

การสร้างชุดทดลองอุปกรณ์วัฏจักรสเตอร์ลิง

Design of Stirling Engine Prototype

นายจรงค์ดี แก้วเกิด
นายศิโรจน์ พายพัตร
นายสุภชัย ชุมมนวัฒน์

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
- 1 ก.ย. 2552
วันที่รับ.....
เลขทะเบียน.....5200087.....
เลขเรียก.....

๒๐๑๔๒๔ e. 2
๒๕,
๗๗๔๓
๘๕๕/.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2551



ใบรับรองโครงการงาน

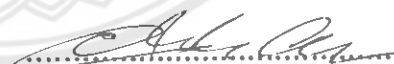
หัวข้อโครงการ : การสร้างชุดทดลองอุปกรณ์วัฏจักรสเตอร์ลิง
(Design of Stirling Engine Prototype)

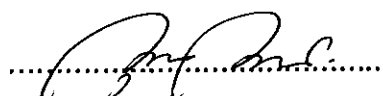
ผู้ดำเนินโครงการ : นายขจรศักดิ์ แก้วเกิด รหัสสนิสิต 48360885
นายศิวโรจน์ พายพัตร รหัสสนิสิต 48361141
นายสุภชัย ชุมนวมวัฒน์ รหัสสนิสิต 48361158

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : คร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2551

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการงาน

 ประธานกรรมการ
คร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว

 กรรมการ
ผศ.ดร.กุลภา กนกजारูจิตร

 กรรมการ
อ.ปองพันธ์ โอทกานนท์

หัวข้อโครงการ : การสร้างชุดทดลองอุปกรณ์วัฏจักรสเตอร์ลิง
(Design of Stirling Engine Prototype)

ผู้ดำเนินโครงการ : นายขจรศักดิ์ แก้วเกิด รหัสนิสิต 48360885
นายศิวโรจน์ พายพัตร รหัสนิสิต 48361141
นายสุภชัย ชุมนุญวัฒน์ รหัสนิสิต 48361158

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : คร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2551

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษา กระบวนการทำงานของอุปกรณ์วัฏจักรประเภทสเตอร์ลิงและประดิษฐ์ชุดทดลองอุปกรณ์วัฏจักรสเตอร์ลิงแบบแอลฟา (alpha stirling engine) ซึ่งเครื่องยนต์สเตอร์ลิงประเภทนี้เป็นเครื่องยนต์ชนิดสันดาปภายนอก (external combustion) โดยใช้ก๊าซธรรมชาติให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์และให้อากาศเป็นของไหลทำงานและไม่ใช้ตัวกักเก็บความร้อน (regenerator) ตัวแปรในการทดลองจะถูกวัดโดยวิธีการวัดอุณหภูมิและการวัดความเร็วรอบจากการทดลองพบว่า เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เพลาของเครื่องยนต์จะทำการหมุนอย่างต่อเนื่องและส่วนความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยมีค่าความเร็วรอบระหว่าง 52-57 รอบต่อนาทีและประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์มีค่าประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ โดยวัฏจักรสเตอร์ลิงเป็นวัฏจักรแบบผันกลับได้เช่นเดียวกับวัฏจักรคาร์โนต์ ซึ่งไม่มีการสูญเสียงานที่เกิดจากแรงเสียดทานและการถ่ายเทความร้อน

คำสำคัญ : วัฏจักรสเตอร์ลิง, เครื่องจักรความร้อน, ประสิทธิภาพทางความร้อน,
ตัวกักเก็บความร้อน

Project Title : Design of Stirling Engine Prototype

Name : Mr.Khajornsak Kaewkard ID Code 48360885
Mr.Siwaroth Paypat ID Code 48361141
Mr.Suppachai Chumnumwat ID Code 48361158

Project Advisor : Dr.Ananchai U-kaew

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2008

Abstract

This project consists of design and modeling of alpha type stirling engine. Combustion of this type of engine is an external one. In the experiment, we employed natural gas as the heat source and use air as the working fluid, without inserting regenerator element. Experiments were conducted by means of temperature and rotation speed measurement. As a result, when the engine receives heat and reaches a certain temperature, the shaft rotates continuously at range of speed around 52-57 rpm. From calculation, the thermal efficiency of the stirling engine is found to be ideally approximately 14 percent. Stirling cycle is reversible, as is the Carnot cycle, which no heat transfer and no friction or other.

Keywords : Stirling cycle, heat engine, thermal efficiency, regenerator

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการสร้างชุดทดลองอุปกรณ์วัฏจักรสเตอร์ลิง (Design of Stirling Engine Prototype) สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน ดังนี้

1. คร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
2. อ.ทศวรรษ อินเกาะช้าง อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์
3. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร
4. ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้ดำเนินโครงการ อย่างสม่ำเสมอตลอดมา

และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนให้การดูแลและให้ประสบการณ์เกี่ยวกับการทำงาน ข้าพเจ้าขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อท่านผู้สนใจ ได้ในระดับหนึ่งตลอดจนเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาต่อไป

ขจรศักดิ์ แก้วเกิด
ศิวโรจน์ พายพัตร
ศุภชัย ชูมนุมวัฒน์

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ก
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
ลำดับสัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ระยะเวลาการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 งบประมาณ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องจักรความร้อน	4
2.2 ประสิทธิภาพและกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์	5
2.3 ลักษณะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	7
2.4 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการและการออกแบบ	
3.1 การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	18
3.2 วัสดุอุปกรณ์	19
3.3 การเตรียมชิ้นงาน	20
3.4 ขั้นตอนการประกอบชิ้นงาน	22
3.5 ขั้นตอนการทดสอบเครื่อง	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับเวลา	27
4.2 ผลการคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	30
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง	32
5.2 แนวทางการทำวิจัยในอนาคต	33
5.3 สรุปการทดลอง	35
5.4 ข้อเสนอแนะทางเทคนิค	35
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	39
ภาคผนวก ข ตารางค่าความร้อน	42
ภาคผนวก ค การออกแบบ	45
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	49

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ตารางระยะเวลาการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 3.1 ข้อกำหนดในการทดลอง	26
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเฉลี่ย	30
ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพทางความร้อน	31
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนของพลังงานชีวมวล	33
ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเมื่อค่าพลังงานความร้อนเท่ากัน	34

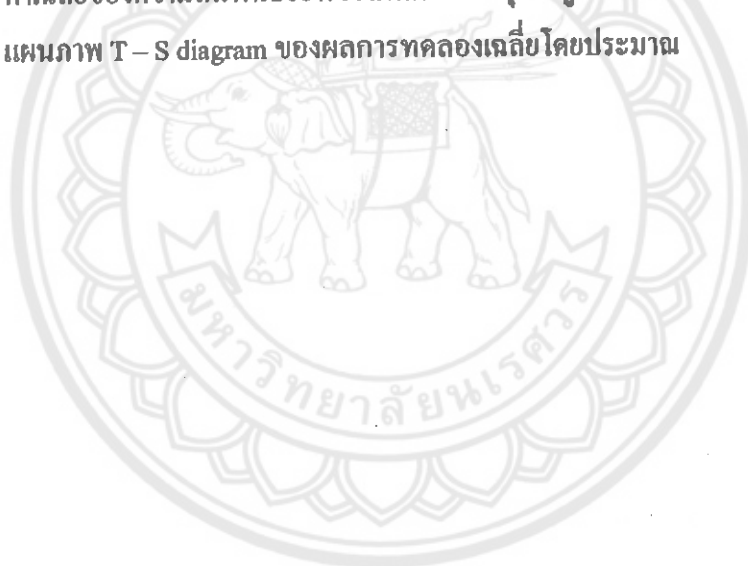


สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นงาน และมีการถ่ายโอนความร้อน เกิดขึ้นในเครื่องจักรความร้อน	6
รูปที่ 2.2 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบทั้ง 2 ตัวในเครื่องยนต์แอลฟา (alpha engine)	7
รูปที่ 2.3 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบและตัวแทนที่ในเครื่องยนต์เบต้า (beta engine)	8
รูปที่ 2.4 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบและตัวแทนที่ในเครื่องยนต์แกมมา (gamma engine)	9
รูปที่ 2.5 แผนภาพ T-S diagram ของวัฏจักรสเตอร์ลิง	11
รูปที่ 2.6 แผนภาพ P-V diagram ของวัฏจักรสเตอร์ลิง	11
รูปที่ 2.7 แสดงวัฏจักรสเตอร์ลิง	12
รูปที่ 2.8 (a) แสดงตำแหน่งของลูกสูบ	13
รูปที่ 2.8 (b) แผนภาพ P-V ของกระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่	13
รูปที่ 2.9 (a) แสดงตำแหน่งของลูกสูบ	14
รูปที่ 2.9 (b) แผนภาพ PV ของกระบวนการให้ความร้อนคงที่	14
รูปที่ 2.10 (a) แสดงตำแหน่งของลูกสูบ	15
รูปที่ 2.10 (b) แผนภาพ PV ของกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่	15
รูปที่ 2.11 (a) แสดงตำแหน่งของลูกสูบ	16
รูปที่ 2.11 (b) แผนภาพ PV ของกระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่	16
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	18
รูปที่ 3.2 การออกแบบโครงไม้	20
รูปที่ 3.3 แสดงการวัดขนาดชิ้นงาน	20
รูปที่ 3.4 แสดงการตัดชิ้นงาน	21
รูปที่ 3.5 แสดงการคัดชิ้นงาน	21
รูปที่ 3.6 แสดงการเจาะรูชิ้นงาน	22
รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบโครงไม้	22
รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบท่อทองแดง	23

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.9 การประกอบลูกสูบกับก้านสูบ	23
รูปที่ 3.10 การออกแบบล้อช่วยแรง	24
รูปที่ 3.11 เฟลาเหล็กวงกลม	24
รูปที่ 3.12 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ประดิษฐ์ได้จริง	25
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วรอบ	27
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง (T_H)	28
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกระบอกสูบไล่ (T_L)	28
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและผลต่างของอุณหภูมิ ($T_H - T_L$)	29
รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิและความเร็วรอบ	29
รูปที่ 4.6 แผนภาพ T – S diagram ของผลการทดลองเฉลี่ยโดยประมาณ	31



ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
P	ความดัน	Pa
Q_H	แหล่งสะสมพลังงานความร้อนอุณหภูมิสูง	J/s, watt
Q_L	แหล่งสะสมพลังงานความร้อนอุณหภูมิต่ำ	J/s, watt
S	เอนโทรปี	kJ/kg
T	อุณหภูมิ	K
T_H	อุณหภูมิที่แหล่งสะสมพลังงานอุณหภูมิสูง	K
T_L	อุณหภูมิที่แหล่งสะสมพลังงานอุณหภูมิต่ำ	K
V	ปริมาตร	m^3
W	งาน	J
η_{th}	ประสิทธิภาพทางความร้อน	-

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำรงชีวิตและมีความต้องการเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้แหล่งพลังงานจากฟอสซิลที่จะนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานเชื้อเพลิงลดน้อยลง ดังนั้นจึงมีการค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนขึ้นมา เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล พลังงานความร้อน เป็นต้น เพื่อนำมาทดแทนการใช้พลังงานในรูปแบบเดิมจากพลังงานทดแทนที่กล่าวมานี้สามารถผลิตพลังงานออกมาในรูปแบบพลังงานงานกลได้ใกล้เคียงกับพลังงานเชื้อเพลิง จึงสามารถนำเอาพลังงานทดแทนมาใช้แทนได้ แต่ก็มีข้อจำกัดทางด้านรูปแบบของอุปกรณ์วัฏจักรที่จะนำเอามาใช้เปลี่ยนรูปพลังงานทดแทนให้นำไปใช้ประโยชน์ได้เพื่อให้มีการพัฒนารูปแบบเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ

โดยโครงการนี้จะเป็นการศึกษาหลักการทำงานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์วัฏจักรชนิดสเตอร์ลิง รวมทั้งทำการทดลองประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์วัฏจักรประเภทสเตอร์ลิง ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลความร้อนสันดาปภายนอกและเป็นการนำพลังงานความร้อนมาเปลี่ยนเป็นพลังงานกลที่ช่วยในการขับเคลื่อนอุปกรณ์วัฏจักรประเภทสเตอร์ลิงเพื่อทำให้เกิดงานที่สามารถใช้ขับเคลื่อนเครื่องจักรกลหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปและลดต้นทุนทางด้านการใช้พลังงานเชื้อเพลิงลงได้ เช่น การนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรมกลับนำมาขับเคลื่อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิง การนำเศษวัสดุจากธรรมชาติมาเผาเพื่อให้เกิดความร้อนแล้วนำไปขับเคลื่อนเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการทำงานของอุปกรณ์วัฏจักรประเภทสเตอร์ลิง

1.2.2 ประดิษฐ์ชุดต้นแบบอุปกรณ์วัฏจักรประเภทสเตอร์ลิงอย่างง่ายเพื่อเป็นแนวทางในการนำมาใช้กับพลังงานทางเลือกในอนาคต

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์วิทยุจักรประเภทสเตอร์ลิง
- 1.3.2 ออกแบบและสร้างเครื่องชนิดสเตอร์ลิงอย่างง่าย
- 1.3.3 ทดสอบและเก็บข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอุณหภูมิของกระบอกสูบกำลังและกระบอกสูบไต้
- 1.3.4 คำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องชนิดสเตอร์ลิง
- 1.3.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.4 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ตารางระยะเวลาการดำเนินงาน

แผนการปฏิบัติงาน	2551							2552	
	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ก.	ก.พ.
1.กำหนดหัวข้อโครงการ	↔								
2.ศึกษาค้นคว้าข้อมูลวิทยุจักรสเตอร์ลิง		↔	↔						
3.จัดซื้ออุปกรณ์และประดิษฐ์			↔	↔	↔				
4.ทดสอบและปรับปรุง					↔	↔			
5.ทดลองและบันทึกผลการทดลอง						↔	↔	↔	
6.วิเคราะห์ผลการทดลอง							↔	↔	
7.สรุปผลการทดลอง								↔	↔

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานของอุปกรณ์วิทยุจักรประเภทสเตอร์ลิง
- 1.5.2 สามารถนำไปพัฒนาเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการที่จะนำพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ แทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้

1.6 งบประมาณ

ค่าทำเครื่องขนำสเตอร์ลิง	2,400 บาท
ค่าเอกสารและเข้าเล่ม	600 บาท
รวมทั้งหมด	3,000 บาท



