่องจากสกรูที่ใช้ยึดฝาประกบมีจำนวนน้อยเกินไป เพราะในการใช้งานของเครื่องอัดอากาศ ออกแบบให้การซีลที่ฝาประกบนี้ทำหน้าที่เพียงกันน้ำมันหล่อลื่นไม่ให้รั่วออกมาเท่านั้น ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อให้รับแรงดันอากาศ ในขณะที่ระยะว่างในแนวรัศมีที่หน้าแปลนก็มีอยู่น้อยเกินไปที่จะทำการเจาะรูเพิ่มจำนวนเกลียวได้

นอกจากนั้นแล้ว เมื่อได้ทดลองใช้งานการซีลด้วยช่องว่างขนาดเล็ก (Clearance seal) พบว่าชิ้นงานเสียดสีกันจนเกิดความเสียหายที่ผิวของปลอกโลหะเนื่องจากการติดตั้งที่เยื้องศูนย์กัน หลังจากที่ได้พยามติดตั้งใหม่พบปัญหาว่า การที่ปลอกโลหะ 2 ชิ้นสวมเข้าด้วยกันโดยมีระยะช่องว่างเพียง 0.05 mm ทำได้ยาก ดังนั้นด้วยสาเหตุทั้งสองนี้จึงเป็นต้องปรับลดความดันใช้งานลงให้เท่ากับความดันบรรยากาศ

3.5.3 ปัญหาความฝืดของตลับลูกปืน

เครื่องอัดอากาศที่นำมาใช้งานติดตั้งตลับลูกปืนแบบสวมอัดเพื่อกันไม่ให้ตลับลูกปืนเลื่อนหลุดออกมา เพราะใช้กำลังขับจากมอเตอร์และทำงานที่ความเร็วรอบสูง แต่การสวมอัดเป็นการเพิ่มความฝืดที่ตลับลูกปืน ดังนั้นการนำเครื่องอัดอากาศมาใช้งานเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ความเร็วรอบต่ำและให้กำลังน้อย จำเป็นต้องลดแรงเสียดทานของระบบให้เหลือน้อยที่สุด จึงได้แก้ไขปัญหาความฝืดที่ตลับลูกปืนโดยการขยายรูสวมตลับลูกปืนให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและลดขนาดเพลาลง

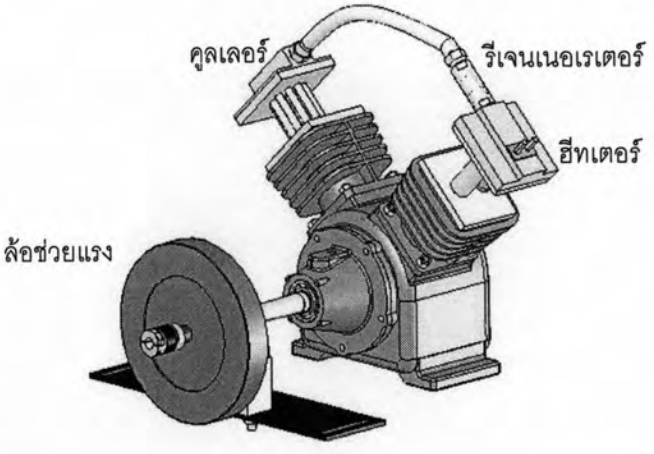
3.5.4 ปัญหาเรื่องการต่อเพลาเพื่อสวมกับมอเตอร์

ในการทดลองนี้จะใช้มอเตอร์ต่อเข้ากับชุดเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเพื่อเป็นอุปกรณ์วัดกำลังขาออก ดังนั้นจำเป็นต้องต่อเพลาข้อเหวี่ยงให้ยาวขึ้นเพื่อสวมเข้ากับมอเตอร์ ซึ่งการต่อเพลาใหม่ให้ร่วมศูนย์กับเพลาชุดเดิมทำได้ยาก ได้แก้ปัญหาโดยการนำเพลาชุดใหม่มายึดติดกับเพลาข้อเหวี่ยงโดยใช้เกลียวขัน แล้วจึงกลึงเพลาให้ได้ขนาดเพื่อสวมกับแบริ่งดังรูปที่ 3-14

รูปที่ 3-14 วิธีการต่อเพลาข้อเหวี่ยง

จากปัญหาที่พบในการผลิตและดัดแปลงอุปกรณ์ ทำให้เครื่องยนต์ที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์แล้ว มีรายละเอียดต่างไปจากที่ได้การออกแบบไว้กล่าวคือ ความดันใช้งานลดลงเหลือ 0.1 MPa อุณหภูมิด้านร้อนเท่ากับ 250°C (523 K) ปริมาตรฮีทเตอร์เท่ากับ 90 cc ปริมาตรคูลเลอร์ = 60 cc ปริมาตรรีเจนเนอเรเตอร์เท่ากับ16 cc แต่ลดความพรุนเหลือ 0.1 ปริมาตรท่ออากาศ = 25 cc

