



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและการปลดปล่อยก๊าซของเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดเชื้อเพลิง โดยอ้อมด้วยเชื้อเพลิงนาโนอิมัลชัน ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ

Performance and emission evaluations of indirect injection diesel engine using a nano-emulsified fuel: diesel-biodiesel-water blends

ณรงค์ อินทพรหม, กฤษ สมนึก* และ กำพล ประทีปชัยกูร

Narong Intaprom, Krit Somnuk* and Gumpon Prateepchaikul

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา

Department of Mechanical Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand

Received: 21/07/62

Revised: 26/11/62

Accepted: 11/12/62

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะและการปลดปล่อยก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันระหว่าง ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ ด้วยการใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่มีความถี่เท่ากับ 18 kHz เพื่อผลิตเชื้อเพลิงอิมัลชันในสัดส่วนปริมาณดีเซล 42 vol.% ไบโอดีเซล 50 vol.% น้ำ 2 vol.% และใช้สารลดแรงตึงผิวคือ Span80 และ Tween80 อัตราส่วนเท่ากับ 1:1 โดยทดสอบในเครื่องยนต์ Kubota รุ่น RT100 สูบเดียว ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบโดยอ้อม (indirect injection, IDI) ถูกนำมาใช้ทดสอบภายใต้ภาระโหลดเท่ากับ 0% 25% 50% 75% ที่ความเร็วรอบ 2300 rpm โดยบันทึกค่าการปลดปล่อยของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้คือ O_2 CO_2 CO HC NO_x และทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์คือ ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (specific fuel consumption, SFC) และค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (brake specific fuel consumption, BSFC) ซึ่งจากผลการทดสอบที่ภาระโหลดสูงสุดเท่ากับ 75% พบว่าค่าการปลดปล่อยก๊าซ HC ของเชื้อเพลิงอิมัลชันมีค่าลดลงเท่ากับ 5.39% และ 2.00% เมื่อเปรียบเทียบกับดีเซลและ

ไบโอดีเซล และค่าการปลดปล่อยก๊าซ NO_x มีค่าลดลงเท่ากับ 19.26% และ 8.89% เมื่อเปรียบเทียบกับดีเซล และไบโอดีเซล ในส่วนของสมรรถนะเครื่องยนต์ที่ภาระโหลดสูงสุดเท่ากับ 75% ค่า SFC ของเชื้อเพลิงอิมัลชัน เท่ากับ 1.88 kg/hr ซึ่งมากกว่าดีเซล 2.42% และน้อยกว่าไบโอดีเซล 2.98% ค่า BSFC ของเชื้อเพลิงอิมัลชัน เท่ากับ 0.32 kg/kW.hr ซึ่งมากกว่าดีเซล 2.42% และน้อยกว่าไบโอดีเซล 2.98% โดยผลจากการใช้เชื้อเพลิง อิมัลชันสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซ HC และ NO_x ต่ำกว่าดีเซล ซึ่งเป็นข้อดีในการนำไปใช้งานได้จริงโดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์

คำหลัก: เชื้อเพลิงอิมัลชัน ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ อัลตราโซนิกชนิดโพรบ เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว ระบบฉีด เชื้อเพลิงแบบโดยอ้อม

Abstract

The objective was to investigate the performance and exhaust emission of nano-emulsified fuel (diesel-biodiesel-water blends) using an indirect injection diesel engine. The nano-emulsified fuel of diesel-biodiesel-water was produced by using 18 kHz ultrasonic frequency of probe-type ultrasound. The emulsified fuel (D42B50W2) was blended with the condition of 42 vol.% diesel, 50 vol.% biodiesel, 2 vol.% water at 60 sec sonication time. The surfactants of 3 vol.% Span80 and 3 vol.% Tween80 were mixed to obtain the volumetric ratio of 1:1. The testing of diesel engine was conducted to determine the exhaust emissions (O_2 , CO_2 , CO, HC and NO_x), specific fuel consumption (SFC), and brake specific fuel consumption (BSFC) with a swirl chamber and indirect injection diesel engine (IDI) under 0%, 25%, 50% and 75% engine load at 2300 rpm engine speed. The results showed that HC emission gas of using D42B50W2S3T3 blend was decreased by 5.39% and 2.00%, when compared with diesel and biodiesel, respectively. Moreover, No_x was decreased by 19.26% for diesel and 8.89% for biodiesel. In testing of diesel engine performance at 75%, 1.88 kg/hr of specific fuel consumptions (SFC) and 0.32 kg/kw.hr brake specific fuel consumption (BSFC) obtained from the emulsion fuel, which was slightly higher than 2.42% and less than 2.98% as compared to diesel and biodiesel, respectively. In conclusions, the emulsion blend can reduced the NO_x and HC emissions in a IDI diesel engine with 75% engine load at 2300 rpm. Therefore, D42B50W2S3T3 blend can reduced the HC and NO_x emissions, in which this alternative fuel usable in a diesel engine without modifications.

Keywords: Emulsion fuel; Diesel-biodiesel-water; Ultrasonic probe; Single-cylinder diesel engine; Indirect injection

1. บทนำ

น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญต่อภาคเกษตรกรรม ภาคการขนส่ง และภาคอุตสาหกรรมในประเทศ เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียมด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลและใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล [1,2] โดยจากรายงานของกระทรวงพลังงานได้ระบุว่าการใช้้ำมันดีเซลภายในประเทศปี 2560 มีปริมาณการใช้้ำมันเฉลี่ยเท่ากับ 63.8 M.Liter/Day ตามลำดับ [3] ซึ่งมีปริมาณการใช้ที่สูงขึ้นทุกปี และการใช้ดีเซลในเครื่องยนต์ทำให้เกิดการปลดปล่อยมลพิษได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ก๊าซไฮโดรคาร์บอน (HC) ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO₂) ฝุ่นละอองและควันดำ [4-7] ซึ่งเป็นมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ทำให้ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต โดยก๊าซ CO เมื่อสูดดมเข้าไปในร่างกายจะทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน หากสูดดมเข้าไปในปริมาณที่มากอาจทำให้เสียชีวิตเนื่องจากออกซิเจนไปเลี้ยงสมองไม่เพียงพอ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์สามารถทำลายระบบทางเดินหายใจ เช่นหลอดลมและปอด นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับไอน้ำเพื่อก่อให้เกิดกรดไนตริกที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง ซึ่งทำให้ฝนกลายเป็นฝนกรดและในส่วนของฝุ่นละอองเมื่อสูดดมเข้าไปมากจะเป็นอันตรายต่อปอด [8] จึงมีความพยายามที่จะลดการใช้ดีเซลซึ่งอาจขาดแคลนในอนาคตและลดมลพิษที่เกิดจากการใช้ดีเซลในเครื่องยนต์

จึงมีนโยบายในใช้เชื้อเพลิงทางเลือกคือใช้ไบโอดีเซล (B100) ซึ่งสามารถผลิตได้จากพืช เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือสาหร่าย [2] เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงใกล้เคียงดีเซล ซึ่งปี 2560 ประเทศไทยสามารถผลิตได้ในปริมาณเฉลี่ยอยู่ที่ 3.91

M.Liter/Day [4] ซึ่งจะมีช่วงการผลิตที่เป็นฤดูกาลโดยแนวโน้มการผลิตไบโอดีเซลมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปีจากรายงานของกรมธุรกิจพลังงานในปี 2561 มีปริมาณการผลิตไบโอดีเซลเท่ากับ 1580.24 M.Liter/Year แต่การนำไบโอดีเซลไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เนื่องจากไบโอดีเซลมีความหนืดมากกว่าดีเซลทำให้การฉีดเป็นละอองของเชื้อเพลิงน้อยกว่าดีเซล จึงมีงานวิจัยที่นำดีเซลมาผสมกับไบโอดีเซล ซึ่งเมื่อวันที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2562 ประกาศจากกรมธุรกิจพลังงานเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล ซึ่งส่งเสริมให้มีการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี20 โดยไบโอดีเซลสามารถใช้งานได้เครื่องยนต์ดีเซลบางรุ่นโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ [9] ซึ่งไบโอดีเซลนั้นมีคุณสมบัติค่าความร้อนต่ำกว่าดีเซลแต่มีค่าซีเทนและปริมาณออกซิเจนสูงกว่าดีเซล [10] จึงทำให้การปลดปล่อยก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลนั้นมีปริมาณก๊าซ HC และ CO ต่ำกว่าในขณะที่การปลดปล่อยก๊าซ NO_x จะสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล [11] ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ NO_x ที่สูงขึ้นเกิดจากปริมาณออกซิเจนที่มากกว่าในไบโอดีเซลและอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้น [12-14] เช่น งานวิจัยของ Hosseini et al. (2017) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะและลักษณะการปลดปล่อยก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้เชื้อเพลิงผสม ดีเซล-ไบโอดีเซล โดยผสมไบโอดีเซล 5 และ 10 vol.% การปลดปล่อยก๊าซ CO, CO₂, HC, NO_x และเขม่า จากการเผาไหม้ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 1800, 2300 และ 2800 rpm ที่ภาระโหลดสูงสุด พบว่าการเพิ่มไบโอดีเซลในส่วนผสมจะทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง

และค่า SFC สูงขึ้น เนื่องจากไบโอดีเซลมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าดีเซลจึงทำให้ทอร์กลดลง [15,16] และต้องใช้อีเชื้อเพลิงที่มากขึ้นในการสร้างกำลังของเครื่องยนต์ให้เท่ากัน ในส่วนของการปลดปล่อยก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้เมื่อผสมไบโอดีเซลในส่วนผสมเป็น B10 พบว่าสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซ CO และ HC น้อยกว่า B5 และ B0 ตามลำดับ แต่ก๊าซ NO_x มีปริมาณการปลดปล่อยที่สูงขึ้นเนื่องจากมีหลายงานวิจัยที่รายงานถึงปริมาณออกซิเจนในไบโอดีเซลมากขึ้น ซึ่งนำไปสู่คุณสมบัติการเผาไหม้และเป็นสาเหตุที่ทำให้ปลดปล่อยก๊าซ NO_x เพิ่มขึ้น

จึงมีการวิจัยเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิจากการเผาไหม้ โดยการใช้ส่วนผสมในเชื้อเพลิงเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซ NO_x ให้มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับดีเซล [17] แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณน้ำที่มากเกินไปจะทำให้เพิ่มปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO เนื่องจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นและทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ [18] ดังนั้นในงานวิจัยของ Khalife et al. (2017) จึงได้ศึกษาการใช้เชื้อเพลิงผสม ดีเซล-ไบโอดีเซล (B5) โดยไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันทอดใช้แล้วผสมกับน้ำปริมาณต่ำที่สัดส่วนเท่ากับ 2, 4 และ 6 wt.% ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Tween80 และ Span80 อัตราส่วนเท่ากับ 1:1 ได้ทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยวภายใต้ภาระโหลดสูงสุดที่ความเร็วรอบ 1000, 1500, 2000 และ 2500 rpm พบว่าปริมาณน้ำในสัดส่วนที่มากที่สุดเท่ากับ 6 wt.% ให้ค่าการปลดปล่อยก๊าซ NO_x ต่ำกว่าเงื่อนไขทั้งหมดทุก ความเร็วรอบและที่ความเร็วสูงสุดสามารถลดได้เท่ากับ 25% เมื่อเปรียบเทียบกับ B5 [19] แต่ปัญหาหนึ่งของการผสมระหว่างเฟสน้ำมันกับเฟสน้ำจะเกิดปัญหาเรื่องของการแยกชั้น ดังนั้น Lin and Chen

(2008) จึงได้ศึกษาเทคโนโลยีคลื่นเสียง อัลตราโซนิค เพื่อผลิตเชื้อเพลิงอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำมัน โดยใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวและสามารถใช้ในเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ [20]

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลการปลดปล่อยก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงอิมัลชัน ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ จากกระบวนการผลิตด้วยเครื่องกวนและคลื่นเสียงอัลตราโซนิคชนิดโพรบ ที่มีความถี่ 18 kHz ในกระบวนการผลิตจะใช้ตัวทำอิมัลชัน (emulsifier) หรือตัวช่วยผสมระหว่างเฟสน้ำและเฟสน้ำมัน เป็นสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด คือ Span80 และ Tween80 เพื่อช่วยให้มีความเสถียรมากขึ้น และนำไปทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบโดยอ้อม (indirect injection, IDI) และระบบการเผาไหม้แบบห้องเผาไหม้ล้นวนหน้า (swirl chamber) ภายใต้ภาระโหลดเท่ากับ 0% 25% 50% 75% ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2300 rpm เพื่อวิเคราะห์ค่าการปลดปล่อยของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้คือ ก๊าซ O_2 CO_2 CO HC และ NO_x กับค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์คือ ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับดีเซลและไบโอดีเซล

2. วัสดุสารเคมีและอุปกรณ์

2.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอิมัลชัน ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ คือ ดีเซลบี7 (diesel B7) ซึ่งมีส่วนประกอบของดีเซลเท่ากับ 93 vol.% (ไบโอดีเซลเท่ากับ 7 vol.%) ไบโอดีเซลบี100 (B100) ที่ผลิตจากน้ำมันทอดใช้แล้วด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์

อริฟิเคชั่น น้ำกรอง (กรองผ่านเครื่อง ultra flow, model: UB 6 SF) และสารลดแรงตึงผิวคือ Span80

และ Tween80 ซึ่งองค์ประกอบและคุณสมบัติของวัตถุดิบกับสารเคมีได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าคุณสมบัติของวัตถุดิบกับสารเคมี

Fuels and Surfactants	Density (g/cm ³)	Viscosity (cSt)	LHV (kJ/kg)	HLB
Diesel	0.830	3.37	43683	-
Biodiesel	0.865	5.58	37463	-
Emulsion fuel	0.870	5.40	38169	-
Span80	-	-	-	4.3
Tween80	-	-	-	15

หมายเหตุ : HLB คือ hydrophilic-lipophilic balance

2.2 อุปกรณ์

2.2.1 อุปกรณ์สำหรับการผลิตและวิเคราะห์ขนาดหยดอนุภาคของเชื้อเพลิงอิมัลชัน

อุปกรณ์สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอิมัลชัน ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ คือ เครื่องปฏิกรณ์อัลตราโซนิกชนิดโพรบ (model: AKHGZ-50420K) ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 18 kHz กำลังคลื่นเสียงเท่ากับ 1000 W โดยเครื่องปฏิกรณ์อัลตราโซนิกทำจากวัสดุ SUS316 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปลายโพรบเท่ากับ 34 mm โดยตั้งระยะห่างระหว่างปลายโพรบ (ultrasonic horn tip) กับผนังด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์อัลตราโซนิกเท่ากับ 10 mm โดยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกจะถูกส่งจากเครื่องกำเนิดคลื่นเสียง (ultrasonic generator) โดยได้แสดงในรูปที่ 1 และใช้เครื่องกวนสารละลายชนิดสนามแม่เหล็ก (magnetic stirrer, model: RCT B S104) เพื่อใช้ในการผสมสาร 2 ชนิดคือ ชนิดที่ 1 (ผสมระหว่าง ดีเซล-ไบโอดีเซล-Tween80) และชนิดที่ 2 (ผสมระหว่าง น้ำ-Span80) ตามสัดส่วนที่ศึกษา ในส่วนอุปกรณ์วิเคราะห์ขนาดหยดอนุภาค (droplet

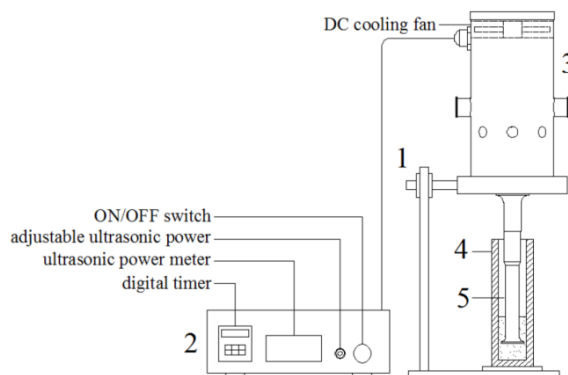
size) ของเชื้อเพลิงอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันคือ กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้กำลังขยาย 1000 เท่า (model: Olympus CX23) ซึ่งสามารถวัดขนาดหยดอนุภาคเฉลี่ยได้อยู่ในช่วง 1000-100000 nm และสำหรับการวิเคราะห์ขนาดหยดอนุภาคที่อยู่ในช่วง 0.6-10000 nm ได้ใช้เครื่องวัดขนาดหยดอนุภาคระดับนาโนเมตร (model: ZEN3600)

2.2.2 อุปกรณ์บันทึกค่าก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้และสมรรถนะของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ใช้สำหรับศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้เชื้อเพลิงอิมัลชัน ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ ต่อการเผาไหม้และสมรรถนะคือ เครื่องยนต์การเกษตร (Kubota model: RT100 IDI) เป็นเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ สูบเดี่ยวแวนอน ระบายความร้อนด้วยน้ำ มีอัตราส่วนแรงอัดเท่ากับ 22:1 กำลังแรงม้าของเครื่องยนต์เท่ากับ 10 แรงม้า (horsepower, hp) ระบบการฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (indirect injection, IDI) ชนิดของระบบการเผาไหม้คือ แบบห้องเผาไหม้

ล้วงหน้า (swirl chamber) กำลังสูงสุดเท่ากับ 7400 W และความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 2400 rpm โดยรายละเอียดของเครื่องยนต์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับแปรค่าภาระโหลด คือ ไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสเหนี่ยวนำ

(dynamometer eddy current, model: DW16) โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าเพื่อสร้างภาระโหลดและคำนวณหาค่าทอร์กที่เครื่องยนต์ได้รับ อุปกรณ์สำหรับ



รูปที่ 1 เครื่องปฏิกรณ์อัลตราโซนิคชนิดโพรบแบบกะ [21]

(หมายเลข 1 คือ support stand with ring clamp, หมายเลข 2 คือ ultrasonic generator, หมายเลข 3 คือ ultrasonic homogenizer, หมายเลข 4 คือ ultrasonic reactor และ หมายเลข 5 คือ ultrasonic circular horn)

ตารางที่ 2 รายละเอียดของเครื่องยนต์

รหัสรุ่น	อาร์ที 100 ดีไอ
แบบ	1 สูบ 4 จังหวะ
จำนวนลูกสูบ	1
ขนาดกระบอกสูบ	88x90 (mm·mm)
xช่วงชัก	547 (cm ³)
ปริมาตรช่วงชัก	10/2400 (hp/rpm) (7.4 kW/2400)
กำลังเครื่องยนต์สูงสุด	9/2400 (hp/rpm) (6.6 kW/2400)
กำลังเครื่องยนต์	ต่อเนื่อง
อัตราส่วนการอัด	22:1
แรงบิดสูงสุด	3.4/1600 (kgf·m)

ชนิดของระบบ	แบบห้องเผาไหม้
การเผาไหม้	ล้วงหน้า
ระบบระบายความร้อน	หม้อน้ำแบบรังผึ้ง

วัดน้ำหนักของแต่ละภาระโหลดคือ โหลดเซลล์ (load cell strain gauge, model: RM-S2) เซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิก๊าซไอเสียคือ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (model: K-type 316) และในการวัดค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในแต่ละภาระโหลดใช้เซนเซอร์วัดความเร็วรอบได้ในช่วง 0-6000 rpm (encoder, model: E6B2-CWZ64) โดยบันทึกในเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger, mode: IVISCO AI 210) สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้วัดก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้คือ ก๊าซ O₂ CO₂ CO HC และ NO_x ด้วยเครื่องวัดก๊าซ (gas

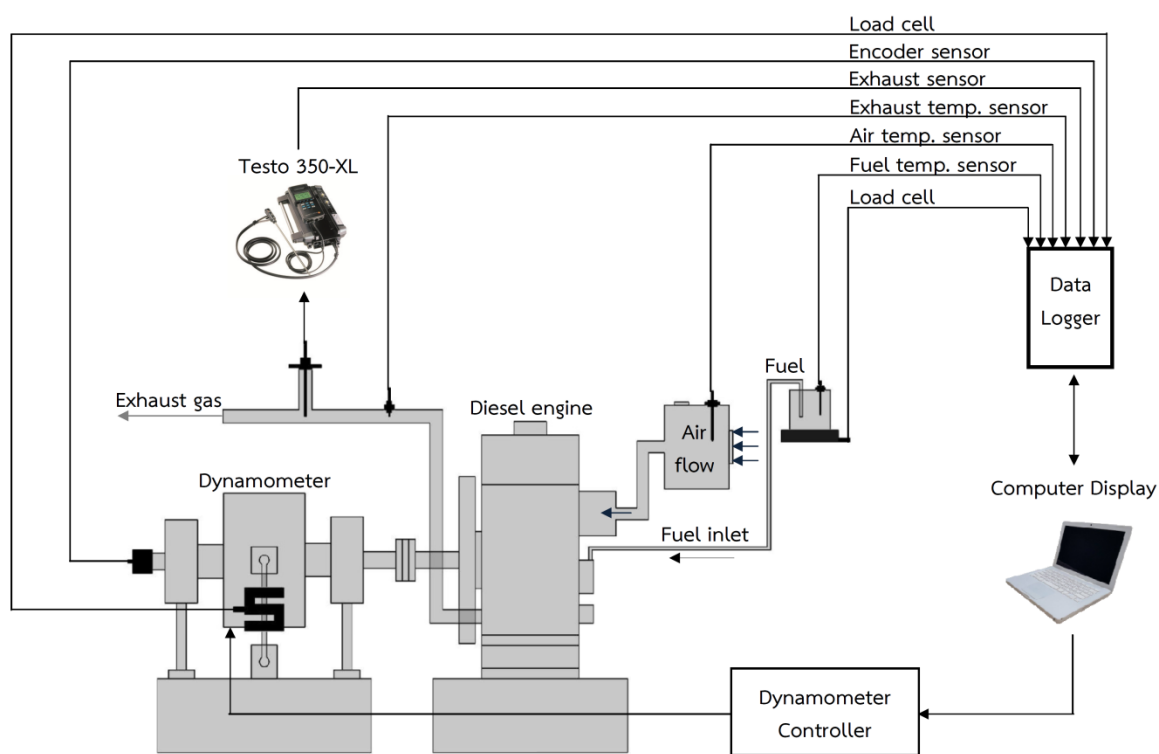
analyzer, model: Testo 350-XL) สำหรับการวัดน้ำหนักของเชื้อเพลิงใช้ตราซัง (load cell model: AND EK-3000i) เพื่อวัดค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยได้แสดงแผนผังดังรูปที่ 2

3. วิธีการทดลอง

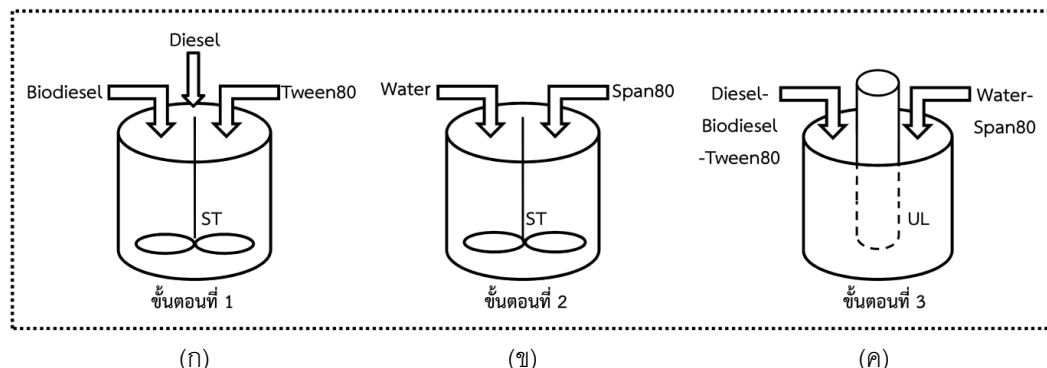
3.1 วิธีการผลิตเชื้อเพลิงอิมัลชัน ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ ด้วยเครื่องกวนและคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

