

การตรวจสอบสมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ส่วนผสมดีเซลผสมเอทานอลที่ปราศจากน้ำร้อยละ 10

Investigation on the performance, emissions and wear of a small diesel engine using 10% anhydrous ethanol-diesel blends

เอกชัย สุธีรศักดิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

Ekkachai Sutherasak

Faculty of Engineering, Burapha University, Muang, Chonburi, 20131, Thailand

Tel : 08-2453-3848 E-mail: ekkachai@eng.buu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้เพื่อนำเสนอผลการตรวจสอบสมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ และการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กหนึ่งสูบสี่จังหวะแบบฉีดตรงในระยะเวลา 500 ชั่วโมงเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลที่ปราศจากน้ำร้อยละ 10 (DE10E5) เทียบกับน้ำมันดีเซล (D100) ผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DE10E5 มีกำลังไฟฟ้ลดลงร้อยละ 4.52 ประสิทธิภาพโดยรวมลดลงร้อยละ 14.41 และความสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 18.89 การปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันชนิดนี้มีการปล่อยปริมาณ CO₂ ลดลงร้อยละ 12.57 ปริมาณ CO ลดลงร้อยละ 27.94 ปริมาณ NO ลดลงร้อยละ 21.25 และปริมาณควันดำลดลงร้อยละ 14.07 แต่การปล่อยปริมาณ HC เพิ่มขึ้นร้อยละ 17.39 และความดันของการฉีดเชื้อเพลิงลดลงถึง 5 เท่า เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ผลการตรวจสอบลักษณะโดยทั่วไปของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันชนิดนี้พบว่ามีการคราบเขม่าเกาะอยู่บริเวณหัวฉีด ฝาสูบ และหัวลูกสูบของเครื่องยนต์ปริมาณมาก ส่วนผลการตรวจสอบการสึกหรอของกระบอกสูบ แหวนลูกสูบ และลูกสูบพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันชนิดนี้มีการสึกหรอมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล

คำหลัก: เอทานอล เครื่องยนต์ดีเซล สมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ การสึกหรอ

Abstract

The main objective of this research is to present the investigation of performance, exhaust gas emissions and wear of engine parts in a small diesel engine, single-cylinder and four-stroke at 500 hours from using the 10% of anhydrous ethanol-diesel blend (DE10E5) compared with diesel fuel (D100). From engine testing, it is found that the electrical power of using DE10E5 decreases 4.52%, total efficiency decreases 14.41%, and energy consumption increases 18.89%. From the emission measurement, CO₂ emission decreases 12.57%, CO emission decreases 27.94, NO emission decreases 21.25%, and black smoke decreases 14.07%. On the other hand, HC emission increases 17.39% and injection pressure increases 5 times compared to the use of diesel fuel. From the inspection of the engine components using the DE10E5, it is shown to have higher soot on a fuel injector, a cylinder head, and a piston compared to the use of diesel fuel. Finally, the use of DE10E5 in the engine has higher wear in the cylinder, the piston ring, and the piston compared to the use of diesel fuel.

Keywords: ethanol, diesel engine, performance, emissions, wear

1. บทนำ

เอทานอล เป็นเชื้อเพลิงทดแทนประเภทหนึ่ง สามารถผลิตจากพืชเกษตรกรรมภายในประเทศ มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ และนำมาผสมหรือใช้ร่วมกับน้ำมันดีเซล เพื่อลดการปล่อยปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และควันดำจากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล [1] ขณะที่การศึกษาและวิจัยการใช้น้ำมันดีเซลผสมหรือใช้ร่วมกับเอทานอลมีอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 (ค.ศ. 1970) จนถึงปัจจุบัน

จากงานวิจัยของ Kumar, Hansen และธัญญธร [1-3] สรุปผลการศึกษาคูณสมบัติของเชื้อเพลิง สมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลจากงานวิจัยต่างๆ พบว่า การเติมเอทานอลเกินกว่าร้อยละ 10 ลงไปในน้ำมันดีเซล ทำให้ค่าความหนาแน่นของน้ำมันผสมลดลงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซล ความสามารถในการคงสภาพเป็นสารละลายเดียวกันหรือความเสถียรของน้ำมันผสม และค่าเลขซีเทนลดลง มีการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ชิ้นส่วนที่เป็นยางภายในระบบฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ขณะที่การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับเอทานอล มีความยุ่งยากและซับซ้อนกว่า เนื่องจากมีการออกแบบและดัดแปลงเครื่องยนต์ เพื่อติดตั้งระบบฉีดและระบบให้ความร้อนเอทานอล และมีต้นทุนในการผลิตสูง

อย่างไรก็ตาม ได้มีงานวิจัย [2-6] นำเสนอว่า การใช้วิธีอิมัลชัน (Emulsion) เป็นทางเลือกหนึ่งที่ไม่ซับซ้อน ไม่ดัดแปลงเครื่องยนต์ เพิ่มค่าความหนาแน่น การคงสภาพเป็นสารละลายเดียวกัน และค่าเลขซีเทนของน้ำมัน และลดการปล่อยสารมลพิษจากแก๊สไอเสีย โดยวิธีการนี้เป็นการผสมน้ำมันดีเซลกับเอทานอลโดยใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการผสมและเป็นสารเติมแต่งในน้ำมันดีเซลกับเอทานอล เพื่อช่วยปรับปรุงค่าเลขซีเทน โดยเรียกน้ำมันนี้ว่า ดีโซฮอล (Diesohol) สำหรับสารอิมัลซิไฟเออร์มีหลากหลายชนิด ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอ็น-บิวทานอล ไบโอดีเซล โพรพานอล และอื่นๆ

Hansen และคณะ [2] และธัญญธร อิศราธิวะ [3] นำเสนอว่าเอทิลอะซิเตทเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ทำได้ง่าย สามารถผลิตจากเอสเทอร์ของเอทานอล และมีราคาถูก เมื่อเติมเอทิลอะซิเตทผสมกับเอทานอลและน้ำมัน

ดีเซล ทำให้ความหนาแน่นของดีโซฮอลใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และช่วยให้การเผาไหม้ของดีโซฮอลดีขึ้น เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น และลดการปล่อยปริมาณของ CO, HC และควันดำ

สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง สมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ในระยะเวลาไม่เกิน 50 ชั่วโมงนั้น เอกชัย สุธีรศักดิ์ และเจริญ ชินวานิชย์เจริญ [7] และ จตุพล ประถมภาสและคณะ [8] นำเสนอผลการผสมน้ำมันดีเซลกับเอทานอลที่ปราศจากน้ำเกินกว่าร้อยละ 10 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 5 มีความสามารถในการคงสภาพเป็นสารละลายเดียวกันนาน 5 วัน ค่าความหนืดลดลงมากกว่าร้อยละ 20 และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลงมากกว่าร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ขณะที่ผลการทดสอบการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิง พบว่า ความดันของการฉีดเชื้อเพลิงลดลง บั้มเชื้อเพลิงและหัวฉีดมีการสึกหรอเร็วกว่าปกติ และต่อมาตรวจสอบสมรรถนะของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง สี่สูบสี่จังหวะ พบว่า การใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลที่ปราศจากน้ำเกินกว่าร้อยละ 10 ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อน (BTE) ลดลงมากกว่าร้อยละ 18.56 และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (BSFC) เพิ่มขึ้นสูงเกินกว่าร้อยละ 46 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

Gnanamoorthi และ Devaradjane [9] และ Kmar และคณะ [10] ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรงหนึ่งสูบ สี่จังหวะเมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลที่ปราศจากน้ำและเอทิลอะซิเตทในอัตราส่วน 87:10:3 (DE10E3) และ 80:13:7 (DE13E7) เทียบกับน้ำมันดีเซลพบว่า การใช้น้ำมัน DE10E3 ให้ค่า BTE เพิ่มขึ้นร้อยละ 8 และค่า BSFC เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ขณะที่การปล่อยปริมาณ CO, NO_x และควันต่ำลดลง แต่การใช้น้ำมัน DE13E7 ให้ค่า BTE ลดลง และค่า BSFC เพิ่มขึ้น ขณะที่การปล่อยปริมาณ NO_x และควันต่ำลดลงร้อยละ 5 และ 15 ตามลำดับ Gomasta และ Mahla [5] รายงานว่าการใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลที่ปราศจากน้ำร้อยละ 20 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 7 มีค่า BTE ลดลงร้อยละ 6 และค่า BSFC เพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ขณะที่การปล่อยปริมาณ CO ลดลงร้อยละ 41 แต่ปริมาณ CO₂ เพิ่มขึ้นร้อยละ 66 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล Yahuza และ Dandakouta [11] และ Hansen และคณะ [2] สรุปว่าน้ำมันดีเซลผสมเอทานอลร้อยละ 10 และเอทิลอะ

ซีเทร็อยละ 5 (DE10E5) มีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซล ค่าเลขซีเทนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ความคงสภาพของน้ำมัน DE10E5 นานกว่าน้ำมันดีเซลผสมเอทานอลในปริมาณมากกว่าร้อยละ 10

