

ผลของความไม่สมบูรณ์ของปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลปาล์ม ที่มีต่อการทำงานของเครื่องยนต์

Effects of an incomplete transesterification process in producing palm oil biodiesel on an engine performance

ศิริชัย พันธุ์อำนวย วาতিต ภัคดี *

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12120
โทร 02-5643001 ต่อ 3041 โทรสาร 02-5643001 ต่อ 3049 *อีเมลล์ pwatit@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของคุณภาพที่แตกต่างของน้ำมันไบโอดีเซลที่เป็นผลจากความไม่สมบูรณ์ของปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชัน ต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล โดยทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4 จังหวะ ขนาด 3 ลิตร น้ำมันไบโอดีเซลที่ศึกษาผลิตจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ในช่วง 75% - 96.8% โดยมวล น้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าความบริสุทธิ์แตกต่างกันนี้ถูกนำไปทดสอบสมบัติโดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน จากนั้นน้ำมันทุกค่าความบริสุทธิ์จะถูกนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะและประสิทธิภาพการแปลงพลังงานที่ความเร็วรอบ 1,800-4,000 รอบต่อนาที รวมถึงคุณภาพแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้น จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซลทุกค่าความบริสุทธิ์ให้สมรรถนะโดยเฉลี่ยต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลมาตรฐาน แต่ให้ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงสูงกว่า โดยไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์สูงให้สมรรถนะการทำงานดีกว่า และให้ปริมาณควันดำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) , ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต่ำกว่า แต่จะให้ค่าไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ที่สูงกว่าไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล, ไตรกลีเซอไรด์ , สมรรถนะเครื่องยนต์ , ทรานเอสเตอริฟิเคชัน , เมทิลเอสเทอร์

Abstract

This research is to investigate how an incomplete transesterification process affects engine performance and emissions. The study tests biodiesel oil produced from palm oil with a 4 cylinders 4 strokes, 3 liter engine. The proportion of methylester in biodiesel is varied by adding an appropriate

amount of triglyceride. Properties of biodiesel with the methylester between 75% and 96.8% by mass are tested against the standard diesel. The engine performance and efficiency with biodiesel of different qualities are determined under 1,800-4,000 rpm engine speed. It was found that biodiesel of all proportions of methylester generally gave lower engine performance than that given by standard diesel. Among biodiesel fuels, biodiesel with higher portion of methylester provides better engine performance and emits less NO_x . However, black smoke CO_2 and CO are found higher for biodiesel with lower methylester proportion.

Keywords: biodiesel, triglyceride, engine performance, transesterification, methylester

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งที่มีทรัพยากรธรรมชาติทางด้านพลังงานน้อย ขณะที่ความต้องการการใช้พลังงานภายในประเทศนั้นมีมากขึ้น โดยพลังงานที่ใช้ในประเทศส่วนใหญ่มาจากการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งในปัจจุบันการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงใช้เองภายในประเทศนั้นยังน้อย แต่ความต้องการการใช้น้ำมันสูง ประกอบกับปริมาณของน้ำมันดิบที่ลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นหากมีการนำเชื้อเพลิงอื่นมาทดแทนได้บ้างก็จะเป็นการลดการนำเข้าของน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ไบโอดีเซลหรือน้ำมันดีเซลชีวภาพถูกเลือกมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนเพราะประเทศไทยสามารถผลิตได้เอง การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลนั้นได้จากการนำน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์หรือแม้แต่ไขมันที่ใช้แล้วมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยผ่านกระบวนการเรียกว่า ทรานเอสเตอริฟิเคชัน โดยมีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยงานวิจัยนี้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้เป็นแบบเอสเทอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมือนกับ

น้ำมันดีเซลมากที่สุด จากรายงานการศึกษา [1] ปัจจุบันยังมีแหล่งผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่ไม่ได้ตามมาตรฐานของการกำหนดคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลอยู่ และส่วนใหญ่ขาดความรู้ในเรื่องการใช้ เนื่องจากประชาชนส่วนใหญ่ยังไม่ทราบผลของการใช้ไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์ที่ชัดเจน ปฏิบัติการทรานเอสเตอร์ริฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งนอกจากปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่คงเหลือในไบโอดีเซล มีการวิจัยที่ผ่านมาถึงเรื่องไตรกลีเซอไรด์ที่ส่งผลต่อคุณภาพและสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล Srivastava และ Prasad [2] พบว่าไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ในน้ำมันไบโอดีเซลนั้นสามารถใช้กับเครื่องยนต์ได้แต่ก็ยังมีปัญหาเรื่องค่าความหนืดที่สูงและค่าการระเหยเป็นไอต่ำเมื่อสันดาปในเครื่องยนต์ รวมถึงการให้ความสนใจแก่ชนิดน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัย โดยดูจากความเหมาะสมของวัตถุดิบท้องถิ่นเป็นหลักของการนำมาผลิตอีกด้วย Muammer Ö.[3] ทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยได้ทดสอบสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์โดยน้ำมันไบโอดีเซลผสมไตรกลีเซอไรด์ในอัตราส่วน 3.2%-15% มาทดสอบกับเครื่องยนต์และนำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันทั้งสองประเภทให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ไม่แตกต่างกันมาก

และให้ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงใกล้เคียงกันในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำแต่ในรอบเครื่องยนต์สูงปริมาณไตรกลีเซอไรด์มีผลให้ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงต่ำลง และพบว่าค่าความดันผลเฉลี่ยของไบโอดีเซลจะมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซลอยู่ในทุกช่วงของความเร็รรอบ

2. วิธีการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของคุณภาพที่แตกต่างกันของน้ำมันไบโอดีเซลปาล์มที่มีต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ โดยใช้ น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มโอลีนบริสุทธิ์ จากการวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าความบริสุทธิ์ และมีค่าสมบัติต่าง ๆ ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทดีเซล [4] โดยมีค่าร้อยละของเมทิลเอสเตอร์เท่ากับ 96.8%

ตารางที่ 1. สมบัติบางประการของน้ำมันดีเซลมาตรฐานและน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติที่ทดสอบ	มาตรฐาน	ชนิดของเชื้อเพลิง					
	ASTM	D100	B96.8	B90	B85	B80	B75
ค่าความหนาแน่นที่ 15°C (kg/m³)	D 1298	845	852	877	879	880	890
ค่าความหนืดที่ 40°C (cSt)	D 445	3.38	4.26	5	5.47	5.83	6.4
จุดขุ่นตัว (°C)	D 2500	1	10.5	8.5	7.3	6.5	5.8
ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)	D 664	-	0.14	0.146	0.146	0.146	0.146
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)	D 1250	46.5	40.24	40.39	40.45	40.49	40.82
ร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ (%)	EN 14103	-	96.8	90.05	85.3	80.04	75.25

คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ศึกษาในที่นี้คือปริมาณร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ โดยจากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเตอร์ริฟิเคชันเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์จะทำให้ น้ำมันปาล์มโอลีน ซึ่งมีส่วประกอบหลักเป็นไตรกลีเซอไรด์เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นเมทิลเอสเตอร์ได้ไม่หมด ส่งผลให้ค่าร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ที่ได้มีค่าไม่ได้ถึงเกณฑ์ที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดซึ่งคือ 96.5% การปรับเปลี่ยนค่าร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ในงานวิจัยนี้ทำโดยการเติมน้ำมันปาล์มโอลีนบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาลงไปในเมทิลเอสเตอร์ที่เตรียมได้ ทั้งนี้เพื่อควบคุมสารปนเปื้อนอื่นๆให้คงที่ ในงานวิจัยนี้ค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเตอร์ที่ศึกษาคือ 96.8% (ซึ่งผ่านเกณฑ์ของกรมธุรกิจพลังงาน) [5], 90% , 85% , 80% และ 75% โดยน้ำหนัก จากนั้นน้ำมันเชื้อเพลิงทุกอัตราส่วนผสมจะถูกนำไปทดสอบหาสมบัติตามวิธีมาตรฐานของ ASTM (American Society for Testing and Materials) [6] ซึ่งประกอบไปด้วยค่าความหนาแน่น , ค่าความหนืด , จุดขุ่นตัว , ค่าความเป็นกรด , ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง และ ร้อยละของเมทิลเอสเตอร์ โดยได้แสดง