การผลิตเชื้อเพลิงอิมัลชันมี 2 วิธีการผสมคือผลิตด้วยวิธีการกวนผสม 2 ขั้นตอนและผลิตด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรม 1 ขั้นตอน ในส่วนของการ

ผลิตด้วยวิธีการกวนผสมด้วยเครื่องกวนกับแท่งแม่เหล็ก มีกระบวนการผลิต 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ (1) ผสมสารผสมระหว่าง ดีเซล-น้ำ-Tween80 ตามปริมาณที่ได้ออกแบบการทดลอง ใช้เวลาในการผสมเท่ากับ 60 sec ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 500 rpm ขั้นตอนที่ (2) ผสมสารที่ (1) และ ขั้นตอนที่ (2) ที่มีปริมาตรรวมเท่ากับ 40 mL ใส่ลงในเครื่องปฏิกรณ์อัลตราโซนิก (ultrasonic reactor) และเปิดคลื่นเสียงเป็นระยะเวลาเท่ากับ 60 sec โดยได้แสดงขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิงอิมัลชันไว้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 แผนผังชุดทดสอบเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลและอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล



รูปที่ 3 ขั้นตอนการเตรียมเชื้อเพลิงอิมัลชัน (ก) ขั้นตอนที่ 1 การผสม ดีเซล-ไบโอดีเซล-Tween80 ด้วยวิธีการกวนผสม (ข) ขั้นตอนที่ 2 การผสม น้ำ-Span80 ด้วยวิธีการกวนผสม (ค) ขั้นตอนที่ 3 การผสมเชื้อเพลิงอิมัลชัน ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ ด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบ

3.2 วิธีการทดสอบเชื้อเพลิงอิมัลชันในเครื่องยนต์

การทดสอบเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ Kubota RT100 IDI และแปรค่าภาระโหลดเท่ากับ 0% 25% 50% และ 75% ในกระบวนการทดสอบเชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ ดีเซล(B7) ไบโอดีเซล (B100) และเชื้อเพลิงอิมัลชัน ที่อัตราส่วนเชื้อเพลิงอิมัลชันคือ D42B50W2S3T3 (42 vol.% diesel, 50 vol.% biodiesel, 2 vol.% water, 3 vol.% Span80 และ 3 vol.% Tween80) ซึ่งการทดสอบเชื้อเพลิงแต่ละชนิดได้ทำการสตาร์ทเครื่องยนต์และเดินเครื่องยนต์ด้วยดีเซลเป็นระยะเวลา 30 min เพื่ออุ่นเครื่องที่ความเร็วรอบประมาณ 1200-1300 rpm เพื่อให้เครื่องยนต์พร้อมใช้งาน หลังจากนั้นเปลี่ยนเชื้อเพลิงตามที่ต้องการทดสอบและเดินเครื่องยนต์โดยควบคุมความเร็วรอบเท่ากับ 2300 rpm เป็นระยะเวลา 10 min บ่อนภาระโหลดโดยการปรับค่ากระแสให้กับไดนาโมเพื่อหน่วงการหมุนของเครื่องยนต์และปรับความเร็วรอบให้คงที่ หลังจากนั้นใช้เครื่องวัดก๊าซเพื่อ

เก็บค่าปริมาณก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้คือ O_2 CO_2 CO HC และ NO_x กับเก็บข้อมูลของสมรรถนะจากการทดสอบเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (specific fuel consumption) อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (brake specific fuel consumption) และบันทึกค่าอุณหภูมิก๊าซไอเสีย (exhaust temperature)

4. ผลการศึกษาและวิจารณ์

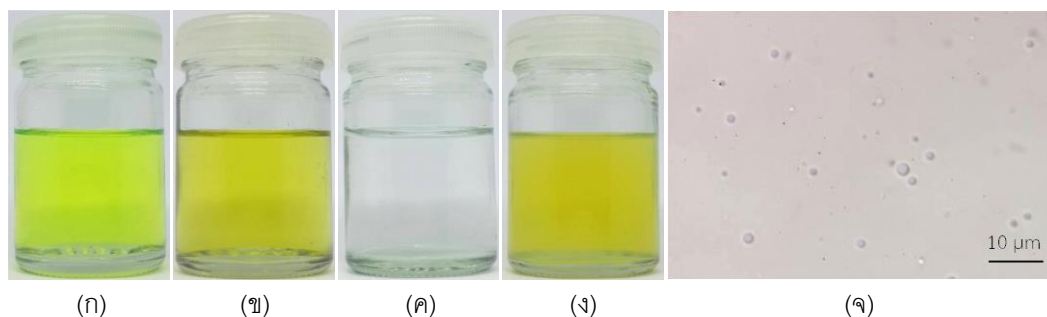
4.1 ขนาดหยดอนุภาคของน้ำในเชื้อเพลิงนาโนอิมัลชัน ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ

วัตถุดิบที่ใช้สำหรับผลิตเชื้อเพลิงนาโนอิมัลชันจากการผสมโดยใช้เครื่องกวนและคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4 โดยมีวัตถุดิบคือ ดีเซล ไบโอดีเซล และน้ำ ตามลำดับ ในสัดส่วนของเชื้อเพลิงนาโนอิมัลชันมีปริมาณน้ำเท่ากับ 2 vol.% ซึ่งส่งผลให้ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอิมัลชันเท่ากับ 0.870 g/cm^3 ที่อุณหภูมิห้อง 30°C และมีความหนืดเท่ากับ 5.58 cSt ที่อุณหภูมิห้อง 40°C โดยแสดงไว้ในตารางที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4(ง)

และจากการส่องกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า ของเชื้อเพลิงนาโนอิมัลชันโดยใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบในการผสม ทำให้เฟสน้ำซึ่งเป็นเฟสภายในมีขนาดหยดอนุภาค (droplet size) เล็ก และแชนนอนลอยอยู่ในเฟสน้ำมันได้แสดงในรูปที่ 4(จ) ซึ่งจากการใช้เครื่องวัดขนาดหยดอนุภาคระดับนาโนเมตร พบว่าขนาดหยดอนุภาคของน้ำมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 122.4 nm และมีค่าดัชนีการกระจายตัวของหยดอนุภาค (polydispersion index, PDI) เท่ากับ 0.200 ซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่ทำให้ขนาดหยดอนุภาคมีขนาดใกล้เคียงกัน

4.2 ผลการปลดปล่อยก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้

4.2.1 ก๊าซออกซิเจน



รูปที่ 4 รูปถ่ายวัตถุดิบและเชื้อเพลิงนาโนอิมัลชัน (ก) ดีเซล (ข) ไบโอดีเซล (ค) น้ำ (ง) เชื้อเพลิงนาโนอิมัลชัน ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ (จ) รูปถ่ายขนาดหยดอนุภาคของเชื้อเพลิงนาโนอิมัลชันจากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

โหลดให้กับเครื่องยนต์และต้องควบคุมความเร็วรอบให้คงที่ ทำให้ปริมาณก๊าซ O_2 ที่ใช้ในการสันดาปเพิ่มขึ้นและเมื่อพิจารณาที่ภาระโหลดมากที่สุดเท่ากับ 75% ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ O_2 ของดีเซลมีค่ามากกว่าไบโอดีเซลเท่ากับ 0.30% และน้อยกว่าเชื้อเพลิงอิมัลชันเท่ากับ 23.24% เนื่องจากไบโอดีเซลมีองค์ประกอบของออกซิเจนมากกว่าดีเซลทำให้เกิด

ก๊าซออกซิเจน (O_2) เป็นก๊าซที่ใช้ในการสันดาปกับเชื้อเพลิงจะได้ก๊าซ CO_2 ไอน้ำ และความร้อน โดยทำปฏิกิริยาในห้องเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ ซึ่งหากปริมาณก๊าซ O_2 มีมากเกินไปพอสำหรับการเผาไหม้โดยปกติใช้อากาศในการสันดาปเนื่องจากในอากาศมีก๊าซ O_2 โดยผลการปลดปล่อยก๊าซ O_2 ของเชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ ดีเซล ไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงอิมัลชันในเครื่องยนต์การเกษตร Kubota RT 100 IDI ที่ภาระโหลด 0% 25% 50% และ 75% โดยใช้เครื่องวัดก๊าซ Testo 350-XL ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2300 rpm พบว่าเมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ O_2 ของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มลดลงดังแสดงในรูปที่ 5(ก) เนื่องจากการที่เพิ่มภาระ

