การประยุกต์ใช้น้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรขนาดเล็ก

Application of Plastic Waste Pyrolysis Oil for Small Agricultural Diesel Engine

นิกราน หอมดวง[1,*] กิตติกร สาสุจิตต์[1] ประภัสสร รัตนไพบูลย์[1] ชูรัตน์ ธารารักษ์[1] และ สุรพล ริยะนา[1]

Nigran Homdoung[1,*] Kittikorn Sasujit[1] Praphatsorn Rattanaphaiboon[1] *Churat Tararux*[1] and Surapon Riyana[1]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1] School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

[1]Corresponding author: Tel.: 084-1773632. E-mail address: nigranghd@gmail.com

Received: 30 May 2024, Revised: 28 July 2024, Accepted: 18 December 2024, Published online: 30 December 2024

Abstract

Plastic waste is a major environmental problem, transforming plastic waste into fuel for use in agricultural engines is interesting and sustainable environmental management approach. This research aims to study and apply pyrolysis oil from plastic waste to agricultural diesel engine as a guideline for plastic waste management in the future. Plastic waste pyrolysis oil was obtained from a fast pyrolysis process. The experiment was mixed with Diesel B7 at a ratio of 10%, 25%, and 50% and tested compare with 100% Diesel B7. The test engine was used a 598 CC, single cylinder and connected to a 5 kW dynamometer. The engine speed was adjusted in a range of 1,000-2,000 rpm and using a constant 60% of load. The results were found that, the agricultural diesel engine was worked well with using B7 diesel mixed with plastic waste pyrolysis oil at a ratio of 10%. The engine was provided performance in engine torque, brake power, thermal efficiency, fuel and energy consumption lower than using 100% Diesel B7. Exhaust emission, Using B7 diesel fuel mixed with plastic waste pyrolysis oil was produced higher carbon monoxide and hydrocarbon than using B7 diesel alone and exhaust emission was obtained within standards. When pyrolysis waste plastic oil can be used as fuel for diesel engines. Therefore, the government should promote and expand technology for transforming plastic waste into fuel to reduce plastic waste problems and reduce diesel imports in Thailand.

Keywords: Plastic waste, Pyrolysis oil, B7 diesel, Agricultural diesel engine

พลังงานเพื่อการเกษตร (Energy for Agriculture) EA

บทคัดย่อ

ขยะพลาสติกเป็นปัญหาสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนรูปขยะพลาสติกเป็นเชื้อเพลิงสำหรับใช้งานกับเครื่องยนต์การเกษตรจึงมีความน่าสนใจและเป็นการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้น้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกกับเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการขยะพลาสติกในอนาคต น้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติกได้มาจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว การใช้งานได้นำไปผสมกับน้ำมันดีเซล บี 7 ในสัดส่วน 10% 25% และ 50% และทดสอบเทียบกับน้ำมันดีเซล บี 7 แบบ 100% เครื่องยนต์ทดสอบเป็นเครื่องสูบเดียว ขนาด 598 CC ต่อร่วมกับชุดไดนาโมมิเตอร์ขนาด 5 kW ดำเนินการปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ในช่วง 1,000-2,000 rpm ใช้ภาระโหลด 60% คงที่ ผลการศึกษาพบว่าเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรสามารถเดินเครื่องยนต์ได้ดีเมื่อใช้น้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่สัดส่วน 10% เครื่องยนต์ให้สมรรถนะด้านแรงบิด กำลังเบรค ประสิทธิภาพความร้อนเครื่องยนต์ อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและพลังงาน ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล บี 7 แบบ 100% มลพิษไอเสีย การใช้น้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติกให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล บี 7 อย่างเดียว และมลพิษที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติกสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้ ดังนั้นควรมีการส่งเสริมขยายผลเทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเพื่อลดปัญหาขยะพลาสติกและการนำเข้าน้ำมันดีเซลของประเทศไทย

คำสำคัญ: ขยะพลาสติก น้ำมันไพโรไลซิส น้ำมันดีเซล บี7 เครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร

บทนำ

พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ชีวิตของผู้คน การผลิตพลาสติกจะมีการใส่สารไมโครพลาสติก (Micro plastic) ซึ่งสารเหล่านี้จะย่อยสลายได้ยาก สุดท้ายกลายเป็นขยะตกค้างในสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพต่อผู้คน พลาสติกเป็นวัสดุที่คงทนต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ดังนั้นการสลายตัวโดยธรรมชาติจะเกิดขึ้นได้ช้ามาก ยกตัวอย่าง เช่น ในกรณีของโพลิเอธิลีนต้องใช้เวลาในการย่อยสลายมากกว่า 100-200 ปี เป็นต้น [1] ประเทศไทยปัจจุบันมีประมาณขยะพลาสติกเฉลี่ย 12% ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด คิดเป็นน้ำหนักเฉลี่ย 2 ล้านตัน/ปี [2] อย่างไรก็ตามก็มีความพยายามนำกลับมาใช้ใหม่เฉลี่ย 0.5 ล้านตัน/ปี คิดเป็น 25% ส่วนที่เหลือ 1.5 ล้านตัน หรือ 75% ไม่มีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ ขยะพลาสติกส่วนใหญ่เป็นขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว เช่น ถุงร้อน ถุงเย็น ถุงหูหิ้ว แก้วพลาสติก หลอดพลาสติก เป็นต้น ขยะพลาสติกทั้งหมดจะถูกนำไปทิ้งในหลุมฝังกลบเนื่องจากเป็นวิธีการที่มีต้นทุนต่ำสุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น แนวคิดในการจัดการปัญหาขยะพลาสติกโดยการนำไปผลิตพลังงาน (Waste to energy) เป็นแนวคิดที่เป็นไปได้และน่าจะเกิดความยั่งยืนสูงสุดในการกำจัดขยะพลาสติก [3] กล่าวคือแนวคิดนี้เป็นกระบวนการย้อนกลับที่ทำให้ขยะพลาสติกย่อยสลายด้วยความร้อนจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast pyrolysis) พลาสติกจะเปลี่ยนรูปเป็นสารไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพและสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ [4] การใช้งานในอนาคต กรณีชุมชนต้องดำเนินการบริหารจัดการขยะในชุมชนด้วยตนเอง ชุมชนสามารถสร้างเครื่องปฏิกรณ์ในการเปลี่ยนรูปขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเองได้ ตลอดจนมีองค์ความรู้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสให้สามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรได้ วิธีการแบบนี้จะเป็นแนวทางในการบริหารจัดการหรือกำจัดขยะพลาสติกในชุมชนอนาคตได้ การใช้น้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติกสามารถนำมาใช้ได้ดีกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน [5-6] ทั้งในส่วนของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยความร้อนและจุดระเบิดด้วยประกายไฟ [5-6-7] ในภาพรวมคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติกที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วจะมีค่าพลังงานความร้อนที่ต่ำ

กว่าน้ำมันดีเซล [8] แต่ในขณะที่มีการนำมาปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงด้วยเทคนิคทางตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) แล้วจะมีคุณสมบัติทางพลังงานความร้อนและทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล [9] การนำไปใช้ส่วนใหญ่จะมีการนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 10-50% น้ำมันสามารถใช้งานได้ดีอยู่ในช่วงการผสม 10-20% [10] อย่างไรก็ตาม เมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลก็พบว่าเครื่องยนต์สามารถทำงานได้ดี มีสมรรถนะในส่วนกำลังเบรก แรงบิด และประสิทธิภาพความร้อนต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเล็กน้อย [11] ในส่วนของอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงก็พบว่าการใช้น้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติกกับน้ำมันดีเซลมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สูงกว่าซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1-15% [12] จากผลการตรวจสอบเอกสารก็จะพบว่าการใช้น้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติกกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีความน่าสนใจ เป็นเชื้อเพลิงที่มีศักยภาพและมีความเป็นไปได้สูงเมื่อนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาและทดลองนำเอาน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรขนาดเล็ก ในรูปแบบการนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลบี 7 ในสัดส่วนต่าง ๆ จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์และมลพิษไอเสียที่ได้จาการทดลอง เพื่อเป็นข้อมูลสำคัญในการยืนยันสำหรับการนำเอาน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติกไปใช้งานในสัดส่วนที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรขนาดเล็กของชุมชน ซึ่งถ้าในอนาคตชุมชนมีการนำน้ำมันชนิดนี้ไปใช้งาน จะทำให้ลดการนำเข้าน้ำมันสำเร็จรูปจากต่างประเทศได้และที่สำคัญจะช่วยลดและแก้ไขปัญหาขยะพลาสติกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของประเทศไทยในอนาคตได้

วิธีการวิจัย

น้ำมันไพโรไลซิส น้ำมันดีเซล และการเตรียม

น้ำมันไพโลไรซิสที่ใช้ทดลองเป็นน้ำมันที่ได้มาจากการคัดแยกขยะพลาสติกกลุ่มโพลีเอทิลีน (Polyethylene) และนำเอาขยะพลาสติกนั้นไปย่อยสลายด้วยกระบวนการไพโลไรซิสแบบเร็วที่มีอุณหภูมิในช่วง 350-400 °C ได้น้ำมันพลาสติกไพโรไลซิสสีน้ำตาลที่มีความหนืดสูงออกมา จากนั้นนำเอาน้ำมันไพโลไรซิสที่ได้เข้าสู่กระบวนการกลั่นอย่างง่ายเพื่อให้ได้น้ำมันไพโรไลซิสมีความหนืดและความใสที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ผสมกับน้ำมันดีเซล น้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกและน้ำมันดีเซล แสดงดังตารางที่ 1 การนำไปใช้ทดสอบกับเครื่องยนต์ได้นำน้ำมันไพโลไรซิสไปผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วน 10% 25% และ 50% ต่อมานำเอาน้ำมันที่ผสมแล้วไปวิเคราะห์หาค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมแครอลิมิเตอร์โดยให้ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 43.21 MJ/kg 44.25 MJ/kg และ 44.88 MJ/kg ตามลำดับ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติน้ำมันดีเซลและน้ำมันไพโลไรซิสขยะพลาสติก