เมื่อนำชิ้นส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีลักษณะดังรูปที่ 3-15 และมีรายละเอียดในตารางที่ 3-2



รูปที่ 3-15 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ดัดแปลงจากเครื่องอัดอากาศ

I22875463

ตารางที่ 3-2 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ดัดแปลงจากเครื่องอัดอากาศ

รูปแบบของเครื่องยนต์	แบบอัลฟา สองสูบ
ขนาดลูกสูบ x ช่วงชัก	65 x 50 mm
ปริมาตรกวาดของเครื่องยนต์	235 cc
มุมเฟสระหว่างลูกสูบ	90 degree
อุณหภูมิด้านฮีทเตอร์	523 K
อุณหภูมิด้านคูลเลอร์	303 K
ปริมาตรนิ่งด้านฮีทเตอร์	90 cc
ปริมาตรนิ่งด้านคูลเลอร์	60 cc
ปริมาตรนิ่งส่วนรีเจนเนอเรเตอร์	16 cc
ขนาดเส้นลวดรีเจนเนอเรเตอร์	0.13 mm
ความพรุนของรีเจนเนอเรเตอร์	0.9
สารทำงาน	อากาศ
ความดันของสารทำงาน	0.1 MPa
อัตราส่วนการอัดเชิงปริมาตร	1.8

3.6 การทดลองใช้งานเบื้องต้น

เมื่อประกอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำมาทดลองใช้งาน โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนและกำหนดให้อุณหภูมิอากาศด้านร้อนให้มีค่าประมาณ 250°C จากนั้นหมุนล้อช่วยแรงด้วยความเร็วประมาณ 1 รอบต่อวินาที อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นพบว่าเครื่องยนต์ไม่สามารถหมุนต่อไปได้ด้วยตัวเองได้ เนื่องจากสาเหตุดังนี้

1.ในการประเมินกำลังขาออกเบื้องต้น(หัวข้อ 2.9) เป็นการใช้กำลังเสียดทานของเครื่องอัดอากาศขณะหยุดนิ่งนำมาเปรียบเทียบกับกำลังบ่งชี้ แต่ในการทดลองใช้งานจริงกลับพบว่ากำลังเสียดทานในขณะหมุนมีค่ามากกว่ากำลังเสียดทานขณะหยุดนิ่ง ซึ่งเป็นผลมาจากความฝืดของมอเตอร์ที่เพิ่มขึ้นมาและผลของความเยื้องศูนย์ของเพลาส่วนต่อ(การทดลองที่ ฉ2.1) นอกจากนี้แล้วแรงต้านการไหล(Flow friction) มีผลทำให้กำลังเสียดทานของระบบเพิ่มขึ้นอย่างมาก(การทดลองที่ ฉ2.2)

2. ความดันใช้งาน (p_m) เป็นตัวแปรที่ส่งผลอย่างมากในการให้กำลังของเครื่องยนต์ สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 3-3 (การคำนวณในตารางนี้กำหนดตัวแปรให้อื่นๆมีสภาวะคงที่) จากตาราง พบว่า การลดความดันใช้งานจาก 0.2 MPa เหลือ 0.1 MPa ส่งผลให้กำลังลดลงเหลือเพียง ครึ่งหนึ่งของที่ได้ประเมินไว้ในครั้งแรก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงระดับความดันใช้งานที่ส่งผลต่อกำลังที่คำนวณจากทฤษฎี

ตารางที่ 3-3 การเปลี่ยนแปลงความดันใช้งานที่มีผลต่อกำลังเครื่องยนต์

p_m, MPa	Schmidt analysis, Watt	Adiabatic analysis, Watt	สมการของ West, Watt
0.1	34.78	27.55	11.99
0.2	69.55	55.09	23.99
0.3	104.30	82.64	35.98
0.4	139.20	110.18	47.98
0.5	174.00	137.73	59.97

หมายเหตุ คำนวณที่สภาวะ ปริมาตรขยายตัว = 166 cc, อุณหภูมิด้านร้อน = 573 K, อุณหภูมิด้านเย็น = 303 K, ปริมาตรฮีทเตอร์ = 80 cc, ปริมาตรคูลเลอร์ = 45 cc, ปริมาตรรีเจนเนอเรเตอร์ = 16 cc มีความพรุน = 0.5

แม้ว่าเครื่องยนต์ที่นำมาทดลองใช้งานไม่สามารถทำงานได้ แต่เพื่อที่จะวัดสมรรถนะบางประการทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ จึงได้ทำการทดลอง โดยการขับเครื่องยนต์ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า จากนั้นจะเปรียบเทียบความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับเครื่องยนต์ในขณะที่มีการให้ความร้อน และเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับเครื่องยนต์ในขณะที่ไม่มีการให้ความร้อน โดยมีรายละเอียดการทดลองแสดงไว้ในบทที่ 4 และผลการทดลองจะแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ.