

การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานชีวมวลด้วยเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง
EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON A BIOMASS POWERED – STIRLING ENGINE USING
CHARCOAL BRIQUETTES

จุฑามาศ จำเนียรสวัสดิ์¹, บรรเทิง ศิลป์สกุลสุข² และ สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง^{1*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขต ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

² มหาวิทยาลัยสยาม 38 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160

*ติดต่อ: kksudara@kmitl.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ +66-2329-8351, เบอร์โทรสาร +66-2329-8352

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกลไกโรคมบิก เครื่องยนต์ต้นแบบมีปริมาตรกวาด 122 ลูกบาศก์เซนติเมตร กระจกสูบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55.4 มิลลิเมตร ลูกสูบมีระยะชัก มิลลิเมตรชิ้นส่วนหลักของเครื่องยนต์ประกอบด้วย ฮีตเตอร์ คูลเลอร์ ลูกสูบกำลัง และลูกสูบไล่ การหาลักษณะการทำงานและสมรรถนะของเครื่องยนต์ประกอบด้วย เวลาที่เครื่องเริ่มทำงานหลังจากให้ความร้อน รวมทั้งกำลังและแรงบิดที่แปรผันตามเวลา การทดสอบเครื่องยนต์ต้นแบบจะมีการเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงระหว่างแก๊สLPGและเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง ตลอดจนประสิทธิภาพการเผาไหม้และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ต้นแบบ โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเป็นแหล่งความร้อน ถ่านอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านการอัดขึ้นรูปให้มีความหนาแน่นมากขึ้น ให้ค่าพลังงานความร้อนสม่ำเสมอ ซึ่งมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 7,000 – 7,300 แคลลอรี่/กรัม ไม่มีควันและไม่เกิดประกายไฟขณะจุดติดหรือเผาไหม้ การออกแบบเตาเผาชีวมวลถูกออกแบบเพื่อให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์ต้นแบบ มีโครงสร้างที่แข็งแรงสามารถรองรับน้ำหนักของเครื่องยนต์ ลดการสูญเสียพลังงานความร้อน มีอากาศไหลผ่านทางช่องลมด้านข้างเพื่อให้เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้น เครื่องยนต์ต้นแบบที่ทดสอบโดยใช้แก๊ส LPG ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ให้ค่ากำลังที่ 23.1 วัตต์ ความเร็วรอบที่ 617 รอบต่อนาที ส่วนเครื่องยนต์ต้นแบบที่ทดสอบโดยใช้ถ่านอัดแท่งให้ค่ากำลังที่ 7.5 วัตต์ ความเร็วรอบที่ 532 รอบต่อนาที

คำหลัก: เครื่องยนต์สเตอร์ลิง; กลไกโรคมบิก; เชื้อเพลิงชีวมวล; ถ่านอัดแท่ง

Abstract

This paper presents engine performance investigation on a Rhombic drive Stirling engine using charcoal as fuel. The prototype has swept volume of 122 cc. Dynamic components consist of the power piston and the regenerative displacer. The piston has diameter and stroke of 55.4 mm. and 46 mm, respectively. The engine characteristics have been evaluated and tested. Starting time of operation, power, torque variation and speed were measured. Charcoal is biomass fuel which forms by compression in order to obtain high density providing uniform heat without smoke and spark. The heating value of charcoal briquettes is range of 7,000 – 7,300 Cal/g. Charcoal furnace was designed and proposed. The prototype Stirling engine using gas LPG and charcoal briquette burners were compared the overall combustion efficiency in order to investigate the prototype efficiency. The prototype Stirling engine using gas LPG has the maximum power of 23.1 W at pressure of 1 bar with engine speed of 617 rpm while the experimental power was 7.5 W with engine speed of 532 rpm at the same operating condition.

Keywords: Stirling Engine; Rhombic drive; Biomass; Charcoal

AEC-36

1. บทนำ

เป็นที่ทราบที่กันดีอยู่แล้วว่าแหล่งพลังงานต่าง ๆ บนโลกเริ่มมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องจนเป็นสิ่งที่ขาดแคลนและจะหมดสิ้นไปในอนาคต ซึ่งตรงข้ามกับความต้องการในการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามทิศทางของเศรษฐกิจโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันซึ่งเป็นพลังงานหลัก นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตพลังงาน ดังนั้นหลายประเทศกำลังพยายามมองหาแหล่งพลังงานใหม่ เพื่อนำมาทดแทนแหล่งพลังงานที่กำลังจะหมดไป เนื่องด้วยปัญหาวิกฤตพลังงานของโลกของเราที่กำลังเข้าสู่ภาวะขาดแคลนเชื้อเพลิงซึ่งเหลือใช้ไม่มากแล้วและกำลังจะหมดไปบวกกับปัญหาสถานะโลกร้อนที่เป็นแรงกระตุ้นในการลดใช้พลังงานจากฟอสซิล ทั้งนี้นอกจากการหาพลังงานทดแทนแล้วแนวทางการแก้ปัญหาอีกทางหนึ่งคือ การมุ่งศึกษาวิจัยและพัฒนาชุดเครื่องยนต์พลังงานทางเลือก ให้สามารถนำเอาพลังงานจากแหล่งอื่น ๆ ที่มีมากและยั่งยืนกว่ามาใช้แทน ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการศึกษาและพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ชุดเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอก ที่สามารถใช้พลังงานความร้อนได้หลากหลายชนิด เช่น พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล เป็นต้น เพื่อนำมาเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลสำหรับใช้เป็นต้นกำลังให้กับชุดเครื่องยนต์อื่น ๆ ต่อไป เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถใช้พลังงานหมุนเวียนจึงเป็นประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาวิกฤตพลังงานไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และยังเป็นแนวทางในการสนับสนุนใช้พลังงานทางเลือกที่สะอาดในอนาคตได้อีกด้วย [1]

Suriya Jindewa [2] ได้นำเสนองานวิจัยการปรับปรุงเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกลไกการขับเคลื่อนแบบรอมบิก ได้ทำการออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Cooler Chamber) โดยใช้หน้าต่างอากาศ, ออกแบบลูกสูบใหม่ (Displacer) โดยจะทำให้มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากขึ้น และทำการทดสอบโดยใช้ก๊าซ LPG ให้ค่ากำลังสูงสุดที่ 23.1 W ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ความเร็วรอบที่ 617 rpm

บทความนี้เป็น การนำเสนอ การตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบที่มีกลไกการขับเคลื่อนแบบรอมบิกที่ใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยใช้ถ่านอัดแท่งเป็นแหล่งความร้อน และนำเสนอการออกแบบเตาเผาชีวมวลเพื่อใช้สำหรับให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์ต้นแบบ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงให้ค่ากำลังตามทฤษฎีที่ 23 W ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ความเร็วรอบที่ 900 rpm

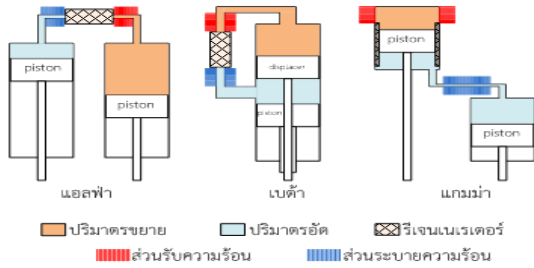
2. เครื่องยนต์สเตอร์ลิงกลไกการขับเคลื่อนแบบรอมบิก

เครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling engine) ถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1816 โดยโรเบิร์ตสเตอร์ลิง [3] โดยใช้หลักการการขยายตัวของก๊าซ คือก๊าซจะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน และจะหดตัวเมื่อได้รับความเย็น โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างช่วงร้อนและช่วงเย็นในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ตามวัฏจักรสเตอร์ลิง กล่าวคือเมื่อก๊าซได้รับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อน (Heater) ทำก๊าซมีอุณหภูมิสูงขึ้นและเกิดการขยายตัวดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ หลังจากนั้นก๊าซที่ได้รับความร้อนในขั้นต้นไหลผ่านแหล่งระบายความร้อน (Cooler) ทำให้ก๊าซมีอุณหภูมิต่ำลงและเกิดการหดตัวของก๊าซ ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ คือ ลูกสูบไล่ (Displacer) เป็นลูกสูบที่เคลื่อนที่ภายใต้การอัดและขยายตัวของก๊าซ และลูกสูบกำลัง (Power Piston) เป็นลูกสูบที่ใช้ส่งกำลังจากเครื่องยนต์ โดยที่ปริมาตรของก๊าซจะไม่มีเปลี่ยนแปลง ซึ่งการเคลื่อนที่ของสารทำงานจะเคลื่อนที่ออกจากช่วงเย็นไปช่วงร้อน และเคลื่อนที่ออกจากช่วงร้อนไปช่วงเย็น ซึ่งทำงานในทำนองนี้กลับไปกลับมาตลอดที่ยังได้รับพลังงานความร้อนจากแหล่งพลังงานภายนอก

ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ให้ดีขึ้นจะอาศัยการทำงานของรีเจนเนอเรเตอร์ ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมความร้อนและแลกเปลี่ยนความร้อนให้กลับก๊าซที่ไหลผ่าน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลาย จึงทำให้มีข้อดีในด้านการใช้เชื้อเพลิงเป็นเครื่องยนต์พลังงานสะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นเครื่องยนต์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง มีเสียงเงียบ ในขณะที่