Fuel properties	Method	Limit	Diesel (B7)	PPO
Density at 15.6 °C (kg/m^3)	ASTM D4052	-	835	823
Flash Point (°C)	ASTM D93	>52	66	54
Kinematic Viscosity at 40 °C (cSt)	ASTM D445	1.8-4.1	3.44	3.11
Pour point (°C)	ASTM D97	<10	-8.7	-
Specific gravity at 15.6 °C	ASTM D4052	0.81-0.87	0.835	0.824
Cetane number	ASTM D613	>50	56.57	46.7
Gross calorific value (MJ/kg)	ASTM D240	-	45.56	45.24

เครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร และไดนาโมมิเตอร์

ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกร่วมกับน้ำมันดีเซลได้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรแบบสูบเดียว ขนาดความจุ 598 ซีซี 11 hp และระบายความร้อนด้วยน้ำ เครื่องยนต์ดีเซลได้ต่อร่วมกับ ชุดไดนาโมมิเตอร์ขนาด 5 kW และใช้ฮีตเตอร์ความร้อนขนาด 5 kW เป็นภาระโหลดของเครื่องยนต์ ภาระโหลดสามารถปรับได้ตั้งแต่ 10-100% หรือ 0.5-5 kW รายละเอียดข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ดีเซลและชุดไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ทดสอบแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ทดลอง

Specifications of engine	Detail
Engine type	Diesel, single cylinder, 4-stroke, horizontal
Model	ET 110
Bore x Stroke (mm)	92 x 90
Displacement (cm^3)	598
Compression ratio	21:1
Standard injection pressure (Bar)	200
Alternator model	Daici 5 kW, 220V
Load of engine	5 KW Tubular heater

วิธีการทดลอง และการวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล

การทดลองได้ดำเนินการทดสอบศึกษาหาผลกระทบของสัดส่วนน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันไพโรไลซิส (Diesel: PPO) ทั้งหมด 3 สัดส่วน คือ (10% หรือ 90:10) (25% หรือ 75:25) และ (50% หรือ 50:50) น้ำมันที่ได้ทั้ง 3 สัดส่วน นำมาใช้ทดสอบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล 100 นอกจากนี้ การทดลองยังได้มีการศึกษาผลของการปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีต่ออัตราความสิ้นเปลืองน้ำมัน (Fuel consumption: m) อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption: SEC) แรงบิดเครื่องยนต์ (Torque: T) กำลังเบรกเครื่องยนต์ (Brake power: Pb) ประสิทธิภาพทางความร้อนเบรค (Brake thermal efficiency: h_{th}) และมลพิษที่เกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบอยู่ในช่วง 1,000-2,000 rpm อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง แรงบิดเครื่องยนต์ กำลังเบรกเครื่องยนต์ ประสิทธิภาพทางความร้อน และอัตราความสิ้นเปลืองพลังงาน ของการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซลมีสมการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้ [4-13]

$$FC = \frac{m(1,000)}{r\,t} \tag{1}$$

เมื่อ FC คือ อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (L/h) m คือ อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (kg) r คือ ความหนาแน่นน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/m^3) และ t คือ เวลาในการเดินเครื่องยนต์ (h)

$$T = Wgr \tag{2}$$

เมื่อ T คือ แรงบิดเครื่องยนต์ (N•m) W คือ น้ำหนักที่เกิดจากการบิดตัวของไดนาโมมิเตอร์ผ่านโหลดเซลล์ (kg) g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2) และ r คือ รัศมีของน้ำหนักที่เกิดจากการบิดตัวของไดนาโมมิเตอร์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.23 m

$$Pb = \frac{2pTN}{60} \tag{3}$$

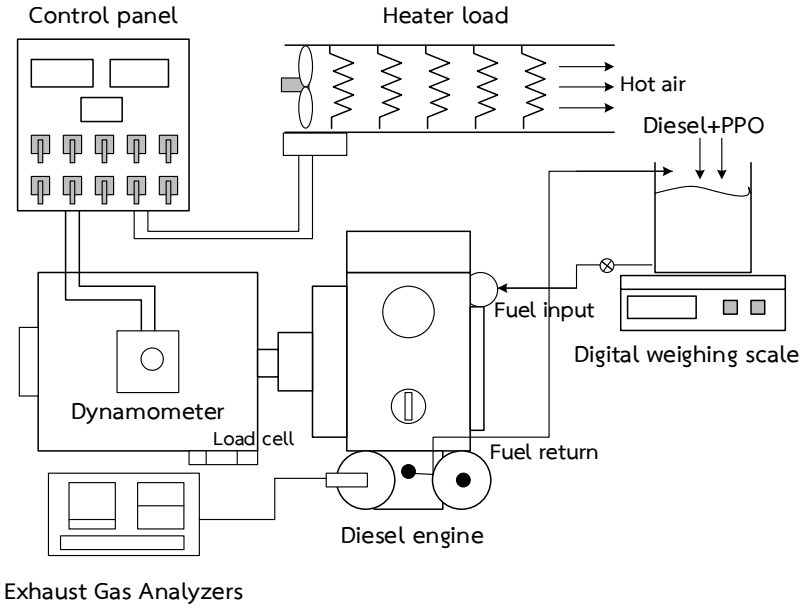
เมื่อ Pb คือ กำลังเบรกเครื่องยนต์ (W) และ N คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)

$$h_{th} = \frac{Pb}{m_C LHV} \tag{4}$$

เมื่อ m_C คือ อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (kg/s) และ LHV คือ ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (MJ/kg)

$$SEC = \frac{m_C LHV(3.6¥10^6)}{Pb} \tag{5}$$

เมื่อ SEC คือ อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kWh)

