บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

ประวัติความเป็นมา

ในปีค.ศ. 1816 ที่ประเทศสกอตแลนด์ Robert และ James Stirling เป็นผู้ร่วมกันสร้างเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอกที่สารทำงานมีการทำงานอยู่ในระบบปิด โดยไม่มีการใช้วาล์วควบคุมการไหลของสารทำงาน มีการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ซึ่งในเวลานั้นเครื่องยนต์ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันว่า มีความปลอดภัยกว่าเครื่องยนต์ไอน้ำซึ่งมักจะเกิดการระเบิดขึ้น แต่ด้วยข้อจำกัดในเรื่องของวัสดุในสมัยนั้น ทำให้ไม่สามารถพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้มากนัก ต่อมาในราวปี ค.ศ. 1850 J. Ericsson นักประดิษฐ์และวิศวกรชาวสวีเดนเป็นผู้ที่ประสบความสำเร็จในการผลิตและจำหน่ายเครื่องยนต์ชนิดนี้ซึ่งในภายหลังเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ โดยสามารถส่งไปจำหน่ายยังประเทศอังกฤษและสหรัฐอเมริกาได้ถึงประมาณ 2000 เครื่อง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็กมีขนาดกำลังอยู่ระหว่าง 100 วัตต์ ถึง 4 กิโลวัตต์ และใช้อากาศร้อนเป็นสารทำงานจึงทำให้เครื่องยนต์สเตอลิงค์ในยุคแรก เป็นที่รู้จักกันทั่วไปในชื่อของเครื่องยนต์อากาศร้อน (hot air engine) แต่หลังจากมีการประดิษฐ์เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (internal combustion engine) และมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งมีขนาดที่กระทัดรัดสะดวกต่อการนำมาใช้งานในเครื่องยนต์ขนาดเล็กมากกว่า ทำให้การผลิตเครื่องยนต์อากาศร้อนลดจำนวนลงไป

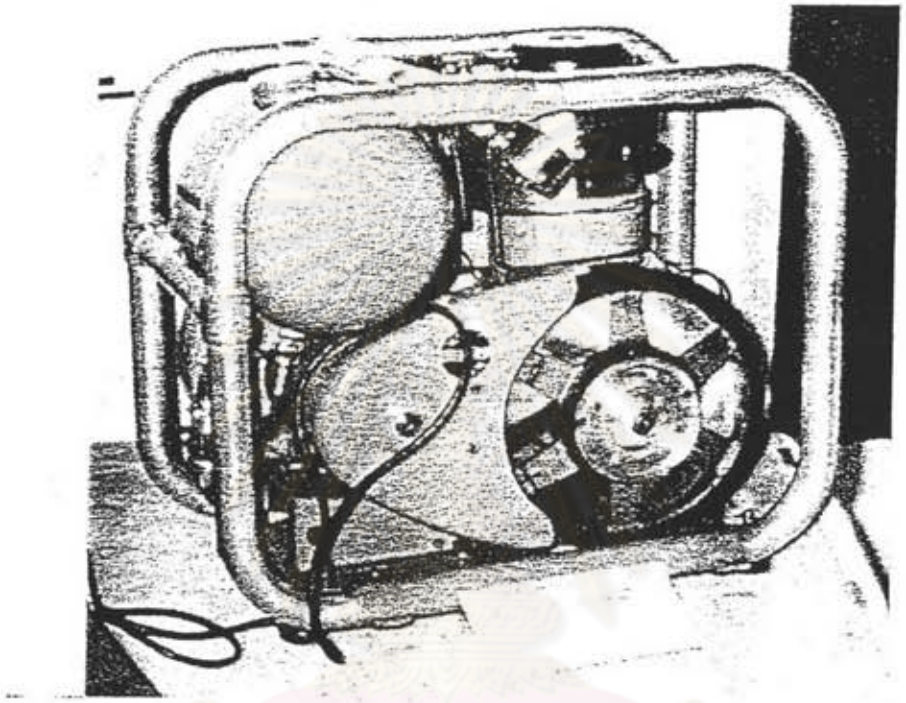
สิ่งที่เป็นจุดเปลี่ยนทำให้เครื่องยนต์สเตอลิงค์ได้รับความสนใจถูกนำมาศึกษา และพัฒนาอีกครั้งหนึ่ง เริ่มขึ้นในราวปี ค.ศ. 1940 เมื่อบริษัท Philips ประเทศเนเธอร์แลนด์ มีความต้องการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กชนิดเคลื่อนย้ายได้ ทำงานเงียบ เพื่อใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับวิทยุ ในพื้นที่ที่ขาดแคลนพลังงานไฟฟ้า โดยเมื่อทีมผู้วิจัยได้เห็นเครื่องต้นแบบของเครื่องยนต์อากาศร้อนในยุคก่อนที่ยังสามารถทำงานได้ที่พิพิธภัณฑ์ทางเทคโนโลยี ในประเทศฝรั่งเศส จึงตัดสินใจเลือกเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่ในขณะนั้นยังเรียกกันว่า เครื่องยนต์อากาศร้อน มาทำการพัฒนา เนื่องจากเห็นว่าข้อจำกัดในเรื่องของวัสดุในอดีตได้มีการพัฒนาไปมาก จึงทำให้เกิดความมั่นใจว่า

จะสามารถพัฒนาเครื่องยนต์ให้มีขนาดกำลังที่มากขึ้นได้ จนประสบผลสำเร็จในราวปีค.ศ. 1950 ได้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 200 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยมีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าเครื่องยนต์อากาศร้อนชนิดเก่าอย่างมาก ถึงแม้ว่าต่อมา จะมีการประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์ และมีการปรับปรุงแบตเตอรีแห้ง จนทำให้ความต้องการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับวิทยุไม่มีความจำเป็นอีก แต่ก็ยังมีการพัฒนาเครื่องยนต์ต่อไปเพื่อให้ได้เครื่องยนต์ที่มีขนาดกำลังมากขึ้น จนประสบผลสำเร็จสามารถสร้างเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่มีขนาดกำลังหลายร้อยแรงม้าได้ และ ที่บริษัท Philips นี้เอง ดร. Rolf Meijer เป็นผู้ตั้งชื่อเครื่องยนต์ชนิดนี้ว่า " เครื่องยนต์สเตอลิงค์ " เนื่องจากต้องการแยกประเภทของเครื่องยนต์อากาศร้อนที่ไม่มีการใช้วาล์วควบคุม ออกจากชนิดที่มีการใช้วาล์วควบคุม (เครื่องยนต์อีริคสัน) และเนื่องจากขณะนั้นที่บริษัท Philips ได้มีการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่มีการใช้สารทำงานนอกเหนือจากอากาศ คือ ฮีเลียม และ ไฮโดรเจน ทำให้ชื่อเครื่องยนต์อากาศร้อน ไม่มีความเหมาะสมอีกต่อไป ซึ่งจากการประสบความสำเร็จของบริษัท Philips ทำให้เกิดการศึกษาและพัฒนาเครื่องยนต์สเตอลิงค์ขึ้นทั่วไปทั้งในทวีปยุโรปและอเมริกาทั้งจากบริษัทเอกชนและ สถาบันของรัฐ จนในปัจจุบันมีการก่อตั้งสมาคม International Stirling Engine Conference (ISEC) สำหรับเป็นที่ชุมนุมของผู้ที่ทำการวิจัยเครื่องยนต์สเตอลิงค์ เพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและเผยแพร่เอกสารที่ทำการวิจัยอยู่ในหลายประเทศ โดยทำการจัดขึ้นทุกสองปี มีการประชุมครั้งแรกที่ประเทศอังกฤษ มีผู้เข้าร่วมประชุมกว่าสองร้อยคน นอกจากนี้ เครื่องยนต์สเตอลิงค์ยังเป็นหนึ่งในหลายหัวข้อหลักที่ใช้ในการประชุมของสมาคม Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC) ซึ่งจัดให้มีการประชุมขึ้นทุกปี และที่สมาคม American Society of Mechanical Engineers (ASME) ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีการจัดตั้งคณะกรรมการ Stirling Technical Commitee (STC) ในส่วน Advanced Energy System มีหน้าที่ในการกำหนดนิยาม , สัญลักษณ์ที่ใช้ในการรายงานผลงานการวิจัยเกี่ยวกับเครื่องยนต์สเตอลิงค์ ให้เป็นมาตรฐานเดียวกันเนื่องจากมีการศึกษา เครื่องยนต์สเตอลิงค์ ในหลายสถานที่และหลายประเทศ ทำให้รายงานการวิจัยมีการใช้สัญลักษณ์ที่แตกต่างกันไป การใช้สัญลักษณ์ที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน จึงทำให้เกิดความง่ายต่อการทำความเข้าใจและการทำงาน

<u>หลักการทำงาน</u>

ตามคำนิยามของ Stirling Technical Commitee (STC) เครื่องยนต์สเตอลิงค์ เป็นอุปกรณ์ทางกลซึ่งทำงานภายใต้วัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์ ที่เรียกว่าวัฏจักรสเตอลิงค์ (Stirling cycle) ซึ่งหมายถึง กระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบปิด มีสารทำงานบรรจุอยู่ภายใน การเปลี่ยนแปลง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กผลิตโดยบริษัท Philips ในปี ค.ศ. 1950

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาตรภายในตัวเครื่อง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันของสารทำงาน และ การเคลื่อนที่ของสารทำงานภายในระบบปิดนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารทำงาน มีการใช้ regenerator ซึ่งเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน แต่บางครั้งในเครื่องยนต์ขนาดเล็กจะไม่มีการใช้ regenerator เนื่องจากเป็นการเพิ่มแรงเสียดทานให้กับระบบ แต่หากการทำงานของเครื่องยนต์นั้นเป็นไปตามวัฏจักรสเตอลิงค์ ดังคำนิยามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ก็นับว่าอุปกรณ์ทางกลนั้น คือ เครื่องยนต์สเตอลิงค์

อากาศเป็นสารทำงานชนิดแรกที่มีการนำมาใช้งาน แต่ปัจจุบันฮีเลียม เป็นสารทำงานที่นิยมนำมาใช้งานมากที่สุด เนื่องจากมีน้ำหนักที่เบา สามารถรับและถ่ายทอดพลังงานความร้อนได้ดีกว่าอากาศ ซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นสารทำงานในเครื่องยนต์ขนาดเล็ก ดังแสดงคุณสมบัติของอากาศและฮีเลียมในตาราง 2.1 ก.ข้างล่าง

ตาราง2.1 ก.แสดงคุณสมบัติของอากาศ และ ฮีเลียม

		Temperature (K)		
Fluid	Property	250	500	1000
Air	C_p (kJ/kgK)	1.003	1.029	1.141
1 atm	ρ (kg/m^3)	1.412	0.706	0.353
M = 28.9	$\mu \times 10^6$ (kg-ms)	15.99	26.70	41.53
	$k \times 10^6$ (kW/mK)	22.27	40.41	67.54
Helium	C_p (kJ/kgK)	5.19	5.19	5.19
1 atm	ρ (kg/m^3)	0.195	0.097	0.048
M = 4	$\mu \times 10^6$ (kg-ms)	18.40	29.3	46.70
	$k \times 10^6$ (kW/mK)	134.0	202.6	—

ในระหว่างการทำงานสารทำงานจะอยู่ในสถานภาพที่เป็นก๊าซตลอด และส่วนใหญ่จะถูกเพิ่มความดันไว้ที่ค่าค่าหนึ่งขึ้นอยู่กับขนาดกำลังของเครื่องยนต์โดยเฉพาะในเครื่องยนต์ที่ต้องการขนาดกำลังที่สูง ๆ แต่ในเครื่องยนต์ขนาดเล็กอาจไม่จำเป็นต้องมีการเพิ่มความดันให้กับสารทำงาน เนื่องจากการซีลที่แน่นอาจทำให้มีแรงเสียดทานในระบบมากเกินไป

หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ คือการให้ความร้อนกับสารทำงานเมื่อสารทำงานเคลื่อนตัวไปยังพื้นที่ทำงานขยายตัว (expansion space) และดึงความร้อนออกจากสารทำงานเมื่อสารทำงานเคลื่อนตัวไปยังพื้นที่ทำงานอัดตัว (compression space)ทำให้สารทำงานเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันและอุณหภูมิ เกิดการขยายตัวและหดตัว โดยการเคลื่อนตัวไปมาของสารทำงาน เกิดจากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนเคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบ ซึ่งชิ้นส่วนเคลื่อนที่ของเครื่องยนต์สเตอลิงค์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ piston และ displacer ทำให้การแบ่งประเภทของเครื่องยนต์สเตอลิงค์จึงแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามชนิดของชิ้นส่วนเคลื่อนที่ กล่าวคือ ชนิด piston - piston และ piston - displacer ซึ่งมีความหมายว่า ชิ้นส่วนเคลื่อนที่ในเครื่องยนต์ชนิด piston - piston ประกอบด้วย piston กับ piston ส่วนชนิด piston - displacer มีชิ้นส่วนเคลื่อนที่สองชนิดในเครื่องยนต์คือ piston กับ displacer โดยความแตกต่างของการทำงานระหว่างชิ้นส่วนเคลื่อนที่ทั้งสองชนิด จะเห็นได้จากกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์ ดังรายละเอียดที่จะได้กล่าวต่อไปนี้

รูปที่ 2.2 และ 2.3 เป็นภาพแสดงการทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ชนิด piston - piston และ piston - displacer ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ประเภท ต่างประกอบด้วยกระบวนการย่อย ๆ 4 กระบวนการเหมือนกันกล่าวคือ กระบวนการให้ความร้อน (heating) , กระบวนการขยายตัว (expansion) , กระบวนการหล่อเย็น (cooling) และกระบวนการอัด (compression) โดยในตอนแรกจะได้กล่าวถึงการทำงานของเครื่องยนต์ชนิด piston - piston ก่อนดังนี้

ก . กระบวนการให้ความร้อน (heating process)

ลูกสูบที่อยู่ในกระบอกเย็นอยู่ ณ ตำแหน่งศูนย์ตายบน (Top Dead Center หรือ TDC) ลูกสูบร้อนอยู่ในตำแหน่งที่กำลังจะเคลื่อนลงไปยังตำแหน่งศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center หรือ BDC) สารทำงานที่เคลื่อนมาจากพื้นที่ทำงานอัดตัวผ่าน regenerator เข้ามาอยู่ในบริเวณพื้นที่

ทำงานขยายตัวจะได้รับการถ่ายเทความร้อนบางส่วนที่เก็บสะสมไว้ใน regenerator ทำให้อุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น และเมื่อเข้ามาอยู่ในพื้นที่ทำงานขยายตัว จะได้รับการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอีก ในทางทฤษฎีถือว่าเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่ปริมาตรในระบบคงที่

ข .กระบวนการขยายตัว (expansion process)

เมื่อสารทำงานที่อยู่ในพื้นที่ทำงานขยายตัวได้รับพลังงานความร้อนจึงเกิดการขยายตัว ดันให้ลูกสูบทั้งสองเคลื่อนตัวลง ถ่ายทอดกำลังงานผ่านก้านสูบไปยังเพลา ในทางทฤษฎีถือว่าเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่