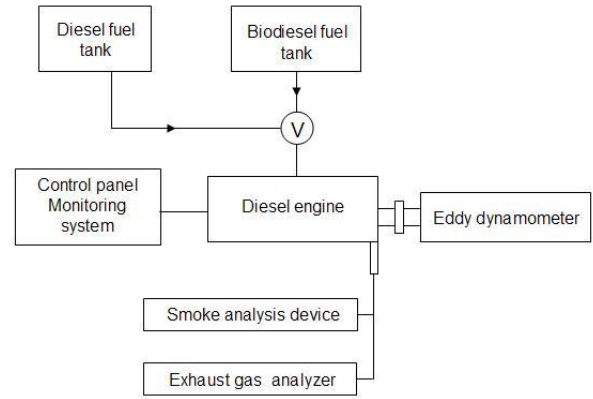
รายละเอียดของสมบัติของน้ำมันดีเซลมาตรฐานและน้ำมันไบโอดีเซลที่ความบริสุทธิ์ต่างๆ ในตารางที่ 1. ขั้นตอนต่อมาจะเป็นขั้นตอนการทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ และมลพิษจากการเผาไหม้ โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct injection) รายละเอียดของเครื่องยนต์แสดงดังตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อเครื่องยนต์	Nissan
รุ่น	BD-30
จำนวนลูกสูบ	4
ขนาดกระบอกสูบ x ระยะชัก	96 mm x 102 mm
ปริมาตรกระบอกสูบ	2,953 cc.
อัตราส่วนการอัด	18.5 :1
แรงม้าสูงสุด	70.8 kW (95 HP)

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์และการปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ในงานวิจัยนี้ ใช้ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์แบบลำดับขั้นโดยแสดงผลในรูปแบบของ ความเร็วรอบ และภาระที่ใส่เข้าไป ชุดทดสอบใช้ ไดนาโมมิเตอร์ชนิด Eddy current electric ที่สามารถปรับค่าของภาระงานที่ให้แก่เครื่องยนต์ได้ ผลที่ทดสอบได้จะแสดงในรูปแบบตัวเลขดิจิทัล ไดอะแกรมแสดงการติดตั้งของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 1.

การทดสอบนั้นจะทำการอุ่นเครื่องยนต์เพื่อให้เครื่องยนต์ปรับสภาวะให้พร้อมสำหรับการทดสอบ ในการทดสอบจะทำการทดสอบแบบภาระงานเต็มที่ (Full load) โดยเปิดลิ้นปีกผีเสื้อมากที่สุด ทำการทดสอบในช่วงของความเร็วน้ำมัน 1,800 - 4,000 รอบต่อนาที ทำการบันทึกค่าของภาระที่ได้และความเร็วรอบที่กำหนดรวมถึงเวลาในการใช้เชื้อเพลิง โดยข้อมูลการทดสอบในช่วงความเร็วน้ำมันดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการหาสมรรถนะเครื่องยนต์ อันได้แก่ แรงบิด (Torque, T) ได้มาจากข้อมูลของผลคูณระหว่างภาระมวล (m) ความยาวแขนของไดนาโมมิเตอร์ (L) และค่าคงที่เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ($g=9.81\text{m/s}^2$) คำนวณจากสมการ $T = m \times L \times g$ (Nm) , กำลัง (Power, P) ได้มาจากข้อมูลของค่าแรงบิด (Nm) และความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm) คำนวณจากสมการ $P = 2 \times \pi \times N \times T$ (kW), ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, bsfc) ได้มาจากข้อมูลของอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง ($\dot{m}_f$) และกำลังของเครื่องยนต์ (kW) คำนวณจากสมการ $bsfc = \dot{m}_f / P$ (g/kW-hr) , ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก (Brake mean effective pressure, bmep) ซึ่งหมายถึงกำลังเครื่องยนต์ต่อขนาดเครื่องยนต์ คำนวณได้จากข้อมูลของกำลังคูณวัฏจักรการทำงานต่อความเร็วน้ำมันเพลน (Nr=2) หาความเร็วน้ำมันของเครื่องยนต์ (rpm) และ ปริมาตรกระจัดของเครื่องยนต์ (Vd) ดังสมการ $bmep = P \times Nr / (Vd \times N)$ (kPa) , ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก (Brake Fuel Conversion efficiency, η_{bf}) ได้มาจากข้อมูลของกำลังเครื่องยนต์ หาด้วยอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงคูณด้วยค่าความร้อนทางสูงของน้ำมันเชื้อเพลิง (kJ) คำนวณจากสมการ $\eta_{bf} = P \times 100 / (\dot{m}_f \times Q_{HV})$ (%) นอกจากนี้ยังได้ตรวจวัดปริมาณร้อยละของควันดำ (Black Smoke , %) ซึ่งทดสอบโดยใช้เครื่องวัดปริมาณควันดำที่พิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความทึบแสงของแผ่นทดสอบหลังจากที่ไอเสียของเครื่องยนต์ไหลผ่านตามมาตรฐานของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมการกำหนดมาตรฐานค่าควันดำจากท่อไอเสียของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล [7] และค่ามลพิษคือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 , %) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO ,PPM) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x ,PPM) ซึ่งตรวจวัดโดยเครื่องวิเคราะห์ตรวจวัดแก๊สไอเสีย (Flue Gas Analyser) ของ madur รุ่น GA-40Tplus ตรวจวัดที่ความเร็วน้ำมัน 3,600 รอบต่อนาที ต่อภาระงานตั้งแต่ 0-30 Kg.



