การศึกษาสมรรถนะและการปล่อยไอเสียของเชื้อเพลิงเอทิลเอสเตอร์ผสมจากน้ำมันปาล์ม

The Study on the Performance and Exhaust Emissions of Ethyl Ester Blends from Palm Oil

สรายุทธ รอดแป้น* และ มาลี สันติคุณาภรณ์

Sarayuth Rodpan* and Malee Santikunaporn

สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต คลองหลวง ปทุมธานี 12120
**Corresponding author, E-mail: rsarayut@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์ผสมเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ แบบ 1 สูบ ขนาดความจุกระบอกสูบ 547 ลบ.ซม. ห้องเผาไหม้ตรง (DI) ในช่วงความเร็วรอบ 1,000-2,500 รอบต่อนาที โดยมีอัตราส่วนผสมระหว่างเอทิลเอสเตอร์กับดีเซลที่สัดส่วน 0:100 (D100) 10:90 (FAEEs 10) และ 50:50 (FAEEs 50) โดยปริมาตรตามลำดับ น้ำมันที่ใช้ทดสอบได้วิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นซึ่งได้แก่ ความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C, จุดวาบไฟ และความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15°C ซึ่งพบว่า ค่าความร้อนของ FAEEs 100 มีค่าต่ำกว่า D100 เล็กน้อย สำหรับผลการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์พบว่ากำลังสูงสุดที่สร้างได้เมื่อทดสอบกับ FAEEs 10 ให้กำลังเพลาของเครื่องยนต์ออกมาดีกว่า D100 เท่ากับ 1.29% และ FAEEs 50 ให้กำลังเพลาออกมาต่ำกว่า D100 เท่ากับ 2.97% เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล 100% ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ของเครื่องยนต์ที่ใช้ FAEEs 10 และ FAEEs 50 มีแนวโน้มสูงกว่า D100 นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณควันดำ ปริมาณ CO และ NO_x จากเครื่องยนต์ที่ใช้ FAEEs 10 และ FAEEs 50 เป็นเชื้อเพลิง มีแนวโน้มต่ำกว่า D100 ทั้งนี้ปริมาณของ CO และ NO_x มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์

คำสำคัญ : *เอทิลเอสเตอร์ ทรานเอสเตอริฟิเคชัน สมรรถนะเครื่องยนต์*

Abstract

This research examines the experimental utilization of blended ethyl ester as fuel for four-stroke diesel engine of a single cylinder with 547 cm^3 displacement. A direct injection system and operating speeds are ranged from 1,000 to 2,500 rpm. The ethyl esters and diesel blends in the proportion of 0:100 (D100, diesel 100%), 10:90 (FAEEs 10), and 50:50 (FAEEs 50) were varied. After analyzing the tested fuels for viscosity at 40°C, flash point

and density at 15°C, it was found that the heating value of FAEEs was lower when compared to D100. The obtained test results of performance and exhaust emissions of the engine's maximum power generated when testing with FAEEs 10 output power of the engine. It was better than D100 (1.29%) and FAEEs 50 output power was less than D100 (2.97%) when compared to D100. The specific fuel consumption (SFC) of the FAEEs10 and FAEEs 50 were higher than D100. It was also found that the amount of black smoke, CO and NO_x from the engine using fuels FAEEs 50, and FAEEs 10 were lower than engine utilizing D100. Additionally, the amount of carbon monoxide (CO) and oxides of nitrogen (NO_x) emitted trend to decrease when higher portion of ethyl ester was blended with diesel.

Keywords *: ethyl ester, transesterification, engine performance*

---

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาวิกฤตพลังงาน เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ของประเทศได้จากปิโตรเลียม ซึ่งมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้ผลของการใช้พลังงานดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้พลังงานทดแทนจึงเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) เช่น การใช้ไบโอดีเซลจากกรดไขมันเมทิลเอสเตอร์ (FAMEs) และกรดไขมันเอทิลเอสเตอร์ (FAEEs)

จากการศึกษาการใช้ไบโอดีเซลเมทิลเอสเตอร์ 100% ในเครื่องยนต์ดีเซล พบว่า ไบโอดีเซลมีกำลังเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล (คณิต วัฒนวิเชียร, 2550) และมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับน้ำมันดีเซลมาก จากการศึกษาของ (Md. Nabi, 2009) พบว่า การปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และควันดำลดลงเมื่อใช้เมทิลเอสเตอร์จากเมล็ดฝ้าย แต่ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เช่นเดียวกับการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียจากการใช้เมทิลเอสเตอร์จากน้ำมันเมล็ดดอกคำฝอย ซึ่งพบว่า ปริมาณ CO ลดลง แต่ไฮโดรคาร์บอน (HC) และ NO_x เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (Ilkilic, 2011) จากการทดสอบการใช้ไบโอดีเซลเมทิลเอสเตอร์ของปาล์มน้ำมัน (Ozsezen, 2010) ได้แสดงให้เห็นว่า การปล่อยก๊าซ CO ลดลงถึง 57% , HC ลดลง 40% แต่ก๊าซ NO_x ที่เพิ่มขึ้น 14.7% จากผลการวิจัยทั้งในและต่างประเทศได้ยอมรับว่าไบโอดีเซลเป็นพลังงานสะอาดสามารถช่วยลดมลพิษทางอากาศและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้

การผลิตไบโอดีเซลมีการศึกษาเป็นเวลานานแล้วโดยเฉพาะไบโอดีเซลจากเมทานอล เนื่องจากเมทานอลหาได้ง่าย มีราคาถูก และไบโอดีเซลที่ผลิตจากเมทานอลนั้นสามารถทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย นอกจากนี้ยังให้ผลการเกิดปฏิกิริยาสูงเมื่อเทียบกับแอลกอฮอล์ชนิดอื่นๆ แต่เนื่องจากเมทานอลเป็นผลิตผลพลอยได้จากการกลั่นปิโตรเลียมจึงไม่ถือว่าเป็นพลังงานจากวัตถุดิบธรรมชาติร้อยเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลจากเอทานอลจึงเข้ามามีบทบาทมากขึ้นซึ่งถือเป็นพลังงานจากวัตถุดิบธรรมชาติร้อยเปอร์เซ็นต์ (Guzatto, 2012) ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชและน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว

ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นด้วยเอทานอล ซึ่งพบว่า ได้น้ำมันไบโอดีเซลสูงถึง 97% และมีคุณสมบัติทางเทคนิคผลที่ได้เทียบเท่ามาตรฐานไบโอดีเซล เช่นเดียวกับการสังเคราะห์ไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์ม (นัชญา พัฒน์ชนะ และมาลี สันติคุณาภรณ์, 2555)

งานวิจัยนี้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาและการนำไปใช้งานจริงของไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์ ผู้วิจัยจึงศึกษาการใช้เอทิลเอสเตอร์ในเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะและการปล่อยก๊าซไอเสีย

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ศึกษาผลทางด้านสมรรถนะและคุณภาพก๊าซไอเสียจากการใช้งานไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็กชนิดห้องเผาไหม้โดยตรงโดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลเพื่อเสนอแนะแนวทางการนำน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์ไปใช้อย่างเหมาะสม

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มเป็นเครื่องยนต์ดีเซลที่จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็กชนิดห้องเผาไหม้โดยตรง โดยใช้เครื่องยนต์ Kubota รุ่น RT100DI ขนาด 10 แรงม้า เพื่อเปรียบเทียบกำลังเพลาของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ และปริมาณไอเสียที่เกิดขึ้นซึ่งได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และปริมาณควันดำ

การทดสอบสมรรถนะได้ทดสอบที่สภาวะคงตัวความเร็วคงที่ในห้องทดสอบสมรรถนะของบริษัทสยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด ดังรูปที่ 1 โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์การทดสอบสมรรถนะ ดังนี้ Eddy Current Dynamometer ของ Tokyokoki Schenck ขนาด 60 PS และรอบ 17,000 รอบต่อนาที เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ โดยการสร้างภาระให้กับเครื่องยนต์ โดยข้อมูลจะถูกเก็บผ่านทางชุดอุปกรณ์ควบคุมที่ต่อพ่วงเข้ากับคอมพิวเตอร์ โดยชุดอุปกรณ์ควบคุม ใช้ในการควบคุมภาระในการทดสอบ เช่น ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้โดยรายละเอียดของเครื่องยนต์ได้แสดงในตาราง 1

