

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง; เครื่องยนต์ความร้อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม Sterling Engine; Eco-friendly Heat Engines for Produce Electricity

กิจธนาพัฒน์ บรรดลนพรัตน์, สมบัติ ทิมทรัพย์ และ บดินทร์ชาติ สุขบท

บทคัดย่อ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ความร้อนที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถใช้แหล่งกำเนิดความร้อนได้หลากหลาย โดยเฉพาะแหล่งกำเนิดความร้อนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น ความร้อนจากแสงอาทิตย์ จากผลิตภัณฑ์เหลือใช้ทางการเกษตร และอื่น ๆ และยังสามารถนำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงไปประยุกต์ใช้กับงานหลายประเภท ทั้งการผลิตกระแสไฟฟ้าและอื่น ๆ บทความนี้นำเสนอความรู้พื้นฐานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ในด้านประวัติความเป็นมา หลักการทำงาน ส่วนประกอบ การพัฒนาและการประยุกต์ใช้ สำหรับโลกในอนาคต

คำสำคัญ: เครื่องยนต์ความร้อน, เครื่องยนต์สเตอร์ลิง, หลักการทำงานเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

Abstract

Sterling engine is a heat engine which currently receives high interest all over the world due to their wide variety of possible heat sources input, especially those which are environmental friendly, such as heat from sun light, agricultural waste, and so on. And they can be used for several applications, particularly for electricity production and others. This paper presents basic knowledge of Sterling engine on history, principles, components, it's development and application for the future world.

Keywords: heat engine, sterling engine, sterling engine working principle

ความนำ

ในปัจจุบัน มีความพยายามในการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์และเทคโนโลยี เพื่อให้ได้แหล่งผลิตและใช้พลังงานที่ปลอดภัย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีประสิทธิภาพสูง และราคาถูก เนื่องมาจากแหล่งพลังงานสำรองของโลกที่ใช้กันในปัจจุบันอันได้แก่น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติที่มีราคาสูงขึ้น และกำลังใกล้จะหมดไปไม่ช้า

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นหนึ่งในสิ่งประดิษฐ์ที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานรูปแบบที่ใช้ได้สะดวกในอนาคต เนื่องจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่ไม่มีการสันดาปภายในจึงไม่มีการปล่อยแก๊สที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถใช้ความร้อนจากหลากหลายแหล่งเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนได้ เช่น ความร้อนเหลือทิ้งจาก

โรงงานอุตสาหกรรม ความร้อนจากแสงอาทิตย์ และ ความร้อนใต้พิภพ เป็นต้น

ในการวิจัยพัฒนา มีการพยายามนำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงไปประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย เช่น ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Chen, et.al., 1998, pp. 805-806) มีความพยายามในการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทำงานที่อุณหภูมิมีความต่างค่าน้อย (Islam, Rahman, & Halder, 2012, pp. 1-3) การสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้ลูกสูบแบบโรตารี (Foster, 2012, pp. 96-106) ตลอดจนการนำไปใช้ในงานด้านอื่น เช่น ใช้ในการสูบน้ำในชนบทที่ห่างไกลโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน (Rakesh, & Patal, 2013, pp.864-868) และการใช้ในการระบายความร้อนจากหน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์ (Prakash & Guruvayurappan, 2011, pp. 1941-1943) เป็นต้น



ภาพ 1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์

Note. from SOLAR DISH/STIRLING POWER SYSTEMS by SOLAR DISH, Retrieved from <http://www.stirlingengines.org.uk/sun/sola3.html>

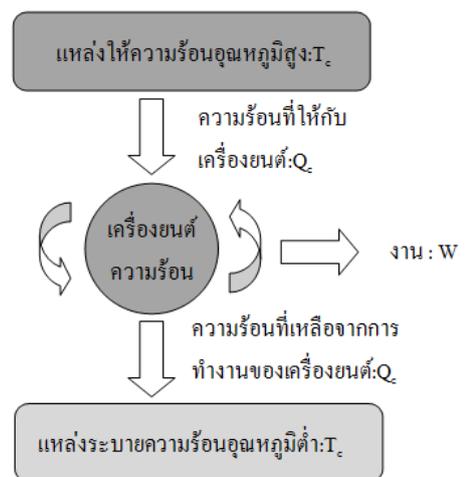


ภาพ 2 การใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงระบายความร้อนจากหน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์