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่าดีเซล [22] ในส่วนของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ O_2 จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอิมัลชันที่ภาระโหลดสูงสุดเท่ากับ 75% มีค่ามากกว่าดีเซลและไบโอดีเซลเท่ากับ 18.86% และ 19.10% ตามลำดับ เนื่องจากน้ำในส่วนผสมเชื้อเพลิงอิมัลชันมีออกซิเจนจึงทำให้การปลดปล่อยก๊าซ O_2 เพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alahmer (2013)

ได้ศึกษาผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิงอิมัลชันระหว่าง ดีเซล-น้ำ ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยสัดส่วนเงื่อนไขของน้ำที่ศึกษาเท่ากับ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 vol.% ทดสอบที่ความเร็วของเครื่องยนต์อยู่ในช่วง 1000-3000 rpm พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ทำให้ปริมาณก๊าซ O_2 ที่ได้จากการเผาไหม้ลดลงและที่ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 3000 rpm พบว่าปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นในสัดส่วนของเชื้อเพลิงอิมัลชันส่งผลต่อการปลดปล่อยปริมาณก๊าซ O_2 เพิ่มขึ้น [23]

4.2.2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับก๊าซ O_2 ที่มากเกินไป หากก๊าซ O_2 มีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์และส่งผลให้เกิดก๊าซ CO_2 เพิ่มขึ้น จากการทดลอง พบว่าค่าการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ของเชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ ดีเซล ไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงอิมัลชัน ที่ภาระโหลด 0% 25% 50% และ 75% พบว่าเมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้นทำให้การปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยแสดงดังรูปที่ 5(ข) เมื่อพิจารณาที่ภาระโหลดสูงสุดเท่ากับ 75% มีค่าการปลดปล่อยที่มากกว่าเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดเดียวกัน และพบว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ของดีเซลมีค่ามากกว่าไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงอิมัลชันเท่ากับ 2.77% และ 20.23% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alahmer (2013) ได้ศึกษาผลกระทบจากการใช้เชื้อเพลิงอิมัลชันระหว่าง ดีเซล-น้ำ ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยสัดส่วนเงื่อนไขของน้ำอยู่ในช่วง 5-30 vol.% ทดสอบที่ความเร็วของเครื่องยนต์อยู่

ในช่วง 1000-3000 rpm พบว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นและมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนของน้ำในเชื้อเพลิงอิมัลชันมากขึ้น เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอิมัลชันทำให้เกิดการระเบิดขนาดเล็กของน้ำ เมื่อสัดส่วนของน้ำเพิ่มขึ้นทำให้สัดส่วนของดีเซลที่มีสารประกอบของคาร์บอนลดลง ซึ่งนำไปสู่การปลดปล่อยก๊าซ CO_2 ที่น้อยลง [23,24]

4.2.3 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบคาร์บอน ก๊าซ CO จะเกิดปริมาณมากเมื่อก๊าซ O_2 ที่ใช้ในการสันดาปมีปริมาณไม่เพียงพอ [5] โดยจากผลการปลดปล่อยก๊าซ CO ของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด พบว่าที่ภาระโหลด 0-50% ส่งผลให้ปริมาณก๊าซ CO มีแนวโน้มลดลงทั้ง 3 ชนิดดังแสดงในรูปที่ 5(ค) เนื่องจากที่ภาระโหลดเริ่มต้นอุณหภูมิการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงยังไม่สูงมาก เช่นที่ภาระโหลดเท่ากับ 25% มีค่าการปลดปล่อยก๊าซ CO ของดีเซลเท่ากับ 268.73 ppm ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ภาระโหลด 0% เท่ากับ 736.20 ppm โดยอุณหภูมิการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นเมื่อป้อนภาระโหลดมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้เพิ่มขึ้น [25,26] เมื่อพิจารณาที่ภาระโหลดสูงสุดเท่ากับ 75% มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO ของดีเซลน้อยกว่าไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงอิมัลชันเท่ากับ 70.94% และ 62.99% ตามลำดับ เนื่องจากไบโอดีเซลมีความหนืดที่มากกว่าดีเซล จึงมีผลต่อขนาดหยดของเชื้อเพลิงที่ใหญ่ขึ้นเมื่อถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้และเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ [18] ในส่วนของเชื้อเพลิงอิมัลชันมีสาเหตุจากผลกระทบของน้ำที่ดูดซับความร้อนทำให้

อุณหภูมิห้องจะเปิดลดลง ส่งผลให้มีค่าการปลดปล่อยก๊าซ CO มากกว่าดีเซล [26] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Baskar and Senthilkumar (2016) ที่ศึกษาผลกระทบของการเพิ่มก๊าซ O_2 ระหว่าง 21-27% ต่อสมรรถนะเครื่องยนต์และศึกษาลักษณะการปลดปล่อยมลพิษโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว พบว่าการปลดปล่อยก๊าซ CO จะมีค่าลดลงตั้งแต่ภาระโหลดเริ่มต้นจนถึงประมาณ 50% และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงภาระโหลดเต็ม เนื่องจากอัตราส่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศมีความเหมาะสมทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นในช่วงภาระโหลดประมาณ 50% [5]

4.2.4 ก๊าซไฮโดรคาร์บอน

ไฮโดรคาร์บอน (HC) เป็นสารองค์ประกอบของเชื้อเพลิง เมื่อเกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กับอากาศในห้องเผาไหม้จะสลายพันธะและรวมตัวกับออกซิเจนเป็นไอน้ำกับก๊าซ CO_2 ซึ่งหากเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรืออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงไม่เหมาะสม จะทำให้พบก๊าซ HC ที่ยังไม่ได้สันดาปในไอเสีย โดยผลการปลดปล่อยก๊าซ HC ของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดพบว่าค่าปลดปล่อยก๊าซ HC ที่ภาระโหลด 25% มีค่าต่ำสุดและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อป้อนภาระโหลดมากขึ้น โดยได้แสดงในรูปที่ 5(ง) เนื่องจากกำลังของเครื่องยนต์ลดลงเมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้นทำให้มีการใช้เชื้อเพลิงที่มากขึ้นเพื่อรักษาความเร็วรอบให้เท่ากับ 2300 rpm ทำให้อัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงลดลงและเชื้อเพลิงบางส่วนไม่เกิดการเผาไหม้ทำให้ตรวจพบปริมาณก๊าซ HC ที่ระเหยออกจากห้องเผาไหม้น้ำมันไอเสีย เมื่อพิจารณาภาระโหลดสูงสุดเท่ากับ 75% พบว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ HC ของดีเซล

มีค่าสูงสุดและมีค่ามากกว่าไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงอิมัลชันเท่ากับ 3.46% และ 5.39% ตามลำดับ เนื่องจากไบโอดีเซลมีความล่าช้าในการจุดระเบิดที่สั้นกว่า [19] และมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่มากกว่าดีเซล [27] ทำให้ภายหลังการสันดาปมีปริมาณก๊าซ HC ที่น้อยกว่าดีเซลและในส่วนของเชื้อเพลิงอิมัลชันมีค่าการปลดปล่อยก๊าซ HC ลดลงเนื่องจากเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ น้ำที่อยู่ในสัดส่วนเชื้อเพลิงอิมัลชันได้เปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำภายในห้องเผาไหม้ ทำให้เชื้อเพลิงรอบๆ หยดน้ำแตกออกเป็นละอองเล็กลง ช่วยเพิ่มอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น ในจังหวะจุดระเบิดและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ HC ลดลง [28] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumar et al. (2013) ได้ศึกษาการใช้ดีเซลและเชื้อเพลิงอิมัลชันที่มีสัดส่วนของน้ำเท่ากับ 10 v/v% โดยใช้สารลดแรงตึงผิว 2 v/v% ระหว่าง Span80 และ Tween80 ในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว 4 จังหวะ ศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะและการปลดปล่อยก๊าซ CO, HC, NO_x และเขม่า พบว่าการปลดปล่อยก๊าซ HC จากการใช้เชื้อเพลิงอิมัลชันให้ค่าที่น้อยกว่าดีเซลเมื่อป้อนภาระโหลดมากขึ้น ยกเว้นค่าภาระโหลดเริ่มต้น โดยให้เหตุผลว่าการเพิ่มโหลดจะทำให้ค่าการปลดปล่อยน้อยกว่าที่ภาระโหลดเริ่มต้น แล้วจึงเพิ่มขึ้นตามการป้อนภาระโหลด ซึ่งที่ภาระโหลดต่ำๆ จะให้ค่าการปลดปล่อยที่ใกล้เคียงดีเซลและเมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้นจะมีค่าก๊าซ HC ในไอเสียน้อยกว่าดีเซล [29]

