สมรรถนะ มลพิษและคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล ที่ใช้น้ำมันดีเซลและก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม

Performance Emission and Combustion Characteristics of a Diesel Engine using Diesel and Producer Gas as Dual Fuel

พิศาล สมบัติวงค์* ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ กุลเชษฐ์ เพียรทอง
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี 34190

Pisarn Sombatwong* Prachasanti Thaiyasuit Kulachate Pianthong
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubonratchathani 34190
Tel : 0-4535-3309 E-mail: pisanme@hotmail.com

บทคัดย่อ

ก๊าซชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งที่มีการใช้งานในเครื่องยนต์เป็นเวลานานแล้ว แต่การวิจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องยนต์ยังมีอยู่น้อยมาก งานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซชีวมวลร่วมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยได้ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ที่ได้รับการติดตั้งชุดอุปกรณ์วัดแรงดันในกระบอกสูบ เชื่อมต่อกับเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบไหลลงชนิดสองคอคอดขนาด 50 กิโลวัตต์ความร้อน ที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,500 รอบต่อนาที ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 0–715.8 kPa โดยปรับสัดส่วนก๊าซชีวมวลให้ทดแทนน้ำมันดีเซลให้ได้สูงสุด ที่แต่ละภาระ การศึกษาพบว่าก๊าซชีวมวลสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้สูงสุดร้อยละ 71.15 ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 501 kPa เมื่อพิจารณาก๊าซไอเสียพบว่า การใช้เชื้อเพลิงร่วม ทำให้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงขึ้นทุกช่วงภาระ ในขณะที่ออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง 30–350 ส่วนในล้านส่วน การวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ในกระบอกสูบพบว่าเมื่ออัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น จะทำให้ช่วงล่าช้าในการจุดระเบิดมากขึ้น และที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุด มีช่วงล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มขึ้นประมาณ 2-5 องศาเพลาข้อเหวี่ยง และความดันสูงสุดในกระบอกสูบลดลง 10-15 บาร์

คำหลัก คุณลักษณะการเผาไหม้ อัตราการปลดปล่อยความร้อน เครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม ก๊าซชีวมวล

Abstract

Producer gas is one of the potential alternative energy which has long been used as a fuel in the engine, however, very few researches about the combustion characteristics have been done. In this study, the combustion characteristic and exhaust emission of producer gas–diesel dual fuel engine are investigated. The single cylinder, direct injection, diesel engine mounting with in-cylinder pressure transducer is used for the combustion characteristic analysis. Producer gas, from charcoal, is generated from 50 kW_{th} double throat downdraft gasifier. The combustion and emission characteristics of dual fuel engine are investigated at constant speed 1500 rpm at various break mean effective pressure (bmep) loads between 0–715.8 kPa and various diesel-gas input ratio for maximum diesel saving ratio of each load. It is shown that the maximum diesel fuel saving is 71.15% at bmep load of 501 kPa. The CO

emission is higher in the case of dual fuel mode comparing to that of the diesel mode. NO_x is decreased by 30 - 350 ppm depending on the bmep. In the dual mode, the ignition delay becomes longer when the diesel saving ratio is increased. At the maximum diesel saving, the ignition delay is increased 2-5 °CA, while the cylinder peak pressure is decreased by 10-15 bar.

Keywords: Combustion characteristics, heat release rate, dual fuel engine, producer gas

1. บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกต้องเผชิญกับปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและปริมาณน้ำมันสำรองที่หมดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ประเทศต่าง ๆ โดยเฉพาะประเทศกำลังพัฒนาต้องเร่งพัฒนาพลังงานทดแทนรูปแบบต่าง ๆ ขึ้น ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกรูปแบบหนึ่งที่มีศักยภาพในการทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในได้ โดยเฉพาะในเครื่องยนต์ติดตั้งกับที่ (stationary engine) [1-2] เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น โดยสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด โดยทดแทนน้ำมันดีเซลบางส่วนในรูปของเชื้อเพลิงร่วม (dual fuel mode) และในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ในรูปของเชื้อเพลิงเดี่ยว (producer gas alone mode)

การใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว จะใช้หัวเทียนในการเริ่มต้นการจุดระเบิด แต่การใช้ในรูปเชื้อเพลิงร่วมนั้น จำเป็นต้องใช้น้ำมันดีเซลบางส่วนช่วยในการเริ่มต้นการจุดระเบิด เนื่องจากก๊าซชีวมวลมีค่าออกเทนสูงกว่า 105 ทำให้ไม่สามารถจุดระเบิดด้วยตัวเองภายใต้สภาวะแรงดันและอุณหภูมิในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปได้ [3] เมื่อเปรียบเทียบการทำงานของทั้ง 2 รูปแบบแล้ว พบว่า การใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมมีข้อดีกว่าหลายประการคือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเนื่องจากเครื่องยนต์มีอัตราส่วนการอัดที่สูงกว่า มีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่าเนื่องจากสามารถใช้งานได้ทั้งรูปแบบเครื่องยนต์ดีเซลปกติ และรูปแบบเชื้อเพลิงร่วม โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ นอกจากนี้หากพิจารณาถึงอายุการใช้งานแล้ว S. Dasapa และคณะ [4] รายงานไว้ว่า การศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเป็นระยะเวลา 5,000 ชั่วโมง พบว่า มีการสึกหรออยู่ในระดับปกติใกล้เคียงกับการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ทำให้เชื่อได้ว่าการใช้งานก๊าซชีวมวลในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมจะไม่ส่งผลเสียต่อการสึกหรอและอายุการใช้งานของเครื่องยนต์เช่นกัน

การปรับปรุงเครื่องยนต์ดีเซลให้สามารถใช้งานในรูปแบบเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมนั้นทำได้ง่าย เพียงติดตั้งอุปกรณ์ผสมอากาศกับเชื้อเพลิงก๊าซ (air-gas mixer) ที่ทางเข้าของท่อไอดี และมีอุปกรณ์สำหรับปรับอัตราการไหลของก๊าซและอากาศเท่านั้น โดยไม่จำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ ถึงแม้ประสิทธิภาพที่ได้อาจยังไม่ใช่จุดที่ดีที่สุด แต่ยังสูงกว่าการใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟมาก

การวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซลพบว่า ก๊าซชีวมวลสามารถทดแทนการใช้น้ำมันได้สูงสุดประมาณร้อยละ 60-70 [5-9] ช่วยลดสารมลพิษพวกออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และปัญหาควันดำในไอเสียได้ ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และอุณหภูมิไอเสียเพิ่มขึ้น [3, 5-6] มีการวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เช่น Honge oil, Neem oil, น้ำมันรำข้าวและน้ำมันจากเมล็ดยางพารา [2-3, 6-8] พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวต่ำลง ในขณะที่ปริมาณมลพิษในไอเสียเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงฉีดนำ (pilot fuel) การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันต่างๆ ดังกล่าวเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีวมวล ช่วยปรับปรุงสมรรถนะให้ดีขึ้นได้ แต่ยังต่ำกว่าการใช้ร่วมกับน้ำมันดีเซล [3, 7]