รูปที่ 1 ไดอะแกรมแสดงการติดตั้งของอุปกรณ์ในการทดสอบ

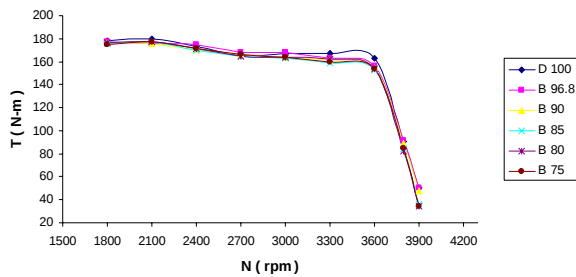
3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

3.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง

ผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ความบริสุทธิ์ต่างๆแสดงในตารางที่ 2 โดย D100 หมายถึง น้ำมันดีเซลมาตรฐาน และ B96.8 , B90 , B85 , B80 และ B75 หมายถึง น้ำมันไบโอดีเซลที่มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ 98.8% , 90% , 85% , 80% และ 75% โดยมวลตามลำดับ

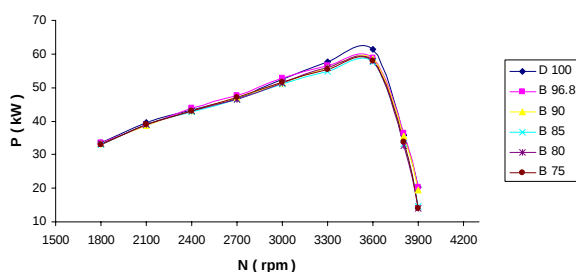
จากผลการทดสอบพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลทุกอัตราส่วนผสม มีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน ตามมาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล พ.ศ. 2550 ค่าความหนืดต้องอยู่นั้นในช่วง 3.5-5 cSt [4] แต่ในอัตราส่วนที่ 85% , 80% และ 75% พบว่ามีค่าความหนืดสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด อย่างไรก็ตามน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าปริมาณเมทิลเอสเทอร์ต่างกันสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ตลอดช่วงความเร็วน้ำมัน สำหรับการทดสอบในระยะเวลาอันสั้นได้ ส่วนค่าของความหนาแน่นในช่วงอัตราส่วนที่ 96.8% จะมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่ามาตรฐานของไบโอดีเซลที่กำหนดเล็กน้อย [4-5] ค่าความร้อน(ความร้อนทางสูง) ของน้ำมันดีเซล(D100) มีค่าเท่ากับ 46.5 MJ/kg ค่าความร้อนของไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ต่างๆแสดงในตารางที่ 1 จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเมทิลเอสเทอร์ที่ลดลง (หรือไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้นไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น) เนื่องจากไตรกลีเซอไรด์มีค่าความร้อนสูงกว่าไบโอดีเซลนั่นเอง ส่วนค่าความเป็นกรดซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณกรดไขมันอิสระนั้น ตามมาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล พ.ศ. 2550 ให้มีค่าไม่เกิน 0.5 mgKOH/g [4-5] พบว่าค่าความเป็นกรดต่ำกว่ามาตรฐานมาก ในทุกตัวอย่าง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตไบโอดีเซลนั้นเป็นน้ำมันพืชปาล์มโอลีนบริสุทธิ์จึงมีค่าความเป็นกรดต่ำ

