

อิทธิพลของการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลต่อสมรรถนะและคุณลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลเล็กขณะสตาร์ทเครื่องยนต์

Effect of Biodiesel-ethanol Fuel Blends on Performance and Combustion Characteristics in a Small Diesel Engine during Start of Engine

กิตติ เอี่ยมเปรมจิต*

วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ป่าป๋อง ดอยสะเก็ด เชียงใหม่ 50220

Kitti Iempremjit*

College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Papong, Doi Saket, Chiangmai

*Corresponding Author E-mail: kitthi@hotmail.com

Received: Jul 08, 2021; Revised: Aug 31, 2021; Accepted: Sep 08, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อประเมินผลของการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่มีต่อสมรรถนะและลักษณะการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก การทดสอบดำเนินการในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยวแบบฉีดตรง (Direct Injection, DI) เชื้อเพลิงทดสอบเป็นไบโอดีเซลผสมเอทานอล โดยมีสัดส่วนของเอทานอลตั้งแต่ 60 ถึง 82% โดยน้ำหนัก (B40E60 ถึง B18E82) การทดสอบกระทำระหว่างการสตาร์ทเครื่องยนต์โดยไม่มีการะเครื่องยนต์ (No Engine Load) ที่ตำแหน่งคันเร่งเชื้อเพลิงสูงสุด (Maximum Fuel Rack) ผลการทดลองพบว่าไม่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงผสมที่มีสัดส่วนของเอทานอลสูงกว่า 82% ผลจากการวิเคราะห์การเผาไหม้พบว่าตำแหน่งการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง (Start Of Injection, SOI) และตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ (Start Of Combustion, SOC) มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอทานอล สัดส่วนของเอทานอลที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay, ID) และทำให้จำนวนวัฏจักรที่ไม่เกิดการเผาไหม้เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: การเผาไหม้, เอทานอล, ไบโอดีเซล, เครื่องยนต์ดีเซล

Abstract

In this work, an experimental investigation was conducted to evaluate the effects of using biodiesel-ethanol blends on the engine performance and combustion characteristics of a small diesel engine. The tests were conducted on a single cylinder DI diesel engine, which is operated with biodiesel-ethanol fuel blends containing 60 to 82% (w/w) ethanol (B40E60 to B18E82). The tests were conducted with no engine load at maximum fuel rack during starting the engine. It was found that the engine cannot be started with the combination of biodiesel and more than 82% ethanol. The combustion analysis results show that there is less variation in the start of injection (SOI) and start of combustion (SOC) when the ethanol concentration is increased. Increasing the ethanol content increased the ignition delay (ID) and the number of misfire cycles.

Keywords: Combustion, Ethanol, Biodiesel, CI engine

1. บทนำ

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงปิโตรเลียมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก การใช้เชื้อเพลิงทดแทนเป็นวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกวิธีหนึ่ง เอทานอลนับเป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่สามารถผลิตได้จากผลผลิตทางการเกษตร ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรที่มีศักยภาพสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยเฉพาะเชื้อเพลิงเอทานอล กระทรวงพลังงานจึงมียุทธศาสตร์พัฒนาพลังงานทดแทนจากพืชเหล่านี้ เพื่อเป็นตลาดทางเลือกสำหรับผลิตผลการเกษตรไทย ซึ่งสามารถช่วยลดชั้นผลผลิตทางการเกษตร ทำให้ราคาผลผลิตการเกษตรมีเสถียรภาพ

โดยทั่วไปเอทานอลจะใช้เป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน เนื่องจากเอทานอลมีค่าออกเทนสูง [1] ในหลายประเทศ เช่น บราซิล สวีเดนและไทย มีการใช้เอทานอลอย่างกว้างขวาง ก่อให้เกิดโอกาสอันดีสำหรับการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล เอทานอลผลิตจากวัตถุดิบต่างๆ เช่น อ้อย ข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นต้น ถึงแม้เอทานอลจะใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเป็นหลัก แต่ก็มีศักยภาพในการใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล ในช่วงทศวรรษ 1980 การผสมเอทานอลกับเชื้อเพลิงดีเซลเป็นหัวข้อวิจัยที่น่าสนใจ และส่วนผสมของเอทานอล-ดีเซลนี้เรียกว่า ดีโซฮอล (Diesohol) ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ [2] เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่น่าสนใจแต่ไม่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเดี่ยวในเครื่องยนต์ดีเซลได้เนื่องจากมีค่าซีเทนต่ำมาก จึงต้องผสมกับเชื้อเพลิงดีเซลหรือไบโอดีเซล [3]

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนอีกชนิดหนึ่ง ผลิตจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เช่น ปาล์ม สนุ่นดำ และน้ำมันทอดอาหารที่ใช้งานแล้ว นำมาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification Process) โดยให้น้ำมันพืชทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จนเกิดเป็นสารเอสเตอร์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลแบบเชื้อเพลิงเดี่ยวหรือแบบส่วนผสมของดีเซล-ไบโอดีเซล ซึ่งต้องมีการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์เพียงเล็กน้อย กำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากไบโอดีเซลมีค่าความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล อัตราการใช้เชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้ไบโอดีเซล ไบโอดีเซลส่งผลให้มลพิษทางอากาศลดลงมากเนื่องจากโมเลกุลของไบโอดีเซลมีองค์ประกอบของออกซิเจนสูง ยกเว้นมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย การปรับแต่งเครื่องยนต์ที่เหมาะสมสามารถลดปัญหานี้ได้ [4]

การศึกษาการเพิ่มอัตราส่วนเอทานอลลงในส่วนผสมของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล การศึกษานี้ไบโอดีเซลถูกกำหนดไว้ที่ 50% และอัตราส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้นจาก 5% เป็น 20% พบว่า D35E15B50 ซึ่งมีเอทานอล 15% มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกเพิ่มขึ้น 21.17% และการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลง 4.61% ที่ภาระสูงสุด มลพิษ ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้และคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง แต่ไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย [5]

การศึกษามลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล 2 สูบ 4 จังหวะ แบบฉีดเชื้อเพลิงตรง ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล 85% เมทานอล 15% (B85M15) และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล 85% เอทานอล 15% (B85E15) เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลมาตรฐาน พบว่าส่วนผสมของไบโอดีเซล-แอลกอฮอล์ เมื่อเทียบกับดีเซลจะลดการปล่อยมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ ในขณะที่เพิ่มการปล่อยมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนที่ภาระเครื่องยนต์ต่ำกว่า 70% นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าส่วนผสมของไบโอดีเซล-เอทานอลมีประสิทธิภาพมากกว่าไบโอดีเซล-เมทานอลในการลดการปล่อยมลพิษและประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องยนต์ [6]

การศึกษาผลกระทบของเอทานอลที่ใช้เป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงดีเซลผสมไบโอดีเซล ต่อการปล่อยมลพิษไอเสียของรถยนต์โดยสาร โดยใช้ส่วนผสมของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองที่มีความเข้มข้น 3% (B3), 5% (B5), 10% (B10) และ 20% (B20) เป็นเชื้อเพลิง พบว่า

การเพิ่มความเข้มข้นของไบโอดีเซลในส่วนผสมของเชื้อเพลิง จะเพิ่มการปล่อยมลพิษคาร์บอน ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ ในขณะที่การปล่อยมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนและฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) จะลดลง การเพิ่มเอทานอลลงในส่วนผสมเชื้อเพลิงสามารถใช้เป็นกลยุทธ์ในการควบคุมมลพิษในโตรเจนออกไซด์ได้ [7]

การศึกษาเพื่อตรวจสอบผลของการใช้เอทานอลเป็นสารเติมแต่งสำหรับส่วนผสมไบโอดีเซล-ดีเซล ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ การปล่อยมลพิษและลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ทดสอบด้วยเชื้อเพลิงผสมสองชนิดคือ ไบโอดีเซล 20% ดีเซล 80% (B20) และไบโอดีเซล 20% เอทานอล 5% ดีเซล 75% (B20E5) เปรียบเทียบกับดีเชื้อเพลิงดีเซล พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงขึ้นและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลและเอทานอล การปล่อยมลพิษในโตรเจนออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล [8]

การศึกษาเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอลผสมไบโอดีเซล (BE) ได้รับการทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลแบบ 4 สูบ ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สูงขึ้นเล็กน้อยด้วยเอทานอล 5% ในไบโอดีเซล (BE5) เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซล และ BE มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงกว่า โดยรวมแล้ว เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล การผสม BE สามารถลดทั้งมลพิษในโตรเจนออกไซด์ และการปล่อยอนุภาค (Particulate) ของเครื่องยนต์ดีเซล ประสิทธิภาพของการลดไนโตรเจนออกไซด์และอนุภาคจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเอทานอล [9]

การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อส่งเสริมการปริมาณการใช้เอทานอลที่ผลิตได้ภายในประเทศ การนำเอทานอลมาผสมกับไบโอดีเซลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเป็นวิธีที่น่าสนใจเนื่องจากประเทศไทยสามารถผลิตได้ทั้งเอทานอลและไบโอดีเซล จากงานวิจัยที่ผ่านมา การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลมักเป็นการใช้เอทานอลในสัดส่วนน้อย งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาวิธีการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลในสัดส่วนที่สูงขึ้น และ

