



การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา

Thermal efficiency measure of the stirling engine type gamma

นายธีรัช                      แซ่หว่า  
นายชัชวีร์                   ศรีเสน  
นายศิริวัฒน์               เหล็กสิงห์

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์	
วันที่รับ.....	14 ก.ค. 2553
เลขทะเบียน.....	60729 67
เลขเรียกหนังสือ.....	๗๕
มหาวิทยาลัยบูรพา	๘๖๗๐

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ปีการศึกษา 2552



## คณะวิศวกรรมศาสตร์

### ใบรับรองโครงการ

**หัวข้อโครงการ** : การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา  
(Thermal efficiency measure of the stirling engine type gamma)

**ผู้ดำเนินโครงการ** : นายธีรัช แซ่หว่า รหัสนิสิต 49360235  
นายชัชวรินทร์ ศรีเสน รหัสนิสิต 49363496  
นายศิริวัฒน์ เหล็กสิงห์ รหัสนิสิต 49363748


**อาจารย์ที่ปรึกษา** : ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว


**ภาควิชา** : วิศวกรรมเครื่องกล

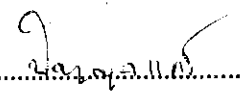
**ปีการศึกษา** : 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม อนุมัติให้โครงการวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบ โครงการงานวิศวกรรมเครื่องกล

  
.....ประธานกรรมการ  
(ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์นินนาท ราชประดิษฐ์)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์สุรัตน์ ปัญญาแก้ว)

หัวข้อโครงการ	: การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา			
ผู้ดำเนินโครงการ	: นายธีรช แซ่หว่า	: รหัสนิสิต	49360235	
	: นายชัชวรินทร์ ศรีเสน	: รหัสนิสิต	49363496	
	: นายศิริวัฒน์ เหล็กสิงห์	: รหัสนิสิต	49363748	
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว			
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล			
ปีการศึกษา	: 2552			

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาความเร็วรอบและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) เมื่อให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) พบว่าวัฏจักรจะเริ่มทำงานเมื่อเข้าสู่หน้าที่ที่ 2 ซึ่งในขณะนั้นมีผลต่างของอุณหภูมิกระบอกสูบไต่และกระบอกสูบกำลังมีค่า 62.9 K และความเร็วรอบเฉลี่ย 2099.67 rpm และเมื่อเข้าสู่หน้าที่ที่ 8 จนถึงหน้าที่ที่ 10 (หน้าที่ที่ 10 เป็นหน้าที่สุดท้ายของการทดลอง) ผลต่างของอุณหภูมิกระบอกสูบไต่และกระบอกสูบกำลังจะเริ่มค่อนข้างคงที่ ซึ่งส่งผลให้ความเร็วรอบค่อนข้างคงที่อีกด้วยและมีค่าความเร็วรอบเฉลี่ยสูงสุดที่ 3413.67 rpm จากนั้นจึงเริ่มนำค่าอุณหภูมิกระบอกสูบไต่และกระบอกสูบกำลังมาคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่ 33 เปอร์เซ็นต์

**Project Title** : Thermal efficiency measure of the stirling engine type gamma

**Name** : Mr. Thirat Saewa Student ID 49360235  
Mr. Chatchawee Srisen Student ID 49363496  
Mr. Siriwat Leksingh Student ID 49363748

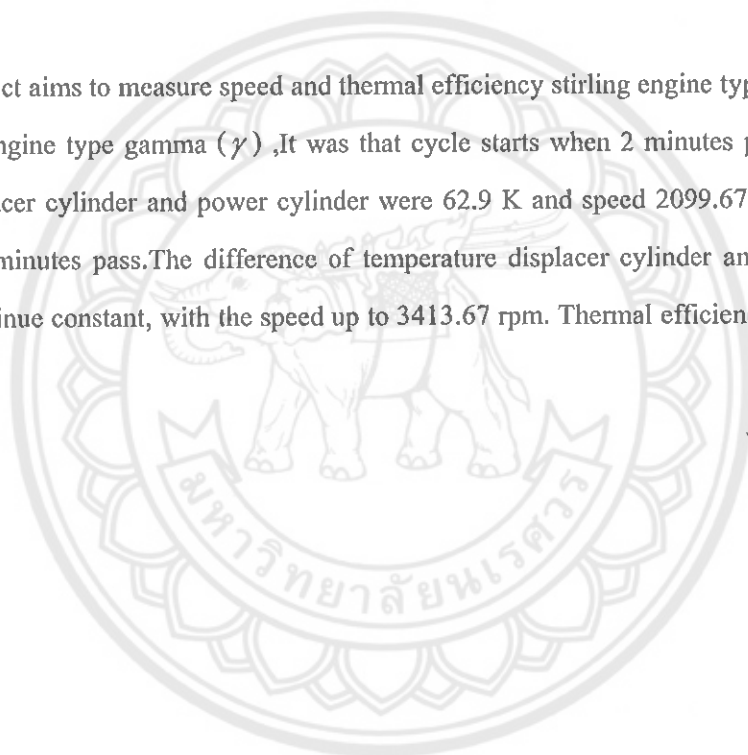
**Project Advisor** : Dr. Anunchai Youkaew

**Department** : Mechanical Engineering

**Academic Year** : 2009

#### Abstract

This project aims to measure speed and thermal efficiency stirling engine type gamma ( $\gamma$ ). When the heat stirling engine type gamma ( $\gamma$ ), It was that cycle starts when 2 minutes pass the difference of temperature displacer cylinder and power cylinder were 62.9 K and speed 2099.67 rpm. And when to 8 minutes until 10 minutes pass. The difference of temperature displacer cylinder and power cylinder are starting to be continue constant, with the speed up to 3413.67 rpm. Thermal efficiency calculated to be 33 percent.



กิตติกรรมประกาศ  
(Acknowledgement)

คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณคณะบุคคลที่คอยให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง ช่วยเหลือและ  
อนุเคราะห์ในการดำเนินโครงการจนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี มีดังนี้

ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่คอยให้คำปรึกษา ดูแลและช่วยเหลือตลอดมา  
และขอขอบคุณบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ไม่สามารถกล่าวชื่อนามทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำและคอย  
ช่วยเหลือการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ณ โอกาสนี้จึงขออำนาจคุณพระศรีรัตนตรัยและสิ่งศักดิ์สิทธิ์จงช่วยเหลือคุ้มครองปกป้องรักษา  
บุคคลเหล่านี้ด้วยเทอญ



นายธีรัช	แซ่หว่า
นายชัชวีณ์	ศรีเสน
นายศิริวัฒน์	เหล็กสิงห์

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี</b>	
2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องจักรความร้อน	3
2.2 ประสิทธิภาพและกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์	5
2.3 ลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	5
2.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน	13
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน</b>	
ขั้นตอนการทดสอบเครื่อง	15
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์</b>	
4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )	16
4.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )	19
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	20
4.4 วิจัยณ์ผลการทดลอง	22

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	24
5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ	25
บรรณานุกรม	26
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดลอง	28
ภาคผนวก ข. วัสดุอุปกรณ์และการเตรียมชิ้นงาน	31
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	34



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ข้อกำหนดในการทดลอง	15
4.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาและแอลฟา	22
5.1 แสดงการคำนวณพลังงานความร้อนตามประเภทเชื้อเพลิง	25





## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 ถึงปี พ.ศ.2551	1
2.1 แสดงการเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นงาน และมีการถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นในเครื่องจักรความร้อน	4
2.2 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบทั้ง 2 ตัวในเครื่องยนต์แอลฟา (alpha engine)	6
2.3 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบและตัวแทนที่ในเครื่องยนต์เบตา (beta engine)	7
2.4 แสดงกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงตัว	9
2.5 แสดงกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่	10
2.6 แสดงกระบวนการระบายความร้อนที่ปริมาตรคงที่	11
2.7 แสดงกระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่	13
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วรอบ	16
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและผลต่างของอุณหภูมิ	17
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกระบอกสูบไล่ ( $T_H$ )	17
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง ( $T_L$ )	18
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและประสิทธิภาพเชิงความร้อน	19

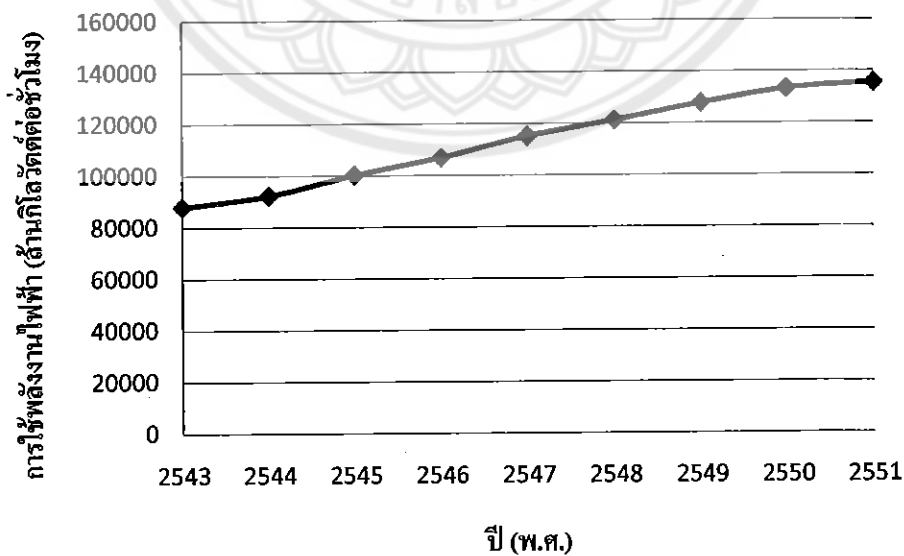
## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในประเทศไทยพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของทุกคน ทั้งในด้านการใช้ในบ้านเรือน อุตสาหกรรม และอื่นๆอีกมากมาย เนื่องจากการใช้งานที่มีปริมาณมากเพิ่มขึ้นทุกปีจึงส่งผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าน้อยลง พลังทดแทนจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนการผลิตกระแสไฟฟ้าแบบเดิม เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลม เป็นต้น แต่ก็อาจจะยังไม่เพียงพอต่อความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันและอนาคต ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เพราะการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะให้ความเร็วรอบออกมาซึ่งความเร็วรอบที่ได้นี้สามารถนำไปปั่นกระแสไฟฟ้าได้ ทางผู้จัดทำจึงได้ต้องการที่จะหาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) เพื่อที่จะได้ทราบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) มีประสิทธิภาพที่เพียงพอสำหรับการนำไปใช้งานจริงได้หรือไม่ ถ้าประสิทธิภาพที่ได้เพียงพอต่อการนำไปใช้จริงเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) ก็จะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกหนึ่งที่จะใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าในอนาคตได้



รูปที่ 1.1 แสดงแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 ถึงปี พ.ศ.2551

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )

1.2.2 ทดสอบวัดความเร็วรอบและหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) เท่านั้น

1.3.2 ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับอุณหภูมิของกระบอกสูบกำลังและกระบอกสูบได้

1.3.3 ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )

1.3.4 ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง 32 องศาเซลเซียส

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )

1.4.2 ได้ค่าของความเร็วรอบและประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