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องจักรความร้อน

ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องจักรความร้อน (heat engine) คือการทำให้เป็นวัฏจักรเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamics cycle) ซึ่งจำเป็นต้องมีความแตกต่างของอุณหภูมิเพื่อทำให้เกิดงาน แหล่งความร้อนหรือแหล่งที่มีพลังงานความร้อน (อุณหภูมิสูง) มีความจำเป็นในการเริ่มต้นวัฏจักร โดยเริ่มจากการที่อากาศดูดความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิสูงระหว่างกระบวนการขยายตัวของวัฏจักร จากนั้นอากาศจะเย็นตัวโดยการคายความร้อนออกมา โดยอากาศที่อุณหภูมิลดลงจะดูดความร้อนนั้นและทำตัวเป็นแหล่งรับความร้อน (heat sink) หรือแหล่งอุณหภูมิต่ำ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นอุปกรณ์ที่มีปลายด้านหนึ่งของกระบอกสูบถูกทำให้ร้อน ปลายกระบอกสูบอีกข้างจะเย็น งานที่เอาไปใช้ประโยชน์ได้มาจากการหมุนของเพลลา เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ระบบปิดไม่มีการดูด ไอดี (intake) และปล่อยไอเสีย (exhaust) ความร้อนถูกป้อนจากภายนอก อะไรก็ตามที่สามารถเผาและให้ความร้อนได้จะใช้เพื่อให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงทำงาน เช่น ถ่านหิน ไม้ ฟางข้าว แกลบ ก๊าซโซลีน แอลกอฮอล์ ก๊าซธรรมชาติ และอื่นๆ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงไม่ต้องการการเผาไหม้ แต่ต้องการความร้อนเท่านั้นที่สามารถทำให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถทำงานได้ ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ความร้อนใต้พิภพหรือความร้อนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ กำลังจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถใช้ขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าหรือจักรกลอื่นๆ อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็ยังมีข้อจำกัดคือต้องการเวลาสำหรับอุ่นเครื่องยนต์ก่อนที่จะสร้างกำลังที่สามารถเอาไปใช้ประโยชน์ได้และเครื่องยนต์จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงกำลังที่ออกมาหรือเร่งเครื่องได้อย่างรวดเร็ว

ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องยนต์ความร้อน คือ เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยการขยายตัวและหดตัวของสารทำงานซึ่งอาจมีสถานะเป็นก๊าซต่างๆหรือก๊าซผสม เช่น อากาศ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเกิดจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบ หรืออุปกรณ์อื่นที่มีลักษณะคล้ายกัน การเปลี่ยนแปลงปริมาตรขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ไปมาของลูกสูบและการเปลี่ยนตำแหน่งนี้เป็น 1 ใน 2 องค์ประกอบหลักของงาน ซึ่งองค์ประกอบอย่างอื่นที่ 2 ก็คือ แรง ซึ่งแรงที่กระทำเหนือระยะทางก็คือ

งาน แรงในเครื่องยนต์ได้จากการเคลื่อนที่ขึ้นของลูกสูบ อันเนื่องมาจากความดันแก๊สที่กระทำบนพื้นที่ของลูกสูบ

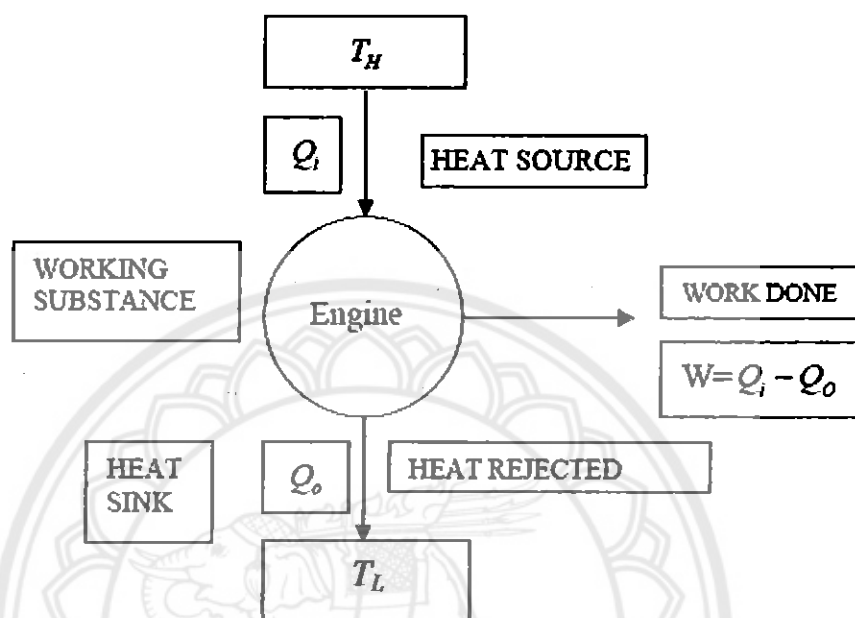
ในระบบของเครื่องยนต์จะมีการขยายตัวหรือการเพิ่มปริมาตรเกิดขึ้นและในอีกกระบวนการจะมีการลดปริมาตรหรือการอัดเกิดขึ้น ในกระบวนการขยายตัวของเครื่องจักรจะเกิดงานส่งไปที่ลูกสูบและก็จะส่งต่อไปยังข้อเหวี่ยงและแท่งเชื่อมต่อ ซึ่งทำให้เกิดรอบของการหมุนของเพลาหรือใบพัด อย่างไรก็ตาม ในทุกๆการทำงานของเครื่องยนต์ (working engine) งานจะถูกผลิตขึ้นในกระบวนการขยายตัวมากกว่างานที่ต้องการเพื่อใช้ในการกระบวนการอัดตัว

2.2 ประสิทธิภาพและกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์

กฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (Second law of thermodynamics) กล่าวว่าทุกเครื่องยนต์ (engine) ต้องการแหล่งเก็บความร้อนที่ร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสำหรับเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน (heat source) และต้องการแหล่งเก็บความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (cooler reservoir) เป็นแหล่งรับความร้อน (heat sink) การที่เครื่องยนต์จะดีหรือไม่ดีขึ้นอยู่กับว่ามันจะสามารถผลิตกำลัง (power) ได้เพียงพอต่อการทำให้เกิดงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรได้เร็วแค่ไหน และประสิทธิภาพที่จะเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นงานจำเป็นต้องมีมากแค่ไหน การพิจารณาสิ่งเหล่านี้ค่อนข้างที่จะขึ้นอยู่กับกรอบการออกแบบและการเลือกใช้เครื่องยนต์ แต่เครื่องยนต์เกือบทุกชนิดนั้นประสิทธิภาพจะมีความสำคัญ ไม่มีใครที่ต้องการสูญเสียน้ำมันหรือการเผาไหม้เกินความจำเป็น ประสิทธิภาพคือการวัดว่าเครื่องยนต์จะสามารถให้งานออกมาเท่าไรสำหรับการให้ความร้อนหรือใช้น้ำมันเพียงเล็กน้อย ซึ่งก็คือสัดส่วนของงานที่เครื่องยนต์ผลิตต่อความร้อนขาเข้าที่ใช้ในการผลิตงาน

ในความเป็นจริงแล้วไม่มีเครื่องยนต์ใดที่จะให้ประสิทธิภาพได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเกิดจากการรั่วไหลของวาล์วและการเกิดแรงเสียดทาน (friction) ในทุกที่ที่มีการเคลื่อนที่สวนทางกันของกระบวนการ ซึ่งการสูญเสียเหล่านี้อยู่ภายใต้กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่กล่าวว่าพลังงานสามารถเปลี่ยนรูปหรือถูกถ่ายโอนจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งได้ แต่ไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือทำลายให้สูญหายได้ จากกฎข้อที่ 2 ต้องการความร้อนบางส่วนไปปล่อยออกที่แหล่งรับความร้อนเสมอเพื่อให้เกิดวัฏจักร ดังนั้นความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายโอนมาจากแหล่งส่งความร้อน (hot

reservoir) จะไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นงานได้ทั้งหมด เพราะจะเกิดความร้อนหรือพลังงานที่สูญเสียภายในเครื่องยนต์ นั่นหมายความว่า ประสิทธิภาพจะไม่สามารถเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ได้ [1]



รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นงาน และมีการถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นในเครื่องจักรความร้อน

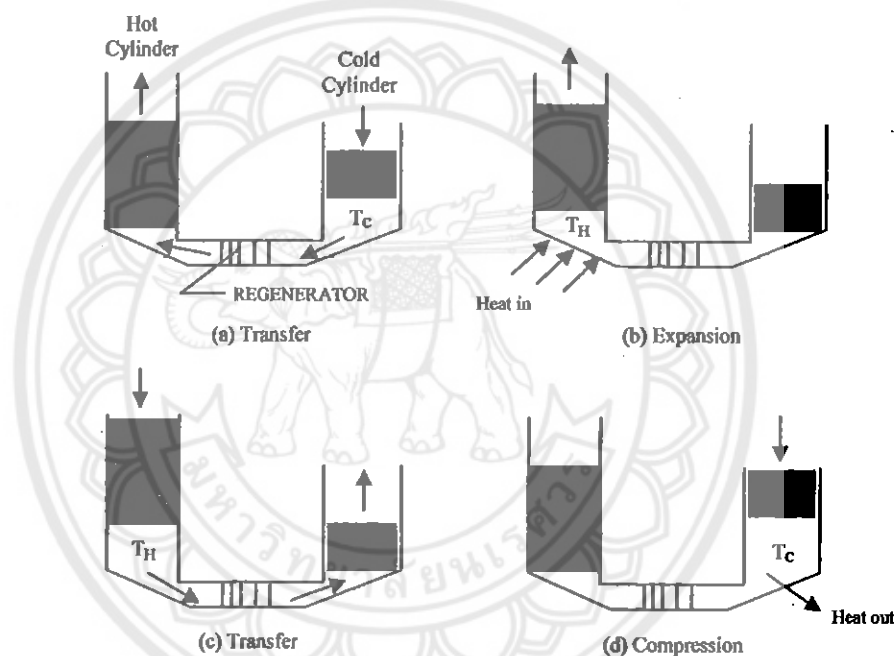
เครื่องจักรความร้อนแบบสเตอร์ลิง (stirling heat engine) เป็นเครื่องจักรประเภทเครื่องยนต์ความร้อนที่มีการสันดาปภายนอก ซึ่งเครื่องจักรความร้อนนั้นเป็นเครื่องจักรที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกลหรืองานได้อย่างต่อเนื่อง งานจะถูกผลิตขึ้นมาเมื่อเครื่องยนต์ (engine) ได้รับความร้อน เครื่องจักรก็จะเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกลออกมา ตัวอย่างของเครื่องจักรความร้อนคือ เครื่องจักรไอน้ำที่เคลื่อนไหวได้ (steam locomotive engine) พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาถ่านหินและไม้จะให้น้ำในหม้อต้มเดือดและได้ไอน้ำที่มีความดันสูง จากนั้นไอน้ำจะทำงานโดยขยายตัวภายในกระบอกสูบและดันลูกสูบเป็นวัฏจักรทำให้ล้อหมุนได้จากการเคลื่อนที่ของลูกสูบหลังการใช้ไอน้ำแล้วจะยังเหลือความร้อนอยู่เล็กน้อย จึงจำเป็นที่จะต้องมีการพ่นควันออกมาทางปล่องไฟ เพื่อทำให้ห้องรับไอน้ำ (steam) สะอาดและพร้อมรับไอน้ำที่มีความดันมากขึ้นเข้ามาในกระบอกสูบอีกครั้ง

2.3 ลักษณะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

รูปร่างภายนอกของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือการจัดเรียงแบบแอลฟา (alpha), เบต้า (beta) และแกมมา (gamma)

2.3.1 รูปร่างแบบแอลฟา (alpha configuration)

เครื่องยนต์แอลฟา (alpha engine) เป็นลักษณะของเครื่องยนต์ที่มีลูกสูบ (piston) 2 ตัว ซึ่งถูกเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมโดยมีรีเจนเนอเรเตอร์ (regenerator) อยู่ระหว่างกลาง



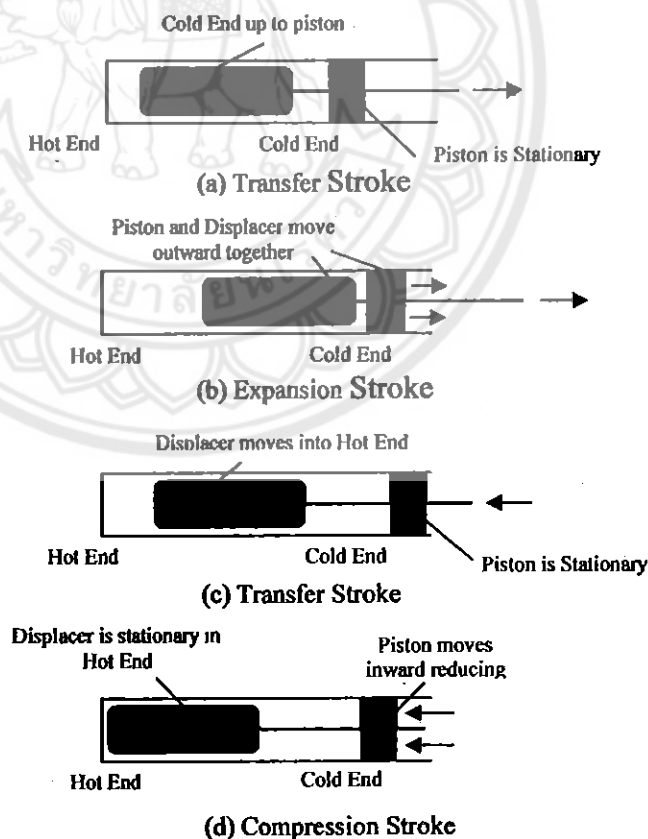
รูปที่ 2.2 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบทั้ง 2 ตัว
ในเครื่องยนต์แอลฟา (alpha engine)

รูปที่ 2.2 (a) เป็นระยะเริ่มต้นของจังหวะการถ่ายเทลูกสูบด้านเย็น (cold piston) จะเคลื่อนที่เข้ามา ในขณะที่ลูกสูบด้านร้อน (hot piston) เคลื่อนที่ออกไป อากาศจะถูกผลักดันผ่านช่องทางเชื่อมต่อที่มีรีเจนเนอเรเตอร์อยู่ และเคลื่อนผ่านไปยังด้านร้อนในขณะเริ่มต้นจะพบว่า อากาศภายในเครื่องยนต์ส่วนมากจะอยู่ในทรงกระบอกด้านเย็น เมื่อเวลาผ่านไปอากาศส่วนมากจะย้ายไปอยู่ที่ทรงกระบอกด้านร้อน (hot cylinder) ที่ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงกว่า รูปที่ 2.2 (b) เป็นจังหวะการขยายตัว (expansion stroke) ลูกสูบด้านร้อนจะยังคงเคลื่อนที่ออกไป และในขั้นตอนนี้จะมีการดูดความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนภายนอกอีกด้วย จากนั้นในรูปที่ 2.2 (c) ลูกสูบทั้ง 2

ตัวจะเคลื่อนที่อีกครั้ง โดยลูกสูบด้านร้อนจะเคลื่อนที่เข้ามา ในขณะที่ลูกสูบด้านเย็นเคลื่อนที่ออกไปโดยอากาศในด้านร้อนจะถูกผลักดันผ่านรีเจนเนอเรเตอร์ไปยังด้านเย็น ในที่สุดวัฏจักรจะสมบูรณ์ โดยการเคลื่อนที่เข้าของลูกสูบด้านเย็นดังรูปที่ 2.2 (d) ในจังหวะการอัดตัวเป็นการเริ่มต้นวัฏจักรอีกครั้ง โดยลูกสูบจะเคลื่อนที่ได้ประมาณครึ่งทาง จากนั้นจะมีการปล่อยความร้อนออกมาในขั้นตอนนี้ด้วยเพื่อให้อากาศภายในเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำลงจะเห็นได้ว่าเครื่องยนต์ลักษณะนี้เป็นเครื่องยนต์ที่มีรูปร่างที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย แต่ก็มีข้อเสียคือ ลูกสูบทั้ง 2 ตัวนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับการผนึกที่ดีเพื่อป้องกันการรั่วไหลของแก๊สที่อยู่ภายใน

