

สมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อน้ำมันผสมไบโอดีเซลและดีเซลหมุนเร็ว

PERFORMANCE AND WEARING OF A DIESEL ENGINE WITH BLENDS OF BIODIESEL AND HIGH SPEED DIESEL

คงเดช พะสินาม^{1*} เกียรติศักดิ์ นิคมชัยประเสริฐ² วีรชัย อัจหาญ² และธันวาส กาศสนุก¹

Khongdet Phasinam^{1*}, Kiattisak Nikhomchaiprasert²,

Weerachai Arjarn² and Thanwamas Kassanuk¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบด้านการสึกหรอต่อเครื่องยนต์ดีเซล โดยเปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B20 B50 และ B100 โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ และ 2) การทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แสดงให้เห็นว่า ช่วงความเร็วรอบ 1,500–1,800 รอบต่อนาที B20 ให้กำลังสูงกว่าดีเซลหมุนเร็ว 2.72 เปอร์เซ็นต์ ส่วน B50 และ B100 ให้กำลังของเครื่องยนต์ต่ำกว่าดีเซลหมุนเร็ว 4.58 และ 7.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับแรงบิดของเครื่องยนต์พบว่า B20 ให้แรงบิดสูงกว่าดีเซลหมุนเร็ว 3.24 เปอร์เซ็นต์ B50 และ B100 ให้แรงบิดต่ำกว่าดีเซลหมุนเร็ว 4.41 และ 7.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (BSFC) พบว่า B20 มีค่า BSFC น้อยกว่าดีเซลหมุนเร็ว 23.15 เปอร์เซ็นต์ B50 และ B100 มี BSFC มากกว่าดีเซลหมุนเร็ว 7.68 และ 29.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์พบว่า เมื่อทำการทดสอบระยะยาว 200 และ 500 ชั่วโมง การสึกหรอของแหวนลูกสูบสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้น

คำสำคัญ: ไบโอดีเซล เครื่องยนต์ดีเซล สมรรถนะของเครื่องยนต์ การสึกหรอของเครื่องยนต์

¹ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Faculty of Food and Agricultural Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang District, Phitsanulok Province 65000

² สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

² Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang District, Nakhon Ratchasima Province 30000

*corresponding author e-mail: phasinam@psru.ac.th

Received: 11 October 2020; Revised: 28 January 2021; Accepted: 30 January 2021

Abstract

This research aimed to investigate the effect on wearing of diesel engines using a variety of fuels, including high speed diesel fuel, B20, B50 and B100. The experiment was divided into two parts: 1) engine performances test and 2) engine durability test. The test on engine performance at speeds ranging from 1,500 to 1,800 RPM indicated that B20 provided 2.72% more powers than high speed diesel fuel. However, the power obtained from B50 and B100 were less than that from high speed diesel fuel by 4.58% and 7.16%, respectively. Engine torque of B20 showed 3.24% greater than that of high speed diesel fuel. B50 and B100, on the other hand, showed less engine torque than that of high speed diesel fuel by 4.41% and 7.94%, respectively. Brake specific fuel consumption (BSFC) of B20 was found to be 23.15% less than that of high speed diesel fuel. On the contrary, the BSFCs of B50 and B100 were greater than that of high speed diesel fuel by 7.68% and 29.79%, respectively. Concerning the durability test at long-term 200 and 500 hours, the wearing of piston rings increased as the mixture ratio of biodiesel increased.

Keywords: Biodiesel, Diesel engine, Engine performance, Engine wear

บทนำ

การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณ 80,752 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ โดยการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในแต่ละภาคเศรษฐกิจมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นประกอบด้วย การใช้พลังงานในภาคเกษตรกรรม 2,652 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ภาคอุตสาหกรรม 28,459 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ภาคบ้านอยู่อาศัย 10,867 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ภาคธุรกิจการค้า 6,452 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และภาคขนส่ง 32,322 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งเป็นการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในภาคขนส่งมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 40 รองลงมาเป็นการใช้ในภาคอุตสาหกรรม ภาคบ้านอยู่อาศัย ภาคธุรกิจการค้า และภาคเกษตรกรรม ร้อยละ 35.2, 13.5, 8.0 และ 3.3 ตามลำดับ (Department of alternative energy development and efficiency, 2020a)

ประเทศไทยมีนโยบายสนับสนุนการผลิตการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในรูปของพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพอย่างต่อเนื่อง จึงมีส่วนการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นทุกปี โดยปี พ.ศ. 2561 มีการใช้พลังงานทดแทนทั้งสิ้น 12,996 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2560 ร้อยละ 10.8 และคิดเป็นร้อยละ 15.48 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย การใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกจะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนมากที่สุด คิดเป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 60

ของการใช้พลังงานทดแทนทั้งหมด รองลงมา ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า และเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งในปี พ.ศ. 2561 การใช้พลังงานความร้อนคิดเป็นร้อยละ 61 พลังงานไฟฟ้า และเชื้อเพลิงชีวภาพคิดเป็นร้อยละ 23 และ 16 ตามลำดับ (Department of alternative energy development and efficiency, 2020b)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีศักยภาพสูงในการผลิตวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (Sakkampang & Tangchaichit, 2013) และไบโอดีเซลได้รับการบรรจุอยู่ในแผน AEDP (Sutabutr, 2012) ซึ่งไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมีเกิดเป็นสารที่เรียกว่าเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) หรือเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl ester) ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (Sathapornprasath & Charoenkul, 2014; Sutheerasak & Chinwanitcharoen, 2018; Intaprom et al., 2019) โดยพบว่าปี พ.ศ. 2559 สามารถผลิตได้ 3.4 ล้านลิตรต่อวัน พ.ศ. 2560 สามารถผลิตได้ 3.8 ล้านลิตรต่อวัน และปี พ.ศ. 2561 สามารถผลิตได้ 4.2 ล้านลิตรต่อวัน ซึ่งปัจจุบันมีการส่งเสริมการใช้น้ำมันไบโอดีเซลอย่างแพร่หลาย เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันปิโตรเลียม และช่วยเพิ่มผลิตผลทางการเกษตร ตลอดจนเป็นการสร้างงานให้กับเกษตรกรอีกด้วย ประกอบกับรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมการปลูกพืชพลังงานเพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลอย่างชัดเจน โดยมีแผนการขยายสัดส่วนการใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไป เพื่อนำไปใช้กับภาคธุรกิจต่าง ๆ เช่น ภาคขนส่ง ภาคเกษตรกรรม และภาคประมง เป็นต้น (Rodniam et al., 2020; Department of alternative energy development and efficiency, 2020b) อย่างไรก็ตามการส่งเสริมให้เพิ่มสัดส่วนการใช้น้ำมันไบโอดีเซลให้มากขึ้นนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลสนับสนุนทั้งด้านสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ โดย Phasinam et al. (2019) ศึกษาสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลในระยะเวลา 500 ชั่วโมง เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลในสัดส่วนต่าง ๆ พบว่าการผสมไบโอดีเซลร้อยละ 20 ให้กำลังลดลงร้อยละ 4.57 และการสึกหรอของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล แต่การเพิ่มปริมาณไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 20 นำไปสู่การสึกหรอของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่ง Hossain & Davies (2010) และ No (2011) รายงานว่าน้ำมันไบโอดีเซลมีคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง หรือคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความความหนาแน่น ค่าความร้อน ค่าซีเทน และค่าความหนืดแตกต่างจากน้ำมันดีเซล เมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า ระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ทำงานหนักขึ้น การฉีดและการสเปรย์เชื้อเพลิงไม่ดี ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ขณะที่การใช้งานในระยะยาวพบว่า มีการสึกหรอของชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในเครื่องยนต์ ซึ่งปัญหาสำคัญของน้ำมันไบโอดีเซลคือมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 15 เท่า โดยวิธีการลดค่าความหนืดของไบโอดีเซลทางหนึ่งคือ การผสม (Blending) (Hossain & Davies, 2010; No, 2011; Raheman et al., 2013) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลสัดส่วนตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไป โดยกระทำในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นการประเมินความทนทานของเครื่องยนต์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลยี่ห้อฮิโน่ รุ่น HO7C ซึ่งเป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct injection) ขนาด 6,443 ลูกบาศก์เซนติเมตร สภาพเก่าที่ถอดออกมาจากเรือประมงแบบลากเดี่ยวจำนวน 4 เครื่อง ถูกนำมาใช้สำหรับการทดสอบ ดังภาพที่ 1 (Figure 1) โดยมีข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ ดังตารางที่ 1 (Table 1)

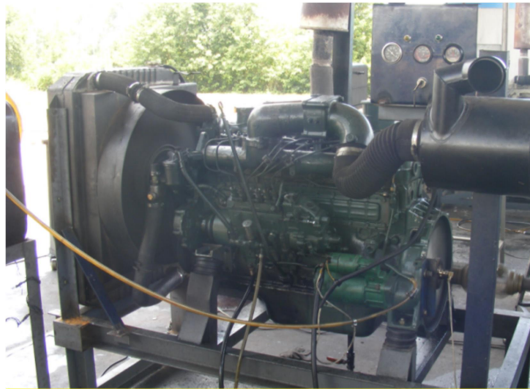


Figure 1 Hino model HO7C

Table 1 Specifications of the engine

Specifications	Hino Model HO7C
Brake Power (bhp)	116 at 2,200 rpm
Engine Torque (N-m)	442 at 2,000 rpm
Displacement (cc)	6,443
Number of Cylinder	6
Firing Order	1-4-2-6-3-5
Compression Ratio	17.9 : 1
Fuel Consumption (L/hr)	22.3 at 2,000 rpm

