

การสร้างชุดศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิง  
STIRLING ENGINE LABORATORY SET UP



โครงการพิเศษภายใต้ส่วนหางของการศึกษาคณะมหัศจรรย์วิทยาศาสตร์ทั้งหมด  
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2555

การสร้างชุดศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิง  
STIRLING ENGINE LABORATORY SET UP



นายพิสิษฐพัชญ์ นิ่มนวล  
นางสาววิษชุดา วงศ์นสารสิน

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STIRLING ENGINE LABORATORY SET UP



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE  
IN DEPARTMENT OF APPLIED PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ      การสร้างชุดศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิง  
 STIRLING ENGINE LABORATORY SET UP

ชื่อนักศึกษา                นายพิสิษฐพัชญ์      นิ่มนวล  
    นางสาววิชชุดา      วงศ์ธนสารสิน

ปริญญา                        วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา                    ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา            อาจารย์กาญจน์ปัญญา สุวรรณสุโข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์  
 ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.สาทร่าย เล็กชะอุ่ม	
อ.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี	ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี
อ.ธนภรณ์ ถิลาวัฒนานนท์	
อ.กาญจน์ปัญญา สุวรรณสุโข	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสร้างชุดศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	
	STIRLING ENGINE LABORATORY SET UP	
ชื่อนักศึกษา	นายพิสิษฐพัชญ์	นันทนวล
	นางสาววิชชดา	วงศ์ชนสารสิน
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	
ปีการศึกษา	2555	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์กาญปัญญา สุวรรณสุขุโ	

### บทคัดย่อ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกล โดยใช้ทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์ โดยใช้วัฏจักรการขยายและอัดตัวของก๊าซภายในกระบอกลูกสูบที่อุณหภูมิต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรไอน้ำ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าซึ่งในโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษากำลังและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นการศึกษาเครื่องยนต์ในกรณีที่มีเจนเนอเรเตอร์และไม่มีเจนเนอเรเตอร์ โดยให้ความร้อนจากตะเกียงแอลกอฮอล์ จะใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K วัดอุณหภูมิ จากผลการทดลองพบว่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในกรณีที่ไม่มีเจนเนอเรเตอร์เครื่องยนต์จะมีกำลังสูงสุดประมาณ 350 mW และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณ 27 % ที่ความเร็วรอบ 1900 รอบต่อนาที และในกรณีที่มีเจนเนอเรเตอร์เครื่องยนต์จะมีกำลังสูงสุดประมาณ 100 mW และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนประมาณ 25 % ที่ความเร็วรอบ 900 รอบต่อนาที

**คำสำคัญ :** ชุดทดลอง เครื่องยนต์สเตอร์ลิง

<b>Title</b>	STIRLING ENGINE LABORATORY SET UP
<b>Students</b>	Mr. Pisispat Nimnuan Miss Wichuda Wongtanasarasin
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Applied Physics
<b>Academic Year</b>	2012
<b>Advisor</b>	Kajpanya Suwansukho

### ABSTRACT

Stirling engine is a heat engine that can convert heat energy into mechanical work. The operation principle is based on thermodynamic theory. The cyclic compression and expansion of gases inside a cylinder produced by a different temperature generates mechanical work. The Stirling engine has the advantages of high efficiency compared to steam engines, quiet operation, and available applications on heat sources. In this project, the effects of regenerator on output power and thermal efficiency of Stirling engine was studied. A commercial Stirling engine with and without regenerator was heated by alcohol lamp. The temperature of hot cylinder wall was measured by type-K thermocouple. The result shows that the piston angular velocity increases with increasing temperature. For Stirling engine without the regenerator, the maximum output power is about 350 mW and thermal efficiency is about 27 % at angular velocity of 1900 rpm. For the one with regenerator, the maximum output power is about 100 mW and thermal efficiency is about 25 % at angular velocity of 900 rpm.

**Keywords:** Apparatus Stirling engine

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือ คุณเลเอาใจใส่เป็นอย่างดีจากหลายๆฝ่าย โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษา คือ อาจารย์กวางปัญญา สุวรรณสุขโข ในคำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไข ให้ข้อเสนอแนะ ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการวิจัยตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่งและขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาการศึกษา และกรุณาให้ข้อเสนอแนะ และให้แนวคิดต่างๆที่เป็นประโยชน์

ขอขอบคุณเพื่อน นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคน ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับการช่วยเหลือและกำลังใจจากคุณพ่อ คุณแม่ พี่น้อง และทุกคนในครอบครัว ตลอดจนบุคคลต่างๆที่ให้ความช่วยเหลืออีกมาก ที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณ และขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

นายพิสิษฐพัชญ์ นิ่มนวล

นางสาววิชชุดา วงศ์ชนสารสิน

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 แนวการดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	4
2.1 รูปแบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	5
2.1.1 ลักษณะของเครื่องยนต์	5
2.2 วัฏจักรสเตอร์ลิง	6
2.3 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	7
2.4 การหาค่าพารามิเตอร์ทางกลศาสตร์	11
2.4.1 อัตราเร็วเชิงมุม ( angular speed )	11
2.4.2 โมเมนต์ของแรง หรือทอร์ก ( Torque )	11
2.5 กำลังงานของเพลลาภายใต้แรงบิด	13
2.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, $\eta_{th}$ %)	13
2.7 เมทานอล	15
2.8 แก้ว	16
2.8.1 ชนิดของแก้ว	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง</b>	19
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	19
3.2 ขั้นตอนการทดลองและเตรียมการทดลอง	23
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล</b>	29
4.1 ผลการทดลองเครื่องยนต์เพื่อหาค่าความแตกต่างของ อุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น	29
4.2 ผลการทดลองเครื่องยนต์เพื่อหาค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์	30
4.3 ผลการทดลองเครื่องยนต์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบของเครื่องยนต์และอุณหภูมิ	31
4.4 ผลการทดลองเครื่องยนต์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วของเครื่องยนต์	33
4.5 ผลการทดลองเครื่องยนต์แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังและความเร็วรอบของเครื่องยนต์	34
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	37
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	38

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพ T-S และ P-V ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	6
2.2 กระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงตัว	7
2.3 กระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงตัว	8
2.4 กระบวนการระบายความร้อนที่ปริมาตรคงตัว	9
2.5 กระบวนการอัดที่อุณหภูมิคงตัว	10
2.6 วัตถุมวล $\Delta m_i$ เคลื่อนที่ในแนววงกลมรัศมี $R_i$	11
3.1 โมเดลเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแกมมา	19
3.2 Thermometer data recorder	19
3.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ	20
3.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก	20
3.5 MULTIMETER	21
3.6 MULTIMETER ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 73III	21
3.7 RHEOSTAT 33 Ohm, 3.1 A	22
3.8 ตะเกียงแอลกอฮอล์	22
3.9 เมทิลแอลกอฮอล์ 99%	22
3.10 UT372 Interface Software Ver1.00	23
3.11 Tachometer UT372	23
3.12 การหาระยะเครื่องวัดความเร็วรอบ	24
3.13 Lutron Measurement system	24
3.14 Create New Data File	25
3.15 Monitor	25
3.16 Text Display	26
3.17 Thermometer data recorder	26
3.18 วัดความเร็วรอบและอุณหภูมิของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	27
3.19 หน้าต่างของโปรแกรม National Instruments(LabVIEW 2010)	27
3.20 ชั่งมวลของตะเกียงแอลกอฮอล์	28
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นกับเวลา	29

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับเวลา (ที่ระยะห่าง 5 ซม.)	30
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับเวลา (ที่ระยะห่าง 10 ซม.)	30
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับเวลา (ที่ระยะห่าง 15 ซม.)	31
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์ กับผลต่างของอุณหภูมิ ขณะที่เริ่มทำงานจนถึงความเร็วรอบสูงสุด	32
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์ กับผลต่างของอุณหภูมิ ขณะที่หยุดให้พลังงานความร้อน	32
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อน กับความเร็วของเครื่องยนต์	34
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความเร็วรอบของเครื่องยนต์	35

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินงาน	2
2.1 โมเมนต์ความเฉื่อย ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรูปต่างๆ	12
2.2 แสดงคุณสมบัติของเมทานอล	16
4.1 ตารางแสดงผลการทดลองประสิทธิภาพเชิงความร้อน(ส่วนหนึ่งของผลทดลอง)	33
4.2 ตารางแสดงผลการทดลองกำลังของเครื่องยนต์(ส่วนหนึ่งของผลทดลอง)	35
4.3 ตารางแสดงผลการทดลองกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(ส่วนหนึ่งของผลทดลอง)	35



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. หลักการและเหตุผล

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางเทคโนโลยีที่สำคัญมากในช่วงปี ค.ศ. 1816 ซึ่งถูกคิดค้นและจดสิทธิบัตรโดย โรเบิร์ต สเตอร์ลิง (Robert Stirling) และเป็นต้นแบบของเครื่องยนต์สันดาปภายใน เครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) นี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกล โดยปราศจากระบวนการทางเคมีหรือของไหลตัวกลางดังเช่นในเครื่องยนต์ไอพ่น ภายในเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) ทำงานโดยอาศัยหลักการของอากาศร้อนจะขยายตัว และในอากาศเย็นจะหดตัว ดังนั้นการควบคุมบรรยากาศภายในกระบอกสูบร้อนและเย็นสลับกันถูกสูบก็จะสามารถเคลื่อนที่ไปมา ซึ่งก็จะสามารถเปลี่ยนรูปแบบของพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกลได้

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) จะถูกป้อนความร้อนจากภายนอกของเครื่องยนต์ ดังนั้นแหล่งความร้อนใดๆก็เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เช่นเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน (ถ่านหิน, ก๊าซธรรมชาติ, น้ำมันเชื้อเพลิง), ก๊าซไฮโดรเจน, พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น เครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) เป็นเครื่องยนต์ที่มีการทำงานที่เบามาก จึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการเสียงรบกวนมาก

ในการศึกษาวิจัยเรื่อง เครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) นั้นผู้ศึกษาวิจัยเลือกที่จะศึกษาวิจัยเลือกที่จะศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ความร้อนระบบปิด 2 จังหวะใช้ความร้อนจากภายนอก เนื่องจากเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพต่างๆของเครื่องยนต์และสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่แสดงออกมาเพื่อที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการพลังงานทางเลือก

## 1.2.วัตถุประสงค์

- 1.มีความรู้ความเข้าใจในหลักการเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
- 2.เพื่อทำการวัด ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์, กำลังของเครื่องยนต์และเจนเนอเรเตอร์, ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และอุณหภูมิ
- 3.เพื่อที่จะนำไปใช้ในการเรียนการสอนวิชาปฏิบัติการพลังงานทางเลือก

## 1.3.ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาหลักการทำงานและค่าพารามิเตอร์ทางกลศาสตร์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ กำลังของเครื่องยนต์และเจนเนอเรเตอร์ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์และอุณหภูมิของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) เพื่อใช้สำหรับการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการพลังงานทางเลือก

## 1.4. แนวการดำเนินการ

โครงการมีระยะเวลาจัดทำ รวมทั้งสิ้น 10 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2555 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2556 ซึ่งมีการดำเนินการข้างต้น สามารถแสดงระยะเวลาดำเนินงานได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินงาน

แผนการดำเนินการ	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.เสนอ Project	■		■							
2.ศึกษาหาข้อมูล		■	■	■	■					
3.รวบรวมข้อมูล			■	■	■	■				
4.จัดเตรียมหาอุปกรณ์				■	■	■	■			
5.ออกแบบชุดทดลอง					■	■	■	■		
6.ทดสอบการทำงาน						■	■	■	■	■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักการการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง
2. เข้าใจวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์, กำลังของเครื่องยนต์และเจนเนอเรเตอร์, ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และอุณหภูมิ
3. ได้ชุดทดลองสำหรับการเรียนการสอนในวิชาปฏิบัติการพลังงานทางเลือก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอกหรือเรียกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายนอก โดยภายในเครื่องยนต์จะบรรจุอากาศหรือก๊าซบางชนิดเป็นก๊าซสำหรับทำงาน (working gas) เครื่องยนต์มีความยืดหยุ่นในการใช้เชื้อเพลิงทั้งที่เป็นสถานะของแข็งหรือของเหลวก็ตาม สิ่งนี้ทำให้เครื่องยนต์ชนิดนี้เป็นที่สนใจ โดยเฉพาะในสถานะที่โลกต้องเผชิญกับภาวะขาดแคลนพลังงาน โดยเฉพาะน้ำมันปิโตรเลียมที่อยู่ในรูปของเหลวและมีราคาแพงขึ้นตามลำดับ พลังงานทดแทนเช่น พลังงานชีวมวลซึ่งมักอยู่ในรูปของแข็ง สามารถใช้กับเครื่องยนต์ชนิดนี้ได้ดี เครื่องยนต์สเตอร์ลิงประดิษฐ์ขึ้นโดย Robert Stirling ชาวสกอตแลนด์เมื่อปี ค.ศ.1816 เครื่องยนต์ให้กำลังต่ำ ใช้ทำงานเป็นเครื่องยนต์สูบน้ำตั้งแต่กลางศตวรรษที่ 19 จนถึงประมาณปี ค.ศ. 1920 ก็เสื่อมความนิยม เนื่องจากการเข้ามาแทนของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในซึ่งให้กำลังงานที่สูงกว่า (เมื่อเทียบน้ำหนักของเครื่องยนต์ที่เท่ากัน)

ในปี ค.ศ.1937 ห้องปฏิบัติการวิจัยของฟิลลิปส์แห่งฮอลแลนด์ได้เริ่มพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขึ้นสู่ระดับเทคโนโลยีที่สูงขึ้น โดยในเบื้องต้นได้ทำการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ใช้ทำงานกับเครื่องปั่นไฟฟ้า สำหรับเครื่องรับวิทยุที่ใช้ในท้องถิ่นกันดาร นอกจากนี้ทีมนักวิจัยของฟิลลิปส์ยังพัฒนาวัสดุที่เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง จนถึงปี ค.ศ. 1952 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง “102 C” ได้รับการพัฒนาขึ้นจนมีกำลังงานสูง 30 เท่าของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในสมัยแรกเริ่ม ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในก็เป็นปัญหาสำคัญสำหรับโลกยุคปัจจุบัน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีข้อดีในแง่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเครื่องยนต์ทำงานเงียบมาก และการควบคุมการเผาไหม้ที่อยู่ภายนอกเครื่องยนต์สามารถทำได้ง่ายกว่า ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้ที่สะอาดกว่าเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน

แม้ว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีข้อดีหลายประการแต่ก็มีข้อด้อยและอุปสรรคบางประการที่ทำให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงยังไม่สามารถขยายการใช้งานและแข่งขันเชิงพาณิชย์กับเครื่องยนต์ชนิดอื่นในท้องตลาดได้ อุปสรรคที่สำคัญได้แก่กำลังที่ผลิตได้ต่อน้ำหนักเครื่องที่ต่ำ ทำให้เครื่องยนต์มีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะสำหรับในอุตสาหกรรมยานยนต์ ส่วนอุปสรรคอื่นๆ ที่รองลงมาได้แก่ราคาขายในขณะเริ่มต้นที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากยังเป็นสินค้าที่ผลิตจำนวนน้อยชิ้น ซึ่งการแก้ปัญหานี้สามารถแก้โดยการเลือกใช้ชิ้นส่วนที่จะนำ มาใช้สร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่เป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรอื่นที่มีการผลิตทางอุตสาหกรรมที่ละมากๆ อยู่แล้วดังตัวอย่างเช่น งานวิจัยพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟาที่ใช้ชิ้นส่วนของข้อเหวี่ยงจากเครื่องยนต์ของรถจักรยานยนต์หรือ

การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมา ที่มีกำลัง 1 กิโลวัตต์ ขึ้น โดยใช้บางส่วนของcompressor จากเครื่องทำความเย็นเป็นองค์ประกอบ

แต่อย่างไรประเทศไทยก็ยังมี การวิจัยทางด้านเครื่องยนต์สเตอร์ลิงอยู่น้อย ดังนั้นจึงน่าจะมีการวิจัยทางด้านนี้ขึ้นเพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกอื่นนอกจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ซึ่งควรเริ่มจากเครื่องยนต์ระดับโมเดลไปจนถึงระดับกำลังสูงที่สามารถทำงานได้จริงต่อไป

## 2.1 รูปแบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องจักรที่ทำงานตามทฤษฎีวัฏจักรสเตอร์ลิง โดยมีสารทำงาน (working fluid) ที่เป็นของไหลที่อัดตัวได้ (compressible fluid) เช่น อากาศ ไฮโดรเจน ฮีเลียม ไนโตรเจน หรือไอน้ำ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอก ใช้แหล่งความร้อนจากแหล่งใดก็ได้เพื่อเป็นแหล่งพลังงาน

### 2.1.1 ลักษณะของเครื่องยนต์

วัฏจักรสเตอร์ลิงประกอบด้วยกระบวนการปริมาตรคงที่ซึ่งจะมีการไหลของสารทำงานระหว่างส่วนร้อนและเย็น กระบวนการอุณหภูมิคงที่ซึ่งมีการรับและคายความร้อน กระบวนการอัดและขยายตัวจะเกิดในกระบอกสูบที่มีลูกสูบกำลัง (Power piston) ส่วนลูกสูบดิสเพลสเซอร์ (Displacer piston) จะผลักดันแก๊สให้เคลื่อนที่ไปและกลับระหว่างส่วนร้อนรีเจนเนอเรเตอร์ (Regenerator) และส่วนเย็นที่ปริมาตรคงที่ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมี 3 แบบคือ

1.แบบแอลฟา (Alpha) ไม่มีลูกสูบดิสเพลสเซอร์แต่มีสองลูกสูบเรียกว่า ลูกสูบร้อนและลูกสูบเย็น ลูกสูบเหล่านี้มีการเคลื่อนที่ในลักษณะที่ทำให้มีปริมาตรในระบบคงที่เมื่อสารทำงานทั้งหมดถูกดันให้อยู่ในกระบอกสูบเดียว ลูกสูบหนึ่งจะหยุดและอีกลูกสูบจะเคลื่อนที่ขยายหรืออัดสารทำงาน งานได้จาก การขยายตัวของลูกสูบร้อน

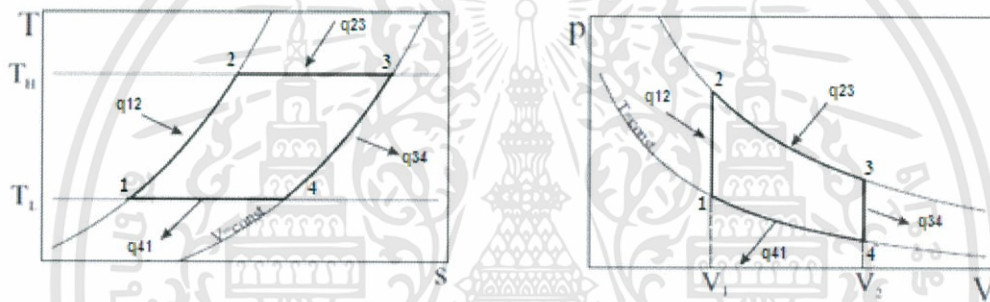
2.แบบเบต้า (Beta) มีลูกสูบดิสเพลสเซอร์และลูกสูบกำลังอยู่ในกระบอกสูบเดียวกัน ลูกสูบดิสเพลสเซอร์จะดันสารทำงานระหว่างส่วนร้อนและส่วนเย็นของกระบอกสูบให้ผ่านฮีตเตอร์ รีเจนเนอเรเตอร์ และคูลเลอร์ ลูกสูบเย็นทำหน้าที่อัดสารทำงานเมื่อสารทำงานอยู่ในส่วนเย็น และขยายตัวเมื่อสารทำงานอยู่ในส่วนร้อน

3.แบบแกมมา (Gamma) มีกระบอกสูบแยกกันระหว่างลูกสูบดิสเพลสเซอร์และลูกสูบกำลัง โดยกระบอกสูบทั้งสองจะเชื่อมต่อกันและมีหลักการการทำงาน เช่นเดียวกับแบบเบต้า มีประสิทธิภาพสูงสุดในเชิงทฤษฎี

## 2.2 วัฏจักรสเตอร์ลิง

วัฏจักรสเตอร์ลิงทางอุณหพลศาสตร์ที่น่าสนใจสามข้อคือ ข้อแรกประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรที่มีรีเจนเนอเรเตอร์แบบอุดมคติ มีค่าเท่ากับวัฏจักรคาร์โนต์ ในขณะที่มีการถ่ายเทสารทำงานผ่านรีเจนเนอเรเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เก็บความร้อนชั่วคราว จะดูดซับและคายความร้อนให้แก่สารทำงาน ดังนั้นจะทำให้มีการรับพลังงานจากภายนอกลดลง ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน

ข้อสอง ตามวัฏจักรคาร์โนต์ถ้าแทนกระบวนการไอเซนโทรปิกสองกระบวนการ (two isentropic processes) ด้วยกระบวนการปริมาตรคงที่สองกระบวนการ (two constant-volume processes) จะเป็นการเพิ่มพื้นที่กราฟ P-V ซึ่งงานจากวัฏจักรสเตอร์ลิงจะเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องใช้ความดันสูงและปริมาตรกวาด (swept volume) มากเหมือนกับวัฏจักรคาร์โนต์



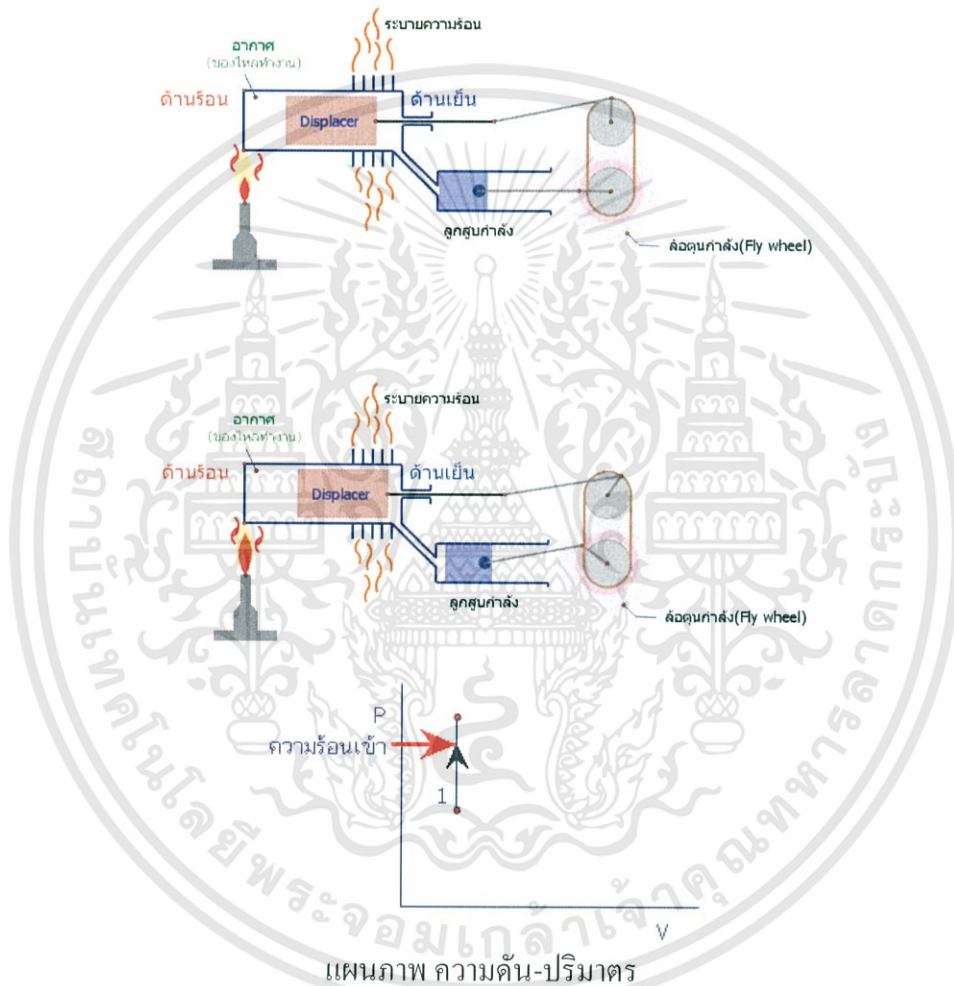
รูปที่ 2.1 แผนภาพ T-S และ P-V ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ข้อสาม เมื่อทำการเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์แบบใช้ลูกสูบทั้งหมด โดยทำงานในขอบเขตอุณหภูมิเท่ากัน อัตราส่วนการอัดเท่ากัน มีมวลของสารทำงานในทางอุดมคติเท่ากัน ความดันภายนอกเท่ากัน และมีกลไกการทำงานที่เหมือนกัน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในทางอุดมคติจะมีประสิทธิภาพทางกลสูงสุด ทั้งสามข้อนี้แสดงให้เห็นว่าในทฤษฎีเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถเทียบได้กับเครื่องยนต์ความร้อน (Heat engine) ทุกประเภท

### 2.3 การทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

หลักการพื้นฐานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงคือมี 2 กระจกสูบ ปลายด้านหนึ่งของกระจกสูบหนึ่งจะร้อนตลอดเวลา อีกกระจกสูบหนึ่งเย็นตลอดเวลา มีลำดับการทำงานง่ายๆ อยู่ 4 ขั้นตอนคือ

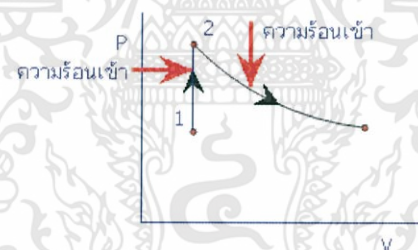
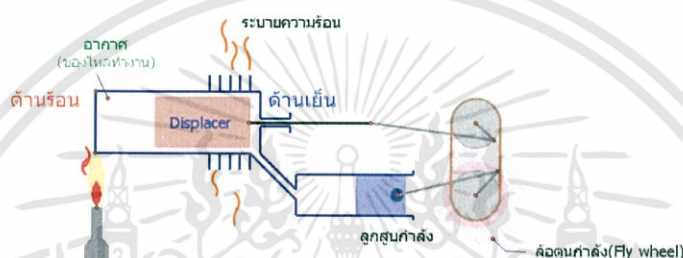
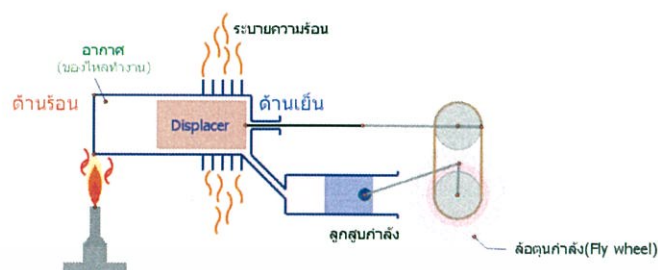
#### ขั้นตอนที่ 1



รูปที่ 2.2 กระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงตัว

ลูกสูบกำลังอยู่ที่ปลายกระจกสูบกำลัง ขั้นนี้เป็นการให้ความร้อนกับอากาศภายในกระจกสูบ โดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบไล่ (Displacer piston) เพื่อให้อากาศส่วนใหญ่ไปรวมอยู่ทางด้านร้อนอากาศที่ได้รับความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นและความดันเพิ่มขึ้น ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการให้ความร้อนที่ปริมาตรคงตัว (Isovolumetric heating process) ดูแผนภาพความดัน-ปริมาตร

## ขั้นตอนที่ 2

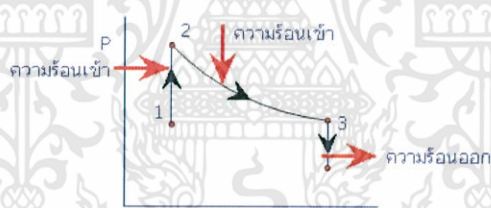
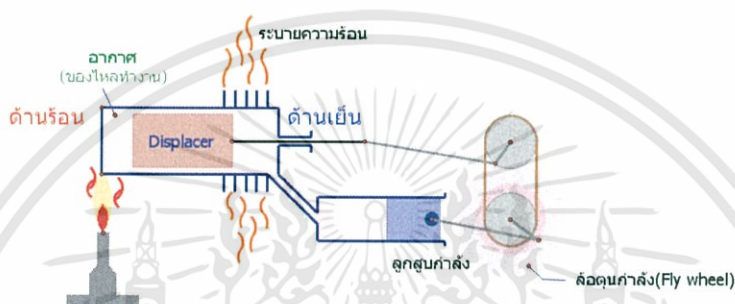
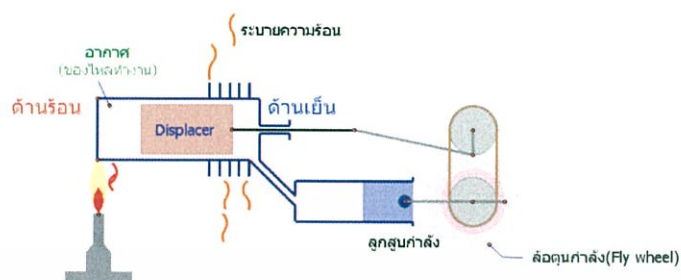


แผนภาพความดัน-ปริมาตร

รูปที่ 2.3 กระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงตัว

เมื่ออากาศทางด้านร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความดันเพิ่มขึ้นเกิดแรงดันลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ไปที่ปากกระบอกสูบกำลัง อากาศจึงได้รับเมื่ออากาศทางด้านร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความดันเพิ่มขึ้น เกิดแรงดันลูกสูบกำลังเคลื่อนที่ไปที่ศูนย์กลางด้านล่าง อากาศยังคงได้รับความร้อนขณะที่ปริมาตรของอากาศเพิ่มขึ้นความดันลดลงโดยที่อุณหภูมิคงตัว ขั้นที่ 2 เป็นกระบวนการขยายตัวที่อุณหภูมิคงตัว (Isothermal expansion process)

### ขั้นตอนที่ 3

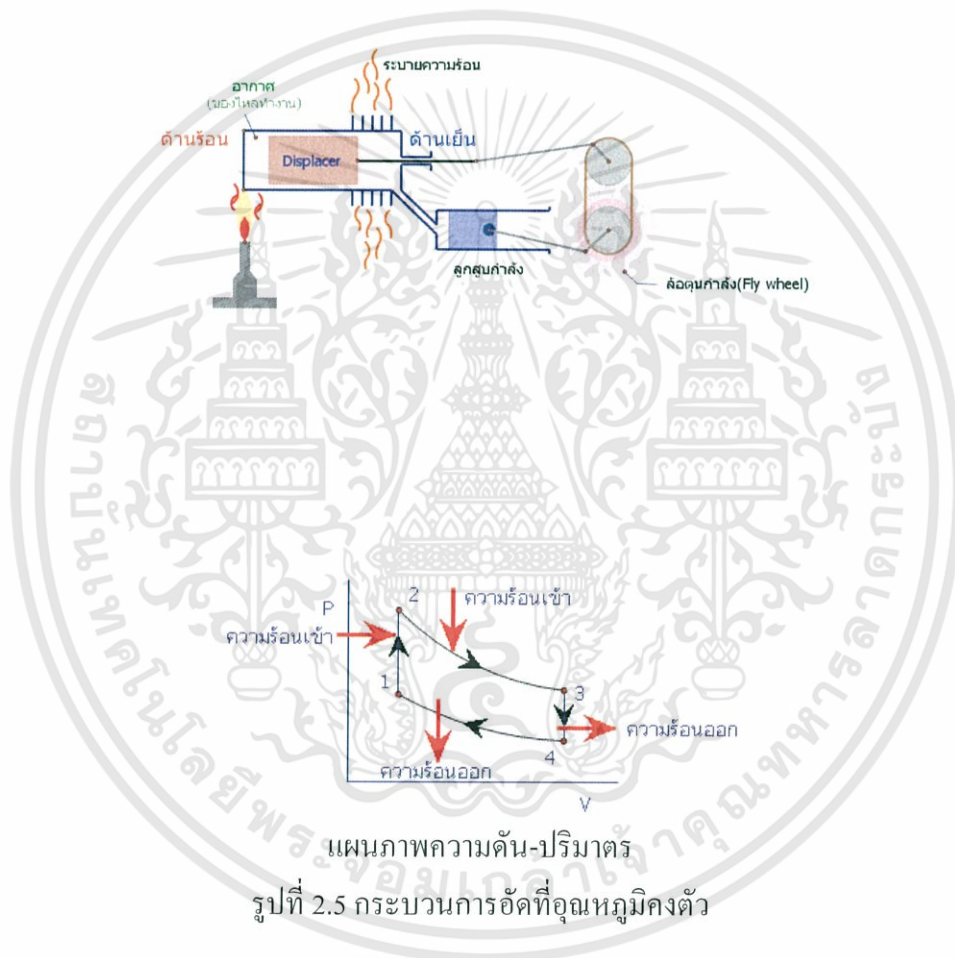
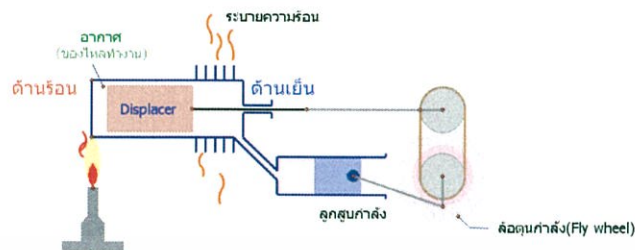


แผนภาพความดัน-ปริมาตร

รูปที่ 2.4 กระบวนการระบายความร้อนที่ปริมาตรคงตัว

ผลของความต่างเฟส  $90^\circ$  ระหว่างลูกสูบทั้งสองทำให้ลูกสูบไล่เคลื่อนที่และไล่อากาศจากด้านร้อนไปทางด้านเย็นเพื่อทิ้งความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลงความดันลดลง ลูกสูบกำลังอยู่ที่ศูนย์ตายล่าง ขั้นที่ 3 เป็นกระบวนการระบายความร้อนที่ปริมาตรคงตัว (Isovolumetric cooling process)

ขั้นตอนที่ 4



ลูกสูบกำลังเลื่อนไปที่ตำแหน่งปลายกระสวยกำลังอากาศถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลง และระบายความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมด้วยอุณหภูมิคงตัว ผลของความต่างเฟส  $90^\circ$  ทำให้ลูกสูบได้เคลื่อนที่ไล่อากาศจากด้านเย็นกลับไปทางด้านร้อน แล้วเครื่องยนต์สเตอร์ลิงก็กลับไปสู่จุดตั้งต้น ขั้นที่ 1 ขั้นที่ 4 เป็นกระบวนการอัดที่อุณหภูมิคงตัว (Isothermal compression process)

## 2.4 การหาค่าพารามิเตอร์ทางกลศาสตร์

### 2.4.1 อัตราเร็วเชิงมุม ( angular speed )

เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ในแนววงกลมด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอจนครบ 1 รอบ โดยมีคาบเป็น  $T$  แสดงว่า รัศมีการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นกวาดมุมไป  $2\pi$  ในเวลา  $T$  ดังนั้นวัตถุจะมีอัตราเร็วเชิงมุม

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (2.1)$$

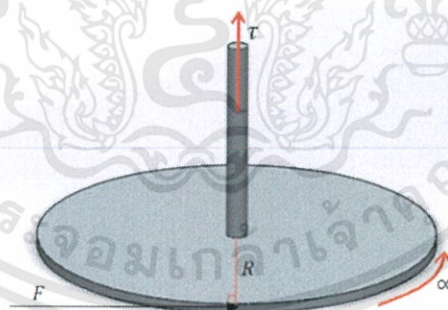
และมีหน่วยของ  $\omega$  เป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)

ในการหมุนของวัตถุดังกล่าว วัตถุอาจจะหมุนโดยมีความเร็วเชิงมุมไม่คงตัว กล่าวได้ว่ามีความเร่งเชิงมุม ( $\alpha$ ) ซึ่งหมายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุม ดังสมการ

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (2.2)$$

### 2.4.2 โมเมนต์ของแรง หรือทอร์ก ( Torque )

ผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุและทำให้วัตถุเกิดการหมุนรอบจุดหมุนใดจุดหนึ่ง หรือผลของแรงคูณกับระยะตั้งฉากจากจุดหมุนไปยังแนวแรงเป็นปริมาณเวกเตอร์



รูปที่ 2.6 วัตถุมวล  $\Delta m_i$  เคลื่อนที่ในแนววงกลมรัศมี  $R_i$

จากการเคลื่อนที่เป็นวงกลมของ  $\Delta m_i$  ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งในการเคลื่อนที่เชิงเส้นและเชิงมุม คือ  $a_i = \alpha_i R_i$

$$\tau_i = R_i F_i = R(\Delta m_i \alpha_i R_i) \quad (2.3)$$

$$\text{หรือ } \tau_i = (\Delta m_i R_i^2) \alpha \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ารวมการคิดเช่นเดียวกันของ  $\Delta m_i$  ทุกชิ้นให้เป็นแผ่นกลมทั้งหมด จะได้




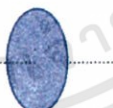
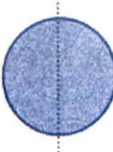
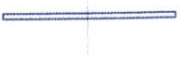
$$\tau_i = \sum_i (\Delta m_i R_i^2) \propto \quad (2.5)$$

เมื่อ  $I = (\Delta m_i R_i^2) \propto$  ( $I$  คือโมเมนต์ความเฉื่อย)

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\tau = I \propto = I \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (2.6)$$

ตารางที่ 2.1 โมเมนต์ความเฉื่อย ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรูปต่างๆ

รูปร่าง	แกนหมุน	รูป	โมเมนต์ความเฉื่อย
ทรงกลมตัน มวล $m$ รัศมี $R$	รอบแกนผ่านจุด ศูนย์กลาง		$I = \frac{2}{5} mR^2$
ทรงกลมกลวง มวล $m$ รัศมี $R$	รอบแกนผ่านจุด ศูนย์กลาง		$I = \frac{2}{3} mR^2$
ทรงกระบอกตัน มวล $m$ รัศมี $R$ ยาว $L$	รอบแกนทรงกลม กระบอก		$I = \frac{1}{2} mR^2$
แผ่นกลมบาง มวล $m$ รัศมี $R$	รอบแกนผ่านจุด ศูนย์กลางบนระนาบ ของแผ่น		$I = \frac{1}{2} mR^2$
แผ่นกลมบาง มวล $m$ รัศมี $R$	รอบแกนผ่านจุด ศูนย์กลางบนระนาบ ของแผ่น		$I = \frac{1}{4} mR^2$
แท่งวัตถุเหล็ก มวล $m$ ยาว $L$	รอบแกนผ่านจุด ศูนย์กลางมวลตั้งฉาก กับแท่ง		$I = \frac{1}{12} mR^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 กำลังงานของเพลลาภายใต้แรงบิด

กำลังงาน ( $P$ ) ที่เกิดจากแรงบิดคือ ผลคูณระหว่างแรงบิดและความเร็วเชิงมุม ( $\omega$ )

$$P = \omega \tau \quad ; \text{ หน่วยคือ วัตต์ (W)} \quad (2.7)$$

จากสมการที่ 2.1  $\omega = 2\pi f$

เมื่อ  $f$  คือความเร็วรอบของการหมุนเพลลา รอบต่อวินาที (Hz)

โดยปกติเครื่องมือวัดรอบส่วนใหญ่จะให้ค่าออกมาเป็น ความเร็วรอบของการหมุนในหน่วย รอบต่อนาที (rpm)

หากกำหนดให้  $N$  คือความเร็วรอบการหมุนในหน่วย (rpm) ดังนั้น

$$P = \frac{2\pi N}{60} \tau \quad (2.8)$$

## 2.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, $\eta_{th}$ %)

เมื่อความร้อนที่ถ่ายโอนเข้าสู่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีความร้อนเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะเปลี่ยนไปเป็นงาน อัตราส่วนของความร้อนที่ป้อนเข้าไปที่สามารถเปลี่ยนไปเป็นงานสุทธิจะถูกใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพเชิงความร้อน

Isothermal expansion process;

$$W_2 = -vRT_1 \ln(V_2/V_1) \quad (2.9)$$

Isothermal compression process;

$$W_4 = vRT_2 \ln(V_2/V_1) \quad (2.10)$$

$$|W_2| > W_4 \text{ เพราะ } T_1 > T_2$$

จะได้ว่า งานสุทธิ ( $W_t$ )

$$W_t = W_2 + W_4$$

$$W_t = -vRT_1 \ln(V_2/V_1) + vRT_2 \ln(V_2/V_1)$$

$$W_t = -vR(T_1 - T_2) \ln(V_2/V_1) \quad (2.11)$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

$$n_{th} = W_t/W_2$$

$$n_{th} = \frac{-vR(T_1 - T_2) \ln(V_2/V_1)}{-vRT_1 \ln(V_2/V_1)}$$

$$n_{th} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (2.12)$$

เมื่อ  $T_1 = T_H, T_2 = T_C$

จะได้ว่า

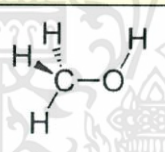
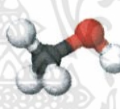
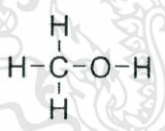

$$n_{th} = \frac{T_H - T_C}{T_H} \quad (2.13)$$

## 2.7 เมทานอล

เมทานอล (อังกฤษ: methanol) หรือ เมทิลแอลกอฮอล์ (อังกฤษ: methyl alcohol) มีสูตรโครงสร้างแบบย่อ  $\text{CH}_3\text{OH}$  เป็นของเหลวใส ระเหยง่าย เป็นพิษ นิยมใช้เป็นตัวทำละลาย และใช้เป็นเชื้อเพลิง ในธรรมชาติ เมทานอลเป็นผลิตภัณฑ์จากการสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียหลายชนิด ซึ่งเมทานอลจะระเหยออกสู่อากาศภายนอก แล้วสลายตัวได้ คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ หากเราเผาเมทานอลกับอากาศ จะได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ดังสมการ



ซึ่งเปลวไฟที่ได้จากการเผาเกือบจะมองไม่เห็นเลย ดังนั้นจึงควรระมัดระวังหากมีการใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง นอกจากนี้เมทานอลยังใช้ผสมเอทานอล เพื่อมิให้สามารถรับประทานได้

Methanol	
	
	
ชื่อตาม IUPAC	methanol
ชื่ออื่น	hydroxymethane methyl alcohol methyl hydrate wood alcohol carbinol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของเมทานอล

คุณสมบัติ	
สูตรเคมี	CH <sub>3</sub> OH
มวลต่อหนึ่งโมล	32.05 g/mol
ลักษณะทางกายภาพ	colorless liquid
ความหนาแน่น	0.7918 g/cm <sup>3</sup> , liquid
จุดหลอมเหลว	-97 °C, -142.9 °F (176 K)
จุดเดือด	64.7 °C, 148.4 °F (337.8 K)
ความสามารถละลายได้ในน้ำ	Fully miscible
ความหนืด	0.59 mPa·s at 20 °C
Dipole moment	1.69 D (gas)

## 2.8 แก้ว

แก้ว คือ ผลิตภัณฑ์ซึ่งผลิตขึ้นจากทรายแก้วหรือซิลิกา โซดาแอช หินปูน โคลโลไมต์ และเศษแก้วร้อยละ 30 สารที่ผสมลงไปช่วยลดจุดหลอมเหลวของซิลิกาจาก 1,723 °C ให้เหลือ 1,500-1,600 °C เมื่อนำส่วนผสมมาให้ความร้อน หินปูน โซดาแอช และโคลโลไมต์จะเปลี่ยนเป็นสารประกอบออกไซด์ และหลอมเหลวลงเกิดเป็นน้ำแก้ว จากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงเพื่อให้ น้ำแก้วมีความหนืด แล้วจึงขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ แก้วเป็นวัสดุที่มีประโยชน์หลากหลาย ใช้ผลิตเป็นภาชนะ เครื่องใช้และเครื่องประดับ รวมทั้งเป็นส่วนประกอบของอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง เนื่องจากแก้วมีสมบัติที่ดีหลายประการคือ มีความโปร่งใส ใส่น้ำและแก๊สซึมผ่านได้ยาก แก้วบางชนิดทนต่อสภาพความเป็นกรด-เบสของสารได้ดี แก้วสามารถจำแนกได้หลายประเภท เช่น จำแนกตามวิธีการผลิต การใช้งานหรือองค์ประกอบทางเคมี

แก้วที่ประกอบด้วยซิลิกาประมาณ 70%  $\text{Na}_2\text{O}$  ประมาณ 10%  $\text{CaO}$  ประมาณ 10% แก้วชนิดนี้ไม่ทนต่อกรด-เบส ยอมให้แสงขาวผ่านแต่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต สามารถทำให้เกิดสีโดยเติมสารประกอบออกไซด์ลงไป เช่น ออกไซด์ของนิกเกิลทำให้เกิดสีน้ำตาล แก้วโซดาโลม์ใช้ทำแก้ว ขวด ภาชนะบรรจุทั่วไป กระจก้นกระสุน

### 2.8.1 ชนิดของแก้ว

การแบ่งประเภทของแก้ว สามารถแบ่งได้หลายแบบ เช่น แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต แบ่งองค์ประกอบทางเคมี หรือแบ่งตามการใช้งาน แต่โดยส่วนใหญ่เรามักจะบอกประเภทของแก้วตามองค์ประกอบของมัน ดังนี้

1. แก้วโซดาโลม์ (Soda-lime glass) ผลิตจากวัตถุดิบหลัก คือ ทราย โซดาแอช หินปูน เป็นแก้วที่พบเห็นได้โดยทั่วไป ได้แก่ แก้วที่เป็นขวด แก้วน้ำ กระจก เป็นต้น สามารถทำให้เกิดสีต่างๆ ได้โดยการเติมออกไซด์ที่มีสีลงไป

2. แก้วที่บอโรซิลิเกต (Borosilicate glass) หรือ Pyrex เป็นแก้วที่มีการเติมบอริก-ออกไซด์ ลงไป ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ และทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อน แก้วที่ได้สามารถนำไปใช้ทำเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์ ทำภาชนะแก้วสำหรับใช้ในเตาไมโครเวฟ เป็นต้น

3. แก้วตะกั่ว (Lead glass) หรือแก้วคริสตัลเป็นแก้วที่มีสารผสมของตะกั่วออกไซด์ อยู่มากกว่า 24% โดยน้ำหนัก จะเป็นแก้วที่มีดัชนีหักเหสูงมากกว่าแก้วชนิดอื่น ทำให้มีประกายแวววาวสวยงาม และแกะสลักเป็นลวดลายต่างๆ ได้ ใช้ทำเครื่องแก้วที่มีราคาแพง