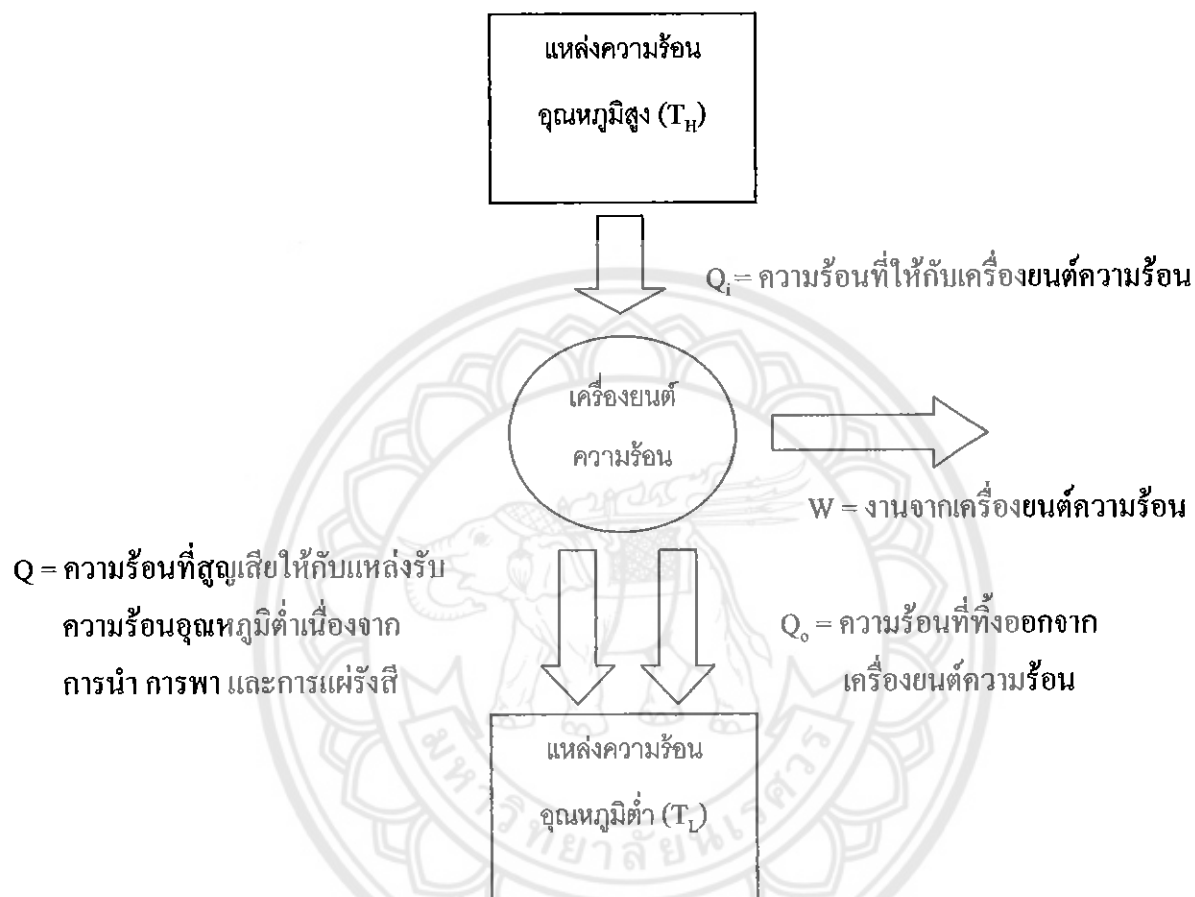
#### 2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของเครื่องจักรความร้อน

ลักษณะ โดยทั่วไปของเครื่องจักรความร้อน (heat engine) คือการทำงานให้เป็นวัฏจักรเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamics cycle) ซึ่งจำเป็นต้องมีความแตกต่างของอุณหภูมิเพื่อทำให้เกิดงานแหล่งความร้อนหรือแหล่งที่มีพลังงานความร้อน (อุณหภูมิสูง) มีความจำเป็นในการเริ่มต้นวัฏจักร โดยเริ่มจากการที่อากาศดูดความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิสูงระหว่างกระบวนการขยายตัวของวัฏจักร จากนั้นอากาศจะเย็นตัวโดยการคายความร้อนออกมา โดยอากาศที่อุณหภูมิลดลงจะดูดความร้อนนั้นและทำตัวเป็นแหล่งรับความร้อน (heat sink) หรือแหล่งอุณหภูมิต่ำ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นอุปกรณ์ที่มีปลายด้านหนึ่งของกระบอกสูบถูกทำให้ร้อน ปลายด้านหนึ่งของกระบอกสูบอีกข้างจะเย็น งานที่เอาไปใช้ประโยชน์ได้มาจากการหมุนของเพลลา เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ระบบปิด ไม่มีการดูดไอดี (intake) และปล่อยไอเสีย (exhaust) ความร้อนถูกป้อนจากภายนอกอะไรก็ตามที่สามารถให้ความร้อนได้จะใช้เพื่อให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงทำงาน เช่น ถ่านหิน ไม้ ฟางข้าว แกลบ ก๊าซโซลีน แอลกอฮอล์ ก๊าซธรรมชาติ และอื่นๆ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงไม่ต้องการการเผาไหม้แต่ต้องการความร้อนเท่านั้นที่สามารถทำให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถทำงานได้ ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ความร้อนใต้พิภพหรือความร้อนทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ กำลังจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถใช้ขับเคลื่อนกำเนิดไฟฟ้าหรือเครื่องจักรอื่นๆ อย่างไรก็ตามเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็ยังมีข้อจำกัดคือต้องการเวลาสำหรับอุ่นเครื่องยนต์ก่อนที่จะสร้างกำลังที่สามารถเอาไปใช้ประโยชน์ได้และเครื่องยนต์จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงกำลังที่ออกมาหรือเร่งเครื่องได้อย่างรวดเร็ว

ลักษณะ โดยทั่วไปของเครื่องยนต์ความร้อน คือ เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยการขยายตัวและหดตัวของสารทำงานซึ่งอาจมีสถานะเป็นก๊าซต่างๆ หรือก๊าซผสม เช่น อากาศ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรเกิดจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบ หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายกัน การเปลี่ยนแปลงปริมาตรขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนที่ไปมาของลูกสูบและการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งนี้เป็น 1 ใน 2 องค์ประกอบหลักของงานซึ่ง องค์ประกอบอย่างอื่น 2 ก็คือ แรงซึ่งแรงที่กระทำเหนือระยะทางก็คือ งาน แรงในเครื่องยนต์ได้จากการเคลื่อนที่ขึ้นของลูกสูบ อันเนื่องมาจากความดันแก๊สที่กระทำบนพื้นที่ของลูกสูบในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จะมีการขยายตัวหรือการเพิ่มปริมาตรเกิดขึ้นและในอีกกระบอกสูบจะมีการลดปริมาตรหรือการอัดเกิดขึ้น ในกระบวนการขยายตัวของเครื่องจักรจะเกิดงานส่งไปที่ลูกสูบและก็จะส่งต่อไปยังข้อเหวี่ยงและแท่งเชื่อมต่อ ซึ่งทำให้เกิดรอบของการหมุนของเพลลาหรือไบพัด อย่างไรก็ตาม ในทุกๆ การทำงานของ

เครื่องยนต์ (working engine) งานจะถูกผลิตขึ้นในกระบวนการขยายตัวมากกว่างานที่ต้องการเพื่อใช้ในกระบวนการอัดตัว



รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นงาน และมีการถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นใน เครื่องจักรความร้อน

## 2.2 ประสิทธิภาพและกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์

กฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์ (Second law of thermodynamics) กล่าวว่าทุกเครื่องยนต์ต้องการแหล่งเก็บความร้อนที่ร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน (heat source) และต้องการแหล่งเก็บความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (cooler reservoir) เป็นแหล่งรับความร้อน (heat sink) การที่เครื่องยนต์จะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความสามารถในการผลิตกำลัง (power) ได้เพียงพอต่อการทำให้เกิดงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรได้เร็วแค่ไหน และประสิทธิภาพที่จะเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นงานจำเป็นต้องมีมากแค่ไหน การพิจารณาสิ่งเหล่านี้ค่อนข้างที่จะขึ้นอยู่กับกรอบแบบและการเลือกใช้เครื่องยนต์ แต่เครื่องยนต์เกือบทุกชนิดนั้นประสิทธิภาพจะมีความสำคัญ ประสิทธิภาพคือการวัดว่าเครื่องยนต์จะสามารถให้งานออกมาเท่าไรสำหรับการให้ความร้อนหรือใช้เชื้อเพลิงเพียงเล็กน้อย ซึ่งก็คือสัดส่วนของงานที่เครื่องยนต์ผลิตต่อความร้อนขาเข้าที่ใช้ในการผลิตงาน

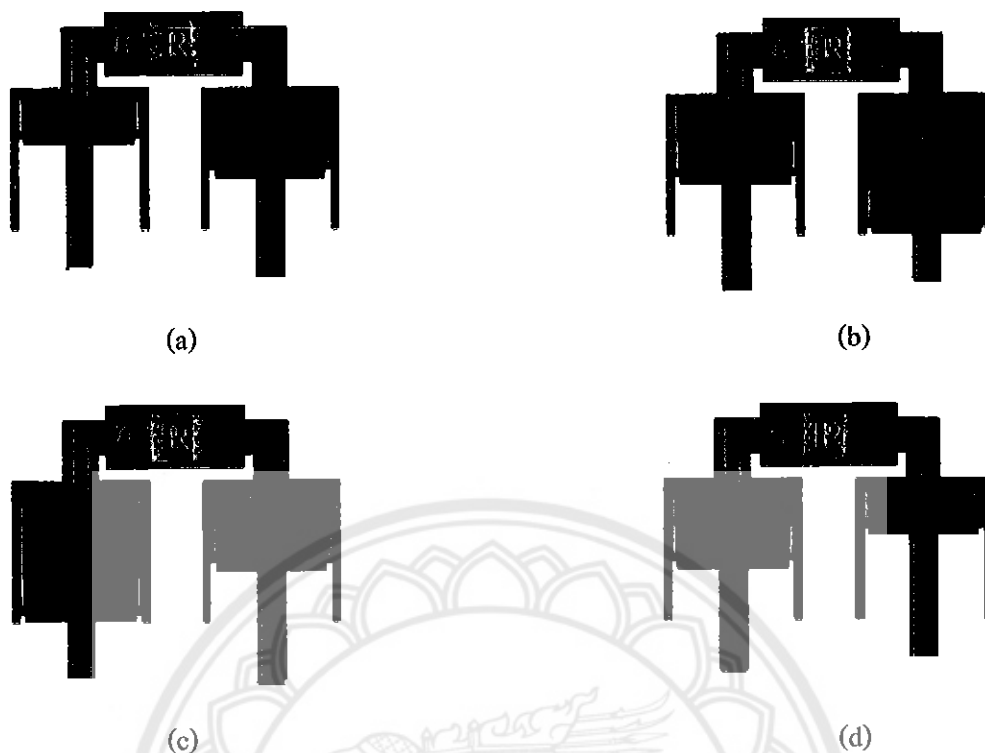
ในความเป็นจริงแล้วไม่มีเครื่องยนต์ใดที่จะให้ประสิทธิภาพได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจเกิดจากการรั่วไหลของวาล์วและการเกิดแรงเสียดทาน (friction) ในทุกที่ที่มีการเคลื่อนที่สวนทางกันของกระบอกสูบ ซึ่งการสูญเสียเหล่านี้ขึ้นอยู่กับกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ ที่กล่าวว่าพลังงานสามารถเปลี่ยนรูปหรือถูกถ่ายโอนจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งได้ แต่ไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือทำลายให้สูญหายได้ จากกฎข้อที่ 2 ต้องการความร้อนบางส่วนไปปล่อยออกที่แหล่งรับความร้อนเสมอเพื่อให้เกิดวัฏจักร ดังนั้นความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายโอนมาจากแหล่งส่งความร้อน (hot reservoir) จะไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นงานได้ทั้งหมด เพราะจะเกิดความร้อนหรือพลังงานสูญเสียภายในเครื่องยนต์ นั้นหมายความว่าประสิทธิภาพไม่สามารถเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ได้