ทำการทดลองเพื่อประเมินผลของการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่มีต่อสมรรถนะและลักษณะการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก การทดสอบดำเนินการในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวแบบฉีดตรง เชื้อเพลิงทดสอบเป็นไบโอดีเซลผสมเอทานอล โดยมีสัดส่วนของเอทานอลตั้งแต่ 60 ถึง 82% โดยน้ำหนัก (B40E60 ถึง B18E82) การทดสอบกระทำระหว่างการสตาร์ทเครื่องยนต์โดยไม่มีการะเครื่องยนต์ (No Engine Load) ที่ตำแหน่งคันเร่งเชื้อเพลิงสูงสุด (Maximum Fuel Rack)

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ (Start Of Combustion, SOC) ถูกระบุด้วยจุดที่มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนมากกว่า $5\text{ J/}^{\circ}\text{CA}$ ตำแหน่งสิ้นสุดการเผาไหม้ (End of Combustion, EOC) ถูกระบุด้วยจุดที่มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนน้อยกว่า $2\text{ J/}^{\circ}\text{CA}$ ช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิด (Ignition Delay, ID) กำหนดด้วยความแตกต่างของตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้กับตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง (SOC-SOI)

การศึกษาคูณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมในเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลความดันภายในกระบอกสูบขณะเกิดการเผาไหม้ การทดลองนี้ใช้ไบโอดีเซล (Palm Methyl Ester) ผสมกับเอทานอล โดยมีสัดส่วนเอทานอล 60–82 % (B40E60, B35E65, B30E70, B28E72, B26E74, B24E76, B22E78, B20E80, B18E82) และวิเคราะห์การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในแต่ละอัตราส่วน นำไปเปรียบเทียบกับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซล คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแสดงในตารางที่ 1

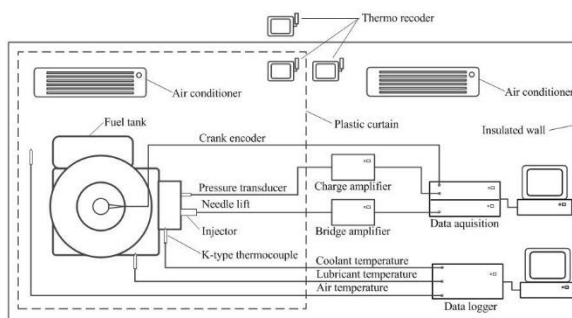
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

Properties	Ethanol	Bio-diesel	Diesel
Viscosity (cP) @20°C	1.19	4.22	4.35
Density (g/cc)	0.785	0.859	0.832
LHV (MJ/kg)	26.80	39.90	42.6
Cetane number	5.0	55	55
Flash point (°C)	13.5	188.5	60

การทดลองใช้เอทานอลความเข้มข้น 95% มีน้ำเจือปนประมาณ 5% ก่อนนำเอทานอลมาผสมกับไบโอดีเซลจะเติม lauric acid ลงในเอทานอล 1% เพื่อใช้เป็นสารหล่อลื่นแก่ปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูง [10] หลังจากนั้นนำเอทานอลผสมกับไบโอดีเซลในสัดส่วนที่ต้องการ เช่น ไบโอดีเซล 18% ผสมกับเอทานอล 82% จะเรียกว่า B18E82

การทดลองนี้ได้นำตัวอย่างเชื้อเพลิงผสมเก็บไว้ในบริเวณที่ไม่มีแรงสั่นสะเทือน ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน การตรวจสอบด้วยสายตาไม่พบการแยกชั้นของเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงไม่มีการเปลี่ยนสี นอกจากนี้มีงานวิจัยสรุปว่า ที่อุณหภูมิสูงกว่า 20°C ไบโอดีเซลและเอทานอลทุกอัตราส่วนสามารถผสมเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ ไม่ปรากฏการแยกชั้นของเชื้อเพลิง [11]

รูปที่ 1 แสดงแผนภาพของการทดลอง การทดลองใช้เครื่องยนต์ดีเซลเล็กสูบเดียว รุ่น Kubota RT140 (บริษัทสยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด นิคมอุตสาหกรรมนวนคร ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี) ระบบการทำงานแบบ DI ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาดกระบอกสูบและช่วงชัก 97×96 มม. ปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงแบบ port and helix หัวฉีดเชื้อเพลิงแบบ 4 รู เครื่องยนต์ถูกดัดแปลงให้มีอัตราส่วนการอัดสูงขึ้นเป็น 23:1 โดยวิธีการลดปริมาตรห้องเผาไหม้บนหัวลูกสูบ



