

สมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง*

อิทธิพล วรพันธ์¹⁾ กุลเชษฐ เพียรทอง¹⁾ สงบทิพย์ พงศ์สถาปติ²⁾ และ เต็มพงศ์ สุดภักดี³⁾

¹⁾ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

²⁾ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

³⁾ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Email: K.pianthong@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงและผลของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมกับเอทานอล ต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบขนาด 411 ซี.ซี ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น D-800 น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้ น้ำมันไบโอดีเซล 100%, และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่สัดส่วน 95% (ไบโอดีเซล 95%-เอทานอล 5%), 90% , และ 85% โดยปริมาตร น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนผสมต่างๆจะถูกนำไปทดสอบหาสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน (ดีเซล 100%) จากนั้นนำน้ำมันเชื้อเพลิงทุกชนิดไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล เพื่อทำการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่รอบการทำงานระหว่าง 1,200 - 2,500 รอบต่อนาที แบบภาระงานเต็มที่ (Full load) สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ศึกษาได้แก่ แรงบิด กำลังของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และอุณหภูมิของไอเสีย และวัดมลพิษที่รอบการทำงาน 2,400 รอบต่อนาที (กำลังสูงสุด) มลพิษที่ทำการศึกษาได้แก่ ปริมาณควันดำ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จากผลการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลให้สมรรถนะใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล แต่ต่ำกว่าประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ย ในส่วนการปล่อยมลพิษ ปริมาณควันดำ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

คำสำคัญ : การปล่อยมลพิษ, สมรรถนะ, เครื่องยนต์ดีเซล, เอทานอล, ไบโอดีเซล

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 8 กันยายน 2549

Performance and Emission Characteristics in Diesel Engine Using Biodiesel from Waste Cooking Oil – Ethanol blend as a Fuel*

Ittipon Worapun¹⁾ Kulachate Pianthong¹⁾ Sangobtip Pongstabodee²⁾ and Denpong Soodphakdee³⁾

¹⁾ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchatani University

²⁾ Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

³⁾ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Email: K.pianthong@ubu.ac.th

ABSTRACT

This research aims to investigate the characteristics of Biodiesel-Ethanol blend fuel in aspects of fuel properties, effect to engine performances, and effect to engine emissions. The tested engine is a single cylinder diesel engine, 411 CC, Mitsubishi D-800. Various mixing ratio of fuels, used in the experiments, are Biodiesel 100%, Biodiesel-ethanol blend 95% (Biodiesel 95% - ethanol 5%), Biodiesel-ethanol blend 90%, and Biodiesel-ethanol blend 85% by volume. These fuels are tested for their properties mainly in aspect of being the diesel engine fuel and compared with standard diesel available from the gas station (diesel 100%). Then the fuels are applied to the tested engine on the engine dynamometer for its performances at 1200-2500 rpm, at full load condition. The investigated performances are torque, power, specific fuel consumption, and exhaust gas temperature. The engine emission measurements are also carried out at the 2400 rpm or at the maximum power condition. The measured emissions are black smoke, Carbon monoxide (CO), Carbon dioxide (CO₂), and Nitric oxide (NO_x). From the tests, in overall, the engine performances are quite similar, but about 5% lower (average) with biodiesel-ethanol blend. For the emission, the black smoke, CO, CO₂ from biodiesel-ethanol blend is significantly lower, but the NO_x is slightly higher comparing to those from standard diesel.

Keywords : Biodiesel, Diesel Engine, Emission, Ethanol, Performance

* Original manuscript submitted: July 26, 2006 and Final manuscript received: September 8, 2006

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่ นำมาใช้ในการขนส่ง โรงงานอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม จากวิกฤตการณ์ด้านราคาน้ำมันเชื้อเพลิง ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาทำให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีการปรับตัวสูงขึ้น รัฐบาลเริ่มหันมาให้ความสำคัญในการหาพลังงานทดแทนที่มีอยู่ภายในประเทศเพื่อลดการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ โดยเฉพาะ น้ำมันดีเซลมีปริมาณการใช้สูงมากถึง 43 ล้านลิตรต่อวันคิดเป็น 46.6% ของปริมาณที่ใช้ภายในประเทศ (การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2546) พลังงานทดแทนที่กำลังได้รับความสนใจนำมาทดแทนน้ำมันดีเซลในขณะนี้คือน้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel) และน้ำมันดีเซลผสมเอทานอล (Diesel-Ethanol blend) ซึ่งทั้งน้ำมันไบโอดีเซล และ เอทานอล ล้วนเป็นพลังงานทดแทนที่ได้จากการใช้พืชเป็นวัตถุดิบและสามารถผลิตได้เองในประเทศ