## 2.3 ลักษณะและหลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยทั่วไปแบ่งออกเป็นชนิดตามลักษณะภายนอกได้ 3 ชนิด คือ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา (alpha), เบตา (beta) และแกมมา (gamma)

### 2.3.1 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา (alpha stirling)

เครื่องยนต์แอลฟา (alpha engine) เป็นลักษณะของเครื่องยนต์ที่มีลูกสูบ (piston) 2 ตัว ซึ่งถูกเชื่อมต่อกันแบบอนุกรม โดยมีรีเจนเนอเรเตอร์ (regenerator) อยู่ระหว่างกลาง

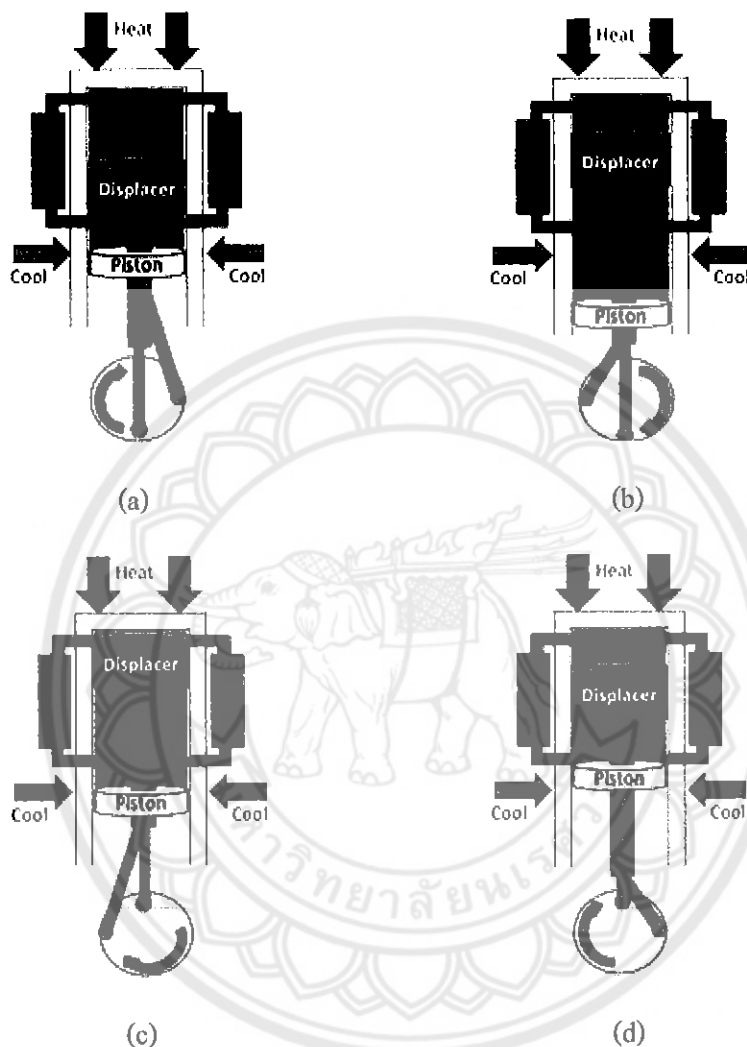


รูปที่ 2.2 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบจุดมคคิของลูกสูบทั้ง 2 ตัวในเครื่องยนต์แอลฟา (alpha engine)

รูปที่ 2.2 (a) เป็นระยะเริ่มต้นของจังหวะการถ่ายเทลูกสูบด้านเย็น (cold piston) จะเคลื่อนที่เข้ามา ในขณะที่ลูกสูบด้านร้อน (hot piston) เคลื่อนที่ออกไป อากาศจะถูกผลักดันผ่านช่องทางเชื่อมต่อซึ่งมีรีเจนเนอเรเตอร์อยู่และเคลื่อนผ่านไปยังด้านร้อน ในขณะเริ่มต้นจะพบว่าอากาศภายในเครื่องยนต์ส่วนมากจะอยู่ในกระบอกสูบด้านเย็น เมื่อเวลาผ่านไปอากาศส่วนใหญ่จะย้ายไปอยู่ที่กระบอกสูบด้านร้อน (hot cylinder) ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงกว่า รูปที่ 2.2 (b) เป็นจังหวะการขยายตัว (expansion stroke) ลูกสูบด้านร้อนจะยังคงเคลื่อนที่ออกไป และในขั้นตอนนี้จะมีการดูดความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนภายนอกอีกด้วย จากนั้นในรูปที่ 2.2 (c) ลูกสูบทั้ง 2 ตัวจะเคลื่อนที่อีกครั้ง โดยลูกสูบด้านร้อนจะเคลื่อนที่เข้ามา ในขณะที่ลูกสูบด้านเย็นเคลื่อนที่ออกไปโดยอากาศในด้านร้อนจะถูกผลักดันผ่านรีเจนเนอเรเตอร์ไปยังด้านเย็น และวัฏจักรจะสมบูรณ์เมื่อลูกสูบด้านเย็นเคลื่อนที่เข้ามาดังรูปที่ 2.2 (d) ซึ่งในจังหวะการอัดตัวนี้จะเป็นการเริ่มต้นวัฏจักรอีกครั้ง โดยลูกสูบจะเคลื่อนที่ได้ประมาณครึ่งทางจากนั้นจะมีการปล่อยความร้อนออกมาในขั้นตอนนี้ด้วย เพื่อให้ทำให้อากาศภายในเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำลง จะเห็นได้ว่าเครื่องยนต์ลักษณะนี้เป็นเครื่องยนต์ที่มีรูปร่างเข้าใจง่าย แต่ก็มีข้อเสียคือ ลูกสูบทั้ง 2 ตัวนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องไม่มีการรั่วไหลของอากาศที่อยู่ภายใน

### 2.3.2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบตา (beta)

เครื่องยนต์เบตา (beta engine) จะมีลักษณะแตกต่างจากเครื่องยนต์แอลฟา คือ เครื่องยนต์เบตาจะมีลูกสูบ (piston) 1 ตัว และตัวแทนที่ (displacer) 1 ตัว เพื่อใช้ในการแทนที่อากาศภายในในขณะที่ปริมาตรคงที่ โดยเคลื่อนที่ไปมาระหว่างพื้นที่การขยายตัว (expansion space) และพื้นที่การอัดตัว



รูปที่ 2.3 แสดงลำดับการเคลื่อนที่แบบอุดมคติของลูกสูบและตัวแทนที่ในเครื่องยนต์เบตา (beta engine)

รูปที่ 2.3 (a) ตัวแทนที่ (displacer) จะเคลื่อนที่เข้าไปหาลูกสูบ (piston) ที่อยู่ในช่วงท้ายของด้านเย็น ทำให้อากาศถ่ายเทไปช่วงท้ายของด้านร้อนส่งผลให้อากาศมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น จากนั้นจะเป็นจังหวะการขยายตัวดังแสดงในรูปที่ 2.3 (b) โดยตัวแทนที่และลูกสูบจะเคลื่อนที่ออกจากกันจากการขยายตัวของอากาศ ทำให้อากาศยังคงอยู่ที่ด้านร้อนพร้อมทั้งรักษาอุณหภูมิและความดันไว้ให้สูงมากเท่าที่จะสามารถทำได้ จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ออกไปจนสุดปลายกระบอกสูบ และในรูปที่ 2.3 (c) จะเห็นว่าอากาศภายในด้านร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังด้านเย็นซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ไปทางด้านร้อนของตัวแทนที่ ในขณะที่ลูกสูบยังอยู่กับที่ ส่งผลให้อุณหภูมิของความดันและอากาศลดลง จากนั้นลูกสูบก็จะเคลื่อนที่ตาม



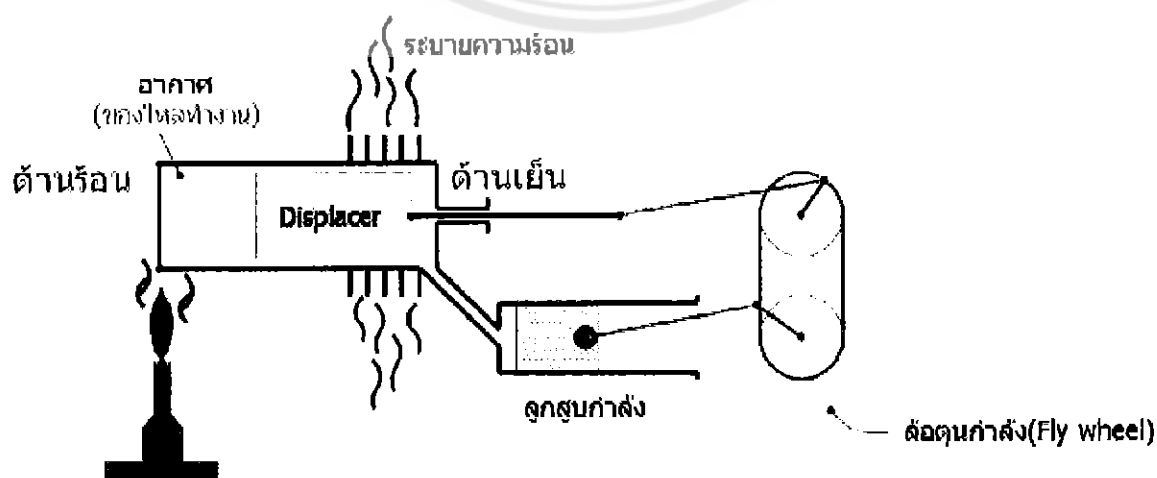
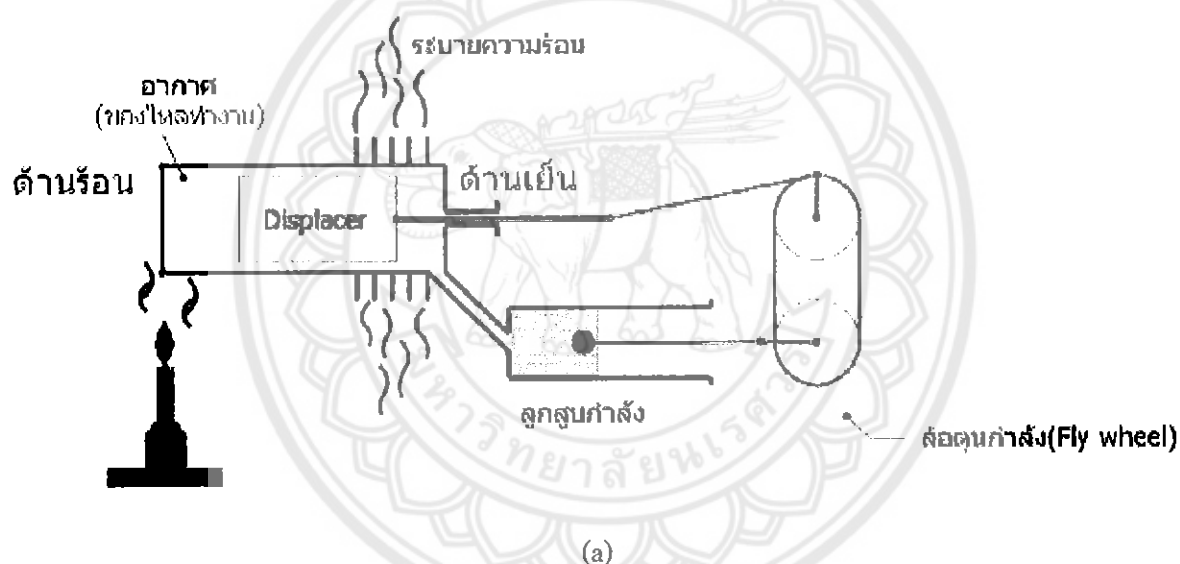
เข้ามาในจังหวะอัดตัวดังรูปที่ 2.3 (d) และปริมาตรลดลงเหลือประมาณครึ่งหนึ่งแล้ว ก็จะเป็นการเริ่มวัฏจักรใหม่อีกครั้ง