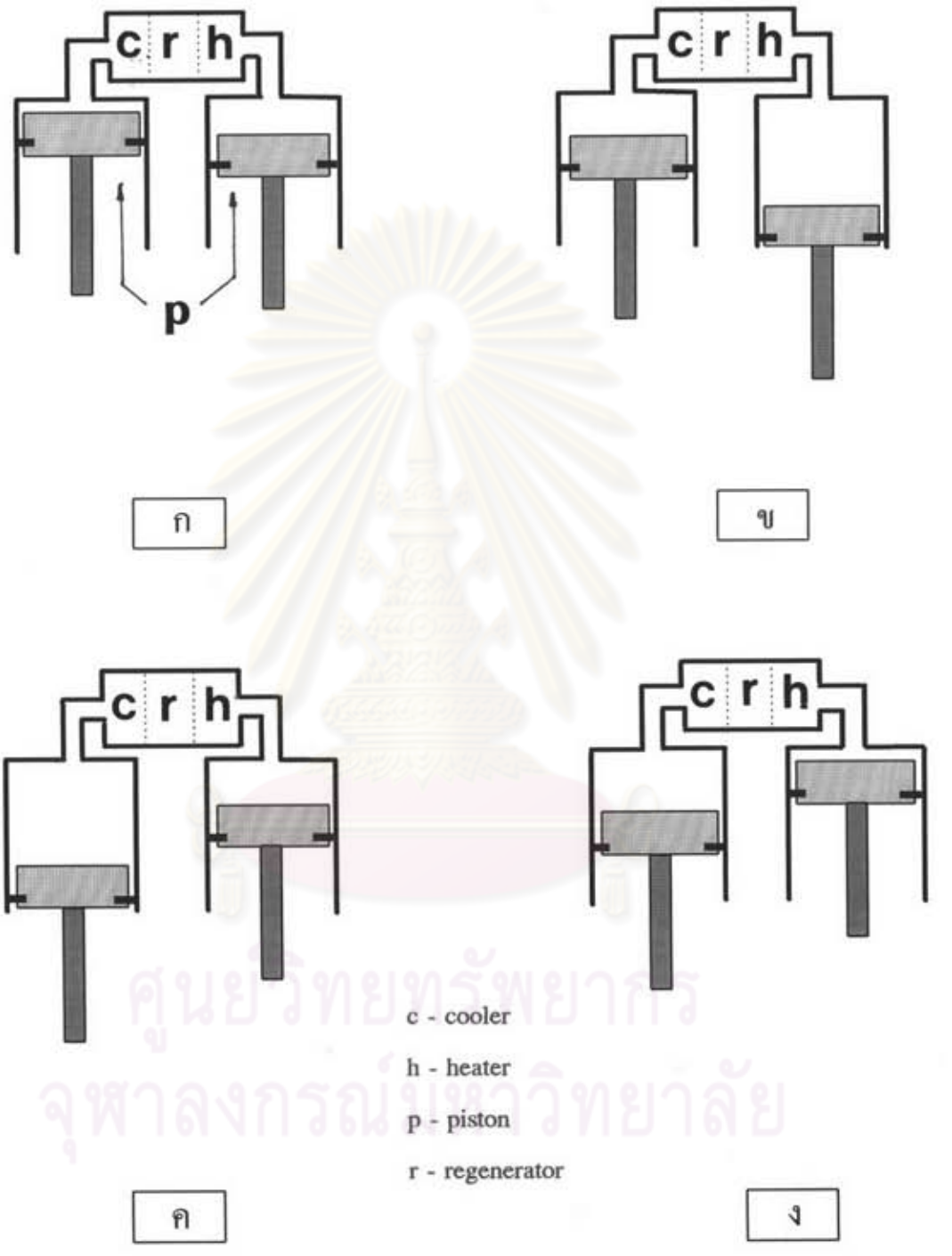
ค . กระบวนการหล่อเย็น (cooling process)

หลังเกิดกระบวนการขยายตัว ลูกสูบร้อนเคลื่อนลงไปถึงจุด BDC พลังงานจากกระบวนการขยายตัวที่เก็บไว้ในล้อช่วยแรง (flywheel) จะทำให้เพลาสามารถหมุนต่อไปได้อีก และ ดันให้ลูกสูบร้อนเคลื่อนตัวขึ้น ทำให้สารทำงานเคลื่อนตัวไปยังบริเวณพื้นที่ทำงานอัดตัวผ่าน regenerator และถ่ายเทพลังงานความร้อนบางส่วนให้กับ regenerator ทำให้มีอุณหภูมิและความดันลดลง และเมื่อเข้าไปอยู่ในบริเวณพื้นที่ทำงานอัดตัวจะได้รับการหล่อเย็น มีอุณหภูมิ และ ความดันลดลงอีก ทำให้สารทำงานเกิดการหดตัว ในทางทฤษฎีถือว่าเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่ปริมาตรในระบบคงที่

ง . กระบวนการอัดตัว (compression process)

ในจังหวะสุดท้ายของการหมุนของเพลา ลูกสูบทั้งสองเคลื่อนตัวขึ้น เกิดการอัดตัวของสารทำงานทำให้ความดันของสารทำงานเพิ่มสูงขึ้น โดยลูกสูบร้อนเคลื่อนตัวไปถึง ตำแหน่งศูนย์ตายบน โดยในทางทฤษฎีถือว่าเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ จากนั้นจึงเป็นการกระบวนการให้ความร้อนเริ่มต้นวัฏจักรการทำงานอีกครั้งหนึ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2

การทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ชนิด piston - piston

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับการทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์อีกประเภท คือ displacer - piston นั้นมีดังนี้

ก. กระบวนการให้ความร้อน (heating process)

piston อยู่ที่ตำแหน่ง TDC ขณะที่ displacer กำลังเคลื่อนตัวลงมาที่จุด BDC ทำให้สารทำงานเคลื่อนตัวจากบริเวณด้านล่างของ displacer ที่มีการหล่อเย็นไปยังพื้นที่ทำงานขยายตัว ผ่าน regenerator ได้รับการถ่ายเทความร้อนมีอุณหภูมิและความดันเพิ่มสูงขึ้น

ข. กระบวนการขยายตัว (expansion process)

สารทำงานที่อยู่ในพื้นที่ทำงานขยายตัว ได้รับความร้อนจากแหล่งพลังงานภายนอก เกิดการขยายตัวผลักดัน piston ให้มีการเคลื่อนที่ลง

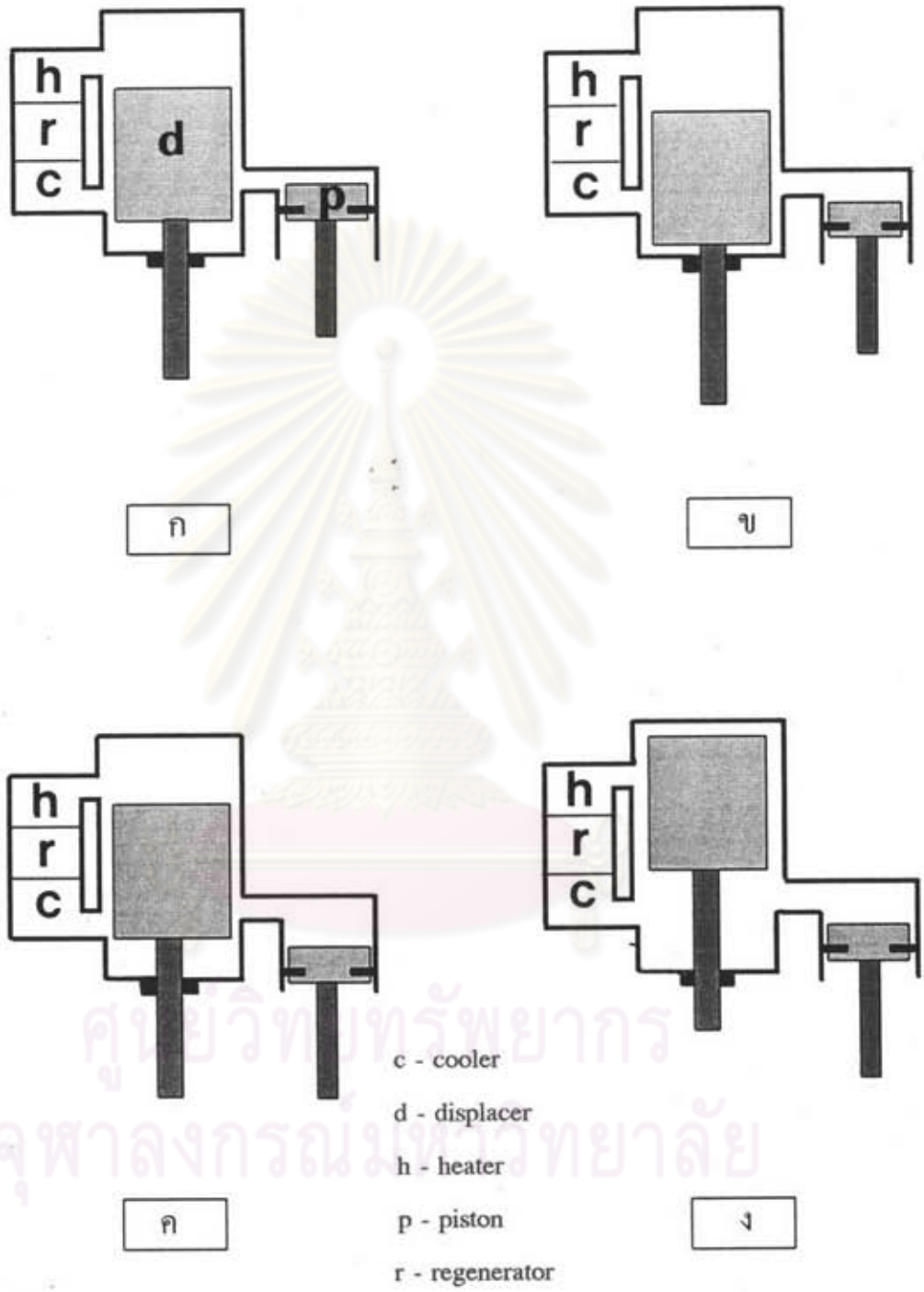
ค. กระบวนการหล่อเย็น (cooling process)

หลังจากกระบวนการขยายตัว piston เคลื่อนตัวลงถึงจุด BDC ขณะที่ displacer เคลื่อนที่ขึ้น ทำให้สารทำงานเคลื่อนตัวจากพื้นที่ทำงานขยายตัวบริเวณเหนือ displacer ผ่าน regenerator เข้าไปยังพื้นที่ทำงานอัดตัว โดยถ่ายเทความร้อนบางส่วนให้กับ regenerator ทำให้มีอุณหภูมิและความดันลดลง และเมื่อเข้าไปอยู่ในพื้นที่ทำงานอัดตัว จะได้รับการหล่อเย็นมีอุณหภูมิลดลงไปอีก

ง. กระบวนการอัดตัว (compression process)

displacer เคลื่อนตัวขึ้นถึงจุด TDC ขณะที่ piston เริ่มเคลื่อนตัวขึ้น เกิดการอัดตัวของสารทำงาน และ เมื่อ displacer เริ่มเคลื่อนตัวลง ทำให้สารทำงานบางส่วนเริ่มเคลื่อนตัวไปยังพื้นที่ทำงานขยายตัว เพื่อเริ่มกระบวนการให้ความร้อน เป็นการเริ่มต้นวัฏจักรการทำงานอีกครั้งหนึ่ง

ความแตกต่างของการทำงานระหว่างเครื่องยนต์สเตอลิงค์ ชนิด piston - piston และ piston - displacer อยู่ที่การทำงานของ piston และ displacer โดยหน้าที่หลักของ piston คือ การทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรภายในตัวเครื่องยนต์ และ ถ่ายทอดกำลังไปยังชุดถ่ายทอดกำลัง จึงเป็นชิ้นส่วนที่รับความแตกต่างของความดันของสารทำงานที่เกิดขึ้นในระบบ แตกต่างจาก



รูปที่ 2.3

การทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ชนิด piston - displacer

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

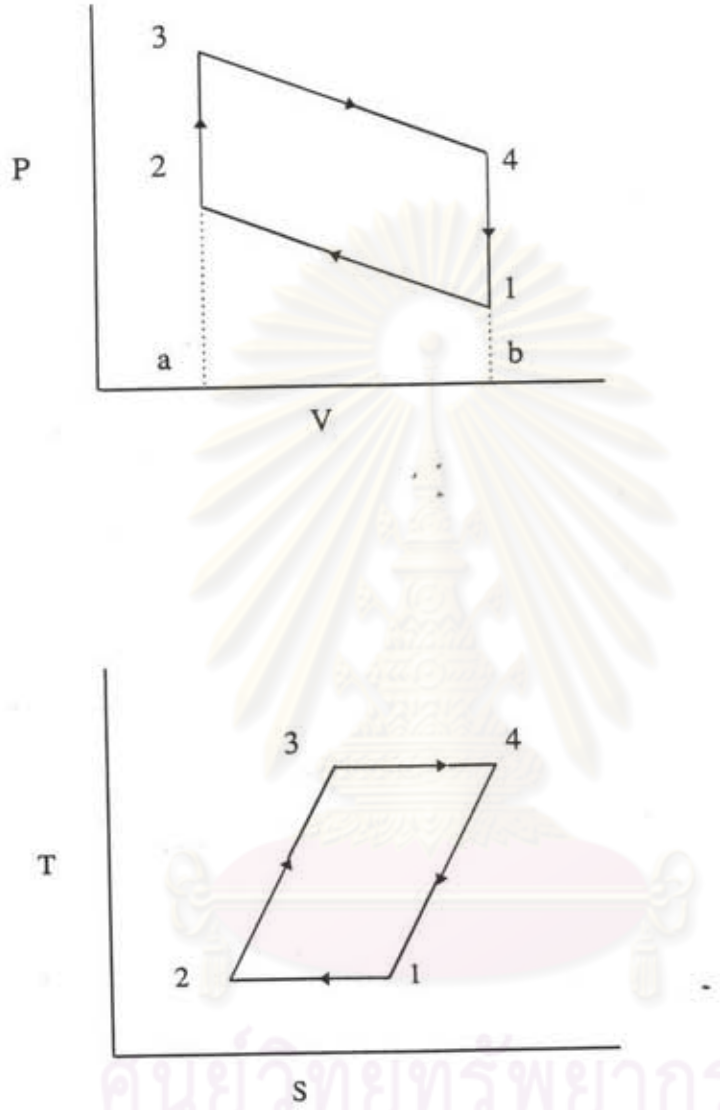
displacer ที่มีหน้าที่หลักในการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารทำงานเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเท่านั้นและถือว่าเป็นชิ้นส่วนที่รับแต่ความแตกต่างของอุณหภูมิของสารทำงาน ส่วนความแตกต่างของความดันของสารทำงานระหว่างด้านบนและล่างของ displacer มีค่าน้อยมาก ในการออกแบบ displacer เราจึงสามารถออกแบบให้มีลักษณะกลวง และ ผนังบาง เพื่อลดน้ำหนักโดยรวมของเครื่องยนต์

แผนภาพ P - V และ T - S diagram สำหรับกระบวนการข้างต้น สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการอัดตัว และ ขยายตัวซึ่งเกิดขึ้นที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal process) ส่วนกระบวนการให้ความร้อน และ กระบวนการหล่อเย็นซึ่งเกิดขึ้นที่ปริมาตรของสารทำงานคงที่ โดยพื้นที่ 1-2-a-b แทนพื้นที่ที่ต้องให้งานกับชุดอุปกรณ์ ส่วนพื้นที่ 3-4-a-b แทนพื้นที่ที่ได้งานจากกระบวนการขยายตัว ดังนั้น งานที่ได้ (net work) คือพื้นที่ 1-2-3-4 สำหรับประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ มีค่าเทียบเท่ากับประสิทธิภาพของคาร์โนท์ (η) ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพทางความร้อนที่มีค่าสูงสุดในทางทฤษฎี

$$\eta = (T_{max} - T_{min}) / T_{max}$$

เมื่อ Tmax และ T min คือ ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในระบบ การเพิ่มความแตกต่างของอุณหภูมิ T max - T min จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์เข้าใกล้ประสิทธิภาพของคาร์โนท์มากขึ้น โดยส่วนใหญ่เครื่องยนต์สเตอลิงค์มีประสิทธิภาพการทำงานประมาณ 50 เปอร์เซนต์ของประสิทธิภาพคาร์โนท์ (Walker ,1980)