2. น้ำมันเชื้อเพลิง

การทดสอบนี้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 4 ชนิด คือน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (High speed diesel: HSD) B20 B50 และ B100 โดยน้ำมันดีเซลบริสุทธิ์เป็นแบบ ULSD (Ultra low sulfur diesel) ตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน ส่วนน้ำมันไบโอดีเซล (B100) ประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน จัดซื้อกับบริษัทที่ผ่านการรับรองมาตรฐานจากกรมธุรกิจพลังงาน โดยมีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ ซึ่งแสดงถึงความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล และการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ตามมาตรฐานกำหนด โดยเป็นน้ำมันไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์

ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานจากกรมธุรกิจพลังงาน (Department of energy business, 2020 a, b) B20 เป็นน้ำมันดีเซลหมุนเร็วผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วน 80:20 โดยปริมาตร และ B50 เป็นน้ำมันดีเซลหมุนเร็วผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ซึ่งคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 4 ชนิดที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 2 (Table 2)

Table 2 Physical and chemical properties of fuel

Fuel Properties	Method	HSD	B20	B50	B100
Density @ 15 °C (kg/m ³)	ASTM D 1298-99	0.8681	0.867	0.869	0.873
Density @ 30 °C (kg/m ³)	ASTM D 1298-99	0.8513	0.856	0.859	0.863
Kinematic Viscosity @ 40 °C	ASTM D 445		2.91	3.60	4.65
Min-Max (cSt)		1.8-4.1			
Flash Point (°C)	ASTM D 93	61	71	90	120
Cloud Point (°C)	ASTM D 97-96a	n.a.	n.a.	n.a.	16
Total Acid Number (mg KOH/g)	ASTM D 664-01	n.a.	n.a.	n.a.	0.358
Heating Value (MJ/kg)	ASTM D 240-92	44.61	43.79	41.99	39.22
Water Content (% wt)	EN 14103	0.049	0.047	0.041	0.035
Sulfur (Diesel) not more than (% wt)	ASTM D 4294	0.035	–	–	–
Sulfur (B100) not more than (% wt)	ASTM 2622	–	n.a.	n.a.	0.0010

Remark n.a. = not analysis

3. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่อง AW-dynamometer model NEB2-300 ถูกนำมาใช้สำหรับวัดแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ โดยมีความสามารถรับแรงบิดได้ถึง 1,490 นิวตัน-เมตร และสามารถรับกำลังของเครื่องยนต์ได้ถึง 74.6, 156.6 และ 223.7 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ 540, 1,000 และ 2,000 รอบต่อนาที ตามลำดับ

เครื่องวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงแบบ Volumetric gravitational flow meter ถูกใช้เพื่อวัดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) ยี่ห้อ DIGICON model DT-240P ถูกนำมาวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เพื่อให้สามารถกำหนดรอบเครื่องยนต์ที่ค่าต่าง ๆ กัน ให้คงที่ตามมาตรฐานการทดสอบ

กล้อง Nikon 40x model MSZ-U กำลังขยาย 40 เท่า โดยเชื่อมต่อกับเครื่อง Nikon digital sight DS-11 เพื่อใช้ดูภาพขยายของหัวฉีดน้ำมัน และถ่ายภาพได้ในเวลาเดียวกัน โดยภาพหัวฉีดขยายจะนำไปคำนวณหาค่า Coking Index (CI) ซึ่งวิธีการหาค่า CI ทำโดยการถ่ายภาพหัวฉีดสะอาดและใช้

Plane meter หาพื้นที่หัวฉีด จากนั้นนำหัวฉีดไปทดสอบโดยใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และนำหัวฉีดกลับมาถ่ายภาพและใช้ Plane meter หาพื้นที่ของหัวฉีดอีกครั้ง ต่อจากนั้นนำมาคำนวณหาพื้นที่หัวฉีดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นพื้นที่เขม่าอันเกิดจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว จากนั้นเริ่มทำการทดสอบและหาพื้นที่หัวฉีด โดยใช้ B20, B50 และ B100 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าการเผาไหม้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (Department of energy, 1982)

4. มาตรฐานและวิธีการทดสอบ

การทดสอบแบ่งเป็น 2 ช่วง คือช่วงแรกเป็นการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยใช้มาตรฐาน ISO 15550:2016 Internal combustion engines–determination and method for the measurement of engine power–general requirements (International organization for standardization, 2016) เพื่อนำมาใช้อ้างอิงในการกำหนดภาระของเครื่องยนต์ในการทดสอบการสึกหรอ ทั้งนี้สมรรถนะของเครื่องยนต์ ได้แก่ 1) กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Engine brake power) 2) แรงบิดของเครื่องยนต์ (Engine brake torque) และ 3) ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption)