น้ำมันไบโอดีเซลได้จากการนำน้ำมันพืชหรือไขมัน มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกกระบวนการนี้ว่า ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification) วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลในประเทศไทยส่วนใหญ่เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว ซึ่งมีราคาสูง และใช้เป็นอาหารได้ ทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีต้นทุนสูงตามไปด้วย ได้มีความพยายามหาวัตถุดิบที่มีราคาต่ำสำหรับนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ดังนั้นน้ำมันพืชใช้แล้ว จึงเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญในการนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลพบว่าในประเทศไทยมีถึง 16 ล้านลิตรต่อปี (พุทธชาด และคณะ, 2547) โดยไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน จะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ 10% โดยน้ำหนัก (Kalligeros *et al.*, 2003) สามารถนำน้ำมันไบโอดีเซล 100% (B100) หรือผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ สมรรถนะของเครื่องยนต์มีค่าต่ำกว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 5-10% (อิทธิพล และคณะ, 2547; กุลเชษฐ และคณะ, 2548) มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ละอองธุลี (Particulate matter) และ สารประกอบกำมะถันลดลง ในขณะที่การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (Canakci and Van Gerper., 2001; Dorado *et al.*, 2003) และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยเป็นผลดีต่ออากาศ น้ำ และดินมากกว่าผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมโดยสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้มากกว่า 90% ภายในเวลาเพียง 3 สัปดาห์และยังไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ไม่แพร่กระจายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การย่อยสลายทางชีวภาพเกิดได้ง่ายกว่าผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม (Kramer., 1995)

ในส่วนของเอทานอลได้ถูกนำมาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลนานแล้ว โดยทั่วไปจะนำไปผสมกับน้ำมันดีเซล ที่เรียกว่า ดีโซฮอล (Diesohol) เนื่องจากเอทานอลนั้นเป็นสารเติมออกซิเจนในน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาถูกโดยมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (Oxygenated Fuel) อยู่ถึง 34% โดยน้ำหนัก (Shi *et al.*, 2005) มีสมบัติใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้เช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากสามารถจุดติดไฟได้ และให้ค่าความร้อนเมื่อถูกเผาไหม้ แต่ให้ค่าความร้อนและค่าซีเทนต่ำ จึงไม่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ทั้งหมด โดยส่วนมากจะผสมเอทานอลกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนของเอทานอลไม่

เกินร้อยละ 20 (Gerdes and Supper., 2001) จากรายงานของ Hansen et al. (2001) พบว่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 15:82.65% สารเติมแต่ง 2.35% มีค่าลดลง 7-10% (Hansen et al., 2001) Kass et al. (2001) ได้ทำการทดสอบหาแรงบิดและละอองธุลีจากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ปล่อยออกมาโดยใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนของเอทานอล 10 และ 15% สารเติมแต่ง 2% จากผลการทดสอบค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ลดลง ประมาณ 8% และละอองธุลีลดลง 20-41% ในขณะที่การปล่อย NO_x มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วน CO จะมีค่าลดลง เมื่อใช้เอทานอลผสมน้ำมันดีเซล (Kass et al., 2001)

เพื่อให้เกิดการใช้ น้ำมันไบโอดีเซล และเอทานอล โดยไม่ต้องใช้น้ำมันดีเซลเป็นส่วนผสม รวมถึงความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมมากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงให้ความสนใจ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วนผสม ของเอทานอล 5, 10, และ 15% โดยปริมาตร สำหรับเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ทดสอบหาผลกระทบต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐานเป็นเชื้อเพลิง สำหรับเป็นข้อมูลในการนำน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ของประเทศไทยต่อไป

วิธีการและเครื่องมือในการทดลอง

การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สังเคราะห์ได้จากการนำน้ำมันพืชใช้แล้วที่เก็บรวบรวมมาจากแหล่งต่างๆ เช่นร้านอาหาร ร้านทอดปลาทอดไก่ และตามบ้านเรือนต่างๆ ซึ่งน้ำมันพืชเหล่านี้จะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ มาทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่ความดันบรรยากาศ ภายใต้สภาวะและอุณหภูมิที่เหมาะสม เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ดังแสดงในรูปที่ 1 น้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จะเป็นไบโอดีเซลแบบเมทิลเอสเทอร์



รูปที่ 1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ในส่วนของเอทานอลที่ใช้ผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล ในงานวิจัยนี้เป็นแบบ Analysis – grade ชนิด anhydrous ethanol ซึ่งมีความบริสุทธิ์ 99.5% (มีน้ำผสมอยู่ 0.5%) เพราะเอทานอลที่ความบริสุทธิ์ต่ำกว่านี้ เมื่อนำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลแล้วนั้น จะเกิดปัญหาเรื่องการไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันหรือผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ไม่หมด ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นของการนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลโดยไม่มีตัวทำละลาย การผสมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างเอทานอลกับน้ำมันไบโอดีเซลนั้น ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่างด้วยกัน เช่น ปริมาณน้ำที่อยู่ในเชื้อเพลิงทั้งสอง อุณหภูมิที่ผสมกัน (Shi *et al.*, 2005) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ต้องคำนึงถึงในการผสมกันระหว่างเอทานอลกับไบโอดีเซลด้วย เอทานอลที่ใช้ผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีสมบัติทางกายภาพดังตารางที่ 1

สมบัติ	เอทานอล
ค่าความถ่วงจำเพาะ	0.7894
ค่าความหนืด 40 °C (cSt)	1.2
ปริมาณออกซิเจน (wt %)	34
จุดวาบไฟ (°C)	13.5
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)	27
ดัชนีซีเทน	6