Note. from World's First Powerless Air Cooler on a Motherboard! MSI presents, by Air Power Cooler chipset cooler with ECO concept at CeBIT , Retrieved from <http://www.stirlingengines.org.uk/sun/sola3.html>

เครื่องยนต์ความร้อน

เครื่องยนต์ความร้อน (Heat Engines) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกลอย่างต่อเนื่อง โดยเครื่องยนต์จะแปลงความร้อนที่อุณหภูมิสูงที่ป้อนให้บางส่วนให้ทำงาน และเปลี่ยนงานให้เป็นพลังงานกล ไฟฟ้า หรือพลังงานในรูปแบบอื่น ส่วนความร้อนที่ไม่สามารถใช้ได้ ก็จะถูกระบายออกที่แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Serway, 1982)



ภาพ 3 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ความร้อน

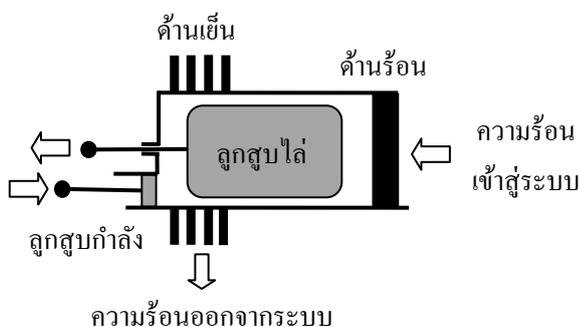
เครื่องยนต์ความร้อนเป็นเครื่องยนต์ที่ได้รับความนิยมน้อยที่สุด เนื่องจากแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนที่จะนำมาใช้ขับเคลื่อนเครื่องยนต์หาได้ง่ายและหลากหลาย จึงมีการประดิษฐ์เครื่องยนต์ความร้อนในหลายรูปแบบ เช่น เครื่องยนต์ไอน้ำ เครื่องยนต์ออตโต เครื่องยนต์สเตอร์ลิง เป็นต้น (Young & Freedman, 2000)

ประวัติเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

Robert Sterling นักประดิษฐ์ชาว สก็อตแลนด์ ประดิษฐ์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2359 (Cinar & Karabulut, 2004, p. 57) ในลักษณะเครื่องยนต์ความร้อนระบบปิดโดยอาศัยอากาศเป็นสารทำงาน จุดเด่นของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงคือเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอกที่เงียบ ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถใช้แหล่งความร้อนได้หลากหลาย (Islam, Rahman & Halder, 2012, p. 1; Cinar & Karabulut, 2004, p. 57)

ส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

หลังจากการประดิษฐ์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเมื่อ 100 กว่าปีที่แล้ว ก็มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาทั้งด้านรูปแบบและประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทุกรูปแบบยังคงประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก (Foster, 2012, pp 95-96; Haywood, 2012, pp1-2; Kongtragool & Wongwises, 2003, p. 134) คือ



รูป 4 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

แหล่งให้ความร้อน (Heat sources) ความร้อนที่ให้แก่เครื่องยนต์สเตอร์ลิง มีที่มาจากหลากหลาย เช่น พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทุกรูปแบบ พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนจากใต้พิภพ และความร้อนจากการสลายตัวของปฏิกิริยานิวเคลียร์ เป็นต้น

ตัวรับความร้อน (Hot side heat exchanger)

ในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีขนาดเล็ก จะใช้ผนังของเครื่องยนต์ซึ่งส่วนใหญ่ทำจากวัสดุที่นำความร้อนได้ดีเป็นตัวรับความร้อน และส่งต่อความร้อนไปยังสารทำงาน แต่สำหรับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่หรือเครื่องยนต์มีประสิทธิภาพการทำงานสูง ตัวรับความร้อนจะได้รับการออกแบบเป็นพิเศษ เช่น มีการเพิ่มพื้นที่ตัวรับความร้อนการใช้โลหะที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง หรือใช้เทคโนโลยีอื่นเพื่อช่วยให้สามารถถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำงานอย่างรวดเร็ว

สารทำงาน (Working Fluid)

สารทำงานที่นิยมใช้จะเป็นอากาศ หรือแก๊สอื่น เช่น ไฮโดรเจน ฮีเลียม หรือคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าอากาศ สารทำงานจะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างตัวรับความร้อนและตัวระบายความร้อนในเครื่องยนต์ ตามปกติสารทำงานจะถูกบรรจุอย่างมิดชิดภายในระบบเครื่องยนต์ โดยไม่มีการรั่วไหล ซึ่งจะเป็นการลดทอนประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์