4. แก้วโอ-ปอล (Opal glass) เป็นแก้วที่มีการเติมสารบางตัว เช่น โซเดียมฟลูออไรด์ หรือแคลเซียมฟลูออไรด์ ทำให้มีการตกผลึก หรือการแยกเฟสขึ้นในเนื้อแก้ว ทำให้แก้วชนิดนี้มีความขุ่นหรือโปร่งแสง เนื่องจากสามารถหลอม และขึ้นรูปได้ง่ายจึงมีต้นทุนการผลิตต่ำ และสามารถทำให้มีความแข็งแรงทนทานมากขึ้นเมื่อนำไปผ่านขบวนการอบ (tempering) หรือการเคลือบ (laminating)

5. แก้วอลูมิโนซิลิเกต (Alumino silicate glass) มีอลูมินาและซิลิกาเป็นส่วนผสมหลัก มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องจากความร้อนต่ำ และมีจุดอ่อนตัวของแก้ว (softening point) สูง พอที่จะป้องกันการเสียรูปทรงเมื่อทำการอบ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์

6. แก้วอัลคาไลน์-เอิร์ท อลูมิโนซิลิเกต (alkaline-earth alumino silicate) มีส่วนผสมของแคลเซียมออกไซด์ หรือเบเรียมออกไซด์ ทำให้มีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียง

กับแก้วตะกั่ว แต่ผลิตง่ายกว่าและมีความทนทานต่อกรดและด่าง มากกว่าแก้วตะกั่ว เล็กน้อย

7. กระจก-เซรามิกส์ (glass-ceramics) เป็นแก้วประเภทพิเศษที่มีโมลิบดีนัมไดออกไซด์  $\text{TiO}_2$  หรือ  $\text{ZrO}_2$  ผสมอยู่เล็กน้อย ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกในเนื้อแก้ว ซึ่งอาจทำให้แก้วมีความทึบแสง หรือ โปร่งใส ขึ้นกับชนิดของผลึก กระจก-เซรามิกส์จะทนทาน และมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำมาก สามารถนำไปใช้เป็นภาชนะหุงต้ม หรือเป็นแผ่นบนเตาหุงต้มได้

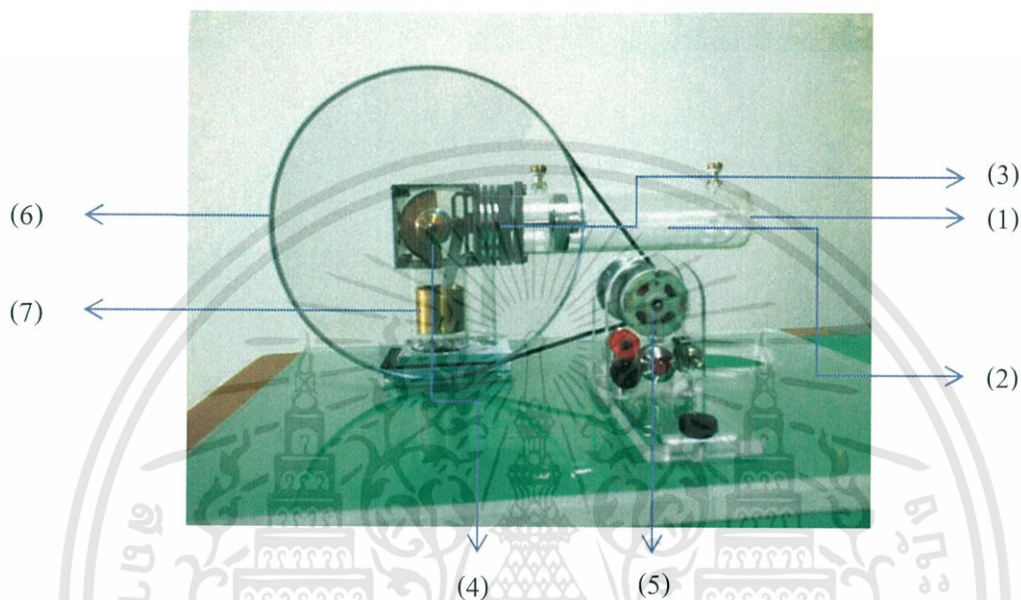


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

#### 3.1 อุปกรณ์การทดลอง



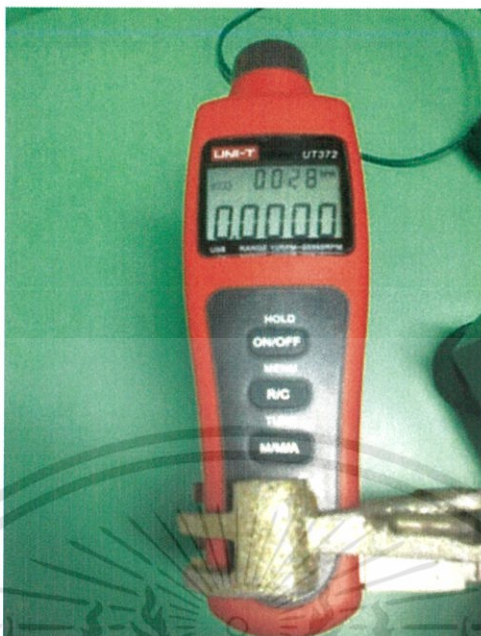
รูปที่ 3.1 โมเดลเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดแก๊มน้ำ

- (1) ครอบอกสูบคิสเพลสเซอร์; (2) ลูกสูบคิสเพลสเซอร์; (3) ครีประบายความร้อน; (4) ข้อเหวี่ยง;  
(5) เจนเนอเรเตอร์; (6) สี่หมุน; (7) ลูกสูบกำลัง



รูปที่ 3.2 Thermometer data recorder 3 Channels ยี่ห้อ LUTRON รุ่น MTM-380SD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

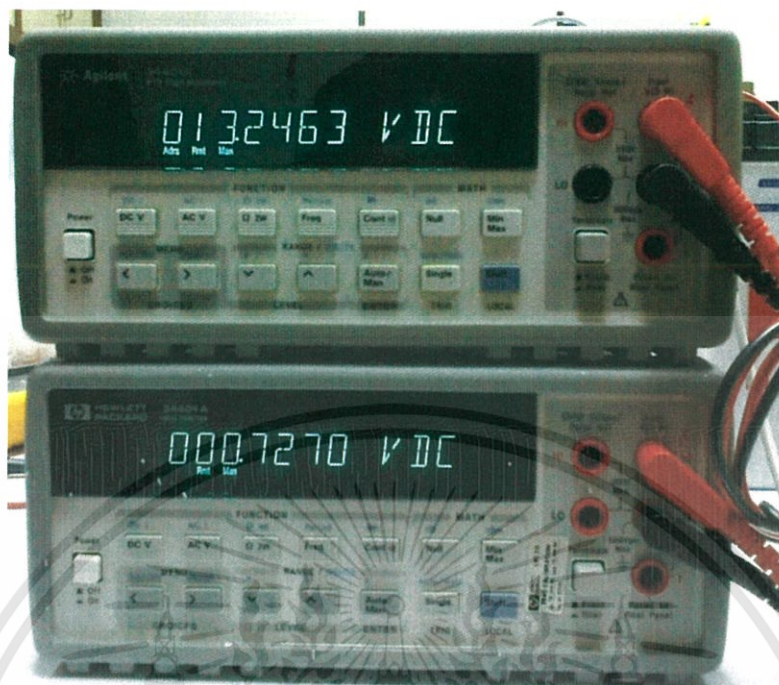


รูปที่ 3.3 เครื่องวัดความเร็วรอบ ยี่ห้อ UNI-TREND รุ่น UT-370



รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ TANITA รุ่น KD-200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

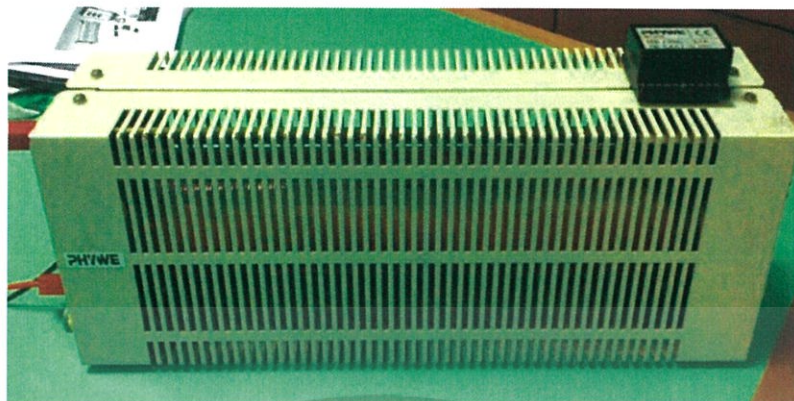


รูปที่ 3.5 MULTIMETER รุ่น 34401A



รูปที่ 3.6 MULTIMETER ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 73III

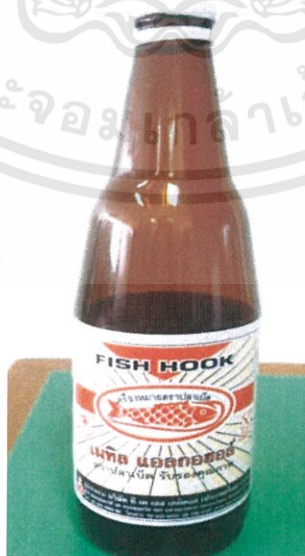
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 RHEOSTAT 33 Ohm, 3.1 A ยี่ห้อ RHYWE รุ่น 06112.02



รูปที่ 3.8 ตะเกียงแอลกอฮอล์



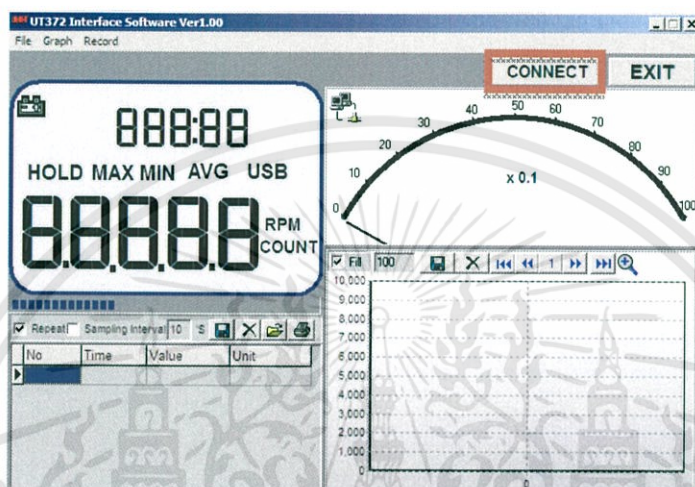
รูปที่ 3.9 เมทิลแอลกอฮอล์ 99%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ขั้นตอนการทดลองและเตรียมการทดลอง

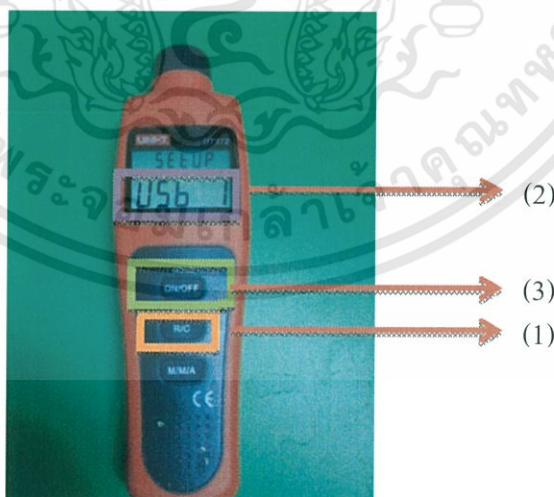
#### 1. การวัดความเร็วรอบ โดยใช้โปรแกรม UNI-T

โปรแกรม UT372 Interface Software Ver1.00 ช่วยในการเก็บข้อมูลจากเครื่องวัดความเร็วรอบ หน้าต่างของโปรแกรมดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 UT372 Interface Software Ver1.00

การเริ่มต้นวัดค่าความเร็วรอบให้ทำการตั้งค่าที่เครื่องวัดความเร็วรอบดังรูปที่ 3.11 หลังจากนั้นกดปุ่ม ON/OFF จะปรากฏหน้าจอดังรูปที่ 3.10 และกดที่ CONNECT ที่โปรแกรม



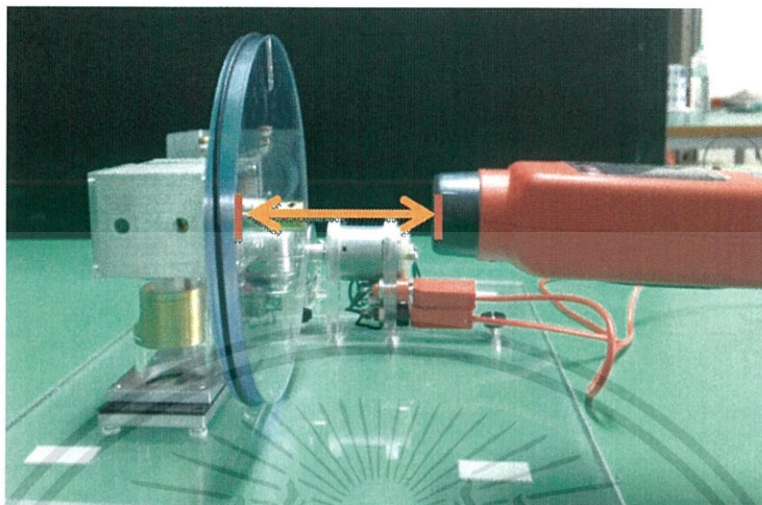
รูปที่ 3.11 Tachometer UT372

(1) กดที่ R/C ค้างไว้ 2-3 วินาที เพื่อตั้งค่าเครื่องวัดความเร็วรอบ; (2) เชื่อมต่อเครื่องเข้ากับ

คอมพิวเตอร์โดยเลือก USB 1; (3) กด ON/OFF ปรากฏดังรูป 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทำการวัดระยะห่างระหว่างวงล้อหมุนกับเครื่องวัดความเร็วรอบที่ระยะ 5 cm, 10 cm และ 15 cm โดยทำการทดลองอย่างละ 3 ครั้งเพื่อที่จะหาระยะที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 3.12

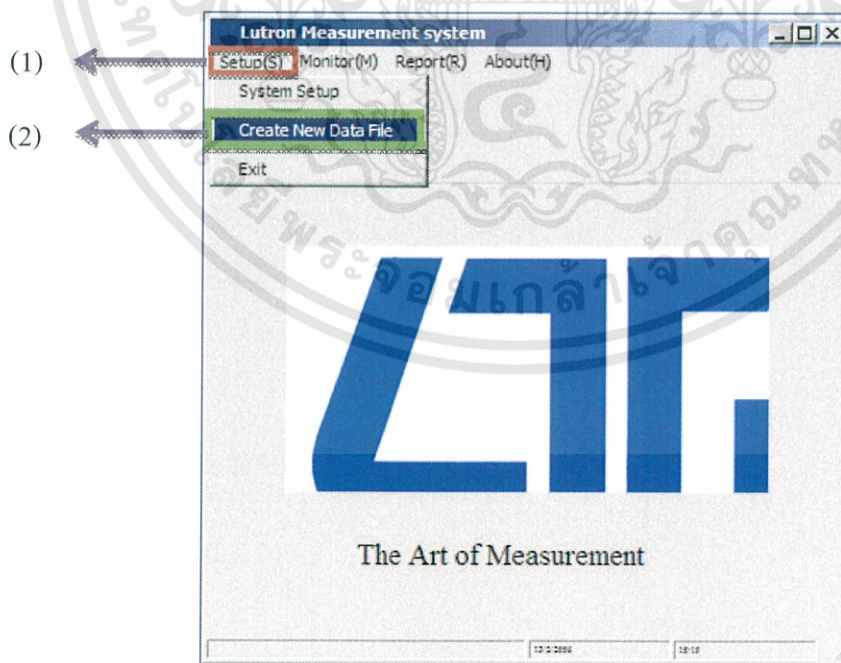


รูปที่ 3.12 การหาระยะเครื่องวัดความเร็วรอบ

## 2. การวัดอุณหภูมิที่กระบอกสูบดีเซลเพลสเซอร์ด้านร้อนและด้านเย็น

ใช้โปรแกรม Lutron Measurement system ในการบันทึกข้อมูล หน้าต่างของโปรแกรม ดัง

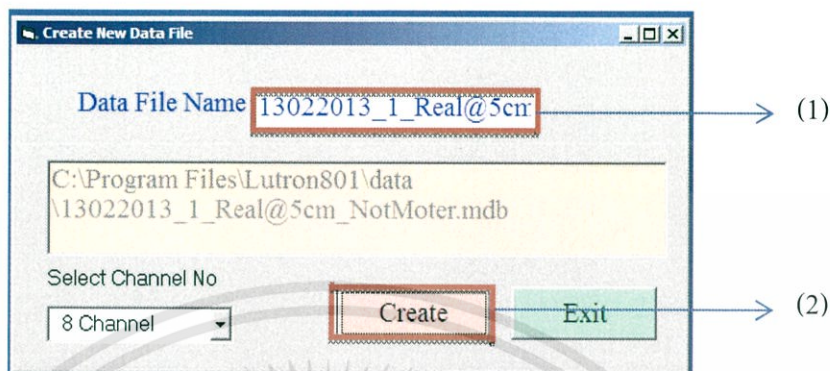
รูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 Lutron Measurement system

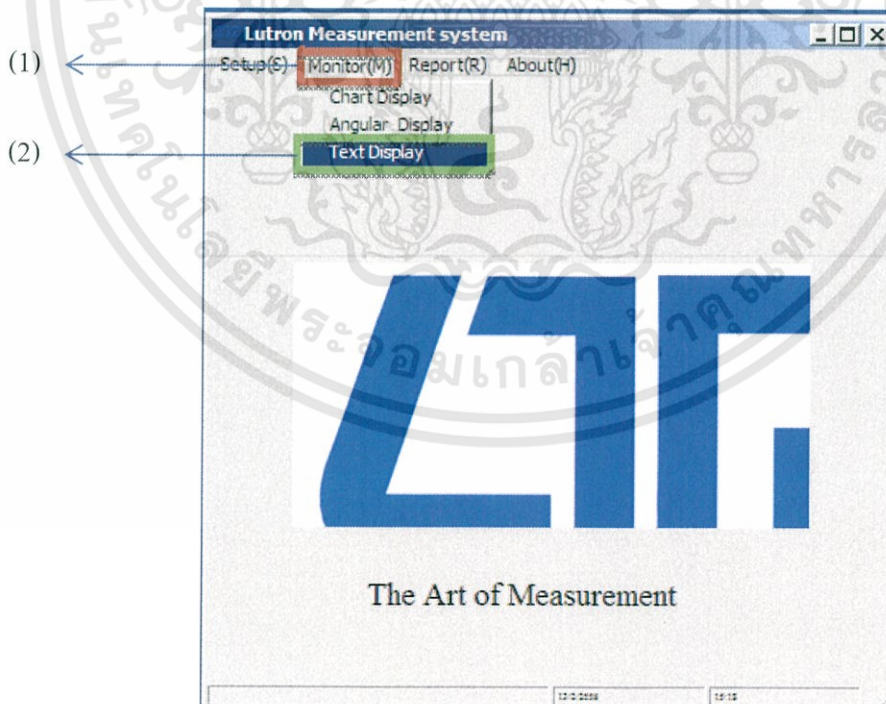
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นโดยการตั้งชื่อไฟล์ที่จะบันทึกข้อมูลไปที่ (1) Setup → (2) Create New Data File จะปรากฏดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 Create New Data File

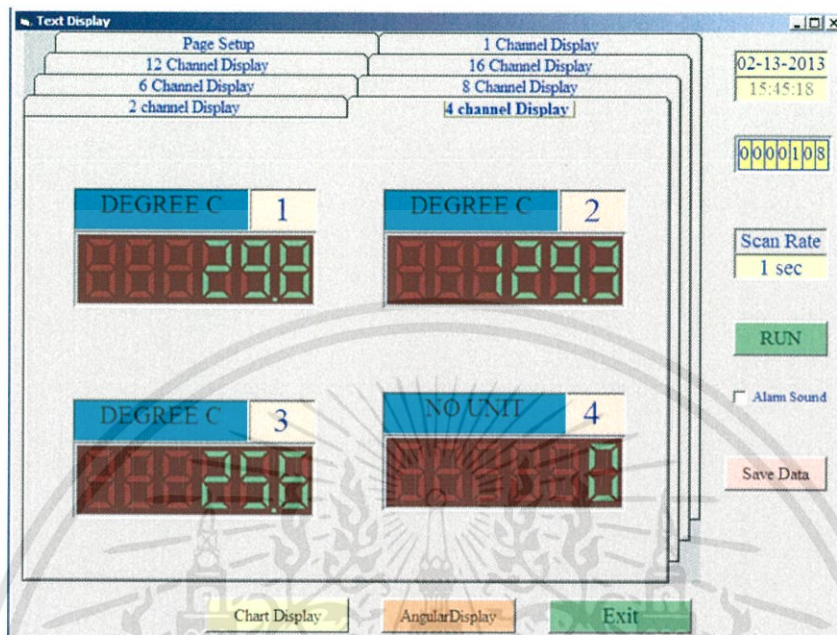
(1) ตั้งชื่อไฟล์ข้อมูลที่ Data File Name; (2) กดที่ Create เมื่อตั้งชื่อที่ Data File Name เสร็จแล้ว



รูปที่ 3.15 Monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (1) กดที่ Monitor → (2) เรียกโปรแกรมที่ Text Display ขึ้นมาจะปรากฏดังรูปที่ 3.15 และจะปรากฏข้อมูลใน Thermometer data recorder ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 Text Display



รูปที่ 3.17 Thermometer data recorder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



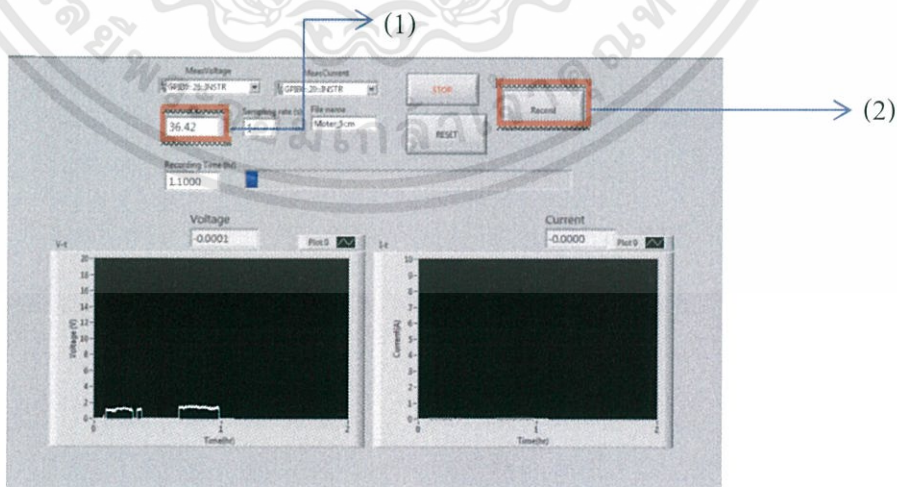
รูปที่ 3.18 การวัดความเร็วรอบและอุณหภูมิของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

(1) อุณหภูมิกระบอกสูบคิสเพลสเซอร์ด้านร้อน

(2) อุณหภูมิกระบอกสูบคิสเพลสเซอร์ด้านเย็น

**3.การวัดค่ากระแสและแรงดัน โดยใช้ RHEOSTAT เป็นโหลดให้กับเจนเนอเรเตอร์**

โดยใช้โปรแกรม National Instruments(LabVIEW 2010) ในการช่วยบันทึกเก็บข้อมูลที่ได้จากเครื่อง Multimeter จากรูปที่ 3.5 หลังจากนั้น จะปรากฏหน้าต่าง ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 หน้าต่างของโปรแกรม National Instruments(LabVIEW 2010)

(1) กำหนดค่าความต้านทานของ Rheostat ; (2) กด Record เพื่อเริ่มบันทึกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การเตรียมเชื้อเพลิง

เติมเมทิลแอลกอฮอล์ลงในตะเกียงแอลกอฮอล์แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.20 และหลังจากนำเชื้อเพลิงไปใช้แล้วให้นำตะเกียงแอลกอฮอล์กลับมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาปริมาตรที่ใช้ไป



รูปที่ 3.20 ชั่งมวลของตะเกียงแอลกอฮอล์

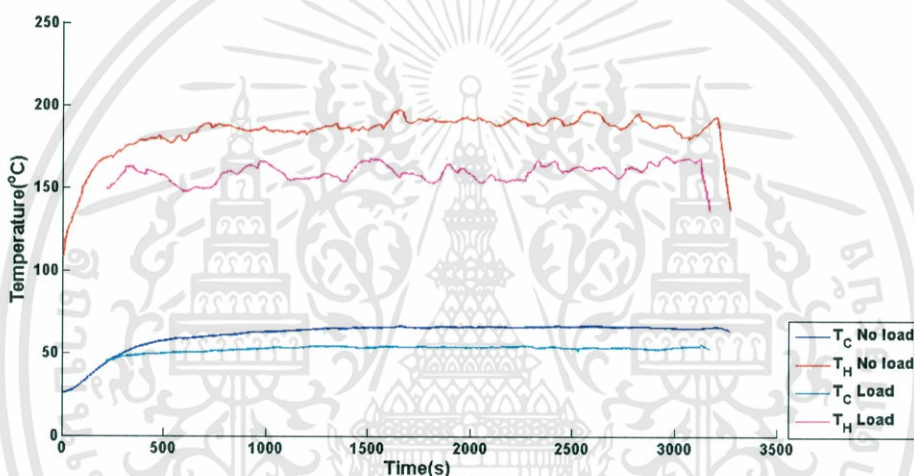
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการทดลองเครื่องยนต์เพื่อหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น

จากการนำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาทดลองเดินเครื่อง เพื่อทดสอบหาเวลาที่เครื่องยนต์จะสามารถทำงานได้หลังจากที่ให้พลังงานความร้อนเข้าไปโดยบันทึกผลค่าทุกๆวินาที จนถึงเวลา 60 นาที ได้ผลทดลองดังรูปที่ 4.1

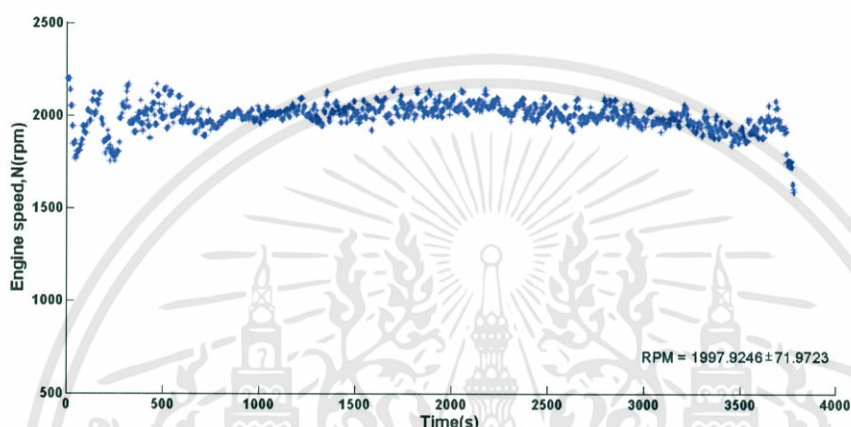


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นกับเวลา ในขณะที่ใส่เงินเนอ์เรเตอร์และไม่ใส่เงินเนอ์เรเตอร์

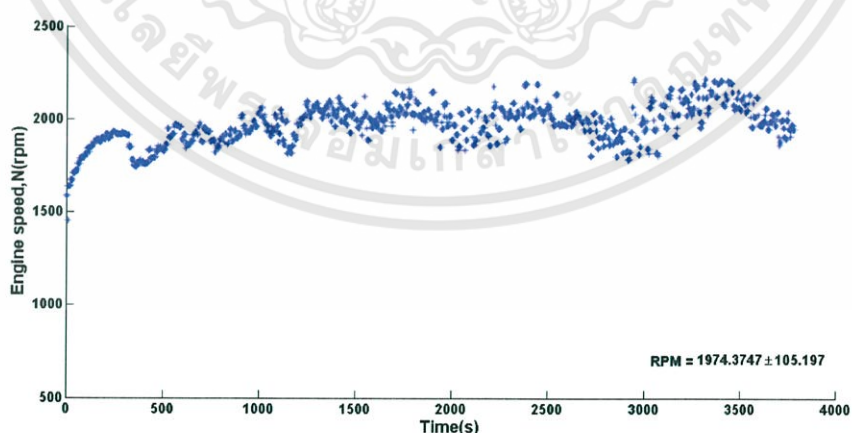
จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของกระบอกสูบคิสเพลสเซอร์ จะพบว่าจุดทำงานของเครื่องยนต์นั้นเริ่มไม่พร้อมกัน ในกรณีที่ 1 ที่ไม่มีเงินเนอ์เรเตอร์ให้พลังงาน ความร้อนจนอุณหภูมิสูงถึง 100 °C เครื่องยนต์ถึงสามารถเริ่มทำงานได้และอุณหภูมิกงที่อยู่ที่ประมาณ 180 °C ส่วนอุณหภูมิด้านเย็นจะคงที่อยู่ที่ประมาณ 60 °C ในกรณีที่ 2 ที่มีเงินเนอ์เรเตอร์ ต้องให้พลังงานความร้อนแก่เครื่องยนต์จนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึง 140 °C จึงสามารถเริ่มทำงานได้ และอุณหภูมิด้านร้อนคงที่อยู่ที่ประมาณ 150 °C ส่วนอุณหภูมิด้านเย็นจะคงที่อยู่ที่ประมาณ 50 °C

## 4.2 ผลการทดลองเครื่องยนต์เพื่อหาค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์และวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์ให้พลังงานความร้อน ได้ทำการวัดความเร็วรอบทุกๆวินาทีเป็นเวลา 60 นาที ซึ่งทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ที่ระยะห่างของเครื่องวัดความเร็วรอบและ Fly wheel ที่ 5 ซม. 10 ซม. และ 15 ซม. ดังรูปที่ 4.2 รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

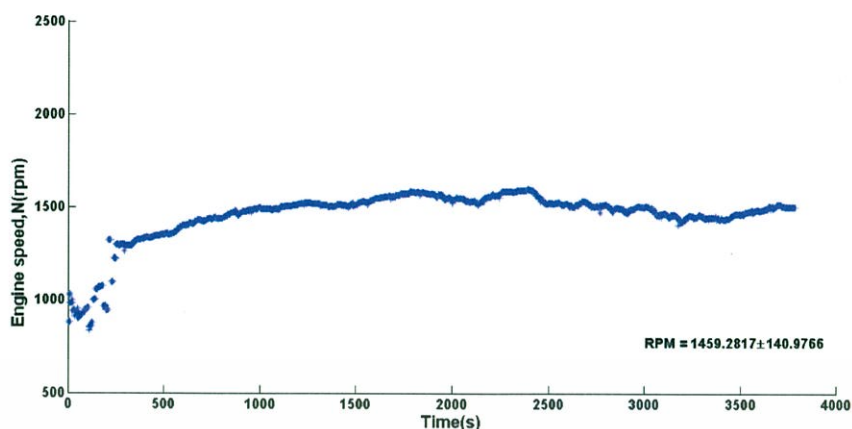


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับเวลา ตั้งแต่เริ่มจนหยุดหมุน(ที่ระยะห่าง 5 ซม.)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับเวลา ตั้งแต่เริ่มจนหยุดหมุน(ที่ระยะห่าง 10 ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

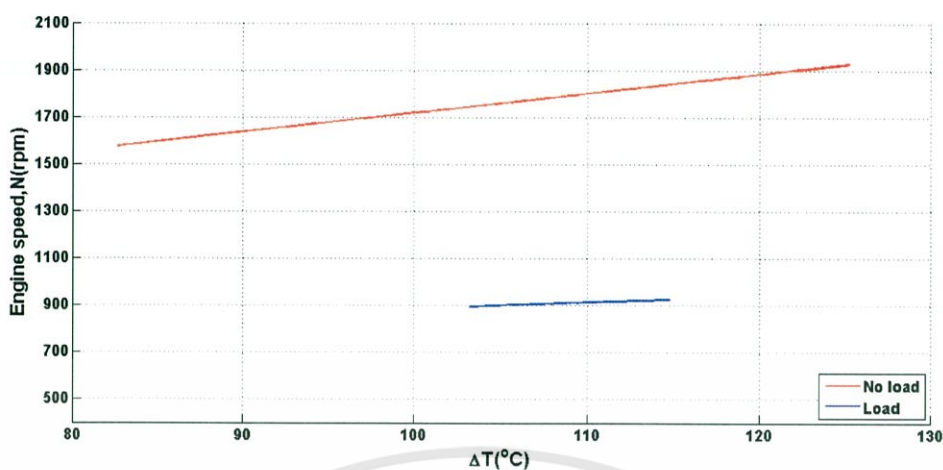


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับเวลา ตั้งแต่เริ่มจนหยุดหมุน(ที่ระยะห่าง 15 ซม.)

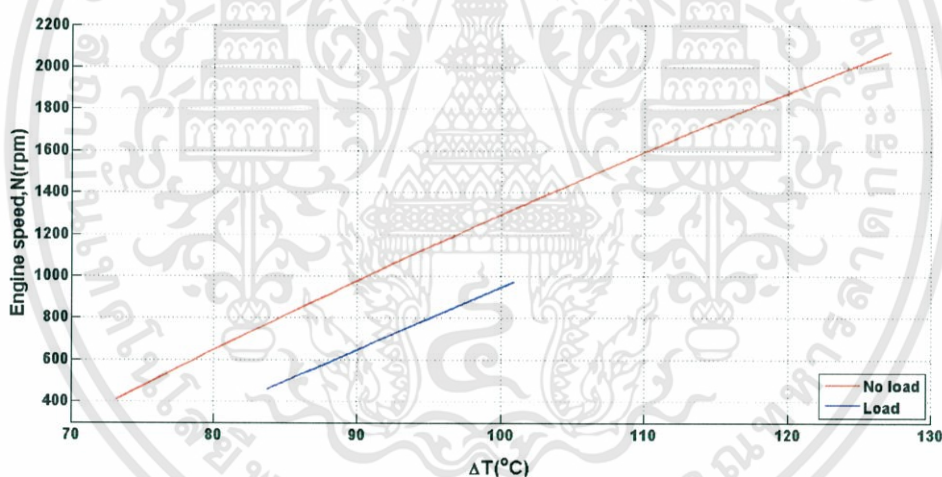
จากรูปที่ 4.2 รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์เทียบกับเวลา เพื่อหาระยะห่างที่เหมาะสมของเครื่องวัดความเร็วรอบ(Tachometers UT370 Series) ที่ระยะห่าง 15 ซม.จะพบว่าความเร็วรอบที่วัดได้นั้นมีค่าผันผวนในในช่วงเวลาต่างๆความเร็วรอบที่วัดได้  $1507.9874 \pm 46.0168$  รอบต่อนาที ที่ระยะห่าง 10 ซม.ค่าความเร็วรอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไม่คงที่มีค่าความผิดพลาดสูงวัดความเร็วรอบได้  $1974.3747 \pm 105.197$  รอบต่อนาที และที่ระยะ 5 ซม.ค่าความเร็วรอบที่วัดได้นั้นมีความผันผวนต่ำค่อนข้างคงที่ค่าที่ได้คือ  $1997.9246 \pm 71.9723$  รอบต่อนาที ซึ่งการทดลองตอนต่อไปจึงเลือกใช้ระยะห่างของเครื่องวัดความเร็วรอบที่ระยะ 5 ซม.

#### 4.3 ผลการทดลองเครื่องยนต์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์และอุณหภูมิ

การทดลองเครื่องยนต์และวัดอุณหภูมิโดยใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์ให้พลังงานความร้อน ได้ทำการวัดอุณหภูมิและความเร็วรอบ ทำการวัดเป็นเวลา 60 นาที ซึ่งทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ที่ระยะห่างของเครื่องวัดความเร็วรอบและFly wheel ที่ 5 ซม. ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับผลต่างของอุณหภูมิ ขณะที่เริ่มทำงานจนถึงความเร็วรอบสูงสุด



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับผลต่างของอุณหภูมิ ขณะที่หยุดให้พลังงานความร้อน

จากรูปที่ 4.5 ในกรณีที่ไม่มีเซ็นเซอร์เรเตอร์ เครื่องยนต์จะเริ่มทำงานที่ผลต่างอุณหภูมิประมาณ 80 องศา ที่ความเร็วรอบ 1,600 รอบต่อนาที และเพิ่มมากขึ้นแปรผันตรงกับผลต่างของอุณหภูมิ ความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้นสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 2,000 รอบต่อนาที ที่ผลต่างของอุณหภูมิสูงสุด ในกรณีที่ไม่มีเซ็นเซอร์ เครื่องยนต์เริ่มทำงานที่ผลต่างของอุณหภูมิประมาณ 100 °C และเพิ่มขึ้นไม่เกิน 115 °C ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงอยู่ในช่วง 800-1,000 รอบต่อนาที จะ

พบว่าช่วงผลต่างของอุณหภูมิในกรณีที่มีเงินเนอรัเรเตอร์นั้นเป็นระยะสั้นๆ เพราะพลังงานความร้อนของกรณีที่มีเงินเนอรัเรเตอร์ต่ำกว่ากรณีที่ไม่มีเงินเนอรัเรเตอร์

จากรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับผลต่างของอุณหภูมิ เมื่อให้พลังงานต่อเนื่องจนครบ 60 นาที แล้วหยุดให้พลังงานความร้อน พบว่าผลต่างของอุณหภูมิตกลงทั้งสองกรณีและความเร็วรอบของเครื่องยนต์แปรผันตรงกับผลต่างของอุณหภูมิ จนเครื่องยนต์หยุดหมุนพบว่าค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์สุดท้ายอยู่ที่ประมาณ 400 รอบต่ออนาทีของทั้งสองกรณี

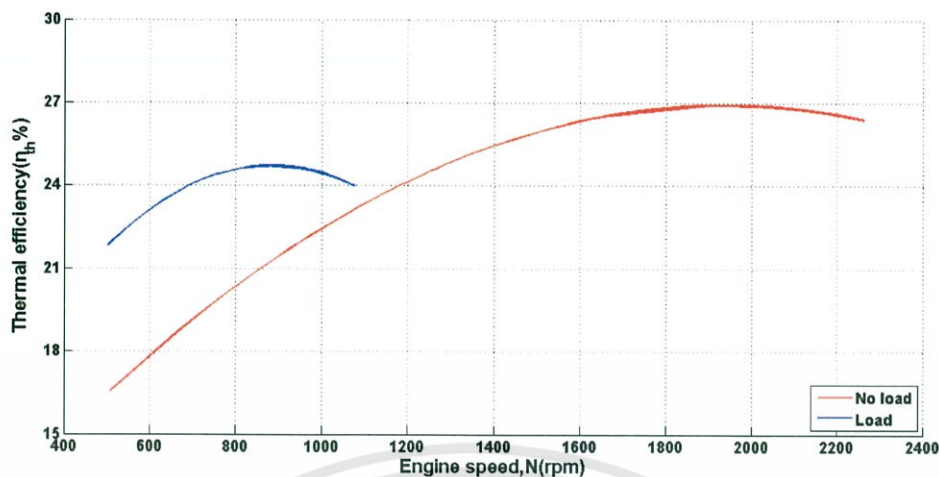
#### 4.4 ผลการทดลองเครื่องยนต์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วยของเครื่องยนต์

การคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.13

$$\eta_{th} = \frac{T_H - T_C}{T_H} \times 100\%$$

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองประสิทธิภาพเชิงความร้อน(ส่วนหนึ่งของผลทดลอง)

$T_C(^{\circ}C)$	$T_H(^{\circ}C)$	ความเร็วรอบ(rpm)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(%)
26.17	114.13	1837.15	22.72
62.90	184.97	2127.80	26.65
66.00	191.87	2101.69	27.08
66.13	192.10	2130.37	27.08
66.13	188.27	1981.41	26.48



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วของเครื่องยนต์

จากรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ จะพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของทั้งสองกรณีจะเพิ่มสูงสุดถึงค่าหนึ่งแล้วก็ลดลงถึงแม้ว่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ไม่มีเจนเนอเรเตอร์ที่ความเร็วรอบประมาณ 1,900 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สูงสุดที่ 27% และกรณีที่ไม่มีเจนเนอเรเตอร์ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 900 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สูงสุดที่ 25%

#### 4.5 ผลการทดลองเครื่องยนต์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความเร็วรอบของเครื่องยนต์

การคำนวณค่ากำลังสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.7

$$P = \omega \tau$$

ซึ่งโมเมนต์ของแรง (Torque) คำนวณได้จากสมการที่ 2.6

$$\tau = I \alpha = I \frac{d\omega}{dt}$$

ซึ่งอัตราเร่งเชิงมุมคือ  $\alpha = \frac{2\pi(f-f_0)}{\Delta t}$

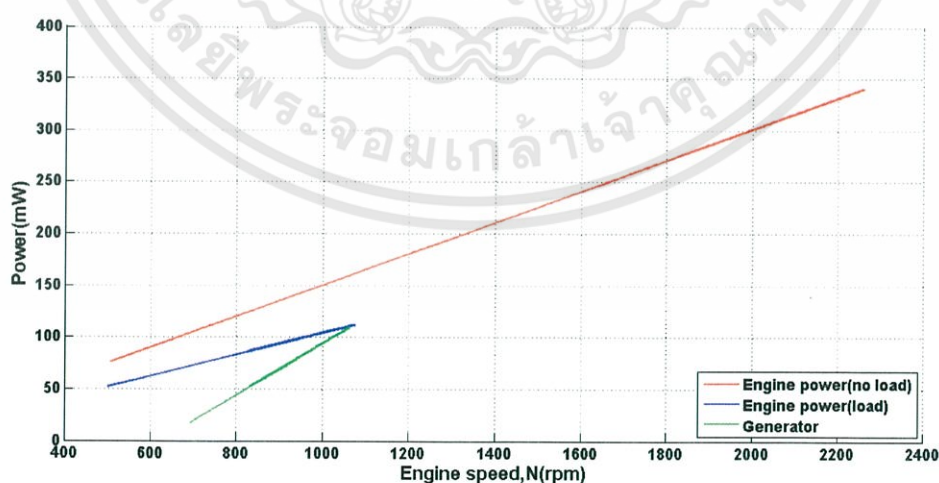
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดลองกำลังของเครื่องยนต์(ส่วนหนึ่งของผลทดลอง)

Time(s)	N(rpm)	f(Hz)	Engine power(mW)
87	1720.5	28.68	259.28
134	1835.45	30.59	276.60
1853	2113.78	35.23	318.55
2563	2104.71	35.08	317.18
3250	2088.11	34.80	314.68

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการทดลองกำลังของเจนเนอเรเตอร์(ส่วนหนึ่งของผลทดลอง)

Time(s)	N(rpm)	Voltage(V)	I(A)	Power(mW)
524	849.54	1.6595	0.0485	80.48575
754	838.39	1.6135	0.048	77.448
1245	902.77	1.841	0.054	99.414
1758	953.4967	1.961	0.061	119.621
3012	931.0667	1.853	0.057	105.621



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความเร็วรอบของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 จะพบว่ากำลังของเครื่องยนต์จะแปรผันตรงกับความเร็วรอบ ในกรณีที่ไม่มีเจนเนอเรเตอร์ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงสุดจะได้กำลังของเครื่องยนต์ ไม่เกิน 350 mW และในกรณีที่ไม่มีเจนเนอเรเตอร์จะได้กำลังของเครื่องยนต์ประมาณ 120 mW แต่กำลังของเจนเนอเรเตอร์ที่ได้นั้นจะต่ำกว่ากำลังของเครื่องยนต์ที่มีเจนเนอเรเตอร์ และกำลังของเจนเนอเรเตอร์ที่ได้สูงสุดประมาณ 100 mW



## บทที่ 5

### สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. อุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็นของกระบอกลูกสูบคิสเพลสเซอร์ ในกรณีที่ไม่มีมอเตอร์จะเริ่มทำงานที่อุณหภูมิ 100 °C ส่วนอุณหภูมิด้านร้อนคงที่อยู่ที่ประมาณ 180 °C และในกรณีที่ไม่มีมอเตอร์จะเริ่มทำงานที่อุณหภูมิ 140 °C ส่วนอุณหภูมิด้านร้อนคงที่อยู่ที่ประมาณ 150 °C

2. เครื่องยนต์จะเริ่มทำงานที่ผลต่างอุณหภูมิประมาณ 80 °C ที่ความเร็วรอบ 1,600 รอบต่อนาที และสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 2,000 รอบต่อนาที ส่วนในกรณีที่ไม่มีมอเตอร์ เครื่องยนต์เริ่มทำงานที่ผลต่างของอุณหภูมิประมาณ 100 °C และเพิ่มขึ้นไม่เกิน 115 °C ความเร็วรอบของเครื่องยนต์อยู่ในช่วง 800-1,000 รอบต่อนาที

3. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในกรณีที่ไม่มีมอเตอร์ที่ความเร็วรอบประมาณ 1,900 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สูงสุดที่ 27% และกรณีที่ไม่มีมอเตอร์ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 900 รอบต่อนาที ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สูงสุดที่ 25%

4. กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ในกรณีที่ไม่มีมอเตอร์ไม่เกิน 350 mW และในกรณีที่ไม่มีมอเตอร์จะได้กำลังของเครื่องยนต์ประมาณ 120 mW และกำลังของมอเตอร์ที่ได้สูงสุดประมาณ 100 mW

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Cinar, Can Sendar Yucesu, Tolga Topgul and Melih Okur.2005. **Beta-type Stirling engine operating at atmospheric pressure**. Applied Energy, Volume 81, Issue 4, August 2005, Pages 351-357.
- [2] Kongtragool Bancha and Somchai Wongwises. 2005a. **Optimum absorber temperature of a once-reflecting full conical concentrator of a low temperature differential Stirling engine**. Renewable Energy, Volme 30, Issue 11, Septemer 2005, pages 1923-1941.
- [3] Kongtragool Bancha and Somchai Wongwises. 2005b. **Investigation on power output of the gamma-configuration low temperature differential Stirling engines**. Rewable Energy, Volume 30, Issue 3, March 2005, Pages 465-476.
- [4] Senft JR. **Ringbom Stirling engines**. New York:Oxford University Press, 1993.
- [5] Walpita SH. **Development of the solar receiver for a small Stirling engine**. In: Special study project report no. ET-83-1. Bangkok: Asian Institute of Technology; 1983.
- [6] Rizzo JG. **The Stirling engine manual**. Somerset:Camden miniature steam services. 1997 p. 1, 43,153, 155.
- [7] Senft JR. **Ringbom Stirling engines**. New York:Oxford University Press; 1993 p. 3, 72, 88, 110,113-37.