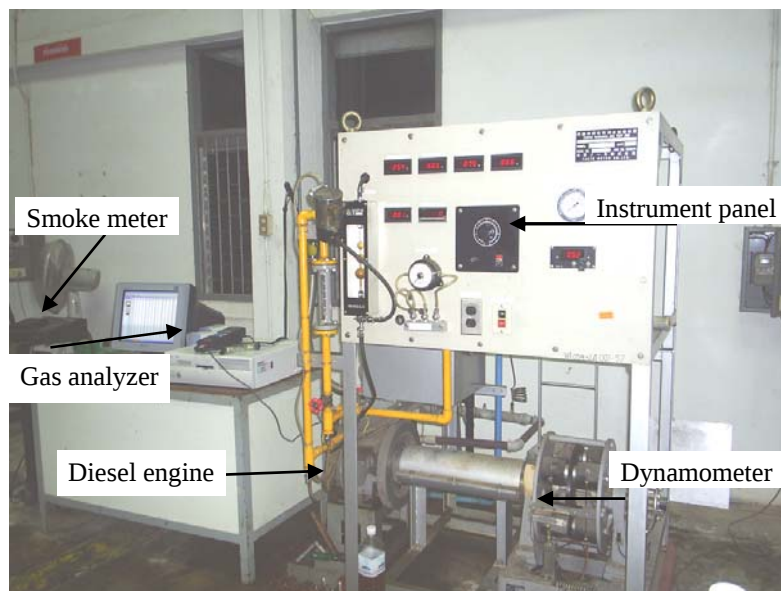
ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของเอทานอลที่นำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล (Shi *et al.*, 2005)

ซึ่งในการดำเนินงานวิจัยนี้จะใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่สังเคราะห์มาจากแหล่งผลิตเดียวกันและครั้งเดียวกันทั้งหมดรวมถึงเอทานอลด้วย จะมาจากแหล่งผลิตเดียวกัน น้ำมันไบโอดีเซลจะถูกนำมาผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วนร้อยละ 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 โดยปริมาตร กำหนดสัญลักษณ์เป็น B100, BE95, BE90 และ BE85 ตามลำดับ น้ำมันเชื้อเพลิงผสมจะถูกนำไปทดสอบหาสมบัติที่จำเป็นและสำคัญในการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ตามวิธีมาตรฐานของ American Standard Testing and Material (ASTM., 2001) ซึ่งประกอบด้วยค่าความหนืด, จุดวาบไฟ, จุดติดไฟ, ค่าความถ่วงจำเพาะ, ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง, ค่าดัชนีซีเทน และเปรียบเทียบกับค่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลมาตรฐาน ที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องยนต์และชุดทดสอบสมรรถนะ

การทดสอบหาสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้ ใช้ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แบบ Engine Research test bed ซึ่งมีไดนาโมมิเตอร์ชนิด Eddy Current Dynamometerที่สามารถปรับภาระงาน (Load) ให้กับเครื่องยนต์ได้ ต่อพ่วงกับเพลาของเครื่องยนต์ โดยมีอุปกรณ์วัดแรงบิดและความเร็วรอบ (Strain – gauge load cell and Tachometer) ที่แสดงผลแบบดิจิตอลเป็นตัวเลข ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์มีอุปกรณ์และการติดตั้งดังรูปที่ 2 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรขนาดเล็กยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น D-800 ซึ่งไม่มีการปรับแต่ง

หรือดัดแปลงเครื่องยนต์แต่ประการใด มีรายละเอียดของเครื่องยนต์ดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 2 ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์	มิตซูบิชิ (Mitsubishi Diesel Engine)
รุ่น	D-800
จำนวนลูกสูบ	1
ขนาดกระบอกสูบ x ช่วงชัก	82 x 78 mm.
ปริมาตรกระบอกสูบ	411 cc
แรงม้าสูงสุด	8.0 PS ที่ 2,400 rpm
แรงบิดสูงสุด	2.6 kg-m ที่ 1,800 rpm
อัตราส่วนการอัด	18:1
ระบบระบายความร้อน	ด้วยน้ำ

ตารางที่ 2 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

ลักษณะการทดสอบ เครื่องยนต์ที่ถูกติดตั้งอยู่บนแท่นทดสอบจะถูกเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องใหม่ จากนั้นจะมีการเดินเครื่องเพื่อให้เครื่องยนต์พร้อมใช้งานเป็นระยะเวลาประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นก็ทำการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1,200, 1,400, 1,600, 1,800, 2,000, 2,200, 2,400 และ 2,500 รอบต่อนาที แบบภาระงานเต็มที่ (Full load) โดยทำการเก็บข้อมูลที่ทุกๆ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์น้ำมันเชื้อเพลิงทุกชนิดจะใช้กระบวนการทดสอบเหมือนกัน ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ทำ

การทดสอบหาได้แก่ ค่าแรงบิด, ค่ากำลัง, อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และอุณหภูมิไอเสียที่ปล่อยออกมา ในส่วนของมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ปล่อยออกมา ได้แก่ ค่าร้อยละควันดำจะทำการวัดระหว่างการเร่งความเร็วของเครื่องยนต์จากรอบเดินเบาไปที่รอบสูงในช่วงเวลาประมาณ 3 วินาที ใช้เครื่องวัดควันดำ (Smoke meter) ยี่ห้อ EKOS รุ่น MOD.9000 ซึ่งเป็นเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสง แบบไหลผ่านบางส่วน (Partial flow opacity) มาตรฐานในการวัดค่าควันดำใช้มาตรฐาน EEC และอ้างอิงจากประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าควันดำจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2540) ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ (CO), คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO₂), และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ใช้เครื่องวัดไอเสียของเครื่องยนต์ (Gas analyzer) ยี่ห้อ Testo ทำการวัดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2,400 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ให้ค่ากำลังสูงสุด

