

การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมระหว่างก๊าซชีววมวล
จากเหง้ามันสำปะหลัง-ปาล์มไบโอดีเซล

Investigation on Combustion Characteristic and Performance of Dual Fuel
Engine between Cassava Rhizome Biomass Gas and Palm Bio diesel

ณัฐวิวัตร คงบำรุง, และ ประชาสันติ ไตรยสุทธิ*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 85 ต.เมืองศรีโค อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

*ติดต่อ: prachasanti_t@hotmail.com, 0918329062

บทคัดย่อ

เหง้ามันสำปะหลังเป็นของเหลือทิ้งจากการทำเกษตรกรรมชนิดหนึ่ง ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีววมวลเพื่อเป็นพลังงานทดแทนได้ ซึ่งก๊าซชีววมวลมีการใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เป็นเวลานานแล้ว แต่การวิจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องยนต์ยังมีอยู่น้อยมาก งานวิจัยนี้จึงศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์สันดาปภายในโดยใช้ก๊าซชีววมวลจากเหง้ามันสำปะหลัง เป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมกับปาล์มไบโอดีเซลซึ่งมีค่าซีเทนสูงในเครื่องยนต์ดีเซล

ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง และใช้เตาผลิตก๊าซชีววมวลแบบไหลลงขนาด 50 กิโลวัตต์ความร้อนทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที ที่ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 0-715.8 kPa โดยปรับสัดส่วนก๊าซชีววมวลให้ทดแทนน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลให้ได้สูงสุดที่ภาระต่างๆ ผลการศึกษาพบว่าเหง้ามันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นก๊าซชีววมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่อัตราส่วนการทดแทน 68.40% ที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 500.38 kPa

คำหลัก: คุณลักษณะการเผาไหม้, สมรรถนะเครื่องยนต์, ก๊าซชีววมวล, เครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม

Abstract

The Cassava Rhizome is waste from agricultural, that can be used to produce producer gas as a renewable energy, which has long been used as a fuel in engines, However, very few researches about the combustion characteristics have been done. In this study, the combustion characteristic and performances of Cassava Rhizome Biomass Gas – palm bio diesel high cetane dual fuel mode are investigated.

In dual fuel mode, the single cylinder, direct injection, diesel engine mounting with in-cylinder pressure transducer is used in the combustion characteristic study. Producer gas from cassava rhizome, is generate from 50kW_{th} double throat downdraft gasifier. The combustion and emission characteristics of dual fuel engine are investigated at constant speed 1500 rpm at various brake 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 the cassava rhizome can be used to produce producer gas used as dual fuel in diesel engine, Which maximum diesel fuel saving about 68.40% at brake mean effective pressure 500.38kPa by engine can operate at a stable.

Keywords: Combustion characteristic/Engine performance/Producer gas/Dual fuel engine

1. บทนำ

จากปัญหาสิ่งแวดล้อมของการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและปริมาณน้ำมันสำรองที่หมดลงอย่าง

รวดเร็ว ทำให้ประเทศต่างๆ ต้องเร่งพัฒนาพลังงานทดแทนรูปแบบต่างๆ ขึ้น ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกรูปแบบหนึ่งที่มีศักยภาพในการทดแทนฟอสซิล ในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในได้ โดยเฉพาะในเครื่องยนต์ติดตั้งกับที่ (stationary engine) [1-2] เช่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น โดยสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลบางส่วนในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วม (Dual fuel mode) เครื่องยนต์เหล่านี้จะทำงานที่ความเร็วรอบเครื่อง 1500 รอบต่อนาที ซึ่งตรงตามจุดประสงค์ของการทดลองนี้ที่จะนำเอาก๊าซชีววมวลมาประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งของเหลือทิ้งจากการทำเกษตร มีปริมาณมาก เหง้ามันสำปะหลังเป็นของเหลือทิ้งชนิดหนึ่งที่เหลือทิ้งจากการเกษตรกรรมซึ่งมีปริมาณมากและยังไม่มีนำมาใช้ประโยชน์เท่าที่ควร รวมทั้งน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ผลิตมาจากน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรอีกชนิดหนึ่งที่มีมากในประเทศไทย อีกทั้งน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลยังมีค่าสีแทนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลชนิดอื่นๆ อีกด้วย

การใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมนั้นจำเป็นต้องใช้น้ำมันดีเซลบางส่วนช่วยในการเริ่มต้นการจุดระเบิดเนื่องจากก๊าซชีววมวลมีค่าออกเทนสูงกว่า 105 ทำให้ไม่สามารถจุดระเบิดด้วยตัวเอง ภายใต้สภาวะแรงดันและอุณหภูมิในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปได้ [3] ซึ่งการใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมมีข้อดีหลายประการคือ ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงและมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่าเนื่องจากสามารถใช้งานได้ทั้งในรูปแบบเครื่องยนต์ดีเซลปรกติ และรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมโดยไม่ต้องตัดแปลงเครื่องยนต์ การปรับปรุงเครื่องยนต์ดีเซลให้สามารถใช้งานเครื่องยนต์ในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมนั้นทำได้ง่าย เพียงติดตั้งอุปกรณ์ผสมอากาศกับเชื้อเพลิงก๊าซ ที่ทางเข้าของท่อไอดี และอุปกรณ์สำหรับปรับอัตราการไหลของก๊าซและอากาศเท่านั้น

การวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซลพบว่า ก๊าซชีววมวลสามารถทดแทนการใช้น้ำมันได้สูงสุดประมาณร้อยละ 60-70 [5-9] ช่วยลดสารมลพิษพวกออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และปัญหาคาร์บอนในไอเสียได้ ในขณะที่ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และอุณหภูมิไอเสียเพิ่มขึ้น [3, 5-6] มีการวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันพืชชนิด

ต่างๆ เช่น Honge oil Neem oil และน้ำมันรำข้าว [2-3,6-8 พบว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวต่ำลง ในขณะที่ปริมาณมลพิษในไอเสียเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลชนิดนำ (pilot fuel) การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันต่างๆเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับก๊าซชีววมวล ช่วยปรับปรุงสมรรถนะให้ดีขึ้นได้ แต่ยังคงต่ำกว่าการใช้ร่วมกับน้ำมันดีเซล [3,7] ซึ่งคุณสมบัติของปาล์มไบโอดีเซลและน้ำมันแสดงดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง	ดีเซล	ปาล์มไบโอดีเซล
ความหนาแน่น (kg/m ³)	8600	876.9
ความหนืดจลน์ (m ² /s)	3.8	4.821
จุดวาบไฟ (°C)	55	151
ค่าความร้อนกรอส (kJ/kg)	44,800	39,677

ที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับเชื้อเพลิงร่วมระหว่างก๊าซชีววมวลกับเชื้อเพลิงเหลวในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดส่วนใหญ่เน้นศึกษาสมรรถนะและมลพิษที่เกิดขึ้นเป็นหลัก แต่งานวิจัยที่เกี่ยวกับคุณลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมก๊าซชีววมวลกับน้ำมันดีเซลมีน้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลร่วมกับก๊าซชีววมวลจากเหง้ามันสำปะหลัง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์การเผาไหม้ อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปพัฒนาและควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ต่อไปได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีววมวล

ก๊าซชีววมวลเป็นก๊าซที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification process) ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็ง (ชีววมวล) ให้อยู่ในรูปก๊าซเชื้อเพลิง โดยปฏิกิริยาเคมีความร้อน(Thermo-chemical reaction) ซึ่งเริ่มจากการออกซิเดชันบางส่วน of เชื้อเพลิงแข็ง ที่อุณหภูมิสูงในช่วง 800 – 1,800 องศาเซลเซียส ความร้อนที่ได้จากกระบวนการนี้จะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาประเภทต่างๆตามมาคือ ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ปฏิกิริยาไพโรไลซิส (Pyrolysis) และการอบแห้ง (Drying)

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเผาไหม้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำ (H₂O) ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยารีดักชัน Reduction) เพื่อผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 3-10MJ/Nm³ ขึ้นอยู่กับตัวทำปฏิกิริยาและเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งค่าความร้อนของแก๊สมีนสำหรับประมาณ 15.37 MJ/kg [4] ก๊าซเชื้อเพลิงนี้มีองค์ประกอบหลักคือ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไฮโดรเจน (H₂) และก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นก๊าซเผาไหม้ได้และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง

2.2. เครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม

เครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง 2 ชนิดร่วมกันคือทั้งเชื้อเพลิงก๊าซและเชื้อเพลิงเหลว การเผาไหม้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมใช้หลักการของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดร่วมกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟคือ อากาศและก๊าซเชื้อเพลิงได้รับการผสมกันก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และถูกอัดจนความดันและอุณหภูมิสูง หลังจากนั้นน้ำมันดีเซลฉีดน้ำ (pilot diesel) บางส่วนถูกฉีดเข้าไปก่อนสิ้นสุดกระบวนการอัดเพื่อช่วยการจุดระเบิดและการเผาไหม้ของส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศและน้ำมันที่อยู่ในห้องเผาไหม้ ประโยชน์ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมคือ สามารถใช้เชื้อเพลิงได้ 2 ชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน

2.3. การวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบ

รูปแบบของกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์สามารถอธิบายได้จากการวิเคราะห์ความดันในกระบอกสูบ ในแต่ละช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้วจะใช้อัตราการปล่อยความร้อน (Heat release rate) เป็นตัวกำหนดรูปแบบการเผาไหม้ ซึ่งอัตราการปล่อยความร้อน สัมพันธ์โดยตรงกับอัตราพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกมาโดยกระบวนการเผาไหม้

ข้อมูลความดันในกระบอกสูบที่องค์การพลศาสตร์อากาศยานต่าง ๆ ตลอดช่วงจังหวะอัดและจังหวะขยายตัว สามารถนำไปใช้วิเคราะห์หาอัตราการปล่อยความร้อนโดยใช้กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์สำหรับระบบเปิดโดยอัตราการปล่อยความร้อนสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 1

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

โดย Q_n=การปล่อยความร้อนสุทธิ (J)

γ = อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ Cp/Cv) และในการวิเคราะห์อัตราส่วนการปล่อยความร้อนของ

เครื่องยนต์ดีเซล ช่วงของค่า γ ที่เหมาะสมจะเป็น 1.3-1.35

P = ความดันในกระบอกสูบ (Pa)

V = ปริมาตรกระบอกสูบ (m³)

ช่วงต่างๆของกระบวนการเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 1 สามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วงคือ

1) ช่วงล่าช้าในการจุดระเบิด

(Ignition delay period) เป็นช่วงระหว่างการเริ่มต้นฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้จนถึงช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้

2) ช่วงการเผาไหม้ของสาร

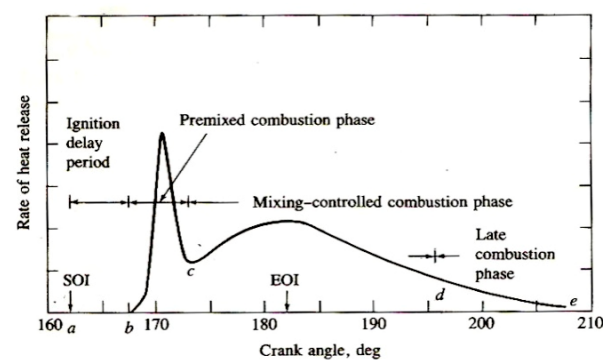
ผสมที่ได้รับการผสมไว้ก่อนแล้ว (Premixed หรือ rapid combustion phase) เป็นช่วงการเผาไหม้อย่างรวดเร็วของเชื้อเพลิงและอากาศที่ได้รับการผสมในช่วงล่าช้าของการจุดระเบิด ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้ จะเผาไหม้เกือบพร้อมกัน เป็นผลให้อัตราการปล่อยความร้อนในช่วงนี้สูง

3) ช่วงการเผาไหม้ที่ถูก

ควบคุมโดยการผสม (Mixing-control combustion phase) ช่วงนี้อัตราการเผาไหม้จะถูกควบคุมโดยอัตราการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเป็นสารผสมที่พร้อมเผาไหม้

4) ช่วงการเผาไหม้ช้า (Late

combustion phase) เป็นช่วงการเผาไหม้เชื้อเพลิงส่วนที่เหลืออยู่เล็กน้อยประมาณร้อยละ 10 ของเชื้อเพลิงทั้งหมด



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยทั่วไป [10]

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบก๊าซไหลลง เครื่องดีเซล 4 จังหวะสูบเดียว

แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ติดตั้งกับชุดทดสอบสมรรถนะ เครื่องยนต์ชุดอุปกรณ์วัดความดันในกระบอกสูบ และ เครื่องวัดมลพิษจากไอเสีย

เตาผลิตก๊าซชีววมวลเป็นแบบไหลลง ชนิดสองคอคอด ขนาด 50 กิโลวัตต์ความร้อนยึดหลักตาม Lambert [11] โดยใช้หมักน้ำสำหรับหลังขนาด 3-5 มิลลิเมตร เพื่อลดปัญหาความแตกต่างของความชื้นในเชื้อเพลิงที่มีผลต่อ คุณสมบัติก๊าซชีววมวลที่ผลิตได้

เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล สูบเดี่ยว 4 จังหวะ แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง ระบายความร้อนด้วยน้ำ ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น D-800 รายละเอียดของ เครื่องยนต์ทดสอบแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

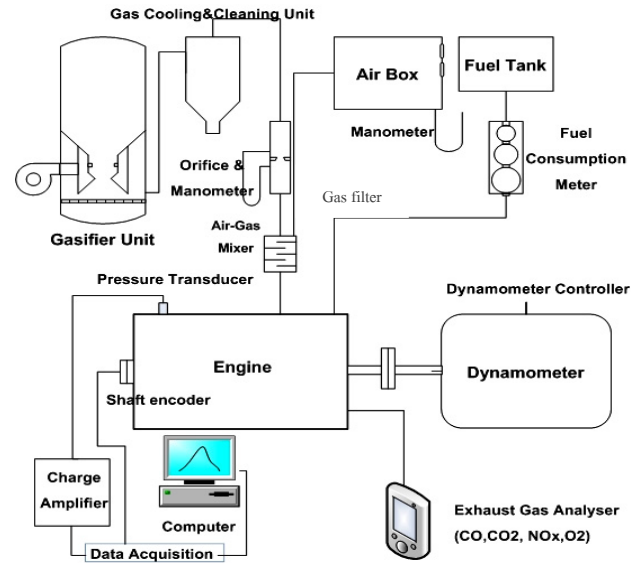
Model	Mitsubishi D800
Bore x Stroke	82 x 78
No. of cylinder	1
Piston displacement	411 cc.
Maximum output	5.884kW/2400rpm
Maximum torque	25.5Nm/1900rpm
Compression ratio	18:1

ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ประกอบด้วย ไดนาโมมิเตอร์ชนิดกระแสหมุนเวียน (Eddy current dynamometer) รุ่น EA-10 โดยบริษัท Tokyo meter co.,Ltd วัดอัตราการไหลของก๊าซและอากาศด้วย Orifice และ Manometer วัดอัตราการไหลแบบ 3 burettes skewer รุ่น BE-512 วัดอุณหภูมิไอเสียด้วย เทอร์โมคัปเปิลชนิด K วัดก๊าซไอเสียจากเครื่องด้วยเครื่อง วิเคราะห์ก๊าซไอเสียรุ่น HM 5000ผลิตโดย Infrared industries ซึ่งสามารถวัดก๊าซได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดการวัดไอเสียจากเครื่องยนต์

Gas	Range	Resolution & Accuracy
HC	0-10,000 ppm	10 ppm \pm 2%
CO	0 - 10%	0.01% \pm 2%
CO ₂	0 -20%	0.01% \pm 2%
O ₂	0 -25%	0.01% \pm 2%
NO _x	0-5000ppm	1 ppm \pm 2%

ชุดวิเคราะห์การเผาไหม้ในกระบอกสูบ ประกอบด้วย Pressure Transducer ชนิด Piezoelectric ยี่ห้อ KISTLER รุ่น 6052C และอุปกรณ์ วัดองศาเพลลาข้อเหวี่ยง (Shaft encoder)ยี่ห้อ Wachendorff Drehgeber รุ่น D68D ซึ่งมีความละเอียดในการวัด 0.2 องศาเพลลาข้อเหวี่ยง ใช้โปรแกรม Dewesoft 6.6 ในการแสดงผลข้อมูล อุปกรณ์การ ทดลองทั้งหมดได้รับการติดตั้งตัวแสดงในรูปแบบที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

3.2 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้ ได้วัดสมรรถนะเครื่องยนต์ วัดการ ปลดปล่อยมลพิษและวัดความดันในกระบอกสูบ โดย ทดสอบที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที และปรับช่วง ภาระความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (Brake mean effective pressure, bmep) 0-715.8 kPa เริ่มทดสอบโดยการติดตั้ง เครื่อง ปรับปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลจนความเร็วรอบถึง 1500 รอบต่อนาที รอให้เครื่องอยู่ในสภาวะคงตัวก่อน ประมาณ 10 นาที จึงบันทึกค่าตัวแปรต่างๆ แล้วจึงทำการ ปรับภาระขึ้นครั้งละ 71.58 kPa (9.81N) และบันทึกค่า ต่างๆเมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว ในการทดสอบ เชื้อเพลิงร่วมไบโอดีเซล-ก๊าซชีววมวล จะเริ่มการทดสอบ หลังจากผลิตก๊าซชีววมวลได้แล้วประมาณ 30 นาที เพื่อให้ แน่ใจว่าเตาผลิตก๊าซชีววมวลอยู่ในสภาวะคงตัว ก๊าซชีว มวลและอากาศผสมกันในอุปกรณ์ผสมก่อนเข้า เครื่องยนต์โดยปรับวาล์วอากาศและวาล์วก๊าซ และปรับ อัตราการฉีดน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลโดยการปรับคันเร่ง ให้ ได้อัตราการทดแทนน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลสูงสุดในแต่ละ

ภาวะ ที่ความเร็วรอบ 1500รอบต่อนาที โดยไม่เกิดการดับบางวัฏจักร(misfire)รอให้เครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงตัว แล้วบันทึกข้อมูลค่าอัตราการไหลของอากาศ อัตราการไหลของก๊าซชีววมวล, ภาวะโหลด,บันทึกค่าความดันในกระบอกสูบ, รอบเครื่อง, องศาเพลลาข้อเหวี่ยงด้วยคอมพิวเตอร์ ในการทดสอบทุกกรณีได้ปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นให้อุณหภูมิของน้ำออกจากเครื่องยนต์ประมาณ 80 องศาเซลเซียส เพื่อลดความแปรผันของค่าต่างๆที่เกิดจากผลของอุณหภูมิ

4. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

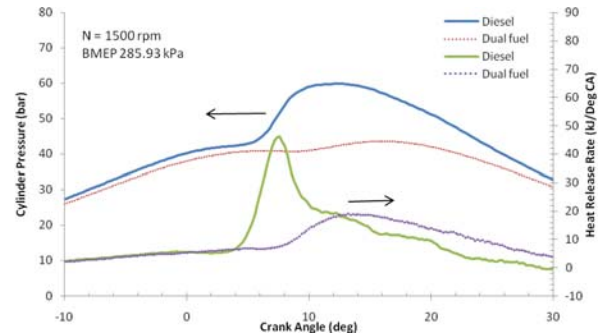
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้

จากข้อมูลความดันภายในกระบอกสูบที่ได้ ไปคำนวณหาอัตราการปล่อยความร้อนโดยใช้ค่าเฉลี่ยจาก 60 วัฏจักร ได้ผลดังนี้

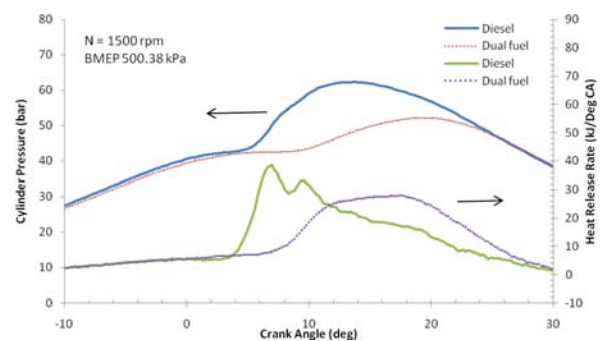
จากรูปที่ 3 พบว่าในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมที่ภาวะความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 285.93 kPa และ 500.38 kPa ความดันสูงสุดในกระบอกสูบลดลงจากรูปแบบเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลอย่างเดียว 17.31 บาร์ และ 10.13 บาร์ ตามลำดับ และที่ภาวะความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 571.86 kPa ความดันสูงสุดในกระบอกสูบเพิ่มขึ้น 7.41 บาร์ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอย่างเดียว ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการปล่อยความร้อนในช่วง premixed combustion ที่สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว อัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่ภาวะความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 285.93 kPa และ 500.38 kPa ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 26.99 และ 10.47 จูลต่อองศาเพลลาข้อเหวี่ยง ตามลำดับ แต่ที่ภาวะความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 571.86 Kpa อัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมสูงกว่าอัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดของการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 14.49 จูลต่อองศาเพลลาข้อเหวี่ยง ซึ่งเกิดจากมีการฉีดน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่สูงกว่าก๊าซชีววมวลมาก ทำให้เกิดความร้อนสูงและเผาไหม้ส่วนผสมของอากาศและก๊าซชีววมวลอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้ความดันในกระบอกสูบสูงขึ้น

เมื่อวิเคราะห์รูปแบบการเผาไหม้จากลักษณะการปล่อยความร้อนพบว่าการใช้ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว เมื่อภาวะเพิ่มขึ้นจะทำให้ช่วง premixed combustion สั้นลง และช่วง mixing control combustion กว้างมากขึ้น ส่วนจุดเริ่มต้นการเผาไหม้ใกล้เคียงกันทุกภาวะ ซึ่งต่างจากการใช้เชื้อเพลิงร่วม ที่มีอัตราการปล่อยความร้อน

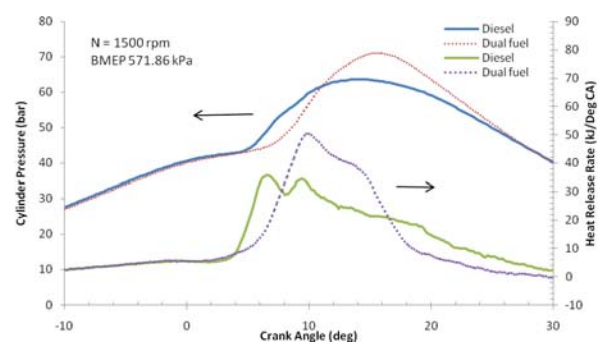
ต่ำในช่วงภาวะต่ำ และสูงขึ้นเมื่อภาวะเพิ่มขึ้น โดยมีรูปแบบการเผาไหม้แบบ premixed combustion ร่วมกับ mixing control combustion ที่เห็นได้ชัดในรูปที่ 3 (ข) มีช่วงอัตราการปล่อยความร้อนสูงสุดค่อนข้างกว้าง ซึ่งเกิดจากการปล่อยความร้อนของส่วนผสมที่ผสมกันเป็นอย่างดีระหว่างอากาศกับก๊าซชีววมวล แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนก๊าซชีววมวลขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดเพิ่มขึ้น