4.2.5 ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์

ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เป็นก๊าซที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิงกับอากาศในห้องเผาไหม้ เนื่องจาก

ในอากาศมีไนโตรเจนและออกซิเจน เมื่อเกิดการสันดาปทำให้ไนโตรเจนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นก๊าซ NO_x เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติแต่เกิดในปริมาณไม่มาก แต่จะเกิดในปริมาณมากจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ในอุณหภูมิสูง เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ของรถยนต์ อุตสาหกรรมต่างๆ และเกิดจากรถยนต์เป็นส่วนใหญ่ เมื่อก๊าซ NO_x ทำปฏิกิริยากับสารระเหยอินทรีย์เกิดเป็นโอโซน เมื่อสูดดมเข้าไปจะทำลายเนื้อปอดและระบบทางเดินหายใจ เมื่อทำปฏิกิริยากับฝนจะกลายเป็นฝนกรดทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อสิ่งของพืช และสิ่งมีชีวิต [8] เมื่อพิจารณาจากผลการปลดปล่อยก๊าซ NO_x ที่ภาวะโหลดเท่ากับ 0% 25% 50% และ 75% ของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดคือ ดีเซล ไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงอิมัลชัน พบว่าในแต่ละภาวะโหลดที่เพิ่มขึ้นของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ NO_x มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดเดียวกันโดยได้แสดงในรูปที่ 5(จ) เนื่องจากภาระโหลดที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและอุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น โดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิก๊าซไอเสียดังแสดงในรูปที่ 5 (ข) ทำให้ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ NO_x เพิ่มขึ้น [30] และเมื่อพิจารณาโหลดสูงสุดเท่ากับ 75% พบว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ NO_x ของเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงอิมัลชันมีค่าน้อยกว่าไบโอดีเซลและดีเซลเท่ากับ 9.76% และ 23.85% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซ NO_x ของดีเซลและไบโอดีเซล พบว่าการปลดปล่อยก๊าซ NO_x ของไบโอดีเซลลดลงเท่ากับ 11.38% เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนมากกว่าดีเซล [22] และอีกสาเหตุมาจากอุณหภูมิก๊าซไอเสียของไบโอดีเซลที่น้อยกว่าดีเซล

และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ NO_x ของเชื้อเพลิงอิมัลชันซึ่งน้อยกว่าดีเซลเท่ากับ 19.26% เนื่องจากการระเหยกลายเป็นไอน้ำของน้ำในเชื้อเพลิงอิมัลชัน ซึ่งดูดซับความร้อนภายในห้องเผาไหม้ทำให้อุณหภูมิการสันดาปและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ NO_x ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Armas et al. (2005) ได้ศึกษาการผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงอิมัลชันเปรียบเทียบกับดีเซลและการปลดปล่อยมลพิษคือ ก๊าซ NO_x HC กับเขม่า โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลระบบการฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (IDI) ทดสอบที่ความดันยังผลเฉลี่ย (break mean effective pressure, BMEP) เท่ากับ 0.75-7.05 bar พบว่าน้ำในเชื้อเพลิงอิมัลชันช่วยปรับปรุงอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้นและช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซ NO_x [31]

4.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

4.3.1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

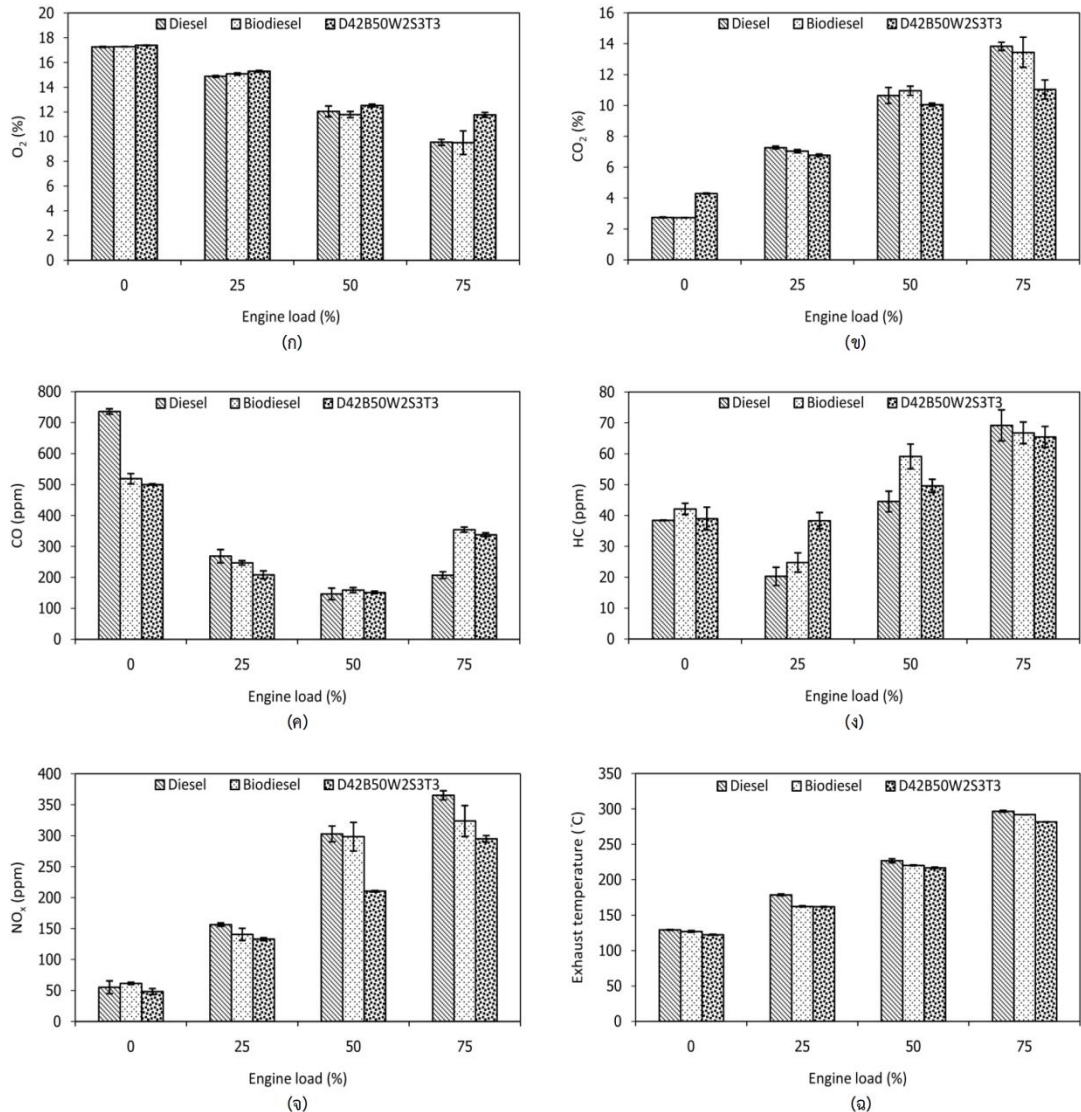
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (specific fuel consumption, SFC) เป็นค่าที่แสดงอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยทั่วไปหากมีการเร่งความเร็วรอบหรือป้อนภาระโหลดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า SFC เพิ่มขึ้น ซึ่งในการทดลองได้ทดสอบที่ความรอบของเครื่องยนต์เท่ากับ 2300 rpm และป้อนภาระโหลดให้เครื่องยนต์เท่ากับ 0% 25% 50% และ 75% โดยหาค่า SFC จากเชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ ดีเซล ไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงอิมัลชัน และนำมาเปรียบเทียบกับดีเซลโดยแสดงดังรูปที่ 6(ก) พบว่าเมื่อป้อนภาระโหลดแก่เครื่องยนต์มากขึ้นส่งผลให้ค่า SFC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้ง 3 เชื้อเพลิงและเมื่อพิจารณาที่ภาระโหลดสูงสุด