ลูกสูบไล่ (Displacer piston)

ลูกสูบไล่ในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีเฉพาะในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงบางแบบ เช่น แบบเบต้า และแบบแกมมา โดยลูกสูบไล่จะทำหน้าที่ไล่สารทำงานให้เคลื่อนที่ระหว่างตัวรับความร้อนที่อยู่ทางด้านร้อนและตัวระบายความร้อนที่อยู่ทางด้านเย็นของเครื่องยนต์ โดยปกติลูกสูบไล่จะมีขนาดเล็กกว่าห้องสูบเล็กน้อยเพื่อให้สารทำงานสามารถไหลผ่านได้

ลูกสูบกำลัง (Power piston)

โดยทั่วไปลูกสูบกำลังจะมีขนาดเล็กกว่าลูกสูบไล่ ลูกสูบกำลังทำหน้าที่

รองรับการขยายตัวและอัดตัวของสารทำงานที่ถูกบรรจุอยู่ในเครื่องยนต์ กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทั้งหมดมาจากลูกสูบกำลังนี้

ตัวระบายความร้อน (Cold side heat exchanger) เครื่องยนต์สเตอร์ลิงขนาดเล็กจะใช้ผนังด้านเย็นของเครื่องยนต์เป็นตัวระบายความร้อน แต่สำหรับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่หรือต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานจะมีการออกแบบเป็นพิเศษ เช่น เพิ่มพื้นที่การระบายความร้อน ใช้โลหะที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง หรือมีระบบระบายความร้อนที่ใช้ของเหลว เช่น น้ำ เป็นตัวระบายความร้อน

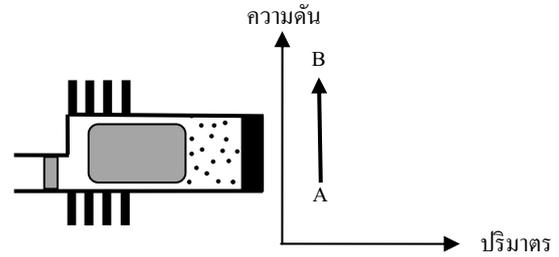
ส่วนรับแรงจากลูกสูบ ทำหน้าที่ในการรับแรงจากลูกสูบเพื่อนำไปใช้ทำงาน และยังออกแบบเพื่อสร้างความต่างเฟสของลูกสูบกำลังและลูกสูบไต่ เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ในวัฏจักรรอบต่อไป โดยทั่วไปนิยมใช้ล้อตุนกำลังและเพลาคู่เหวี่ยงในการทำหน้าที่ดังกล่าว

หลักการการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีหลักการทำงานตามวัฏจักรสเตอร์ลิง ซึ่งประกอบไปด้วย 4 กระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic Process) คือ กระบวนการรับความร้อนที่ปริมาตรคงที่ (Isochoric heating process) กระบวนการขยายตัวที่ความร้อนคงที่ (Isothermal expansion process) กระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่ (Isochoric cooling process) และกระบวนการอัดที่ความร้อนคงที่ (Isothermal compression process) (Chen et al., 1998, pp. 805-806; Haywood, 2012, p. 3; Christoph et al., 2007, pp. 7-8)

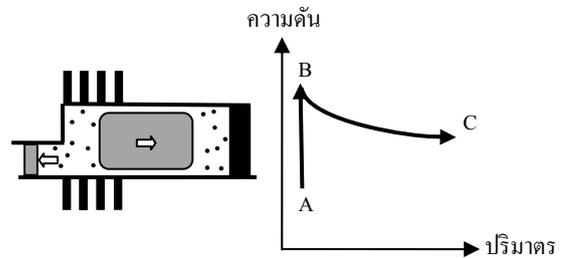
กระบวนการรับความร้อนที่ปริมาตรคงที่ สารทำงานได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนผ่านตัวรับความร้อน โดยลูกสูบไต่จะทำหน้าที่ไต่สารทำงานให้ไปอยู่ด้านร้อน เมื่อสารทำงานได้รับความร้อนจาก

แหล่งกำเนิดความร้อนจะทำให้ความดันในระบบสูงขึ้น แต่สารทำงานในระบบยังไม่มี การขยายตัว ขั้นตอนนี้จะ เป็นไปตามกระบวนการรับความร้อนโดยปริมาตรคงที่



ภาพ 5 กระบวนการรับความร้อนโดยปริมาตรคงที่

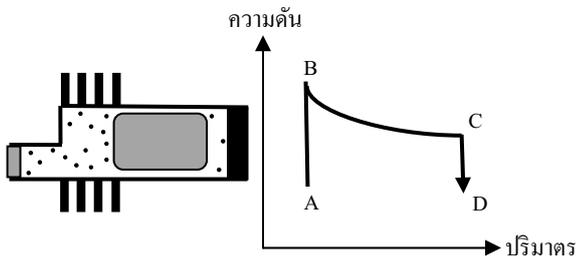
กระบวนการขยายตัวที่ความร้อนคงที่ เมื่อสารทำงานที่อยู่ด้านร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่งความดันในระบบจะเพิ่มขึ้น ระบบจะรักษาสมดุลโดยการขยายตัวของสารทำงาน ทำให้ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่เพื่อลดความดันในระบบ แต่สารทำงานยังคงได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องจากแหล่งกำเนิดความร้อน ในขณะที่ขยายตัว ดังนั้นความดันจึงลดลงในขณะที่ความร้อนในระบบยังคงที่



ภาพ 6 กระบวนการขยายตัวที่ความร้อนคงที่

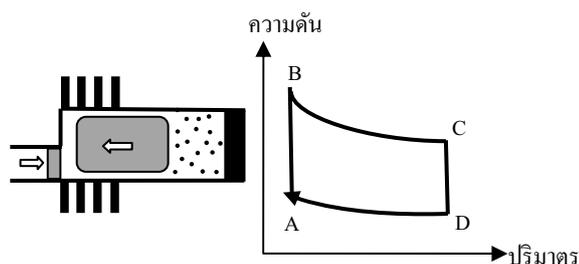
กระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่ ตามปกติลูกสูบไต่และลูกสูบกำลังในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะถูกออกแบบให้มีความต่างเฟสเป็น 90 องศา ดังนั้นเมื่อสารทำงานขยายตัวดันลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ไปจนสุด ลูกสูบไต่ก็จะเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ด้านร้อนของเครื่องยนต์ เป็นผลให้สารทำงานถูกไต่มาอยู่ที่ด้านเย็นและจะถ่ายเทความร้อนให้แก่ตัวระบายความร้อนเพื่อระบายออกสู่ระบบภายนอก ทำให้อุณหภูมิของสารทำงานในระบบลดลง เมื่ออุณหภูมิในระบบลดลง ความดันจึงลดลงไป

ด้วย ขั้นตอนนี้จึงเป็นกระบวนการระบายความร้อนที่ ปริมาตรคงตัว



ภาพ 7 กระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่

กระบวนการอัดตัวที่ความร้อนคงตัว ใน ขั้นตอนนี้ลูกสูบกำลังจะถูกดันให้กลับมายังตำแหน่ง เริ่มต้นอีกครั้งโดยระบบทางกลศาสตร์ เช่น ล้อตุนกำลัง ซึ่งจะทำการทำงานที่อยู่ในระบบถูกอัดให้มีปริมาตร เล็กกลง ทำให้ความดันในระบบสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกัน ลูกสูบไล่จะไล่สารทำงานจากด้านเย็นไปสู่ด้านร้อน และ ระบบก็จะกลับสู่ขั้นตอนการรับความร้อนด้วยปริมาตร คงที่ AB โดยเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะทำงานเป็นวัฏจักร เช่นนี้ไปเรื่อย ๆ トラバドที่ยังได้รับความร้อนจาก แหล่งกำเนิดความร้อนทางด้านร้อน และสามารถระบาย ความร้อนออกทางด้านเย็น



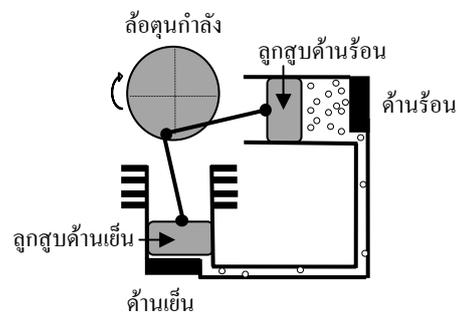
ภาพ 8 กระบวนการอัดตัวที่ความร้อนคงที่

ประเภทของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ในปัจจุบันมีเครื่องยนต์ที่ทำงานตามวัฏจักร สเตอร์ลิงหลากหลายรูปแบบ อย่างไรก็ตาม สามารถแบ่ง เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นแบบหลัก ๆ ได้สามรูปแบบ