ผลการทดลอง

สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

จากผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมระหว่างไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วกับเอทานอลที่อัตราส่วนผสมต่างๆโดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานดังตารางที่ 3

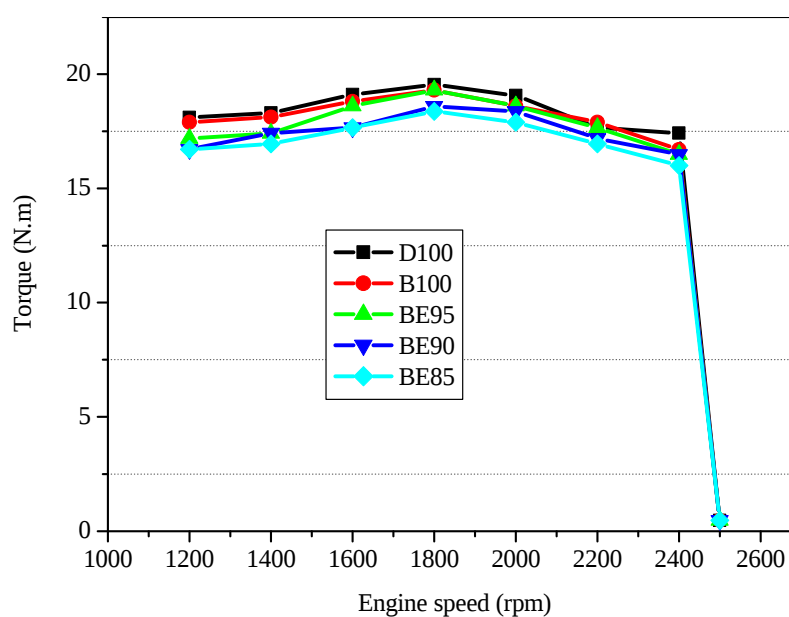
สมบัติ	มาตรฐาน	ชนิดของเชื้อเพลิง				
		D100	B100	BE95	BE90	BE85
ค่าความถ่วงจำเพาะ	ASTM D1298	0.87	0.888	0.884	0.880	0.8875
ค่าความหนืด 40 °C (cSt)	ASTM D88	4.1	6.44	5.61	4.84	4.43
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D97	52	155	70	38	32
จุดติดไฟ (°C)	ASTM D97	74	160	105	69	32
ดัชนีซีเทน	ASTM D976-9	52	50.9	49	48	47.4
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)	ASTM D1250	42	39.4	38.4	37	36.7

ตารางที่ 3 สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ

พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการ ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน แล้วนั้นมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล ตามมาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว 1.8-4.1 cSt แต่มีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนช้า 8.0 cSt max (กรมธุรกิจพลังงาน, 2547) แสดงให้เห็นว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้ได้กับเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบต่ำจนถึงปานกลาง แต่เมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูงอาจเกิดปัญหาอันเนื่องมาจากค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิง และเมื่อนำไบโอดีเซลมาผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วนเอทานอล 5,10 และ 15% โดยปริมาตร พบว่าค่าความหนืดและ ค่าความถ่วงจำเพาะ จะมีค่าลดลงตามร้อยละโดยปริมาตรเอทานอลที่

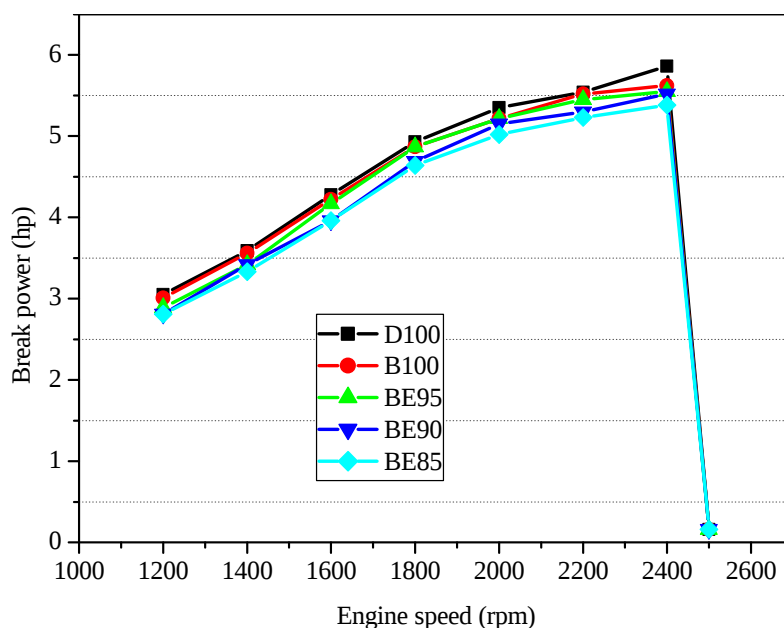
นำมาผสม โดยเฉพาะค่าความหนืดของน้ำมันเมื่อผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 15% โดยปริมาตร ปรากฏว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลที่เกณฑ์มาตรฐาน (4.1 cSt) ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการฉีดพ่นกระจายเป็นฝอยของน้ำมันในห้องเผาไหม้สามารถทำได้ดีขึ้น ส่วนจุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีค่า 150 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 3 เท่า (น้ำมันดีเซล 52 องศาเซลเซียส) ดังนั้นการผสมน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเอทานอลจะทำให้จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลลดลงมาก โดยขึ้นอยู่กับร้อยละโดยปริมาตรของเอทานอลที่นำมาผสมซึ่งจุดวาบไฟจะเกี่ยวข้องกับการจับเก็บเชื้อเพลิงและการขนส่ง น้ำมันที่มีจุดวาบไฟมากก็จะมีความปลอดภัยมากขึ้น ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่า 39.4 MJ/kg ซึ่งมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (น้ำมันดีเซล 42 MJ/kg) แต่แตกต่างกันไม่มากโดยน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนจากการเผาไหม้ต่อ 1 หน่วยน้ำหนักน้อยกว่า เมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลแล้วนั้น จะทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์มีค่าน้อยกว่า เมื่อทำงานที่สภาวะการทำงานเดียวกัน และเมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลมาผสมกับเอทานอล (ค่าความร้อนมีค่า 27 MJ/kg) พบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีค่าลดลงตามสัดส่วนของร้อยละโดยปริมาตรเอทานอลที่นำมาผสม ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ เมื่อนำน้ำมันเชื้อเพลิงผสมมาใช้งาน ส่วนค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่า 50.9 มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเพียงเล็กน้อย และพบว่าค่าดัชนีซีเทนจะมีค่าลดลงเมื่อนำไปผสมกับเอทานอล โดยจะลดลงตามอัตราส่วนของเอทานอลที่นำมาผสมทั้งนี้เนื่องจากเอทานอลมีค่าดัชนีซีเทนต่ำนั่นเอง ซึ่งค่าดัชนีซีเทนจะมีผลต่อคุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงด้วย