จากการทบทวนเอกสารพบว่า ถึงแม้จะมีการใช้งานก๊าซชีวมวลในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในมาเป็นเวลายาวนาน แต่ที่ผ่านมางานวิจัยเกี่ยวกับเชื้อเพลิงร่วมระหว่างก๊าซชีวมวลกับเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดส่วนใหญ่เน้นการศึกษาสมรรถนะและมลพิษที่เกิดขึ้นเป็นหลัก แต่งานวิจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีวมวลกับน้ำมันดีเซลซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปพัฒนาและควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์มีน้อยมาก ดังนั้น

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ และการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซชีวมวล เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์การเผาไหม้ อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น และหาแนวทางในการปรับปรุงเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมให้ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวมวล

ก๊าซชีวมวล เป็นก๊าซที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (gasification process) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็ง (ชีวมวล) ให้อยู่ในรูปก๊าซเชื้อเพลิง โดยปฏิกิริยาเคมีความร้อน (thermo-chemical reaction) ซึ่งเริ่มจากการออกซิเดชันบางส่วน (partial oxidation) ของเชื้อเพลิงแข็ง ที่อุณหภูมิสูงด้วยอากาศ ไอน้ำหรือออกซิเจน ในช่วงอุณหภูมิ 800 – 1,800 องศาเซลเซียส ความร้อนที่ได้จากกระบวนการนี้จะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาประเภทต่าง ๆ ตามมาคือ ปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ไพโรไลซีส (pyrolysis) และการอบแห้ง (drying) ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ น้ำ (H_2O) ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) เพื่อผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (producer gas) ซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 3 - 10 MJ/Nm^3 ขึ้นอยู่กับตัวทำปฏิกิริยาและเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยทั่วไปก๊าซชีวมวลที่ใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยาในเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง จะมีค่าความร้อนประมาณ 5 MJ/Nm^3 [1-3] ก๊าซเชื้อเพลิงนี้มีองค์ประกอบหลักคือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น การนำไปใช้เป็นความร้อนในครัวเรือนและอุตสาหกรรม ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ เครื่องจักรกังหันก๊าซ หรือการใช้เป็นสารตั้งต้นในการเพิ่มคุณภาพให้เป็นสารเคมีหรือน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์สำหรับการขนส่ง

2.2 เครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม

เครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง 2 ชนิดร่วมกัน ชนิดหนึ่งเป็นก๊าซ อีกชนิดหนึ่งเป็นน้ำมัน (ของเหลว) การเผาไหม้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมใช้หลักการของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดร่วมกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟคือ อากาศและก๊าซเชื้อเพลิงได้รับการผสมกันก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้และถูกอัดจนความดันและอุณหภูมิสูง หลังจากนั้นน้ำมันดีเซลฉีดนำ (pilot diesel) บางส่วนถูกฉีดเข้าไปก่อนสิ้นสุดกระบวนการอัด เพื่อช่วยในการจุดระเบิด และเกิดการเผาไหม้ของส่วนผสมเชื้อเพลิงก๊าซกับอากาศและน้ำมันที่อยู่ในห้องเผาไหม้ต่อไป ประโยชน์ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมคือ สามารถใช้เชื้อเพลิง 2 ชนิด ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันได้ และเมื่อก๊าซเชื้อเพลิงหมดเครื่องยนต์ยังสามารถทำงานโดยใช้วัฏจักรดีเซลได้ตามปกติ

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบ

รูปแบบของกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์สามารถอธิบายได้จากการวิเคราะห์ความดันในกระบอกสูบ ในแต่ละช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้วจะใช้อัตราการปล่อยความร้อน (heat release rate) เป็นตัวกำหนดรูปแบบของการเผาไหม้ ซึ่งอัตราการปล่อยความร้อน สัมพันธ์โดยตรงกับอัตราพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกมาโดยกระบวนการเผาไหม้

ข้อมูลความดันในกระบอกสูบที่องศาเพลาข้อเหวี่ยงต่าง ๆ ตลอดช่วงจังหวะอัดและจังหวะขยายตัวสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ในการหาอัตราการปล่อยความร้อน โดยใช้กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์สำหรับระบบเปิด ซึ่งอัตราการปล่อยความร้อน สามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$\frac{dQ_n}{dt} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} p \frac{dV}{dt} + \frac{1}{\gamma - 1} V \frac{dp}{dt} \qquad (1)$$

โดย Q_n = การปล่อยความร้อนสุทธิ (J)

γ = อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ (c_p/c_v) และในการวิเคราะห์อัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซล ช่วงของค่า γ ที่เหมาะสมจะเป็น 1.3-1.35

p = ความดันในกระบอกสูบ (Pa)

V = ปริมาตรกระบอกสูบ (m^3)

ช่วงต่าง ๆ ของกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 1 สามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง คือ

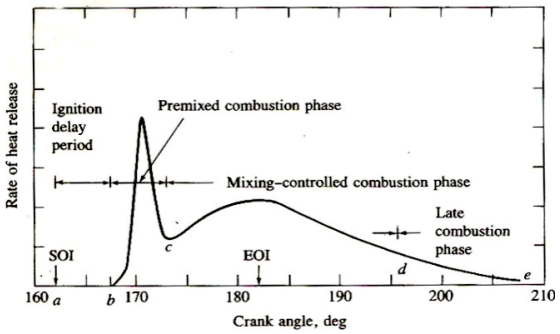
1) ช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด (ignition delay

period) เป็นช่วงระหว่างการเริ่มต้นฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้จนถึงช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้

2) ช่วงการเผาไหม้ของสารผสมที่ได้รับการผสมไว้ก่อนแล้ว (premixed หรือ rapid combustion phase) เป็นช่วงการเผาไหม้อย่างรวดเร็วของเชื้อเพลิงและอากาศที่ได้รับการผสมในช่วงล่าช้าของการจุดระเบิด ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้ จะเผาไหม้เกือบพร้อมกัน เป็นผลให้อัตราการปล่อยความร้อนในช่วงนี้สูง

3) ช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม (mixing-control combustion phase) ช่วงนี้อัตราการเผาไหม้จะถูกควบคุมโดยอัตราการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเป็นสารผสมที่พร้อมเผาไหม้

4) ช่วงการเผาไหม้ช้า (late combustion phase) เป็นช่วงการเผาไหม้เชื้อเพลิงส่วนที่เหลืออยู่เล็กน้อย ประมาณร้อยละ 10 ของเชื้อเพลิงทั้งหมด



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซล แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงทั่วไป [10]

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบก๊าซไหลลง เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ สูบเดียวแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ติดตั้งกับชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ ชุดอุปกรณ์วัดความดันในกระบอกสูบ และเครื่องวัดมลพิษจากไอเสีย