AEC-36

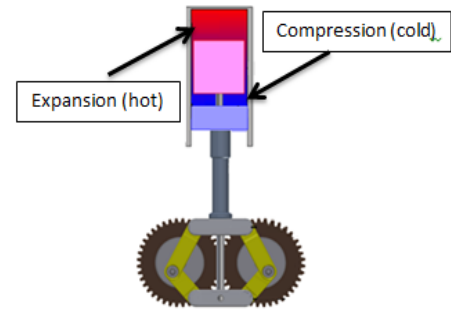
เครื่องยนต์ทำงาน ลักษณะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ อัลฟา (Alpha) , เบต้า (Beta) , และแบบแกมมา (Gamma) โดยในแต่ละแบบจะมีวัฏจักรทางอุณหพลศาสตร์อย่างเดียวกัน



รูปที่ 1 แสดงลักษณะทางกลของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

จากรูปแบบลักษณะทางกลของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ถูกจำแนกออกทั้ง 3 แบบนั้น หากพิจารณาความดันกับปริมาตรจะสังเกตเห็นได้ถึงความแตกต่างกัน งานสุทธิต่อวัฏจักรทั้งสามแบบจึงไม่เท่ากันด้วย กำลังที่ได้แต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน ซึ่งเครื่องยนต์แบบอัลฟาจะให้กำลังมากที่สุด ลองลงมาจะเป็นแบบเบต้า และแบบแกมมาตามลำดับ [3]

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงกลไกการขับเคลื่อนแบบรอมบิก (Rhombic) เป็นกลไกที่มีความแข็งแรงและลดแรงกระทำด้านข้างของผนังกระบอกสูบ ส่งผลให้มีความสมดุลระหว่างกลไกในการเคลื่อนที่ อีกทั้งสามารถเพิ่มพลังในการผลิตได้มากกว่า กลไกรอมบิกจะต้องอาศัยเฟืองหนึ่งคู่เพื่อขับเคลื่อนกลไกจึงทำให้โครงสร้างมีน้ำหนักมากขึ้น รวมทั้งในการประกอบติดตั้งต้องการความแม่นยำสูง เพราะเพลลาของลูกสูบกำลังและลูกสูบไต่อยู่ในแกนเดียวกัน จึงทำให้โครงสร้างทำงานได้ดี เพื่อให้การขับเคลื่อนของเครื่องยนต์มีความสมดุลของแรงและความแข็งแรงในการทำงาน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงกลไกรอมบิกจึงมีโครงสร้างแบบเบต้า ซึ่งลูกสูบทั้งสองจะมีแนวการเคลื่อนที่ในแนวเดียวกัน [3] เครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบกลไกการขับเคลื่อนรอมบิกมีลักษณะที่ใช้ในการทดสอบและขนาดตามตารางที่ 1



รูปที่ 2 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงกลไกรอมบิก

ตารางที่ 1 ขนาดของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบ

ขนาดของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบ	
ชนิดเครื่องยนต์	แบบเบต้า
ปริมาตรกวาด	112 cc.
ระยะชัก x เส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกสูบ	46 x 55.4 mm.
เส้นผ่าศูนย์กลางของเฟือง	87 mm.
มุมเฟส	60°
สารหล่อเย็น	น้ำ
เชื้อเพลิง	ถ่านอัดแท่ง

หัวฮีตเตอร์ ดีเฟลสเซอร์ คูลเลอร์ วอเตอร์แจ็กเก็ต



รูปที่ 3 ส่วนประกอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบ

คูลเลอร์ (Cooler) หรือระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Cooling System) ทำมาจากอลูมิเนียม (เกรด 7075) โดยใช้เครื่อง CNC ในการขึ้นชิ้นงาน คูลเลอร์มี 8 ครีบ ความหนา 5 mm ลึก 19mm ต่อครีบ สวมด้วย water jacket ส่วนลูกสูบไต่จะใช้เป็น รีเจนเนอเรทีฟดิสเพลสเซอร์ (Regenerative Displacer) ทำหน้าที่ไล่อากาศระหว่างด้านร้อนกับด้านเย็น โดยควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยกลไก

AEC-36

รวมบิก ด้านในของลูกสูบไล่จะทำหน้าที่เก็บความร้อนเพื่อใช้ในการอุ่นอากาศสำหรับให้ความร้อนในวัฏจักรต่อไป

