

Received: July 11, 2023; Revised: September 18, 2023; Accepted: October 1, 2023

อัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลร่วมกับโพรดิวเซอร์แก๊ส

Fuel consumption of diesel engines combined with producer gas

วุฒิชัย สิทธิวงษ์^{1*}, ธนกร หอมจำปา¹, พีรพัฒน์ ประชุมฉลาด¹, ธราเทพ แหวงเงิน¹และณัฐกิตติ์ แก้วทุมลา¹Wuttichai Sittiwong^{1*}, Tanagorn Homchampa¹, Peerapat Prachumcharat¹Tharathep Waengern¹ and Nattakit Kaewtumla¹¹คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์¹Faculty of Agriculture and Technology, Rajamangala University of Technology Isan Surin Campus, Surin Province

*Corresponding Author E-mail Address: sittiwong@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาอัตราการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 1 สูบ 4 จังหวะ ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโพรดิวเซอร์แก๊สจากถ่านไม้ และปริมาณควันดำจากแก๊สไอเสียของทั้ง 2 กรณี โพรดิวเซอร์แก๊สผลิตจากเตาแก๊สซิฟิเคเตอร์แบบไหลขึ้นขนาด 60 ลิตร กับชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ การทดลองทำการเปรียบเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 700 rpm 800 rpm 900 rpm 1,000 rpm 1,100 และ 1,200 rpm จากผลการทดลองพบว่า เตาโพรดิวเซอร์แก๊สที่ใช้ถ่านไม้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมได้ดีในทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในการทดลอง โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบต่ำสามารถประหยัดเชื้อเพลิงดีเซลได้สูงที่สุด ที่ 178 mL/h (ที่ 900 rpm) ซึ่งสามารถลดการใช้ น้ำมันดีเซลได้ถึง 53% ส่วนของการลดมลพิษเฉพาะส่วนของควันดำ พบว่า การใช้เชื้อเพลิงร่วมสามารถลดควันดำได้ลงมาจาก 45% เป็น 38%

คำสำคัญ: โพรดิวเซอร์แก๊ส ถ่านไม้ อัตราการใช้เชื้อเพลิง ควันดำ

Abstract

The objectives of this research were to study the fuel consumption of 1-cylinder 4-stroke diesel engines that use diesel fuel in combination with gas producers from wood charcoal and the amount of black smoke from exhaust gas in both cases. The gas producer is made from a 60-litre updraft gasifier with water cooler. Experiments compared fuel consumption at engine speeds of 700 rpm, 800 rpm, 900 rpm, 1,000 rpm, 1,100 and 1,200 rpm. Experimental results show that the gas producers using charcoal as raw materials for gas production can be used as dual fuel well at all engine speeds in experiments. Diesel fuel savings of up to

178 mL/h (at 900 rpm) can reduce diesel consumption by up to 53%. Part of reducing the specific pollution of black smoke, it was found that dual fuel consumption significantly reduced black smoke from 45% to 38%.

Keywords: Producer gas, Chacoal, Fuel consumption, Black smoke

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลในปริมาณที่สูงขึ้น ข้อมูลจากกรมธุรกิจพลังงาน คาดการณ์ว่าปี 2566 ความต้องการใช้น้ำมันเพิ่มขึ้นจากการฟื้นตัวของภาคท่องเที่ยว สำหรับใช้น้ำมันกลุ่มดีเซลในเดือนธันวาคม 2565 เฉลี่ยอยู่ที่ 77.91 ล้านลิตร/วัน เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อนร้อยละ 1.2 (กรมธุรกิจพลังงาน, 2566) จากปัญหาดังกล่าว พลังงานทางเลือก เช่น พลังงานไบโอดีเซลและพลังงานก๊าซชีววมวล เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจ ซึ่งประเทศไทยมีศักยภาพ ในการผลิตพลังงานไบโอดีเซลและก๊าซชีววมวลสูงผลิตได้จากวัตถุดิบต่าง ๆ โดยเฉพาะผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งในภาค เกษตรกรรมเครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลังหลักที่เกษตรกรนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากกำลังงานที่ได้สูง ดังนั้นหากนำ เชื้อเพลิงหรือพลังงานทางเลือกมาใช้ก็สามารถทำได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ โดยเฉพาะพลังงานที่ได้จากผลผลิตทาง การเกษตรหรือเหลือจากการเกษตร

จากปัญหาด้านพลังงานที่ต้องพึ่งพาแหล่งพลังงานจากปิโตรเลียมซึ่งมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ส่งผลให้ราคาค่าไฟฟ้า น้ำมัน เชื้อเพลิงสูงขึ้น กระทบต่อกระบวนการผลิตและการขนส่ง ประเทศไทยที่เกษตรกรยังคงใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์โดยเฉพาะ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ประกอบกับผลกระทบอื่น ๆ ทำให้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตร เช่น ปุ๋ย มีราคาสูงขึ้นมาก แต่ราคาผลผลิตทางการเกษตรไม่ได้มีราคาสูงขึ้นตาม เหล่านี้คือปัญหาที่มาของงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อ แก้ปัญหาด้านพลังงาน และในภาคการเกษตร Raw material หรือวัตถุดิบ สามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิงทางเลือกหรือเชื้อเพลิง ทดแทนได้ โดยเฉพาะการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงกว่าการให้ความร้อนในรูปแบบเชื้อเพลิงแข็ง ด้วยการเปลี่ยน เชื้อเพลิงแข็งนี้ให้ออกมาเป็นก๊าซ ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนและที่สำคัญยังช่วยลดพิษจากการเผาไหม้ลงได้ (สอนรินทร์, 2560) กระบวนการที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงก๊าซ เรียกว่า Gasification กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นได้ จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งในที่ม็อกซิเจนจำกัด ให้ความร้อนบางส่วน และความร้อนนี้จะไปเร่งปฏิกิริยาต่อเนื่อง ให้ กลายเป็นก๊าซเชื้อเพลิง ก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการ Gasification นี้เรียกว่า Producer gas และสามารถนำไปใช้เป็น เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ หรือนำก๊าซที่ได้ไปเผาไหม้โดยตรง ก๊าซที่ได้จากกระบวนการประกอบด้วยก๊าซหลัก 4 ตัว และเป็นเชื้อเพลิงได้ 3 ตัว คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H) และมีเทน (CH₄) ก๊าซชีววมวล หรือโปรดิวเซอร์ แก๊ส (Producer gas) หากนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยการผสมกับอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ดีเซลทางท่อไอดีจะลดการใช้น้ำมัน ดีเซลได้สูงถึงร้อยละ 86 ปริมาณไอเสียมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (Uma et.al, 2004)

จิระพงษ์ และคณะ (2557) ทำการศึกษาการผลิตแก๊สชีววมวลจากเศษชีววมวล 3 ชนิด ได้แก่ กะลามะพร้าว ไม้กระถินยักษ์ และไม้ยูคาลิปตัส เพื่อศึกษาผลของการผลิตแก๊สชีววมวล อุณหภูมิของเตาผลิตแก๊สชีววมวลและองค์ประกอบของแก๊ส ชีววมวล ซึ่งระบบการผลิตแก๊สชีววมวลขนาดเล็กประกอบด้วย ชุดเตาผลิตแก๊สชีววมวลแบบไหลลง (Downdraft gasifier) พบว่า กะลามะพร้าวให้ปริมาณแก๊สชีววมวลเข้มข้นกว่าชีววมวลทั้ง 2 ชนิด รองลงมาคือ ไม้กระถินยักษ์และไม้ยูคาลิปตัส ตามลำดับ ในลักษณะเดียวกันกับงานวิจัยของ ปรีชา และคณะ (2558) ได้ศึกษาการใช้แก๊สชีววมวลกับเครื่องยนต์เล็กทางการเกษตร ซึ่งแก๊สชีววมวลที่ใช้ผลิตจากชุดเตาผลิตแก๊สชีววมวลแบบไหลลง (Downdraft gasifier) ความจุ 0.01 m³ แบบขยายห้องพักแก๊ส พร้อมระบบปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีววมวล โดยใช้เครื่องยนต์หนึ่งสูบขนาด 9 แรงม้า เป็นเครื่องยนต์ทดสอบในการผลิตแก๊ส

ชีวมวล ทำการจ่ายอากาศเข้าเตาผลิตแก๊สชีวมวลที่ 150 ลิตร/นาที่ โดยใช้เศษชีวมวล 3 ชนิด ได้แก่ กะลามะพร้าว ไม้กระถิน ยักษ์ และไม้ยูคาลิปตัส จำนวน 3 kg

ธนกร และคณะ (2017) ทำการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวลของเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับสูบน้ำ โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบน้ำเดี่ยว ยี่ห้อ Yanmar รุ่น TF 85 LM การทดลองนี้จะใช้น้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วร่วมกับก๊าซชีวมวลเปรียบเทียบกับการใช้ น้ำมันดีเซล โดยใช้เตาชีวมวลชนิดไหลลงในการผลิตก๊าซชีวมวลจากถ่านเศษไม้ โดยใช้ปั๊มน้ำทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 1,000 และ 1,200 rpm ซึ่งผลการทดลอง พบว่า การใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงโดยเครื่องยนต์ไม่มีภาระและมีภาระสูบน้ำเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุดในทุกกรณีและอัตราสิ้นเปลืองจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น

จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นเห็นชัดเจนว่าพลังงานแก๊สชีวมวลเป็นพลังงานที่สามารถผลิตได้จากวัสดุทางการเกษตรหรือท้องถิ่นทั่วไปและประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความอุดมสมบูรณ์ด้วยชีวมวลชนิดต่าง ๆ ที่มีศักยภาพเพียงพอ ที่จะนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนได้จึงได้มีนักวิจัยพยายามนำแก๊สชีวมวลมาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีนเพื่อเป็นต้นกำลัง แต่แก๊สชีวมวลที่ได้จากเตาผลิตแก๊สนั้นจะมีสิ่งเจือปนออกมาและมีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์และความเสียหายได้ และที่สำคัญของการใช้งานมักจะมีความซับซ้อนในการใช้งานกับเกษตรกร ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาการผลิตแก๊สชีวมวลเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรที่มีอุปกรณ์ไม่ซับซ้อนและใช้งานง่ายโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์ระหว่างใช้น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวลหรือโปรตีนเซอร์แก๊สให้เหมาะสมสำหรับใช้เพื่อเกษตรกรและสามารถนำพลังงานทางเลือกที่ผลิตได้ในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังทำการวัดค่าวันค่าเพื่อทำการยืนยันประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มเติมด้วย

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการเกษตรที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm การทดลองเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับน้ำมันดีเซลร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊สที่ได้จากถ่านไม้ การทดลองจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ใช้น้ำมันดีเซลในการเดินเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm โดยไม่มีภาระโหลด ทำการบันทึกค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ใช้

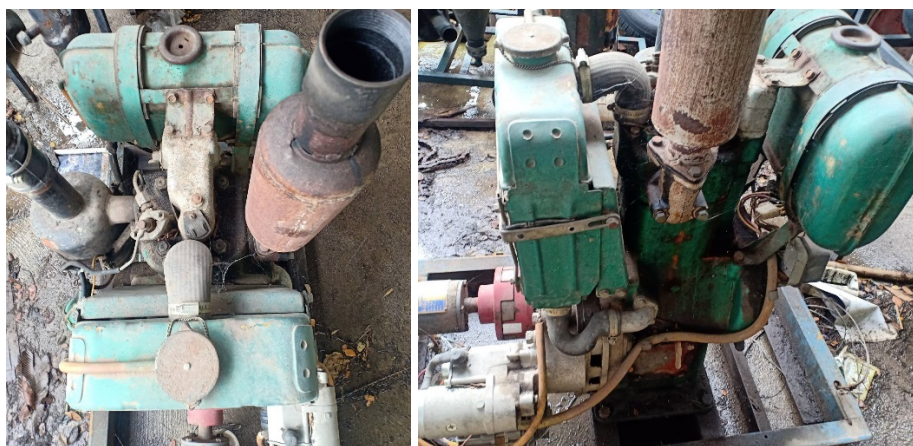
กรณีที่ 2 ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สชีวมวลในการเดินเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm โดยไม่มีภาระโหลด ทำการบันทึกค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้

โดยอุปกรณ์การทดลองสำคัญประกอบด้วย

1. เครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะ ที่ใช้ในการทดลองมีข้อมูลรายละเอียดเฉพาะดังตารางที่ 1 และรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลรายละเอียดเฉพาะเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