วิธีการทดสอบเริ่มด้วยการอุ่นเครื่องยนต์เดินเบาที่ 1,000 รอบต่อนาที จนเครื่องยนต์มีอุณหภูมิในการทำงานคงที่ (70 องศาเซลเซียส) และตั้งความเร็วรอบเริ่มต้นของเครื่องยนต์ที่ 2,200 รอบต่อนาที จากนั้นเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์ด้วยไดนาโมมิเตอร์จนความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงและบันทึกค่าทุก ๆ ความเร็วรอบที่ลดลง 50 รอบต่อนาที จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์และแสดงผลในรูปของกราฟสมรรถนะของเครื่องยนต์ (Performance curves) ตามมาตรฐานสากล ISO 15550:2016 (International organization for standardization, 2016) และช่วงที่สองเป็นการทดสอบความทนทานหรือการสึกหรอของเครื่องยนต์ (Durability test) โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน 200–hr Screening test for alternative fuels หรือ EMA 200–hr test ซึ่งเป็นมาตรฐานการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทางเลือกหรือเชื้อเพลิงทดแทน (Alternative fuel) ที่กำหนดขึ้นโดยหน่วยงานชื่อ The alternative fuels committee of the engine manufacturer’s association ของประเทศสหรัฐอเมริกา (Department of energy, 1982) ซึ่งการทดสอบได้กำหนดรูปแบบของภาระงานหรือโหลด (Load) เป็นลักษณะ Duty cycle โดย 1 Cycle มี 4 Step ดังแสดงในตารางที่ 3 (Table 3)

Table 3 The cycle of the EMA 200-hours durability test

Cycle step	Engine speed (rpm)	Torque	Power	Time (min)
1	Rated	–	Rated	60
2	85%	Maximum	95%	60
3	90%	28%	25%	30
4	Idle	0	0	30

การทดสอบจะกระทำซ้ำต่อเนื่อง 18 ชั่วโมง หรือ 6 Cycles และหยุดพัก 6 ชั่วโมง เพื่อให้เครื่องยนต์มีอุณหภูมิเท่าบรรยากาศ และทดสอบต่อเนื่องจนครบ 200 ชั่วโมง จำนวน 2 รอบการทดสอบ ซึ่งจะทำให้ได้ชั่วโมงทดสอบเป็น 400 ชั่วโมง (สะสม) และในการทดสอบนี้จะทำการเพิ่มชั่วโมงการทดสอบจนครบ 500 ชั่วโมง (สะสม) ทั้งนี้การสึกหรอของเครื่องยนต์จะประเมินจาก 1) น้ำหนักของแหวนลูกสูบที่หายไปในช่วงชั่วโมงการทดสอบที่ 200 และ 500 ชั่วโมง และ 2) ประเมินการสึกหรอของชิ้นส่วนอื่น ๆ ของเครื่องยนต์ โดยทำการตรวจหาสิ่งปนเปื้อนประเภทโลหะและอโลหะบางชนิด เช่น เหล็ก (Fe) อลูมิเนียม (Al) ทองแดง (Cu) และโครเมียม (Cr) โดยใช้เครื่อง XRF (X-ray fluorescence) และวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันเครื่องทุก ๆ 50 ชั่วโมง ได้แก่ ค่าความหนืด และความหนาแน่น โดยใช้ น้ำมันเครื่องเกรด 15W-40 ยี่ห้อเดียวกันตลอดการทดสอบและทำการเปลี่ยนถ่ายทุก ๆ 200 ชั่วโมง (Department of energy, 1982) ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดแสดงไว้ในภาพที่ 2 (Figure 2)

