



ประเมินสมรรถนะและก๊าซมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลจุดระเบิดด้วยการอัดใช้
ผสมไบโอดีเซลผสมดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกบนแท่นแชสซิสไดนาโมมิเตอร์

Performance and Gaseous Emission Evaluation of Compression Ignition Engine
using Palm Biodiesel Blend on Chassis Dynamometer

วสันต์ พลาชัย^{1*}, ทวีศักดิ์ ขัตติยวรรณ¹, ประธาน ศรีชัย¹

Wasan Palasai^{1*}, Taweesak Kattiyawan¹, Prathan Srichai¹

(Received: July 13, 2021; Revised: August 3, 2021; Accepted: August 18, 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลกระทบของสมรรถนะและก๊าซมลพิษเชื้อเพลิงจาก ปาล์มไบโอดีเซลผสม โดยปริมาตรที่ 7 (ดีเซลทางการค้า) 20 40 60 และ 100 เปอร์เซ็นต์ วัดค่าสมรรถนะสูงสุดอัน ได้แก่ แรงม้าและแรงบิด อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก เพื่อคำนวณ การเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงเป็น พลังงานกล ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และวัดมลพิษก๊าซ คาร์บอนไดมอนนอกไซค์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ไฮโดรคาร์บอน (HC), ออกซิเจน (O₂) และไนโตรเจนไดออกไซด์ NO_x ของรถยนต์ด้วยแชสซิสไดนาโมมิเตอร์ที่ความเร็วคงที่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่คันเร่งเปิดสูงสุดที่ เงื่อนไขอุณหภูมิการทดสอบ 30-32 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า แรงม้าและแรงบิด มี แนวโน้มที่ลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนการผสมของไบโอดีเซล อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก มีค่า เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงเป็นพลังงานกล ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ลดลงเนื่องจากค่าความ ร้อนของเชื้อเพลิงที่ลดไปตามสัดส่วนของไบโอดีเซลที่ผสมมากขึ้น และวัดมลพิษก๊าซ คาร์บอนไดมอนนอกไซค์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ไฮโดรคาร์บอน (HC), มีค่าลดลง และออกซิเจน (O₂) และ ไนโตรเจนไดออกไซด์ NO_x มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากส่วนผสมของคาร์บอนที่ลดลงและการเพิ่ม ของออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ไบโอดีเซลผสมดีเซล สมรรถนะของเครื่องยนต์ ก๊าซมลพิษจากรถยนต์

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

¹Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

*Corresponding Author: wasan_palasai@hotmail.com



Abstract

This research presents the effects of palm biodiesel fuel efficiency and pollution. Palm was mixed with biodiesel by volume 7 (Commercial diesel) 20 40 60 and 100 percent. The maximum performances were measured such as horsepower and torque, brake specific fuel consumption to calculate the conversion of fuel into mechanical energy, thermal efficiency and measure gas pollution; Carbon Monoxide (CO), Carbon Dioxide (CO₂), Hydrocarbons (HC), Oxygen (O₂) and Nitrogen dioxide (NO₂) of the car with the chassis dynamometer at a constant speed of 90 kilometers per hour and at the maximum open throttle at the test temperature conditions of 30-32 °C. From the experiments, the results revealed that the horsepower and torque tend to decrease with increasing biodiesel blend ratio, brake specific fuel consumption has increased, and the conversion of fuel into mechanical energy thermal efficiency has been decreased due to the reduced calorific value of the fuel as the high proportion of mixed biodiesel. In addition, the measurements of gas pollution such as Carbon Monoxide (CO), Carbon Dioxide (CO₂), Hydrocarbons (HC) were decreased but nitrogen dioxide (NO_x) tends to increase. This is due to the reduction of carbon content and the increase of oxygen.

Keywords: Biodiesel blend diesel, Engine performance, Emission

บทนำ

ในปัจจุบันสถานการณ์ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในตลาดโลก มีการปรับตัวและมีราคาที่แปรปรวนขึ้น แต่ความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงก็ยังมีความต้องการเพิ่มขึ้น (Palm Oil Industry, 2021) แต่อย่างไรก็ตามเขตภาคใต้ของประเทศไทย มีการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นจำนวนมาก โดยมี จำนวน 4,981,001 ไร่ได้มีการใช้น้ำมันมาผลิตเป็นวัตถุดิบน้ำมันไบโอดีเซลเป็นจำนวนมาก เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงานสำหรับเครื่องจักรกลทางการเกษตรและรถยนต์

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษในอากาศอันเนื่องมาจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ สมบูรณ์ ทางงานวิจัยที่ผ่านมา (Royal of Thai Naval Dockyard, 2021) ได้ทำการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่า รถที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 50 และสามารถลดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้ร้อยละ 20 ลดฝุ่นละออง ได้ร้อยละ 39 ลดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้ร้อยละ 99 นอกจากนี้การใช้ไบโอดีเซลทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นสามารถลด



วงจรชีวิต (Life-cycle) ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้ร้อยละ 78 ซึ่งเป็นผลให้ลดภาวะโลกร้อน (Energy, 2021)

Kunanon & Tangchaichit (2013) ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากไขมันไก่ โดยผสมสัดส่วนโดยปริมาตรเชื้อเพลิงดีเซลกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ ไขมันไก่ 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100 ตามลำดับ ในเครื่องยนต์ 4 สูบ 2,188 ซีซี พบว่าคุณลักษณะทางกายภาพสัดส่วนที่ 90:10 มีความใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซล ส่วนในด้านการปลดปล่อยมลพิษไอเสียเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสมในสัดส่วนต่าง ๆ มีค่า แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลเป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 25.58-28.15% และ 0.34-0.81% ส่วนค่าออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง 2.36-11.82% และปริมาณควันดำมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทุกสัดส่วนผสม และ Karoon (2017) ศึกษาคุณสมบัติของไบโอดีเซลปาล์ม และสมรรถนะเครื่องยนต์กับการใช้สารเติมแต่งนาโน ไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยผสมน้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์ม และสารเติมแต่งด้วยเครื่องเขย่าโมเลกุล และทำการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงภายใต้มาตรฐาน American Society of Testing and Materials (ASTM) โดย สัดส่วนการผสมน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มมี 7 ชนิดคือ 2, 10, 20, 30, 40, 50 และ 100% เขียนเป็น สัญลักษณ์คือ B2, B10, B20, B30, B40, B50 และ B100 ผสมสารเติมแต่ง X% โดยปริมาตร ใช้สัญลักษณ์เช่น B2 X% งานวิจัยนี้ใช้สารเติมแต่งที่ $X = 0.1\%$ และ $X = 0.2\%$ ผลการทดสอบพบว่าคุณภาพน้ำมันที่ผสมในแต่ละสัดส่วนกับสารเติมแต่งนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 0.1% โดยปริมาตร ให้คุณสมบัติโดยรวมดีที่สุดคือความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง ซีเทนัมเบอร์เพิ่มสูงขึ้น ความร้อนเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น จุดวาบไฟมีค่าสูงขึ้น พบว่าสารเติมแต่งนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 0.1% โดยปริมาตร ให้สมรรถนะดีที่สุดของการทดสอบเครื่องยนต์ ส่วน Kanit & Promruksa (2016) เปรียบเทียบผลการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเชิงพาณิชย์ (CD) และเชื้อเพลิงดีเซล สังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้ว (HiBD) ที่มีต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษของรถยนต์เมื่อขับด้วยความเร็วรถยนต์คงที่ที่ 50, 60, 70 และ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บนแท่นทดสอบชนิดแชลชีส์ไดนาโมมิเตอร์โดยที่แต่ละค่าความเร็วรถยนต์คงที่นั้นได้จำลองภาระขับเคลื่อนรถยนต์ด้วยการปรับค่าแรงต้านทานที่ดรัมของแท่นทดสอบ ที่ร้อยละ 6, 8 และ 10 ของค่าภาระสูงสุด วัดอัตราการใช้เชื้อเพลิงและปริมาณ HC, NO_x และ CO จากท่อไอเสียรถยนต์ โดยผลทดสอบรถยนต์พบว่า ค่าไอเสียของรถยนต์ที่ความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมงปริมาณ CO จาก HiBD ที่ทุกภาระมีค่า ต่ำ กว่า ขณะที่การขับที่ความเร็วรถยนต์ 60 70 และ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกัน ปริมาณ HC จากท่อไอเสียที่ความเร็ว 50 และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงของ HiBD มีแนวโน้มให้ค่าต่ำ กว่าถึงไม่แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่



ความเร็ว 70 และ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าปริมาณ HC ของ HiBD มีค่าสูงกว่าที่ ทุกภาระ ส่วนปริมาณ NOx พบว่าทั้ง HiBD และ CD จะให้ NOx เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วรถยนต์โดยที่ทุกความเร็วรถยนต์เมื่อภาระต่ำ การใช้ HiBD จะปล่อย NOx สูงกว่าการใช้ CD ถึงไม่แตกต่างกัน ส่วนที่ความเร็ว 70 และ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมงและภาระทดสอบมีค่าร้อยละ 10 CD จะปล่อย NOx สูงกว่า ซึ่งผลเบื้องต้นที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่า HiBD สามารถนำไปใช้ทดแทน CD ในรถยนต์ได้โดยไม่ต้องมีการปรับแต่ง

Taweesak (2016) ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์และการปลดปล่อยไอเสียเมื่อเดินเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับยานพาหนะแบบ Indirect Injection (IDI) ระยะยาวด้วยน้ำมันดีเซลและน้ำมันผสมของน้ำมันปาล์มลดยางเหนียว-ลดกรดในน้ำมันดีเซลที่สัดส่วน 20% โดยปริมาตร กับเครื่องยนต์ 4 สูบ มีสองปรับสภาพใหม่ให้ใช้งานได้ดี ทำการทดสอบเสมือนจริงบนแท่นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขับเคลื่อนเครื่องยนต์ และทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์บนแท่นไดนาโมมิเตอร์ การปลดปล่อยไอเสียพบว่าน้ำมันทดสอบทั้ง 2 ชนิด ปริมาณไอเสียมีค่าแปรผันตามภาระของเครื่องยนต์ เมื่อภาระของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ปริมาณควันดำ และ NOx มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณ CO มีค่าลดลง โดยผลการทดสอบที่ภาระสูงสุดมีค่าในช่วงดังต่อไปนี้ ควันดำ 0.4-1.4 BSU, NOx 292-469 ppm และ CO 42-130 ppm และงานวิจัยของ Jerasak (2006) ใช้้ำมันพืชที่ใช้แล้วผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20 50 70% โดยปริมาตรใช้ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวการเกษตร indirect injection 465 ซีซี 8 แรงม้า เพื่อศึกษาสมรรถนะการปลดปล่อยไอเสียและการสึกหรอพบว่าการปลดปล่อยไอเสีย ค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) มีมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง 4.7 เท่า ค่าไฮโดรคาร์บอน (HC) มากกว่าน้ำมันดีเซล 1.5% เนื่องจากความหนืดของน้ำมันผสม 20% มีค่าสูงกว่าดีเซล

น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่แตกต่างกับดีเซล เช่น ค่าความหนืดจลน์ที่สูงและค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง นอกจากความหนืดจลน์ของเชื้อเพลิงที่สูงกว่านั้นยังส่งผลให้คุณลักษณะการฉีดน้ำมันให้คุณลักษณะการเป็นฝอยละอองและการผสมตัวของเชื้อเพลิงกับอากาศ ทำให้การผสมเข้ากันระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับอากาศเป็นไปได้น้อย จึงส่งผลให้ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้น้อยลงด้วย ส่งผลทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง โดยตัวอย่างงานวิจัยที่ผ่านมาดังนี้

งานวิจัยที่ผ่านมาได้นำเสนอผลงานทั้งทางด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ปาล์มไบโอดีเซล แต่ยังมีส่วนที่ต้องศึกษาเพิ่มเติมในส่วนการใช้งานในสภาวะงานจริงของรถยนต์บนเชตชิสไดนาโมมิเตอร์ที่ดีเซลผสมปาล์มไบโอดีเซลที่สัดส่วนต่างกัน



วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบประเมินสมรรถนะและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถยนต์ที่ใช้ปาล์มไบโอดีเซลผสมดีเซลด้วยแซทชีสไดนาโมมิเตอร์ที่ความเร็วคงที่
2. เพื่อวัดค่าและวิเคราะห์มลพิษคาร์บอนไดมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ไฮโดรคาร์บอน (HC), ออกซิเจน (O₂) และไนโตรเจนไดออกไซด์ NO_x จากท่อเสียรถยนต์ที่ใช้ปาล์มไบโอดีเซลผสมดีเซล

วิธีการวิจัย

วิธีการประกอบด้วย ทฤษฎี เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย วิธีการวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ทฤษฎีการคำนวณ

1.1 กำลังงานเบรก (Brake power, Pb) กำลังที่วัดได้ที่เพลาคือเหวี่ยงหรือที่ล้อช่วยแรงของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งาน การวัดกำลังเบรกใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ซึ่งมีอยู่โดยวัดออกมาในรูปของแรงบิด (Torque) และรอบการหมุนของเครื่องยนต์ (John, 2018) โดยที่แรงบิดคำนวณได้ตามสมการที่ 1

$$T (N.m) = F \bullet 9.81 \bullet b \quad (1)$$

และกำลังงานเบรก (Power) สามารถใช้แรงบิดเครื่องยนต์คำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$P_b = 2\pi TN \quad (2)$$

โดยที่ N คือ รอบการหมุนของเพลาคือเหวี่ยง

b คือ แขนของแรง

T คือ แรงบิด

1.2 การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Break Specific Fuel Consumption, BSFC) เมื่อมีการวัดอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังที่ให้ออกมาและเป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อได้การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะตามสมการที่ 3

$$BSFC \left(\frac{g}{kW.h} \right) = \frac{mf \bullet 60}{P (kW)} \quad (3)$$

โดยที่ mf คือ อัตราการไหลเชิงมวล

P คือ กำลังงาน



1.3 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (Brake Specific Energy Consumption, BSEC) คือ ปริมาณของพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยที่ใช้ผลิตงานต่อกำลังงานเบรกของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นกำลังงานเบรกของเชื้อเพลิงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$BSEC (kJ / kW.h) = Q_{HV} \cdot BSFC \quad (4)$$

โดยที่ $BSEC$ คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก

Q_{HV} คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

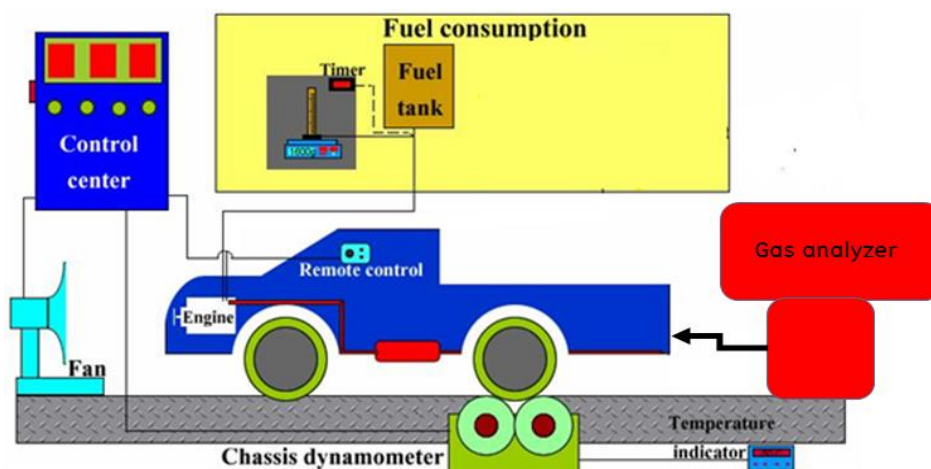
1.4 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิง (Fuel Conversion Efficiency, η_f) เป็นอัตราส่วนระหว่างงานที่ได้ต่อวัฏจักรกับพลังงานเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปต่อวัฏจักร โดยพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถปล่อยออกมาจากการเผาไหม้หาได้จากมวลของเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าไปในเครื่องยนต์ต่อวัฏจักรคูณด้วยค่าความร้อนของเชื้อเพลิงได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$\eta_f = \frac{1}{BSFC(mg / J) \cdot Q_{HV}(MJ / kg)} \quad (5)$$

2. อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

2.1 ฟังก์ชันการทดลอง

ฟังก์ชันการทดลองในการทดลองนี้แสดงได้ดังภาพที่ 1 รถยนต์ถูกติดตั้งอยู่บนแท่นทดสอบแซชชีสไดนาโมมิเตอร์ที่สามารถควบคุมความเร็วด้วย Control center การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยใช้น้ำหนักด้วยตาชั่งดิจิทัลและมีการจับเวลา ส่วนการปล่อยมลพิษวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ไอเสีย (Gas analyzer)



ภาพที่ 1 ฟังก์ชันการทดลอง



2.2 รายละเอียดของอุปกรณ์ในการทดลองมีดังนี้

รถยนต์ที่ใช้ในการทดลอง ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้รถตู้ส่วนบุคคลยี่ห้อฮอนด้า ใช้เครื่องยนต์ดีเซล จำนวน 4 สูบ แบบห้องเผาไหม้ช่วย (Indirect Injection) ขนาดปริมาตรกระบอกสูบ 2,663 ซีซี อัตราส่วนการอัด 22 ต่อ 1 กำลังสูงสุด 85 แรงม้าที่รอบเครื่องยนต์ 4,400 รอบต่อนาที ผ่านการใช้งานมาแล้ว 200,000 กิโลเมตร ก่อนทำการทดสอบได้ทำการบำรุงรักษาตรวจสอบสภาพเครื่องยนต์แชสซิสไดนาโมมิเตอร์

แชสซิสไดนาโมมิเตอร์ (Chassis Dynamometer) ซึ่งจะเป็นตัววัดกำลังของเครื่องยนต์โดยจะวัดออกมาในรูปของทอร์กและรอบการหมุนของเครื่องยนต์ ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้จะได้แชสซิสไดนาโมมิเตอร์ ยี่ห้อ Maha รุ่น LPS 3000 ที่สามารถสร้าง กำลังงานสูงสุดที่ล้อได้ 260 กิโลวัตต์ ค่าแม่นยำในการวัด $\pm 2\%$ ของกำลังงานสูงสุด (Maha, 2021) และปรับแก้กำลังตามมาตรฐาน (JIS Standard, 1993) แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องมือวัดมลพิษ (Exhaust measurement) ของเครื่องยนต์ ใช้ยี่ห้อ Maha รุ่น MET 6.3 โดยสามารถวิเคราะห์แก๊สได้ 5 แก๊ส คือคาร์บอนไดมอนออกไซด์ (CO) ช่วงในการวัด 0 - 15% Vol. ความละเอียด 0.01% Vol. คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ช่วงในการวัด 0 - 20% Vol. ความละเอียด 0.01% Vol. ไฮโดรคาร์บอน (HC) ช่วงในการวัด 0 - 9,999 ppm. ความละเอียด 0.1% Vol, ออกซิเจน (O₂) ช่วงในการวัด 0 - 25% Vol. ความละเอียด 0.01% Vol และไนโตรเจนไดออกไซด์ NO_x ช่วงในการวัด 0 - 5,000 ppm ความละเอียด 1 ppm ค่าส่วนกลับของส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศหรือแลมด้า (Lambda) ช่วงในการวัด 0.5 - 9.99 ความละเอียด 1 0.01 โดยตัวเครื่องก๊าซวัดมลพิษแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องมือวัดก๊าซมลพิษ (Gas analyzer)

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ใช้เชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากโรงงานผลิตปาล์มไบโอดีเซล มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ที่ผ่านกระบวนการทรานเอสเตอร์แล้ว โดยลักษณะของสีแสดงได้ตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซล

คุณสมบัติเชื้อเพลิงดังแสดงในตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพ เปรียบเทียบของ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ความหนืดจลน์ ความหนาแน่น จุดติดไฟ เลขดัชนีซีเทนของน้ำมันดีเซล (Diesel) และน้ำมันทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันจากปาล์ม (PBDF) ผสมที่ 4 อัตราส่วนโดยปริมาตร โดยที่ผสมไบโอดีเซลโดยปริมาตร 7% เป็นส่วนผสมดีเซลทางการค้าที่ผลิตโดย ปตท.



ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

% ผสมไบโอดีเซลโดยปริมาตร	LHV Mj	Flash point °C	Density kg/m ³	Surface tension mN/m	Viscosity cst
7	45.13	68.5	823.48	26.22	3.254
20	44.41	76.5	828.79	27.17	3.35
40	43.44	82	837.5	27.38	3.653
60	42.45	90	846.14	27.68	3.895
100	39.89	170.5	862.79	28.69	4.447

การวิเคราะห์ธาตุเชื้อเพลิงที่ดีเซลผสมไบโอดีเซล การวิเคราะห์ธาตุส่วนประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงดีเซลผสมไบโอดีเซลโดยใช้เครื่อง CHNOS ยี่ห้อ Leco-628 series ตามมาตรฐาน ASTM D5291 ผลแสดงได้ในตารางที่ 2 จากผลการวัดพบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนการผสมของไบโอดีเซลขึ้นทำให้คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน มีปริมาตรที่ลดลงแต่ในทางกลับกันส่วนผสมออกซิเจนมีปริมาตรเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ส่วนธาตุของแต่ละส่วนผสมทางเคมี

% ผสมไบโอดีเซลโดยปริมาตร	คาร์บอน %	ไฮโดรเจน %	ไนโตรเจน %	ออกซิเจน %
7	85.177	14.047	0.55491	0.221
20	82.019	14.142	0.01265	3.826
40	80.521	13.695	0.01552	5.768
60	79.009	13.692	0.0994	7.199
100	78.332	13.081	0.221	8.366

3. วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทดลองได้มีการทดสอบที่ 5 ครั้งและเปรียบเทียบที่เปอร์เซ็นต์ความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ทางวิศวกรรมก่อนมาทำการวิเคราะห์เพื่อรายงานผลและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการวิจัย

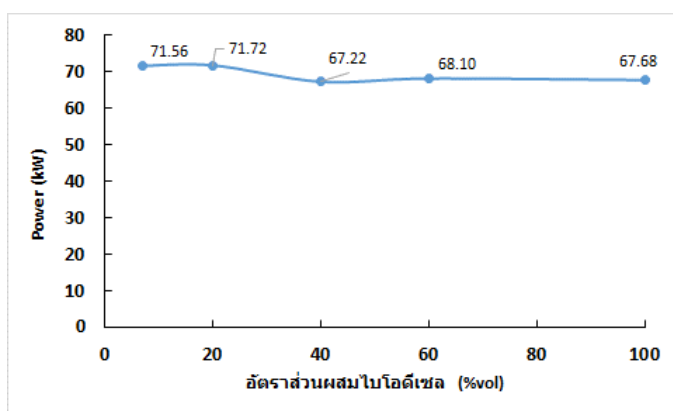
ในงานวิจัยนี้แบ่งผลการทดลองได้ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 สมรรถนะของเครื่องยนต์ และส่วนที่ 2 ค่ามลพิษของเครื่องยนต์



ส่วนที่ 1 สมรรถนะของรถยนต์

1.1 กำลังงานสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ผลิตได้

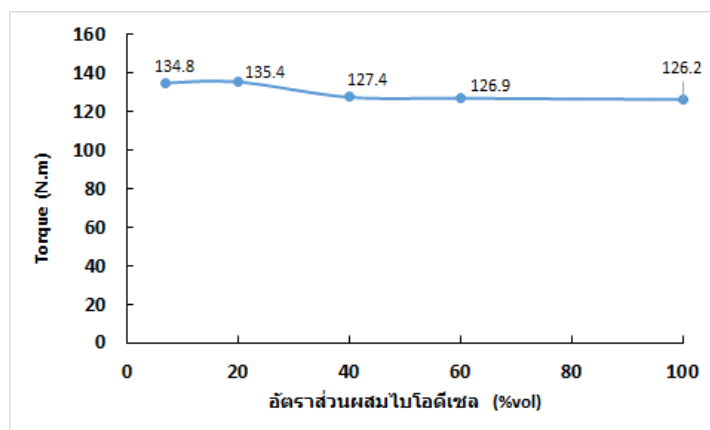
ผลของกำลังงาน (Power) สูงสุดที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ที่ความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 5 แสดงถึงของสัดส่วนเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้น ทำให้กำลังงานของเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจากค่าความร้อน (LHV) ของไบโอดีเซลทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าความร้อนเป็นกำลังงานลดลงและค่าความหนืดของไบโอดีเซลที่สูงขึ้นทำให้การคุณสมบัติการเป็นฟอยละของเชื้อเพลิงผสมตัวของเชื้อเพลิงกับอากาศที่แย่กว่า ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้และกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ลดลง



ภาพที่ 5 กำลังของเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลต่างกัน

1.2 แรงบิดของเครื่องยนต์

ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงได้ในภาพที่ 6 เนื่องจากการที่ค่ากำลังของเครื่องยนต์มีแนวโน้มลดลง ตามสัดส่วนของไบโอดีเซลที่ผสมสูงขึ้นทำให้กำลังงานน้อยลงและทำให้แรงบิดของเครื่องยนต์ลดลงตามสัดส่วนของไบโอดีเซลที่ผสมที่เพิ่มขึ้น

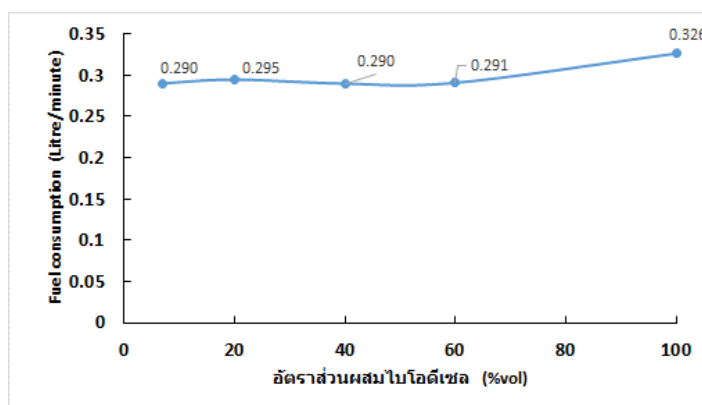


ภาพที่ 6 แรงบิดของเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลต่างกัน



1.3 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

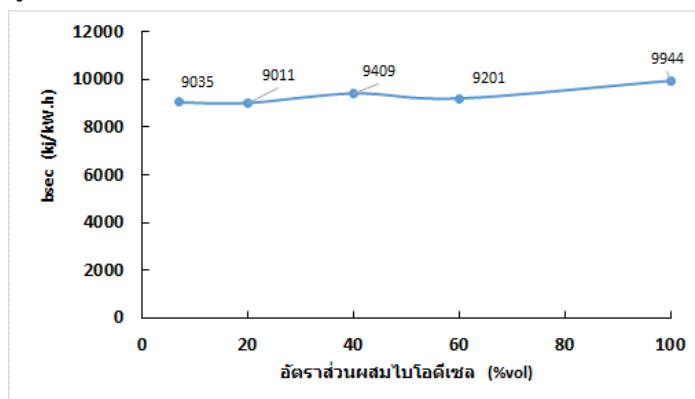
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel consumption) จากการวัดเวลาในการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อ 1 นาทีที่ และคำนวณอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงตามสมการที่ 3 ความเร็วของรถยนต์ 90 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง ในภาพที่ 7 พบว่ามวลของเชื้อเพลิงที่รถยนต์ที่ใช้มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสัดส่วนของไบโอดีเซลที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ลดลงตามสัดส่วนการผสมของไบโอดีเซล มีค่าความร้อนที่น้อยกว่าและทำให้เครื่องยนต์ต้องจ่ายปริมาณของเชื้อเพลิงเพื่อให้ความเร็วของรถยนต์เท่ากับ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



ภาพที่ 7 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลต่างกัน

1.4 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค

การคำนวณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคจากข้อมูลของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและค่ากำลังงานที่วัดได้จากเครื่องยนต์และคำนวณตามสมการที่ 2 ผลดังแสดงได้ดังภาพที่ 8 จากผลการทดลองพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสัดส่วนไบโอดีเซลที่สูงขึ้นทำให้กำลังงานของเครื่องยนต์ที่ผลิตได้ลดลงและค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น