2.3.2 รูปร่างแบบเบต้า (beta configuration)

เครื่องยนต์เบต้า (beta engine) จะมีลักษณะแตกต่างจากเครื่องยนต์แอลฟา คือ เครื่องยนต์เบต้าจะมีลูกสูบ (piston) 1 ตัว และตัวแทนที่ (displacer) 1 ตัว เพื่อใช้ในการแทนที่อากาศภายใน ในขณะที่ปริมาตรคงที่โดยเคลื่อนที่ไปมาระหว่างพื้นที่การขยายตัว (expansion Space) และพื้นที่การอัดตัว



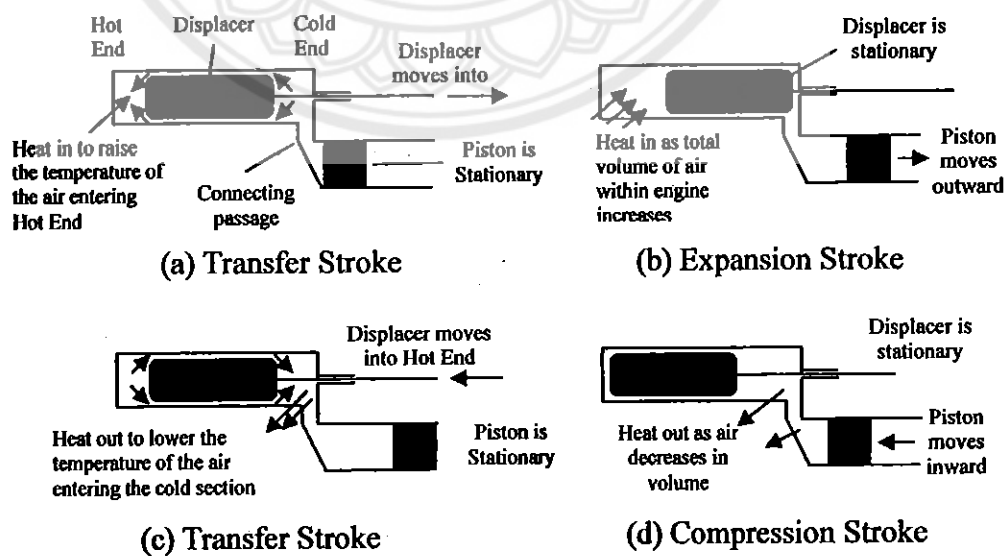
รูปที่ 2.3 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุคมคติของลูกสูบและตัวแทนที่
ในเครื่องยนต์เบต้า (beta engine)

รูปที่ 2.3 (a) คิวแทนที่ (displacer) จะเคลื่อนที่เข้าไปหาลูกสูบ (piston) ที่อยู่ด้านปลายเย็น ทำให้อากาศถ่ายเทไปยังปลายร้อนส่งผลให้อากาศมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น จากนั้นเป็นจังหวะ ขยายตัวดังแสดงในรูปที่ 2.3 (b) โดยคิวแทนที่และลูกสูบจะเคลื่อนที่ออกไปพร้อมกันในการ ขยายตัวทำให้อากาศยังคงอยู่ที่ปลายร้อนและรักษาอุณหภูมิและความดันไว้ให้สูงมากเท่าที่สามารถ ทำได้จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ออกไปจนถึงขอบเขตที่จำกัดไว้และไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้อีก และในรูปที่ 2.3 (c) จะเห็นว่าอากาศภายในจะถูกถ่ายเทไปยังด้านปลายเย็นโดยการเคลื่อนที่ของ คิวแทนที่ไปด้านปลายร้อน ในขณะที่ลูกสูบยังอยู่กับที่ ส่งผลให้อุณหภูมิและความดันของอากาศ ลดลง จากนั้นลูกสูบจะเคลื่อนที่ตามเข้ามาในจังหวะการอัดตัวดังรูปที่ 2.3 (d) หลังจากลดปริมาตร ลงประมาณครึ่งหนึ่งแล้ว วัฏจักรก็พร้อมที่จะเริ่มวนซ้ำใหม่อีกครั้ง

จะเห็นว่าเครื่องชนิดลักษณะนี้เป็นเครื่องชนิดที่การขยายตัวสามารถเกิดได้มากขึ้นใน ส่วนที่ร้อนหรือส่วนที่มีความดันสูงกว่า ซึ่งก็เป็นข้อดีของเครื่องชนิดเบต้า แต่ข้อเสียคือการต่อ กลไกขับเคลื่อนมีความซับซ้อนมาก และหนึ่งในความซับซ้อนนั้นก็คือ ความจำเป็นที่จะต้องมี ตัวเชื่อมต่อระหว่างคิวแทนที่และลูกสูบ

2.3.3 รูปร่างแบบแกมมา (gamma configuration)

เครื่องชนิดแกมมา (gamma engine) เป็นเครื่องชนิดที่มีคิวแทนที่ (displacer) และลูกสูบ (piston) เช่นเดียวกับเครื่องชนิดเบต้า แตกต่างกันตรงที่เครื่องชนิดแกมมานั้นใช้ทรงกระบอกที่แยก ออกจากกัน ในขณะที่เครื่องชนิดเบต้าใช้ทรงกระบอกร่วมกัน

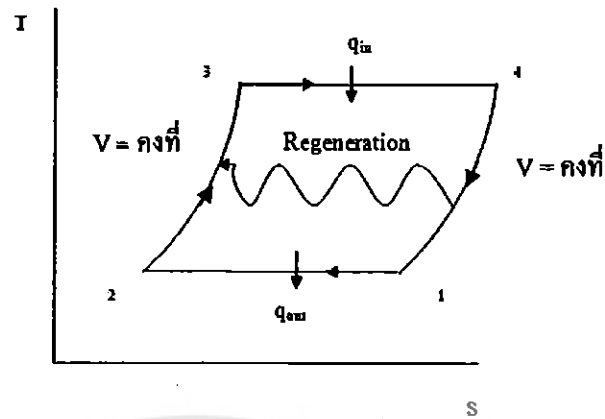


รูปที่ 2.4 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบและคิวแทนที่
ในเครื่องชนิดแกมมา (gamma engine)

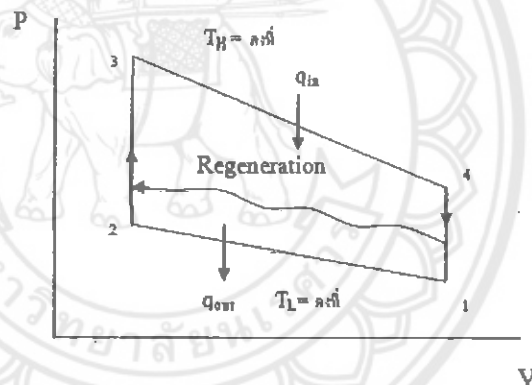
รูปที่ 2.4 (a) เริ่มที่ลูกสูบ (piston) จะอยู่ด้านในมากที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ ในขณะที่ตัวแทนที่ (displacer) จะเคลื่อนที่จากปลายร้อนไปสู่ปลายเย็นโดยจะมีอากาศบางส่วนอยู่ในช่องทางเชื่อมสั้นๆ และบางส่วนอยู่รอบๆ ตัวแทนที่แต่อากาศส่วนมากจะอยู่ด้านปลายร้อนจึงส่งผลให้อุณหภูมิและความดันของมันสูงขึ้นเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับจังหวะการขยายตัวของลูกสูบ (expansion stroke of the piston) ดังรูปที่ 2.4 (b) ตัวแทนที่จะอยู่นิ่งกับที่ในด้านปลายเย็น ในขณะที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ออกไปเนื่องจากความดันภายในที่สูงขึ้น ในระยะเริ่มต้นของจังหวะการขยายตัว (expansion stroke) อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องยนต์จะสูงมาก นั่นคืออากาศส่วนมากจะอยู่ที่ปลายร้อน เมื่อเกิดการขยายตัวอากาศบางส่วนจะเคลื่อนตัวไปยังปลายเย็น ขั้นตอนนี้จะยังคงดำเนินไปจนกระทั่งความดันภายในทรงกระบอกลดลงเท่ากับความดันบรรยากาศ จากนั้นอากาศที่อยู่ในปลายร้อนก็จะถูกถ่ายเทไปยังปลายเย็น โดยการเคลื่อนที่ของตัวแทนที่ดังรูปที่ 2.4 (c) โดยให้พิจารณาว่าลูกสูบอยู่นิ่งกับที่ในขั้นตอนนี้ ผลที่เกิดขึ้นก็คืออากาศภายในทรงกระบอกมีอุณหภูมิลดลงและมีความดันลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศ จากนั้นลูกสูบจะเคลื่อนที่เข้ามาเนื่องจากอิทธิพลของความดันภายนอกที่สูงกว่าดังรูปที่ 2.4 (d) ถ้าให้อากาศภายในถูกอัดตัว เป็นผลให้ความดันเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งความดันมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ จากนั้นวัฏจักรก็จะเริ่มวนซ้ำอีกครั้ง

จะเห็นได้ว่าข้อเสียของเครื่องยนต์แก๊วมอเตอร์ก็อยู่ในระหว่างกระบวนการขยายตัว (expansion process) การขยายตัวบางส่วนจะเกิดในพื้นที่การอัดตัว (compression space) ส่งผลให้กำลังและงานที่ออกมามีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์เบต้า ในส่วนของข้อดีของเครื่องยนต์แก๊วมอเตอร์ก็คือ ความสะดวกในการมี 2 ทรงกระบอกสูบที่แยกจากกัน ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องผิวก เจาะส่วนของลูกสูบเท่านั้น

วัฏจักรสเตอร์ลิงในอุดมคติ ประกอบด้วย 4 กระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่แปรผันกลับได้ แต่สามารถแสดงเป็นเอกลักษณ์ในส่วนของวัฏจักรหนึ่งกระบวนการอย่างง่าย ๆ ให้เห็นได้ข้างล่างนี้คือชื่อของกระบวนการต่างๆ ที่รวมอยู่ในวัฏจักร โดยจะต้องมีการเคลื่อนไหวยาวกลดตลอด จึงจะเกิดงานออกมาได้ แต่ละกระบวนการจะมีการหมุนวนเป็นวัฏจักรกระทำซ้ำกันไปเรื่อยๆ ตามกำหนด ตำแหน่งของลูกสูบถูกแสดงที่ตำแหน่งสิ้นสุดของแต่ละกระบวนการและได้แสดงแผนภาพ T-S diagram และ P-V diagram แต่ละกระบวนการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 แผนภาพ T-S diagram ของวัฏจักรสเตอร์ลิง [1]



รูปที่ 2.6 แผนภาพ P-V diagram ของวัฏจักรสเตอร์ลิง [1]

ซึ่งจากกระบวนการทั้งหมด สามารถสรุปอย่างง่าย ๆ ได้ดังนี้

กระบวนการ 1-2 เป็นกระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal compression process) โดยการคายความร้อนไปยัง แหล่งพลังรับงานภายนอก

กระบวนการ 2-3 เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงที่ (Isovolumetric heating process)

โดยการถ่ายโอนความร้อนภายในจากรีเจนเนอเรเตอร์ไปยังของไหลทำงาน

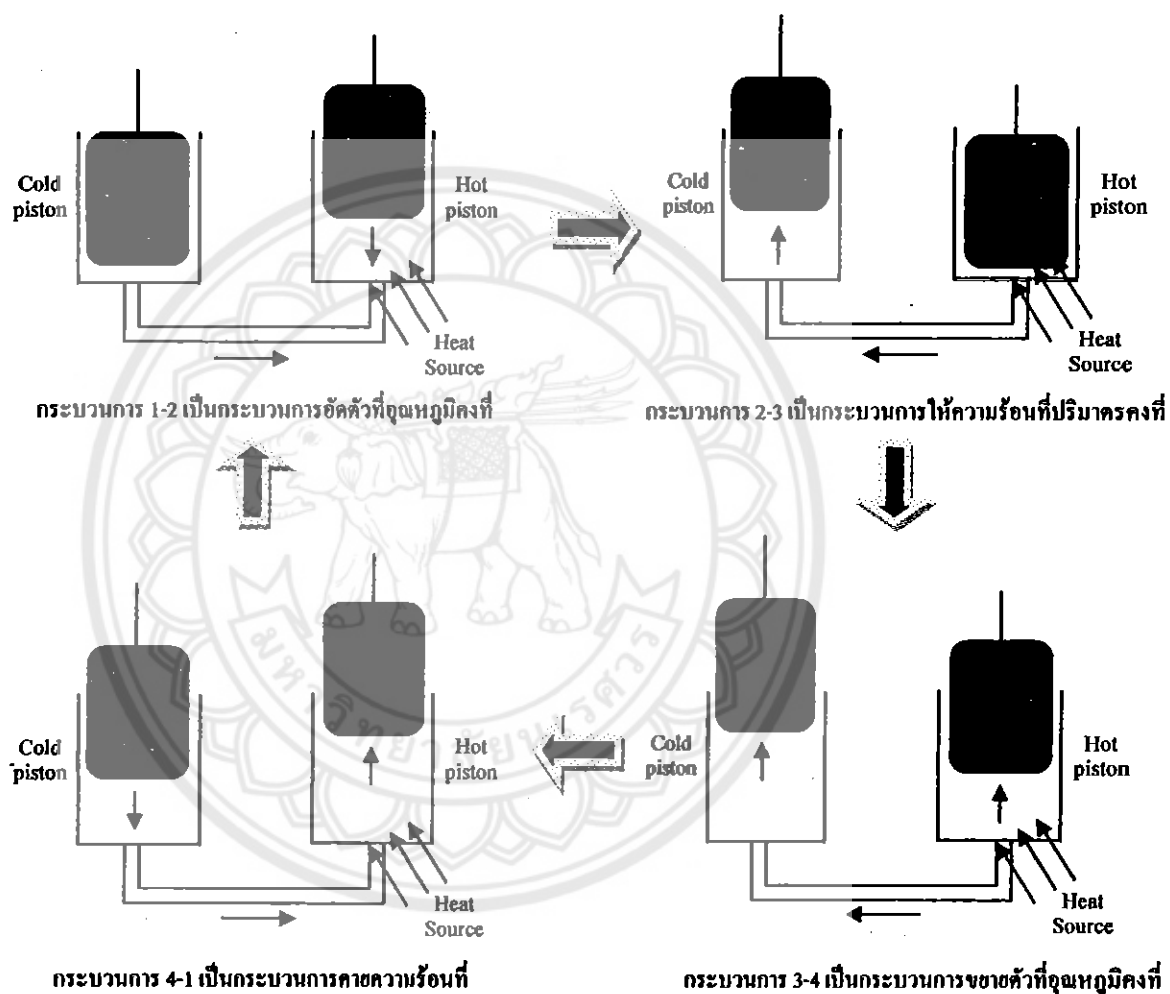
กระบวนการ 3-4 เป็นกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal expansion process) โดยการป้อนความร้อนจาก แหล่งพลังงานภายนอก

