รายงานการวิจัยเรื่อง	คุณลักษณะการสเปรย์และการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมดีเซล-ไบโอดีเซล
หัวหน้าโครงการวิจัย	ผศ.ดร.ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์
ผู้ร่วมโครงการวิจัย	รศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง
	นายไพบูลย์ เสถียรรัมย์
	นายอิทธิพล วรพันธุ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีงบประมาณ	2552
งบประมาณที่ได้รับ	375,800. - บาท
คำสำคัญ	ไบโอดีเซล, เชื้อเพลิงทางเลือก, การฉีดเชื้อเพลิง, คุณลักษณะการเผาไหม้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการเผาไหม้ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสเปรย์ของเชื้อเพลิงผสมดีเซล-ไบโอดีเซล เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับแต่งเครื่องยนต์ในการเพิ่มสัดส่วนของไบโอดีเซลในเชื้อเพลิงผสมดีเซล-ไบโอดีเซลให้สูงขึ้น การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ใช้เครื่องยนต์ดีเซล แบบฉีดตรง 4 สูบ ความจุ 2499 ซีซี โดยทำการทดลองแบบไม่มีภาระ ที่ความเร็วรอบ 1000, 1250, 1500, 2000, 2250 และ 2500 rpm เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ คือ ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพารา, น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ, น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันปาล์ม เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้ ที่ความเร็วรอบต่ำ ความดันของไบโอดีเซลทุกชนิดสูงกว่าดีเซล และเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้นค่าความดันจะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ด้านอัตราการปลดปล่อยความร้อนจากน้ำมันไบโอดีเซลมีแนวโน้มเกิดขึ้นก่อนดีเซล และพบว่า ไบโอดีเซลจากยางพารา มีค่ามากที่สุดรองลงมาคือ ดีเซล ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ และไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว ตามลำดับ ค่าอัตราการปล่อยความร้อนสุทธิ ในทุกรอบความเร็วไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ไบโอดีเซลจากเมล็ดสบู่ดำ และไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าว ทุกส่วนผสมจะมีค่าน้อยกว่าดีเซล แต่ไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพาราจะมีค่าใกล้เคียงกับดีเซล จึงสรุปได้ว่า ไบโอดีเซลจากน้ำมันยางพารา มีคุณลักษณะการเผาไหม้ใกล้เคียงกับดีเซลมากที่สุด ส่วนน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มจะมีคุณลักษณะการเผาไหม้ต่างจากดีเซลมากที่สุด

การศึกษาคุณลักษณะการฉีดเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ใช้หัวฉีดเป็นแบบ 1 รูมีเส้นผ่านศูนย์กลางเข็มหัวฉีดด้านน้ำมันออก 0.65 mm. และด้านน้ำมันเข้ามีขนาด 3.75 mm. ความดันของหัวฉีด 150 bar ห้องเผาไหม้จำลองมีความดัน 0, 5, และ10 bar ตามลำดับ มีช่องสำหรับถ่ายภาพที่ทำจาก Acrylic ขนาดกว้าง 18×30×2 cm. อุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ในการสเปรย์

คือ 40°C, 50°C, 60°C และ 70 °C ตามลำดับ เชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้จำลองแล้วใช้กล้องวีดีโอที่มีความเร็วในการบันทึกภาพ 1200 fps ทำการบันทึกภาพ และนำภาพดังกล่าวมาวิเคราะห์หาความเร็วและมุมสเปร์ยของน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่าเมื่อความดันห้องเผาไหม้จำลองเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มุมสเปรย์ของเชื้อเพลิงทุกชนิดเพิ่มขึ้น แต่มีแนวโน้มทำให้มุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลทุกชนิดลดต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ที่ความดันสูงมุมสเปรย์ของไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพาราจะมีค่ามากที่สุด ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงจะส่งผลให้มุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลลดลงน้อยมาก เมื่อความดันห้องเผาไหม้จำลองเพิ่มขึ้น จะทำให้ความเร็วลำพุ่งของชื้อเพลิงทุกชนิดลดลง และที่ความดันห้องเผาไหม้จำลองต่ำ ความเร็วลำพุ่งของไบโอดีเซลจะมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล แต่เมื่อความดันสูงขึ้น ค่าความเร็วลำพุ่งมีแนวโน้มต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงจะไม่ส่งผลให้ความเร็วลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซล

Spray and combustion characteristic of diesel-biodiesel fuel

Head of Project Asst.Prof.Dr. Prachasanti Thaiyasuit

Co-researchers Assoc.Prof.Dr. Kulachate Pianthong

Mr. Mr.Paiboon Satianrum

Mr. Ittipol Worapan

Faculty of Engineering Ubon Ratchathani University

In Finance Year 2009 for 375,800.- Baht

Keyword Biodiesel, Alternative Fuel, Fuel spray, Combustion characteristics

Abstract

This research aimed to study the combustion characteristic of diesel direction injection engine, 4 cylinders, 2499 cc and exposed to educate injection characteristic of biodiesel for CI engine. The engine test conditions are at no load, at engine speed of 1000, 1250, 1500, 2000, 2250, and 2500 rpm. The fuels used in experiments are biodiesel from rubber seed oil, jatropha oil, coconut oil and palm oil compared to diesel fuel. It is found that the maximum pressure in combustion chamber at low engine speed pressure of all types biodiesel is higher than that of diesel fuel. When the engine speed is high, the pressure is close to diesel fuel. The heat release rate of biodiesel tends to start before that of the diesel fuel. It is found that the heat release rate of biodiesel from rubber seed is highest while the diesel fuel, biodiesel from palm oil, biodiesel from jatropha seed oil, and biodiesel from coconut oil are lower respectively. The cumulative heat release value of biodiesel at any blending ratio in all engine speed is lower than the diesel fuel, have biodiesel from rubber seed gives close value to diesel fuel. Therefore the biodiesel from rubber seed has quite similar characteristic to diesel fuel and the biodiesel from palm oil is the worst different from diesel.

The injection characteristic study used an injector which has 1 hole, outlet diameter is 0.65 mm, inlet diameter is 3.75 mm and the injector pressure is 150 bar. The pressures inside of test chamber are 0, 5, and 10 bar. The front side of the test chamber made from acrylic sheet (wide 18×30×2 cm.) for taking a photograph. Fuel used are five types, such as diesel, biodiesel from palm oil, biodiesel from coconut oil, biodiesel from jatropha curcas linn, and biodiesel from para rubber seed. The test temperatures of fuel are 40°C, 50°C, 60°C and 70 °C. The fuel are sprayed into test chamber then was recorded by the video camera at 1200 fps speed shutter. The video was captured and analyzed the velocity and spray cone angle. The result found that when the pressure in test

chamber increases the spray cone angle of all biodiesel are increase but velocity of all biodiesel are decrease. And the spray cone angle of biodiesel is lower than that of biodiesel. At low pressure the velocity of biodiesels are higher than that of diesel. At high pressure, spray corner of biodiesel from rubber seed is highest and velocity of diesel higher than that of biodiesels. The increasing temperature of testing chamber is quite affected to decrease spray cone angle and velocity of biodiesel.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ รวมทั้งการจัดทำรูปเล่มรายงานการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณนักศึกษาผู้ช่วยงานวิจัย ที่ช่วยทำการทดลอง อย่างขะมักเขม้นตลอดระยะในการทำวิจัยที่ผ่านมา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และการวิจัยในครั้งนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุน จากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เพื่อทำการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552

คณะผู้วิจัย

มีนาคม 2559

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ จ
สารบัญ ฉ
สารบัญตาราง ฉ
สารบัญรูป ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 7
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 8
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ 8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
2.1 เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล 9
2.2 รูปแบบการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล 10
2.3 น้ำมันดีเซล 14
2.4 น้ำมันไบโอดีเซล 15
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 18
3.1 อุปกรณ์การทดลองสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการเผาไหม้ 18
3.2 อุปกรณ์ในการทดลองสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสเปรย์ของเชื้อเพลิง 27
3.3 น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ 34
3.4 วิธีการทดลองสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการเผาไหม้ 35
3.5 วิธีการทดลองสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสเปรย์ของเชื้อเพลิง 36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 38

4.1 ผลการทดลองสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการเผาไหม้ 38