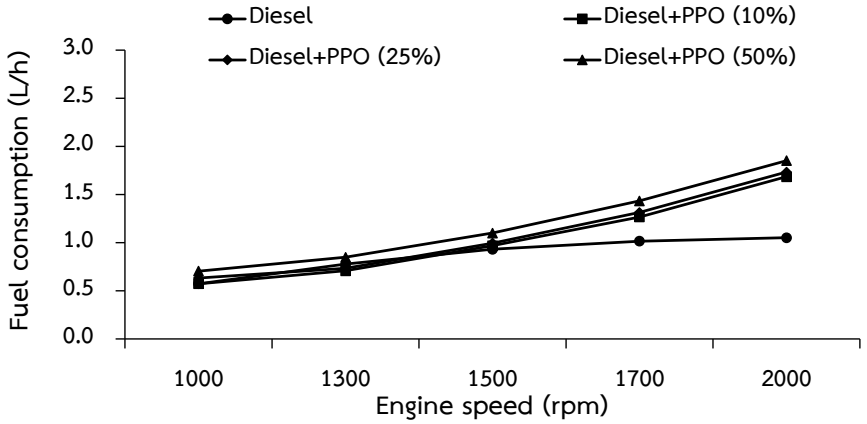


ภาพที่ 1 ไดอะแกรมการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันน้ำมันดีเซล ปี7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติก

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นค่าที่แสดงความเชื่อมโยงถึงความคุ้มค่าหรือต้นทุนการนำน้ำมันเชื้อเพลิงไปใช้ในอนาคต ภาพที่ 2 แสดงผลการปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรจาก 1,000-2,000 rpm เทียบกับอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด พบว่าการปรับเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์ทำให้อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด เพิ่มสูงขึ้น โดยการใช้น้ำมันดีเซลที่ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสที่สัดส่วน 10-50% ให้อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลบี 7 แบบ 100% เนื่องจากน้ำมันดีเซลที่ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลที่ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิส จึงเป็นสาเหตุให้มีอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันสูงกว่า [14] อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบในส่วนของการใช้น้ำมันดีเซลบี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสที่สัดส่วน 10-50% พบว่าอัตราส่วนผสมน้ำมันดีเซลต่อน้ำมันไพโรไลซิส 50% ให้อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุดทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสที่สัดส่วน 10% ให้อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงต่ำสุดและมีค่าอยู่ในช่วง 0.57-1.68 L/h ในขณะที่การใช้น้ำมันดีเซลบี 7 แบบ 100% ให้อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 0.57-1.05 L/h ภายใต้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000-2,000 rpm

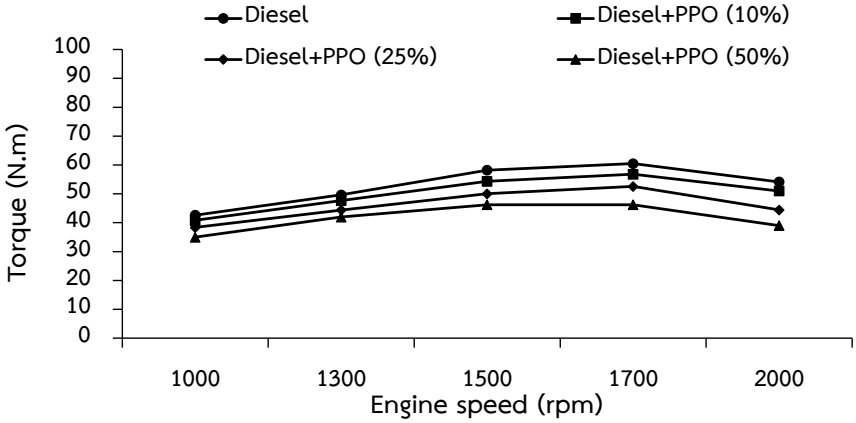


ภาพที่ 2 ผลการปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์กับอัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