กระบวนการ 4-1 เป็นกระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่ (Isovolumetric cooling process)

โดยการถ่ายโอนความร้อนภายในจากของไหลทำงานกลับไปยังรีเจนเนอเรเตอร์

2.4 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

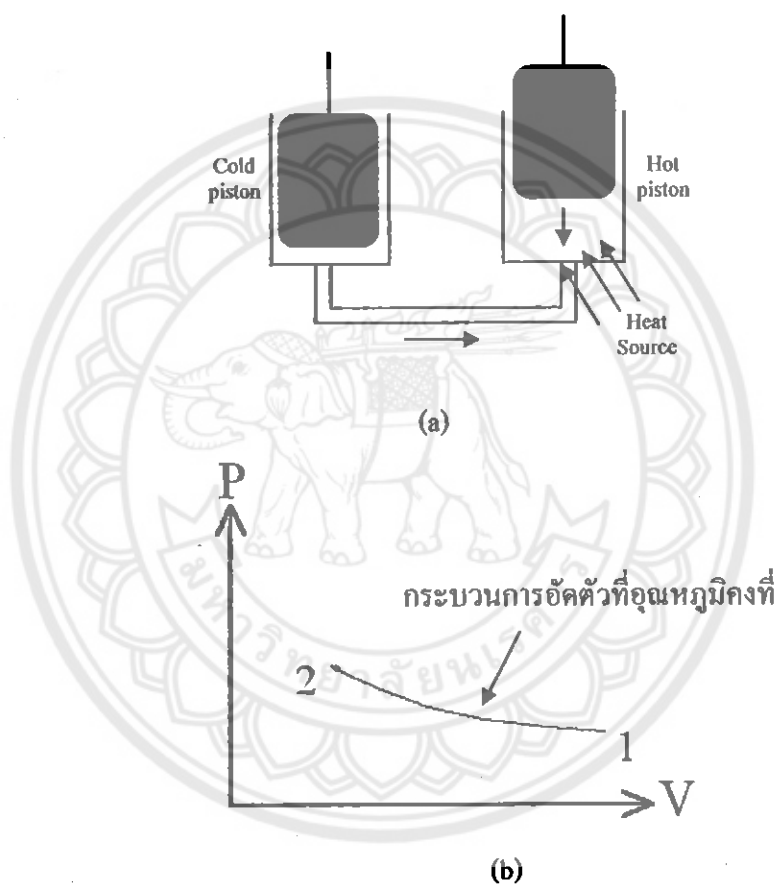
เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบสองลูกสูบจะมี 2 กระบอกสูบ ปลายด้านหนึ่งของกระบอกสูบหนึ่งจะร้อนหรือเรียกว่ากระบอกสูบกำลัง (hot piston) ซึ่งจะร้อนอยู่ตลอดเวลา อีกกระบอกสูบหนึ่งจะเย็นตลอดเวลาหรือเรียกว่ากระบอกสูบไต่ (cold piston) ซึ่งมีลำดับการทำงานอยู่ 4 ขั้นตอนคือ



รูปที่ 2.7 แสดงวัฏจักรสเตอร์ลิง

2.4.1 กระบวนการ 1-2 เป็นกระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่

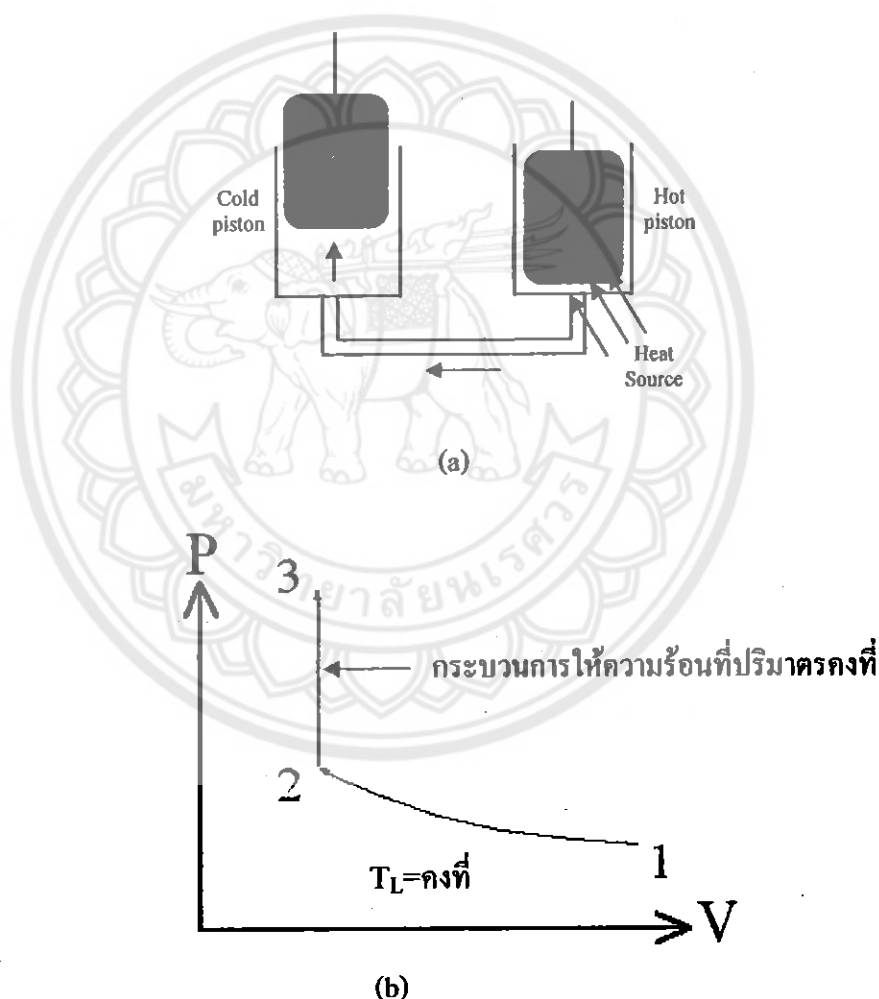
ลูกสูบกำลัง (hot piston) เคลื่อนที่ลงมาอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง โดยกระบอกสูบได้ (cold piston) จะอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุด ทำให้อากาศถูกอัดให้มีปริมาตรที่เล็กลงและระบายความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมด้วยอุณหภูมิคงที่ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการแกนเพลลาจะหมุนไป $\frac{1}{4}$ รอบซึ่งขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal compression process)



รูปที่ 2.8 (a) แสดงตำแหน่งของลูกสูบ (b) แผนภาพ P-V ของกระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่

2.4.2 กระบวนการ 2-3 เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงที่

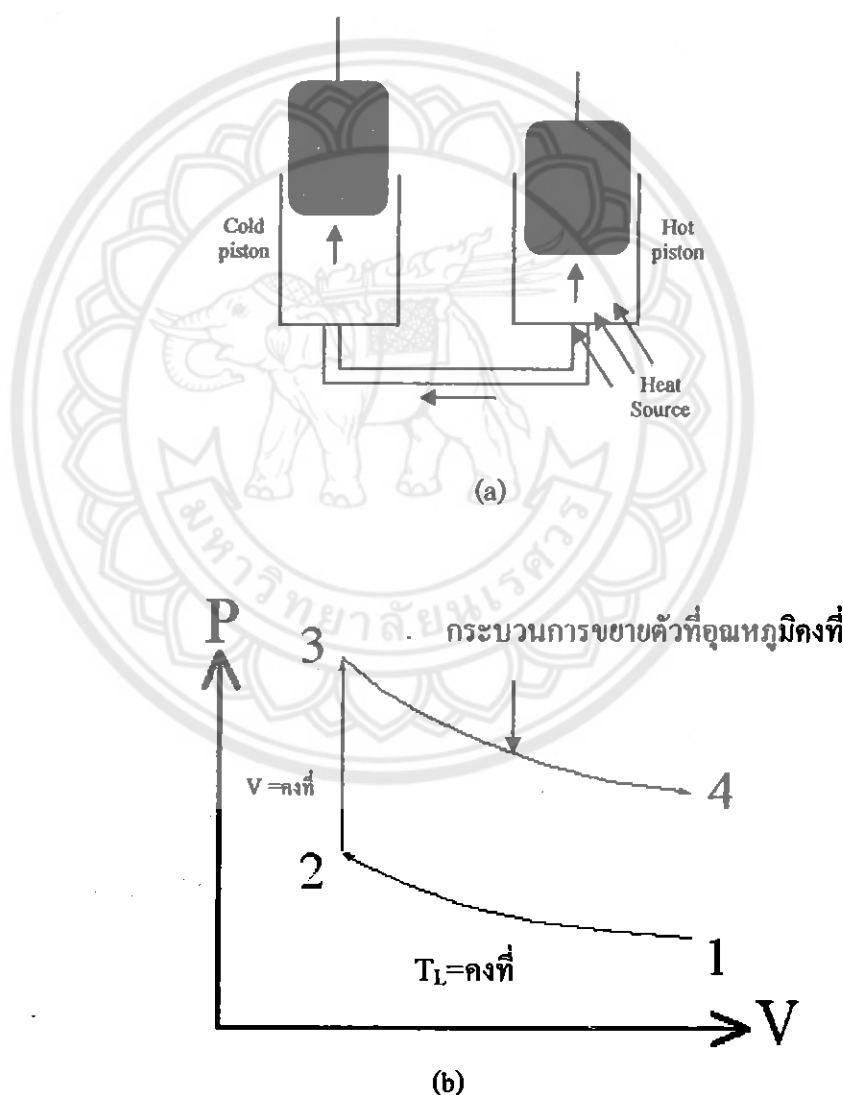
ลูกสูบกำลัง (hot piston) จะเคลื่อนที่ลงจนมาอยู่ในตำแหน่งต่ำสุด ในขณะที่ลูกสูบได้ (cold piston) เคลื่อนที่ขึ้นไปที่ตำแหน่งกึ่งกลางทำให้ปริมาตรอากาศคงที่ และเป็นกระบวนการที่รีเจนเนอเรเตอร์ถ่ายโอนความร้อนให้แก่อากาศ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงที่ (Isovolumetric heating process) โดยแกนของเพล่าจะหมุนไปอีก $\frac{1}{4}$ รอบ รวมกันเป็น $\frac{1}{2}$ รอบและแกนหมุนของเพลามีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา



รูปที่ 2.9 (a) แสดงตำแหน่งของลูกสูบ (b) แผนภาพ PV ของกระบวนการให้ความร้อนคงที่

2.4.3 กระบวนการ 3-4 เป็นกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่

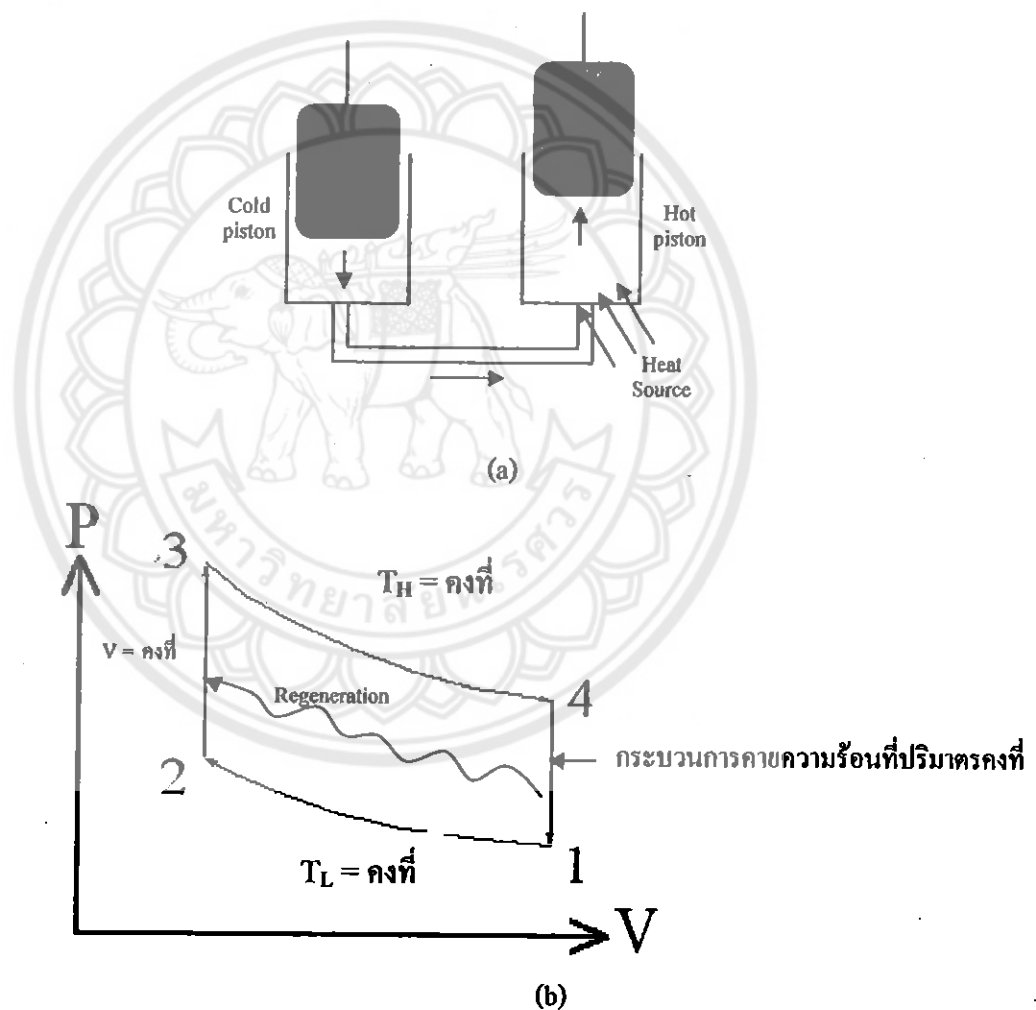
ในกระบวนการนี้ลูกสูบกำลังจะเคลื่อนที่ขึ้นไปอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางและลูกสูบใต้จะเคลื่อนที่ขึ้นไปอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุด ทำให้ปริมาตรอากาศเพิ่มขึ้นเนื่องจากอากาศได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ เกิดแรงดันลูกสูบกำลัง (hot piston) เคลื่อนที่ขึ้นข้างบน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการแกนวเลาะจะหมุนไปอีก $\frac{1}{4}$ รอบ มาถึงกระบวนการนี้แกนวเลาะจะหมุนรวมทั้งหมด $\frac{3}{4}$ รอบ และเป็นกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal expansion process)



รูปที่ 2.10 (a) แสดงตำแหน่งของลูกสูบ (b) แผนภาพ PV ของกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่

2.4.4 กระบวนการ 4-1 เป็นกระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่

ลูกสูบกำลัง (hot piston) จะเคลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุดและลูกสูบไต่ (cold piston) เคลื่อนที่ลงมาอยู่ที่ตำแหน่งตรงกลางทำให้อากาศมีปริมาตรคงที่ ทำให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านรีเจนเนอเรเตอร์และคายความร้อนให้กับรีเจนเนอเรเตอร์ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิและความดันลดลง เป็นกระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่ (Isovolumetric cooling process) เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ แกนเพลตจะหมุนครบ 1 รอบและการทำงานจะครบ 4 วัฏจักรอย่างสมบูรณ์ เมื่อลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ลงมาอีกครึ่งรอบจะเป็นการเริ่มต้นของวัฏจักรใหม่