เท่ากับ 75% ที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ พบว่าค่า SFC ของดีเซลมีค่าน้อยกว่าเชื้อเพลิงอิมัลชันและไบโอดีเซลเท่ากับ 2.48% และ 5.53% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับดีเซล เนื่องจากค่าความร้อนต่ำ (low heating value, LHV) ของดีเซลมีค่ามากกว่าเชื้อเพลิงอิมัลชันและไบโอดีเซลเท่ากับ 12.62% และ 14.24% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nadeem et al. (2006) ได้ศึกษาการทดสอบเชื้อเพลิงอิมัลชันดีเซล-น้ำ โดยใช้สารลดแรงตึงผิว Span80 เป็นตัวช่วยผสมระหว่างเฟสน้ำและเฟสน้ำมัน และนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อลดการปลดปล่อยมลพิษของก๊าซ NO_x , SO_x , CO และฝุ่นละออง (PM) พบว่าในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงจะทำค่า SFC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและค่า SFC ของดีเซลมีค่าต่ำที่สูงในส่วนของเชื้อเพลิงที่ผสมน้ำเท่ากับ 15% จะมีค่า SFC ที่สูงสุด รองลงมาเป็นเชื้อเพลิงที่ผสมน้ำ 10% และ 5% ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณของน้ำที่มากขึ้นส่งผลให้ความร้อนที่ได้จากการจุดระเบิดลดลงเพราะอุณหภูมิเฉลี่ยลดลง [32]

4.3.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรก

จำเพาะ

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเบรกจำเพาะ (brake specific fuel consumption, BSFC) คือ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อกำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ได้หรือปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเชิงมวลต่อกำลังเบรกที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ จากผลการทดลอง พบว่าขณะใส่ภาระโหลดมากขึ้นจะทำให้ค่า BSFC มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เท่ากับ 2300 rpm เนื่องจากอัตราการใช้เชื้อเพลิงน้อยลงเมื่อเทียบกับกำลังที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ โดยแสดงดังรูปที่ 6(ข) และเมื่อพิจารณาที่ภาระโหลดเท่ากับ 75% ซึ่งเป็นภาระโหลดสูงสุด ซึ่งเป็นภาระโหลดสูงสุด พบว่าค่า BSFC ของดีเซลมีค่าน้อยกว่าเชื้อเพลิงอิมัลชันและไบโอดีเซลเท่ากับ 2.48% และ 5.53% ตามลำดับ เพราะค่าความร้อนต่ำ (LHV) ของดีเซลมีค่ามากกว่าเชื้อเพลิงอิมัลชันเท่ากับ 12.62% เพราะค่าความร้อนต่ำของดีเซลมีค่าเท่ากับ 43683 kJ/kg ซึ่งมากกว่าเชื้อเพลิงอิมัลชันที่มีค่าเท่ากับ 38169 kJ/kg รองลงมาคือไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 37346 kJ/kg



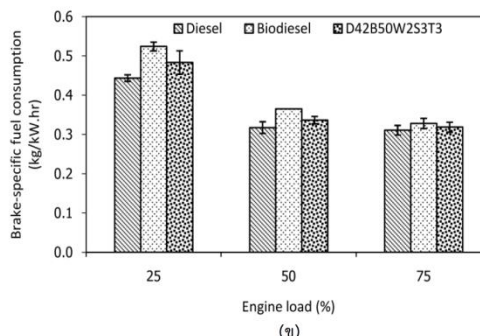
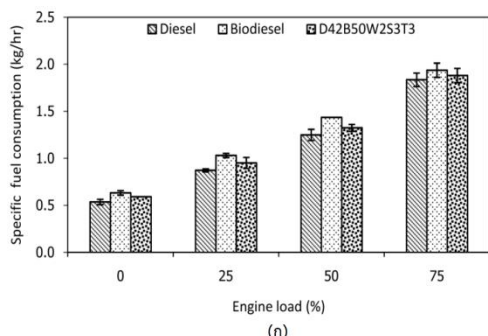
รูปที่ 5 ผลการปลดปล่อยก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลด้วยเชื้อเพลิง ดีเซล ไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงอิมัลชัน D42B50W2S3T3 ภายใต้ภาระโหลดของเครื่องยนต์เท่ากับ 0% 25% 50% และ 75% (ก) ก๊าซ O_2 (ข) ก๊าซ CO_2 (ค) ก๊าซ CO (ง) ก๊าซ HC (จ) ก๊าซ NO_x และ (ฉ) อุณหภูมิแก๊สไอเสีย

โดยไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงอิมัลชันมีค่าความร้อนต่อน้อยกว่าดีเซลเท่ากับ 14.24% และ 12.62% ตามลำดับ จึงใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับกำลังของเครื่องยนต์ที่เท่ากันทั้ง 3 เชื้อเพลิง ส่งผลให้ค่า BSFC มากกว่าดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย

ของ Shrivastava (2016) ที่ศึกษาการใช้เชื้อเพลิงอิมัลชันระหว่าง ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ เนื่องจากน้ำสามารถช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซ NO_x ลงได้เมื่อเทียบกับการใช้ ไบโอดีเซลแต่ช่วยลดค่าการปลดปล่อยก๊าซ CO โดยทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซล

สภาวะโหลดต่างๆ ซึ่งศึกษาค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์คือ BSFC และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) กับการปลดปล่อยคือก๊าซ CO HC NO_x และปริมาณควันดำ พบว่าค่าสมรรถนะ BSFC จะ

ลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของภาระโหลด โดยค่า BSFC มีค่าต่ำที่สุดและเชื้อเพลิงอิมัลชันมีค่ามากที่สุด เนื่องจากการสูญเสียความร้อนจากการจุดระเบิด เพราะมีน้ำอยู่ในส่วนผสมของเชื้อเพลิง [33]



รูปที่ 6 ผลการปลดปล่อยก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้เชื้อเพลิง ดีเซล ไบโอดีเซล และ D42B50W2S3T3 ที่ภาระโหลดของเครื่องยนต์เท่ากับ 0% 25% 50% และ 75% (ก) SFC (ข) BSFC

5. สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตเชื้อเพลิงอิมัลชันระหว่าง ดีเซล-ไบโอดีเซล-น้ำ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าการปลดปล่อยก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้คือ O₂ CO₂ CO HC NO_x และทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์การเกษตรคือ ค่า SFC และ BSFC ที่ภาระโหลดเท่ากับ 0% 25% 50% และ 75% โดยได้ทดสอบเชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ ดีเซล ไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงอิมัลชัน ซึ่งกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันได้ใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบและเครื่องกวน โดยเงื่อนไขของเชื้อเพลิงอิมัลชันคือ D42B50W2S3T3 จากผลการทดลองพบว่าน้ำที่อยู่ในส่วนผสมของเชื้อเพลิงอิมัลชันเท่ากับ 2 vol.% สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซ HC และ NO_x เท่ากับ 5.39% และ 19.26% เมื่อเปรียบเทียบกับดีเซลตามลำดับ ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2300 rpm และ

ภาระโหลดสูงสุดเท่ากับ 75% ซึ่งน้ำมีส่วนช่วยลดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดก๊าซ NO_x เนื่องจากการระเหยกลายเป็นไอของน้ำในเชื้อเพลิงอิมัลชัน และผลการปลดปล่อยก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ด้วยไบโอดีเซล พบว่าสามารถช่วยลดการปลดปล่อยเมื่อเปรียบเทียบกับดีเซลคือ ก๊าซ HC และ NO_x เท่ากับ 3.46% และ 11.38% ตามลำดับ เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่มากกว่าดีเซลทำให้ก๊าซที่เกิดจากการสันดาปมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ HC ที่น้อยกว่าดีเซล และเมื่อเปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซ NO_x ของดีเซลและไบโอดีเซล พบว่ามีค่าการปลดปล่อยน้อยกว่าดีเซล เนื่องจากอุณหภูมิก๊าซไอเสียของไบโอดีเซลที่น้อยกว่าดีเซลร่วมกับไบโอดีเซลที่มีสารประกอบของออกซิเจนมากกว่าดีเซล ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ที่มากกว่า

จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์คือ ค่า SFC และค่า BSFC ที่ภาระโหลดสูงสุดเท่ากับ 75% ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2300 rpm พบว่าค่า BSFC ของอิมัลชันมีค่าน้อยกว่าไบโอดีเซลและมากกว่าดีเซล เท่ากับ 2.98% และ 2.42% ตามลำดับ เนื่องจากค่าความร้อนต่ำของดีเซลมากกว่าเชื้อเพลิงอิมัลชันและไบโอดีเซล ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงที่สูงบ่งบอกถึงการสร้างแรงดันภายในกระบอกสูบจากการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเป็นการสร้างกำลังให้กับเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โดยในส่วนของไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงอิมัลชันมีค่าความร้อนต่ำที่น้อยกว่าดีเซล ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลงและเมื่อต้องการสร้างกำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจึงต้องใช้ปริมาณของเชื้อเพลิงที่มากขึ้นและทำให้ค่า SFC มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับภาระโหลดและความเร็วรอบเดียวกัน ในส่วนของงานวิจัยในอนาคตจะศึกษาและสร้างเครื่องสำหรับกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอิมัลชันแบบต่อเนื่องเพื่อลดระยะเวลาการผลิตต่อครั้งและผลิตเชื้อเพลิงในปริมาณที่เพียงพอสำหรับงานวิจัยกับการนำไปใช้งานจริงในเครื่องยนต์ดีเซล

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการพัฒนาพลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ ในชุมชนสีเขียว (สัญญาเลขที่ ENG590898a และ ENG6105073a) ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ลำประเทศไทยกับพลังงานทางเลือก. (สื่อออนไลน์) [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 11 กรกฎาคม 2552]. เข้าถึงได้จาก: <http://ict.sci.psu.ac.th/web-sciweek-57/prize/m1-3/4/Page1.html>
- [2] วิกิพีเดีย. (สื่อออนไลน์) [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 11 กรกฎาคม 2552]. เข้าถึงได้จาก: <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%80%E0%B8%8A%E0%B8%B7%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%87>
- [3] รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2561. (สื่อออนไลน์) [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 15 มิถุนายน 2552]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.eppo.go.th/index.php/en/component/k2/item/14166-energy-statistics-2561>
- [4] Alahmer A, et al. Engine performance using emulsified diesel fuel. Energy Conversion and Management 2010; 51(8): 1708-13.
- [5] Baskar P, et al. Effects of oxygen enriched combustion on pollution and performance characteristics of a diesel engine. Engineering Science and Technology, an International Journal 2016; 19(1): 438-43.

- [6] McCarthy P, et al. Analysis and comparison of performance and emissions of an internal combustion engine fuelled with petroleum diesel and different bio-diesels. *Fuel* 2011; 90(1): 2147–57.
- [7] Hulwan D, et al. Performance, emission and combustion characteristic of a multicylinder DI diesel engine running on diesel–ethanol–biodiesel blends of high ethanol content. *Applied Energy* 2011; 88(1): 5042–55.
- [8] Cheng L, et al. Emulsification characteristics of three- and two-phase emulsions prepared by the ultrasonic emulsification method. *Fuel Processing Technology* 2006; 87(1): 309–17.
- [9] Pedro B, et al. Basic properties of palm oil biodiesel–diesel blends. *Fuel* 2008; 87(1): 2069–75.
- [10] Bhuiya MMK, et al. Prospects of 2nd generation biodiesel as a sustainable fuel—Part: 1 selection of feed stocks, oil extraction techniques and conversion technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 55: 1109–28.
- [11] Seid A, et al. Comparison of fuel and emission properties of petro diesel and sunflower biodiesel prepared by optimized production variables. *Fuel* 2013; 109(1): 384–388.
- [12] Kumar B, et al. Partially premixed low temperature combustion using dimethyl carbonate (DMC) in a DI diesel engine for favorable smoke/NO_x emissions. *Fuel* 2016; 180(1): 396–406.
- [13] Bari S, et al. Effect of guide vane height on the performance and emissions of a compression ignition (CI) engine run with biodiesel through simulation and experiment. *Applied Energy* 2014; 136(1): 431–444.
- [14] Yang WM, et al. Emulsion fuel with novel nano-organic additives for diesel engine application. *Fuel* 2013; 104(1): 726–31.
- [15] Seyyed H, et al. Performance and emission characteristics of a CI engine fuelled with carbon nanotubes and diesel–biodiesel blends. *Renewable Energy* 2017; 111(1): 201–13.
- [16] Md N, et al. Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel–biodiesel blends. *Bioresource Technology* 2006; 97(1): 372–8.
- [17] Jamil G, et al. Performance, emissions and heat release characteristics of direct injection diesel engine operating on diesel oil emulsion. *Applied Thermal Engineering* 2006; 26(1): 2132–41.

- [18] Husnawan M, et al. Thermal analysis of cylinder head carbon deposits from single cylinder diesel engine fueled by palm oil–diesel fuel emulsions. *Applied Energy* 2009; 86(1): 2107–13.
- [19] Esmail K, et al. Experimental investigation of low-level water in waste-oil produced biodiesel-diesel fuel blend. *Energy* 2017; 121(1): 331-40.
- [20] Cherng L, et al. Comparison of fuel properties and emission characteristics of two- and three-phase emulsions prepared by ultrasonically vibrating and mechanically homogenizing emulsification methods. *Fuel* 2008; 87(1): 2154–61.
- [21] Krit S, et al. Feasibility of Using High-Intensity Ultrasound Assisted Biodiesel Production from Mixed Crude Palm Oil in Two-Step Process. *Advanced Materials Research* 2014; 875-877: 1687-92.
- [22] Mohammed J, et al. The Use of Artificial Neural Networks for Identifying Sustainable Biodiesel Feedstocks. *Energies* 2013; 6(1): 3764-806.
- [23] Ali A, et al. Influence of using emulsified diesel fuel on the performance and pollutants emitted from diesel engine. *Energy Conversion and Management* 2013; 73(1): 361–9.
- [24] Cherng L, et al. The fuel properties of three-phase emulsions as an alternative fuel for diesel engines. *Fuel* 2003; 82(1): 1367–75.
- [25] Fahd M, et al. Experimental investigation of the performance and emission characteristics of direct injection diesel engine by water emulsion diesel under varying engine load condition. *Applied Energy* 2013; 102(1): 1042–49.
- [26] Dolanimiti O, et al. Performance, combustion, and emissions in a diesel engine operated with fuel-in-water emulsions based on lignin. *Applied Energy* 2015; 154(1): 851–61.
- [27] Masjuki H, et al. Indirect injection diesel engine operation on palm oil methyl esters and its emulsion. *IMechE* 1996; 211(1): 291-9.
- [28] Kadota T, et al. Recent advances in the combustion of water fuel emulsion. *Progress in Energy and Combustion Science* 2002; 28(1): 385–404.
- [29] Naveen K, Sharma A, Vibhanshu V. Performance Analyses of Diesel Engine at Different Injection Angles Using Water Diesel Emulsion [Internet]. *SAE Technical Papers*; 2013 [cited 2013 September 17]. Available from: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2013-01-2170/>.

- [30] Park JW, Huh KY, Lee JH. Reduction of NO_x , smoke and brake specific fuel consumption with optimal injection timing and emulsion ratio of water-emulsified diesel [Internet]. Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering; 2001 [cited 2001 January 1]. Available from: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1243/0954407011525476>.
- [31] Armas O, et al. Characterization of light duty Diesel engine pollutant emissions using water-emulsified fuel. Fuel 2005; 84(1): 1011–8.
- [32] Nadeem M, et al. Diesel engine performance and emission evaluation using emulsified fuels stabilized by conventional and gemini surfactants. Fuel 2006; 85(1): 2111–9.
- [33] Nitin S. Experimental investigation of performance, emission, and noise parameters of water-emulsified Karanja biodiesel: a prospective Indian fuel. J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng 2016; 39(1): 1009–17.