3.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์และมลพิษจากการเผาไหม้

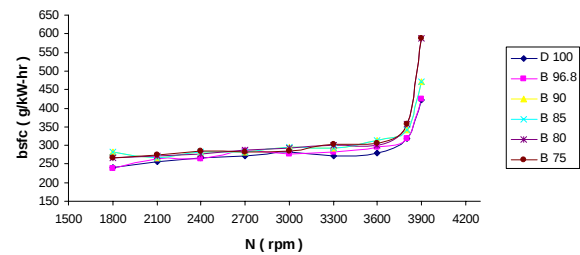


รูปที่ 2 แสดงค่าแรงบิดเมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าเมทิลเอสเทอร์ต่างกันเป็นเชื้อเพลิง

ผลการทดสอบค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์ แสดงในรูปที่ 2 พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลที่มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ต่างกัน ให้ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์โดยเฉลี่ยต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย โดยที่น้ำมัน D100 B85 B80 และ B75 ที่ทำการทดสอบจะให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์ 2,100 รอบต่อนาที แต่น้ำมัน B96.8 และ B90 นั้นให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่รอบ 1,800 รอบต่อนาที โดยมีค่าของแรงบิดสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานที่ความเร็วรอบเดียวกันเล็กน้อย ในส่วนรอบเครื่องยนต์ที่ 3,300 - 3,600 รอบต่อนาที พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลทุกอัตราส่วนให้ค่าแรงบิดต่ำกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันไบโอดีเซลตั้งแต่ B75 – B85 ให้ค่าแรงบิดต่ำลงมากเมื่อเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนอื่น เนื่องจากค่าความร้อนของไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน ในส่วนของกำลังเบรกของเครื่องยนต์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 3 พบว่ากำลังสูงสุดอยู่ที่ 3,600 รอบต่อนาที ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบสมรรถนะที่มาจากโรงงานผู้ผลิต จากการทดสอบพบว่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลทุกอัตราส่วนความบริสุทธิ์นั้นให้ค่ากำลังต่ำกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน แต่น้ำมันไบโอดีเซลที่ความบริสุทธิ์ 96.8% กลับให้ค่ากำลังที่สูงกว่าน้ำมันทุกชนิดเล็กน้อยในความเร็วรอบ 2,400 , 2,700 และ 3,000 รอบต่อนาที

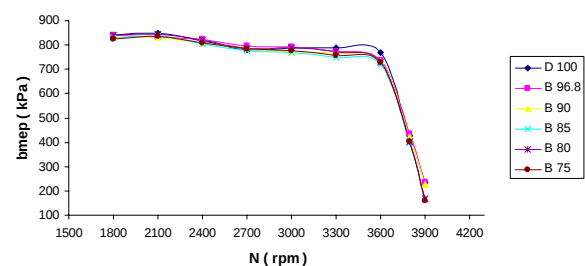


รูปที่ 3 แสดงกำลังเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าเมทิลเอสเทอร์ต่างกันเป็นเชื้อเพลิง

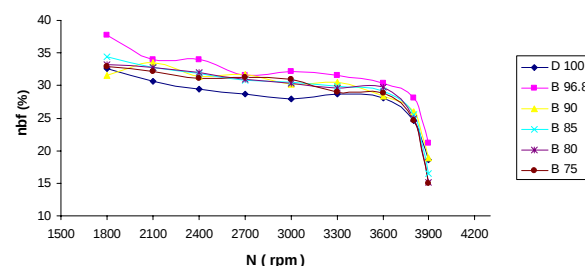


รูปที่ 4 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก เมื่อใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าเมทิลเอสเทอร์ต่างกันเป็นเชื้อเพลิง

ผลการทดสอบ รูปที่ 4 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) ซึ่งพบว่าในช่วงความเร็วรอบต่ำกว่า 3,300รอบต่อนาที ไบโอดีเซลทุกอัตราส่วนมีค่า bsfc สูงกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานประมาณ 5-10% ค่า bsfc ของไบโอดีเซลในอัตราส่วน B90 , B85 , B80 และ B75 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความเร็วรอบสูง 3,900 รอบต่อนาที โดยมีค่าสูงกว่า bsfc ของน้ำมันดีเซลมาตรฐานอยู่ประมาณ 10% , 22% , 28% และ 28% ตามลำดับทั้งนี้เนื่องมาจากค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานจึงทำให้เกิดการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมากกว่า