เตาผลิตก๊าซชีวมวลเป็นแบบก๊าซไหลลง ชนิดสองคอคอด ขนาด 50 กิโลวัตต์ความร้อน ซึ่งออกแบบตามหลักการของ Imbert [11] โดยใช้ถ่านไม้ขนาด 10-30 มิลลิเมตร เป็นเชื้อเพลิง เพื่อป้องกันปัญหาทาร์และลดปัญหาความแตกต่างของความชื้นของเชื้อเพลิงที่มีผลต่อคุณสมบัติก๊าซชีวมวลที่ผลิตได้ รายละเอียดของเตาผลิตก๊าซชีวมวลและองค์ประกอบของก๊าซชีวมวล แสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ น้ำมันดีเซลที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นน้ำมันดีเซลมาตรฐานที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย

ตารางที่ 1 รายละเอียดเตาผลิตก๊าซชีวมวล

Type of gasifier	Double throat downdraft
Capacity	50 kW_{th}
Fuel consumption	6 kg/h (Charcoal)
Biomass size	10 mm – 30 mm
Efficiency	70 – 75%

ตารางที่ 2 องค์ประกอบก๊าซและค่าความร้อนของก๊าซชีวมวล

Gas	Percentage
CO	27 - 32.3 %
H_2	3.2 - 4.2%
CH_4	0%
O_2	0.04%
N_2	57- 62%
Calorific value	4.2 – 4.6 MJ/Nm^3

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว 4 จังหวะ แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ระบายความร้อนด้วยน้ำ ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น D-800 ที่ยังไม่มีการปรับปรุงการออกแบบห้องเผาไหม้และระบบฉีดเชื้อเพลิง รายละเอียดของเครื่องยนต์ทดสอบแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายละเอียดเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

Model	Mitsubishi D-800
Bore x Stroke	82 x 78
No. of cylinder	1
Piston displacement	411 cc.
Maximum output	5.884 kW / 2400 rpm
Maximum torque	25.5 N-m / 1900 rpm
Compression ratio	18:1

อุปกรณ์ผสมอากาศและเชื้อเพลิง (mixer) ที่ใช้ในการทดลองนี้ ออกแบบโดยอ้างอิงการศึกษาของ T.R.Anil และคณะ [12]

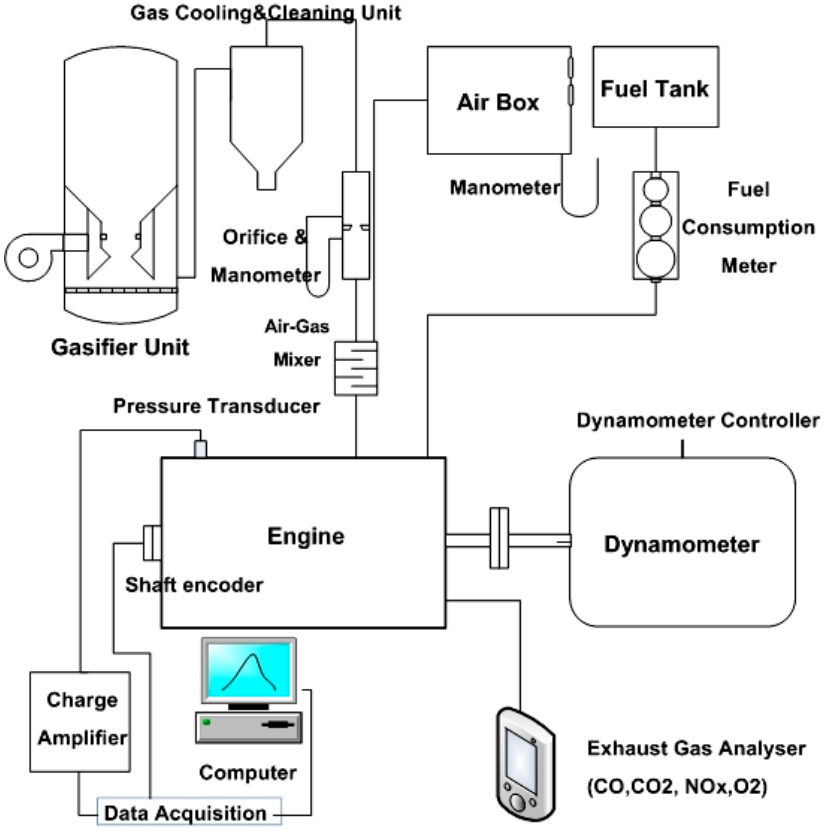
ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ประกอบด้วยไดนาโมมิเตอร์ชนิดกระแสหมุนวน (eddy current dynamometer) รุ่น EA-10 ผลิตโดย Tokyo Meter CO.,Ltd วัดอัตราการไหลของอากาศและก๊าซชีวมวลด้วย Air box, Orifice และ Manometer วัดอุณหภูมิไอเสียด้วยเทอร์มอคัปเปิลชนิด K วัดอุณหภูมิน้ำมันเครื่องด้วยเทอร์มอคัปเปิลชนิด J และ วัดอุณหภูมิไอดี น้ำหล่อเย็นก่อนและหลังเข้าเครื่องยนต์ด้วยเทอร์มอคัปเปิลชนิด PT 100 วัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ด้วย Proximity ชนิด Inductive รุ่น GXL-12F ผลิตโดย Sunx Inc. วัดการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย อุปกรณ์วัดการไหลแบบ 3 burettes skewer รุ่น BE-512 ผลิตโดย Tokyo Meter Co.,Ltd.

วัดก๊าซไอเสียจากเครื่องยนต์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียรุ่น HM 5000 ผลิตโดย Infrared Industries ซึ่งสามารถวัดก๊าซต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดการวัดไอเสียจากเครื่องยนต์

Gas	Range	Resolution&Accuracy
HC	0 - 10,000 ppm	10 ppm ±2%
CO	0 – 10 %	0.01% ±2%
CO_2	0 – 20 %	0.01% ±2%
O_2	0 – 25 %	0.01% ±2%
NO_x	0 – 5000 ppm	1 ppm ±2%