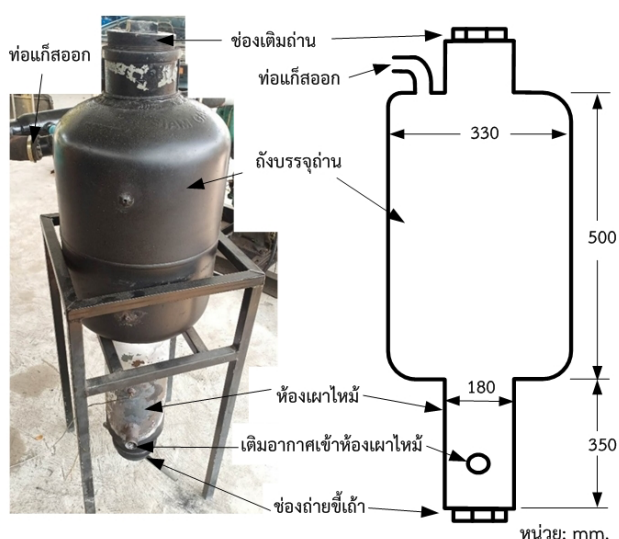
เครื่องยนต์	SPM รุ่น XD195
ชนิดเครื่องยนต์	1 สูบ 4 จังหวะระบายความร้อนด้วยน้ำ
กำลัง (แรงม้า)/ความเร็วรอบ (รอบ/นาที่)	12/2,200
เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ (มม.)	95
ระยะชักกระบอกสูบ (mm)	110
ปริมาตรเหนือหัวลูกสูบ (ลิตร)	0.78
ระบบฉีดเชื้อเพลิง	ฉีดตรง
ชนิดเชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล



รูปที่ 1 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดลอง

2. เตาผลิตแก๊ส การทดลองนี้ใช้เตากำเนิดแก๊สแบบไหลขึ้น (Updraft gasifier) ดังรูปที่ 2 เพื่อสะดวกต่อการบำรุงรักษา เตาและเครื่องยนต์จึงออกแบบให้เตาทำหน้าที่ผลิตแก๊สจากถ่านไม้แทนการใช้ไม้ดิบเนื่องจากปัญหาของเตาชนิดที่ผลิตโพรวิวเซอร์แก๊สจากไม้ดิบถึงแม้จะมีข้อดีคือไม่ต้องเผาถ่าน หรือเปลี่ยนไม้ดิบเป็นถ่าน แต่การใช้งานกับเครื่องยนต์จะมีของแข็งและสิ่งเจือปนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมด ได้แก่ ถ่านชาร์ (Char) ถ่าน (Ash) น้ำมันดิน (Tar) และไอน้ำ เป็นที่ต้องกำจัดออกจากแก๊สให้ได้หมดก่อนเข้าเครื่องยนต์ ดังนั้นเตาผลิตแก๊สจึงมีอุปกรณ์มากมาย เช่น ไซโคลน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ห้องน้ำดักน้ำมันดิน กรองดักฝุ่นแบบเปียก เครื่องจับดักไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งแน่นอนว่าจะยุ่งยากต่อการใช้งานจริงของเกษตรกร และต้นทุนของเครื่องที่สูงกว่าเตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้นด้วยถ่านไม้

จากรูปที่ 2 เป็นเตาแก๊สชีวมวลที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือถังบรรจุถ่านไม้ ขนาดความสูง 500 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 330 มิลลิเมตร และห้องเผาไหม้ทรงกระบอก ขนาดความสูง 350 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 180 มิลลิเมตร ปริมาตรรวมประมาณ 60 ลิตร ซึ่งมีขนาดไม่ใหญ่มากเพื่อให้ใช้งานและเคลื่อนย้ายได้ง่าย



รูปที่ 2 เตาผลิตแก๊สแบบไหลขึ้นบนที่ใช้ในการทดลอง

3. ชุดระบายความร้อนแก๊ส ในรูปที่ 3 ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของโปรติวเซอร์แก๊สที่ผลิตออกจากเตา หากปล่อยให้แก๊สที่มีอุณหภูมิสูงเข้าเครื่องยนต์อาจเป็นสาเหตุของการชิงจุดระเบิดไม่สามารถควบคุมจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ได้ และปริมาณแก๊สจะมีอัตราไหลเชิงมวลต่ำลง ทำให้ได้เชื้อเพลิงไม่เพียงพอต่อการใช้งานหรือที่เรียกว่าส่วนผสมบาง ด้วยหลักการง่าย ๆ สะดวกต่อการใช้งานและการบำรุงรักษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (Double-pipe heat exchanger) จึงถูกเลือกมาใช้เป็นชุดระบายความร้อนแก๊สที่ทำท่อด้วยเหล็กสวมนักสองชั้น ชั้นนอกให้เป็นท่อน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ท่อชั้นในเป็นท่อแก๊ส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร แก๊สที่อุณหภูมิสูงจากเตาผลิตจะไหลเข้าท่อแก๊สสวนทางกับน้ำหล่อเย็นที่ท่อน้ำหรือเปลือกนอก เกิดการถ่ายเทความร้อนของของไหลทั้งสองที่ไหลสวนกันตลอดความยาว 610 มิลลิเมตร ของเครื่องระบายความร้อน น้ำหล่อเย็นจะถูกปล่อยไหลเวียนแบบอิสระด้วยถังพักน้ำจากภายนอกที่ระบายความร้อนจากพัดลมของเครื่องโดยไม่ใช้ปั๊มน้ำ

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของของไหลทั้งสองด้วยการเพิ่มระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อน ผู้วิจัยทำการบรรจุเศษฝอยโลหะ (Steel wool) เข้าไปในท่อแก๊สเป็นการชะลอความเร็วในการไหลของแก๊สร้อนเพื่อเพิ่มเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนและเศษฝอยโลหะจะทำหน้าที่เป็นกรงหยาบให้กับเครื่องยนต์ป้องกันฝุ่นถ้าหยาบถูกดูดเข้าไปในเครื่องยนต์