นอกจากนี้ ยังมีการวิจัย [3-10] แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมัน DE10E5 มีการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของเครื่องยนต์เพียงเล็กน้อย ลดการปลดปล่อย CO, HC และควันดำเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากปริมาณของออกซิเจนในเอทานอลและเอทิลอะซิเตทเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศภายในกระบอกสูบกลายเป็นสารผสมบาง และมีการเผาไหม้ไอระเหยของน้ำมันดีเซลที่เป็นส่วนผสมหนาหมดลงอย่างรวดเร็ว ยิ่งไปกว่านั้น น้ำมัน DE10E5 มีการเติมเอทานอลในน้ำมันดีเซลได้มากที่สุดโดยมีคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันดีเซล และมีการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของเครื่องยนต์น้อยสุดเมื่อเทียบกับการเติมเอทานอลในน้ำมันดีเซลมากกว่าร้อยละ 10

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ไม่มีการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ดีเซลจากการใช้น้ำมัน DE10E5 เป็นเชื้อเพลิง ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ นำเสนอผลการตรวจสอบกำลังงาน ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพทางความร้อน การปล่อยสารมลพิษ และการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ในระยะเวลา 500 ชั่วโมงเมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับน้ำมันดีเซล

2. วิธีการวิจัย

2.1 น้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันเชื้อเพลิงในงานวิจัยนี้ เป็นน้ำมันดีเซลผสมเอทานอลที่ปราศจากน้ำร้อยละ 99.9 และเอทิลอะซิเตทที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.6 โดยใช้กระบวนการอิมัลชันและเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ (Electromagnetic machine)

ตารางที่ 1 การตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง

รายละเอียด	อัตราสูงต่ำ [12]	วิธีทดสอบ	D	E	EA	DE10E5	DE15E5	DE20E5
ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15.6 °C, kg/m ³	ไม่ต่ำกว่า 0.81 ไม่สูงกว่า 0.87	ASTM D 1298	0.825	0.760	0.875	0.814	0.800	0.780
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (LHV), MJ/kg	-	ASTM D 240	44.028	29.7	23.5	42.905	41.695	40.569
ระยะเวลาการผสมกัน	-	-	-	-	-	5 (days)	15 (hr)	7 (hr)
เลขซีเทน [4]	-	ISO 5165:1999	51.5	-	-	46.7	44.4	-

ซึ่งกำหนดความเร็วรอบของการกวนผสมที่ 800 rpm เวลา 30 min และอุณหภูมิการผสม 40 °C โดยศึกษากระบวนการผลิตจากงานวิจัยที่ [2-3, 6, 11]

ก่อนทำการทดสอบสมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ และการสึกหรอของเครื่องยนต์นั้น ได้ตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง (ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง และการคงสภาพเป็นสารละลายเดียวกันของน้ำมันดีโซลล์) ของน้ำมันดีเซล (D) เอทานอลที่ปราศ จากน้ำ (E) เอทิลอะซิเตท (EA) และน้ำมันดีโซลล์ที่มาจากการผสมน้ำมันดีเซล:เอทานอลที่ปราศจากน้ำ:เอทิลอะซิเตท โดยใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลร้อยละ 10 ถึง 20 และเอทิลอะซิเตทคงที่ร้อยละ 5 (DE10E5, DE15E5 และ DE20E5)

ส่วนการตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงนั้น อ้างอิงจากประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะ อัตราสูงต่ำ และคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 [12] ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า น้ำมันดีเซลมีค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งไม่ต่ำกว่า 0.81 kg/m³ ส่วนน้ำมัน DE10E5 มีค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานไม่ต่ำกว่า 0.81 kg/m³ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ แต่น้ำมัน DE15E5 และ DE20E5 มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ขณะที่น้ำมัน DE10E5 มีค่าความหนาแน่นลดลงร้อยละ 1.33 และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลงร้อยละ 2.56 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ มีการตรวจสอบการคงสภาพเป็นสารละลายเดียวกันของน้ำมันดีโซลล์โดยตรวจสอบจากระยะเวลาในการผสมกันของน้ำมันโดยศึกษาจากงานวิจัยที่ [7] พบว่า น้ำมัน DE15E5 และ DE20E5 มีระยะเวลาการผสมกันไม่เกิน 15 ชั่วโมง ส่วนน้ำมัน DE10E5 มีระยะเวลาการผสมกัน 5 วันหลังจากนั้นเกิดการแยกชั้นของน้ำมันดีเซลกับเอทานอล

2.2 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นเครื่องยนต์ดีเซล ขนาดเล็กของบริษัทมิสซูชิ รุ่น MIT-170FS(E) ต่อกับเจนเนอเรเตอร์ แบบ AC และผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2.5 kW จำนวนสามเครื่องยนต์ โดยตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดต่างๆ และสมรรถนะของเครื่องยนต์ก่อนการทดสอบของเครื่องยนต์ทั้งสามเครื่อง โดยอ้างอิงจากคู่มือเครื่องยนต์มิสซูชิ รุ่น MIT-170F ของบริษัทมิสซูชิอุตสาหกรรมจำกัด [13] ขณะที่การตรวจสอบสมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ และการสึกหรอของเครื่องยนต์นั้น อ้างอิงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 787-2551 [14] ซึ่งเป็นการทดสอบแบบรับรองบนพื้นฐานของเครื่องยนต์ที่มีข้อมูลจำเพาะต่างๆ (ได้แก่ หนึ่งสูบและสี่จังหวะระบายความร้อนด้วยอากาศ ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (DI) และอื่นๆ) เท่ากัน และมีสมรรถนะของเครื่องยนต์ก่อนการทดสอบ (ได้แก่ กำลังงานสูงสุด Mean Effective Pressure (MEP) และอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (FC) ที่ความเร็วรอบสูงสุด) เท่ากัน เพื่อประเมินผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นว่าน้ำมัน DE10E5 มีความสามารถในการนำไปใช้งานได้หรือไม่เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

2.3 ชุดทดสอบสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์

ในรูปที่ 1 แสดงแผนผังชุดทดสอบสมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซล โดยเครื่องยนต์ที่ 1 ใช้ในการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ ขณะที่เครื่องยนต์ที่ 2 และ 3 ใช้ตรวจสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DE10E5 และน้ำมันดีเซล โดยติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศแบบออร์ฟิตต่อกับมานอมิเตอร์ (หมายเลขที่ 4 และ 5) กระบอกวัดอัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิง (หมายเลขที่ 6) อุปกรณ์ต่างๆ ในการตรวจสอบการทำงานของเครื่องยนต์ (หมายเลขที่ 7-9) ได้แก่ เครื่องวัดความเร็วรอบแบบ Digital tachometer RPM ช่วงการวัดค่า 5 ถึง 9,999 rpm และช่วงความคลาดเคลื่อน: ± 0.5 ถึง 1.5 rpm โดยอ่านค่าจาก Hall proximity model: NJK-5002C และเครื่องวัดอุณหภูมิไอดี อุณหภูมิหล่อเย็น และอุณหภูมิแก๊สไอเสียแบบ Temperature controller type REX-C100FK02-MAN ต่อกับ Thermocouple K type ช่วง 0 ถึง $1,300^{\circ}\text{C}$

เครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าของบริษัท RICHTMASS รุ่น RP-963 (หมายเลขที่ 10 และ 15) ต่อกับอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า RICHTMASS RMBO โดยประมวลผลที่อุปกรณ์แปลงสัญญาณแบบ Hardlock ซึ่งต่อกับ RS48S แบบ USB data convertor RP-series (หมายเลขที่ 11) และต่อเข้าคอมพิวเตอร์ (หมายเลขที่ 12)

ตารางที่ 2 ข้อมูลของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ทดสอบ [12]

การทดสอบ		สมรรถนะ		การสึกหรอ	
ข้อมูลของเครื่องยนต์	เครื่องยนต์ที่	1	2	3	
	เครื่องยนต์ดีเซล รุ่น	170FS(E)	170FS(E)	170FS(E)	
	กระบอกสูบXช่วงชัก, mm	70x55	70x55	70x55	
	ปริมาตรกระบอกสูบ, cm^3	211	211	211	
	อัตราส่วนการอัด	20:1	20:1	20:1	
	ความเร็วรอบสูงสุด, rpm	3,600	3,600	3,600	
	กำลังงานสูงสุด, kW	4.2	4.2	4.2	
	MEP, kPa	430.9	430.9	430.9	
	FC, g/kW	299.2	299.2	299.2	
	ระบบฉีดเชื้อเพลิง	DI	DI	DI	
	หัวฉีด	รูเดียว	รูเดียว	รูเดียว	
	ความดันการฉีดเชื้อเพลิง, kg/cm^2	200	200	200	
สภาวะการทดสอบ	ความเร็วรอบ, rpm	2,000-3,200 $\pm$ 50	2,600 $\pm$ 50	2,600 $\pm$ 50	
	น้ำมันเชื้อเพลิงที่ทดสอบ	D และ DE10E5	D	DE10E5	
	ภาระงาน	สูงสุด	คงที่	คงที่	
	ปริมาณเชื้อเพลิง, ml	20	1,000	1,000	
	อุณหภูมิห้องทดสอบ, $^{\circ}\text{C}$	32-35 $\pm$ 2	32-35 $\pm$ 2	32-35 $\pm$ 2	
	อุณหภูมิหล่อเย็น, $^{\circ}\text{C}$	ไม่เกิน 80 $\pm$ 2	ไม่เกิน 80 $\pm$ 2	ไม่เกิน 80 $\pm$ 2	
ระยะเวลาการทดสอบ, hr		50/100	300/500	300/500	

ขณะที่การวัดปริมาณสารมลพิษต่างๆ ได้แก่ CO_2 , CO, HC, NO ใช้เครื่อง Eurogas emission analyzer ของบริษัท Motorscan รุ่น 8020 (หมายเลขที่ 16) ซึ่งเป็นเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สไอเสียโดยใช้การแผ่รังสี (IR Bench) ช่วยในการวิเคราะห์ความสามารถในการปลดปล่อยปริมาณของ CO_2 , CO และ HC

ตารางที่ 3 ข้อมูลรูปแบบการวัดและความละเอียดของการวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สไอเสีย

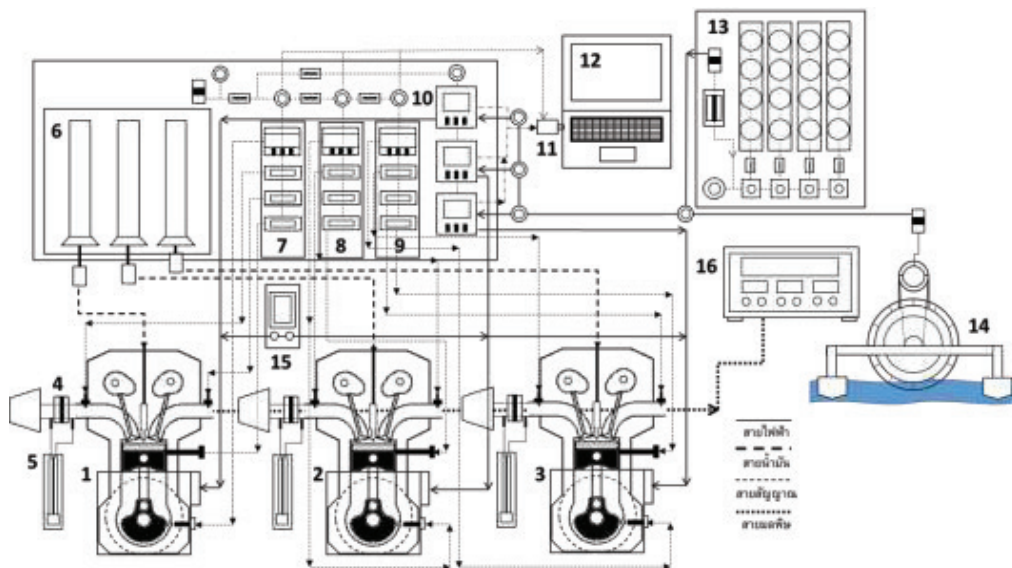
สารมลพิษ	รูปแบบการวัด	ความละเอียดและความถูกต้อง
CO, %vol	IR Bench	0.01 $\pm$ 2%
CO ₂ , %vol	IR Bench	0.01 $\pm$ 2%
HC, ppm vol	IR Bench	1 $\pm$ 2%
NO, % vol	Electrochemical cell	1 $\pm$ 2%
Black smoke, Km^{-1}	Opacity	0.1 $\pm$ 2%

ส่วนการวัดปริมาณของ NO ใช้การวิเคราะห์แบบ Electro chemical cell ดังแสดงตารางที่ 3 ซึ่งแสดงรูปแบบการวัดและความละเอียดของเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สไอเสียซึ่งใช้ร่วมกับ Smoke meter ของบริษัท Motorscan รุ่น 9010 เพื่อวัดความเข้มของควันดำ (Smoke opacity) โดยใช้ระบบการวัดความทึบแสงแบบไหลผ่านบางส่วนและต่อเนื่อง

2.4 ชุดภาระงานสำหรับการทดสอบเครื่องยนต์

ชุดภาระงานสำหรับการทดสอบเครื่องยนต์นั้น แบ่งออกเป็นสองชุด โดยชุดภาระงานแรก ใช้ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งจะใช้ชุดภาระงานทางไฟฟ้า

ที่ออกแบบเป็นวงจรไฟฟ้าแบบผสม (หมายเลขที่ 13) โดยใช้หลอดไฟสองแบบ คือ หลอดไฟแบบหลอดไส้ขนาด 25 W และหลอดไฟแบบสปอร์ตไลท์ขนาด 500 W การปรับภาระงานทางไฟฟ้านั้น จะปรับจากตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับกำลังไฟฟ้าสูงสุด 2.5 kW ขณะที่ชุดภาระงานที่สอง เป็นชุดภาระงานที่ใช้ในการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ ซึ่งจะใช้เครื่องเติมอากาศบนผิวน้ำแบบสี่ใบพัด (Paddlewheel Aerator 4PW) ของห้างหุ้นส่วนจำกัดนพเลิศ (หมายเลขที่ 14) แบบ 1 เฟส 220 V และใช้ชุดเกียร์อัตราทด 1:15 โดยติดตั้งที่สระน้ำบริเวณสวนนันทนาการ มหาวิทยาลัยบูรพา



รูปที่ 1 ชุดทดสอบสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์

2.5 การทดสอบเครื่องยนต์

2.5.1 การทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษ

เริ่มแรกศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ประสิทธิภาพโดยรวม ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 2,000 ถึง 3,200±50 rpm ณ ภาระงานทางไฟฟ้าสูงสุดจากการเปิดสวิตช์ชุดหลอดไฟ โดยใช้ น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลที่ปราศจากน้ำร้อยละ 10 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 5 (DE10E5) เทียบกับน้ำมันดีเซล (D100) โดยกำหนดปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคงที่ 20 mL ทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 32-35 °C และเก็บข้อมูลระยะเวลา 50-100 hr ในขณะเดียวกัน ทำการวัดการปล่อยปริมาณสาร

มลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ ได้แก่ ปริมาณของ CO₂, CO, HC, NO และควันดำ หลังจากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ผล และกำหนดเงื่อนไขและสภาวะการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 และน้ำมัน D100

2.5.2 การทดสอบการสึกหรอ

การทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 และน้ำมัน D100 นั้น จะทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลสองเครื่องที่มีข้อมูลจำเพาะต่างๆ เท่ากัน และมาจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของการใช้งาน และค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในกระบอกสูบ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอก

สูบและลูกสูบ ระยะห่างปากแหวน และช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับน้ำมัน D100 โดยเริ่มต้นจากการถอดชิ้นส่วนต่างๆ ได้แก่ ถอดฝาหัว หัวฉีด ฝาสูบ ลูกสูบ และเสื้อสูบของเครื่องยนต์ เพื่อวัดระยะพื้นฐานก่อนการทดสอบ ณ ศูนย์สอบเทียบเครื่องมือวัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยทำการวัดค่าต่างๆ ดังนี้

- 1) ระยะความหนาและละเอียดของปลอกสูบ ใช้เครื่อง Coordinate Measuring Machine (CMM) ชนิด Fixed Bridge เทียบกับ Bore gauge เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตและมิติภายในกระบอกสูบ โดยมีค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดแสดงในตารางที่ 4
- 2) วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว และมิติของลูกสูบ โดยใช้ Digital indicator และ Outside micrometer
- 3) วัดระยะห่างปากแหวน และช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบโดยใช้ Feeler gauge

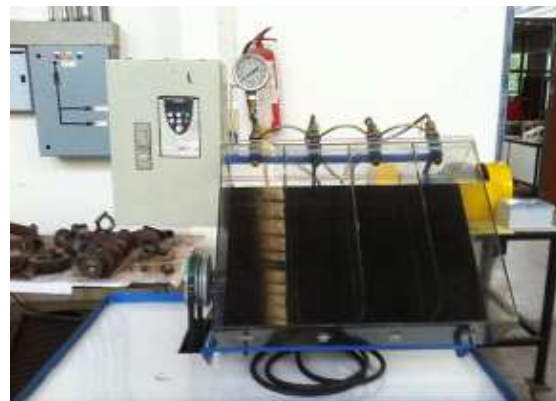
ตารางที่ 4 เครื่องมือและความแม่นยำในการวัดการสึกหรอ

เครื่องมือวัด	ขอบเขตการวัด (mm)	ความละเอียด (mm)
Coordinate Measuring Machine (CMM)	แกน x: 90 แกน y: 1,000 แกน z: 600	0.001
Bore gauge	6 ถึง 100 >100 ถึง 150	0.001 0.01
Outside micrometer	50 ถึง 75	0.01
Digital indicator	12.7	0.01
Feeler gauge	0.02 ถึง 1.00	0.01

นอกจากนี้ มีการทดสอบความดันของการฉีดเชื้อเพลิงจากหัวฉีดทั้งสองเครื่องยนต์ โดยการนำหัวฉีดมาทดสอบกับเครื่องทดสอบการฉีดเชื้อเพลิงที่จัดทำขึ้น ณ ห้องวิจัย Automotive engineering and other engineering and technologies ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงเครื่องจำลองการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 hp เป็นต้นกำลัง โดยการปรับความถี่ถึง 30 Hz