ชุดวิเคราะห์การเผาไหม้ในกระบอกสูบประกอบด้วย Pressure Transducer ชนิด Piezoelectric ยี่ห้อ KISTLER รุ่น 6052C และอุปกรณ์วัดองศาเพลาข้อเหวี่ยง (shaft encoder) ยี่ห้อ Wachendorff Drehgeber รุ่น DWG 68D ซึ่งมีความละเอียดในการวัด 0.2 องศาเพลาข้อเหวี่ยง ใช้โปรแกรม Dewesoft 6.6 ในการแสดงผลและบันทึกข้อมูล อุปกรณ์การทดลองทั้งหมดได้รับการติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้ ได้วัดสมรรถนะเครื่องยนต์ วัดการปลดปล่อยมลพิษและวัดความดันในกระบอกสูบ โดยทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 1,500 รอบต่อนาที ที่ช่วงภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (brake mean effective pressure, bmep) 0-715.8 kPa เริ่มการทดสอบโดยติดเครื่องยนต์และเปิดอุปกรณ์ต่าง ๆ จนกระทั่งอุณหภูมิทุกจุดคงที่ แล้วปรับปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซล จนกระทั่งความเร็วรอบถึง 1,500 รอบต่อนาที รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัวประมาณ 10 นาที แล้วบันทึกค่าตัวแปรต่าง ๆ หลังจากนั้นทดสอบในลักษณะเดียวกันโดยเพิ่มภาระขึ้นครั้งละ 71.58 kPa (ใส่ภาระครั้งละ 9.81 นิวตัน) และบันทึกค่าต่าง ๆ เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว ในกรณีทดสอบเชื้อเพลิงร่วมดีเซล-ก๊าซชีวมวล จะเริ่มทดสอบหลังจากผลิตก๊าซชีวมวลได้ 30 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าเตาผลิตก๊าซชีวมวลทำงานในสภาวะคงตัว ก๊าซชีวมวลและอากาศได้รับการผสมกันอย่างดีในอุปกรณ์ผสม (mixer) ก่อนเข้าเครื่องยนต์ แล้วปรับปริมาณสัดส่วนการฉีดน้ำมันดีเซลโดยการปรับคันเร่ง และส่วนผสมอากาศกับก๊าซชีวมวลโดยการปรับวาล์วอากาศและวาล์วก๊าซ ให้ได้อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุดในแต่ละภาระ ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที โดยสังเกตจากปริมาณน้ำมันที่น้อยที่สุดและปริมาณการจ่ายก๊าซที่มากที่สุด ที่ไม่ทำให้เกิดการดับบางวัฏจักร (misfire) ซึ่งสามารถดูได้จากหน้าจอแสดงผล แล้วรอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว แล้วบันทึกข้อมูล นอกจากนี้ ยังได้ทดสอบที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลต่าง ๆ โดยการค่อย ๆ เพิ่มปริมาณก๊าซชีวมวลเข้าเครื่องยนต์ โดยทดสอบในช่วงภาระที่มีอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุด เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการปรับสัดส่วนก๊าซชีวมวลกับน้ำมันดีเซล ในการทดสอบทุกกรณีได้ปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ให้อุณหภูมิน้ำออกจากเครื่องยนต์ประมาณ 80 องศาเซลเซียส เพื่อลดความแปรผันของค่าต่าง ๆ ที่เกิดจากผลของอุณหภูมิ วัดอุณหภูมิบรรยากาศด้วยเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก และใช้ข้อมูลความดันบรรยากาศ เพื่อใช้คำนวณปรับแก้ค่าที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณการฉีดน้ำมันในแต่ละภาระทั้งในการทดสอบในรูปเชื้อเพลิงเดี่ยวและเชื้อเพลิงร่วม โดย m_d และ m_p คือปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลเมื่อใช้ในรูปแบบน้ำมันดีเซลอย่างเดียวและเชื้อเพลิงร่วมตามลำดับ , λ_d และ λ_p คือ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เมื่อใช้ในรูปแบบน้ำมันดีเซลอย่างเดียวและเชื้อเพลิงร่วมตามลำดับ ที่อัตราส่วนการทดแทนสูงสุดในแต่ละภาระ

ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการทดสอบและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ในแต่ละภาระเมื่อใช้ในรูปแบบน้ำมันดีเซลอย่างเดียวและเชื้อเพลิงร่วม และอัตราส่วนการทดแทนสูงสุดในแต่ละภาระ

BMEP (kPa)	m_d (kg/h)	λ_d	m_p (kg/h)	λ_p	diesel saving (%)
0.00	0.23	5.94	0.15	1.47	32.33
71.62	0.27	5.02	0.16	1.31	40.34
143.24	0.32	4.15	0.17	1.29	48.56
214.86	0.36	3.63	0.17	1.25	52.99
286.48	0.43	3.08	0.17	1.22	60.22
358.10	0.48	2.71	0.18	1.20	62.45
429.72	0.55	2.40	0.18	1.18	66.80
501.34	0.61	2.14	0.18	1.11	71.15
572.96	0.68	1.92	0.41	1.07	39.82
644.58	0.77	1.70	0.58	1.10	24.05
716.20	0.94	1.37	0.83	1.17	10.91

4. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

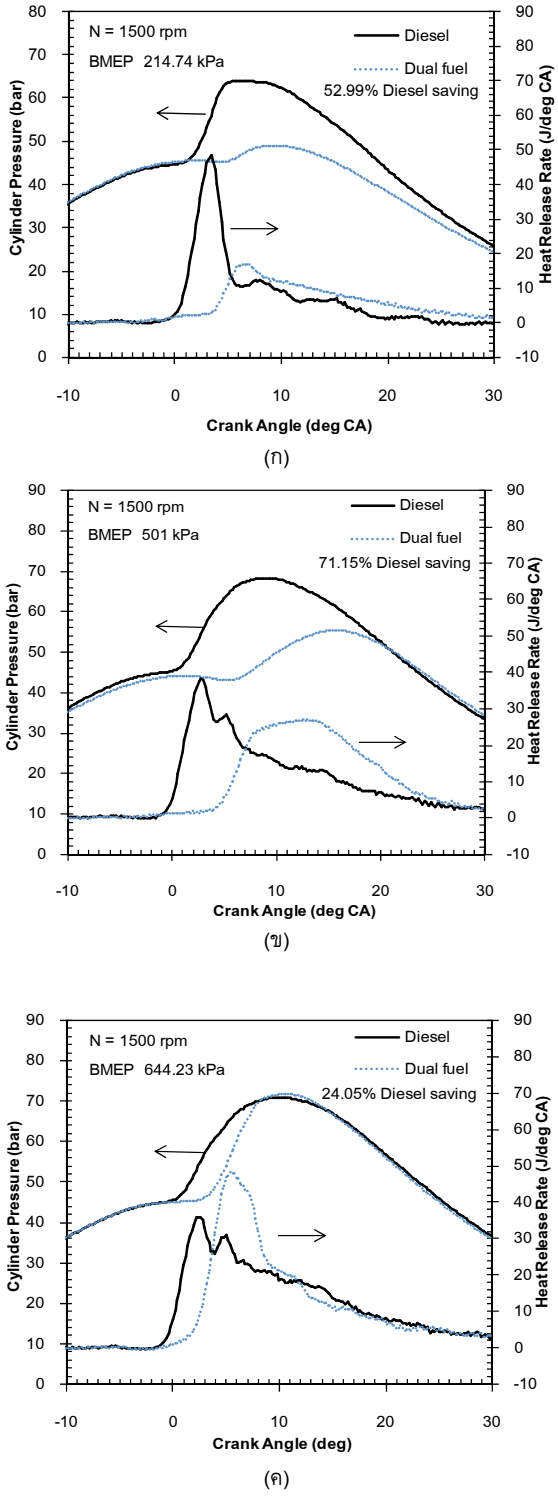
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้

