



สมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ปาล์ม เอทิลเอสเทอร์

Performance and emissions of a diesel engine using palm ethyl ester

เอกชัย สุธีรศักดิ์* และ เจริญ ชินวานิชย์เจริญ

Ekkachai Sutheerasak* and Charoen Chinwanitcharoen

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

Faculty of Engineering, Burapha University,

169 long-Hard Bangsaen road, Saensuk, Muang, Chonburi, 20131, Thailand

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

บทคัดย่อ

ในประเทศไทย ปาล์มเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีผลผลิตตลอดปี และการใช้น้ำมันปาล์มเพื่อสังเคราะห์เป็นปาล์มเอทิลเอสเทอร์ (POEE) มีการวิจัยต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อใช้ POEE มีการศึกษาเพียงบางส่วน ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ นำเสนอเกี่ยวกับการตรวจสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง และสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อน้ำมันดีเซลผสม POEE ร้อยละ 10 ถึง 50 และ POEE บริสุทธิ์ ขณะที่ผลของคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเหล่านี้เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลพบว่า ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.45 ถึง 5.33 ความหนืดเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.14 ถึง 71.43 และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลงร้อยละ 2.43 ถึง 10.56 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ พบว่า การเพิ่ม POEE ในการผสมกับน้ำมันดีเซลนำไปสู่การลดลงของประสิทธิภาพทางความร้อน และการเพิ่มขึ้นของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และการวัดสารมลพิษต่างๆ บ่งชี้ว่า มีการปล่อย CO และควันดำลดลง และมีการปล่อย CO₂ และ NO เพิ่มขึ้นตามการเพิ่ม POEE ในการผสมกับน้ำมันดีเซล

คำหลัก: ปาล์มเอทิลเอสเทอร์ น้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ดีเซล สมรรถนะ การปล่อยสารมลพิษ

ABSTRACT

In Thailand, palm is an economical crop which has been produced throughout the year. Use of palm oil as a feed stock to synthesize the palm-oil ethyl ester (POEE) have been continuously studied. However, investigation of performance and emissions of diesel engine using POEE were not reported in many studies. Therefore, the main objective of this study reports on the investigation of fuel properties and diesel-engine performance and emissions using diesel fuel mixed with POEE from 10 to 50% and pure POEE. Results of physical properties of these fuels compared with diesel fuel found that the density increased from 1.45 to 5.33%, viscosity increased from 7.14 to 71.43%, and heating value decreased from 2.43 to 10.56%. Results of engine testing showed that increasing POEE in blending with diesel fuel led to the decrease of thermal efficiency and the increase of specific fuel consumption. Measurement of emissions indicated that there were the release of CO and black smoke decreasing and the release of CO₂ and NO increasing with increasing POEE in mixing with diesel fuel.

Keywords: palm oil ethyl ester, diesel fuel, diesel engine, performance, emissions

1. บทนำ

เชื้อเพลิงทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลกำลังได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากปริมาณสำรองปิโตรเลียมที่ลดลงและผลกระทบจากการปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์นี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การปลดปล่อยปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน และควันดำ ซึ่งทำลายสภาวะแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ [1] ขณะที่อัลคิลเอสเทอร์ หรือไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกหนึ่ง ซึ่งผลิตจากน้ำมันที่สกัดจากพืช ผลผลิตทางการเกษตรที่เป็นอาหารและไม่ได้เป็นอาหาร โดยนำน้ำมันเหล่านี้ และแอลกอฮอล์ (เอทานอลหรือเมทานอล) มาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification) โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็นเอทิลเอสเทอร์หรือเมทิลเอสเทอร์ และใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล เชื้อเพลิงนี้ มีคุณสมบัติของเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และลดการปล่อยสารมลพิษจากการเผาไหม้ เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจน (O_2) ที่สูง ทำให้มีการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น [1, 2]

สำหรับการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากเมทานอลนั้น มีการวิจัยอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเมทานอลหาได้ง่าย มีราคาถูก การทำปฏิกิริยาไม่ซับซ้อน ทำให้บริสุทธิ์ได้ง่าย โดยสังเคราะห์เป็นเมทิลเอสเทอร์ แต่เมทานอลผลิตจากการกลั่นปิโตรเลียม มีความเป็นพิษสูง และสามารถดูดซึมเข้าสู่ผิวหนังได้ง่าย ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อละลายในน้ำสามารถคงสภาพเป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน และถ้ามีการรั่วไหลใดๆ สามารถนำไปสู่อันตรายขั้นร้ายแรงได้ [3] ในทางตรงกันข้าม เอทานอลได้มาจากการหมักพืชผลทางการเกษตรภายในประเทศ และมีความเป็นพิษต่ำกว่าเมทานอล ดังนั้น การผลิตเอสเทอร์จากเอทานอลซึ่งผลผลิตที่ได้คือเอทิลเอสเทอร์ กำลังได้รับความสนใจในการพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ในอนาคตสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล [3, 4]

ในประเทศไทย น้ำมันพืชที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเอทิลเอสเทอร์ นั่นคือ น้ำมันปาล์ม เนื่องจากปาล์มมีการเพาะปลูกในหลายภูมิภาค เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีผลผลิต

ตลอดปี และมีปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่การผลิตมากกว่าพืชชนิดอื่น ๆ เช่น ถั่วเหลือง ทานตะวัน เมล็ดเรพ อื่น ๆ [5, 6] สำหรับงานวิจัยการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มนั้น ในปี 2007 Alamu และคณะ [5] สังเคราะห์ปาล์มเอทิลเอสเทอร์ (POEE) จากอัตราส่วนโมลของเอทานอลที่ปราศจากน้ำความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ต่อ น้ำมันจากเนื้อปาล์มระหว่าง 6:1 ถึง 18:1 ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา $60^{\circ}C$ ระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 120 นาที และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก พบว่า มีปริมาณ POEE โดยเฉลี่ยร้อยละ 95.8 ต่อมาในปี 2013 นัชญา พัฒน์ชนะ และมาลี สันติคุณากรณ์ [6] สังเคราะห์ POEE จากน้ำมันปาล์มและเอทานอลที่ปราศจากน้ำความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ KOH ร้อยละ 1 อัตราส่วนโมลของเอทานอลต่อ น้ำมันปาล์มที่เหมาะสมคือ 9:1 ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 30-45 นาที และมีปริมาณของ POEE ร้อยละ 96.0-96.5 และในปี 2014 Noipin และ Kumar [3] สังเคราะห์ POEE จากน้ำมันปาล์มกลั่นและเอทานอลที่ปราศจากน้ำความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาระหว่าง 40 ถึง $75^{\circ}C$ อัตราส่วนโมลของเอทานอลต่อ น้ำมันปาล์มระหว่าง 6:1 ถึง 18:1 ใช้ KOH ระหว่างร้อยละ 0.4-2.0 โดยน้ำหนัก ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า มี POEE เกิดขึ้นมากที่สุดเมื่ออุณหภูมิการทำปฏิกิริยาสูงกว่า $60^{\circ}C$ และใช้ KOH ประมาณร้อยละ 0.5-0.8 โดยน้ำหนัก

สำหรับการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลจากการศึกษา งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ในปี 2008 Alamu และคณะ [7] สังเคราะห์ POEE จากอัตราส่วน โมลของเอทานอลที่ปราศจากน้ำความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ต่อ น้ำมันจากเนื้อปาล์ม 6:1 อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา $60^{\circ}C$ ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ NaOH ร้อยละ 1 เวลาการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 90 นาที และมี POEE สูงสุดร้อยละ 95.4 หลังจากนั้น ตรวจสอบกำลังงานของเครื่องยนต์ดีเซล แบบฉีดตรง สี่สูบ สี่จังหวะ ที่ความเร็วรอบ 1,300-2,500 รอบต่อนาที ภาระงานสูงสุด โดยใช้ POEE เทียบกับน้ำมันดีเซล

ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า กำลังงานลดลงร้อยละ 9.38 เนื่องจากน้ำมัน POEE มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่าร้อยละ 10.72 ค่าความหนืดสูงกว่า 2 เท่า และค่าความหนาแน่นสูงกว่าร้อยละ 3.52 ในปี 2009 ถึง 2017 การศึกษาวิจัย [1, 2, 8-15] ตรวจสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซล แบบฉีดตรง หนึ่งและสี่สูบ ที่ความเร็วรอบต่างๆ ณ ภาระงานสูงสุด และที่ความเร็วรอบคงที่ เปลี่ยนแปลงภาระงานต่างๆ โดยใช้เอทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์จากอัตราส่วนโมลของเอทานอลปราศจากน้ำ ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5-99.9 ต่อน้ำมันพืชทานได้และทานไม่ได้ต่างๆ (ได้แก่ น้ำมันจากพืชสบู่ดำ, ต้นหยีนน้ำ (Karanja), ต้นคาโนลา (Canola), ดอกยี่โถ (Nerium), ต้นยูคาลิปตัส, ดอกทานตะวัน, ต้นสะเดา (Neem), เม็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cardanol), ต้นคาเมลินา (Camelina), และเม็ดฝ้าย) ระหว่าง 6:1 ถึง 12:1 ที่อุณหภูมิการทำงาน 40-75 °C และตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โปแทสเซียมเมทอกไซด์ (CH₃OK), โซเดียมเอซีโอกไซด์ (NaCH₃O) และ NaOH เทียบกับน้ำมันดีเซล

ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้เอทิลเอสเทอร์ต่ำกว่าจากงานวิจัย [2, 9, 10, 12-14] ขณะที่การใช้เอทิลเอสเทอร์ให้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค (BSFC) สูงกว่าจากงานวิจัย [1, 2, 8-15] ทั้งนี้เนื่องจากเอทิลเอสเทอร์มีค่าความหนืดและความหนาแน่นมากกว่า และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่า น้ำมันดีเซล สำหรับการวัดปริมาณของสารมลพิษต่างๆ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่า การใช้เอทิลเอสเทอร์มีการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่หมด (UHC) และควันดำลดลงจากงานวิจัย [2, 8-10, 12-14] ในทางตรงกันข้าม มีการปลดปล่อยไนตริกออกไซด์ (NO) เพิ่มขึ้นจากงานวิจัย [2, 8-10, 12, 14] และมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เพิ่มขึ้นด้วยจากงานวิจัย [13] ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของ O₂ ในองค์ประกอบทางเคมีของเอทิลเอสเทอร์ ทำให้เกิดการเผาไหม้แบบสารผสมบาง และมีการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น ขณะที่การใช้ POEE กับเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ยังไม่พบ

ผลงานวิจัยที่วัดการปล่อยสารมลพิษต่างๆ แต่มีเฉพาะผลการตรวจสอบกำลังงานจากเครื่องยนต์จากงานวิจัย [7]

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษางานวิจัย Mendow และคณะ [16] นำเสนอว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CH₃OK จะได้ผลดีกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaCH₃O, KOH และ NaOH โดยช่วยลดปริมาณ ไตรกลีเซอไรด์ที่เหลืออยู่ในเอทิลเอสเทอร์ในปริมาณมาก ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเมทอกไซด์จะทำให้เกิดปฏิกิริยา (Conversion) ไปเป็นเอสเทอร์ได้มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ ในปี 1999 Wu และคณะ [17] นำเสนอการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชใช้แล้วและเอทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 โดยใช้อัตราส่วนโมลของเอทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 6.6:1 อุณหภูมิการทำงานที่เหมาะสม 38.4°C ใช้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยา คือ เอนไซม์ PS-30 และ SP435 พบว่า มีปริมาณเอทิลเอสเทอร์สูงสุดร้อยละ 85.4 และมีปริมาณไตรกลีเซอไรด์ออกมาสูง ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานการผลิตไบโอดีเซลที่สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กำหนดไว้ต้องมีค่าเอสเทอร์อยู่ระหว่างร้อยละ 97-100 [18]

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอการสังเคราะห์ POEE จากน้ำมันปาล์มและเอทานอลที่ปราศจากน้ำ ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 โดยใช้สาร CH₃OK เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และตรวจสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิง สมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษต่างๆ จากเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า ที่ความเร็วรอบคงที่ และเปลี่ยนแปลงภาระงาน โดยใช้ POEE บริสุทธิ์ และน้ำมันดีเซลผสม POEE ร้อยละ 10 ถึง 50 เทียบกับน้ำมันดีเซล

2. วิธีการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการเตรียมปาล์มเอทิลเอสเทอร์

การวิจัยนี้ มีการเตรียมกระบวนการผลิต POEE ดังแสดงในรูปที่ 1 ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยเชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา โดยใช้ปฏิกิริยา

ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากการนำน้ำมันปาล์มโอเลอินบริสุทธิ์จากเนื้อปาล์มเป็นวัตถุดิบ ซึ่งมีส่วนประกอบของกรดไขมันต่าง ๆ ดังตารางที่ 1

ขั้นตอนแรก เริ่มต้นจากการนำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มาลดความชื้นที่อุณหภูมิ 120°C ในเวลาประมาณ 30 นาที ต่อมาจัดเตรียมเอทานอลเพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยเอทานอลที่ใช้เป็นเอทานอลปราศจากน้ำความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 และใช้ CH₃OK เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยกำหนดสัดส่วนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CH₃OK ปริมาตรร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มละลายในเอทานอลปริมาณ 7 mmol ผสมให้เข้ากันในเวลาประมาณ 30 นาที ใช้อัตราส่วนโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 และทำการกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึงเป็นเวลา 60 นาที ด้วยอัตราการกวน 500 รอบต่อนาที โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบใช้ใบกวนเชิงกล และควบคุมอุณหภูมิที่ 65°C โดยศึกษาจากงานวิจัยที่ [3, 5, 6]

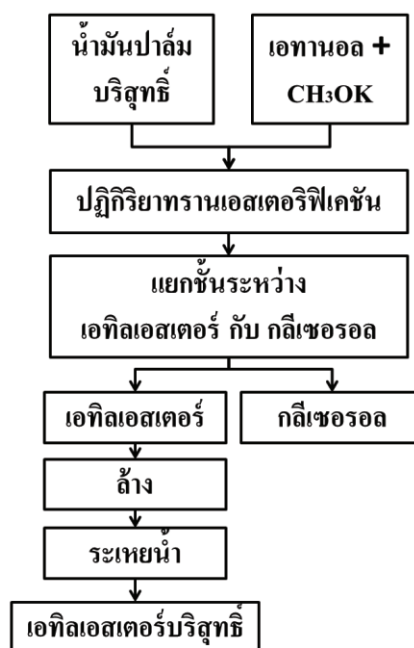
ตารางที่ 1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม [19]

กรดไขมัน		ร้อยละโดยน้ำหนัก
ลอริก	C12:0	0.1
ไมริสติก	C14:0	0.7
ปาล์มิติก	C16:0	36.7
ปาล์มิทอเลอิก	C16:1	0.1
สเตียริก	C18:0	6.6
โอเลอิก	C18:1	46.1
ไลโนเลอิก	C18:2	8.6
ไลโนเลนิก	C18:3	0.3
อะราซิโดนิก	C20:0	0.4
กาโดเลอิก	C20:1	0.2
บีฮีนิก	C22:0	0.1
ลิกลโนซีริก	C24:0	0.1

หลังจากนั้น นำใส่กรวยแยกได้ POEE และกลีเซอริน ซึ่งจะแยกชั้นออกจากชั้น POEE โดยแยกตัวลงมาที่ด้านล่างของกรวยแยกแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นทำการแยก

POEE มาล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก แล้วล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์อีก 4 ครั้ง และขจัดน้ำที่หลงเหลือในชั้น POEE ออกโดยการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 20 นาที

หลังจากนั้น วิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิงด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas chromatography, GC) เพื่อหาปริมาณ POEE ที่สังเคราะห์ออกมา

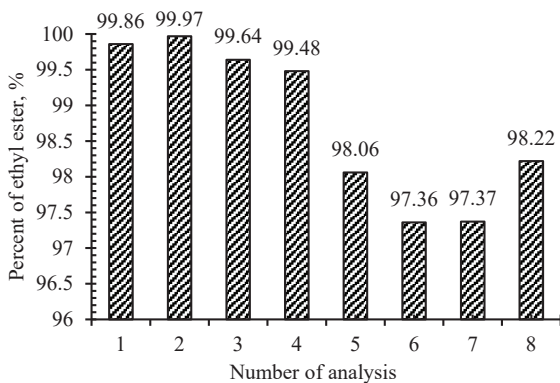


รูปที่ 1 กระบวนการผลิต POEE



รูปที่ 2 การแยกชั้นในกรวยแยก

โดยการสังเคราะห์ POEE ในงานวิจัยนี้ ทำการสังเคราะห์ทั้งหมด 8 ครั้ง และนำไปทดสอบด้วย GC เพื่อหาปริมาณเอสทิลเอสเทอร์เฉลี่ย โดยเอสทิลเอสเทอร์ที่สามารถนำไปใช้งานได้ นั้น จะต้องมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 97-100 [18] ขณะที่ผลการทดสอบด้วย GC แสดงในรูปแบบที่ 3 ซึ่งแสดงร้อยละของเอทิลเอสเทอร์ (Percent of ethyl ester) ที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มจำนวนทั้งหมด (Number of analysis) 8 ครั้ง



รูปที่ 3 ปริมาณเอสทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม

ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ปริมาณของ POEE อยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 97.36-99.97 โดยมีระยะเวลาการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม 60 นาที และอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม 65°C และค่าของเอสทิลเอสเทอร์เฉลี่ยร้อยละ 98.53 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและมีผลลัพธ์ใกล้เคียงกับงานวิจัยนัชญา พัฒน์ชนะ และมาลี สันติคุณากรณ์ [6] และ Noipin และ Kumar [3]

หลังจากนั้น ตรวจสอบคุณสมบัติเชิงเปลือง โดยวิเคราะห์จากคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM D1298, ASTM D445 และ ASTM D 240 เมื่อใช้น้ำมัน POEE บริสุทธิ์ และน้ำมันดีเซลผสม POEE ร้อยละ 10-50 เทียบกับน้ำมันดีเซล ผลลัพธ์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงผลการตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซล (D100) น้ำมันดีเซลผสม POEE ร้อยละ 10-

50 (B10-B50) และน้ำมัน POEE บริสุทธิ์ (B100) โดยเปรียบเทียบกับประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 [20] และผลการวิจัยของ Noipin และ Kumar [3] ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ค่าความหนาแน่นของน้ำมัน B10-B50 เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.45-2.66 ตามอัตราส่วนของ POEE ที่เพิ่มขึ้น และค่าความหนาแน่นของน้ำมัน B100 เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.33 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D100 ตามลำดับ ขณะที่เปรียบเทียบกับกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2556 [20] พบว่า ค่าความหนาแน่นของน้ำมัน B10-B50 และน้ำมัน B100 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 สำหรับการเปรียบเทียบน้ำมัน B100 กับผลการวิจัยของ Noipin และ Kumar [3] พบว่า น้ำมัน B100 ในงานวิจัยนี้ มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าร้อยละ 0.26 และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ EE ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 860-900 kg/m³ [3]

ตารางที่ 2 การตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติทางกายภาพ	ความหนาแน่น ณ 15°C (kg/m ³)	ความหนืดจลนศาสตร์ ณ 40°C (mm ² /s)	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (MJ/kg)
วิธีทดสอบ	ASTM D 1298	ASTM D 445	ASTM D 240
มาตรฐานน้ำมันดีเซล [20]	810-870	1.8-4.1	-
D100	826	2.8	44.03
B10	838	3.0	42.96
B20	840	3.1	42.42
B30	843	3.3	41.57
B40	846	3.4	40.34
B50	848	3.5	40.09
B100	870	4.8	39.38
มาตรฐาน EE [3]	860-900	1.9-8.0	-

สำหรับการเปรียบเทียบค่าความหนืดของเชื้อเพลิงพบว่า น้ำมัน B10-B50 มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นร้อยละ

7.14-25.00 ตามอัตราส่วนของ POEE ที่เพิ่มขึ้น และค่าความหนืดของน้ำมัน B100 เพิ่มขึ้นร้อยละ 71.43 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D100 ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบค่าความหนืดของน้ำมัน B100 กับผลการวิจัยของ Noipin และ Kumar [3] พบว่า น้ำมัน B100 ในงานวิจัยนี้ มีค่าความหนืดน้อยกว่าร้อยละ 2.04 และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในช่วงระหว่าง 1.9-8.0 mm²/s [3] อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2556 [20] พบว่าค่าความหนืดของน้ำมัน B10-B50 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 ขณะที่น้ำมัน B100 ในงานวิจัยนี้ มีค่าความหนืดมากกว่ามาตรฐานน้ำมันดีเซล 0.7 mm²/s

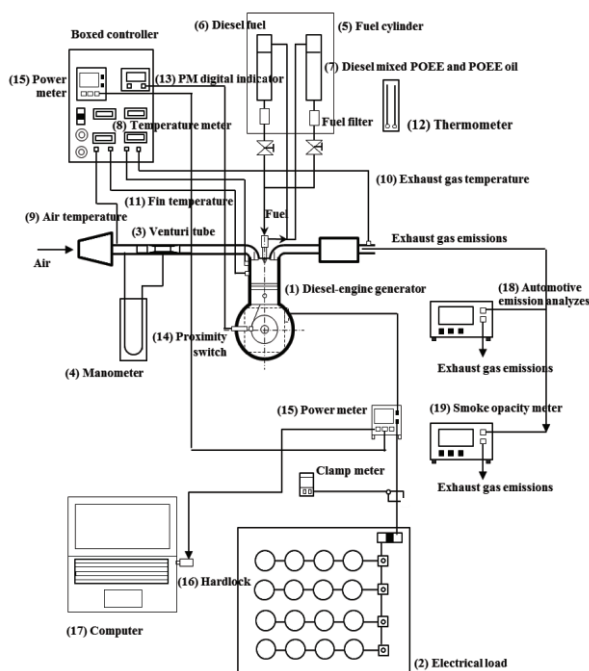
สุดท้าย การเปรียบเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงพบว่า น้ำมัน B10-B50 มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลงร้อยละ 2.43-8.95 ตามอัตราส่วนของ POEE ที่เพิ่มขึ้น และน้ำมัน B100 มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลงร้อยละ 10.56 เมื่อเทียบกับน้ำมัน D100 ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบน้ำมัน B100 กับผลการวิจัยของ Noipin และ Kumar [3] พบว่า น้ำมัน B100 ในงานวิจัยนี้ มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงน้อยกว่าร้อยละ 2.09

สำหรับสัดส่วนที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลคือ น้ำมัน B10 เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 [20]

2.2 ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น การวิจัยนี้ มีการจัดทำชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ โดยนำเครื่องยนต์ดีเซลติดตั้งบนแท่นทดสอบ และทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการวิจัย Automotive biofuels and combustion engineering research laboratory ภาควิชาวิศวกรรม เครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งแสดงแผนภาพของชุดทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลที่จัดทำขึ้น โดยนำ

เครื่องยนต์ดีเซล แบบฉีดตรง หนึ่งสูบ สี่จังหวะ และระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 8.5 kW ของบริษัท MITSUKI ซึ่งมีข้อมูลต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 5 kW_e (หมายเลขที่ 1) และติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ สำหรับชุดภาระงานที่ใช้ในการทดสอบนี้ ใช้ชุดภาระงานทางไฟฟ้า (หมายเลขที่ 2) ซึ่งเป็นโหลดไฟต่อกับตัวต้านทานแบบปรับค่า เพื่อปรับกำลังไฟสูงสุด 5 kW_e



รูปที่ 4 ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

นอกจากนี้ ภายในชุดทดสอบ มีการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศโดยใช้ท่อเวนทิวรี (หมายเลขที่ 3) ต่อกับมานอมิเตอร์ (หมายเลขที่ 4) ครอบอวัดอัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงขนาด 1,000 ml (หมายเลขที่ 5) จำนวน 2 ครอบ เพื่อวัดปริมาณน้ำมันดีเซล (หมายเลขที่ 6) และน้ำมันดีเซลผสม POEE และ POEE บริสุทธิ์ (หมายเลขที่ 7) และเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (หมายเลขที่ 8) ต่อกับเทอร์โมคัปเปิล (ชนิดของไส้แบบ K ขนาดของไส้ 0.65 mm และมีอุณหภูมิใช้งานสูงสุด 1300°C) เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศเข้าท่อไอดี (หมายเลขที่ 9) อุณหภูมิแก๊ส

ไอเสีย (หมายเลขที่ 10) และอุณหภูมิที่ระบายความร้อน (หมายเลขที่ 11) โดยอุณหภูมิห้องทดสอบ ตรวจสอบจากเทอร์โมมิเตอร์ (หมายเลขที่ 12)

สำหรับการตรวจสอบความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ใช้เครื่องแสดงผลแบบดิจิทัล รุ่น PM digital indicator RPM meter (หมายเลขที่ 13) ที่มีความเที่ยงตรงในการวัด $\pm 0.05\%$ ติดตั้งภายในตู้ควบคุม โดยต่อกับ Proximity switch รุ่น SC40P-AE-35 NC ของบริษัท AECO (หมายเลขที่ 14) ที่มีระยะตรวจจับ 0-35 mm ความไวในการทำงาน 10 Hz และ ระยะทำซ้ำ $< 10\%$ SN ขณะที่การวัดกำลังไฟฟ้าในการวิจัยนี้ ใช้เครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าของบริษัท RICHTMASS รุ่น RP-963 (หมายเลขที่ 15) ต่อกับอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า RICHTMASS RMBO โดยประมวลผลที่อุปกรณ์แปลงสัญญาณแบบ Hardlock ซึ่งต่อกับ RS48S แบบ USB data convertor RP-series (หมายเลขที่ 16) และต่อเข้าคอมพิวเตอร์ (หมายเลขที่ 17)

ตารางที่ 3 ข้อมูลของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า

ข้อมูล	รายละเอียด
1. ข้อมูลของเครื่องยนต์	
รุ่น	MIT-186FG
ลักษณะของเครื่องยนต์	4 จังหวะ นิตตรง ระบายความร้อนด้วยอากาศ
กระบอกสูบ, cyl	1
เส้นศูนย์กลางกระบอกสูบ x ระยะชัก, mm	86x70
ความจุ, l	0.406
อัตราส่วนการอัด	19:1
กำลังงานสูงสุด, kW	8.5
ความเร็วรอบ, rpm	3,000

ตารางที่ 3 (ต่อ) ข้อมูลของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า

ข้อมูล	รายละเอียด
2. ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
รุ่น	MIT 5GF-ME
ความเร็วรอบ, rpm	3,000
กำลังไฟฟ้าสูงสุด, kW _e	5
แรงเคลื่อนไฟฟ้า, V	230
กระแสไฟฟ้า, A	21.8

สุดท้าย มีการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์สารมลพิษต่างๆ ของบริษัท Cosber รุ่น KWQ-5 Automotive emission analyzes (หมายเลขที่ 18) ทำการวิเคราะห์ปริมาณของ CO₂ และ CO โดยใช้วิธี Non-disperse infrared (NDIR) method และทำการวิเคราะห์ปริมาณของ NO โดยใช้วิธี Electrochemical cell method ดังแสดงตารางที่ 4 ซึ่งแสดงความละเอียดของเครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบแก๊สไอเสีย ขณะที่เครื่องวิเคราะห์ดังกล่าวถูกใช้ร่วมกับเครื่องวัดความเข้มของควันดำของบริษัท Cosber รุ่น KYD-6 Opacimeter (หมายเลขที่ 19) โดยใช้วิธีวัดแบบ Opacity เพื่อวัดเปอร์เซ็นต์ความเข้มของควันดำ (Smoke opacity)

ตารางที่ 4 ความละเอียดของการวิเคราะห์แก๊สไอเสีย

สารมลพิษ	ความละเอียด
CO ₂ , %vol	$\pm 0.3 \times 10^{-2}$
CO, %vol	$\pm 0.06 \times 10^{-2}$
NO, ppm vol	$\pm 25 \times 10^{-6}$
N, %	$\pm 2\%$

2.3 วิธีการทดสอบ

เริ่มต้นจากการอุ่นเครื่องยนต์เป็นเวลา 15 นาที ความเร็วรอบของการทดสอบ $3,000 \pm 50$ rpm และการทดสอบ เริ่มต้นจากการใช้น้ำมันดีเซล (D100) เป็นเชื้อเพลิง ปรับภาระงานทางไฟฟ้าเริ่มต้นร้อยละ 20 หลังจากนั้น บันทึกข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมา เวลาการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 20 ml อัตราการไหลของอากาศ อุณหภูมิต่าง ๆ ได้แก่ อากาศเข้าพร้อมไอดี