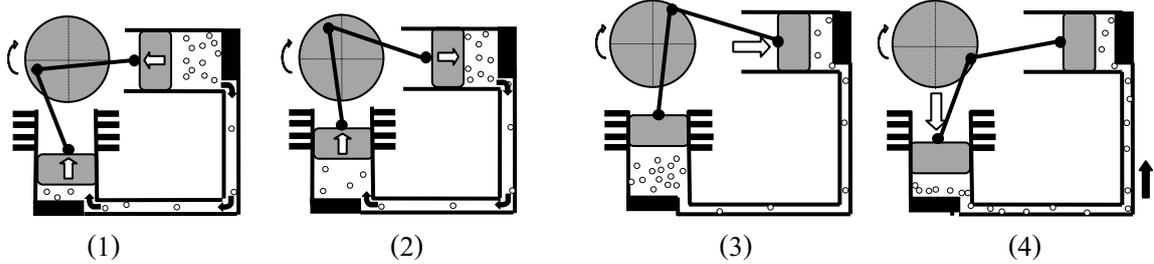
(Christoph et.al., 2007, pp. 8-14; Foster, 2012, pp. 97-98) คือ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟา (α - Sterling Engine) เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบนี้ ประกอบด้วยลูกสูบกำลังสองลูกสูบที่แยกออกจากกัน ลูกสูบกำลังด้านหนึ่งเป็นด้านร้อน ทำหน้าที่รับความร้อน และส่งต่อให้สารทำงาน ส่วนลูกสูบกำลังอีกด้านหนึ่งจะเป็นด้านเย็น ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำงาน โดยลูกสูบกำลังทั้งสองเชื่อมต่อกันด้วยท่อเพื่อ ให้สารทำงานไหลไปมาระหว่างลูกสูบทั้งสองดังรูป 9



ภาพ 9 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบ แอลฟา

การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟา จะอาศัยลูกสูบกำลังทั้งสองเป็นตัวขับเคลื่อนสารทำงานให้ เคลื่อนที่ระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นแทนลูกสูบไล่ โดยวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์แบ่งเป็นลำดับได้ คือ



ภาพ 10 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟา

ก) สารทำงานที่อยู่ในลูกสูบร้อนได้รับความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนทำให้มีความร้อนและความดันเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่เกิดการขยายตัวเพื่อดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ กระบวนการนี้จะเป็นไปตามกระบวนการรับความร้อนโดยปริมาตรคงที่

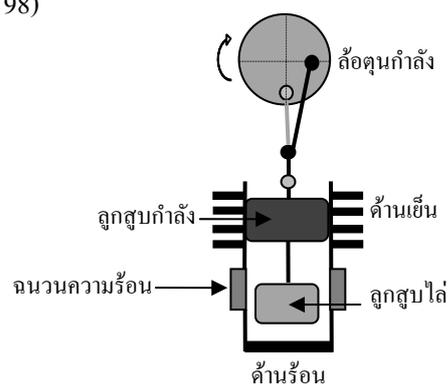
ข) เมื่อสารทำงานร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะเกิดการขยายตัวและดันให้ลูกสูบร้อนเคลื่อนที่ ทำให้ระบบมีปริมาตรเพิ่มขึ้นและความดันของสารทำงานจึงลดลง แต่สารทำงานยังคงได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ความร้อนของสารทำงานคงที่ ซึ่งเป็นกระบวนการขยายตัวโดยความร้อนคงที่ ดังรูป 10-1

ค) ในขั้นตอนนี้ล้อยูนกกำลังจะเริ่มผลักให้ลูกสูบด้านร้อนขับสารทำงานให้ไหลไปทางด้านลูกสูบเย็นดังรูป 10-2 ทำให้สารทำงานเกิดการระบายความร้อนทำให้ความดันลดลง กระบวนการนี้จะดำเนินไปเรื่อย ๆ จนสารทำงานทั้งหมดไปอยู่ที่ลูกสูบเย็น ดังรูป 10-3 ขั้นตอนนี้จึงเป็นกระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่

ง) ในขั้นตอนสุดท้ายล้อยูนกกำลังจะเริ่มผลักลูกสูบเย็นเพื่อขับสารทำงานทั้งหมดที่อยู่ในลูกสูบด้านเย็นให้ไหลกลับไปยังลูกสูบด้านร้อนโดยทำให้ความดันสารทำงานเพิ่มขึ้นจึงเป็นกระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงตัวดังรูปที่ 10-4 หลังจากนั้นระบบจะเริ่มวัฏจักรใหม่อีกครั้ง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟาจะให้กำลังต่อปริมาตรของเครื่องยนต์สูงแต่จะมีปัญหาการรั่วไหลของสารทำงาน ดังนั้นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟาต้องการการออกแบบเพื่อหรืออุปกรณ์เพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารทำงานที่ลูกสูบทั้งสอง (Foster, 2012, p. 97)