จากการนำข้อมูลความดันภายในกระบอกสูบที่บันทึกได้ ไปคำนวณหาอัตราการปล่อยความร้อน ตามสมการที่ (1) โดยใช้ค่าเฉลี่ยจาก 50 วัฏจักร และแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 กรณีคือ กรณีที่เพิ่มภาระโดยปรับอัตราการทดแทนให้ได้สูงสุด และกรณีปรับสัดส่วนก๊าซชีวมวลกับน้ำมันดีเซลที่เข้าเครื่องยนต์ที่ภาระคงที่ที่ให้อัตราส่วนการทดแทนสูงสุด ได้ผลดังนี้

4.1.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่อง - ยนต์เชื้อเพลิงร่วมที่ภาระต่างๆ

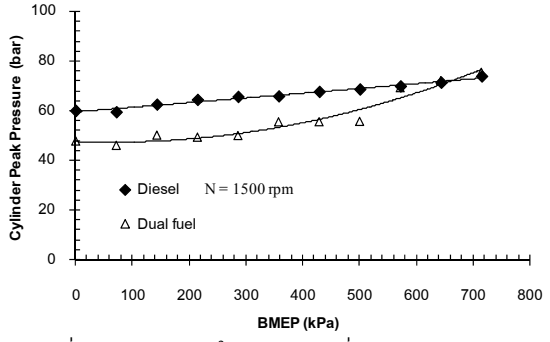
จากรูป 3 พบว่า การทำงานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 214.74 kPa และ 501 kPa ทำให้ความดันสูงสุดในกระบอกสูบลดลง 15 บาร์ และ 10.28 บาร์ ตามลำดับ และที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 644.23 kPa ความดันสูงสุดในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียง 0.75 บาร์ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการปล่อยความร้อนในช่วง premixed combustion ที่สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 214.74 kPa และ 501 kPa พบว่า อัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล 31.5 และ 17.33 จูลต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยง ตามลำดับ ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 644.23 kPa อัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล 12.3 จูลต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยง เนื่องมาจากในช่วงนี้มีการฉีดน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่สูงกว่าก๊าซชีวมวลมาก ทำให้เกิดความร้อนสูงและเผาไหม้ส่วนผสมของอากาศกับก๊าซชีวมวลอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความดันในกระบอกสูบสูงขึ้นด้วย

เมื่อวิเคราะห์รูปแบบการเผาไหม้จากลักษณะการปล่อยความร้อน จากรูปที่ 3 พบว่า การใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว เมื่อภาระเพิ่มขึ้น จะทำให้ช่วง premixed combustion สั้นลง และช่วง mixing-control combustion กว้างขึ้น ในขณะที่จุดเริ่มต้นการเผาไหม้ใกล้เคียงกันทุกภาระ ซึ่งต่างจากการใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่มีอัตราการปล่อยความร้อนต่ำในช่วงภาระต่ำ และอัตราการปล่อยความร้อนสูงขึ้นเมื่อเพิ่มภาระขึ้น โดยมีรูปแบบการเผาไหม้เป็นแบบ premixed combustion ร่วมกับ mixing-control combustion ซึ่งเกิดจากส่วนผสมของอากาศและเชื้อเพลิงได้รับการผสมกันเป็นอย่างดีก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ คล้ายกับรูปแบบการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในรูปที่ 3 (ข) ซึ่งมีอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุดร้อยละ 71.15 มีช่วงอัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดค่อนข้างกว้าง ซึ่งเกิดจากการปล่อยความร้อนของส่วนผสมก๊าซชีวมวลกับอากาศเป็นหลัก ส่วนความล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มสัดส่วนก๊าซชีวมวล



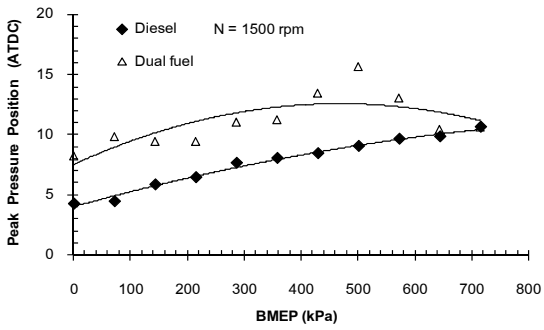
รูปที่ 3 แผนภูมิเปรียบเทียบแรงดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างการใช้เชื้อเพลิงเดี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่สภาวะคงตัว (ก) ที่ภาระ BMEP 217.74 kPa (ข) ที่ภาระ BMEP 501 kPa และ (ค) ที่ภาระ BMEP 644.23 kPa

การเปรียบเทียบความดันสูงสุดในกระบอกสูบ จากรูปที่ 4 พบว่า ในช่วงภาระ 0-501 kPa พบว่า ความดันสูงสุดในกระบอกสูบ ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 10-15 บาร์ เมื่อพิจารณาจากค่าความดันในกระบอกสูบในช่วงการอัดก่อนการเผาไหม้ในรูปที่ 3 แล้วพบว่ามีค่าความดันแตกต่างกันน้อยมากจึงไม่ใช่สาเหตุหลักของความแตกต่างของความดันสูงสุดในกระบอกสูบ แต่เมื่อพิจารณาจากความล่าช้าในการจุดระเบิดของการใช้เชื้อเพลิงร่วมแล้ว พบว่า ความล่าช้าในการจุดระเบิด น่าจะเป็นสาเหตุโดยตรงที่ทำให้ความดันสูงสุดและตำแหน่งความดันสูงสุดในกระบอกสูบเปลี่ยนไป เนื่องจากมีการเผาไหม้หลังศูนย์ตายบนมาก และมีอัตราการปล่อยความร้อนต่ำ ส่วนที่ภาระ 572.6-715.8 kPa พบว่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลมากขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วในช่วง premixed combustion ซึ่งส่งผลต่อความดันสูงสุดในกระบอกสูบโดยตรง



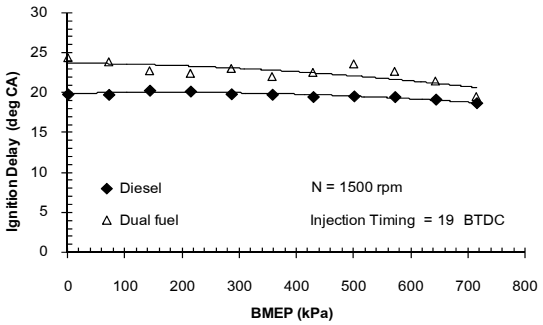
รูปที่ 4 ความดันสูงสุดในกระบอกสูบที่ภาระ BMEP ต่างๆ

จากรูปที่ 5 พบว่า ตำแหน่งความดันสูงสุดในกระบอกสูบของการใช้เชื้อเพลิงร่วมอยู่หลังการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 3-7 องศาเพลาข้อเหวี่ยง ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากความล่าช้าในการจุดระเบิดด้วย



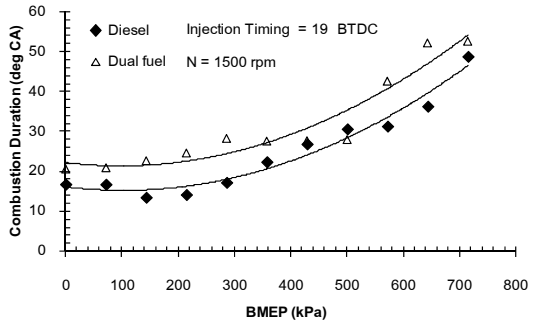
รูปที่ 5 ตำแหน่งการเกิดความดันสูงสุดในกระบอกสูบที่ภาระ BMEP ต่างๆ

ในการทดลองนี้ได้กำหนดให้ความล่าช้าในการจุดระเบิดคือ ช่วงมุมองศาเพลาข้อเหวี่ยงระหว่างการเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงจนถึงการเริ่มต้นการเผาไหม้ โดยพิจารณาว่าเชื้อเพลิงฉีดที่ตำแหน่งคงที่ 19 องศาก่อนศูนย์ตายบน ตามข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ และจุดเริ่มต้นการเผาไหม้พิจารณาจากตำแหน่งที่การปล่อยความร้อนสะสม (cumulative heat release) มีค่ามากกว่าศูนย์ จากการเปรียบเทียบความล่าช้าของการจุดระเบิด ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่า การใช้เชื้อเพลิงร่วมทำให้ช่วงล่าช้าของการจุดระเบิดเพิ่มขึ้นกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 1-5 องศาเพลาข้อเหวี่ยง เนื่องจากการใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทดแทนสูงสุดทำให้ปริมาณออกซิเจนในห้องเผาไหม้ลดลง ดังจะเห็นได้จากค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมทำให้สารผสมที่เข้าห้องเผาไหม้เป็นสารผสมหนา ส่งผลต่อการล่าช้าของการเผาไหม้ที่ยาวนานขึ้น [10] ซึ่งจากการศึกษาของ Banapurmath และคณะ [3, 7-8] พบว่าปรับองศาการฉีดน้ำมันล่วงหน้ากว่าเดิม 4 องศาเพลาข้อเหวี่ยง จะทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับก๊าซชีวมวลดีขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับองศาการฉีดน้ำมันช่วยให้จุดเริ่มต้นการจุดระเบิดใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ซึ่งจะส่งผลต่อความดันในกระบอกสูบและตำแหน่งของความดันสูงสุดในกระบอกสูบด้วย



รูปที่ 6 การล่าช้าของการจุดระเบิดที่ภาระ BMEP ต่างๆ

การเปรียบเทียบระยะเวลาการเผาไหม้ที่ภาระต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่า เมื่อภาระเพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้เพิ่มขึ้นทั้งในรูปแบบของเชื้อเพลิงเดี่ยวและเชื้อเพลิงร่วม ซึ่งเกิดจากการใส่เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น จากการเปรียบเทียบยังพบว่า การใช้เชื้อเพลิงร่วมทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้เพิ่มขึ้นด้วย

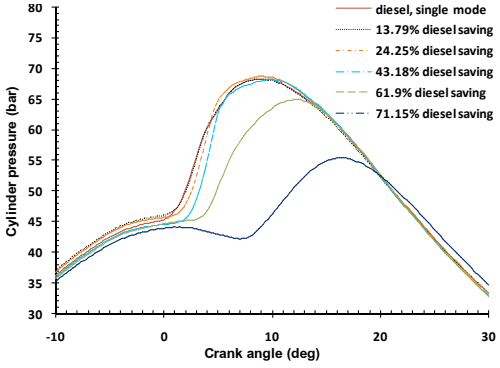


รูปที่ 7 ระยะเวลาการเผาไหม้ภาระ BMEP ต่างๆ

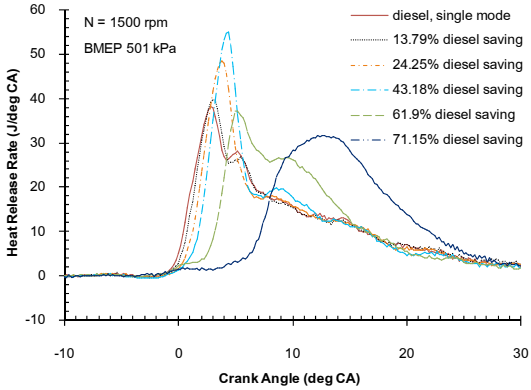
4.1.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทดแทนต่าง ๆ

การวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลต่าง ๆ ทดสอบโดยการค่อย ๆ เพิ่มปริมาณก๊าซชีว-มวลเข้าสู่เครื่องยนต์ ซึ่งการทดลองนี้เปรียบเทียบที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 501 kPa ซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุด โดยวิเคราะห์ที่อัตราส่วนการทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 13.79, 24.25, 43.18, 61.9 และ 71.15 เทียบกับรูปแบบการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล

จากรูปที่ 8 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบ (ก) ความดันในกระบอกสูบและ (ข) อัตราการปล่อยความร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลต่าง ๆ พบว่าเมื่ออัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 13.79, 24.25 และ 43.18 ทำให้อัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดเพิ่มขึ้น 1.59 จูลต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยง, 10.37 จูลต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยง และ 16.81 จูลต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยง ตามลำดับ และที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 61.9 และร้อยละ 71.15 อัตราการปล่อยความร้อนลดลง 1.1 จูลต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยง และ 6.62 จูลต่อองศาเพลาข้อเหวี่ยง ตามลำดับ ในขณะที่ช่วงล่าช้าของการเผาไหม้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณก๊าซชีวมวล โดยที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 71.15 มีช่วงล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มขึ้นมากที่สุดประมาณ 5 องศาเพลาข้อเหวี่ยง และความดันสูงสุดในกระบอกสูบลดลง 12.9 บาร์ นอกจากนี้ยังพบว่ารูปแบบการเผาไหม้มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีช่วง premixed combustion กว้างขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณก๊าซชีวมวลเข้าไปในกระบอกสูบ



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 เปรียบเทียบ (ก) ความดันในกระบอกสูบและ (ข) อัตราการปล่อยความร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลต่าง ๆ ที่ภาระ BMEP 501 kPa

4.2 อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลและสมรรถนะของเครื่องยนต์

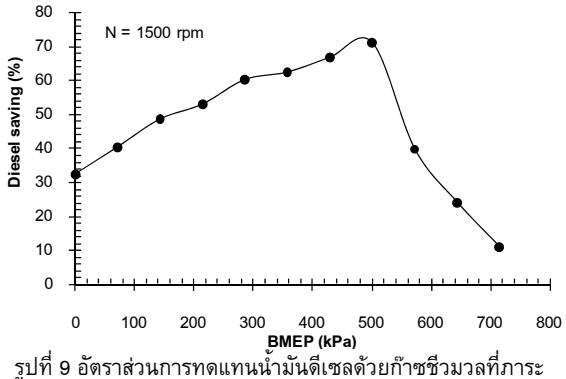
4.2.1 อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล

อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล (Diesel saving ratio) คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$Diesel\ saving\ ratio = \frac{m_d - m_p}{m_d} \times 100 \quad (2)$$

โดย m_d และ m_p เป็นปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลเมื่อใช้ในรูปแบบน้ำมันดีเซลอย่างเดียวและเชื้อเพลิงร่วมตามลำดับ

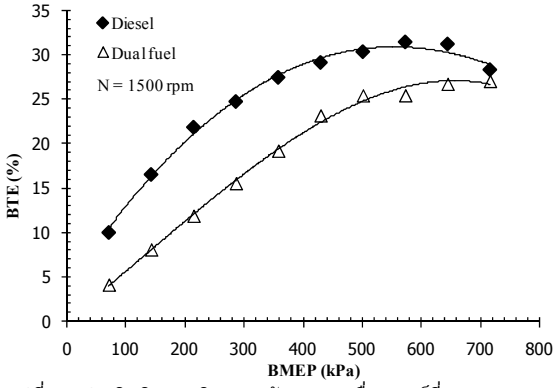
จากรูปที่ 9 พบว่าการใช้งานเชื้อเพลิงร่วมสามารถลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลได้ทุกช่วงภาระเครื่องยนต์ โดยสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้สูงสุดร้อยละ 71.15 ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 501 kPa และที่ภาระเครื่องยนต์สูงขึ้นกว่าจุดนี้ อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากถูกจำกัดด้วยอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศที่เหมาะสม การฉีดน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มกำลังให้กับเครื่องยนต์ ทำให้ปริมาณอากาศในกระบอกสูบที่เหลือลดลงส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวมวลทดแทนได้น้อยลงตามไปด้วย นอกจากนี้จากการสังเกต ยังพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณก๊าซชีวมวลมากขึ้นเกินกว่าจุดที่เหมาะสมจะทำให้บางวัฏจักรไม่เกิดการเผาไหม้ (misfire) ทำให้เครื่องยนต์เดินไม่เรียบและมีควันขาวเกิดขึ้น เนื่องจากอากาศไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้



รูปที่ 9 อัตราส่วนการทดแทนน้ำมันดีเซลด้วยก๊าซชีวมวลที่ภาระ BMEP ต่างๆ

4.2.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงร่วมกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่า การใช้เชื้อเพลิงร่วมให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวทุกช่วงภาระ ซึ่งอาจเกิดจาก ที่อัตราการทดแทนสูงสุด ส่วนผสมอากาศกับเชื้อเพลิงมีลักษณะเป็นสารผสมหนา ทำให้อากาศในห้องเผาไหม้ลดลง ทำให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดและเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และส่วนหนึ่งเกิดจากก๊าซชีวมวลมีค่าความร้อนและความหนาแน่นของพลังงาน (energy density) ต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำลงได้

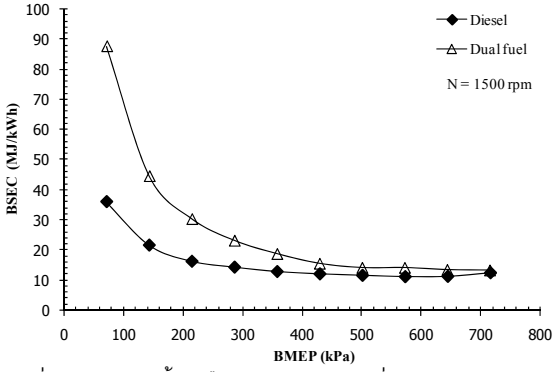


รูปที่ 10 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ภาระ BMEP ต่างๆ

4.2.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption)

เนื่องจากการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมนั้น ต้องใช้เชื้อเพลิงสองชนิดที่มีค่าความร้อนต่างกันร่วมกัน ดังนั้นการเปรียบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง นิยมใช้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งคำนวณจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ [5] จากรูปที่ 11 พบว่า การใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วม มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวทุกช่วงภาระ สาเหตุที่ทำให้การใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่าอาจเกิดจากปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลที่น้อยกว่าทำให้การแตกเป็นละอองฝอย (atomization) ไม่ดีเท่าการฉีดเชื้อเพลิงในปริมาณมาก [10] ทำให้มีอัตราการเผาไหม้ในช่วงเริ่มต้นต่ำและ

เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิด จึงต้องใช้เชื้อเพลิงรวมมากกว่าเพื่อให้ได้กำลังเท่ากัน

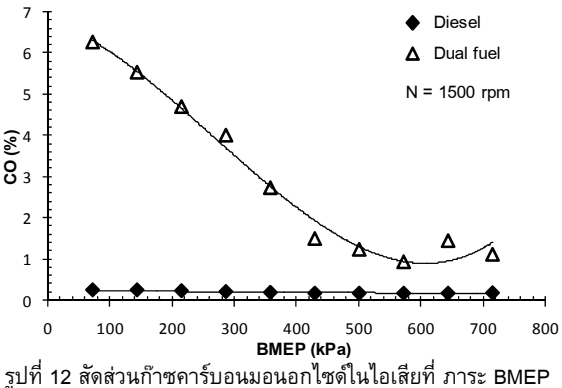


รูปที่ 11 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ภาระ BMEP ต่างๆ

4.3 ผลการวัดมลพิษ

4.3.1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จากรูปที่ 12 พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวทุกช่วงภาระเครื่องยนต์ เนื่องจากการใช้งานเชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุดทำให้ปริมาณอากาศที่เหลือในกระบอกสูบลดลง เกิดเป็นสารผสมหนาและทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการใช้เชื้อเพลิงร่วมจะลดลงเมื่อภาระเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โดยลดลงจากร้อยละ 6.25 ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 71.75 kPa เป็นร้อยละ 0.94 ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 572.75 kPa

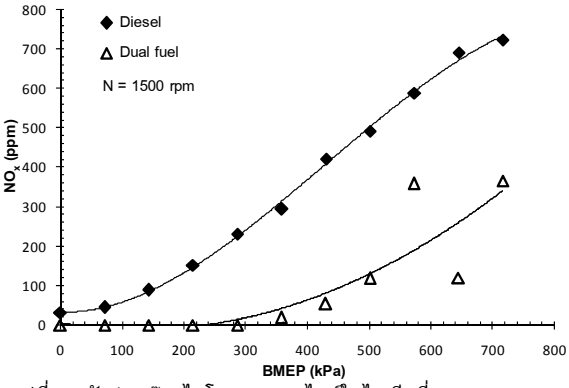


รูปที่ 12 สัดส่วนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียที่ ภาระ BMEP ต่างๆ