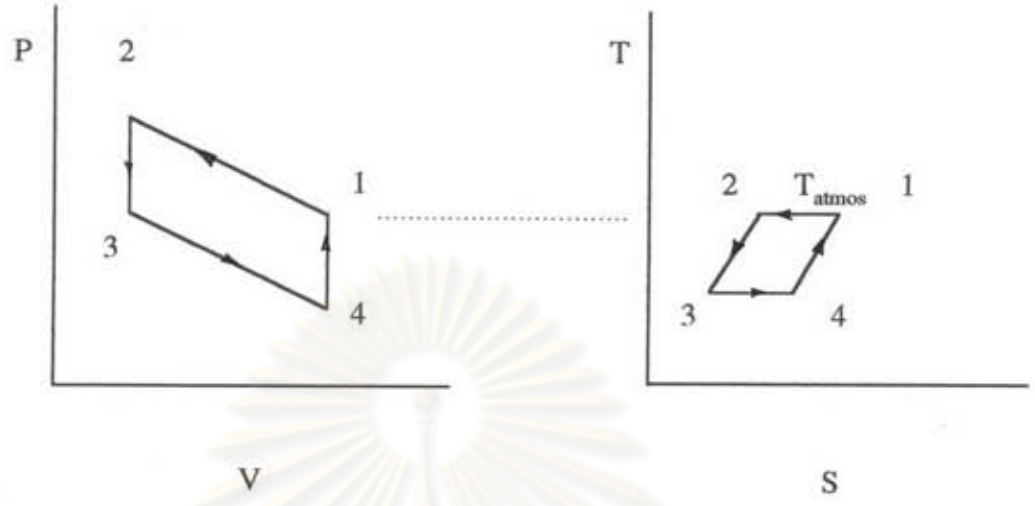
การทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นเป็นการได้งานจากกระบวนการขยายตัวของสารทำงาน ซึ่งสามารถนำไปใช้งานเป็นต้นกำลัง เพื่อขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ ในทางกลับกันหากเราให้กำลังกลับเข้าไปในวัฏจักรสเตอลิงค์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ย้อนกลับได้ (reversible process) ผลคือ เครื่องยนต์สามารถทำงานเป็นปั๊มความร้อนและเครื่องทำความเย็น ดังจะเห็นได้จากแผนภาพ P - V และ T - S diagram ในรูปที่ 2.5 โดยในรูปที่ 2.5 a) เป็นแผนภาพของเครื่องทำความเย็น และ ในรูปที่ 2.5 b) เป็นแผนภาพของปั๊มความร้อน จากแผนภาพทั้งของปั๊มความร้อน และ เครื่องทำความเย็น จะเห็นว่า พื้นที่ทำงานของกระบวนการขยายตัวจะน้อยกว่า พื้นที่ทำงานในระหว่างกระบวนการอัดตัว ซึ่งหมายความว่า จะต้องมีการให้กำลังงานเข้าไปเพื่อขับเครื่องยนต์ แต่มีข้อแตกต่างประการสำคัญอยู่คือ ระดับอุณหภูมิในการทำงานเป็นปั๊มความร้อน จะสูงกว่า



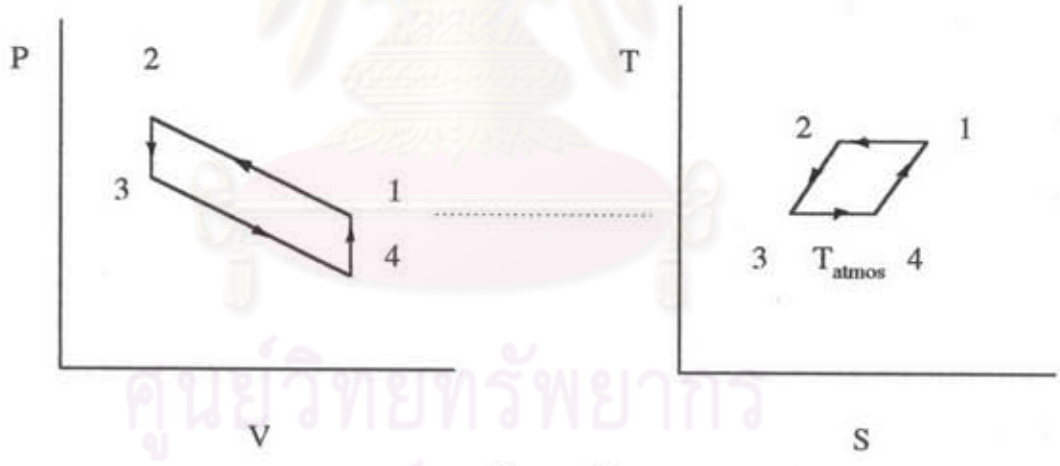
รูปที่ 2.4

แผนภาพ P-V และ T-S diagram

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



2.5 a) การทำความเย็น



2.5 b) ปั๊มความร้อน

รูปที่ 2.5

แผนภาพ P - V และ T - S diagram ของการทำความเย็น และ ปั๊มความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทำงานเป็นเครื่องทำความเย็น เนื่องจากหลักการทำงานของปั๊มความร้อน คือ การรับพลังงานความร้อนจากภายนอกที่อุณหภูมิบรรยากาศ ในระหว่างกระบวนการขยายตัว แล้วนำความร้อนนั้นมาถ่ายเทให้กับบริเวณพื้นที่ที่ต้องการทำความร้อนในระหว่างกระบวนการอัดตัว ทำให้สารทำงานเย็นลงและกลับไปรับพลังงานความร้อนจากภายนอกเริ่มต้นวัฏจักรการทำงานอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งแตกต่างจากการทำงานเป็นเครื่องทำความเย็น ที่สารทำงานจะมีการดึงความร้อนจากบริเวณพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นในระหว่างกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าบรรยากาศ และถ่ายเทความร้อนที่ได้รับไปให้กับบรรยากาศภายนอกทำให้สารทำงานมีอุณหภูมิลดลง กลับมารับพลังงานความร้อนจากพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นได้อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งในเครื่องยนต์ชุดเดียวกัน ยังสามารถทำงานเป็นได้ทั้งเครื่องทำความเย็น และ ปั๊มความร้อน โดยการกลับทิศทางการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.6 a) และ 2.6 b) ตามลำดับ และ มีข้อสังเกตุคือไม่ว่าเครื่องยนต์สเตอลิงค์จะทำงานเป็นต้นกำลัง , ปั๊มความร้อน หรือ เครื่องทำความเย็นก็ตาม ทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนจะยังเหมือนเดิม คือ เข้าสู่ตัวเครื่องที่บริเวณพื้นที่ทำงานขยายตัว และออกจากตัวเครื่องบริเวณพื้นที่ทำงานอัดตัว

สำหรับสัมประสิทธิ์สมรรถนะ หรือ coefficient of performance ของปั๊มความร้อน หรือ COP_{hp} หาได้จาก

$$COP_{hp} = \text{ความร้อนที่ออกจากเครื่องยนต์ / งานที่ให้กับเครื่องยนต์}$$
$$= T_{1-2} / (T_{1-2} - T_{3-4})$$

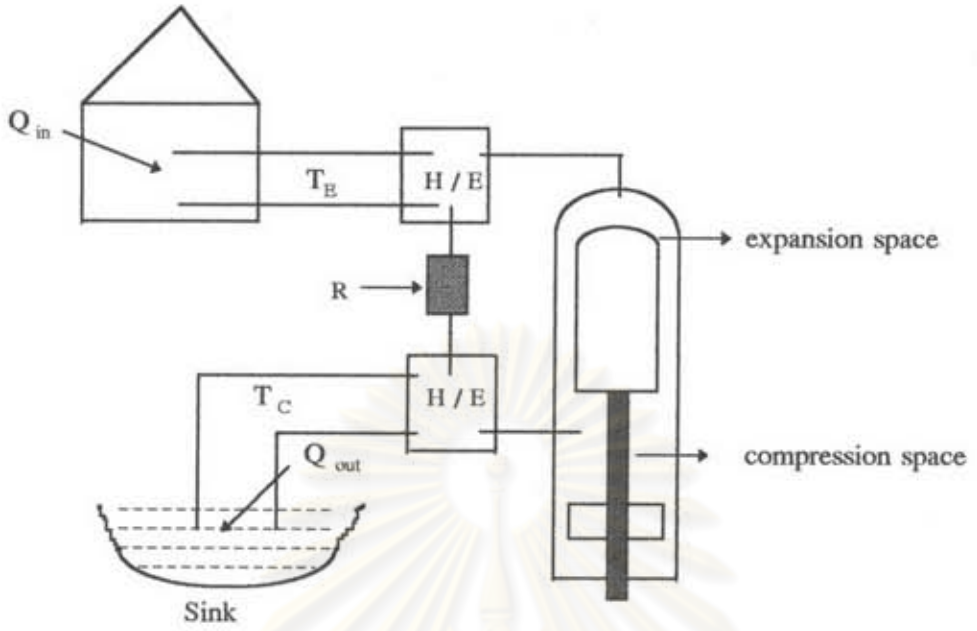
สำหรับสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น หรือ COP_{ref}

$$COP_{ref} = \text{ความร้อนจากพื้นที่ทำความเย็น / งานที่ให้กับเครื่องยนต์}$$
$$= T_{3-4} / (T_{1-2} - T_{3-4})$$

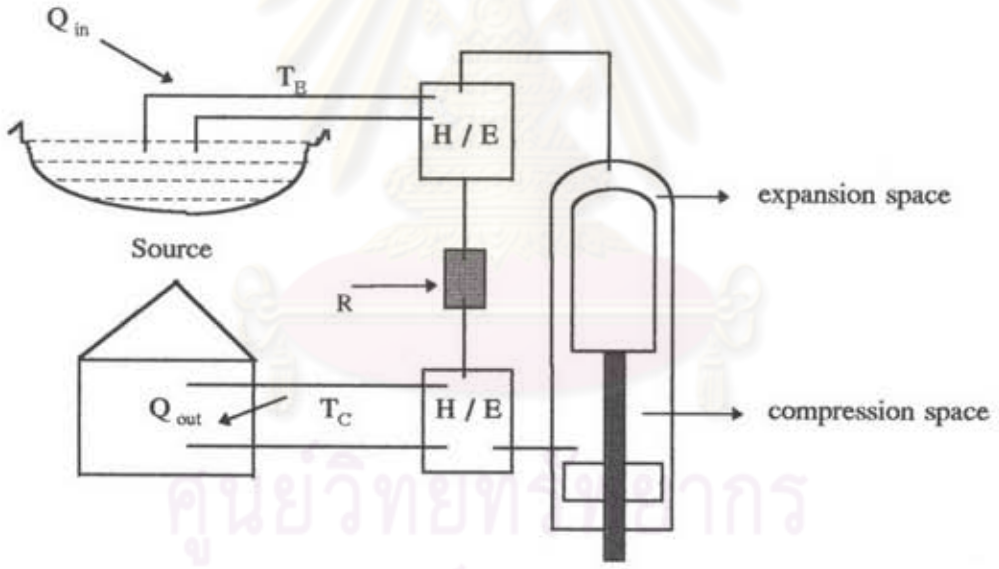
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องยนต์สเตอลิงค์</u>

นอกจาก piston และ displacer แล้ว อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนับเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์เป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในเครื่องยนต์ที่มีขนาดกำลังสูง ๆ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการใช้งานในเครื่องยนต์สเตอลิงค์ มีดังนี้



2.6 a) เครื่องทำความเย็น



2.6 b) ปั๊มความร้อน

H / E - heat exchanger , R - regenerator

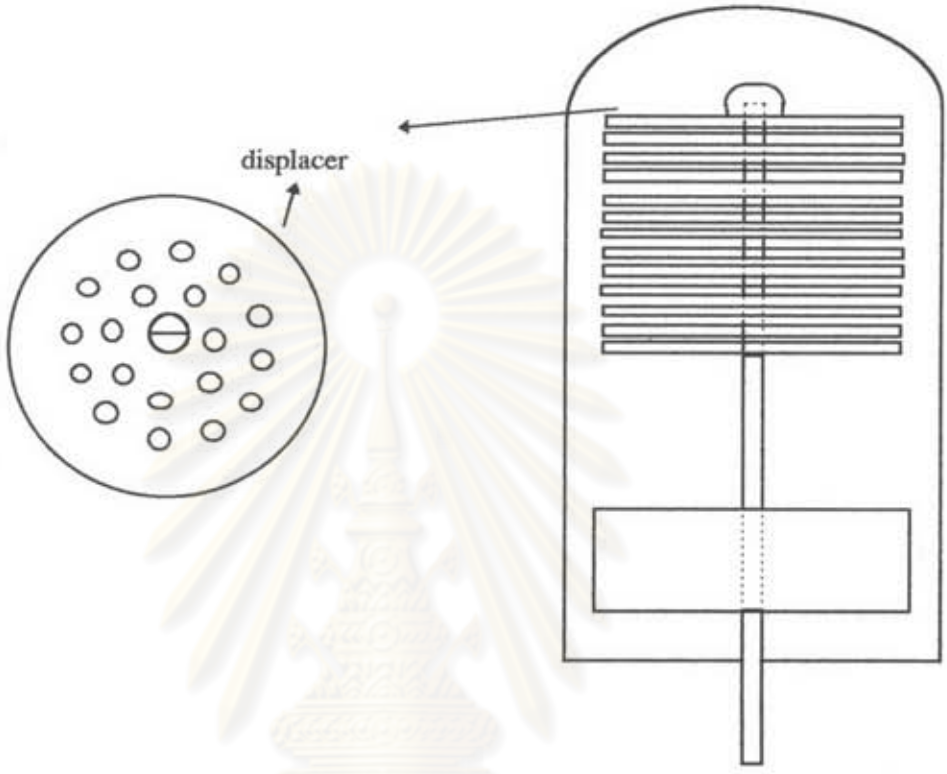
รูปที่ 2.6

เครื่องทำความเย็นและปั๊มความร้อนในเครื่องยนต์สเตอลิงค์ชุดเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. regenerator นับได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อการทำงานเป็นอย่างมาก เนื่องจากดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้นแล้วว่า regenerator เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีหน้าที่ในการให้พลังงานความร้อนกับสารทำงาน ขณะเคลื่อนตัวจากพื้นที่ทำงานอัดตัว ไปยังพื้นที่ทำงานขยายตัว และในทางกลับกันรับพลังงานความร้อนจากสารทำงาน ขณะเคลื่อนตัวจากพื้นที่ทำงานขยายตัวไปยังพื้นที่ทำงานอัดตัว การออกแบบ regenerator นั้น สามารถออกแบบให้มีลักษณะรูปทรงได้หลายอย่างเช่น displacer และ regenerator รวมเป็นตัวเดียวกัน โดยอาจจะทำเป็นแผ่นโลหะเจาะรูหลาย ๆ แผ่นแล้วนำมาซ้อนรวมกัน เพื่อให้สารทำงานสามารถเคลื่อนผ่านไปมาได้ ซึ่ง displacer และ regenerator ที่รวมเป็นตัวเดียวกันนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า regenerative displacer ดังแสดงในรูปที่ 2.7 หรืออีกลักษณะหนึ่งที่นิยมนำมาใช้คือ เป็นแผ่นตะแกรง (wire screen) ทำจากสแตนเลสสตีลที่มีค่า mesh no. (จำนวนพื้นที่รูตะแกรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่) สูง นำมาวางเรียงซ้อนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งเป็น regenerator ของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ GPU 3-2 ของบริษัท General Motors สำหรับหลักทั่ว ๆ ไปในการออกแบบรูปทรงและขนาดของ regenerator คือ ให้มีค่าความจุความร้อน (heat capacity) และ การถ่ายเทความร้อน (heat transfer) มากที่สุด แต่ให้มีค่าความดันลด (pressure drop) ของสารทำงานขณะเคลื่อนตัวผ่าน และ พื้นที่ที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อระบบ (dead space) น้อยที่สุด ซึ่งจากการทดลองของ Davies และ Singham (Walker , 1980) พบว่าชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ทำ regenerator ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ regenerator เท่าใดนัก แต่ขึ้นกับการออกแบบรูปทรงมากกว่า