รูปที่ 1 แผนภาพการทดลอง

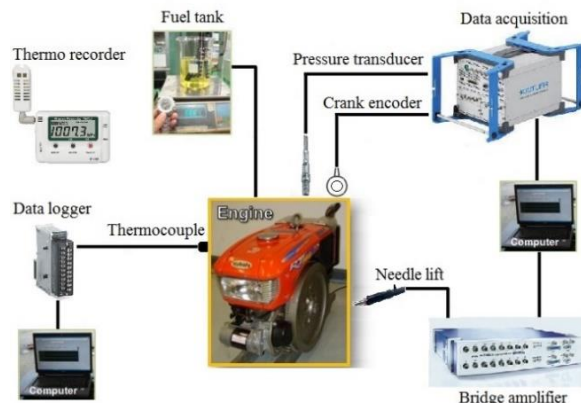
การทดลองดำเนินการภายในห้องควบคุมอุณหภูมิซึ่งได้ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยม่านพลาสติก ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิทั้งสองส่วนติดตั้งเครื่องปรับอากาศและควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิควบคุมขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ทดลองดูด

อากาศจากภายในห้องเข้าทางท่อไอดีขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ทดสอบแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ทดสอบ

Engine maker and model	Kubota RT140
Bore × Stroke (mm)	97×96
Displacement volume (cm ³)	709
Injection pressure (bar)	210
Max. power (kW)/rpm	10.3/2,400
Max. torque (kg-m)/rpm	5.0/1,600
Compression ratio	23:1 (Modified)

เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จำนวน 3 ตัว ต่อเข้ากับ Data Logger Keyence Thermo NR-TH08 (บริษัท คีย์เอ็นซ์ (ไทยแลนด์) จำกัด อาคารอิตัลไทยทาวเวอร์ แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ) เพื่อบันทึกอุณหภูมิอากาศรอบเครื่องยนต์ น้ำหล่อเย็นและน้ำมันหล่อลื่น เครื่องมือบันทึกอุณหภูมิอากาศ Thermo recorder TR-73U (บริษัท โอคูมูระ แอนด์ซิสเต็มส์ จำกัด โครงการเอชทูโอ แขวงคลองไม้ เขตประเวศ กรุงเทพฯ) ใช้สำหรับบันทึกอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความดันบรรยากาศจำนวน 3 จุด คือ ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิทั้งสองส่วน และภายนอกห้องควบคุมอุณหภูมิ อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่เข็มหัวฉีด Inductive needle Lift Transducer และอุปกรณ์แปลงสัญญาณ Bridge Amplifier AVL 3010A01 (AVL List GmbH, Hans-List-Platz, Graz, Austria) ใช้สำหรับวัดตำแหน่งการยกตัวของเข็มหัวฉีด อุปกรณ์วัดความดันในกระบอกสูบ Kistler, PiezoStar® type 6052C (บริษัท คิสท์เลอร์อินสตรูเมนต์ (ไทยแลนด์) จำกัด อาคารไทยชีชีทาวเวอร์ แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ) ใช้สำหรับวัดความดันภายในกระบอกสูบ ทั้งสองข้อมูลนี้จะถูกเก็บในเครื่องบันทึกข้อมูล KiBox type 2893AK8 (บริษัท คิสท์เลอร์อินสตรูเมนต์ (ไทยแลนด์) จำกัด อาคารไทยชีชีทาวเวอร์ แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ) อุปกรณ์ทดลองแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 อุปกรณ์ทดลอง

เครื่องยนต์และถังบรรจุเชื้อเพลิงถูกแช่ในห้องควบคุมอุณหภูมิก่อนทำการทดลอง จนกระทั่งอุณหภูมิห้อง น้ำหล่อเย็นและน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์อยู่ในช่วง $25 \pm 1^\circ\text{C}$ อย่างน้อย 1 ชั่วโมง การสตาร์ทเครื่องยนต์ คำนวณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ถูกตั้งไว้ที่ตำแหน่งสูงสุดทุกการทดลอง การสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยมอเตอร์สตาร์ทเป็นเวลาไม่เกิน 5 วินาทีเพียงครั้งเดียว เริ่มบันทึกข้อมูลทั้งหมดตั้งแต่เริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์จนถึงวัฏจักรที่ 200 (0–200 cycles)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