4.2 ผลการทดลองสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสเปรย์ของเชื้อเพลิง 64

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 86

5.1 ความดันในแต่ละเชื้อเพลิง 86

5.2 อัตราการปล่อยความร้อนในกระบอกสูบของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ 87

5.3 มุมสเปรย์ 88

5.4 ความเร็วลำพุ่ง 88

5.5 ข้อเสนอแนะ 88

บรรณานุกรม 89

ภาคผนวก 90

ภาคผนวก ก ภาพการทดลองกับเครื่องยนต์ Diesel Engine 90

ภาคผนวก ข ตารางแสดงค่าเฉลี่ยความเร็วและมุมการสเปรย์ของน้ำมันแต่ละชนิด 93

ภาคผนวก ค วิธีการคำนวณหาความเร็วและมุมการสเปรย์ 99

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชแต่ละชนิด 3

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทางเทคนิคของ DEWE-CA-Angle-Sensor 0.2 22

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด 35

ตารางที่ 4.1 ค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่จุด
ความดันสูงสุดของ BR 43

ตารางที่ 4.2 ค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่จุด
ความดันสูงสุดของ BJ 51

ตารางที่ 4.3 ค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่จุด
ความดันสูงสุดของ BC 58

ตารางที่ 4.4 ค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่จุด
ความดันสูงสุดของ BP 58

ตารางที่ 4.5 ค่าความดันสูงสุดในห้องเผาไหม้และองศาเพลาข้อเหวี่ยงที่จุด
ความดันสูงสุด ของ B100 63

ตารางที่ ข.1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยความเร็วและมุมสเปรย์ของน้ำมันแต่ละชนิดที่ความดัน 0 bar 94

ตารางที่ ข.2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยความเร็วและมุมสเปรย์ของน้ำมันแต่ละชนิดที่ความดัน 5 bar 95

ตารางที่ ข.3 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยความเร็วและมุมสเปรย์ของน้ำมันแต่ละชนิดที่ความดัน 10 bar 97

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงช่วงเวลาการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ดีเซล	3
รูปที่ 1.2 แสดงผลของความหนืดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยดเชื้อเพลิง	4
รูปที่ 1.3 แสดงลักษณะโครงสร้างสเปรย์เชื้อเพลิง	4
รูปที่ 1.4 แสดงคุณลักษณะการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ดีเซล	5
รูปที่ 1.5 แสดงผลขององศาการฉีดเชื้อเพลิงต่อความดันและช่วงการเผาไหม้ล่า	6
รูปที่ 1.6 แสดงผลของค่าซีเทนต่อความดันและช่วงการเผาไหม้ล่า	6
รูปที่ 2.1 การทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะแบบจุดระเบิดด้วยแรงอัด	10
รูปที่ 2.2 ความดันกระบอกสูบ (P) ระยะยกวาล์วเข็มหัวฉีด (l_N) และความดันเชื้อเพลิงในท่อส่ง (P_l)	10
รูปที่ 2.3 ภาพแสดงความดันกระบอกสูบ (P), อัตราการฉีดเชื้อเพลิง (m_{fi}) และอัตราการปล่อยความร้อน(Q_n)	11
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการฉีดเชื้อเพลิง และอัตราการเผาไหม้	12
รูปที่ 2.5 ผังแสดงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง	13
รูปที่ 3.1 เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ	18
รูปที่ 3.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ	19
รูปที่ 3.3 เพรสเชอร์ทรานดิวเซอร์	19
รูปที่ 3.4 การติดตั้งเพรสเชอร์ทรานดิวเซอร์ที่ห้องเผาไหม้	20
รูปที่ 3.5 แผนภาพของ Encoder	21
รูปที่ 3.6 Encoder และการติดตั้ง	21
รูปที่ 3.7 Data Acquisition (DAQ) card และ Dynamic signal amplifier	23
รูปที่ 3.8 Thermocouple isolation amplifier	23
รูปที่ 3.9 เครื่องรับสัญญาณจากเครื่องขยายสัญญาณ	24
รูปที่ 3.10 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม Dewesoft	24
รูปที่ 3.11 แสดงหน้าโปรแกรม DEWE soft	25
รูปที่ 3.12 แสดงการติดตั้งชุดทดลองที่ทำการทดสอบ	26
รูปที่ 3.13 แผนผังแสดงการทดลองการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสเปรย์ของเชื้อเพลิง	27
รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบหัวฉีดดีเซลแบบมือโยก	28