รูปที่ 2.11 (a) แสดงตำแหน่งของลูกสูบ (b) แผนภาพ P-V ของกระบวนการคายความร้อนที่ปริมาตรคงที่

ผลของวัฏจักรสเตอร์ลิง คือ เครื่องยนต์รับความร้อน (q_H) ที่แหล่งอุณหภูมิสูงและคายความร้อน (q_L) ที่แหล่งอุณหภูมิต่ำและทำให้ได้งานสุทธิ

$$|w| = |q_H| - |q_L| \quad [5]$$

โดยที่

q_H คือ ปริมาณความร้อนที่ป้อนจากแหล่งพลังงานภายนอก, W

q_L คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนสู่สิ่งแวดล้อม, W

ด้วยเหตุผลที่รีเจนเนอเรเตอร์ที่มีประสิทธิภาพเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตัวรีเจนเนอเรเตอร์อาจจะเป็นเส้นลวดหรือตะแกรงเซรามิกหรือวัสดุที่มีรูพรุนชนิดอื่นๆซึ่งมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนได้สูง ตัวรีเจนเนอเรเตอร์ถูกใช้สำหรับกักเก็บพลังงานความร้อนชั่วคราว ความร้อนที่ถ่ายเทให้แก่สารทำงานในกระบวนการที่ 2-3 ทั้งหมดจึงได้มาจากความร้อนที่ถ่ายเทออกจากสารทำงานในกระบวนการ 4-1 [5] ดังนั้นความร้อนจากภายนอกทั้งหมดที่ถ่ายเทให้สารทำงาน (กระบวนการ 3-4) และความร้อนที่สารทำงานถ่ายเททิ้งให้สิ่งแวดล้อม (กระบวนการ 1-2) จึงเกิดที่กระบวนการที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรสเตอร์ลิงจะมีค่าเท่ากับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของคาร์โนต์และวัฏจักรอริกส์สัน กล่าวคือ

$$\eta_{th, \text{stirling}} = \eta_{th, \text{Ericson}} = \eta_{th, \text{Carnot}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad [1]$$

โดยที่

T_L คือ อุณหภูมิที่แหล่งสะสมพลังงานอุณหภูมิต่ำ, K

T_H คือ อุณหภูมิที่แหล่งสะสมพลังงานอุณหภูมิสูง, K

ส่วนประกอบและหน้าที่ที่สำคัญของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีดังต่อไปนี้

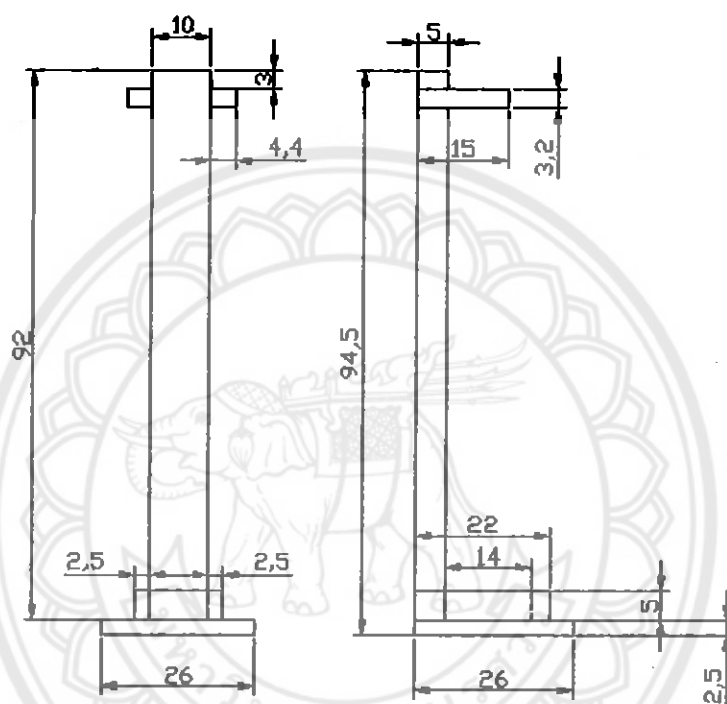
1. กระจกสูบ ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกสูบ
2. ลูกสูบ ทำหน้าที่เคลื่อนที่ขึ้นลงภายในกระบอกสูบและรับแรงดันจากอากาศที่ได้รับ ความร้อนและส่งกำลังไปที่แกนเพลลาโดยผ่านก้านลูกสูบ
3. ก้านลูกสูบ ทำหน้าที่ส่งกำลังจากลูกสูบไปยังแกนเพลลา
4. แกนเพลลา ทำหน้าที่ยึดล้อช่วยแรง (Fly wheel) และส่งกำลังจากก้านสูบไปยังล้อช่วยแรง
5. ล้อช่วยแรง ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยเริ่มต้นในการหมุนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
6. ท่อทองแดง ทำหน้าที่เป็นทางส่งผ่านการเคลื่อนที่ของอากาศ
7. โครงไม้ ทำหน้าที่ยึดชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์
8. จุกยาง ทำหน้าที่เป็นตัวยึดช่องระบายน้ำ เมื่อน้ำเกิดการแข็งภายในท่อ และทำให้ระบบอยู่ในระบบปิด

3.2 วัสดุอุปกรณ์

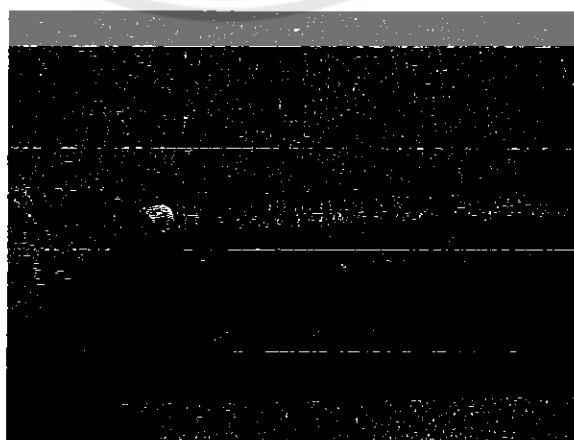
1. กระจกที่ผลิตจากสังกะสีหรืออลูมิเนียม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม.
2. กระจกน้ำอัดลม
3. เหล็กวงกลมยาว 40 ซม.
4. ท่อทองแดง ข้องอ ขนาด 1.9 ซม.
5. ท่อทองแดง ขนาด 1.9 ซม. ยาว 45 ซม.
6. ท่อทองแดง 3 ทาง ขนาด 1.9 ซม.
7. ไม้สี่เหลี่ยม ขนาด 10x5 ซม. ยาว 106 ซม.
8. ไม้สี่เหลี่ยม ขนาด 2.5x5 ซม. ยาว 44 ซม.
9. ไม้สี่เหลี่ยม ขนาด 26x26 ซม. หนา 2.5 ซม.
10. ไม้สี่เหลี่ยม ขนาด 4,2x3,2 ซม. ยาว 31,6 ซม.
11. ไม้ทรงกระบอก ขนาด 0.8 ซม.
12. ล้อช่วยแรงทำจากไม้วงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม.

3.3 การเตรียมชิ้นงาน

3.3.1 การวัดขนาดชิ้นงาน เป็นการร่างขนาดชิ้นงานลงบนชิ้นงานตามขนาดและรูปร่างตามที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 3.2 การออกแบบโครงไม้



รูปที่ 3.3 แสดงการวัดขนาดชิ้นงาน

3.3.2 การตัดชิ้นงาน การใช้เลื่อยตัดเหล็กในการตัดแกนเพลลา ท่อทองแดง และใช้เลื่อยในการตัดไม้



รูปที่ 3.4 แสดงการตัดชิ้นงาน

3.3.3 การตัดชิ้นงาน โดยใช้ปากกาจับชิ้นงานให้แน่นแล้วใช้ค้อนทำการตีแกนเหล็กเพื่อตัดแกนเพลลาให้ได้รูปตามต้องการ



รูปที่ 3.5 แสดงการตัดชิ้นงาน

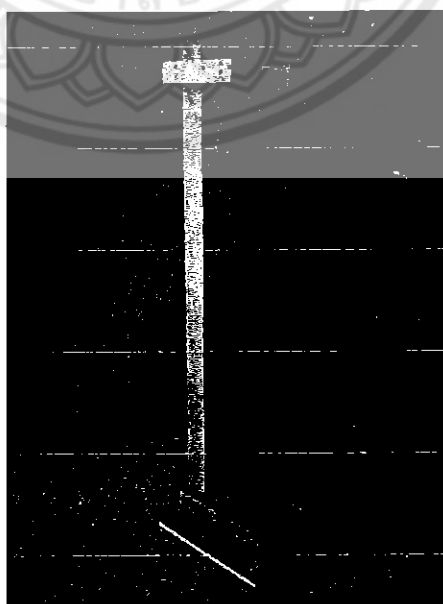
3.3.4 การเจาะรูชิ้นงาน ทำการเจาะรูชิ้นงานด้วยสว่านในส่วนของท่านไม้



รูปที่ 3.6 แสดงการเจาะรูชิ้นงาน

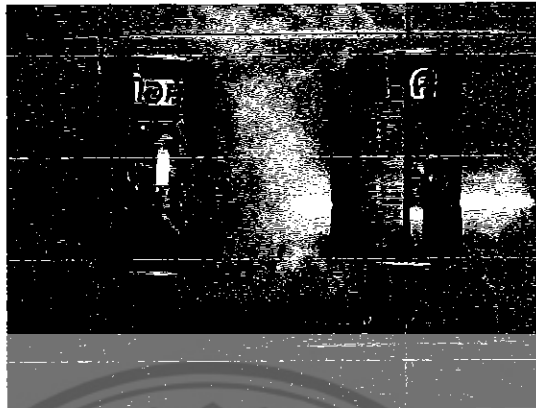
3.4 ขั้นตอนการประกอบชิ้นงาน

3.4.1 ประกอบโครงไม้โดยนำไม้ที่เตรียมไว้มาประกอบกัน ดังรูป 3.7



รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบโครงไม้

3.4.2 นำท่อทองแดงแต่ละชิ้นประกอบกัน โดยการเชื่อมด้วยเงิน



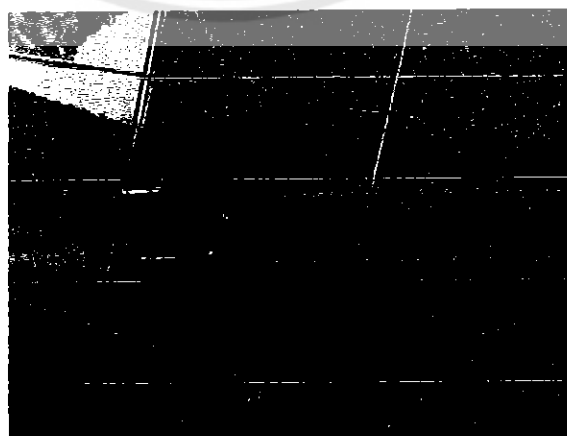
รูปที่ 3.8 ส่วนประกอบท่อทองแดง

3.4.3 นำกระป๋องโลหะมาเจาะรูที่ตรงกลางกันกระป๋องแล้วนำท่อทองแดงขนาด 12.5 ซม. สวมกับกระป๋องแล้วเชื่อมด้วยเงินเสร็จแล้วนำไปประกอบเข้ากับท่อทองแดงที่ประกอบไว้ในข้อ 3.4.2

3.4.4 การทำกระบอกลูกสูบ โดยนำกระป๋องน้ำอัดลมมาตัดส่วนบนของกระป๋องออกทั้งสองกระป๋อง

3.4.5 เจาะรูที่ก้นกระป๋องน้ำอัดลมขนาด 0.8 ซม.

3.4.6 นำกระป๋องน้ำอัดลมมาประกอบกับแกนไม้ โดยใช้กาว epoxy เป็นตัวเชื่อม ดังรูป 3.9



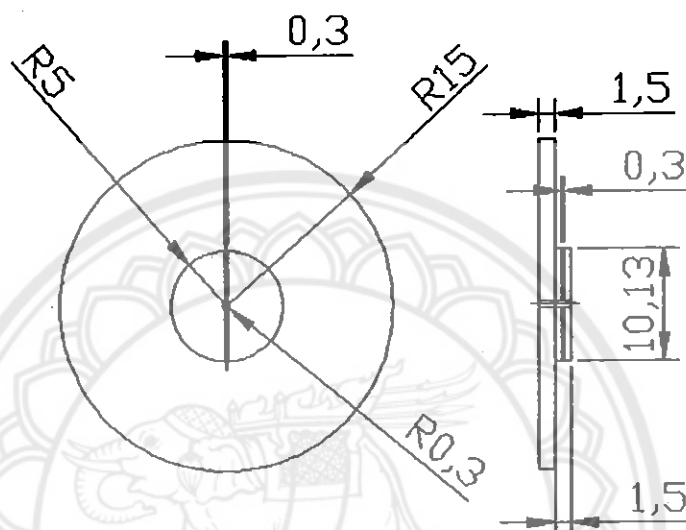
รูปที่ 3.9 การประกอบลูกสูบกับแกนสูบ

3.4.7 นำสายไฟขดให้เป็นวงกลมขนาดใหญ่มากกว่าแกนเพลาล็กน้อย แล้วนำไปติดที่ปลายอีก

ด้านของแท่งไม้โดยใช้กาว Epoxy เป็นตัวเชื่อม

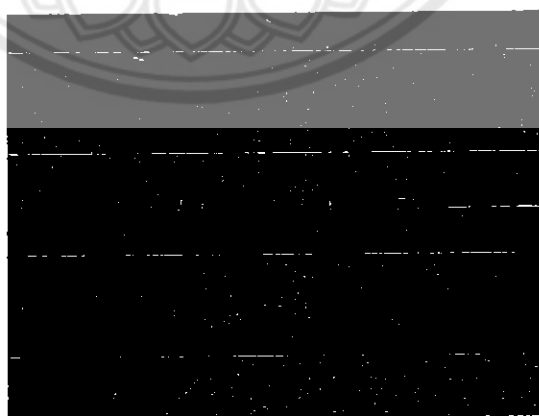
3.4.8 ตัดไม้ให้เป็นลักษณะวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. เพื่อนำมาทำเป็นล้อ

ช่วยแรง พร้อมทั้งเจาะรูตรงกลางขนาดเท่ากับแกนเพลาดังรูป 3.11



รูปที่ 3.10 การออกแบบล้อช่วยแรง

3.4.9 นำเหล็กกลมมาตีขึ้นรูป ดังรูป 3.11



รูปที่ 3.11 เพลาลเหล็กวงกลม

15094264 e.2

5200087

3.4.11 นำชิ้นส่วนที่เตรียมไว้มาประกอบกัน ดังรูป



ป/ร
ช/ร
2551

รูปที่ 3.12 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ประดิษฐ์ได้จริง

3.5 ขั้นตอนการทดสอบเครื่อง

- 3.5.1 ทดสอบการหมุน โดยใช้แก๊ส LPG เป็นตัวให้ความร้อน โดยจะทำการให้ความร้อนเพียงกระป๋องด้านเดียว ทำให้อุณหภูมิของกระป๋องที่ได้รับความร้อนนั้นเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จากนั้นก็ให้ความเร็วเริ่มต้นในการหมุน
- 3.5.2 ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำในกระบอกสูบกำลังและกระบอกสูบไล่ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์เป็นตัววัด ณ เวลาต่างๆตามตาราง 3.1
- 3.5.3 ทำการวัดความเร็วรอบของล้อช่วยแรงโดยใช้สายคาตาสังเกตความเร็วรอบและใช้นาฬิกาเป็นเครื่องมือจับเวลา
- 3.5.4 นำข้อมูลที่ได้มาบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ข้อกำหนดในการทดลอง