หลังจากวัดระยะต่างๆ ก่อนการทดสอบและประกอบคืนสภาพ นำเครื่องยนต์ทั้งสองต่อกับเครื่องเติมอากาศบนผิวหน้าแบบสปีด ทำการทดสอบพร้อมกันที่ความเร็วรอบคงที่ $2,600 \pm 50$ rpm ณ ภาระงานคงที่ โดย

ทุกๆ ปริมาณน้ำมัน 1 ลิตรบันทึกค่าเวลาที่ใช้เชื้อเพลิง กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิไครบ และอุณหภูมิแก๊สไอเสีย เป็นระยะเวลา 300 และ 500 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด นำเครื่องยนต์ทั้งสองไปตรวจสอบและเปรียบเทียบการสึกหรอของชิ้นส่วนหลักภายในเครื่องยนต์ ได้แก่ ระยะห่างปากแหวน ระยะห่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบ และการสึกหรอของปลอกสูบของเครื่องยนต์



รูปที่ 2 เครื่องจำลองการฉีดเชื้อเพลิง

2.6 การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์

การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์ [15] นั้นพิจารณาจากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ประสิทธิภาพโดยรวม ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ซึ่งสามารถคำนวณตามสมการที่ (1) – (3) ได้ดังนี้

$$\eta_t = \frac{P_{ele}}{m_f LHV} \quad (1)$$

$$SFC = \frac{m_f}{P_{ele}} \quad (2)$$

$$SEC = \frac{m_f \cdot LHV}{P_{ele}} \quad (3)$$

โดยที่

- η_t คือ ประสิทธิภาพโดยรวม (%)
 SFC คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW.h)
 SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kW.h)
 P_{ele} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW)
 m_f คือ อัตราการไหลของน้ำมัน (kg/sec)
 LHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการวิจัยสมรรถนะของเครื่องยนต์

จากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับน้ำมัน D100 ที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 2,000 ถึง 3,200 rpm ณ การะงานทางไฟฟ้าสูงสุด พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

3.1.1 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

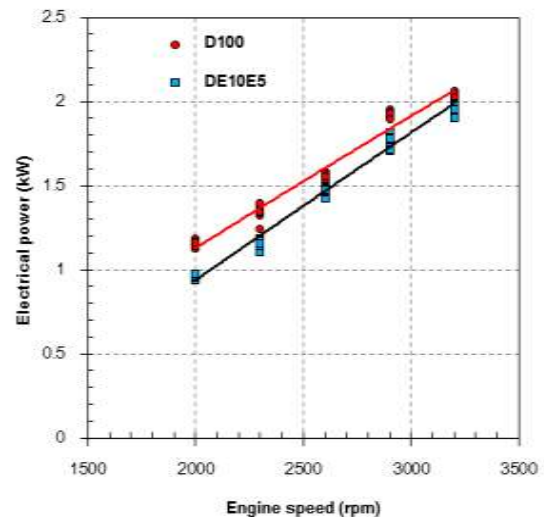
การใช้น้ำมัน DE10E5 และน้ำมัน D100 ให้ค่า P_{ele} เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบดังแสดงในรูปที่ 3 ขณะที่เปรียบเทียบการใช้น้ำมัน DE10E5 กับน้ำมัน D100 ที่ความเร็วรอบเท่ากันพบว่า การใช้น้ำมัน DE10E5 ให้ค่า P_{ele} ต่ำกว่าการใช้น้ำมัน D100 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Labeckas และคณะ [4] และ Al-Hassan และคณะ [16] โดยมีสาเหตุมาจากค่าเลขซีเทนและค่าความร้อนของน้ำมัน DE10E5 ต่ำกว่าน้ำมัน D100 ส่งผลให้อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเอง และความร้อนของการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงผสมเพิ่มขึ้น ทำให้ความล่าช้าการจุดระเบิดยาวขึ้น และกระบวนการเผาไหม้ขยายไปถึงจังหวะการขยายตัวและเชื้อเพลิงไม่สามารถเผาไหม้สมบูรณ์

ในตารางที่ 5 แสดงผลการตรวจสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันทั้งสอง โดยเปรียบเทียบค่า P_{ele} จากการใช้น้ำมัน DE10E5 กับน้ำมัน D100 พบว่า ค่า P_{ele} ลดลงมากที่สุดร้อยละ 17.04 ที่ความเร็วรอบ 2,300 rpm และค่า P_{ele} ลดลงน้อยสุดร้อยละ 2.96 ที่ความเร็วรอบ 3,200 rpm แต่กำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมาอยู่ระหว่าง 1.97 ถึง 2.03 kW ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าสูงเกินกว่าจะขับเครื่องเติมอากาศบนผิวน้ำแบบสปีดพัด เนื่องจากเครื่องเติมอากาศนี้ ใช้กำลังไฟฟ้าเพียง 1.4 kW ในการขับเคลื่อน ดังนั้น จึงเลือกความเร็ว

รอบ 2,600 rpm เนื่องจากให้ค่า P_{ele} อยู่ระหว่าง 1.48 ถึง 1.55 kW เพื่อใช้ในการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์

3.1.2 ประสิทธิภาพโดยรวม

การใช้น้ำมัน DE10E5 และน้ำมัน D100 ให้ค่า η_i เพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ดังแสดงในรูปที่ 4 ขณะที่เปรียบเทียบการใช้น้ำมัน DE10E5 กับน้ำมัน D100 ที่ความเร็วรอบเท่ากันพบว่า ค่า η_i ลดลง โดยสาเหตุที่ค่า η_i ของน้ำมัน D100 สูงกว่าน้ำมัน DE10E5 เนื่องจากน้ำมัน D100 มีค่าเลขซีเทน และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสูงกว่าน้ำมัน DE10E5 ดังแสดงในตารางที่ 1 ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาสูงกว่า และมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมัน DE10E5 [4] ส่วนการใช้น้ำมัน DE10E5 ให้ค่า η_i ต่ำกว่าน้ำมัน D100 เพราะว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในน้ำมันดีเซล ทำให้ค่าเลขซีเทนและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลง [4, 16-17]

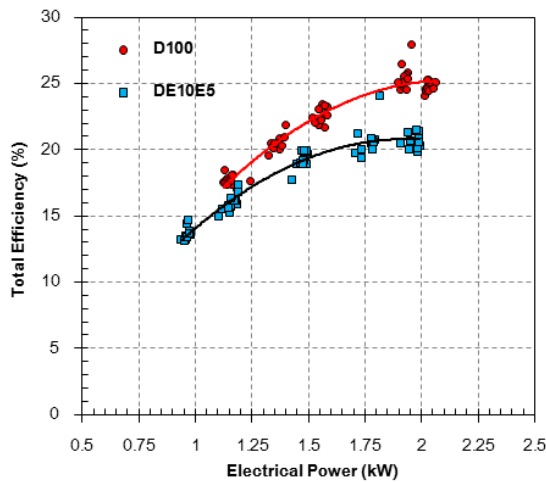


รูปที่ 3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับ D100

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์

N (rpm)	2,000			2,300			2,600			2,900			3,200		
Fuel	D100	DE10E5	Compare (%)	D100	DE10E5	Compare (%)	D100	DE10E5	Compare (%)	D100	DE10E5	Compare (%)	D100	DE10E5	Compare (%)
P_{ele} (kW)	1.15	0.96	-16.52	1.35	1.12	-17.04	1.55	1.48	-4.52	1.92	1.77	-7.81	2.03	1.97	-2.96
η_i (%)	17.65	13.62	-22.83	20.28	15.95	-21.35	22.55	19.3	-14.41	25.46	20.64	-18.93	24.75	20.69	-16.4
SFC (g/kW.h)	381.61	516.34	+35.31	332.82	441.25	+32.58	298.73	364.44	+22.00	264.70	341.42	+28.98	272.07	339.92	+24.94
SEC (MJ/kW.hr)	16.80	22.15	+31.86	14.65	18.93	+29.20	13.15	15.64	-18.89	11.65	14.65	-25.69	11.98	14.58	-21.75
T_{amb} (°C)	291.13	252.49	-13.27	349.39	322.36	-7.74	376.77	344.41	-8.59	442.46	420.65	-4.93	490.28	468.41	-4.46
CO ₂ (%vol)	5.73	4.47	-21.99	6.67	5.58	-16.34	6.92	6.05	-12.57	7.10	6.44	-9.3	7.56	6.79	-10.19
CO (%vol)	0.23	0.10	-56.52	0.54	0.39	-27.78	0.68	0.49	-27.94	1.07	0.80	-25.23	1.68	1.42	-15.47
HC (ppm vol)	28.00	31.00	+10.71	36.00	42.00	+16.67	69.00	81.00	+17.39	120.00	133.00	+10.83	144.00	149.00	+3.47
NO (ppm vol)	220.00	179.00	-18.64	262.00	210.00	-19.85	287.00	226.00	-21.25	309.00	241.00	-22.01	378.00	283.00	-25.13
Smoke (K/m)	3.90	3.58	-8.21	4.50	3.95	-12.22	5.19	4.46	-14.07	6.00	4.97	-17.17	6.37	5.10	-19.94