รูปที่ 3 ชุดระบายความร้อนแก๊ส

อุปกรณ์หลัก ๆ ทั้ง 3 ถูกติดตั้ง ดังรูปที่ 4 โดยหลักการทำงานเริ่มจากถ่านไม้ถูกบรรจุลงไปในเตาโปรติวเซอร์แก๊ส ขนาด 60 ลิตร คิดเทียบกับถ่านไม้ที่ใช้ทดลองขนาดประมาณ 30-40 มิลลิเมตร โดยเฉลี่ย จำนวน 15 กิโลกรัม เมื่อจุดเตาโดยให้ความร้อนจากช่องเติมอากาศด้านล่างเตา (จากรูปที่ 2) โดยยังไม่ปิดเตาหรือช่องเติมถ่านส่วนบนของเตาจนกว่าถ่านจะติดไฟ ซึ่งหากปกติเครื่องยนต์ติดแล้ว เครื่องยนต์จะดูดอากาศผ่านช่องทางนี้ของเตา ทำให้ถ่านไม้ในเตาติดอย่างต่อเนื่องแต่ในการเริ่มต้นติดเตาหากใช้เครื่องเป่าลมช่วยให้อากาศเข้าเตาจะทำให้เตาติดได้เร็วขึ้น ในเริ่มต้น ถ่านอาจมีความชื้นอยู่บ้าง คิว้นที่ออกมาอาจจะติดไฟยาก เมื่อความชื้นหมดอุณหภูมิเตาสูงขึ้นให้สังเกตที่คว้นที่ออกมาจากเตาจะเปลี่ยนจากคว้นสีขาวกลายเป็นเปลวสีขึ้น ทดสอบจุดไฟที่คว้นจะเกิดติดไฟและต่อเนื่อง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 อุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งเพื่อการทดลอง



รูปที่ 5 เปลวไฟติดต่อเนื่องจากแก๊ส

เครื่องวัดควันทารบบกระดาษกรอง ยี่ห้อ Bosch ดังรูปที่ 6 ใช้วัดปริมาณควันท่าที่เกิดจากเครื่องยนต์ อ่านค่าโดยอาศัยหลักความเข้มแสง วัดค่าเป็นหน่วยร้อยละ



รูปที่ 6 เครื่องวัดควันท่า

เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) หรืออากาศที่เข้าเตาแบบใบพัด ยี่ห้อ EXTECH ดังรูปที่ 7 เมื่อเครื่องยนต์ทำงานที่สภาวะคงที่ในแต่ละรอบแล้ววัดอัตราการไหลของอากาศจากความเร็วของอากาศคูณกับพื้นที่หน้าตัดท่อที่ตำแหน่งท่อเติมอากาศเข้าห้องเผาไหม้ในรูปที่ 2



รูปที่ 7 เครื่องวัดความเร็วลม

สำหรับวัตถุดิบที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นถ่านที่ได้จากการเผาถ่านด้วยเศษไม้ที่สามารถหาได้ในพื้นที่ไม่ระบุชนิดของไม้เป็นไม้แห้งที่หักหรือตายตามธรรมชาติ เพื่อเป็นการไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมและให้เกษตรกรสามารถหาได้ เมื่อได้ไม้แล้วทำการตัดเป็นท่อนเพื่อเผาไปถ่านไม้ด้วยเตาเผาถ่านแบบเตา 200 ลิตร ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 วัตถุดิบในการเผาถ่านด้วยเตาเผาถ่าน 200 ลิตร

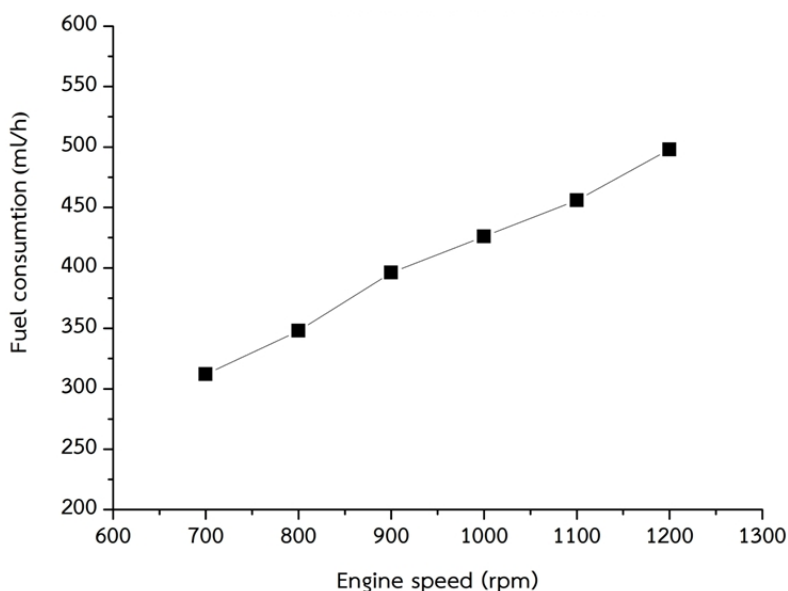
เมื่อเตาผลิตแก๊สได้ต่อเนื่องแก๊สจะถูกดูดผ่านชุดระบายความร้อนให้แก๊สเพื่อให้แก๊สอุณหภูมิลดลงและสะอาด ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว แก๊สที่ออกจากเครื่องระบายความร้อนถูกดูดเข้าไปผสมกันในมิกเซอร์หรือตัวผสมแก๊สกับอากาศด้วยหลักการของคอขวดหรือท่อเวนทูรี (Venturi tube) ที่ชุดผสมอากาศและแก๊สผสมกันไหลผ่านกรองอากาศแบบหยาบและกรองอากาศแบบเป็ดยก ก่อนเข้าเครื่องยนต์ต่อไป ส่วนการควบคุมความเร็วรอบจะควบคุมด้วยปั๊มฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงและวาล์วควบคุมอากาศที่ท่อไอเสียของเครื่องยนต์ โดยการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm และเปรียบเทียบวันดำ

ผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการทดลองของงานวิจัย เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ โดยเชื้อเพลิงหลักคือน้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับโพรพิลีนแก๊ส โดยความเร็วรอบเดินเบาที่ 700 rpm แล้วเพิ่มความเร็วครั้งละ 100 rpm จนถึง 1,200 rpm ทำการทดลองซ้ำ ได้ผลเฉลี่ยดังต่อไปนี้