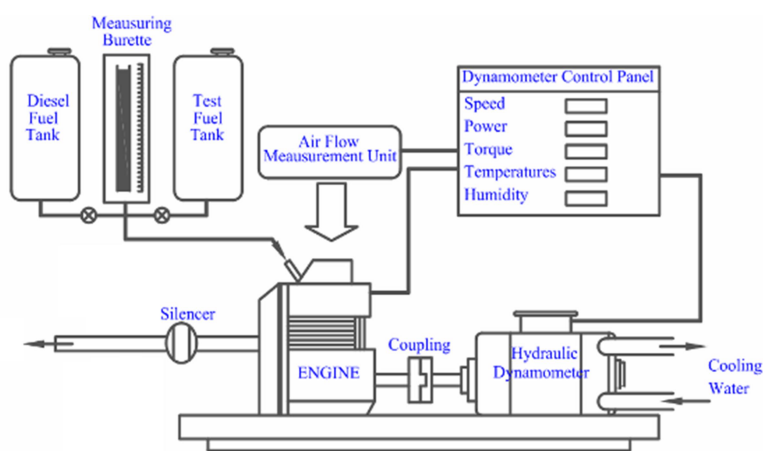


Figure 2 Schematic diagram of the experimental installation

ผลการวิจัย

1. สมรรถนะเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล รุ่น HO7C โดยใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 3 (Figure 3) พบว่า กำลังเบรกสูงสุดของเครื่องยนต์ดังภาพที่ 3A (Figure 3A) จะอยู่ในช่วงความเร็วรอบ 1,800–2,000 รอบต่อนาที โดย B20 ให้กำลังเบรกของเครื่องยนต์สูงที่สุด 71.7 กิโลวัตต์ รองลงมาคือ HSD, B50 และ B100 มีค่ากำลังเบรกสูงสุดที่ 69.8, 67.5 และ 65.6 กิโลวัตต์ ตามลำดับ โดยค่ากำลังเบรกสูงสุดนี้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ดังภาพที่ 3B (Figure 3B) ซึ่งมีค่าแรงบิดสูงสุดที่ 344, 355, 329 และ 313 นิวตัน-เมตร เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิง HSD B20 B50 และ B100 ตามลำดับ สำหรับความสัมพันธ์ของเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกดังภาพที่ 3C (Figure 3C) พบว่า เมื่อใช้ B20 เป็นเชื้อเพลิงจะให้ค่า BSFC เฉลี่ยต่ำสุดที่ 0.172 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง โดย

คิดค่าเฉลี่ยในช่วงที่รอบเครื่องยนต์เรือใช้งานจริง (1,500–1,800 รอบต่อนาที) ในขณะที่ B100 B50 และ HSD มีค่า BSFC เฉลี่ยสูงกว่าคือ 0.291, 0.242 และ 0.224 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ

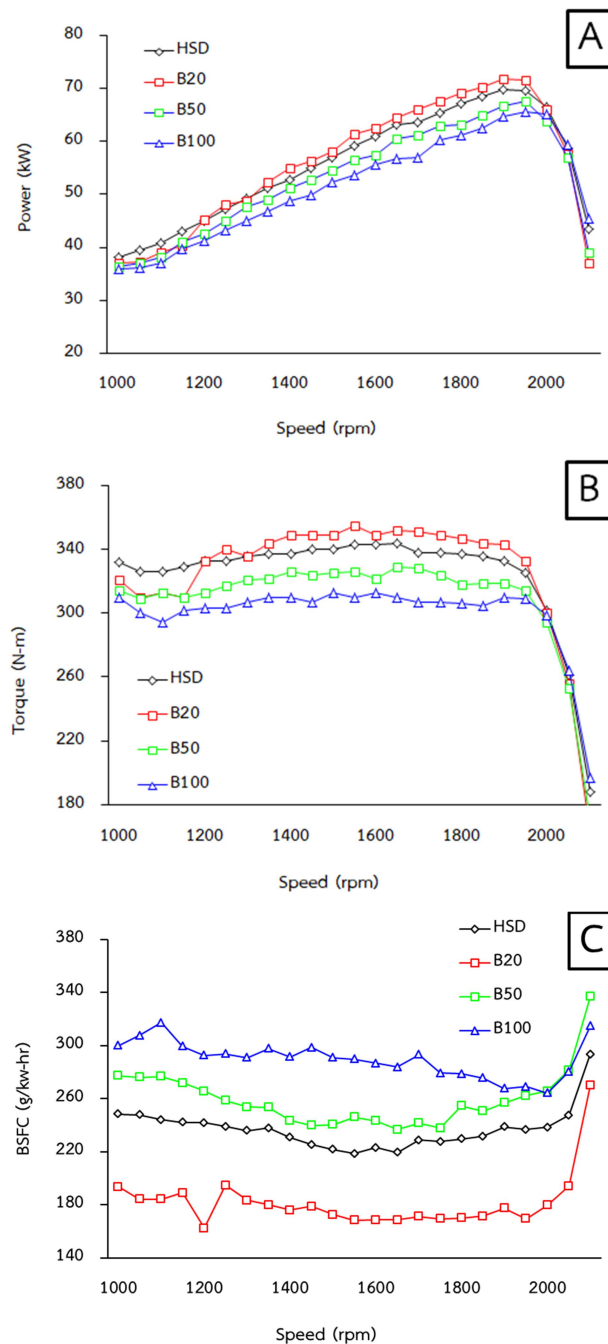


Figure 3 Engine performance of the test engine fueled by HSD and biodiesel
A) Brake power B) Brake torque C) Brake specific fuel consumption

2. การสึกหรอของเครื่องยนต์

2.1 การสึกหรอของแหวนลูกสูบ

จากการตรวจวัดการสึกหรอของแหวนลูกสูบเมื่อทำการทดสอบระยะยาว (Long-term test) ที่ 200 และ 500 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า น้ำหนักแหวนลูกสูบมีการเปลี่ยนแปลงไปดังตารางที่ 4 (Table 4)

Table 4 The wearing of piston rings

Fuel	Weight Loss (%)	
	200 hr	500 hr
HSD	0.12	0.29
B20	0.11	0.31
B50	0.23	0.51
B100	1.37	2.88

2.2 คุณสมบัติของน้ำมันเครื่อง

ข้อมูลผลการวิเคราะห์น้ำมันเครื่องมีรายละเอียดดังแสดงไว้ในตารางที่ 5 (Table 5)

2.2.1 ความหนาแน่น (ASTM D 1298 – 99)

1) จากผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นที่องค์ของน้ำมันเครื่องที่ผ่านการทดสอบ ณ ชั่วโมงการทำงานที่ 50, 100, 150 และ 200 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้น (ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่า 0.870 กรัมต่อมิลลิลิตร) โดยจะแปรผันตรงกับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินเครื่องยนต์

Table 5 Chemical and physical properties of engine oil

Engine oil properties	HSD	B20	B50	B100
Viscosity (cSt)	169.1	178.0	177.0	185.0
Density (kg/m ³)	854.0	854.4	856.0	857.2
pH (gKOH/g)	8.5	10.4	9.8	10.3
Fe (ppm)	17.97	17.97	17.12	18.62
Pb (ppm)	0.87	0.78	1.32	1.2
Cr (ppm)	0.69	0.62	0.78	0.65
Cu (ppm)	1.27	1.13	1.4	1.25
Al (ppm)	1.51	1.35	2.98	2.52
Si (ppm)	5.91	5.28	5.02	5.12

2) จากผลของการทดสอบการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง B20 B50 และ B100 กับเครื่องยนต์พบว่า สัดส่วนของปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมน้ำมันดีเซลหมุนเร็วมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง โดยเมื่อสัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 20 โดยปริมาตร จะทำให้ความหนาแน่นของน้ำมันเครื่องมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง ดังนั้นเพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์และน้ำมันเครื่องควรใช้สัดส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลน้อยกว่าร้อยละ 20 โดยปริมาตร

2.2.2 ความหนืดของน้ำมันเครื่อง (ASTM D 445-04)

1) คุณสมบัติด้านความหนืดของน้ำมันเครื่อง (น้ำมันหล่อลื่น) มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทดสอบเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเขม่า สารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแยกประเภทอย่างง่ายโดยดูจากสีของเปลวไฟ และปริมาณของเขม่าควัน เช่น เชื้อเพลิงคุณภาพดีจะให้เปลวไฟสีขาวถึงฟ้า มีเขม่าและควันน้อย เป็นต้น

2) จากผลการวิเคราะห์ความหนืดของน้ำมันเครื่องที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ B20 พบว่า ความหนืดของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการทดสอบเครื่องยนต์นานขึ้น จาก 50, 100, 150 และ 200 ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องมาจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบเครื่องยนต์ ทำให้เกิดสารประกอบอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน และเขม่า ซึ่งจะถูกชะล้างลงมายังน้ำมันเครื่อง ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และเสื่อมสภาพลงในที่สุด

3) จากผลของการทดสอบการใช้น้ำมัน B20, B50 และ B100 กับเครื่องยนต์พบว่า สัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว มีผลต่อความหนืดของน้ำมันเครื่อง ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของน้ำมันเครื่อง ค่าความหนืดนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ หรือชนิดของเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ชนิดนั้น ๆ สำหรับเครื่องยนต์ฮิโนรันนี่ สรุปได้ว่า B20 มีความเหมาะสมที่สุด

2.2.3 ปริมาณโลหะและอโลหะปนเปื้อน

1) ปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง โดยจากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะในน้ำมันเครื่องพบค่า Fe, Pb, Cr และ Cu ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของน้ำมันเชื้อเพลิงต่อการสึกหรอพบว่า B100 ทำให้เครื่องยนต์มีการสึกหรอสูงสุด รองลงมาคือ B50 HSD และ B20 ตามลำดับ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการสึกหรอของชิ้นส่วนโลหะภายในเครื่องยนต์ เช่น แหวน กระบอกสูบ และอื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่น และความหนืดของน้ำมันเครื่องที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการหล่อลื่นลดลง

2) ปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเครื่อง โดยจากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะในน้ำมันเครื่องพบว่า โลหะ Al และ Si มีแนวโน้มทำให้ความหนืดของน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า Al เป็นตัวบ่งชี้ถึงการสึกหรอของแบริ่ง (Bearing) ส่วนค่า Si ที่พบนั้น อาจมาจากฝุ่นละอองที่สามารถผ่านกรองอากาศเข้ามาในเครื่องยนต์ได้ นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์อีก เช่น 1) ค่าความชื้นที่เหลืออยู่ในกระบอกสูบ ซึ่งจะทำให้เกิดการสึกหรอในช่วงการสตาร์ทเครื่องยนต์ 2) การกระจายตัวของน้ำมันเครื่องที่ไม่ดีพอ 3) น้ำมันเครื่องสกปรกหรือเสื่อมสภาพ 4) ชนิดของเชื้อเพลิง และ 5) ระบบกรองอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพ

2.3 การวิเคราะห์คราบเขม่าที่หัวฉีด

การวิเคราะห์คราบเขม่าหัวฉีดใช้ดัชนีบ่งบอกคือ Coking Index (CI) ซึ่งหมายถึง ค่าดัชนีที่บ่งบอกปริมาณเขม่าที่จับที่หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง B20, B50 และ B100 ว่าเป็นกี่เท่าเมื่อเทียบกับการเผาไหม้ด้วยน้ำมันดีเซลปกติ โดยผลการวิเคราะห์ CI เมื่อเครื่องยนต์รับภาระ 80% ของกำลังสูงสุด หรือ Rated power แสดงในตารางที่ 6 (Table 6)

Table 6 Coking index of rated power at 1,800 rpm

Coking Index		
B20	B50	B100
1.16	2.18	2.25

ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่า CI แสดงให้เห็นว่าค่า CI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลในส่วนผสมที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลกระทบของสมบัติ และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลที่สัดส่วนผสมสูง ๆ มีความหนืด และมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง อีกทั้งมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีอัตราการใช้น้ำมันสูงกว่า เป็นผลทำให้เกิดเขม่าที่หัวฉีดมากกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งสรุปได้ว่า น้ำมันไบโอดีเซลมีผลต่อเขม่าที่ติดกับหัวฉีด ดังนั้นควรพิจารณาถึงผลกระทบที่จะตามมาจากการเกิดเขม่าที่หัวฉีดประกอบด้วย เช่น ผลกระทบต่อปั๊มหัวฉีด ซึ่งในการทดสอบ 500 ชั่วโมง ยังไม่พบความผิดปกติของปั๊มหัวฉีดในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังพบค่า CI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเครื่องยนต์รับภาระมากขึ้น โดยลักษณะหัวฉีดของเครื่องยนต์ฮินที่มีเขม่าจับเมื่อใช้น้ำมันชนิดต่าง ๆ ที่ 1,800 รอบต่อนาที แสดงในภาพที่ 4 (Figure 4)

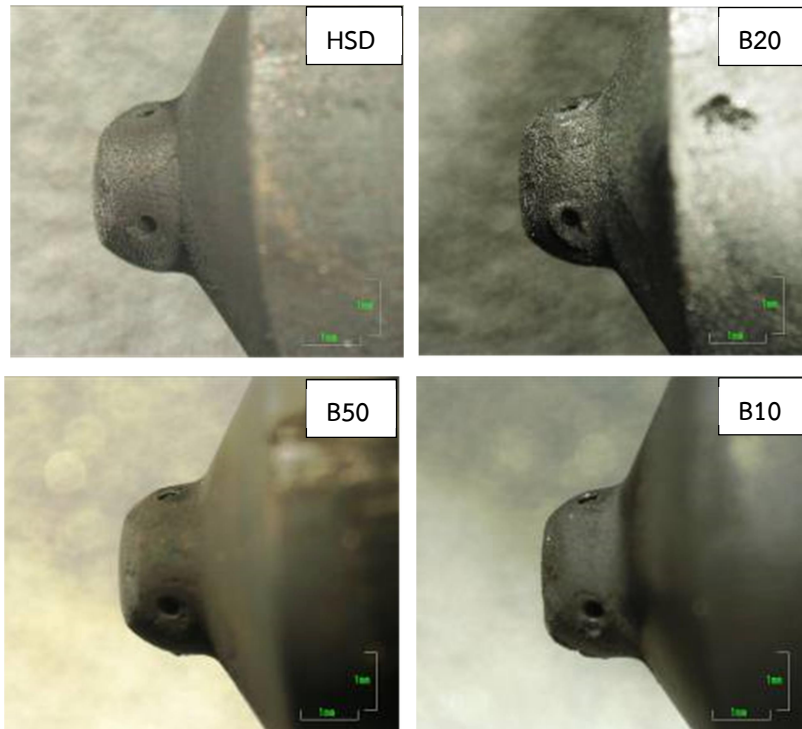


Figure 4 Soot deposits on fuel injector of diesel engine at 1,800 rpm

อภิปรายผล

1. สมรรถนะเครื่องยนต์

จากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลยี่ห้อฮิวอี้ รุ่น HO7C แสดงให้เห็นว่า B20 ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงสุด ซึ่งอาจเป็นเพราะในน้ำมันไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ จึงทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในเครื่องยนต์ แต่อย่างไรก็ดีกรณีน้ำมันไบโอดีเซลที่มีสัดส่วนสูง ๆ จะมีความหนืดสูง ซึ่งระบบจ่ายน้ำมันของเครื่องยนต์จะจ่ายเป็นปริมาตร ทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงมีน้อยและตอบสนองต่อกำลังของเครื่องยนต์ได้ไม่ดี ส่งผลทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลต่ำ

2. การสึกหรอของเครื่องยนต์

จากผลการทดสอบความทนทานของเครื่องยนต์ดีเซลยี่ห้อฮิวอี้ รุ่น HO7C แสดงให้เห็นว่าการสึกหรอของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันไบโอดีเซลสัดส่วนร้อยละ 20 มีการสึกหรอเทียบเคียงได้กับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว อย่างไรก็ตามการทดสอบชี้ให้เห็นชัดเจนว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในสัดส่วนที่สูงร้อยละ 50 และ 100 จะมีการสึกหรอของแหวนลูกสูบมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ซึ่งเป็นเพราะน้ำมันไบโอดีเซลยังมีสมบัติการกัดกร่อนโลหะ

สรุปผลการวิจัย

1. สมรรถนะเครื่องยนต์

จากการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์พบว่า B20 ให้กำลังเบรคของเครื่องยนต์มากที่สุดเมื่อเทียบกับ HSD โดย B20 ให้กำลังเบรคสูงกว่า HSD 2.72 เปอร์เซ็นต์ ส่วน B50 และ B100 ให้กำลังเบรคของเครื่องยนต์ต่ำกว่า HSD 4.58 และ 7.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์พบว่า B20 ให้แรงบิดสูงกว่า HSD 3.24 เปอร์เซ็นต์ ส่วน B50 และ B100 ให้แรงบิดต่ำกว่า HSD 4.41 และ 7.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคพบว่า B20 มีค่า BSFC น้อยกว่า HSD 23.15 เปอร์เซ็นต์ B50 และ B100 มีค่า BSFC มากกว่า HSD 7.68 และ 29.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และจากข้อมูลสมรรถนะเครื่องยนต์พบว่า ควรเลือกใช้ B20 สำหรับเครื่องยนต์ฮีโน่ รุ่น HO7C เนื่องจาก B20 ให้กำลังเบรคและแรงบิดที่สูงกว่า HSD และมีค่า BSFC น้อยกว่า HSD ที่ความเร็วรอบการใช้งานในช่วง 1,500–1,800 รอบต่อนาที

2. การสึกหรอของเครื่องยนต์

จากผลการตรวจวัดการสึกหรอของแวนลูกสูบเมื่อทำการทดสอบระยะยาวที่ 200 และ 500 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า เมื่อสัดส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้น การสึกหรอของแวนลูกสูบยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่สนับสนุนทุนการวิจัย และอาจารย์ชาญชัย โรจนสโรช ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยแก้ไขปัญหางานวิจัยเสร็จจุล่ง

เอกสารอ้างอิง

Department of alternative energy development and efficiency. Alternative Energy Development Plan:

AEDP 2018, 2020a. Available at: https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=54495. Accessed November 13, 2020.

Department of alternative energy development and efficiency. Energy Efficiency Plan: EEP2018, 2020b.

Available at: https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=54484. Accessed November 13, 2020.

Department of energy business. Notification of the department of energy business Re: specification for appearance and quality of diesel oils B.E. 2563, 2020a. Available at: http://elaw.doeb.go.th/document_doeb/TH/699TH_0001.pdf. Accessed June 29, 2020.

Department of energy business. Notification of the Department of Energy Business Re: Specification for Appearance and Quality of Biodiesel Oil B.E. 2563, 2020b. Available at: http://elaw.doeb.go.th/document_doeb/TH/690TH_0001.pdf. Accessed June 29, 2020.

- Department of energy. Handbook of EMA 200 Hour Test–Hydrogenated Soy Ethyl Ester and Diesel Fuel. University of Idaho: Department of agricultural engineering; 1982.
- Hossain AK, Davies P A. Plant oils as fuels for compression ignition engines: A technical review and life-cycle analysis. *Renewable Energy* 2010;35(1):1-13.
- Intaprom N, Somnuk K, Prateepchaikul G. Performance and emission evaluations of indirect injection diesel engine using a nanoemulsified fuel: diesel-biodiesel-water blends. *Farm Engineering and Automation Technology Journal* 2019;5(2):49-67.
- International organization for standardization. ISO 15550:2016 Internal Combustion Engines–Determination And Method for the Measurement of Engine Power-General Requirements. 2016. Available at: <https://www.iso.org/standard/70030.html>. Accessed March 20, 2017.
- Phasinam K, Kassanuk T, Nikhomchaiprasert K. et al. Performance and wearing studies on medium speed diesel engines with biodiesel fuel. *PSRU Journal of Science and Technology* 2019;4(1):28-38.
- No SY. Inedible vegetable oils and their derivatives for alternative diesel fuels in CI engines: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15(1):131-149.
- Raheman H, Jena PC, Jadav SS. Performance of a diesel engine with blends of biodiesel (from a mixture of oils) and high-speed diesel. *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 2013;4(1):41-49.
- Rodniam K, Somnuk K, Prateepchaikul G. Testing of Nano-Emulsified Fuel in Direct- Injection Diesel Engine. *Engineering Journal Chiang Mai University* 2020;27(1):57-71.
- Sakkampang K, Tangchaichit K. Study of performance and emission characteristics of a high speed diesel engine when using biodiesel from chicken tallow. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology* 2013;18(4):616-627.
- Sathapornprasath K, Charoenkul T. A Study of performance and deterioration of lubricating oil of diesel generator by biodiesel blends. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology* 2014;19(2): 305-319.
- Sutabutr T. Alternative Energy Development Plan: AEDP 2012-2021. *Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology* 2012;7(1):1-10.
- Sutheerasak E, Chinwanitcharoen C. Performance and emissions of a diesel engine using palm ethyl ester. *Engineering Journal Chiang Mai University* 2018;25(2):217-230.