หมายเหตุ: + แสดงการเพิ่มขึ้น และ - แสดงการลดลง



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพโดยรวมเมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับ D100

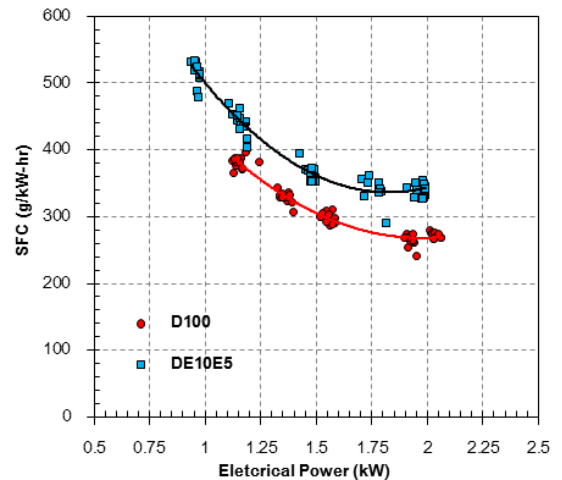
ในตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการใช้น้ำมัน DE10E5 กับน้ำมัน D100 พบว่าค่า η_i ลดลงร้อยละ 22.83 และ 16.4 ณ ความเร็วรอบ 2,000 และ 3,200 rpm 3.1.3 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

ในรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SFC และค่า P_{ele} จากการใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับน้ำมัน D100 โดยค่า SFC จากการใช้น้ำมัน DE10E5 มากกว่าน้ำมัน D100 ทุกความเร็วรอบ สาเหตุมาจากน้ำมัน DE10E5 มีค่าความหนาแน่น และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมัน D100 [3, 8, 10, 18] เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 ต้องเพิ่มปริมาณการใช้เชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมัน D100 เพื่อให้กำลังงานของเครื่องยนต์ออกมาใกล้เคียงกัน ขณะที่การใช้น้ำมัน DE10E5 ณ ความเร็วรอบ 2,000 และ 3,200 rpm มีค่า SFC เพิ่มขึ้นร้อยละ 35.31 และ 24.94 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D100 (ตารางที่ 5)

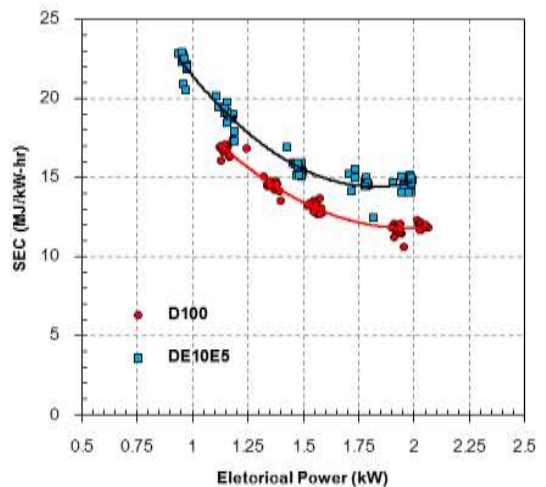
3.1.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ในรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า SEC และค่า P_{ele} จากการใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับน้ำมัน D100 โดยค่า SEC จากการใช้น้ำมัน DE10E5 มากกว่าน้ำมัน D100 ทุกความเร็วรอบซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gomasta และ Mahla [5] เนื่องจากค่าความหนาแน่นและค่าความร้อนของน้ำมัน DE10E5 น้อยกว่าน้ำมัน D100 เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 ต้องเพิ่มปริมาณการใช้เชื้อเพลิงทำให้มีความสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าน้ำมัน D100 เพื่อให้กำลังงานของเครื่องยนต์ออกมาใกล้เคียงกัน

ขณะที่การใช้น้ำมัน DE10E5 ณ ความเร็วรอบ 2,000 และ 3,200 rpm มีค่า SEC เพิ่มขึ้นร้อยละ 31.86 และ 21.75 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D100 (ตารางที่ 5)



รูปที่ 5 ค่า SFC เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับน้ำมัน D100



รูปที่ 6 ค่า SEC เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับน้ำมัน D100

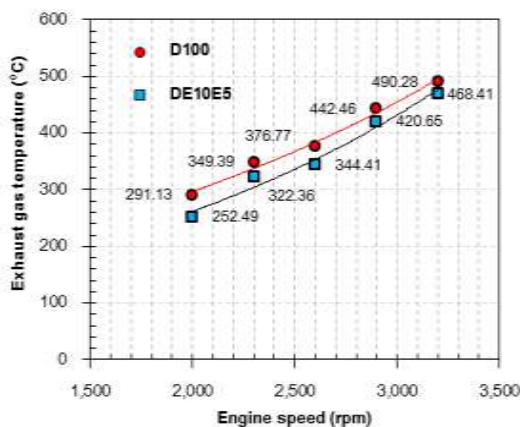
3.2 ผลการวิจัยการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์

ผลการวิเคราะห์การปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์สามารถอธิบายได้ดังนี้

3.2.1 อุณหภูมิแก๊สไอเสีย

อุณหภูมิแก๊สไอเสีย (exhaust gas temperature, T_{exh}) จากการใช้น้ำมัน DE10E5 และน้ำมัน D100 เป็นเชื้อเพลิงนั้น มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบดังแสดงในรูปที่ 7 ขณะที่เปรียบเทียบที่ความเร็วรอบเท่ากันพบว่า ค่า

T_{exh} จากการใช้น้ำมัน DE10E5 ต่ำกว่าน้ำมัน D100 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Gnanamoorth และ Devaradjane [8] และ Putrasaria และคณะ [18] เพราะน้ำมัน DE10E5 มีแอลกอฮอล์ผสมอยู่จำนวนมาก และเกิดการออกซิไดซ์เพียงบางส่วนในวงจรประกอบทางเคมีของ OH เมื่อเกิดปฏิกิริยาของการเผาไหม้ ส่งผลให้อุณหภูมิมีการเผาไหม้ต่ำกว่าน้ำมัน D100 ขณะที่ค่า T_{exh} จากการใช้น้ำมัน DE10E5 ลดลงร้อยละ 13.27 ที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm ดังแสดงในตารางที่ 5 และที่ความเร็วรอบ 3,200 rpm ค่า T_{exh} ลดลงร้อยละ 4.46 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D100



รูปที่ 7 ค่า T_{exh} เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับ D100

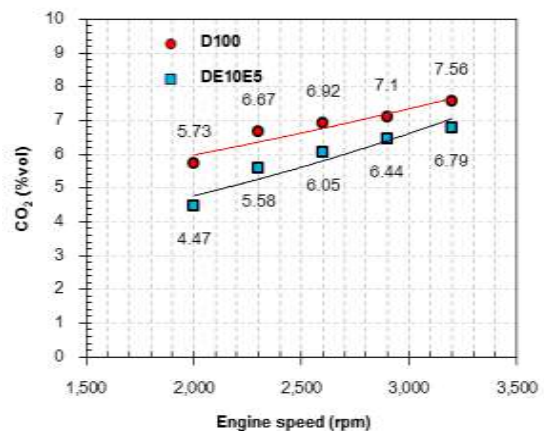
3.2.2 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

การใช้น้ำมัน DE10E5 และน้ำมัน D100 ทำให้การปล่อยปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบดังแสดงในรูปที่ 8 ขณะที่เปรียบเทียบที่ความเร็วรอบเท่ากันพบว่า การใช้น้ำมัน DE10E5 ให้ปริมาณของ CO_2 ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมัน D100 เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในน้ำมัน D100 ทำให้ความร้อนของการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงผสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความล่าช้าการจุดระเบิดยาวขึ้น และการเผาไหม้ในช่วง Mixing-controlled combustion ลดลง [19] ขณะที่ค่า CO_2 จากการใช้น้ำมัน DE10E5 ลดลงร้อยละ 21.99 ที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm ดังแสดงในตารางที่ 5 และที่ความเร็วรอบ 3,200 rpm ค่า CO_2 ลดลงร้อยละ 10.19 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D100

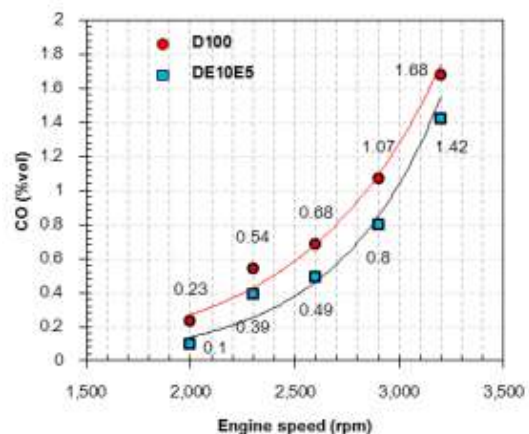
3.2.3 ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์

สำหรับการปล่อยปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากการใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับน้ำมัน D100

พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบดังแสดงในรูปที่ 9 และการใช้น้ำมัน DE10E5 มีการปล่อยปริมาณของ CO ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมัน D100 ที่ความเร็วรอบเท่ากันซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ Gomasta และ Mahla [5] เนื่องจากปริมาณของออกซิเจนในเอทานอลและเอทิลอะซิเตเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศภายในกระบอกสูบกลายเป็นสารผสมบาง และมีการเผาไหม้ไอระเหยของน้ำมันดีเซลที่เป็นส่วนผสมหนาหมดย่างรวดเร็ว ทำให้การปล่อยปริมาณของ CO ลดลง



รูปที่ 8 ปริมาณของ CO_2 เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับ D100

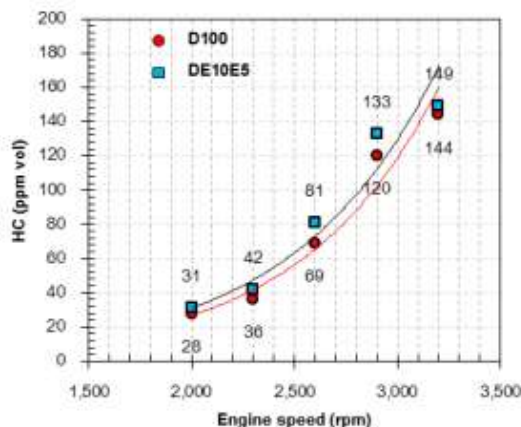


รูปที่ 9 ปริมาณของ CO เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับ D100

ขณะที่ค่า CO จากการใช้น้ำมัน DE10E5 ลดลงร้อยละ 56.52 ที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm ดังแสดงในตารางที่ 5 และที่ความเร็วรอบ 3,200 rpm ค่า CO ลดลงร้อยละ 15.47 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D100

3.2.4 ปริมาณของไฮโดรคาร์บอน

ในรูปที่ 10 แสดงผลการตรวจสอบปริมาณของไฮโดรคาร์บอน (HC) จากการใช้น้ำมัน DE10E5 และน้ำมัน D100 พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ และการใช้น้ำมัน DE10E5 มีการปล่อยปริมาณของ HC เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมัน D100 ที่ความเร็วรอบเท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rakopoulos และคณะ [17] ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในน้ำมันดีเซล ทำให้ความร้อนของการกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงผสมช้าลง และการผสมของเชื้อเพลิงและอากาศนานขึ้น นอกจากนี้ การเพิ่มแอลกอฮอล์เข้าไปในน้ำมันดีเซลจะทำให้เกิด Lean outer flame zone ขึ้น โดยที่เปลวไฟจะถูกกักไว้ไม่สามารถเคลื่อนที่ต่อไปได้ และท้ายที่สุด จะก่อให้เกิดการรวมตัวของไฮโดรคาร์บอนบริเวณขอบของรูหัวฉีด ร่องแหวนลูกสูบ และขอบแคมต่างๆ เมื่อวาล์วไอเสียเปิด ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ตกค้างอยู่ในซอกต่างๆ จะเคลื่อนที่ออกมา



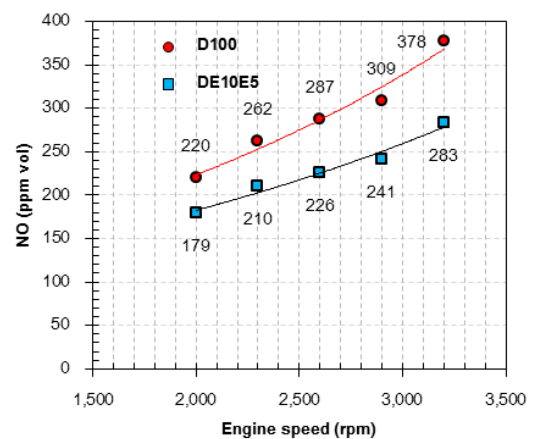
รูปที่ 10 ปริมาณของ HC เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับ D100

ขณะที่ค่า HC จากการใช้น้ำมัน DE10E5 เพิ่มขึ้นร้อยละ 10.71 ที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm ดังแสดงในตารางที่ 5 และที่ความเร็วรอบ 3,200 rpm ค่า HC เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.47 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D100

3.2.5 ปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์

ในรูปที่ 11 แสดงผลการปล่อยปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์ (NO) จากการใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับน้ำมัน D100 พบว่า ปริมาณของ NO เพิ่มขึ้นตามความเร็ว

รอบ และการใช้น้ำมัน DE10E5 มีการปล่อยปริมาณของ NO ลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมัน D100 ที่ความเร็วรอบเท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rakopoulos และคณะ [17] และ Huang และคณะ [20] เนื่องจากการเกิด NO ในเครื่องยนต์นั้น เกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณของอากาศจำนวนมากทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง มีอุณหภูมิการเผาไหม้สูง และมีออกซิเจนในบริเวณปฏิกิริยาการเผาไหม้มาก แต่การเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในน้ำมันดีเซล ทำให้ค่าเลขซีเทนลดลง ความล่าช้าการจุดระเบิดนานขึ้น และเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ในช่วงสารผสมหนา ทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ลดลง ส่งผลให้การปล่อยปริมาณของ NO ลดลง ขณะที่ค่า NO จากการใช้น้ำมัน DE10E5 ลดลงร้อยละ 18.64 ที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm ดังแสดงในตารางที่ 5 และที่ความเร็วรอบ 3,200 rpm ค่า NO ลดลงร้อยละ 25.13 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D100



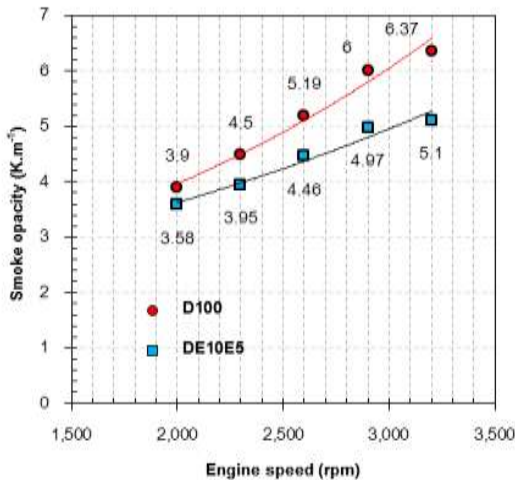
รูปที่ 11 ปริมาณของ NO เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับ D100

3.2.6 ปริมาณควันดำ

ในรูปที่ 12 แสดงการวัดปริมาณควันดำจากการวัดค่าความทึบแสง (smoke opacity) เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 และน้ำมัน D100 เป็นเชื้อเพลิงพบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบ และการใช้น้ำมัน DE10E5 มีปริมาณควันดำลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมัน D100 ที่ความเร็วรอบเท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rakopoulos และคณะ [17] และ Huang และคณะ [20] เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในน้ำมันดีเซล ทำให้เชื้อเพลิงกับอากาศมีเวลาผสมกันนานขึ้น ส่งผลให้ช่วงการเผาไหม้แบบ Premixed combustion นานขึ้น และลด

ช่วงการเผาไหม้แบบ Mixing-controlled combustion ลง ทำให้การปล่อยปริมาณควันต่ำลง

ขณะที่ปริมาณของควันต่ำจากการใช้น้ำมัน DE10E5 ลดลงร้อยละ 8.21 ที่ความเร็วรอบ 2,000 rpm ดังแสดงในตารางที่ 5 และที่ความเร็วรอบ 3,200 rpm ปริมาณของควันต่ำลงร้อยละ 19.94 เมื่อเทียบกับ น้ำมัน D100



รูปที่ 12 ปริมาณควันต่ำเมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับ D100

3.3 ผลการวิจัยการสึกหรอของเครื่องยนต์

ภายหลังการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลทั้งสองเครื่องเมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 และน้ำมัน D100 ในระยะเวลา 300 และ 500 ชั่วโมงนั้น ผลการทดสอบเป็นดังนี้

3.3.1 อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงตลอดการทดสอบ

อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงตลอดการทดสอบของเครื่องยนต์ดีเซลทั้งสองเครื่องสรุปได้ว่า

1. ในระยะเวลา 300 ชั่วโมง การใช้น้ำมัน DE10E5 เป็นเชื้อเพลิง ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (P_{ole}) ลดลงร้อยละ 7.92 ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (V_f) เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.60 และมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (Fuel consumption, FC) ทั้งหมดเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.53 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D100 ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงตลอดการทดสอบ

time (hr)	300			500		
Fuel	D100	DE10E5	Compare (%)	D100	DE10E5	Compare (%)
P_{ole} (kW)	13.89	12.79	-7.92	13.79	12.7	-7.90
V_f (L)	137.11	148.9	+8.60	203.04	220.04	+8.37
FC (L/hr)	0.457	0.496	+8.53	0.406	0.44	+8.37

หมายเหตุ: + แสดงการเพิ่มขึ้น และ - แสดงการลดลง

2. ในระยะเวลา 500 ชั่วโมง การใช้น้ำมัน DE10E5 เป็นเชื้อเพลิง ทำให้ค่า P_{ole} ลดลงร้อยละ 7.90 ค่า V_f เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.37 และมีค่า FC เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.37 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D100 ดังแสดงในตารางที่ 6