3. ถ่านอัดแท่ง

พลังงานทางเลือกในยุคน้ำมันแพง ถ้าจะกล่าวถึงพลังงานทางด้านเชื้อเพลิง “ ถ่าน ” ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในครัวเรือนในการประกอบอาหารประเภท ปิ้ง ย่าง เป็นต้น ถ่านอัดแท่ง คือถ่านที่นำมาขึ้นรูปเป็นแท่งหรือเป็นก้อนเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อน หลักการผลิตถ่านอัดแท่งมี 2 วิธีคือ การอัดร้อน เป็นการอัดวัสดุด้วยความร้อน จะมีสารในเนื้อของวัสดุยึดตัวมันเอง จึงทำให้สามารถยึดเกาะเป็นแท่งได้โดยไม่ต้องใช้ตัวประสาน เช่น แกลบ ชี้เลื่อย เป็นต้น และอีกวิธีหนึ่งคือ การอัดเย็น เป็นการอัดวัสดุที่เผาไหม้มาแล้ว แล้วนำมาผสมกับแป้งมันหรือวัสดุประสานอื่นๆในอัตราส่วนตามที่ต้องการ [4]

ราคาของถ่านอัดแท่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง ราคาโดยทั่วไปจะอยู่ประมาณ กิโลกรัมละ 15 – 20 บาท ซึ่งจะมีราคาสูงกว่าถ่านไม้ แต่ถ้าเปรียบเทียบคุณภาพและระยะเวลาการเผาไหม้ถือว่าคุ้มค่าง่าถ่านไม้

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง[4]

คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง	
1.ให้ค่าความร้อนสม้าเสมอ	7,000 – 7200 kcal/kg
2.ใช้งานได้นานกว่าถ่านไม้	2 – 3 เท่า
3.ค่าความชื้น	7.1% - 7.8%
4.ปริมาณคาร์บอน	81.0% - 83.0%
5.กลิ่น	ไม่มี

ข้อดีของถ่านอัดแท่ง

- 1.ปลอดภัยไม่มีสารตกค้าง และไม่ทำลายสุขภาพ
- 2.ไม่เกิดการประทุอย่างถ่านไม้ทั่วไป
- 3.ไม่มีควัน
- 4.ไม่ดับกลางคัน



รูปที่ 4 ถ่านอัดแท่งที่ใช้ในการทดสอบ

4. เตาเผาชีวมวล

จากปัญหาการใช้พลังงานเชื้อเพลิงน้ำมันที่มากขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามพลังงานที่มีอยู่กลับน้อยลง ทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ อีกทั้งราคาราคาพลังงานยังสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้พลังงานทางเลือกเป็นสิ่งที่สามารถทดแทนพลังงานน้ำมัน ทั้งยังเป็นพลังงานที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการผลิตที่ต้องการใช้ความร้อน จึงเน้นไปที่เชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากผลิตผลทางการเกษตร [5] เพื่อสร้างเตาเผาชีวมวล (Biomass Furnace) ซึ่งสามารถเผาเชื้อเพลิงที่เหลือใช้จากผลิตผลทางการเกษตร เนื่องจากเป็นชีวมวลที่มีค่าความร้อนที่เหมาะสม เช่น ถ่านอัดแท่ง ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส และเศษไม้ยางพาราอัดแท่ง ในการออกแบบเตาเผาชีวมวลก็มีหลากหลายรูปแบบ ขึ้นกับการออกแบบนำไปใช้งานให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่จะนำไปใช้ [6] สำหรับงานวิจัยนี้เตาเผาชีวมวลถูกออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับเผาถ่านอัดแท่ง (Charcoal Briquettes) ที่จะนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบ โดยเปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์เมื่อให้ความร้อนด้วยถ่านอัดแท่งกับให้ความร้อนด้วยก๊าซ LPG ซึ่งได้ทำการทดลองให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์ด้วยก๊าซ LPG ที่อัตราการไหล 0.3 กก./ชม. (4,166.66 W) [2] ดังนั้นจึงคำนวณหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงของถ่านอัดแท่งที่ทำให้ได้กำลังเท่ากับก๊าซ LPG ซึ่งต้องใช้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเท่ากับ 0.51 กก./ชม.