หล่อเย็น และแก๊สไอเสีย และปริมาณสารมลพิษต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณของ CO₂, CO, NO และความเข้มของควันดำ ต่อมา เพิ่มภาระงานทางไฟฟ้าร้อยละ 40, 60, 80 และ 100 ตามลำดับ และบันทึกข้อมูลต่าง ๆ หลังจากนั้นทำการทดสอบการใช้น้ำมันดีเซลผสม POEE ร้อยละ 10-50 (B10, B20, B30, B40 และ B50) และ POEE บริสุทธิ์ (B100) ตามลำดับ โดยใช้เงื่อนไขการทดสอบเดียวกันกับการใช้น้ำมัน D100 และบันทึกข้อมูลต่างๆ เพื่อใช้วิเคราะห์สมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ต่อไป

2.4 การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์

การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องยนต์ [21] นั้นถูกพิจารณาจากประสิทธิภาพทางความร้อน (Electric-thermal efficiency, ETE) ซึ่งคำนวณจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (P_{ele}) ณ ภาระงานต่างๆ ต่อพลังงานของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าไป ขณะที่ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption, SFC) ถูกคำนวณจากอัตราส่วนของอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ณ ภาระงานต่างๆ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

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

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

โดยที่

m_f คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/sec)

LHV คือ ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง (MJ/kg)

3. ผลการวิจัย

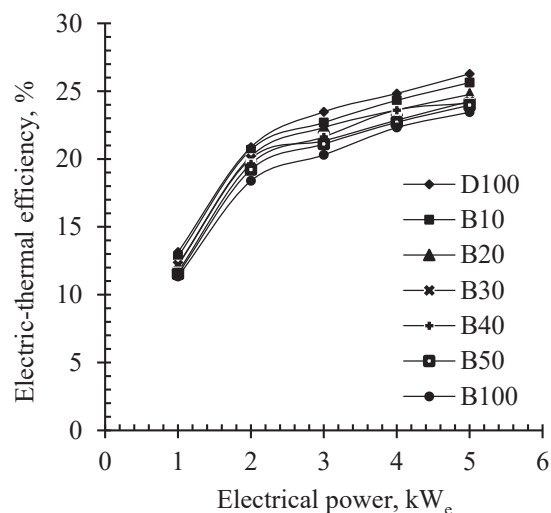
จากการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า เมื่อใช้น้ำมัน B10-B50 และน้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 ที่ความเร็วรอบ 3,000±50 รอบต่อนาที โดยการเพิ่มภาระงานจากร้อยละ 20-100 พบว่า กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1-5 kW_e โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าที่ให้

ออกมาอยู่ระหว่าง ±0.02 ถึง ±0.2 kW_e และมีผลลัพธ์ต่าง ๆ ของการทดสอบดังนี้

3.1 ประสิทธิภาพทางความร้อน

ประสิทธิภาพทางความร้อน (ETE) ที่กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ถูกแสดงในรูปที่ 5 พบว่า การใช้น้ำมัน D100 น้ำมัน B10-B50 และน้ำมัน B100 มีค่า ETE เพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ขณะที่การใช้น้ำมัน B10-B50 และน้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 แสดงให้เห็นว่าค่า ETE ลดลงตามปริมาณของ POEE ที่เพิ่มขึ้น ทุกภาระงานที่ทดสอบ

เมื่อพิจารณาที่ภาระงานสูงสุด พบว่า การใช้น้ำมัน D100, B10, B20, B30, B40, B50 และ B100 มีค่า ETE ร้อยละ 26.27, 25.63, 24.76, 24.24, 24.12, 23.97 และ 23.45 ตามลำดับ ขณะที่เปรียบเทียบการใช้น้ำมัน B10-B50 กับน้ำมัน D100 แสดงให้เห็นว่า ค่า ETE ลดลงร้อยละ 0.64-2.30 และการใช้น้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 มีค่า ETE ลดลงร้อยละ 2.82 โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัย [1, 9, 10, 12-14]



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพทางความร้อน

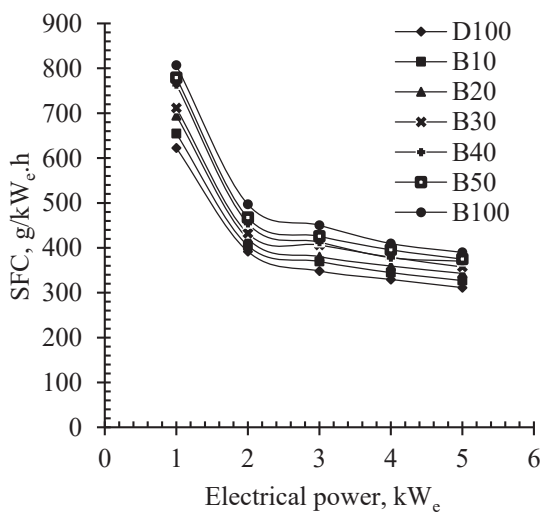
เนื่องจากเอทิลเอสเตอร์มีปริมาณของ O₂ เป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างเชื้อเพลิง เมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศ ทำให้กระบวนการเผาไหม้รวดเร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดการสูญเสียงานในช่วงจังหวะขยาย (Work in expansion stroke) มากขึ้น ทำให้งานสุทธิภายในกระบอกสูบลดลง

ขณะที่เอทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ และน้ำมันดีเซลผสมเอทิลเอสเทอร์ร้อยละ 10-50 มีความร้อนของเชื้อเพลิงน้อยกว่า น้ำมันดีเซล เมื่อทดสอบที่ภาระงานเท่ากัน ทำให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเอทิลเอสเทอร์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

3.2 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

ในรูปที่ 6 แสดงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) ที่กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ พบว่า การใช้น้ำมันเหล่านี้ มีค่า SFC ลดลงตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ขณะที่การใช้น้ำมัน B10-B50 และน้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 พบว่า ค่า SFC เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ POEE ที่เพิ่มขึ้นทุกภาระงานที่ทดสอบ

เมื่อพิจารณาที่ภาระงานสูงสุด พบว่า การใช้น้ำมัน D100, B10, B20, B30, B40, B50 และ B100 มีค่า SFC เท่ากับ 311.23, 327.11, 342.97, 357.35, 370.24, 374.85 และ 389.87 g/kW_e.h ตามลำดับ ขณะที่เปรียบเทียบการใช้น้ำมัน B10-B50 กับน้ำมัน D100 พบว่า ค่า SFC เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.10-20.44 และการใช้น้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 มีค่า SFC เพิ่มขึ้นร้อยละ 25.27