3.3.2 การสังเกตลักษณะโดยทั่วไปของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์

จากการตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลหลังการทดสอบ 500 ชั่วโมงนั้น โดยการถอดฝาหัวลิ้น หัวฉีด และฝาสูบของเครื่องยนต์ ต่อมา ทำการถ่ายภาพและเปรียบเทียบภาพถ่ายบริเวณหัวฉีด ฝาสูบ และเสื้อสูบของเครื่องยนต์ทั้งสองเครื่องพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DE10E5 มีคราบเขม่าเกาะอยู่บริเวณหัวลูกสูบ ฝาสูบ และหัวฉีด ลักษณะสีดำในปริมาณที่ค่อนข้างมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน D100 ดังแสดงในรูปที่ 13 ซึ่งแสดงภาพหัวฉีด ฝาสูบ และหัวลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DE10E5 และ D100 ที่ระยะเวลา 500 ชั่วโมง

D100

DE10E5



(ก) ภาพหัวฉีดของเครื่องยนต์

D100

DE10E5



(ข) ภาพฝาสูบของเครื่องยนต์

D100

DE10E5



(ค) ภาพหัวลูกสูบของเครื่องยนต์

รูปที่ 13 หัวฉีด ฝาสูบ และหัวลูกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน DE10E5 และ D100 ที่ระยะเวลา 500 ชั่วโมง

โดยสาเหตุของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 เกิดคราบเขม่าเกาะมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D100 เพราะว่าเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตขึ้นมาจากพืชประเภทแป้งและน้ำตาล เมื่อเผาไหม้แล้วอาจจะมีสารบางตัวที่เผาไหม้ไม่หมด เช่น ประเภทสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในพืช จึงเหลือตกค้างในห้องเผาไหม้และจับตัวกับเป็นเขม่าหนา [21]

3.3.3 ผลการตรวจสอบความดันการฉีดเชื้อเพลิง

ก่อนการทดสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ทั้งสองเครื่อง ได้ตรวจสอบความดันการฉีดเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องจำลองการทำงานของระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก ดังแสดงในรูปที่ 2 ที่ควบคุมการหมุนของเฟืองบีบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 hp และใช้ความถี่คงที่ 30 Hz ความเร็วรอบเฟืองขับ 840 rpm อัตราทดเฟืองส่งกำลัง 1:3 พบว่า ความดันการฉีดเชื้อเพลิงจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D100 เท่ากับ 140 kg/cm^2 และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 เท่ากับ 135 kg/cm^2 ดังแสดงในตารางที่ 7

ภายหลังการทดสอบระยะเวลา 500 ชั่วโมงพบว่า ความดันการฉีดเชื้อเพลิงจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D100 เท่ากับ 136 kg/cm^2 และเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 เท่ากับ 124 kg/cm^2 เมื่อเทียบกับค่า

เริ่มต้นก่อนการใช้งานพบว่า ความดันการฉีดเชื้อเพลิงจากหัวฉีดของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 ลดลงร้อยละ 8.15 ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D100 มีความดันของการฉีดเชื้อเพลิงลดลงร้อยละ 2.86 ดังนั้น เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 นั้น มีความดันของการฉีดเชื้อเพลิงลดลงมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D100 ถึง 5 เท่า โดยสาเหตุที่ความดันของการฉีดเชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 ลดลงมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D100 นั้น มีสาเหตุมาจากน้ำมัน DE10E5 มีค่าความหนืดและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมัน D100 ส่งผลให้ความสามารถในการอัดตัวได้มากขึ้น และการสร้างแรงดันเพื่อเอาชนะแรงกดของสปริงบนเข็มหัวฉีดลดลง [1, 11]

3.3.4 การสึกหรอของปลอกสูบ

ภายหลังตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลหลังการทดสอบ 500 ชั่วโมงนั้น ได้ถอดลูกสูบออกจากกระบอกสูบ และใช้เครื่อง Coordinate Measuring Machine ดังแสดงในรูปที่ 14 (ก) วัดขนาดของปลอกสูบ 3 จุดดังแสดงในรูปที่ 14 (ข) โดยทำการวัดจุดบน จุดกึ่งกลาง และจุดล่าง โดยจากคู่มือเครื่องยนต์มิซูบิชิ รุ่น MIT-170F ระบุว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ต้องไม่เกิน 0.20 mm [13]

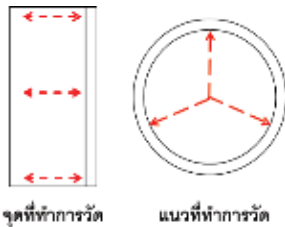
ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบการสึกหรอของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมัน DE10E5 เทียบกับน้ำมัน D100 ภายหลัง 300 และ 500 ชั่วโมง

	รายการ	จุดที่ทำการวัด	น้ำมัน D100			น้ำมัน DE10E5		
			ก่อน	หลัง	ค่าสึกหรอ	ก่อน	หลัง	ค่าสึกหรอ
การสึกหรอ 300 ชั่วโมง	หัวฉีด	ความดันของการฉีดเชื้อเพลิง (kg/cm^2)	140	138	-1.43	135	128	-5.19
	การสึกหรอของปลอกสูบ	จุดบนสุด (mm)	70.010	70.010	0	70.010	70.015	+0.005
		จุดกึ่งกลาง (mm)	70.012	70.012	0	70.012	70.020	+0.008
		จุดต่ำสุด(mm)	70.007	70.007	0	70.007	70.007	0
	ระยะห่างปากแหว่น	แหว่นแรงอัด(บน) (mm)	0.25	0.28	+0.03	0.25	0.32	+0.07
		แหว่นแรงอัด(กลาง) (mm)	0.28	0.30	+0.02	0.28	0.38	+0.1
		แหว่นน้ำมัน(ล่าง) (mm)	0.28	0.30	+0.02	0.28	0.33	+0.05
	ช่องว่างระหว่างแหว่นกับร่องแหว่นของลูกสูบ	แหว่นแรงอัด(บน) (mm)	0.06	0.06	0	0.06	0.09	+0.03
		แหว่นแรงอัด(กลาง) (mm)	0.04	0.04	0	0.04	0.04	0
		แหว่นน้ำมัน(ล่าง) (mm)	0.04	0.04	0	0.04	0.04	0
การสึกหรอ 500 ชั่วโมง	หัวฉีด	ความดันของการฉีดเชื้อเพลิง (kg/cm^2)	140	136	-2.86	135	124	-8.15
	การสึกหรอของปลอกสูบ	จุดบนสุด (mm)	70.010	70.043	+0.033	70.010	70.090	+0.08
		จุดกึ่งกลาง (mm)	70.012	70.019	+0.007	70.012	70.090	+0.078
		จุดต่ำสุด(mm)	70.007	70.030	+0.023	70.007	70.085	+0.078
	ระยะห่างปากแหว่น	แหว่นแรงอัด(บน) (mm)	0.25	0.30	+0.05	0.25	0.40	+0.15
		แหว่นแรงอัด(กลาง) (mm)	0.28	0.30	+0.02	0.28	0.42	+0.14
		แหว่นน้ำมัน(ล่าง) (mm)	0.28	0.30	+0.02	0.28	0.40	+0.12
	ช่องว่างระหว่างแหว่นกับร่องแหว่นของลูกสูบ	แหว่นแรงอัด(บน) (mm)	0.06	0.06	0	0.06	0.15	+0.09
		แหว่นแรงอัด(กลาง) (mm)	0.04	0.04	0	0.04	0.1	+0.06
		แหว่นน้ำมัน(ล่าง) (mm)	0.04	0.04	0	0.04	0.1	+0.06

หมายเหตุ: + แสดงการเพิ่มขึ้น และ - แสดงการลดลง



(ก) เครื่องวัดขนาด



(ข) การวัดขนาดของปลอกสูบ

รูปที่ 14 การวัดขนาดของปลอกสูบโดยใช้เครื่อง CMM

ผลลัพธ์การวัดจุดบนของปลอกสูบซึ่งเป็นจุดที่รับแรงกระแทกจากการจุดระเบิดมากที่สุด [11] ดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 มีการสึกหรอของจุดบนของปลอกสูบเพิ่มขึ้น 0.08 mm ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D100 มีการสึกหรอของจุดบนของปลอกสูบเพิ่มขึ้น 0.03 mm ดังนั้น เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 มีการสึกหรอของจุดบนปลอกสูบมากกว่า เพราะว่ามีแอลกอฮอล์ผสมในน้ำมันดีเซลจำนวนมาก เมื่อแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับอากาศ จะก่อให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้จุดบนของปลอกสูบมีการสึกหรอเร็วกว่า [1, 11, 21] ขณะที่คู่มือของเครื่องยนต์นี้ระบุว่าค่าที่ยอมรับได้ของการสึกหรอของปลอกสูบต้องไม่เกิน 0.20 mm ดังนั้น เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 ยังมีการสึกหรอของปลอกสูบเพียงเล็กน้อย