รูปที่ 1 การติดตั้งเครื่องยนต์ใช้ทดสอบกับแท่นทดสอบและเครื่องมือวัด

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

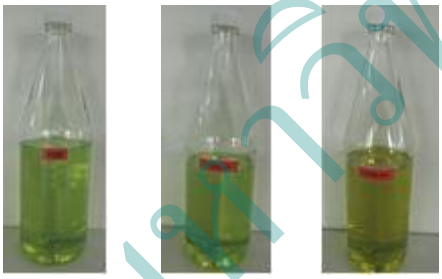
เครื่องยนต์	คูโบต้า RT-100 DI
ชนิด	4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ
ระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง	ฉีดเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง (Direct Injection)
จำนวนลูกสูบ	1 สูบ แถวนอน
ปริมาตรกระบอกสูบ	547 cc.
อัตราส่วนการอัด	18:1

3.2 การทดสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์

ไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์ที่ใช้เป็นไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วน 0:100 (D100) 10:90 (FAEEs 10) และ 50:50 (FAEEs 50) โดยปริมาตรตามลำดับ ไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์ถูกทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันแต่ละชนิด ซึ่งได้แก่ ความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C จุดวาบไฟ ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 15°C ความเป็นกรด และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลทดลอง

ไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์ผสมที่นำมาใช้ในการทดสอบสมรรถภาพและคุณสมบัติของก๊าซไอเสียมีลักษณะและคุณสมบัติทางกายภาพดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย (1) น้ำมันดีเซล, D100 (2) เอทิลเอสเตอร์ผสมดีเซลในอัตราส่วน 10:90, FAEEs 10 และ (3) เอทิลเอสเตอร์ผสมดีเซลในอัตราส่วน 50:50, FAEEs 50



รูปที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงทดสอบ D100 FAEEs 10 และ FAEEs 50

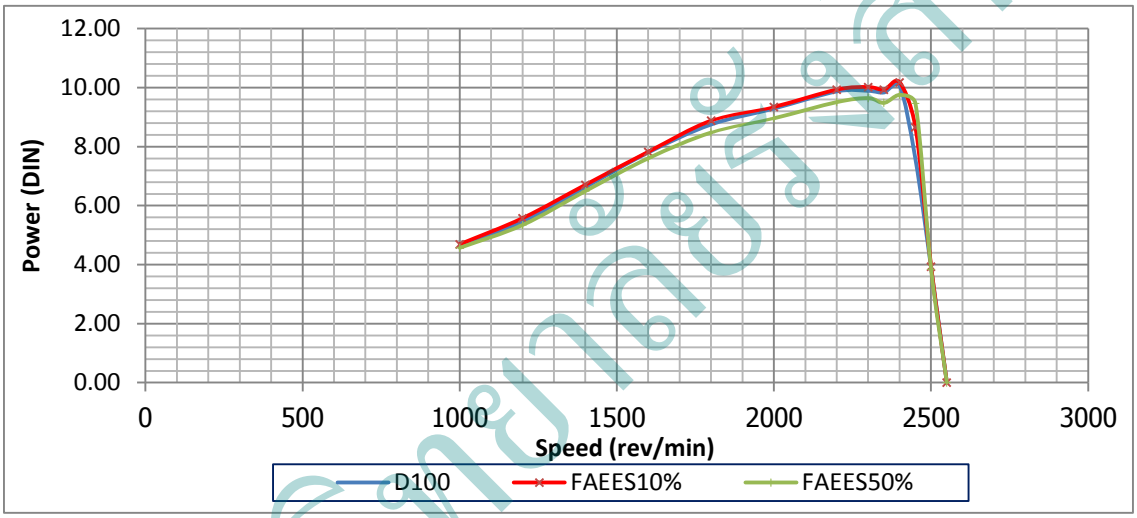
ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์ที่นำมาใช้ผสม พร้อมทั้งมาตรฐานของไบโอดีเซลเมทิลเอสเตอร์ จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C ของไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์ (FAEEs 100) มีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล 1.5 เท่า โดยมีค่าความหนืดเท่ากับ 4.34 cSt แต่ค่าที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์ตามกำหนดของประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2552 จุดวาบไฟ FAEEs 100 มี 168 °C ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน 48 °C ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานของไบโอดีเซลที่กำหนดไว้ที่ 120 °C จุดวาบไฟไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์แต่มีความสำคัญด้านความปลอดภัยในการขนส่ง การใช้งานและการเก็บรักษา โดยทั่วไปจุดวาบไฟของไบโอดีเซลจะมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลและมีค่าอยู่ในช่วง 110-200 °C ส่วนน้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟอยู่ในช่วงระหว่าง 50-60°C ค่าความหนาแน่นของน้ำมัน FAEEs 100 มีค่าสูงสุด (853.2 kg/m^3) รองลงมาคือ D100 (814.1 kg/m^3) ซึ่งถือว่ามีค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์ ซึ่งโดยทั่วไปไบโอดีเซลจะมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำมันดีเซล แต่ในขณะที่ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลทั้งโดยน้ำหนักและปริมาตร ค่าความร้อนเชื้อเพลิง FAEEs 100% มีค่าเท่ากับ 9,527 cal/g

ตารางที่ 2 คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมัน

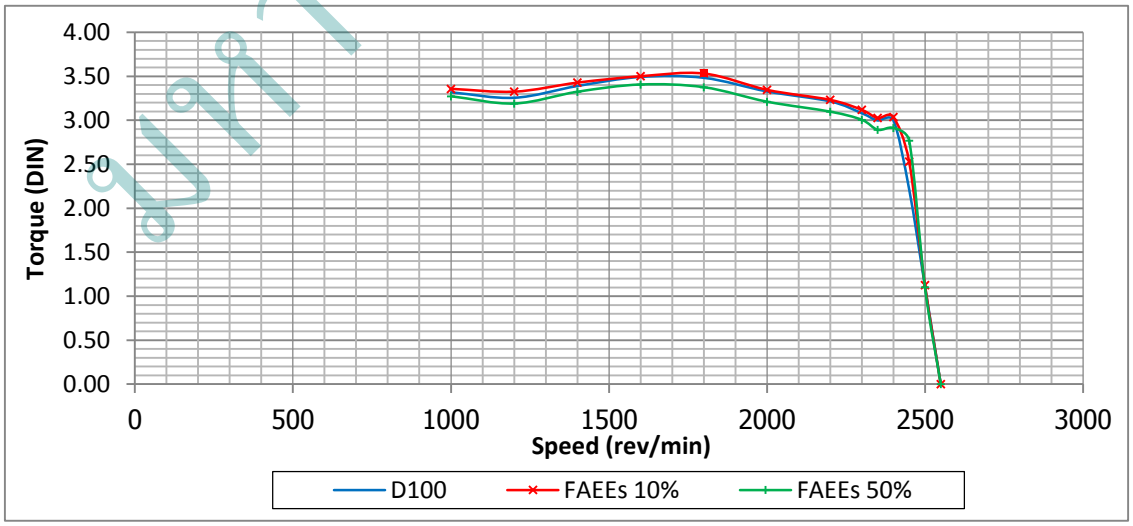
คุณสมบัติเบื้องต้น	STD	D100	FAEEs 100
ความหนืดที่ 40 (°C) (cSt)	3.5-5.0	2.88	4.34
จุดวาบไฟ (°C)	≥120	61	168
ความหนาแน่น (kg/m^3) @15°C	860-900	814.1	853.2
ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)	0.5	0.06	0.45
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง Gross (cal/g)	N/A	10,979	9,527
% เอสเตอร์	>96.5%		98.8

รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบสมรรถนะซึ่งพบว่า กำลังเพลาของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซล

(FAEEs 10 และ FAEEs 50) ให้ค่ากำลังเพลาใกล้เคียงความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ให้กำลังสูงสุดคือ 2,400 rpm. ซึ่งกำลังเพลาสูงสุดที่สามารถสร้างได้ของ FAEEs 10 และ FAEEs 50 ให้ค่ากำลังเพลาที่ 10.17 PS และ 9.75 PS (DIN) ตามลำดับ ในขณะที่ D100 ให้ค่ากำลังเพลาที่ 10.04 PS (DIN) ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่ากำลังเพลาของเครื่องยนต์ที่ใช้ FAEEs 10 ให้กำลังเพลาออกมากับ D100 ตลอดช่วงความเร็วรอบที่ทดสอบโดยมีช่วงดีกว่า D100 เท่ากับ 1.29% และ FAEEs 50 ให้กำลังเพลาออกมาต่ำกว่า D100 เท่ากับ 2.97% เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล 100% จากผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า น้ำมันไบโอดีเซลประเภทเอทิลเอสเตอร์สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้



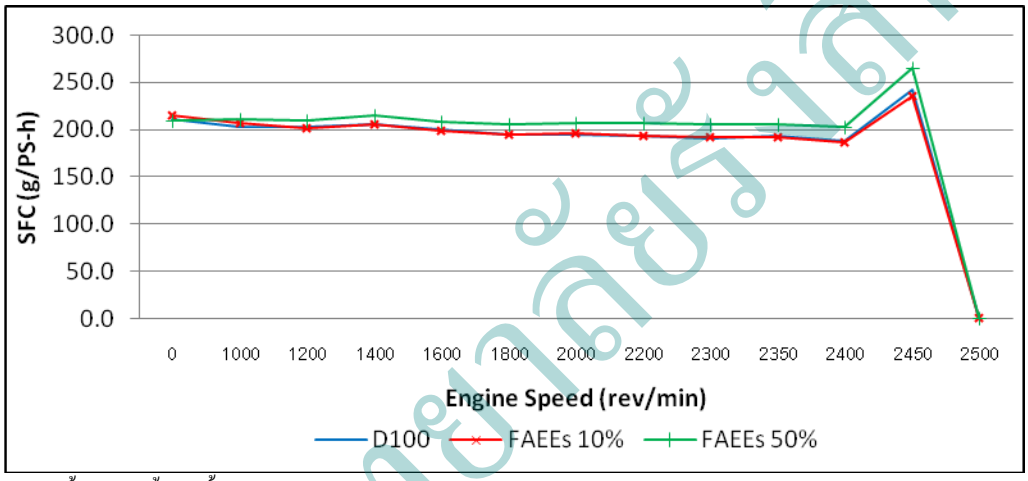
รูปที่ 3 กำลังเพลาของเครื่องยนต์



รูปที่ 4 ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์

ผลการทดสอบค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่า ไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์ผสมให้ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์โดยเฉลี่ยต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย โดยที่ 1,600 รอบต่อนาที FAEEs 10 มีค่าแรงบิดสูงกว่าน้ำมันเล็กน้อย ในขณะที่ FAEEs 50 ให้ค่าแรงบิดต่ำกว่า

รูปที่ 5 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ ซึ่งพบว่าไบโอดีเซลผสมมีแนวโน้มอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับ D100 โดย D100 มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำสุด และเมื่ออัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลมากขึ้นส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มมากขึ้น



