บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้เป็นความพยายามสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยมีแนวคิดที่จะนำชิ้นส่วนและอุปกรณ์ทางกลที่สามารถหาได้ทั่วไปมาดัดแปลงประกอบเพื่อใช้งาน โดยมีแนวคิดว่าลักษณะกลไกของเครื่องอัดอากาศแบบ 2 ลูกสูบที่จัดเรียงแบบรูปตัววี มีความเหมาะสมในการนำมาดัดแปลงใช้งานเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เมื่อเลือกใช้เครื่องอัดอากาศรูปตัววี ลำดับถัดมาเป็นการศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วน คือการคำนวณหากำลังบ่งชี้และส่วนที่สองคือการคำนวณหากำลังขาออก ในการหากำลังบ่งชี้ จะใช้วิธี Schmidt analysis และ วิธี Adiabatic analysis ในการวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ สำหรับการหากำลังขาออกได้ศึกษาวิธีของ West, วิธีของ Beale และวิธีของ Iwamoto จากการเปรียบเทียบการคำนวณทั้ง 3 แบบพบว่า วิธีของ West มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาปรับใช้หากำลังขาออก ส่วนวิธีของ Iwamoto ให้ผลที่ดีในการประมาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ในส่วนของการดัดแปลงเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้น การศึกษานี้พบว่ามีความเป็นไปได้ โดยควรเป้าหมายหลักอยู่สามประการ คือ การให้ความร้อนแก่ก๊าซให้ร้อนที่สุด การลดความเสียดทาน และ การดัดแปลงให้เครื่องยนต์ทำงานที่ความดันสูงกว่าบรรยากาศ

สำหรับการให้ความร้อนแก่ก๊าซนั้น ในการทดลองนี้เลือกใช้ฮีทเตอร์แบบขดลวดไฟฟ้าขนาด 660 วัตต์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน หุ้มฉนวนกันความร้อนที่ทำจากเส้นใยซิลิกา สามารถอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิใช้งานได้สูงสุด 250°C โดยพบว่าการเลือกใช้ขดลวดไฟฟ้าขนาดใหญ่จะส่งผลให้ปริมาตรฮีทเตอร์เพิ่มขึ้น แต่หากเลือกใช้ขดลวดที่มีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้ขดลวดขาดที่อุณหภูมิสูง ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการไหลกลับไปกลับมาของก๊าซสามารถผลักให้ขดลวดเคลื่อนตัวและขาดได้ สำหรับคูลเลอร์นั้น เลือกใช้การระบายความร้อนด้วยอากาศเนื่องจากออกแบบและผลิตได้ง่าย รวมทั้งมีปริมาตรที่น้อย

ในความพยายามในการลดความเสียดทานนั้น พบว่าการเปลี่ยนแหวนลูกสูบโดยใช้แหวนที่ทำจากเทฟลอนแทนที่แหวนโลหะ พร้อมกับการปรับแก้ลูกสูบเพื่อให้ทนต่อความร้อนโดยการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน เพื่อป้องกันการขยายตัวของลูกสูบที่เกิดจากความร้อนที่ส่งผ่านมาจากฮีทเตอร์ สามารถลดแรงเสียดทานที่เกิดกับผนังกระบอกสูบได้มาก ในขณะที่ยังทำหน้าที่อัดอากาศได้อย่างเหมาะสม โดยที่ระดับความเสียดทานของกลไกเพลาข้อเหวี่ยงอยู่ในระดับที่ต่ำอยู่แล้ว

ในอีกส่วนหนึ่ง การทดสอบยังได้แสดงให้เห็นว่าความเสียดทานจากการไหลของก๊าซมีผลสำคัญต่อแรงเสียดทานรวมของระบบ และการสูญเสียจากการไหลในรีเจนเนอเรเตอร์มีค่ามากกว่ามากเมื่อเทียบกับการสูญเสียในฮีทเตอร์และคูลเลอร์ สำหรับรีเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้นั้นมีลักษณะเป็นกลักทรงกระบอกที่บรรจุเส้นลวดอยู่ภายใน การศึกษานี้ได้มีการทดลองเปรียบเทียบใช้งานระหว่างเส้นลวดตาข่ายสแตนเลสและฝอยสแตนเลส พบว่าแผ่นตาข่ายสแตนเลสใช้งานได้ไม่ดีเนื่องจากเป็นเส้นลวดที่มีขนาดเล็กบรรจุอย่างหนาแน่นส่งผลให้ก๊าซไหลผ่านได้ยาก ในการทดลองนี้จะเลือกใช้รีเจนเนอเรเตอร์แบบฝอยสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มม. ที่มีความพรุน 0.95 0.93 และ 0.90 จากการทดลองเพื่อแสดงผลการทำงานของก๊าซร้อนที่มีได้ตามวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยการขับเครื่องยนต์ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ทำให้ทราบว่ารีเจนเนอเรเตอร์มีผลสำคัญต่อค่ากำลังบ่งชี้ของเครื่องยนต์ โดยเมื่อใช้รีเจนเนอเรเตอร์ที่มีความพรุนลดลง เครื่องยนต์มีแนวโน้มที่จะให้กำลังบ่งชี้ได้มากขึ้น แต่สำหรับรีเจนเนอเร

เตอร์ที่ใช้เส้นลวดเป็นวัสดุเก็บความร้อนนั้น มีข้อควรคำนึงถึงคือ การลดความพรุนจะเป็นการเพิ่มระดับการสูญเสียจากการไหลให้กับเครื่องยนต์อีกด้วย