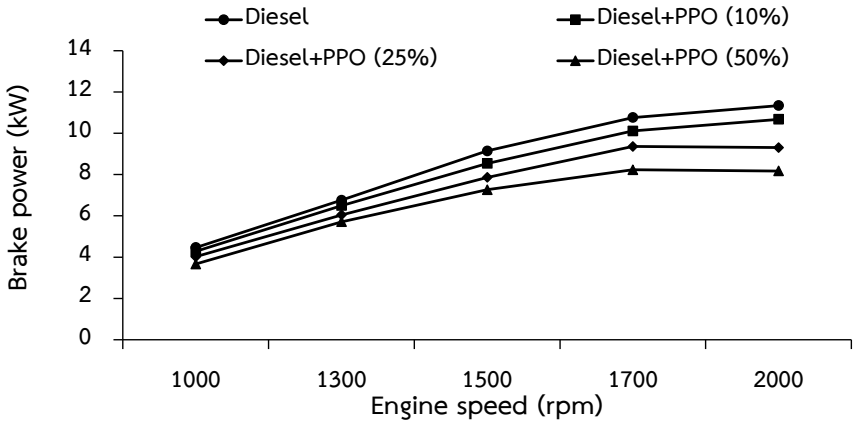
แรงบิดและกำลังเบรกเครื่องยนต์

ภาพที่ 3 แสดงผลการปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีผลกระทบต่อแรงบิดเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด โดยพบว่าการเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์จาก 1,000-1,700 rpm แรงบิดเครื่องยนต์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยการใช้น้ำมันดีเซล บี7 แบบ 100% ให้แรงบิดเครื่องยนต์สูงสุด ถัดมาเป็นน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกที่สัดส่วน 10% 25% และ 50% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์เป็น 2,000 rpm แรงบิดเครื่องยนต์ของการใช้น้ำมันทั้ง 4 ชนิด มีแนวโน้มลดต่ำลงเนื่องจากเกิดการสูญเสียการไหลของอากาศภายในช่องไอดี ลิ้นไอดี และการสูญเสียเนื่องจากความฝืดของชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ซึ่งปัจจัยทั้ง 2 ประเภทจะทำให้แรงบิดเครื่องยนต์และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรลดลง [15] แรงบิดเครื่องยนต์สูงสุดของการใช้น้ำมันดีเซล บี7 แบบ 100% เท่ากับ 60.47 N·m ในขณะการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโรไลซิส 10% ให้แรงบิดสูงสุด 56.81 N.m ในด้านกำลังเบรกเครื่องยนต์พบว่าการเพิ่มความเร็วรอบจะทำให้กำลังเบรกเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้น การใช้น้ำมันดีเซล บี7 แบบ 100% และการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโรไลซิส 10% ยังคงให้กำลังเบรกสูงสุดคิดเป็น 11.34 kW และ 10.68 kW ตามลำดับ ในขณะที่การใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสส่งผลให้กำลังเบรกเครื่องยนต์ลดลง ตัวค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล บี7 แบบ 100% เป็นตัวแปรสำคัญที่

ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดต่ำลง [16] อย่างไรก็ตามด้วยกำลังเบรคเครื่องยนต์ที่ลดลงเพียง 5.3% ดังนั้นการนำเอาน้ำมันไพโลไรซิสพลาสติกไปใช้งานจึงมีความเป็นไปได้สูงซึ่งถ้ามีการนำไปใช้จริงจะสามารถช่วยบรรเทาหรือลดปริมาณการกำจัดขยะพลาสติกให้กับชุมชนได้อีกทางหนึ่ง



ภาพที่ 3 แรงบิดเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติก

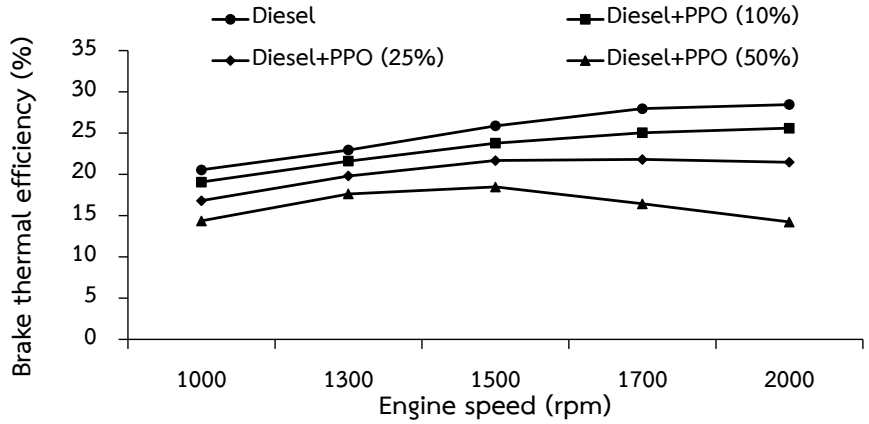


ภาพที่ 4 กำลังเบรกเครื่องยนต์ที่ได้จากการปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ประสิทธิภาพความร้อนเครื่องยนต์

ประสิทธิภาพความร้อนเครื่องยนต์เป็นตัวเลขแสดงถึงอัตราส่วนกำลังที่เครื่องยนต์ผลิตได้เทียบกับพลังงานของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ โดยทั่วไปเครื่องยนต์ดีเซลจะให้ประสิทธิภาพความร้อนอยู่ในช่วง 30-35% [17] ผลการทดลองพบว่าการใช้น้ำมันดีเซล บี 7 แบบ 100% ให้ประสิทธิภาพความร้อนอยู่ในช่วง 20.54 – 28.45% ช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000-2,000 rpm ในขณะที่การใช้การใช้น้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกที่ 10% 25% และ 50% ให้ประสิทธิภาพทางความร้อนอยู่ในช่วง 19.06-25.59 % 16.81-21.47 % และ 14.37-18.48 % ตามลำดับ จากข้อสังเกตกำลังเบรคและประสิทธิภาพความร้อนเครื่องยนต์ของการใช้น้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกที่ 25% และ 50% ความเร็วรอบเครื่องยนต์ในช่วง 1,700-2,000 rpm กำลังเบรกและประสิทธิภาพความร้อนเครื่องยนต์มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะการใช้น้ำมันดีเซลบี 7 ผสมกับน้ำมันน้ำมันไพโรไลซิสที่สัดส่วน 50% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้น้ำมันที่สัดส่วนนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคตได้ อย่างไรก็ตามถ้ามี

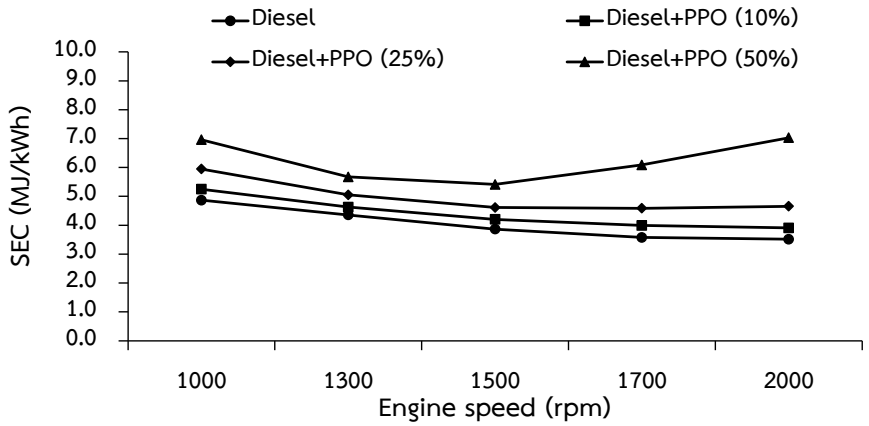
การนำเอาน้ำมันนี้ไปเพิ่มคุณภาพด้วยการเติมสารเพิ่มคุณภาพพิเศษบางอย่างลงไปก็จะทำให้เครื่องยนต์สามารถเดินเครื่องยนต์ในรอบที่สูงขึ้นได้เช่นกัน [18]



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพความร้อนเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติก

อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องยนต์เทียบกับกำลังที่ผลิตได้ โดยทั่วไปในกรณีของการใช้น้ำมันดีเซลที่สภาวะความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำจะให้อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานสูง ในขณะที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจะลดต่ำลง อย่างไรก็ตามผลการทดลองงานวิจัยนี้พบว่าการใช้น้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติก 25-50% ช่วงปลายความเร็วรอบเครื่องยนต์จะให้อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่สูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานมีสาเหตุมาจาก น้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกมีค่าความร้อนต่ำ เครื่องยนต์จะชดเชยด้วยการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นหรือกล่าวได้ว่าเมื่อเครื่องยนต์เติมน้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์จะลดลง [19-20] จากภาพการใช้น้ำมันดีเซลบี 7 แบบ 100% ให้อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำสุด ถัดมาเป็นน้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกที่ 10% 25% และ 50% ตามลำดับ อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติก 10% มีค่า 50-30 MJ/kWh และ 50-30 MJ/kWh ตามลำดับ



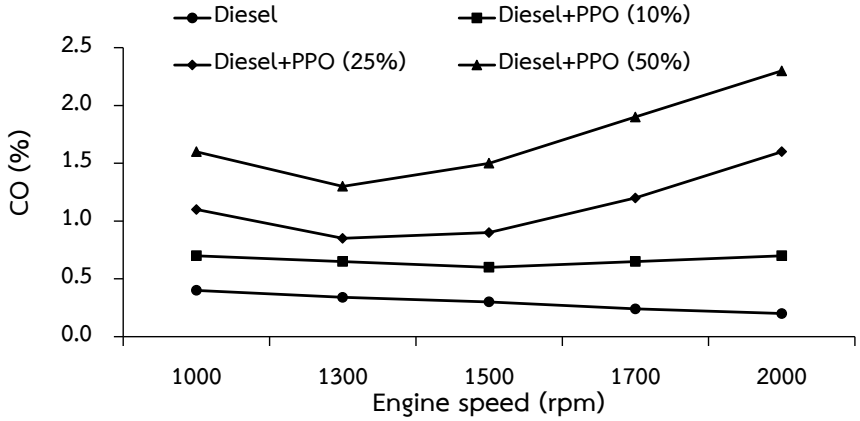
ภาพที่ 6 การวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

การวิเคราะห์ไอเสียเครื่องยนต์

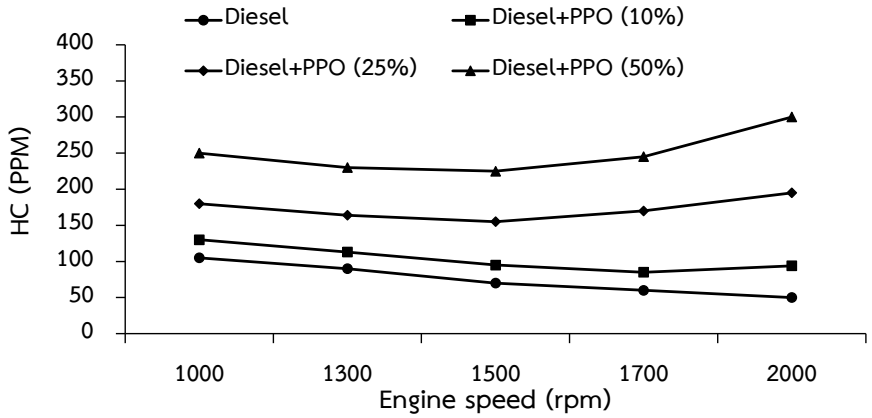
การประเมินมลพิษไอเสียเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรจากการใช้น้ำมันทั้ง 4 ชนิด พบว่าการปรับเพิ่มความเร็วรอบส่งผลต่อการเพิ่มและลดปริมาณมลพิษของเครื่องยนต์ กล่าวคือในส่วนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล บี 7 100% และการใช้น้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติก 10% ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกที่ 25-50% มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เมื่อใช้ความเร็วรอบสูงจะทำให้อัตราความสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้น ในสภาวะนั้นปริมาณออกซิเจนเข้าสู่เครื่องยนต์ไม่เพียงพอทำให้อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงจะหนาและส่งผลให้การเผาไหม้ในกระบอกสูบไม่สมบูรณ์และเกิดปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สูงในที่สุด [6] การใช้น้ำมันดีเซล บี 7 100% และน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกที่ 10% ให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วง 0.2-0.4 ppm และ 0.65-0.70 ppm ตามลำดับ ในขณะที่การใช้น้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกที่ 25-50% ให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สูง และอยู่ในช่วง 0.85-1.60 ppm และ 1.30-2.30 ppm ตามลำดับ

ในด้านการวิเคราะห์ปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอน พบว่าการปรับเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์ส่งผลต่อการเพิ่มและลดปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอน โดยมีทิศทางและแนวโน้มที่สอดคล้องกับการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่สภาวะความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงการใช้น้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกที่ 25-50% จะทำให้การเผาไหม้ในกระบอกสูบไม่สมบูรณ์ และเกิดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงตกค้างหรือเผาไหม้ได้ไม่หมด มวลของเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้จะถูกปล่อยออกมาในจังหวะคายของเครื่องยนต์ [21] การใช้น้ำมันดีเซล บี 7 แบบ 100% และการใช้น้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกที่ 10% ให้ปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนอยู่ในช่วง 50-105 ppm และ 85-130 ppm ตามลำดับส่วนการใช้น้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกที่ 25-50% ให้ปริมาณแก๊สไฮโดรคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้นและอยู่ในช่วง 155-195 ppm และ 225-300 ppm ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามเมื่อนำปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และแก๊สไฮโดรคาร์บอนเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ได้ไม่เกิน 4.5% และ 1000 ppm ตามลำดับ พบว่าการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิด ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้นในส่วนของมลพิษไอเสียจึงสรุปได้ว่า การนำเอาการใช้น้ำมันดีเซล บี 7 ผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติกที่สัดส่วน 10% 25% และ50% ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้



ภาพที่ 7 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติก



ภาพที่ 8 ปริมาณไฮโดรคาร์บอนเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสขยะพลาสติก

สรุปผลการวิจัย

การนำเอาน้ำมันไพโลไรซิสพลาสติกชนิดกลั่นอย่างง่ายไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตรขนาดเล็กสามารถนำไปใช้ได้ในรูปแบบของการนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลบี 7 และมีสัดส่วนผสมที่เหมาะสมสูงสุดคือ 10% คือใช้น้ำมันดีเซล 90% และน้ำมันไพโรไลซิสพลาสติก 10% ในด้านของอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง แรงบิดและกำลังเบรกเครื่องยนต์ ประสิทธิภาพความร้อน อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และมลพิษไอเสียมีสมรรถนะต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล อีกด้านในส่วนของการใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโลไรซิสพลาสติกที่สัดส่วน 25% เบื้องต้นยังไม่มีความเหมาะสมเพียงพอสำหรับการนำไปใช้ เนื่องจากสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้ยังค่อนข้างต่ำ การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโรไลซิสที่สัดส่วน 10% ให้อัตราความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ในช่วง 0.57-1.68 L/h ประสิทธิภาพทางความร้อนอยู่ในช่วง 19.06-25.59% จากผลการทดลองในปัจจุบันและที่จะเกิดขึ้นในอนาคต การนำเอาขยะพลาสติกมาเปลี่ยนรูปเป็นน้ำมันไพโรไลซิสและนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงผสมกับน้ำมันดีเซลมีโอกาสทำให้ปริมาณขยะพลาสติกลดลงได้และเป็นอีกแนวทางหนึ่งของการกำจัดขยะพลาสติกได้อย่างยั่งยืน

ข้อเสนอแนะ

การใช้น้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโลไรซิสพลาสติกที่สัดส่วน 25% ส่งผลให้สมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลค่อนข้างต่ำ เพื่อให้ได้สัดส่วนที่เพิ่มขึ้นสูงมากกว่า 10% สามารถดำเนินการได้ 2 แนวทาง คือ การทดสอบเพิ่มเติมในสเกลความถี่ที่ต่ำลงอีกครั้ง เช่น ที่สัดส่วน 5% 10% 15% 20% และ 25% และการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันให้เพิ่มสูงขึ้น เช่น การเติมสารเพิ่มคุณภาพสำหรับการเพิ่มค่าความร้อนเชื้อเพลิง เป็นต้น นอกจากนี้ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันไพโลไรซิสพลาสติกในระยะยาวที่ใช้งานแบบต่อเนื่องเพื่อวิเคราะห์อัตราการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยมีการทดสอบเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลบี 7 ปัจจุบัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และปัญหาภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนพื้นที่และเครื่องมือวิจัยในการทดสอบ ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนให้ทุนการศึกษาวิจัย 2 ปี ต่อเนื่อง ประจำปี

งบประมาณ 2564-2565 และขอขอบคุณ คณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ทุนสนับสนุนงานมูลฐาน ประจำปีงบประมาณ 2567 ที่สนับสนุนงบประมาณและเครื่องมือวิจัยในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] Larionov, A., and Saba Jasim, R.A. (2021). Recycling building materials is the ideal way to protect the environment. **E3S Web of Conferences**. 258, 09046, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125809046

[2] Kamsook, S., Phongphiphat, A., Towprayoon, S., and Vinitnantharat, S. (2023). Investigation of plastic waste management in Thailand using material flow analysis. **Waste Management & Research**. 41 (4), 924–935.

[3] Pandey, P., Dhiman, M., Kansal, A., and Subudhi, S. (2023). Plastic waste management for sustainable environment: techniques and approaches. **Waste Disposal & Sustainable Energy**. 5(1), 205–222.

[4] Wongkhorsub, C., and Chindaprasert, N. (2013). A comparison of the use of pyrolysis oils in diesel engine. **Energy and Power Engineering**. 5 (1), 350-355.

[5] Phasinam, K., and Kassanuk, T. (2565). Performance testing on a small diesel engine using diesel mixed with waste plastic diesel**, Kalasin University Journal of Science Technology and Innovation**. 1 (2), 1-13.

[6] Faisal, F., Rasul, M.G., Jahirul, M.I., and Chowdhury, A.A. (2023). Waste plastics pyrolytic oil is a source of diesel fuel: A recent review on diesel engine performance, emissions, and combustion characteristics, **Science of the Total Environment**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163756.

[7] Panyoyai, N., Kamdaeng, T., and Wongsiriamnuay, T. (2017). production of pyrolysis oil from plastic waste and its application in a small gasoline engine, **Journal of Innovative Technology Research**, 1 (1), 85-97.

[8] Pumpuang, A., Klinkaew, N., Wathakit, K., Sukhomc, A., and Sukjit, K. (2024). the influence of plastic pyrolysis oil on fuel lubricity and diesel engine performance. **Royal society of chemistry**, 14, 10070-10087.

[9] Chotiratanasak, J., Vitidsant, T., and Khemkhao, M. (2023). feasibility study of plastic waste pyrolysis from municipal solid waste landfill with spent fcc catalyst, **Environment and Natural Resources Journal,** 21 (3), 256-265.

[10] Sangnate, O., and Reubroycharoen, P. (2020). Maximum blended ratio of pyrolysis oil for thai commercial diesel standard. **Journal of Renewable Energy for Community**. 3 (5), 39-45

[11] Wongchai, W., (2014). effects of pyrolysis oil-diesel blends on the performancesand emissions of a small diesel engine, **The Journal of Industrial Technology,** 10 (2), 72-73.

[12] Wongkhorsub, C., Chaowasin, W., and Theinnoi, K. (2022). experimental evaluation of performance and combustion characteristics of blended plastic pyrolysis oil in enhanced diesel engine, **Energies**, 15(23), doi.org/10.3390/en15239115.

[13] Homdoung, N., Tippayawong, N., and Dussadee, N. (2015). Performance and emissions of a modified small engine operated on producer gas. **Energy Conversion and Management**. 94 (1), 286–292.

[14] Homdoung, N., Sasujit, K., Dussadee, N., and Ramaraj, R. (2020). Experimental investigation of a small agricultural diesel engine performance using community biodiesel from wild trees. **Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication**. 2 (1), 9-16.

[15] Homdoung, N., Sasujit, K., and Dussadee, N. (2012) Performance of diesel generator with biodiesel from on highland community. **Proceedings of the 25th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand**. 19-21 October 2012, Aonang Villa Resort, Krabi, Thailand.

[16] Arbab, M.I., Masjuki H.H., Varman, M., Kalam, M.A., Imtenan, S., and Sajjad, H. (2014). Experimental investigation of optimum blend ratio of jatropha, palm and coconut based biodiesel to improve fuel properties, engine performance and emission characteristics. **International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering**. 68 (1), 55-59.

[17] Heywood J.B. (1989), **Internal combustion engine fundamentals**, McGraw-Hill, Singapore.

[18] Deepankumar, S., Senthil Kumar, K.L., Gokul, L.S., and Saravanan, B. (2020) The result of nano-additives in diesel engine using diesel-e waste plastics pyrolysis oil fuel blends: A review. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering** 764, 012042, doi:10.1088/1757-899X/764/1/012042.

[19] Sugozu, I., Oner, C., and Altun, S. (2010). The performance and emissions characteristics of a diesel engine fueled with biodiesel and diesel fuel. **International Journal Engineering Research & Development**. 2 (1), 50-53.

[20] Bora, D.K., Das, L.M., and Gajendra Babu, M.K. (2008). Performance of a mixed biodiesel fueled diesel engine. **Journal of Scientific & Industrial Research**. 67 (1), 73-76

[21] Kalargaris, I., Tian, G., and Gu, S. (2017). Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil. **Fuel Processing Technology**. 157:108-115. DOI: 10.1016/j.fuproc.2016.11.016.