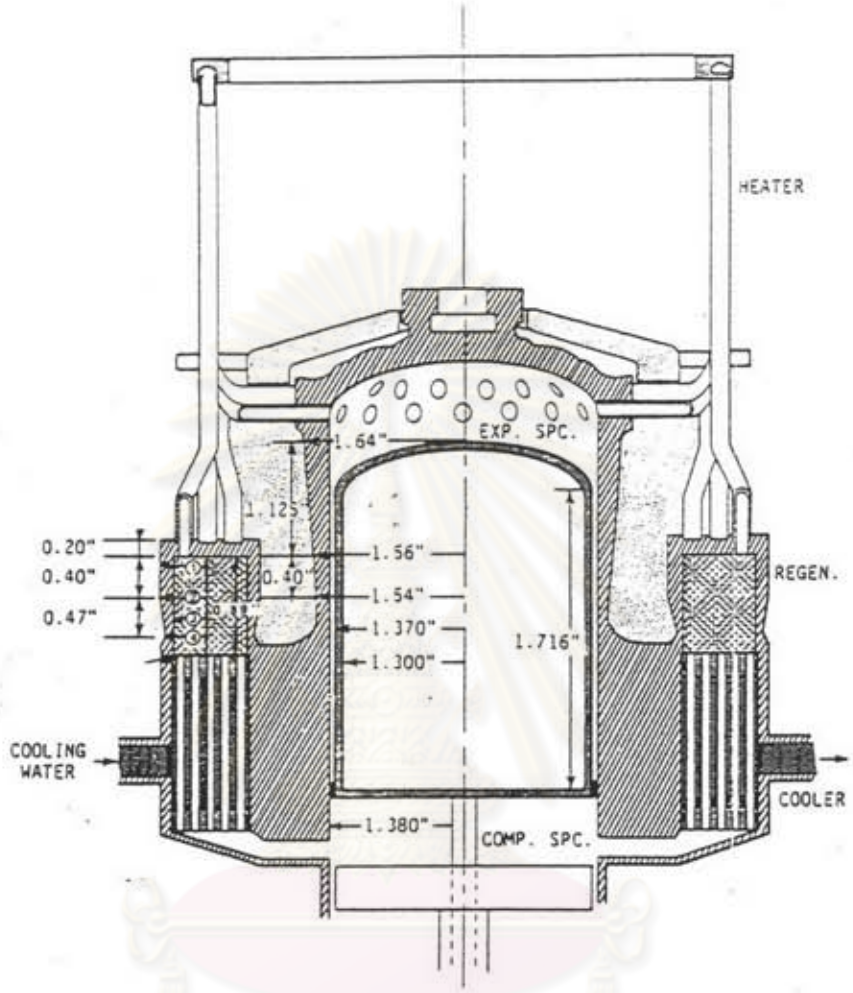
2. heater เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายเทความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อนภายนอก ไปยังสารทำงานในบริเวณพื้นที่ทำงานขยายตัว สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ชนิดเป็นท่อ (tubular) และเป็นครีบ (fin) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่ง heater ที่เป็นครีบส่วนใหญ่จะมีการนำมาใช้งานในเครื่องยนต์ที่มีขนาดเล็ก สำหรับวัสดุที่นำมาใช้ทำ heater จะต้องมีคุณสมบัติที่ทนต่อความร้อนได้ดี โดยเฉพาะเมื่อเครื่องยนต์มีขนาดกำลังที่สูง ๆ ความต้องการอุณหภูมิขนาดสูงบริเวณพื้นที่ทำงานขยายตัว ก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องใช้วัสดุที่สามารถทนต่อความร้อนขนาดสูงได้โดยไม่ทำให้เกิดการหลอมละลาย ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ราคาของเครื่องยนต์สเตอลิงค์เพิ่มสูงขึ้น ในการถ่ายทอดพลังงานความร้อนจากแหล่งพลังงานไปยัง heater สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ทางตรงและทางอ้อม การถ่ายทอดความร้อนทางตรงหมายความว่า ชุด heater จะสัมผัสกับแหล่งความร้อนโดยตรง เช่น ห้องเผาไหม้ในกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงที่ต้องมีการเผาไหม้ ส่วนการถ่ายทอดพลังงานความร้อนทางอ้อม จะมีการใช้สารตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน จากแหล่งความร้อนไปยัง heater ซึ่งการใช้สารตัวกลางจะทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.7

Regenerative Displacer

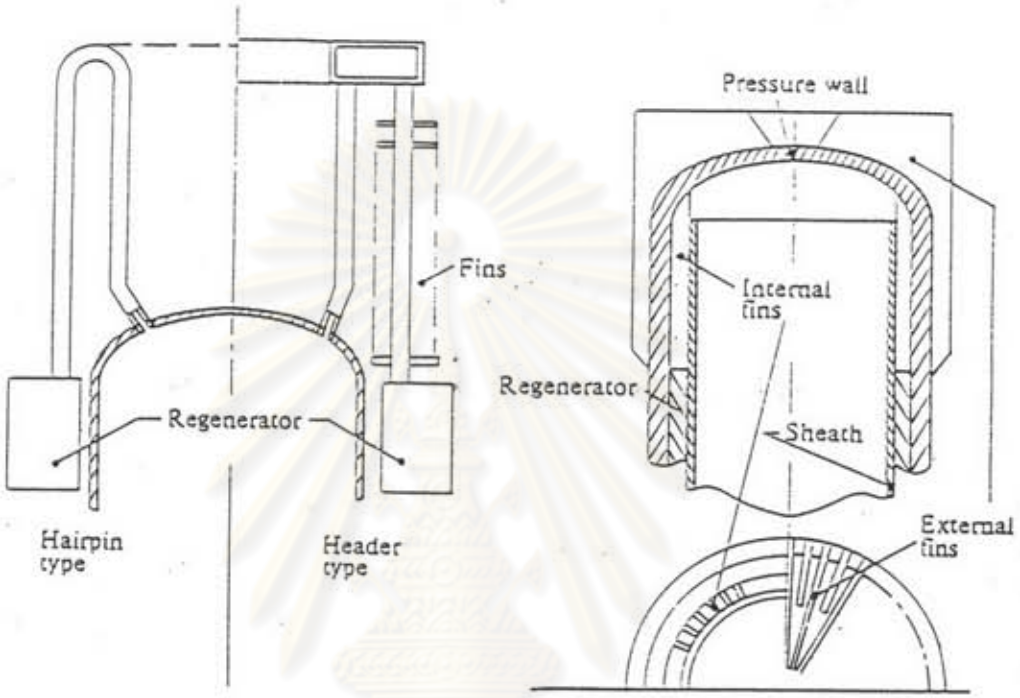
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8

regenerator ชนิดแผ่นตะแกรงในเครื่องยนต์GPU3-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



2.9 a) Tubular heater

2.9 b) Fin heater

รูปที่ 2.9

ประเภทของ heater

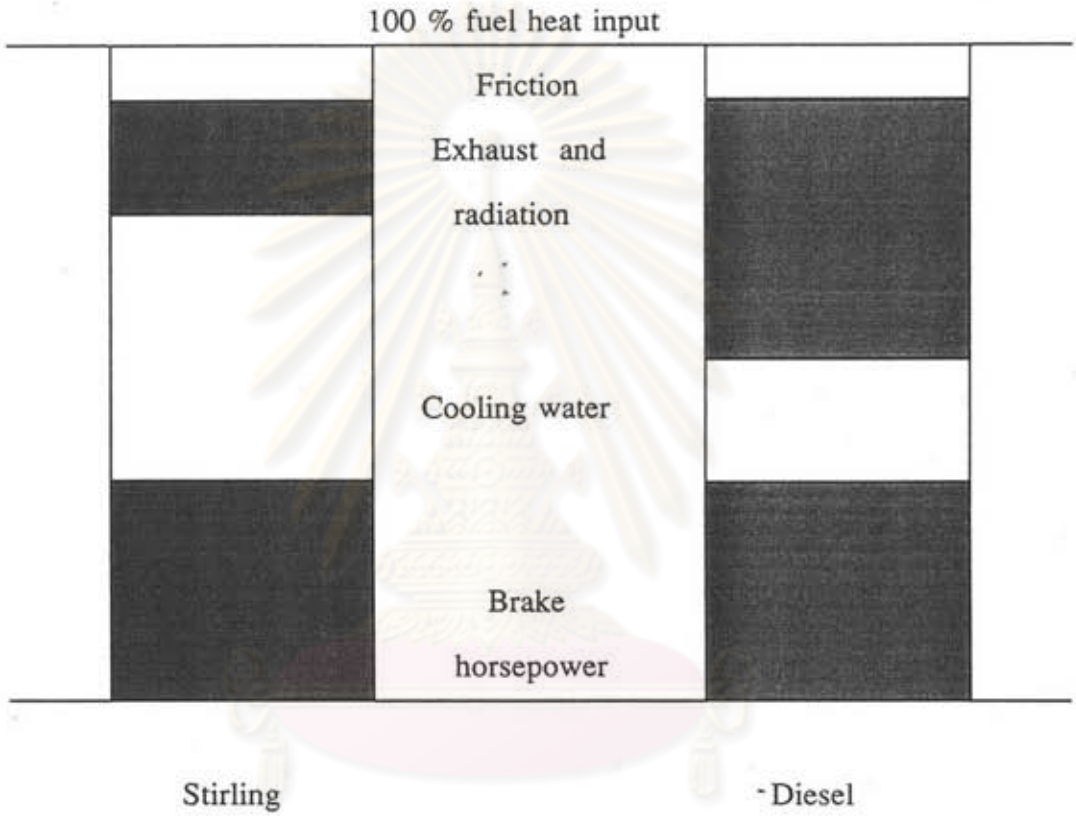
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สามารถหลีกลี่ยงการเกิดตำแหน่ง " hot spot " ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อชุด heater สัมผัสกับแหล่งพลังงานโดยตรง เช่น การสัมผัสกับห้องเผาไหม้ เนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ ยากที่จะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึง ดังนั้นหากใช้วิธีการสัมผัสกับห้องเผาไหม้โดยตรง จะต้องลดอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเผาไหม้ ลงให้ต่ำกว่าอุณหภูมิการหลอมของโลหะที่ใช้เป็น heater tube ทำให้อุณหภูมิของสารทำงานในพื้นที่ทำงานขยายตัวลดลงและทำให้กำลังและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลงตามไปด้วย

3. cooler เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายเทความร้อนจากสารทำงานบริเวณพื้นที่ทำงานอัดตัว ไปสู่บรรยากาศภายนอก โดยการถ่ายเทความร้อนสามารถทำได้ 2 แบบ คือ การระบายความร้อนสู่อากาศโดยตรงซึ่งมักใช้ในเครื่องยนต์ขนาดเล็ก และ การใช้สารตัวกลางเพื่อรับความร้อนจากสารทำงาน ก่อนที่จะถ่ายเทความร้อนไปสู่บรรยากาศซึ่งเป็นที่นิยมกันมากกว่า โดยเฉพาะในเครื่องยนต์ที่มีขนาดใหญ่ โดยสารตัวกลางที่นิยมใช้มากที่สุดคือน้ำ การทำงานของ cooler ในเครื่องยนต์สเตอลิงค์จะต้องรับภาระที่มากกว่าในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในถึง 2 เท่า ที่ขนาดกำลังที่เท่ากัน เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นภายนอก ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จึงต้องถ่ายเทให้กับสารทำงานในเครื่องยนต์ให้ได้มากที่สุด และลดการสูญเสียความร้อนในรูปของไอเสียให้น้อยที่สุด ซึ่งถ้าความร้อนถ่ายเทให้กับสารทำงานในปริมาณที่มากขึ้นเท่าใด การระบายความร้อนออกจากตัวเครื่องยนต์โดย cooler ก็จะต้องมากขึ้นเท่านั้นเนื่องจากถ้าอุณหภูมิของสารทำงานในพื้นที่ทำงานอัดตัว เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องก็จะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นแผนภาพที่จัดทำขึ้นโดย Meijer (Walker , 1980) แสดงการเปรียบเทียบการสมดุลทางความร้อนระหว่างเครื่องยนต์สเตอลิงค์และเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในที่ขนาดกำลังเท่ากัน

4. preheater เครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่มีการใช้เชื้อเพลิงที่ต้องมีการเผาไหม้ เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง มาเป็นแหล่งพลังงานความร้อน จะมีไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ซึ่งยังมีความร้อนอยู่ จึงมีการนำไอเสียนี้มาถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศภายนอกที่จะนำเข้ามายังห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ทำให้สามารถลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลงได้ โดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำหน้าที่นี้เรียกว่า preheater แต่ preheater ไม่ใช่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่จำเป็นต่อการทำงานเหมือนกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดอื่นดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากเครื่องยนต์สเตอลิงค์สามารถทำงานได้ดีโดยไม่จำเป็นต้องใช้ preheater แต่การใช้ preheater จะทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้น และหากแหล่งพลังงานที่นำมาใช้ไม่ใช่แหล่งพลังงานที่ต้องมีการเผาไหม้ เช่นพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้า ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการใช้ preheater



รูปที่ 2.10

แผนภาพเปรียบเทียบการสมดุลทางความร้อนของเครื่องยนต์สเตอลิงค์และเครื่องยนต์ดีเซล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นการทำงานในลักษณะที่เป็นต้นกำลัง หากทำงานเป็นเครื่องทำความเย็น heater จะเปลี่ยนเป็น freezer preheater จะเปลี่ยนเป็น precooler และหากทำงานเป็นปั๊มความร้อน heater จะเปลี่ยนเป็น absorber , cooler จะเปลี่ยนเป็น heater

ประเภทต่าง ๆ ของ เครื่องยนต์สเตอลิงค์

เนื่องจากมีการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอลิงค์ขึ้นมาหลายรูปแบบและมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไป ในที่นี้จึงนำเสนอเฉพาะชนิดที่มีการพบเห็นกันค่อนข้างจะแพร่หลายดังนี้

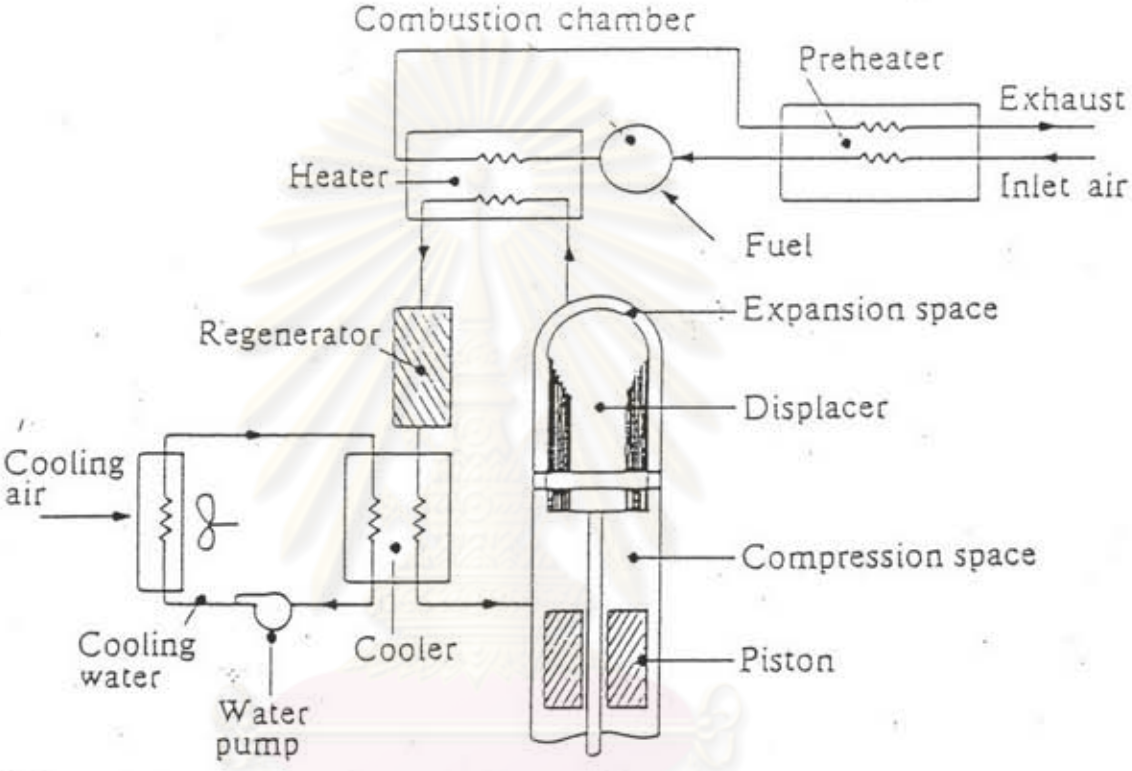
1. kinematic engine เป็นชนิดที่ชิ้นส่วนเคลื่อนที่ คือ piston และ displacer จะต่อกับ crank shaft การรับหรือถ่ายทอดกำลังจะอยู่ในลักษณะการหมุน (rotating motion) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นประเภทหลัก ได้ 4 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2.12 กล่าวคือ