การวัด	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด	เวลา (นาที)	จำนวนครั้ง ในการทดลอง
อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์, นาฬิกาจับเวลา		
กระบอกสูบกำลัง (°C)		ทุกๆ 3 นาที	3
กระบอกสูบไล่ (°C)		ทุกๆ 3 นาที	3
การวัดความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	สายคา, นาฬิกาจับเวลา	ทุกๆ 3 นาที	3

*หมายเหตุ ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้เวลาทั้งหมด 30 นาที

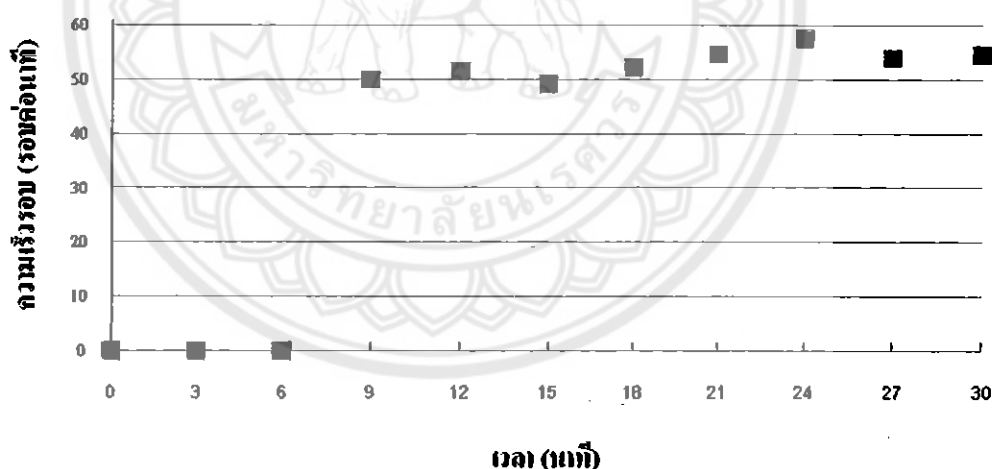
บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากขั้นตอนการทดลองในการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องชนิดสเตอร์ลิงจะ ได้ข้อมูลดัง ตาราง ก.1 ตาราง ก.2 และตาราง ก.3 จากภาคผนวก ก ซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูล ดังต่อไปนี้คือ อุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง (hot plston), อุณหภูมิกระบอกสูบไต้ (cold plston) และความเร็วรอบ ซึ่งจะใช้ข้อมูลของผลต่างของอุณหภูมิของกระบอกสูบ ไปคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อน ของเครื่องยนต์

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับเวลา

ผลการทดลอง ตาราง ก.4 จากภาคผนวก ก นำมาสร้างเป็นกราฟเพื่อให้เห็นแนวโน้มของ ความเร็วรอบเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น จะได้ดังรูปที่ 4.1



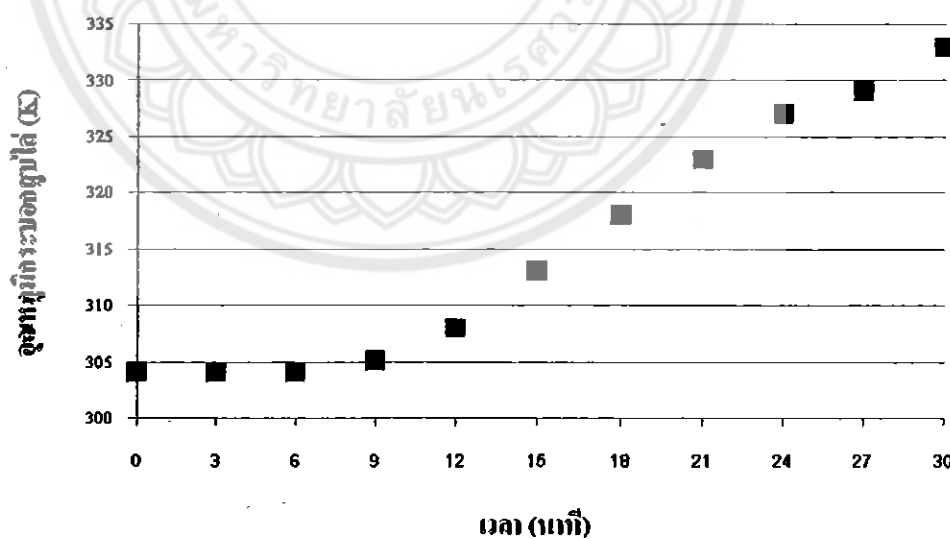
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วรอบ

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปเครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่ง ในช่วงแรกของการทดลองเครื่องยนต์ยังไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากงานที่จะเอาชนะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นนั้นยังมีไม่เพียงพอ แต่หลังจากที่ให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องจะพบว่า เมื่อทำการให้แรง แก่เครื่องยนต์ เครื่องยนต์ก็สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

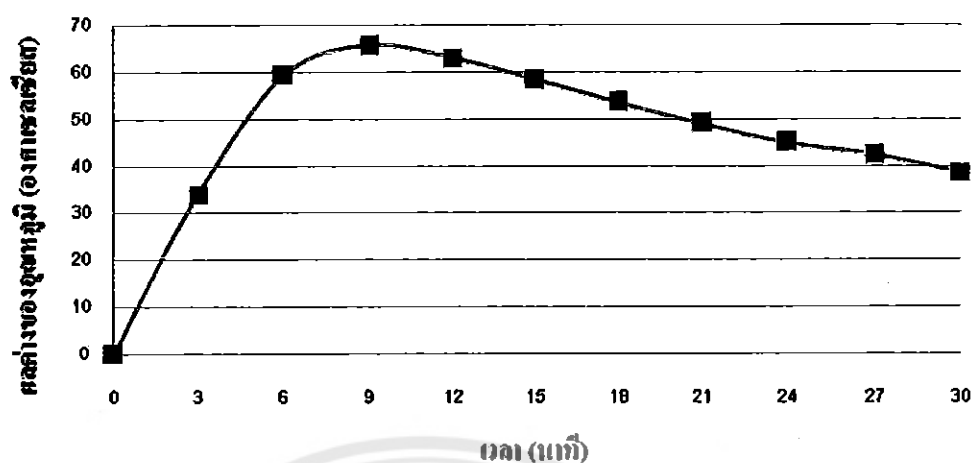
จากผลการทดลองดังตาราง ก.4 จากภาคผนวก ก เมื่อนำมาสร้างเป็นกราฟ เพื่อต้องการเห็น
 ความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกระบอกสูบกำลัง อุณหภูมิของกระบอกสูบได้และความเร็วรอบเมื่อ
 เวลาผ่านไป ซึ่งจะได้ดังรูปที่ 4.2 ถึง รูปที่ 4.5



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง (T_H)

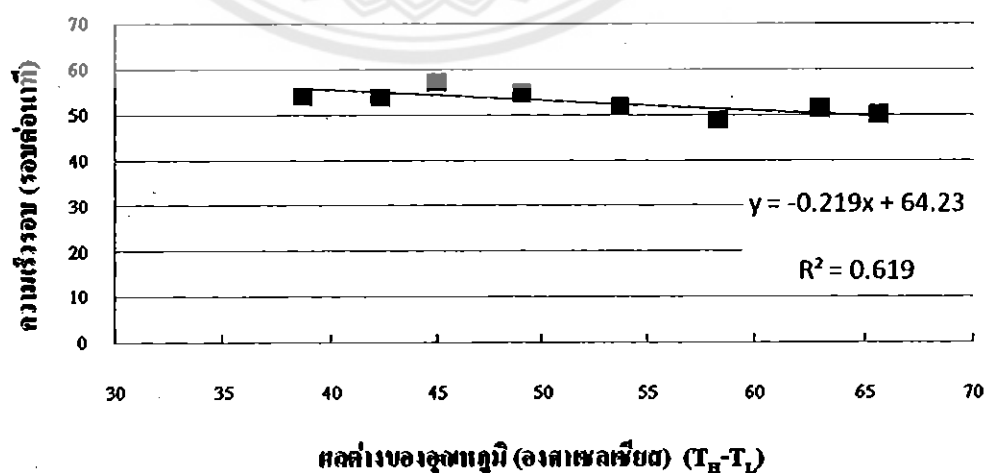


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกระบอกสูบได้ (T_L)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและผลต่างของอุณหภูมิ ($T_H - T_L$)

จากรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ในช่วงที่เครื่องยนต์ยังไม่ทำงานนั้นอุณหภูมิของกระบอกสูบกำลังจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะว่าเป็นช่วงที่มีการให้ความร้อนแก่กระบอกสูบกำลัง ส่วนอุณหภูมิของกระบอกสูบไต้ยังมีค่าคงที่ เนื่องจากยังไม่มี การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้น จึงทำให้ผลต่างของอุณหภูมินั้นมีค่าสูงขึ้นจนถึงนาทีที่ 9 ซึ่งเป็นจุดที่อุณหภูมิของกระบอกสูบกำลังนั้นเริ่มเป็นค่าคงที่ แต่อุณหภูมิของกระบอกสูบไต้ยังมีค่าเท่าเดิม จึงทำให้ผลต่างของอุณหภูมินั้นมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นเมื่อเครื่องยนต์เริ่มทำงานจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของกระบอกสูบกำลังยังคงที่อยู่ แต่อุณหภูมิของกระบอกสูบไต้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ผลต่างของอุณหภูมินั้นมีค่าลดลง



รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของอุณหภูมิและความเร็วรอบ

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าเมื่อผลต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความเร็วรอบมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากในขณะที่น้ำเดือดนั้นน้ำมีปริมาณที่สูงขึ้นจึงทำให้เกิดการไหลเข้ามาภายในท่อ ซึ่งส่งผลกระทบต่อกำลังของอากาศที่จะไปดันให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ได้ลดน้อยลง

4.2 ผลการคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

การคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนโดยใช้ผลการทดลองเฉลี่ยดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเฉลี่ย

เวลา (นาท)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
อุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง (K)	304	338	363	371	371	371	372	372	372	372	372
อุณหภูมิกระบอกสูบไต่ (K)	304	304	304	305	308	313	318	323	327	329	333

คำนวณค่าประสิทธิภาพทางความร้อนได้จาก $\eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$

ตัวอย่าง การคำนวณค่าประสิทธิภาพทางความร้อน

ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนในนาที่ที่ 12

อุณหภูมิกระบอกสูบกำลังเท่ากับ 371 K

อุณหภูมิกระบอกสูบไต่เท่ากับ 308 K

จากสมการ

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

แทนค่า

$$\eta_{th} = 1 - \frac{308}{371}$$

$$\eta_{th} = 1 - 0.83$$

$$\eta_{th} = 0.17$$

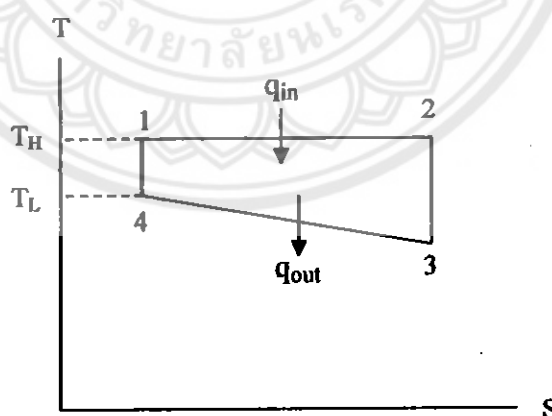
เพราะฉะนั้นจะได้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนในนาที่ที่ 12 เท่ากับ 0.17 หรือ 17%

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพทางความร้อน

เวลา (นาที)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
อุณหภูมิกระบอก สูบกำลัง (K)	304	338	363	371	371	371	372	372	372	372	372
อุณหภูมิกระบอก สูบไต้ (K)	304	304	304	305	308	313	318	323	327	329	333
ประสิทธิภาพทาง ความร้อน	0	0.1	0.16	0.18	0.17	0.16	0.15	0.13	0.12	0.12	0.1

จากผลการคำนวณจะได้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพทางความร้อนเท่ากับ 0.13 หรือ 13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นประสิทธิภาพทางความร้อนนี้อยู่ในช่วงระยะเวลา 30 นาทีที่ทำการทดลอง

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพค่าสูงสุดที่ 18 เปอร์เซ็นต์ ในนาทีที่ 9 แต่หลังจากนาทีที่ 9 ขึ้นไปจะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพจะลดลง เนื่องจากความร้อนมีการสูญเสียให้กับกระบวนการการกลั่นตัวของไอน้ำ และไม่มีตัวกักเก็บความร้อน (regenerator) ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนที่จะนำกลับมาใช้ในกระบวนการครั้งต่อไปซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนภาพ T - S diagram ของผลการทดลองเฉลี่ยโดยประมาณ

รูปที่ 4.6 จะแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของกระบอกสูบไต้แต่อุณหภูมิของกระบอกสูบกำลังจะมีค่าคงที่ซึ่งจะทำให้มีผลต่างของอุณหภูมิที่ลดลงและส่งผลให้แนวโน้มของค่าประสิทธิภาพทางความร้อนลดลง

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการสร้างแบบจำลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิง และทำการทดสอบการหมุนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเมื่อให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์สามารถทำงานได้ ซึ่งความเร็วรอบที่ได้จากการทดลองจะมีค่าอยู่ในช่วง 52-57 รอบ/นาที โดยความเร็วรอบนั้นจะลดลงเล็กน้อย เมื่อผลต่างของอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพทางความร้อนมีค่าเท่ากับ 14 ± 4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีก 86 เปอร์เซ็นต์นั้นเกิดจากการสูญเสียพลังงานความร้อนระหว่างในกระบวนการ ซึ่งเกิดจากการที่น้ำเข้าไปในท่อ ไอน้ำร้อนที่ไหลผ่านท่อจะทำให้ไอน้ำเกิดการกลั่นตัว ส่งผลให้ปริมาณการไหลของไอน้ำ แรงดันของไอน้ำที่ใช้ในการดันกระบอกสูบ และการถ่ายเทพลังงานจะลดน้อยลง ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่กล่าวว่า ความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายโอนความร้อนมาจากแหล่งส่งความร้อนจะไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นงานได้ทั้งหมด เพราะจะเกิดความร้อนหรือพลังงานที่สูญเสียภายในระบบ และเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงประเภทอื่นๆ เช่น เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีลูกสูบกำลังขนาด 9.7 cc และ Displacer ขนาด 387.9 cc มีอัตราส่วนการอัดระหว่าง Displacer และลูกสูบกำลังเป็น 40:1 ใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์เป็นแหล่งให้ความร้อน การทดสอบพบว่าในขณะที่เครื่องยนต์ไริการะมีความเร็วรอบสูงสุด 97.8 rpm โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส และประสิทธิภาพทางความร้อน 15.549 % [9] เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้า โดยใช้กระจกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 11 เมตรจะทำให้อุณหภูมิของจุดโฟกัสเพิ่มขึ้นได้ถึง 720 องศาเซลเซียส และประสิทธิภาพที่ได้ของระบบได้ 29 เปอร์เซ็นต์ [10] ด้วยเหตุนี้สามารถที่จะนำไปใช้เป็นเครื่องต้นแบบของเครื่องยนต์ที่นำไปใช้ในการปั่นไฟฟ้า อย่างไรก็ตามจากเครื่องต้นแบบที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นมีข้อจำกัดที่ว่าค่าประสิทธิภาพที่ได้ค่อนข้างจะต่ำ เนื่องจากเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนไปกับไอน้ำที่กลั่นตัวในท่อส่งอากาศและความไม่เสถียรของอุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง

และกระบอกสูบได้ ทั้งนี้สามารถแก้ไขได้โดยการนำตัวกักเก็บความร้อน (regenerator) มาใช้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

จากการทดลองจะพบว่าเครื่องยนต์สามารถทำงานได้แต่เนื่องจากความเร็วรอบยังไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ จึงต้องมีการแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ เช่น การสูญเสียความร้อน เป็นต้น ซึ่งนำไปสู่แนวทางการวิจัยต่อไป

5.2 แนวทางการทำวิจัยในอนาคต

ในการพัฒนาเครื่องยนต์ประเภทนี้ควรทำการทดลองโดยใส่ตัวกักเก็บความร้อนเข้าไปในท่อ และทำการทดลองโดยใช้เครื่องยนต์ประเภทแก๊สและเบต้า รวมทั้งการเพิ่มช่วงของผลต่างอุณหภูมิให้มีช่วงที่กว้างขึ้น ซึ่งจะทำให้เห็นแนวโน้มของกราฟระหว่างผลต่างของอุณหภูมิกับความเร็วยรอบที่ชัดเจนขึ้น และการใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบกับอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพ ส่วนการใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง เช่น แกลบ ใบอ้อย ฟางข้าว หรือกะลาปาล์ม เป็นต้น เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายทางด้านการใช้เชื้อเพลิง ส่วนการใช้พลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะต้องออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการรวมแสงเพื่อให้ความร้อนกับน้ำภายในกระบอกสูบกำลัง

การใช้ปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิงในการทดลองเป็นการสิ้นเปลืองค่อนข้างสูง แต่ถ้าใช้พลังงานชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งดูได้จากตาราง 5.1 ก็จะต้องใช้ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับค่าความพลังงานความร้อน (Heating Value) ของก๊าซปิโตรเลียมเหลว เพื่อที่จะให้ได้ค่าพลังงานความร้อนที่เท่ากัน

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนของพลังงานชีวมวล

ชนิดเชื้อเพลิง	ค่าพลังงานความร้อน (kJ/kg)	ปริมาณที่ใช้เมื่อเทียบกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว (kg)
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)	49296.3	1
แกลบ	14400	3.42
ฟางข้าว	12990	3.79
ใบอ้อย	16136.5	3.05
กะลาปาล์ม	17583.5	2.80
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	5864	8.41
ขี้เลื่อย	10880	4.53

จากตารางที่ 5.1 เมื่อ ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซปิโตรเลียมเหลวเท่ากับ 49296.3 kJ/kg โดยที่ ปริมาตร 1 ลิตรของก๊าซปิโตรเลียมเหลวเท่ากับน้ำหนัก 0.54 กิโลกรัม

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเมื่อค่าพลังงานความร้อนเท่ากัน

ชนิดเชื้อเพลิง	ราคา (บาทต่อกิโลกรัม)	จำนวนที่ใช้เมื่อเทียบกับก๊าซปิโตรเลียมเหลว (kg)	ค่าใช้จ่ายเมื่อค่าพลังงานความร้อนที่เท่ากัน (บาท)
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)	12	1	12
แกลบ	0.4	3.42	1.37
ฟางข้าว	1.13	3.79	4.28
ใบอ้อย	0.5	3.05	1.53
กะลาปาล์ม	2	2.80	5.60
เปลือกไม้ยูคาลิปตัส	0.35	8.41	2.94
ขี้เลื่อย	1.6	4.53	7.25

จากตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าพลังงานชีวมวลที่ให้ค่าพลังงานความร้อนใกล้เคียงกับค่าพลังงานความร้อนของก๊าซปิโตรเลียมเหลวคือ กะลาปาล์ม ซึ่งจะส่งผลให้ใช้ปริมาณของเชื้อเพลิงได้จำนวนน้อยที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบในราคาต่อจำนวนกิโลกรัมแล้วจะพบว่า กะลาปาล์มมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าแกลบเมื่อมีค่าพลังงานความร้อนที่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้แกลบเป็นพลังงานทางเลือกอีกทางหนึ่งที่จะนำมาใช้แทนก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เพื่อลดต้นทุนในการผลิตพลังงาน

ในส่วนของล้อช่วยแรง (Fly wheel) จะต้องทำการหาโมเมนต์ความเฉื่อยเพื่อที่จะทำให้ทราบค่าขนาดของล้อช่วยแรงและทำการออกแบบได้อย่างเหมาะสม เพื่อที่จะทำให้เครื่องยนต์สามารถทำงานได้ตามความต้องการว่าจะให้เครื่องยนต์มีความสามารถทางด้านความเร็วรอบ หรือแรงบิดที่เพิ่มขึ้น

จากนั้นทำการทดลองออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบ เบต้า (Beta type) และแบบแกมมา (Gamma type) เพื่อเปรียบเทียบว่าเครื่องยนต์ชนิดใดให้ประสิทธิภาพ ความเร็วรอบและกำลังมากกว่ากัน ซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการเลือกใช้เครื่องยนต์ให้ตรงกับความต้องการมากที่สุด

5.3 สรุปการทดลอง

การทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีความร้อนให้แก่เครื่องยนต์ในระดับหนึ่ง โดยที่ความเร็วรอบจะมีค่าค่อนข้างคงที่แต่ประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์มีค่าลดลงบ้าง เนื่องจากการทำงานของเครื่องยนต์แบบสเตอร์ลิงโดยไม่มีตัวกักเก็บความร้อน (regenerator) ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบกำลังกับกระบอกสูบได้ลดลงและไม่เสถียรภาพ ซึ่งการสูญเสียประสิทธิภาพทางความร้อนส่วนหนึ่งมาจากความร้อนที่สูญเสียไปกับกระบวนการกลั่นตัวของไอน้ำภายในท่อ และการถ่ายเทความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อม จึงทำให้ความร้อนที่สะสมอยู่ในไอน้ำส่งผ่านมายังบริเวณที่ไอน้ำสัมผัสกับท่อ

5.4 ข้อเสนอแนะทางเทคนิค

ในการประกอบชิ้นงานทุกชิ้นไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมข้อต่อท่อ การประกอบโครงไม้ รวมไปถึงการวางตำแหน่งของแกนเพลากับแกนลูกสูบให้ตรงกับกระบอกสูบที่ยึดอยู่กับโครงไม้ ควรที่จะประกอบชิ้นงานให้มีความแม่นยำสูงเพราะถ้าหากประกอบชิ้นงานไม่ดีจะทำให้มีผลกระทบต่อกระบวนการทำงานของเครื่องยนต์และความเร็วรอบในการหมุนของแกนเพลานั่นเอง

ส่วนของการทดลองในการเติมน้ำลงไปใกระบอกสูบควรระวังไม่ให้ระดับน้ำสูงเกินกว่าท่อที่หันเข้าไปในกระบอกสูบ เนื่องจากเวลาที่น้ำเดือดน้ำจะมีระดับที่สูงขึ้นอีกซึ่งจะทำให้ น้ำดันเข้าไปในท่อ จะส่งผลให้ไอน้ำมีการถ่ายเทพลังงานที่ลดลง และถ้าปริมาณของน้ำที่อยู่ในท่อมามากเกินไปให้น้ำถูกขยักออกเพื่อระบายน้ำที่อยู่ในท่อออกจนหมด และทำการทดลองโดยใช้ตัวกักเก็บความร้อน (regenerator) เข้าไปในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเพื่อกักเก็บความร้อนไว้ใช้ในขณะที่พลังงานความร้อนถ่ายเทกลับมาจากกระบอกสูบได้ ซึ่งช่วยในการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงได้ไวขึ้นเมื่อไอน้ำไหลกลับเข้าสู่กระบอกสูบกำลัง และเป็นการลดการสูญเสียพลังงานความร้อนอีกทางหนึ่ง

ส่วนน้ำหนักของล้อช่วยแรง (flywheel) ควรที่จะให้มีความเหมาะสมกับแกนเพลานั่นเอง น้ำหนักของล้อช่วยแรงที่มากเกินไปจะทำให้แกนเพลากเกิดการโก่งงอซึ่งจะทำให้เสียความสมดุลของระบบ รวมทั้งขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อช่วยแรงก็มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงด้วย เนื่องจากในการที่เครื่องยนต์จะสามารถทำงานในครั้งแรกได้นั้นจะต้อง

อาศัยแรงเหวี่ยงของล้อช่วยแรงเข้ามาช่วยในการเริ่มต้นกระบวนการ หลังจากนั้นจะมีแรงเฉื่อยช่วย
ในกระบวนการต่อไป

ท่อที่ให้ไอน้ำไหลผ่านควรทำการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการนำความร้อนที่สะสมอยู่ในไอน้ำไปแลกเปลี่ยนกับบรรยากาศและลดการสูญเสียความร้อนไปให้แก่สิ่งแวดล้อม



บรรณานุกรม

- [1] สมชาย อัครทิวาและขวัญจิตร วงศ์ขาริ. เทอร์โมไดนามิกส์กรุงเทพ: บริษัท สำนักพิมพ์
ที่อป จำกัด, 2546
- [2] I Urieli, D M Berchowitz. Stirling Cycle Engine Analysis (Cited 13 March 2006), 1984
- [3] D.G. Thombare, S.K. Verma and Dr. Babasaheb Ambedkar Technological
development in the Stirling cycle engines; Department of Mechanical
Engineering, Rajarambapu Institute of Technology, Rajaramnagar,
Sakharale, Sangli 415414, Maharashtra, India ,Department of Mechanical
Engineering Technological University, Lonere 402103, Raigad, Maharashtra,
India
- [4] William Gurstel. Two-can stirling engine.
- [5] ถัดรัช นิมมต. เทอร์โมไดนามิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริม
เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546
- [6] ผศ.ดร. ชยันต์ บุญยรักษ์. เทอร์โมไดนามิกส์: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
- [7] สมนึก บุญพาไสว. เครื่องยนต์สเตอร์ลิง เครื่องยนต์สำหรับอนาคต
- [8] Pro.S.L. Bapat. Stirling engine: Department of Energy Science and Engineering
Indian Institute of Technology Bombay.
- [9] เกลิมศักดิ์ ชื้อศักดิ์, ธนภูมิ จันทเขต และวัชร ไขฟูช .การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์
ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำ .ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
- [10] <http://artsmen.net/content/show.php?Category=technoboard&No=3768>





ภาคผนวก ก

ตาราง ก.1 ผลการทดสอบครั้งที่ 1

เวลา (นาทีก)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
อุณหภูมิกระบอกสูบ กำลัง (K)	304	333	362	373	373	373	373	373	373	373	373
อุณหภูมิกระบอกสูบไต้ (K)	304	304	304	306	309	315	321	326	331	334	336
จำนวนรอบ (rpm)	0	0	0	46	49	46	51	57	62	58	58

ตาราง ก.2 ผลการทดสอบครั้งที่ 2

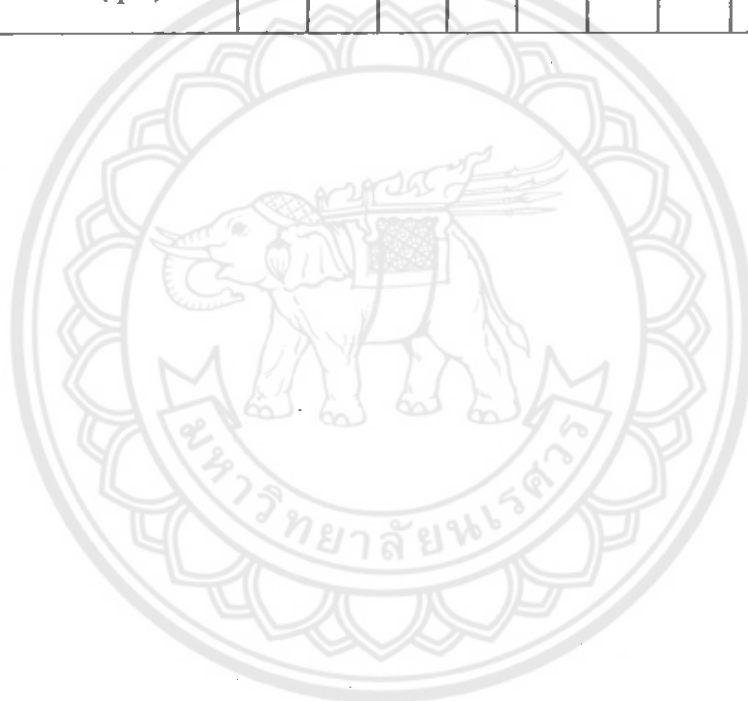
เวลา (นาทีก)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
อุณหภูมิกระบอกสูบ กำลัง (K)	304	333	363	371	372	372	372	372	372	372	372
อุณหภูมิกระบอกสูบไต้ (K)	304	304	304	305	307	311	316	321	325	327	332
จำนวนรอบ (rpm)	0	0	0	41	55	54	52	54	54	53	52

ตาราง ก.3 ผลการทดสอบครั้งที่ 3

เวลา (นาทีก)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
อุณหภูมิกระบอกสูบ กำลัง (K)	304	340	365	369	369	370	370	370	370	370	370
อุณหภูมิกระบอกสูบไต้ (K)	304	304	304	305	309	314	317	321	324	327	331
จำนวนรอบ (rpm)	0	0	0	52	50	47	53	53	56	51	53

ตาราง ก.4 ผลการทดสอบเฉลี่ย

เวลา (นาทื)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
อุณหภูมิกระบอกสูบ กำลัง (K)	304	338	363	371	371	371	372	372	372	372	372
อุณหภูมิกระบอกสูบไต้ (K)	304	304	304	305	308	313	318	323	327	329	333
จำนวนรอบ (rpm)	0	0	0	46.3	51.3	49	52	54.6	57.3	54	54.3