จะเห็นได้ว่าเครื่องยนต์ลักษณะนี้เป็นเครื่องยนต์ที่การขยายตัวเกิดขึ้นได้มากขึ้นในส่วนที่ร้อนหรือส่วนที่มีความดันสูงกว่า ซึ่งเป็นข้อดีของเครื่องยนต์เบนดา แต่ข้อเสียคือการต่อกลไกขับเคลื่อนมีความซับซ้อนมาก และหนึ่งในความซับซ้อนนั้นก็คือ ความจำเป็นที่จะต้องมีตัวเชื่อมต่อระหว่างตัวแทนที่และลูกสูบ

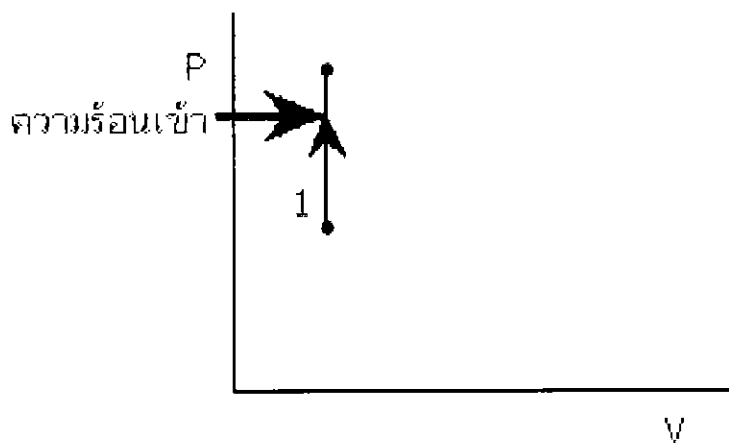
### 2.3.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา (gamma)

เครื่องยนต์แกมมา (gamma) เป็นเครื่องยนต์ที่มีตัวแทนที่ (displacer) และลูกสูบ (piston) เช่นเดียวกับเครื่องยนต์เบนดา แตกต่างกันตรงที่เครื่องยนต์แกมมานั้นใช้กระบอกสูบแยกออกจากกัน ในขณะที่เครื่องยนต์เบนดาใช้กระบอกสูบอันเดียวกัน หลักการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา (gamma) มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1



(b)

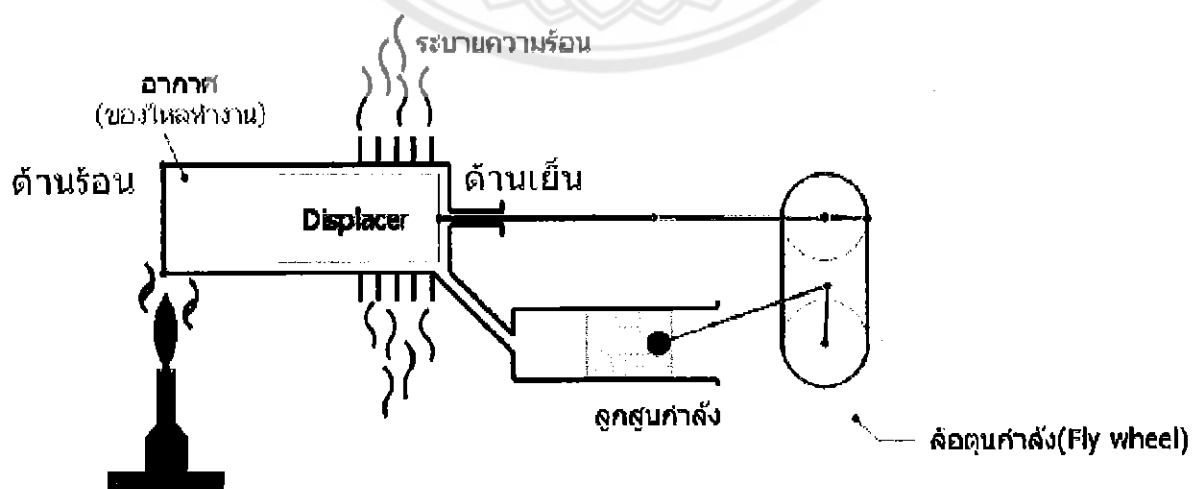


(c)

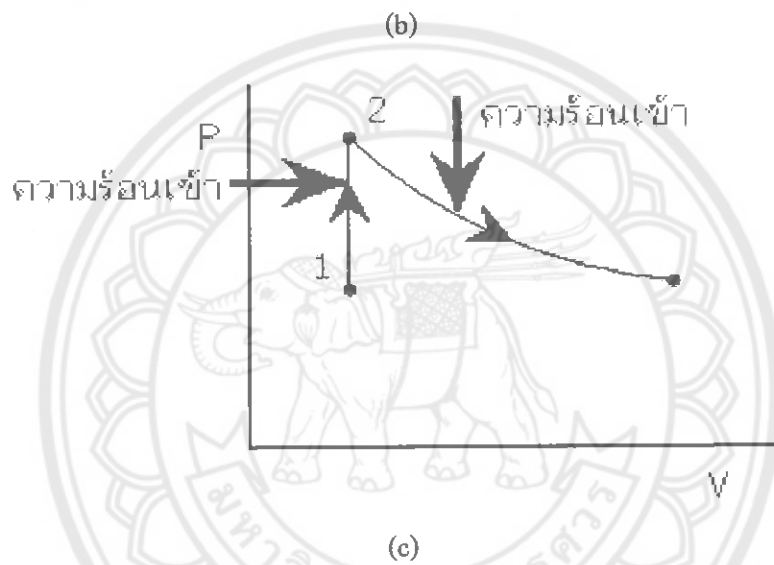
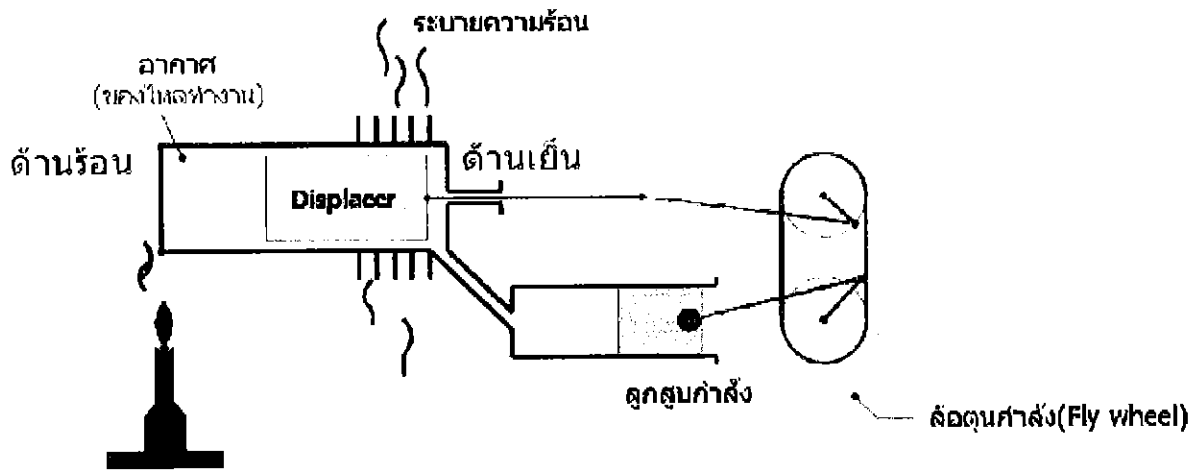
รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงตัว

จากรูปที่ 2.4 (a) และ (b) ลูกสูบกำลังอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน ขั้นตอนนี้เป็นการให้ความร้อนกับอากาศภายในกระบอกสูบ โดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบได้ (displacer piston) เพื่อให้อากาศส่วนใหญ่ไปรวมอยู่ทางด้านร้อน เมื่ออากาศได้รับความร้อนก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและความดันเพิ่มขึ้น ซึ่งขั้นตอนนี้จะ เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงตัว (isovolumetric heating process) ตามรูป 2.4 (c) ซึ่งแสดง แผนภาพความดันและปริมาตร

## ขั้นตอนที่ 2



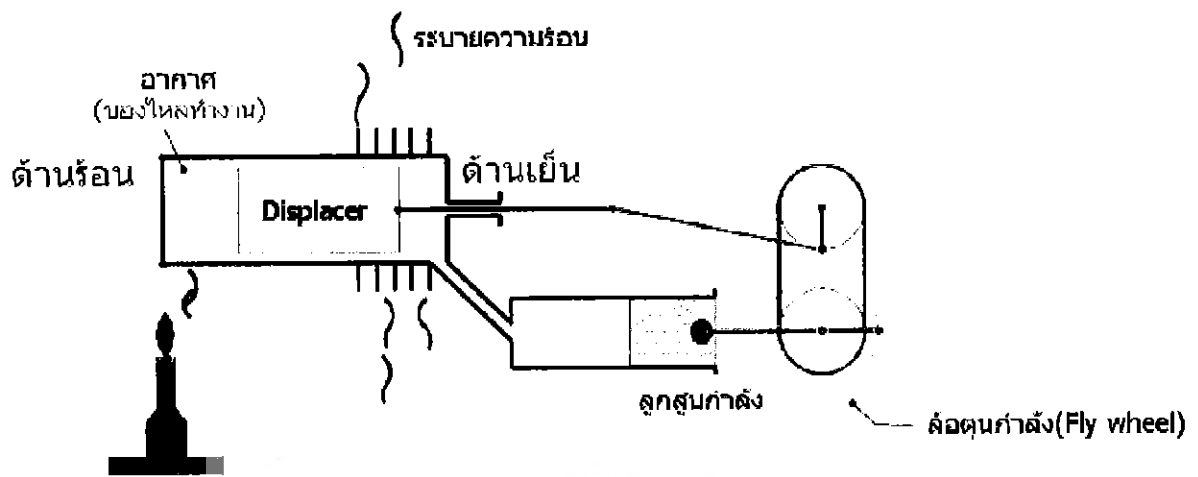
(a)



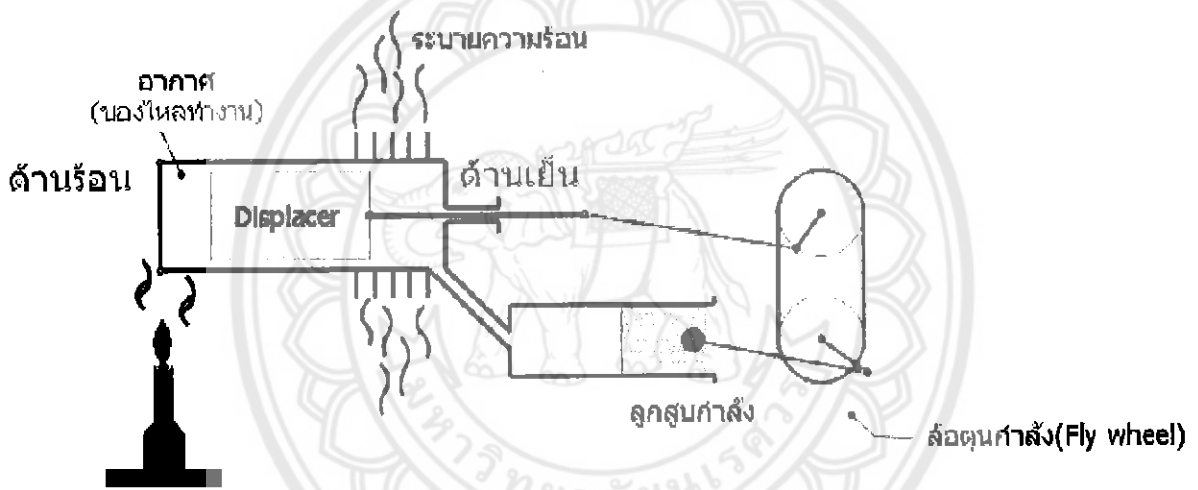
รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่