1.1) ชนิด ALPHA หมายถึง เครื่องยนต์สเตอลิงค์ ที่ประกอบด้วยลูกสูบ 2 ชุด อยู่ในกระบอกสูบแยกจากกัน การเคลื่อนที่ของสารทำงานจากพื้นที่ทำงานหนึ่งไปยังอีกพื้นที่ทำงานหนึ่งจะผ่านทางเดิน (port) และ regenerator ที่อยู่ภายนอก

1.2) ชนิด BETA หมายถึง เครื่องยนต์สเตอลิงค์ ที่มี piston และ displacer อยู่ในกระบอกสูบเดียวกัน โดย regenerator จะขดอยู่รอบ displacer หรือ displacer และ regenerator อาจรวมเป็นตัวเดียวกันก็ได้ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น

1.3) ชนิด GAMMA หมายถึง เครื่องยนต์สเตอลิงค์ ที่มี piston และ displacer อยู่ในกระบอกสูบแยกจากกัน โดยตัว regenerator อาจจะอยู่ภายในหรือนอกกระบอกสูบก็ได้

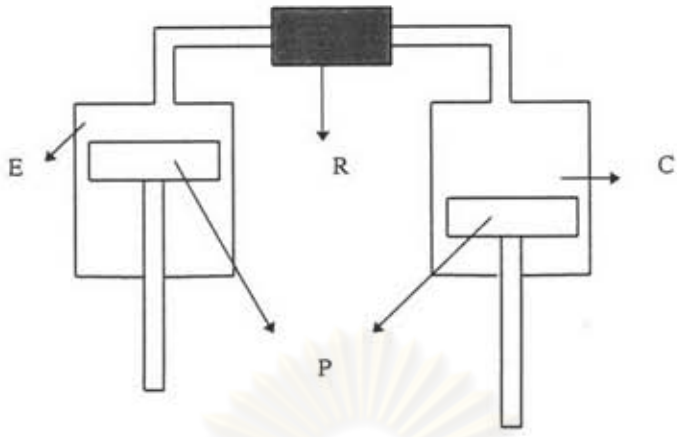
1.4) ชนิด DOBLE - ACTING เป็นชนิดที่นำเครื่องยนต์สเตอลิงค์ หลายๆ ชุดมาต่อเข้าด้วยกัน โดยพื้นที่ทำงานขยายตัวของกระบอกสูบหนึ่งจะต่อเข้ากับพื้นที่ทำงานอัดตัวในอีกทรงกระบอกหนึ่งเพื่อให้ได้ขนาดกำลังที่มากขึ้น



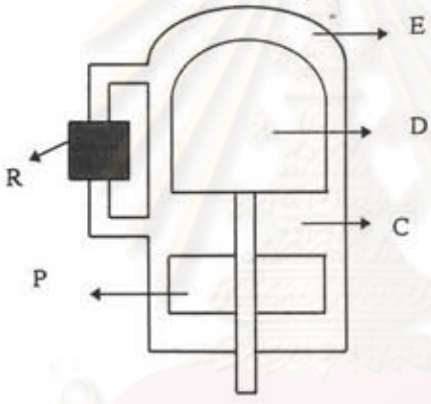
รูปที่ 2.11

การทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



a) ALPHA



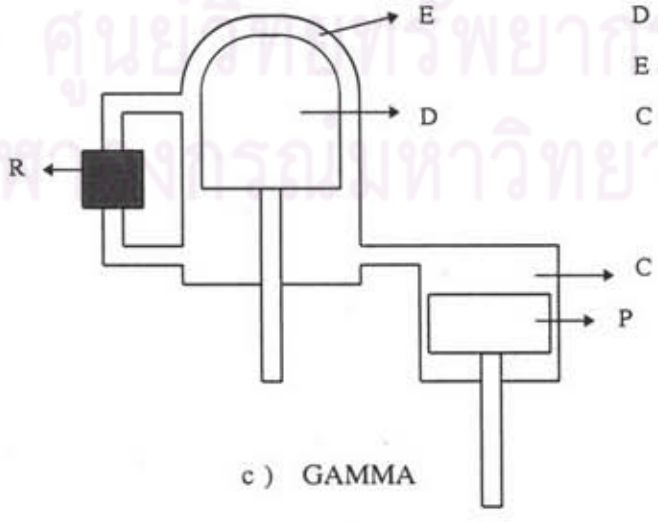
b) BETA

P - piston

D - displacer

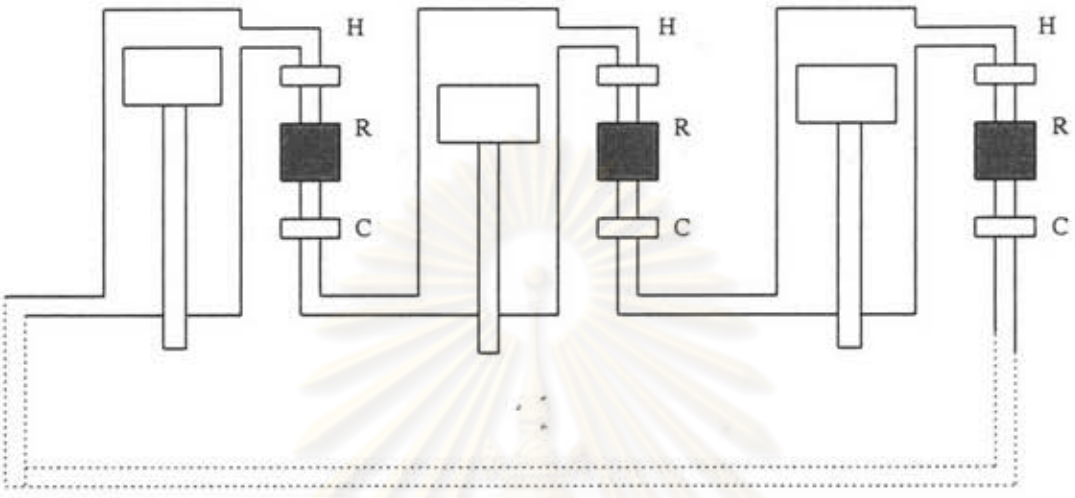
E - expansion space

C - compression space



c) GAMMA

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



d) Double acting engine

H - heater , R - regenerator , C - cooler

รูปที่ 2.12

เครื่องยนต์สเตอลิงค์ชนิด Kinematic engines

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. free piston engine ผู้ที่ประดิษฐ์คือ ศาสตราจารย์ Beale แห่งมหาวิทยาลัยโอไฮโอ ประเทศสหรัฐอเมริกา บางครั้งจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Beale free piston engine เป็นประเภทของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่มีลักษณะที่น่าสนใจหลายประการกล่าวคือ สามารถเริ่มต้นทำงานได้ด้วยตัวเอง (self starting) เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิในพื้นที่ทำงานอัดตัวและพื้นที่ทำงานขยายมากพอจนถึงจุดที่สามารถเริ่มทำงานได้ , มีการถ่ายทอดกำลังจากตัวเครื่องยนต์ในลักษณะการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมา (reciprocating motion) ไม่มีการใช้ก้านสูบหรือเพลาจึงสามารถลดการสูญเสียกำลังเนื่องจากแรงเสียดทาน นอกจากนี้ ตัวเครื่องยนต์ยังมีลักษณะปิดมิดชิด (hermetically sealed) จึงไม่เกิดการรั่วไหลของสารทำงาน

ชิ้นส่วนเคลื่อนที่ใน free piston engine ประกอบด้วย displacer และ piston โดยให้ piston มีน้ำหนักที่มากกว่า displacer มาก เช่น10: 1 การทำงานของ free piston engine สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.13

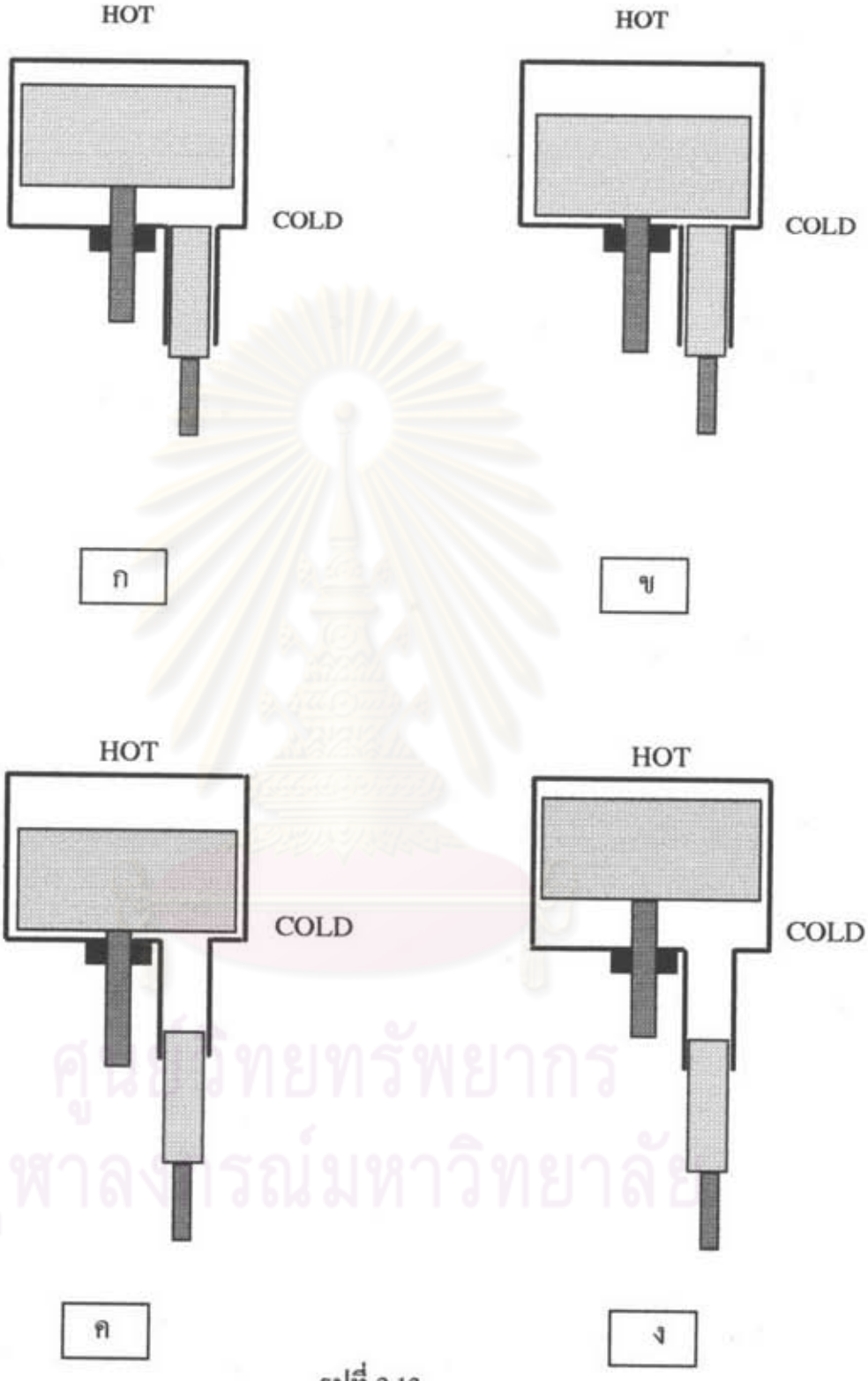
ก. เนื่องจากมีการเพิ่มความดันภายในตัวเครื่องยนต์ ทำให้ displacer ซึ่งมีน้ำหนักเบาลอยตัวอยู่ด้านบน

ข. หลังจากมีการให้ความร้อนจากภายนอกระยะเวลาหนึ่ง ทำให้อุณหภูมิและความดันของสารทำงานเพิ่มสูงขึ้น ผลักดันให้ displacer เคลื่อนตัวลง

ค. เมื่อ displacer เคลื่อนตัวลง ทำให้สารทำงานเคลื่อนเข้าไปในพื้นที่ทำงานขยายตัว และได้รับความร้อนเกิดการขยายตัว ผลักดันให้ piston เคลื่อนตัวลง

ง. หลังจากกระบวนการขยายตัวทำให้ความดันในระบบลดลง displacer เคลื่อนตัวขึ้นทำให้สารทำงานเคลื่อนตัวมายังพื้นที่ทำงานอัดตัวที่มีการหล่อเย็น ทำให้สารทำงานมีอุณหภูมิลดลงและมีความดันต่ำกว่าบรรยากาศ บรรยากาศภายนอกที่มีความดันมากกว่า จะผลักดันให้ piston เคลื่อนตัวขึ้น เริ่มต้นวัฏจักรการทำงานอีกครั้งหนึ่ง

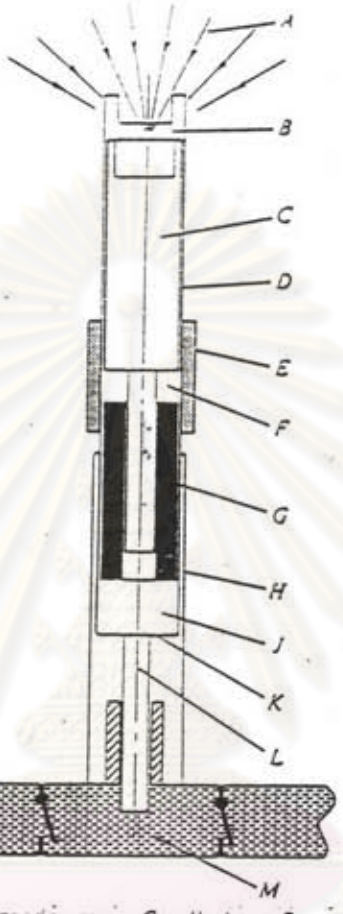
3. Free cylinder engine มีลักษณะคล้ายกับ free piston engine ที่ประกอบด้วย displacer ซึ่งมีน้ำหนักเบา และ piston ที่มีขนาดหนักมาก แต่ทรงกระบอกซึ่งบรรจุด้วย สารทำงาน , piston และ displacer กลับมีน้ำหนักเบา โดยทรงกระบอกและ displacer ที่มีน้ำหนักเบานี้ จะเป็นตัวเคลื่อนที่ทำให้เกิดการถ่ายทอดกำลังจากตัวเครื่องยนต์ ส่วน piston ที่มีน้ำหนักมากจะอยู่กับที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งเป็นตัวอย่างการนำไปใช้งานเป็นปั๊มน้ำ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน



รูปที่ 2.13

การทำงานของ free piston stirling engine

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



A – solar concentrator, *B* – expansion space, *C* – displacer, *D* regenerative annulus, *E* – cooling coils, *F* – compression space, *G* – piston, *H* – cylinder guides, *J* – bounce space, *K* – cylinder, *L* – pump ram, *M* – flap-valve pump.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.14