(ก)



(ข)

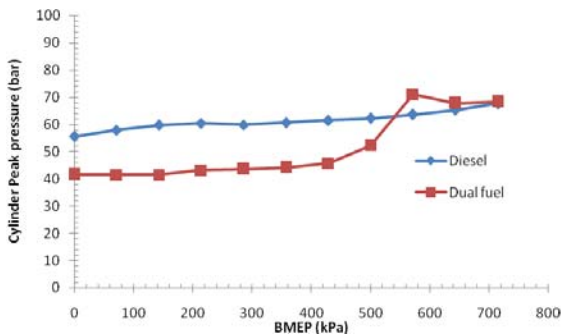


(ค)

รูปที่ 3 แผนภาพเปรียบเทียบแรงดันในกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างเชื้อเพลิงเดียวกับเชื้อเพลิงร่วม(ก) ที่ภาวะBMEP 285.93 kPa (ข) ที่ภาวะ BMEP 500.38 kPa (ค) ที่ภาวะ BMEP 571.86 kPa

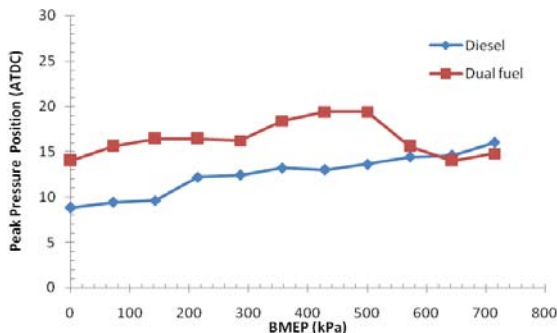
ความดันสูงสุดในกระบอกสูบจากรูปที่ 4 พบว่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบของการใช้เชื้อเพลิงร่วม ต่ำ

กว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 10-18 บาร์ ในช่วงภาระ 0-500 kPa ซึ่งความล่าช้าในการจุดระเบิดน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ความดันสูงสุดและตำแหน่งความดันสูงสุดในกระบอกสูบเปลี่ยนไป ส่วนที่ภาระ 571.86 – 714.82 kPa มีความดันในกระบอกสูบใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีปริมาณการฉีดน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมากขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วในช่วง premixed combustion ซึ่งส่งผลต่อความดันสูงสุดในกระบอกสูบโดยตรง



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงความดันสูงสุดในกระบอกสูบที่ภาระ BMEP ต่างๆ

รูปที่ 5 พบว่าตำแหน่งความดันสูงสุดในกระบอกสูบของการใช้เชื้อเพลิงร่วมอยู่หลังการใช้ น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 3-7 องศาเพลลาข้อเหวี่ยง ซึ่งเป็นผลจากความล่าช้าในการจุดระเบิดด้วย



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงตำแหน่งการเกิดความดันสูงสุดในกระบอกสูบที่ภาระ BMEP ต่างๆ

4.2 อัตราการทดแทนน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและสมรรถนะของเครื่องยนต์

4.2.1 อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณการฉีดน้ำมันในแต่ละภาระทั้งในรูปแบบเชื้อเพลิงเดี่ยวและเชื้อเพลิงร่วม โดย m_d และ m_p คือปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลเมื่อใช้ในรูปแบบน้ำมัน

ดีเซลอย่างเดียวและปริมาณการฉีดน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเมื่อใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วม ตามลำดับ λ_d และ λ_p คืออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์เมื่อใช้ในรูปแบบน้ำมันดีเซลอย่างเดียวและเชื้อเพลิงร่วม ตามลำดับ ที่อัตราส่วนการทดแทนสูงสุดแต่ละภาระ

อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล (Diesel saving ratio) สามารถหาได้จากสมการที่ 2

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

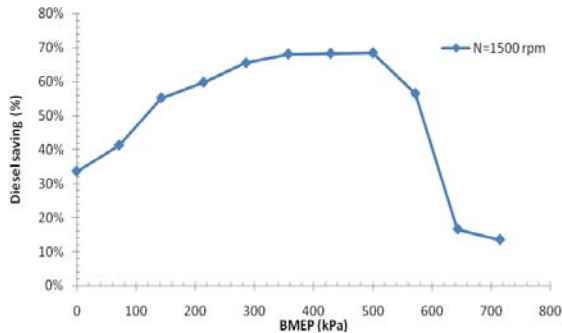
โดย m_d และ m_p เป็นปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลเมื่อใช้ในรูปแบบน้ำมันดีเซลอย่างเดียวกับ ปริมาณการฉีดน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเมื่อใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วม

BMEP (kPa)	m_d (kg/h)	λ_d	m_p (kg/h)	λ_p	Diesel saving (%)
0.00	0.24	4.40	0.16	2.02	33.61
71.48	0.26	4.01	0.15	2.07	41.25
142.96	0.30	3.43	0.14	2.02	55.17
214.45	0.32	3.27	0.13	1.95	59.77
285.93	0.35	2.97	0.12	1.78	65.42
357.41	0.44	2.38	0.14	1.49	68.06
428.89	0.52	2.00	0.17	1.26	68.24
500.38	0.61	1.69	0.19	1.09	68.40
571.86	0.73	1.43	0.32	0.90	56.44
643.34	0.88	1.18	0.73	0.68	16.62
714.82	1.09	0.95	0.94	0.56	13.51

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำมันดีเซลและปาล์มไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดสอบและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสัมพัทธ์ในแต่ละภาระเมื่อใช้ในรูปแบบน้ำมันดีเซลอย่างเดียวและเชื้อเพลิงร่วม และอัตราการทดแทนสูงสุดในแต่ละภาระ

จากรูปที่ 6 การใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีววมวลร่วมกับปาล์มไบโอดีเซลสามารถลดปริมาณการฉีดน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลได้ในทุกช่วงภาระเครื่อง โดยสามารถทดแทนได้สูงสุดร้อยละ 68.40 ที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 500.38 kPa และที่ภาระเครื่องยนต์สูงกว่านี้อัตราการทดแทนน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากถูกจำกัดด้วยอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศที่เหมาะสม เมื่อภาระเพิ่มขึ้นการฉีดน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมากขึ้นเพื่อเพิ่มกำลัง

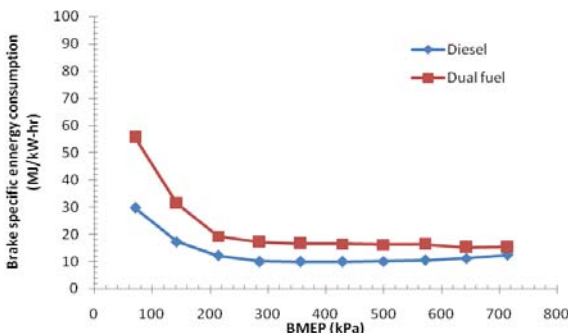
ให้กับเครื่องยนต์ ทำให้ปริมาณอากาศในกระบอกสูบลดลงส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีววมวลทดแทนได้น้อยลงด้วย



รูปที่ 6 อัตราส่วนการทดแทนน้ำมันดีเซลด้วยปาล์มไบโอดีเซลและก๊าซชีววมวลที่ภาวะ BMEP ต่างๆ

4.2.2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption)

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะคำนวณจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้ จากรูปที่ 7 พบว่าการใช้งานในรูปแบบเชื้อเพลิงร่วมมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวกทุกช่วงภาวะ ซึ่งอาจเกิดจากการฉีดน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่น้อยทำให้การแตกตัวเป็นละอองฝอยไม่ดีเท่ากับการฉีดเชื้อเพลิงในปริมาณมาก จึงต้องใช้เชื้อเพลิงรวมมากกว่าเพื่อให้ได้กำลังเท่ากัน

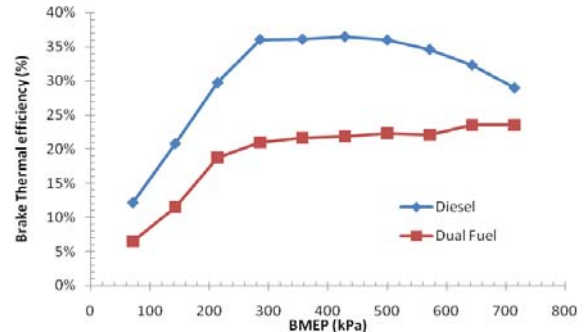


รูปที่ 7 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ภาวะ BMEP ต่างๆ

4.2.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากรูปที่ 8 พบว่าการใช้เชื้อเพลิงร่วมให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวกทุกช่วงภาวะ ซึ่งอาจเกิดจากอัตราส่วนการทดแทนสูงสุด ทำให้อากาศในห้องเผาไหม้ลดลง จึงเกิดความล่าช้าในการจุดระเบิดและการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และ

ส่วนหนึ่งก๊าซชีววมวลมีค่าความร้อนและความหนาแน่นของพลังงานต่ำ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำลงได้

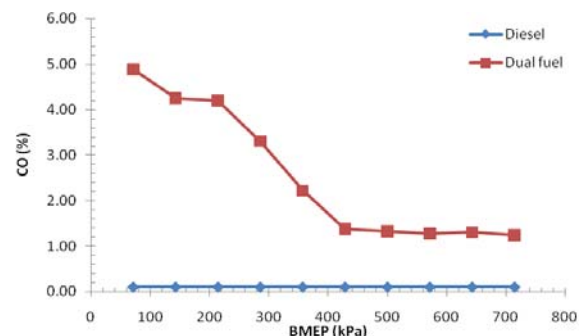


รูปที่ 8 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ภาวะ BMEP ต่างๆ

4.3 ผลการวัดมลพิษ

4.3.1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในไอเสีย

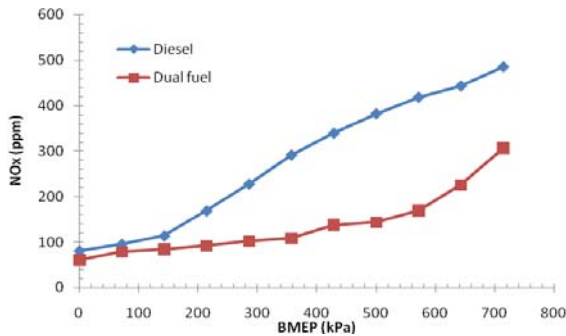
จากรูปที่ 9 พบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จากการใช้เชื้อเพลิงร่วมสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวกทุกช่วงภาวะ ซึ่งก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นองค์ประกอบหนึ่งของก๊าซชีววมวลอยู่ด้วยซึ่งตามหลักการเผาไหม้ในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงร่วมจะทำการดูดก๊าซชีววมวลที่ผสมกับอากาศแล้วเข้ากระบอกสูบอย่างเต็มที่ทุกช่วงทำให้เกิดก๊าซบางส่วนไม่ได้รับการเผาไหม้และหลงเหลือออกมากับก๊าซไอเสียด้วยรวมทั้งการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่อัตราการทดแทนสูงๆทำให้ปริมาณอากาศที่เหลือในกระบอกสูบลดน้อยลง เกิดเป็นส่วนผสมหนาทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะลดลงเมื่อภาวะเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โดยลดลงจากร้อยละ 4.88 ที่ภาวะความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 71.48 kPa เป็นร้อยละ 1.28 ที่ภาวะความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 571.86 kPa



รูปที่ 9 ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในไอเสียที่ภาวะ BMEP ต่างๆ

4.3.2 ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสีย

จากรูปที่ 10 พบว่าปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมจะน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 20-250 ส่วนในล้านส่วน เนื่องจากการใช้งานเชื้อเพลิงร่วมมีส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ก่อให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง



รูปที่ 10 ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียที่ภาวะ BMEP ต่างๆ

5. สรุป

คุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงร่วมระหว่างก๊าซชีววมวลจากเหง้ามันสำปะหลังกับปาล์มไบโอดีเซลมีช่วง premixed combustion และ mixing control combustion กว้างกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว

การใช้ก๊าซชีววมวลจากเหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับปาล์มไบโอดีเซลสามารถทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลได้สูงสุดร้อยละ 68.40 ที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก 500.38 kPa ที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวประมาณร้อยละ 13 โดยเฉลี่ย และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวทุกช่วงภาระ

มลพิษจากไอเสียพบว่าการใช้ก๊าซชีววมวลจากเหง้ามันสำปะหลังกับปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงร่วม ทำให้ปริมาณ CO สูงขึ้นกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวทุกช่วงภาระเนื่องจากก๊าซชีววมวลมีองค์ประกอบ CO อยู่ด้วย และก๊าซบางส่วนไม่ได้ถูกเผาไหม้ จึงทำให้มีปริมาณสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว แต่ NOx น้อยกว่าทุกช่วงภาระเครื่องยนต์

อย่างไรก็ตามเพื่อพัฒนาเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมที่ใช้ก๊าซชีววมวลเป็นเชื้อเพลิงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการปรับปรุงการฉีดน้ำมัน

ล่วงหน้า 2-5 องศาเซลเซียสเพื่อหิว ปริมาณการฉีดน้ำมัน รวมถึงความเร็วรอบต่างๆของเครื่องยนต์

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัย และขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการทำงานวิจัย

7. 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*,

[4] D. Atong*, P. Sornkade, S. Thassanaprichayanont (2009) Fuel generation from catalytic gasification of cassava rhizome *Energy & Fuels*, 23, pp.3930-3939, 2009.

[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 fourstroke 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 มัธจักร. (2552). สมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซชีววมวลและน้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง.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