ในการศึกษานี้ ปัญหาที่สำคัญที่สุดได้แก่การซีลอากาศบริเวณรูสวมเพลาข้อเหวี่ยง ซึ่งเป็นไปได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะหน้าแปลนของเครื่องอัดอากาศที่ไม่ได้ถูกออกแบบสำหรับความดันสูง รวมทั้งการติดตั้ง mechanical seal ซึ่งจำเป็นต่อการอัดความดันในลักษณะของหน้าแปลนเดิมก็ปรับใช้ได้ยาก อันมีผลให้ต้องลดระดับความดันทำงานมาอยู่ที่ระดับความดันบรรยากาศ ซึ่งในที่สุดก็เป็นเหตุให้เครื่องยนต์ไม่สามารถทำงานได้ด้วยตัวเอง ดังนั้น เมื่อพิจารณาถึงความจำเป็นในการอัดความดันแล้ว ทางออกที่เป็นไปได้ได้แก่การสร้างหน้าแปลนชุดใหม่เป็นการเฉพาะเพื่อแทนที่หน้าแปลนชุดเดิม

จากการออกแบบทางเทอร์โมไดนามิกส์ รวมถึงการดัดแปลงเครื่องอัดอากาศและสร้างส่วนประกอบเสริมสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทำให้ได้ลักษณะโดยรวมของเครื่องยนต์อันมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 5-1 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดลอง

ชนิด	อัลฟา
ปริมาตรขยายตัว	166 cc
มุมต่างเฟส	90°
ปริมาตรฮีทเตอร์	90 cc
อุณหภูมิด้านร้อน	250°C
ปริมาตรคูลเลอร์	60 cc
ปริมาตรรีเจนเนอเรเตอร์	16 cc
ความดันใช้งาน	0.1 MPa
อัตราส่วนการอัดตัว	1.8
สารทำงาน	อากาศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สำหรับการใช้ฮีทเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานความร้อนนั้น ถ้าต้องการให้อากาศให้มีความร้อนสูงมากๆจำเป็นต้องใช้ฮีทเตอร์ที่มีกำลังสูงตามไปด้วย ซึ่งมีข้อที่ควรคำนึงถึงคือ ความยาวของขดลวดที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ปริมาตรฮีทเตอร์เพิ่มขึ้นเช่นกัน และจากการทดลองใช้งานพบว่าเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 250° C จะทำให้วัสดุบางอย่าง เช่น แผ่นปะเก็นและกาวซิลิโคน เสื่อมสภาพ ดังนั้นอุปกรณ์การซีลอากาศที่ใช้กับฮีทเตอร์ควรเลือกใช้วัสดุที่ทนความร้อนได้สูงเช่นกัน

5.2.2 วิทยานิพนธ์นี้ได้แสดงอย่างชัดเจนถึงผลของการออกแบบรีเจนเนอเรเตอร์ที่มีต่อกำลังบ่งชี้ รวมทั้งระดับของการสูญเสียจากการไหล ดังนั้นควรมีการทดลองเปลี่ยนขนาดเส้นลวดหรือวัสดุที่ใช้ทำรีเจนเนอเรเตอร์เพื่อจะได้ทราบถึงลักษณะของรีเจนเนอเรเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้งาน

5.2.3 จากข้อมูลที่บ่งชี้ว่าการสูญเสียจากการไหลที่มีผลสำคัญต่อแรงเสียดทานรวมของระบบ แนวทางการออกแบบกลไกขับเคลื่อนก๊าซควรให้มีอัตราส่วนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกสูบต่อช่วงชักที่มากเพื่อให้ระดับความเร็วของก๊าซที่ไหลกลับไปมาในระบบอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งจะทำให้การสูญเสียจากการไหลอยู่ในระดับต่ำได้ ตัวอย่างหนึ่งของกลไกขับเคลื่อนก๊าซที่สอดคล้องกับเงื่อนไขนี้ได้แก่การใช้แผ่น diaphragm แทนลูกสูบ ซึ่งยังตัดปัญหาการซีลระหว่างลูกสูบกับผนังกระบอกสูบไปได้ด้วย

5.2.4 เมื่อพิจารณาว่าการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศเป็นสิ่งจำเป็น เป้าหมายในการดัดแปลงเครื่องอัดอากาศให้เป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงนั้น ควรจะเป็นการเปลี่ยนหน้าแปลนที่เพลาข้อเหวี่ยงใหม่หมดเพื่อให้การซีลอากาศเป็นไปได้ดีและสามารถอัดความดันแก่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ อย่างไรก็ดี ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและราคาของ mechanical seal ก็ต้องคำนึงถึงด้วย

5.2.5 อีกทางเลือกหนึ่งในการอัดความดันแก่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้แก่การดัดแปลงให้เป็นแบบ hermatically sealed นั่นคือการนำทุกชิ้นส่วนที่ต่อออกมาจากเพลาข้อเหวี่ยง อันได้แก่ ล้อช่วยแรง มอเตอร์ ชุดไดนาโมมิเตอร์ รวมทั้งเพลาต่อ ไปไว้ในกล่องที่ซีลเข้ากับตัวเครื่องยนต์ได้ วิธีการนี้ทำให้ไม่ต้องการ mechanical seal ที่เพลาข้อเหวี่ยง แต่อย่างไรก็ดี หากมีขนาดของเครื่องยนต์ที่ใหญ่เกินไป วิธีการนี้อาจมีต้นทุนที่สูง