Free Cylinder Engine

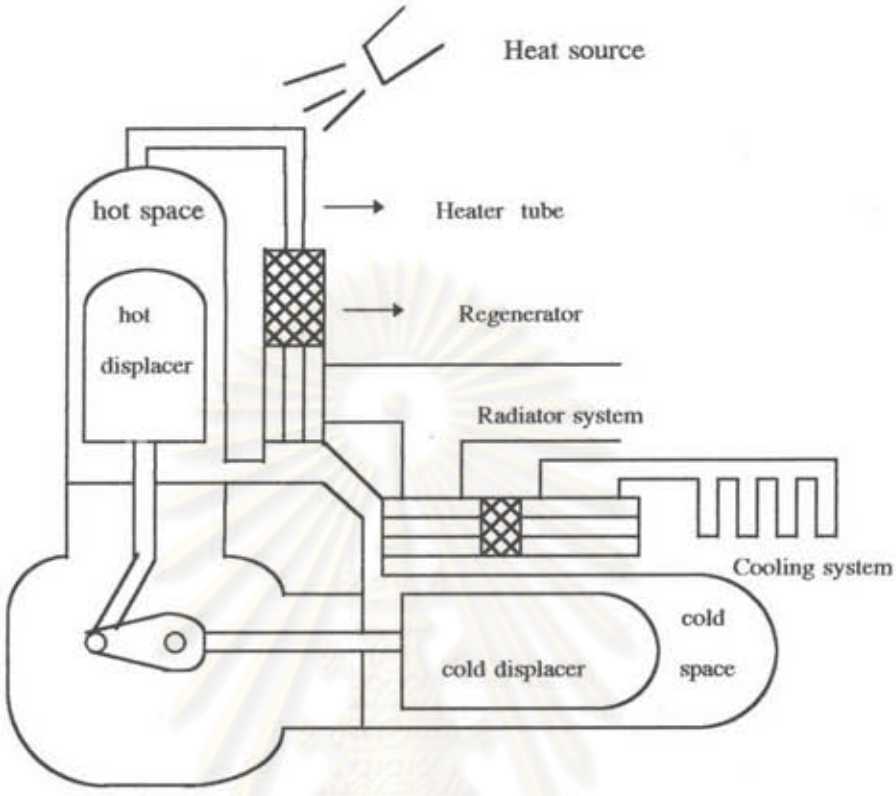
4. Vuilleumier machine เป็นประเภทของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่มีการนำไปใช้งานเป็นปั๊มความร้อน หรือ เครื่องทำความเย็น มีลักษณะเหมือนกับการนำ เครื่องยนต์สเตอลิงค์ จำนวน 2 ชุด มาต่อเข้าด้วยกัน ดังตัวอย่าง Vuilleumier machine ชนิดหนึ่งในรูปที่ 2.15 ประกอบด้วยทรงกระบอกซึ่งภายในบรรจุสารทำงาน และ displacer จำนวน 2 ชุด ต่อเข้าด้วยกันโดย มีพื้นที่ทำงานขยายตัว และ พื้นที่ทำงานอัดตัวอยู่บริเวณส่วนเหนือและใต้ displacer ตามลำดับ พื้นที่ทำงานขยายตัวจะมีระดับอุณหภูมิการทำงานไม่เท่ากัน โดยชุดที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันของสารทำงาน และทำให้ชุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความดันโดยการถ่ายเทความร้อนออก (เป็นปั๊มความร้อน) หรือ รับความร้อนจากภายนอกเข้ามา (เป็นชุดทำความเย็น)

คุณสมบัติที่สำคัญของเครื่องยนต์สเตอลิงค์

เครื่องยนต์สเตอลิงค์มีลักษณะที่เป็นข้อดีอยู่หลายประการ กล่าวคือ

1. ความสามารถในการใช้แหล่งพลังงานได้หลายชนิด เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก ที่ไม่จำกัดอยู่แต่เพียงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพ เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบได้สะอาดเหมือนในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ซึ่งชนิดของแหล่งพลังงานที่ใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แหล่งพลังงานที่ต้องมีการเผาไหม้ เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ถ่านหิน วัสดุเหลือใช้จำพวก แกลบ เปลือกไม้ ฟางข้าว เศษไม้ หรือแม้กระทั่งขยะ และแหล่งพลังงานที่ไม่ต้องมีการเผาไหม้ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์

2. เกิดก๊าซที่เป็นมลพิษกับสิ่งแวดล้อมในปริมาณที่ต่ำ เมื่อมีการใช้แหล่งพลังงานที่จำเป็นต้องมีการเผาไหม้ เช่นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยข้อนี้นับว่าเป็นจุดสำคัญที่ทำให้ความสนใจใน เครื่องยนต์สเตอลิงค์เกิดขึ้นอย่างแพร่หลาย อันเนื่องมาจากความห่วงใยในสภาพแวดล้อมของโลกในปัจจุบัน ซึ่งสาเหตุที่เครื่องยนต์สเตอลิงค์มีการปล่อยก๊าซที่เป็นมลพิษในปริมาณที่ต่ำ เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สเตอลิงค์ เป็นการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิคงที่ที่ความดันใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ ในห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิผนังภายในร้อนตลอดเวลา แตกต่างจากเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ที่เชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ที่อยู่ภายในกระบอกสูบ ซึ่งมีอุณหภูมิที่ผิวต่ำ เกิดการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเป็นระยะ ๆ ที่ความดันสูง กว่าความดันบรรยากาศ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์รวมทั้งสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เกิดการเผาไหม้ ใน



รูปที่ 2.15

Schematic Vuillemier heat pump

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระดับที่สูง แต่ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ ที่เกิดขึ้นกลับมีค่ามาก เนื่องจากไนโตรเจนเป็นแก๊ส เฉื่อย สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ การลดปริมาณ อากาศในห้องเผาไหม้ โดยการนำไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้กลับเข้าไปในห้องเผาไหม้อีกครั้ง หนึ่ง ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ ที่เกิดขึ้นลงได้

3. สามารถทำงานเป็นต้นกำลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในช่วงที่เรียกว่า " เศษส่วนกำลัง หรือ fractional horsepower " ซึ่งเป็นช่วงกำลังที่เครื่องยนต์ดีเซลไม่สามารถทำงานได้อย่างมี ประสิทธิภาพ ทำให้ต้องใช้เครื่องยนต์ที่มีขนาดใหญ่กว่าความต้องการ เกิดการสิ้นเปลือง โดย ความต้องการต้นกำลังเพื่อนำไปใช้ขับอุปกรณ์ขนาดเล็ก จะมีอยู่มากในพื้นที่ที่อยู่ในชนบท เช่น ปั๊มน้ำ , เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับใช้เป็นแสงสว่าง , อุปกรณ์การสื่อสาร , เครื่องทำความเย็น อุณหภูมิต่ำเพื่อใช้ในการเก็บรักษายาบางชนิด

4. มีการทำงานที่เที่ยงตรงและอายุการใช้งานที่ยาวนาน ต้องการการดูแลรักษาไม่มาก รวม ทั้งมีการสึกหรอของชิ้นส่วน การสั่นสะเทือน และเสียงที่เกิดขึ้นจากการทำงานน้อยกว่าในเครื่อง ยนต์เผาไหม้ภายใน

5. มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ความร้อนชนิดอื่น คือมีประสิทธิภาพเทียบ เท่ากับประสิทธิภาพคาร์โนท์

แต่ถึงแม้ว่าเครื่องยนต์สเตอลิงค์จะมีลักษณะที่เป็นข้อดีอยู่หลายประการ แต่การนำไปใช้งาน ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ ทำให้การผลิตเพื่อการจำหน่ายยังไม่สามารถทำได้แพร่หลายเท่าที่ควร เนื่องมา จากสาเหตุที่สำคัญคือ

1. ราคาของชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากการทำงานของเครื่องยนต์สเตอลิงค์จะ ดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heater , cooleer , regenerator) เป็นสำคัญ ซึ่งจะต้องเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรง ทนทาน ต่ออุณหภูมิการทำงานที่ค่อนข้างสูงได้ เป็นอย่างดี รวมทั้งสามารถหล่อหรือขึ้นรูปให้มีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้มาก ดังนั้นราคา ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจึงเป็นสาเหตุสำคัญในการทำให้การผลิตเครื่องยนต์สเตอลิงค์เพื่อ การค้าไม่สามารถทำได้ง่ายนัก การนำเครื่องยนต์สเตอลิงค์ไปใช้งานจึงจำกัดอยู่เพียงงานเฉพาะ ด้าน และ วงการหรือหน่วยงานที่ไม่มีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณ เช่นในวงการทหาร หรือการแพทย์

2. เนื่องจากสารทำงานที่ใช้ในเครื่องยนต์สเตอลิงค์จะต้องมีการเพิ่มความดันเพื่อให้กำลังที่ได้มีค่ามากขึ้น บางครั้งอาจมากถึง 150 เท่าของความดันบรรยากาศ การออกแบบ seal ให้สามารถทนความดันขนาดสูงเหล่านี้ได้ จึงนับเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่ง

3. เป็นการยากที่จะทำนายประสิทธิภาพการทำงานของ เครื่องยนต์สเตอลิงค์ ในระหว่างการออกแบบได้อย่างใกล้เคียง กับความเป็นจริง ในบางครั้งการคำนวณค่ากำลัง และประสิทธิภาพมีความถูกต้องเพียง 10 และ 20 เปอร์เซนต์ ตามลำดับเท่านั้น แต่เนื่องจากในขณะนี้มีการศึกษาเครื่องยนต์สเตอลิงค์ กันอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ มีการปรับปรุงวิธีวิเคราะห์การทำงานเครื่องยนต์ขึ้นมาหลายวิธีซึ่งในอนาคตการทำนายประสิทธิภาพการทำงานเครื่องยนต์สเตอลิงค์จึงมีแนวโน้มที่จะมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

<u>การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอลิงค์เพื่อนำไปใช้งานในปัจจุบัน</u>

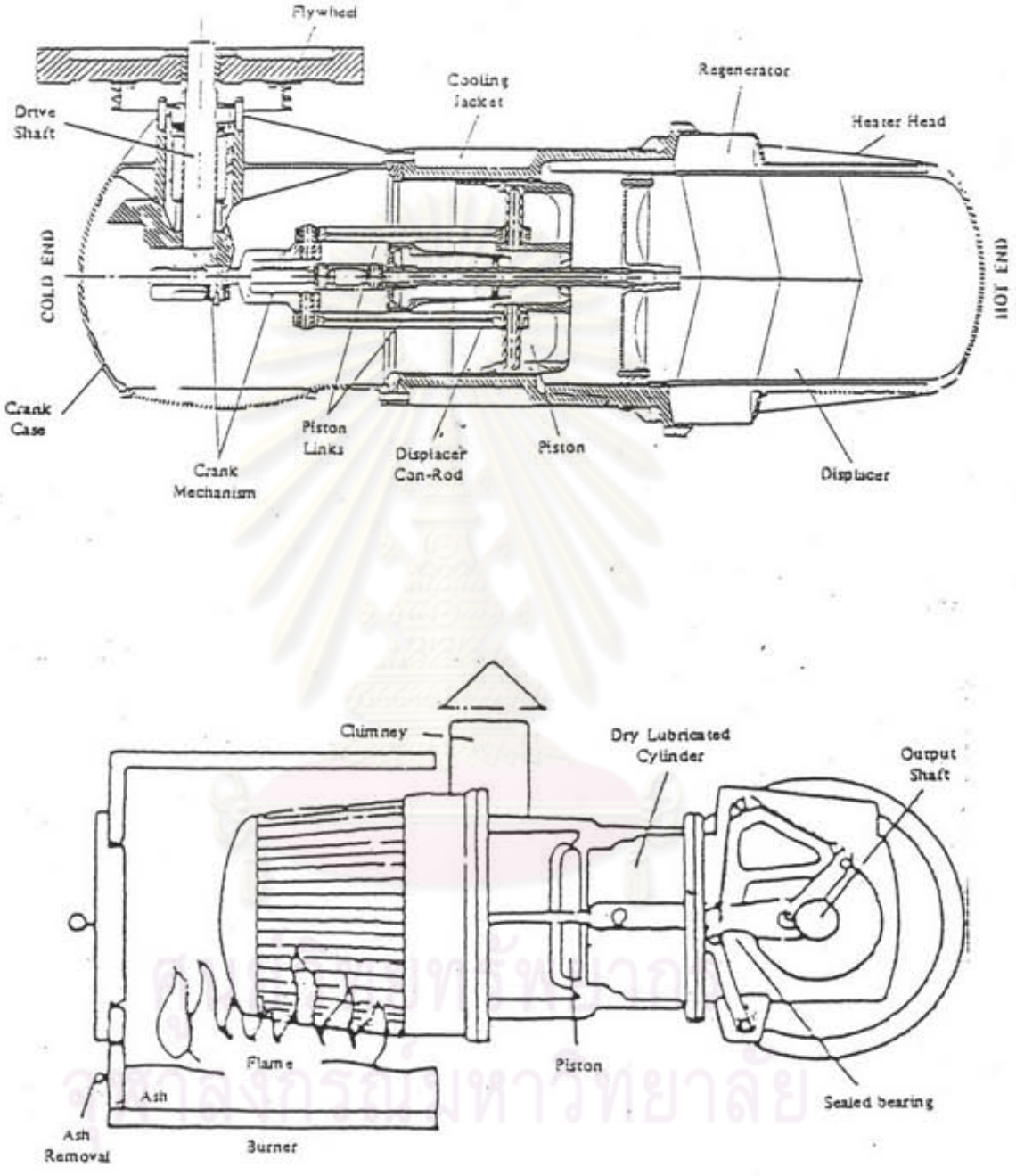
ดังได้กล่าวมาในข้างต้นแล้วว่าเครื่องยนต์สเตอลิงค์ สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งเป็นต้นกำลัง , ปั๊มความร้อน และ เครื่องทำความเย็น โดยมีความพยายามศึกษาและพัฒนาเพื่อนำไปใช้งานในลักษณะต่างๆ อยู่หลายประเภท ที่สำคัญมีดังนี้

1. <u>เครื่องยนต์ขนาดเล็กที่ใช้อากาศร้อนเป็นสารทำงาน (small hot air engines)</u> นับได้ว่าเป็นประเภทของ เครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่เป็นที่รู้จักกันดี และมีประวัติความเป็นมายาวนานที่สุด ถึงแม้ว่าในปัจจุบันการนำอากาศร้อนมาเป็นสารทำงานจะลดลงไปมาก เนื่องมาจากการใช้ก๊าซฮีเลียมที่มีความเหมาะสมกว่าเข้ามาแทนที่ แต่ข้อดีของเครื่องที่มีการใช้อากาศเป็นสารทำงานก็คือ สามารถลดปัญหาเรื่อง seal ลงไปได้ อีกทั้งอากาศก็ไม่จำเป็นต้องมีการซื้อหาเพื่อนำมาใช้งานเหมือนกับก๊าซประเภทอื่น และ ดังได้กล่าวไว้ในข้างต้นว่า เครื่องยนต์สเตอลิงค์สามารถนำมาใช้งานเป็นต้นกำลังขนาดเล็กในชั่วเศษส่วนกำลังได้ดีกว่าการใช้เครื่องยนต์ดีเซล ทำให้มีการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอลิงค์ขนาดเล็กที่ใช้อากาศร้อนเป็นสารทำงานอยู่หลายชนิด ดังเช่น บริษัท Stirling Dynamic Private ในประเทศอินเดีย โดยความร่วมมือกับบริษัท Stirling Technology Inc. ในประเทศสหรัฐอเมริกา ทำการออกแบบ และ สร้างเครื่องยนต์สเตอลิงค์ขนาดเล็กเพื่อทดแทนการใช้เครื่องยนต์ดีเซลในชุมชนหรือหมู่บ้านที่อยู่ห่างไกลความเจริญ ซึ่งจากข้อดีของ เครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด จึงมีความคิดที่จะนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่นแกลบ เปลือกไม้ ซังข้าวโพด มาใช้ให้เป็นประโยชน์ แทนการใช้น้ำมันดีเซล จนประสบผลสำเร็จได้

เครื่องยนต์ที่มีขนาดกำลัง 5 hpที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที ตั้งชื่อว่า HAMARA สามารถนำมาผลิตและจำหน่ายในประเทศอินเดีย ได้เป็นครั้งแรก ดังแสดงในรูปที่ 2.16 เป็นเครื่องยนต์สเตอลิงค์ชนิด kinematic engine ประเภท BETA ใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาทำการเผาเพื่อถ่ายทอดพลังงานความร้อนให้กับสารทำงานซึ่งในที่นี้คือ อากาศ และ ระบายความร้อนด้วยน้ำโดยการใช้ปั๊ม ซึ่งกำลังที่ใช้ในการขับปั๊มก็คือ กำลังส่วนหนึ่งที่ได้จากเครื่องยนต์นั่นเอง และ จากผลการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ทำงานเงียบ มีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และ สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ จากตัวเครื่องยนต์ในปริมาณที่ต่ำ นอกจากนี้ยังทำงานได้เที่ยงตรงแม่นยำ ชิ้นส่วนเมื่อถอดมาซ่อมบำรุงสามารถประกอบกลับได้ง่าย ไม่ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ และที่สำคัญ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลถึงเกือบ 4เท่า