สมรรถนะของเครื่องยนต์

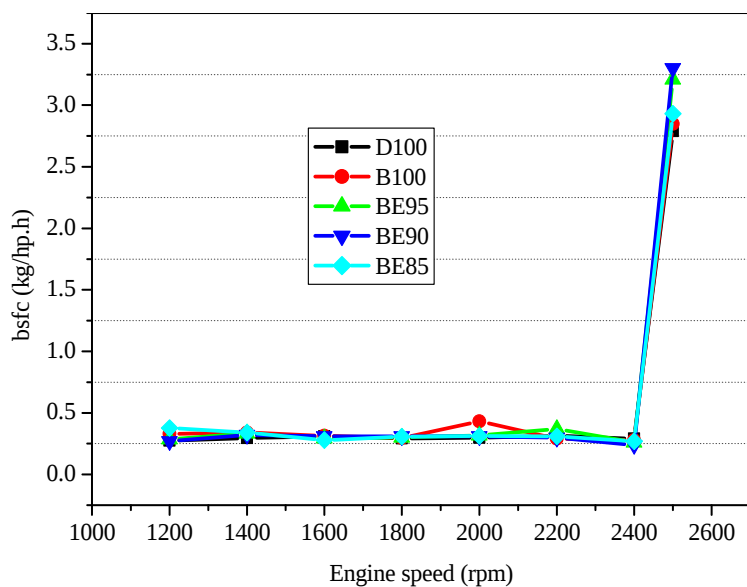


รูปที่ 3 ผลการทดสอบค่าแรงบิดกับความเร็วของเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

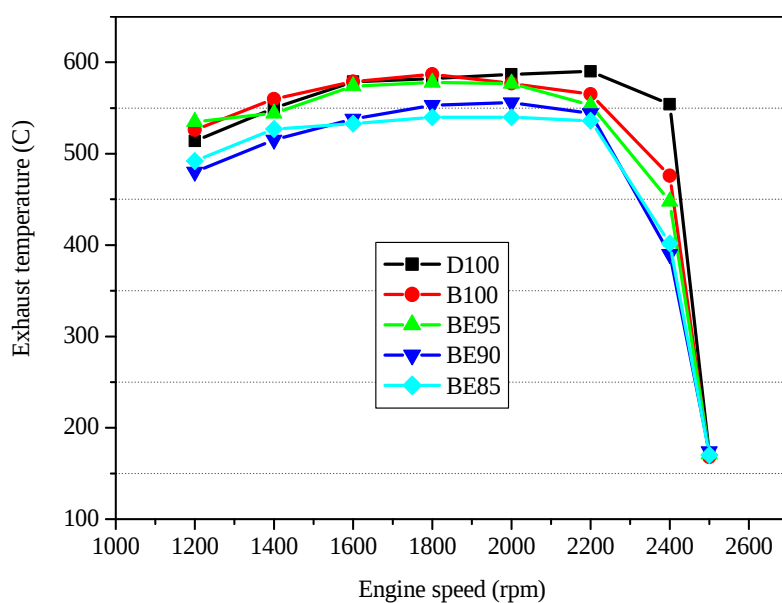
ค่าแรงบิดและกำลังเบรคของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่รอบการทำงานต่างๆ ของเครื่องยนต์ แสดงไว้ในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 จากผลการทดสอบพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล ให้ค่าแรงบิดและค่ากำลังของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล มีค่าต่ำกว่าไม่มากนัก โดยทุกชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที จะให้ค่าแรงบิดสูงสุดและที่ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที จะให้ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบสมรรถนะที่มาจากโรงงานผู้ผลิต เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง D100 จะให้ค่าแรงบิดและกำลังเบรคของเครื่องยนต์สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง B100, BE95, BE90 และ BE85 ที่ทุกรอบการทำงานของเครื่องยนต์ จากรูปที่ 3 ที่ความเร็วรอบ 1,900 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง D100 จะให้ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง B100, BE95, BE90 และ BE85 ประมาณ 1.23% ,1.23%, 4.86%, และ 6.0%ตามลำดับ และจากรูปที่ 4 ที่ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง D100 จะให้ค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง B100, BE95, BE90 และ BE85 ประมาณ 4.1% ,5.29%, 5.8%, และ 8.2% ตามลำดับ