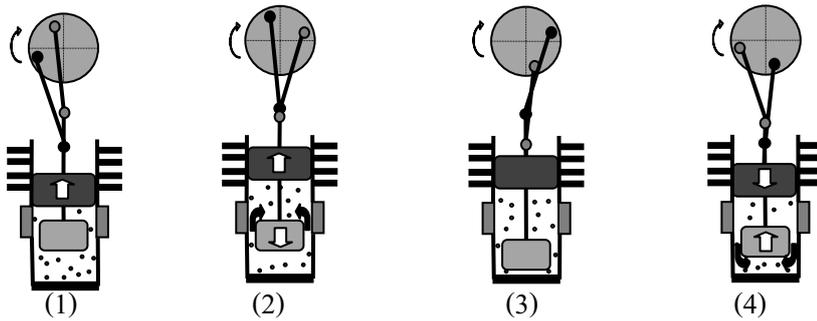
เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบต้า (β – Sterling Engine) เครื่องยนต์แบบนี้ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาการรั่วไหลของสารทำงานในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟา โดยออกแบบให้ลูกสูบกำลังและลูกสูบไล้อยู่ภายในกระบอกสูบเดียวกัน ดังรูป 11 ทางด้านร้อนและเย็นของเครื่องยนต์จะมีอุณหภูมิความร้อนกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ (Foster, 2012, p. 98)



ภาพ 11 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบต้า

ก) การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบต้าจะเริ่มจากการที่สารทำงานได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อน ทำให้อุณหภูมิและความดันของสารทำงานในเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น แต่ยังไม่เกิดการขยายตัวขึ้นตอนนี้จึงเป็นกระบวนการรับความร้อนที่ปริมาตรคงที่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารทำงานเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่ง สารทำงานจะขยายตัวเพื่อรักษาสมดุลในระบบ และดันให้ลูกสูบกำลัง (สีเทาเข้ม) การเคลื่อนที่ ดังรูป 12-1 ขณะเดียวกันสารทำงานยังคงได้รับความร้อนอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ปริมาณความร้อนของสารทำงานยังคงที่ กระบวนการนี้จึงเป็นกระบวนการขยายตัวที่ความร้อนคงที่

ข) เนื่องจากผลต่างของความต่างเฟสระหว่างลูกสูบกำลังและลูกสูบไล่ (สีเทาอ่อน) เป็น 90 องศา ดังนั้นเมื่อลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ขึ้นลูกสูบไล่จะถูกผลักดัน



ภาพ 12 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบต้า

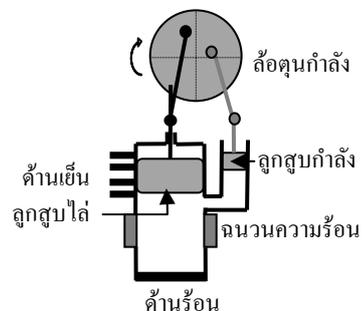
เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา (γ - Sterling Engine) เครื่องยนต์แบบนี้จะมีลักษณะและการทำงานคล้ายกับเครื่องยนต์แบบเบต้า เพียงแต่ลูกสูบกำลังและลูกสูบไล่จะแยกออกจากกันดังรูป 13 เพื่อช่วยลดการสูญเสียทางด้านความร้อน แต่จะมีข้อเสียคืออัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์จะลดน้อยลง

ข้อดีของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาคือมีหลักการการทำงานที่ง่าย เพราะมีอุปกรณ์น้อยชิ้น อีกทั้งการป้องกันการรั่วของสารทำงานทำได้ง่าย เนื่องจากจะมีการรั่วไหลของสารทำงานที่เฉพาะลูกสูบกำลังอย่างเดียว

ให้เคลื่อนที่ลงโดยล้อตุ้มกำลัง พร้อมทั้งเริ่มไล่สารทำงานจากด้านร้อนของเครื่องยนต์ไปสู่ด้านเย็นของเครื่องยนต์ดังรูปที่ 12-2