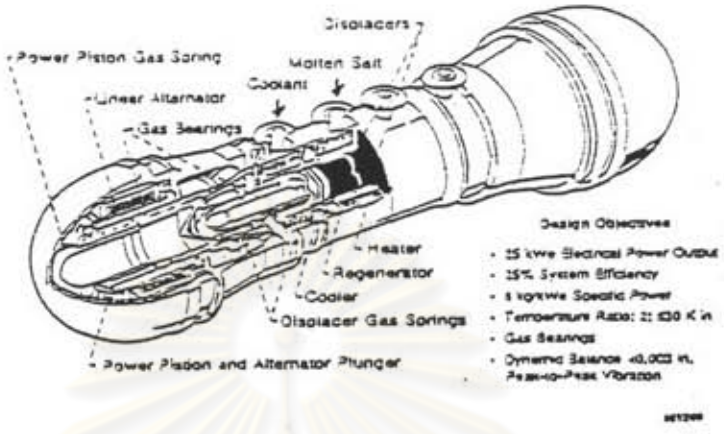
2. การนำไปใช้งานในอวกาศ (space power) องค์การ NASA (National Aeronautics and Space administration) มีความสนใจในคุณสมบัติของ เครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่มีความสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานรังสีเป็นแหล่งพลังงานความร้อน มีความแม่นยำ และเที่ยงตรงในการทำงาน มีอายุการใช้งานนานโดยไม่ต้องมีการดูแลรักษามาก และ มีประสิทธิภาพการทำงานสูง จึงได้ให้ความสนใจทำการศึกษาและสร้างเครื่องยนต์ต้นแบบอยู่หลายโครงการด้วยกัน ตัวอย่างเช่น เมื่อปี ค.ศ. 1984 องค์การ NASA และบริษัท Mechanical Technology Incorporated (MTI) ร่วมกันทำการจัดสร้าง free piston stirling engine โดยใช้ชื่อว่า Space Power Demonstrator Engine (SPDE) มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.17 a) ประกอบด้วย free piston stirling engine จำนวน 2 ชุดต่อเข้าด้วยกัน หรือที่เรียกว่าชนิด in-line สำหรับใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความถี่ในการทำงาน 105 เฮิรตซ์ หรือ 6300 รอบต่อนาที ระยะstroke 2 เซนติเมตร โดยตั้งเป้าหมายไว้ที่กำลังไฟฟ้าขนาด 25 กิโลวัตต์ (แต่ละชุดให้ค่ากำลัง 12.5 กิโลวัตต์) ใช้ฮีเลียมที่ความดัน 150 บาร์เป็นสารทำงาน และมีอุณหภูมิการทำงานบริเวณ expansion และ compression space เป็น 650 และ325 K ตามลำดับ ซึ่งปรากฏผลเป็นที่น่าพอใจเครื่องยนต์สามารถทำงานที่ค่าความดัน, อุณหภูมิ และ stroke ตามที่กำหนด ได้ค่ากำลังกระแสไฟฟ้า 25 kw ตามต้องการ ที่ประสิทธิภาพการทำงาน (กำลังกระแสไฟฟ้าที่ได้ / พลังงานความร้อนที่ให้กับเครื่อง) 28 เปอร์เซนต์ รวมทั้งมีการสั่นสะเทือนจากการทำงานต่ำและมีลักษณะสมดุลทางพลศาสตร์ (dynamic balance) ที่ดีมาก จากนั้นทาง MTI ได้ทำการแยก SPDE ออกเป็น 2 ชุด โดยชุดหนึ่งอยู่ที่ MTI อีกชุดหนึ่งมอบให้ NASA ทำการทดสอบอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ก็เป็นการยืนยันผลการทดสอบที่ MTI ทำให้ NASA ตัดสินใจทำการวิจัยต่อ โดยมอบเงินจำนวน 15.4 ล้านดอลลาร์สหรัฐแก่บริษัท MTI ใน

I 17424197

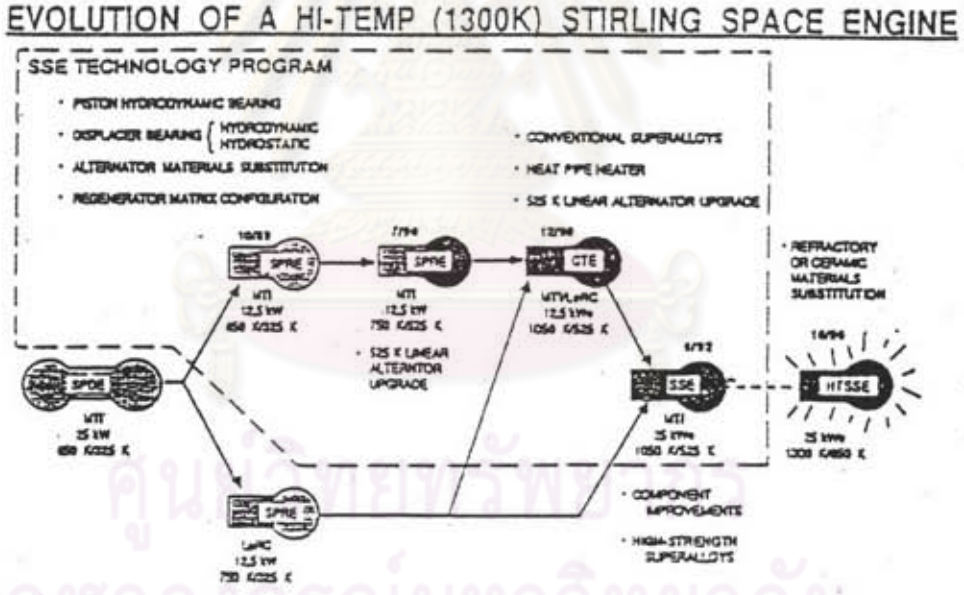


รูปที่ 2.16

Hamara Engine



2.17 a) Space Power Demonstrator Engine (SPDE)



2.17 b) แผนภาพการพัฒนา SPDE

รูปที่ 2.17

การพัฒนา free piston stirling engine โดยองค์การ NASA

ปีค.ศ. 1988 โดยมีเป้าหมายเพื่อจัดสร้าง free piston stirling engine ที่ให้ชื่อว่า free piston Stirling Space Engine (SSE) ซึ่งมีความแตกต่างจาก SPDE คือเป็นชุด free piston เพียงชุดเดียวที่ให้ค่ากำลัง 25 กิโลวัตต์ และเพิ่มอุณหภูมิการทำงานในบริเวณพื้นที่ทำงานขยายตัว และ พื้นที่ทำงานอัดตัว เป็น 1300 และ 650 K ตามลำดับ และลดความถี่เหลือ 70 เฮิรต์ซ หรือ 4200 รอบต่อนาที ใช้ฮีเลียมเป็นสารทำงานที่ความดัน 15 เมกะปาสกาล และมีอายุการใช้งาน 60000 ชั่วโมง การเพิ่มอุณหภูมิบริเวณ compression space ทำให้ลดขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนลงได้ แต่จะต้องใช้วัสดุที่สามารถทนความร้อนได้ดีในบริเวณส่วนที่รับความร้อนจำพวกเซรามิค โดยมีกำหนดแล้วเสร็จในปีค.ศ. 1996 ซึ่งในระหว่างการพัฒนาจาก SPDE เป็น SSE ก็ได้มีแผนการพัฒนาเป็นลำดับขั้น โดยการค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิในการทำงานให้สูงขึ้น ดังแสดงในรูปของแผนภาพในรูปที่ 2.17 b)

3. ชุดกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (solar thermal power system) เนื่องจากในปัจจุบันมีความพยายามจากหลายฝ่ายในการลดการปล่อยก๊าซ หรือสารที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์สภาวะเรือนกระจก หรือ " greenhouse effect " ซึ่งทำให้อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้น และชั้นบรรยากาศโอโซนถูกทำลายทำให้รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามายังโลกได้มากขึ้น ซึ่งก๊าซหรือสารเหล่านั้นมีทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ , มีเทน และสารฟลูโอโรคาร์บอน (CFC) ชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้น้ำมันและถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงล้วนก่อให้เกิดก๊าซที่ไม่พึงประสงค์จากการเผาไหม้ ทำให้มีการศึกษาการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าเนื่องจากสามารถลดการเกิดมลพิษได้อย่างสิ้นเชิง ซึ่งการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้สองวิธี คือ การเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง และ การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานความร้อนก่อนเปลี่ยนมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งในชนิดหลังมีการศึกษาการใช้เครื่องยนต์สเตอลิงค์ร่วมกับจานรับรังสี(stirling - dish system) เพื่อแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีการบันทึกไว้ว่ามีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้า (gross effciency) ได้ 31.6 เปอร์เซนต์ แต่ก็ยังมิได้มีการผลิตเพื่อการค้าเป็นแต่เพียงการทดสอบในห้องปฏิบัติการเท่านั้น แต่ในปัจจุบันมีความพยายามศึกษาโดยหลายบริษัทเพื่อนำมาผลิตและจำหน่าย ดังเช่น บริษัท Schlaich Bergermann und Partner (SBP) แห่งเมือง Stuttgart ในประเทศเยอรมัน โดยความร่วมมือกับประเทศซาอุดีอาระเบีย ได้ทดลองทำการจัดสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 50 กิโลวัตต์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับรังสี 17 เมตร ที่ประสิทธิภาพ 43 เปอร์เซนต์ (กำลังที่ได้จากเพลา / กำลังที่จ่ายให้กับเครื่องยนต์) ที่สภาวะโหลดเต็มที่ และ มีประสิทธิภาพการให้ค่ากระแสไฟฟ้าต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาที่ 23 เปอร์เซนต์ โดยได้นำไปติดตั้งเพื่อใช้งานในประเทศซาอุดีอาระเบีย

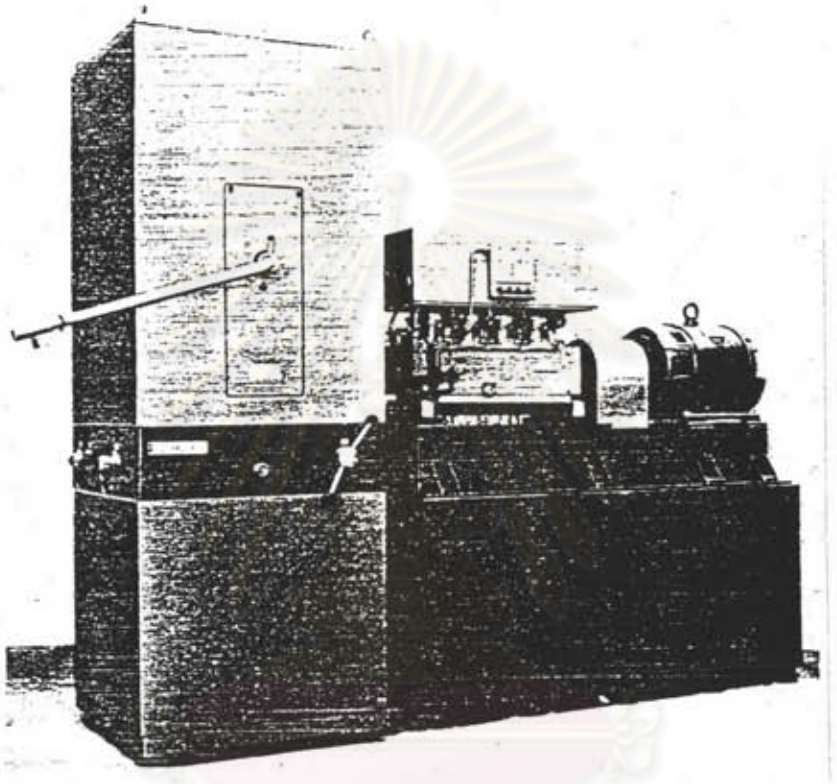
ตั้งแต่ปีค.ศ. 1986 จนถึงปัจจุบันก็ยังมีการใช้งานอยู่ นอกจากนี้ยังมีชุดกำเนิดกระแสไฟฟ้าขนาด 9 กิโลวัตต์ ที่ประกอบด้วยจานรับรังสีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เมตร และ เครื่องยนต์สเตอลิงค์ V- 160 ที่ผลิตโดยบริษัท Stirling Power System ประเทศสหรัฐอเมริกา มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ 21 เปอร์เซนต์ สำหรับปัญหาในการผลิตเพื่อการจำหน่ายยังคงอยู่ที่ราคาของ stirling - dish system ที่ยังมีราคาสูงกว่าวิธีอื่น ๆ ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องมาจากราคาของอุปกรณ์รับรังสี และเครื่องยนต์สเตอลิงค์ นอกจากนี้ยังจะต้องหาวิธีการในการผลิตกระแสไฟฟ้าในเวลากลางคืนที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ซึ่งแนวทางที่ได้มีการศึกษาดังเช่นการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือที่เรียกว่า hybrid solar operation เนื่องจากดังที่ได้เคยกล่าวมาข้างต้นว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นภายนอก ทำให้ง่ายต่อการควบคุมการเผาไหม้เพื่อลดปริมาณก๊าซเสียที่เกิดขึ้น นอกจากนี้การเผาไหม้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิและความดันใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ จะทำให้เกิดก๊าซเสียขึ้นในปริมาณที่ต่ำ

4. ปั๊มความร้อน (heat pump)และเครื่องทำความเย็น (refrigeration) ดังได้กล่าวไว้ในข้างต้นว่า เครื่องยนต์สเตอลิงค์ สามารถทำงานเป็นปั๊มความร้อนและเครื่องทำความเย็นได้ โดยการให้กำลังกับตัวเครื่อง ซึ่งเป็นการทำงานที่กลับกันกับการเป็นต้นกำลังที่เครื่องยนต์จะให้กำลังงานออกมา และ ในเครื่องยนต์ชุดเดียวกันยังสามารถทำงานเป็นได้ทั้งปั๊มความร้อนและเครื่องทำความเย็นโดยการกลับทิศทางการทำงาน และเนื่องจากในปัจจุบันมีความพยายามลดการใช้สาร CFC จึงมีการหันมาศึกษาการใช้เครื่องยนต์สเตอลิงค์เพื่อใช้งานเป็นปั๊มความร้อน และ เครื่องทำความเย็น ซึ่งในปัจจุบันมีการผลิตเพื่อการจำหน่าย เครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่เป็นได้ปั๊มความร้อนและเครื่องทำความเย็นชนิด Vuilleumier heat pump โดยบริษัท Sanyo Electric Company ในเมืองโอซากา ประเทศญี่ปุ่น ร่วมกับบริษัท Tokyo Gas Co.,Osaka Gas Co,. และ Toho Gas Co,.เป็นเครื่องยนต์สเตอลิงค์ปั๊มความร้อนที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานความร้อนโดยมีการทดสอบแล้วว่า มีการปล่อยก๊าซที่ทำให้เกิดมลภาวะในปริมาณที่ต่ำ ยกเว้นออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการเผาไหม้ การลดปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน สามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิในการเผาไหม้ร่วมกับการใช้ catalytic converter และการนำไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้กลับเข้าไปในห้องเผาไหม้อีกครั้งหนึ่ง จะเป็นการลดการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนลงได้ สำหรับสารทำงานที่ใช้คือ ฮีเลียม และ มีความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1000 รอบต่อนาที จากการทดสอบพบว่ามีประสิทธิภาพการทำงานที่สูง ทำงานเงียบและไม่ต้องมีการใช้สาร CFC มีค่า COP สำหรับการทำความร้อนและการทำความเย็นเท่ากับ 1.5 และ 0.8 ตามลำดับ เมื่อรวมประสิทธิภาพ