ข้อดีของการออกแบบเตาเผาชีวมวล โดยเตาชีวมวลนี้ถูกออกแบบให้มีลักษณะใช้งานง่าย มีโครงสร้างที่แข็งแรงรองรับน้ำหนักของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ลดการ

AEC-36

สูญเสียพลังงานความร้อน มีช่องสำหรับใส่เชื้อเพลิง (ถ่านอัดแท่ง) ที่สามารถป้อนเชื้อเพลิงได้ตลอดเวลา และภาคสำหรับรองรับขี้เถ้าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง มีช่องลมสำหรับให้อากาศไหลผ่านทางด้านข้าง เพื่อให้เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ดีขึ้น

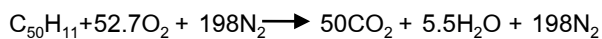
4.1 การเผาไหม้

การเผาไหม้ คือ ปฏิกิริยาเคมีชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างออกซิเจนกับเชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง ๆ ซึ่งสารเผาไหม้ได้หลัก 3 ตัว คือ คาร์บอน ไฮโดรเจนและซัลเฟอร์ แล้วจะปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีซึ่งเป็นการรวมตัวของออกซิเจนเข้ากับคาร์บอน ไฮโดรเจนและซัลเฟอร์เกิดสารประกอบใหม่คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์[7]

เชื้อเพลิงแข็ง (ถ่านอัดแท่ง) มีองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ คาร์บอนคงที่ ฉะนั้น เมื่อเผาไหม้สารระเหยง่ายและกัมมันต์จะทำปฏิกิริยาไปจนหมดก่อน เหลือคาร์บอนเผาไหม้ไปเรื่อย ๆ จะถึงจุดสมบูรณ์หรือไม่ขึ้นกับปริมาณอากาศและเวลาทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปมักพบว่ามีส่วนของคาร์บอนหลงเหลืออยู่กับขี้เถ้าด้วยเสมอ

ปริมาณอากาศสำหรับการสันดาป คือ การสันดาปอย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีปริมาณของออกซิเจนหรืออากาศเพียงพอที่จะทำให้สารในเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้จนหมดสิ้นพอดี ปริมาณอากาศดังกล่าวเรียกว่า ปริมาณอากาศทางทฤษฎีคือ อัตราส่วนระหว่างมวลของอากาศทางทฤษฎีกับมวลเชื้อเพลิง เรียกว่า Stoichiometric Ratio[7]

ตัวอย่าง แสดงการหาอากาศ ในการสันดาปของ มีถ่านอัดแท่ง $C_{50}H_{11}$ [8] ให้สมบูรณ์

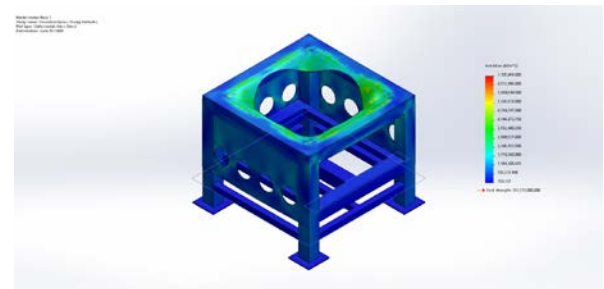


จากสมการดังกล่าว จะสามารถคำนวณได้ว่าถ้าต้องการสันดาปถ่านอัดแท่ง 0.51 กก./ชม. จะต้องใช้อากาศอย่างน้อย 6.037 กก. จึงจะทำให้เกิดการสันดาปถ่านอัดแท่งได้อย่างสมบูรณ์

4.2 ลักษณะการออกแบบ

ในการออกแบบเตาเผาชีวมวลเพื่อใช้สำหรับให้ความร้อนแก่เครื่องยนต์ต้นแบบ ต้องออกแบบให้สามารถป้อนเชื้อเพลิงได้ 0.51 กก./ชม. และอัตราการป้อนอากาศอย่างน้อย 6.037 กก. (อัตราส่วนอากาศกับเชื้อเพลิง เท่ากับ 11.83) โดยจะใช้โปรแกรม Solid works ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์การเลือกวัสดุที่สามารถรองรับน้ำหนักและแรงสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์สี่ลูกสูบต้นแบบ โดยรูปแบบของเตาเผาจะแบ่งเป็นสองส่วนคือ

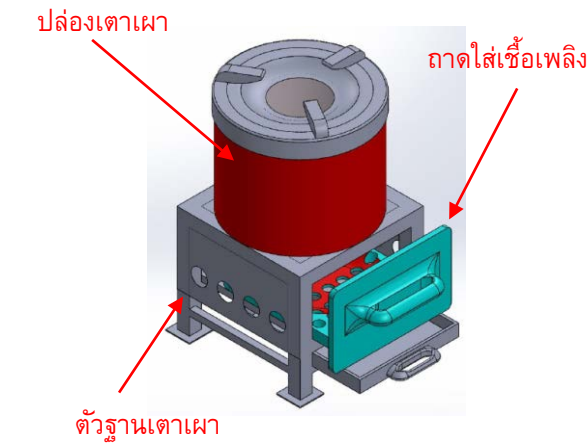
ส่วนแรก ตัวฐานของเตาจะมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมเลือกใช้วัสดุเหล็กกล่อง AISI 1020 ใช้เป็นห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งจะประกอบไปด้วยถาดสำหรับใส่เชื้อเพลิงและถาดรองรับขี้เถ้าจากการเผาไหม้ รอบ ๆ ตัวฐานจะเจาะรูทั้งหมด 3 ด้าน ดังรูปที่ 5 เพื่อให้มีอากาศไหลผ่านทางช่องลมด้านข้างเข้าไปช่วยให้เชื้อเพลิงทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้น ในส่วนของตัวฐานของเตาเผาจะมีน้ำหนักรวมทั้งหมด 5.27 กก.