ค) เมื่อลูกสูบไล่ไล่สารทำงานส่วนใหญ่ให้เคลื่อนที่ไปทางด้านเย็นของเครื่องยนต์ สารทำงานจะระบายความร้อนออกผ่านตัวระบายความร้อน ขึ้นตอนนี้จะเป็นกระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่ ดังรูป 12-3

ง) ในกระบวนการสุดท้าย กำลังที่สะสมอยู่ในล้อตุ้มกำลังจะดันให้ลูกสูบกำลังอัดสารทำงานในระบบให้มีปริมาตรเล็กลง ทำให้ความดันในระบบเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้จะเป็นการบวนการอัดที่ความร้อนคงที่ ดังรูป 12-4 พร้อมทั้งนี้ ลูกสูบไล่จะไล่สารทำงานให้กลับไปสู่ด้านร้อน แล้วเริ่มวัฏจักรใหม่อีกครั้ง



ภาพ 13 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบอื่น นอกจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบหลักทั้ง 3 รูปแบบที่กล่าวมาแล้ว ยังมีเครื่องยนต์สเตอร์ลิงรูปแบบอื่นอีกหลายรูปแบบ เช่น แบบไร้ลูกสูบ (Free Piston) ที่สร้างขึ้นเพื่อลดปัญหาการทำงานของข้อเหวี่ยง หรือแบบ LTD (Low Temperature Difference) ที่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นมีค่าน้อย (ประมาณ 50°C) นอกจากนี้ยังมีแบบริงบอม (Ringbom) ที่มีลักษณะคล้ายกับแบบแกมมาเพียงแต่ลูกสูบไต่จะมีลักษณะแบนและมีขนาดใหญ่กว่าลูกสูบกำลังมาก และแบบโรตารี (Rotary) ซึ่งสามารถเปลี่ยนกำลังจากเครื่องยนต์ไปเป็นแรงบิดได้โดยตรงเหมือนเครื่องยนต์โรตารีทั่วไป เป็นต้น

ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ในปี ค.ศ. 1824 ซาดิ คาร์โนต์ วิศวกรชาวฝรั่งเศส พบว่า เมื่อทราบแหล่งกำเนิดความร้อนอุณหภูมิสูงและถ่ายความร้อนออกที่อุณหภูมิต่ำแล้ว เครื่องจักรความร้อนคาร์โนต์จะเป็นเครื่องจักรที่ให้งานทางกลศาสตร์มากที่สุด ต่อมาพบว่าเครื่องจักรแบบผันกลับได้ทุกชนิดมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่าเครื่องจักรคาร์โนต์ และเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็เป็นหนึ่งในเครื่องจักรแบบผันกลับได้ จึงมีประสิทธิภาพเท่ากับเครื่องจักรคาร์โนต์เช่นกัน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงทำงานระหว่างแหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง T_H และอุณหภูมิต่ำ T_C จึงมีประสิทธิภาพในเชิงทฤษฎี η (Haywood, 2012, p. 7) คือ

$$\eta = \frac{T_H - T_C}{T_H} \quad (1)$$

แต่ตามความเป็นจริงแล้วประสิทธิภาพการทำงาน of เครื่องยนต์จะน้อยกว่าค่าทางทฤษฎี เนื่องจากแรงเสียดทานของระบบกลไกและความเร็วในการถ่ายเทความร้อน ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงทำได้โดยการลดแรงเสียดทานของระบบ

กลไก เช่น การใช้โลหะคาร์บอนในการทำเสื่อสูบและกระบอกสูบเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิว และการเพิ่มประสิทธิภาพการรับและคายความร้อนของสารทำงาน ซึ่งอาจจะทำได้โดยการเพิ่มกลไกพิเศษในการทำงาน เช่น การใช้ Heat pipe เป็นต้น

การประยุกต์ใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงกับประเทศไทย

เนื่องจากการใช้งานง่ายและสามารถใช้แหล่งความร้อนได้หลากหลาย จึงมีการนำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงไปประยุกต์ใช้งานหลายด้าน เช่น ใช้เป็นเครื่องปรับอากาศ (Haywood, 2012) ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (Yaqi, Yaling, & Wei Wei, 2011) และใช้ร่วมกับเครื่องยนต์ชนิดอื่นเพื่อขับเคลื่อนยานยนต์ (Christoph et.al., 2007, p. 20) เป็นต้น