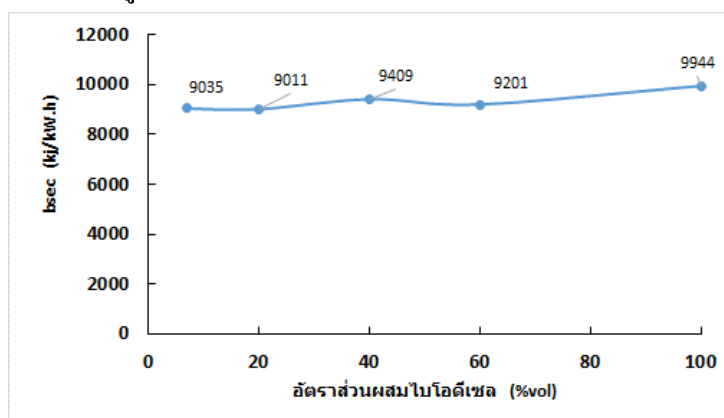


ภาพที่ 8 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลต่างกัน



1.5 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรค

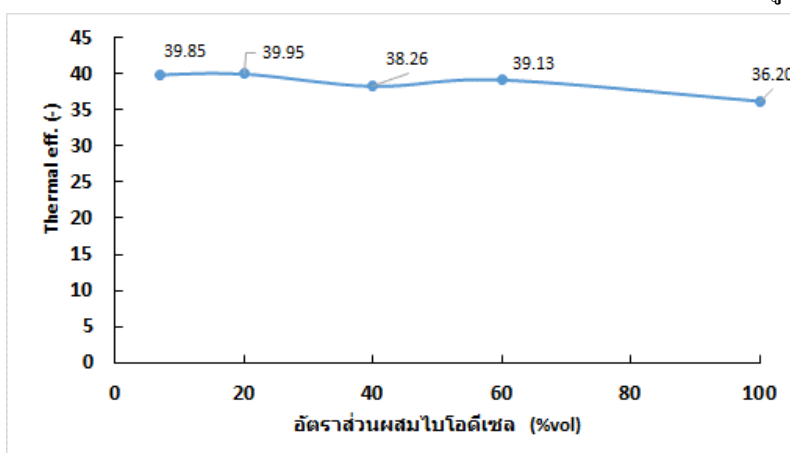
การคำนวณการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคจากข้อมูลของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงคำนวณตามสมการที่ 4 ผลดังแสดงได้ดังภาพที่ 9 จากผลการทดลองพบว่า อัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะเบรคมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสัดส่วนไบโอดีเซลที่สูงขึ้นทำให้กำลังงานของเครื่องยนต์ที่ผลิตได้ลดลงและค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น



ภาพที่ 9 การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลต่างกัน

1.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิง จากผลการคำนวณในสมการที่ 4 จากข้อมูลของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ผลของการคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนของเชื้อเพลิงแสดงได้ตามภาพที่ 10 จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีแนวโน้มที่ลดลง ที่สัดส่วนไบโอดีเซลที่สูงขึ้นทำให้กำลังงานของเครื่องยนต์ที่ผลิตได้ลดลงและค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น



ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลต่างกัน

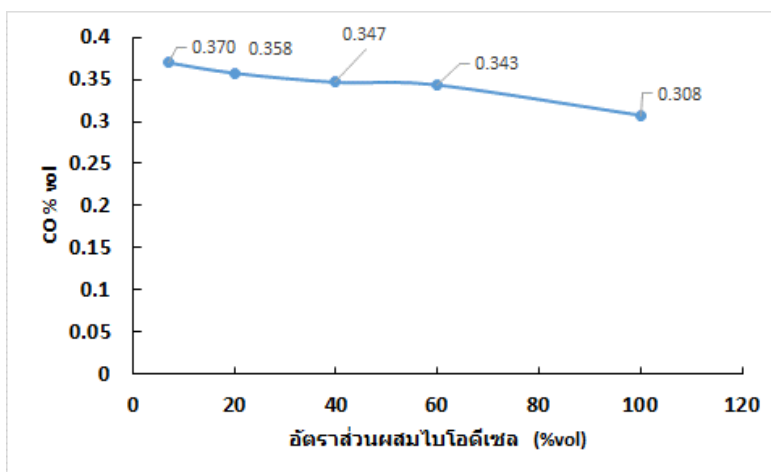


ส่วนที่ 2 มลพิษจากรถยนต์

ผลของมลพิษที่ได้จากการเผาไหม้สามารถนำเสนอผลการทดลองได้ดังนี้

2.1 คาร์บอนไดออกไซด์

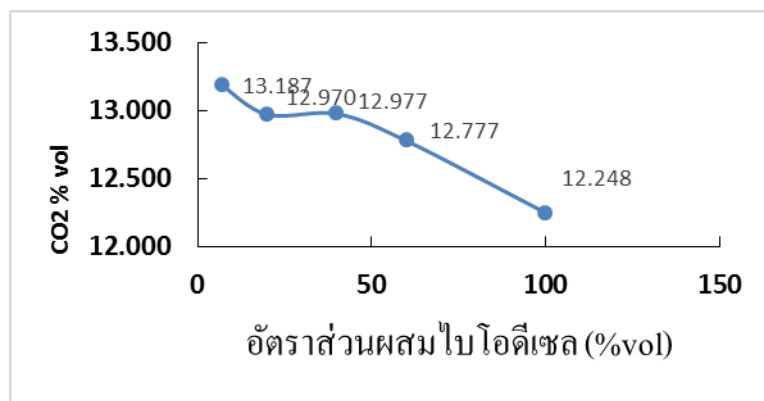
ผลการทดลองพบว่าคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้สามารถแสดงได้ในภาพที่ 11 การเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับกระบวนการออกซิเดชันและเวลาในการคลุกเคล้าของส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศ ที่รอบเครื่องยนต์สูงขึ้น หากเชื้อเพลิงผสมตัวไม่เป็นเนื้อเดียวกันระหว่างในลำ Spray ทำให้มลพิษนี้เพิ่มขึ้น แต่ในการทดลองนี้ได้ทำการคงที่ความเร็วของรถให้เท่ากันทุกเชื้อเพลิงที่ 90 กิโลเมตรต่อเชื้อเพลิง จากผลการที่การผสมไบโอดีเซลที่อัตราส่วนสูงขึ้นมีแนวโน้มให้คาร์บอนไดออกไซด์แนวโน้มลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Wirawan, Tambunan, Djamin, & Nabetani, 2008; Sivakrishna, Madhu, & Sivakumar, 2019) REF 1 REF 2 เนื่องจากสัดส่วนไบโอดีเซลที่ปริมาณของออกซิเจนที่มีผสมตัวเชื้อเพลิงทำให้การเผาไหม้ได้ดีขึ้น



ภาพที่ 11 คาร์บอนไดออกไซด์อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลต่างกัน

2.2 คาร์บอนมอนอกไซด์

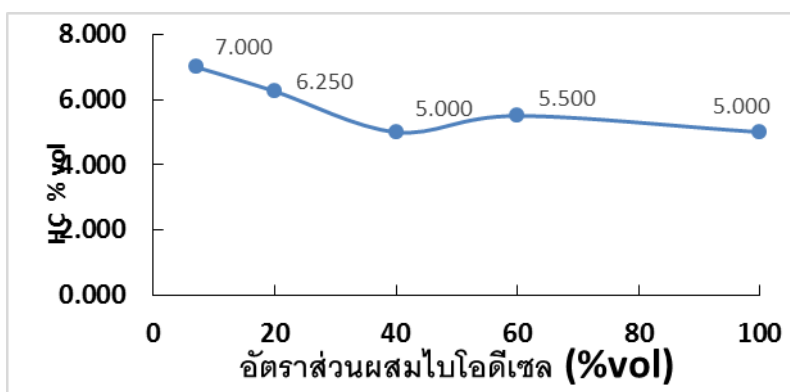
เป็นก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงกับอากาศที่ไม่สมบูรณ์ ปัจจัยที่มีผลต่อมลพิษในช่วงนี้ได้แก่ สัดส่วนของเชื้อเพลิงกับอากาศที่หนา (Rich) และรอบของเครื่องยนต์ที่จัดขึ้นที่มีผลต่อ Spray interaction จากผลการทดลองนี้พบว่าคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสัดส่วนไบโอดีเซลที่สูงขึ้นทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ลดลงเนื่องจากสัดส่วนของไบโอดีเซลที่สูงขึ้นทำให้มีส่วนผสมของออกซิเจนทำให้มีอากาศเหลือช่วยในการเผาไหม้ ตามภาพที่ 12 โดยผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Panuwat, 2020) แต่งานวิจัยนี้ใช้ส่วนผสมไบโอดีเซลที่สูงสุดไม่เกินร้อยละ 20



ภาพที่ 12 คาร์บอนมอนอกไซด์อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลต่างกัน

2.3 ไฮโดรคาร์บอนด์

จากผลการทดลองพบว่าไฮโดรคาร์บอนด์ในภาพที่ 13 พบว่ามีแนวโน้มของไฮโดรคาร์บอนด์ลดลง เนื่องจากสัดส่วนไบโอดีเซลที่สูงขึ้นทำให้ และการผสมของออกซิเจนในเชื้อเพลิงที่อัตราส่วนสูงขึ้น เร่งให้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์และเร็วขึ้นในช่วงการเผาไหม้ถ้าละอองเชื้อเพลิงเปลวไฟแบบแพร่ (Diffusion flame) ลดทำให้เกิดเขม่า Quench zone และการเกิดการชนของละอองเชื้อเพลิงที่ชนผนังห้องเผาไหม้ (Spray – wall interaction) ทำให้เกิดไหม้เชื้อเพลิงที่หมดและไฮโดรคาร์บอนด์ลดลงตาม

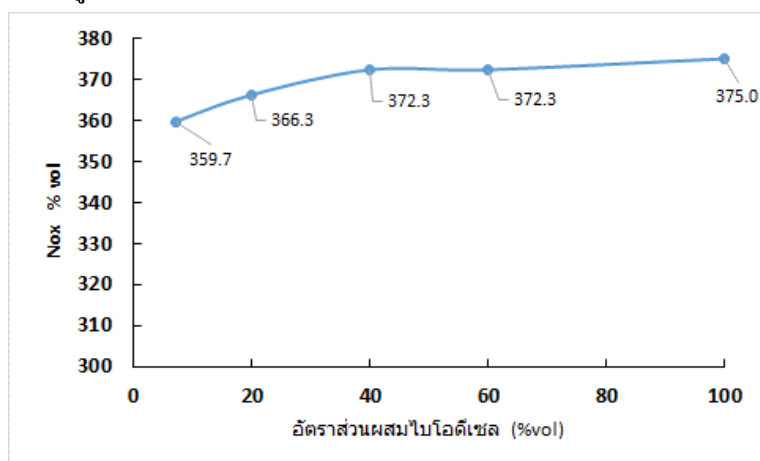


ภาพที่ 13 ไฮโดรคาร์บอนด์ที่อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลต่างกัน



2.4 ไนโตรเจนไดออกไซด์

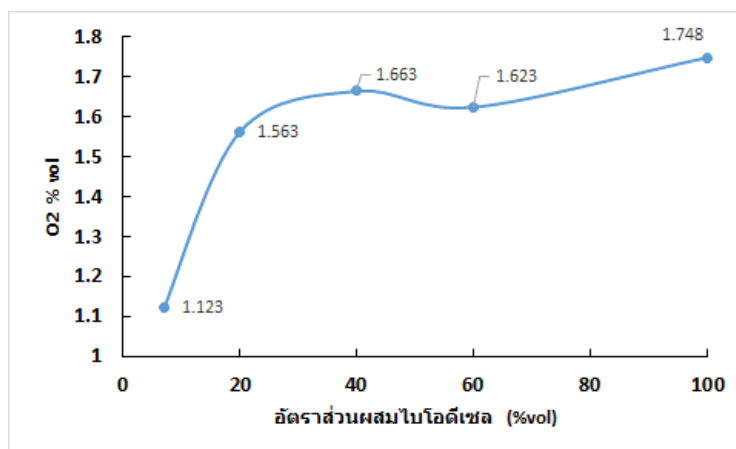
จากผลการทดลองพบว่าไนโตรเจนไดออกไซด์ในภาพที่ 14 ที่อัตราส่วนปาล์มไบโอดีเซลต่างกัน พบว่ามีแนวโน้มของไนโตรเจนไดออกไซด์ เพิ่มขึ้นเนื่องจากการที่ไบโอดีเซลมีส่วนผสมตัวของออกซิเจน ช่วยให้การเผาไหม้ได้ดีขึ้น ส่งผลให้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สูงขึ้นทำให้พันธะโมเลกุลของไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ง่ายขึ้น ทำให้การผสมไบโอดีเซลมีค่าไนโตรเจนมีแนวโน้มที่สูงขึ้น



ภาพที่ 14 ไนโตรเจนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลต่างกัน

2.5 ออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้

จากผลการทดลองพบว่าออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเพิ่มสัดส่วนไบโอดีเซลที่สูงขึ้นทำให้ออกซิเจนมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น อันมาจากออกซิเจนที่ผสมอยู่ในตัวเชื้อเพลิงจากตารางที่ 2 และทำให้มีอากาศเหลือออกจากการเผาไหม้เพิ่มขึ้นตามภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้ที่อัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลต่างกัน



อภิปรายผล

ส่วนแรก กำลังงานสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ผลิตได้ แรงบิดของเครื่องยนต์ สูงสุดที่เครื่องยนต์ผลิตได้เมื่อเพิ่มส่วนผสมของปาล์มไบโอดีเซลมีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อย สืบเนื่องจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซลที่มีค่าลดลง ตามตารางที่ 1 การเพิ่มอัตราส่วนการผสมของไบโอดีเซลที่อัตราส่วนมากขึ้น ทำให้แนวโน้มอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เนื่องจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่มีค่าน้อยกว่าทำให้ต้องใช้พลังงานโดยการจ่ายเชื้อเพลิงในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เครื่องยนต์รักษาความเร็วให้ได้เท่ากับ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากการคำนวณปริมาณเชื้อเพลิงต่อกำลังงานที่ได้ทำให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรคเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพความร้อนลดลงเล็กน้อย

ส่วนที่สอง เมื่อเพิ่มสัดส่วนของการผสมไบโอดีเซลขึ้น ทำให้ ค่ามลพิษก๊าซ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน มีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อย เนื่องจากปาล์มไบโอดีเซลมีส่วนผสมของคาร์บอนในตัวของเชื้อเพลิงที่น้อยกว่าดีเซลทางการค้าประกอบกับการในตัวเชื้อเพลิงปาล์มไบโอดีเซลมีส่วนผสมของออกซิเจน (Oxygenate) จึงทำให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีขึ้นและส่งผลให้ในโตรเจนไดออกไซด์และออกซิเจนที่เหลือจากการเผาไหม้มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

สรุป

จากผลการทดลองวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง สมรรถนะของรถยนต์และค่ามลพิษโดยใช้เซนเซอร์ไดนาโมมิเตอร์สามารถสรุปได้ดังนี้

1. กำลังงานและแรงบิดของรถยนต์ใช้ปาล์มไบโอดีเซล อัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของปาล์มไบโอดีเซลมีแนวโน้มที่ลดลง
2. อัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรค มีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มส่วนผสมของปาล์มไบโอดีเซล
3. ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของปาล์มไบโอดีเซลมีแนวโน้มที่ลดลง
4. ผลของคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของไบโอดีเซลขึ้นและอากาศที่เหลือจากการเผาไหม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น

ทั้งนี้การใช้ไบโอดีเซลที่เป็นพลังงานทางเลือกสำหรับยานยนต์สามารถลดสถานะเรือนกระจกได้เนื่องจากมลพิษจำพวกคาร์บอนมีค่าลดลง



ข้อเสนอแนะ

1. ควรใช้รถยนต์ดีเซลที่เป็นหัวฉีดแบบท่อรวม (Common rail) ในการทดสอบค่ามลพิษ
2. หากมีการติดตั้งระบบการหมุนวนของไอเสีย ก็จะมีควมน่าสนใจในการลดค่าไนโตรเจนไดออกไซด์
3. หากมีการวัดความดันในการเผาไหม้จึงสามารถอธิบายพฤติกรรมในการเผาไหม้ร่วมกับการเกิดก๊าซมลพิษได้ละเอียดชัดเจนยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยด้านวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยนี้

รายการอ้างอิง (References)

- Energy. (2021). *Climate change*. Retrieved May 15, 2021 from <https://www.energy.gov/science-innovation/climate-change>.
- Jerasak, P. (2006). *Testing the use of used vegetable oil mixed with diesel in small diesel engines*. The thesis submit to Prince of Songkha University. (in Thai).
- JIS Standard. (1993). *Road vehicle Engine power test code*. Retrieved May 15, 2021 from <https://www.jis.co.jp> accessed on 15/5/64.
- John, B.H. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. (2nd Ed) ISBN: 9781260116106 McGraw Hill, Now York.
- Kanit, W., & Proruksa, R. (2016). Cooking Oil (HiBD) A Comparative Study of using Synthetic Diesel from Waste Cooking Oil (HiBD) and Commercial Diesel Fuel on a Vehicle's Fuel Consumption and Emissions, *Kasetsart Engineering Journal*, 29 (97), 13-24.
- Karoon, F. (2017). *Quality Improvement of Crude Palm Oil by using Zinc Oxide Nano crystals catalytic for Low Speed Diesel Engine* research report. (in Thai).
- Kunanon, K., & Tangchaichit, S. (2013). Study Performance and Emission Characteristics in High Speed Diesel Engine when using Biodiesel from Chicken Tallow. *KKU Research Journal*, 18 (8), 616-627



- Maha (2021). *LPS 3000 Dynamometer for Passenger Cars user manual*. Retrieved May 15, 2021 from Maha.com.
- Palm Oil Industry. (2021). *Industry Outlook 2020-2022*. Retrieved May 15, 2021 from <https://www.krungsri.com/en/research/industry/industry-outlook/Agriculture>.
- Panuwat, K. (2020). *Impact of Alterative diesel Fuel on Engine Emissions Under the High way fuel Economy test cycles*. Master's thesis, Department of Mechanical engineering, Faculty of Engineering and Design, Kasersart Unniversity Sriracha campas (in Thai).
- Royal of Thai naval dockyard. (2021). *Biodiesel from engine*. Retrieved May 15, 2021 from <https://www.nrdo.navy.mi.th>.
- Sivakrishna, T., Madhu, S., & Sivakumar, K. (2019). *The effect of palm biodiesel fuel on the performance of automotive four stroke diesel engine*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 574.
- Taweesak, k. (2016). *Performance and Emission Characteristics of Using Degummed, Deacidified Palm OilDiesel Blends in Vehicle Diesel Engine (IDI) Blende 20% by volume*. The 35th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand (23thME - NETT 2021), Changmai, Thailand. (in Thai).
- Wirawan, S., Tambunan, A.H., Djamin, M., & Nabetani, H. (2008). The Effect of Palm Biodiesel Fuel on the Performance and Emission of the Automotive Diesel Engine. *Agricultural Engineering International: the CIGRE Journal*, 7(5)