กรณีศึกษาที่ 1 ผลการทดลองใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

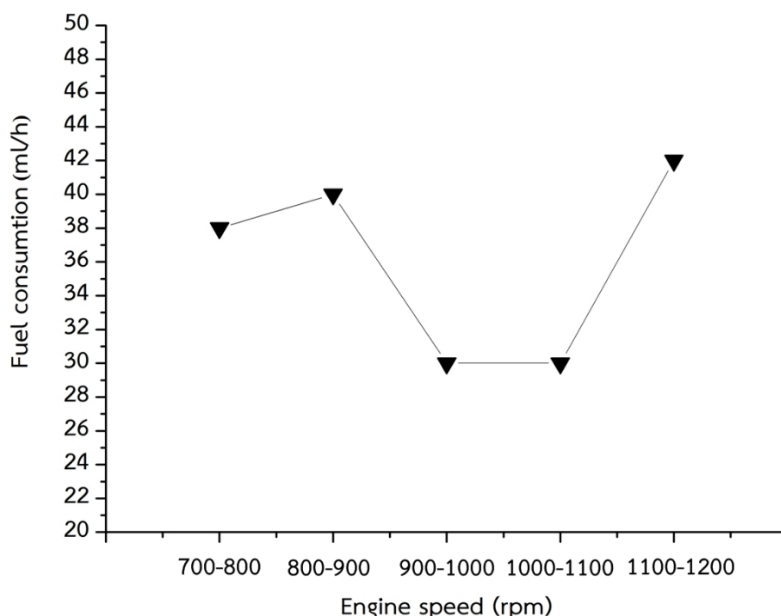
กรณีที่ 1 นี้จะทำการทดลองเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm โดยเครื่องยนต์ไม่มีภาระในเวลา 1 ชั่วโมง จากการทดลองได้ค่าเฉลี่ยอัตราการสิ้นเปลืองดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

จากรูปที่ 9 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลในการทดลองโดยเครื่องยนต์ไม่มีภาระจะเห็นว่าที่ความเร็วรอบ 700 rpm ที่เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ที่ 310 ml/hr เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่รอบสูงขึ้นตามรอบที่กำหนด การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตามรอบการทำงานของเครื่องยนต์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 rpm อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 348 ml/hr และเมื่อเพิ่มความเร็วรอบสูงสุดที่ความเร็วรอบ 1,200 rpm อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ 498 ml/hr จะเห็นว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น

ที่ความเร็วรอบที่แตกต่างกัน คือที่ความเร็วรอบ 700 800 และ 900 rpm มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความเร็วรอบที่เปลี่ยนไป มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 40 ml/hr และเมื่อความเร็วรอบ 900 1,000 และ 1,100 ความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองลดลงกว่าที่ความเร็วรอบ 700 800 และ 900 rpm คือค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30 ml/hr แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบจาก 1,100 เป็น 1,200 rpm ความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ 42 ml/hr ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 เปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซล

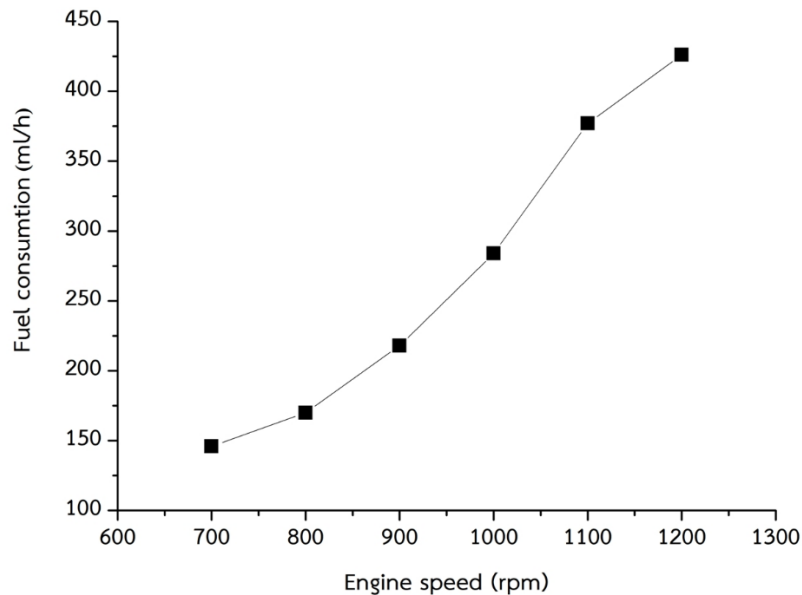
กรณีที่ 2 ผลการทดลองใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

กรณีนี้ทำการทดลองโดยความเร็รรอบของเครื่องยนต์เช่นเดียวกันกับกรณีที่ 1 คือ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm โดยเครื่องยนต์ไม่มีภาระในเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนบันทึกข้อมูลทำการเดินเครื่องยนต์ให้เตาทำงานผลิตแก๊สอย่างต่อเนื่องสักระยะหรือทำการจุดเตาและใช้เครื่องเป่าลมช่วยเติมอากาศที่ช่องเติมอากาศของเตา เมื่อมั่นใจว่าเตาผลิตแก๊สได้ต่อเนื่องแล้วเดินเครื่องยนต์อีกสักระยะเพื่อให้แก๊สเข้าแทนที่อากาศในท่อทางเดินแก๊สเข้าเครื่องยนต์ก่อนบันทึกข้อมูลทำการปิดวาล์วแก๊สเข้าเครื่องยนต์ ทำการเดินเครื่องยนต์ให้ทำงานเริ่มต้นที่ความเร็รรอบเดินเบาด้วยน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวและเริ่มเปิดวาล์วแก๊สเข้าเครื่องยนต์จนความเร็รรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นตามที่ต้องการ เริ่มบันทึกข้อมูลที่ความเร็รรอบต่าง ๆ หากความเร็รรอบสูงกว่าความเร็รรอบที่กำหนดให้ลดความเร็วเครื่องยนต์ด้วยการปรับปริมาณแก๊สลงด้วยการปรับวาล์วแก๊สที่เข้าเครื่องยนต์ลงในขณะที่วาล์วควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงอยู่ในตำแหน่งเดินเบา ซึ่งระบบฉีดเชื้อเพลิงจะทำหน้าที่เพียงการฉีดนำเพื่อจุดระเบิดเท่านั้นในกรณีนี้ 2 จึงได้ผลการทดลองดังรูปที่ 11