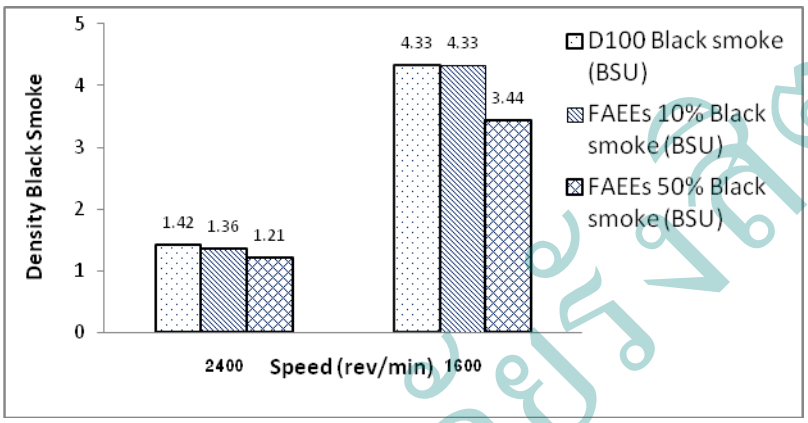
รูปที่ 5 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC)

รูปที่ 6 แสดงผลวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย สำหรับการตรวจวัดปริมาณควันดำจะใช้เครื่องมือวัดปริมาณควันดำ (smoke meter) ซึ่งเป็นการตรวจสอบความทึบแสงของปริมาณคาร์บอนแบบปล่อยให้อากาศไหลผ่านได้บางส่วน จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า ปริมาณควันดำอยู่ในช่วง 1.21-4.33% และไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์มีค่าต่ำว่าดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากเอทิลเอสเตอร์มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้น FAEEs 50 จึงมีปริมาณควันดำต่ำที่สุด

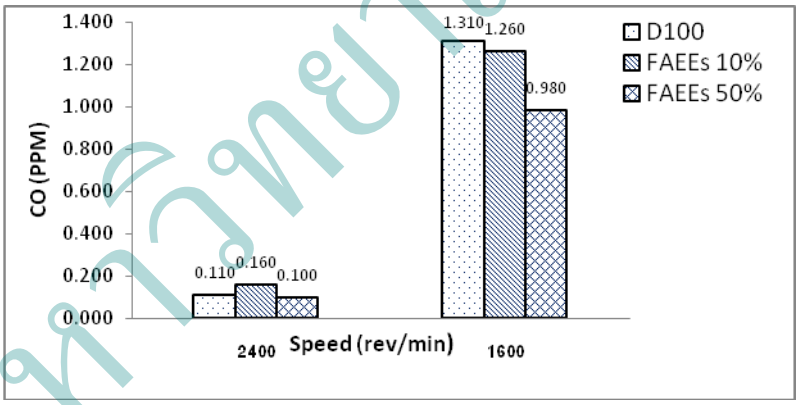
จากรูปที่ 7 จากปริมาณออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบในไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์ส่งผลให้ปริมาณ CO ต่ำกว่าดีเซล และ FAEEs 50 ให้ค่า CO ต่ำกว่า FAEEs 10 เนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น แต่เมื่อมีการเพิ่มภาระโหลดให้กับเครื่องยนต์ส่งผลให้ปริมาณ CO ที่เกิดขึ้นจากเชื้อเพลิงทุกชนิดเพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากที่ภาระโหลดสูง ทำให้อัตราส่วนผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันน้อยลง หรือเรียกได้ว่าส่วนผสมหนานั่นเอง ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยที่ 1,600 RPM ค่า CO สูงที่สุดที่ได้จากการใช้ D100, FAEEs 10 และ FAEEs 50 มีค่าเท่ากับ 1.310, 1.260 และ 0.980 ppm ตามลำดับ

จากรูปที่ 8 สำหรับปริมาณ NO_x พบว่า การผสมเอทิลเอสเตอร์เพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วน (FAEEs 10 และ 50) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงส่งผลให้ก๊าซไอเสียมีปริมาณ NO_x ลดต่ำลงกว่าการใช้ดีเซลเพียงอย่างเดียว (D100) แต่ก๊าซไอเสียที่เกิดจาก FAEEs 10 มีปริมาณ NO_x ต่ำกว่าจาก FAEEs 50 ที่ความเร็วรอบทุกค่าการทดสอบ