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อทดสอบโดยการปรับเพิ่มปริมาณก๊าซชีวมวลเข้าเครื่องยนต์ที่ภาระและความเร็วคงที่ พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณก๊าซชีวมวลในเชื้อเพลิงร่วมส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

4.3.2 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสีย

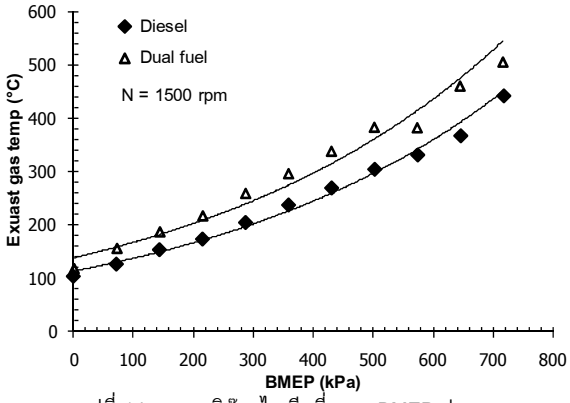
จากรูปที่ 13 พบว่าปริมาณการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในห้องเผาไหม้และภาระของเครื่องยนต์ ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 30 – 350 ส่วนในล้านส่วน เนื่องจากการใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมมีส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศมากกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ก่อให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง



รูปที่ 13 สัดส่วนก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียที่ ภาระ BMEP ต่างๆ

4.3.3 อุณหภูมิของก๊าซไอเสีย

จากรูปที่ 14 พบว่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียจะเพิ่มขึ้นตามภาระเครื่องยนต์ อุณหภูมิไอเสียจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงเดี่ยวประมาณ 15 – 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานที่ใส่เข้าไปในเครื่องยนต์มากกว่า และจากรูปที่ 3 และรูปที่ 8 สามารถอธิบายได้ว่าระยะเวลาการเผาไหม้ช่วง mixing control combustion ที่ยาวนานขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากความล่าช้าในการเผาไหม้ของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิก๊าซไอเสียเพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 14 อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่ภาระ BMEP ต่างๆ

5. สรุป

จากการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ สมรรถนะและมลพิษ ของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

คุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงร่วมมีรูปแบบการปล่อยความร้อนแตกต่างจากการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว โดยมีช่วง premixed combustion และ mixing control combustion กว้างกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ความดันในกระบอกสูบลดลงเมื่อปรับอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความล่าช้าในการจุดระเบิดและระยะเวลาในการเผาไหม้เพิ่มขึ้น

การใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมสามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้สูงสุดร้อยละ 71.15 ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 501 kPa ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นๆ [3, 5-9] ในขณะที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าการใช้ดีเซลอย่างเดียวประมาณร้อยละ 25 โดยเฉลี่ย และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวทุกช่วงภาระ

การวัดมลพิษจากไอเสียพบว่าการใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมทำให้ปริมาณ CO เพิ่มขึ้นที่ช่วงภาระเครื่องยนต์ต่ำและลดลงเมื่อภาระเพิ่มขึ้นแต่ยังสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ในขณะที่ NO_x น้อยกว่าทุกช่วงภาระเครื่องยนต์ โดยอุณหภูมิในไอเสียจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวทุกช่วงภาระ

สมรรถนะของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมอาจปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการปรับองศาการฉีดน้ำมันดีเซลล่วงหน้า 2-5 องศาเพลาข้อเหวี่ยง และเพิ่มปริมาณการฉีดน้ำมัน

6. ข้อเสนอแนะ

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เน้นศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วม ที่อัตราการทดแทนสูงสุดในแต่ละภาระ ที่ความเร็วรอบคงที่เท่านั้น ยังขาดการศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ปริมาณของน้ำมันฉีดนำ (pilot diesel) องศาการฉีดน้ำมัน (injection timing) ที่มีผลต่อการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม ซึ่งหากมีการศึกษาอย่างครบถ้วน จะได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างมากต่อการพัฒนาเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมที่ใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดย สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน และ หลักสูตรบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Martinez, J.D., Mahkamov, K., Andrade, R.V. and Silva Lora, E.E. 2012. Syngas production in downdraft biomass gasifiers and its application using internal combustion engines. Renewable Energy, 38: 1-9

[2] Ramadas, A.S., Jayaraj, S. and Muraleedharan, C. 2008. Dual fuel mode operation in diesel engines using renewable fuels: Rubber seed oil and coir-pith producer gas. Renewable Energy, 33: 2077-2083.

[3] Banapurmath, N.R., Tewari, P.G., Yaliwal V.S., Kambalimath, Satish and Basavarajappa. 2009. Combustion characteristics of a 4-stroke CI engine operated on Honge oil, Neem and Rice Bran oils when directly injected and dual fuelled with producer gas induction, Renewable Energy, 34: 1877-1884.

[4] Dasappa, S., Sridhar, G., Sridhar, H.V., Paul, P.J., Rajan, N.K.S., and Upasini, A., 2007 Producer gas engine - proponent of clean energy technology. Proceeding of the Fifteenth European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany, May 7-11, 2007.

[5] Hassan, S., Mohd Nor, F., Zainal, Z.A. and Miskam, M.A. 2011. Performance and Emission Characteristics of Supercharged Biomass Producer Gas-diesel Dual Fuel Engine. Journal of Applied Sciences, 11(9): 1606–1611.

[6] Singh, R.N., Singh, S.P. and Pathak, B.S. 2007. Investigation on operation of CI engine using producer gas and rice bran oil in mixed fuel mode. Renewable Energy, 32: 1565-1580.

[7] Banapurmath, N.R., Tewari, P.G. and Hosmath, R.S. 2008. Experimental investigation of a four-stoke single cylinder direct injection diesel engine operated on dual fuel mode with producer gas and Honge oil and its methyl ester (HOME) as injected fuels. Renewable Energy, 33: 2007–2018

[8] Banapurmath, N.R. and Tewari, P.G. 2009. Comparative performance studies of a 4-stroke CI engine operated on dual fuel mode with producer gas and Honge oil and its methyl ester (HOME) with and without carburetor. Renewable Energy, 34: 1009-1015.

[9] ชญานนท์ แสงมณี, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล และอนิรุตต์ มัทธุจักร. 2552. สมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซชีวมวลและน้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง. วารสารวิชาการ ม.อบ. 2: 1–9.

[10] Heywood, J.B., 1988. Internal combustion engine Fundamentals, McGraw Hill, New York.

[11] Reed, T.B. and Das, A. 1988. Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems, Biomass Energy Foundation Press, Golden, Colorado

[12] Anil, T.R., Ravi, S.D., Shashikanth, M.P.G., Tewari and Rajan, N.K.S., 2006. CFD analysis of a mixture flow in a producer gas carburetor. Proceeding of International Conference On Computational Fluid Dynamics, Acoustics, Heat Transfer and Electromagnetics CFEMATCON-06, Andhra University, Visakhapatnam, INDIA, July 24-25, 2006.