รูปที่ 4 ผลการทดสอบค่ากำลังเบรคกับความเร็วของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ



รูปที่ 5 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะกับความเร็วของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ



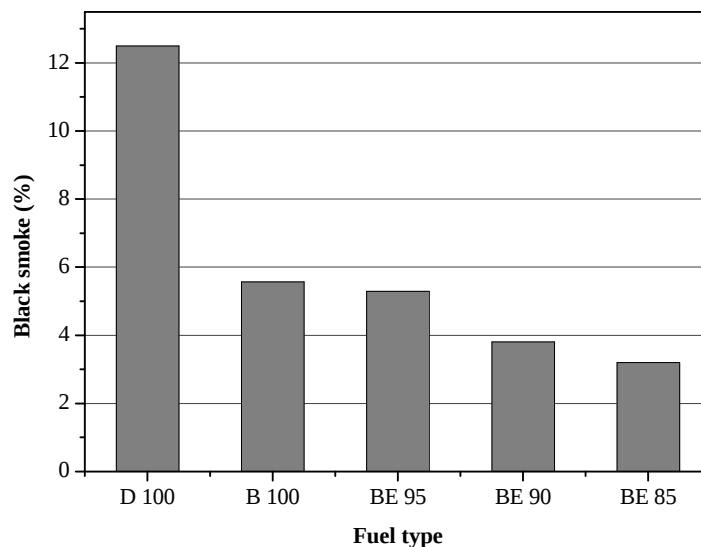
รูปที่ 6 อุณหภูมิไอเสียกับความเร็วของเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

รูปที่ 5 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การนำน้ำมันไบโอดีเซลผสมกับเอทานอล (BE95, BE90, BE85) และ น้ำมันไบโอดีเซล (B100) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์นั้นพบว่าทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล

(D100) โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที แต่ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ช่วงระหว่าง 1,200-2,400 รอบต่อนาที มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าไม่มากนัก ประมาณ 2.15-5% ทั้งนี้เนื่องจากว่าค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลและน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลจึงทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมากกว่า

จากผลการทดสอบรูปที่ 6 อุดหนุนมิไอเสียที่ปล่อยออกมาของเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ พบว่าอุดหนุนมิไอเสียเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล (BE95, BE90, BE85) และน้ำมันไบโอดีเซล (B100) มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ระหว่าง 2,000-2,500 รอบต่อนาที ในขณะที่เชื้อเพลิง BE90 และ BE85 จะมีค่าอุดหนุนมิไอเสียต่ำกว่าเชื้อเพลิง D100 ทุกรอบความเร็วของเครื่องยนต์ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ สามารถยืดอายุการใช้งานออกไปได้ เพราะมีอุดหนุนมิการทำงานโดยเฉลี่ยต่ำลง

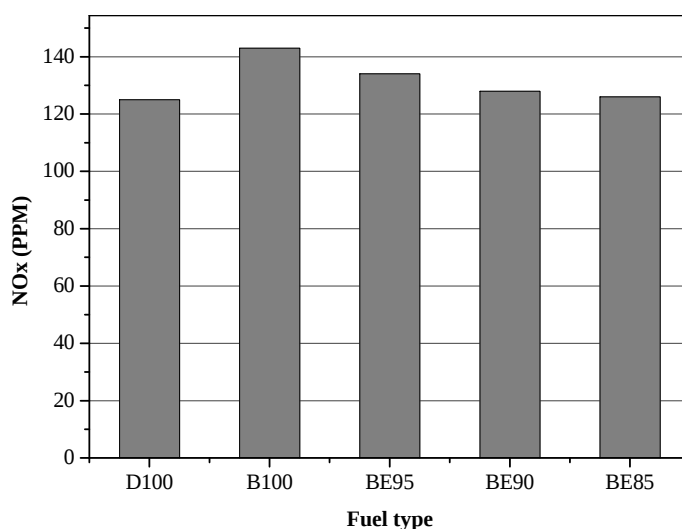
การปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์



รูปที่ 7 ปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ปริมาณควันดำที่วัดได้จากการใช้เชื้อเพลิง D100, B100, BE95, BE90 และ BE85 เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ตรวจวัดโดยการเทียบหาค่าความทึบแสง ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีเดียวกันกับกรมการขนส่งใช้เป็นมาตรฐานในการตรวจวัดควันดำ จากผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 7 พบว่า ปริมาณควันดำที่วัดได้ อยู่ในช่วง 3.35-12.4% ซึ่งอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กรมการขนส่งกำหนด คือ 50% (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2540) สิ่งที่ได้ชัดคือ น้ำมันไบโอดีเซล (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมเอทานอล (BE95, BE90 และ BE85) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็น