จากรูปที่ 2.5 (a) และ (b) เมื่ออากาศทางด้านร้อนมีอุณหภูมิและความดันเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดแรงดัน ซึ่งจะไปดันให้ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ไปที่ศูนย์ตายล่าง และอากาศยังคงได้รับความร้อนขณะที่ปริมาตรของอากาศเพิ่มขึ้น ส่วนความดันจะลดลงโดยที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่ากระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงที่ (isothermal expansion process) โดยที่จะดูแผนภาพความดันและปริมาตรได้จากรูปที่ 2.5 (c)

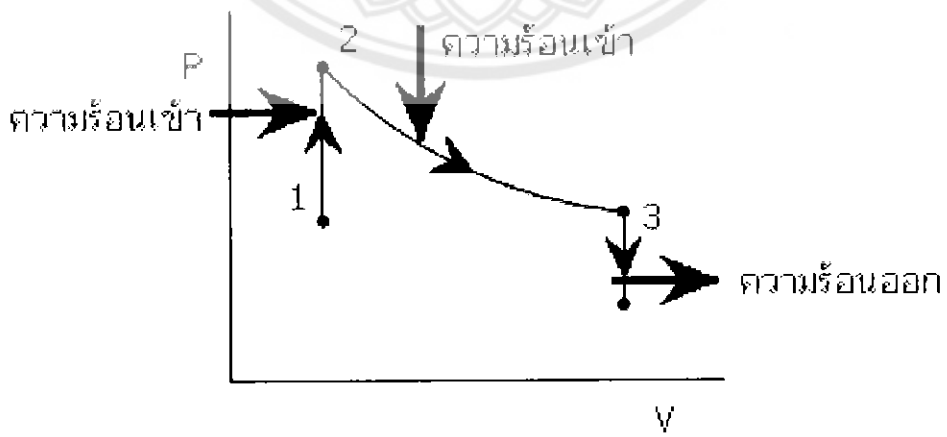
ขั้นตอนที่ 3



(a)



(b)

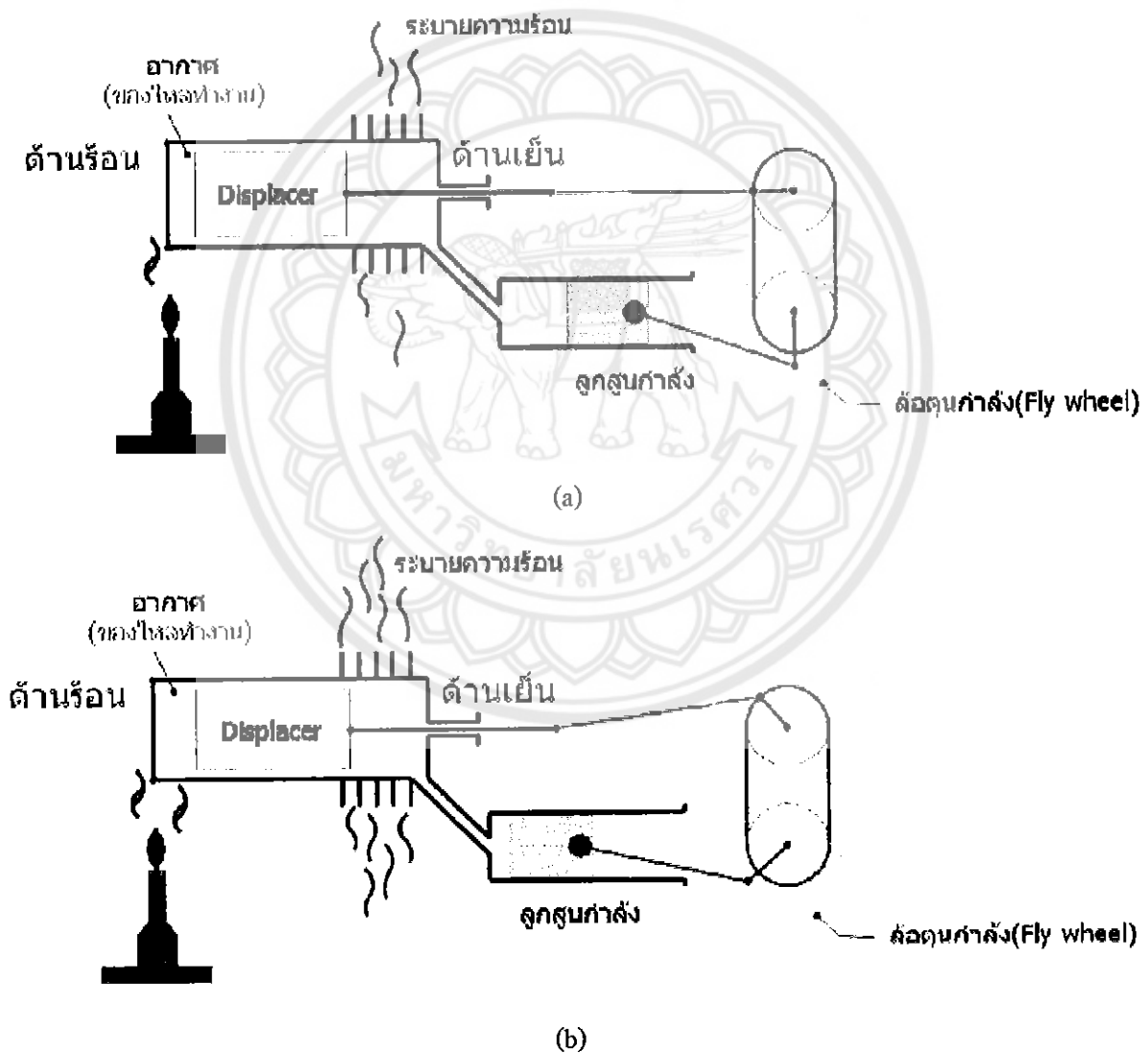


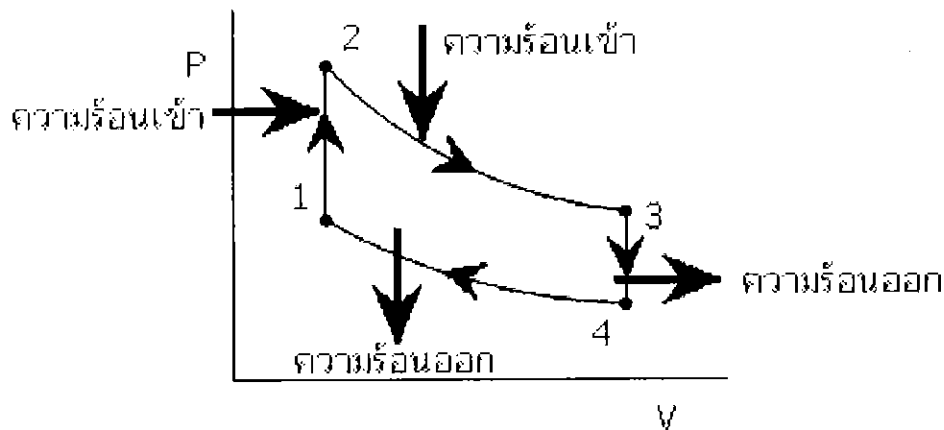
(c)

รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการระบายความร้อนที่ปริมาตรคงที่

จากรูปที่ 2.6 (a) และ (b) แสดงผลของความต่างเฟส  $90^\circ$  ระหว่างลูกสูบทั้งสองทำให้ลูกสูบได้เคลื่อนที่ไล่เอาอากาศจากด้านร้อนไปทางด้านเย็นเพื่อทิ้งความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิและความดันของอากาศลดลง โดยที่ลูกสูบกำลังจะอยู่ที่ศูนย์ตายล่าง ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการระบายความร้อนที่ปริมาตรคงที่ (isovolumetric cooling process) โดยที่จะดูแผนภาพความดันและปริมาตรได้จากรูปที่ 2.6 (c)

#### ขั้นตอนที่ 4





(c)

รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่

จากรูปที่ 2.7 (a) และ (b) ลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ไปที่ศูนย์กลางบนอากาศจึงถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลง และระบายความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมด้วยอุณหภูมิคงที่ ผลของความต่างเฟส  $90^\circ$  ทำให้ลูกสูบไล่เคลื่อนที่ไล่อากาศจากด้านเย็นกลับไปทางด้านร้อน หลังจากนั้นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็จะกลับไปสู่ขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง โดยที่ในขั้นตอนที่ 4 นี้เรียกว่ากระบวนการอัดตัวที่อุณหภูมิคงที่ (isothermal compression process) โดยที่จะดูแผนภาพความดันและปริมาตรได้จากรูปที่ 2.7 (c)

## 2.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติ

ในสาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ เครื่องจักรความร้อน (heat engine) เป็นเครื่องจักรที่ใช้เปลี่ยนพลังงานความร้อนไปสู่งานทางกลศาสตร์ โดยอาศัยความแตกต่างทางอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดอุณหภูมิสูง (heat source) และแหล่งกำเนิดอุณหภูมิต่ำ (heat sink) ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากแหล่งกำเนิดอุณหภูมิสูงไปต่ำ และความร้อนบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นงานในกระบวนการนี้ ในอดีตเครื่องจักรความร้อนเป็นที่นิยมใช้ในงานต่าง ๆ เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะพลังงานความร้อน เป็นพลังงานที่สร้างได้ง่ายมาก และเราสามารถควบคุมมันได้ง่ายเนื่องจากความร้อนจะมุ่งหน้าจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งอุณหภูมิต่ำเสมอ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในอุดมคติของเครื่องจักรความร้อนของคาร์โนต์เป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญอย่างยิ่งจุดหนึ่งของอุณหพลศาสตร์. โดยทั่วไปเครื่องจักรความร้อนจะเป็นเครื่องจักรชนิดเครื่องจักรวนรอบ (cyclic device) นั่นคือเมื่อทำงานไปพักหนึ่ง สถานะของเครื่องจักรจะวนกลับเข้ามาที่สถานะเริ่มต้นใหม่ และจะวนไปมาเรื่อย ๆ ทั้งนี้เนื่องจากการจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกระบวนการการทำงานของ

เครื่องจักรเสมอ ถ้าเราสร้างเครื่องจักรให้เป็นชนิดไม่วนรอบ เมื่อทำงานไปเรื่อย ๆ ไม่หยุดอุณหภูมิก็จะมากขึ้นเรื่อย ๆ จนระเบิด (หรืออุณหภูมิตกลงเรื่อย ๆ จนถึงจุดเยือกแข็ง) ถ้าเรานิยามประสิทธิภาพของเครื่องจักรความร้อนเป็น อัตราส่วนของงานที่ได้รับต่อพลังงานที่ให้เครื่องจักร โดยพลังงานที่ให้คือพลังงานความร้อนขาเข้า  $Q_{in}$  และพลังงานที่ได้รับ  $W$  เราสามารถเขียนในรูปสมการได้ว่า

$$\eta = W / Q_{in}$$

เนื่องจากจะมีความร้อนส่วนหนึ่ง  $Q_{out}$  ออกไปยังแหล่งกำเนิดอุณหภูมิต่ำเสมอ และเนื่องจากเครื่องจักรความร้อนเป็นชนิดเครื่องจักรวนรอบ ในแต่ละรอบการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของเครื่องจักรจึงเท่ากับศูนย์ จากกฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์สามารถเขียนสมการงาน-พลังงานในแต่ละรอบของการทำงานของเครื่องจักร ได้ดังนี้

$$W = Q_{in} - Q_{out}$$

ฉะนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติคือ

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

### ตัวอย่างการคำนวณ

สมมติให้ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) ได้รับความร้อนทำให้เครื่องยนต์เริ่มทำงาน จึงทำการวัดอุณหภูมิที่กระบอกสูบ ใหญ่และกระบอกสูบกำลัง ซึ่งวัดอุณหภูมิกระบอกสูบ ใหญ่ได้ 450 K และวัดอุณหภูมิกระบอกสูบกำลังได้ 305 K จะสามารถหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติ ได้ดังนี้