รูปที่ 6 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

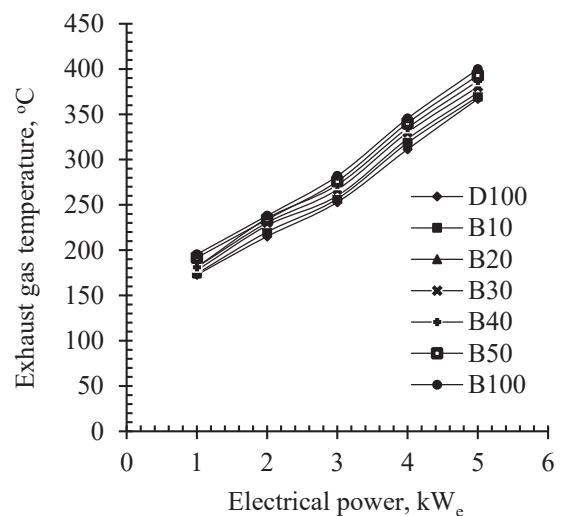
โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัย [1, 9, 10, 12-15] และมีสาเหตุมาจากการใช้เอทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์

และน้ำมันดีเซลผสมเอทิลเอสเทอร์ร้อยละ 10-50 นั้น มีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของเชื้อเพลิงสูงกว่า และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเอทิลเอสเทอร์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อรับภาระงานเท่ากัน ทำให้ค่า SFC สูงกว่า น้ำมันดีเซล

3.3 อุณหภูมิแก๊สไอเสีย

ในรูปที่ 7 แสดงผลการตรวจสอบอุณหภูมิของแก๊สไอเสีย (Exhaust gas temperature, T_{exh}) ที่กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมันเหล่านี้ มีค่า T_{exh} เพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ขณะที่การใช้น้ำมัน B10-B50 และน้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 พบว่า ค่า T_{exh} เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ POEE ที่เพิ่มขึ้น ทุกภาระงานที่ทดสอบ

เมื่อพิจารณาที่ภาระงานสูงสุด พบว่า การใช้น้ำมัน D100, B10, B20, B30, B40, B50 และ B100 มีค่า T_{exh} เท่ากับ 367, 369.43, 373.90, 380.23, 386.80, 392.90 และ 399.90°C ตามลำดับ ขณะที่เปรียบเทียบการใช้น้ำมัน B10-B50 กับน้ำมัน D100 พบว่า ค่า T_{exh} เพิ่มขึ้น 2.43-25.90°C และการใช้น้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 มีค่า T_{exh} เพิ่มขึ้นร้อยละ 32.90°C ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Sakthivel และคณะ [22]

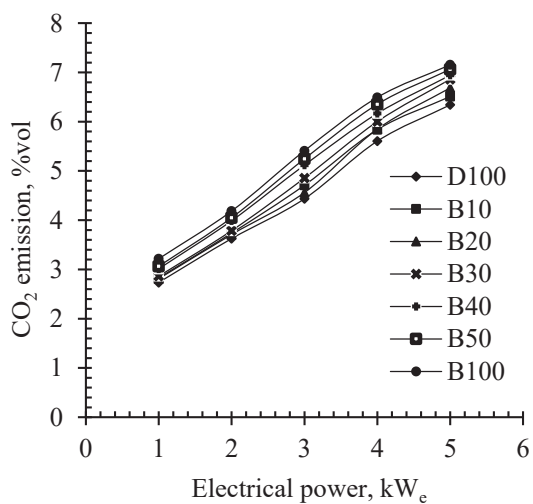


รูปที่ 7 อุณหภูมิของแก๊สไอเสีย

เนื่องจากเอทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์ และน้ำมันดีเซลผสมเอทิลเอสเทอร์ร้อยละ 10-50 มีค่าความหนืดของเชื้อเพลิงสูงกว่าน้ำมันดีเซลตามปริมาณของเอทิลเอสเทอร์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ระยะเวลาการเผาไหม้นานขึ้น จนถึงที่สุดการเผาไหม้เมื่อวาล์วไอเสียเปิด นอกจากนี้ เอทิลเอสเทอร์มีปริมาณของ O₂ เป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างเชื้อเพลิง เมื่อเพิ่มปริมาณของเอทิลเอสเทอร์ในการผสมกับน้ำมันดีเซลที่มากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น อุณหภูมิของการเผาไหม้สูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของแก๊สไอเสียสูงกว่าน้ำมันดีเซล

3.4 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

ในรูปที่ 8 แสดงผลการตรวจสอบการปลดปล่อยปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่กำลังไฟฟ้าต่างๆ พบว่า การใช้ น้ำมันเหล่านี้ มีปริมาณของ CO₂ เพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ขณะที่การใช้ น้ำมัน B10-B50 และน้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 พบว่า ปริมาณของ CO₂ เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของ POEE ทุกภาระงานที่ทดสอบ



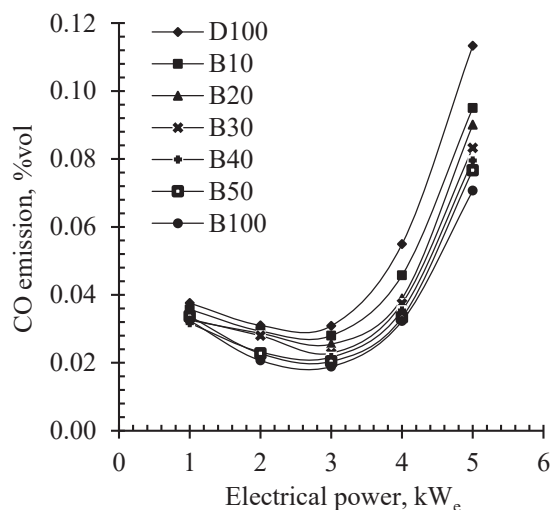
รูปที่ 8 ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์

เมื่อพิจารณาที่ภาระงานสูงสุด พบว่า การใช้ น้ำมัน D100, B10, B20, B30, B40, B50 และ B100 มีปริมาณของ CO₂ เท่ากับ 6.34, 6.51, 6.69, 6.86, 6.94, 7.06 และ 7.15 %vol ตามลำดับ ขณะที่เปรียบเทียบการ

ใช้น้ำมัน B10-B50 กับน้ำมัน D100 พบว่า ปริมาณของ CO₂ เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.63-11.35 และการใช้น้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 มีปริมาณของ CO₂ เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.79 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Venkateswara [13] และSakthivel และคณะ [22] เนื่องจากปริมาณของ CO₂ เกิดจากการเผาไหม้สมบูรณ์ระหว่างปริมาณของคาร์บอน (C) จากองค์ประกอบของเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับปริมาณของ O₂ จากองค์ประกอบของอากาศระหว่างปฏิกิริยาของการเผาไหม้ ดังนั้น เอทิลเอสเทอร์มีปริมาณของ O₂ เป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างเชื้อเพลิง เมื่อเพิ่มปริมาณของเอทิลเอสเทอร์ในการผสมกับน้ำมันดีเซลที่มากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ดีขึ้น ปริมาณของ C ทำปฏิกิริยากับปริมาณของ O₂ มากขึ้น และมีการปฏิกิริยาของการเผาไหม้แบบสารผสมบางเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของ CO₂ เพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับอุณหภูมิของแก๊สไอเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล

3.5 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์

ในรูปที่ 9 แสดงผลการตรวจสอบการปลดปล่อยสารมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่กำลังไฟฟ้าต่างๆ พบว่า การใช้ น้ำมันเหล่านี้ มีปริมาณของ CO เพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น