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.15 หัวฉีดของ TOYOTA DN4PD57 28
รูปที่ 3.16 เทอร์โมมิเตอร์ 29
รูปที่ 3.17 ฉนวนกันความร้อน 29
รูปที่ 3.18 เกจวัดความดัน 30
รูปที่ 3.19 ก๊าซไนโตรเจน 30
รูปที่ 3.20 Safety Valve 31
รูปที่ 3.21 หลอดไฟขนาด 1500 W 31
รูปที่ 3.22 ห้องเผาไหม้จำลอง 32
รูปที่ 3.23 กล้องบันทึกการทดลองรุ่น Casio EX-F1 high-speed video camera (1,200 fps) 32
รูปที่ 3.24 เทอร์โมคัพเปิ้ล (Thermocouples) type k แบบหัวสกรูว์ 33
รูปที่ 3.25 เครื่องอ่านค่าอุณหภูมิ (Temperature Indicator) 33
รูปที่ 3.26 ไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารา 34
รูปที่ 3.27 ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ 34
รูปที่ 3.28 ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม 35
รูปที่ 3.29 ไบโอดีเซลน้ำมันมะพร้าว 35
รูปที่ 4.1(ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่ 1000 rpm 39
รูปที่ 4.2 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่ 1250 rpm 39
รูปที่ 4.3 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่ 1500 rpm 40
รูปที่ 4.4 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่ 2000 rpm 41
รูปที่ 4.5 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่ 2250 rpm 41

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราที่ 2500 rpm 42
รูปที่ 4.7 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำที่ 1000 rpm 44
รูปที่ 4.8 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำที่ 1250 rpm 44
รูปที่ 4.9 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำที่ 1500 rpm 45
รูปที่ 4.10 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำที่ 2000 rpm 46
รูปที่ 4.11 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำที่ 2250 rpm 46
รูปที่ 4.12 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำที่ 2500 rpm 47
รูปที่ 4.13 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ 1000 rpm 49
รูปที่ 4.14 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ 1250 rpm 49
รูปที่ 4.15 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ 1500 rpm 50
รูปที่ 4.16 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ 2000 rpm 51
รูปที่ 4.17 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ 2250 rpm 51
รูปที่ 4.18 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ 2500 rpm 52
รูปที่ 4.19 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ 1000 rpm 54

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.20 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ 1250 rpm 54
รูปที่ 4.21 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ 1500 rpm 55
รูปที่ 4.22 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ 2000 rpm 56
รูปที่ 4.23 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ 2250 rpm 56
รูปที่ 4.24 (ก-ข) ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ 2500 rpm 57
รูปที่ 4.25 (ก-ข) ความดันและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซล 100% ที่ 1000 rpm 59
รูปที่ 4.26 (ก-ข) ความดันและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซล 100% ที่ 1250 rpm 59
รูปที่ 4.27 (ก-ข) ความดันและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซล 100% ที่ 1500 rpm 60
รูปที่ 4.28 (ก-ข) ความดันและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ 2000 rpm 61
รูปที่ 4.29 (ก-ข) ความดันและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซล 100% ที่ 2250 rpm 61
รูปที่ 4.30 (ก-ข) ความดันและอัตราการปล่อยความร้อนระหว่างน้ำมันดีเซลกับ
ไบโอดีเซล 100% ที่ 2500 rpm 62
รูปที่ 4.31 ภาพถ่ายการสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล 64
รูปที่ 4.32 ภาพถ่ายการสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ 0-5 bar 65
รูปที่ 4.33 ภาพถ่ายการสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันมะพร้าวที่ 5-10 bar 66
รูปที่ 4.34 ภาพถ่ายการสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ 0-5 bar 67
รูปที่ 4.35 ภาพถ่ายการสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มที่ 5-10 bar 68
รูปที่ 4.36 ภาพถ่ายการสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพาราที่ 0-5 bar 69