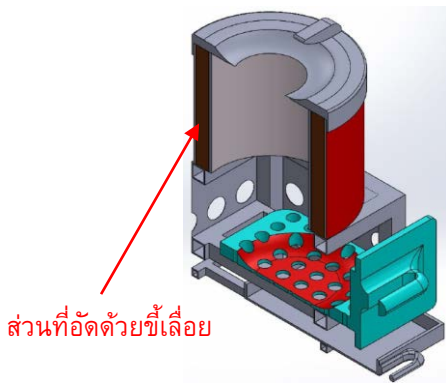
รูปที่ 5 แสดงลักษณะตัวฐานของเตาเผาและการทดสอบการรับแรง

ส่วนที่สอง ตัวปล่องของเตาจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวง ทำจากวัสดุเหล็กแผ่น AISI 1020 ถูกอัดแน่นด้วยขี้เถ้า ที่ใช้เป็นฉนวนกันความร้อน ด้านบนของตัวปล่องจะมีฝาปิดที่ถูกเจาะรูตรงกลาง ที่มีขนาดพอดีกับหัวฮีตเตอร์ของเครื่องยนต์ต้นแบบ เพื่อลดการสูญเสียความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงออกสู่ภายนอก ทำให้หัวฮีตเตอร์ได้รับความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในส่วนของตัวปล่องเตาเผาจะมีน้ำหนักรวมทั้งหมด 1.5 กก. ดังรูปที่ 6

AEC-36



รูปที่ 6 เตาเผาซีวมวล



รูปที่ 7 แสดงภาพตัดเตาเผาซีวมวล

5. การทดลอง

ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์หาค่าประสิทธิภาพการทำงาน เพื่อที่จะหาค่ากำลัง (Power) , ความเร็วรอบ (Engine Speed) และแรงบิด (Toque) โดยใช้ถ่านอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่ชุดเครื่องยนต์ ซึ่งการหาค่ากำลังของเครื่องยนต์จะใช้วิธี Rope Brake แสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งวิธีนี้จะสามารถหาค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ โดยใช้ล้อช่วยแรง (Flywheel) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 cm. ใส่ตุ้มน้ำหนัก (1ก้อนหนัก 10g.) ตรงข้ามกับทิศทางการหมุนของล้อช่วยแรง และอ่านค่าน้ำหนักจากตาชั่งดิจิตอล ในการวัดอุณหภูมิด้านน้ำเข้าและด้านน้ำออกจะใช้ Thermocouples ชนิด K (ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 1.5\%$) ส่วนความเร็วรอบของเครื่องยนต์วัดจาก Digital Tachometer (รุ่น Digicon DT-250T ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.1 rpm)

- การหาแรงบิด (Toque) ของเครื่องยนต์ หาได้จาก

$$T = (w1 - w2) R \quad (1)$$

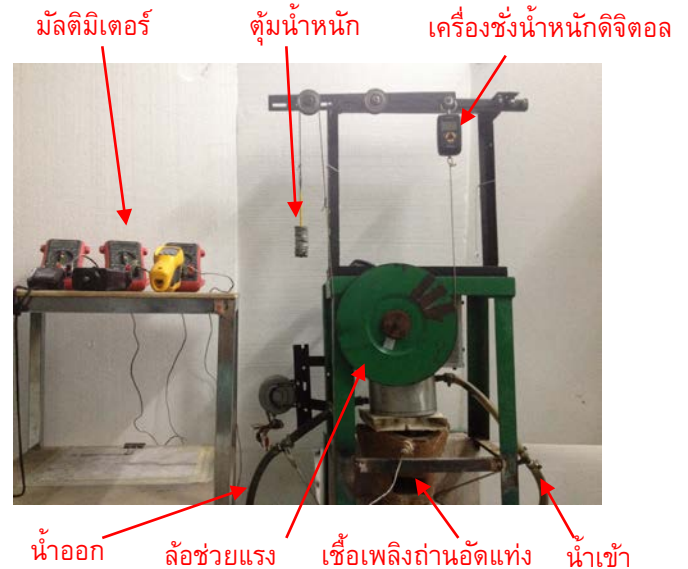
เมื่อ $w1$ และ $w2$ คือค่าที่อ่านได้จากสปริง (Spring Balance) และ R คือค่า Brake drum radius

- การหาค่ากำลัง (Power) ของเครื่องยนต์ หาได้จาก

$$P = 2\pi TN / 60 \quad (2)$$

เมื่อ N คือค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)

ในการทดลองจะใช้ถ่านอัดแท่งเป็นแหล่งพลังงาน ความร้อนอัตราการเผาไหม้ 0.5 kg/hr. เครื่องยนต์จะเริ่มทำงานที่นาฬิกาที่ 4.30 (min), อุณหภูมิฮีตเตอร์เท่ากับ 375°C, ความเร็วรอบเท่ากับ 103 rpm, อุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกเท่ากับ 29°C และ 30°C ตามลำดับ เติมถ่านทุกๆ 3 นาที ใส่ถ่านเพิ่ม 0.025 kg.



รูปที่ 8 การทดสอบเครื่องยนต์ด้วยวิธี Rope Brake

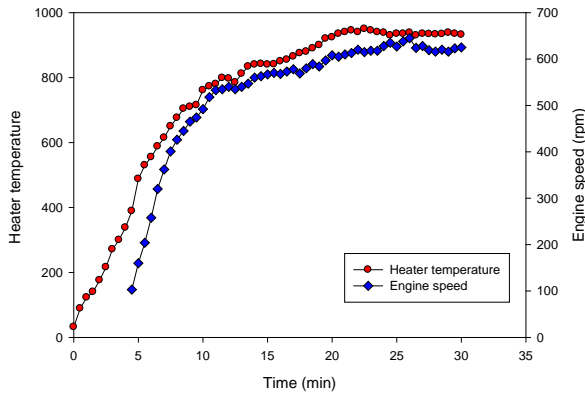
6. ผลการทดลอง

จากการทดลองใช้ถ่านอัดแท่งเป็นแหล่งพลังงาน ความร้อนให้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ความดันบรรยากาศ อัตราการเผาไหม้ 0.5 kg/hr ได้ผลการทดลองดังนี้

AEC-36

6.1 ความเร็วรอบเครื่องยนต์

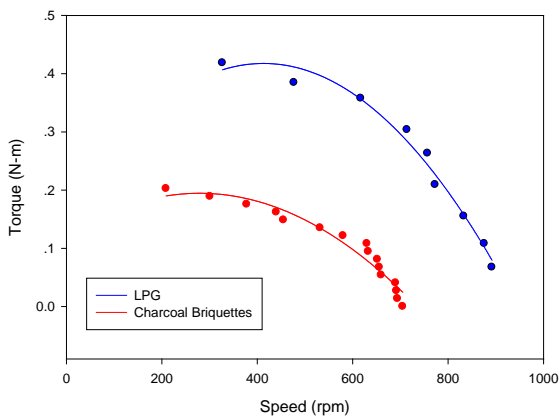
จากการทดสอบชุดเครื่องยนต์หาค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบใช้ถ่านอัดแท่งเป็นแหล่งความร้อนโดยไม่อัดความดันได้ค่าความเร็วรอบแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และอุณหภูมิของฮีตเตอร์ที่เวลาเดียวกัน

จากรูปที่ 9 ชุดเครื่องยนต์เริ่มทำงานที่ความเร็วรอบที่ 103 rpm อุณหภูมิของฮีตเตอร์อยู่ที่ 389 °C หลังจากอุณหภูมิของฮีตเตอร์และความเร็วรอบของเครื่องยนต์เข้าสู่สภาวะคงที่ จะได้ค่าอุณหภูมิของฮีตเตอร์ประมาณ 900 °C และความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 584 rpm

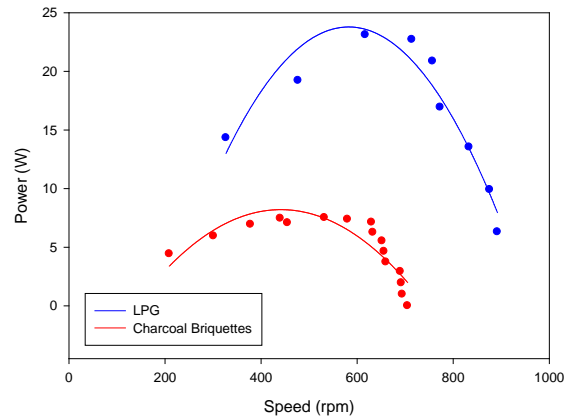
6.2 แรงบิดของเครื่องยนต์



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบและแรงบิดของเครื่องยนต์

จากรูปที่ 10 แสดงแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 584 rpm อุณหภูมิที่ฮีตเตอร์ 900 °C แรงบิดของเครื่องยนต์จะลดลงเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 209 rpm จะได้แรงบิดสูงสุดที่ 0.2 Nm.