3.3.5 การสึกหรอของระยะห่างปากแหวน

จากคู่มือเครื่องยนต์มิสซูชิ รุ่น MIT-170F ระบุว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของการสึกหรอของระยะห่างปากแหวนต้องไม่เกิน 0.15 mm [13] โดยภายหลังการตรวจสอบการสึกหรอของระยะห่างปากแหวนแรงอัด (บน) ซึ่งเป็นจุดที่รับแรงกระแทกจากการจุดระเบิดมากที่สุด [11] ดังแสดงในตารางที่ 7 พบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 มีระยะห่างแหวนแรงอัด (บน) เพิ่มขึ้น 0.15 mm ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D100 มีระยะห่างแหวนแรงอัด (บน) เพิ่มขึ้น 0.05 mm ดังนั้น เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 มีการสึกหรอของระยะห่างปากแหวนมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D100 ขณะที่คู่มือของเครื่องยนต์นี้ระบุว่าค่าที่ยอมรับได้ของระยะห่างปากแหวนทั้งสามวงต้องไม่เกิน 0.15 mm แต่เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน

DE10E5 มีระยะห่างแหวนแรงอัด (บน) เท่ากับ 0.15 mm แสดงว่ามีการสึกหรอมาก

3.3.6 การสึกหรอของช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบ

จากคู่มือเครื่องยนต์มิสซูชิ รุ่น MIT-170F ระบุว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของการสึกหรอของการสึกหรอของช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนของลูกสูบต้องไม่เกิน 0.15 mm [13] ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า การใช้ น้ำมัน DE10E5 ทำให้ระยะห่างปากแหวนกับร่องแหวนลูกสูบแหวนแรงอัด (บน) เพิ่มขึ้น 0.09 mm ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D100 ไม่มีการสึกหรอของระยะห่างปากแหวนกับร่องแหวนลูกสูบดังแสดงในตารางที่ 7 ดังนั้น เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 มีระยะห่างปากแหวนกับร่องแหวนลูกสูบมากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D100 แต่คู่มือของเครื่องยนต์นี้ระบุว่าค่าที่ยอมรับได้ของระยะห่างปากแหวนกับร่องแหวนลูกสูบต้องไม่เกิน 0.15 mm ดังนั้น เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 ยังมีการสึกหรอเพียงเล็กน้อย

ดังนั้น จากการวิเคราะห์การสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ โดยรวมของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 โดยเทียบกับค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้จากคู่มือเครื่องยนต์มิสซูชิ รุ่น MIT-170F พบว่า มีการสึกหรอเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่บริษัทกำหนดและสามารถนำไปใช้งานได้ในระยะ 500 hr

4. สรุป

จากผลการตรวจสอบสมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลที่ปราศจากน้ำร้อยละ 10 และเอทิลอะซิเตทร้อยละ 5 เทียบกับน้ำมันดีเซลสามารถสรุปได้ดังนี้

1) เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 มีสมรรถนะต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน D100 ต่อมา ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลง และมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่า โดยที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,600 rpm กำลังไฟฟ้าลดลงร้อยละ 4.52 ประสิทธิภาพโดยรวมลดลงร้อยละ 14.41 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นร้อยละ 22 และความสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 18.89

2) การปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมัน DE10E5 เป็นเชื้อเพลิงนั้นน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ D100 โดยที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,600 rpm การ

ปล่อยปริมาณ CO₂ ลดลงร้อยละ 12.57 ปริมาณ CO ลดลงร้อยละ 27.94 ปริมาณ NO ลดลงร้อยละ 21.25 และ ปริมาณควันดำลดร้อยละ 14.07 แต่การปล่อยปริมาณ HC เพิ่มขึ้นร้อยละ 17.39

3) ความดันของการฉีดเชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์ที่ใช้ DE10E5 นั้นลดลงถึง 5 เท่า และการสึกหรอจากระยะต่างๆ ได้แก่ ระยะห่างปากแหวน ระยะห่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบ และเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ใช้ DE10E5 นั้นสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล แต่การสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ โดยรวมของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันนี้ มีการสึกหรอเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอยู่ในช่วงของค่าที่ยอมรับได้ของผู้ผลิต และสามารถนำไปใช้งานได้ในระยะ 500 hr

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานแผนพลังงานทดแทน กลุ่มงานพัฒนาบุคลากร ปีงบประมาณ 2557 โครงการสนับสนุนทุนวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา และสำเร็จได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน ขอบพระคุณคุณเอกพันธ์ อินทร์ปั้น คุณณกฤษฎา ศรีบุตตะ และคุณวิทวัส ยะพะเยาว์ที่ช่วยเก็บข้อมูลจนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี และสุดท้ายขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kumar, S., Cho, J.H., Park, J. and Moon, I. 2013. Advances in diesel-alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22: 46-72.
- [2] Hansen, A.C., Zhang, Q. and Lyne, P.W.L. 2005. Ethanol-diesel fuel blends-a review. *Bioresource Technology*, 96: 277-285.
- [3] รัญญูธร อิสราชีวะ. 2548. ผลกระทบของสาร Oxygenated Additive ในลักษณะทางอิมัลชันของการผสมน้ำมันดีเซลกับเอทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเคมี

วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- [4] Labeckas, G., Slavinskis, S., Lus, T., Klyus, O. and Mažeika, M. 2013. Combustion and performance parameters of a diesel engine operating on ethanol-diesel fuel blends. *Scientific Journals, Maritime University of Szczecin*, 36(108): 102-109.
- [5] Gomasta, S. and Mahla, S.K. 2012. An experimental investigation of ethanol blended diesel fuel on engine performance and emission of a diesel engine. *International Journal on Emerging Technologies*, 3(1): 74-79.
- [6] Corkwell, K.C., Jackson, M.M. and Daly, D.T. 2003. Review of exhaust emissions of compression ignition engines operating on E-diesel fuel blends. SAE Technical, series no. 2003-01-3283.
- [7] เอกชัย สุธีรศักดิ์ และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ. 2559. อัตราส่วนของเอทานอลและเอทิลอะซิเตสต่อการสเปรย์และสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อ.*, 8(1): 1-14.
- [8] จตุพล ประถมภาส, พัทธดน ทศนภาค, ภาณุพงศ์ มิ่งขวัญ และวสันต์ จันทร์อาภาท. 2557. เครื่องทดสอบระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก. วิทยานิพนธ์ปริญญาเทคโนโลยีบัณฑิต กลุ่มวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [9] Gnanamoorthi, V. and Devaradjane, G. 2013. Effect of diesel-ethanol blends on performance, combustion and exhaust emission of a diesel engine. *Internal Journal of Current Engineering and Technology*, 3(1): 36-42.
- [10] Kumar, C., Athawe, M., Aghav, Y.V., Babu, M.K.G. and Das, L.M. 2007. Effects of ethanol addition on performance, emission and combustion of DI diesel engine running at different injection pressures. SAE Technical Paper, 1: 626-638.

- [11] Yahuza, I. and Dandakouta, H. 2015. A performance review of ethanol-diesel blended fuel samples in compression-ignition engine. *Chemical Engineering & Process Technology*, 6(5): 1-6.
- [12] ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะ อัตราสูงต่ำ และคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 [ออนไลน์]. 2556. [ปรับปรุง ม.ค.2556; อ้างอิง : 27 พ.ย. 2559] เข้าถึงได้จาก <http://www.doeb.go.th/dtanotice/candle-diesel-25-01-56.pdf>.
- [13] คู่มือเครื่องยนต์มิซูมิ รุ่น MIT-170F. บริษัทมิซูมิอุตสาหกรรม จำกัด.
- [14] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 787-2551: เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำ [ออนไลน์]. 2551. [ปรับปรุง 2551 ; อ้างอิง : 27 พ.ย. 2559] เข้าถึงได้จาก <https://law.resource.org/pub/th/ibr/th.cs.787.t.2551.pdf>.
- [15] Heywood, J.B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamental*. McGraw -Hill, New York.
- [16] Al-Hassan, M., Mujafet, H. and Al-Shannag, M. 2012. An experimental study on the solubility of a diesel-ethanol blend and on the performance of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-ethanol blends. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 6(2): 147-153.
- [17] Rakopoulos, C.D., Antonopoulos, K.A. and Rakopoulos, D.C. 2007. Experimental heat release analysis and emissions of a HSDI diesel engine fueled with ethanol-diesel fuel blends. *Energy*, 32: 1791-1808.
- [18] Putrasaria, Y., Nura, A. and Muharama, A. 2013. Performance and emission characteristic on a two cylinder DI diesel engine fuelled with ethanol-diesel blends. *Energy Procedia*, 32: 21-30.
- [19] Balamurugan, T. and Nalini, R. 2014. Effect of blending alcohol with diesel on performance, combustion and emission characteristics of four stroke diesel engine-an experimental study. *International Journal of ChemTech Research*, 6(1): 750-762.
- [20] Huang, J., Wanga, Y., Li, S., Roskilly, A.P., Yu, H. and Li, H. 2009. Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol-diesel blends. *Applied Thermal Engineering*, 29: 2484-2490.
- [21] ลิขิต ไสหนู, สมมาส แก้วล้วน และพิชัย อึ้งมมงคล. 2548. การศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในสภาวะการใช้งานจริง. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.*, 1(1): 14-19.