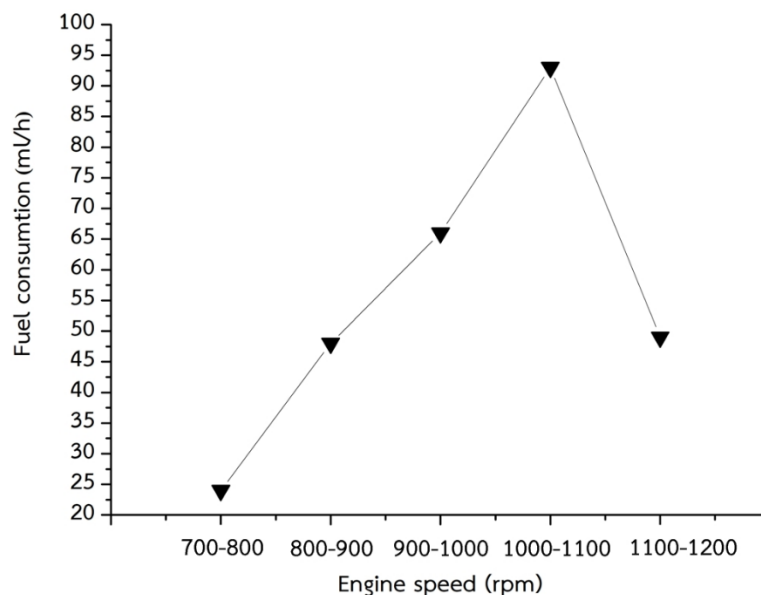
จากรูปที่ 11 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลในการทดลองโดยเครื่องยนต์ไม่มีภาระ จะเห็นได้ว่าที่ความเร็รรอบ 700 rpm ที่เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ที่ 146 ml/hr เมื่อเพิ่มความเร็รรอบเครื่องยนต์ที่รอบสูงขึ้นตามรอบที่กำหนด การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตามรอบการทำงานของเครื่องยนต์ ความเร็รรอบเครื่องยนต์อยู่ที่ความเร็รรอบ 800 rpm อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 170 ml/hr และเมื่อเพิ่มความเร็รรอบสูงสุดอยู่ที่ความเร็รรอบ 1,200 rpm อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ 426 ml/hr จะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ 1 ผลการทดลองใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลลดลงมาก ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

ในกรณีนี้ 2 นี้ พบว่าเมื่อความเร็รรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองความเร็รรอบเครื่องยนต์ต่อความเร็รรอบรอบเครื่องยนต์ของสองกรณี พบว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองกับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 12 เช่น ที่ความเร็รรอบ 700 ถึง 800 rpm มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างความเร็รรอบที่เปลี่ยนไปมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 24 ml/hr และเมื่อความเร็รรอบ 800 ถึง 900 rpm ความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองยิ่งเพิ่มกว่าเดิมเป็น 48 ml/hr และยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็น 66 ml/hr และ 93 ml/hr ที่ 900 ถึง 1,000 rpm และ 1,000 ถึง 1,100 rpm ตามลำดับ แต่ที่ความเร็รรอบ 1,100 rpm ถึงความเร็รรอบเครื่องยนต์สูงสุดอัตราการ

สิ้นเปลืองกลับลดลงเหลือ 49 ml/hr เชื้อเพลิงแก๊สสามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันดีเซลลง เบื้องต้นสันนิษฐานว่าที่ความเร็วสูงสุดของการทดลองสามารถดูดอากาศเพิ่มขึ้นมากทำให้การเผาไหม้ในเตาผลิตโปรตีนเซอร์แก๊สได้ต่อเนื่องและมีจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามอัตราการผลิตอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของเครื่องยนต์จึงเป็นเหตุให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลไม่ลดลงมากกว่าที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำ นี่เป็นเพียงข้อสันนิษฐานเบื้องต้น ซึ่งจะต้องพิจารณาวิเคราะห์จากอัตราการสิ้นเปลืองเทียบกับกรณีที่ 1 เฉพาะความเร็วรอบต่าง ๆ อีกครั้งในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 11 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลที่ใช้แก๊สชีวมวลร่วม



รูปที่ 12 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซล กรณีใช้เชื้อเพลิงร่วม

เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกรณีเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลกับกรณีเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊ส

จากผลการทดลองของกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 นำมาเปรียบเทียบกัน พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลลดลงเมื่อใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงร่วม นั่นคือ ที่เครื่องยนต์มีความเร็วรอบ 700 rpm อัตราการลดลงของน้ำมันดีเซลเป็น 167 ml/hr ดังรูปที่ 13 นอกจากนี้ยังมีอัตราการสิ้นเปลืองที่ลดลงตามความเร็วเป็น 178 ml/hr, 178 ml/hr, 142 ml/hr, 79 ml/hr และ 72 ml/hr ตามลำดับความเร็วรอบ จากการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลที่ลดลงอย่างมากเมื่อใช้โปรตีนเซอร์แก๊สร่วม จะเห็นได้ว่า

ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 700 rpm สามารถลดอัตราการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 53%

ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 800 rpm สามารถลดอัตราการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 51%

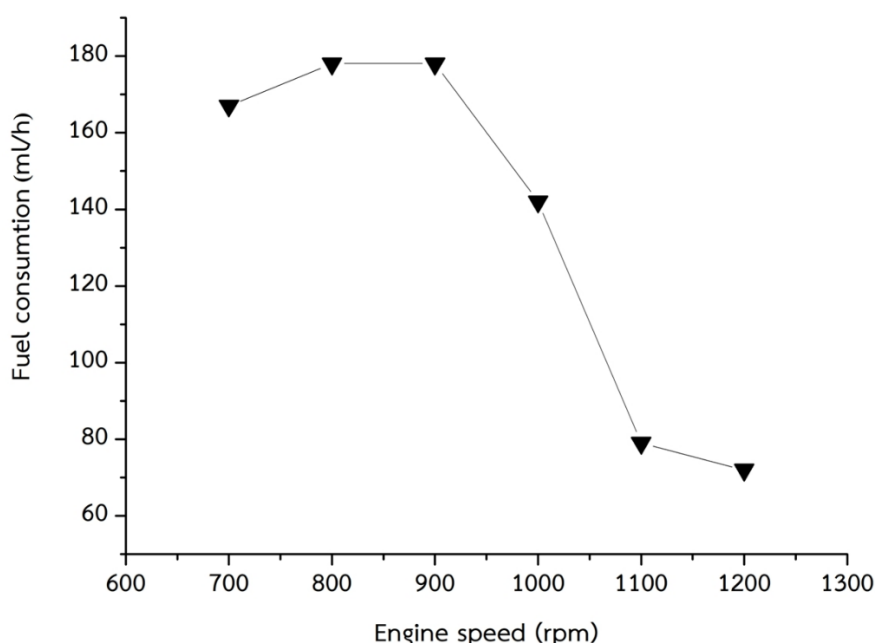
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 900 rpm สามารถลดอัตราการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 45%

ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 rpm สามารถลดอัตราการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 33%

ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,100 rpm สามารถลดอัตราการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 17%

และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm สามารถลดอัตราการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 14%

จากผลการทดลองที่วิเคราะห์ร้อยละของการลดอัตราการใช้น้ำมันที่ความเร็วรอบสูงโดยเฉพาะที่ 1,100 rpm และ 1,200 rpm ได้น้อยกว่าที่ความเร็วรอบอื่น ๆ มากซึ่งเป็นไปได้ตามข้อสันนิษฐานเบื้องต้นว่าเตาผลิตแก๊สได้เหมาะสมกับความเร็วรอบต่ำหรืออาจจะต้องเพิ่มถึงพักแก๊สก่อนเข้าเครื่องยนต์เนื่องจากระยะทางของเตาผลิตแก๊สอยู่ไกลเครื่องยนต์ทำให้แก๊สไหลเข้าเครื่องยนต์ไม่ทัน ซึ่งต้องพิจารณาอัตราการไหลของอากาศเข้าเตาอีกครั้งหนึ่งในประเด็นถัดไป

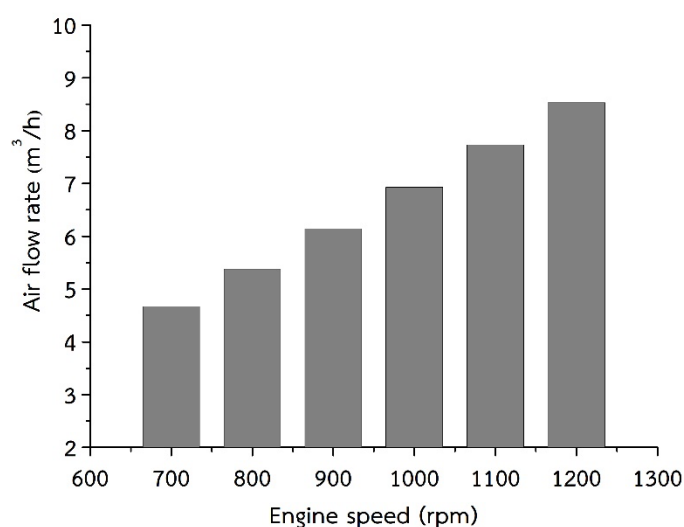


รูปที่ 13 เปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างดีเซลกับเชื้อเพลิงร่วม

อัตราการไหลของอากาศผ่านเตาโปรตีนเซอร์แก๊สที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 700 800 900 1,000 1,100 และ 1,200 rpm

จากการทดลองที่ความเร็วรอบต่าง ๆ เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วมในทางปฏิบัติจะทำการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ท่อดูดอากาศด้วยวาล์วดังรูปที่ 4 และมีอากาศบางส่วนเข้าสู่เตาของห้องเผาไหม้เพื่อใช้เป็นอากาศในการช่วยให้เตายังคงเผาไหม้ต่อเนื่องและอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เตาจึงขึ้นอยู่กับวาล์วที่ท่อดูดอากาศกับแรงดูดจากเครื่องยนต์

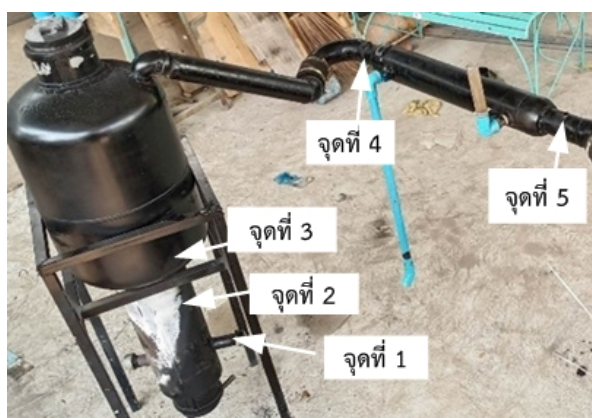
จากผลการทดลองในรูปที่ 14 พบว่าอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าท่อดูดของเตาที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ 700 rpm มีค่าต่ำสุดที่ $4.67 \text{ m}^3/\text{hr}$ และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญจนถึง $8.55 \text{ m}^3/\text{hr}$ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm และจากผลที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกรณีเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลกับกรณีเครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรพิลีนแก๊สที่ความเร็วรอบสูงชันอัตราการการชดเชยของเชื้อเพลิงแก๊สแทนน้ำมันดีเซลลดลงซึ่งตามข้อสันนิษฐานเบื้องต้นว่าเตาผลิตแก๊สได้เหมาะสมกับความเร็วรอบต่ำหรืออัตราการไหลของอากาศเข้าเตาไม่เพียงพอ นั้น ประเด็นของอัตราการไหลของอากาศไม่เพียงพอ นั้นเป็นประเด็นที่ไม่มีผลเนื่องจากอัตราการไหลของอากาศยังคงเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะสูงเกินกว่าปริมาณเชื้อเพลิงที่เข้าห้องเผาไหม้ของเตาในประเด็นนี้จึงต้องพัฒนาและแก้ไขปัญหาต่อไป



รูปที่ 14 อัตราการไหลของอากาศเข้าเตาโปรพิลีนแก๊ส

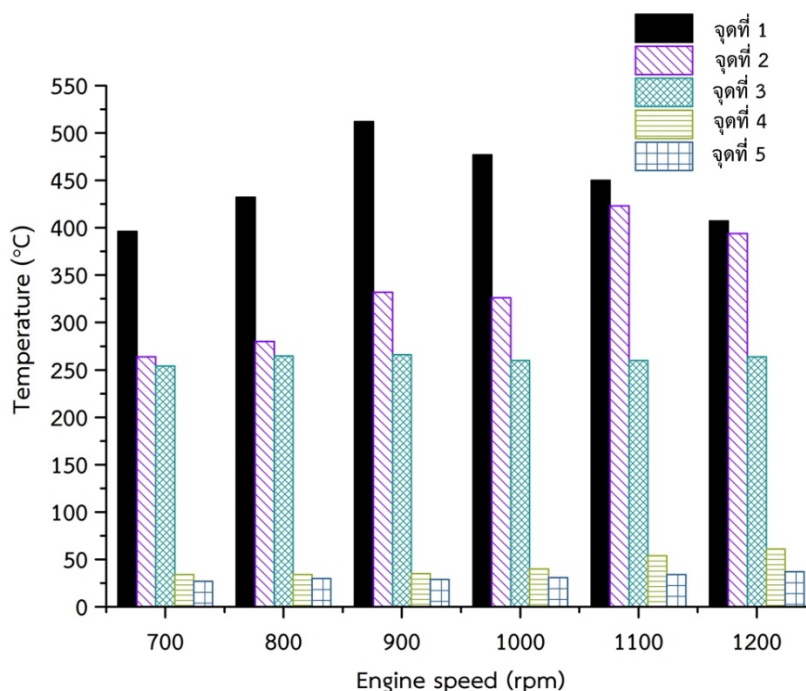
อุณหภูมิเตาและแก๊สที่จุดต่าง ๆ

การทดลองทำการวัดอุณหภูมิหลักของชุดทดลองจำนวน 5 จุด ดังรูปที่ 15 ประกอบด้วย จุดที่ 1 Combustion zone จุดที่ 2 Pyrolysis zone จุดที่ 3 Drying zone จุดที่ 4 เข้าเครื่องหล่อเย็น จุดที่ 5 ออกจากเครื่องหล่อเย็นและอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยที่ 33°C



รูปที่ 15 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ

จากผลการทดลองดังรูปที่ 16 พบว่าที่จุดที่ 1 อุณหภูมิเตาสูงที่สุดอยู่ในช่วง 400-500°C อุณหภูมิเตาที่ความเร็วรอบ 700-900 rpm จะสูงพอกับช่วงความเร็ว 1,000-1,200 rpm และไปสูงที่จุดที่ 2 ซึ่งจุดที่ 2 Pyrolysis zone อุณหภูมิอยู่ประมาณ 400°C แต่ที่ความเร็วเครื่องยนต์ 700-900 rpm กลับต่ำเพียงประมาณ 300°C ซึ่งเป็นไปได้ว่าปริมาณอากาศที่เข้าตามาก (รูปที่ 14) ทำให้ความร้อนที่ Combustion zone ลดลง และอุณหภูมิของแก๊สเข้าเครื่องยนต์ (จุดที่ 5) มีอุณหภูมิต่ำที่ประมาณ 35 °C ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศภายนอก



รูปที่ 16 อุณหภูมิของเตาไพโรลิวเซอร์แก๊ส

การอภิปรายผล

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์ระหว่างใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีววมวลหรือไพโรลิวเซอร์แก๊ส ผลการทดลองเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะโดยเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันดีเซลร่วมกับแก๊สไพโรลิวเซอร์ พบว่าเตาไพโรลิวเซอร์แก๊สที่ใช้ถ่านไม้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมได้ดีในทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในการทดลอง โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบต่ำสามารถประหยัดเชื้อเพลิงดีเซลได้สูงที่สุด ที่ 178 mL/hr (ที่ 900 rpm) ซึ่งสามารถลดการใช้ น้ำมันดีเซลลงถึง 53% แต่อย่างไรก็ตามการประหยัดเชื้อเพลิงดีเซลจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมต่ำสุดก็ยังมีค่าสูง 72 mL/hr (ที่ 1,200 rpm) ลดการใช้ น้ำมันดีเซลลงได้ 14% สาเหตุที่สรุปได้เกิดจากขนาดเตาที่ผลิตแก๊สได้ไม่ทันเนื่องจากอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เตาสูงมากที่รอบเครื่องยนต์สูงขึ้น

ส่วนของการลดมลพิษเฉพาะส่วนของควันดำ การใช้เชื้อเพลิงร่วมสามารถลดควันดำได้ลงมาจาก 45% เป็น 38% คิดเป็นร้อยละ 84 ที่อัตราเร่งสูงสุดของเครื่องยนต์ซึ่งจากผลและวิธีการวัดควันดำจะวัดที่อัตราเร่งสูงสุดของเครื่องยนต์นั้น แต่หากเทียบกับที่ความเร็วรอบต่ำได้ปริมาณควันดำก็จะลดลงมากเมื่อพิจารณาจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ตลอดจนถึง เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัยให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

เอกสารอ้างอิง

- กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2566). สถานการณ์การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไตรมาส 1 ของปี 2566 และทิศทางการดำเนินงานในอนาคต. ค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2566. https://www.doeb.go.th/news_activity/2519.pdf
- จิระพงษ์ กวนกระโทก, ไมตรี พลสงคราม, อมรทัศน์ จั่วแจ่มใส และปรีชา ชันติโกมล. (2557). การศึกษาการผลิตแก๊สจากเศษชีวมวลโดยใช้เตาผลิตแก๊สชนิดไหลลงขนาดเล็ก. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28. 15-17 ตุลาคม 2557. จังหวัดขอนแก่น. 99-104.
- ปรีชา ชันติโกมล, จิระพงษ์ กวนกระโทก, อมรทัศน์ จั่วแจ่มใส และไมตรี พลสงคราม. (2558). การใช้แก๊สชีวมวลกับเครื่องยนต์เล็กทางการเกษตรขนาด 9 แรงม้า. วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 8(2): 1-11.
- ธนกร หอมจำปา, วุฒิชัย สิทธิวงษ์ และสอนรินทร์ เรืองปรัชญากุล. (2560). อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เพื่อสูบน้ำ. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชมงคลสุรินทร์วิชาการ ครั้งที่ 9 “วิจัยจากองค์ความรู้สู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน 2017” 25-26 ธันวาคม 2560. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. สุรินทร์. B842-B847.
- สอนรินทร์ เรืองปรัชญากุล, วุฒิชัย สิทธิวงษ์, ธนกร หอมจำปา และวัฒนา ภารัตนวงศ์. (2560). เชื้อเพลิงร่วระหว่างน้ำมันดีเซลกับก๊าซชีวมวล. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชมงคลสุรินทร์วิชาการ ครั้งที่ 9 “วิจัยจากองค์ความรู้สู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน 2017”. 25-26 ธันวาคม 2560. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. สุรินทร์. B918-B924.
- Uma R., Kandpal T.C. and Kishore V.V.N. (2004). Emission characteristics of an electricity generation system in diesel alone and dual fuel mode. Biomass and Bio energy. 27(2): 195-203.