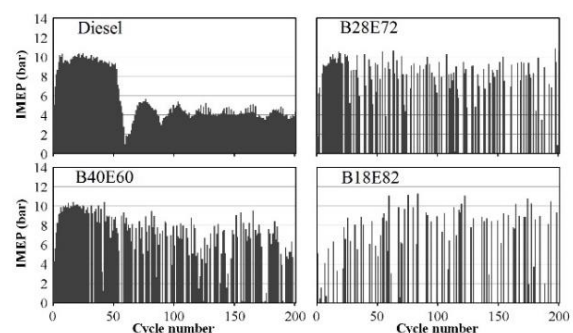
การทดสอบการสตาร์ทเครื่องยนต์ ด้วยการใช้อีทานอล ในสัดส่วน 60–80% ผสมกับไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก อัตราส่วนการอัดเดิม 18:1 ผลการทดสอบพบว่าเชื้อเพลิงผสมทุกอัตราส่วนไม่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ที่อุณหภูมิห้อง คาดว่าสาเหตุเกิดจากอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ในจังหวะอัดตัว (Compression Stroke) มีค่าไม่สูงพอที่จะทำให้เชื้อเพลิงอีทานอลเกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองได้ (Auto-Ignition) จึงได้เลือกวิธีแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มอัตราส่วนการอัดเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ให้สูงกว่าอุณหภูมิจุดระเบิดด้วยตัวเอง (Auto-Ignition Temperature) ของอีทานอลที่อุณหภูมิ 638K การคำนวณอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ตามสมการ (1)

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma \quad (1)$$

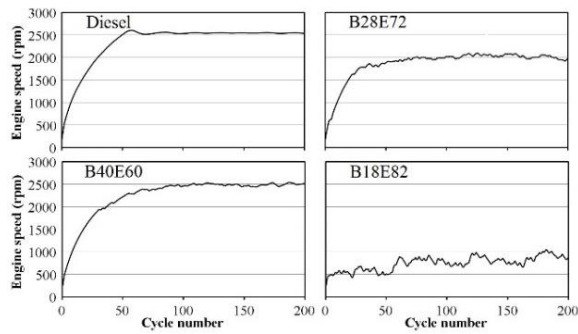
เมื่อกำหนดให้ $\gamma = 1.25$ [12] พบว่าต้องเพิ่มอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์เป็น 23:1 จึงจะแก้ปัญหาข้างต้นได้

การทดลองพบว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมที่มีอีทานอลในสัดส่วนสูงกว่า 82% ไม่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ ดังนั้นเชื้อเพลิง B18E82 จึงเป็นเชื้อเพลิงที่มีอีทานอลในสัดส่วนสูงสุดที่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้

รูปที่ 3 แสดงความดันเฉลี่ยประสิทธิภาพ (Indicated Mean Effective Pressure, IMEP) ของเครื่องยนต์ใน 200 วัฏจักรแรก กรณีเชื้อเพลิงดีเซลมีค่า IMEP เฉลี่ยสูงกว่าและไม่พบ Misfire Cycle ตลอดทั้ง 200 วัฏจักร (IMEP ของวัฏจักรใดมีค่าเป็นศูนย์ เป็นตัวชี้วัดว่าเกิด Misfire Cycle ในวัฏจักรนั้น) ในช่วง 50 วัฏจักรแรก IMEP มีค่าสูงเนื่องจากความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำมาก ดังในรูปที่ 4 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (Governor) ทำหน้าที่เพิ่มปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงจำนวนมากเพื่อเร่งความเร็วรอบเครื่องยนต์ ส่งผลให้ IMEP มีค่าสูง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงเกินไปหลังจากวัฏจักรที่ 50 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบจะปรับลดปริมาณเชื้อเพลิงลง จนกระทั่งความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ กรณี B40E60 เป็นเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนอีทานอลต่ำ จะมีวัฏจักรที่เกิด Misfire ขึ้น เมื่อผสมอีทานอลในสัดส่วนที่สูงขึ้น จำนวนวัฏจักรที่เกิด Misfire จะมีมากขึ้นตามไปด้วย

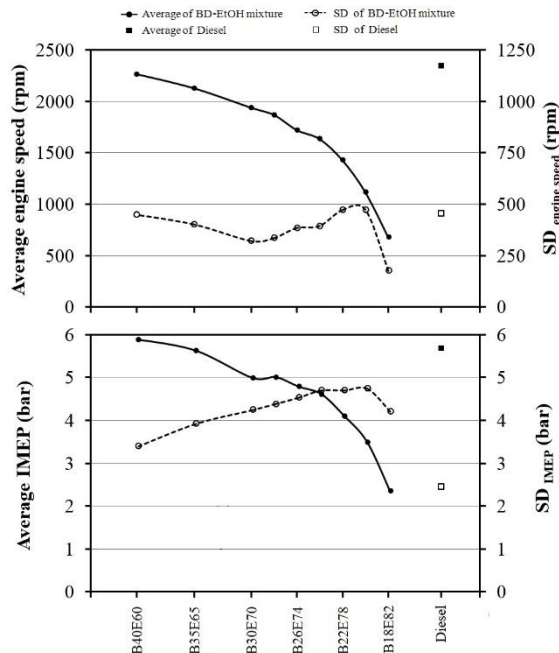


รูปที่ 3 การแปรเปลี่ยนความดันเฉลี่ยประสิทธิภาพ (IMEP) ของเครื่องยนต์กับจำนวนวัฏจักรในช่วงเริ่มต้น



รูปที่ 4 การแปรเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับจำนวนวัฏจักรในช่วงเริ่มต้น

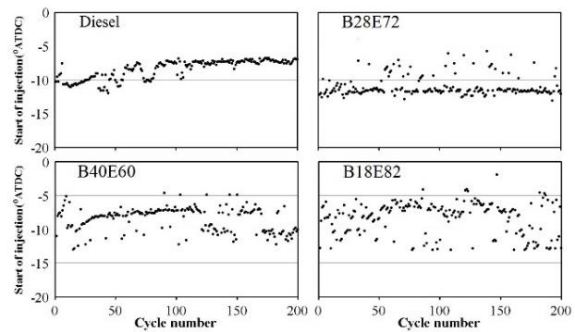
รูปที่ 5 แสดงความเร็วรอบเฉลี่ยและความดันเฉลี่ยประสิทธิผลในช่วง 200 วัฏจักรแรก เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม ส่งผลให้ความเร็วรอบเฉลี่ยและ IMEP เฉลี่ยของเครื่องยนต์มีค่าลดลง กรณี B40E60 เครื่องยนต์มีความเร็วรอบเฉลี่ยและ IMEP เฉลี่ยใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซล ส่วนความแปรปรวน (Standard Deviation, SD) ทั้งของความเร็วรอบเฉลี่ยและ IMEP เฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม



รูปที่ 5 ความเร็วรอบเฉลี่ยและ IMEP เฉลี่ยของเครื่องยนต์

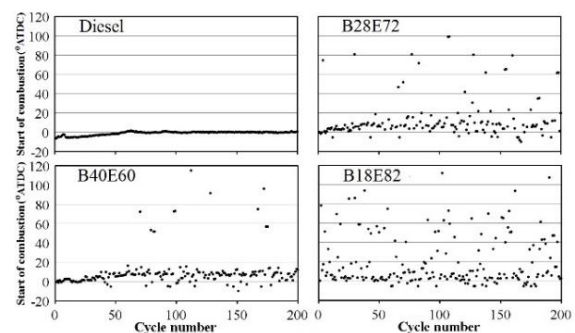
รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง (start of injection, SOI) ช่วง 200 วัฏจักรแรก ตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงมีความแปรปรวนไม่มากนัก แต่มีความ

แปรปรวนสูงกว่ากรณีใช้เชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งส่งผลให้ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ (Start Of Combustion, SOC) มีความแปรปรวนสูงขึ้นตามไปด้วยเมื่อเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม



รูปที่ 6 การแปรเปลี่ยนตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง (SOI) ของเครื่องยนต์กับจำนวนวัฏจักรในช่วงเริ่มต้น

รูปที่ 7 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ช่วง 200 วัฏจักรแรก กรณีเชื้อเพลิงดีเซล ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้เกิดขึ้นใกล้ตำแหน่งศูนย์ตายบน (TDC) และมีความแปรปรวนต่ำมาก กรณี B40E60 มีความแปรปรวนสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม ส่งผลให้ความแปรปรวนของตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้สูงขึ้น

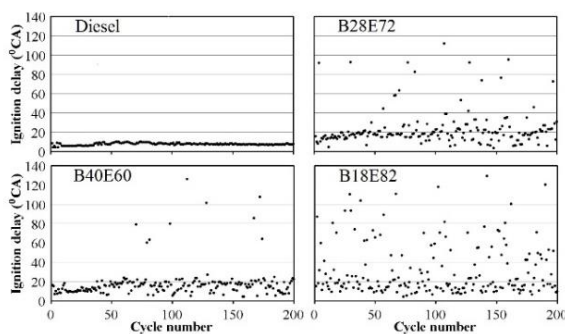


รูปที่ 7 การแปรเปลี่ยนตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ (SOC) ของเครื่องยนต์กับจำนวนวัฏจักรในช่วงเริ่มต้น

รูปที่ 8 แสดงช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิด (Ignition Delay, ID) ช่วง 200 วัฏจักรแรก กรณีเชื้อเพลิงดีเซล ช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิดมีความแปรปรวนต่ำมาก กรณี B40E60 มีความแปรปรวนสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล แต่เมื่อเพิ่ม

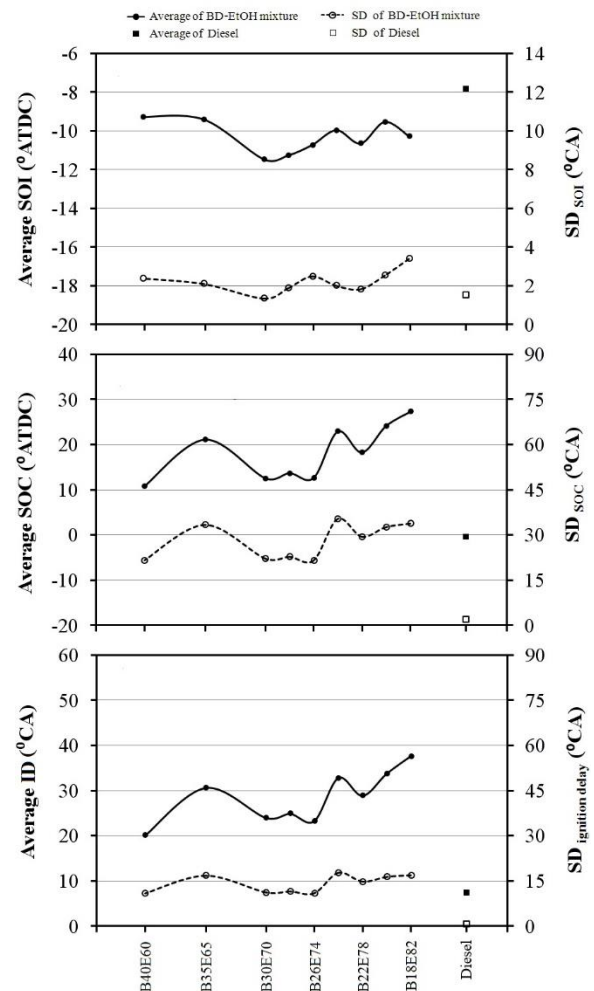
สัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม ส่งผลให้ความแปรปรวนของตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้สูงขึ้น

ผลการทดลองจากรูปที่ 6-8 แสดงให้เห็นว่าการใช้เชื้อเพลิง B40E60 ทำให้เครื่องยนต์มีความแปรปรวนของตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้และช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิดในระดับสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล แต่การเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม ทำให้ความแปรปรวนดังกล่าวสูงขึ้นมาก ส่งผลให้กำลังเครื่องยนต์ลดลง [13] การสาร์ทเครื่องยนต์จึงกระทำได้อย่างขึ้น



รูปที่ 8 การแปรเปลี่ยนช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิด (ID) ของเครื่องยนต์กับจำนวนวัฏจักรในช่วงเริ่มต้น

รูปที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้และ ช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิดตลอดช่วง 200 วัฏจักรแรก ตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงผสมทุกกรณีอยู่ในช่วง 9 ถึง 12°BTDC และไม่ขึ้นต่อสัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม ความแปรปรวนของตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงมีความแตกต่างกันเล็กน้อย เปรียบเทียบกับกรณีใช้เชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งมีตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงอยู่ที่ 8°BTDC หมายความว่าเชื้อเพลิงผสมสามารถฉีดเข้าไปภายในห้องเผาไหม้ได้เร็วกว่าเชื้อเพลิงดีเซล เนื่องจากเชื้อเพลิงผสมมีความหนืดต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ทำให้แรงต้านทานการไหลของเชื้อเพลิงผสมในระบบจ่ายเชื้อเพลิงแรงดันสูงมีค่าต่ำกว่า จึงสามารถฉีดเข้าไปภายในห้องเผาไหม้ได้เร็วกว่า [14],[15]



รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้และช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิด

ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมทุกกรณีอยู่ในช่วง 10 ถึง 28°ATDC ซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่ล่าช้ามากเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลที่เริ่มต้นการเผาไหม้ใกล้ศูนย์ตายบน (TDC) เมื่อเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม การเผาไหม้เกิดขึ้นช้าลง ส่งผลให้ช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิดสูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงดีเซลและ B40E60 มีค่า 7°CA และ 20°CA ตามลำดับ ซึ่งยังมีค่าแตกต่างกันมาก การศึกษาเพื่อลดช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเอทานอลผสมสารจุดระเบิด เช่น การอุ่นห้องเผาไหม้ การเพิ่มอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์จึงมีความจำเป็นเพื่อการพัฒนาในอนาคต

4. สรุป

การทดลองนี้ได้ทดสอบผลของการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่มีต่อสมรรถนะและลักษณะการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก การเพิ่มอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ดีเซลเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพต่อการพัฒนาคุณลักษณะการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซล เชื้อเพลิง B18E82 เป็นเชื้อเพลิงที่มีเอทานอลในสัดส่วนสูงสุดที่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้

ตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงผสมทุกกรณีอยู่ในช่วง 12 ถึง 9°BTDC และไม่ขึ้นต่อความเข้มข้นของเอทานอล เชื้อเพลิง B40E60 มีตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 4 ถึง 13°BTDC มีความแปรปรวนสูงกว่ากรณีใช้เชื้อเพลิงดีเซล

ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมอยู่ในช่วง 10–28°ATDC ซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่ล่าช้ามากเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล เมื่อเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม การเผาไหม้มีแนวโน้มเกิดล่าช้าขึ้น ส่งผลให้ช่วงเวลานองการจุดระเบิดสูงขึ้นตามไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. K. Thakur, A. K. Kaviti, R. Mehra, and K. K. S. Mer, "Performance analysis of ethanol–gasoline blends on a spark ignition engine: a review," *Biofuels*, vol. 8, no. 1, pp. 91–112, 2017, doi: 10.1080/17597269.2016.1204586.
- [2] L. Pidol, B. Lecointe, L. Starck and N. Jeuland, "Ethanol–biodiesel–diesel fuel blends: performances and emissions in conventional diesel and advanced low temperature combustions," *Fuel*, vol. 93, pp. 329–338, 2012, doi: 10.1016/j.fuel.2011.09.008.
- [3] A. C. Hansen, Q. Zhang and P. W. Lyne, "Ethanol–diesel fuel blends—a review," *Bioresour. technology*, vol. 96, no. 3, pp. 277–285, 2005, doi: 10.1016/j.biortech.2004.04.007.
- [4] G. Dwivedi, S. Jain and M. P. Sharma, "Impact analysis of biodiesel on engine performance—A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 9, pp. 4633–4641, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.07.089.
- [5] A. Paul, R. Panua and D. Debroy, "An experimental study of combustion, performance, exergy and emission characteristics of a CI engine fueled by Diesel-ethanol-biodiesel blends," *Energy*, vol. 141, pp. 839–852, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.09.137.
- [6] N. Yilmaz and T. M. Sanchez, "Analysis of operating a diesel engine on biodiesel-ethanol and biodiesel-methanol blends," *Energy*, vol. 46, no. 1, pp. 126–129, 2012, doi: 10.1016/j.energy.2011.11.062.
- [7] M. L. Randazzo and J. R. Sodré, "Exhaust emissions from a diesel powered vehicle fuelled by soybean biodiesel blends (B3–B20) with ethanol as an additive (B20E2–B20E5)," *Fuel*, vol. 90, no. 1, pp. 98–103, 2011, doi: 10.1016/j.fuel.2010.09.010.
- [8] H. G. How, H. H. Masjuki, M. A. Kalam and Y. H. Teoh, "Engine performance, emission and combustion characteristics of a common-rail diesel engine fuelled with bioethanol as a fuel additive in coconut oil biodiesel blends," *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 1655–1659, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.12.185.
- [9] L. Zhu, C. S. Cheung, W. G. Zhang and Z. Huang, "Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends," *Fuel*, vol. 90, no. 5, pp. 1743–1750, 2011, doi: 10.1016/j.fuel.2011.01.024.
- [10] A. S. Bika, L. M. Franklin and D. B. Kittelson, "Hydrogen as a combustion modifier of ethanol in compression ignition engines," *SAE Technical Paper*, Jun, 2009, Art. no. 2009-01-2814, doi: 10.4271/2009-01-2814.
- [11] P. Kwanchareon, A. Luengnaruemitchai and S. Jai-In, "Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine," *Fuel*, vol. 86, no. 7–8, pp. 1053–1061, 2007, doi: 10.1016/j.fuel.2006.09.034.

- [12] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1988.
- [13] M. H. Yasin, R. Mamat, A. A. Abdullah, N. R. Abdullah and M. L. Wyszynski, "Cycle-to-cycle variations of a diesel engine operating with palm biodiesel," *Journal of KONES Powertrain and Transport*, vol. 20, no. 3, pp. 443–450, 2013.
- [14] R. Munsin, Y. Laoonual, S. Jugjai, M. Matsuki and H. Kosaka, "Effect of glycerol ethoxylate as an ignition improver on injection and combustion characteristics of hydrous ethanol under CI engine condition," *Energy Conversion and Management*, vol. 98, pp. 282–289, 2015, doi: 10.1016/j.enconman.2015.03.116.
- [15] S. H. Park, H. K. Suh and C. S. Lee, "Nozzle flow and atomization characteristics of ethanol blended biodiesel fuel," *Renewable energy*, vol. 35, no. 1, pp. 144–150, 2010, doi: 10.1016/j.renene.2009.06.012.