ของห้องเผาไหม้เข้าไปด้วย สำหรับจุดประสงค์ในการใช้งานคือเพื่อใช้ในการทำความร้อนและทำความเย็นรวมทั้งการทำน้ำร้อนสำหรับร้านค้าและบริษัทขนาดกลาง

5.เครื่องทำความเย็นอุณหภูมิต่ำ (cryocooler) หมายถึง การทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100K ซึ่งการนำเครื่องยนต์สเตอลิงค์ มาใช้งานเป็นเครื่องทำความเย็นอุณหภูมิต่ำมีขึ้น ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1861 โดยมีลักษณะการนำไปใช้งานอยู่สองประเภท ชนิดแรก คือ การทำความเย็นในบริเวณที่ต้องการความเย็นเป็นพิเศษ ซึ่งเป็นชุดทำความเย็นที่มีขนาดภาระไม่มากนักแต่ทำงานที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ เช่น ทำความเย็นชุดจับสัญญานอินฟราเรด ที่มีการใช้งานในทางการทหาร , อุปกรณ์อิเลคทรอนิคบางประเภท และ ชนิดที่สอง คือ เป็นเครื่องทำความเย็นที่มีขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับการผลิตไนโตรเจนเหลว เพื่อนำไปใช้รักษาอุณหภูมิของ ซุปเปอร์คอนดัคเตอร์ใน ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ , การเก็บรักษาสเปร์มสำหรับการผสมเทียม , การเก็บรักษาวัตถุดิบในการผลิตทางอุตสาหกรรมบางชนิด หรือ ใช้ในการแยกเอาอากาศออกจากบริเวณที่ต้องมีการควบคุมความชื้น เป็นต้น และเนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์การตรวจจับสัญญาน ทำให้ต้องมีการรักษาอุณหภูมิของส่วนประกอบที่เป็นอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ไว้ที่อุณหภูมิที่ต่ำ ทำให้ความต้องการใช้ชุดทำความเย็นที่มีความเที่ยงตรงในการทำงานสูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สำหรับตัวอย่างการนำเครื่องทำความเย็นอุณหภูมิต่ำมาใช้งานเช่นที่ บริษัท Philips ที่ได้มีการศึกษาการนำเครื่องยนต์สเตอลิงค์มาใช้เป็นเครื่องทำความเย็นอุณหภูมิต่ำ เพื่อผลิตไนโตรเจนเหลว ดังแสดงในรูปที่ 2.18 โดยใช้ เครื่องยนต์สเตอลิงค์ชนิด beta type จำนวน 4 ชุด ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวจ่ายกำลังที่ความเร็ว 1450 รอบต่อนาที สามารถผลิตไนโตรเจนเหลวได้ในอัตรา 6 ลิตรต่อชั่วโมงในรุ่น PLN 106 และ 30 ลิตรต่อชั่วโมง ในรุ่น PLN 430

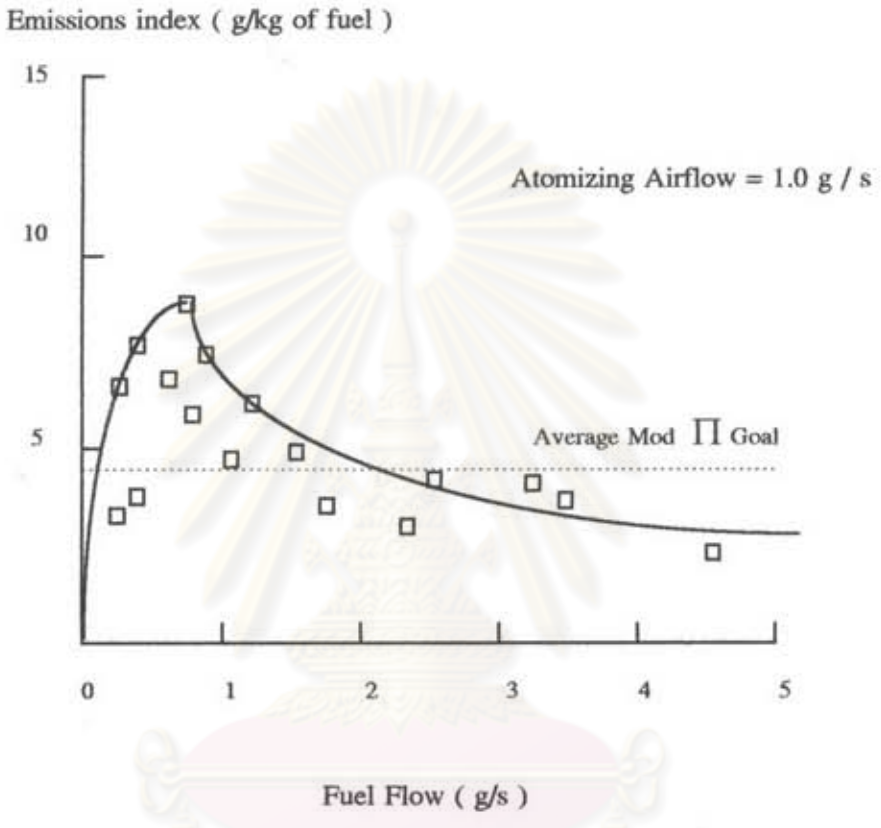
6. รถยนต์ (automobiles) มีความพยายามลดก๊าซที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์สันดาปภายในในรถยนต์เช่นการใช้ catalytic converyter มีการศึกษาพบว่า การใช้เครื่องยนต์สเตอลิงค์โดยใช้สารไฮโดรคาร์บอนเป็นเชื้อเพลิงมีปริมาณก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้อยู่ในมาตรฐานของ U.S. emission standards โดยไม่จำเป็นต้องใช้ catalytic converter ยกเว้น ปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจนที่ยังอยู่ในปริมาณที่สูง ดังแสดงปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในรูปที่ 2.19 จากเครื่องยนต์ Mod II ที่ใช้น้ำมันไร้สารตะกั่วเป็นเชื้อเพลิง และไม่มีการติดตั้ง catalytic converyter เป็นเครื่องยนต์ที่บริษัท Mechanical Technology Incorporated ได้รับเงินจากหน่วยงานด้านการพลังงานของสหรัฐ (DOE) จำนวน ๑๒๐ ล้านดอลลาร์สหรัฐ เพื่อทำการวิจัยโครงการเครื่องยนต์สเตอลิงค์สำหรับยานพาหนะ นอกจาก



รูปที่ 2.18

เครื่องทำความเย็นอุณหภูมิต่ำ (cryocooler)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.19

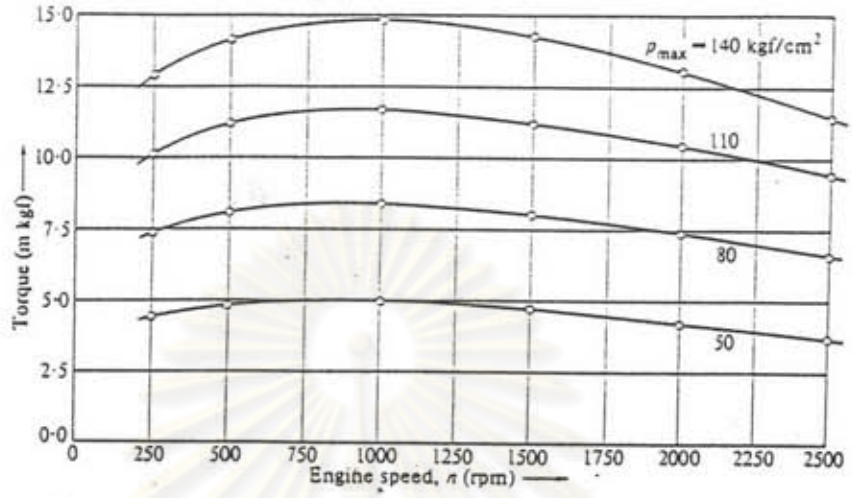
ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนจากเครื่องยนต์ Mod ∏

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

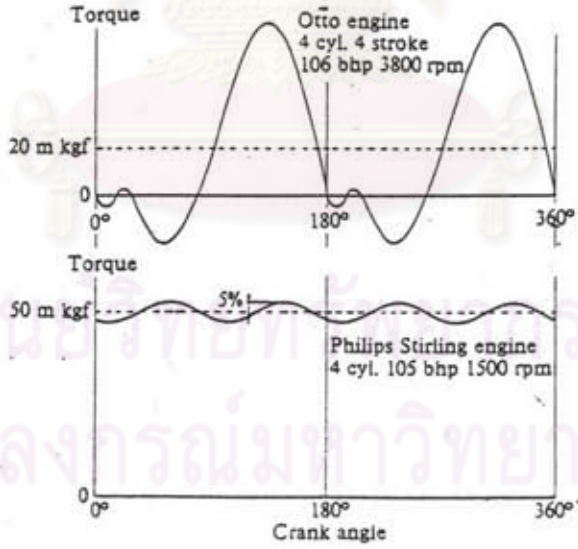
นี้ยังมีการศึกษาการใช้อุปกรณ์แบตเตอรีเก็บความร้อน (thermal storage battery) สำหรับใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้กับเครื่องยนต์สเตอลิงค์ ซึ่งสามารถลดปริมาณก๊าซเสียที่เกิดขึ้นจากรถยนต์ได้อย่างสิ้นเชิง ถึงแม้ว่าการชาร์จความร้อนให้กับแบตเตอรีเก็บความร้อนจะใช้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนแต่เราสามารถควบคุมการเผาไหม้ให้เกิดก๊าซเสียในปริมาณที่ต่ำได้ แต่สิ่งที่จะต้องมีการศึกษาต่อไปถึงการใช้แบตเตอรีเก็บความร้อนก็คือ ขนาดที่ยังมีขนาดค่อนข้างใหญ่ , การรั่วไหลของความร้อนจากแบตเตอรี , ความปลอดภัยในการใช้งาน ,เทคนิคการชาร์จแบตเตอรี และ อายุการใช้งานของวัสดุที่นำมาใช้ นอกจากความสามารถในการลดปริมาณไอเสียแล้วเครื่องยนต์สเตอลิงค์ยังมีลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่าง torque output กับความเร็วรอบในลักษณะที่เรียกว่า flat torque/speed ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ซึ่งเป็นคุณลักษณะของเครื่องยนต์สเตอลิงค์จำนวน 4 กระบอกสูบ ที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที และ ให้ค่ากำลัง (brake power output) 105 bhp ของสถาบันฟิลิปส์ จากรูป 2.20 a) จากกราฟที่ได้จะเห็นว่าที่ความเร็วรอบต่ำเครื่องยนต์จะมีค่าทอร์คสูง ทำให้เครื่องยนต์มีอัตราเร่งที่ดี และจากกราฟในรูปที่ 2.20 b) จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของทอร์ค มีลักษณะที่เรียบกว่าในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ทำให้สามารถใช้ล้อช่วยแรง ในขนาดที่เล็กลงได้

7. <u>เรือดำน้ำ (submarine)</u> หลังจากการพัฒนามาเป็นเวลากว่า 10 ปี บริษัท Kockums AB of Malmo ประเทศสวีเดน ได้ทำการผลิตเครื่องยนต์สเตอลิงค์ที่ใช้ชื่อว่า AIP ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ในเรือดำน้ำ เพื่อการส่งออกได้เป็นผลสำเร็จ โดยการพัฒนาเริ่มมาจากเมื่อบริษัท Kockums ทำการซื้อบริษัท United Stirling เมื่อราวปีค.ศ. 1980 และนับตั้งแต่นั้นการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอลิงค์ก็ได้มีจุดมุ่งหมายเพื่อนำไปใช้ในเรือดำน้ำโดยเฉพาะ สำหรับเครื่องยนต์ AIP มีขนาดกำลัง 75 กิโลวัตต์ ใช้น้ำมันดีเซลและออกซิเจนเหลวเป็นเชื้อเพลิง โดยการเผาไหม้เกิดขึ้นที่ความดันสูง ทำให้สามารถปล่อยไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ได้โดยตรงโดยไม่ต้องใช้ compressor มีการทำงานที่เงียบ ไม่มีการสั่นสะเทือน รวมทั้งมีการปล่อยคลื่นรังสีความร้อนในปริมาณที่ต่ำโดยได้มีการเตรียมติดตั้งในเรือดำน้ำของสวีเดนเป็นจำนวน 3 ลำ และ บางส่วนได้มีการติดตั้งในเรือดำน้ำเป็นที่เรียบร้อยแล้วโดยมีอายุการใช้งาน 30 ปี

8. <u>หัวใจเทียม (artificial heart)</u> การศึกษาการนำเครื่องยนต์สเตอลิงค์มาใช้งานเป็นหัวใจเทียมในร่างกายมนุษย์ โดยการใช้เป็นต้นกำลังขับปั๊มที่ใช้ในการสูบฉีดเลือด มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายในประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจาก ประชาชนในประเทศมีอัตราการเสียชีวิตเนื่องมาจากโรคหัวใจในอัตราที่สูงมาก การศึกษาการนำเครื่องยนต์สเตอลิงค์มาใช้งานเป็นหัวใจเทียม ได้เริ่มต้นตั้งแต่ปีค.ศ. 1967 ที่สถาบัน McDonnell Douglas ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นแห่งแรก และยังมี



2.20 a) ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์ค(Torque) และความเร็วรอบ (Speed) ของเครื่องยนต์สเตอลิงค์ ชนิด single - cylinder ของสถาบันฟิลิปส์



2.20 b) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของทอร์ค (Torque) ระหว่างเครื่องยนต์สเตอลิงค์และเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

รูปที่ 2.20

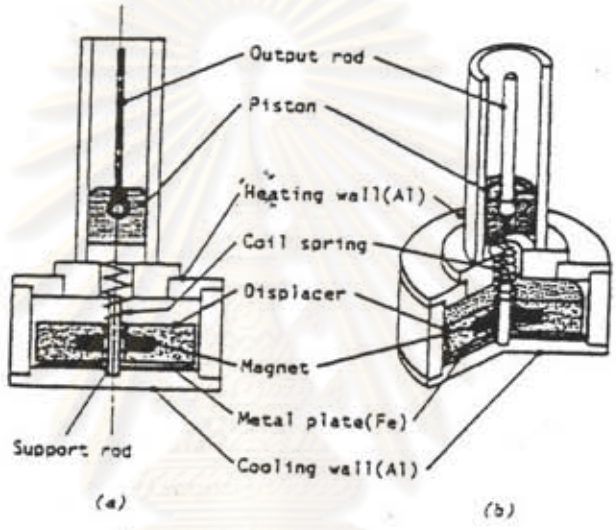
ลักษณะทอร์ค (Torque) ของเครื่องยนต์สเตอลิงค์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบันโดยมีการพัฒนาอุปกรณ์ไปแล้วหลายรุ่น แต่ยังมีข้อจำกัดอยู่บางประการที่ทำให้ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ กล่าวคือ ขนาดที่ไม่กระทัดรัด ราคาของอุปกรณ์ที่มีราคาแพงเนื่องจากต้องไม่มีปฏิกิริยากับร่างกาย และ การใช้ฉนวนที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อป้องกันความร้อนรั่วไหลจากอุปกรณ์ รวมทั้งการผ่าตัดที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง ทำให้ต้องมีการปรับปรุงและทดสอบอีกมากก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง

นอกจากความพยายามพัฒนาให้มีขนาดกำลังที่มากขึ้นแล้ว ยังมีการศึกษาเครื่องยนต์สเตอลิงค์ขนาดเล็ก หรือ micro Stirling engine ที่มีขนาดปริมาตรเพียง 0.11 ลูกบาศก์เซนติเมตรที่มหาวิทยาลัยโตเกียว ในประเทศญี่ปุ่น สำหรับเป็นเครื่องทำความเย็นอุณหภูมิต่ำขนาดเล็กสำหรับรวมอยู่ในแผง IC และเป็นปั๊มสำหรับสูบฉีดเลือดในเส้นโลหิต ดังแสดงในรูปที่ 2.21

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.21

Micro Stirling Engine

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย