

## การออกแบบและทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์สเตอร์ลิงหนึ่งจังหวะแบบแกมมา Design and Performance Test of a Single Acting Gamma Stirling Engine

ธีรพงศ์ บริรักษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

200 ม.1 ถ.รังสิต – นครนายก ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: t\_borirak@eau.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา และทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาที่สร้างขึ้นในการทดสอบใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนและทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์โดยใช้วิธีการเชือกเบรกวัดแรงบิดของเครื่องยนต์ จากการทดลองพบว่าเครื่องยนต์สามารถผลิตแรงบิดสูงสุด 0.402 Nm ที่ 30 รอบ/นาที และผลิตกำลังสูงสุดได้ 2.07 W ที่ 92 รอบ/นาที โดยพลังงานความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ 1.2 kW ซึ่งอุณหภูมิของสารทำงานในช่องร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 393.4°C และอุณหภูมิของสารทำงานในช่องเย็นเฉลี่ยเท่ากับ 155.5°C ได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เท่ากับ 60.4 % และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 0.4 kg/hr

**คำสำคัญ:** เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา เชือกเบรก ประสิทธิภาพเชิงความร้อน อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

### ABSTRACT

This paper present a design, fabrication and testing of a single acting gamma stirling engine. Experimental apparatuses were also developed to determine the engine performance at varying speeds and hot-side temperatures. In experiment, liquid petroleum gas(LPG) was used as fuel and a rope brake torque was applied to determine the engine performance. Maximum engine torque was 0.402 Nm at 30 rpm while the maximum engine output power was 2.07 W. The heat input was 1.2 kW and the working fluid temperature in the hot section and cold section were approximately 393.4°C, and 155.5°C, respectively. The stirling engine give, the thermal efficiency and fuel consumption of 60.4%, 0.4 kg/hr, respectively.

**Keyword:** Gamma Stirling Engine, Rope Brake, Thermal Efficiency, Fuel Consumption

### 1. บทนำ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงถูกคิดค้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1816 แต่ไม่ได้รับความนิยมแพร่หลาย เนื่องจากยังมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ชนิดอื่น แต่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีจุดเด่นที่สามารถใช้แหล่งความร้อนได้หลากหลาย ทำงานเงียบ มีความสะอาดและความ

ปลอดภัยสูง เพราะเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอก ระบบปิดใช้อากาศหรือก๊าซร้อนเป็นสารทำงาน ดังนั้นหากเครื่องยนต์ดังกล่าวได้รับการพัฒนาการทำงานในการรับและถ่ายเทพลังงานอย่างเหมาะสมย่อมเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวม โดยเฉพาะการใช้พลังงานจากแหล่งความร้อนทิ้ง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ คือ แบบ Piston-Piston (ประกอบด้วยลูกสูบกำลังสองชุด) และแบบ Piston-Displacer (ประกอบด้วยลูกสูบกำลังและลูกสูบไล่) ซึ่งเครื่องยนต์สองประเภทนี้แตกต่างกันที่การทำงานของลูกสูบกำลังและลูกสูบไล่ โดยลูกสูบกำลังมีหน้าที่ในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรภายในตัวเครื่องยนต์และถ่ายเทกำลังไปยังชุดกลไกถ่ายเทกำลัง ส่วนลูกสูบไล่มีหน้าที่ในการทำให้เกิดการขับเคลื่อนสารทำงานเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทั้ง 2 ประเภทยังสามารถจำแนกย่อยได้เป็น 4 ชนิด [1] คือ แอลฟา เบตา แกมมา และ Double – Acting

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพบว่า

KwankaomengS.และคณะ [2] ได้ทำการสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบเบต้าและใช้การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ด้วยวิธีการใช้ไดนาโมมิเตอร์แบบเชือกรัด ใช้เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว เครื่องยนต์มีปริมาตรกวาด 112 ลูกบาศก์เซนติเมตร เครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นมีกำลังสูงสุด 23 W ที่ความเร็วรอบ 617 rpm แรงบิดสูงสุดที่ 0.42 Nm อุณหภูมิที่ช่องอากาศร้อนมีค่าเท่ากับ 500 °C

Scollo, L.และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบโดยการออกแบบเครื่องยนต์โดยให้แหล่งพลังงานความร้อนมาจากพลังงานไฮโดรเจน พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวลและพลังงานจากปิโตรเลียม โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาแสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ที่สามารถจัดหาได้ภายในประเทศอาเซียน

มุกิตา ศิริวิชานนท์ และคณะ [4] ได้ทำการสร้างและทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขนาดเล็กแบบแกมมาที่สร้างขึ้นใช้ฮีตเตอร์เป็นแหล่งความร้อนได้กำลังสูงสุด 0.022 W อุณหภูมิด้านร้อน 148°C ที่ความเร็วรอบ 54 rpm ประสิทธิภาพรวม 0.0646 % เครื่องยนต์ที่สร้างเกิดการสูญเสียทางความร้อนที่ฮีตเตอร์ถึง 80 % และเกิดแรงลมปะทะที่ถ่วงตุ้มน้ำหนักทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดสอบ

ประทีป ศรีสุข [5] ได้ทำการศึกษาเครื่องยนต์แมนเดอรันจากการใช้วิธีเชิงตัวเลขและวิธีทางอุณหพลศาสตร์เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการสร้างเครื่องยนต์จริงซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีความสอดคล้องกันเครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 0.03% โดยมีขีดจำกัดจากการสร้างชิ้นส่วนของเครื่องยนต์และอุปกรณ์ในการทดสอบ

บัญชา คังตระกูล [6] ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาทำงานสองด้าน ได้แรงบิดสูงสุด 1.74 Nm ที่ 41 rpm กำลังสูงสุด 18.75 W และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพลาสสูงที่สุด 0.5% ที่ 127 rpm แนวทางในการพัฒนาเครื่องยนต์นี้คือความเที่ยงตรงในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องยนต์และเพิ่มความดันให้กับสารทำงาน

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบต่าง ๆ รวมทั้งวิธีการทดสอบเครื่องยนต์แต่ละแบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันโดยเฉพาะเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาเป็นเครื่องยนต์ที่มีความไม่ซับซ้อนของกลไก รวมทั้งสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลาย ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าจึงเกิดแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาแบบหนึ่งจังหวะซึ่งง่ายกว่า [6] เพื่อทำการศึกษสมรรถนะและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องยนต์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต

## 2. การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแกมมา

ในเบื้องต้นแนวคิดในการออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงนี้สามารถใช้เชื้อเพลิงจากแหล่งความร้อนจากพลังงานหมุนเวียนในภาคเกษตรกรรมได้เช่น เหง้ามันสำปะหลัง ชังข้าวโพดทางและทะเลสาบปาล์ม ในแวดวงการบินสามารถใช้แก๊สชีวภาพจากการหมักของเสียจากฟาร์มซึ่งเชื้อเพลิงดังกล่าวมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,000 – 6,000 kcal/kg

โดยมีข้อกำหนดการออกแบบดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศด้านรับความร้อนอยู่ในช่วง 350 – 450 °C

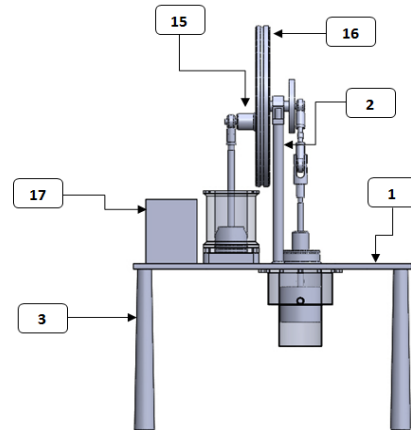
2. อุณหภูมิอากาศด้านเย็นอยู่ในช่วง 150 – 200 °C และอุณหภูมิไอเสียไม่เกิน 150°C

3. อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นในระบบ ไม่เกิน 80°C

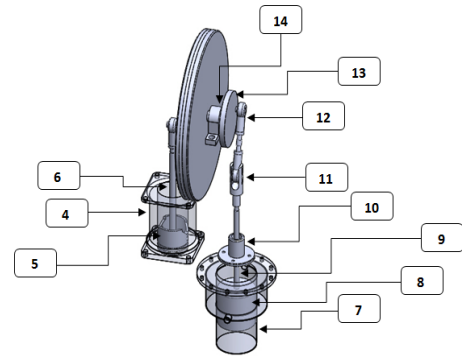
4. ข้อมูลรายละเอียดของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ได้ทำการออกแบบและสร้างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบร้อน 8 เซนติเมตร ระยะชัก 8 เซนติเมตร ปริมาตรความจุกระบอกสูบเท่ากับ 402.12 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้ลูกสูบของเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์เนื่องจากมีความเที่ยงตรงในการสร้างและมีความทนทานสำหรับกระบอกสูบกำลังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 6.4 เซนติเมตร ระยะชัก 6.4 เซนติเมตร ปริมาตรความจุกระบอกสูบเท่ากับ 205.88 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้ลูกสูบที่มีคุณสมบัติแบบเดียวกันกับลูกสูบร้อน

6. เพื่อความสะดวกในการทดสอบใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 6360 kcal/litre โดยมีหัวเผาก๊าซขนาด KB-3 เป็นแหล่งให้ความร้อนเครื่องยนต์สามารถหมุนได้ต่อเนื่องสม่ำเสมอ สามารถหมุนได้ด้วยตัวเองและมีกำลังพอที่จะสามารถทดสอบหาค่าแรงบิด

7. สำหรับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา ใช้วิธีการเชือกเบรกเพื่อทดสอบหาแรงบิดของเครื่องยนต์ มีตาชั่งสปริงถ่วงน้ำหนักด้านปลายเพื่ออ่านค่าน้ำหนักหาค่าแรงบิดโดยไม่เกิดการบิดตัวของอุปกรณ์เมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงลงไป ที่ส่วนรับน้ำหนักเพิ่มภาระของตาชั่งสปริง ส่วนประกอบของเครื่องยนต์ ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วรอบและเครื่องมือวัดอุณหภูมิเพื่อใช้หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา(ด้านหน้า)



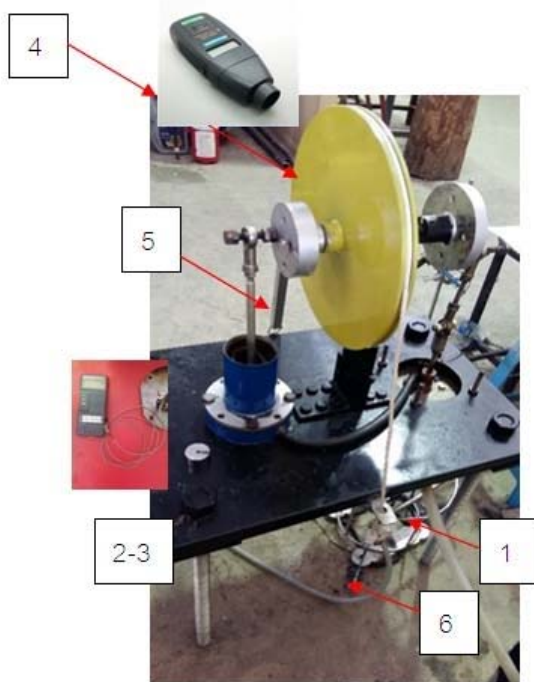
รูปที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา(ด้านข้าง)

จากรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์มีดังนี้

- |                         |                                |
|-------------------------|--------------------------------|
| 1. ฐานเครื่อง           | 10.ฝาสูบลูกสูบเคลื่อนย้าย      |
| 2. เสาข้อเหวี่ยง        | 11.ก้ามปู                      |
| 3. เสาฐานเครื่อง        | 12.Rod end                     |
| 4. กระบอกสูบกำลัง       | 13.ข้อเหวี่ยงลูกสูบเคลื่อนย้าย |
| 5. ลูกสูบกำลัง          | 14.ชุดลูกปืนเพลลาข้อเหวี่ยง    |
| 6. ก้านสูบกำลัง         | 15.ข้อเหวี่ยงลูกสูบกำลัง       |
| 7. กระบอกสูบเคลื่อนย้าย | 16.ล้อตุนกำลัง                 |
| 8. ลูกสูบเคลื่อนย้าย    | 17.ถึงพักน้ำ                   |
| 9. ก้านสูบเคลื่อนย้าย   |                                |

### 3. อุปกรณ์การทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบ แกมมา

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอกเมื่อเครื่องยนต์ได้รับความร้อนแล้ว จะเกิดผลต่างของอุณหภูมิระหว่างกระบอกสูบด้านรับความร้อนและกระบอกสูบด้านกำลังเมื่อความร้อนถึงจุดทำงานให้เครื่องยนต์หมุนเมื่อล้อตุนกำลังของเครื่องยนต์หมุนอย่างสม่ำเสมอแล้ว จะเริ่มเก็บค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ความเร็วรอบ อุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นน้ำหนักที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง และน้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้โดยการชั่งน้ำหนักของก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ใช้ไป เป็นต้น เพื่อนำไปหาความร้อนที่ให้แก่เครื่องยนต์ ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง กำลังและแรงบิดรวมทั้งประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์ รายละเอียดของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทดสอบดังตารางที่ 1



รูปที่ 3 การจัดเตรียมการทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิง  
แบบแกมมา

ตารางที่ 1 รายละเอียดของชุดทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมา

No	อุปกรณ์	รายละเอียด
1	เตา KB3	ทำจากเหล็กหล่อทนความร้อนสูงใช้ให้ความร้อนด้านกระบอกสูบร้อน
2	เทอร์โมคัปเปิลวัดด้านร้อน	เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิชนิด K (Type K) โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า แสดงผลเป็นตัวเลขดิจิทัล มีพิสัย-40 – 1200°C และความละเอียด 0.1°C
3	เทอร์โมคัปเปิลวัดด้านเย็น	รายละเอียดเหมือนเทอร์โมคัปเปิล วัดด้านร้อน
4	เครื่องวัดความเร็วรอบ	ใช้วัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ช่วงการวัด 2.5 – 99,999 รอบ/นาที
5	ตาชั่งสปริง	ใช้วัดแรงดึงเชือกความละเอียด 0.1 kg
6	ตุ้มน้ำหนักถ่วง	ความละเอียด 100 g

### 4. ขั้นตอนการทดสอบ

จุดเตา kb 3 เพื่อให้ความร้อนแก่กระบอกสูบด้านร้อนระหว่างที่อุณหภูมิในระบบกำลังเข้าสู่สภาวะคงตัว (เมื่ออุณหภูมิที่เทอร์โมคัปเปิลด้านร้อนมีค่าคงที่) ให้ใส่แรงหมุนล้อตุนกำลังจนล้อตุนกำลังสามารถหมุนได้ด้วยตัวเอง จากนั้นพาดเชือกผ่านล้อตุนกำลังขณะที่ล้อหมุนโดยที่ปลายเชือกด้านหนึ่งติดมวลชิ้นหนึ่งที่ปลายเชือกอีกด้านผูกกับภาชนะใส่ตุ้มน้ำหนักเพื่อเพิ่มแรงเสียดทานที่ละ 100 g บันทึกค่ามวลที่อ่านได้จากเครื่องชั่งวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ทั้งในขณะที่ถ่วงตุ้มเหล็กและในขณะที่หมุนตัวเปล่า บันทึกค่าความเร็วรอบที่ได้โดยมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (rpm) ทำการเพิ่มตุ้มเหล็กจนกว่าล้อตุนกำลังจะหยุดหมุน แล้ววัดค่าต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น เพื่อนำไปคำนวณหาแรงบิด T (Nm) และกำลังขาออก  $P_{out}(W)$  ซึ่งจะนำไปใช้หาประสิทธิภาพต่างๆ ของเครื่องยนต์ต่อไป

$$T = (W - S) \left( \frac{D+d}{2} \right) \quad (1)$$

$$P = \frac{2\pi T n}{60} \quad (2)$$

เมื่อ T คือ แรงบิดเครื่องยนต์ (Nm)

W คือ น้ำหนักตุ้มที่แขวน (N)

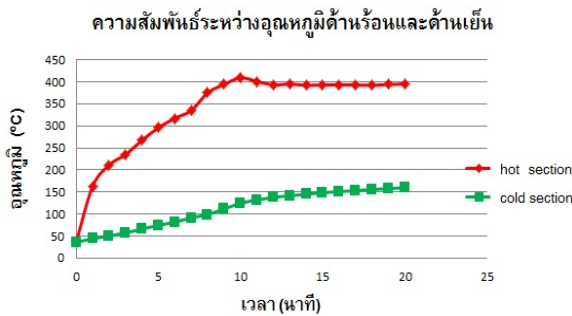
S คือ ค่าที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง (kg)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อช่วยแรง (m)

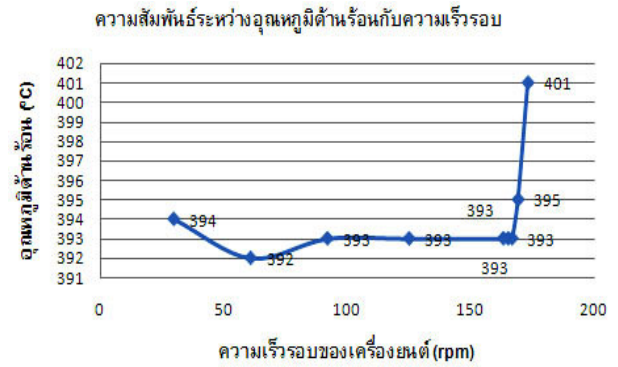
d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชือก (m)

### 5. ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในด้านรับความร้อนและด้านกำลังของเครื่องยนต์เมื่อเครื่องยนต์รับความร้อน 1.2 kW ในช่วงเวลา 0 -10 นาที เครื่องยนต์จำเป็นต้องมีช่วงระยะเวลาในการให้ความร้อนซึ่งเครื่องยนต์ยังไม่หมุน ค่าความชันของเส้นอุณหภูมิกระบอกสูบด้านรับความร้อนกับด้านกำลังยังไม่คงที่ ซึ่งภายหลังจาก 10 นาทีเป็นต้นไป เครื่องยนต์เริ่มหมุนที่อุณหภูมิด้านรับความร้อนมีค่าเท่ากับ 401°C และอุณหภูมิด้านกำลังมีค่าเท่ากับ 131 °C โดยหลังจากเครื่องยนต์หมุนแล้ว ระดับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของทั้ง 2 ด้านเป็นไปค่อนข้างคงที่



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในด้านรับความร้อนและด้านกำลังของเครื่องยนต์



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านรับความร้อนและความเร็วรอบ

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านรับความร้อนและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ จากการทดสอบพบว่าเมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิทำงานที่ 401 °C เครื่องยนต์เริ่มหมุนโดยมีความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 173 rpm หลังจากนั้นความเร็วรอบเครื่องยนต์รวมทั้งอุณหภูมิด้านรับความร้อนลดลงจนอยู่ในช่วงคงที่ซึ่งค่าอุณหภูมิเฉลี่ยด้านรับความร้อนอยู่ในช่วง 392 – 395 °C ความเร็วรอบเครื่องยนต์เฉลี่ย 160 – 170 rpm



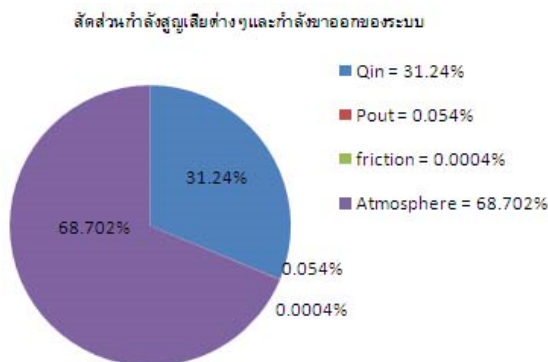
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ กำลัง และแรงบิด

จากรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ กำลังและแรงบิด การทดสอบเริ่มต้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์มีค่าสูงสุดที่ 173 rpm เมื่อใส่น้ำหนักที่ปลายตาชั่งสปริงเพื่อหาค่าแรงบิดพบว่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงตามภาระน้ำหนักที่ป้อนให้ จากการทดลองพบว่าเครื่องยนต์สร้างแรงบิดสูงสุดได้ 0.402 Nm ที่ความเร็วรอบ 30 rpm และมีกำลังสูงสุดเท่ากับ 2.07 W ที่ความเร็วรอบ 92 rpm



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพกำลังเบรก

จากรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและประสิทธิภาพเชิงภาพกำลังเบรกพบว่าเครื่องยนต์มีค่ากำลังสูงสุดเท่ากับ 2.07 W และประสิทธิภาพกำลังเบรกสูงสุดเท่ากับ 0.173 % ที่ความเร็วรอบ 92 rpm



รูปที่ 8 แสดงสัดส่วนกำลังสูญเสียต่างๆ และกำลังขาออกของระบบ

จากรูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสูญเสียต่าง ๆ กำลังขาออกของระบบ ในการให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์พบว่าเกิดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากเตาให้ความร้อนกับกระบอกสูบด้านร้อนมีค่ามากที่สุดถึง 68.70% ซึ่งในการนี้ควรออกแบบระบบให้มีผนังบังลมเพื่อลดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนและจัดวางให้กระบอกสูบกับเตามีระยะใกล้กันมากที่สุดเพื่อลดความร้อนที่สูญเสียสู่สิ่งแวดล้อมเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพรวมของระบบ

### 6. สรุป

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาเป็นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอกสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลาย กลไกการทำงานไม่ซับซ้อน ไม่เกิดมลภาวะทางเสียงขณะทำงาน หากได้รับการพัฒนาสู่การใช้งานทางด้านเกษตรกรรมที่มีวัสดุเหลือใช้ซึ่งสามารถแปรรูปเป็นพลังงานให้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ก็จะเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพในอนาคตต่อไปในการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมานี้ควรลดระยะเผื่อระหว่างลูกสูบกำลังและกระบอกสูบ เพื่อลดการรั่วไหลของสารทำงาน โดยการสร้างกระบอกสูบกำลังที่มีความละเอียดและเที่ยงตรงสูง รวมทั้งออกแบบความหนากระบอกสูบรับความร้อนให้บางลง เพื่อลดความร้อนสูญเสียจากการถ่ายเทความร้อนซึ่งจะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิสารทำงานที่ด้านร้อนและด้านเย็นเพิ่มมากขึ้น

### 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซียในการสนับสนุนงบประมาณในการสร้างและทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดแกมมาและนักศึกษาศาखाวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่มีส่วนร่วมในการสร้างเครื่องยนต์นี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] I. Younas. (2010, Dec. 1). *Stirling Engines Overview*. [Online] Available: <http://www.irfanworld.com/energy/stirling/stirling-overview.php>
- [2] S. Kwankaomeng, B. Kongtragool, Silpsakoolsook, and S. Jindewa. "Improvement of a Rhombic Drive Stirling Engine Using Biomass Fuel". *4<sup>th</sup> TSME International Conference on Mechanical Engineering*. 16–18/10/2013. Burapha University : 1–8, (2013).
- [3] L. Scollo, P. Valdez, and J. Baro'n, "Design and construction of a Stirling engine Prototype," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 33, pp. 3506 – 3510, 2008.
- [4] มุกิตา ศิริรัชานนท์ และคณะ. "การออกแบบทดลองและพัฒนาระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง". *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*. 4(2) : 21-33, 2556.
- [5] ประทีป ศรีสุข. *การศึกษาวิจัยการทำงานของเครื่องยนต์แมนสันด้วยวิธีเชิงการทดลอง*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. วิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, (2554).
- [6] บัญชา คังตระกูล. *การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาขนาดความจุกระบอกสูบกำลัง 885.2 ลบ.ซม.* วิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, (2547).