	Rice husk		Rice straw		Bagasse		Cane trash		Parawood		Palm fibre		Palm shell	
	เปลือก	ฟางข้าว	ฟางข้าว	ฟางข้าว	ขี้เถ้า	ขี้เถ้า	ใบอ่อน	ใบอ่อน	ไม้พรวก	ไม้พรวก	ใบอ่อน	ใบอ่อน	กะลามะพร้าว	กะลามะพร้าว
Proximate analysis														
Moisture, %	12	10	10	10	50.73	50.73	9.2	9.2	45	45	38.5	38.5	12	12
Ash, %	12.65	10.39	10.39	10.39	1.43	1.43	6.1	6.1	1.59	1.59	4.42	4.42	3.5	3.5
Volatile Matter, %	56.46	60.7	60.7	60.7	41.98	41.98	67.8	67.8	45.7	45.7	42.68	42.68	68.2	68.2
Fixed Carbon, %	18.88	18.9	18.9	18.9	5.86	5.86	16.9	16.9	7.71	7.71	14.39	14.39	16.3	16.3
Ultimate Analysis														
Carbon, %	37.48	38.17	38.17	38.17	21.33	21.33	41.6	41.6	25.58	25.58	30.82	30.82	44.44	44.44
Hydrogen, %	4.41	5.02	5.02	5.02	3.06	3.06	5.08	5.08	3.19	3.19	3.74	3.74	5.01	5.01
Oxygen, %	33.27	35.28	35.28	35.28	23.29	23.29	37.42	37.42	24.48	24.48	21.61	21.61	34.7	34.7
Nitrogen, %	0.17	0.58	0.58	0.58	0.12	0.12	0.4	0.4	0.14	0.14	0.84	0.84	0.28	0.28
Sulfur, %	0.04	0.09	0.09	0.09	0.03	0.03	0.17	0.17	0.02	0.02	0.08	0.08	0.02	0.02
Chlorine, %	0.09	na	na	na	na	na	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11	0.11	0.02	0.02
Ash, %	12.65	10.39	10.39	10.39	1.43	1.43	6.1	6.1	1.6	1.6	4.42	4.42	3.52	3.52
Moisture, %	12	10	10	10	50.73	50.73	9.2	9.2	45	45	38.5	38.5	12	12
Other Characteristics														
Bulk Density, kg/m3	150	125	125	125	120	120	100	100	450	450	250	250	400	400
Higher heating value, kJ/kg	14,755	13,650	13,650	13,650	9,243	9,243	16,794	16,794	10,365	10,365	13,127	13,127	18,267	18,267
Lower heating value, kJ/kg	13,517	12,330	12,330	12,330	7,368	7,368	15,479	15,479	8,600	8,600	11,400	11,400	16,900	16,900
Source of data	EFE	Kinoshita	Kinoshita	Kinoshita	ERI	ERI	EFE	EFE	Gulf	Gulf	Songkhla	Songkhla	Gulf	Gulf

	Palm oil empty bunch	Palm tree	Frond	Comcob	Corn stalk	Tapioca rhizome	Eucalyptus bark
	ทะลายปาล์ม	ต้นปาล์ม	ทางปลั้ม	รังข้าวโพด	ลำต้นข้าวโพด	เหง้ามัน	เปลือกไม้ยูคา
Proximate analysis							
Moisture, %	58.6	48.4	78.4	40	41.7	59.4	60
Ash, %	2.03	1.2	0.7	0.9	3.7	1.5	2.44
Volatile Matter, %	30.46	38.7	16.3	45.42	46.46	31	28
Fixed Carbon, %	8.9	11.7	4.6	13.68	8.14	8.1	9.56
Ultimate Analysis							
Carbon, %	21.15	23.9	10.13	28.19	27.83	18.76	18.6
Hydrogen, %	2.56	3.04	1.25	3.36	4.06	2.48	2.12
Oxygen, %	15.34	22.91	9.44	27.42	22.47	17.5	16.68
Nitrogen, %	0.27	0.56	0.07	0.12	0.13	0.32	0.15
Sulfur, %	0.04	0.06	0.02	0.03	na	0.04	0.02
Chlorine, %	0.16	na	0.12	0.05	na	0.05	0.1
Ash, %	2.03	1.2	0.7	0.9	3.7	1.5	2.44
Moisture, %	58.6	48.4	78.4	40	41.7	59.4	60
Other Characteristics							
Bulk Density, kg/m ³	380	na	na	na	na	250	na
Higher heating value, kJ/kg	9,196	9,370	3,908	11,298	11,704	7,451	6,811
Lower heating value, kJ/kg	7,240	7,556	1,760	9,615	9,830	5,494	4,917
Source of data	Songkhla	EFE	EFE	EFE	EFE	EFE	EFE

Revision : March 2007

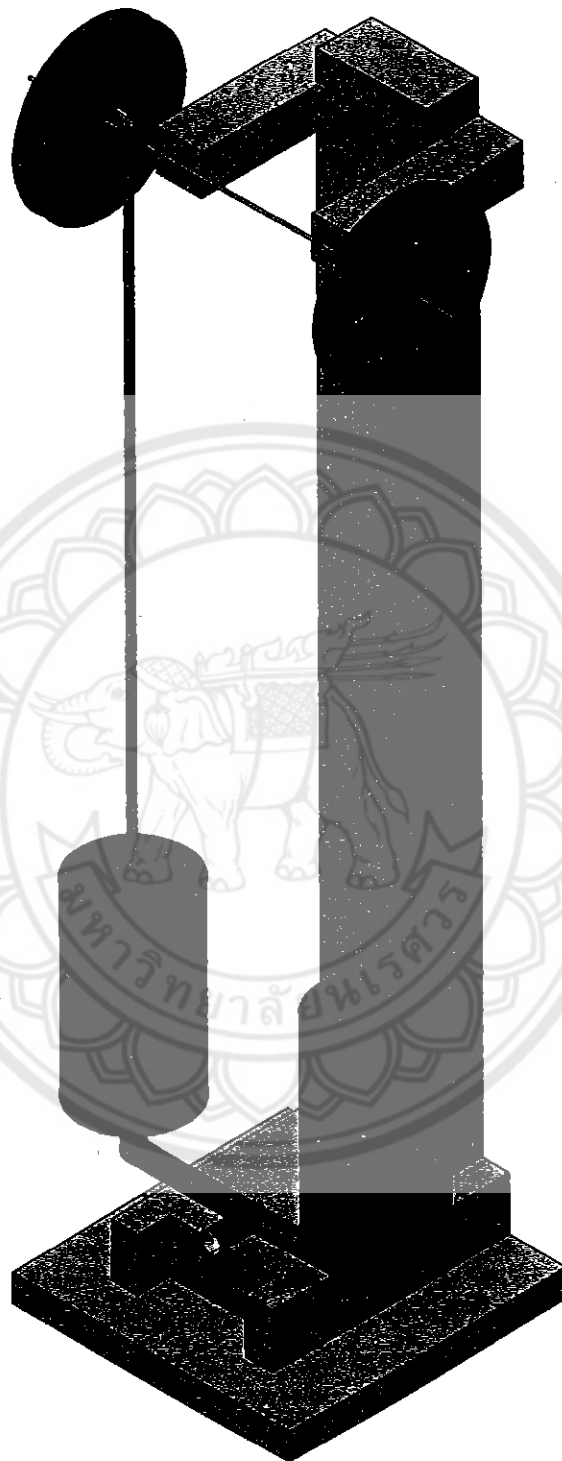
หมายเหตุ ผลวิเคราะห์ข้างต้นอ้างอิงจากตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น ซึ่งอาจมีค่าแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ปลูก

ที่มา : <http://www.eff.or.th/download/BiomassAnalysis.pdf>

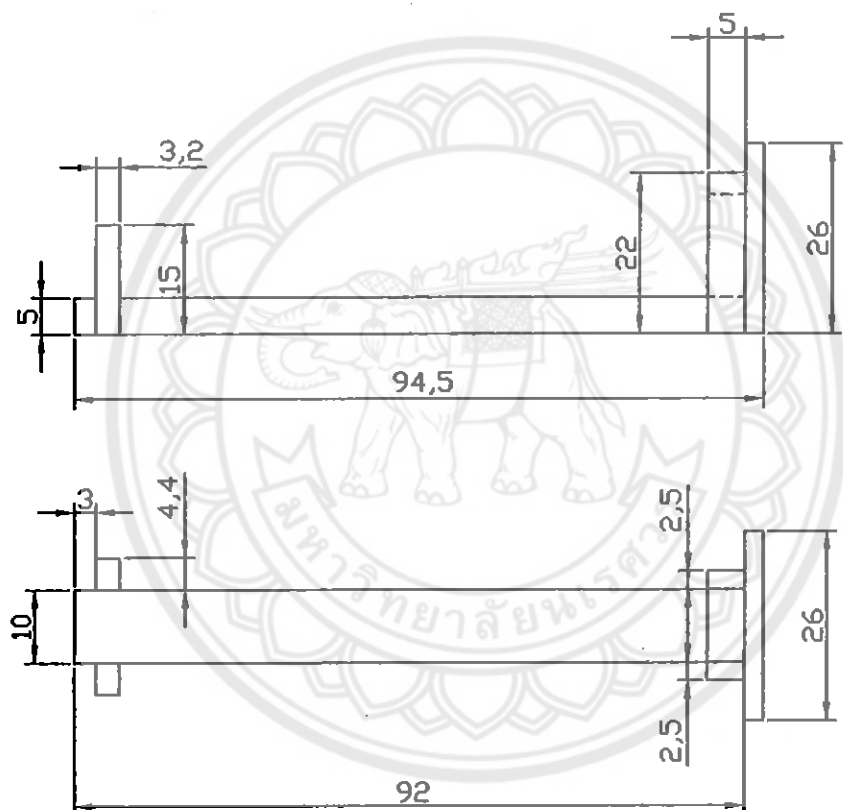


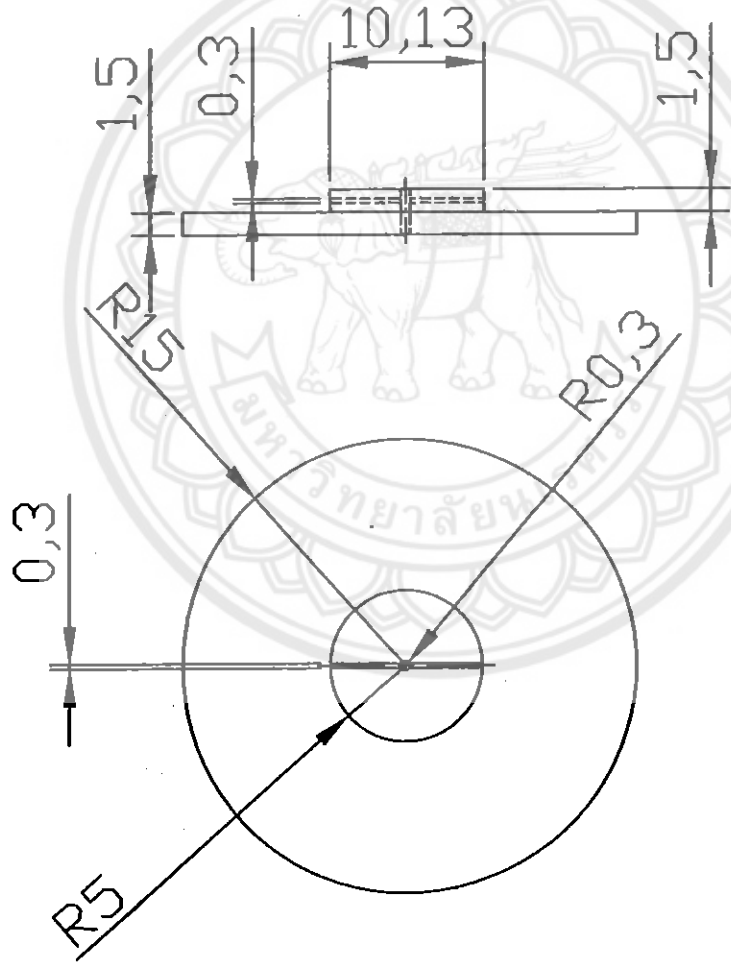
1	2	3	4
RevNo	Revision note	Date	Signature

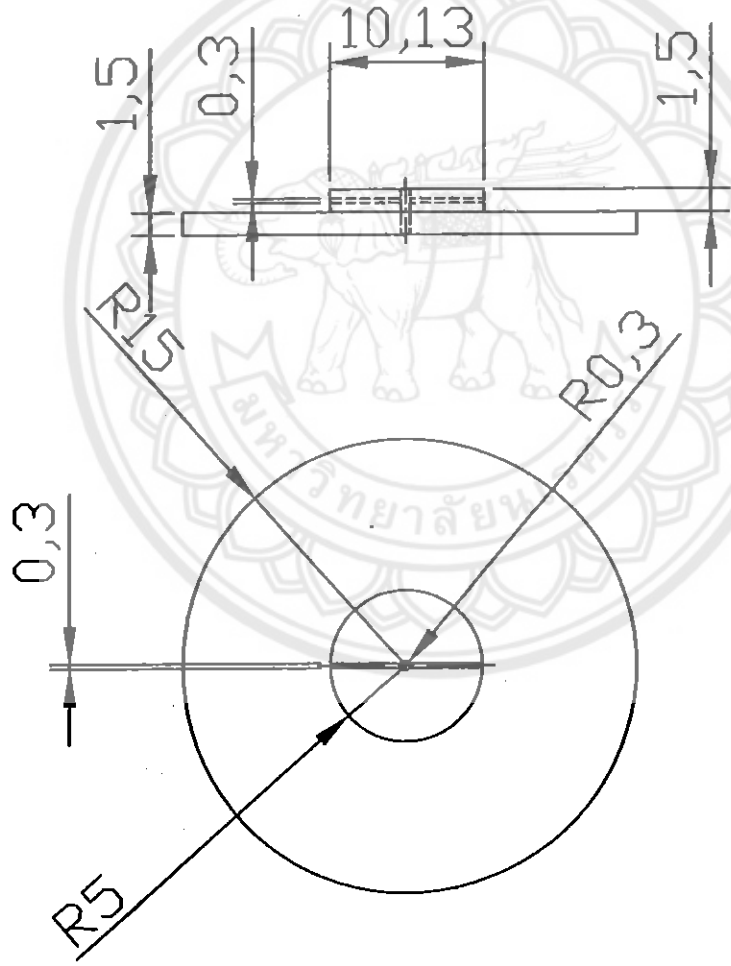
46



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by C. Suppachai	Checked by	Approved by - date	File name Stirling Engine	Date 12/08/2551	Scale 1:1	
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY			Stirling Engine			
			1	Edition	Sheet 1/1	

		Dimention are in centimeters	
โครงการไม้		SCALE : 1:1	
BY : P.Siwaroth			
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY			



	FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY	ล้อช่วยแรง (Fly wheel) BY : P.Siwaroht	Dimention are in centimeters SCALE : 1:1
---	---	---	---

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ/นามสกุล : นายขจรศักดิ์ แก้วเกิด
 วันเกิด : 10 มีนาคม 2529
 ที่อยู่ : 48 หมู่ 2 ค.มะตูม อ.พหลพริาย จ.พิษณุโลก 65180
 การศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
 พิษณุโลก

ชื่อ/นามสกุล : นายศิริโรจน์ พายพัตร
 วันเกิด : 13 มกราคม 2530
 ที่อยู่ : 101/1 ม.2 ต.น้ำขุ่น อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ 67110
 การศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนกาญจนาภิเษก
 วิทยาลัย เพชรบูรณ์

ชื่อ/นามสกุล : นายสุกชัย ชุมชุมวัฒน์
 วันเกิด : 25 เมษายน 2530
 ที่อยู่ : 7/17 ถ.สระหลวง ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิจิตร 66000
 การศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนจุฬาภรณราช
 วิทยาลัย พิษณุโลก