ให้  $T_H = 450$  K และ  $T_L = 305$  K

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

แทนค่า  $T_H$  และ  $T_L$  ลงไปในสมการ  $\eta_{TH} = 1 - \frac{305}{450}$

ดังนั้น  $\eta_{TH} = 0.32$

ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) คือ 32 %

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงาน

##### ขั้นตอนการทดสอบเครื่อง

1. ทดสอบการหมุนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) โดยใช้ตะเกียงที่มีเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงจากนั้นทำการจุดไฟที่ตะเกียง แล้วนำไฟไปให้ความร้อนไว้ที่ปลายกระบอกลูกสูบด้านร้อน เมื่อความร้อนที่ปลายกระบอกลูกสูบเพิ่มมากขึ้น เครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็จะเริ่มหมุน
2. ทำการวัดอุณหภูมิของกระบอกลูกสูบได้ (ด้านร้อน) และกระบอกลูกสูบกำลัง (ด้านเย็น) โดยใช้ Thermometer เป็นตัววัดอุณหภูมิ
3. ทำการวัดความเร็วรอบของล้อตุนกำลัง ซึ่งจะทำการวัดในขณะที่ใช้ล้อตุนกำลังทั้งสองข้าง โดยใช้ Tachometer เป็นตัววัดความเร็วรอบ
4. นำข้อมูลที่ได้อ่านบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง

##### ตารางที่ 3.1 ข้อกำหนดในการทดลอง

การวัด	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด	เวลา(นาที)	จำนวนครั้งในการทดลอง
อุณหภูมิ กระบอกลูกสูบได้ (K) กระบอกลูกสูบกำลัง (K)	Thermometer, นาฬิกาจับเวลา	ทุกๆ 1 นาที	3
		ทุกๆ 1 นาที	3
การวัดความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	Tachometer, นาฬิกาจับเวลา	ทุกๆ 1 นาที	3

\* หมายเหตุ ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้เวลาทั้งหมด 10 นาที



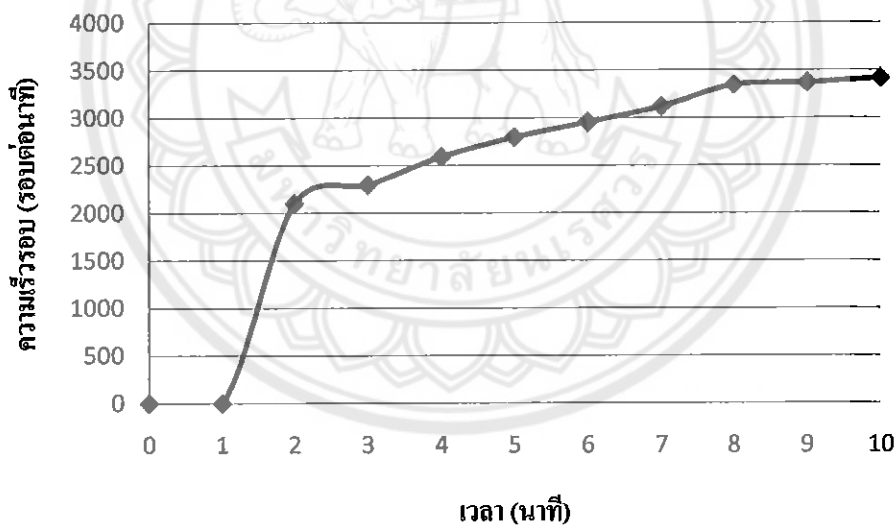
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

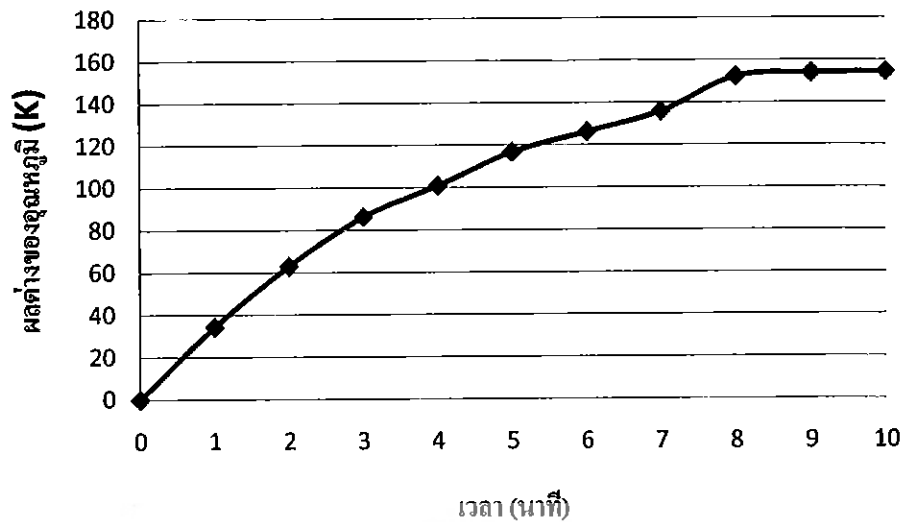
จากการทดลองและเก็บข้อมูลอุณหภูมิกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) จะได้ข้อมูลดังแสดงใน ตาราง ก.1, ตาราง ก.2, ตาราง ก.3, และตาราง ก.4อยู่ในภาคผนวก ก ซึ่งมีการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้ อุณหภูมิกระบอกสูบใต้ อุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง และความเร็วรอบ ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )

#### 4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )

จากผลการทดลองแสดงตามตาราง ก.4 จากภาคผนวก ก นำมาสร้างเป็นกราฟเพื่อแสดงแนวโน้มของความเร็วรอบและผลต่างของอุณหภูมิเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2



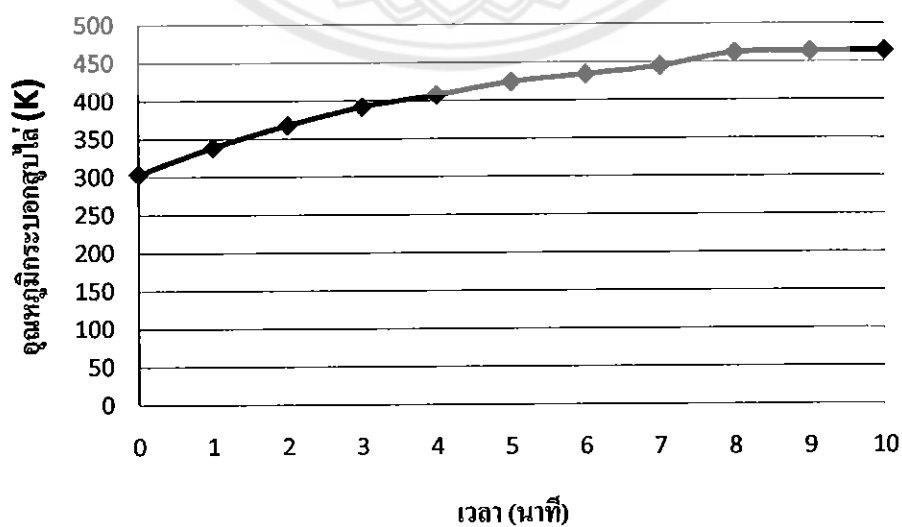
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและความเร็วรอบ



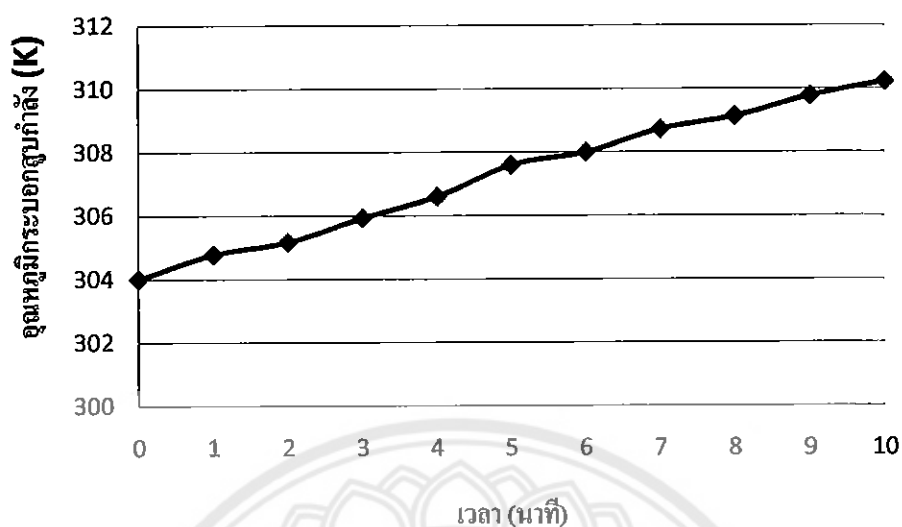
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและผลต่างของอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 จะเห็นว่าเมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) ตั้งแต่เวลาที่ 0 และเมื่อเวลาผ่านไปเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีผลต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะเริ่มหมุนในช่วงเวลาที่ 2 และหลังจากเวลาที่ 2 ผลต่างของอุณหภูมิก็มี่ค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้ความเร็วรอบก็เพิ่มขึ้นตาม จนเข้าสู่ช่วงเวลาที่ 8 จะพบว่าผลต่างของอุณหภูมิมืออัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ลดลงส่งผลให้ความเร็วรอบในช่วงเวลาที่ 8 เป็นต้น ไปเริ่มคงที่

จากผลการทดลองดังที่แสดงตามตาราง ก.4 จากภาคผนวก ก นำมาสร้างเป็นกราฟเพื่อแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของกระบอกสูบใต้ อุณหภูมิของกระบอกสูบกำลัง



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกระบอกสูบใต้ ( $T_H$ )

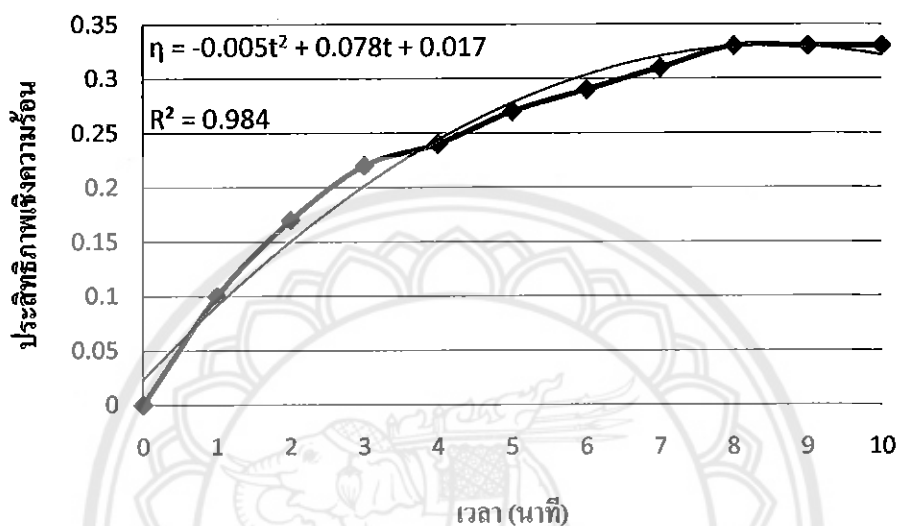


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง ( $T_c$ )