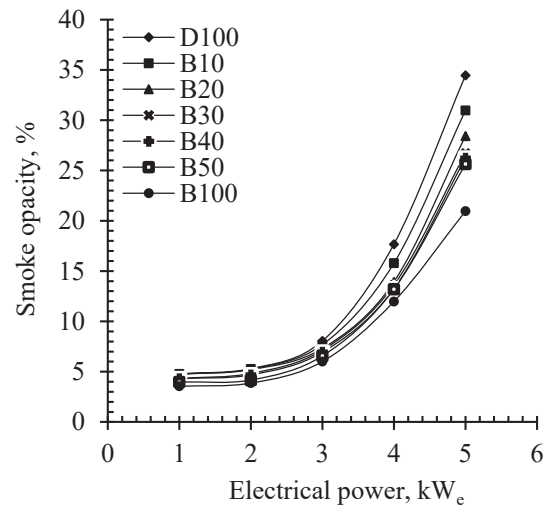
รูปที่ 9 ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์

ขณะที่การใช้น้ำมัน B10-B50 และน้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 พบว่า ปริมาณของ CO ลดลงตามการเพิ่มส่วนผสมของ POEE ในน้ำมันดีเซล เมื่อพิจารณาที่ภาระงานสูงสุด พบว่า การใช้น้ำมัน D100, B10, B20, B30, B40, B50 และ B100 มีปริมาณของ CO เท่ากับ 0.113, 0.095, 0.090, 0.083, 0.080, 0.077 และ 0.071 %vol ตามลำดับ ขณะที่เปรียบเทียบการใช้น้ำมัน B10-B50 กับน้ำมัน D100 พบว่า ปริมาณของ CO ลดลงร้อยละ 16.18-32.35 และการใช้น้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 มีปริมาณของ CO ลดลงร้อยละ 37.65 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Baiju และคณะ [2], Sugözü และคณะ [8], Tarabet และคณะ [10] และ Sakthivel และคณะ [22] เนื่องจากการเกิดสารมลพิษ CO ขึ้นกับปริมาณของ O₂ จากองค์ประกอบของอากาศระหว่างปฏิกิริยาของการเผาไหม้ ขณะที่การใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทิลเอสเทอร์ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น และเอทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์นั้น มีการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้นตามปริมาณ O₂ ที่เป็นองค์ประกอบภายในเอทิลเอสเทอร์ และมีการปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบสารผสมบางเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณของ CO₂ เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การปลดปล่อยสารมลพิษ CO ลดลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล

3.6 ปริมาณควันดำ

ปริมาณของควันดำในการวิจัยนี้ ถูกวิเคราะห์ออกมาในรูปแบบของร้อยละความเข้มของควันดำ (Smoke opacity) ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งแสดงผลการตรวจสอบการปล่อยปริมาณของควันดำที่กำลังไฟฟ้าต่างๆ พบว่า การใช้น้ำมันเหล่านี้ มีปริมาณของควันดำเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ขณะที่การใช้น้ำมัน B10-B50 และน้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 พบว่า ปริมาณของควันดำลดลงตามการเพิ่มส่วนผสมของ POEE ในน้ำมันดีเซล เมื่อพิจารณาที่ภาระงานสูงสุด พบว่า การใช้น้ำมัน D100, B10, B20, B30, B40, B50 และ B100 มีร้อยละความเข้มของควันดำเท่ากับ 34.45, 30.97, 28.43, 26.71, 26.23, 25.64 และ 20.96 ตามลำดับ ขณะที่เปรียบเทียบการใช้น้ำมัน B10-B50 กับน้ำมัน D100

พบว่า ปริมาณของควันดำลดลงร้อยละ 10.12-25.58 และ การใช้น้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 มีปริมาณของควันดำลดลงร้อยละ 39.16 โดยสอดคล้องกับงานวิจัย Baiju และคณะ [2], Tarabet และคณะ [10], Venkateswara [13], Chockalingam และ Chowdry [14]



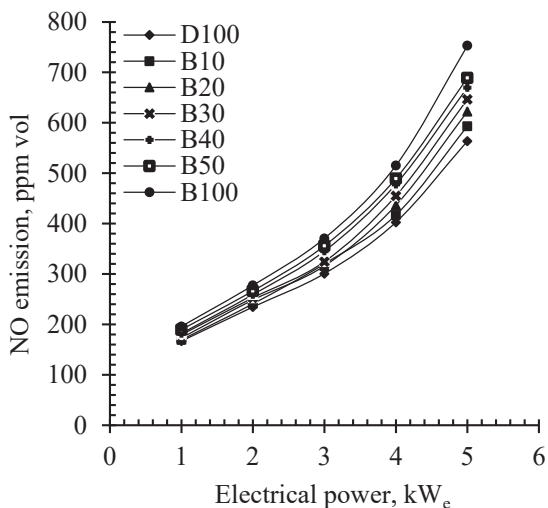
รูปที่ 10 ปริมาณของควันดำ

เพราะว่าปริมาณ O₂ ในเอทิลเอสเทอร์ ก่อให้เกิดการออกซิเดชันของเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ขึ้น นอกจากนี้เอทิลเอสเทอร์มีองค์ประกอบของ C ภายในโครงสร้างของเชื้อเพลิงที่ลดลงและไม่มีสารประกอบประเภทอะโรมาติกส์เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ขณะที่การใช้น้ำมันดีเซลผสมเอทิลเอสเทอร์ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น และเอทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์นั้น มีการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้นตามปริมาณ O₂ ที่เป็นองค์ประกอบภายในเอทิลเอสเทอร์ และมีการปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบสารผสมบางเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้ปริมาณของ CO ลดลง ทำให้ปริมาณควันดำลดลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล

3.7 ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์

ในรูปที่ 11 แสดงผลการตรวจสอบการปล่อยปริมาณสารมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ที่กำลังไฟฟ้าต่างๆ พบว่า การใช้น้ำมันเหล่านี้ มีปริมาณของ NO เพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ขณะที่การใช้น้ำมัน B10-B50

และน้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 พบว่า ปริมาณของ NO เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณของ POEE ทุกภาระงานที่ทดสอบ



รูปที่ 11 ปริมาณของไนตริกออกไซด์

เมื่อพิจารณาที่ภาระงานสูงสุด พบว่า การใช้น้ำมัน D100, B10, B20, B30, B40, B50 และ B100 มีปริมาณของ NO เท่ากับ 563.60, 593.13, 622.47, 646.53, 669.67, 689.07 และ 753.13 ppm vol ตามลำดับ ขณะที่เปรียบเทียบการใช้ น้ำมัน B10-B50 กับ น้ำมัน D100 พบว่า ปริมาณของ NO เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.24-22.26 และการใช้ น้ำมัน B100 เทียบกับน้ำมัน D100 ปริมาณของ NO เพิ่มขึ้นร้อยละ 33.63 โดยผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัย Baiju และคณะ [2], Prabhakar และคณะ [9] และ Chockalingam และ Chowdry [14] ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการอัตราการเกิดสารมลพิษ NO ขึ้นกับอุณหภูมิของการเผาไหม้ และปริมาณของ O₂ จากองค์ประกอบของอากาศ ขณะที่เอทิลเอสเทอร์ มีปริมาณของ O₂ เป็นองค์ประกอบหลักของโครงสร้างเชื้อเพลิง เมื่อเพิ่มปริมาณของเอทิลเอสเทอร์ในการผสมกับน้ำมันดีเซลที่มากขึ้น นำไปสู่การเพิ่มอัตราส่วนของ O₂ ของปฏิกิริยาของการเผาไหม้ ส่งผลให้ปฏิกิริยาของการเผาไหม้เกิดเร็วขึ้น ทำให้การเริ่มต้นของการเผาไหม้เร็วขึ้น ส่งผลให้ช่วงของการเผาไหม้แบบ Premixed เกิดเร็วขึ้น