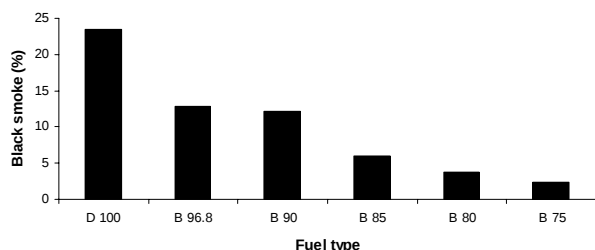


รูปที่ 5 แสดงค่าความดันผลเฉลี่ยที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าเมทิลเอสเทอร์ต่างกันเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 6 แสดงค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าเมทิลเอสเทอร์ต่างกันเป็นเชื้อเพลิง

จากผลการทดสอบรูปที่ 5 และ 6 ซึ่งแสดงค่าของความดันยังผลเฉลี่ย (bmep) และ ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก (η_{bf}) ตามลำดับ พบว่าความดันยังผลเฉลี่ยที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าเมทิลเอสเทอร์ต่างกันเป็นเชื้อเพลิงจะให้ค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานในช่วงความเร็วรอบ 1,800-3,900 รอบต่อนาที แต่ที่ความเร็วรอบ 3,000-3,600 รอบต่อนาที ค่าจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะความเร็วรอบที่ 3,600 รอบต่อนาที คือลดลงเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล 4.21% , 6.14% , 6.11% , 5.35% และ 5.46% ตามลำดับสัดส่วน B90 , B85 , B80 และ B75 ทั้งนี้เนื่องมาจากค่ากำลังเบรคของเครื่องยนต์ในช่วงความเร็วรอบสูงสุดที่เครื่องยนต์ทำให้ส่งผลให้มีค่าความดันยังผลเฉลี่ยนั้นสูงตามไปด้วย [3] กล่าวว่ค่าความดันผลเฉลี่ยจะต่ำลงเมื่อผลของไตรกลีเซอไรด์มากขึ้นที่ความเร็วรอบสูง จากรูปที่ 6 ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก ที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าเมทิลเอสเทอร์ต่างกันเป็นเชื้อเพลิงจะเห็นได้ว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าเมทิลเอสเทอร์ต่างกันคือ B96.8 , B90 , B85 , B80 และ B75 นั้นมีการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงได้ดีกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานแต่ในช่วงความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที นั้นน้ำมันไบโอดีเซล B90 ให้ค่าประสิทธิภาพต่ำกว่าทุกๆชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง หลังจากนั้นค่าการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงของทุกชนิดน้ำมันจะสูงขึ้นเรื่อยๆอย่างต่อเนื่องจนถึงความเร็วรอบ 3,600 รอบต่อนาที และจะต่ำกว่าในความเร็วรอบที่ 3,900 รอบต่อนาทีซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรก จากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าเมทิลเอสเทอร์ต่างกันมีค่าใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงของน้ำมันดีเซลมาตรฐานโดยค่าต่างๆมีค่าไม่เกินกว่า 15.11% ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงเบรกสูงสุดเกิดขึ้นที่น้ำมันไบโอดีเซล B96.8 มีค่า 37% ซึ่งค่าความแตกต่างกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานอยู่ที่ 13.52% ที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที ค่า η_{bf} ของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำจะต่ำกว่า η_{bf} ของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าความบริสุทธิ์สูงกว่า นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกันพบว่าที่ความบริสุทธิ์ 75% - 90% ค่า η_{bf} จะใกล้เคียงกัน ยกเว้นจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์สูง

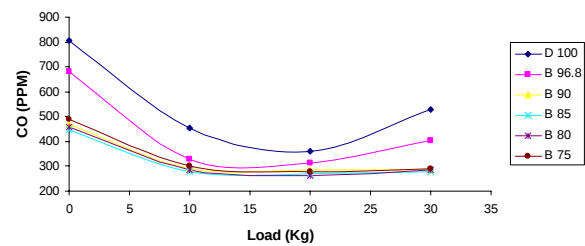


รูปที่ 7 ผลการเปรียบเทียบปริมาณควันดำจากไอเสียเครื่องยนต์จากการทดสอบด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