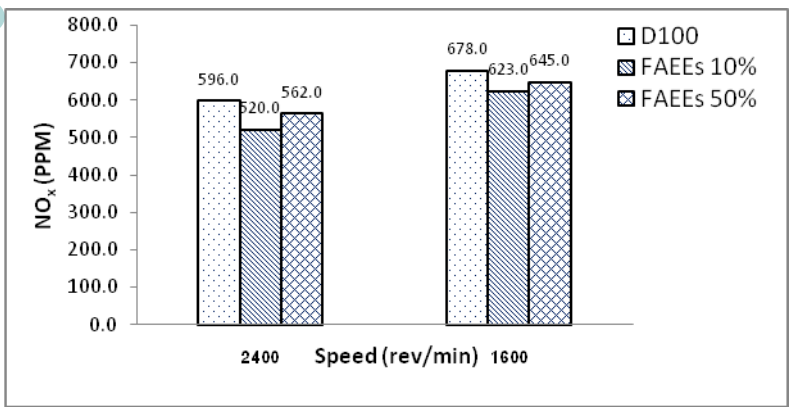
ดังนั้นจึงเป็นการแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนผสมเอทิลเอสเตอร์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลตามสัดส่วนส่งผลให้ปริมาณ NO_x เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเพิ่มสัดส่วนของเอทิลเอสเตอร์ส่งผลให้ค่าความร้อนต่ำลงจึงทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเมื่อภาระเครื่องยนต์มีมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้นจึงมีปริมาณ NO_x มากขึ้นด้วย



รูปที่ 6 ปริมาณควันดำ



รูปที่ 7 ก๊าซไอเสีย (CO)



รูปที่ 8 ก๊าซไอเสีย (NO_x)

5. สรุปผลการทดลอง

การใช้ไบโอดีเซลประเภทเอทิลเอสเตอร์กับเครื่องยนต์ดีเซลในการติดเครื่องยนต์และเดินเครื่องยนต์ที่ภาระโหลดต่างๆ เป็นไปอย่างปกติเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซล D100 เป็นเชื้อเพลิง ส่วนสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับ D100 โดยกำลังเพลาและแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้ FAEEs 10 และ FAEEs 50 ต่ำกว่า D100 เพียงเล็กน้อยในช่วงความเร็วรอบ 1,000–2,500 รอบต่อนาทีและค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์มีค่าสูงกว่า สำหรับปริมาณ CO , NO_x และปริมาณควันดำมีแนวโน้มต่ำกว่า โดยเมื่อพิจารณาสมรรถนะโดยรวมของเครื่องยนต์แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลเอทิลเอสเตอร์ผสมกับดีเซลในสัดส่วนต่างๆ สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท สยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และให้คำแนะนำเกี่ยวกับเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

กรมธุรกิจพลังงาน, (2552). “ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน ปี ๒๕๕๒”

คณิต วัฒนวิเชียร. (2550). การศึกษาการใช้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดขนาดเล็ก ETM-13. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21. 17-19 ตุลาคม 2550.

คู่มือเครื่องยนต์คูโบต้า รุ่น RT-100 DI บริษัท สยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด.

นัชญา พัฒน์ชนะ และ มาลี สันติคุณาภรณ์. (2555). การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชั่นจากน้ำมันปาล์มโดยเอทานอล Sci-Tech 031. การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 1. 18 ธันวาคม 2555

Guzatto R., Defferrari D., Reiznautt.Q.B., Cadore I.R., and Samios D. (2012) Transesterification double step process modification for ethyl eater biodiesel production from vegetable and waste oil, Laboratory of instrumentation andmolecular dynamics, Institute of chemistry, Brazil.

Ilkilic C., Aydin S., Behcet R., and Aydin H. (2011) Biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine, Department of automotive, Faculty of technical education, Firat University Turkey.

Md. Nabi N., Md. Rahman M., and Md.Akhter S. (2009) Biodiesel from cotton seed oil and its effect on engine performance and exhaust, Department of mechanical engineering, University of engineering and technology, Bangladesh.

Ozsezen, A.N., and Canakci, M (2010) The emission analysis of an IDI diesel engine fueled with methyl ester of waste frying palm oil and its blends, Department of Automotive Engineering Technology, Kocaeli University.