และมีการปลดปล่อยพลังงานในช่วงนี้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิของการเผาไหม้สูงขึ้น ทำให้อัตราการเกิด NO สูงกว่า และมีการปล่อยสารมลพิษ NO มากกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล [2, 9, 14, 21]

4. สรุป

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิง สมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสม POEE ร้อยละ 10-50 และ POEE บริสุทธิ์ เทียบกับน้ำมันดีเซล สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 น้ำมัน POEE จากงานวิจัยนี้ มีปริมาณของเอสเทอร์ในช่วงระหว่างร้อยละ 97.36-99.97

4.2 ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.45-5.33 ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.14-71.43 และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลงจากร้อยละ 2.43-10.56 ตามการเพิ่มส่วนผสมของ POEE ในน้ำมันดีเซล และใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้

4.3 ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลง และค่า SFC เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มส่วนผสมของ POEE ในน้ำมันดีเซล

4.4 การปล่อยสารมลพิษ CO และปริมาณของควันดำลดลง ในทางตรงกันข้าม การปล่อยสารมลพิษ NO เพิ่มขึ้น ตามการเพิ่มส่วนผสมของ POEE ในน้ำมันดีเซล เพราะว่ามี การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้นตามปริมาณ O₂ ที่เป็นองค์ประกอบภายในเอทิลเอสเทอร์ และมีการปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบสารผสมบางเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ มีการปล่อยปริมาณของ CO₂ และมีอุณหภูมิแก๊สไอเสียเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลทุกภาระงานที่ทดสอบ

4.5 สำหรับสัดส่วนของการผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมัน POEE นั้น น้ำมัน B10 สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิง และสมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุน
สำหรับการทำงานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณ คุณณัฐภัทร

พึ้งเจียก คุณรณรงค์ อรรถมังกคณาม และคุณชมกร
ขงพุกษา ที่ช่วยเก็บข้อมูล และให้ความช่วยเหลือด้าน
ต่างๆ จนกระทั่งการวิจัยนี้ประสบความสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kumar, R., Dixit, A.K. and Sharma, R.K. Properties and use of jatropha curcas ethyl ester and diesel fuel blends in variable compression ignition engine. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 2015; 74: 343-347.
- [2] Baiju, B., Naik, M.K. and Das, L.M. A comparative evaluation of compression ignition engine characteristics using methyl and ethyl esters of karanja oil. *Renewable Energy*, 2009; 34: 1616-1621.
- [3] Noipin, K. and Kumar, S. Optimization of ethyl ester production from palm oil. *Petroleum&Coal*, 2014; 56(3): 249-258.
- [4] Anastopoulos, G., Zannikou, Y., Stournas, S. and Kalligeros, S. Transesterification of vegetable oils with ethanol and characterization of the key fuel properties of ethyl esters. *Energies*, 2009; 2: 362-376.
- [5] Alamu, O.J., Waheed, M.A. and Jekayinfa, S.O. Effect of ethanol-palm kernel oil ratio on alkalicatalyzed biodiesel yield. *Fuel*, 2008; 87: 1529-1533.
- [6] นัชญา พัฒน์ชนะ และ มาลี สันติคุณาภรณ์. การผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์รีฟิเคชันจากน้ำมันปาล์ม โดยเอทานอล. การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 1, ธันวาคม 2555, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร, 2555.
- [7] Alamu, O. J., Adeleke, E. A., Adekunle, N.O. and Ismaila, S.O. Power and torque characteristics of diesel engine fuelled by palm-kernel oil biodiesel. *Leonardo Journal of Sciences*, 2009; 14: 66-73.
- [8] Sugözü, L., Öner, C. and Altun, S. The performance and emissions characteristics of a diesel engine fuelled with biodiesel and diesel fuel. *International Journal Engineering Research & Development*, 2010; 2(1): 50-53.
- [9] Prabhakar, S., Banugopan, V. Annamalai, N.K. and Jayaraj, S. Optimization of esters of nerium biodiesel in a diesel engine. *Indian Journal of Science and Technology*, 2011; 4(3): 170-172.
- [10] Tarabet, L., Loubar, K., Lounici, M.S. Hanchi, S. and Tazerout, M. Eucalyptus biodiesel as an alternative to diesel fuel: preparation and tests on di diesel engine. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012.
- [11] Açikkalp, E., Yamık, H. and İçingür, Y. Performance of a compression ignition engine operated with sunflower ethyl ester under different engine loads. *Journal of Energy in Southern Africa*, 2014; 25(2): 81-90.
- [12] Jeffrey, J.A. and Subramanian, M. Experimental analysis of performance and emission parameters of neem oil ethyl ester and HHO gas addition with neem oil ethyl ester in a single cylinder four stroke compression ignition engine. *Journal of Engineering Research and Applications*, 2014; 4(4): 23-28.
- [13] Venkateswara, R. P. Performance analysis of ci engine fuelled with diesel-biodiesel (methyl/ethyl esters) blend of non-edible oil. *International Journal of Research-Granthaalayah*, 2016; 4(7): 20-26.
- [14] Chockalingam, S. and Chowdry. S. S. Experimental investigation of cardanol ethyl ester as an alternative fuel for diesel engine. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 2017; 10(2): 212-216.

- [15] Akay, H. and Aydoğan, H. The effects of camelina ethyl ester on the performance of diesel engine and combustion characteristics. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 2017; 6(2): 95-103.
- [16] Mendow, G., Veizaga, N.S., Sanchez, B.S. and Querini, C.A. Biodiesel production by two-stage transesterification with ethanol. *Bioresource Technology*, 2011; 102: 10407-10413.
- [17] Wu, W.H., Foglia, T.A., Marmer, W.N. and Phillips, J.G. Optimizing production of ethyl esters of grease using 95% ethanol by response surface methodology. *Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS)*, 1999; 76(4): 517-521.
- [18] การผลิตและการตรวจสอบเซลมาตรฐานไบโอดีเซลเบื้องต้น. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (ว.), แหล่งที่มา [ระบบออนไลน์] <http://www.tistr.or.th>.
- [19] Ramos, M.J., Fernandez, C.M., Casas, A., Rodriguez, L., and Perez, A. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresource Technology*, 2009; 100: 261–268.
- [20] ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556, แหล่งที่มา [ระบบออนไลน์] <http://www.doeb.go.th/dtanotice/candle-diesel25-01-56.pdf>.
- [21] Heywood, J.B. *Internal Combustion Engine Fundamental*. McGraw -Hill, New York, 1988.
- [22] Sakthivel, G., Nagarajan, G., Ilangkumaran, M. and Gaikwad, A.B. Comparative analysis of performance, emission and combustion parameters of diesel engine fuelled with ethyl ester of fish oil and its diesel blends. *Fuel*, 2014; 132: 116–124.