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.37 ภาพถ่ายการสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพาราที่ 5-10 bar 70

รูปที่ 4.38 ภาพถ่ายการสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากเมล็ดสบู่ดำที่ 0-5 bar 71

รูปที่ 4.39 ภาพถ่ายการสเปรย์ของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากเมล็ดสบู่ดำที่ 5-10 bar 72

รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 0 bar อุณหภูมิ 40°C 74

รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 0 bar อุณหภูมิ 50°C 74

รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 0 bar อุณหภูมิ 60°C 74

รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 0 bar อุณหภูมิ 70°C 75

รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 5 bar อุณหภูมิ 40°C 75

รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 5 bar อุณหภูมิ 50°C 75

รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 5 bar อุณหภูมิ 60°C 76

รูปที่ 4.47 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 5 bar อุณหภูมิ 70°C 76

รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 10 bar อุณหภูมิ 40°C 76

รูปที่ 4.49 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 10 bar อุณหภูมิ 50°C 77

รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 10 bar อุณหภูมิ 60°C 77

รูปที่ 4.51 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 10 bar อุณหภูมิ 70°C 77

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.52 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 0 bar อุณหภูมิ 40°C 78
รูปที่ 4.53 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 0 bar อุณหภูมิ 50°C 78
รูปที่ 4.54 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 0 bar อุณหภูมิ 60°C 78
รูปที่ 4.55 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 0 bar อุณหภูมิ 70°C 79
รูปที่ 4.56 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 5 bar อุณหภูมิ 40°C 79
รูปที่ 4.57 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 5 bar อุณหภูมิ 50°C 79
รูปที่ 4.58 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 5 bar อุณหภูมิ 60°C 80
รูปที่ 4.59 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 5 bar อุณหภูมิ 70°C 80
รูปที่ 4.60 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 10 bar อุณหภูมิ 40°C 80
รูปที่ 4.61 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 10 bar อุณหภูมิ 50°C 81
รูปที่ 4.62 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 10 bar อุณหภูมิ 60°C 81
รูปที่ 4.63 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลอุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 10 bar อุณหภูมิ 70°C 81
รูปที่ 4.64 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ละชนิด
เทียบกับน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 0 bar 82

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.65 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด เทียบกับน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิห้อง (40 °C) ที่ความดัน 5 bar	82
รูปที่ 4.66 กราฟแสดงมุมสเปรย์ของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด เทียบกับน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิห้อง(40 °C) ที่ความดัน 10 bar	83
รูปที่ 4.67 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด เทียบกับน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิห้อง(40 °C) ที่ความดัน 0 bar	84
รูปที่ 4.68 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด เทียบกับน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิห้อง(40 °C) ที่ความดัน 10 bar	84
รูปที่ 4.69 กราฟแสดงความเร็วของลำพุ่งของน้ำมันไบโอดีเซลแต่ล่ะชนิด เทียบกับน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิห้อง(40 °C) ที่ความดัน 10 bar	85
รูปที่ ก.1 การตรวจเช็คน้ำมันเครื่องก่อนการทดสอบ	91
รูปที่ ก.2 การไล่น้ำมันก่อนการทดสอบ	91
รูปที่ ก.3 การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	92
รูปที่ ก.4 การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์	92
รูปที่ ค.1 ภาพระยะทางการสเปรย์ในแต่ละวินาทีของน้ำมันดีเซลอุณหภูมิ 40°C ความดันในห้องเผาไหม้จำลอง 10 bar ความดันในการฉีด 150 bar	100
รูปที่ ค.2 ภาพมุมการสเปรย์ในแต่ละวินาทีของน้ำมันดีเซลอุณหภูมิ 40°C ความดันในห้องเผาไหม้จำลอง 10 bar ความดันในการฉีด 150 bar	101
รูปที่ ค.3 รูปการหามุมสเปรย์ได้จากสามเหลี่ยมปีทากอรัส	102
รูปที่ ค.4 ภาพแสดงการหามุมสเปรย์ทั้ง 2 ข้างของน้ำมันดีเซลอุณหภูมิ 40°C ความดันในห้องเผาไหม้จำลอง 10 bar ที่เวลา 6.7 ms	102