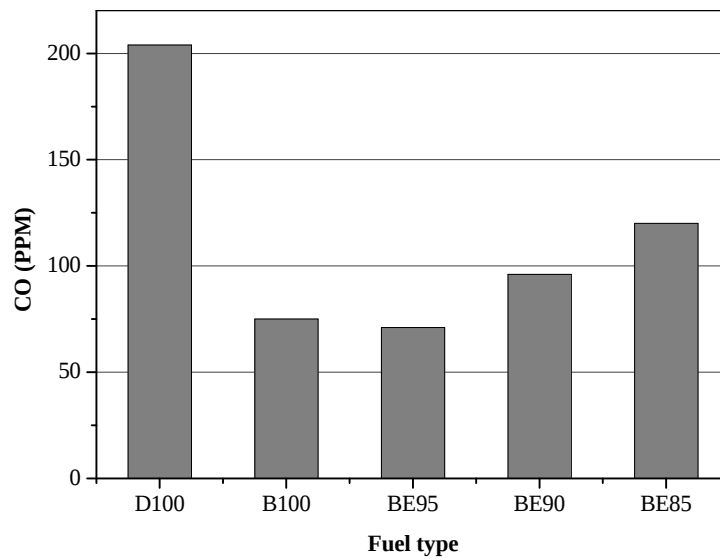
องค์ประกอบ ปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลง โดยเฉพาะเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสม เอทานอล (BE85) ปริมาณควันดำลดลงมากที่สุดประมาณ 30.1% เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล



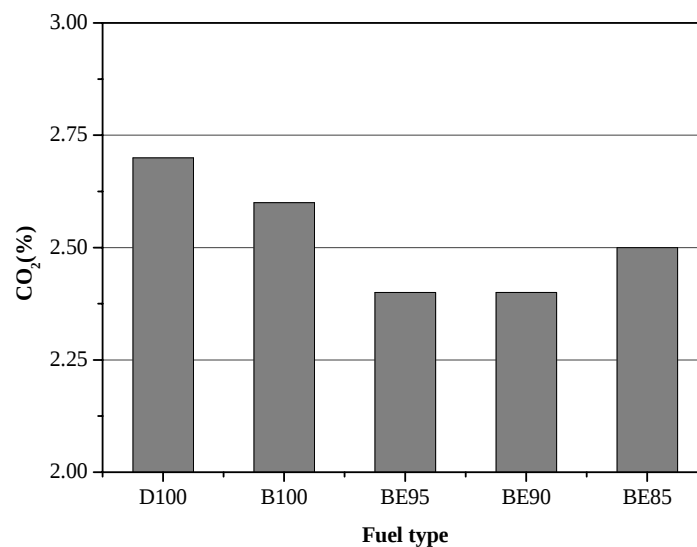
รูปที่ 8 ปริมาณ NOx จากไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ 2,400 รอบต่อนาที

ผลการวัดค่าไนโตรเจนออกไซด์ NOx จากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าเชื้อเพลิงน้ำมันไบโอดีเซล (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมเอทานอล (BE95, BE90 และ BE85) ให้ค่า NOx ที่ปล่อยออกมาในปริมาณที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล (D100) ซึ่งสารมลพิษชนิดออกไซด์ของไนโตรเจนมักจะเกิดจากการเผาไหม้ของส่วนผสมที่มีออกซิเจนเกินอัตราส่วนที่เหมาะสม (Stoichiometric ratio) และเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ในสภาวะอุณหภูมิห้องเผาไหม้สูง ทำให้เกิดเกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างอะตอมของไนโตรเจนกับอะตอมของออกซิเจนที่หลงเหลือ ในกรณีของ B100, BE95, BE90 และ BE85 ถึงแม้อุณหภูมิของไอเสียจะต่ำกว่าแต่เนื่องจากในตัวเชื้อเพลิงเองมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบจึงอาจทำให้เกิด NOx มากกว่ากรณีการใช้เชื้อเพลิง D100 ได้

จากรูปที่ 9 และ 10 แสดงปริมาณ CO และ CO₂ จากไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ผลการวัดค่าพบว่า เมื่อใช้เชื้อเพลิง B100, BE95, BE90 และ BE85 จะให้ค่าปริมาณ CO และ CO₂ ต่ำกว่าการใช้เชื้อเพลิง D100 เป็นเชื้อเพลิงแต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อร้อยละเอทานอลเพิ่มขึ้น ข้อสังเกตจากผลการวัดที่ได้เชื้อเพลิง BE95 มีปริมาณ CO และ CO₂ ต่ำที่สุด ทั้ง CO และ CO₂ จะก่อตัวขึ้นขณะที่การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งมีออกซิเจนไม่เพียงพอกับการสันดาปกับน้ำมันเชื้อเพลิงหรือมีเวลาเผาไหม้ที่น้อยเกินไป



รูปที่ 9 ปริมาณ CO จากไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ 2,400 รอบต่อนาที



รูปที่ 10 ปริมาณ CO₂ จากไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ 2,400 รอบต่อนาที

สรุปผลการทดลอง

1. การนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วมาผสมกับเอทานอลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าลดลงตามอัตราส่วนของเอทานอลที่นำมาผสม ซึ่งมีผลดีต่อระบบจ่ายน้ำมันและการฉีดพ่นเป็นฝอยของน้ำมันและการเผาไหม้แต่อาจมีผลกระทบต่อดัชนีซีเทนที่ลดลงได้ และเนื่องจากเอทานอลมีค่า

ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าน้ำมันไบโอดีเซลมาก การนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนที่มากเกินไปจะทำให้ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมลดลงมาก จนส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้

2. น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องทำการปรับแต่งเครื่องยนต์แต่ประการใด เครื่องยนต์สามารถทำงานได้โดยไม่เกิดปัญหากับเครื่องยนต์ เช่น เครื่องยนต์ดับหรือเดินสะดุด โดยเฉลี่ยสมรรถนะของเครื่องยนต์มีค่าใกล้เคียงกับสมรรถนะที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลและแรงบิดมีค่าต่ำกว่า ประมาณ 6.0% กำลังเบรกดต่ำกว่าประมาณ 8.2% และ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำกว่าประมาณ 18% เมื่อใช้เชื้อเพลิง BE85 ส่วนเชื้อเพลิง B100, BE95, BE90 ให้ค่าสมรรถนะใกล้เคียงน้ำมันดีเซลมากขึ้น

3. น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลให้คาร์บอนควันดำ, คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลอย่างเห็นได้ชัด แต่ไนตริกออกไซด์ (NO_x) มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ดังนั้น น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลจึงเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดและเป็นผลดีต่อสภาพแวดล้อม

4. จากผลการทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลกับเครื่องยนต์ เมื่อพิจารณาข้อดีทั้งในด้านสมรรถนะและการปล่อยมลพิษ เชื้อเพลิง BE95 (ไบโอดีเซล 95%และเอทานอล 5%) จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้งานจริงในลักษณะเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลโดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยนี้ และขอขอบคุณ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการในการทดสอบสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

เอกสารอ้างอิง

- กรมธุรกิจพลังงาน. 2547. กำหนดลักษณะและคุณภาพน้ำมันดีเซล ฉบับที่ 2.ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับทั่วไปเล่ม 121 ตอนพิเศษ 8ง ลงวันที่ 22 มกราคม 2547.
- กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2540. การกำหนดมาตรฐานค่าควันดำจากท่อไอเสียของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล.ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 114 ตอนที่ 76ง.
- กุลเชษฐ์ เพียรทอง, อิทธิพล วรพันธ์, ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์, พิศาล สมบัติวงศ์ และ นิมิตรมงคล สุดเสนห์. 2548. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วขนาด 150 ลิตรต่อรอบการผลิตและการใช้งานกับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่ง

ประเทศไทยครั้งที่ 1; 11-13 พฤษภาคม 2548; ชลบุรี.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี

การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย.2546. เอกสารประกอบการบรรยายการพัฒนาและส่งเสริม
พลังงานทดแทน.พิษณุโลก.มหาวิทยาลัยนเรศวร

พุทธชาติ เมททอง, สุทธินันท์ นันทจิต, สุวิน อภิชาติพัฒนศิริ, วณิดา คูอมรพัฒนะ. 2546.

การศึกษา ความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันพืชใช้แล้วจากอุตสาหกรรมอาหารมาใช้
ประโยชน์ในด้านพลังงาน. การสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัยด้านพลังงาน.กรุงเทพมหานคร.
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

อิทธิพล วรพันธ์, วิบูลย์ มีธรรม, ศักรินทร์ ศรีสุรักษ์ และ กุลเชษฐ์ เพียรทอง. 2547. การผลิตไบ
โอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์. การประชุม
วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18; 18-20 ตุลาคม 2547; ขอน
แก่น.มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- ASTM. 2001. **Annual book of ASTM standards**. Vol. 05.01. Sec .5 .:Washington DC,USA.
- Canakci M.and Van Gerper H., 2001. "Comparision of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel,Yellow Grease Biodiesel, and Soybean oil Biodiesel." **ASAE Annual International Meeting**. California, USA:July 30-August1 19: 47-53.
- Dorado MP.,Ballesteros E., Arnal JM.,Gomez J., Lopez FJ., 2003. "Exhaust emission from a diesel engine fuel with transesterification waste olive oil." **Fuel**. 82: 1311-1315.
- Gerdes KR., Supper GJ., 2001. "Miscibility of ethanol in diesel fuel." **Industrial and Engineering Chemisty Research**. 40: 949-956.
- Hansen AC., Mendoza M., Zhang Q., Reid JF., 2001. "Evaluation of oxydiesel as a fuel for direct-injection compression-ignition engine." **ASAE**. 01: 6173.
- Kalligeros S.,Zannokos F., Stournas S.,Lois E., Anstopoulos G., Teas C., Sakellaropoulos F.,2003. "An investigation of using biodiesel/marine diesel blends on the performance of a stationary diesel engine." **Biomass and Bioenergy**. 24: 141-149.
- Kass MD., Thomas JF., Storey JM., Domingo N., Wade J., Kenreck G.,2001. "Emission from a 9.5 lite diesel engine fueled with ethanol diesel blends." **SAE Technical**. 01: 2018.
- Kramer W., 1995. "The potential of biodiesel production." **Oils and Fats International**. 11: 32-36.
- Shi X., Pang X., Mu Y., He H., Shuai S., Wang J., Chen H.,Li R., 2005. "Emission reduction potential of using ethanol-biodiesel-diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine." **Atmospheric Environment**. 40: 2567-2574.