6.3 กำลังของเครื่องยนต์



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและกำลังของเครื่องยนต์

รูปที่ 11 แสดงกำลังของเครื่องยนต์ที่แปรผันตามความเร็วรอบ กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบเท่ากับ 7.5 W ที่ความเร็วรอบ 532 rpm

7. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบกลไก รอมบิกมีปริมาตรกวาด 122 ลบ.ซม โดยใช้เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งเป็นแหล่งความร้อนในการหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ ประกอบด้วย กำลัง, แรงบิด, และค่าความเร็วรอบ เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดสอบการใช้ถ่านอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงนำมาเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพกับชุดเครื่องยนต์ต้นแบบที่ใช้ก๊าซ LPG ผลการทดสอบที่ใช้ถ่านอัดแท่งเป็นแหล่งความร้อนเปรียบเทียบกับก๊าซ LPG ดังนี้

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบด้วยถ่านอัดแท่ง เครื่องยนต์เมทำงานที่ความเร็วรอบที่ 103 rpm อุณหภูมิฮีตเตอร์เท่ากับ 389 °C ในขณะที่ก๊าซ LPG เครื่องยนต์จะเริ่มทำงานที่ความเร็วรอบที่ 128 rpm อุณหภูมิฮีตเตอร์เท่ากับ 309 °C

แรงบิดของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบด้วยถ่านอัดแท่ง ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 209 rpm จะได้แรงบิดสูงสุดที่

AEC-36

0.2 Nm. ในขณะที่ทดสอบด้วยก๊าซ LPG ที่ความเร็วรอบ 327 rpm ได้แรงบิดสูงสุดที่ 0.42 Nm.

กำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการทดสอบด้วยถ่านอัดแท่งได้กำลังสูงสุดเท่ากับ 7.5 W ที่ความเร็วรอบ 532 rpm ในขณะที่ทดสอบด้วยก๊าซ LPG ได้กำลังสูงสุดเท่ากับ 23.1 W ที่ความเร็วรอบ 617 rpm

จากผลการทดสอบข้างต้นจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ต้นแบบที่ทดสอบด้วยเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งนั้นมีค่าต่ำกว่า เนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงให้กับสิ่งแวดล้อมในขณะที่ทำการทดลอง ทำให้หัวฮีตเตอร์ของเครื่องยนต์ได้รับความร้อนไม่เต็มประสิทธิภาพ อันเนื่องมาจากเตาเผาที่ใช้ทำการทดสอบเป็นเตาเผาอั้งโล่ธรรมดา รูปทรงไม่รองรับกับหัวฮีตเตอร์ของเครื่องยนต์ จึงได้มีการออกแบบเตาเผาชีวมวลสำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบ เพื่อลดการสูญเสียความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงออกสู่ภายนอก ทำให้หัวฮีตเตอร์ได้รับความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ดีขึ้นตามลำดับ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Kongtragool B, Wongwises S. A review of solar-powered Stirling engines and low temperature differential Stirling engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2003;7:131–54

[2] Kwankaomeng, S. , Kongtrakool, B. , Silpsakoolsook, B. and Jindewa, S (2013). Improvement of a Rhombic Drive Stirling Engine Using Biomass Fuel, 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering, (16-18), October 2013.

[3] Walker G. (1980). *Stirling engines*. Oxford Clarendon Press, Calgary.

[4] บริษัทCharcoal snmcenter. ขั้นตอนการผลิตถ่านอัดแท่งด้วยกรรมวิธีอัดร้อนคุณภาพสูง, แหล่งที่มา http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/Line_product.php, เข้าดูเมื่อวันที่ 25/03/2558.

[5] เครือข่ายความร่วมมือเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน, ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (วท.) พลังงานทางเลือกในยุคน้ำมันแพง, แหล่งที่มา

http://www.clinictech.most.go.th/online/pages/techlist_display.asp?tid=384, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/03/2558.

[6] ธนภฤต แก้วมณี (2556). *รายงานการออกแบบและพัฒนาเตาเผาชีวมวลเพื่อผลิตก๊าซสังเคราะห์น้ำมันดิน* ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า1-33

[7] M. M. El-Wakil, (1984). *Powerplant Technology*, McGraw-Hill

[8] J. Pastor-Villegas, J.F. Pastor-Valle, J.M. Meneses Rodriguez and M. Garcia Garcia. Study of commercial wood wood charcoals for the preparation of carbon adsorbents, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 76 (2006), pp. 103 – 108.