จากรูปที่ 4.3 จะพบว่าเมื่อเริ่มให้ความร้อนผ่านไปในแต่ละนาที อุณหภูมิกระบอกสูบไถ่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่ในนาทีที่ 8 ส่วนอุณหภูมิกระบอกสูบกำลังเมื่อเริ่มได้รับความร้อนอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิก็คงต่ำมาก เพราะอุณหภูมิกระบอกสูบกำลังจะได้รับการถ่ายเทความร้อนมาจากอุณหภูมิที่กระบอกสูบไถ่ จึงทำให้อุณหภูมิที่กระบอกสูบกำลังมีค่าต่ำและอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิน้อยมาก

#### 4.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุคมคติของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )

ผลการคำนวณจากตาราง ก.5 ในภาคผนวก ก ซึ่งเป็นตารางการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุคมคติของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) โดยคำนวณมาจากอุณหภูมิกระบอกสูบไล่และอุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง จะได้ผลออกมาตามรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุคมคติ

จากรูปที่ 4.5 กราฟจะแสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุคมคติในแต่ละช่วงนาทีที่เพิ่มขึ้น ซึ่งคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนมาในอุคมคติได้ ตามตาราง ก.5 ในภาคผนวก ก จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุคมคติจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนและเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนถึงนาทีที่ 8 จากกราฟจะพบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเริ่มคงที่โดยตั้งแต่นาทีที่ 8 เป็นต้นไปจะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุคมคติคงที่อยู่ที่ 0.33 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่วัดได้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) เหตุผลที่ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุคมคติเริ่มคงที่เป็นเพราะในช่วงนาทีที่ 8 อุณหภูมิที่กระบอกสูบไล่เริ่มมีค่าคงที่ แต่อุณหภูมิที่กระบอกสูบกำลังยังคงเพิ่มอยู่อันเนื่องมาจากการถ่ายเทความร้อนจากกระบอกสูบไล่ไปยังกระบอกสูบกำลังตลอดเวลา แต่อุณหภูมิที่กระบอกสูบกำลังเพิ่มขึ้นน้อยมากจึงทำให้ผลที่ได้จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุคมคติตั้งแต่นาทีที่ 8 ถึงนาทีที่ 10 มีค่าคงที่ เท่ากันอยู่ที่ 0.33 หรือ 33 %

### 4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) กระจกอบสุบลั้วจะเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากนั้นอุณหภูมิที่กระจกอบสุบลั้วจะถ่ายเทความร้อนไปยังกระจกอบสุบลั้วกำลังทำให้กระจกอบสุบลั้วกำลังมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิก่อนข้างต่ำ จากการที่อุณหภูมิที่กระจกอบสุบลั้วมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่กระจกอบสุบลั้วกำลังทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิระหว่างกระจกอบสุบลั้วและกระจกอบสุบลั้วกำลัง เมื่อเวลาผ่านไปจนเข้าสู่นาทีที่ 1 ของการทดลองล้อของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงยังไม่สามารถหมุนได้อันเนื่องมาจากผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองกระจกอบสุบลั้วยังมีค่าน้อยอยู่ แต่หลังจากนาที่ที่ 1 เป็นต้นไป จะสังเกตได้ว่าล้อของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเริ่มมีการหมุน (แสดงตามรูปที่ 4.1) โดยจะเริ่มหมุนเต็มที่ในช่วงประมาณนาที่ที่ 2 เหตุที่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเริ่มทำงานเพราะผลต่างของอุณหภูมิของกระจกอบสุบลั้วและกระจกอบสุบลั้วกำลังมีค่ามากเพียงพอที่จะทำให้วัฏจักรนั้นทำงาน ซึ่งในช่วงที่วัฏจักรเริ่มทำงานจะมีค่าผลต่างของอุณหภูมิประมาณ 60 K

หลังจากนาที่ที่ 2 ของการทดลองความเร็วรอบของล้อของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เพราะในแต่นาทีที่ผ่านไป ในขณะที่การทดลองอุณหภูมิกระจกอบสุบลั้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (แสดงตามรูปที่ 4.3) แต่ในส่วนของกระจกอบสุบลั้วกลับมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต่ำน้อยมาก (แสดงตามรูปที่ 4.4) จึงทำให้ค่าของผลต่างของอุณหภูมิมิมีค่าเพิ่มมากขึ้น (แสดงตามรูปที่ 4.2)

แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงนาที่ที่ 8 ถึงนาที่ที่ 10 ของการทดลองจะพบว่าความเร็วรอบของล้อของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีความเร็วรอบที่สม่ำเสมอ (แสดงตามรูปที่ 4.1) ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าเมื่อการทดลองเข้าสู่ช่วงนาที่ที่ 8 จนถึงนาที่ที่ 10 อุณหภูมิที่กระจกอบสุบลั้วเริ่มมีค่าคงที่ซึ่งเป็นเพราะอุณหภูมิที่กระจกอบสุบลั้วได้รับความร้อนที่เพียงพอแล้ว (แสดงตามรูปที่ 4.3) ส่วนอุณหภูมิที่กระจกอบสุบลั้วกำลังตั้งแต่นาทีที่ 8 จนถึงนาที่ที่ 10 ยังคงมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแต่เพิ่มขึ้นน้อยมาก (ตามรูปที่ 4.4) เพราะกระจกอบสุบลั้วกำลังยังคงได้รับการถ่ายเทความร้อนจากกระจกอบสุบลั้วอยู่ แต่เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของกระจกอบสุบลั้วจึงสมมติได้ว่าอุณหภูมิของกระจกอบสุบลั้วกำลังมีค่าคงที่ จึงทำให้ในช่วงนาที่ที่ 8 จนถึงนาที่ที่ 10 ของการทดลองมีผลต่างของอุณหภูมิที่ค่อนข้างจะคงที่ (แสดงตามรูปที่ 4.2) จึงส่งผลให้ความเร็วรอบในช่วงนาที่ที่ 8 จนถึงนาที่ที่ 10 มีความเร็วรอบคงที่นั่นเอง (แสดงตามรูปที่ 4.1)

จากการทดลองประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติจะเพิ่มขึ้นตามผลต่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เพราะประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติกำนวณได้จากสมการ  $\eta_{TH} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$  ยิ่งอุณหภูมิที่กระจกอบสุบลั้ว  $T_H$  มีค่ามากกว่าอุณหภูมิที่กระจกอบสุบลั้วกำลัง  $T_L$  เท่าใด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติก็น่าจะยิ่งมากขึ้น

และจากรูปที่ 4.5 กราฟที่ได้ออกมานั้นสามารถหาสมการของกราฟได้ 2 ช่วงคือ ช่วงแรกตั้งแต่นาที 0 จนถึงนาทีที่ 8 จะได้สมการของกราฟช่วงแรกดังนี้  $\eta = -0.005t^2 + 0.078t + 0.017$  ส่วนกราฟในช่วงที่สองคือตั้งแต่นาทีที่ 8 จนถึงนาทีที่ 10 จะไม่มีสมการของกราฟเพราะค่า  $\eta$  จะมีค่าคงที่ตลอด

ในสมการของกราฟช่วงแรกนั้นเมื่อลองแทนค่า  $t$  เป็นนาทีที่ 0 ถึงนาทีที่ 8 พบว่าจะได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติตามกราฟที่แสดง แต่เมื่อลองแทนค่า  $t$  ที่มากกว่านาทีที่ 8 ลงในสมการของกราฟช่วงแรกจะพบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติที่ได้มีค่าไม่เท่ากับค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติจริงที่คำนวณได้ เพราะว่าการแทนค่าของ  $t$  ไม่อยู่ในเงื่อนไขของสมการของกราฟช่วงแรกที่  $t$  ต้องเป็นนาทีที่ 0 ถึงนาทีที่ 8 เท่านั้น และในส่วนของกราฟช่วงที่สองหลังจากนาทีที่ 8 เป็นต้นไปจนถึง  $\infty$  จะพบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติที่ได้มีค่าคงที่ที่ 0.33 %



#### 4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) ทำงานแบบเป็นวัฏจักรซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นงานแล้วกลับคืนสู่สถานะเดิมเมื่อทำงานครบวัฏจักร ในแต่ละรอบของวัฏจักร (รอบการทำงาน) เครื่องยนต์จะรับเอาพลังงานความร้อนจากแหล่งพลังงานอุณหภูมิสูงแล้วเปลี่ยนเอาพลังงานความร้อนบางส่วนให้กลายเป็นงาน แล้วคายความร้อนที่เหลือไปยังแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ และเมื่อเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทำงานครบวัฏจักรก็สามารถหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติของวัฏจักรแต่ละรอบได้ ซึ่งประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติดังกล่าวคือการวัดว่าเครื่องยนต์จะสามารถให้งานออกมาเท่าไร

จากการทดลองหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะสรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบไล่และกระบอกสูบกำลังต่างกันมากเท่าไร ก็จะยิ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติของเครื่องยนต์มีค่ามากขึ้น ซึ่งการทดลองครั้งนี้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติมากที่สุดที่ 33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน เพราะมีการสูญเสียความร้อนไปให้กับอากาศมากเกิน ไปจึงทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติที่ได้ออกมานั้นมีค่าต่ำ

ผู้ทดลองได้นำประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) ไปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาและแอลฟา

ชนิด	$T_L$ (K)	$T_H$ (K)	rpm	$\eta$ (%)	ไฟฟ้า (V)
เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )	310.23	464.53	3413.67	0.33	-
เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา ( $\alpha$ )	320	653	2989	0.53	5

จากตารางจะพบว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา ( $\alpha$ ) มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติ 0.53 % ซึ่งมากกว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) และเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือสามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ด้วย และผลต่างของอุณหภูมิเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา ( $\alpha$ ) สูงกว่าผลต่างของอุณหภูมิเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) ทำให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติที่ดีกว่า แต่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟา ( $\alpha$ ) จะต่ำกว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) เพราะว่าเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงคนละชนิดกัน แต่ที่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแอลฟาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือผลิตไฟฟ้าได้เพราะใช้สายพานไปขับเคลื่อนเจนเนอเรเตอร์

ในส่วนเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) ที่ผู้ทดลองได้ทำการทดลองแล้วพบว่าความเร็วรอบที่ได้นั้นมีค่าสูงแต่ก็ยังไม่สามารถไปจับเจนเนอร์เรเตอร์ให้หมุนได้ ซึ่งเป็นเพราะเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) ไม่มีกำลังมากพอในการขับเคลื่อนเจนเนอร์เรเตอร์ จากสมการ  $P = T\omega$  ซึ่ง  $\omega$  คือความเร็วรอบที่ได้มาจากการทดลอง ส่วน  $T$  (Torque) คือแรงบิด ซึ่งในการทดลองแรงบิดมีค่าน้อยมากทำให้เมื่อกำลังที่ได้ออกมามีค่าน้อยตาม จึงส่งผลให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) ที่ผู้ทดลองได้ทำการทดลองไม่สามารถขับเคลื่อนเจนเนอร์เรเตอร์ให้หมุนได้





## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะพบว่าเมื่อให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) อุณหภูมิกระบอกสูบไต้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่วนอุณหภูมิกระบอกสูบจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เพราะกระบอกสูบกำลังจะได้รับความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนมาจากกระบอกสูบไต้ซึ่งทำให้กระบอกสูบกำลังมีอุณหภูมिन้อยกว่ากระบอกสูบไต้ และเมื่อกระบอกสูบทั้งสองมีผลต่างของอุณหภูมิประมาณ 60 K ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาที่ 2 ของการทดลองล้อของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็จะเริ่มหมุน และเมื่อการทดลองมาถึงในช่วงเวลาที่ 8 ผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองกระบอกสูบมีค่าคงที่ทำให้ความเร็วรอบของล้อของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็จะเริ่มคงที่ โดยมีความเร็วรอบสูงสุดประมาณ 3421 rpm

จากการทดลองสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันของกระบอกสูบไต้และกระบอกสูบกำลัง จะส่งผลต่อความเร็วรอบของล้อของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เพราะเมื่อผลต่างอุณหภูมิของกระบอกสูบไต้และกระบอกสูบกำลังมีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้ความเร็วรอบมีค่าสูงขึ้นตาม ในทางตรงข้ามเมื่อผลต่างอุณหภูมิของกระบอกสูบไต้และกระบอกสูบกำลังมีค่าลดลงก็จะส่งผลให้ความเร็วรอบของล้อของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต่ำไปด้วย

ในส่วนของประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) จะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งจะแปรผันตามค่าของผลต่างของอุณหภูมิจากกระบอกสูบไต้และกระบอกสูบกำลังที่มีค่าเพิ่มขึ้น และจึงนำอุณหภูมิกระบอกสูบไต้และกระบอกสูบกำลังมาคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนในอุดมคติซึ่งจะได้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนในอุดมคติสูงสุดที่ 33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่วัดได้ในการทดลอง จะเห็นได้ว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ ) มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าในอนาคตดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1672969

715  
86790  
2672

1. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติที่ได้มีค่าต่ำเกินไปเมื่อเทียบกับผู้ทดลองคนอื่น ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงน้อยเกินไป ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบได้และกระบอกสูบกำลังมีค่าน้อย ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติจึงน้อยตามไปด้วย เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติควรเพิ่มผลต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบได้และกระบอกสูบกำลังให้มีค่ามากขึ้น

2. การออกแบบเฟืองที่ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนระหว่างของล้อเครื่องยนต์สเตอร์ลิงไปสู่เจนเนอเรเตอร์ ยังไม่ดีพอ อาจเป็นเพราะเฟืองขบกัน ไม่สนิททำให้เจนเนอเรเตอร์ไม่สามารถหมุนได้ แก้ไขได้โดยหาเฟือง 2 ขนาดที่สามารถขบกันได้พอดีไม่ติดขัดในระหว่างการส่งกำลัง

3. เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นเอทานอลซึ่งมีค่าความร้อน 23.5 เมกะจูลต่อลิตร ซึ่งสามารถหาเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงกว่ามาใช้แทนได้เพื่อที่จะทำให้สามารถเพิ่มความร้อนที่ให้แก่เครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ตารางที่ 5.1 แสดงการคำนวณกำลังงานความร้อนตามประเภทเชื้อเพลิง

ประเภทเชื้อเพลิง	ค่าพลังงานความร้อน (เมกะจูล/ลิตร)
น้ำมันเบนซิน 91 และ 95	34.83
น้ำมันดีเซล	38.60
เอทานอล	23.50
เมทานอล	17.90
น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (E-10)	33.70
ไบโอดีเซล	35.10
LPG	25.50-28.70
ไฮโดรเจนเหลว	9.36
LNG	25.30

## บรรณานุกรม

1. ขจรศักดิ์ แก้วเกิด, ศิวโรจน์ พายพัตร และสุภชัย ชุมมนุวัฒน์. (2551) การสร้างชุดทดลองอุปกรณ์วัฏจักรสเตอร์ลิง มหาวิทยาลัยนเรศวร
2. รศ.มนตรี พิรุณเกษตร. อุณหพลศาสตร์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 2: บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด, 2542
3. Senft, J. R., "An Introduction to Stirling Engines", River Falls, Wisconsin, 1995.
4. Senft, J. R., "An Introduction to Low Temperature Differential Stirling Engines", River Falls, Wisconsin, 1996.
5. West, C. D., "Principles and Applications of Stirling Engines", Van Nostrand Reinhold, New York, 1986.
6. [www.dede.go.th/dede/fileadmin/user/wpd/static/stat52/electhai\\_re47.pdf](http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/user/wpd/static/stat52/electhai_re47.pdf)
7. [http://www.mpoweruk.com/stirling\\_engine.htm](http://www.mpoweruk.com/stirling_engine.htm)
8. <http://www.bekkoame.ne.jp/~khirata/academic/kiriki/begin/princi.html>
9. <http://library.kmutnb.ac.th/projects/ind/AMET/amet0016t.html>
10. [http://www.thaienv.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=848&Itemid=39](http://www.thaienv.com/index.php?option=com_content&task=view&id=848&Itemid=39)



## ภาคผนวก ก

ตาราง ก.1 ผลการทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ถึงครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	อุณหภูมิกระบอกสูบไล้ (K)	อุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง (K)	จำนวนรอบ (rpm)
0	304	304	0
1	338.2	304.8	0
2	367.8	305.1	2089
3	390	305.9	2271
4	406	306.5	2542
5	422.8	307.3	2731
6	434.4	307.8	2957
7	444.2	308.4	3104
8	460	308.9	3311
9	463	309.6	3340
10	464.3	310.1	3403

ตาราง ก.2 ผลการทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ถึงครั้งที่ 2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิกระบอกสูบไล้ (K)	อุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง (K)	จำนวนรอบ (rpm)
0	304	304	0
1	340	304.8	0
2	368.4	305.3	2109
3	393	306	2301
4	408.6	306.7	2624
5	425.5	307.8	2840
6	433.1	308.2	2902
7	444.1	308.9	3098
8	462.8	309.3	3353
9	463.8	309.9	3369
10	464.7	310.4	3417

ตาราง ก.3 ผลการทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	อุณหภูมิกระบอกสูบไล้ (K)	อุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง (K)	จำนวนรอบ (rpm)
0	304	304	0
1	338.8	304.7	0
2	368	305.1	2101
3	393.2	305.9	2320
4	407.7	306.6	2603
5	424.4	307.7	2813
6	435	308	2996
7	445.2	308.9	3153
8	463	309.2	3370
9	463.9	309.8	3391
10	464.6	310.2	3421

ตาราง ก.4 ผลการทดสอบเฉลี่ยของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เวลา (นาที)	อุณหภูมิกระบอกสูบไล้ (K)	อุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง (K)	จำนวนรอบ (rpm)
0	304	304	0
1	339	304.77	0
2	368.07	305.17	2099.67
3	392.07	305.93	2297.33
4	407.43	306.6	2589.67
5	424.23	307.6	2794.67
6	434.17	308	2951.67
7	444.5	308.73	3118.33
8	461.93	309.13	3344.67
9	463.57	309.77	3366.67
10	464.53	310.23	3413.67

ตาราง ก.5 ประสิทธิภาพทางความร้อนในอุดมคติ

เวลา (นาที)	อุณหภูมิกระบอกสูบได้ (K)	อุณหภูมิกระบอกสูบกำลัง (K)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน
0	304	304	0
1	339	304.77	0.1
2	368.07	305.17	0.17
3	392.07	305.93	0.22
4	407.43	306.6	0.24
5	424.23	307.6	0.27
6	434.17	308	0.29
7	444.5	308.73	0.31
8	461.93	309.13	0.33
9	463.57	309.77	0.33
10	464.53	310.23	0.33

## ภาคผนวก ข

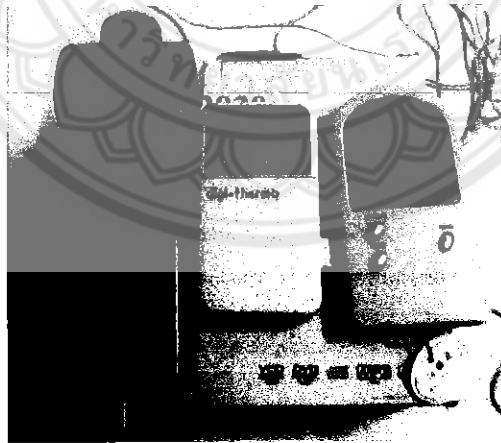
## 1. วัสดุอุปกรณ์

1. วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับวัดความเร็วรอบและหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนในอุดมคติของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )

- 1) เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )
- 2) ไม้สี่เหลี่ยมขนาด
- 3) ตะเกียงแอลกอฮอล์

## 2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

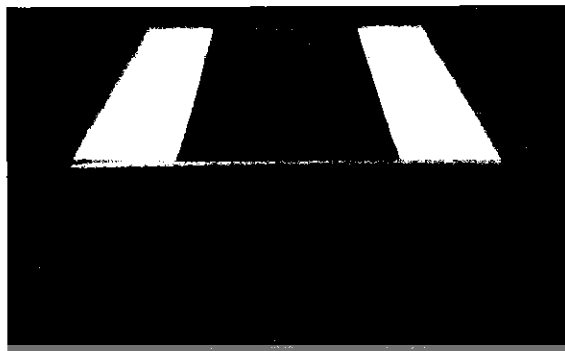
- 1) เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)
- 2) เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- 3) นาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 1 ข. แสดงเครื่องวัดความเร็วรอบและเครื่องวัดอุณหภูมิ



## 2. การเตรียมชิ้นงาน



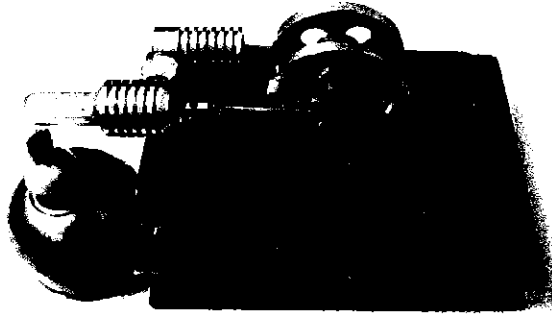
รูปที่ 2 ข. แสดงฐานสำหรับวางเครื่องขนต์สเตอร์ลิง



รูปที่ 3 ข. แสดงเครื่องขนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )



รูปที่ 4 ข. แสดงตะเกียงแอลกอฮอล์



รูปที่ 5 ข. แสดงการเตรียมวัดความเร็วรอบและหาประสิทธิภาพของ  
เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )



รูปที่ 6 ข. แสดงการวัดความเร็วรอบและหาประสิทธิภาพของ  
เครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ( $\gamma$ )

## ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ/นามสกุล : นายธีรวิษ แซ่หว่า  
 วันเกิด : 26 มกราคม 2530  
 ที่อยู่ : 76/1 ม.10 ต.เจ๊กน้อย อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์ 67280  
 การศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนร่มเกล้าเขาค้อเพชรบูรณ์  
 จังหวัดเพชรบูรณ์ ปีการศึกษา 2545  
 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนแคมป์สนวิทยาคม  
 จังหวัดเพชรบูรณ์ ปีการศึกษา 2548

ชื่อ/นามสกุล : นายพัชวิทย์ ศรีเสน  
 วันเกิด : 07 มกราคม 2531  
 ที่อยู่ : 112/31 ม.4 ต.กกโก อ.เมือง จ.ลพบุรี 15000  
 การศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จาก โรงเรียนสิงห์บุรี  
 จังหวัดสิงห์บุรี ปีการศึกษา 2545  
 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จาก โรงเรียนพระนารายณ์  
 จังหวัดลพบุรี ปีการศึกษา 2548

ชื่อ/นามสกุล : นายศิริวัฒน์ เหล็กสิงห์  
 วันเกิด : 13 พฤศจิกายน 2529  
 ที่อยู่ : 65/3 ม.2 ต.นาอิน อ.พิชัย จ.อุตรดิตถ์ 53120  
 การศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จาก โรงเรียนพิชัย  
 จังหวัดอุตรดิตถ์ ปีการศึกษา 2544  
 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียนพิชัย  
 จังหวัดอุตรดิตถ์ ปีการศึกษา 2547