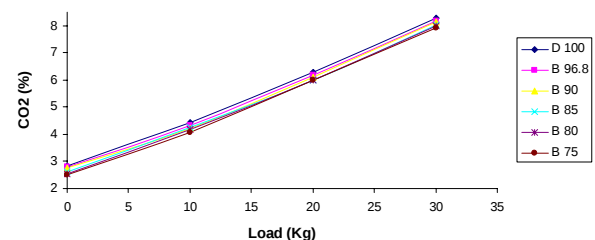
ในการทดสอบหาค่าร้อยละของปริมาณควันดำจะทดสอบระหว่างการเร่งความเร็วของเครื่องยนต์จากรอบเดินเบาไปสู่รอบการ

ทำงานสูงสุด โดยในการทดสอบนั้นจะใช้เครื่องมือวัดปริมาณควันดำ (Smoke meter) ซึ่งเป็นเครื่องวัดปริมาณควันดำด้วยวิธีตรวจสอบความทึบแสงของปริมาณคาร์บอน แบบปล่อยให้อากาศไหลผ่านได้บางส่วน ตามมาตรฐานในการวัดควันดำ (Enabling Environment Conference ; EEC) และอ้างอิงจากประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่องการกำหนดมาตรฐานค่าปริมาณควันดำจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล [7] จากผลการทดลอง แสดงในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าปริมาณควันดำที่วัดได้ อยู่ในช่วง 2.4%-23.4% ซึ่งอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กรมการขนส่งกำหนด คือ 50% จะเห็นได้ชัดว่า น้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่มากกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานมี ปริมาณควันดำจากแก๊สไอเสียน้อย โดยเฉพาะเชื้อเพลิงไบโอดีเซล B75 จะมีค่าปริมาณควันดำต่ำสุด

สำหรับการทดสอบปริมาณแก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแบบต่างๆจะทดสอบวัดปริมาณแก๊สไอเสียที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3,600 รอบต่อนาที



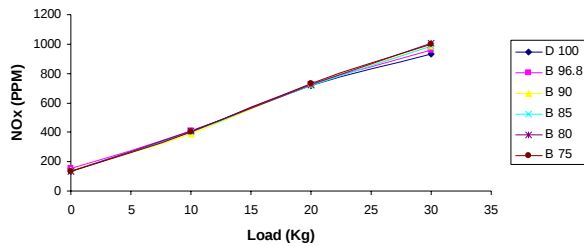
รูปที่ 8 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ CO จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์จากการทดสอบด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ



รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบปริมาณ CO₂ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์จากการทดสอบด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

รูปที่ 8 และ 9 แสดงค่าปริมาณ CO และ CO₂ จากไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ ภาระงานตั้งแต่ 0 – 30kg จะให้ค่าปริมาณ CO และ CO₂ ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐานเป็นเชื้อเพลิงตลอดช่วงภาระงาน โดยจะมีค่าลดลงเมื่อมีไตรกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับแนวโน้มการลดลงของปริมาณควันดำ ทั้งนี้เนื่องจากค่า CO และ CO₂ จะก่อตัวขึ้นขณะที่เกิดการเผาไหม้

ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งมีออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการสันดาปกับน้ำมันเชื้อเพลิงหรือมีช่วงเวลาการเผาไหม้ที่น้อยเกินไป [8]



รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบจากการทดสอบปริมาณ NO_x จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์จากการทดสอบด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ผลการวัดค่าไนโตรเจนออกไซด์ NO_x จากไอเสียของเครื่องยนต์แสดงในรูปที่ 10 จากผลการทดสอบที่ภาระงานตั้งแต่ 0 – 30kg พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลให้ค่าปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกมาสูงกว่าน้ำมันดีเซล D100 โดยน้ำมันไบโอดีเซลทุกอัตราส่วนจะให้ค่าไนโตรเจนออกไซด์ใกล้เคียงกันในการะงานต่ำ แต่จะเริ่มต่างกันเมื่อมีภาระเพิ่มมากขึ้น ที่ภาระงาน 30kg ค่า NO_x เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกันจะได้ค่าตามอัตราส่วนความบริสุทธิ์ของ B75 , B80 , B85 , B90 และ B96.8 ค่า NO_x ที่วัดได้คือ 6.97% , 8.15% , 6% , 5.57% และ 2.57% ตามลำดับเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลซึ่งให้ค่าต่ำสุด สารมลพิษชนิดออกไซด์ของไนโตรเจนมักจะเกิดจากการเผาไหม้ที่มีปริมาณออกซิเจนสูงเกินกว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม และเกิดการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ ในสภาวะอุณหภูมิของห้องเผาไหม้สูง ทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างอะตอมของไนโตรเจนและอะตอมของออกซิเจนที่หลงเหลือ [8-10] ซึ่งในส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าความแตกต่างของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ นั้นมีค่าปริมาณออกซิเจนสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานทั้งหมดดังนั้นจึงส่งผลให้มีค่าไนโตรเจนออกไซด์ NO_x นั้นสูงตามไปด้วย

สรุปผลการทดลอง

1. น้ำมันไบโอดีเซลทุกค่าความบริสุทธิ์ให้ค่าแรงบิดและกำลังต่ำกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ในรอบสูง
2. แม้ว่าไบโอดีเซลจะมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากเชื้อเพลิงสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลมาตรฐาน แต่เนื่องจากค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานค่อนข้างมาก จึงส่งผลให้น้ำมันไบโอดีเซลให้สมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์นั้นต่ำกว่า
3. การนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ 75% และ 85% โดยมวล ซึ่งมีความบริสุทธิ์ต่ำมาใช้ อาจส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์อย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากมีค่าความหนืดที่สูงเกินกว่ามาตรฐานกำหนดมาก และจากผลการทดสอบที่สอดคล้องพบว่า

น้ำมันไบโอดีเซล ความบริสุทธิ์ 75% และ 80% นี้ให้สมรรถนะเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ความบริสุทธิ์อื่นค่อนข้างมาก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ทู น ส น บ ง บาง ส่วน จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปี 2550 และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล และการทดสอบสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

เอกสารอ้างอิง

1. จันทนา ญูชรรัตน์ , ภัทรีย์ สายสุริยา "การศึกษาความต้องการและปัจจัยกำหนดความต้องการใช้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือกสำหรับรถยนต์" การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงาน 1, ชลบุรี, 11-13 พฤษภาคม 2548, หน้า 432-436
2. Anjana Srivastava, Ram Prasad, 1999. "Triglyceride-base diesel fule." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4(2000) 111-133
3. Muammer Ö., Alp T. ErGenc., Orhan D., 2004. "Experimental Performance Analysis of Biodiesel, Tradition Diesel and Biodiesel with Glycerine" Turkish J. Eng. Env. Sci. 20(2005) 89-94
4. อ้อยใจ ทองเผือ, อภิสิทธิ์ เอียดเอื้อ, วิฑูรย์ กุฑวิน, ปานชีวา อุดมทรัพย์ และ อุกฤษฏ์ สหพัฒนสมบัติ "ไบโอดีเซลและการตรวจสอบคุณภาพ" เอกสารงานบริการเทคนิค ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)
5. กรมธุรกิจพลังงาน. 2548. "กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน" ฉบับที่ 3. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 122 ตอนพิเศษ 70ง
6. จารุณี วิวัชรโกเศศ. "เอกสารมาตรฐาน ASTM." วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 46 (2541) หน้า 23-25
7. กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2540 การกำหนดมาตรฐานค่าวันดำจากท่อไอเสียของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 114 ตอนที่ 76ง.
8. อิทธิพล วรพันธ์, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, สงบทิพย์ พงศ์สถาปตี และ เต็นพงศ์ สุดภักดี "สมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง" วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 33 ฉบับที่ 6(691-705) พฤศจิกายน – ธันวาคม 2549
9. Sandun F., Prashanth K., Rafael Hernandez R., Saroj KJ., 2005. "Effect of incompletely converted soybean oil on biodiesel quality" Energy 32 (2007) 844-851
10. Zafer U., Mevlüt SK., 2007 "The effect of biodiesel fule obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions" Renewable Energy 33(2008) 1936-1941