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีของเหลือใช้จากการเกษตรที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งความร้อนเพื่อป้อนให้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ เช่น ชานอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง แกลบ ชังข้าวโพด ทางและทะเลสาบปาล์ม ในแวดวงการปศุสัตว์ ก็สามารถใช้แก๊สชีวภาพที่เกิดจากการหมักของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ หรือนำน้ำร้อนที่เหลือจากโรงงานฆ่าสัตว์มาใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เครื่องรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง เพื่อให้เกิดอุณหภูมิสูง แล้วนำไปใช้ขับเคลื่อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

บทสรุป

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในอนาคต เครื่องยนต์สเตอร์ลิงถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี พ.ศ. 2359 โดย Sterling ในลักษณะเครื่องยนต์ความร้อนระบบปิดที่อากาศเป็นสารทำงานข้อดีของเครื่องยนต์นี้คือสามารถใช้แหล่งความร้อนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในการขับเคลื่อน เช่น ความร้อนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ของเหลือใช้จากการเกษตร หรือ

ความร้อนจากแสงอาทิตย์ และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีหลักการทำงานตามวัฏจักรสเตอร์ลิง ซึ่งประกอบไปด้วย 4 กระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ คือ กระบวนการรับความร้อนที่ปริมาตรคงที่ กระบวนการขยายตัวที่ความร้อนคงที่ กระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่ และกระบวนการอัดที่ความร้อนคงที่ โดยมีส่วนประกอบหลักๆคือ ตัวรับความร้อน ตัวระบายความร้อน ลูกสูบกำลังและลูกสูบไล่ และสามารถแบ่งเครื่องยนต์ออกเป็นรูปแบบหลักๆได้สามรูปแบบคือ แอลฟา เบต้าและแกมมา

สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศในเขตร้อนที่มีแสงอาทิตย์สม่ำเสมอตลอดปี จึงสามารถใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ด้วยการรวมแสง เพื่อให้เกิดอุณหภูมิสูงแล้วนำไปใช้ขับเคลื่อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิง นอกจากนี้ยังมีของเหลือใช้จากการเกษตรอีกมากมายที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งความร้อนเพื่อป้อนให้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ เช่น ชานอ้อย เหมันสำหรับล้าง แกลบ ชังข้าวโพด ทางและทะลายปาล์ม ในแวดวงการปศุสัตว์ ก็สามารถใช้แก๊สชีวภาพจากการหมักของเสียจากฟาร์มหรือใช้น้ำร้อนที่เหลือจากโรงงานชำแหละสัตว์ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้

เอกสารอ้างอิง

- Chen, J., Yan, Z., Chen, L., & Andresen, B. (1998). Efficiency bound of solar-driven sterling heat engine system. *International Journal of Energy Research*, 22(1), 805-812.
- Christoph, M., Arnaud, G., Rafael, A., Li, S., & Xue, Y. (2007). *Sterling engine*. Gavle: University of Gavle.
- Cinar, C., & Karabulut, H. (2005). Manufacturing and testing of gamma type sterling engine. *Renewable Energy*, 30(1), 57-66.
- Foster, P. R. (2012). Innovative rotary displacer sterling engine: Sustainable generation for private and fleet vehicle applications, *The Journal of Technology Studies*, 96-106.
- Haywood, D. (2012). *An introduction to sterling-cycle machines*. Canterbury: University of Canterbury.
- Islam, M.A., Rahman, S., & Halder, P. H. (2012). *Design, construction and performance test of a ltd sterling engine*. Dhaka: Global Engineering.
- Kongtragool, K., & Wongwises, S. (2003). A review of solar-powered sterling engines and low temperature differential sterling engines. *Renewable Sustainable Energy Review*, 7(1), 131-154.
- Prakash, S., & Guruvayurappan, A. R. (2011). Using sterling engine to increase the efficiency of an IC engine. *Proceedings of World Congress on Engineering*, 3(1), 1941-1943.
- Rakesh, K.B., & Patal, K. (2013). Review of sterling engines for pumping water using solar energy as a source of power. *International Journal of Engineering Research and Application*, 3(1), 864-868.
- Serway, R. A. (1982). *Physics for scientists and engineering*. New York: Sunders college publishing.

Senft, J. R. (1995). *An introduction to sterling engine*. Wisconsin: River fall.

Walker G. (1980). *Sterling engine*. Oxford: Clarendon Press.

Yaqi, L., Yaling, H., & Wei Wei, W. (2011). Optimization of solar-powered sterling heat engine with finite-time thermodynamics. *Renewable Energy*, 36(1), 421-427.

Young, H. D., & Freedman, R. A., (2000). *University physics with modern physics*. Boston: Addison-wesley publishing company.

