สมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล ผลกระทบต่อสมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

อิทธิพล วรพันธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2549

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

FUEL PROPERTIES OF BIODIESEL-ETHANOL BLENDS AND THEIR EFFECTS ON PERFORMANCE AND EMISSION OF DIESEL ENGINE

ITTIPON WORAPUN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER ENGINEERING

MEJOR IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

UBON RAJATHANEE UNIVERSITY

YEAR 2006

COPYRIGHT OF UBON RAJATHANEE UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง สมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล ผลกระทบต่อสมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

ผู้วิจัย นายอิทธิพล วรพันธ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุสุเชษฐ์ เพียรทอง)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย เบญจปิยะพร)

..... คณบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โภคา)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2549

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ความรู้ในเชิงวิชาการอันเป็นแนวทางในการทำวิจัยและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ปลูกฝังให้ผู้วิจัยมีความมานะพยายามและรักการทำวิจัย สนับสนุน ให้โอกาส ให้กำลังใจและเป็นแบบอย่างที่ดีแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมถึงการให้ความเอาใจใส่ดูแลและช่วยตรวจสอบการดำเนินงานการทำวิทยานิพนธ์อย่างสม่ำเสมอ ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย เบญจปิยะพร ที่กรุณาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้ให้คำแนะนำ รวมถึงเสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ บุคลากร และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณอาสง่า และ คุณอาอัมพร มูลสาร ที่กรุณาสนับสนุนทุนการศึกษาและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ นักศึกษาปริญญาโท-เอก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ และน้องสาว ที่เป็นกำลังใจอันสำคัญยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการสนับสนุนในทุกๆ ด้านเพื่อให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้คุณความดีและประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่เชาวลิต วรพันธ์ น้องชายผู้ล่วงลับ ซึ่งคอยเป็นกำลังใจให้พี่ชายคนนี้เสมอมา

(นายอิทธิพล วรพันธ์)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : สมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล ผลกระทบต่อสมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

โดย : อิทธิพล วรพันธ์

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง

ศัพท์สำคัญ : ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ไบโอดีเซลผสมเอทานอล เครื่องยนต์ดีเซล สมรรถนะของเครื่องยนต์ การปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล เมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร มาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ ขนาดความจุกระบอกสูบ 411 ซี.ซี. และเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ขนาดความจุกระบอกสูบ 2,369 ซี.ซี.โดยไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ในการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์สมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมดที่นำมาใช้ในการทดสอบ สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่วิเคราะห์หาได้แก่ ความหนืด, จุดวาบไฟ, จุดติดไฟ, ความถ่วงจำเพาะ, ความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง และดัชนีซีเทน ในส่วนการทดสอบกับเครื่องยนต์ทำการทดสอบที่สภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่ภาระสูงสุด (Full Load) สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ศึกษาได้แก่ แรงบิด, กำลังเบรก, อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์ สารมลพิษที่ทำการศึกษาได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x), ปริมาณควันดำ และ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย

จากผลการวิเคราะห์สมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 6.19, 8.57, 11.9 และ 12.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนจุดวาบไฟและจุดติดไฟมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเอทานอลเพิ่มมากขึ้น และที่สำคัญ ค่าความหนืดมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล 1.57, 1.36, 1.18 และ 1.08 เท่า ตามลำดับ ซึ่ง

ค่าความหนืดของน้ำมันจะมีค่าลดลงและมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลเมื่อปริมาณเอทานอลเพิ่มมากขึ้น ส่วนดัชนีซีเทนมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 2.11, 5.76, 7.69 และ 8.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากผลการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษในเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ แสดงให้เห็นว่าการผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 0,5,10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในน้ำมันไบโอดีเซล มีผลทำให้ แรงบิด กำลังเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์มีค่าลดลงตามปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้น โดยแรงบิด, กำลังเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 3.41-14.53 เปอร์เซ็นต์ (ที่แรงบิดสูงสุด 1,500 รอบต่อนาที), 2.7-12.87 เปอร์เซ็นต์ (ที่กำลังเบรกสูงสุด 2,500 รอบต่อนาที) และ 6-23.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่จากการที่ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมมีค่าลดลงตามปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น 18.8-42 87 เปอร์เซ็นต์ (ที่กำลังเบรกสูงสุด 2,500 รอบต่อนาที) ส่วนปริมาณการปล่อยสารมลพิษจากไอเสียพบว่า คาร์บอนไดออกไซด์ (CO) มีค่าลดลง 42.45-48.65 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO_2) ลดลง 3.7-7.4 เปอร์เซ็นต์ และค่าปริมาณควันดำมีค่าลดลง 38.2-64.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้น 1.37-13.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

สำหรับเครื่องยนต์ ขนาด 1 สูบ จากผลการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษ พบว่า แรงบิด กำลังเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์มีค่าลดลงตามปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้น โดยแรงบิด, กำลังเบรก และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 1.23- 6.04 เปอร์เซ็นต์ (ที่แรงบิดสูงสุด 1,800 รอบต่อนาที), 4.1-8.2 เปอร์เซ็นต์ (ที่กำลังเบรกสูงสุด 2,400 รอบต่อนาที) และ 15 เปอร์เซ็นต์ แต่จากการที่ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมมีค่าลดลงตามปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น 5.23-19.28 เปอร์เซ็นต์ (ที่กำลังเบรกสูงสุด 2,500 รอบต่อนาที) ปริมาณสารมลพิษ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO) มีค่าลดลง 41- 66.6 เปอร์เซ็นต์, คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO_2) มีค่าลดลง 3.7-11.11 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณควันดำมีค่าลดลง 55.6-72.9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้น 1.6-8.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล

จากการวิเคราะห์ทั้งทางด้านสมรรถนะ และการปล่อยสารมลพิษในเครื่องยนต์ทั้งขนาด 4 สูบและ 1 สูบ สามารถสรุปได้ว่าการนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ โดยเฉพาะการผสมเอทานอลในอัตราส่วน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรในน้ำมันไบโอดีเซล ให้ผลการทำงานที่ยอมรับได้ทั้งในด้านสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษ แต่ก็สามารถผสมเอทานอลได้ถึงอัตราส่วน 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยที่สมรรถนะของเครื่องยนต์ไม่ลดลงมากนัก แต่การปล่อยสารมลพิษจากไอเสียยังคงเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญ

ABSTRACT

TITLE : FUEL PROPERTIES OF BIODIESEL-ETHANOL BLENDS AND THEIR EFFECTS ON PERFORMANCE AND EMISSION OF DIESEL ENGINE

BY : ITTIPON WORAPUN

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : MECHANICAL ENGINEERING

CHAIR : ASST. PROF. KULACHATE PIANTHONG, Ph.D.

KEYWORDS : BIODIESEL FROM WASTE COOKING OIL / BIODIESEL-ETHANOL BLENDS / DIESEL ENGINE / ENGINE PERFORMANCE / ENGINE EMISSON

This research aims to study the effect on performances and emissions of diesel engines when the biodiesel - ethanol blends at ratio 0, 5, 10 and 15 percent of ethanol by volume were used as fuels. The result were compared with those of the engine using normal diesel as a fuel. The single cylinder (411 cc.) and 4-cylinders (2,369 cc.) diesel engines, without engine modification, were used in the performance and emission tests. In this research, properties of biodiesel – ethanol blends and normal diesel were axamined and compared. Fuel properties which are viscosity, flash point, fire point, specific gravity, heating value and cetane index are the main interest. Engine performance tests were performed at full load condition. Measured parameters were toque, brake power, brake specific fuel consumption, and brake thermal efficiency. The engine emissions,which are CO, CO_2, NO_x, blacke smoke, and exshuat gas tempareture, were also measured.

The heating value of biodiesel- ethanol blended at ratio at 0, 5, 10, and 15 percent of ethanol by volume compared with normal diesel fuel is lower by about 6.19, 8.57, 11.9 and 12.6 percent, respectively. Flash point and fire point decreased when the ethanol content had increased. Viscosity is higher than that of diesel fuel about 1.57, 1.36, 1.18 and 1.08 times, respectively. However, the viscosity will decrease and closed to diesel property when the amount of ethanol has

been increased. Cetene Index is lower than that of diesel fuel in range of 2.11, 5.76 and 8.84 percent, respectively.

From the performance and emission measurements, on a 4-cylinder engine, it was shown that the addition of 0, 5, 10 and 15 percent of ethanol by volume in biodiesel provided lower torque, brake power, and brake thermal efficiency with increment of ethanol. The torque, brake power, and brake thermal efficiency were lower than those of diesel fuel in rang 3.41-14.53 percent (at maximum torque 1,500 rpm), 2.7-12.87 percent (at maximum brake power, 2,500 rpm), and 6-23.18 percent, respectively. The increment of ethanol in the blend decreases the fuel heating value. This reflectively increases the value of brake specific fuel consumption by 18.8-42.87 percent (at maximum brake power, 2,500 rpm) compared with diesel fuel. However, the CO, CO_2 and black smoke level were reduced by 42.45-48.65 percent, 3.7-7.4 percent, and 38.2-64.7 percent, respectively. Oxides of nitrogen level are increased in range of 1.37-13.3 percent, compared with that using diesel fuel.

From the performance and emission measurement, on a single cylinder engine, it was shown that the addition of 0, 5, 10 and 15 percent of ethanol by volume in biodiesel provided lower torque, brake power, and brake thermal efficiency with increment of ethanol. The torque, brake power, and brake thermal efficiency ware lower than those of diesel fuel in rang 1.23-6.04 percent (at maximum torque 1,500 rpm), 4.1-8.2 percent (at maximum brake power, 2,500 rpm), and 15 percent, respectively. The increment of ethanol in the blend decreases the fuel heating value. This reflectively increases the value of brake specific fuel consumption by 5.23-19.28 percent (at maximum brake power, 2,500 rpm) compared with diesel fuel. However, the CO, CO_2 and black smoke level were reduced by 41-66.6 percent, 3.7-11.11 percent, and 55.6-72.9 percent, respectively. Oxides of nitrogen level are increased in range 1.6-8.9 percent, compared with that using diesel fuel.

In summary, from the 4-cylinder and single cylinder engine performance and emission tests, adding ethanol in biodiesel made from wasted cooking oil is applicable in diesel engines. Adding ethanol by 5 percent by volume in biodiesel is considered as the most acceptable to performances and emissions, However, adding up to ethanol 15 percent by volume is still acceptable in term of engine performance, while the emission is significantly advantageous.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้ปริมาณการใช้พลังงานของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตามอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี โดยเฉพาะพลังงานเชื้อเพลิงเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่ประเทศไทยมีปริมาณการใช้ที่สูงขึ้นเรื่อยๆตามสภาพเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมที่เจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง จากสถานการณ์ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณมาก โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลใช้มากถึง 43 ล้านลิตรต่อวันคิดเป็น 46.6 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณที่ใช้ภายในประเทศมีสัดส่วนการใช้สูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ [1] จากราคาน้ำมันที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อันมีสาเหตุมาจากปัญหาการก่อการร้าย ความไม่สงบภายในประเทศผู้ผลิตน้ำมัน รวมทั้งการเก็งกำไรราคาน้ำมันจากบางกลุ่มบุคคล ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยเป็นอย่างมากเนื่องมาจากต้องนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศเป็นหลักคิดเป็น 85 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณการจัดหาพลังงานทั้งหมด [2] ซึ่งทำให้ประเทศไทยขาดเสถียรภาพทางด้านพลังงาน รัฐบาลไม่สามารถต่อรองราคาหรือใช้มาตรการใดๆเพื่อบรรเทาปัญหาราคาน้ำมันได้อย่างยั่งยืนทำให้รัฐบาลหันมาส่งเสริมเกี่ยวกับการพัฒนาพลังงานทดแทนที่ใช้วัตถุดิบภายในประเทศเพื่อความมั่นคงในด้านพลังงานของประเทศ สืบเนื่องมาจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรมากมายที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบได้ ดังนั้นจึงมีการนำเอาพืชผลทางการเกษตรมาใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในหลายรูปแบบเช่น การนำเอาน้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันพืชชนิดอื่นๆมาผลิตเป็นไบโอดีเซล (Biodiesel) รวมทั้งการนำเอามันสำปะหลัง และอ้อยมาผลิตเป็นเอทานอล (Ethanol) โดยที่ทั้งน้ำมันไบโอดีเซลและเอทานอลนั้น สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้หลายรูปแบบ เช่น การนำน้ำมันไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนต่างๆกัน (Blends) การนำเอทานอลไปผสมกับน้ำมันเบนซิน ที่เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) หรือการนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล ที่เรียกว่า ดีโซฮอล์ (Diesohol) ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ได้นั้น แต่ทั้งนี้เรายังต้องอาศัยน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซินมาเป็นส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงดังกล่าวมาข้างต้นซึ่งยังคงต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศอยู่เหมือนเดิมแต่ปริมาณการนำเข้าจะลดลงกว่าเดิมเท่านั้นเองโดยขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงทดแทนดังกล่าวว่ามากน้อยแค่ไหน

ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเชื้อเพลิงชนิดใหม่ที่ใช้วัตถุดิบที่ผลิตได้ภายในประเทศทั้งหมด และเป็นเชื้อเพลิงสะอาดที่ช่วยลดมลพิษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำในขณะนี้ เพราะว่าในปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ได้มีความพยายามที่จะลดการปลดปล่อยสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยมลพิษที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเป็นเชื้อเพลิงในปัจจุบัน จะปลดปล่อยสารพวก ไฮโดรคาร์บอน (HC), คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO), ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และเขม่า สารมลพิษเหล่านี้ก่อให้เกิดมลภาวะซึ่งมีผลต่อมนุษย์ในด้านสุขภาพเนื่องจากได้รับมลพิษเหล่านี้โดยตรง [3]

จากผลงานการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลนั้น มีผลทำให้การปล่อยปริมาณก๊าซชนิดต่างๆ จำพวก คาร์บอนมอนออกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอน (HC), อนุภาคของแข็ง (Particulate Matter) และสารประกอบประเภทกำมะถันมีค่าลดลง ในขณะที่การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย [4,5] นอกจากนี้น้ำมันไบโอดีเซล ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยเป็นผลดีต่ออากาศ น้ำ และดินมากกว่าผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมโดยสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลาเพียง 3 สัปดาห์ และยังไม่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานไม่แพร่กระจายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การย่อยสลายทางชีวภาพเกิดได้ง่ายกว่าผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม [6] ในส่วนสมรรถนะของเครื่องยนต์พบว่าให้ค่าสมรรถนะใกล้เคียงกับค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่จากการใช้น้ำมันดีเซล ไม่ว่าจะเป็นค่า กำลังเบรก หรือว่า แรงบิดของเครื่องยนต์ แต่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะมีค่ามากกว่าเนื่องมาจากค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนั้นเอง [7]

สำหรับเอทานอลนั้นมีสมบัติใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ดีในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ เนื่องจากสามารถจุดติดไฟได้และให้ค่าความร้อนเมื่อถูกเผาไหม้ นอกจากนี้เอทานอลยังมีส่วนผสมของออกซิเจนจึงมีคุณสมบัติที่ใช้เป็นสารเติมออกซิเจนในน้ำมันเชื้อเพลิง การนำเอทานอลมาใช้งานส่วนมากจะนำไปใช้ผสมกับน้ำมัน (Fuel Alcohol) ซึ่งจะทำให้ส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้เมื่อออกสู่บรรยากาศจะมีปริมาณออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น ส่วนของสารมลพิษจำพวก ไฮโดรคาร์บอน (HC), คาร์บอนมอนออกไซด์ (CO), ปริมาณฝุ่นและควันดำจะมีค่าลดลง [8] และยังพบว่าเมื่อนำเอทานอลไปผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซลจะทำให้ค่าความหนืดลดลงตามสัดส่วนของเอทานอลที่นำมาผสมซึ่งทำให้ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงผสมใกล้เคียงกับค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลมาตรฐานยิ่งขึ้น [9,10] จึงเกิดแนวคิดในการนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วมาผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ สำหรับเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล โดยมุ่งเน้นให้เป็นเชื้อเพลิงที่ช่วยลดมลพิษของอากาศและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะเชื้อเพลิงทั้ง

สองชนิดต่างก็มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุล (Oxygenated Fuel) ซึ่งจะเป็นตัวช่วยให้การเผาไหม้ในเครื่องยนต์สมบูรณ์มากขึ้น

จากงานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวกับการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลกับเครื่องยนต์ดีเซลพบว่ายังไม่มีงานวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้เลย จะมีก็เพียงการหาข้อมูลในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อที่จะหาคุณสมบัติของน้ำมันเท่านั้นเพราะงานวิจัยส่วนมากจะมุ่งเน้นไปที่การวิจัยน้ำมันไบโอดีเซล, แก๊สโซฮอล์ และ ดีโซฮอล์ เสียเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการที่จะนำน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลมาใช้งานจริงจำเป็นต้องทราบถึงผลกระทบของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีผลต่อเครื่องยนต์ในด้านต่างๆเช่น สมรรถนะของเครื่องยนต์และมลพิษที่ปล่อยออกมา ซึ่งตรงนี้ยังขาดข้อมูลสนับสนุนที่เพียงพอ จึงเป็นการสมควรที่จะศึกษาเพื่อให้ทราบข้อมูลและเป็นแนวทางในการนำเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลมาใช้เป็นเชื่อเพลิงทดแทนและใช้งานจริงได้อย่างถูกต้องต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ เปรียบเทียบกับสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลมาตรฐานตามข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลประกาศกระทรวงพาณิชย์

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงผลกระทบและข้อแตกต่างของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนผสมต่างๆต่อสมรรถนะและปริมาณสารมลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์

1.2.3 เพื่อหาอัตราส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลกับเอทานอลที่ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและให้ปริมาณมลพิษในไอเสียน้อย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ 4 สูบ 2,369 cc. ยี่ห้อ ISUZU รุ่น EFL 250 TRUCK และเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 1 สูบ 411 cc. ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น D-800 ในการทดสอบโดยไม่มีการดัดแปลงหรือปรับแต่งเครื่องยนต์แต่ประการใด

1.3.2 ใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงหลักในการทดสอบกับเครื่องยนต์และใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐานที่มีขายตามปั๊มพาณิชย์ทั่วไป เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเปรียบเทียบค่าต่างๆกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ

1.3.3 ใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วน 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

1.3.4 ทดสอบสมบัติทางกายภาพการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ประกอบด้วย การทดสอบค่า ความหนืด, จุดไหลเท, จุดติดไฟ, จุดวาบไฟ, ค่าดัชนีซีเทน, ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเปรียบเทียบกับค่าสมบัติของน้ำมันดีเซลมาตรฐาน

1.3.5 สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่จะทำการทดสอบหาได้แก่ แรงบิด, กำลังเบรกของเครื่องยนต์, อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเครื่องยนต์

1.3.6 สารมลพิษที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซลที่จะทำการวัดค่าได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์, ออกไซด์ของไนโตรเจน, ปริมาณควันดำ และอุณหภูมิก๊าซไอเสีย

1.3.7 ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ 4 สูบ ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,000, 1,500, 2,000, 2,500, 3,000, 3,500 และ 4,000 รอบต่อนาที และเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 1 สูบ ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,200, 1,400, 1,600, 1,800, 2,000, 2,200, 2,400 และ 2,500 รอบต่อนาที

1.3.8 วัดปริมาณสารมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ 4 สูบ ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,000 รอบต่อนาที (แรงบิดสูงสุด) และวัดปริมาณสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 1 สูบ ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,400 รอบต่อนาที (กำลังสูงสุด)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นข้อมูลและแนวทางสำหรับใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับประเทศไทยได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

1.4.2 ทราบถึงผลกระทบจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ในด้านสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษ

1.4.3 เป็นการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อช่วยลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ

1.4.4 ได้เชื้อเพลิงที่สะอาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เชื้อเพลิงไบโอดีเซล

2.1.1 ความหมายและประเภทของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล หมายถึง น้ำมันที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ ซึ่งได้จากการนำน้ำมันจากพืชหรือไขมันสัตว์หรือแม้แต่น้ำมันที่ใช้แล้ว เช่นน้ำมันที่ทอดไก่ ปาท่องโก๋ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งสามารถแบ่งไบโอดีเซลตามประเภทของน้ำมันไบโอดีเซลที่นำมาใช้ได้ออกเป็น 3 ประเภท ดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.1.1.1-2.1.1.3 ในวิทยานิพนธ์นี้ คำว่า ไบโอดีเซล จะมีความหมายตามหัวข้อที่ 2.1.1.3 ซึ่งเป็นไบโอดีเซลแบบเมทิลเอสเทอร์ (Fatty Acid Methyl Ester, FAME) และต่อไปนี้คำว่า ไบโอดีเซล คือไบโอดีเซลแบบเมทิลเอสเทอร์ (FAME)

2.1.1.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์

ไบโอดีเซลประเภทนี้ก็คือน้ำมันพืชแท้ๆนั้นเองเช่นน้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์มน้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู ซึ่งเราสามารถเอามาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ต้องมีการผสม (Blend) หรือเติมสารเคมีอื่นใดอีกเลย หรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงให้เปลืองเวลา เปลืองทรัพยากรอีก มีข้อดีคือราคาถูก เหมาะกับเครื่องยนต์รอบต่ำ แต่มีปัญหาเรื่องการสันดาปของเครื่องยนต์ไม่สมบูรณ์ เครื่องยนต์เดินสะดุด มีผลต่อลูกสูบและวาล์ว และมีความหนืดสูงในอุณหภูมิต่ำทำให้รถสตาร์ทติดยากในอากาศเย็น

2.1.1.2 ไบโอดีเซลลูกผสม

ไบโอดีเซลชนิดนี้เป็นลูกผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ กับน้ำมันก๊าดและน้ำมันดีเซล หรืออะไรก็ได้เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่ได้มีสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด อย่างเช่น น้ำมันโคโคดีเซล (Coco Diesel) สูตรอำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล (Palm Diesel) เป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล ข้อดีคือลดลงปัญหาเรื่องความหนืดของน้ำมันลงได้บ้าง เหมาะกับเครื่องยนต์รอบต่ำหรือเครื่องจักรกลทางการเกษตร แต่ยังมีปัญหาตอนที่อากาศเย็น และเรื่องการอุดตันของไส้กรองเครื่องยนต์

2.1.1.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

เป็นความหมายของไบโอดีเซลที่แท้จริงที่ต่างประเทศใช้กันโดยทั่วไป อย่างเช่น ในประเทศเยอรมัน สหรัฐอเมริกา หรือมาเลเซีย ดังนั้นถ้าพูดถึงคำว่า น้ำมันไบโอดีเซล ในความหมายของสากลจะหมายถึง น้ำมันไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ ซึ่งในทางวิทยาศาสตร์จะเรียกน้ำมันไบโอดีเซลชนิดนี้ว่า Fatty Acid Methly Ester (FAME) สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลประเภทนี้จะต้องผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) นั่นก็คือการนำเอาน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ ที่มีกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็น เอสเตอร์ โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา มีข้อดีการสันดาปในเครื่องยนต์มีความสมบูรณ์ ส่งผลให้คาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าลดน้อยลง ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ข้อเสียคือค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ค่อนข้างแพง ถ้าเป็นงานวิจัยในประเทศยุโรป หรือสหรัฐอเมริกานั้น คำว่าไบโอดีเซล จะเป็นน้ำมันที่สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมี ระหว่าง น้ำมันพืช กับเมทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเกิดเป็นเมทิลเอสเตอร์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะต้องมีกระบวนการและขั้นตอนที่เฉพาะ ทำให้ราคาต้นทุนของน้ำมันประเภทนี้จะสูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กันในปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ดีนักวิจัยในยุโรป และอเมริกา ก็ไม่ได้ย่อท้อได้พยายามทำวิจัยในแง่มุมต่างๆ เพื่อที่จะลดต้นทุนการผลิตให้ถูกลงเพราะเล็งเห็นถึงคุณค่าของน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลนี้ในการลดมลพิษที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

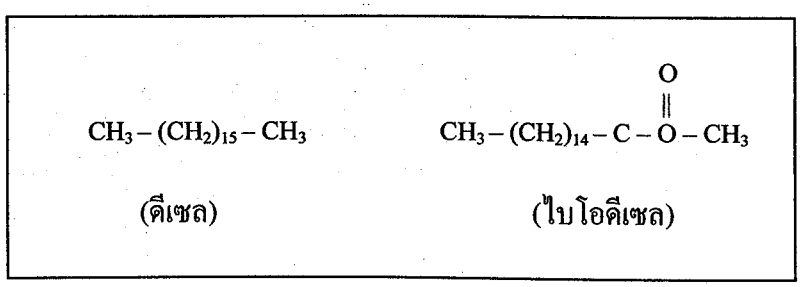
2.1.2 สมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล

สมบัติทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชบางชนิดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ข้อมูลจากตารางแสดงให้เห็นว่าสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าใกล้เคียงกับสมบัติของน้ำมันดีเซลมาก โดยที่น้ำมันไบโอดีเซลหรือเอสเทอร์จากกรดไขมันจากปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จะมีน้ำหนักโมเลกุลลดลงเท่ากับ 1 ใน 3 ของน้ำหนักโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ และพบว่าค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลลดลงเป็น 1 ใน 8 เมื่อเทียบกับไตรกลีเซอไรด์ และมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก ภายในองค์ประกอบในโมเลกุลของน้ำมันไบโอดีเซลประกอบด้วยออกซิเจนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจะเป็นส่วนช่วยสนับสนุนให้เกิดการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้สมบูรณ์มากกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และเมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล ซึ่งพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลจะประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นส่วนประกอบหลัก ในขณะที่น้ำมันดีเซลจะเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วย คาร์บอน และ ไฮโดรเจน เป็นส่วนประกอบหลักเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมี

ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และอื่นๆปนเปื้อนอยู่น้อยมาก ดังภาพที่ 2.1 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซลโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 50 ซึ่งมากกว่าค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันดีเซลเล็กน้อย แต่ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้และการขนส่ง

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชเทียบกับน้ำมันดีเซล [11]

Properties	**Vegetable oil Methyl ester of**						
	Peanut	**Soya bean**	**Babassu**	**Palm**	**Sunflower**	**Tallow**	**Diesel No.2**
Kinematic viscosity at 37.8 °C mm^2/s	4.9	4.5	3.6	5.7	4.6	-	3
Cetane number	54	45	63	62	49	-	49
Lower heating value MJ/kg	33.6	33.5	31.8	33.5	33.5	-	38.6
Cloud point °C	5	1	4	13	1	12	-12
Pour point °C	-	-7	-	-	-	9	-23
Flash point °C	176	178	127	164	183	96	74
Density g/ml	0.883	0.885	0.879	0.880	0.860	-	0.850
Carbon residue wt%	-	1.74	-	-	-	1.83	0.16
Copper strip corrosion	-	1A	-	-	-	1A	1A



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างไฮโดรคาร์บอน C17 อะตอมในน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

2.1.3 รายละเอียดและข้อกำหนดทางคุณภาพของไบโอดีเซล

รายละเอียดและข้อกำหนดทางคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลนั้น ได้ถูกกำหนดโดยสถาบันทางมาตรฐานวิทยาชั้นนำของโลกหลายสถาบัน ยกตัวอย่างเช่น มาตรฐานทางคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ตามมาตรฐานของไบโอดีเซล DIN V51606 ของประเทศเยอรมัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และข้อกำหนดมาตรฐานของไบโอดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM PS 121 เปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ตามมาตรฐานของดีเซล ASTM D975 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ซึ่งได้กำหนดรายละเอียดช่วงกำหนดหรือขอบเขตทางคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ที่ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส หรือที่ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (Kinematic Viscosity) ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จุดวาบไฟ ค่า CFPP (Cold Filter Plugging Point) เป็นต้น รวมถึงสมบัติอื่นๆ เช่น ส่วนประกอบทางเคมีอินทรีย์ของน้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับมาตรฐานของไบโอดีเซล DIN V51606 ของประเทศเยอรมัน นั้นมักจะใช้อ้างอิงถึงน้ำมันไบโอดีเซลประเภท เมทิลเอสเทอร์ ของน้ำมัน Rape Seed ในประเทศเยอรมัน ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์หลายประเภท และยังถูกนำมาใช้เทียบเคียงสำหรับเป็นมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซลในกลุ่มสหภาพยุโรป โดยเฉพาะในประเทศออสเตรียและอิตาลี ส่วนมาตรฐาน ASTM D975 นั้นถูกกำหนดขึ้นใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง นอกจากนี้มาตรฐาน ASTM D975 ยังใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการศึกษาและผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มในกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อีกด้วย

สำหรับในประเทศไทยรัฐบาลได้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีปริมาณเพียงพอที่จะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล รวมทั้งการกำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบสมบัติต่างๆของไบโอดีเซลเพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของไบโอดีเซลเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันล้วนหรือที่เราเรียกว่า ไบโอดีเซล ชนิด B100 โดยกรมธุรกิจพลังงาน ซึ่งประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2548 ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดข้อกำหนดทางคุณภาพของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน DIN V51606 [11]

Properties	Limits	
	Minimum	**Maximum**
1. Density at 15 °C, g/ml	0.875	0.90
2. Kinematic viscosity at 40 °C mm^2/s	3.500	5.00
3. Flash point (Pensky-Martens) , °C	100.0	
4. Cold filter plugging point, °C		
15 April - 30 September		0.00
1 October – 15 November		-10.00
16 November – 28 February		-20.00
1 March – 14 April		-10.00
5. Sulphur content, wt%		0.01
6. Carbon residue, wt% (10% Distillation)		0.30
7. Cetane number		49.00
8. Ash, wt%		0.01
9. Water, mg/kg		300.00
10. Tatal dirt, mg/kg		20.00
11. Copper corrosion for 3 hr at 50 °C		1.00
12. Neutralization number, mg KOH/g		0.50
13. Methanol, wt%		0.30
14. Monoglyceride, wt%		0.80
15. Diglyceride, wt%		0.10
16. Triglyceride, wt%		0.10
17. Free glycerol, wt%		0.02
18. Iodine number, g Iodiene/100g		115.00
19. Phosphorous, mg/kg		10.00

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดข้อกำหนดทางคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM PS121 เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D975 [12]

Properties	**Diesel Limits**		**Biodiesel Limits**	
	Minimum	**Maximum**	**Minimum**	**Maximum**
Fuel standard	ASTM D975		ASTM PS121	
Fuel composition	C10-C21HC		C12-C22 FAME	
Lower heating value, Btu/lb	130,250		120,910	
Kinematic viscosity at 40 °C mm^2/s	1.3	4.1	1.9	6.0
Specific gravity at 60°F, kg/l	0.85		0.88	
Density at 15 °C, lb/bal	7.079		7.328	
Water, ppm by wt.		161		500
Carbon, wt%		87		77
Hydrogen, wt%		13		12
Oxygen, by different wt%		0		11
Sulfur, wt%		0.05		0.00
Boiling point, °C	188	343	182	338
Flash point, °C	60	80	100	170
Cloud point, °C	-15	5	-3	12
Pour point, °C	-35	-15	-15	16
Cetane number	40	55	48	60
Auignition temperature, °C	316			
Stoichiometric Air/Fuel ratio, wt./wt.	15		13.8	
BOCLE Scuff, grams	3,600		7,000	
HFRR, microns	685		314	

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดสมบัติของไบโอดีเซล (B100) และวิธีการทดสอบ ตามข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน [13]

รายการสมบัติ	ข้อกำหนด	วิธีทดสอบ
1. เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่ต่ำกว่า 96.5	EN 14103
2. ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C kg/m^3	ไม่ต่ำกว่า 860 ไม่เกิน 900	ASTM D1298
3. ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C เซนติสโตกส์	ไม่ต่ำกว่า 3.5 ไม่เกิน 5.0	ASTM D445
4. จุดวาบไฟ (Flash point) องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า 120	ASTM D93
5. กำมะถัน (Sulphur) wt%	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D2622
6. กากถ่าน(ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) wt	ไม่สูงกว่า 0.30	ASTM D4530
7. จำนวนซีเทน (Cetane number)	ไม่ต่ำกว่า 51	ASTM D613
8. เถ้าซัลเฟต (Sulfated ash) wt%	ไม่สูงกว่า 0.02	ASTM D874
9. น้ำ (Water) wt%	ไม่สูงกว่า 0.050	ASTM D2709
10. สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total contaminant)	ไม่สูงกว่า 0.0024	ASTM D5452
11 .การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion)	ไม่สูงกว่าหมายเลข1	ASTM D130
12. เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C ชั่วโมง	ไม่ต่ำกว่า 6	EN 14112
13. ค่าความเป็นกรด mg_{KOH}/g	ไม่สูงกว่า 0.50	ASTM D664
14. ค่าไอโอดีน (Iodine value) กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัม	ไม่สูงกว่า 120	EN 141111
15. กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ wt%	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14103
16. เมทานอล wt%	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14110
17. โมโนกลีเซอไรด์ wt%	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
18. ไดกลีเซอไรด์ wt%	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
19. ไตรกลีเซอไรด์ wt%	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
20. กลีเซอรีนอิสระ wt%	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
21. กลีเซอรีนทั้งหมด wt%	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14105
22. ฟอสฟอรัส wt%	ไม่สูงกว่า 0.20	ASTM D4951
23. สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน	
24.โลหะกลุ่มที่ 1 โซเดียมและโพแทสเซียม mg/kg โลหะกลุ่มที่ 1แคลเซียมและแมกนีเซียม mg/kg	ไม่สูงกว่า 5.0 ไม่สูงกว่า 5.0	EN 14108 และ EN 14109 prEN 14538

2.1.4 โอกาสของไบโอดีเซลในการเป็นพลังงานทางเลือก

แนวคิดเรื่องการนำน้ำมันพืชมาเป็นเชื้อเพลิงเริ่มต้นจาก Dr.Rudolph Diesel ได้ใช้น้ำมันถั่วลิสงเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในและแสดงในงานเอกซ์โปที่กรุงปารีสในปี ค.ศ. 1900 แต่ไม่เป็นที่สนใจมากเนื่องจากราคาน้ำมันดีเซลในขณะนั้นยังมีราคาถูก การนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงมักใช้ในสถานการณ์คับขันเท่านั้น เช่น ในปี ค.ศ. 1980 ประเทศแถบอเมริกาใต้ถูกกดดันทางการเมืองและถูกปิดล้อมการขนส่งน้ำมัน ก็ได้ใช้น้ำมันเมล็ดทานตะวันผสมน้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง จนกระทั่งเหตุการณ์ขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงทศวรรษที่ 70 และสงครามอ่าวเปอร์เซียในปี ค.ศ. 1991 อีกทั้งปัญหาต่างๆ เช่นราคาน้ำมันที่สูงขึ้น การประกาศเตือนปริมาณน้ำมันที่จะหมดในอนาคตอันใกล้ ปริมาณผลผลิตเกษตรที่เกินความต้องการและกระแสตื่นตัวในปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นตัวเร่งอย่างดีให้แต่ละประเทศค้นหาพลังงานจากแหล่งอื่นๆ เพื่อมาทดแทน ความตื่นตัวในการหาพลังงานน้ำมันดีเซลได้ขยายกว้างขวางขึ้น โดยมีสาเหตุมาจากปัญหาที่สำคัญ 2 ประการคือ

2.1.4.1 ปัญหาราคาน้ำมันเชื้อเพลิง

วิกฤติการณ์ขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วงทศวรรษที่ 70 และสงครามอ่าวเปอร์เซียในปี ค.ศ. 1991 อีกทั้งประกาศเตือนจาก International Energy Agency ที่ออกมาระบุว่าน้ำมันปิโตรเลียมจะค่อยๆหมดไปจากส่วนต่างๆบนโลกในอนาคตอันใกล้ สวนทางกับอุปสงค์จากประเทศกำลังพัฒนาโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากประเทศที่มีจำนวนมหาศาลอย่างประเทศจีน ยิ่งจะเป็นปัจจัยเร่งทำให้พลังงานสำรองของโลกลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ทั่วโลกโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและนำเข้าพลังงานเกือบทั้งหมด เช่น สหภาพยุโรป ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ต้องหันกลับมาพิจารณาหาพลังงานทางเลือกของตนเองไม่ว่าจะเป็นไบโอดีเซล ไบโอเอทานอล พลังงานแสงแดด พลังงานลม เป็นต้น

2.1.4.2 ปัญหาสิ่งแวดล้อม

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทางเศรษฐกิจ ทางการขนส่ง ได้ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่นโลกร้อน, มลภาวะทางอากาศ โดยเฉพาะความร้อนที่ได้จากการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิงของยานยนต์คิดเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ ของมลภาวะโลกทั้งหมดและมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงมากขึ้น เหล่านี้ล้วนเป็นภัยคุกคามต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของมนุษย์ทั้งสิ้น ในจำพวกพลังงานเชื้อเพลิงทดแทน ไบโอดีเซล มีความสำคัญในอนาคตอันใกล้เนื่องจากเป็นพลังงานหมุนเวียน ซึ่งมีอยู่ไม่จำกัดตราบใดที่โลกยังมีพืชและแสงแดด เป็นพลังงานสีเขียว ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม เมื่อเผาผลาญจะให้ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ น้อยกว่าน้ำมันดีเซลปกติและไม่ปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ช่วยลดผลกระทบจาก

ปรากฏการณ์เรือนกระจก นอกจากปัญหาเรื่องการขาดแคลนปิโตรเลียมและแรงกดดันจากสังคม เรื่องการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซลยังเป็นแนวทางในการพัฒนาความยั่งยืนของระบบพลังงานและการเกษตร

2.1.5 ประโยชน์ของการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล

น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากการแปรสภาพน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์จากกระบวนการ ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้เมื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์มีประโยชน์ดังนี้

2.1.5.1 เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดและปลอดภัยโดยพบว่าก๊าซไอเสียจากน้ำมันไบโอดีเซลมีอันตรายน้อยกว่าน้ำมันดีเซลโดยผ่านการทดสอบจาก US - EPA Tier I Health Effects Testing ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ได้รับการยอมรับในเรื่องการดูแลผลกระทบต่อ สุขภาพทางสิ่งแวดล้อมของมนุษย์

2.1.5.2 สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงหรือรอบต่ำได้เลยโดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ได้เหมือนกับเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไปและสามารถยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ดีเซลเพราะไบโอดีเซลมีสารหล่อลื่นที่ดีกว่าน้ำมันดีเซล

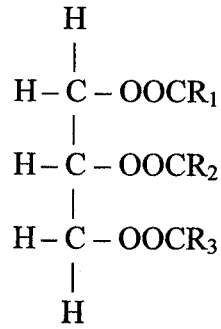
2.1.5.3 ปลอดภัยในการจัดเก็บและขนส่งเพราะน้ำมันไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟ (Flash point) สูงกว่าน้ำมันดีเซลและลุกติดไฟได้ยากกว่าในสภาพบรรยากาศ

2.1.5.4 การเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซลสมบูรณ์กว่าการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลจึงช่วยลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้และฝุ่น

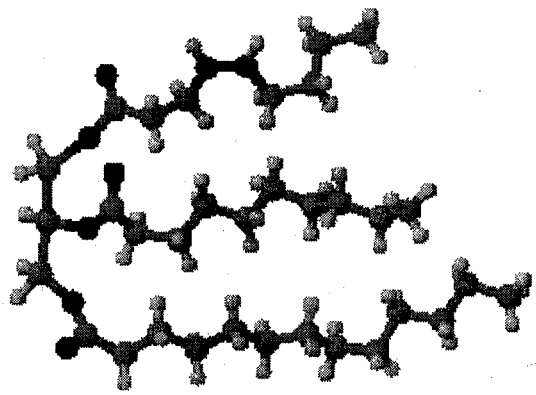
2.1.5.5 เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบภายในประเทศและเป็นพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาใช้งานโดยนำมาผสม (Blends) กับน้ำมันดีเซลหรือใช้โดยตรงโดยไม่ผสมกับกับน้ำมันดีเซลก็ได้

2.2 ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช

โดยทั่วไปแล้วน้ำมันพืชใช้แล้วจะมีลักษณะโมเลกุลเหมือนกันกับน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ทุกชนิด ซึ่งเป็นสารประกอบตระกูลไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_3H_5 ดังภาพที่ 2.2 เป็นสารอินทรีย์จำพวกหนึ่งที่เรียกว่าเอสเทอร์ (Ester) ประกอบด้วยโครงสร้างระหว่างโมเลกุลของกลีเซอรอล (Glycerol) เชื่อมต่อกับกรดไขมัน (Fatty Acid) ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว ดังภาพที่ 2.3

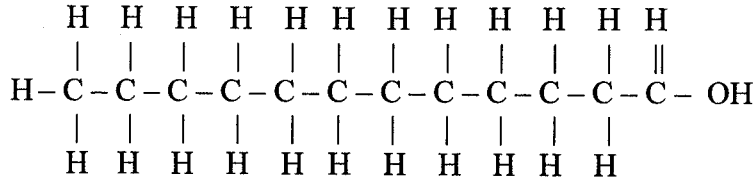


ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์

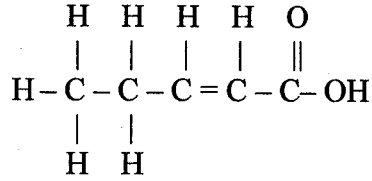


ภาพที่ 2.3 แบบจำลองโครงสร้างการจับตัวกันระหว่างกลีเซอไรด์กับกรดไขมันในโมเลกุลของน้ำมันพืช [14]

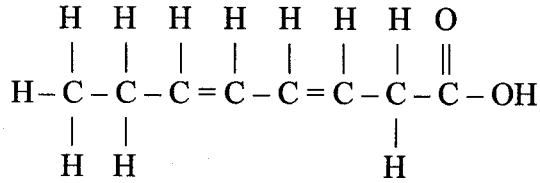
จากภาพที่ 2.2 อักษร R ในสูตรโมเลกุลของน้ำมันแทนไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาว โดยโมเลกุลของหมู่ R ประกอบด้วย คาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) ต่อกันเป็นแถวโซ่ แต่ละโซ่มีจำนวนอะตอมไม่เท่ากัน R_1 , R_2 และ R_3 เพื่อเน้นว่า R ทั้งสามแตกต่างกัน ซึ่งโซ่คาร์บอนอาจจะเรียกว่ากรดไขมันอิ่มตัวหรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวก็ได้ โมเลกุลส่วนใหญ่ของน้ำมันพืชมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) มากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) ดังนั้นจึงปรากฏเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง สำหรับโมเลกุลของไขมันสัตว์มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว จึงปรากฏเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง โดยที่กรดไขมันอิ่มตัวคือกรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมทุกตัวจับตัวกันด้วยพันธะเดียวมีสูตรทั่วๆไปเป็น $C_nH_{2n}O_n$ ดังภาพที่ 2.4 ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวคือกรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมบางตัวจับกันด้วยพันธะคู่ ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างแสดงโมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัว



ตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัว 1 พันธะคู่



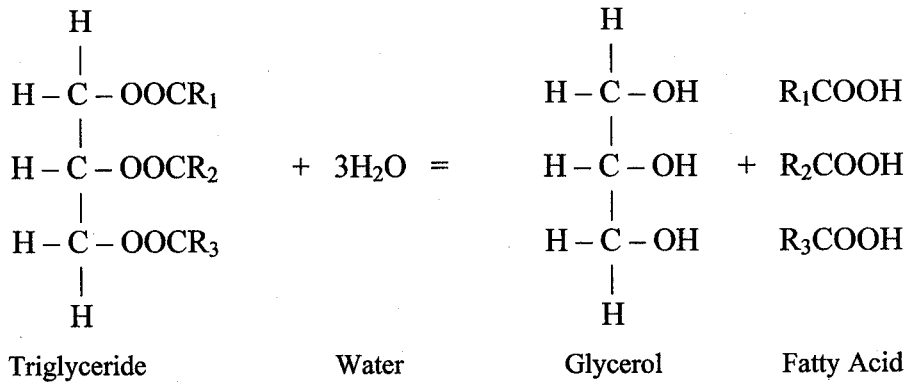
ตัวอย่างกรดไขมันไม่อิ่มตัว 2 พันธะคู่

ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างแสดงโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัว

กรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของน้ำมันพืชในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ ถ้ากรดไขมันเป็นชนิดเดียวกันหมดเรียกว่าไตรกลีเซอไรด์แบบง่าย ถ้ากรดไขมันต่างชนิดกันเรียกว่าไตรกลีเซอไรด์แบบผสม ซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ทั่วไปในน้ำมันพืช

น้ำมันพืชและไขมันสัตว์มีกรดไขมันชนิดต่าง ๆ กันเป็นองค์ประกอบ โดยที่มีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94 ถึง 96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้สมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดทั้งทางเคมีและกายภาพ แตกต่างกันไปตามสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ น้ำมันพืชส่วนใหญ่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในกรดไขมันระหว่าง 12-18 ตัว มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวแตกต่างกัน น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำ และเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลงหรือมีกรดไขมันอิ่มตัวสูงขึ้นค่าไอโอดีนจะสูงขึ้นตามลำดับ น้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัว เมื่อสัมผัสอากาศจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรซ์แล้ว น้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียวขึ้น โดยทั่วไปค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีชี้บอกถึงปริมาณกรดไขมัน

ไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันนั้น ๆ ซึ่งบอกถึงความยากง่ายของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรซ์ด้วยเมื่อน้ำมันมีค่าไอโอดีนสูง จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรซ์ได้ง่าย ฉะนั้นการเลือกใช้น้ำมันพืชที่มีค่าไอโอดีนต่ำ เป็นเชื้อเพลิงจะเป็นการป้องกันการเกิดสารเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาโพลิเมอไรซ์ในเครื่องยนต์ได้ในเบื้องต้น และถ้าในน้ำมันมีน้ำผสมอยู่จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอร์ไรด์กับน้ำ ปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) จะได้กลีเซอรีนและกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ดังปฏิกิริยาในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมากจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเป็นการยากต่อกระบวนการ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ที่ใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน มีกรดไขมันอิสระสูงอาจแก้ไขด้วยการเติมโซดาไฟ แต่การทำปฏิกิริยาจะต่ำลง และมีการสูญเสียเมทิลเอสเทอร์ในชั้นของกลีเซอรีนสูงขึ้น

2.2.1 องค์ประกอบของน้ำมันพืชใช้แล้ว

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชใช้แล้ว ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆที่เรียกว่าสารเอสเทอร์ และสารที่ไม่ใช่กรดไขมัน โดยแบ่งกรดไขมันที่สำคัญ จะเห็นได้ว่าน้ำมันพืชใช้แล้วมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในปริมาณเกือบเท่ากันและองค์ประกอบของไขมันข้างต้นอาจแปรผันได้โดยขึ้นอยู่กับ ระยะเวลาที่ใช้น้ำมันในการประกอบอาหาร เป็นต้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบเฉลี่ยของกรดไขมันของน้ำมันพืชใช้แล้ว (น้ำมันพืชหลังการใช้ประกอบอาหารของร้านขายอาหารไก่ทอด [15]

ชนิดของกรดไขมัน	ชื่อของกรดไขมัน	ปริมาณของกรดไขมันก่อนประกอบอาหาร (%)	ปริมาณของกรดไขมันหลังประกอบอาหาร (%)
C12:0	Lauric acid	0.45	0.32
C14:0	Myristic acid	0.35	0.93
C16:0	Palmitic acid	34.13	38.37
C18:0	Stearic acid	4.58	4.00
C20:0	Arachidic acid	0.34	0.34
Total Saturated	-	40.38	43.97
Unsaturated			
C16:1	Palmitoleic acid	1.51	0.25
C18:1	Oleic acid	42.89	45.59
C18:2	Linoleic acid	14.60	10.03
C18:3	Linolenic acid	0.62	0.16
Total Unsaturated	-	59.62	56.03
Peroxide Value	Meq of peroxide Oxygen/kg	2.98	28.08

2.3 วัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

การพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้ ต้องคำนึงถึงปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันในพืชชนิดนั้นและความเหมาะสมของปริมาณการเพาะปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้น ๆ ด้วยน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล น้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบสามารถสกัดจากพืชน้ำมันได้ทุกชนิด การพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้ ต้องคำนึงถึงปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันในพืชชนิดนั้น และความเหมาะสมของปริมาณการเพาะปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้นๆด้วยเช่นปาล์มน้ำมันและมะพร้าวเป็นพืชน้ำมันที่มีการปลูกมากในประเทศไทย ปาล์มน้ำมันปลูกมากในประเทศมาเลเซีย ถั่วเหลืองปลูกมากในประเทศสหรัฐอเมริกา เรพและทานตะวันปลูกมากในกลุ่มประเทศยุโรป เป็นต้น

2.3.1 ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย

ประเทศไทยทำการเพาะปลูกพืชน้ำมัน 6 ชนิด คือ ถั่วเหลือง, ปาล์มน้ำมัน, ถั่วลิสง มะพร้าว, ละหุ่ง และงา ในจำนวนพืชทั้ง 6 ชนิดนี้ ปรากฏว่าปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีรายงานปริมาณผลผลิตในแต่ละปีสูงที่สุด โดยในปี พ.ศ.2543-2544 ประเทศไทยมีการผลิตปาล์มน้ำมันประมาณ 3.3 ล้านตัน รองลงมาได้แก่ มะพร้าว ซึ่งมีปริมาณการผลิตประมาณ 1.4 ล้านตัน สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้รายงานสรุปปริมาณผลผลิตของพืชน้ำมันทั้ง 6 ชนิดนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย (หน่วย: พันตัน) [16]

ปี พ.ศ.	ปาล์มน้ำมัน	มะพร้าว	ถั่วเหลือง	ถั่วลิสง	ละหุ่ง	งา
2538/2539	2,255	1,413	386	147	6	34
2539/2540	2,688	1,419	359	147	6	34
2540/2541	2,681	1,386	338	126	6	35
2541/2542	2,465	1,372	321	135	7	36
2542/2543	3,512	1,381	319	138	7	37
2543/2544	3,256	1,400*	324*	135*	9*	39*

2.3.2 ปริมาณน้ำมันพืชที่ใช้แล้วในประเทศไทย

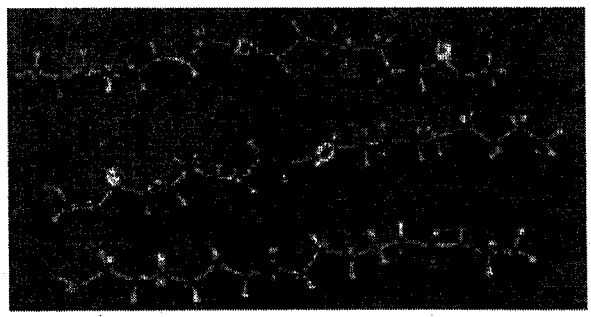
จากการสำรวจปริมาณการใช้น้ำมันพืชในอุตสาหกรรมอาหารที่คาดว่าจะมีน้ำมันเหลือจากกระบวนการผลิตพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมและสถานประกอบการประเภทฟาสต์ฟูดทั้งประเทศมีการใช้น้ำมันพืช 83,147,825 ลิตรต่อปี และมีปริมาณน้ำมันที่เหลือจากกระบวนการผลิต 16,490,676 ลิตรต่อปี สถานประกอบการส่วนใหญ่อยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งมีการใช้น้ำมันประมาณร้อยละ 55 ของการใช้ทั้งประเทศและมีปริมาณน้ำมันที่เหลือประมาณร้อยละ 67 ของปริมาณที่เหลือทั้งประเทศ รองลงมาเป็นภาคตะวันออกมีการใช้น้ำมันพืชร้อยละ 27 มีปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือร้อยละ 13 ส่วนภาคอื่นๆมีปริมาณการใช้น้ำมันพืชและปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 8 ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ปริมาณน้ำมันพืชที่ใช้และปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือจากกระบวนการผลิต [15]

จังหวัด/ภาค	น้ำมันพืชที่ใช้		น้ำมันพืชที่เหลือ	
	(ลิตร/ปี)	ร้อยละ	(ลิตร/ปี)	ร้อยละ
กรุงเทพมหานคร	16,558,267	20	5,310,276	32
ปริมณฑล	29,404,612	35	5,778,219	35
ภาคกลาง	4,923,027	6	1,349,320	8
ภาคเหนือ	4,265,067	5	510,050	3
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	1,671,611	2	576,257	3
ภาคใต้	3,737,029	5	876,120	5
ภาคตะวันออก	22,588,212	27	2,090,434	13
รวม	83,147,825	100	16,490,676	100

2.4 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลคือผลผลิตที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ให้มีลักษณะโครงสร้างของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์คล้ายกับโครงสร้างของน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม ดังภาพที่ 2.7

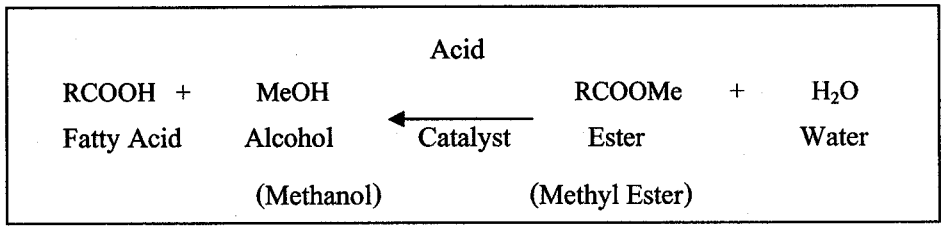


ภาพที่ 2.7 แสดงแบบจำลองโครงสร้างของน้ำมันไบโอดีเซลเทียบกับโครงสร้างของน้ำมันดีเซล [17]

ซึ่งการผลิตไบโอดีเซล ด้วย ปฏิกิริยาทางเคมีโดยหลักสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือการทำปฏิกิริยาแบบเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) และปฏิกิริยาแบบ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transterification) ปฏิกิริยาทั้งสองแบบมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 ปฏิกิริยาแบบเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification)

เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อช่วยทำปฏิกิริยาให้กลายเป็นเอสเทอร์ได้เร็วขึ้น โดยที่กระบวนการนี้เป็นการทำปฏิกิริยาของกรดไขมันหรือหมู่ R เป็นการทำปฏิกิริยาโดยตรง ผลผลิตที่ได้คือ เอสเทอร์ กับน้ำ โดยมีสมการทั่วไปดังภาพที่ 2.8

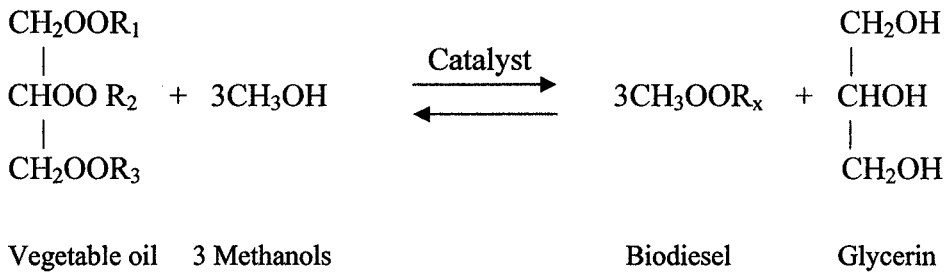


ภาพที่ 2.8 ปฏิกิริยาแบบเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification)

โดยทั่วไปนิยมใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตแบบ เอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) กรดที่ใช้ส่วนใหญ่เลือกใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากปฏิกิริยาแบบเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาไม่เกินอุณหภูมิจุดเดือดของเมทานอล และต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานเพื่อให้ได้เมทิลเอสเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐาน หรือเปอร์เซ็นต์การเกิดเมทิลเอสเทอร์ตามมาตรฐานที่กำหนด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่สามารถย้อนกลับได้ ดังนั้นจึงต้องมีการดึงน้ำออก เพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินไปทางด้านขวามือ ซึ่งจะทำให้ผลที่ได้ (Yield) ของเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้น

2.4.2 ปฏิกิริยาแบบทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

เป็นปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ (Ester) คือการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ เพื่อให้เกิดเป็นเอสเทอร์ตัวใหม่ การนำเอา น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้ด่างหรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ได้ เอสเทอร์ โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่นถ้าใช้เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยาจะเรียกว่าเมทิลเอสเทอร์แต่ถ้าใช้ เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยาก็จะเรียกว่าเอทิลเอสเทอร์ สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์นี้ จะมีสมบัติที่คล้ายกับน้ำมันดีเซลมาก ผลผลิตของปฏิกิริยาที่กล่าวมาข้างต้นคือ เอสเทอร์ กับ กลีเซอรีน โดยมีสมการทั่วไปดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ปฏิกิริยาแบบทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

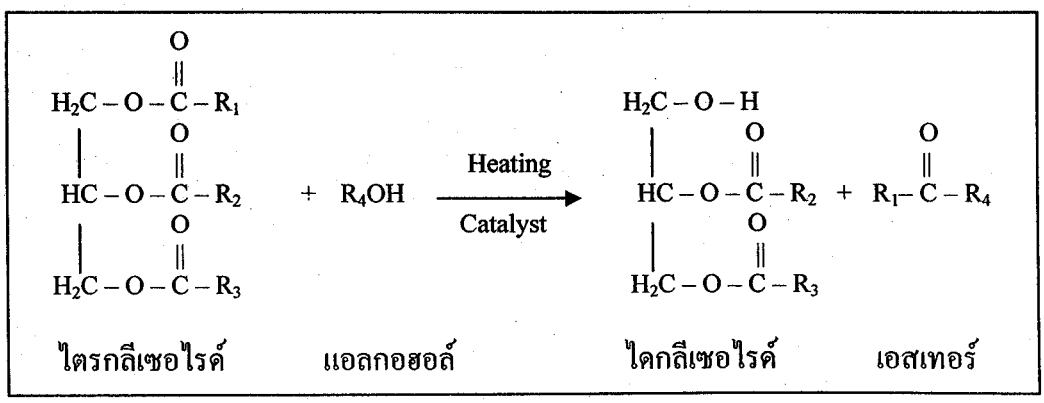
ปฏิกิริยาแบบทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) นี้นิยมใช้อย่างกว้างขวาง เพื่อการปรับปรุงคุณภาพทางเชื้อเพลิงที่พัฒนาจากไตรกลีเซอไรด์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะการลดค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงลงเนื่องจากโดยธรรมชาติแล้ว ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ของไตรกลีเซอร์ไรด์ เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นได้ค่อนข้างช้า และสามารถผันกลับได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อส่งเสริมให้มีอัตราเร็วของปฏิกิริยาไปข้าง (Forward Reaction Rate) และผลผลิต (Yield) สูงขึ้น และควรเพิ่มปริมาณของแอลกอฮอล์ตั้งต้นให้เกินพอ เพื่อทำให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปในทิศทางการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์มากที่สุด จึงจะทำให้ได้สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสูงสุดด้วย โดยปกติแอลกอฮอล์ที่ใช้ได้แก่ เมทานอลหรือเอทานอลโดยที่เมทานอลมักจะนิยมใช้มากกว่าเนื่องจากเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลเล็ก ทำให้สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไขมันหรือน้ำมันพืชได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ถ้าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะสามารถละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลในระหว่างเตรียมสารได้ง่ายด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากเบสให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์ และให้ผลดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด อย่างไรก็ดีการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องให้แอลกอฮอล์ และน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้นั้นไม่มีน้ำหรือความชื้นปนอยู่ เพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยา ซาปอนิฟิเคชัน (Saponification) ซึ่งจะทำให้เกิดสบู่และทำให้ปริมาณของเอสเตอร์น้อยลง รวมทั้งทำให้การแยกกลีเซอรีนออกจากเอสเทอร์ทำได้ยาก แต่ถ้าแอลกอฮอล์และน้ำมันหรือไขมันมีน้ำปนอยู่มากก็อาจจะใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนด่าง กรดส่วนใหญ่ที่ใช้คือกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลงผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกแยกเป็นสองชั้นดังแสดงในภาพที่ 2.10 โดยชั้นบนเป็นเอสเทอร์ ส่วนชั้นล่างเป็นกลีเซอรีน ซึ่งจะถูกแยกออกจากสารละลายชั้นบนโดยวิธีปล่อยออกมาจากภาชนะ

ภาพที่ 2.10 การแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซล (ชั้นบน) กับ กลีเซอรีน (ชั้นล่าง)

2.4.2.1 กลไกและจลนพลศาสตร์เคมีของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

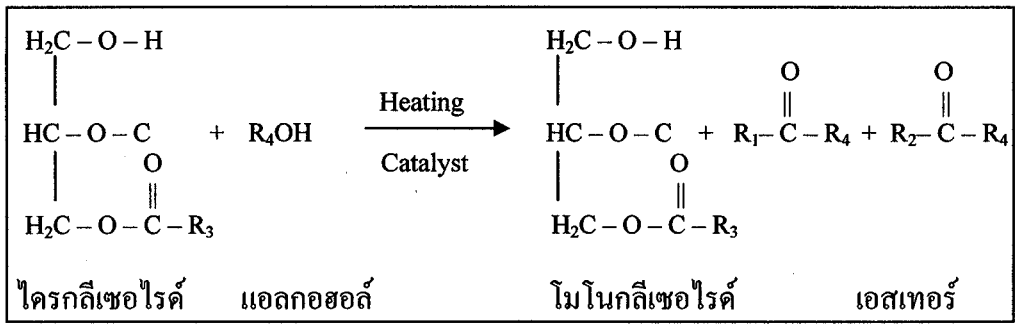
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) เป็นปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยลำดับของชุดปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้ (Consucutive and Reversible Reaction) 3 ขั้นตอน เริ่มจากไตรกลีเซอไรด์ถูกแทนที่ด้วยแอลกอฮอล์เกิดเป็นไดกลีเซอไรด์ในขั้นตอนแรก ต่อมาถูกเปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอร์ไรด์ และสุดท้ายจะได้กลีเซอรอล ซึ่งแต่ละขั้นตอนของปฏิกิริยาจะได้เอสเทอร์เป็นผลิตภัณฑ์ 1 โมล แม้ว่าปฏิกิริยาจะเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ แต่ถ้าหากสมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปข้างหน้า จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอล

1) ปฏิกิริยาขั้นที่ 1 ไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา กับความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ไดกลีเซอไรด์ และอัลคิลเอสเทอร์ 1 โมล ดังแสดงในภาพที่ 2.11



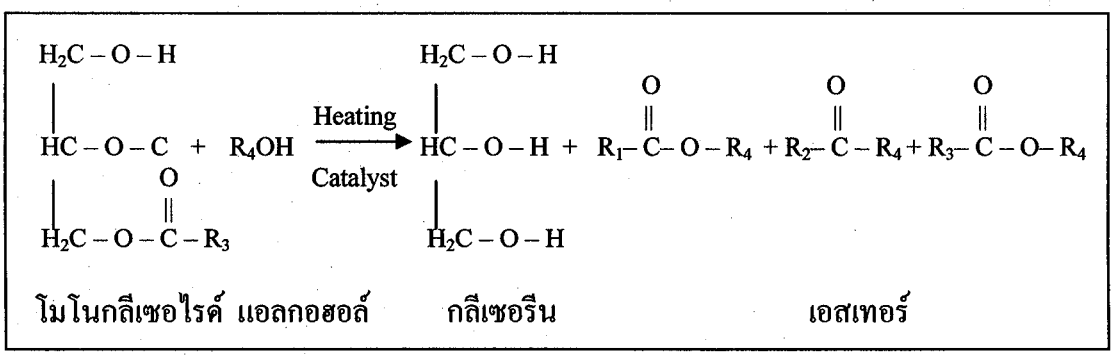
ภาพที่ 2.11 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ขั้นที่ 1 ระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

2) ปฏิกิริยาขั้นที่ 2 ไดกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยาขั้นที่ 1 ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยากับความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ โมโนกลีเซอไรด์ และเอสเทอร์ 2 โมล ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ขั้นที่ 2 ระหว่างไดรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

3) ปฏิกิริยาขั้นที่ 3 โมโนกลีเซอไรด์จากปฏิกิริยาขั้นที่ 2 ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยากับความร้อน ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ กลีเซอรีน และเอสเทอร์ 3 โมล ดังแสดงในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ขั้นที่ 3 ระหว่างโมโนกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

สำหรับกลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งเบสนั้นมี 3 ขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 2.14 ขั้นตอนก่อนเริ่มปฏิกิริยา (Pre-Step) เกิดการแตกตัวของแอลกอฮอล์หรือตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้ไอออนลบ (Anion) ของแอลกอฮอล์หรือไดออนเมทอกไซด์ จะเข้าจับกับ Carbonyl Carbon Atom ของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ เพื่อปรับโครงสร้างให้เกิดเป็น Tetrahedral Intermediate ขั้นตอนที่ 2 Tetrahedral Intermediate ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ในระบบอีกโมเลกุลโดยการดึงโปรตอน และให้ไอออนลบของแอลกอฮอล์ในขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาเนื่องจาก Tetrahedral Intermediate จากขั้นตอนที่สองไม่มีความเสถียรจึงมีการจัดโครงสร้างใหม่และให้ผลิตภัณฑ์เป็น

เอสเทอร์ของกรดไขมันและไดกลีเซอไรด์ และเมื่อปฏิกิริยามีการเติม NaOH, KOH หรือตัวเร่งปฏิกิริยาเบสอื่นๆที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันในแอลกอฮอล์ จะทำให้เกิดการสร้างอัลคอกไซด์ (Alkoxide) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แท้จริงในปฏิกิริยา ถ้าหากเกิดน้ำเพียงเล็กน้อยในปฏิกิริยาจะเป็นสาเหตุให้เกิดสบู่ในปฏิกิริยาทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดลง

Pre-Step : $OH + R'OH \Leftrightarrow R'O + H_2O$

หรือ $NaOR' \Leftrightarrow R'O + Na^+$

Step 1.

$$RCOOR_1 + OR' \Leftrightarrow H-\underset{\displaystyle OR'}{\overset{\displaystyle OR}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-O^-$$

Step 2.

$$R_1-\underset{\displaystyle OR'}{\overset{\displaystyle OR}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-O^- + HOR' \Leftrightarrow R_1-\underset{\displaystyle OR'}{\overset{\displaystyle ROH^+}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-O^- + {}^-OR'$$

Step 3.

$$R_1-\underset{\displaystyle OR'}{\overset{\displaystyle ROH^+}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-O^- \Leftrightarrow R_1COOR' + HOR$$

Where R- OH diglyceride, R_1 long chain alkyl group, and R' short alkyl group

ภาพที่ 2.14 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.4.2.2 ปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

1) น้ำหรือความชื้น

การที่มีความชื้นในไขมันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไขมันหรือน้ำมันโดยที่น้ำจะเป็นสาเหตุให้เกิดสบู่ และสบู่ที่เกิดขึ้นจะปนกับเอสเตอร์และกลีเซอรีนที่ได้ทำให้สารละลายผสมทั้งสองชนิดมีความหนืดสูงขึ้นส่งผลให้การแยกกลีเซอรีนออกจากเอสเตอร์ทำได้ยากขึ้น วิธีป้องกันคือ แอลกอออล์ ไขมัน หรือน้ำมัน ควรมีน้ำหรือความชื้นปนอยู่น้อยที่สุดหรือไม่มีเลยเพื่อทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเกิดได้สมบูรณ์

2) ตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยามีทั้งกรดและเบส แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสเนื่องจากเบสมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง และให้ผลดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในกรณีที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เป็นเบส ควรใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สอดคล้องกับแอลกอฮอล์ เช่นถ้าใช้เอทานอลตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ควรเป็นโซเดียมเอธ็อกไซด์ ($NaOC_2H_5$) หรือโซเดียมเมธ็อกไซด์ ($NaOCH_3$) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดพบว่ามีข้อเสียหลายประการ ได้แก่ ภาชนะที่ใช้ต้องมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ใช้ต้องสูง อุณหภูมิสูงและใช้เวลานานในการทำปฏิกิริยา

3) เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าสูงในระยะแรกของปฏิกิริยาและจะลดลงเมื่อเวลามากขึ้นดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมจึงจำเป็นในการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์

4) อุณหภูมิ

ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชั่นนั้น อุณหภูมิ (Temperature) มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงทำให้แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้นแต่ถ้าอุณหภูมิที่ใช้สูงเกินจุดเดือดของแอลกอฮอล์จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงเนื่องจากมีการสูญเสียแอลกอฮอล์ในระหว่างทำปฏิกิริยา

5) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

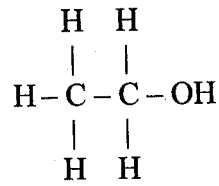
ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้กล่าวคือปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต่ำและสูงเกินไปจะทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำ ดังนั้นปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะมีค่าจะมีค่าที่ค่าหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ถ้าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยามีค่ามากจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เกินมาไปทำปฏิกิริยากับน้ำมันทำให้เกิดปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชันหรือการเกิดสบู่นั้นเอง

6) สัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

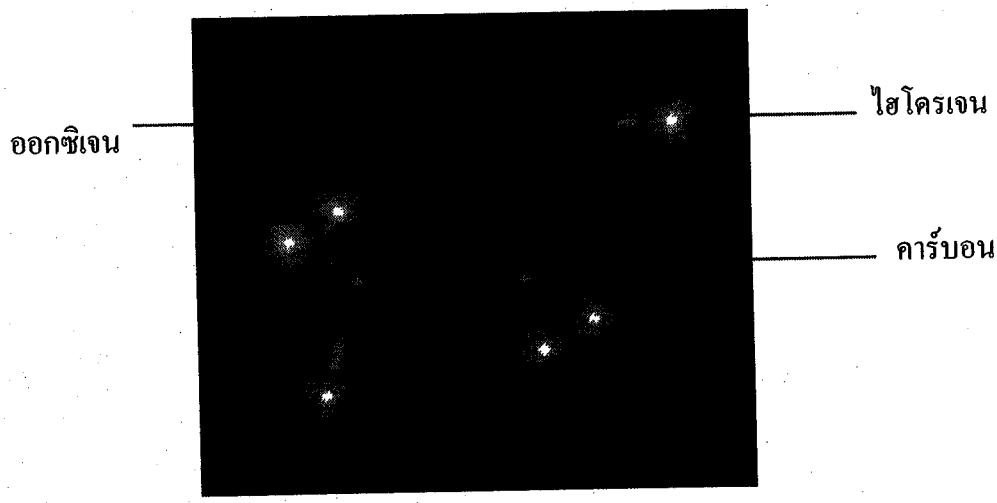
สัดส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันมีผลต่อปริมาณของเอสเตอร์ที่เกิดขึ้นโดยตามทฤษฎีสัดส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเท่ากับ 3:1 ในทางปฏิบัติจะต้องใช้ปริมาณของแอลกอฮอล์มากกว่าในทางทฤษฎีเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

2.5 เชื้อเพลิงเอทานอล

เอทานอล (Ethanol) หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) เป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุล C_2H_5OH ดังภาพที่ 2.15 และมีแบบจำลองโครงสร้างดังภาพที่ 2.16 เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งสามารถผลิตได้จากผลผลิตทางการเกษตรและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทุกส่วนของพืชสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตได้ ซึ่งนำไปหมักและกลั่นตามลำดับ จนได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ต่างๆ ขึ้นอยู่กับการกลั่น โดยเอทานอลที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงจะต้องมีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ (สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล) ซึ่งค่าสมบัติต่างๆของเอทานอลแสดงไว้ในตารางที่ 2.8



ภาพที่ 2.15 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเอทานอล



ภาพที่ 2.16 แบบจำลองโครงสร้างของเอทานอล [18]

จากแบบจำลองโครงสร้างเอทานอลจะเห็นว่าเอทานอลมีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายกับ Parafins จะต่างกันก็ตรงที่มีโมเลกุลของไฮดรอกซิล (Hydroxyl, OH) เข้ามาแทนที่อะตอมของไฮโดรเจนนั้นเอง ซึ่งไฮดรอกซิลนี้เองมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบจึงทำให้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ (Oxgenated Fuel) ด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมาข้างต้น เอทานอลจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

ตารางที่ 2.8 แสดงค่าสมบัติของเอทานอล [19]

Property	Ethanol
Molecular Weight %	46
Carbon	52.2
Hydrogen	13.1
Oxygen Content	34.7
Stoichiometric Air-Fuel Ratio	9.0
Specific Gravity	0.7894
Boiling Point (F)	172
RON	111
MON	92
Cetane Number	Below 15

2.5.1 กระบวนการผลิตเอทานอล

กระบวนการผลิตเอทานอล สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ กระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical Synthesis) และกระบวนการหมัก (Fermentation)

2.5.1.1 เอทานอลที่ผลิตได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical Synthesis) เป็นการผลิตจากอนุพันธ์ของสารปิโตรเลียม เช่น เอทิลีน ด้วยปฏิกิริยาการระเหยน้ำ (Dehydration) เป็นต้น เอทานอลที่ได้เรียกว่า เอทานอลสังเคราะห์ (Synthetic Ethanol)

2.5.1.2 กระบวนการหมัก (Fermentation) เป็นการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลด้วยเชื้อยีสต์ จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกยีสต์จะใช้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) เป็นอาหารและเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลโดยกระบวนการ Glycolysis ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ดังสมการที่ 2.1

$$\underset{100}{C_6H_{12}O_6} + \text{ยีสต์} \longrightarrow \underset{48.89}{2\,CO_2} + \underset{51.11}{2\,C_6H_5O_{12}} + 28.7\ \text{kcal} \qquad (2.1)$$

ตามทฤษฎีน้ำตาลกลูโคส 100 เปอร์เซ็นต์ จะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และเอทานอล 48.89 และ 51.11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัตินั้นจะเกิดการสูญเสียได้เป็นสารประกอบอื่นๆ หรือใช้ ในการสร้างเซลล์ของยีสต์ ทำให้ได้เอทานอลประมาณ 48

เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้เอทานอลแล้ว ขั้นตอนที่ 2 จึงเป็นการทำให้เอทานอลมีความเข้มข้นและบริสุทธิ์สูงขึ้นโดยการกลั่น

2.5.2 วัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล

ในปัจจุบันนี้กระบวนการการผลิตเอทานอลในระดับอุตสาหกรรมทั่วโลกนั้นมีอยู่ประมาณ 93 เปอร์เซ็นต์ จะใช้กระบวนการหมัก ซึ่งวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเอทานอลจะเป็นสารประกอบจำพวก คาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล โดยสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังภาพที่ 2.17 ได้แก่

2.5.2.1 วัตถุดิบประเภทน้ำตาล

ได้แก่ น้ำอ้อย กากน้ำตาล และบีทน้ำตาล ยีสต์สามารถใช้วัตถุดิบประเภทนี้ได้โดยตรง และไม่ต้องผ่านกระบวนการใด ๆ

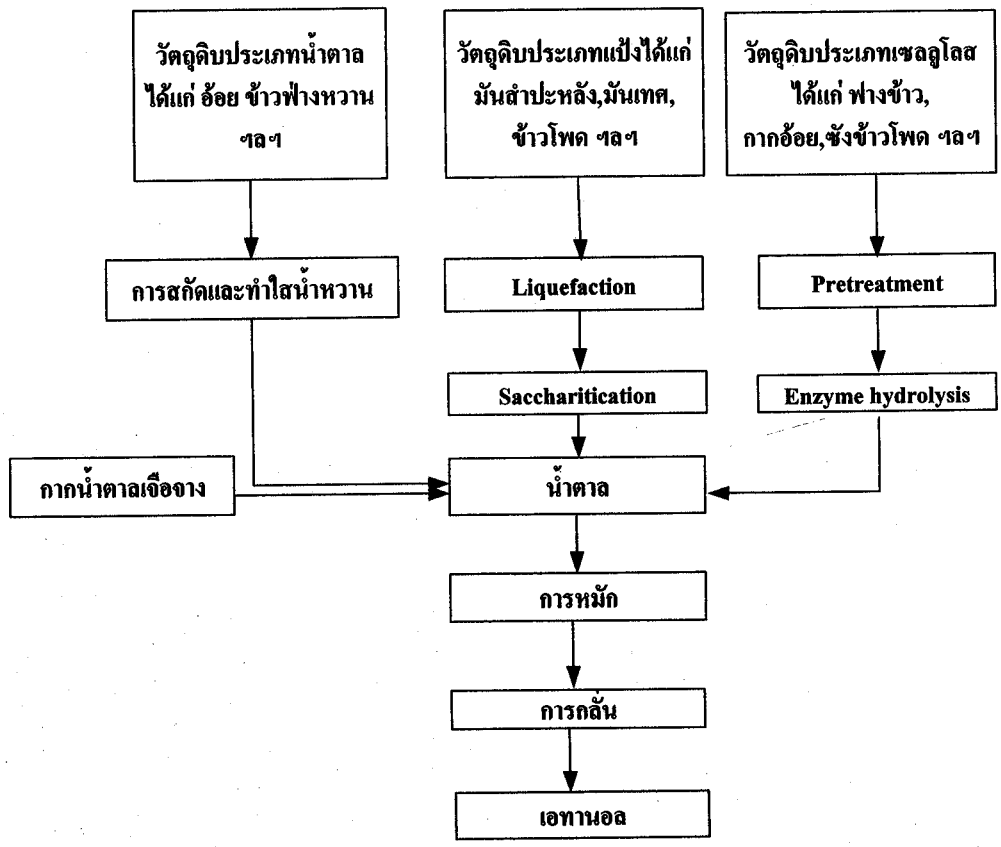
2.5.2.2 วัตถุดิบประเภทแป้ง

ได้แก่ ธัญพืช ข้าวโพด มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง เป็นต้น ในการผลิตเอทานอลนั้น แป้งในวัตถุดิบจะต้องถูกย่อย (Starch Hydrolysis)ให้ได้น้ำตาลกลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อน ยีสต์จึงจะสามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลได้ ซึ่งการย่อยแป้งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การย่อยครั้งแรกหรือการทำให้เหลว (Liquefaction) ขั้นตอนนี้จะใช้กรดหรือเอ็นไซม์ในกลุ่มของแอลฟาอะมิเลส (α-amylase) ที่มีกิจกรรมการย่อยแป้งที่อุณหภูมิสูงประมาณ 80-95°C ให้ได้โมเลกุลขนาดเล็กลง และมีความหนืดลดลง ดังนั้นของเหลวที่ได้จะมีค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (Dextroseequivalent, DE) อยู่ในช่วง 10-15 เรียกว่า เด็กซ์ทริน การย่อยครั้งสุดท้าย หรือการทำให้หวาน (Saccharification) ขั้นตอนนี้จะใช้เอ็นไซม์กลูโคอะมิเลส (Glucoamylase) ย่อยเด็กซ์ทรินให้ได้น้ำตาลที่มีขนาดโมเลกุลเดี่ยวหรือเล็กที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ได้ซึ่งโดยทั่วไปเอนไซม์ในกลุ่มนี้จะมีกิจกรรมที่อุณหภูมิสูงปานกลาง คือประมาณ 55-65°C

2.5.2.3 วัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส

ส่วนมากวัตถุดิบกลุ่มนี้จะเป็นผลิตผลพลอยได้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว กากอ้อย ซังข้าวโพด และของเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษเป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบประเภทนี้ ประกอบด้วยส่วนประกอบที่อยู่สำคัญ 4 ชนิดคือ เซลลูโลส (Cellulose), เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose), ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งขั้นตอนในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบในกลุ่มนี้ จะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลักๆดังนี้ การเตรียมวัตถุดิบ (Pretreatment) เป็นการทำลายโครงสร้างที่แข็งแรงของ เซลลูโลส เพื่อช่วยทำให้เอ็นไซม์เซลลูเลส (Cellulase) สามารถเข้าถึงและย่อยเซลลูโลสได้ง่ายขึ้น สามารถทำได้ทั้งวิธีทางเคมีได้แก่ การย่อยด้วยกรดเจือจาง ย่อยด้วยกรดเข้มข้น และย่อยด้วยด่าง เป็นต้น และวิธีทางกายภาพได้แก่ การระเบิด

ไอน้ำ เป็นต้น หรืออาจใช้ทั้ง 2 วิธี ร่วมกันได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ การย่อย (Hydrolysis) มี 2 วิธี คือการย่อยด้วยกรดหรือการย่อยด้วยเอนไซม์ การย่อยด้วยกรดจะมี 2 ขั้น ขั้นแรกจะเป็นการย่อยเฮมิเซลลูโลสให้ได้น้ำตาลเพนโตส จากนั้นในขั้นที่สองจะเป็นการย่อยเซลลูโลส ให้ได้น้ำตาลกลูโคส ในส่วนของการย่อยด้วยเอนไซม์นั้น จะใช้เอนไซม์เซลลูเลส เพื่อเปลี่ยนเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส การหมักน้ำตาลที่ได้ให้เป็นเอทานอลโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถใช้น้ำตาลชนิดนั้นๆ ได้



ภาพที่ 2.17 แสดงการผลิตเอทานอลโดยกระบวนการหมักจากวัตถุดิบทางการเกษตร [8]

2.5.3 การนำเอทานอลมาใช้กับเครื่องยนต์

เอทานอลมีคุณสมบัติที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เช่นเดียวกับน้ำมันเบนซินและดีเซลเนื่องจากสามารถจุดติดไฟได้ และให้ค่าความร้อนเมื่อถูกเผาไหม้ แต่เอทานอลให้ค่าความร้อนต่ำกว่าจึงไม่สามารถทดแทนได้ทั้งหมดเพราะต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้เหมาะสม นอกจากนี้เอทานอลยังมีส่วนผสมของออกซิเจน จึงมีคุณสมบัติที่ใช้เป็นสารเติมออกซิเจนและเพิ่มค่าออกเทน

ในน้ำมันเชื้อเพลิงได้อีกด้วย สำหรับส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้เมื่อออกสู่บรรยากาศจะมีปริมาณออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นส่วนมลพิษพวกไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ ปริมาณฝุ่นและควันดำจะมีลดลง จึงจัดเป็นเชื้อเพลิงสะอาดอย่างหนึ่ง เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์นำไปใช้ผสมน้ำมัน (Fuel Alcohol) ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ 3 รูปแบบคือ

2.5.3.1 ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงเพื่อทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลใช้ได้กับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดสูง สำหรับในเครื่องยนต์ดีเซลสามารถใช้เอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ผสมในน้ำมันดีเซลที่เรียกว่า ดีโซฮอล์ (Diesohol) ในอัตราส่วน 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร และเพิ่มสารปรับปรุงสมบัติ บางตัวในปริมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์

2.5.3.2 ใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ผสมในน้ำมันเบนซิน หรือที่เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) โดยทั่วไปใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ในลักษณะสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงค่าออกเทนของน้ำมันเบนซิน

2.5.3.3 เป็นสารเคมีเพิ่มออกเทน แก่เครื่องยนต์ โดยการเปลี่ยนรูปเอทานอล มาเป็นสาร ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Ether) สามารถใช้ทดแทนสาร MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) ซึ่งสาร MTBE เป็นสารเติมแต่งที่หลายประเทศประกาศห้ามใช้เนื่องจากก่อให้เกิดมลพิษในอากาศที่สูงกว่าสารเติมแต่งอื่นๆ

การใช้เอทานอลบริสุทธิ์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงที่สะดวกในขณะนี้โดยต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ คือการใช้ในรูปของการผสมน้ำมัน โดยเอทานอลที่ผสมในสัดส่วน 5-30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และสามารถใช้ทดแทนสาร MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) ที่เป็นสารเพิ่มออกซิเจนและออกเทนให้แก่น้ำมันได้ ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในหลายประเทศ เช่นบราซิลจะนำเอทานอลเข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร มาผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และใช้ชื่อผลิตภัณฑ์ว่า “Proalcohol” สหรัฐอเมริกาใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วในอัตราส่วน 10 ต่อ 90 เรียกว่าแก๊สโซฮอล์ (Gasohol) ในส่วนของประเทศออสเตรเลียได้นำเอาเอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 15 ต่อ 85 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ในชื่อผลิตภัณฑ์ “Petranol” ในประเทศฟิลิปปินส์ผสมเอทานอลซึ่งผลิตจากอ้อยกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 20 ต่อ 80 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เรียกว่า “Alcogas” เป็นต้น

2.6 สมบัติทางกายของน้ำมันเชื้อเพลิง

สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ได้แก่ ค่าดัชนีซีเทน, ความหนืด, ความถ่วงจำเพาะ, จุดวาบไฟ, จุดติดไฟ และความร้อนของเชื้อเพลิง โดยมีรายละเอียดของสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงดังต่อไปนี้

2.6.1 ดัชนีซีเทน

ดัชนีซีเทนเป็นค่าแสดงคุณภาพในการจุดระเบิดของน้ำมันเชื้อเพลิง (Ignition Quality) น้ำมันที่มี Ignition Delay สั้นสุดจะมีคุณสมบัติต้านทานการน็อคได้ดีที่สุด Ignition Delay คือความล่าช้าในการติดไฟ ซึ่งกำหนดให้ไม่เกิน 0.3 วินาที โดยทั่วไปน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นต้องการเวลาเพียงเล็กน้อยในการระเหยตัวและผสมกับอากาศก่อนเกิดการลุกไหม้ด้วยตัวเอง ช่วงเวลานี้เรียกว่า Ignition Delay ถ้า Ignition Delay นานก็จะทำให้มีการสะสมของน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ เมื่อทำให้มีการสะสมของน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ เมื่อเกิดการลุกไหม้ขึ้นจึงมีการเผาไหม้รุนแรงและไม่มีประสิทธิภาพดังนั้นจึงต้องชะลอช่วงเวลา Ignition Delay ให้เหลือน้อยที่สุด ค่าซีเทนของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วคือตัวเลขที่ใช้บ่งชี้ถึง Ignition Delay ของน้ำมันที่ได้มาจากการทดสอบในเครื่องยนต์ทดสอบมาตรฐาน CFR โดยการตั้งมาตรฐานให้ก๊าซไฮโดรคาร์บอน Normal Cetane ($C_{16}H_{34}$) ซึ่งจุดระเบิด (Ignition) ได้ง่ายมีค่าเป็น 100 และ Heptamethylnonane มีค่าซีเทนเป็น 15 ซึ่งสามารถหาค่าซีเทนได้จากสมการที่ 2.2

$$\text{ค่าซีเทน} = \%\ \text{n- Cetane} + 0.15\ \ (\%\text{Heptamethylnonane}) \qquad (2.2)$$

ในกรณีที่น้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าซีเทนต่ำเกินไป จะทำให้มีการสะสมน้ำมันเชื้อเพลิงไว้มากๆ แล้วลุกไหม้ขึ้นพร้อมกันทีเดียว อันเป็นผลให้เกิด Detonation Knock น้ำมันที่มีค่าซีเทนพอเหมาะจะช่วยให้เครื่องยนต์ติดง่าย เครื่องยนต์เดินเรียบมีควันและเขม่าน้อย นอกจากนี้ยังประหยัดเชื้อเพลิงอีกด้วย ดัชนีซีเทนของน้ำมันดีเซลตามข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์ จะต้องไม่ต่ำกว่า 47

2.6.2 ความหนืด

ความหนืดของของเหลวคือ อัตราการต้านทานการไหลภายในเนื้อของของเหลว ดังนั้นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนืดต่ำจะไหลได้ง่าย ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดสูงจะไหลได้ช้า ซึ่งความหนืดต้องมีค่าที่เหมาะสม ความหนืดของน้ำมันมีผลอิทธิพลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด หากน้ำมันมีความหนืดสูง จะทำให้การฉีดเป็นฝอยไม่ดี ละอองน้ำมันที่มีขนาดใหญ่น้ำมันจะพุ่งไปไกลและเป็นสาย ทำให้น้ำมันรวมกับอากาศได้ไม่ดีทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เครื่องกำลังตก น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนืดต่ำไป จะทำให้น้ำมันที่พ่นออกมาเป็นฝอยละเอียดมาก จึงไม่พุ่งไปไกลเท่าที่ควร การเผาไหม้จะไม่ดี กำลังและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ตกเช่นกัน นอกจากนี้การสึกหรอของชิ้นส่วนในระบบเชื้อเพลิงอาจมากขึ้น เนื่องจากน้ำมันใสจะให้การหล่อลื่นไม่ดี โดยทั่วไปน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไปมักจะมีความหนืดในช่วง 1.8-4.1 cSt ที่อุณหภูมิ 40 °C

2.6.3 ความถ่วงจำเพาะ

คือค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยวัดความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิมาตรฐาน 15.6 องศาเซลเซียส ของเขตอบอุ่นโดยเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเรียกว่า ไฮโดรมิเตอร์ ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิดไม่เท่ากัน การทราบค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิดทำให้สามารถใช้ค่าความถ่วงจำเพาะเพื่อบอกความบริสุทธิ์ของน้ำมันได้เพราะถ้ามีการปลอมปนน้ำมันจะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย

2.6.4 จุดวาบไฟและจุดติดไฟ

จุดวาบไฟคืออุณหภูมิต่ำสุดของของเหลวที่ไอของมันเกิดติดไฟและดับทันที จุดนี้หาได้จากค่อยๆให้ความร้อนแก่น้ำมันพอถึงจุดๆหนึ่ง (อุณหภูมิ) จะเกิดเปลวไฟกวาดไปบนพื้นผิวหน้าน้ำมันวาบหนึ่งและก็ดับ ส่วนจุดติดไฟคือ อุณหภูมิต่ำสุดที่ไอน้ำมันเกิดการติดไฟ และติดอยู่ได้ไม่ต่ำกว่า 5 วินาที ซึ่งทั้งจุดวาบไฟและติดไฟมีความสำคัญในด้านอันตรายจากอัคคีภัยในการขนส่ง เก็บรักษา และการใช้งานเท่านั้น

2.6.5 ความร้อนทางสูงและทางต่ำ

ค่าความร้อนคือปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงให้หลังจากการเผาไหม้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักเนื่องจากเชื้อเพลิงมีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อเกิดการเผาไหม้ไฮโดรเจนจะรวมกับออกซิเจนได้น้ำ ถ้าน้ำที่ออกมาเป็นของเหลวเชื้อเพลิงนั้นจะให้ค่าความร้อนทางสูง แต่ถ้าน้ำที่ออกมาเป็นไอ เชื้อเพลิงจะให้ค่าความร้อนในทางต่ำ ทั้งนี้เพราะความร้อนจากการเผาไหม้ส่วนหนึ่งจะต้องเอาไปใช้ในการเผาน้ำเหลวให้กลายเป็นไอ ผลต่างของความร้อนทั้งสองชนิดนี้คือความร้อนแฝงแห่งการระเหย ณ ที่อุณหภูมินั้น ค่าความร้อนต่ำหาได้จาก

$$Lhv = Hhv\ 21.98\ (H) \qquad (2.3)$$

เมื่อ Lhv = ค่าความร้อนต่ำ, kJ/kg

Hhv = ค่าความร้อนสูง, kJ/kg

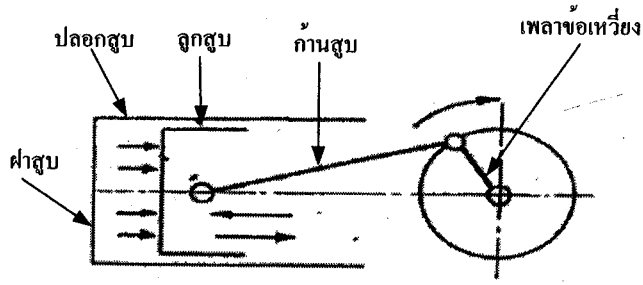
H = เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง

2.7 เครื่องยนต์ดีเซล

2.7.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลังชนิดหนึ่ง มีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ หลักการทำงานของเครื่องยนต์คือ เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นงาน และกำลัง โดยทั่วไปพลังงานความร้อนจะได้จากการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิง เครื่องยนต์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆได้แก่ เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก (External Combustion Engine) คือเครื่องยนต์ที่เกิดการเผาไหม้ภายนอกกระบอกสูบ แล้วใช้แรงดันที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้นำไปใช้งานต่อไป เช่นเครื่องจักรไอน้ำ เป็นต้น และเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (Internal Combustion Engine) คือเครื่องยนต์ที่เกิดการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบแล้วให้กำลังออกมา ได้แก่ เครื่องยนต์ดีเซล และเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

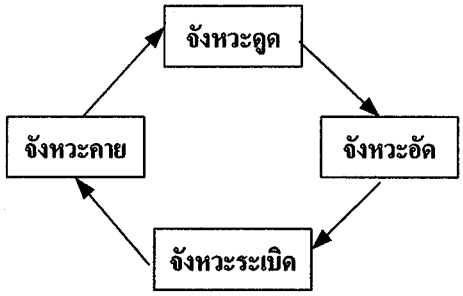
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะแต่เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆที่สำคัญ เช่น ปลอกสูบ ลูกสูบ ก้านสูบและเพลาข้อเหวี่ยง ดังแสดงในภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 แสดงอุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในจะทำงานตามวัฏจักรในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานนั้น ลูกสูบจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในกระบอกสูบ และถ่ายทอดกำลังผ่านก้านสูบไปยังเพลาข้อเหวี่ยง ซึ่งการเคลื่อนกลับไปกลับมาของลูกสูบนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงเมื่อลูกสูบไปหยุดที่ตำแหน่งบนสุด ซึ่งเรียกว่าตำแหน่งศูนย์ตายบน ซึ่งปริมาตรของกระบอกสูบจะมีปริมาตรน้อยที่สุด และเมื่อลูกสูบไปหยุดที่ตำแหน่งล่างสุด ซึ่งเรียกว่าตำแหน่งศูนย์ตายล่างปริมาตรของกระบอกสูบที่ตำแหน่งนี้จะมากที่สุด สำหรับระยะระหว่างตำแหน่งศูนย์ตายบนและตำแหน่งศูนย์ตายล่าง เรียกว่าระยะชัก หรือช่วงชัก

ในปัจจุบันหากแบ่งเครื่องยนต์ตามจังหวะการทำงาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือเครื่องยนต์ 2 จังหวะ และเครื่องยนต์ 4 จังหวะซึ่งมีวัฏจักรหรือรอบของการทำงานครบจังหวะเหมือนกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์

โดยที่เครื่องยนต์ 2 จังหวะ ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้น 1 ครั้ง เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 1 รอบ ได้จังหวะดูด อัด ระเบิด และคาย ได้จังหวะงาน 1 ครั้งคือจังหวะระเบิด ส่วนเครื่องยนต์ 4 จังหวะ ลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้น 2 ครั้ง เพลาข้อเหวี่ยงหมุน 2 รอบ ได้จังหวะดูด อัด ระเบิด และคาย ได้จังหวะงาน 1 ครั้งคือจังหวะระเบิดเช่นเดียวกัน

2.7.1.1 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 2 จังหวะ

1) จังหวะอัด เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายล่าง ช่องไอดีและไอเสียยังเปิดอยู่ ทำให้ไอดีเข้าไปไล่ไอเสียออกจากกระบอกสูบ จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนขึ้นไปปิดช่องไอดีและไอเสีย ลูกสูบก็จะอัดสารผสมในกระบอกสูบ และเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน การจุดระเบิดและการเผาไหม้ก็เริ่มขึ้น

2) จังหวะกำลัง เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงจะดันลูกสูบลง และไปดันให้เพลาข้อเหวี่ยงหมุน เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ใกล้จะถึงจุดศูนย์ตายล่าง ลูกสูบจะไปเปิดช่องไอเสียก่อน ทำให้ไอเสียในกระบอกสูบไหลออกจากกระบอกสูบ แล้วช่องไอดีจะถูกเปิดให้ไอดีเข้าไปไล่ไอเสียออก จนลูกสูบถึงตำแหน่งศูนย์ตายล่างก็จะเริ่มจังหวะอัดของวัฏจักรต่อไป

2.7.1.2 หลักการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

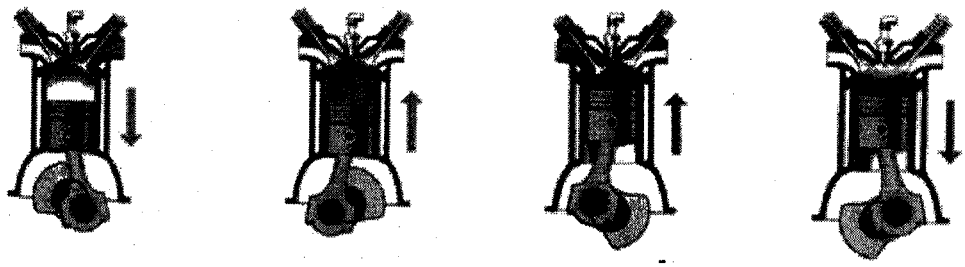
1) จังหวะดูด (Intake Stroke) หรือจังหวะเอาไอดีเข้า เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน และสิ้นสุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายล่าง ไอดีจะถูกนำเข้าไปในกระบอกสูบ โดยในระหว่างจังหวะดูดนี้วาล์วไอดีจะเปิด และวาล์วไอเสียจะปิด

2) จังหวะอัด (Compression Stroke) สารผสมในกระบอกสูบจะถูกอัดให้ปริมาตรลดลง โดยลูกสูบเคลื่อนที่จากตำแหน่งศูนย์ตายล่างไปยังตำแหน่งศูนย์ตายบน ในขณะที่วาล์วไอดีและไอเสียปิดสนิท ขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงก็จะอัดอากาศให้มีปริมาตรเล็กลงทำให้เกิดความดัน และความร้อนสูง

3) จังหวะระเบิด หรือ จังหวะกำลัง (Power Stroke) โดยที่การเกิดจังหวะนี้จะทำงานต่อเนื่องจากจังหวะอัด กล่าวคือ จังหวะอัดลูกสูบอัดอากาศให้เกิดความร้อนและปริมาตรเล็กลง ในจังหวะระเบิดนี้หัวฉีดก็จะฉีดน้ำมันให้เป็นละอองฝอยเข้ามาผสมกับอากาศร้อนจึงทำให้เกิดการระเบิด และเผาไหม้ของสารผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ทำให้เกิดความดันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงจะดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลง และไปทำให้เพลาข้อเหวี่ยงหมุน ในจังหวะระเบิดนั้นวาล์วไอดีและไอเสียจะปิด

4) จังหวะคาย (Exhaust Stroke) เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายล่างและวาล์วไอเสียปิด ส่วนวาล์วไอดียังปิดอยู่ ก๊าซที่ขยายตัวแล้วจะถูกดันออกจากกระบอกสูบ โดยลูกสูบเคลื่อนที่จากตำแหน่งศูนย์ตายล่าง ไปยังตำแหน่งศูนย์ตายบน ต่อจากนั้นก็จะเริ่มจังหวะดูดต่อไป

กำลังที่ใช้ในการดันลูกสูบนั้น ได้จากจังหวะระเบิด ส่วนกำลังที่นำไปใช้ในการหมุนเพลาข้อเหวี่ยงเพื่อให้ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นลงในจังหวะต่อไปนั้น อาศัยกำลังที่สะสมไว้ที่ล้อช่วยแรง (Fly Wheel) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ปลายเพลาข้อเหวี่ยง โดยจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะที่กล่าวมาแล้วนั้นแสดงดังในภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ

2.7.2 การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล

อากาศจะถูกอัดในกระบอกสูบจนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงพอ ก่อนที่ลูกสูบจะถึงจุดศูนย์ตายบน น้ำมันดีเซลจะถูกฉีดออกจากหัวฉีดด้วยความดันและความเร็วสูง ทำให้น้ำมันกระจายเป็นฝอยละออง เนื่องจากว่าไม่มีแหล่งให้ความร้อนจากภายนอก อากาศต้องถูกอัดตัวจนร้อนเพื่อที่จะทำให้ไอน้ำมันติดไฟได้เอง กล่าวคือน้ำมันดีเซลที่ออกจากปั๊มหัวฉีดแรงดันประมาณ 100-200 bar จะพุ่งเป็นลำเข้าไปในห้องเผาไหม้ซึ่งมีความดันประมาณ 30-40 bar และอุณหภูมิประมาณ

450-550°C ความร้อนจากอากาศในห้องเผาไหม้ที่ถ่ายเทกับละอองน้ำมันทำให้ละอองน้ำมันกลายเป็นไอ ส่วนอากาศที่ถ่ายเทความร้อนออกก็จะเย็นลง ความร้อนที่ถ่ายเทมาเป็นช่วงๆนี้ถ้าไม่มากพอที่จะทำให้ไอของน้ำมันถึงจุดติดไฟ การเผาไหม้ก็จะไม่เกิดขึ้น เมื่อเกิดการระเบิดขึ้นการเผาไหม้จะเสร็จสิ้นเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับการวิ่งหาออกซิเจนของน้ำมันดังนั้นการวิ่งหาออกซิเจนของน้ำมันจึงมีความสำคัญต่อการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วงดังนี้

2.7.2.1 ช่วงจุดไฟล่า (Ignition Delay) คือช่วงเวลาระหว่างที่เริ่มฉีดน้ำมันจนถึงจุดที่เริ่มติดไฟ ช่วงนี้มีความสำคัญมากต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ช่วงจุดล่าไฟช้าการเผาไหม้จะนิ่มนวลและ NO_x จากไอเสียจะน้อย ช่วงจุดล่าไฟนี้ขึ้นอยู่กับ Cetane Number ของเชื้อเพลิง อุณหภูมิและความดันของการอัด และการหมุนเวียนของก๊าซในกระบอกสูบ ช่วงนี้จะสั้นเมื่อ Cetane Number สูง ความดันและอุณหภูมิสูง

2.7.2.2 ช่วงความดันขั้นเร็ว (Rapid Pressure Rise Period) คือช่วงเวลาที่เริ่มติดไฟจนถึงความดันสูงสุด ถ้าอัตราความดัน (dP/dt) ขึ้นเร็วเกินไปจะทำให้เครื่องยนต์น๊อกและเกิดการสั่นกำลังของเครื่องจะตกจะมีสารมลพิษในไอเสียมาก

2.7.2.3 ช่วงการเผาไหม้ลาม (Combustion Propagation) ความจริงการเผาไหม้นั้นเกิดขึ้นในช่วงที่ 2แล้วแต่ในช่วงนั้นการเผาไหม้ลามจะเกิดอย่างรวดเร็วมากสำหรับในช่วงที่ 3 การลามจะค่อยสม่ำเสมอขึ้นแล้วจะช้าลง ทั้งนี้เพราะเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้ามาอยู่เรื่อยๆจะระเหยและดึงความร้อนออกจากกระบอกสูบ เชื้อเพลิงที่ระเหยจะกระจายไปทั่วกระบอกสูบและผสมกับอากาศและติดไฟต่อไป แต่การติดไฟที่สมบูรณ์จะใช้เวลานานขึ้น

2.7.2.4 ช่วง Blow-down หรือหลังการเผาไหม้ ช่วงนี้น้ำมันหยุดฉีดแล้วแต่การเผาไหม้ยังลามต่อไป ซึ่งเชื้อเพลิงที่กระจายไปรอบๆ กระบอกสูบที่ขาดออกซิเจน (O_2) และสารอนุภาคของแข็งที่เกิดก็จะลามติดไฟอย่างช้าๆ แม้ว่าลิ้นที่หัวฉีดจะปิดแล้วแต่ก็จะเกิดน้ำมันรั่วออกมาเนื่องจากความดันที่ค้างในท่อน้ำมันส่วนของน้ำมันที่รั่วนี้บางทีเรียกว่า Secondary Injection (การฉีดตกค้าง) จะไม่สามารถเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ซึ่งจะทำให้เกิดควันดำ และไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้ (HC) ในไอเสียที่ออกมา

2.7.3 การปล่อยสารมลพิษในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล

ในการทำงานของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในจะมีการปล่อยไอเสีย หรือผลที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงกับอากาศออกมาจากเครื่องยนต์ มีส่วนประกอบที่ถือว่าเป็นมลพิษคือ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้ (HC), ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และสารละออง (Particulate)

2.7.3.1 คาร์บอนมอนอกไซด์

ปริมาณสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะก่อตัวขึ้นขณะที่มีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งมีออกซิเจนไม่เพียงพอในการสันดาปกับน้ำมันเชื้อเพลิง หรือมีเวลาในการเผาไหม้ที่น้อยเกินไป ในทางทฤษฎีการเผาไหม้ที่จะทำให้เกิดปริมาณสารมลพิษชนิดนี้มีค่าน้อยสามารถทำได้โดยการให้มีส่วนผสมระหว่างมวลของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่เจือจาง (Lean Mixture มีปริมาณอากาศมาก) ซึ่งปริมาณสารคาร์บอนมอนอกไซด์ในเครื่องยนต์ดีเซลเกิดขึ้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน เพราะเครื่องยนต์ดีเซลทำงานที่อัตราส่วนผสมระหว่างมวลอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่เจือจาง แต่ถ้าส่วนผสมระหว่างมวลอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงสูง (Rich Mixture มีปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงมากเกิน) อาจจะทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณที่สูงขึ้นได้

2.7.3.2 ไฮโดรคาร์บอน

ปริมาณไฮโดรคาร์บอนจะก่อตัวขึ้นเมื่อการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ สำหรับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีจุดเดือดสูง โมเลกุลใหญ่กว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนซึ่งทำให้การระเหยกลายเป็นไอในการเผาไหม้ จึงเป็นไปได้ค่อนข้างยากกว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนแต่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากเครื่องยนต์ดีเซลก็มีปริมาณน้อยกว่าเรื่องยนต์แก๊สโซลีน เพราะเครื่องยนต์ดีเซลทำงานที่ส่วนผสมระหว่าง มวลของอากาศกับมวลของเชื้อเพลิงเจือจาง (Lean Mixture) เพราะไฮโดรคาร์บอนจะเกิดที่ส่วนผสมระหว่างมวลอากาศกับเชื้อเพลิงอากาศกับมวลเชื้อเพลิงสูง (Rich Mixture) สำหรับปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เกิดกับเครื่องยนต์ดีเซลนั้นจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ เช่นที่ สภาวะเครื่องยนต์เดินเบาและภาระงานต่ำๆ พบว่ามีไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าที่ภาวะสูงสุด

2.7.3.3 ออกไซด์ของไนโตรเจน

ออกไซด์ของไนโตรเจนมีหลายรูปแบบ เช่น ไนตริกออกไซด์ (NO), ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) สำหรับไนตริกออกไซด์ (NO) เกิดค่อนข้างมากในกลุ่มออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซึ่งเกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้การก่อตัวของไนตริกออกไซด์เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับไนโตรเจนในอากาศ ส่วนไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในเครื่องยนต์ดีเซลจะมีปริมาณ 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ของออกไซด์ของไนโตรเจนทั้งหมด สารมลพิษชนิดออกไซด์ของไนโตรเจนมักเกิดจากการเผาไหม้ที่มีปริมาณของอากาศเกิน Stoichiometric Ratio เพราะเกิดจากการเผาไหม้ที่ค่อนข้างสมบูรณ์ อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูง โดยเกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างอะตอมของออกซิเจนกับอะตอมของไนโตรเจน ส่วนปริมาณการเกิดของสารมลพิษชนิดนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของห้องเผาไหม้

2.7.3.4 เขม่าและฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในเครื่องยนต์ดีเซลเกิดมากกว่าในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเพราะน้ำมันดีเซลที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลมีจุดเดือดสูงกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน ทำให้น้ำมันดีเซลที่ใช้ในการเผาไหม้ระเหยยากและเหลือกากของการเผาไหม้ค่อนข้างสูง ซึ่งฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่เป็นสารจำพวก ไฮโดรคาร์บอน (HC) หรือ บางส่วนก็อาจเกิดจากน้ำมันหล่อลื่น สำหรับการก่อตัวของฝุ่นละอองปกติจะก่อตัวขึ้นจากไฮโดรคาร์บอน (HC) ชนิดหนัก (Heavy Hydrocarbon) ส่วนองค์ประกอบของฝุ่นละอองนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะของไอเสียในเครื่องยนต์ เช่น เวลาในการเผาไหม้ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของส่วนผสม ความดันและวิธีการรวมตัวของเขม่าและฝุ่นละออง

2.8 การคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องยนต์

2.8.1 แรงบิดและกำลังเบรกของเครื่องยนต์

แรงบิดในเครื่องยนต์เกิดจากการสันดาปของเชื้อเพลิงและอากาศในห้องสันดาป ทำให้ก๊าซในลูกสูบมีอุณภูมิสูงและความดันสูงไปดันให้ลูกสูบเกิดการเคลื่อนที่ทำให้เกิดงานขึ้น สำหรับแรงบิดและกำลังเบรกเครื่องยนต์มีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$P = \frac{2\pi nT}{60} \tag{2.4}$$

เมื่อ P = กำลังเบรกของเครื่องยนต์, W

T = แรงบิดของเครื่องยนต์, N.m

n = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์, rpm

2.8.2 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อกำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ได้ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$BSFC = \frac{\gamma \times m_f}{P} = \frac{m_c}{P} \tag{2.5}$$

เมื่อ $BSFC$ = อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ, kg/kw.hr

γ = ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง, kg/lt

m_f = อัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง, lt/hr

m_c = อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง, kg/hr

P = กำลังเบรกของเครื่องยนต์, kW

2.8.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก

เป็นอัตราส่วนระหว่างงานที่สามารถนำไปใช้ต่อพลังงานเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ใช้ไปหาได้จากสมการ

$$\eta_{bth} = \left(\frac{P \times 3600}{m_c \times Hv \times 1000} \right) \times 100 \qquad (2.6)$$

เมื่อ η_{bth} = ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก, %

Hv = ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง, kJ/kg

m_c = อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง, kg/hr

P = กำลังเบรกของเครื่องยนต์, kW

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันการนำเอาน้ำมันไบโอดีเซลและเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลกำลังได้รับความสนใจมากขึ้นเนื่องจากเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนี้สามารถผลิตได้เองโดยใช้วัตถุดิบจากพืชผลทางการเกษตรที่มีอยู่ภายในประเทศ ซึ่งเราสามารถแบ่งการนำน้ำมันไบโอดีเซลและเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลที่มีการศึกษาค้นคว้า วิจัยกันอยู่ในขณะนี้ได้เป็น 3 ลักษณะด้วยกัน ได้แก่ (1) การนำน้ำมันไบโอดีเซลล้วน (B100) มาใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ (2) การนำเอาเอทานอลมาผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมไม่เกินร้อยละ 20 หรือที่เราเรียกว่า ดีโซฮอล์ (Diesohol) แล้วนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล และ (3) การนำไบโอดีเซล, เอทานอล และน้ำมันดีเซล มาผสมกันและใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันไบโอดีเซลและเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยจะเน้นไปที่ผลการศึกษาที่

เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ทำให้ความหนืดลดลงมีค่าเท่ากับ 3.5 cSt และมีจุดไหลเทเท่ากับ 7 °C ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดคุณสมบัติน้ำมันดีเซล

Ali, Eskridge and Hunna [20] ได้ทำการศึกษาหาอัตราส่วนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซล, น้ำมันไบโอดีเซลจากไขวัว และเอทานอล ที่ช่วยลดมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์มากที่สุดพร้อมทั้งทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วย โดยในการทดสอบใช้เชื้อเพลิง 4 ชนิดคือ น้ำมันดีเซล และเชื้อเพลิงผสมระหว่าง น้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลจากไขวัว และเอทานอลในอัตราส่วนผสมต่างๆดังต่อนี้ 80:13:17, 70:19.5:10.5 และ 60:26:14 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรไปทดสอบกับเครื่องยนต์ Commins N14-410 ผลการทดสอบพบว่า น้ำมันผสมช่วยทำให้มลพิษจากไอเสียลดลง โดยที่น้ำมันผสมที่อัตราส่วน 80:13:17 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (น้ำมันดีเซล:ไบโอดีเซล:เอทานอล) ให้สารมลพิษที่ปล่อยออกมามีค่าน้อยที่สุด โดยไม่ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลงแต่อย่างใด

Zheng and Hunna [21] ได้ทำการผลิตไบโอดีเซลจากไขวัวจากนั้นนำน้ำมันไบโอดีเซลจากไขวัวที่ผลิตได้มาผสมกับเอทานอลในอัตราส่วน 100:0, 95:5, 80:20, 65:35, 55:45 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เพื่อที่จะทดสอบหาสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆพบว่าค่าสมบัติเช่น Melting Point, Cloud Point, Pour Point, Specific Gravity และ CCI มีค่าลดลงเมื่อส่วนผสมเอทานอลมีอัตราเพิ่มมากขึ้น

Ali and Hunna [22] ได้ทำการศึกษาหาผลกระทบของน้ำมันที่มีต่อเครื่องยนต์ดีเซลรุ่น Commins N14-410 ในด้านของสมรรถนะของเครื่องยนต์และการปล่อยมลพิษโดยน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบมีด้วยกัน 12 ชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 รายละเอียดชนิดน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ [22]

Blend number	Diesel fuel, %	Methyl tallowate, %	Methyl soyate, %	Ethanol, %
1	100	0	0	0
2	80	13	0	7
3	70	19.5	0	10.5
4	60	26	0	14
5	80	6.5	6.5	7
6	70	9.75	9.75	10.5
7	60	13	13	14
8	80	20	0	0

ตารางที่ 2.9 รายละเอียดชนิดน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบ (ต่อ) [22]

Blend number	Diesel fuel,%	Methyl tallowate, %	Methyl soyate, %	Ethanol, %
9	70	30	0	0
10	60	40	0	0
11	0	65	0	35
12	0	32.5	32.5	35

Usta and et al. [23] ได้ทำการศึกษาหาผลกระทบของน้ำมันผสมที่มีผลต่อเครื่องยนต์ในส่วนของสมรรถนะและการปล่อยมลพิษ โดยน้ำมันที่ใช้ได้แก่น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันต้นเฮลซัส (Hazelnut) และน้ำมันเมล็ดทานตะวันที่ใช้แล้ว มาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ 5, 10, 15, 17.5 และ 25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร นำไปทดสอบกับเครื่องยนต์แบบเทอร์โบชาร์จเจอร์พบว่าที่อัตราส่วนผสม 17.5 เปอร์เซ็นต์ ไบโอดีเซลให้กำลังและประสิทธิภาพเชิงความร้องสูงที่สุด ในส่วนของการปล่อยมลพิษที่โหลดเต็มที่ CO จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำและจะมีค่าลดต่ำลงเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้นและ CO_2 มีค่าสูงขึ้น ที่โหลดบางส่วน SO_2 มีค่าลดลง และ NO_x มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาไหม้สูงขึ้นและจะค่อยๆลดลงเมื่อมีการปรับลดโหลด

Lee, Herage and Young [24] ได้ทำการศึกษาโดยผสมน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 20:80 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แล้วนำน้ำมันผสมที่ได้ไปใช้กับหม้อไอน้ำ (Boiler) ที่ไม่มีการปรับแต่งอุปกรณ์ใดๆทั้งสิ้น ผลการทดสอบจากการวัดมลพิษที่ปล่องควันพบว่า SO_2 ลดลง 19.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล NO_x ที่ปล่อยออกมาเบาบางมากแต่ก็ลดลงถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของซัลเฟอร์ลดลง 14.1 เปอร์เซ็นต์

Raheman and Phadatare [25] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของน้ำมันที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์และการปล่อยมลพิษโดยน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบคือไบโอดีเซลที่ผลิตจาก Karanja (พืชพื้นเมืองชนิดหนึ่งของประเทศอินเดีย) นำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนดังนี้ 20, 40, 60, 80 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบพบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงผสมสามารถช่วยลด CO, ความหนาแน่นของไอเสีย, NO_x โดยเฉลี่ย 80, 50 และ 26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในส่วนของกำลังเบรกของเครื่องยนต์ ที่อัตราส่วนผสม 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร กำลังเบรกจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 6 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าอัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้นกำลังเครื่องยนต์จะลดลง

Can, Celikten and Usta [26] ได้ทำการศึกษาและทดสอบหาผลกระทบของน้ำมันดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆที่มีต่อสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์แล้ว

เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลโดยน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลและเอทานอลมีอัตราส่วนดังนี้ 90:10 และ 85:15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร แล้วนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 4 กระบอกสูบ แบบเทอร์โบชาร์จเจอร์ ที่ความดันหัวฉีด 150, 200 และ 250 bar โดยในน้ำมันผสมแต่ละชนิดจะมีการเติมสารเพื่อเป็นตัวเชื่อมไม่ให้เอทานอลกับน้ำมันแยกตัวกัน 1 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบพบว่าน้ำมันผสมทำให้ CO, SO_2 เขม่าควันจากไอเสียเครื่องยนต์ลดลง แต่พบว่า NO_x มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 12.5 (น้ำมันที่มีเอทานอลผสมอยู่ 10 เปอร์เซ็นต์) และ 20 เปอร์เซ็นต์ (น้ำมันที่มีเอทานอลผสมอยู่ 15 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ และความดันของหัวฉีดที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของ CO และควันดำลดลง โดยเฉพาะในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,500 และ 2,500 rpm แต่ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง

Li and et al. [27] ได้ทำการศึกษาหาเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลที่จะนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลที่สามารถให้ค่าสมรรถนะดีที่สุดและช่วยลดปล่อยมลพิษที่ต่ำที่สุดในการทดสอบใช้เครื่องยนต์ดีเซล 1 กระบอกสูบ แบบฉีดตรงโดยทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,200 และ 1,760 rpm น้ำมันที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ น้ำมันดีเซล และน้ำมันดีเซลผสมเอทานอลในอัตราส่วน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ผลการทดลองพบว่า ค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นและพบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเอทานอลทที่ผสมอยู่ในน้ำมันในส่วนของมลพิษที่ปล่อยออกมา พบว่าที่อัตราส่วนผสมของน้ำมันดีเซลกับเอทานอล 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร CO และ NO_x มีค่าลดลงแต่ HC มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

Cai and et al. [28] ได้ทำการปรับปรุงค่าซีเทนนัมเบอร์ของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลกับเอทานอลโดยการเติมสารเพิ่มค่าซีเทนนัมเบอร์ในปริมาณ 0, 0.2 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ลงไปในน้ำมันผสมจากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล 4 กระบอกสูบผลการทดลองพบว่าค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าลดลงเกือบจะเหมือนกับค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยน้ำมันดีเซลส่วนค่า NO_x มีค่าลดลงเมื่อมีการปรับปรุงค่าซีเทนนัมเบอร์ของน้ำมัน และค่า CO มีค่าลดลงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำและปลานกลาง นอกจากนี้จุดล่าไฟยังยาวนานขึ้นและระยะเวลาในการเผาไหม้สั้นลง

Shi and et al. [29] ได้ทำการทดลองโดยนำเอาน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง เอทานอล และ น้ำมันดีเซล มาผสมกัน (blends) ที่อัตราส่วนผสมต่างๆเป็นร้อยละโดยปริมาตร ดังนี้ 0:20:80 (B20), 3:12:85 (BE15) 4:16:80 (BE20) (ไบโอดีเซล:เอทานอล:น้ำมันดีเซล) มาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซล ขนาด 4 สูบ ชื่อ Sofim 8140.43 C เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่มีต่อสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ,

ควันดำและปริมาณฝุ่นละออง (Particulate Meter), ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x), ไฮโดรคาร์บอน (HC) และ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง จากผลการทดลองพบว่า ฝุ่นละอองมีค่าลดลงเมื่อปริมาณออกซิเจนในน้ำมันเชื้อเพลิงมีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จะมีค่าเพิ่มขึ้น เชื้อเพลิง BE20 ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนประกอบอยู่มากที่สุดโดยน้ำหนักจะให้สารมลพิษต่ำที่สุด

Paterson and et al. [30] ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลแบบเบอร์ 2 ในการศึกษาใช้เครื่องยนต์ดีเซลในการทดสอบ 2 ชนิด คือในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ใช้เครื่องยนต์ขนาด 4 สูบยี่ห้อ John Deere 4239T และการทดสอบการปล่อยสารมลพิษใช้เครื่องยนต์ยี่ห้อ Cummins 5.9 L น้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ในการทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงและมีความหนืดเป็น 1.9 เท่าของน้ำมันดีเซลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ส่วนค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล 12 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณควันดำจากไอเสียเครื่องยนต์และกำลังเบรกมีค่าลดลง 71 และ 4.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเครื่งยนต์ดีเซล แรงบิดของเครื่องยนต์มีค่าลดลง 6 และ 3.2 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,700 และ 3,200 รอบต่อนาที ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกมีค่าไม่แตกต่างกัน การปล่อยสารมลพิษพบว่า HC มีค่าลดลง 54 เปอร์เซ็นต์, CO ลดลง 46 เปอร์เซ็นต์, NO_x ลดลง 14.7 เปอร์เซ็นต์ และ CO_2 กับละอองฝุ่นเพิ่มขึ้น 0.57 และ 14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล

Reed, Graoski and Gaur [31] ได้นำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลแบบเมทิลและเอทิลเอสเทอร์ แล้วนำน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมน้ำมันดีเซล 30 เปอร์เซ็นต์ มาทดสอบกับเครื่องยนต์รถบัส โดยใช้ Chassis Dynamometer ในการทดสอบหากำลังและสมรรถนะของเครื่องยนต์ ผลการทดสอบ กำลังและสมรรถนะของเครื่องยนต์มีค่าไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าปริมาณควันดำมีค่าลดลงเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล โดยลดลง 60 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมน้ำมันดีเซล 30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณควันดำมีค่าลดลง 26 เปอร์เซ็นต์

Shi and et al. [32] ทำการทดลองศึกษาคุณลักษณะของการปล่อยสารมลพิษของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในเครื่องยนต์ดีเซล ยี่ห้อ Cummins -4B โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลองได้แก่การนำ เอทานอล ไบโอดีเซล (ถั่วเหลือง) และน้ำมันดีเซล มาผสมกันในอัตราส่วน 5:20:75 (Ethanol:Biodiesel:Diesel)โดยปริมาตร จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงผสมดังกล่าวทำให้ปริมาณฝุ่นละอองลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ย ส่วน CO และ THC มีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลที่ทุกลักษณะการทดสอบส่วนออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 5.6-11.4 เปอร์เซ็นต์

Qudais, Haddad and Qudaisat [33] ได้ทำการศึกษาและทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 1 สูบ โดยในการทดสอบได้ได้เอาเอทานอลเข้าไปทางไอดีของเครื่องยนต์เพื่อผสมกับน้ำมันในห้องเผาไหม้ เรียกวิธีนี้ว่า Fumigation Method และการนำเอา เอทานอลมาผสมกับน้ำมันดีเซล เรียกวิธีนี้ว่า Blend Method เพื่อศึกษาดูว่าวิธีแบบไหนจะให้ปริมาณสารมลพิษต่ำและมีสมรรถนะดีที่สุดทุกช่วงเวลา จากผลการทดลองพบว่า Fumigation Method ให้สมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษดีกว่า Blend Method โดยเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลที่ดีที่สุดคือ 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ CO, HC และควันดำ ลดลง 55, 36 และ 51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วน Blend Method เปอร์เซ็นต์ ของเอทานอลที่ดีที่สุดคือ 15 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น 3.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่า CO, HC และปริมาณควันดำ ลดลง 43.3, 34 และ 32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัยของงานวิจัยนี้ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยจะกล่าวถึง น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบกับเครื่องยนต์ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ รวมถึงวิธีการทดสอบซึ่งประกอบด้วยการทดสอบสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลในห้องปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การจัดเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงและการทดสอบสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง

3.1.1 น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่นำมาผสมกับเอทานอลที่ใช้ในการทดสอบกับเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้ได้จากการผลิตโดย ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน (RSEC) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผ่านกระบวนการ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) เพื่อเปลี่ยนให้น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นไบโอดีเซลในรูปเมทิลเอสเทอร์ โดยรายละเอียดและขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยกระบวนการ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน แสดงในภาคผนวก ข. ในส่วนของเอทานอลที่ใช้ผสมในงานวิจัยนี้เป็นแบบ Analysis Grade ชนิดไร้น้ำ (Anhydrous Ethanol) ซึ่งมีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ (มีน้ำผสมอยู่ 0.5 เปอร์เซ็นต์) เพราะถ้าเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ต่ำกว่านี้ เมื่อนำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล จะเกิดปัญหาเรื่องการไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันหรือผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ไม่หมด ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากการนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลโดยไม่มีตัวทำละลาย การผสมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างเอทานอลกับน้ำมันไบโอดีเซลนั้น ต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำมันไบโอดีเซลกับเอทานอลด้วย [32] ซึ่งเอทานอลที่ใช้ผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยที่การจัดเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจะใช้น้ำมันไบโอดีเซลในรอบการผลิตเดียวกัน และการจัดหาเอทานอลที่ใช้ในการผสมกับน้ำมัน ไบโอดีเซลสำหรับทดสอบกับเครื่องยนต์นั้นจะเลือกมาจากแหล่งผลิตเดียวกันเพื่อให้สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเดียวกันตลอดการทดสอบ ส่วนน้ำมันดีเซลใช้น้ำมันดีเซลของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) ที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด

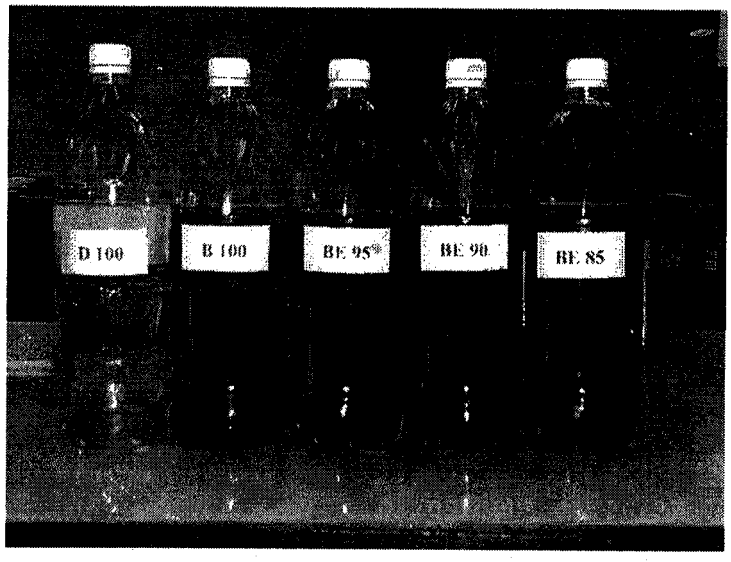
ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพของเอทานอลที่นำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล [32]

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

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการทดสอบหาสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงและทดสอบกับเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งน้ำมันเชื้อเพลิงออกเป็น 5 กลุ่ม ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียงแค่ชนิดและปริมาณของเอทานอลที่ผสมในน้ำมันเชื้อเพลิงเท่านั้น ได้แก่ น้ำมันดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์ (จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป), น้ำมันไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลกับเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราส่วนผสมของเอทานอลเป็น 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิดจะถูกสุ่มตัวอย่างไปเพื่อทดสอบหาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยผลการทดสอบค่าสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงจะกล่าวถึงในบทที่ 4 และได้กำหนดสัญลักษณ์ของเชื้อเพลิงทั้ง 5 กลุ่ม ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ

กลุ่มที่	น้ำมันเชื้อเพลิง (โดยปริมาตร)	สัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดสอบ
1	น้ำมันดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์	D100
2	น้ำมันไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์	B 100
3	น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์	BE 95
4	น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์	BE 90
5	น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์	BE 85



ภาพที่ 3.1 น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.2 ทดสอบสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง

เป็นการทดสอบหาสมบัติทางกายภาพบางประการของการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิง 5 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล (D100), น้ำมันไบโอดีเซล (B100), และน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลกับเอทานอล ที่อัตราส่วนของเอทานอล 5,10 และ15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการทางปิโตรเคมี ของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดสอบสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงทำการทดสอบหาค่าสมบัติต่างๆ ได้แก่ ค่าความหนืด, จุดวาบไฟ, จุดติดไฟ, ค่าความถ่วงจำเพาะ, ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง และค่าดัชนีซีเทน ซึ่งทำการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบของ American Standard Testing and Material (ASTM) [34] โดยมีรายละเอียดและวิธีการทดสอบดังนี้

3.1.2.1 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ใช้วิธีการวัดตามมาตรฐาน ASTM D1298 ซึ่งสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (American Petroleum Institute) ได้ตั้งมาตราความถ่วง API ขึ้นเพื่อใช้วัดคุณภาพน้ำมันโดยเทียบกับความถ่วงจำเพาะ ดังสมการที่ 3.1

$$AIP = \left(\frac{141.5}{sp.gr_{60/60F}}\right) - 131.5 \qquad (3.1)$$

เมื่อ $sp.gr_{60/60F}$ = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 60F

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) Water Bath (ดังภาพที่ 3.2)

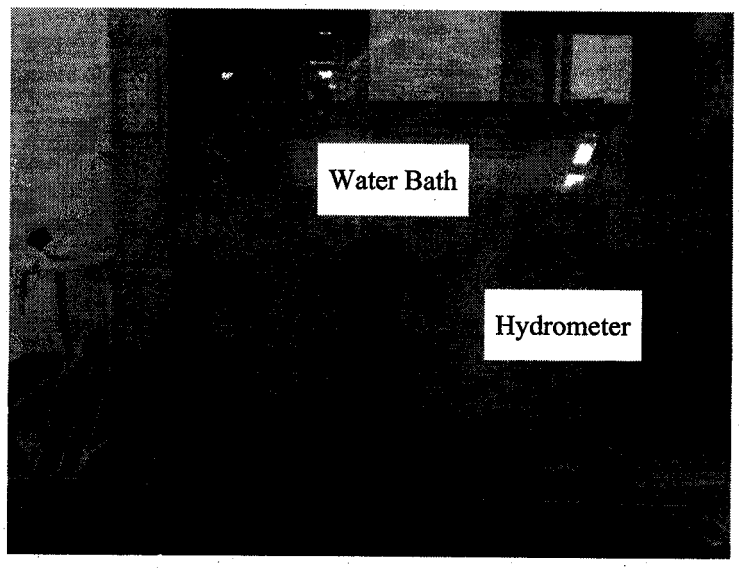
(2) น้ำแข็ง

(3) Hydrometer

(4) เทอร์โมมิเตอร์

(5) กระบอกตวงขนาด 1000 ml

(6) แท่งแก้ว



ภาพที่ 3.2 อุปกรณ์วัดค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง

2) วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองเริ่มต้นโดยใส่น้ำใน Water Bath ครึ่งหนึ่งของ Bath ใส่น้ำแข็งประมาณ 3 Beakers ใช้แท่งแก้วกวนน้ำแข็งและน้ำให้เข้ากันโดยเติมน้ำให้ได้ระดับขีดสีแดงที่กำหนดไว้ จากนั้นใส่น้ำมันตัวอย่างลงในกระบอกตวงประมาณ 850 ml. รีบแช่กระบอกตวงของน้ำมันตัวอย่างลงใน Water Bath อย่างรวดเร็ว ใช้ Thermometer วัดอุณหภูมิรอจนกว่าอุณหภูมิจะลดลงประมาณ 15°C ใช้นิ้วมือดีบ Hydrometer แล้วหย่อนลงในกระบอกตวงน้ำมันโดยค่อยๆ หย่อน รอจนได้อุณหภูมิ 15.6°C แล้วรีบอ่านค่าจาก Hydrometer ตรงส่วนสัมผัสส่วนโค้งของน้ำมันกับขีดของสเกล Hydrometer ให้รายงานค่าเป็น API หาค่าความถ่วงจำเพาะได้โดยใช้สมการที่ 3.1

3.1.2.2 การหาค่าความหนืด (Viscosity)

ใช้วิธีการวัดตามมาตรฐาน ASTM D88 โดยวิธีการหาค่าความหนืดสำหรับการทดลองครั้งนี้ใช้วิธี แบบเซย์โบล์ยูนิเวอร์แซล มาตรวัดความหนืดหรือความข้นใสแบบเซย์โบล์ยูนิเวอร์แซล ใช้วัดความหนืดของน้ำมันโดยการจับเวลาจากการไหลเป็นวินาที ของน้ำมัน 60 ลูกบาศก์มิลลิลิตร รูที่น้ำมันไหลผ่านนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.77 มิลลิเมตร และมีความยาว 12.25 มิลลิเมตร ค่าความหนืดที่อ่านได้มีค่าเป็นวินาทีเซย์โบล์ จากนั้นค่อยเปลี่ยนความหนืดแบบเซย์โบล์ยูนิเวอร์แซล เป็นค่าความหนืดแบบ คิเนแมติก ซึ่งมีหน่วยเป็นเซนติสโตก (cSt) สัญลักษณ์แทนด้วยตัว v และ t คือเวลาการไหลเป็นวินาที ใช้สมการที่ 3.2 เมื่อ t อยู่ระหว่าง 32-100 วินาที และใช้สมการที่ 3.3 เมื่อ t มากกว่า 100 วินาที

$$v = 0.226t - \frac{195}{t} \tag{3.2}$$

$$v = 0.220t - \frac{135}{t} \tag{3.3}$$

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) Saybolt Viscometer

(2) เทอร์โมมิเตอร์

(3) นาฬิกาจับเวลา

(4) ขวดปากกว้างขนาดความจุ 60 ml.

(5) อุปกรณ์สำหรับดูดน้ำมัน

2) วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองเริ่มต้นด้วยการทำความสะอาดกระบอกบรรจุน้ำมันให้สะอาดเอาจุกคอร์ อุดรูด้านล่างของ Viscometer จากนั้นให้เทตัวอย่างน้ำมันลงในกระบอกบรรจุน้ำมันปรับอุณหภูมิของอ่างน้ำมันของเครื่อง Saybolt ให้ได้ตามที่ต้องการ โดยอุ่นน้ำมันให้ได้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันในกระบอกบรรจุน้ำมันเท่ากับอุณหภูมิของอ่างน้ำมัน นำขวดที่ได้ทำความสะอาดแล้วไปรองรับและเตรียมจับเวลา ดึงจุกคอร์กที่อุดน้ำมันออกให้น้ำมันไหลลงในขวด และเริ่มจับเวลาทันที เมื่อน้ำมันถึงขีดกำหนดที่คอขวด หยุดเวลา และบันทึกเวลาที่อ่านได้ ซึ่งการทดสอบทำได้โดยจับเวลาในการไหลของน้ำมันผ่านรูมาตรฐานขนาด 1.765 มิลลิเมตร ลงในขวดปริมาตรขนาด 60 มิลลิลิตร จนถึงขีดกำหนดในช่วง 21- 99 องศาเซลเซียส เวลา

ที่ได้คือวินาทีเซย์โบลต์นำเวลาที่ได้เปลี่ยนเป็นหน่วยเซนติสโตกส์ โดยการคำนวณหรือเทียบดูจากตาราง

3.1.2.3 การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value)

ใช้วิธีการวัดตามมาตรฐาน ASTM D1250 บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง โดยอาศัยหลักการทำงานด้วยกระบวนการปริมาตรคงที่ เมื่อเชื้อเพลิงเกิดการสันดาปแล้วจะให้พลังงานความร้อนออกมา ซึ่งจะกำหนดให้อยู่ในรูปของค่าความร้อนทางเชื้อเพลิงต่อหน่วยน้ำหนัก เช่น กิโลจูล/กิโลกรัม

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) เครื่อง Parr Oxygen Bomb Calorimeter (ดังภาพที่ 3.3)

(2) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.0725 นอร์มอล

(3) กรดเบนโซอิกมาตรฐานค่าความร้อน 6318 แคลอรี่ต่อกรัม

(4) Methyl Red หรือ Methyl Orange Indicator

(5) เทอร์โมมิเตอร์

(6) ถังออกซิเจนบริสุทธิ์

2) วิธีการทดลอง

เริ่มต้นการทดลองโดยนำน้ำมันตัวอย่างที่ชั่งแล้วมาวางในถ้วยแก้วสำหรับใส่น้ำมันตัวอย่าง (Fuel Capsules) โดยจะใช้น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่างประมาณ 1 กรัม แต่ไม่ให้เกิน 1.5 กรัม ทำการตัดลวด Fuse Wire ซึ่งจะใช้ประมาณ 10 เซนติเมตร ผูกกับแกนเหล็กที่เป็นขั้วไฟฟ้า 2 ข้างแล้วงอส่วนกลางของลวด Fuse Wire โดยให้ส่วนโค้งสัมผัสกับผิวหน้าของน้ำมันตัวอย่างที่จะทดสอบ ปิดบอมบ์แล้วนำไปบรรจุออกซิเจนโดยเปิดลิ้นบรรจุออกซิเจนอย่างช้าๆ จนกระทั่งออกซิเจนมีความดัน 30 atm วางบอมบ์ลงในถังแคลอริมิเตอร์ ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 2 ลิตร จากนั้นต่อสายไฟเข้ากับตัวบอมบ์ แล้วปิดฝาถังแคลอริมิเตอร์ ใส่เทอร์โมมิเตอร์เข้าไป เดินเครื่องกวนน้ำจนกระทั่งสังเกตว่าอุณหภูมิคงที่ กดปุ่ม Ignitionให้อุณหภูมิคงที่แล้วบันทึกอุณหภูมิ หยุดกวนยกบอมบ์ออกแล้วเปิดวาล์วลดความดันจากนั้นล้างภายในบอมบ์ และเก็บน้ำที่ล้าง Calorimeter ไปไทเทรตกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 0.0725 นอร์มอลโดยใช้ Methyl Red เป็น Indicator ขั้นตอนสุดท้ายคำนวณหาค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงได้จากสมการที่ 3.4

$$Hg = \frac{tW - l_1 - l_2 - l_3}{m} \tag{3.4}$$

เมื่อ W = Energy Equivalent of Calorimeter ซึ่งหาได้จากการ Standardized ของกรดเบนโซอิก

m = มวลของน้ำมันตัวอย่าง (กรัม)

l_1 = ปริมาณของโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)

l_2 = 14 × (%S ในเชื้อเพลิง) × m

l_3 = ค่าความร้อนของลวดที่เผาไหม้

t = อุณหภูมิสุดท้าย – อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)

Hg = ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)

โดยที่ W หาได้จากสมการที่ 3.5

$$W = \frac{Hm + l_1 + l_3}{t} \tag{3.5}$$

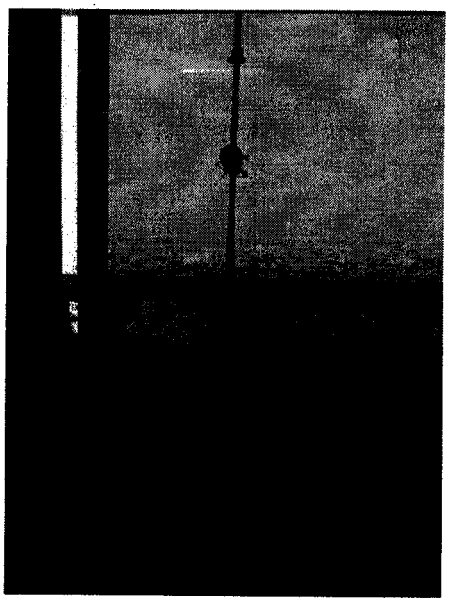
เมื่อ H = ค่าความร้อนของกรดเบนโซอิก (6,318 แคลอรี/กรัม)

m = มวลของกรดเบนโซอิก (กรัม)

l_1 = ปริมาณของโซเดียมคาร์บอเนต (มิลลิลิตร)

l_3 = 2.3 × ความยาวของลวดนิโครมที่ถูกเผาไหม้

t = อุณหภูมิสุดท้าย – อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)



ภาพที่ 3.3 เครื่อง Parr Oxygen Bomb Calorimeter

3.1.2.4 การวัดจุดวาบไฟ (Flash point) และจุดติดไฟ (Fire point)

ใช้วิธีการวัดตามมาตรฐาน ASTM D92 โดยจุดวาบไฟคืออุณหภูมิต่ำสุดของของเหลวที่ไอของมันเกิดติดไฟและดับทันที จุดนี้หาได้จากค่อยๆให้ความร้อนแก่น้ำมันพอถึงอุณหภูมิๆหนึ่งจะเกิดเปลวไฟกวาดไปบนพื้นผิวหน้าน้ำมันวาบหนึ่งและก็ดับ ส่วนจุดติดไฟคืออุณหภูมิต่ำสุดที่ไอน้ำมันเกิดการติดไฟ และติดอยู่ได้ไม่ต่ำกว่า 5 วินาที

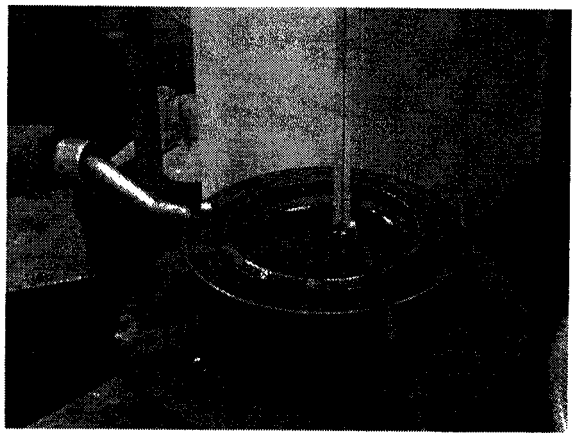
1) อุปกรณ์ที่ใช้

(1) เครื่องทดสอบหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟ (ดังภาพที่ 3.4)

(2) ถังก๊าซที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับติดหัวพ่นไฟ

2) วิธีการทดลอง

ล้างภาชนะสำหรับใส่น้ำมันให้สะอาด ก่อนนำมาใส่น้ำมันตัวอย่าง บรรจุน้ำมันตัวอย่างที่จะหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟ จนถึงขีดระดับที่กำหนดวางถ้วยน้ำมันลงบนตัวทำความร้อนจากนั้นทำการเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตราเร็วคงที่อย่างช้าๆประมาณ 5-6 องศาเซลเซียสต่อนาทีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียสให้แหย่เปลวไฟลงไปบนผิวหน้าของน้ำมัน สังเกตจุดวาบไฟ โดยมีเปลวไฟเกิดขึ้นและบันทึกอุณหภูมินั้นๆเป็นจุดวาบไฟส่วนจุดติดไฟให้สังเกตดูว่าเมื่อแหย่เปลวไฟลงไปบนผิวหน้าของน้ำมัน แล้วน้ำมันเกิดการลุกติดไฟให้บันทึกอุณหภูมินั้นๆเป็นจุดติดไฟ



ภาพที่ 3.4 เครื่องทดสอบหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟ

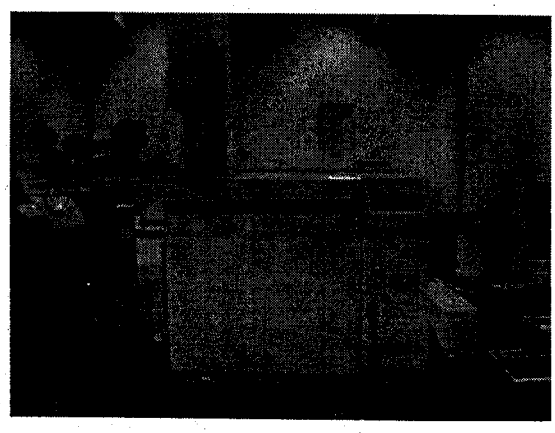
3.1.2.5 การหาเลขซีเทน (Cetane Index)

ใช้วิธีการวัดตามมาตรฐาน ASTM D1250 ดัชนีซีเทนได้จากการคำนวณที่ต้องอาศัยผลการวิเคราะห์อุณหภูมิการกลั่นที่ร้อยละ 50 หรือจุดกลางของการเดือด (Mid Boiling Point) จากการกลั่นด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC) ดังในภาพที่ 3.5 และความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 15.6°C แล้วนำมาแทนค่าต่างๆในสูตรที่ 3.6 จะได้ค่าดัชนีซีเทนจากการคำนวณ (Calculated Cetane Index) หรืออ่านได้จากกราฟภาพที่ 3.6

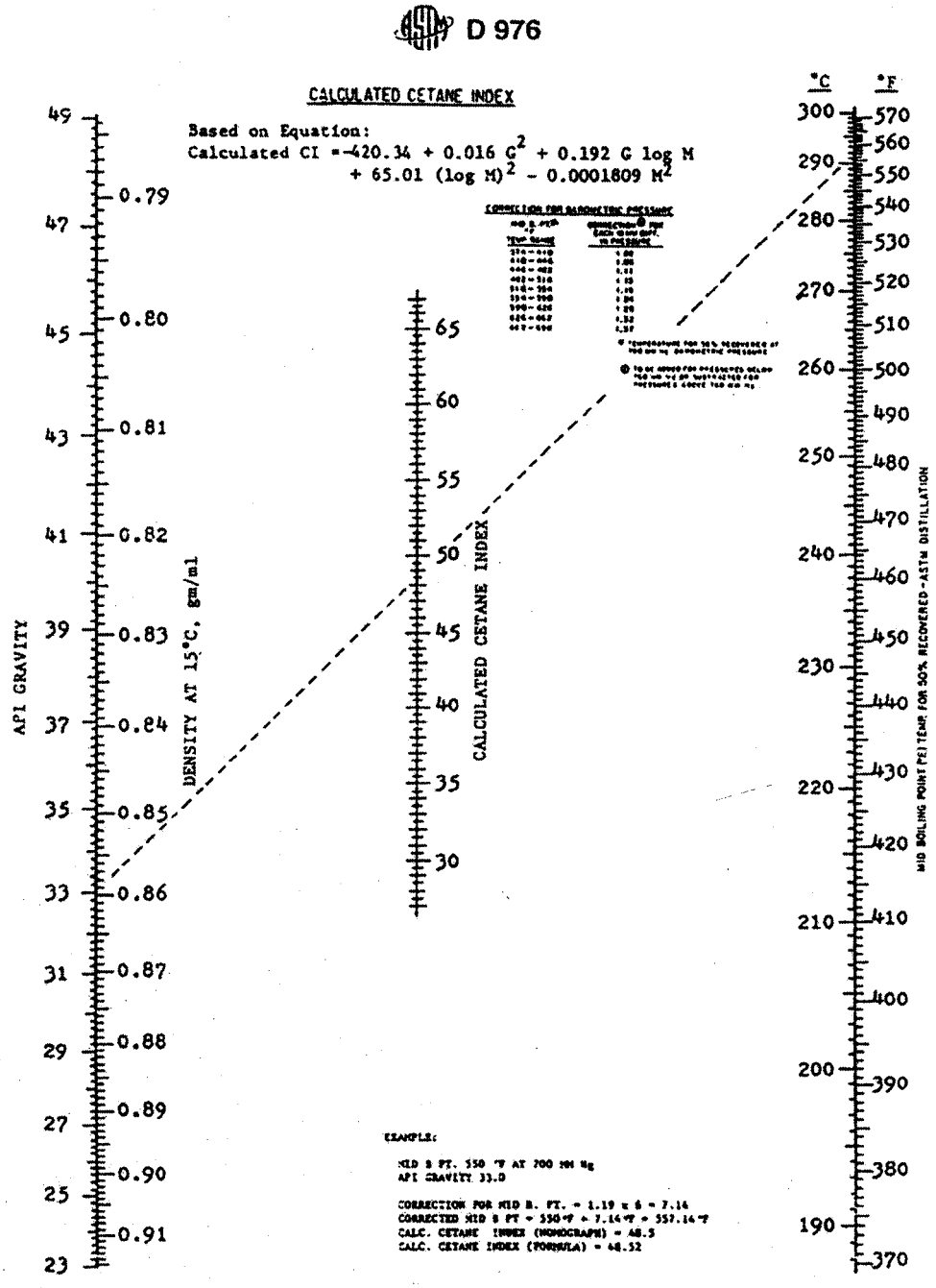
$$\text{Cetane Index} = -420.34 + 0.016G^2 + 0.192\ G\log M + 65.01\ (\log M)^2 - 0.0001809M^2 \qquad (3.6)$$

เมื่อ M = Mid Boiling Point (F)

G = ความถ่วง API



ภาพที่ 3.5 เครื่อง Gas Chromatography



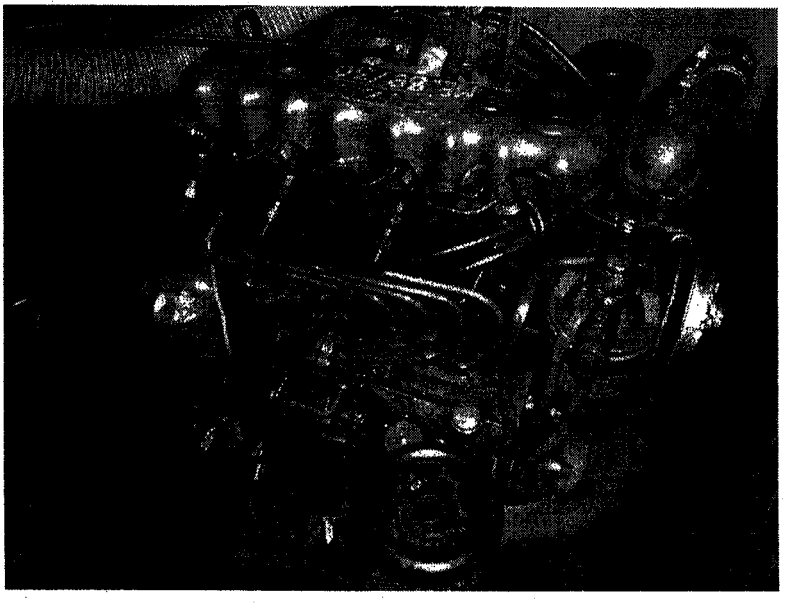
ภาพที่ 3.6 กราฟความสัมพันธ์ของ ความถ่วง AIP กับความหนาแน่น และ Mid Boiling Point กับเลขซีเทน

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ

3.2.1 เครื่องยนต์สำหรับการทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบหาสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องยนต์ดีเซล 2 ขนาด คือเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง (Direct Injection) ขนาด 4 สูบ และเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง (Direct Injection) ขนาด 1 สูบ เพื่อต้องการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆกับเครื่องยนต์ทั้งสองขนาดต่อสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ โดยเครื่องยนต์ทั้งสองขนาดที่ใช้ในการทดสอบนี้ ผ่านการใช้งานมาแล้วแต่ไม่มีการปรับแต่งหรือดัดแปลงเครื่องยนต์แต่ประการใด ซึ่งการทดสอบหาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆกับเครื่องยนต์แบบฉีดตรง (Direct Injection) ขนาด 4 สูบ นั้น ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ยี่ห้อ ISUZU รุ่น EFL 250 TRUCK ขนาดความจุกระบอกสูบของเครื่องยนต์ 2,369 ซี.ซี. ดังแสดงในภาพที่ 3.7 โดยมีรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ดังแสดงในตารางที่ 3.3

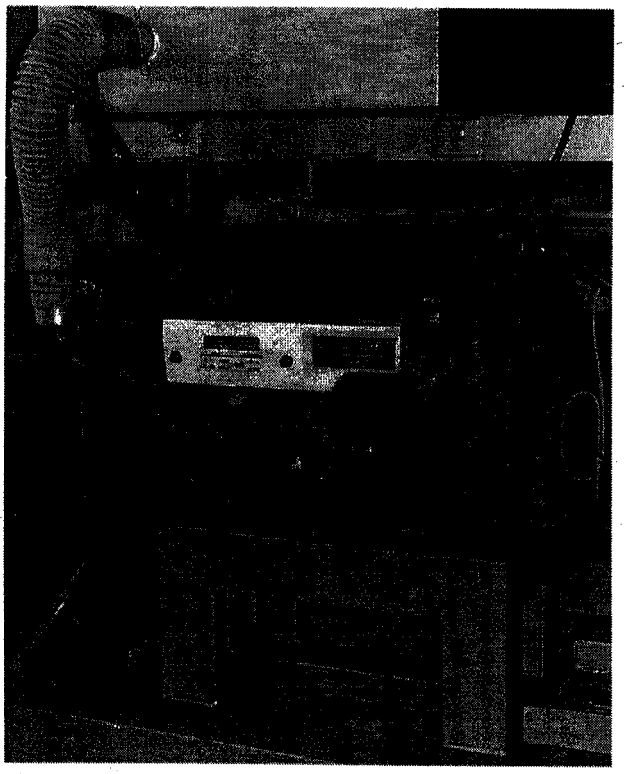
ในส่วนของการทดสอบหาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ กับเครื่องยนต์แบบฉีดตรง (Direct Injection) ขนาด 1 สูบ นั้นใช้เครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรขนาดเล็กยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น D-800 ขนาดความจุกระบอกสูบของเครื่องยนต์ 411 ซี.ซี. ดังแสดงในภาพที่ 3.8 โดยมีรายละเอียดของเครื่องยนต์ ดังแสดงในตารางที่ 3.4



ภาพที่ 3.7 เครื่องยนต์ดีเซล ISUZU รุ่น EFL 250 TRUCK ที่ใช้ทดสอบ

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ ISUZU รุ่น EFL 250 TRUCK [35]

เครื่องยนต์	ISUZU
รุ่น	EFL 250 Truck
จำนวนลูกสูบ	4
ขนาดกระบอกสูบ x ช่วงชัก	86 x 102 mm.
ปริมาตรกระบอกสูบ	2369 cc.
แรงม้าสูงสุด	74/3800 BHU/rpm
แรงบิดสูงสุด	16/2000 kg.m/rpm
อัตราส่วนการอัด	20:1
ห้องเผาไหม้	Swirl chamber
ความเร็วเดินเบา	700 rpm
ระบบระบายความร้อน	ด้วยน้ำ



ภาพที่ 3.8 เครื่องยนต์ดีเซล MITSUBISHI รุ่น D-800 ที่ใช้ทดสอบ

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ MITSUBISHI รุ่น D-800 [36]

เครื่องยนต์	มิตซูบิชิ (Mitsubishi Diesel Engine)
รุ่น	D-800
จำนวนลูกสูบ	1
ขนาดกระบอกสูบ × 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

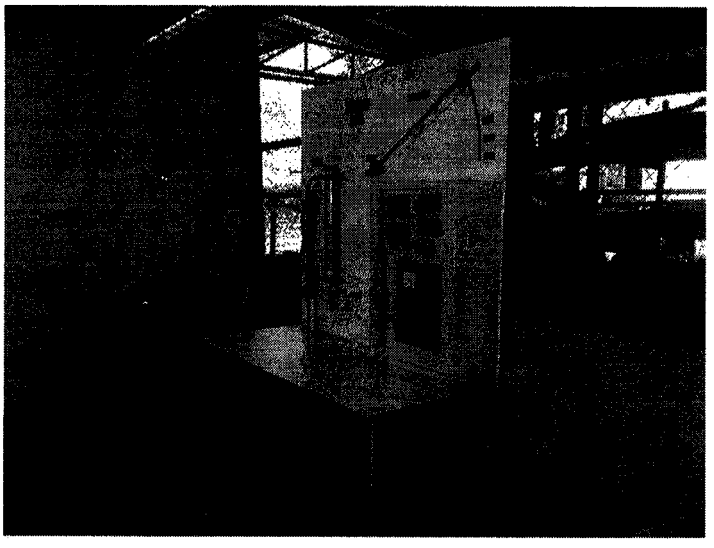
3.2.2 ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องยนต์ในการทดสอบ 2 ขนาด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ 2 ชุด ประกอบด้วยชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 4 สูบ (MT 504 Engine Dynamometer Multi Cylinders) สำหรับใช้เป็นชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ห้องปฏิบัติการด้านวิศวกรรมยานยนต์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 1 สูบ (Engine Research Test Bed) สำหรับเป็นชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียานยนต์ ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยมีรายละเอียดของชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ชุดดังนี้

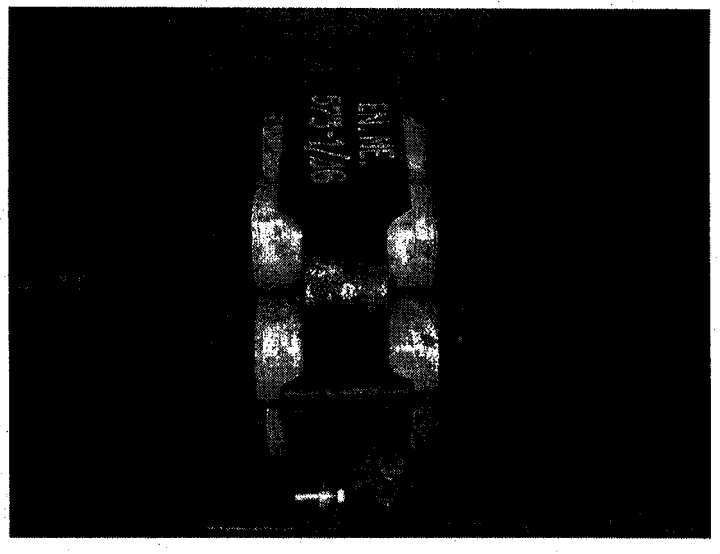
3.2.2.1 ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ

ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 4 สูบ (MT 504 Engine Dynamometer Multi Cylinders) ดังแสดงในภาพที่ 3.9 ประกอบด้วยไดนาโมมิเตอร์ สำหรับวัดแรงบิดในเครื่องยนต์ แบบ Eddy Current ยี่ห้อ MPX-5 ดังแสดงในภาพที่ 3.10 ที่สามารถปรับภาระงาน (Load) ให้กับเครื่องยนต์ได้โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าให้เกิดการหนี่ยวนำที่สนามแม่เหล็กในไดนาโมมิเตอร์ โดยไดนาโมมิเตอร์จะถูกต่อตรงเข้ากับเพลาของเครื่องยนต์ มีรอบการทำงานเท่ากับรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งไดนาโมมิเตอร์จะทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงบิดจากเครื่องยนต์ไปยังอุปกรณ์วัดแรงบิด (Strain-Gauge Load Cell) ซึ่งค่าแรงบิดจะสามารถอ่านได้จากหน้าจอแสดงผลบริเวณกล่อง

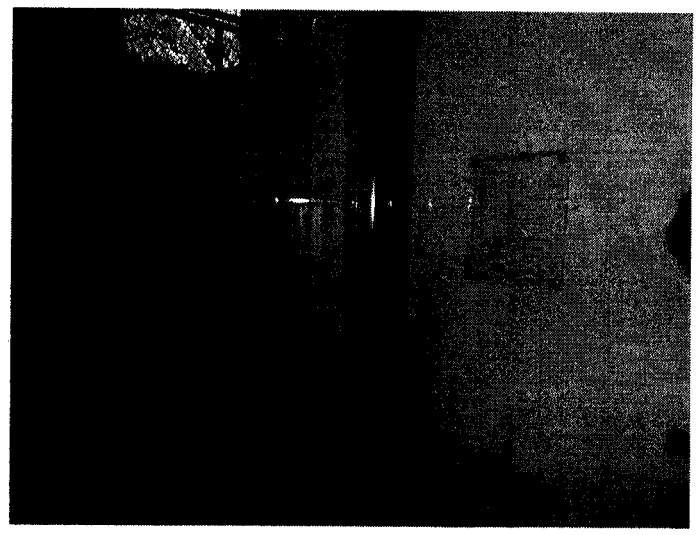
ควบคุมของชุดทดสอบสรรถนะเครื่องยนต์ ส่วนอุปกรณ์วัดการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงถูกติดตั้งในชุดทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 3.11 เป็นหลอดแก้วขนาด 800 มิลลิลิตร โดยการวัดปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ใช้ไปขณะเครื่องยนต์ทำงานต่อระยะเวลา ซึ่งในการทดสอบนี้ทำการจับเวลาที่เครื่องยนต์ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหมดไป 40 มิลลิลิตร



ภาพที่ 3.9 ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ 4 สูบ MT 504 Engine Dynamometer Multi Cylinders

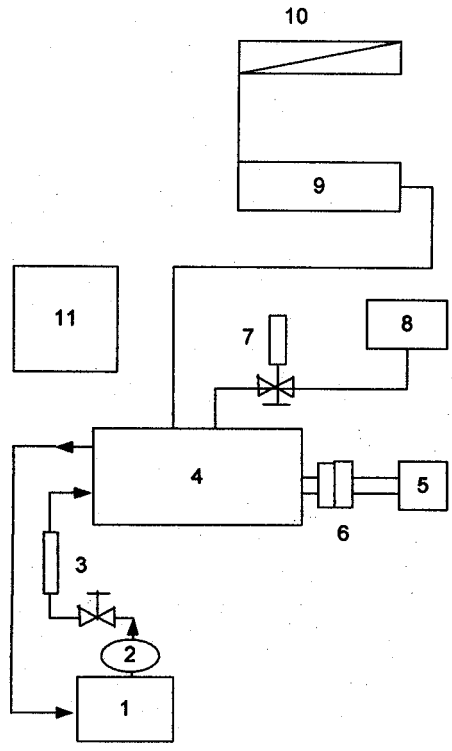


ภาพที่ 3.10 ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 3.11 อุปกรณ์วัดการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

โดยที่ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบมีรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆดังแสดงในภาพที่ 3.12

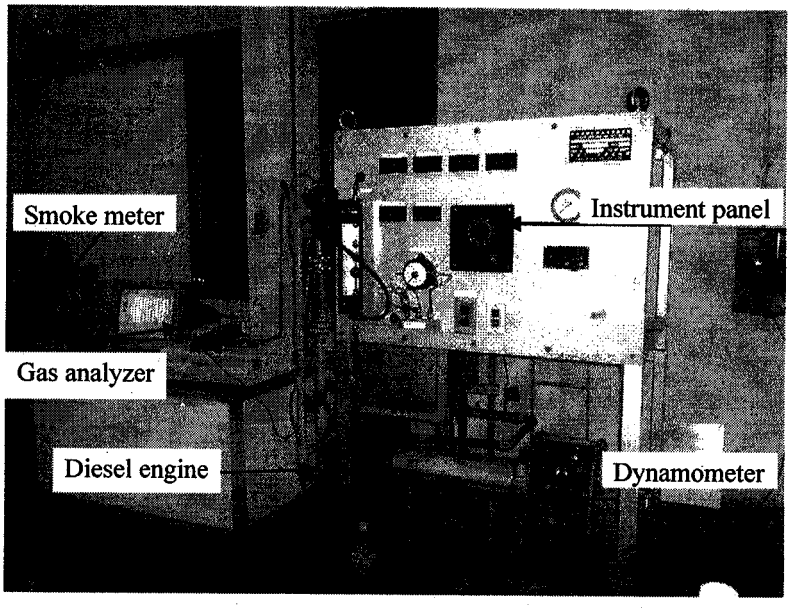


1. Cooling water tank
2. Water pump
3. Rotameter measuring for inlet water of engine
4. Engine
5. Dynamometer
6. Speed sensor
7. Graduate Cylinder for fuel consumption measurement
8. Fuel tank
9. Air box
10. Inclined Manometer
11. Control panel housing indicators for speed, torque, temperature, amp meter, starting switch and other.

ภาพที่ 3.12 รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ของชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ

3.2.2.2 ทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ

ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลแบบ Engine Research Test Bed ซึ่งมีไดนาโมมิเตอร์ชนิดที่เรียกว่า Eddy Current Dynamometer ซึ่งสามารถปรับภาระงาน (Load) ให้กับเครื่องยนต์ได้ ต่อพ่วงกับเพลาของเครื่องยนต์ โดยมีอุปกรณ์วัดแรงบิดและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (Strain Gauge Load Cell and Tachometer) ที่แสดงผลแบบดิจิตอลเป็นตัววัดค่า โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆดังแสดงในภาพที่ 3.13

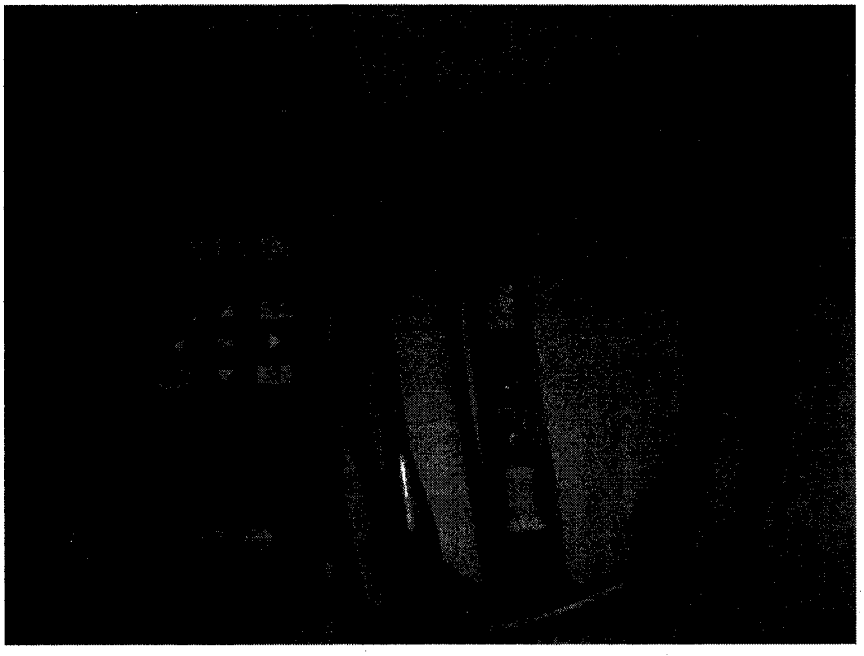


ภาพที่ 3.13 ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ 1 สูบ Engine Research Test Bed

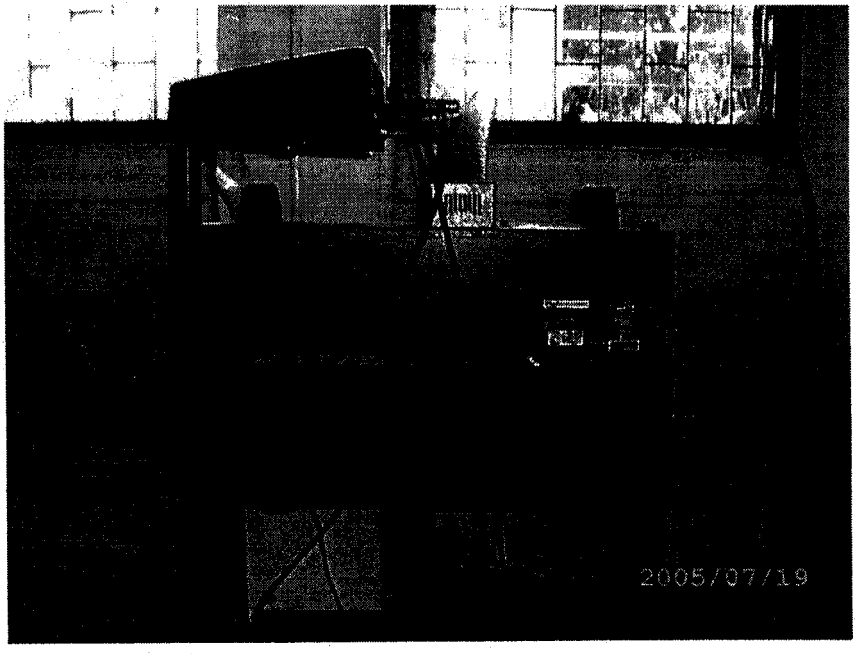
3.2.3 เครื่องวัดควันดำและสารมลพิษจากไอเสียเครื่องยนต์

เครื่องมือและอุปกรณ์วัดสารมลพิษจะใช้เครื่องวัดยี่ห้อ TESTO รุ่น 300 M-I ในการวัดค่าปริมาณสารมลพิษ ซึ่งได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), และออกไซด์ไนตริก (NO_x) ที่เกิดจากการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 4 สูบ และ 1 สูบ ดังแสดงในภาพที่ 3.14 ในส่วนปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ปล่อยออกมา สำหรับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก 1 สูบ ใช้เครื่องวัดปริมาณควันดำ (Smoke Meter) ยี่ห้อ EKOS รุ่น MOD.9000 ดังแสดงภาพที่ 3.15 ซึ่งใช้ระบบวัดความทึบแสง แบบไหลผ่านบางส่วน (Partial Flow Opacity) มาตรฐานในการวัดค่าควันดำใช้มาตรฐาน EEC และอ้างอิงจากประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าควันดำจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ส่วนเครื่องวัดปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ 4 สูบ ใช้เครื่องวัดปริมาณควันใน

ไอเสียของเครื่องยนต์แบบ Fumometro Smokemeter ยี่ห้อ TECNO TEST รุ่น 490 ซึ่งเป็นเครื่องวัดควันดำชนิดวัดความเข้มของแสงโดยใช้หลอดไฟฮาโลเจน ดังแสดงในภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.14 เครื่องมือวัดค่าสารมลพิษจากเครื่องยนต์



ภาพที่ 3.15 เครื่องวัดปริมาณควันดำ (Smoke Meter) ยี่ห้อ EKOS รุ่น MOD.9000

ภาพที่ 3.16 เครื่องวัดปริมาณควันดำ (Smoke Meter) ยี่ห้อ TECNO TEST รุ่น 490

3.3 วิธีการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลสมรรถนะและสารมลพิษ

3.3.1 การทดสอบหาสมรรถนะและสารมลพิษของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ

3.3.1.1 ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง และไส้กรองอากาศ ที่ระยะเริ่มต้นของการทดสอบ

3.3.1.2 ทำการตรวจสอบสภาพรอบๆของเครื่องยนต์ สังเกตดูสภาพชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ ว่าชำรุดหรือไม่ หรือมีการรั่วของน้ำมันหล่อลื่น, น้ำมันเชื้อเพลิง, น้ำหล่อเย็น ฯลฯ ถ้ามีจำเป็นต้องทำการแก้ไขเพื่อให้เครื่องยนต์พร้อมใช้ในการทดสอบ

3.3.1.3 ก่อนที่จะเริ่มทำการทดสอบ ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของอากาศ ของบริเวณที่ทำการทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงค่าที่แท้จริงของอุณหภูมิ ความหนาแน่นของอากาศและความชื้นสัมพัทธ์

3.3.1.4 ก่อนทำการทดสอบจะต้องมีการอุ่นอุปกรณ์การวัดต่างๆให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้อุณหภูมิของชิ้นส่วนต่างๆโดยเฉพาะอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับอิเลคทรอนิคให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิทำงานเสียก่อน

3.3.1.5 ติดเครื่องยนต์ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที โดยให้เครื่องยนต์ทำงานที่รอบเดินเบาจากนั้นจึงเร่งเครื่องให้รอบเพิ่มขึ้นสลับกับรอบเบา เพื่อทำการอุ่นเครื่องยนต์ หรือเพื่อให้

อุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ น้ำหล่อเย็นและน้ำมันหล่อลื่นมีอุณหภูมิที่อุณหภูมิทำงานเสียก่อนเพื่อความพร้อมในการทำการทดสอบ

3.3.1.6 เมื่อเครื่องยนต์และอุปกรณ์การวัดค่าต่างๆอยู่ในสภาวะการทำงานแล้วให้เริ่มทำการเก็บค่าโดยเร่งรอบของเครื่องยนต์ไปที่ความเร็วรอบสูงสุดที่เครื่องยนต์จะทำได้ (Full load) ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้น

3.3.1.7 ทำการปรับโหลดของไดนาโมมิเตอร์เพื่อเพิ่มภาระให้แก่เครื่องยนต์ให้ได้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตามที่จะทำการทดสอบซึ่งได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 4,000, 3,500, 3,000, 2,500, 2,000, 1,500 และ 1,000 รอบต่อนาที รอจนกระทั่งเครื่องยนต์มีสภาวะการทำงานคงที่ จึงเริ่มบันทึกค่าต่างๆ โดยทำการบันทึกค่าแรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และทำการวัดปริมาณสารมลพิษที่แรงบิดสูงสุดที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาทีสำหรับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ จากนั้นทำการปลดภาระของเครื่องยนต์ออกให้หมดแล้วปรับคันเร่งของเครื่องยนต์ให้อยู่ที่รอบเดินเบาแล้วทำการวัดค่าปริมาณควันดำจากไอเสียเครื่องยนต์ โดยเร่งเครื่องยนต์จากรอบต่ำขึ้นสู่รอบสูงสุดประมาณ 3 วินาที ทำแบบนี้จำนวน 5 ครั้ง

3.3.1.8 เมื่อทำการทดสอบน้ำมันตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะทำการทดสอบน้ำมันตัวอย่างชนิดต่อไป จะต้องเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงใหม่หรือล้างทุกครั้งเพื่อกำจัดน้ำมันตัวอย่างก่อนหน้านี้ที่ตกค้างอยู่

3.3.1.9 เมื่อต้องการทดสอบเชื้อเพลิงชนิดอื่นให้เปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงชนิดอื่นแล้วทำซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3.3.1.1-3.3.1.7

3.3.1.10 เมื่อทำการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงจนครบ 5 ตัวอย่างแล้ว ก็ทำการทดสอบซ้ำแบบเดิมอีก 2 ครั้ง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความแน่ใจกับผลการทดสอบที่ได้

3.3.2 การทดสอบหาสมรรถนะและสารมลพิษของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ

3.3.2.1 ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง และไส้กรองอากาศ ที่ระยะเริ่มต้นของการทดสอบ

3.3.2.2 ทำการตรวจสอบสภาพรอบๆของเครื่องยนต์ สังเกตดูสภาพชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ ว่าชำรุดหรือไม่ หรือมีการรั่วของน้ำมันหล่อลื่น, น้ำมันเชื้อเพลิง, น้ำหล่อเย็น ฯลฯ ถ้ามีจำเป็นต้องทำการแก้ไขเพื่อให้เครื่องยนต์พร้อมใช้ในการทดสอบ

3.3.2.3 ก่อนที่จะเริ่มทำการทดสอบ ทำการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของอากาศ ของบริเวณที่ทำการทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงค่าที่แท้จริงของอุณหภูมิ ความหนาแน่นของอากาศและความชื้นสัมพัทธ์

3.3.2.4 ก่อนทำการทดสอบจะต้องมีการอุ่นอุปกรณ์การวัดต่างๆให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้อุณหภูมิของชิ้นส่วนต่างๆ โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับอิเลคทรอนิคให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิทำงานเสียก่อน

3.3.2.5 ติดเครื่องยนต์ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที โดยให้เครื่องยนต์ทำงานที่รอบเดินเบาจากนั้นจึงเร่งเครื่องให้รอบเพิ่มขึ้นสลับกับรอบเบา เพื่อทำการอุ่นเครื่องยนต์ หรือเพื่อให้อุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ น้ำหล่อเย็นและน้ำมันหล่อลื่นมีอุณหภูมิที่อุณหภูมิทำงานเสียก่อนเพื่อความพร้อมในการทำการทดสอบ

3.3.2.6 เมื่อเครื่องยนต์และอุปกรณ์การวัดค่าต่างๆอยู่ในสภาวะการทำงานแล้วให้เริ่มทำการเก็บค่าโดยเร่งรอบของเครื่องยนต์ไปที่ความเร็วรอบสูงสุดที่เครื่องยนต์จะทำได้ (Full load) ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้น

3.3.2.7 ทำการปรับโหลดของไดนาโมมิเตอร์เพื่อเพิ่มภาระให้แก่เครื่องยนต์ให้ได้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตามที่จะทำการทดสอบซึ่งได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2,400, 2,200, 2,000, 1,800, 1,600, 1,400, และ 1,200 รอบต่อนาที รอจนกระทั่งเครื่องยนต์มีสภาวะการทำงานคงที่ จึงเริ่มบันทึกค่าต่างๆ โดยทำการบันทึกค่าแรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และทำการวัดปริมาณสารมลพิษที่กำลังสูงสุดที่ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาทีสำหรับเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ จากนั้นทำการปลดภาระของเครื่องยนต์ออกให้หมดแล้วปรับคันเร่งของเครื่องยนต์ให้อยู่ที่รอบเดินเบาแล้วทำการวัดค่าปริมาณควันดำจากไอเสียเครื่องยนต์ โดยเร่งเครื่องยนต์จากรอบต่ำขึ้นสู่รอบสูงสุดประมาณ 3 วินาที ทำแบบนี้จำนวน 5 ครั้ง

3.3.2.8 เมื่อทำการทดสอบน้ำมันตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะทำการทดสอบน้ำมันตัวอย่างชนิดต่อไป จะต้องเปลี่ยนไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงใหม่หรือล้างทุกครั้งเพื่อกำจัดน้ำมันตัวอย่างก่อนหน้านี้ที่ตกค้างอยู่

3.3.2.9 เมื่อต้องการทดสอบเชื้อเพลิงชนิดอื่นให้เปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงชนิดอื่นแล้วทำซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 3.3.2.1-3.3.2.7

3.3.1.10 เมื่อทำการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงจนครบ 5 ตัวอย่างแล้ว ก็ทำการทดสอบซ้ำแบบเดิมอีก 2 ครั้ง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความแน่ใจกับผลการทดสอบที่ได้

บทที่ 4
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดสอบโดยเรียงตามลำดับขั้นตอนของวิธีการทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย ผลการทดสอบสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ผลการทดสอบสารมลพิษของเครื่องยนต์ รวมถึงการวิเคราะห์หาราคาต้นทุนต่อลิตรของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล เพื่อประกอบการตัดสินใจในการนำเชื้อเพลิงดังกล่าวไปใช้งานจริงต่อไป โดยมีรายละเอียดของหัวข้อต่างๆดังนี้

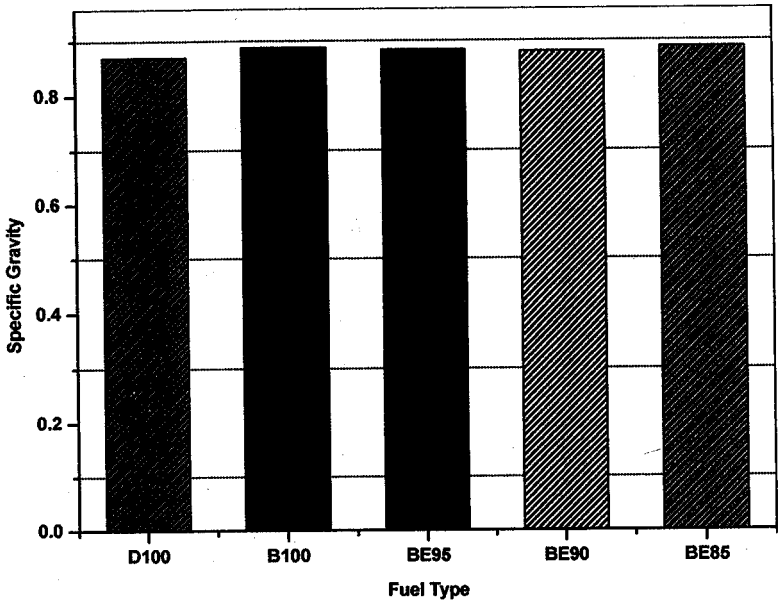
4.1 ผลการทดสอบสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

เมื่อนำน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบกับเครื่องยนต์ 5 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดีเซล (D100), น้ำมันไบโอดีเซล (B100), และน้ำมันไบโอดีเซลผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วน 5 (BE95), 10 (BE90) และ 15 (BE85) เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ไปทำการทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาค่าสมบัติทางกายภาพการเป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ ค่าความหนืด, ค่าความถ่วงจำเพาะ, จุดวาบไฟ, จุดติดไฟ, ดัชนีซีเทน และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

สมบัติ	มาตรฐาน	ชนิดของเชื้อเพลิง				
		D100	B100	BE95	BE90	BE85
ค่าความถ่วงจำเพาะ	ASTM D1298	0.87	0.888	0.884	0.880	0.887
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

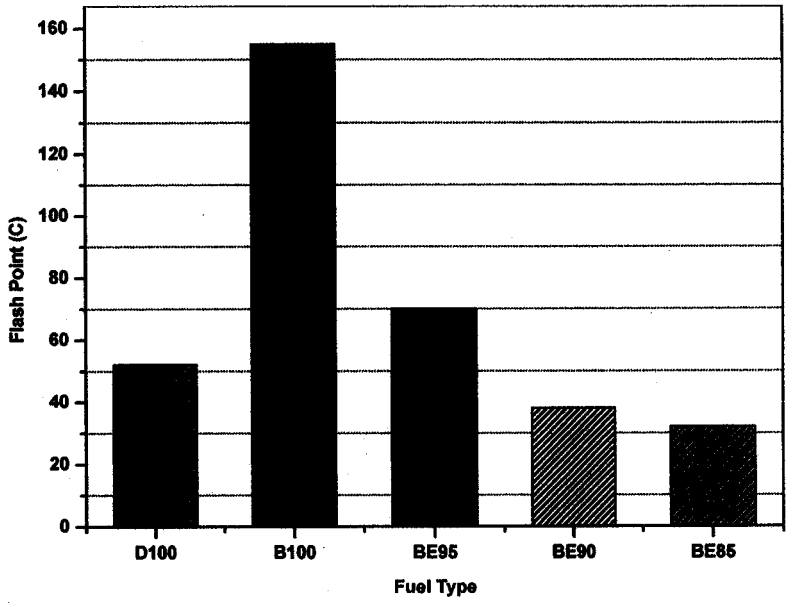
และ 31.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล แต่เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลแล้วยังมีค่าความหนืด สูงกว่าน้ำมันดีเซลอยู่ประมาณ 26.91, 15.29 และ 7.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาดูที่อัตราส่วนของเอทานอลที่นำมาผสม พบว่าเอทานอลที่อัตราส่วน 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร มีค่าความหนืดของน้ำมันเมื่อผสม เป็น 4.43 cSt ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลที่เกณฑ์มาตรฐาน (4.1 cSt) ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการฉีดพ่นกระจายเป็นฝอยของน้ำมันในห้องเผาไหม้สามารถทำได้ดีขึ้น



ภาพที่ 4.2 ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

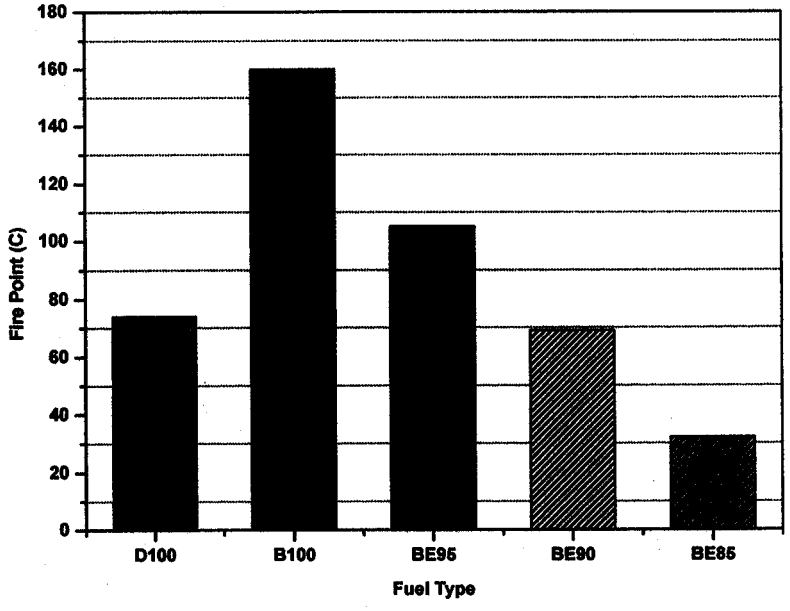
ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเป็นตัวบ่งบอกถึงความหนาแน่นของน้ำมัน ณ อุณหภูมิ 60F (15.6°C) ซึ่งเป็นค่าตัวแปรตัวหนึ่งที่มีผลต่อการจุดติดของเครื่องยนต์ โดยที่ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซล (B100) และไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 5 (BE95), 10 (BE90) และ 15 (BE85) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล (D100) มาก โดยน้ำมันไบโอดีเซลจะมีค่าความถ่วงจำเพาะ มากกว่าเล็กน้อยเพียง 2.03 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร มีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล 1.6, 1.15 และ 2.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.2 และมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับปริมาณเอทานอลในน้ำมันผสมเป็นเส้นตรงแสดงในภาพที่ 4.5 เมื่อเทียบค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซล และไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร กับเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วปรากฏว่ามีค่าสูง

กว่าเกณฑ์มาตรฐานเล็กน้อย โดยเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ 0.81-0.87 และมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนช้าที่กำหนดไว้ต้องไม่สูงกว่า 0.92

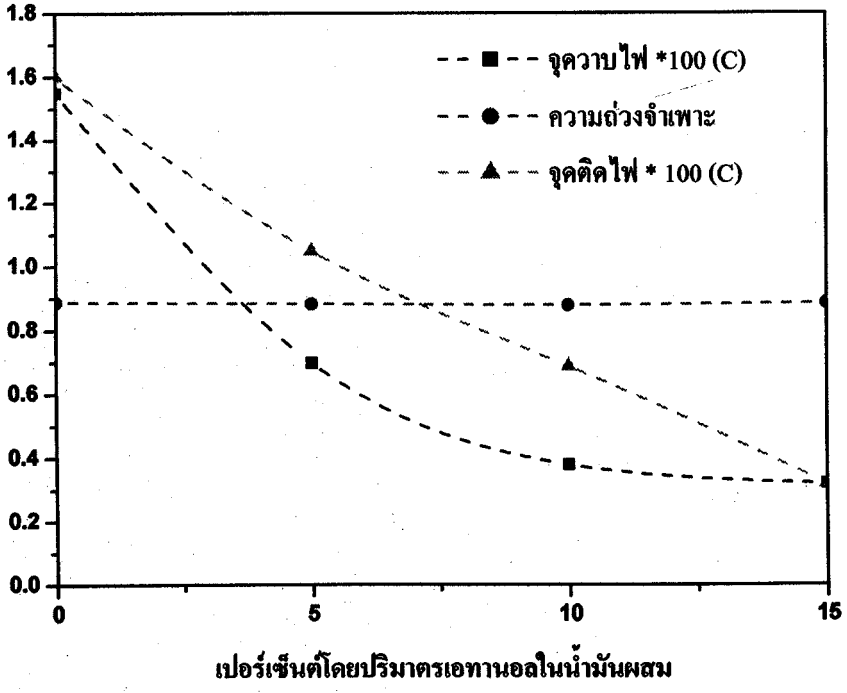


ภาพที่ 4.3 จุดวาบไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล

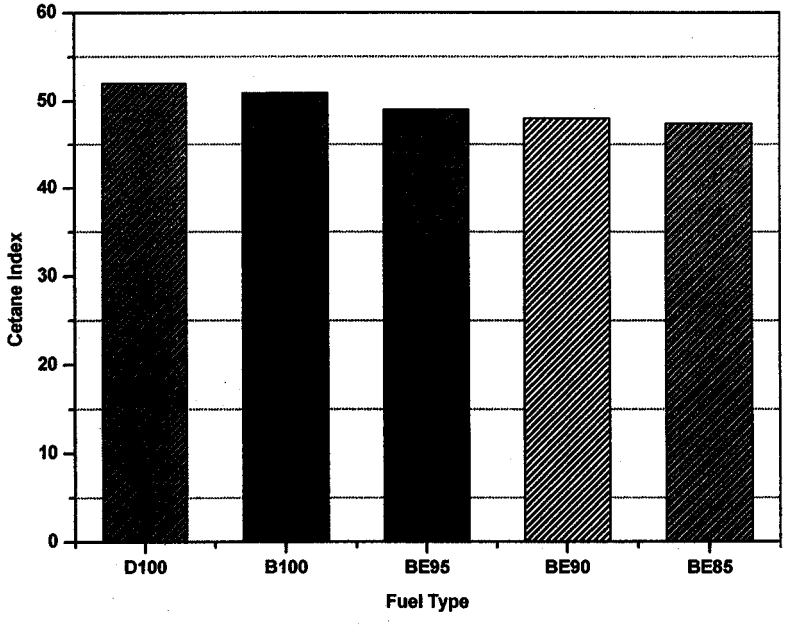
จุดวาบไฟและจุดติดไฟ ไม่มีผลอย่างไรต่อการให้กำลังของเครื่องยนต์แต่เป็นตัวบ่งบอกถึง ความปลอดภัยเมื่อมีการกักเก็บหรือขนถ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ตามมาตรฐานของกระทรวงพาณิชย์ น้ำมันควรมีจุดวาบไฟไม่ต่ำกว่า 52 ถ้าน้ำมันมีจุดวาบไฟต่ำกว่านี้จะทำให้น้ำมันกลายเป็นไอได้ง่าย ซึ่งสามารถจุดระเบิดเองได้ในช่วงการกักเก็บหรือขนถ่าย จากภาพที่ 4.3 และ 4.4 แสดงจุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าจุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีค่า 150 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าน้ำมันดีเซล 3 เท่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (มีค่าไม่ต่ำกว่า 52 องศาเซลเซียส) และผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนช้า (มีค่าไม่ต่ำกว่า 52 องศาเซลเซียส) ส่วนของจุดติดไฟของน้ำมันไบโอดีเซลนั้น มีค่ามากว่าน้ำมันดีเซล 2.16 เท่า แสดงให้เห็นว่าการกักเก็บและขนถ่ายน้ำมันไบโอดีเซลจะปลอดภัยกว่ากรณีของน้ำมันดีเซล ส่วนการผสมน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเอทานอลจะทำให้จุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำมันไบโอดีเซลลดลงมากโดยขึ้นอยู่กับร้อยละโดยปริมาตรของเอทานอลที่นำมาผสม และที่อัตราส่วนของเอทานอลร้อยละ 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ค่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟมีค่าลดลงจนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างจุดวาบไฟกับปริมาณเอทานอลในน้ำมันผสมเป็นเส้นโค้งแสดงในภาพที่ 4.5



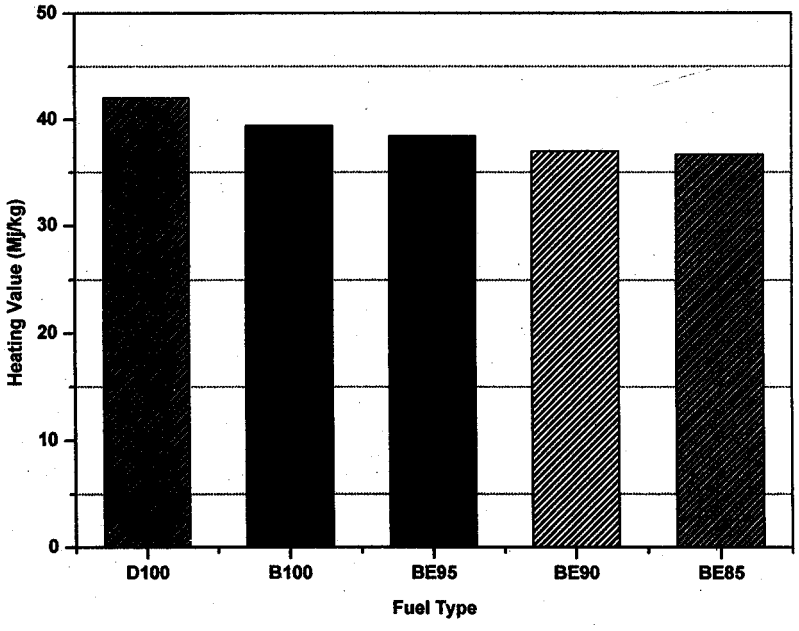
ภาพที่ 4.4 จุดติดไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล



ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง ความถ่วงจำเพาะ จุดวาบไฟ และจุดติดไฟกับเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเอทานอลในน้ำมันผสม



ภาพที่ 4.6 ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล



ภาพที่ 4.7 ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล

จากผลการทดสอบดัชนีซีเทนและค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซล น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนเอทานอลร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร และน้ำมันดีเซล ดังแสดงในภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนเอทานอลร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร มีค่าต่ำกว่า

ค่าดัชนีซีเทน ของน้ำมันดีเซลแต่มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (ไม่ต่ำกว่า 47) และผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนช้า (ไม่ต่ำกว่า 45) ซึ่งจะเป็นผลดีกับการนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์โดยจะไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์ติดยากเนื่องจากค่าดัชนีซีเทนบ่งบอกถึงคุณภาพการติดไฟของน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นการที่น้ำมันมีค่าดัชนีซีเทนสูง แสดงว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดนั้นมีคุณภาพการติดไฟสูง หรือมี Ignition Delay ต่ำ ทำให้การจุดระเบิดในเครื่องยนต์เป็นไปได้ง่าย ในส่วนของค่าความร้อนของเชื้อเพลิง พบว่าน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนเอทานอลร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร มีค่าความร้อนโดยรวมต่ำกว่าค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะไม่มีผลโดยตรงต่อการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ แต่น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนต่ำจะทำให้สิ้นเปลืองปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูง ดังนั้นการนำน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนเอทานอลร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร ไปใช้งานกับเครื่องยนต์จะต้องสิ้นเปลืองปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

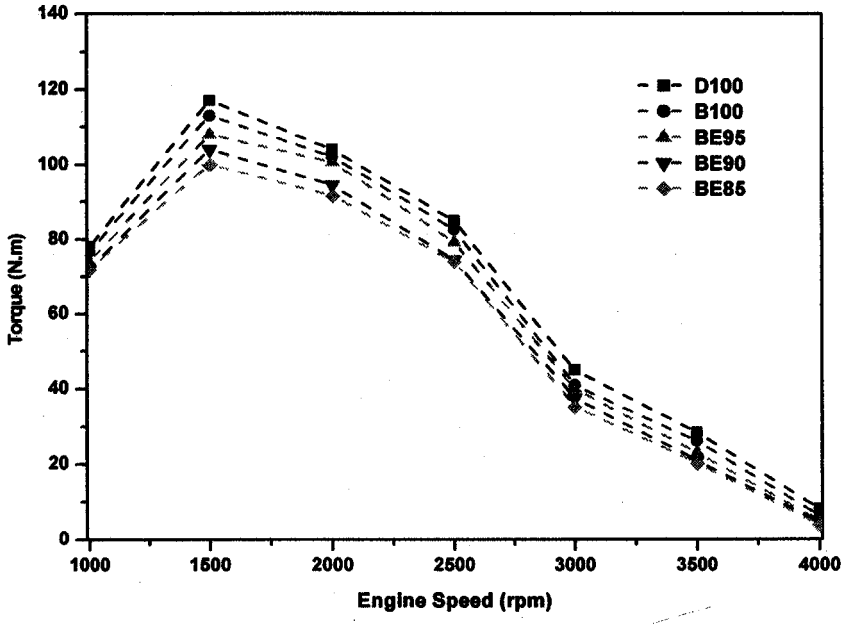
4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

การทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่างชนิดกันสามารถแสดงการเปรียบเทียบลักษณะการทำงานในลักษณะของ สมรรถนะของเครื่องยนต์ได้แก่ แรงบิด กำลังของเครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ ซึ่งค่าเหล่านี้ได้มาจากการวัดจากเครื่องยนต์โดยตรง จากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ 2 ขนาด คือ เครื่องยนต์ดีเซลขนาด 4 สูบ ยี่ห้อ ISUZU รุ่น EFL 250 TRUCK และเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 1 สูบ ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น D-800 ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหมือนกัน ได้ผลการทดสอบเป็นดังนี้

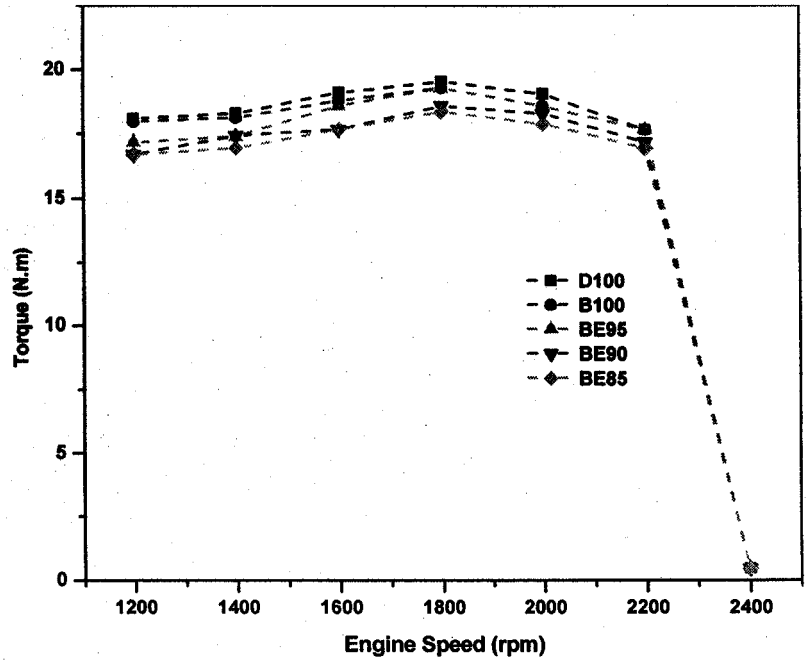
4.2.1 แรงบิด

ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิด ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตั้งแต่ 1,000-4,000 รอบต่อนาที ดังแสดงในภาพที่ 4.8 ซึ่งเป็นค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ จากการทดลองพบว่า แรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (D100) เป็นเชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นทุกรอบการทำงานของเครื่องยนต์จะมีค่าแรงบิดลดลงตามปริมาณเอทานอลที่นำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล โดยค่าแรงบิดจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จากรอบการทำงานของเครื่องยนต์ 4,000 รอบต่อนาที จนถึงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,500 รอบต่อนาที ซึ่งจะมีค่าแรงบิดสูงที่สุดและจะลดต่ำลงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,000 รอบต่อนาที เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1,500 รอบต่อนาที พบว่าค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซล

ผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) จะให้ค่าแรงบิดต่ำกว่าเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันดีเซล (D100) เป็นเชื้อเพลิงประมาณ 3.41, 7.69, 11.11 และ 14.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 แรงบิดของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบที่ความเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องยนต์



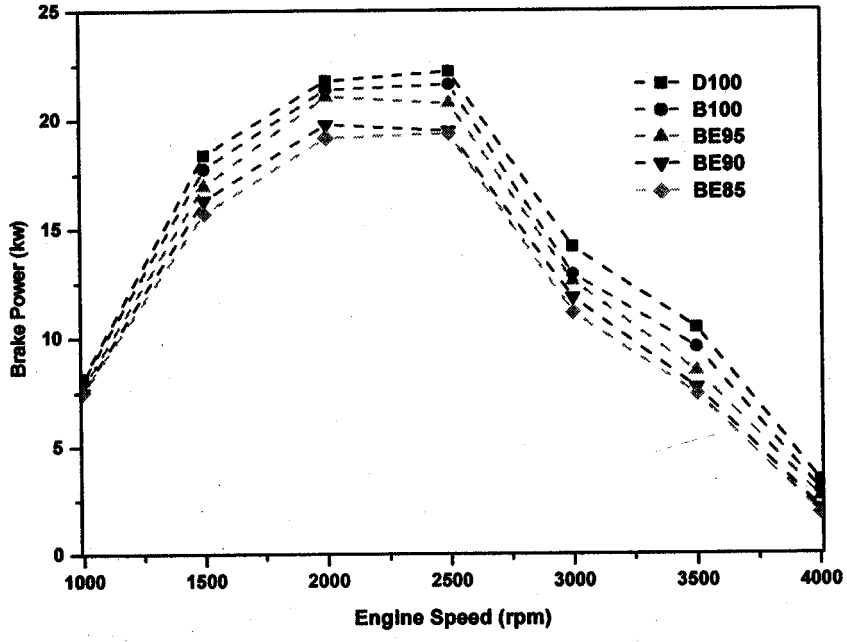
ภาพที่ 4.9 แรงบิดของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบที่ความเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องยนต์

จากภาพที่ 4.9 แสดงค่าแรงบิดของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เทียบกับรอบการทำงานของเครื่องยนต์ จากผลการทดลองพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล ให้ค่าแรงบิดและค่ากำลังของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล มีค่าต่ำกว่าไม่มากนัก โดยทุกชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที จะให้ค่าแรงบิดสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบสมรรถนะที่มาจากโรงงานผู้ผลิต เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (D100) จะให้ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) ที่ทุกรอบการทำงานของเครื่องยนต์ จากภาพที่ 4.9 ที่ความเร็วรอบ 1,900 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันดีเซล (D100) จะให้ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 1.23,1.23, 4.86 และ 6.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ข้อสังเกตจากผลการทดลองของเครื่องยนต์ทั้ง 2 ขนาด ถึงแม้ว่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบไม่ว่าจะเป็นน้ำมันไบโอดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล จะช่วยทำให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สมบูรณ์กว่าใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง แต่ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงบิดของเครื่องยนต์มากกว่าคือ ปัจจัยด้านสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงได้แก่ ค่าความร้อนในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซึ่งจากการทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิงพบว่า น้ำมันดีเซลมีค่าความร้อนของการเผาไหม้ (Heating Value) มากกว่าน้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) ประมาณ 6.19-12.6 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นที่ทุกรอบการทำงานของเครื่องยนต์น้ำมันดีเซลจึงให้ค่าแรงบิดที่ออกมามากว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่น

4.2.2 กำลังเบรก

ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และ 1 สูบ ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.10 และ 4.11 มีลักษณะเหมือนกันกับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์กล่าวคือ เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (D100) เป็นเชื้อเพลิงมีค่ากำลังเบรกสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นที่ทุกรอบการทำงานของเครื่องยนต์และจะมีค่ากำลังเบรกลดลงเรื่อยๆตามปริมาณเอทานอลที่นำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล เนื่องจากที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์เดียวกัน กำลังของเครื่องยนต์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับกับแรงบิดของเครื่องยนต์ จากภาพที่ 4.10 ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ค่ากำลังเบรกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์ลดลงจาก 4,000 รอบต่อนาที จนมีค่ากำลังเบรกสูงที่สุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,500 รอบต่อนาที และจะลดลงจนถึง

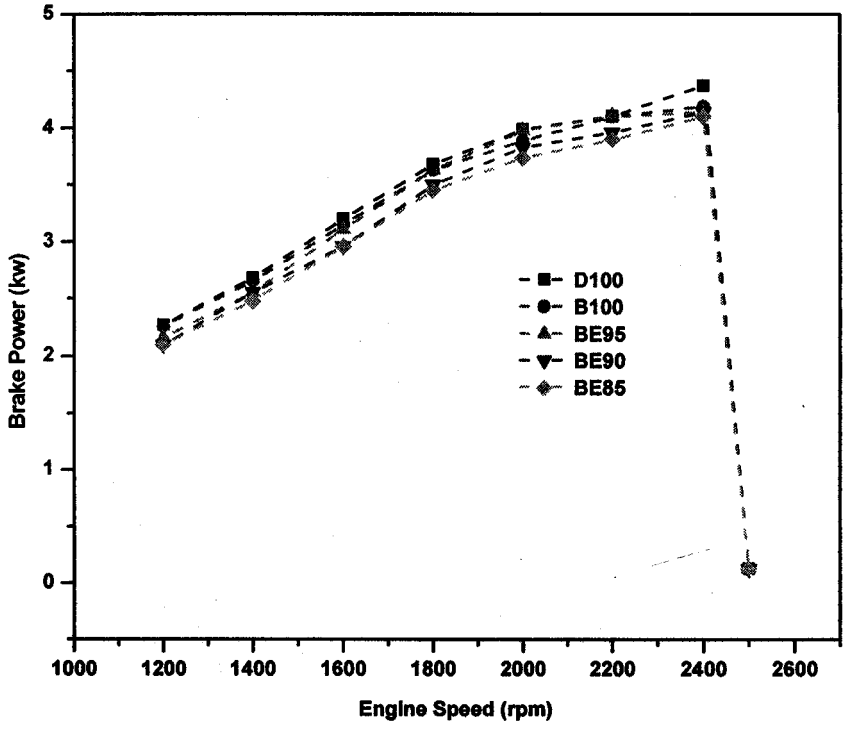
ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,000 รอบต่อนาที เมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,500 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบที่ให้ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์สูงสุด พบว่าเครื่องยนต์ทีใช้เชื้อเพลิงน้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) เป็นเชื้อเพลิง มีค่ากำลังเบรกต่ำกว่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง 2.7, 6.6, 12.29 และ 12.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 4.10 กำลังเบรกของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบที่ความเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องยนต์

ส่วนกำลังเบรกของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่รอบการทำงานต่างๆของเครื่องยนต์ แสดงไว้ในภาพที่ 4.11 จากผลการทดสอบพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล ให้ค่าแรงกำลังของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยมีค่าต่ำกว่าไม่มากนัก โดยทุกชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์ 2,400 รอบต่อนาที จะให้ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบสมรรถนะที่มาจากโรงงานผู้ผลิต เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (D100) เป็นเชื้อเพลิง พบว่าจะให้ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) เป็นเชื้อเพลิงที่ทุกรอบการทำงานของเครื่องยนต์ จากภาพที่ 4.11 ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,400

รอบต่อนาที แสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (D100) จะให้ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) ประมาณ 4.1,5.29, 5.8, และ 8.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

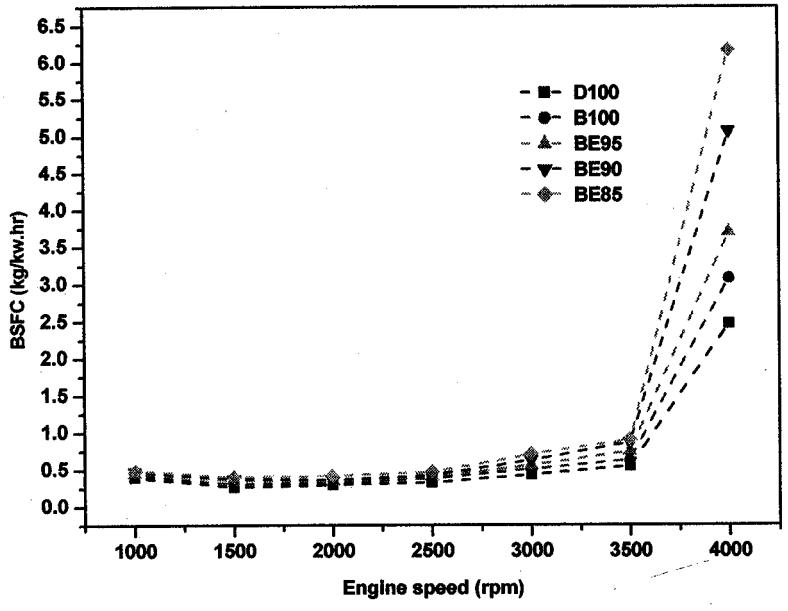


ภาพที่ 4.11 กำลังเบรกของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบที่ความเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องยนต์

4.2.3 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

จากภาพที่ 4.12 และภาพที่ 4.13 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Brake Specific Fuel Consumption, BSFC) ของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิดที่ความเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และ 1 สูบ ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์ทั้ง 2 ขนาด มีแนวโน้มอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่เหมือนกันไม่ว่าจะเป็นผลการทดลองกับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และ 1 สูบ โดยพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (D100) มีค่าต่ำที่สุด และจะมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับ เมื่อใช้ น้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90)โดยที่น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) จะมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงที่สุด ที่ทุกรอบการทำงานของ

เครื่องยนต์ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลและเอทานอลที่นำมาผสมกันให้ค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ดังนั้นในการที่เครื่องยนต์จะให้กำลังงานออกมาเท่ากันจึงต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงมากกว่า ปริมาณเอทานอลที่เพิ่มมากขึ้นในน้ำมันเชื้อเพลิงผสมจึงเป็นผลให้ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเพิ่มมากขึ้นที่ทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์



ภาพที่ 4.12 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบเทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

เมื่อพิจารณาผลการทดลองกับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ จากภาพที่ 4.12 พบว่าค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในช่วงระหว่าง 1,000-3,500 รอบต่อนาที มีค่าต่างกันไม่มากนักเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทุกชนิด โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.27-0.9 kg/kw.hr แต่ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที จะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่สูงที่สุดทั้งนี้เนื่องจากในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์จะทดสอบที่สภาวะภาระงานสูงสุดแล้วค่อยๆใส่ภาระงานให้กับเครื่องยนต์เพื่อให้ได้ความเร็วรอบตามที่ต้องการทดสอบโดยความเร็วรอบเริ่มต้นของการทดสอบจะให้กำลังเบรกของเครื่องยนต์มีค่าต่ำ ซึ่งการคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะมีความสัมพันธ์กับกำลังเบรกของเครื่องยนต์ด้วย ดังนั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 4,000 รอบต่อนาที จึงทำให้มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่สูงกว่าที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในช่วงระหว่าง 1,000-3,500 รอบต่อนาที และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ให้ค่ากำลังเบรกสูงที่สุด คือที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,500 รอบต่อนาที

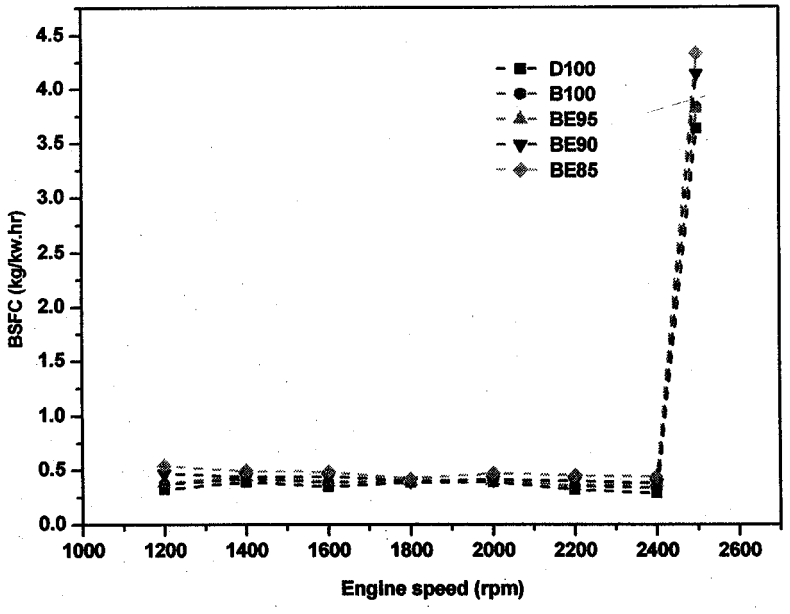
จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าน้ำมันดีเซล 18.8, 24.24, 30.30 และ 42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมันชนิดต่างๆกับน้ำมันดีเซลเป็นเปอร์เซ็นต์ที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์เดียวกัน ตามตารางที่ 4.2 จะพบว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะมีค่ามากกว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมันดีเซล และในช่วงความเร็วรอบ 1,000-2,500 รอบต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะอยู่ในช่วงระหว่าง 7.5-51.85 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3,000-4,000 รอบต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะอยู่ในช่วงระหว่าง 14.54-150.8 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 4,000 รอบต่อนาที น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 (BE90) และ 15 (BE85) เปอร์เซ็นต์ จะให้มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงมากประมาณ 106.09 และ 150.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมันชนิดต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซลที่ทดสอบกับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ

Full Load		**เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมันชนิดต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล**						
ความเร็วรอบ (RPM)		1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000
ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง	B100	7.5	14.8	6.66	18.8	15.90	14.54	25.20
	BE95	15	33.3	16.66	24.24	15.90	36.36	50.40
	BE90	20	40.74	23.3	30.30	43.18	58.18	106.09
	BE85	22.5	51.85	40	42	61.31	63.63	150.80

จากภาพที่ 4.13 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การนำน้ำมันไบโอดีเซลผสมกับเอทานอล (BE95, BE90, BE85) และ น้ำมันไบโอดีเซล (B100) มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์นั้นพบว่าทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล (D100) โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาทีซึ่งมีเหตุผล

เหมือนกันกับการทดสอบกับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบเพราะต้องขึ้นอยู่กับกำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ได้ออกมาด้วย ดังนั้นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,500 รอบต่อนาทีจึงให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าที่ความเร็วรอบอื่นๆ เพราะกำลังเบรกที่ให้ออกมามีค่าน้อย แต่ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในช่วงระหว่าง 1,200-2,400 รอบต่อนาที มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าไม่มากนัก โดยเฉลี่ยประมาณ 5.23-19.28 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมันชนิดต่างๆกับน้ำมันดีเซลเป็นเปอร์เซ็นต์ที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์เดียวกัน ตามตารางที่ 4.3 จะพบว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์จะมีค่ามากกว่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมันดีเซลเหมือนกับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ โดยอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจะอยู่ในช่วงระหว่าง 1.78-66.15 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมันดีเซล ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) จะทำให้อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมากที่สุด 66.15 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 รอบต่อนาที



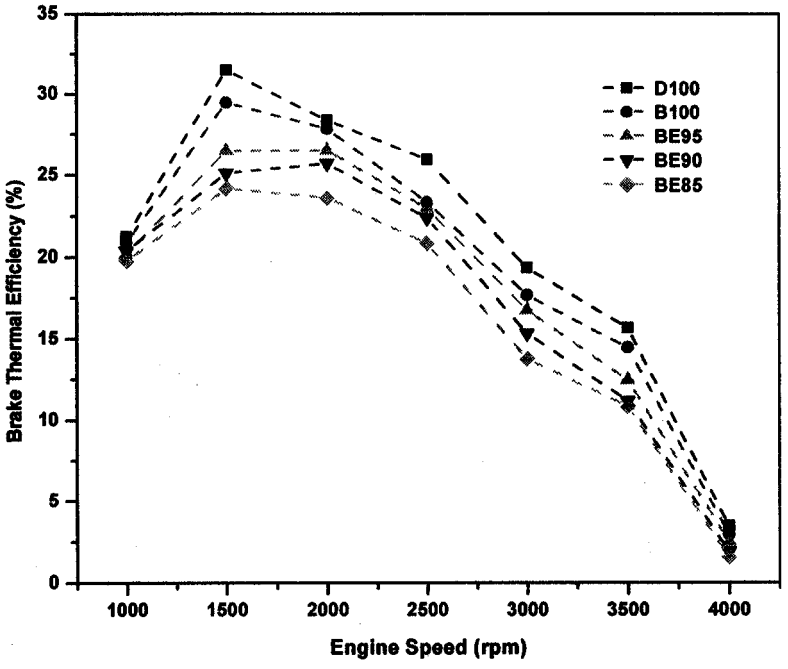
ภาพที่ 4.13 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบเทียบกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมันชนิดต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซลที่ทดสอบกับเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ

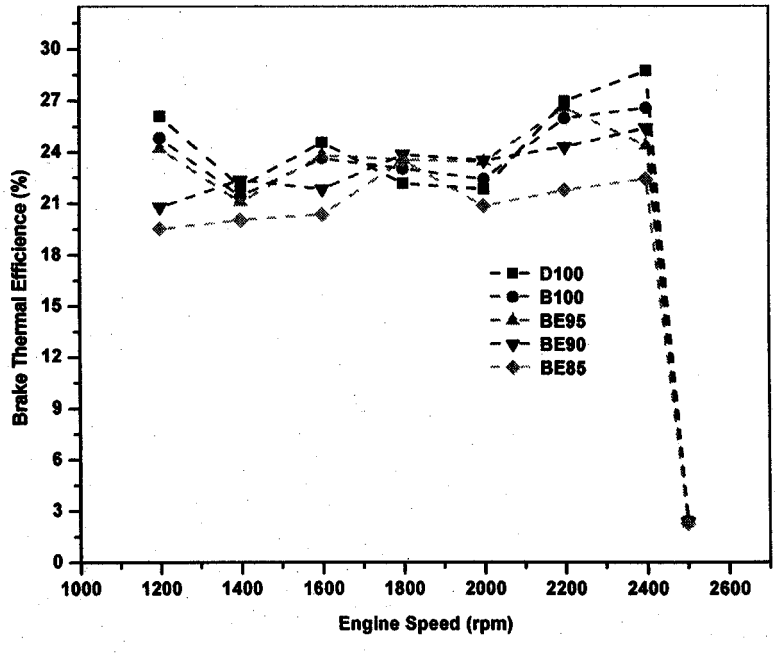
Full Load		**เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของน้ำมันชนิดต่างๆ เทียบกับน้ำมันดีเซล**							
ความเร็วรอบ (RPM)		1,200	1,400	1,600	1,800	2,000	2,200	2,400	2,500
ชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง	B100	13.53	7.96	11.78	3.37	4.59	9.37	17.24	5.23
	BE95	16.92	13.11	12.64	2.85	1.78	10.62	31.03	4.95
	BE90	44.61	13.11	26.43	3.89	4.59	25	31.03	14.04
	BE85	66.15	25.96	37.93	9.09	19.9	40.62	38.46	19.28

4.2.4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากภาพที่ 4.14 และ 4.15 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ ที่ความเร็วรอบต่างๆของเครื่องยนต์ ซึ่งค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็นความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานเนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงให้เป็นกำลังงานของเครื่องยนต์ของน้ำมันเชื่อเพลิงทั้ง 5 ชนิดนั้น จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (D100) มีค่าสูงที่สุดที่ทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลงตามปริมาณของเอทานอลที่ผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล โดยที่น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่น โดยพิจารณาที่ความเร็วของเครื่องยนต์ 1,500 รอบต่อนาที ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล (D100) เป็นเชื้อเพลิงโดยมีค่าลดลง 6.41, 15.94, 20.29 และ 23.18 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็น น้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบที่ความเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องยนต์



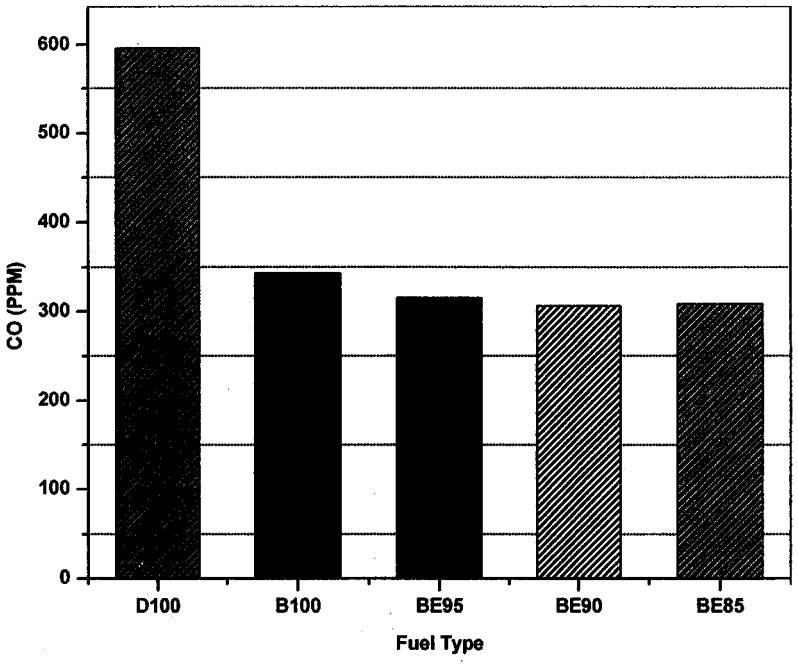
ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบที่ความเร็วรอบต่างๆ ของเครื่องยนต์

ทั้งนี้แม้ว่า น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ จะทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเหล่านี้เป็นเชื้อเพลิงเกิดการสันดาปและเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในเครื่องยนต์ แต่เนื่องจาก ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ทดสอบได้จากการใช้น้ำมันเหล่านี้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ มีค่าต่ำกว่าค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ได้จากน้ำมันดีเซล ดังแสดงในภาพที่ 4.10 และ 4.11 จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

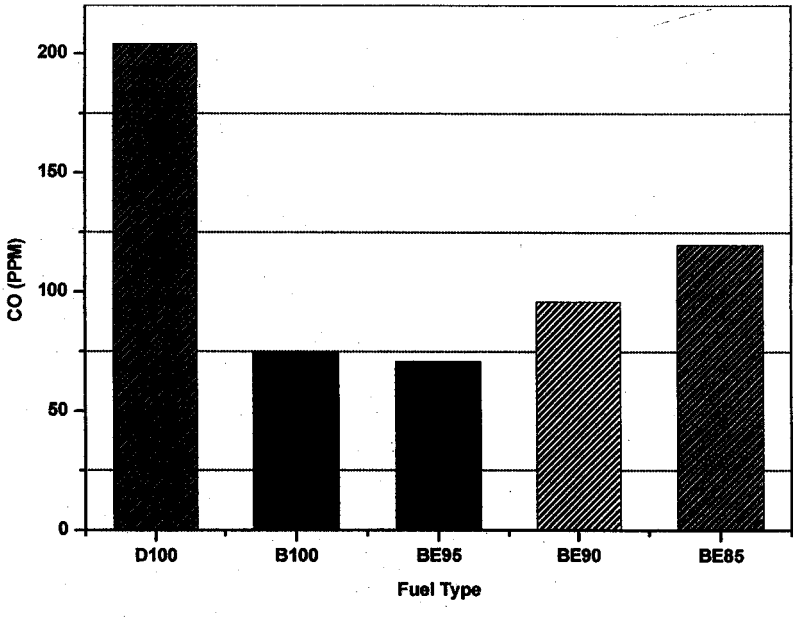
4.3 ผลการทดสอบการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์

4.3.1 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

จากภาพที่ 4.16 และ 4.17 แสดงปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และ 1 สูบ ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) จะให้ค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (D100) 42.45 , 47.14, 48.65 และ 48.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ ส่วนเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ ค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (D100) 63.2, 66.6, 54.41 และ 41.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะมีค่าลดลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบกับเครื่องยนต์ โดยที่ค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะมีค่าต่ำสุดเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95) เป็นเชื้อเพลิงทั้งในเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 4 สูบ และ 1สูบ แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนเอทานอลที่นำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลเป็น 10และ 15 เปอร์เซ็นต์ ค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งสังเกตเห็นได้ชัดที่ผลการทดลองกับเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ ส่วนผลการทดลองกับเครื่องยนต์ 4 สูบ มีค่าใกล้เคียงกับใช้เชื้อเพลิงน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95) ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและเอทานอล ต่างก็มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบและในการทดสอบกับเครื่องยนต์ไม่ได้มีการปรับแต่งระบบจ่ายอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ จึงทำให้อัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงมีแนวโน้มที่จะเป็นส่วนผสมบาง (Lean Mixture คือมีปริมาณอากาศมากกว่าความต้องการทางทฤษฎี) เนื่องจากปริมาณของออกซิเจนจะเข้าไปช่วยในกระบวนการสันดาปให้สมบูรณ์มากขึ้น แต่ถ้าเครื่องยนต์ที่ทำงานที่อัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงสูง (Rich Mixture มีปริมาณเชื้อเพลิงมากเกิน) ก็จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในปริมาณที่สูงขึ้น



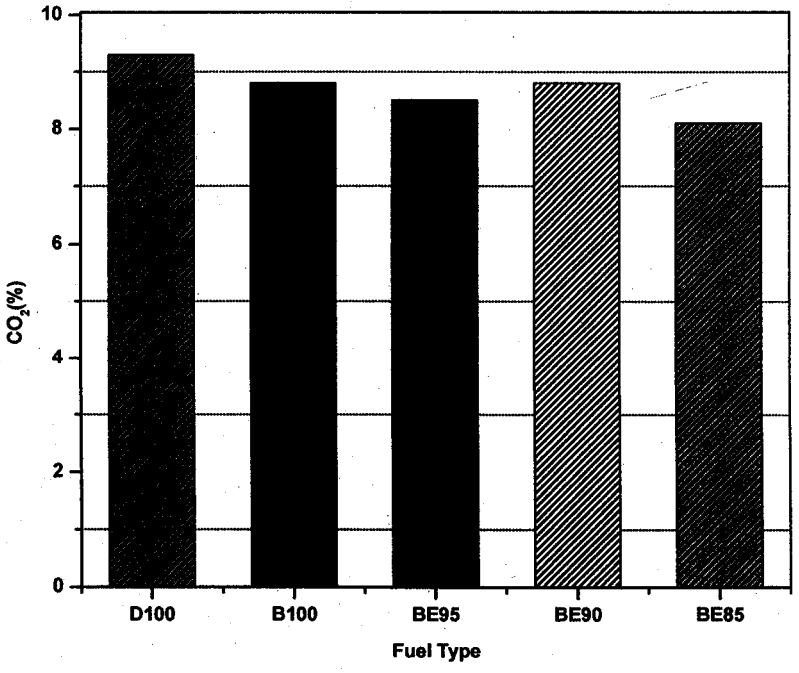
ภาพที่ 4.16 ปริมาณ CO จากไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที (ที่แรงบิดสูงสุด)



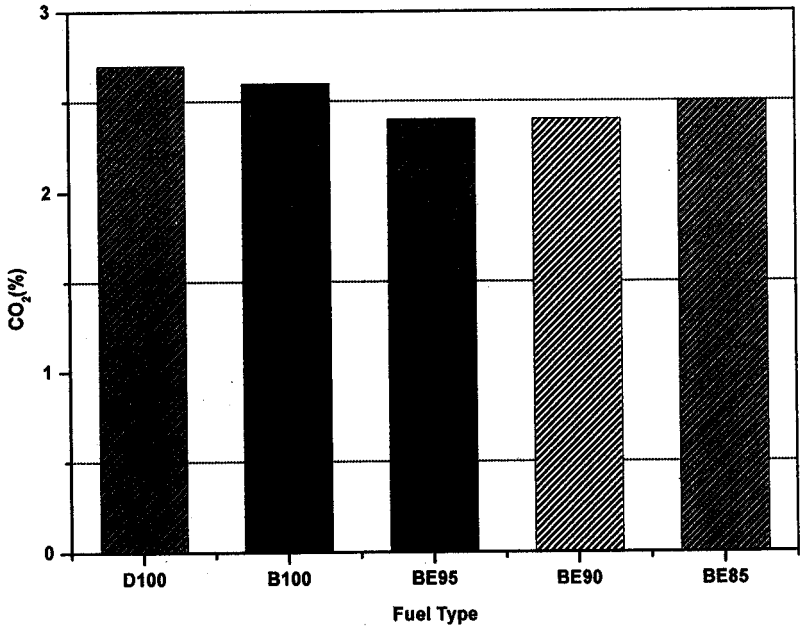
ภาพที่ 4.17 ปริมาณ CO จากไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่ความเร็ว 2,400 รอบต่อนาที (ที่กำลังสูงสุด)

4.3.2 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 5.15 และ 5.16 พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ปล่อยออกมาเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซล (D100) เป็นเชื้อเพลิงโดยลดลง 5.37, 8.6, 5.37 และ 12.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทดสอบกับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และลดลง 3.7, 11.11, 3.7 และ 7.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทดสอบกับเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ และปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะมีค่าเพิ่มหรือลดลงโดยไม่ขึ้นกับปริมาณของเอทานอลที่นำมาผสม ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกันที่ทุกชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 8.1-9.3 เปอร์เซ็นต์ และ 2.4-2.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทดสอบกับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และ 1 สูบ ตามลำดับ



ภาพที่ 4.18 ปริมาณ CO_2จากไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที (ที่แรงบิดสูงสุด)



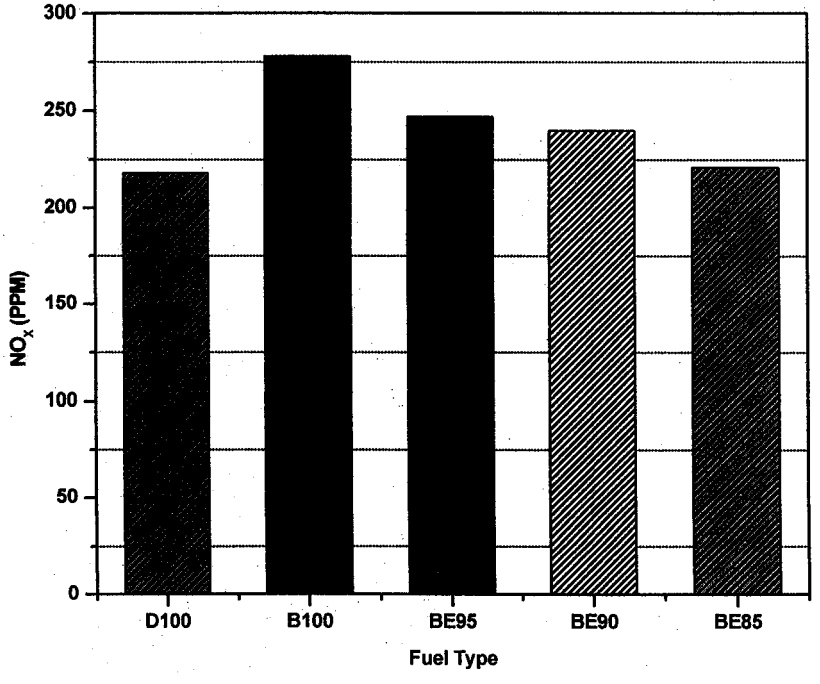
ภาพที่ 4.19 ปริมาณ CO_2 จากไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่ความเร็ว 2,400 รอบต่อนาที (ที่กำลังสูงสุด)

4.3.3 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

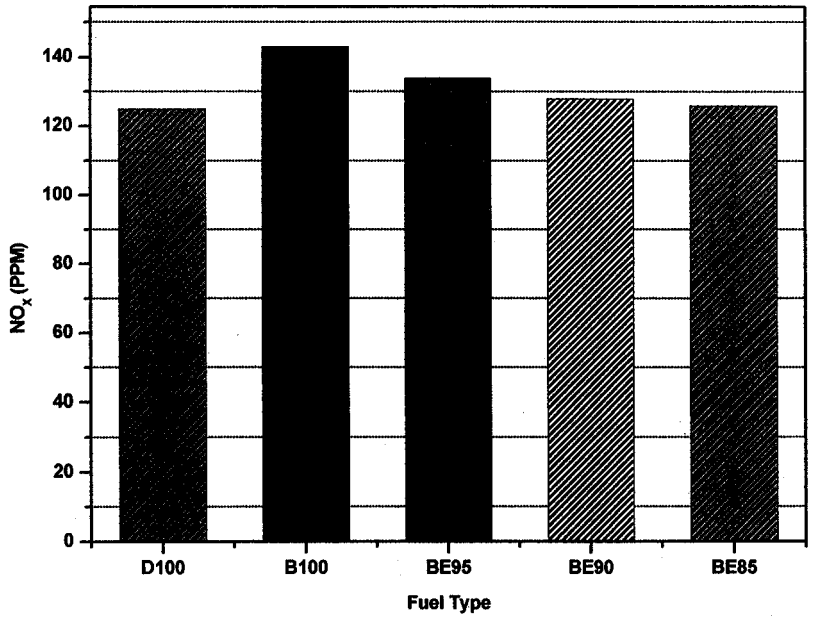
ผลการวัดปริมาณค่าออกไซด์ของไนโตเจน (NO_x) จากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.20 และ 4.21 พบว่าเชื้อเพลิง น้ำมันไบโอดีเซล (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมเอทานอล 5 (BE95),10 (BE90) และ 15 (BE85) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรให้ค่าออกไซด์ของไนโตเจน (NO_x) ที่ปล่อยออกมาในปริมาณที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล (D100) โดยเฉพาะ ออกไซด์ของไนโตเจน (NO_x) ที่เกิดจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลมีปริมาณที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลมีค่า 27.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ 4 สูบและ 15.44 เปอร์เซ็นต์ ในเครื่องยนต์ 1 สูบโดยจะเห็นผลได้ชัดเจนมากในเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ หลังจากนั้นเมื่อผสมเอทานอลกับน้ำมันไบโอดีเซล จากผลการทดลองพบว่าปริมาณออกไซด์ของไนโตเจน (NO_x) จะลดลงตามปริมาณอัตราส่วนของเอทานอลที่นำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล โดยอัตราการลดลงของออกไซด์ของไนโตเจน (NO_x) เมื่อเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล ลดลง 11.18, 13.66 และ 24.1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการทดลองที่ได้จากเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ ส่วนผลการทดลองของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ ออกไซด์ของไนโตเจน (NO_x) มีค่าลดลง 5.6, 9.85 และ 11.97 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันไบโอดีเซล, น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซล

ผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลพบว่ามีค่าสูงกว่า 1.37-13.3 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และ 1.6-8.9 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ

ซึ่งสารมลพิษชนิดออกไซด์ของไนโตรเจนมักจะเกิดจากการเผาไหม้ของส่วนผสมที่มีออกซิเจนเกินอัตราส่วนที่เหมาะสม (Stiochiometric Ratio) และเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ในสภาวะอุณหภูมิห้องเผาไหม้สูง ทำให้เกิดเกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างอะตอมของไนโตรเจนกับอะตอมของออกซิเจนที่หลงเหลือ ในกรณีของน้ำมันไบโอดีเซล, น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) ถึงแม้อุณหภูมิของไอเสียจะต่ำกว่าแต่เนื่องจากในตัวเชื้อเพลิงเองมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบจึงอาจทำให้เกิด NO_x มากกว่ากรณีการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล (D100) ได้ และออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าลงลดเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมเอทานอลมากขึ้น เนื่องจากปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าสูงที่สุดที่ส่วนผสมเจือจางเล็กน้อยจากค่าอัตราส่วนปริมาณสัมพันธ์ (Stiochiometric Mixture)



ภาพที่ 4.20 ปริมาณ NO_x จากไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่ความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที (ที่แรงบิดสูงสุด)



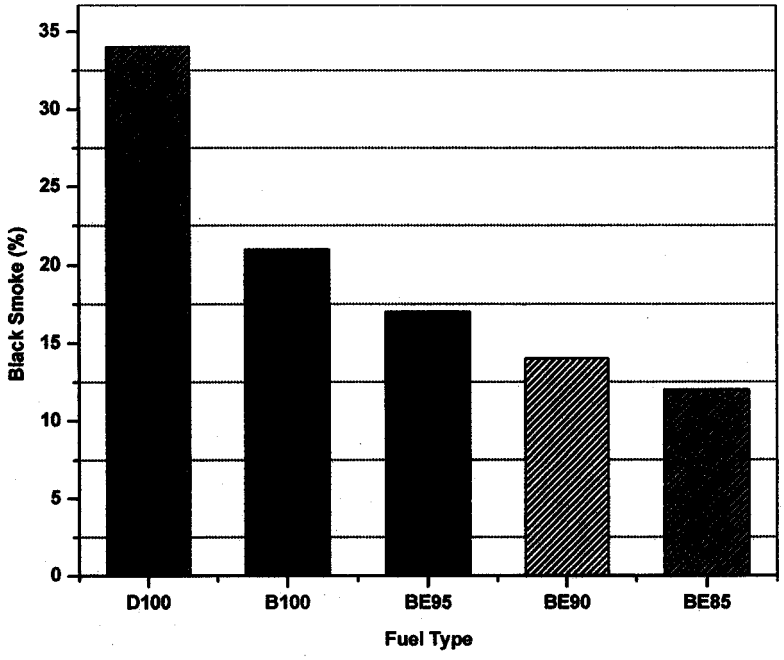
ภาพที่ 4.21 ปริมาณ NO_x จากไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่ความเร็ว 2,400 รอบต่อนาที (ที่กำลังสูงสุด)

4.3.4. ควันดำ

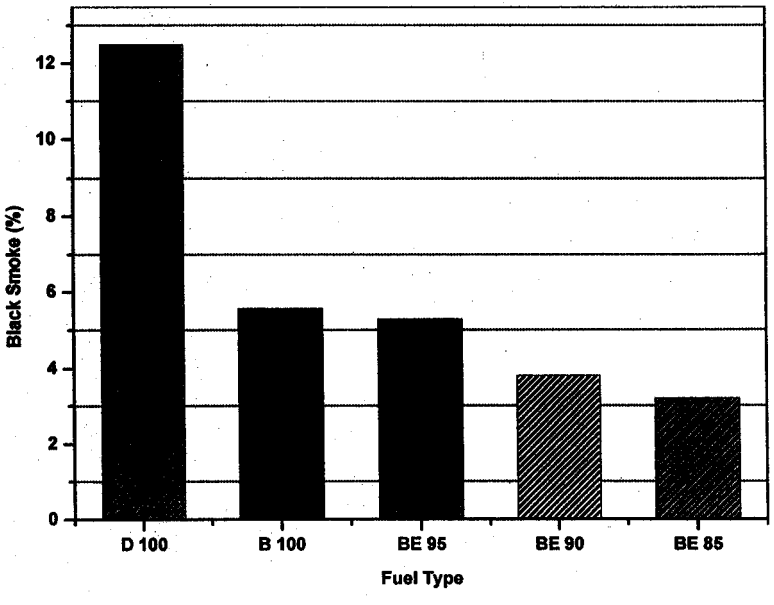
ภาพที่ 4.22 และ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณค่าควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบและ 1 สูบ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่ตรวจวัดโดยการเทียบหาความทึบของแสงซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีเดียวกันกับกรมการขนส่งใช้เป็นมาตรฐานในการตรวจวัดควันดำ จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณควันดำที่วัดได้อยู่ในช่วง 12–34 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และ 3.35–12.4 เปอร์เซ็นต์สำหรับเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ ซึ่งอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กรมการขนส่งกำหนดคือ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ปริมาณควันดำจะมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนของเอทานอลที่นำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งเกิดขึ้นกับเครื่องยนต์ทั้งสองขนาดและมีแนวโน้มลดลงต่อไปเมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลในน้ำมันไบโอดีเซลมากขึ้น

จากผลการทดลองสิ่งที่เห็นได้ชัดคือ น้ำมันไบโอดีเซล (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมเอทานอล (BE95, BE90 และ BE85) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณควันดำที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซล (D100) โดยการลดลงของปริมาณควันดำเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล อยู่ในช่วง 38.2, 50, 58.8 และ 64.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และ 55.6, 57, 69.3 และ 72.9

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับในเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ ทั้งนี้เกิดจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่มีความสมบูรณ์มากขึ้นเมื่อใช้เชื้อเพลิงที่เป็นเชื้อเพลิงที่ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ



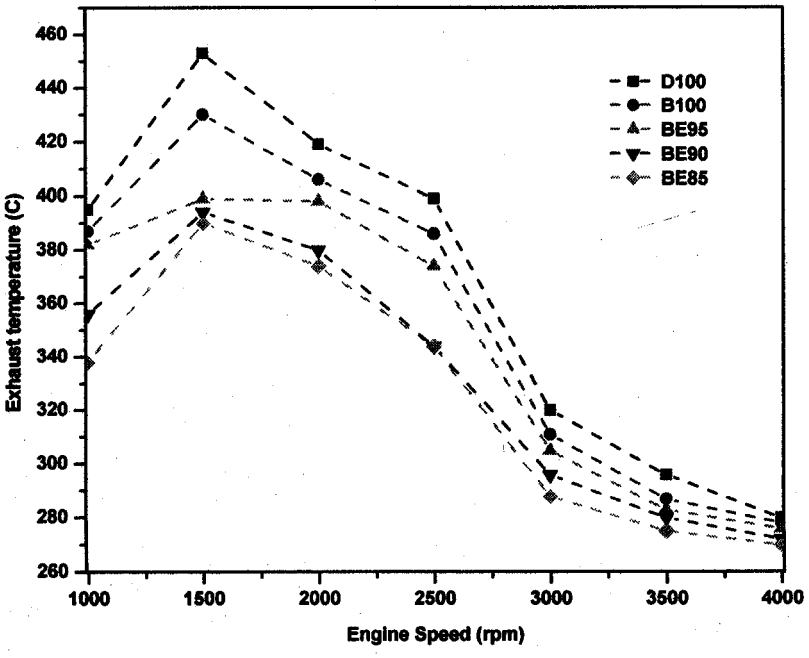
ภาพที่ 4.22 ปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่สภาวะไม่มีภาระงาน



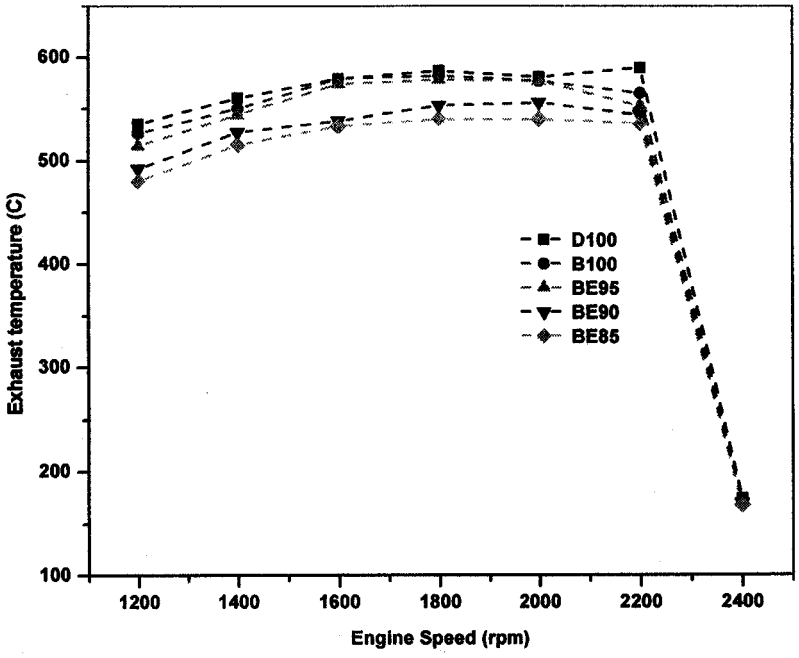
ภาพที่ 4.23 ปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่สภาวะไม่มีภาระงาน

4.3.5 อุณหภูมิก๊าซไอเสีย

จากภาพที่ 4.24 และ 4.25 อุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ได้จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบและ 1 สูบ จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ใช้น้ำมันดีเซล (D100) เป็นเชื้อเพลิง จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ได้จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่ทุกรอบการทำงานของเครื่องยนต์ และที่ทุกความเร็วรอบไม่ว่าจะเป็นจากเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ หรือ 1 สูบ พบว่าเอทานอลมีผลกับอุณหภูมิของก๊าซไอเสียคือเมื่อผสมเอทานอลกับน้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียมีค่าลดลงที่ทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ตามอัตราส่วนของเอทานอลที่ผสมอยู่ในน้ำมันดีเซล และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆตามอัตราส่วนของเอทานอลที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งจะเป็นผลดีต่อชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์สามารถยืดอายุการใช้งานออกไปได้ เพราะมีอุณหภูมิการทำงานโดยเฉลี่ยต่ำลง



ภาพที่ 4.24 อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่สภาวะภาระงานสูงสุด



ภาพที่ 4.25 อุณหภูมิก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบเมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ที่สภาวะภาระงานสูงสุด

4.4 การหาราคาและอัตราส่วนที่เหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล

คือการหาอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันไบโอดีเซล และเอทานอลที่เหมาะสมที่สุด จะเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เทียบกับราคาของน้ำมันดีเซลในปัจจุบันที่ ราคา 24 บาทต่อลิตร เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการผสมน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด (น้ำมันไบโอดีเซลและเอทานอล) ในแต่ละอัตราส่วน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด

4.4.1 การวิเคราะห์หาต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วขึ้นอยู่กับสองปัจจัยคือ ค่าใช้จ่ายในการผลิต (ได้แก่ ค่าสารเคมี ค่าน้ำ และค่าไฟ) และค่าน้ำมันพืชใช้แล้วซึ่งอาจแปรเปลี่ยนตามสถานการณ์ และยังพบว่าเครื่องผลิตไบโอดีเซล UBU Gold2 รายละเอียดตามภาคผนวก ข. สามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้เพียง 95 เปอร์เซ็นต์ จากปริมาณน้ำมันพืชใช้แล้วที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ดังนั้นหากใช้น้ำมันพืชใช้แล้วจำนวน 150 ลิตร จะได้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นปริมาณ 142.5 ลิตร จากข้อมูลข้างต้นสามารถหาต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับการผลิต 8 ชั่วโมงทำงานเมื่อราคาน้ำมันพืชใช้แล้ว 8 บาทต่อลิตร

ลำดับ	ค่าใช้จ่าย	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
1	น้ำมันพืชใช้แล้วรวมค่าขนส่ง	150	ลิตร	10	1,500
2	โปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์	1.35	กิโลกรัม	68	91.8
3	เมทานอล	30	ลิตร	16	480
4	ค่าไฟสำหรับ Heater ขนาด 2kw	3	หน่วย	2.5	7.5
5	ค่าแก๊สสำหรับอุ่นน้ำมันพืชใช้แล้ว	1	ครั้ง	40	40
6	ค่าไฟฟ้าสำหรับ Oil pump	10	หน่วย	2.5	25
7	น้ำ	0.1	ลบ.ม	7.75	0.775
8	แรงงาน	1	คน	150	150
	รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด				2,295.075
9	ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร (5% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด)				114.753
10	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (5% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด และค่าบำรุงรักษา)				120.491
ราคาต้นทุนการผลิตทั้งหมด 142.5 ลิตร/วัน (8 ชั่วโมงทำงาน)					2,530.319
ต้นทุนการผลิตทั้งหมดใน 1 ปี (คิดที่300 วันทำงาน กำลังการผลิต 142.5 ลิตร/วัน)					759,095.831
ราคาน้ำมันไบโอดีเซลเฉลี่ย (บาท/ลิตร)					17.75

4.4.2 วิธีการคำนวณราคาน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2.3 พบว่าการผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับเอทานอลในอัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร มีผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC) ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,500 รอบต่อนาที (ที่กำลังเบรกสูงสุด) เพิ่มขึ้น 18.8, 24.2, 30.3 และ 42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC) เครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ เพิ่มขึ้น 17.24, 31.03, 31.03 และ 38.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,400 รอบต่อนาที (ที่กำลังเบรกสูงสุด) ในส่วนของราคาเอทานอล เนื่องจากราคาเอทานอลเป็นราคาที่ไม่สามารถควบคุมราคาที่ขึ้นลงได้ใน

การกำหนดราคาเอทานอลจึงขอใช้ราคาเอทานอลเฉลี่ยเท่ากับ 19 บาท นำมาคำนวณหาราคาน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลโดยเทียบได้จากบัญญัติไตรยางดังนี้คือ

4.4.2.1 ราคาน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลเมื่อใช้ในเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ

1) ราคาน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 0 เปอร์เซ็นต์

= [ราคาน้ำมันไบโอดีเซล × (1+น้ำมันที่สิ้นเปลืองเพิ่มขึ้น)]

= 17.75 × (1+0.188) บาท/ลิตร

= 21.087 บาท/ลิตร

2) ราคาน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์

= [(ราคาน้ำมันไบโอดีเซล × 0.95) + (ราคาเอทานอล × 0.05)] × (1+น้ำมันที่สิ้นเปลืองเพิ่มขึ้น)

= [(17.75 × 0.95) + (19 × 0.05)] × (1+0.242) บาท/ลิตร

= 22.12 บาท/ลิตร

3) ราคาน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์

= [(ราคาน้ำมันไบโอดีเซล × 0.90) + (ราคาเอทานอล × 0.1)] × (1+น้ำมันที่สิ้นเปลืองเพิ่มขึ้น)

= [(17.75 × 0.90) + (19 × 0.1)] × (1+0.303) บาท/ลิตร

= 23.29 บาท/ลิตร

4) ราคาน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15%

= [(ราคาน้ำมันไบโอดีเซล × 0.85) + (ราคาเอทานอล × 0.15)] × (1+น้ำมันที่สิ้นเปลืองเพิ่มขึ้น)

= [(17.75 × 0.85) + (19 × 0.15)] × (1+0.42) บาท/ลิตร

= 25.47 บาท/ลิตร

4.4.2.1 ราคาน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลเมื่อใช้ในเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ

1) ราคาน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 0%

= [ราคาน้ำมันไบโอดีเซล × (1+น้ำมันที่สิ้นเปลืองเพิ่มขึ้น)]

= [17.75 × (1+0.1724)] บาท/ลิตร

= 20.81 บาท/ลิตร

2) ราคาน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5%

= [(ราคาน้ำมันไบโอดีเซล × 0.95) + (ราคาเอทานอล × 0.05)] × (1+น้ำมันที่สิ้นเปลืองเพิ่มขึ้น)

= [(17.5 × 0.95) + (19 × 0.05)] × (1+0.3103) บาท/ลิตร

= 23.27 บาท/ลิตร

3) ราคาน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10%

= [(ราคาน้ำมันไบโอดีเซล × 0.90) + (ราคาเอทานอล × 0.1)] × (1+น้ำมันที่สิ้นเปลืองเพิ่มขึ้น)

= [(17.75 × 0.90) + (19 × 0.1)] × (1+0.3103) บาท/ลิตร

= 23.42 บาท/ลิตร

4) ราคาน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15%

= [(ราคาน้ำมันไบโอดีเซล × 0.85) + (ราคาเอทานอล × 0.15)] × (1+น้ำมันที่สิ้นเปลืองเพิ่มขึ้น)

= [(17.75 × 0.85) + (19 × 0.15)] × (1+0.3846) บาท/ลิตร

= 24.83 บาท/ลิตร

จากผลการคำนวณหาราคาของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล ในหัวข้อ 4.4.2.1และ 4.4.2.2 เมื่อนำมาเปรียบเทียบผลต่างด้านราคากับน้ำมันดีเซล (บาท) ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลต่างด้านราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงผสม (ไบโอดีเซล-เอทานอล) เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

น้ำมันเชื้อเพลิง	เครื่องยนต์ 4 สูบ			เครื่องยนต์ 1 สูบ		
	ราคาเชื้อเพลิงผสม (บาท)	ราคาน้ำมันดีเซล (บาท)	แตกต่าง (บาท)	ราคาเชื้อเพลิงผสม (บาท)	ราคาน้ำมันดีเซล (บาท)	แตกต่าง (บาท)
B100	21.08	24	-2.92	20.81	24	-3.19
BE95	22.12	24	-1.88	23.27	24	-0.73
BE90	23.29	24	-0.71	23.42	24	-0.58
BE85	25.47	24	1.47	24.83	24	0.83

หมายเหตุ : ค่า – หมายถึง ราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมที่ถูกกว่าราคาของน้ำมันดีเซล

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลต่างด้านราคาของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลกับเอทานอลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลโดยพิจารณาที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ให้กำลังเบรกสูงที่สุดจากนั้นก็จะนำเอาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะในรอบของเครื่องยนต์ที่ให้กำลังเบรกสูงสุดมาคำนวณหาราคาต้นทุนของน้ำมันเชื้อเพลิงผสม ซึ่งพบว่าราคาต้นทุนของน้ำมันไบดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ยังมีราคาต่ำกว่าน้ำมันดีเซลอยู่ประมาณ 0.71-2.92 บาท และ 0.58-3.19 บาท สำหรับการนำมาใช้กับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และขนาด 1 สูบ ตามลำดับ แต่ถ้าใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ในเครื่องยนต์จะมีราคาสูงกว่าน้ำมันดีเซล 1.47 และ 0.83 บาท เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และขนาด 1 สูบ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ความเหมาะสมและความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งได้แก่ น้ำมันไบดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรมีความเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลได้โดยใช้ได้ในเครื่องยนต์ทั้งขนาด 4 สูบและ 1 สูบ

บทที่ 5
สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

5.1.1 สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

การผสมไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยเอทานอล สามารถลดค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลกับเอทานอลลงได้ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการฉีดพ่นเป็นฝอยในหัวฉีด โดยที่ค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลจะมีค่าลดลงตามเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของเอทานอลที่นำมาผสม กับน้ำมันไบโอดีเซลโดยเมื่อผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมระหว่างไบโอดีเซลกับเอทานอล จะมีค่าลดลงมากที่สุดถึง 31.21 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็ยังมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลอยู่ประมาณ 7.43 เปอร์เซ็นต์ การผสมเอทานอลกับน้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสมเอทานอล 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร อาจทำให้จุดวาบไฟและจุดติดไฟลดลงมากจนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงพาณิชย์ที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซลผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ จะมีค่าต่ำกว่าค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล ซึ่งค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อปริมาณเอทานอลในน้ำมันผสมเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเอทานอลมีค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลอยู่มาก เมื่อนำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล จะทำให้ค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้มีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเมื่อทำงานที่สภาวะเดียวกันกับน้ำมันดีเซล และค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลกับเอทานอลก็มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลโดยจะมีค่าลดลงเรื่อยๆเมื่อปริมาณเอทานอลในน้ำมันผสมเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเอทานอลมีค่าดัชนีซีเทนประมาณ 7 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำเมื่อนำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลจึงทำให้ค่าดัชนีซีเทนของน้ำมันผสมมีค่าต่ำลง ซึ่งจะมีผลทำให้คุณภาพการจุดติดไฟของน้ำมันมีค่าต่ำลง

5.1.2 สมรรถนะของเครื่องยนต์

ผลการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 4 และ 1 สูบ ที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์สามารถสรุปได้ว่า ค่าแรงบิดและกำลังเบรกที่ได้จากการทดสอบของเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 4 สูบ และ 1 สูบ ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์

โดยปริมาตร แสดงให้เห็นว่ามีค่าต่ำกว่าค่าแรงบิดและกำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่ทุกรอบการทำงานของเครื่องยนต์ โดยที่ค่าแรงบิดและกำลังเบรกของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลงตามปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้นในน้ำมันเชื้อเพลิงผสม ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ บางค่ามีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล เช่นค่าความหนืด หรือ ค่าดัชนีซีเทน ซึ่งค่าสมบัติเหล่านี้จะมีผลต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ได้จึงทำให้แรงบิดและกำลังเบรกที่วัดออกมาได้มีค่าต่ำกว่าค่าแรงบิดและกำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยค่าแรงบิดและกำลังเบรกของเครื่องยนต์จะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ คือมีค่าแรงบิดมีต่ำกว่าประมาณ 14.53 เปอร์เซ็นต์ (เครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ) และ 6.04 เปอร์เซ็นต์ (เครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ) ส่วนค่าแรงบิดมีต่ำกว่าประมาณ 12.87 เปอร์เซ็นต์ (เครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ) และ 8.2 เปอร์เซ็นต์ (เครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ)

ค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเอทานอลในน้ำมันเชื้อเพลิงผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดสอบกับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และ 1 สูบ ให้ค่าซึ่งมีแนวโน้มคล้ายกัน โดยค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ทั้งนี้เนื่องจากเอทานอลที่เป็นส่วนผสมในเชื้อเพลิงผสมมีค่าพลังงานความร้อนประมาณ 27 หรือคิดเป็น 1.45 เท่าของน้ำมันไบโอดีเซลจึงทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงผสมมีค่าพลังงานความร้อนที่น้อยลง ซึ่งการที่น้ำมันเชื้อเพลิงผสมมีค่าความร้อนน้อยกว่าน้ำมันดีเซลเมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่สภาวะการทำงานเดียวกันก็จะทำให้มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมากกว่า อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ มีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลในอัตราส่วน 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมากกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 22.5-63.63 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ระหว่าง 1,000-3,500 รอบต่อนาที (เครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ) และ 9.09-66.15 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ระหว่าง 1,000-2,400 รอบต่อนาที (เครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ)

ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกก็จะมีค่าลดลง ตามปริมาณเอทานอลในน้ำมันเชื้อเพลิงผสมที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกจะขึ้นอยู่กับค่ากำลังเบรกและค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งจะเห็นว่าค่าสมบัติทั้งสองของน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วนผสมต่างๆจะมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซล ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.1.1 จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกโดยเฉลี่ยจึงมีค่าต่ำกว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของน้ำมันดีเซล

5.1.3 ปริมาณสารมลพิษ

ผลการทดสอบเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และ 1 สูบ ที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ผลการทดสอบด้านการปล่อยสารมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์สามารถสรุปได้ว่า ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีค่าลดลงตามปริมาณเอทานอลที่ผสมอยู่ในน้ำมันผสมระหว่าง ไบโอดีเซลกับเอทานอล เนื่องจากเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบเมื่อนำมาใช้ปั่นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ จะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น จึงทำให้ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีค่าลดลงโดยที่ค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเครื่องยนต์ใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95) เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ส่วนปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ปล่อยออกมาเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซล (B100), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ (BE95), น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ (BE90) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 15 เปอร์เซ็นต์ (BE85) มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซล (D100) โดยที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะมีค่าเพิ่มหรือลดลงโดยไม่ขึ้นกับปริมาณของเอทานอลที่นำมาผสม และค่าที่วัดได้จะมีค่าใกล้เคียงกันที่ทุกชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง

ผลการวัดค่าออกไซด์ของไนโตเจน (NO_x) จากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ พบว่าเชื้อเพลิง น้ำมันไบโอดีเซล (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมเอทานอล 5 (BE95), 10 (BE90) และ 15 (BE85) เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรให้ค่าออกไซด์ของไนโตเจน (NO_x) ที่ปล่อยออกมาในปริมาณที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล (D100) โดยเฉพาะ ออกไซด์ของไนโตเจน (NO_x) ที่เกิดจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลมีปริมาณที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลโดยจะเห็นผลได้ชัดเจนมากในเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ ซึ่งปริมาณออกไซด์ของไนโตเจน (NO_x) จะลดลงตามปริมาณอัตราส่วนของเอทานอลที่นำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล

ปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์มีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับปริมาณควันดำจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง โดยปริมาณควันดำลดลงตามปริมาณเอทานอลที่ผสมอยู่ในน้ำมันผสมระหว่างไบโอดีเซลกับเอทานอล ลักษณะการลดลงของปริมาณควันดำมีลักษณะที่คล้ายๆกันทั้งเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบและ 1 สูบ คือปริมาณควันดำจะลดลงมากที่สุดเมื่อมีปริมาณเอทานอลผสมอยู่ในเชื้อเพลิงผสม 15 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ประมาณ 34 เปอร์เซ็นต์

5.2 ความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลมาใช้เป็นเชื้อเพลิง

จากผลการทดสอบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วนผสมไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 4 สูบและ 1 สูบทำให้ทราบว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลให้ค่าสมรรถนะใกล้เคียงกับค่าสมรรถนะของน้ำมันดีเซล และปริมาณการปล่อยสารมลพิษน้อยกว่า ดังนั้นเมื่อพิจารณาในด้านสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลจึงมีศักยภาพที่จะนำไปใช้ในเครื่องยนต์จริงในลักษณะเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในรูปแบบของเชื้อเพลิงผสมโดยที่ไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จะให้ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงมากที่สุด และให้สารมลพิษต่ำกว่าด้วย เมื่อพิจารณาที่ราคาต้นทุนของน้ำมันผสมชนิดต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล จะพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ก็มีราคาต้นทุนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ประมาณ 1.88 บาท เมื่อใช้กับเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ และ 0.73 บาท เมื่อใช้กับเครื่องยนต์ 1 สูบ ดังนั้นจึงมีความเหมะสมในทุกด้านที่จะนำมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรเพิ่มการทดลองและศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซล เช่นการสึกหรอต่อชิ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆทั้งในระบบน้ำมันเชื้อเพลิงและภายในเครื่องยนต์ เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริงเป็นระยะเวลายาวนานประมาณ 1,000-2,000 ชั่วโมง และศึกษาการสึกหรอของเครื่องยนต์และปริมาณเศษโลหะในน้ำมันเครื่องที่ระยะเวลาต่างๆ เพื่อเป็นตัวบ่งชี้การสึกหรอร่วมกับการวิเคราะห์สภาพชิ้นส่วนของเครื่องยนต์

5.3.2 ควรศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงที่สภาวะใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริงเป็นระยะเวลายาวนานประมาณ 1,000 -2,000 ชั่วโมง

5.3.3 ควรศึกษาการใช้วัสดุที่เหมาะสมและประสิทธิภาพการหล่อลื่นของน้ำมันเครื่องเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

5.3.4 ในการวัดปริมาณสารมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์ ควรวัดสารมลพิษเพิ่มเติม เช่น ไฮโดรคาร์บอน (HC) และควรวัดอนุภาคของแข็ง (Particulate Matter) ประกอบเพื่อดูควบคู่กับ

ค่าควันดำ (Black Smoke) โดยวัดสารมลพิษที่ทุกๆความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อจะได้ทราบถึงแนวโน้มการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งนี้สิ่งที่จำเป็นอีกอย่างก็คือเรื่อง การวัดความดันและอุณหภูมิการเผาไหม้ในกระบอกสูบ ซึ่งจะช่วยให้เราอธิบายพฤติกรรมการเผาไหม้และการเกิดสารมลพิษในไอเสียได้ดี

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

[1] "กองทุนน้ำมัน", ปิโตรเลียม. http://www.eppo.go.th/pretro/index.html. 17 สิงหาคม, 2549.

[2] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. การพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทน. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2546.

[3] กานดา โกมลวัฒนชัย และ วรรณี อู่ไพบูลย์. "เชื้อเพลิงทดแทนทางเลือกใหม่เพื่อสิ่งแวดล้อม", กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 41(133); 2536.

[4] Canakci, M. and Van Gerper, J.H. "Comparision of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow grease biodiesel and soybean oil biodiesel", 2001 ASAE Annual International Meeting. California USA: 2001.

[5] Dorado, M.P. and et al. "Exhaust emission from a diesel engine fueled with transesterified waste olive oil", Fuel. 82: 1311-1315; 2003.

[6] Kramer, W. "The potential of biodiesel Production", Oil and Fat International. 11(3): 32-34; 1995.

[7] Monyem, A. and Van Gerper, J.H. "The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emission", Biomass and Bioenergy. 20: 317-325; 2001.

[8] คณะกรรมาธิการผู้แทนราษฎร. พลังงานทดแทนเอทานอลและไบโอดีเซล. กรุงเทพมหานคร, 2547.

[9] Ali, Y. and Hanna, M.A. "Physical properties of tallow ester and diesel fuel blend", Bioresource Technology. 47: 131-134; 1994.

[10] นันทมนตร์ จันทร์ศิริ และประกอบ กิจไชยา. "การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลชีวภาพจากไขปาล์มสเตียรินโดยวิธีผสม", วิศวกรรมสาร มก. 17(51) : 60-70; 2547.

[11] รภัส สุขศุภสิน. ผลกระทบของปัจจัยสำหรับปฏิกิริยาเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ด้วยตัวเร่งเบสของปาล์มเพื่อการผลิตดีเซลชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2543.

[12] Sheehan, J. and et al. An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycle. USA: National Renewable Energy Lab (NREL) and US-Department of Energy (DOE), 1998.

[13] กรมธุรกิจพลังงาน. "ประกาศเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์และกรดไขมัน พ.ศ.2549", กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันเชื้อเพลิง. http://www.doeb.go.th/download/report/BioDie48.pdf. 13 ตุลาคม, 2549.

[14] "HET IS OOU NOOIT GOED", BrijnsBlog. http://www.brign.net/index.php. 30 ตุลาคม, 2549.

[15] ธนาทิพย์ อัศวผดุงสิทธิ์ และคณะ. "การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันพืชที่ประกอบอาหารมาใช้ประโยชน์ทดแทนในด้านพลังงาน", ใน การสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัยด้านพลังงานทดแทน. 102-123. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2546.

[16] พุทธชาด เมฑทอง และคณะ. "การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันพืชใช้แล้วจากอุตสาหกรรมอาหารมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน", ใน การสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัยด้านพลังงานทดแทน. 89-101. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2546.

[17] Connemann, J. and Fischer, J. 1998 Biodiesel in Europe. 1998.

[18] "Ethanol", Fuels. http://www.worlofmolecules/fuels/ethanol.htm. 30 ตุลาคม, 2549.

[19] มานิดา ทองรุณ. การศึกษาการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.

[20] Ali, Y. Eskridge, K.M. and Hanna, M.A. "Testing of alternative diesel fuel from tallow and soybean oil in Cummins N14-410 diesel engine", Bioresource Technology. 53: 243-254; 1995.

[21] Zheng, D. and Hanna, M.A. "Preparation and propoties of methyl esters of beef tallow", Bioresource Technology. 57: 137-142; 1996.

[22] Ali, Y. and Hanna, M.A. "Optimization of diesel,methyl tallowate and ethanol blend for reducing emissions from diesel engine", Bioresource Technology. 52: 237-243; 1995.

[23] Usta, N. and et al. "Combustion of biodiesel fuel produced from hazenut soapstock/waste sunflower oil mixture in a diesel engine", Energy Conversion and Management. 2004.

[24] Lee, S. W. Herage, T. and Young, B. "Emission reduction potential from the combustion of soy ester fuel blended with petroleum distillate fuel", Fuel. 83: 1607-1613; 2004.

[25] Raheman, H. and Phadatare, A.G. "Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyi ester and diesel", Biomass and Bioenergy. 27: 393-397; 2004.

[26] Can, O. Celikten, I. and Usta, N. "Effect of ethanol addition on performance and emissions of a turbocharged indirect injection Diesel engine running at different injection pressures", Energy Conversion and Management. 45: 2429-2440; 2004.

[27] Li, D. G. and et al. "Physico-chemical properties of ethanol-diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines", Renewable Energy. 1-10; 2004.

[28] Cai, L.X. and et al. "Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol-diesel blend fuel", Fuel. 83: 2013-2020; 2004.

[29] Shi, X. and et al. "Emission characteristics using methyl soyate-ethanol-diesel fuel blends on a diesel engine", Fuel. 84: 1543-1549; 2005.

[30] Peterson, C.L. and et al. Commercialization of Idaho biodiesel (HySEE) from ethanol and waste vegetable oil. St Joseph: ASAE, 1995.

[31] Reed, T.B. Graoski, M.S. and Gaur, S. "Development and commercialization of oxygenated diesel fuels from waste vegetable oils", In Energy from Biomass and Wastes. 907-914. Chicago: The Institute of Gas Technology, 1991.

[32] Shi, X. and et al. "Emission reduction potential of using ethanol-biodiesel-diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine", Atomospheric Environment. 40: 2567-2574; 2006.

[33] Qudais, M.A. Haddad, O. and Qudaisat, M. "The effect of alcohol fumigation on diesel engine performance and emission", Energy Conversion and Management. 41: 389-399; 2000.

[34] ASTM. Annual book of ASTM standards. Washington DC: 2001.

[35] Essom co., Ltd. Instruction manual MT 504 ENGINE DYNAMOMETER Multi Cylinder. Bangkok: 2002.

[36] Tokyo Meter co., Ltd. Diesel Engine Research and Test Bed. Japan: 1994.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์

1. เครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบที่ใช้เชื้อเพลิง ดีเซล (D100)

ความเร็วรอบ (rpm)	Time/40cc. (sec)	Torque (N.m)	Brake Power (kw)	Fuel flow (lt/hr)	BSFC (kg/kw.hr)	Brake thermal efficiency (%)
1,000	38	78	8.16	3.79	0.4	21.23
1,500	25	117	18.38	5.76	0.27	31.48
2,000	19	104	21.79	7.57	0.3	28.35
2,500	17	84.8	22.21	8.47	0.33	25.92
3,000	20	45	14.14	7.2	0.44	19.35
3,500	22	28.4	10.41	6.54	0.55	15.69
4,000	15	8.1	3.39	9.6	2.46	3.48

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ขนาด 4 สูบ ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B100)

ความเร็วรอบ (rpm)	Time/40cc. (sec)	Torque (N.m)	Brake Power (kw)	Fuel flow (lt/hr)	BSFC (kg/kw.hr)	Brake thermal efficiency (%)
1,000	36	76.8	8.05	4	0.43	20.89
1,500	23	113	17.76	6.26	0.31	29.46
2,000	18	102	21.37	7.99	0.32	27.81
2,500	15	82.5	21.61	9.6	0.39	23.34
3,000	19	41	12.89	7.57	0.51	17.68
3,500	21	26	9.53	6.85	0.63	14.48
4,000	14	6.3	2.93	10.28	3.08	2.96

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (BE95)

ความเร็วรอบ (rpm)	Time/40cc. (sec)	Torque (N.m)	Brake Power (kw)	Fuel flow (lt/hr)	BSFC (kg/kw.hr)	Brake thermal efficiency (%)
1,000	35	74	7.75	4.11	0.46	20.18
1,500	21	108	16.97	6.86	0.36	26.46
2,000	17	100.5	21.05	8.47	0.35	26.48
2,500	15	79.2	20.74	9.6	0.41	22.98
3,000	18	40	12.57	7.99	0.56	16.78
3,500	20	23	8.43	7.2	0.75	12.47
4,000	13	5	2.63	11.07	3.7	2.53

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (BE90)

ความเร็วรอบ (rpm)	Time/40cc. (sec)	Torque (N.m)	Brake Power (kw)	Fuel flow (lt/hr)	BSFC (kg/kw.hr)	Brake thermal efficiency (%)
1,000	35	72	7.54	4.11	0.48	20.37
1,500	20	104	16.342	7.2	0.38	25.09
2,000	17	94.4	19.77	8.47	0.37	25.69
2,500	15	74.4	19.48	9.6	0.43	22.40
3,000	17	37.6	11.81	8.47	0.63	15.34
3,500	19	21	7.69	7.57	0.87	11.17
4,000	12	4.5	2.09	12	5.07	1.92

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ ที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (BE85)

ความเร็วรอบ (rpm)	Time/40cc. (sec)	Torque (N.m)	Brake Power (kw)	Fuel flow (lt/hr)	BSFC (kg/kw.hr)	Brake thermal efficiency (%)
1,000	34	72	7.54	4.23	0.49	19.75
1,500	20	100	15.71	7.2	0.41	24.18
2,000	16	91.5	19.17	9	0.42	23.63
2,500	14	73.9	19.35	10.28	0.47	20.84
3,000	16	35.4	11.12	9	0.71	13.77
3,500	19	20.2	7.40	7.57	0.90	10.84
4,000	11	3.8	1.88	13.09	6.17	1.59

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ความเร็วรอบ (rpm)	Exhaust temperature (°C)				
	D100	B100	BE95	BE90	BE85
1,000	395	387	382	356	338
1,500	453	430	399	394	390
2,000	419	406	398	380	374
2,500	399	386	374	344	344
3,000	320	311	305	296	288
3,500	296	287	283	280	275
4,000	280	278	276	272	270

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลการทดสอบการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ขนาด 4 สูบที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ชนิดเชื้อเพลิง	Black Smoke (%)	CO (PPM)	CO_2 (%)	NO_x (PPM)
D100	34	596	9.3	218
B100	21	343	8.8	278
BE95	17	315	8.5	247
BE90	14	306	8.8	240
BE85	12	308	8.1	221

2. เครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบที่ใช้เชื้อเพลิง ดีเซล (D100)

ความเร็วรอบ (rpm)	Time/5cc. (sec)	Torque (N.m)	Brake Power (kw)	Fuel flow (lt/hr)	BSFC (kg/kw.hr)	Brake thermal efficiency (%)
1,200	21	18.1	2.27	0.85	0.325	26.11
1,400	15	18.3	2.68	1.2	0.389	22
1,600	14	19.1	3.2	1.28	0.348	24.57
1,800	11	19.54	3.68	1.63	0.385	22.18
2,000	10	19.07	3.99	1.8	0.392	21.84
2,200	12	17.66	4.1	1.5	0.32	26.96
2,400	12	17.42	4.37	1.5	0.29	28.74
2,500	35	0.47	0.123	0.514	3.63	2.36

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล (B100)

ความเร็วรอบ (rpm)	Time/5cc. (sec)	Torque (N.m)	Brake Power (kw)	Fuel flow (lt/hr)	BSFC (kg/kw.hr)	Brake thermal efficiency (%)
1,200	19	17.98	2.26	0.94	0.369	24.83
1,400	14	18.12	2.65	1.28	0.42	21.42
1,600	13	18.8	3.15	1.38	0.389	23.65
1,800	11	19.3	3.63	1.63	0.398	23.03
2,000	10	18.6	3.89	1.8	0.41	22.43
2,200	11	17.66	4.1	1.63	0.35	26
2,400	11	16.7	4.19	1.63	0.34	26.58
2,500	34	0.47	0.123	0.53	3.82	2.42

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (BE95)

ความเร็วรอบ (rpm)	Time/5cc. (sec)	Torque (N.m)	Brake Power (kw)	Fuel flow (lt/hr)	BSFC (kg/kw.hr)	Brake thermal efficiency (%)
1,200	19	17.18	2.16	0.94	0.38	24.2
1,400	14	17.4	2.55	1.28	0.44	21.08
1,600	13	18.6	3.11	1.38	0.392	23.82
1,800	11	19.3	3.63	1.63	0.396	23.57
2,000	10	18.6	3.98	1.8	0.399	23.45
2,200	11	17.66	4.1	1.63	0.354	26.62
2,400	10	16.48	4.14	1.8	0.384	24.39
2,500	34	0.47	0.123	0.53	3.81	2.46

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (BE90)

ความเร็วรอบ (rpm)	Time/5cc. (sec)	Torque (N.m)	Brake Power (kw)	Fuel flow (lt/hr)	BSFC (kg/kw.hr)	Brake thermal efficiency (%)
1,200	16	16.71	2.1	1.125	0.47	20.80
1,400	14	17.42	2.55	1.28	0.44	22.37
1,600	12	17.66	2.96	1.5	0.44	21.85
1,800	11	18.6	3.5	1.63	0.40	23.88
2,000	10	18.3	3.83	1.8	0.41	23.52
2,200	10	17.18	3.96	1.8	0.4	24.32
2,400	10	16.48	4.14	1.8	0.38	25.42
2,500	31	0.47	0.123	0.58	4.14	2.36

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (BE85)

ความเร็วรอบ (rpm)	Time/5cc. (sec)	Torque (N.m)	Brake Power (kw)	Fuel flow (lt/hr)	BSFC (kg/kw.hr)	Brake thermal efficiency (%)
1,200	15	16.71	2.1	1.28	0.54	19.53
1,400	13	16.95	2.48	1.38	0.49	20.03
1,600	11	17.66	2.96	1.63	0.48	20.36
1,800	11	18.36	3.45	1.63	0.42	23.53
2,000	9	17.89	3.74	2	0.47	20.87
2,200	9	16.95	3.9	2	0.45	21.77
2,400	9	16	4.1	2	0.44	22.43
2,500	30	0.47	0.123	0.6	4.33	2.27

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลการทดสอบอุณหภูมิไอเสียของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ความเร็วรอบ (rpm)	Exhaust temperature (°C)				
	D100	B100	BE95	BE90	BE85
1,200	535	526	514	492	480
1,400	560	550	544	527	515
1,600	579	579	574	538	533
1,800	587	582	578	553	540
2,000	581	577	577	556	540
2,200	590	565	553	544	536
2,400	174	171	171	170	168

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลการทดสอบการปล่อยสารมลพิษของเครื่องยนต์ขนาด 1 สูบที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ชนิดเชื้อเพลิง	Black Smoke (%)	CO (PPM)	CO_2 (%)	NO_x (PPM)
D100	12.4	204	2.7	129
B100	5.5	75	2.6	131
BE95	5.3	71	2.4	127
BE90	3.8	96	2.4	121
BE85	3.35	120	2.5	123

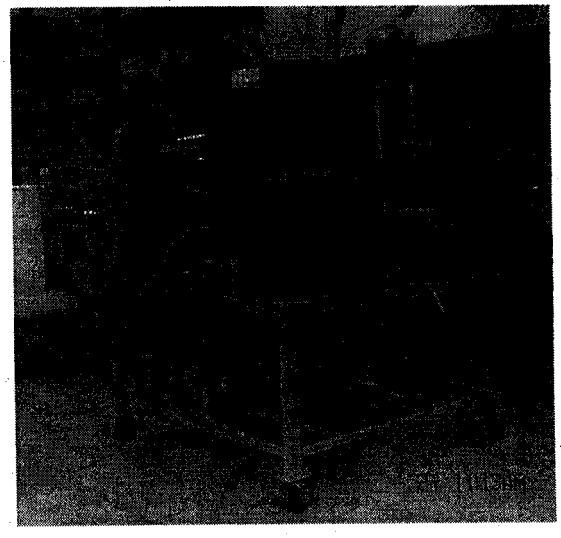
ภาคผนวก ข
ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

ภาคผนวก ข
ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเป็นกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งเป็นการนำเอาน้ำมันพืชมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรด ด่างหรือเอนไซม์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ขั้นตอนทางเคมี คือ การเปลี่ยน Trigryceride ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำมันพืช ให้เป็นเอสเทอร์ กับกลีเซอรอล หากใช้เมทานอล เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเรียกว่า เมทิลเอสเทอร์ หากใช้เอทานอล จะเรียกว่า เอทิลเอสเทอร์ สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้จากน้ำมันพืชใช้แล้ว ทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยใช้โปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีวิธีการและขั้นตอนการผลิตดังนี้

1. อุปกรณ์

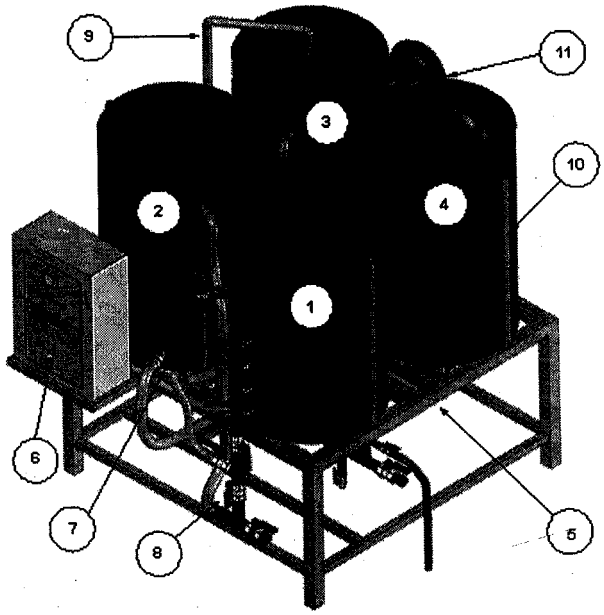
เครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบ Batch ขนาด 150 ลิตรต่อรอบการผลิต โดยมีรายละเอียดและลักษณะเฉพาะ (Specification) ของอุปกรณ์ที่นำมาประกอบเป็นชุดผลิตไบโอดีเซล ดังภาพที่ ข.1 แสดงภาพของชุดผลิต จะเห็นว่า ถังที่ใช้ในชุดผลิต เป็นถังเหล็ก ขนาด 200 ลิตร ส่วนโครงสร้าง ที่รองรับชุดผลิตก็ทำจากเหล็กกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 2×2 นิ้ว และมีล้อช่วยให้เคลื่อนที่ไปมาได้สะดวกหากจำเป็น



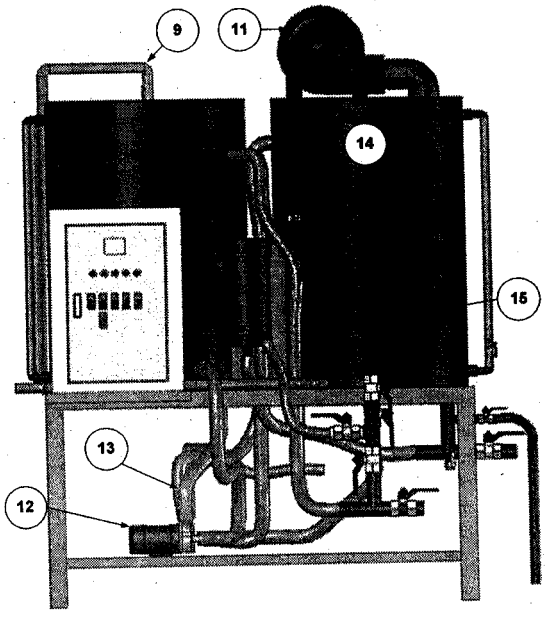
ภาพที่ ข.1 ชุดผลิตไบโอดีเซลแบบ Bacth ขนาด 150 ลิตร/รอบการผลิต (UBU Gold 2)

1.1 คุณลักษณะเฉพาะ ของเครื่องผลิตไบโอดีเซล UBU Gold 2

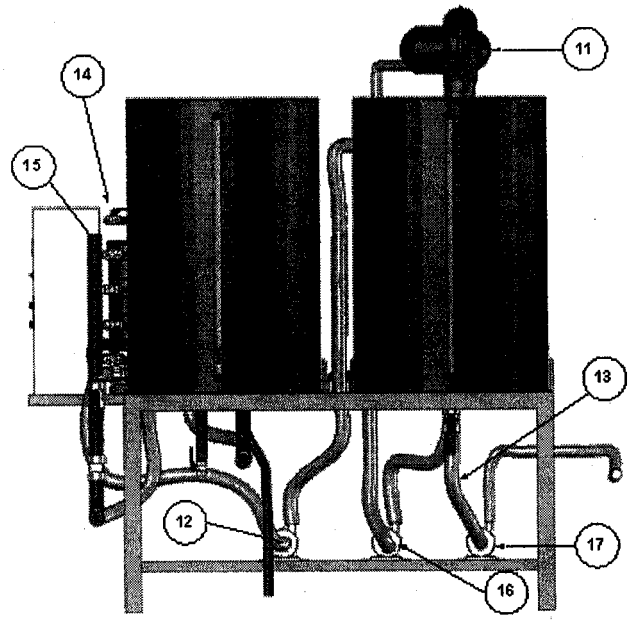
ภาพที่ ข.2 - ภาพที่ ข.5 แสดงภาพในมุมต่างๆ ของชุดผลิต และ ตารางที่ ข.1 แสดงรายละเอียดเฉพาะของอุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบ Bacth ขนาด 150 ลิตรโดยมีรายละเอียดต่างๆดังต่อไปนี้



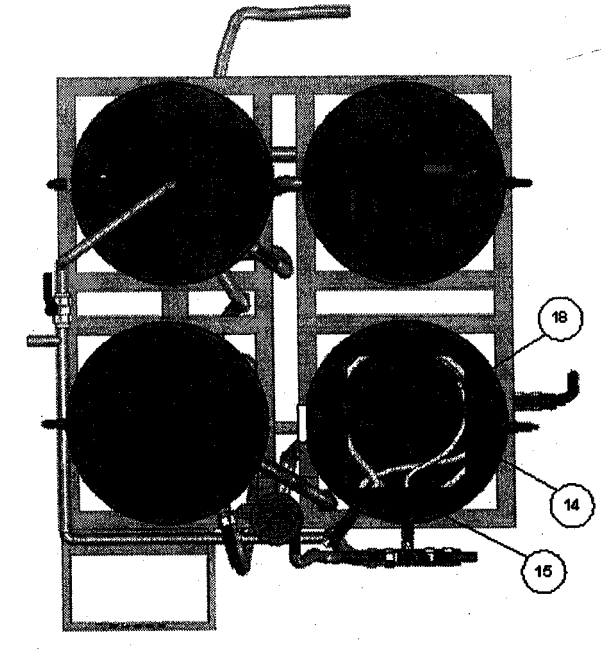
ภาพที่ ข.2 ภาพมุมเอียงของชุดผลิตไบโอดีเซลแบบ Bacth ขนาด 150 ลิตร/รอบการผลิต



ภาพที่ ข.3 ภาพด้านหน้าของชุดผลิตไบโอดีเซลแบบ Bacth ขนาด 150 ลิตร/รอบการผลิต



ภาพที่ ข.4 ภาพด้านข้าง (ขวา) ของชุดผลิตไบโอดีเซลแบบ Bacth ขนาด 150 ลิตร/รอบการผลิต



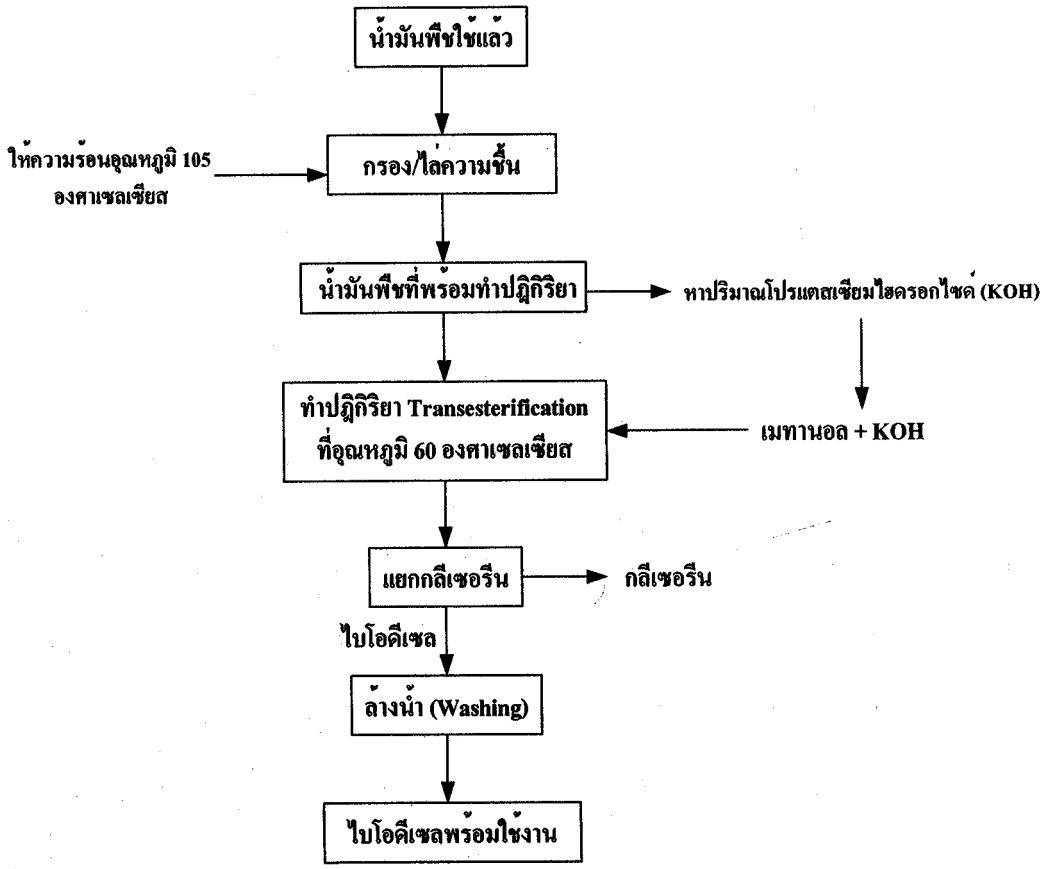
ภาพที่ ข.5 ภาพด้านบนของชุดผลิตไบโอดีเซลแบบ Bacth ขนาด 150 ลิตร/รอบการผลิต

ตารางที่ ข.1 รายละเอียดเฉพาะของอุปกรณ์ที่สำคัญของเครื่องผลิตไบโอดีเซล

รายการที่	ชื่อเรียก	ลักษณะเฉพาะ หรือ คำอธิบาย
1	ถังไล่ความชื้นและทำปฏิกิริยาหลัก	ถังเหล็กขนาด 200 ลิตร หุ้มด้วยฉนวนความร้อน
2	ถังแยกกลีเซอรีน	ถังเหล็กขนาด 200 ลิตร
3	ถังล้างน้ำ	ถังเหล็กขนาด 200 ลิตร
4	ถังไล่ความชื้นขั้นสุดท้าย	ถังเหล็กขนาด 200 ลิตร
5	ฐาน	เหล็ก กล่อง 2×2 นิ้ว และ 1×1 นิ้ว เชื่อมประกอบเป็นฐาน
6	แผงสวิทช์ควบคุม	สวิทช์ควบคุมการทำงาน และ ตัวตั้ง ค่าอุณหภูมิ
7	ปั๊ม1	ปั๊มสารเคมี ขนาดท่อ 26.50 mm อัตราการไหล 135 ลิตร/นาที ความดัน 11.3 เมตร น้ำ
8	วาล์ว	วาล์วไอน้ำ ขนาด 3/4 นิ้ว และ 1/2 นิ้ว
9	ท่อสเปรย์น้ำ	ท่อพลาสติกขนาด 1/2 นิ้ว เจาะรู ให้น้ำสเปรย์เป็นฝอย
10	ท่อบอกระดับ	ท่อยางใส ขนาด 1 cm
11	พัดลมไล่ความชื้น	พัดลมแบบหอยโข่ง ขนาดท่อดูด 2 นิ้ว
12	ปั๊ม2	ปั๊มสารเคมี ขนาดท่อ 17 mm อัตราการไหล 30 ลิตร/นาที ความดัน 4.5 เมตร น้ำ
13	สายลำเลียง	สายพลาสติก เสริมขดลวดเหล็ก ทนแรงดันสูง 6 bar
14	ท่อน้ำระบายความร้อน	ขดท่อทองแดง ขนาด 1/2 นิ้ว นำน้ำเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำมันในถัง
15	ท่อหมุนวน-ผสม	ท่อทองแดงขนาด 1/2 นิ้ว ปลายเปิด 4 ท่อ สำหรับหมุนวนสารผสม หรือ น้ำมัน ให้ทำปฏิกิริยาอย่างมีประสิทธิภาพ
16	ปั๊ม3	ปั๊มสารเคมี ขนาดท่อ 17 mm อัตราการไหล 30 ลิตร/นาที ความดัน 4.5 เมตร น้ำ
17	ปั๊ม4	ปั๊มสารเคมี ขนาดท่อ 17 mm อัตราการไหล 30 ลิตร/นาที ความดัน 4.5 เมตร น้ำ
18	ฮีตเตอร์	ฮีตเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 2 kw เป็นตัวทำความร้อนเสริม

2. การผลิตเมทิลเอเทอร์ (ไบโอดีเซล)

ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์จะกล่าวถึงตั้งแต่ ขั้นตอนการเตรียมน้ำมัน การกำจัดความชื้น การไทเทรตหาจำนวนสารเร่งปฏิกิริยา การทำปฏิกิริยา การแยกกลีเซอรีน ตลอดจนการล้างสารเคมีที่ทำปฏิกิริยาไม่หมดและสิ่งสกปรกออกจากเมทิลเอสเทอร์ โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ ข.6



ภาพที่ ข.6 แสดงกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

2.1 การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะมีเศษอาหารหรือมีสิ่งสกปรกติดมาด้วยและยังมีความชื้นอยู่ด้วยจึงต้องมีการกำจัดสิ่งเหล่านี้ออกจากน้ำมันพืชใช้แล้วเสียก่อนโดยมีขั้นตอนในการเตรียมน้ำมันดังนี้

2.1.1 การกรองน้ำมัน น้ำมันพืชใช้แล้วที่รวบรวมมาจากแหล่งต่างๆจะถูกนำมาเทผสมรวมกันให้เป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นก็จะปล่อยผ่านผ้ากรองขนาด 30 mesh เพื่อกำจัดเศษอาหารหรือสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมัน

2.1.2 การกำจัดความชื้น ความชื้นที่ปะปนอยู่ในน้ำมันพืชใช้แล้วจะอยู่ในรูปของน้ำ ซึ่งถ้ามีน้ำปะปนอยู่ในน้ำมันจำนวนมากในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นน้อยและเกิดสบู่ขึ้นได้ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดความชื้นให้หมดเสียก่อนโดยน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 30 นาที เพื่อไล่ความชื้นออกจากน้ำมัน

2.2 การไทเทรต

เนื่องจากในน้ำมันพืชใช้แล้วแต่ละครั้งที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลจะมีอายุการใช้งานที่แต่ต่างกันและมีจำนวนกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกันและการใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมก็มีผลต่อการผลิตกรดไขมันอิสระเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้ปริมาณตัวเร่งเหลือน้อยกว่าค่าเหมาะสมดังนั้นจำจำเป็นต้องการปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาซึ่งปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น (Transesterification)

2.2.1 สารเคมีที่ใช้

น้ำมันพืชใช้แล้ว	5 ml
Isopropyl	10 ml
โปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์	1 กรัม
น้ำกลั่น	1 ลิตร

2.2.2 ขั้นตอนการไทเทรต

2.2.2.1 ละลายโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1 กรัมในน้ำกลั่นจำนวน 1 ลิตร

2.2.2.2 ละลายน้ำมันพืชใช้แล้ว 1 มิลลิลิตรในไอโซโพพิลแอลกอฮอล์ (Tsopropyl alcohol) 10 มิลลิลิตร

2.2.2.3 เติมสารละลายโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 มิลลิลิตรในสารผสมของน้ำมันและแอลกอฮอล์แล้วตรวจดูค่า pH ของน้ำมันด้วยกระดาษลิตมัส

2.2.2.4 ทำซ้ำข้อ 2.2.2.3 จนกระทั่ง pH ของสารละลายมีค่าระหว่าง 8-9 แล้วนับจำนวนปริมาณโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติมลงไปทั้งหมด

2.2.2.5 ใช้สมการ $L = X+9$

เมื่อ X = ปริมาณของสารละลายโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติมลง

L = จำนวนกรัมของโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ต่อน้ำมัน 1 ลิตร

2.3 การเตรียมสารละลายโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์

ในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ใช้เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยา ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาเลือกใช้โปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) ในการเตรียมสารละลายเริ่มต้นด้วยการเติมโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ลงในเมทานอลแล้วปล่อยให้ละลายเข้ากัน ใช้เมทานอลจำนวน 30 ลิตร และปริมาณของโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์จะแปรผันตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันพืชใช้แล้วซึ่งหาได้จากการไทเทรต

2.4 การทำปฏิกิริยา

ในการผลิตใช้ถังปฏิกรณ์ขนาด 200 ลิตร เริ่มต้นด้วยการนำน้ำมันพืชใช้แล้วจำนวน 150 ลิตรมาอุ่นให้ได้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พร้อมกับเปิดปั๊มปั่นผสมเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้น้ำมันได้รับความร้อนทั่วถึง หลังจากนั้นเติมสารละลายโปรแตสเซียมเมทอกไซด์ลงในน้ำมันที่อุ่นไว้และเปิดปั๊มปั่นผสมจนครบ 2 ชั่วโมงจากนั้นเปิดปั๊มถ่ายไปทิ้งไว้ที่ถังแยกกลีเซอรีน ภายในถังแยกกลีเซอรีนจะเกิดการแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรีน โดยที่เมทิลเอสเทอร์ที่มีน้ำหนักเบากว่าจะอยู่ข้างบนส่วนกลีเซอรีนซึ่งหนักกว่าจะอยู่ด้านล่าง

2.5 การแยกกลีเซอรีน

กลีเซอรีนจะถูกถ่ายออกทางด้านล่างของถังแยกกลีเซอรีน เมื่อปล่อยไว้ประมาณ 8 ชั่วโมง ซึ่งจะทำจะทำให้เมทิลเอสเทอร์กับกลีเซอรีนแยกชั้นกันได้หมด จากนั้นถ่ายกลีเซอรีน (สีน้ำตาลเข้ม) ลงในถังเก็บจนหมด แล้วเปิดปั๊มเพื่อถ่ายเมทิลเอสเทอร์ไปยังถังล้างน้ำ

2.6 การล้างด้วยน้ำ

การล้างเมทิลเอสเทอร์ มีจุดประสงค์เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน เช่นสบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์กับกรดไขมันอิสระหรือน้ำมันกลีเซอรอลที่ละลายอยู่ในชั้นเมทิลเอสเทอร์ โปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา และน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด เพื่อให้ได้เมทิลเอสเทอร์ที่บริสุทธิ์และมีค่า pH เป็นกลางจึงจำเป็นต้องมีการล้างซ้ำหลายๆครั้งประมาณ 4-5 ครั้ง โดยการเติมน้ำอย่างช้าๆและให้ปะทะกับเมทิลเอสเทอร์เบาๆ เนื่องจากหากเติมลงแรงเกินไปจะทำให้เมทิลเอสเทอร์รวมตัวกับน้ำเกิดเป็นสารอีมัลชั่น และรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้แยกจากกันได้ยาก เมทิลเอสเทอร์ที่ล้างแล้วจะลอยอยู่ชั้นบนและน้ำอยู่ด้านล่าง แล้วแยกน้ำออกทางด้านล่างของถังล้างน้ำในการล้างครั้งต่อไปให้ทำด้วยวิธีเช่นเดียวกัน ทำการล้างหลายๆครั้งจนกว่าค่า pH ของเมทิลเอสเทอร์จะมีค่าเท่ากับ 7 สุดท้ายจะได้เมทิลเอสเทอร์ที่มีความบริสุทธิ์และพร้อมที่จะนำไปใช้งานในเครื่องยนต์ต่อไป

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างการคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างการคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์

1. เครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ (น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5% โดยปริมาตร)

1.1 กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Break Power,P)

ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,500 รอบต่อนาที ได้ T = 79.2 N.m (ได้จากการอ่านค่าจากการทดลอง) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$T = F \times r$$

เมื่อ F = แรงหรือภาระกระทำที่ระยะรัศมี, N

r = ระยะรัศมีที่ภาระกระทำ, m

สามารถหากำลังเบรกของเครื่องยนต์ได้จากสมการ

$$P = \frac{2\pi nT}{60}$$

$$P = \frac{2 \times \pi \times 2500 \times 79.2}{60}$$

$$P = 20734.51 \text{ Watt}$$

$$P = 20.73 \text{ kW}$$

1.2 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Brake Specific Fuel Consumption, BSFC)

อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (m_f) สามารถหาได้จากสมการ

$$m_f = \frac{Fuel\ Volume\,(cc)}{Time\,(\text{sec})}$$

$$m_f = \frac{40cc.}{15\sec.}$$

$$m_f = \frac{0.0267 \times 3600}{1000}$$

$$m_f = 9.6 \text{ lt/hr}$$

หาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC) ได้จากสมการ

$$BSFC = \frac{\gamma \times m_f}{P} = \frac{m_c}{P}$$

เมื่อ $\gamma = 0.884$ kg/lt $P = 20.73$ kW $m_c = 9.6$ lt/hr แทนค่าในสมการจะได้

$$BSFC = \frac{0.884 \times 9.6}{20.73}$$

$$BSFC = 0.41 \text{ kg/kW.hr}$$

1.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficientcy, η_{bth})

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสามารถหาได้จากสมการ

$$\eta_{bth} = \left(\frac{P \times 3600}{m_c \times Hv \times 1000} \right) \times 100$$

เมื่อ $P = 20.73$ kW $m_c = 8.486$ kg/hr $Hv = 38.4$ MJ/kg แทนค่าในสมการจะได้

$$\eta_{bth} = \left(\frac{20.73 \times 3600}{8.486 \times 38.4 \times 1000} \right) \times 100$$

$$\eta_{bth} = 22.91\%$$

2. เครื่องยนต์ขนาด 1 สูบ (น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล 5% โดยปริมาตร)

1.1 กำลังเบรกของเครื่องยนต์ (Break Power,P)

จากสมการหาแรงบิดของเครื่องยนต์

$$T = F \times r$$

$$T = F \times 0.24$$

ที่ความเร็วรอบ 1,800 รอบต่อนาที จะได้ $T = 19.3$ N.m

สามารถหากำลังเบรกของเครื่องยนต์ได้จากสมการ

$$P = \frac{2\pi nT}{60}$$

$$P = \frac{2 \times \pi \times 1800 \times 19.3}{60}$$

$$P = 3637.96 \text{ Watt}$$

$$P = 3.63 \text{ kW}$$

1.2 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Brake Specific Fuel Consumption, BSFC)

อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (m_f) สามารถหาได้จากสมการ

$$m_f = \frac{Fuel\ Volume(cc)}{Time(\text{sec})}$$

$$m_f = \frac{5cc.}{11\text{sec.}}$$

$$m_f = \frac{0.45 \times 3600}{1000}$$

$$m_f = 1.63 \text{ lt/hr}$$

หาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC) ได้จากสมการ

$$BSFC = \frac{\gamma \times m_f}{P} = \frac{m_c}{P}$$

เมื่อ $\gamma = 0.884$ kg/lt $P = 3.63$ kW $m_c = 1.63$ lt/hr แทนค่าในสมการจะได้

$$BSFC = \frac{0.884 \times 1.63}{3.63}$$

$$BSFC = 0.39 \text{ kg/kW.hr}$$

1.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficientcy, η_{bth})

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสามารถหาได้จากสมการ

$$\eta_{bth} = \left(\frac{P \times 3600}{m_c \times Hv \times 1000} \right) \times 100$$

เมื่อ $P = 3.63$ kW $m_c = 1.44$ kg/hr $Hv = 38.4$ MJ/kg แทนค่าในสมการจะได้

$$\eta_{btth} = \left(\frac{3.63 \times 3600}{1.44 \times 38.4 \times 1000} \right) \times 100$$

$$\eta_{bth} = 23.63\ \%$$

ภาคผนวก ง
ผลงานตีพิมพ์เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้ (ฉบับเต็ม)

ผลงานตีพิมพ์เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้

[1] K.Pianthong, I.Worapun. **Engine Performance and Emission Using Biodiesel-Ethanol blends as a Fuel.** 6th International Colloquium Fuels. January 10-11, 2007, Stuttgart/ Ostfildem, Germany. pp. 399-403.

[2] อิทธิพล วรพันธ์, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี และ เด่นพงษ์ สุดภักดี. 2549. **สมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง.** วารสารวิศวกรรม มข. ปีที่ 33 ฉบับที่ 6 ประจำเดือน พฤศจิกายน - ธันวาคม 2549. หน้า 691-705.

[3] อิทธิพล วรพันธ์, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี และ เด่นพงษ์ สุดภักดี. 2548. **การศึกษาสมรรถนะและการปล่อยควันดำของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง.** การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19; 19-21 ตุลาคม 2548; ภูเก็ต.มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. Paper no. ETM033

[4] กุลเชษฐ์ เพียรทอง, อิทธิพล วรพันธ์, ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์, พิศาล สมบัติวงศ์ และ นิมิตรมงคล สุดเสนห์. 2548. **การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วขนาด 150 ลิตรต่อรอบการผลิตและการใช้งานกับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก.** การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1; 11-13 พฤษภาคม 2548; ชลบุรี.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. Paper no. RE07

[5] อิทธิพล วรพันธ์, วิบูลย์ มีธรรม, ศักรินทร์ ศรีสุรักษ์ และ กุลเชษฐ์ เพียรทอง. 2547. **การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์.** การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18; 18-20 ตุลาคม 2547; ขอนแก่น.มหาวิทยาลัยขอนแก่น. Paper no. ETM019

Engine Performance and Emission Using Biodiesel-Ethanol Blends as a Fuels

Kulachate Pianthong
Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, 34190, Thailand
Email: K.Pianthong@ubu.ac.th

Ittipon Worapun
Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, 34190, Thailand

Summary

Recently, biodiesel becomes a hot issue in many countries, including Thailand, due to the oil crisis situation. Availability and quality of biodiesel are also important topics to consider. Wasted cooking oil can be a good source of the raw materials currently available and readily to be used. This study tries to improve the quality of the bio-diesel produced from wasted vegetable oil by blending it with ethanol. Also, biodiesel and ethanol are both oxygenated fuel, they may help to reduce the emission level. Various blended ratios have been prepared to improve the viscosity to standard diesel. Some of their physical properties have been tested and compared with standard diesel. The fuels are then applied to a single cylinder diesel engine. Engine performances, such as torque, brake power, specific fuel consumption, are measured. Sample fuels in this study are D100, B100, BE95, BE90, and BE85. From the engine tests, blended fuels usually give slightly lower performances. All of the engine emissions are significantly improved, except only the NO_x is slightly higher comparing to that of standard diesel fuel.

1 Introduction

More than one hundred years ago, Rudolf Diesel invented the diesel engine. Originally, he was especially interested in using coal dust or vegetable oil as fuels. In 1900, he demonstrated his diesel engine in the 1900 Exposition Universelle (World's Fair) using peanut oil as a fuel and it worked well at that time [1]. However, later on, with the advent of refinery technologies and cheap petroleum price, the diesel fuel was produced and widely used in the diesel engine. Since then, the vegetable oils were used in diesel engines time to time, but usually only in the emergency situation or oil crisis. And now, we all know the fossil petroleum is running out and will last only a few decades. The potential renewable energy resources have been investigate and researched in almost every country.

Recently, the biodiesel have become more attractive in every country in term of renewable energy. Also, the price and the quality of the biodiesel is now more competent to diesel due to the risen petroleum price and biodiesel production knowledge, respectively. Moreover, its environmental benefit is also the main advantage. Ma and Hanna [2] reviewed the production process and the possible raw materials for producing biodiesel. The effect of some parameters in the transesterification reaction, which is the most popular process in producing biodiesel, such as content of moisture and free fatty acid, alcohol molar ratio, catalyst, reaction period, reaction temperature were reviewed. It is suggested that the wasted cooking oil could be used as raw material for producing biodiesel, however, it should be anhydrous and very low in the free fatty acid. Kalligeros *et al.* investigated the properties of biodiesel made by transesterification and found they are quite similar, but the biodiesel has about 10% of oxygen as a composition [3]. The biodiesel (100% biodiesel or B100) and biodiesel-diesel blends were applied to the engine without any engine modification. It was found that the engine performances are about 5-10% lower [4]. A few researchers tested the biodiesel and diesel in the engines and found the performances of the engines are slightly lower. However, the engine emissions such as carbon dioxide (CO), hydrocarbon (HC), particulate matter (PM) and sulfur dioxide (SO_2) are lower, while the nitrogen oxide (NO_x) is slightly higher [5-6]

Ethanol is another an attractive alternative fuel, because it is a renewable bio-based resource and it is oxygenated as well. Ethanol is considered as a cheap oxygenate additive for fuel because it usually contains about 34% of oxygen (by weight) [7]. Thereby, it provides a great potential to reduce particulate emission in diesel engines. Ethanol can be blended with diesel known as "diesohol". However, due to the lower heating value, lower Cetane number of ethanol, and the miscibility in diesel. It is recommended not to blend ethanol more than 20% in diesel [8]. In term of engine performance, Hansen *et al* found the power of the engine is lowered by 7-10% when 15% of ethanol is mixed in diesel, with 2.35% additive [9]. Kass et al tested for the torque and PM of the engine when 10-15% of ethanol was blended with 2% additive. The torque is lower by about 8% where the PM is lower about 20-41%. The No_x was slightly increased but the CO is slightly decreased [10].

In this study, the feasibility to apply the concept of "biodiesohol" (i.e. biodiesel-ethanol bleand) or double oxygenate fuel, instead of "diesohol", is investigated. Biodiesel-ethanol blends at various ratios are tested for their fuel properties and applied to the single cylinder diesel engine. The engine performance and emission are measured. The appropriate blending ratio could be suggested considering the overall results.

2 Experimental Procedures

2.1 Fuel Preparation

In this study, the raw material for producing biodiesel is the waste cooking oil which is collected from restaurants or food stalls around the city. Therefore, the oil quality is quite random depending on the source. It usually has high free fatty acid, strong smell, black in colour, and moisture contaminate. From, the raw material property, the 2-steps alcoholysis (esterification and transesterification) process is selected for producing biodiesel. The ethanol used in this study is an anhydrous ethanol (99.5%), analysis grade. Fuel properties of the anhydrous ethanol are shown in Table. 1. The blended biodiesel-ethanol properties are listed in Table 2.

Table. 1 Property of anhydrous ethanol [7]

property	Ethanol
Specific gravity	0.7894
Viscosity 40 °C (cSt)	1.2
Oxygen content (wt %)	34
Flash point (°C)	13.5
Heating value (MJ/kg)	27
Cetane Index	6

The fuels used in this study are pure diesel (D100), pure biodiesel (B100), blended biodiesel-ethanol with 5%, 10%, 15% ethanol by volume (i.e. BE95, BE90, BE85 respectively). From Table. 2, it shown that the viscosity of blend fuel is improved when percentage of ethanol is higher and it gets very close to D100. This should improve the spray and ignition quality of biodiesel. However the cetane index and the heating value will be lower as the ratio of blended ethanol is increased. The engine may has trouble in ignition quality and combustion efficiency. Therefore, this study decide to test with upto 15% ethanol only.

Table. 2 Property of tested fuels

property	standard	Fuels				
		D 100	B 100	BE 95	BE 90	BE 85
Specific gravity	ASTM D1298	0.87	0.89	0.88	0.88	0.887
viscosity@ 40°C (cSt)	ASTM D88	4.1	6.44	5.61	4.84	4.43
Flash point (°C)	ASTM D97	52	155	70	38	32
Fire point (°C)	ASTM D97	74	160	105	69	32
Cetane Index	ASTM D976-9	52	50.9	49	48	47.4
Heating Value (MJ/kg)	ASTM D1250	42	39.4	38.4	37	36.7

2.2 Engine Dynamometer

The engine and the dynamometer used in this study is the engine research test bed attached to the small single cylinder diesel engine. The dynamometer is an eddy current dynamometer which is able to adjust the engine load and measure the torque and engine speed by the strain-gauge load cell and tachometer. The output reading are digital. The setup of the engine-dynamometer is shown in Fig. 1.

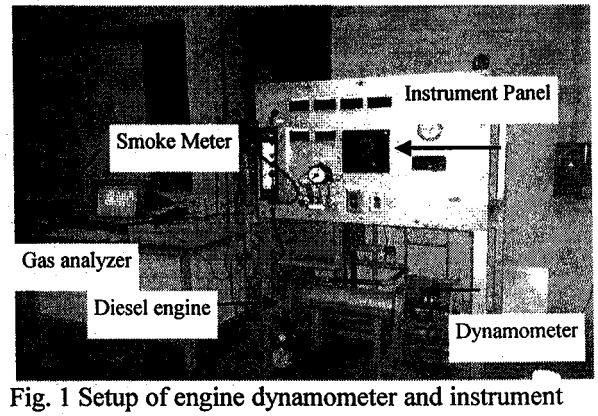


Fig. 1 Setup of engine dynamometer and instrument

In this study, the engine is standard as original; no modification in any part is done. In every test, the engine is warm up about 5-10 minutes. The performance test is performed at full load at engine speed range from 1200-2500 rpm. The torque, power, brake specific fuel consumption and exhaust gas temperature were measured and recorded. For the engine emission, the black smoke is measured at the maximum rpm using the partial flow opacity smoke meter. The CO, CO_2, NO_x were recorded at the 2400 rpm which is the maximum power condition.

Table 3. Technical specification of the tested engine

Engine	Mitsubishi Diesel Engine
model	D-800
No.	1
Bore x stroke	82 x 78 mm.
Cylinder volume	411 cc
Maximum horse power	8.0 PS at 2,400 rpm
Maximum torque	2.6 kg-m at 1,800 rpm
compression ratio	18:1
cooling system	water

3 Experimental Results

3.1 Engine Performance

Torque and brake power of the tested engine at varied engine speed are plotted and shown in Fig. 2 and Fig. 3, respectively. In the test, at the beginning, the engine worked at the full load condition, then the varied engine speed was achieved by increasing the torque at the dynamometer. From Fig. 2, the torque is highest at 1800 rpm, while the brake power is maximum at 2400 rpm. From the plots, the trend of the torque at varied speed from every fuel is quite similar, however the BE85 seems to give the lowest torque which is about 6% lower than D100. The B100 gives nearly similar torque as that of D100 by only 1.23% lower. For brake power, the D100 give highest power as expected, where the B100, BE95, BE90, BE85 give 4.1%, 5.29%, 5.8% and 8.2% lower, respectively. Note that, these comparisons are made at the maximum torque and maximum power condition. It is also noticed that at the high engine speed, the torque and power of the engine from each fuel are quite similar or closer than those at the low speed. It maybe benefit of the oxygen amount and the better viscosity (i.e. better spray and mixing) in the blended fuel.

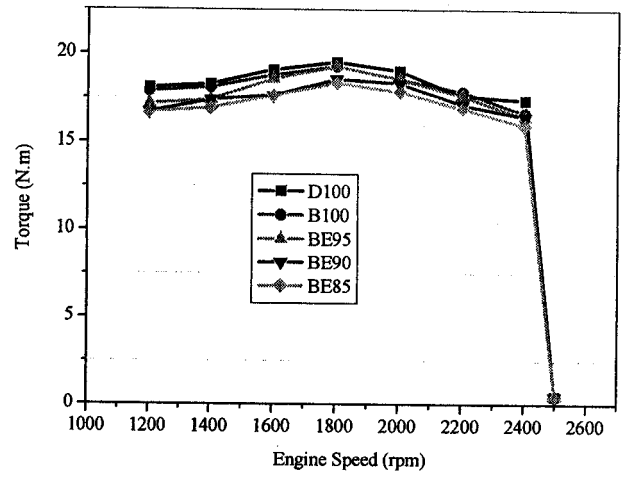


Fig. 2 Torque and engine speed

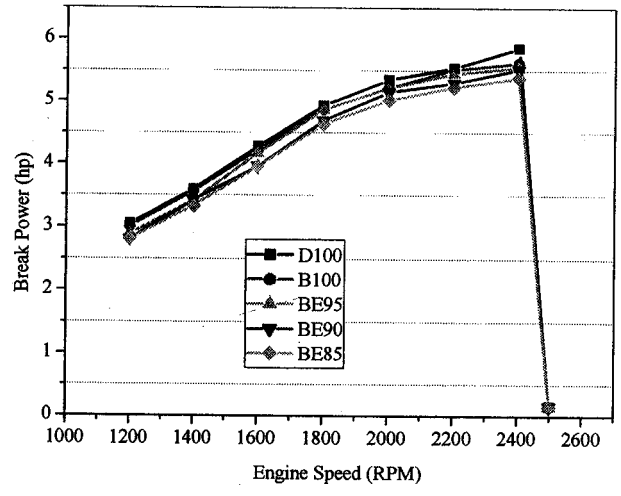


Fig. 3 Brake power and engine speed

Fig. 4 indicates the brake specific fuel consumption (bsfc) of the engine at various speed. At low engine speed the bsfc looks very similar the plot, however, if it is looking at the figure, the bsfc of the BE85 and BE90 is about 2.5% higher than that of D100. At 2500 rpm, the bsfc of every fuel is quite high and the BE85 and BE90 are 5-10% higher than that of D100.

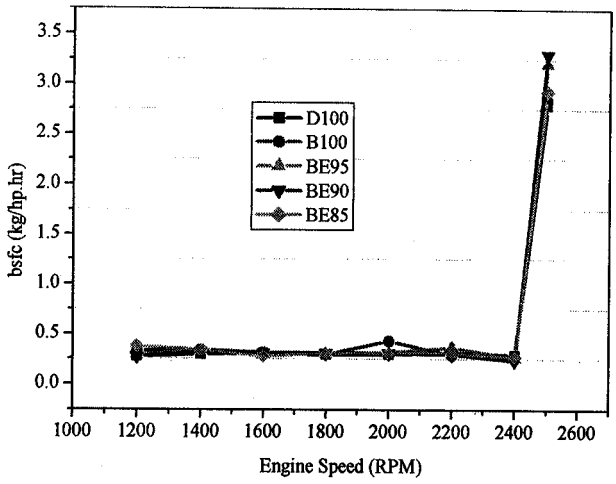


Fig. 4 Brake specific fuel consumption and engine speed

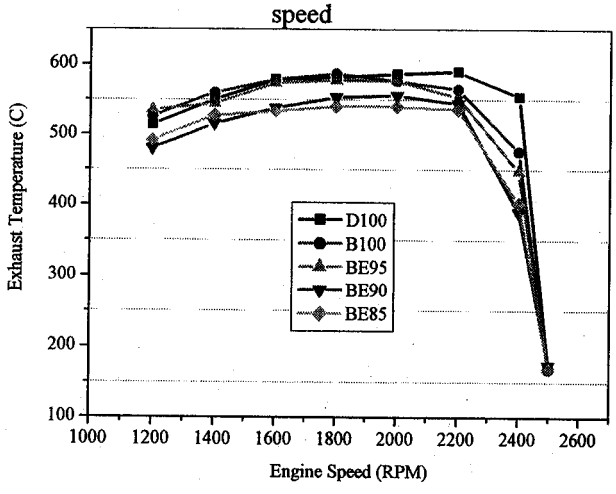


Fig. 5 Exhaust gas temperature and engine speed

The exhaust gas temperatures at various engine speeds are plotted in Fig. 5. It is shown that the exhaust gas temperature of D100 is averagely higher than others at every engine speed. This is because of the higher heating value of D100. The BE90 and BE85 give quite low exhaust gas temperature compared to others. In aspect of engine operation, this would be a great benefit for the longer engine life.

3.2 Engine Emission

Fig. 6 shows the level of black smoke from the tested engines. The black smoke level is recorded at the highest engine speed according to the tested standard. It is interesting that the black smoke levels of the biodiesel-ethanol blends are significantly lowered. The B100 can reduce the smoke level more than 50% of that of D100. The BE85 give the lowest smoke level which is about 30% lower than that of B100.

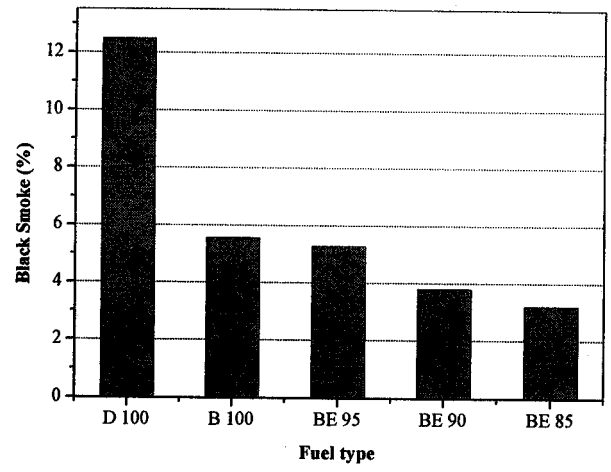


Fig. 6 Black smoke level at maximum engine speed

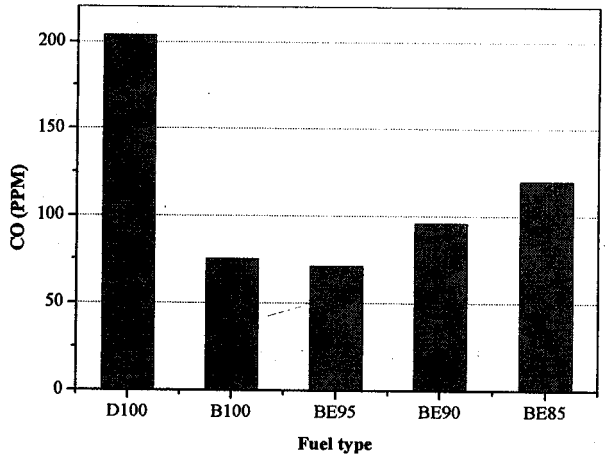


Fig. 7 CO level at maximum power condition

Fig. 7 and Fig. 8 present the amount of CO and CO_2 released by the tested engine at maximum brake power condition respectively. It is found that the oxygenate fuel (i.e B100 or BE) usually give lower CO and CO_2 than D100. For CO, the B100 and BE95 give significantly low CO, but it is increased when the amount of ethanol is increased (i.e. BE90 and BE85). This might come from the lower cetane index of the ethanol and cause the incomplete combustion. For the CO_2, the BE95 and BE90 give lowest CO_2 level.

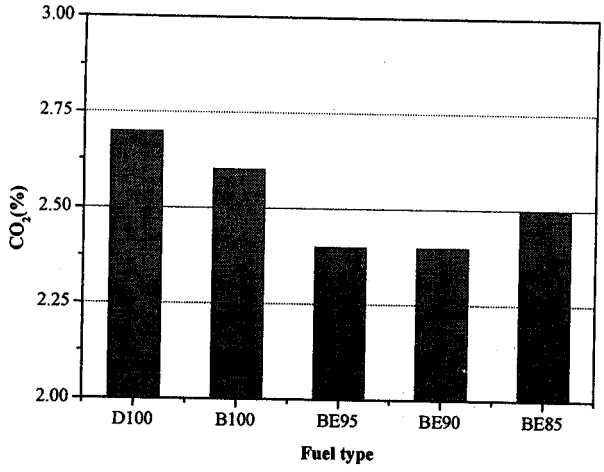


Fig. 8 CO_2 level at maximum power condition

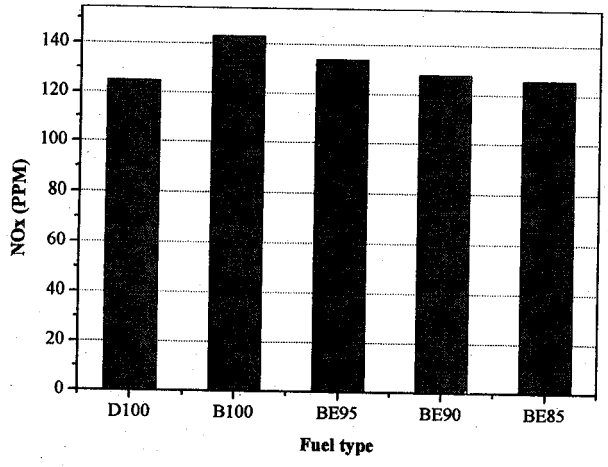


Fig. 9 NO_x level at maximum power condition

For nitric oxide (NO_x), all of the biofuels (the B100, BE95, BE90, and BE85) give a little higher NO_x than that of D100 as shown in Fig. 9. The D100 give the highest NO_x compared to others. The NO_x usually occur when there is excess oxygen in the combustion chamber coupling with the high temperature in the cylinder or exhaust gas port. This result agrees well with such fact.

4 Concluding Remarks

This has successfully produced the biodiesel from waste cooking oil and applied it to the engine without mixing with diesel. The idea of diesohol was applied to be biodiesel-ethanol blends or "biodiesohol". The ethanol was blended to biodiesel at ratio of 5%, 10% and 15%. The engine performance and emission were tested and measured. It is found that the engine performances are slightly lower than those of D100, between 5-10% depending on the engine speed. The engine emissions level were investigated and showed promising sign on the reduction of black smoke, CO, CO_2. However, the NO_X level from the biodiesel or biodiesohol is slightly higher than that of diesel. In summary, considering from aspects of engine performance and emission, the BE95 would be the most suitable blending portion of biodiesohol, however BE90 or BE85 are still acceptable.

Acknowledgements

The authors would like to thank the Office of Energy Region 7, Ministry of Energy, Thailand, for initiating and supporting the biodiesel project at Ubon Ratchathani province, Thailand. The financial support for the biofuel reserach from Ubon Rachathani University are grateful. Laboratory tests on fuel properties at Chulalongkorn University are also thankful.

References

[1] WIKIPEDIA the free Encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Rudolf _Diesel, access on 27 Oct 2006, last modified 16 Oct 2006, A Wikimedia Project.

[2] Ma, F. and Hanna, M. A.: Biodiesel Production: A Review. Bioresource Technology, 70 (1999), 1-15

[3] Kalligeros, S., Zannokos, F., Stournas, S., Lois E., Anstopoulos G., Teas C., and Sakellaropoulos F.: An Investigation of Using Biodiesel/Marine Diesel Blends on the Performance of a Stationary Diesel Engine. Biomass and Bioenergy. 24 (2003), 141-149

[4] Pianthong, K., Worapun, I., Triyasut, P., Sombutwong, P., and Soodsane, N.: Production of Biodiesel from Used Cooking Oil at 150 liter/batch and Its Effect to Engine Performances. Proceedings of the 1st Annual Conference of Energy Network of Thailand (E-Nett) , Pattaya City, 11-13 May, 2005, paper no. RE07. (in Thai)

[5] Canakci, M. and Van Gerper H.: 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-Augustl 19 2001: 47-53.

[6] Dorado, M. P., Ballesteros, E., Arnal, J. M., Gomez J., and Lopez, F. J.: Exhaust Emission from a Diesel Engine Fuel with Transesterification Waste Olive Oil. Fuel, 82 (2003), 1311-1315

[7] Shi, X., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H., and Li R.: Emission Reduction Potential of Using Ethanol-biodiesel-diesel Fuel Blend on a Heavy-Duty Diesel Engine. Atmospheric Environment, 40 (2005), 2567-2574

[8] Gerdes, K. R. and Supper, G. J.: Miscibility of Ethanol in Diesel Fuel. Industrial and Engineering Chemistry Research, 40 (2001), 949-956

[9] Hansen, A. C., Mendoza, M., Zhang, Q., and Reid J. F.: Evaluation of Oxydiesel as a Fuel for Direct-Injection Compression-ignition Engine, ASAE, 01 (2001), 6173

[10] Kass, M. D., Thomas, J. F., Storey, J. M., Domingo, N., Wade, J., and Kenreck, G.: Emission from a 9.5 Liter Diesel Engine Fueled with Ethanol Diesel Blends, SAE Technical, 01 (2001), 2018

วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 33 ฉบับที่ 6 (691 - 705) พฤศจิกายน - ธันวาคม 2549 บทความวิจัย
KKU Engineering Journal Vol. 33 No .6 (691 – 705) November – December 2006

สมรรถนะและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง*

อิทธิพล วรพันธ์[1] กุลเชษฐ์ เพียรทอง[1] สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี[2] และ เด่นพงศ์ สุดภักดี[3]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
[2] ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[3] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail: 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 (CO_2),และออกไซด์ของไนตริก (NO_x) จากผลการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลให้สมรรถนะใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล แต่ต่ำกว่าประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ย ในส่วนการปล่อยมลพิษ ปริมาณควันดำ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO),คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่ไนตริกออกไซด์ (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 Worapun[1] Kulachate Pianthong [1] Sangobtip Pongstabodee [2] and Denpong Soodphakdee[3]

[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

E-mail: 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 (CO_2), 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, CO_2 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 manucript submitted: July 26, 2006 and Final manucript received: September 8, 2006

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่นำมาใช้ในการขนส่ง โรงงานอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม จากวิกฤตการณ์ด้านราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาทำให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีการปรับตัวสูงขึ้น รัฐบาลเริ่มหันมาให้ความสำคัญในการหาพลังงานทดแทนที่มีอยู่ภายในประเทศเพื่อลดการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศ โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลมีปริมาณการใช้สูงมากถึง 43 ล้านลิตรต่อวันคิดเป็น 46.6% ของปริมาณที่ใช้ภายในประเทศ (การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย,2546) พลังงานทดแทนที่กำลังได้รับความสนใจนำมาทดแทนน้ำมันดีเซลในขณะนี้ก็คือน้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel) และน้ำมันดีเซลผสมเอทานอล (Diesel-Ethanol blend) ซึ่งทั้งน้ำมันไบโอดีเซล และ เอทานอล ล้วนเป็นพลังงานทดแทนที่ได้จากการใช้พืชเป็นวัตถุดิบและสามารถผลิตได้เองในประเทศ

น้ำมันไบโอดีเซลได้จากการนำน้ำมันพืชหรือไขสัตว์ มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยมีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกกระบวนการนี้ว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลในประเทศไทยส่วนใหญ่เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว ซึ่งมีราคาสูงและใช้เป็นอาหารได้ ทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีต้นทุนสูงตามไปด้วย ได้มีความพยายามหาวัตถุดิบที่มีราคาต่ำสำหรับนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ดังนั้นน้ำมันพืชใช้แล้ว จึงเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญในการนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลพบว่าในประเทศไทยมีถึง 16 ล้านลิตรต่อปี (พุทธชาต *และคณะฯ*, 2547) โดยไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จะมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ 10% โดยน้ำหนัก (Kalligeros *et al.*, 2003) สามารถนำน้ำมันไบโอดีเซล 100% (B100) หรือผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ สมรรถนะของเครื่องยนต์มีค่าต่ำกว่าสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 5-10% (อิทธิพล *และคณะฯ*, 2547; กุลเชษฐ์ *และคณะฯ*, 2548) มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ละอองธุลี (Particulate matter) และสารประกอบกำมะถันลดลง ในขณะที่การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (Canakci and Van Gerper., 2001; Dorado *et al.*, 2003) และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยเป็นผลดีต่ออากาศน้ำ และดินมากกว่าผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมโดยสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้มากกว่า 90% ภายในเวลาเพียง 3 สัปดาห์และยังไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ไม่แพร่กระจายซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การย่อยสลายทางชีวภาพเกิดได้ง่ายกว่าผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียม (Kramer., 1995)

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

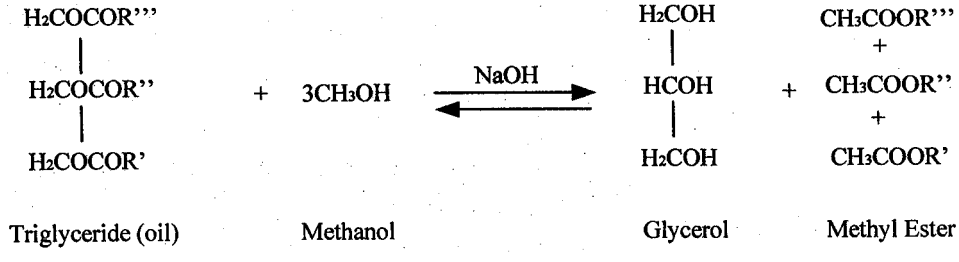
เกินร้อยละ 20 (Gerdes and Supper., 2001) จากรายงานของ Hansen et al. (2001) พบว่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 15:82.65% สารเติมแต่ง 2.35% มีค่าลดลง 7-10% (Hansen *et al.*, 2001) Kass et al. (2001) ได้ทำการทดสอบหาแรงบิดและละอองธุลีจากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ปล่อยออกมาโดยใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนของเอทานอล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

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

วิธีการและเครื่องมือในการทดลอง

การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สังเคราะห์ได้จากการนำน้ำมันพืชใช้แล้วที่เก็บรวบรวมมาจากแหล่งต่างๆ เช่นร้านอาหาร ร้านทอดปลาท่องโก๋ และตามบ้านเรือนต่างๆ ซึ่งน้ำมันพืชเหล่านี้จะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ มาทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาที่ความดันบรรยากาศ ภายใต้สภาวะและอุณหภูมิที่เหมาะสม เรียกปฏิกิริยานี้ว่าทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 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

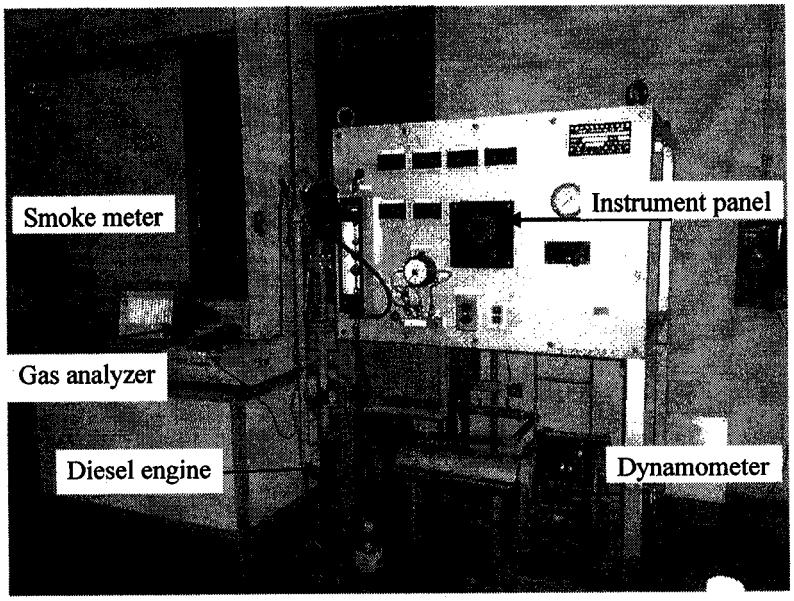
***ตารางที่ 1** สมบัติทางกายภาพของเอทานอลที่นำมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซล (Shi et al., 2005)*

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 Dynamometer ที่สามารถปรับภาระงาน (Load) ให้กับเครื่องยนต์ได้ ต่อพ่วงกับเพลาของเครื่องยนต์ โดยมีอุปกรณ์วัดแรงบิดและความเร็วรอบ (Strain – gauge load cell and Tachometer) ที่แสดงผลแบบดิจิตอลเป็นตัววัดค่า ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์มีอุปกรณ์และการติดตั้งดังรูปที่ 2 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรขนาดเล็กยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น D-800 ซึ่งไม่มีการปรับแต่งหรือดัดแปลง

เครื่องยนต์แต่ประการใด 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 หลังจากนั้นก็ ทำการวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบ 1,200, 1,400, 1,600, 1,800, 2,000, 2,200, 2,400 และ 2,500 รอบต่อนาที แบบภาระงานเต็มที่ (Full load) โดยทำการเก็บข้อมูลที่ทุกๆความเร็วรอบของ เครื่องยนต์น้ำมันเชื้อเพลิงทุกชนิดจะใช้กระบวนการทดสอบเหมือนกัน 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 (CO_2), และไนตริกออกไซด์ (NO_x) ใช้เครื่องวัดไอเสียของเครื่องยนต์ (Gas analyzer) ยี่ห้อ Testo ทำการวัดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2,400 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ให้ค่ากำลังสูงสุด

ผลการทดลอง

สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

จากผลการวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมระหว่างไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วกับเอทานอลที่อัตราส่วนผสมต่างๆโดยเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานดังตารางที่ 3

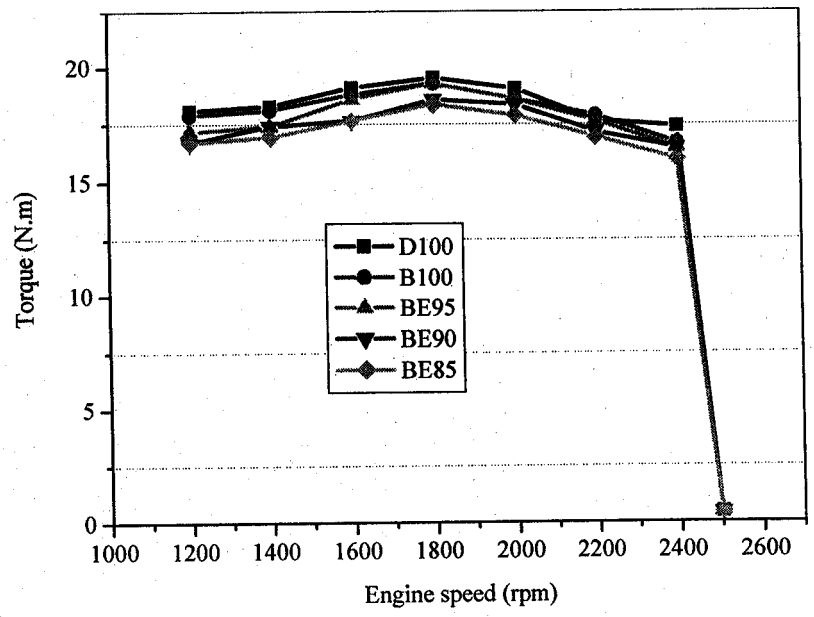
สมบัติ	มาตรฐาน	ชนิดของเชื้อเพลิง				
		D100	B100	BE95	BE90	BE85
ค่าความถ่วงจำเพาะ	ASTM D1298	0.87	0.888	0.884	0.880	0.8875
ค่าความหนืด 40 °C (cSt)	ASTM D88	4.1	6.44	5.61	4.84	4.43
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D97	52	155	70	38	32
จุดติดไฟ (°C)	ASTM D97	74	160	105	69	32
ดัชนีซีเทน	ASTM D976-9	52	50.9	49	48	47.4
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 แต่เมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูงอาจจะเกิดปัญหาอันเนื่องมาจากค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิง และเมื่อนำไบโอดีเซลมาผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วนเอทานอล 5,10 และ 15% โดยปริมาตร พบว่าค่าความหนืดและ ค่าความถ่วงจำเพาะ จะมีค่าลดลงตามร้อยละโดยปริมาตรเอทานอลที่

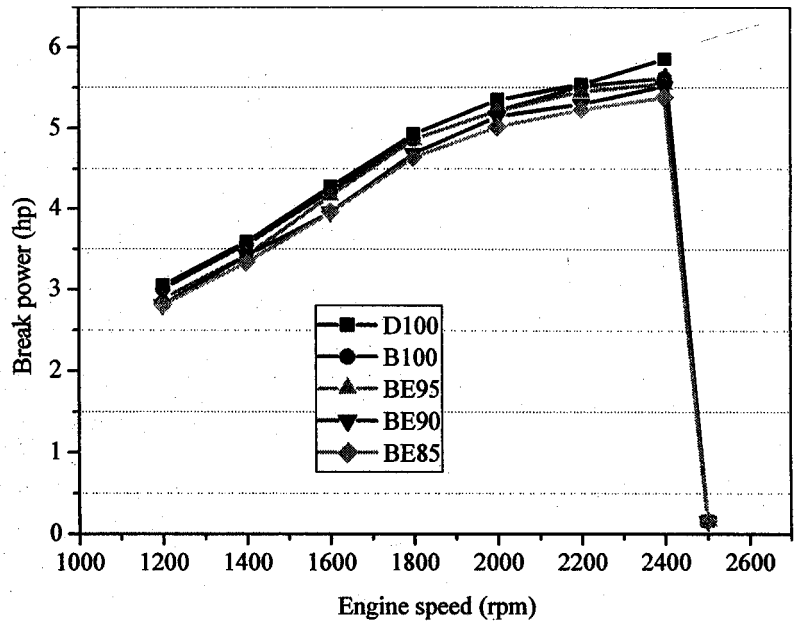
นำมาผสม โดยเฉพาะค่าความหนืดของน้ำมันเมื่อผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 15% โดยปริมาตร ปรากฏว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลที่เกณฑ์มาตรฐาน (4.1 cSt) ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการฉีดพ่นกระจายเป็นฝอยของน้ำมันในห้องเผาไหม้สามารถทำได้ดีขึ้น ส่วนจุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีค่า 150 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 3 เท่า (น้ำมันดีเซล 52 องศาเซลเซียส) ดังนั้นการผสมน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเอทานอลจะทำให้จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลลดลงมาก โดยขึ้นอยู่กับร้อยละโดยปริมาตรของเอทานอลที่นำมาผสมซึ่งจุดวาบไฟจะเกี่ยวข้องกับการจัดเก็บเชื้อเพลิงและการขนส่ง 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 โดยจะลดลงตามอัตราส่วนของเอทานอลที่นำมาผสมทั้งนี้เนื่องจากเอทานอลมีค่าดัชนีซีเทนต่ำนั้นเอง ซึ่งค่าดัชนีซีเทนจะมีผลต่อคุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงด้วย

สมรรถนะของเครื่องยนต์

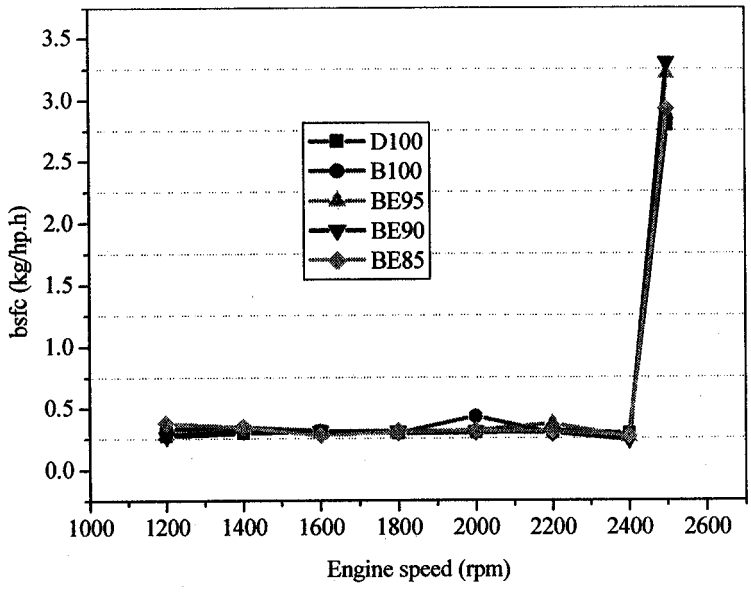


รูปที่ 3 *ผลการทดสอบค่าแรงบิดกับความเร็วของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ*

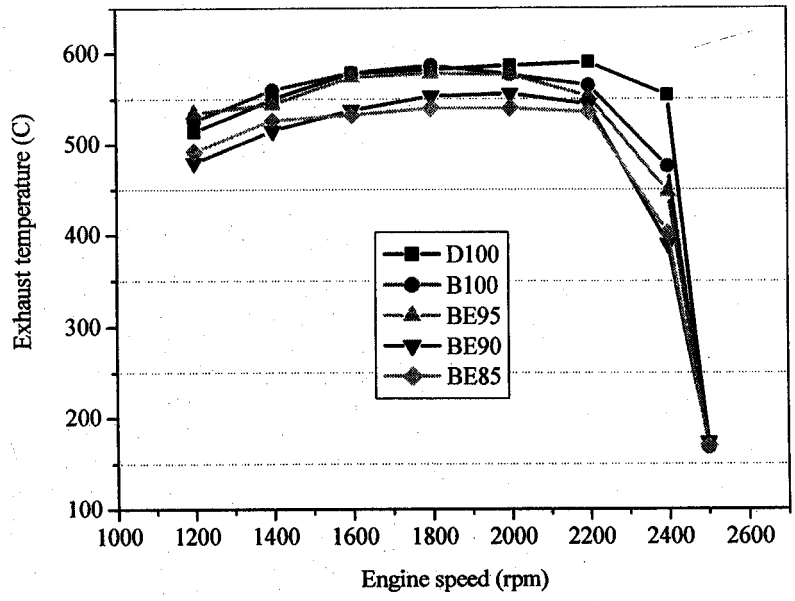
ค่าแรงบิดและกำลังเบรกของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ที่รอบการทำงานต่าง ๆของเครื่องยนต์ แสดงไว้ในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 จากผลการทดสอบพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล ให้ค่าแรงบิดและค่ากำลังของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล มีค่าต่ำกว่าไม่มากนัก โดยทุกชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง ที่รอบการทำงานของเครื่องยนต์ 1,800 รอบต่อนาที จะให้ค่าแรงบิดสูงสุดและที่ความเร็วรอบ 2,400 รอบต่อนาที จะให้ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบสมรรถนะที่มาจากโรงงานผู้ผลิต เครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง D100 จะให้ค่าแรงบิดและกำลังเบรกของเครื่องยนต์สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง 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 จะให้ค่ากำลังเบรกของเครื่องยนต์สูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง B100, BE95, BE90 และ BE85 ประมาณ 4.1% ,5.29%, 5.8%, และ 8.2% ตามลำดับ



รูปที่ 4 *ผลการทดสอบค่ากำลังเบรกกับความเร็วของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ*



รูปที่ 5 *อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะกับความเร็วของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ*



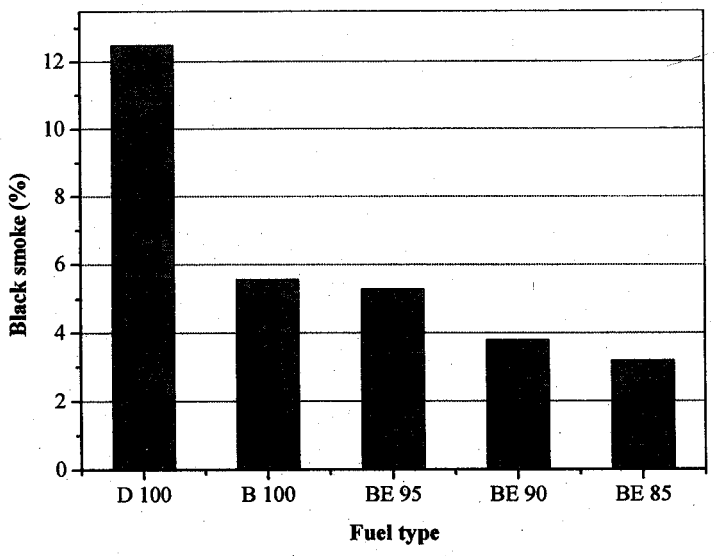
รูปที่ 6 *อุณหภูมิไอเสียกับความเร็วของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ*

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 อุณหภูมิไอเสียที่ปล่อยออกมาของเครื่องยนต์จากการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ พบว่าอุณหภูมิของไอเสียเครื่องยนต์ ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล (BE95, BE90, BE85) และน้ำมันไบโอดีเซล (B100) มีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ระหว่าง 2,000-2,500 รอบต่อนาที ในขณะที่เชื้อเพลิง BE90 และ BE85 จะมีค่าอุณหภูมิของไอเสียต่ำกว่าเชื้อเพลิง D100 ทุกรอบความเร็วของเครื่องยนต์ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ สามารถยืดอายุการใช้งานออกไปได้ เพราะมีอุณหภูมิการทำงานโดยเฉลี่ยต่ำลง

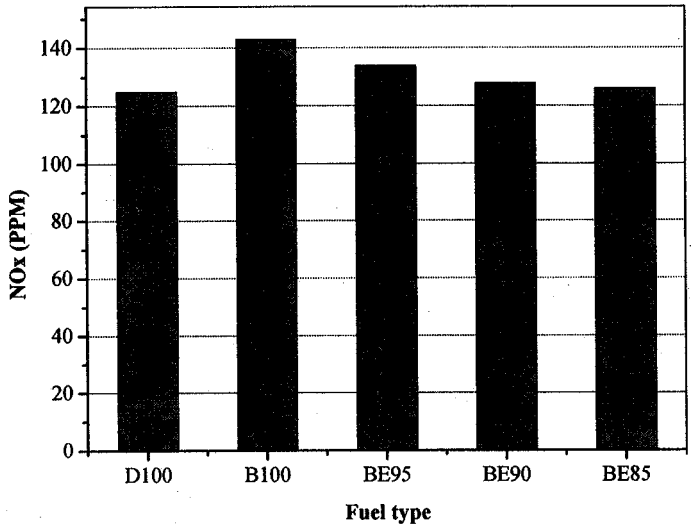
การปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์



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) สิ่งที่เห็นได้ชัดคือ น้ำมันไบโอดีเซล (B100) และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมเอทานอล (BE95, BE90 และ BE85) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็น

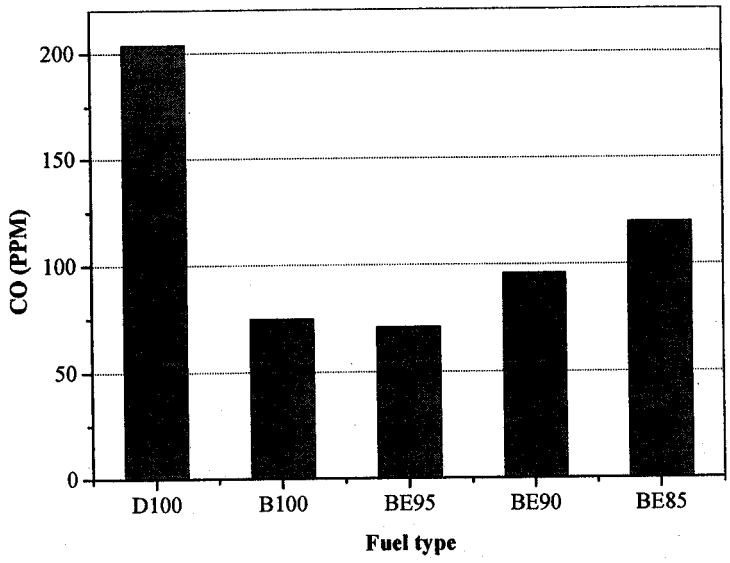
องค์ประกอบ ปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลง โดยเฉพาะเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล (BE85) ปริมาณควันดำลดลงมากที่สุดประมาณ 30.1% เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล



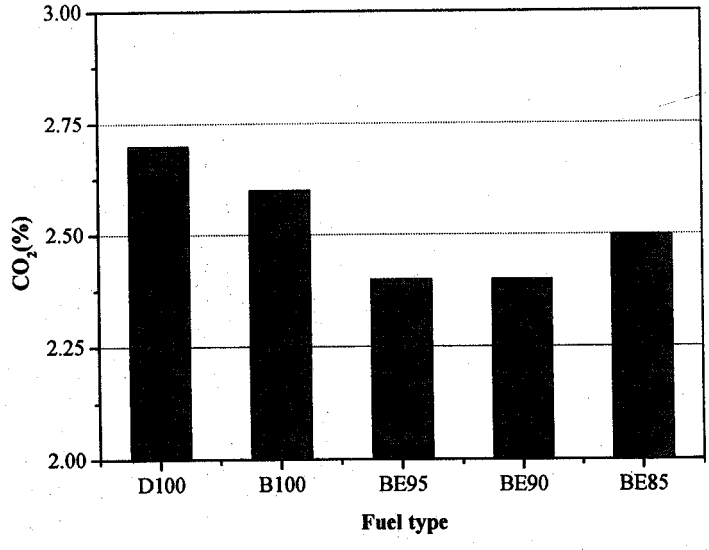
รูปที่ 8 *ปริมาณ NOx จากไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่ 2,400 รอบต่อนาที*

ผลการวัดค่าไนตริกออกไซด์ 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 CO_2 จากไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ผลการวัดค่าพบว่า เมื่อใช้เชื้อเพลิง B100, BE95, BE90 และ BE85 จะให้ค่าปริมาณ CO และ CO_2 ต่ำกว่าการใช้เชื้อเพลิง D100 เป็นเชื้อเพลิงแต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อร้อยละเอทานอลเพิ่มขึ้น ข้อสังเกตจากผลการวัดที่ได้เชื้อเพลิง BE95 มีปริมาณ CO และ CO_2 ต่ำที่สุด ทั้ง CO และ CO_2 จะก่อตัวขึ้นขณะที่การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งมีออกซิเจนไม่เพียงพอกับการสันดาปกับน้ำมันเชื้อเพลิงหรือมีเวลาเผาไหม้ที่น้อยเกินไป



รูปที่ 9 *ปริมาณ CO จากไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆที่ 2,400 รอบต่อนาที*



รูปที่ 10 *ปริมาณ CO_2 จากไอเสียของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆที่ 2,400 รอบต่อนาที*

สรุปผลการทดลอง

1. การนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วมาผสมกับเอทานอลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าลดลงตามอัตราส่วนของเอทานอลที่นำมาผสม ซึ่งมีผลดีต่อระบบจ่ายน้ำมันและการฉีดพ่นเป็นฝอยของน้ำมันและการเผาไหม้แต่อาจมีผลกระทบต่อดัชนีซีเทนที่ลดลงได้ และเนื่องจากเอทานอลมีค่า

ความร้อนของเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าน้ำมันไบโอดีเซลมาก การนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนที่มากเกินไปจะทำให้ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมลดลงมาก จนส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้

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

3. น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลให้ค่าร้อยละควันดำ, คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 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.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย.2546 **เอกสารประกอบการบรรยายการพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทน**.พิษณุโลก.มหาวิทยาลัยนเรศวร

พุทธชาด เมฑทอง, สุทธินันท์ นันทจิต, สุวิน อภิชาติพัฒนศิริ, วนิดา คูอมรพัฒนะ. 2546. **การศึกษา ความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันพืชใช้แล้วจากอุตสาหกรรมอาหารมาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน.** การสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัยด้านพลังงาน.กรุงเทพมหานคร. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

อิทธิพล วรพันธ์, วิบูลย์ มีธรรม, ศักรินทร์ ศรีสุรักษ์ และ กุลเชษฐ์ เพียรทอง. 2547. **การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์**. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18; 18-20 ตุลาคม 2547; ขอนแก่น.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.

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19
19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต

การศึกษาสมรรถนะและการปล่อยควันดำของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง

Study of Performance and Black Smoke in Diesel Engine Using Biodiesel-Ethanol blend as a Fuel

อิทธิพล วรพันธ์[1]* กุลเชษฐ์ เพียรทอง[1] สงบทิพย์ พงศ์สถาบดี[2] เด่นพงษ์ สุดภักดี[3]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี 34190
[2]ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10300
[3]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 42000
*E-mail: ittipon5@hotmail.com

Ittipon Worapun[1]* Kulachate Pianthong[1] Sangobtip Pongstabodee[2] Denpong Soodphakdee[3]
[1]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Ubonratchathani 34190
[2]Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10300
[1]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 42000
*E-mail: ittipon5@hotmail.com

Unofficial Copy

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลโดยการผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วนผสมต่างๆเพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานและได้ทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงแล้วเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานจากนั้นนำน้ำมันไปทดสอบกับเครื่องยนต์เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะได้แก่ กำลังแรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและการปล่อยควันดำของเครื่องยนต์ ในการทดลองใช้เครื่องยนต์ดีเซลเพื่อการเกษตรขนาด 411 cc.เป็นเครื่องยนต์ในการทดสอบ โดยน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้ น้ำมันดีเซล100%, น้ำมันไบโอดีเซล 100%,และไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่สัดส่วน 95% (ไบโอดีเซล 95%-เอทานอล 5%), 90% (ไบโอดีเซล 90%-เอทานอล 10%), และ 85% (ไบโอดีเซล 85%-เอทานอล 15%) จากผลการทดลองพบว่า ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อใช้น้ำมันผสมที่อัตราส่วนต่างๆให้ค่าสมรรถนะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และการปล่อยควันดำของเครื่องยนต์มีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

คำหลัก ไบโอดีเซล,เอทานอล,สมรรถนะ,ควันดำ

Abstract

This project aims to improve the quality of Bio-diesel fuel blending it with ethanol. Various blended ratios have been prepared to improve the quality to standard diesel. Some of their physical properties have been tested and compared with standard diesel. The fuels are then applied to the small engine (411cc.). Engine performance such as torque, brake power, specific fuel consumption are measured sample fuel in this study are (1) diesel 100%, (2) biodiesel 100%, (3) biodiesel 95% + ethanol 5% (4) biodiesel 90% + ethanol 10%, (5) biodiesel 85% + ethanol 15%. From the engine test, blended fuel usually gives slightly lower performance. However the black smoke emission from blended fuel is significantly improved comparing to that from standard diesel fuel.

Keywords: Biodiesel, Ethanol, performance, Black smoke

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตลอดเวลา โดยพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ได้แก่พลังงานปิโตรเลียมซึ่งมีสัดส่วนการนำเข้าร้อยละ 85 ของปริมาณการจัดหาพลังงานทั้งหมดมีมูลค่าถึง 300,000 ล้านบาทต่อปี โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลมีปริมาณการใช้ถึงวันละ 43 ล้านลิตรต่อวัน [1] ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปและมีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆตามราคาในตลาดโลกอันมีสาเหตุหลายประการที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นการเก็งกำไรของบางกลุ่มบุคคลหรือเกิดจากความไม่สงบในประเทศผู้ผลิตน้ำมันเอง ทำให้รัฐบาลไม่สามารถที่จะกำหนดราคาน้ำมันเชื้อเพลิงภายในประเทศได้เองเกิดความไม่มีเสถียรภาพในการจัดการด้านพลังงานของประเทศ จึงเกิดความพยายามในการหาแหล่งพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมและที่ได้รับความสนใจมากใน

ขณะนี้ก็คือไบโอดีเซลซึ่งได้จากการนำน้ำมันพืช,ไขมันสัตว์แม้กระทั่งน้ำมันพืชที่ใช้งานแล้วมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตโดยผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น ซึ่งไบโอดีเซลที่ได้สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แต่ประการใด [2-3] แต่การนำไบโอดีเซลมาใช้งานจริงในชีวิตประจำวันยังมีข้อจำกัดอยู่หลายอย่างเช่น ความไม่แน่ใจของผู้ใช้ในการเลือกใช้ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทางเลือก ราคาของน้ำมันไบโอดีเซลที่ยังสูงกว่าน้ำมันดีเซล และคุณสมบัติของเชื้อเพลิงบางประการ Ali และ Hunna ได้ทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเมทิลเอสเทอร์ (Biodiesel) และเมทิลเอสเทอร์ผสมเอทานอลพบว่าเอสเทอร์ที่ได้ยังมีค่าความหนืดเป็น 3 ถึง 4 เท่าของน้ำมันดีเซลแต่เมื่อผสมเมทิลเอสเทอร์กับเอทานอลพบว่าน้ำมันผสมมีค่าความหนืดลดลงและเมื่อผสมเมทิลเอสเทอร์กับเอทานอลที่อัตราส่วน 65: 35 โดยปริมาตรพบว่าค่าความหนืดมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล [4]

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเพื่อแก้ปัญหาทางด้านราคาของน้ำมันไบโอดีเซลและเพื่อเป็นการส่งเสริมการผลิตและการปรับปรุงคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วให้มีความเหมาะสมกับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วจึงได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลโดยการผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วนต่าง ๆซึ่งเอทานอลเองก็มีคุณสมบัติที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เช่นเดียวกับน้ำมันเบนซินและดีเซล เนื่องจากสามารถจุดติดไฟได้ และให้ค่าความร้อนเมื่อถูกเผาไหม้ นอกจากนี้เอทานอลยังมีส่วนผสมของออกซิเจน จึงมีคุณสมบัติที่ใช้เป็นสารเติมออกซิเจน [5] ซึ่งอาจจะช่วยให้ไอเสียจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดขึ้น และทำการทดสอบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของน้ำมันผสมอัตราส่วนต่าง ๆเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานจากนั้นนำน้ำมันผสมชนิดต่าง ๆไปทดสอบกับเครื่องยนต์เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะและการปล่อยควันดำของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

2. วิธีการทดลอง

2.1 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

งานวิจัยนี้จะทำการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) จากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้อัตราส่วนโดยมวลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 1:5 สำหรับการทดลองสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชใช้แล้วนั้นจะทำการทดลองในสองส่วนคือในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ที่ให้ค่า Yield มากที่สุดสำหรับนำมาใช้กับการทดลองในระดับ pilot scale

ขั้นตอนเริ่มต้นในการสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์ในระดับ pilot scale ด้วยเครื่องผลิตต้นแบบนั้นเนื่องจากในงานวิจัยนี้เราใช้น้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการกำหนดปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่จะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตเนื่องจากน้ำมันพืชที่นำมาเป็นวัตถุดิบมีอายุการใช้งานที่ต่างกันดังนั้นต้องนำน้ำมันทั้งหมดจำนวน 150 ลิตรมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วก็อุ่นให้ความร้อนไปด้วยในถังปฏิกรณ์เคมีเพื่อที่จะทำให้น้ำมันเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุดจากนั้นนำไปกรองเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันและนำตัวอย่างน้ำมันไปไทเทรตในห้องปฏิบัติการเพื่อหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต

เตรียมเมทานอลที่จะใช้ในกระบวนการผลิตจำนวน 30 ลิตร (เมทานอล 1 ส่วนต่อน้ำมันพืช 5 ส่วน) มากวนผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน N (ได้จากการไทเทรตในห้องปฏิบัติการ) ในถังผสมสารเคมี ซึ่งจะได้เป็นสารละลาย Sodium methoxide ที่จะนำไปผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วต่อไป จากนั้นอุ่นน้ำมันพืชใช้แล้วในถังปฏิกรณ์ให้มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เปิดวาล์วให้สารละลายค่อยๆไหลเข้าผสมขณะที่ปั่นผสม โดยใช้เวลาในการปั่นผสมประมาณ 30 นาที แล้วปล่อยทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงให้การทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์ที่สุด แล้วเราก็จะเห็นการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลกับกลีเซอรีนจากนั้นเปิดวาล์วเพื่อแยกเอาน้ำมันไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรีนเพื่อทำการ washing ให้ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์มากขึ้น [3]

2.2 การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลโดยวิธีผสม

การปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 95% ด้วยอัตราส่วนร้อยละโดยปริมาตรต่าง ๆดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์และอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงผสมที่อัตราส่วนต่างๆโดยปริมาตร

ชนิดที่	ดีเซล	ไบโอดีเซล	เอทานอล	สัญลักษณ์
1	100	0	0	D 100
2	0	100	0	B 100
3	0	95	5	BE 95
4	0	90	10	BE 90
5	0	85	15	BE 85

และทำการทดสอบคุณสมบัติที่จำเป็นและสำคัญในการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM [6] ซึ่งประกอบด้วยค่าความหนืด, จุดวาบไฟ, จุดติดไฟ, ค่าความถ่วงจำเพาะ, ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง,ค่าดัชนีซีเทน และเปรียบเทียบกับค่าคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลมาตรฐาน ตามข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์ โดยการทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

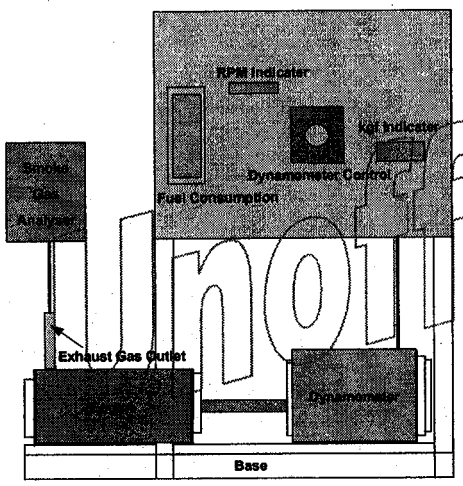
2.3 การทดสอบกับเครื่องยนต์

สำหรับการวัดกำลังงานของเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้จะใช้ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แบบ Eddy current test bed ซึ่งจะมีไดนาโมมิเตอร์ต่อกับเพลาของเครื่องยนต์เพื่อเป็นเครื่องวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์โดยมีอุปกรณ์และการติดตั้งดังรูปที่ 1เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเพื่อการเกษตรยี่ห้อ Miisubishi

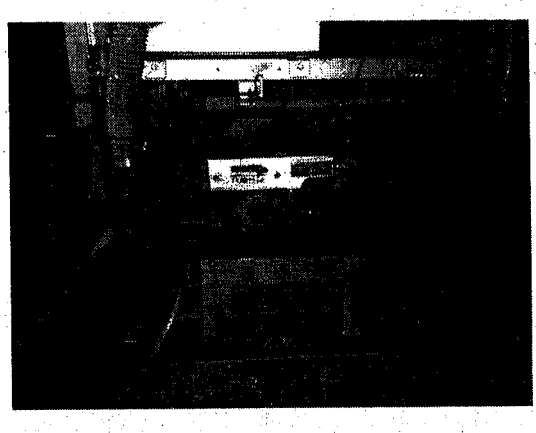
Unofficial Copy

รุ่น D-800 ซึ่งไม่มีการปรับแต่งหรือดัดแปลงเครื่องยนต์แต่ประการใดดังรูปที่ 2 มีรายละเอียดของเครื่องยนต์ดังแสดงในตารางที่ 2

สำหรับการทดสอบกับเครื่องยนต์จะใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเอทานอลมาผสมกันโดยใช้ เอทานอล 0%, 5%, 10% และ 15% ส่วนผสมที่เหลือเป็นน้ำมันไบโอดีเซล ค่าที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าแรงบิด ค่ากำลัง อัตราการสิ้นเปลือง เชื้อเพลิงจำเพาะ และค่าเปอร์เซ็นต์ควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์ซึ่งใช้เครื่องวัดควันดำ (Smoke gas analyzer) ยี่ห้อ EKOS รุ่น MOD.9000 ดังรูปที่ 3 เป็นเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสง แบบไหลผ่านบางส่วน (Partial Flow Opacity) มีหลักการทำงานคือให้ควันดำไหลผ่านช่องวัดแสงบางส่วนและวัดค่าของแสงที่ทะลุผ่านควันดำ มาตรฐานในการวัดค่าควันดำใช้มาตรฐาน EEC และอ้างอิงจากประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าควันดำจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล [7]



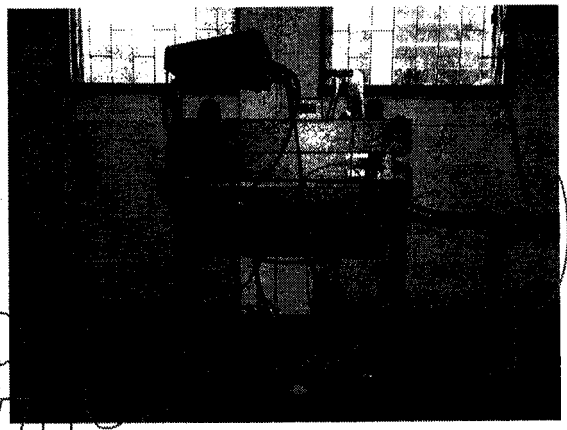
รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลองและตำแหน่งการติดตั้ง



รูปที่ 2 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 2 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

Model	D-800 (Mitsubishi Diesel Engine)
Bore x Stroke	82 x 78 mm.
number of cylinder	1
Piston volume	411 cc
Link ratio	3.54
Maximum output	8.0 PS / 2400 rpm
Maximum torque	2.6 kg-m / 1900 rpm
Compression ratio	18.0



รูปที่ 3 เครื่องวัดค่าควันดำของเครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

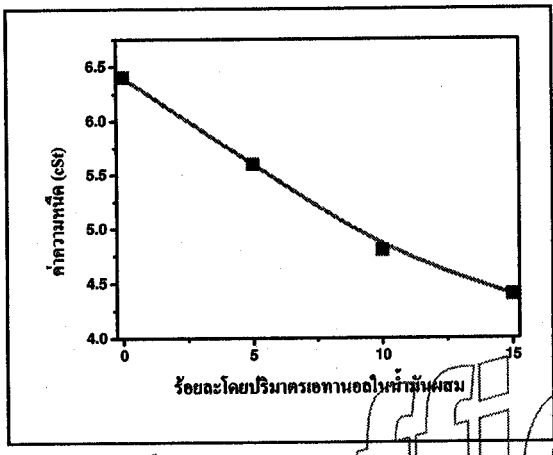
3.1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

ตารางที่ 3 ผลการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันชนิดต่างๆ

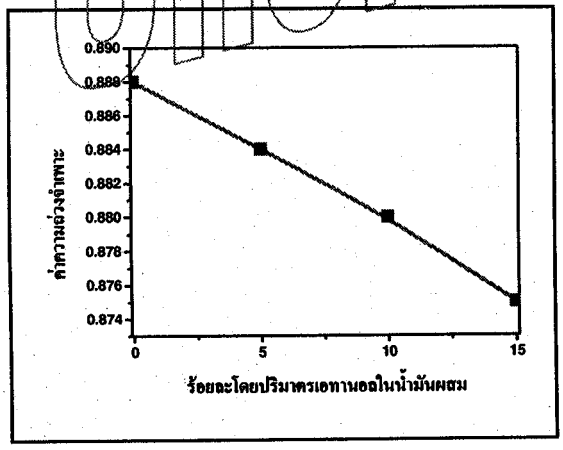
คุณสมบัติ	D100	B100	BE95	BE90	BE85
1.ค่าความหนืด 40 °C (cSt)	4.1	6.44	5.61	4.84	4.43
2.ค่าความถ่วงจำเพาะ	0.87	0.888	0.884	0.880	0.8875
3.จุดวาบไฟ (°C)	52	155	70	38	32
4.จุดติดไฟ (°C)	74	160	105	69	32
5.ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (MJ/kg)	42	39.4	38.4	37	36.7
6. ดัชนีซีเทน	52	47.43	48	49	50.98

จากตารางที่ 3 พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชั่นแล้วนั้นมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล (มาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วกระทรวงพาณิชย์ 1.8-4.1 cSt แต่มีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุน

ช้ากระทรวงพาณิชย์ 8.0 cSt max) แสดงให้เห็นว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้ได้กับเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบต่ำจนถึงปานกลางแต่เมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูงจะเกิดปัญหาอันเนื่องมาจากค่าความหนืดจึงได้ปรับปรุงให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐานกำหนดคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนช้ากระทรวงพาณิชย์โดยการนำไบโอดีเซลมาผสมกับเอทานอลที่อัตราส่วน 5,10 และ 15% โดยปริมาตรได้ผลการทดลองดังกราฟข้างล่าง



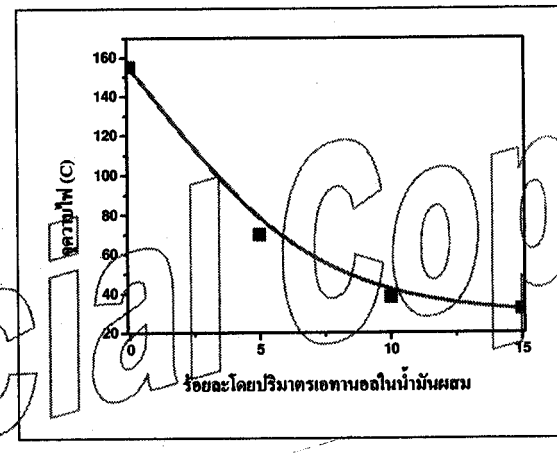
รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับร้อยละโดยปริมาตรเอทานอลในน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล



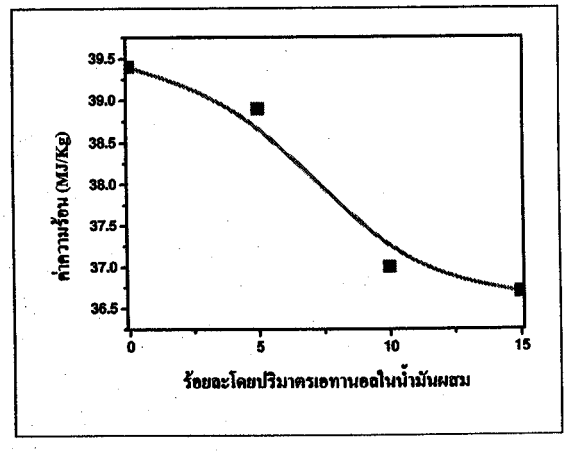
รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับร้อยละโดยปริมาตรเอทานอลในน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล

ผลการทดลองจากรูปที่ 4 และ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดและค่าความถ่วงจำเพาะกับร้อยละโดยปริมาตรเอทานอลในน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลพบว่าจะมีค่าลดลงตามร้อยละโดยปริมาตรเอทานอลที่นำมาผสมโดยเฉพาะค่าความหนืดของน้ำมันเมื่อผสมเอทานอลที่อัตราส่วน 15 % โดยปริมาตร ปรากฏว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลที่เกณฑ์มาตรฐาน (4.1 cSt) ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการฉีดฟนกระจายเป็นฝอยของน้ำมันในห้องเผาไหม้สามารถทำได้ดีขึ้น

ผลการทดลองจากรูปที่ 6 จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีค่า 150 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 3 เท่า (ดีเซล 52 องศาเซลเซียส) ดังนั้นการผสมน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเอทานอลจะทำให้จุดวาบไฟของน้ำมันผสมลดลงมากโดยขึ้นอยู่กับร้อยละโดยปริมาตรของเอทานอลที่นำมาผสมซึ่งจุดวาบไฟจะเกี่ยวข้องกับการจัดเก็บเชื้อเพลิงและการขนส่ง น้ำมันที่มีจุดวาบไฟมากก็จะมีความปลอดภัยมากขึ้น



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดวาบไฟกับร้อยละโดยปริมาตรเอทานอลในน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล

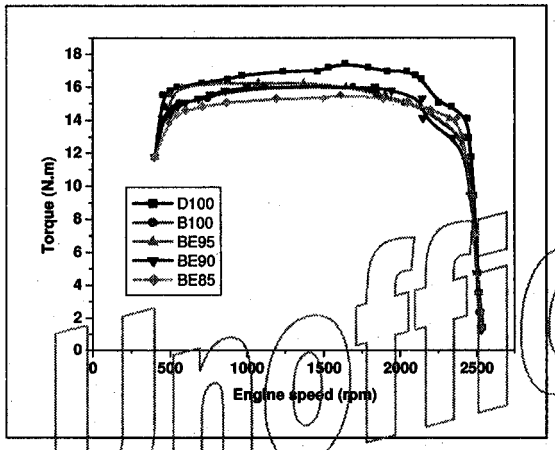


รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับร้อยละโดยปริมาตรเอทานอลในน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล

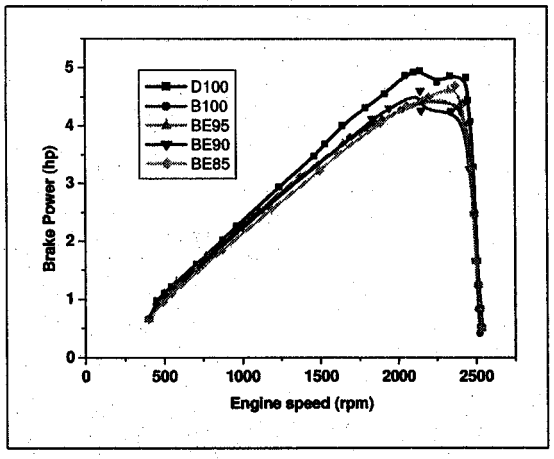
Unofficial Copy

ผลการทดลองจากรูปที่ 7 ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่า 39.4 (MJ/kg) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (ดีเซล 42 MJ/kg) แต่แตกต่างกันไม่มากโดยน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนจากการเผาไหม้ต่อ 1 หน่วยปริมาตรน้อยกว่าเมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลแล้วนั้นจะทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์มีค่าน้อยกว่าเมื่อทำงานที่สภาวะการทำงานเดียวกัน และเมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลมาผสมกับเอทานอลพบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีค่าลดลงตามสัดส่วนของร้อยละโดยปริมาตรเอทานอลที่นำมาผสมซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อนำน้ำมันเชื้อเพลิงผสมมาใช้

3.2 ผลการทดลองจากการทดสอบกับเครื่องยนต์

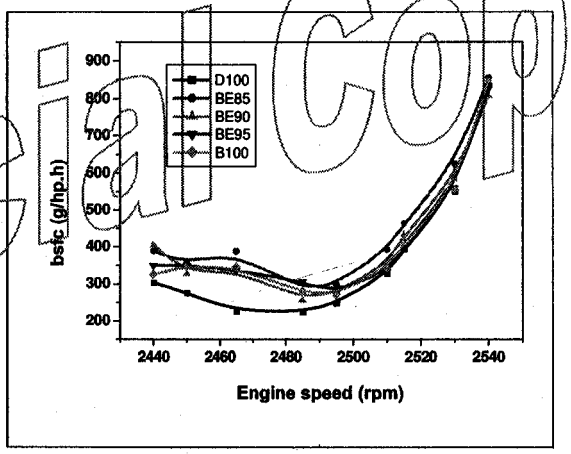


รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับความเร็วของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังเบรกกับความเร็วของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

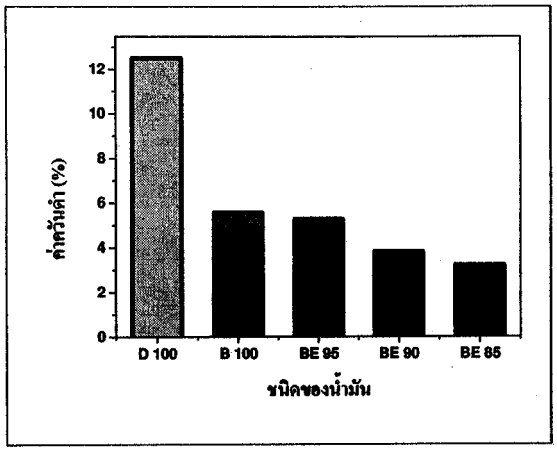
ผลการทดลองจากรูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดงค่าแรงบิดและค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนผสมต่างๆของน้ำมันไบโอดีเซลกับเอทานอลเทียบกับน้ำมันน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมให้ค่าแรงบิดและค่ากำลังของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานโดยมีค่าต่ำกว่าไม่มากนัก ค่าแรงบิดจากน้ำมันผสมอัตราส่วนต่างๆจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงบิดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 500 ถึง 2,400 rpmโดยให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่ความเร็วรอบรอบของเครื่องยนต์ 2000 rpm จากนั้นก็จะลดต่ำลงเรื่อยๆ สำหรับค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการใช้น้ำมันอัตราส่วนผสมต่างๆก็พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังที่ได้จากน้ำมันดีเซลในช่วง 500 ถึง 1,500 rpm และจะให้ค่ากำลังสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 2,100 rpm และจะค่อยลดต่ำลงเรื่อยๆโดยที่ค่าแรงบิดและค่ากำลังที่ได้จากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำไบโอดีเซล ผสมเอทานอล เป็นเชื้อเพลิงนั้นจะให้ค่าต่ำกว่าค่าแรงบิดและค่ากำลังที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงไม่ต่างกันมากเท่าไร



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดกับความเร็วของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

จากผลการทดลองรูปที่ 10 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการนำน้ำมันไบโอดีเซลผสมกับเอทานอลหรือน้ำมันไบโอดีเซล 100 % มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์นั้นพบว่าทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลเนื่องจากว่าค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนั้นเอง

Unofficial Copy



รูปที่ 11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ควันดำที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงสุดเมื่อใช้น้ำมันชนิดต่างๆ

จากผลการทดลองรูปที่ 11 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ควันดำของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆพบว่าน้ำมันไบโอดีเซล 100% และน้ำมันไบโอดีเซลที่ผสมเอทานอลจะให้เปอร์เซ็นต์ควันดำต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ควันดำที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งไบโอดีเซลและเอทานอลมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จึงมีความสมบูรณ์มากกว่าเปอร์เซ็นต์ควันดำจึงต่ำและที่อัตราส่วนผสมของเอทานอลในน้ำมันผสมมากขึ้นจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ควันดำลดลงตามด้วย

4. สรุปผลการศึกษา

1. การปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยวิธีการผสมด้วยเอทานอลทำให้ค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าลดลงตามอัตราส่วนของเอทานอลที่นำมาผสมมีผลดีต่อระบบจ่ายน้ำมันและหัวฉีดแต่อาจทำให้จุดวาบไฟลดลงมากจนไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดได้

2. น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องทำการปรับแต่งเครื่องยนต์แต่ประการใดและให้ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำกว่าค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเล็กน้อย

3. น้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ควันดำต่ำกว่าน้ำมันดีเซลจึงเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดและเป็นผลดีต่อสภาพแวดล้อม

4.ถึงแม้ว่าน้ำมันไบโอดีเซลจะมีค่าพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้น้อยกว่าน้ำมันดีเซลแต่มีการเผาไหม้ที่ดีกว่าน้ำมันดีเซลทั้งนี้จากเปอร์เซ็นต์ของควันดำที่เกิดขึ้นพบว่ามีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

[1] การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, เอกสารประกอบการบรรยายการพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทน. 18 สิงหาคม 2546.

[2] M.P. Dorado, E. Ballesteros, J.M. Amal, J. Gomez, and F.J. Lopez. "Exhaust emission from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil," Fuel,Vol.82, 2003,pp.1311-1315.

[3] กุลเชษฐ์ เพียรทอง อิทธิพล วรพันธ์ ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ พิศาลสมบัติวงศ์ และ นิมิตรมงคล สุดเสน่ห์ "การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วขนาด 150 ลิตรต่อรอบการผลิตและการใช้งานกับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก" การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1 ชลบุรี ประเทศไทย 11-13 พฤษภาคม 2548 หน้า 338-344.

[4] Y. Ali, and M.A. Hanna, "Physical Properties of Tallow Ester and Diesel Fuel Blend," Bioresource Technology, Vol. 47,1994, pp.131-134.

[5] การดา โกมลวัฒนชัย วรรณี ฤาไพบูลย์ "พลังงานทดแทนทางเลือกใหม่เพื่อสิ่งแวดล้อม" วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 41 ฉบับที่ 133 พ.ศ. 2536 หน้า 25-28.

[6] ASTM, Annual book of ASTM, Waskington DC,2001, Vol.05.01,sec 5.

[7] กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม *การกำหนดมาตรฐานค่าควันดำจากท่อไอเสียของรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล* พ.ศ.2540 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 114 ตอนที่ 76 ง.

UBU Office Copy

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วขนาด 150 ลิตรต่อรอบการผลิตและการใช้งานกับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก

Production of biodiesel from used cooking oils at 150 liter/batch and performance test in small engine

กุลเชษฐ์ เพียรทอง อิทธิพล วรพันธ์ ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ พิศาล สมบัติวงศ์ นิมิตรมงคล สุดเสน่ห์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190
โทร 0-4528-8400 ต่อ 3382 โทรสาร 0-4528-8378 E-mail: K.pianthong@ubu.ac.th

Kulachate Pianthong Ittipon Worapun Prachasanti Thaiyasuit Pisarn Sombatwong Nimitmongkon Sudsane
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Ubonratchathani 34190, Thailand
Tel: 0-4528-8400 Ext. 3382 Fax: 0-4528-8378 E-mail: K.pianthong@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้วเพื่อที่จะให้ได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่อหนึ่งรอบการผลิตมากที่สุดจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบที่สร้างขึ้นเองแบบกะขนาด 150 ลิตร ซึ่งการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนคือนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาทำปฏิกิริยากับเมทานอล ด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า ทรานเอสเตอริฟิเคชั่น โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตังเร่งปฏิกิริยา และได้กำหนดตัวแปรที่จะศึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้คือ อุณหภูมิในระหว่างทำปฏิกิริยากำหนดให้อยู่ในช่วงระหว่าง 50-65 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากำหนดให้อยู่ในช่วงระหว่าง 1 – 4 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าจะได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลมากที่สุดคือ 88 % เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิในระหว่างทำปฏิกิริยาเป็น 60 องศาเซลเซียสเวลาที่ในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผลิตได้และผสมกับน้ำมันดีเซลในส่วนผสมต่าง ๆไปทดสอบใช้กับเครื่องยนต์เพื่อการเกษตรขนาดเล็ก 1 สูบพบว่าเครื่องยนต์เดินได้ปกติและไม่มีปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุดการทดสอบสมรรถนะในเบื้องต้นพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐานโดยที่ค่าแรงบิดและกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์จะต่ำลงประมาณ 5-10%เมื่อใช้ไบโอดีเซล 100%เป็นเชื้อเพลิงในส่วนของเรื่องผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาวกำลังอยู่ในขั้นตอนการวิจัยต่อไป

คำสำคัญ; ไบโอดีเซล/น้ำมันพืชใช้แล้ว/ทรานเอสเตอริฟิเคชั่น

Abstract

This paper present the method to product the maximum yield of biodiesel from used vegetable oil. The process and necessary equipment are designed for making biodiesel at 150 liter/bacth. The standed "Trans-esterification" process is adopted by using sodium hydroxide as the catalyst white the temperature of the raw material is between 50-60 ° C. The mixing process is between 1-4 hrs. The maximum yield of 88 % is obtained from the mixing temperature of 60 ° C for 2 hrs mixing period. Then biodiesel is mixed with standard diesel fuel at various ratio and tested in a small single cylinder engine. It is and that the engine performance are quite similar using both fuels. Howerer, the biodiesel (100%) useally showed lower torque and power, around 5-10% ,comparing to those of standard diesel. Further effect of biodiesel to engines are also under investigated.

Keyword; Biodiesel/ wast vegetable oils/ Transesterification

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ประเทศไทยเราประสบกับปัญหาทางด้านพลังงานซึ่งนับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญโดยเฉพาะพลังงานที่เป็นเชื้อเพลิงปิโตรเลียมซึ่งประเทศไทยเราต้องนำเข้ามามูลค่าหลายหมื่นล้านบาทต่อปีและจากการที่ราคาน้ำมันมีการปรับตัวขึ้นอย่างต่อเนื่องในขณะนี้ทำให้ปัญหานี้ทวีความรุนแรงขึ้นมากอีกจากปัญหาดังกล่าวนี้ทำให้ภาครัฐหันมาส่งเสริมเกี่ยวกับการแสวงหาแหล่งเชื้อเพลิงและพลังงานที่ผลิตได้เองภายในประเทศเพื่อเป็นการทดแทนการนำเข้าพลังงานได้ในส่วนหนึ่งและพบว่าพลังงานทดแทนที่ได้รับความสนใจและกล่าวขานกันมากในขณะนี้คือ การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันพืชใช้แล้วโดยเฉพาะน้ำมันพืชที่ใช้แล้วพบว่าสถานประกอบการอุตสาหกรรมอาหารและตามครัวเรือนมีน้ำมันที่เหลือจากการกระบวนการผลิตและการใช้งานประมาณ 16,490,676 ลิตรต่อปี [1] บางส่วนมีการนำไปประกอบอาหารซ้ำซึ่งอาจส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยที่จะนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิต

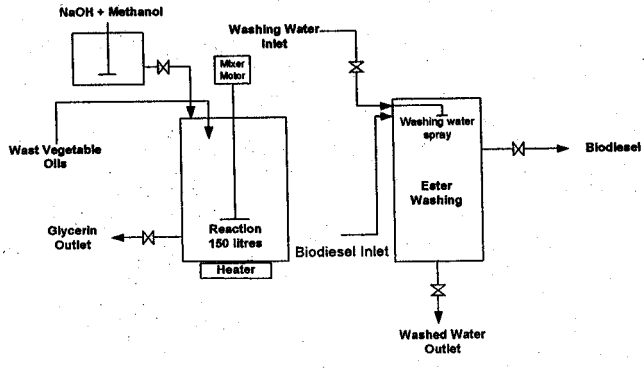
ไบโอดีเซลซึ่งผู้วิจัยและคณะเองก็ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้มาโดยตลอดโดยได้ทดลองนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบไบโอดีเซล โดยได้ทดลองผลิตในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งผลการทดลองพบว่าเมื่อนำไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปทดสอบสมบัติในเบื้องต้นพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานและให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ใกล้เคียงสมรรถนะที่ได้จากน้ำมันดีเซล [2] ดังนั้นการวิจัยศึกษาวิธีการสังเคราะห์น้ำมันพืชใช้แล้วเหล่านี้ให้เป็นไบโอดีเซลย่อมเป็นสิ่งที่ดีและมีความจำเป็นสำหรับประเทศไทยเราโดยเฉพาะการมีเครื่องผลิตไบโอดีเซลที่สามารถผลิตขึ้นใช้เองซึ่งจะเป็นการช่วยลดการสูญเสียเงินตราจากการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบสร้างเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบแบบกะขนาด 150 ลิตรต่อรอบการผลิตโดยมีจุดมุ่งหมายให้สามารถผลิตขึ้นใช้ตามครัวเรือนได้จากนั้นศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันใช้แล้วเพื่อที่จะให้ได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่อหนึ่งรอบการผลิตมากที่สุดและนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ทางการเกษตรขนาดเล็กเพื่อศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

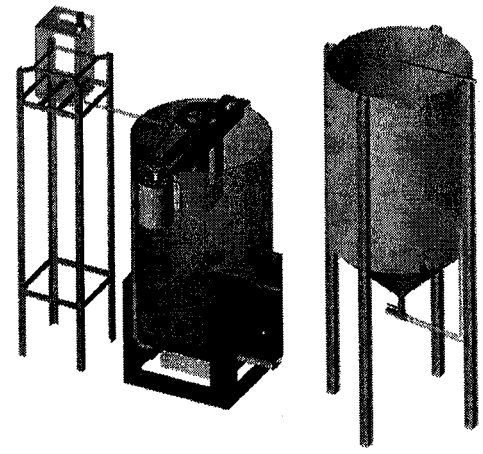
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 เครื่องผลิตไบโอดีเซล (เครื่องต้นแบบ)

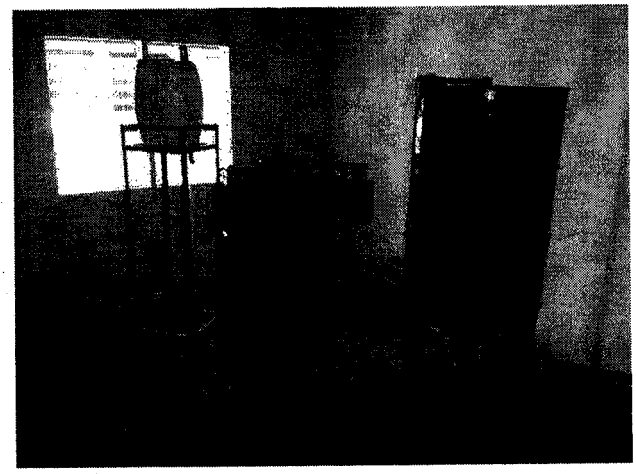
เครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบเป็นเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบกะ (batch)โดยมีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 1 แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 คือส่วนของถังผสมสารเคมีประกอบด้วยถังผสมสารเคมี ชุดกวนสาร และขาตั้ง ส่วนที่ 2 คือส่วนของชุดผลิตน้ำมันไบโอดีเซลประกอบด้วยขาถัง ถังปฏิกรณ์ ชุดใบกวน และ ชุดให้ความร้อน และส่วนสุดท้ายส่วนที่ 3 คือส่วนของถัง washing ประกอบด้วยถังทรงกรวย ท่อสเปรย์น้ำ โดยในส่วนต่างๆจะมีรายละเอียดของส่วนประกอบดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 และมีหลักการทำงานดังนี้ ในส่วนที่ 1 จะทำหน้าที่ในการผสมสารเคมีที่จะใช้ในการผลิตไบโอดีเซลซึ่งประกอบโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเอทานอล ส่วนที่ 2 จะทำหน้าที่เป็นถังปฏิกรณ์เคมีสำหรับผลิตไบโอดีเซล และส่วนที่ 3 จะทำหน้าที่เป็นถังล้างสารเคมีต่างๆที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาขณะผลิตไบโอดีเซลเพื่อที่จะให้ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์มากขึ้น



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบกะ



รูปที่ 2 แสดงแบบของเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบกะ

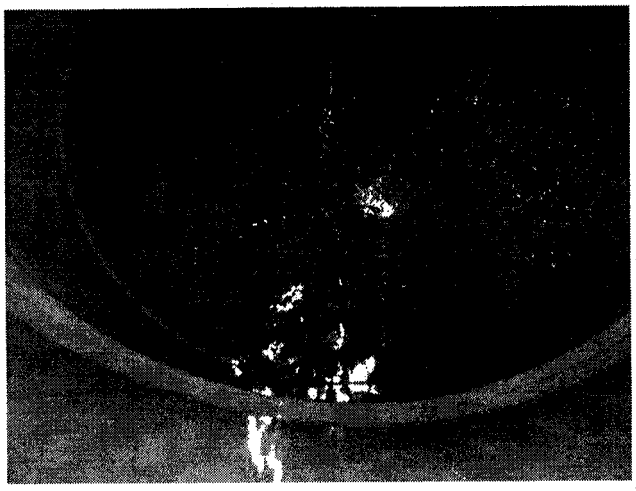


รูปที่ 3 แสดงรูปเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบกะที่สร้างขึ้นมา

2.2 การทดลองผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบ

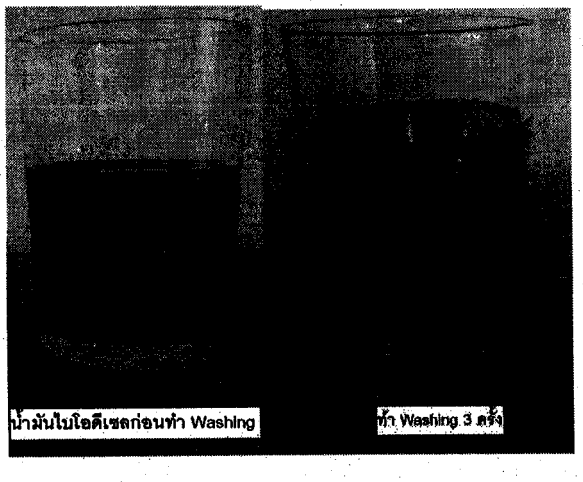
<u>วิธีการผลิตไบโอดีเซลระดับ Pilot scale จากเครื่องผลิตต้นแบบ</u>

เตรียมน้ำมันพืชที่ใช้แล้วปริมาตร 150 ลิตร ที่จะใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ปั่นผสมกันในถังปฏิกรณ์พร้อมทั้งให้ความร้อนเพื่อละลายไขมันดังรูปที่ 4 และนำตัวอย่างน้ำมันไปไตรเตรทหาปริมาณของ สารคะตาไลต์ ที่จะใช้ในกระบวนการผลิต เตรียมเมทานอลที่จะใช้ในกระบวนการผลิต จำนวน 30 ลิตรแล้วกวนผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์จำนวน N (ได้จากการคำนวณหา) คูณ 100 กรัม [3] ในถังผสมสารเคมี จะได้สารละลาย Sodium methoxide ที่จะนำไปผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วต่อไป จากนั้นอุ่นน้ำมันในถังปฏิกรณ์ให้มีอุณหภูมิ 55-65 องศาเซลเซียสตามที่ต้องการ เปิดวาล์วให้สารละลายค่อยๆไหลเข้าผสมขณะที่ปั่นผสม โดยใช้เวลาในการปั่นผสมประมาณ 30 นาที แล้วปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วเพื่อให้การทำปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์ที่สุดแล้วก็จะเห็นการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลกับกลีเซอรีนจากนั้น เปิดวาล์วเพื่อแยกเอาน้ำมันไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรีนเพื่อทำการ Washing ต่อไป



รูปที่ 4 น้ำมันพืชใช้แล้วที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

เนื่องจากยังมีสารเคมีบางส่วนยังคงตกค้างในน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งจากการสังเกตในห้องปฏิบัติการพบว่าสารเคมีพวกนี้จะค่อยๆ ยกออกมา ซึ่งใช้เวลานานมาก และสารตกค้างเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล กระบวนการในการแยกสารเหล่านี้เรียกว่ากระบวนการ Washing คือการล้างสารเคมีออกโดยการใช้น้ำสะอาดที่มีค่า pH เป็นกลางฉีดเป็นฝอยผ่านน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้น้ำประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันไบโอดีเซล แล้วปล่อยให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำ จำนวนครั้งในการ Washing ขึ้นกับความสะอาดของน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งสังเกตได้จากลักษณะสีของน้ำที่แยกชั้นออกมาข้างล่างซึ่งถ้าน้ำมันสะอาดแล้วน้ำมันจะมีลักษณะใสดังในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงสีของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากเครื่องต้นแบบก่อนและหลังทำ washing

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าสีของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการทำ Washing แล้วนั้นจะใสกว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ยังไม่ผ่านการ washing และมีลักษณะใกล้เคียงกับสีของน้ำมันดีเซลมากกว่า

ตัวแปรที่ศึกษา

ในงานวิจัยนี้ในส่วนของการทดลองผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบนั้นจะกำหนดตัวแปรในการทดลองเพียงแค่ 2 ตัวแปรคือจะศึกษา อุณหภูมิของน้ำมันขณะทำปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาเพียงเท่านั้นส่วนแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้เมทานอลกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในทุกครั้งของการทดลอง โดยเริ่มต้นด้วยการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้ปริมาณของไบโอดีเซลต่อรอบการผลิตสูงสุด ซึ่งปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ (Yield) หาได้จากปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ทั้งหมด หารด้วยปริมาณส่วนผสมของสารตั้งต้นทั้งหมดดังสมการ

$$\text{Yield} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ทั้งหมด (ลิตร)} \times 100}{\text{ปริมาณส่วนผสมของสารตั้งต้นทั้งหมด (ลิตร)}} \quad (1)$$

หลังจากได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบดอดีเซลแล้วนั้นก็ได้ใช้สภาวะดังกล่าวมาผลิตไบโอดีเซลในระดับ Pilot scale จากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบที่มีความสามารถในการผลิตครั้งละ 150 ลิตร

ขั้นตอนการทดลอง

นำน้ำมันพืชใช้แล้วจำนวน 150 ลิตรมากรองด้วยผ้าแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจากนั้นนำน้ำมันมาใส่ลงในถังปฏิกรณ์แล้วกวนให้น้ำมันเป็นเนื้อเดียวกัน ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ปริมาณของโซเดียมไฮรอกไซด์ขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของน้ำมันพืชซึ่งได้จากการไตรเตรทในห้องปฏิบัติการ) กับเมทานอล (ใช้สัดส่วนเมทานอลต่อน้ำมันพืชในสัดส่วน 1:5) [3] แล้วค่อยปล่อยสารผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอลจากถังเก็บลงไปในถังปฏิกรณ์ซึ่งมีน้ำมันอยู่แล้วแล้วอุ่นน้ำมันให้มีอุณหภูมิตามที่ต้องการศึกษา ปั่นด้วยใบพัดที่ต่อกับมอเตอร์เป็นเวลา 30 นาทีแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาตามเวลาที่ต้องการศึกษา จากนั้นนำน้ำมันเข้าสู่ถัง washing ล้างด้วยน้ำสะอาดจำนวน 3 ครั้ง สุดท้ายจะได้น้ำมันไบโอดีเซลแล้วนำไปตวงเพื่อหาปริมาณของผลที่ได้ต่อไป

2.3 การทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้กับเครื่องยนต์

การทดสอบจะใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น D-800 เป็นเครื่องยนต์ในการทดสอบโดยมีรายละเอียดดัง ตารางที่ 1 โดยน้ำมันไบโอดีเซลที่นำมาใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้จะนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสมต่าง ๆโดยมีรายละเอียดของน้ำมันที่จะทดสอบกับเครื่องยนต์ดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

Model	D-800 (Mitsubishi Diesel Engine)
Bore x Stroke	82 x 78 mm.
number of cylinder	1
Piston Volume	411 cc
Link ratio	3.54
Maximum output	8.0 PS / 2400 rpm
Maximum torque	2.6 kg-m / 1900 rpm
Compression ratio	18.0

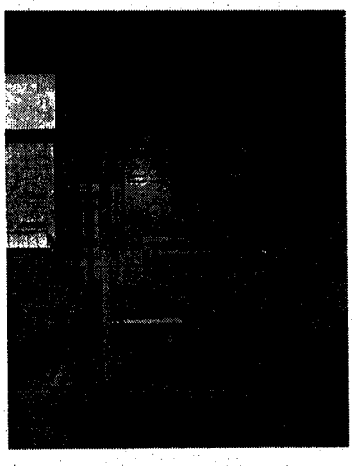
ตารางที่ 2 รายละเอียดของน้ำมันผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆที่ใช้ในการทดสอบกับเครื่องยนต์

ชนิดที่	น้ำมันผสม (โดยปริมาตร)
1	น้ำมันดีเซล 100 %
2	น้ำมันไบโอดีเซล 100 %
3	น้ำมันไบโอดีเซล 75 %
4	น้ำมันไบโอดีเซล 50 %
5	น้ำมันไบโอดีเซล 25 %

สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลที่จะนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์นั้นได้มีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของน้ำมันไบโอดีเซลแล้วพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลจึงน่าจะใช้ได้กับเครื่องยนต์ส่วนในการทดสอบคุณสมบัติอย่างละเอียดกำลังดำเนินการอยู่

<u>การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์</u>

สำหรับการวัดกำลังงานของเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้จะใช้ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แบบ EDDY CURRENT TEST BED ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยมีเงื่อนไขในการทดสอบคือ ทดสอบเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 400 ถึง 2,500 rpm ที่ภาระของเครื่องยนต์สูงสุด (full load)

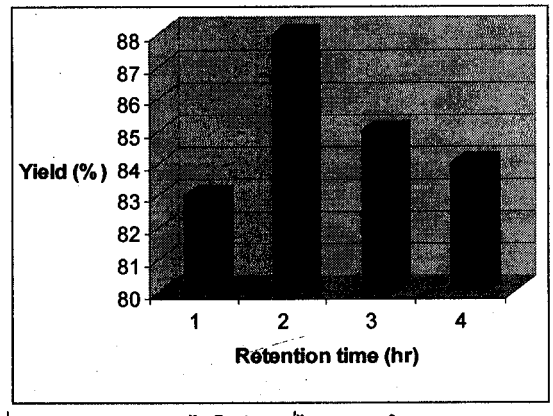


รูปที่ 6 ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แบบ EDDY CURRENT TEST BED

3. ผลการทดลอง

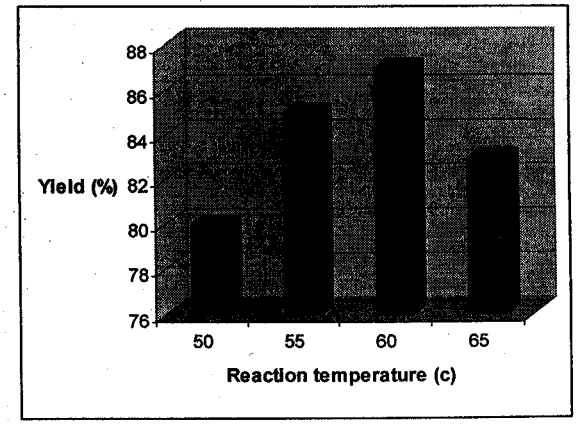
<u>ผลการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลในระดับ Pilot scale</u>

จากการหาสภาวะที่เหมาะสม ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วในระดับห้องปฏิบัติการพบว่าที่ อุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียสจะให้ปริมาณของไบโอดีเซลที่ได้ (Yield) มากที่สุดคือ 95% จึงเลือกภาวะดังกล่าวมาเป็นสภาวะในการผลิตไบโอดีเซลในระดับ Pilot scale จากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบ สำหรับการทดลองผลิตไบโอดีเซลขนาด 150 ลิตรนั้นขั้นแรกได้ทดลองหาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมจากสภาวะที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยได้ปรับเปลี่ยนเวลาในการทำปฏิกิริยาในช่วงระหว่าง 1- 4 ชั่วโมง ที่สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 1: 5 ได้ผลการทดลองดังในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงปริมาณของไบโอดีเซลที่ได้ต่อเวลาในการทำปฏิกิริยา

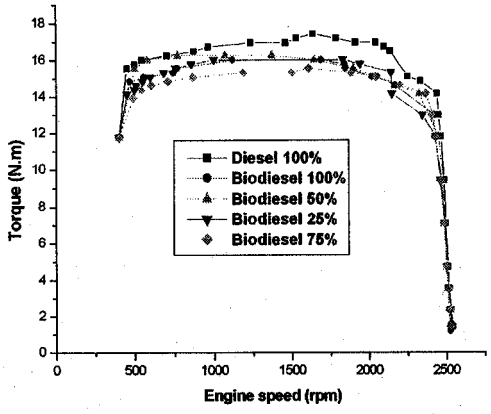
จากนั้นได้ทำการทดลองผลิตไบโอดีเซลในระดับ Pilot scale จากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบ โดยได้ทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในขณะทำปฏิกิริยาในช่วง 50-65 องศาเซลเซียส ที่สัดส่วนโดยมวลของเมทานอลต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 1: 5, ที่เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมงได้ผลการทดลองดังในรูปที่ 8



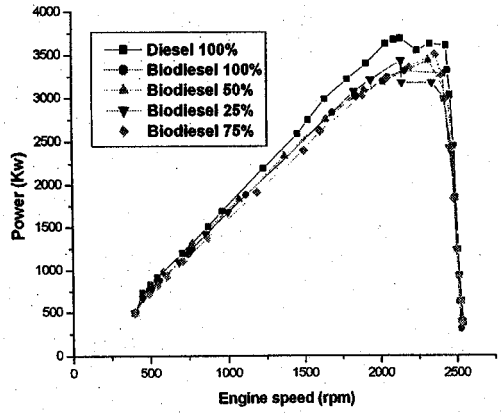
รูปที่ 8 แสดงปริมาณของไบโอดีเซลที่ได้ต่ออุณหภูมิของน้ำมันขณะทำปฏิกิริยา

จากผลการทดลองจากรูปที่ 7 และรูปที่ 8 พบว่าเวลาที่ปล่อยทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมงจะเป็นช่วงเวลาที่เกิดปฏิกิริยาดีที่สุดในขณะที่เวลา 3 และ 4 ชั่วโมงที่ปล่อยให้เกิดการทำปฏิกริยาจะได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ลดลงเรื่อยๆและอุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลมากที่สุดซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Sukhawanit, C และคณะที่นำ Crude sunflower oil มาผลิตเป็นไบโอดีเซล [4] นอกจากนั้น Roger A. Korus และคณะยังพบว่าอุณหภูมิขณะทำปฏิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยามีผลต่อปริมาณของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ [5] ดังนั้นที่อุณหภูมิขณะทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียสและเวลาที่ปล่อยให้ทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมงจึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น ดังนั้นจึงนำสภาวะที่เหมาะสมดังกล่าวมาทดลองผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องต้นแบบพบว่าได้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้คือ 88 % ต่อ 1 รอบการผลิต

<u>ผลการทดสอบกับเครื่องยนต์</u>

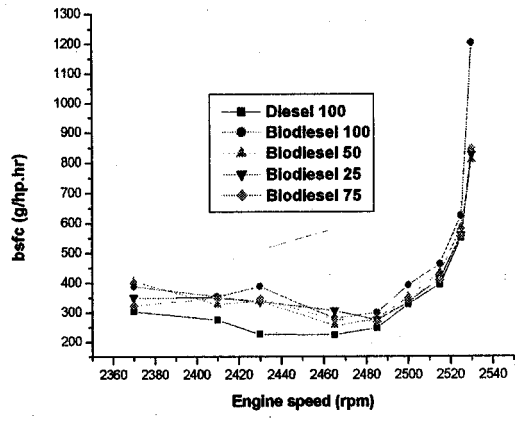


รูปที่ 9 แสดงแรงบิดของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีที่อัตราส่วนผสมต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล



รูปที่ 10 แสดงกำลังเบรกของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล

ผลการทดลองจากรูปที่ 9 และรูปที่ 10 แสดงค่าแรงบิดและค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่อัตราส่วนผสมต่างๆของน้ำมันไบโอดีเซลเทียบกับน้ำมันน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมให้ค่าแรงบิดและค่ากำลังของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานโดยมีค่าต่ำกว่าไม่มากนัก ค่าแรงบิดจากน้ำมันผสมอัตราส่วนต่างๆจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงบิดจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 500 ถึง 2,400 rpmโดยให้ค่าแรงบิดสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2000 rpm จากนั้นก็จะลดต่ำลงเรื่อยๆ สำหรับค่ากำลังของเครื่องยนต์ที่ได้จากการใช้น้ำมันอัตราส่วนผสมต่างๆก็พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังที่ได้จากน้ำมันดีเซลในช่วง 500 ถึง 1,500 rpm และจะให้ค่ากำลังสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ประมาณ 2,100 rpm และจะค่อยลดต่ำลงเรื่อยๆโดยที่ค่าแรงบิดและค่ากำลังที่ได้จากเครื่องยนต์โดยใช้น้ำไบโอดีเซล 100% เป็นเชื้อเพลิงนั้นจะให้ค่าต่ำกว่าค่าแรงบิดและค่ากำลังที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงประมาณ 5-10% ซึ่งถือว่าต่างกันไม่มาก



รูปที่ 11 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีที่อัตราส่วนผสมต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล

จากผลการทดลองรูปที่ 11 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการนำน้ำมันไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซล 100 % มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์นั้นพบว่าทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลสาเหตุนั้นสามารถสมมุติฐานได้ว่ามาจากค่าความร้อนจำเพาะจากการเผาไหม้ของน้ำมันไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลนั้นเอง [6]

4. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไบโอดีเซลจากเครื่องต้นแบบ

ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบ

หัวเรื่อง	เครื่องผลิตไบโอดีเซล [ต้นแบบ]
กำลังการผลิต (ลิตรต่อปี)	7,200
ต้นทุนเครื่องผลิตไบโอดีเซล (บาท)	5,000
ค่าลงทุนในการดำเนินการผลิตไบโอดีเซล (บาทต่อปี)	98,136
รายได้จากการขายน้ำมันไบโอดีเซล (บาทต่อปี)	100,800
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	0.6

หมายเหตุ: อัตราดอกเบี้ยที่ใช้คิดสำหรับต้นทุนเป็น 8 % ต่อปี ค่าลงทุนในการดำเนินการผลิต 13.63 บาท/ลิตรไบโอดีเซล และราคาขายน้ำมันไบโอดีเซลเท่ากับ 15 บาทต่อลิตร ผลิตไบโอดีเซลสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

จากตารางที่ 3 เครื่องผลิตไบโอดีเซล ขนาด 150 ลิตร/รอบการผลิต ที่มีงบประมาณการลงทุนครั้งแรก 5,000 บาท และมีค่าลงทุนในการดำเนินการผลิต 13.63 บาท/ลิตรไบโอดีเซล ซึ่งจะให้ระยะคืนทุนภายใน 6 เดือน (internal rate of return) ซึ่งเป็นการลงทุนที่ให้ผลตอบแทนที่ดีมาก ทั้งนี้ยังไม่รวมถึงผลตอบแทนในทางอ้อม เช่น ผลดีทางด้านสิ่งแวดล้อม ผลของการลดการนำเข้าน้ำมันดิบของประเทศ

5. สรุป

1.น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตต้นแบบเมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ปรากฏว่าเครื่องยนต์สามารถทำงานได้ดีโดยไม่เกิดอาการสะดุดของเครื่องยนต์ให้เห็น และเมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ แล้วนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์เพื่อหาค่าสมรรถนะ ได้แก่ ค่าแรงบิด ค่ากำลัง และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ พบว่าให้ค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันดีเซล

2.ผลการทำ Transesterification ของน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจากเครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบโดยใช้เมทานอล และมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบภาวะที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิของน้ำมันขณะทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมงในการทำปฏิกิริยาได้ผลที่ได้ 88 %

3. จากผลการทดลองเพื่อพิจารณาต้นทุนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบในการผลิตโดยใช้เครื่องผลิตไบโอดีเซลต้นแบบพบว่ามีขั้นตอนในการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก และต้นทุนในการผลิตต่ำเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่หาได้ภายในประเทศและเหลือจากอุตสาหกรรมอาหารและตามครัวเรือนเป็นจำนวนมากซึ่งถือเป็นทางเลือกใหม่ในด้านของพลังงานทดแทนที่น่าสนใจ

4. สภาวะที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในระดับห้องปฏิบัติการสามารถนำไปผลิตในระดับ Pilot scale ได้ด้วยดี โดยมีผลผลิตไบโอดีเซลตามที่คาดหวังไว้

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีและคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนทุนในการศึกษาวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. พุทธชาด เมฆทอง และคณะ "การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำมันพืชใช้แล้วจากอุตสาหกรรมอาหารมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน"การสัมมนาเผยแพร่งานวิจัยทางด้านพลังงานทดแทน สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, หน้า 89-101,ปี พ.ศ 2546
2. อิทธิพล วรพันธ์ วิบูรณ์ มีธรรม ศักรินทร์ ศรีสุรักษ์ กุลเชษฐ์ เพียรทอง "การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์"การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18,ปี พ.ศ 2547
3. Joshoa Tickell. " From the Fryer to the Fuel Tank" New Orleans, Louisiana. 2003
4. Sukhawanit, C, Srinophakun. P. and Matsumura, M."Biodiesel Production from Crude Sunflower Oil" Engineering and Technology, Vol. 1, No. 2, pp. 141-150, 2004.
5. Roger A. Korus, Dwight S. Hoffman, Narendra Bam, Charles L.Peterson, and David C. Drown. "Transesterification process to manufacture ethyl ester of rape oil" Department of Chemical Engineering University of Idaho Moscow, ID 83843
6. G. Antolin , F.V. Tinaut , Y. Briceno , V. Castano , C. P_erez b, A.I. Ramirez "Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification" Bioresource Technology. Vol. 83 pp. 111–114.2002

การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18
18-20 ตุลาคม 2547 จังหวัด ขอนแก่น

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วและผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์

Production of Biodiesel from Used Cooking Oil and Effect to Engine Performances

อิทธิพล วรพันธ์ วิบูรณ์ มีธรรม ศักรินทร์ ศรีสุรักษ์ กุลเชษฐ์ เพียรทอง
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ. อุบลราชธานี 34190
โทร 0-45288400 ต่อ 3204 , โทรสาร 0-45288378 E-mail:K.Pianthong@ubu.ac.th

Ittipon Worapun Wiboon Meetham Sakkarin Srisurak Kulachate Pianthong
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,Ubonratchathani University,
Ubonratchathani, 34190,Thailand
Tel: 0-45288400 Ext. 3204, Fax: 0-45288378 E-mail:K.Pianthong@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

การนำน้ำมันพืชผสม มาใช้โดยตรงกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด อาจจะเกิดปัญหากับระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง และระบบการเผาไหม้เนื่องจากน้ำมันมีความหนืดสูง และอัตราการระเหยต่ำปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ โดยการนำน้ำมันพืชไปผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน เพื่อให้ได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน โดยในงานวิจัยได้มีการนำเอาน้ำมันพืชใช้แล้วมาผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้เมตทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยากับไฮโดรคาร์บอน โดยมีสารโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและผลผลิตที่ได้คือไบโอดีเซลในรูปของเมทิลเอสเตอร์ ในการทดลองได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลที่ได้โดยการใช้แนวทางเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยการเปรียบเทียบค่าความหนืดจุดไหลเท จุดวาบไฟ จุดติดไฟ ความหนาแน่น และความถ่วงจำเพาะ จากนั้นนำน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนผสมต่างๆคือ ใช้ไบโอดีเซล 50% โดยปริมาตรผสมกับน้ำมันดีเซล 50% โดยปริมาตร และใช้ไบโอดีเซล 100% โดยปริมาตร (ไม่ผสมกับน้ำมันดีเซล) ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเป็นชุดทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (1 สูบ) แล้วเปรียบเทียบสมรรถนะกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน โดยทำการทดสอบในระยะสั้นเพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น จากผลการทดลองพบว่าไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ได้ โดยไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุด และไม่ทำให้สมรรถนะของเครื่องยนต์เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนการนำไบโอดีเซลไปใช้กับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ และระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นควรจะมีการศึกษาต่อไปในอนาคต

Abstract

Diesel blended fuel poses some problems (fuel supply and injection system) when it is applied to standard compression ignition engine (CI). The problems are attributed by its high viscosity and volatility. These problems can be minimized by converting vegetable oils to biodiesel using the process called "Trans-esterification". In this study, the Transesterification reaction of used cooking oil was carried out with methanol which was reacted with hydrocarbon. Sodium hydroxide was used as a catalyst to yield Methyl Ester or Biodiesel. The product qualities were evaluated by comparing physical characteristics of the biodiesel to standard diesel fuel. These characteristics include kinematics viscosity, pour point, flash point, fire point, density, and specific gravity at 50% and 100% biodiesel. The various ratios of blended biodiesel and diesel oil were then tested in a single cylinder diesel engine to observe the effect to engine performance. The results of this experiment show that the biodiesel from used cooking oil is able to be used in diesel engine without the problem of engine instability. The engine has quite similar performances either using biodiesel or standard diesel fuel. Further investigation at longer running period with bigger engines (4 cylinders) should be carried out in the near future to confirm this finding.

1.บทนำ

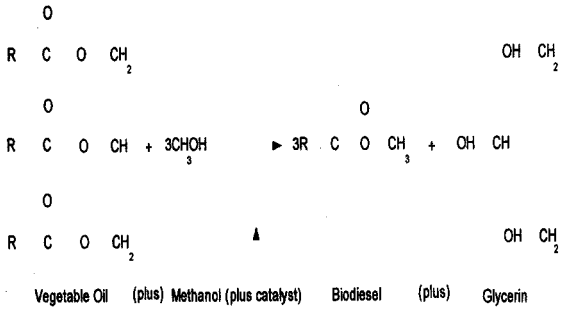
การเพิ่มขึ้นของประชากรโลกอย่างรวดเร็วในปัจจุบันนี้รวมทั้งความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทำให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงของโลกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะแหล่งเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันดิบถูกใช้ไปมาก ประชากรโลกใช้น้ำมันดิบในอัตราที่เพิ่มขึ้นโดยตลอดจากวันละ 63.215 ล้านบาร์เรลในปี 2531 เป็น 71.530 ล้านบาร์เรลต่อวันในปี 2541 หากอัตราการใช้น้ำมันของโลกไม่เปลี่ยนแปลงด้วยปริมาณสำรองที่เหลืออยู่คาดว่าในอีก 40 ปีข้างหน้าน้ำมันจะหมดไปจากโลก[1] ด้วยเหตุนี้ในปัจจุบันจึงได้มีการวิจัยกันอย่างต่อเนื่องที่จะนำน้ำมันพืชมาเป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลแต่เนื่องจากการใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์โดยตรงนั้นทำให้เกิดปัญหาการอุดตันที่หัวฉีดน้ำมันเนื่องจากค่าความหนืดของน้ำมันพืช ต่อมาจึงได้มีการวิจัยโดยการนำน้ำมันพืชมาผลิตเป็นไบโอดีเซลในสูตรต่างๆเพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล จากงานวิจัยของ Mohamad I.และคณะ[2] ได้ทำการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ทดสอบโดยการนำไบโอดีเซลมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 75%, 50%, 25% และไบโอดีเซล 100% เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ในส่วนของประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และการปล่อยไอเสีย ผลการทดสอบพบว่าน้ำมันดีเซลผสมมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีกว่ามีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่น้อยกว่าให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สูงเครื่องยนต์เดินเรียบไม่มีปัญหาสะดุด และไอเสียยังมีคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนต่ำอีกด้วย H.Raheman และคณะ[3] ได้ทำการศึกษาโดยนำ Karanja (พืชท้องถิ่นของอินเดีย) มาผลิตเป็นไบโอดีเซลและนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนผสม 20% และ 80% ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์และมลพิษ ผลปรากฏว่าสมรรถนะมีค่าเพิ่มขึ้นและการลดลงของค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะส่วนมลพิษมีค่าลดลงจึงสรุปว่าสามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลได้และช่วยควบคุมมลพิษด้วย กนกอร และคณะ[4-5] ได้นำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันมะพร้าวมาผลิตเป็นไบโอดีเซลในการทดลองได้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากนั้นนำไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสม 10%, 50%, 60%, 90% และ100% ไปใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลในระยะสั้นผลการทดลองพบว่า น้ำมันไบโอดีเซลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ สามารถนำ มาใช้งานกับเครื่องยนต์ได้โดยไม่เกิดปัญหาเครื่องยนต์เดินสะดุดโดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและควันดำมากกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิจัยโดยการนำน้ำมันพืชที่ใช้แล้วซึ่งพบว่ามีจำนวนมากถึง 83 ล้านลิตรต่อปีที่เหลือจากการใช้ในครัวเรือน และในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ[6] มาผลิตเป็นไบโอดีเซลและได้พัฒนาให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาตรฐานที่อัตราส่วนผสม 50% และ 100% โดยปริมาตร แล้วนำไบโอดีเซลมาทดสอบกับชุดทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กเพื่อศึกษาถึงสมรรถนะของเครื่องยนต์ แล้วเปรียบเทียบสมรรถนะกับการใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐานเป็นเชื้อเพลิง

2.การทดลอง

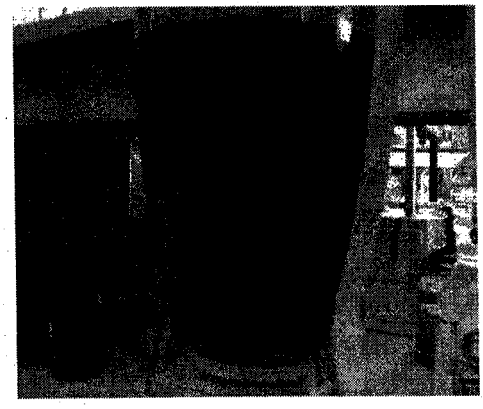
2.1 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

น้ำมันพืชสามารถทำให้กลายเป็นไบโอดีเซลได้โดยผ่านกระบวนการ ทรานเอสเทอริฟิเคชั่น ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ (เมทานอล หรือเอทานอล) และตัวเร่งปฏิกิริยา (โซเดียมไฮดรอกไซด์) ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนเป็น methyl ester, ethyl ester หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "ไบโอดีเซล" และได้กรีเซอรีนเป็นผลพลอยได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน

นำน้ำมันพืชจำนวน 1 ลิตรเทใส่ในบิกเกอร์จากนั้นนำสารละลาย Sodium methoxide (ได้จากการผสมกันระหว่าง Methanol 200 ml กับ Sodium hydroxide 3.5 กรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมในการดึงกลีเซอรีนออกจากน้ำมันพืชเพื่อให้มีโครงสร้างเหมือนกันกับโครงสร้างของน้ำมันดีเซล)[7] เทลงในเครื่องผสมแล้วเทน้ำมันพืชที่ตวงไว้ตามลงไปเปิดเครื่องผสมเพื่อให้สารทั้งสองผสมกัน ใช้เวลาประมาณ 10-15 นาทีแล้วปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 8 ชั่วโมงเพื่อให้การเกิดปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์ จะเห็นการแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์กับกรีเซอรีนดังรูปที่ 2 โดยเมทิลเอสเทอร์ที่มีน้ำหนักเบากว่าจะอยู่ด้านบนส่วนกรีเซอรีนที่หนักกว่าจะอยู่ด้านล่างทำการแยกกรีเซอรีนออก เราก็จะได้น้ำมันไบโอดีเซลที่พร้อมจะใช้งานดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 แสดงการแยกตัวกันของน้ำมันไบโอดีเซลกับกลีเซอรีน

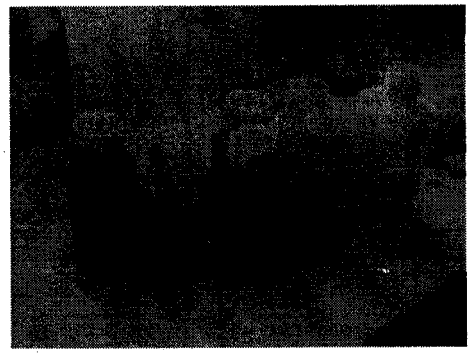
สำหรับน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานมาแล้วจำนวนกลีเซอร์รีนจะเพิ่มขึ้น (ตามอายุการใช้งาน) เราก็ควรจะเพิ่มปริมาณของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Catalyst) ซึ่งหาได้ จากสมการ

$$(X+3.5) = N \qquad (1)$$

โดยที่

X = จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับน้ำที่ใช้หยดลงในสารละลาย oil/alcohol

N = จำนวนกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำไบโอดีเซลจำนวน 1 ลิตร



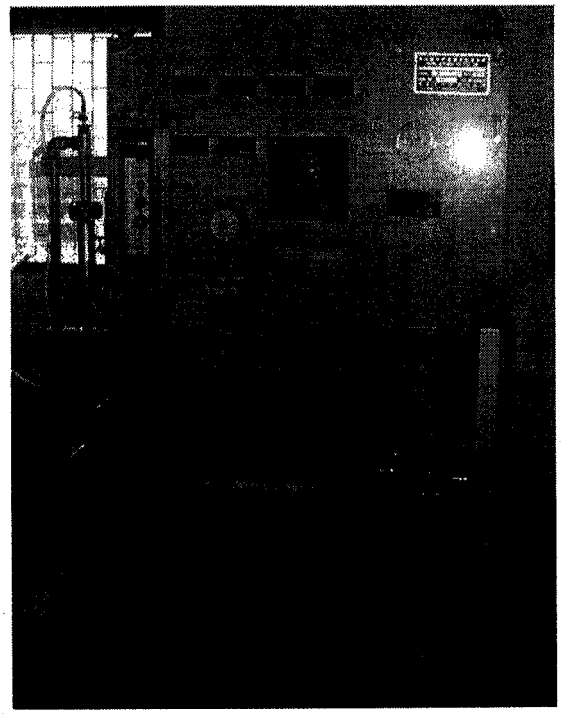
รูปที่ 3 ไบโอดีเซลที่ผลิตได้ที่อายุการใช้งานของน้ำมันพืชที่ต่างกัน

2.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

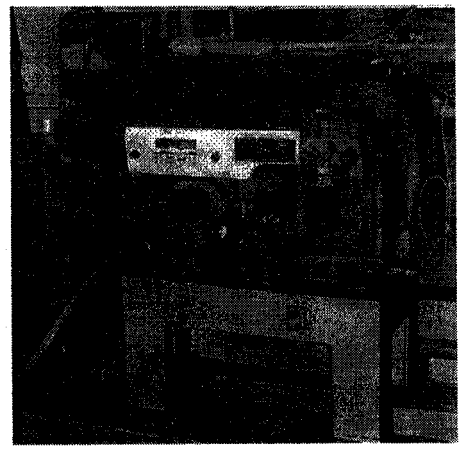
การทดสอบจะใช้ชุดทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 1 กระบอกสูบเป็นอุปกรณ์ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4 ในชุดทดสอบจะประกอบด้วยเครื่องยนต์ในรูปที่ 5 ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 ต่อกับไดนามิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 6 และมีเงื่อนไขในการทดสอบคือทดสอบที่ความเร็วรอบตั้งแต่ 700 ถึง 1,500 rpm

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ทดสอบ

Model	D-800(Mitsubishi DieselEngine)
Bore × Stroke	82 × 78 mm
No.of cylinder	1
Piston displacement	411 cc
Link ratio	3.54
Maximum output	8.0PS/2400 rpm
Maximum torque	2.6 kg-m/1900 rpm
Compression ratio	18.0



รูปที่ 4 ชุดทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

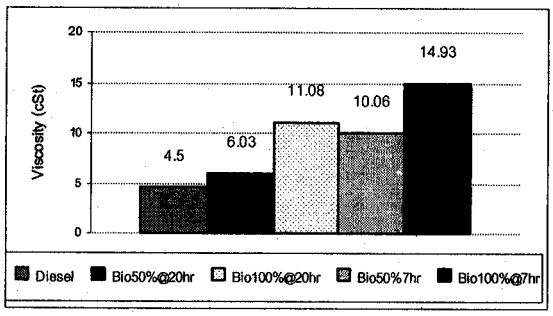


รูปที่ 5 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

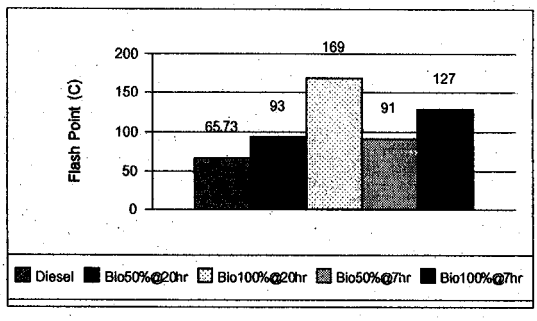
รูปที่ 6 ไดนาโมมิเตอร์ที่ต่อกับเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

3.ผลการทดลองและการวิเคราะห์

3.1ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซล



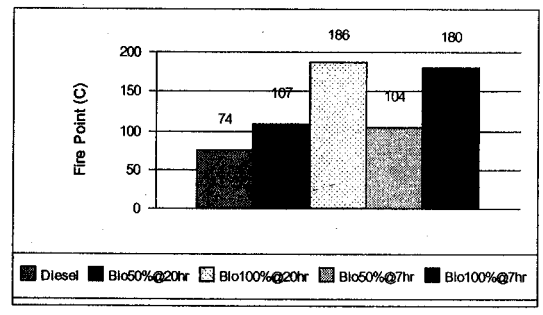
รูปที่ 7 แสดงค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 24.5°C ของน้ำมันไบโอดีเซลชนิดต่าง ๆเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล



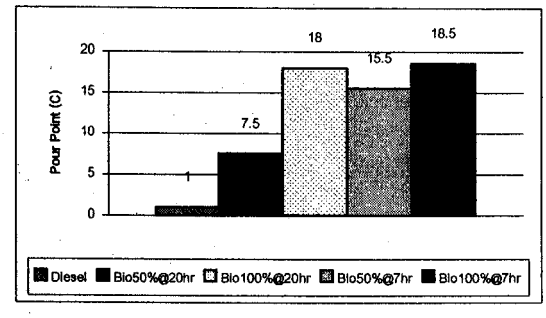
รูปที่ 8 แสดงค่าจุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลชนิดต่าง ๆเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

ผลการทดลองรูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยแปรตามชั่วโมงของน้ำมันพืชใช้แล้ว (ในขบวนการผลิตไบโอดีเซลในงานวิจัยนี้เราจะใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว 7 ชั่วโมงและ 20 ชั่วโมงมาผลิต) นำมาใช้ผลิตไบโอดีเซลและสูตรการผสมเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐาน ซึ่งมีผลให้การฉีดน้ำมันของหัวฉีดพ่นกระจายเป็นฝอยได้ยากและน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานมานาน (20 ชั่วโมง) เมื่อนำมาผลิตไบโอดีเซลจะได้ไบโอดีเซลที่มีค่าความหนืดน้อยกว่าการนำน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้งานไม่นาน (7 ชั่วโมง) มาผลิตนอกจากนี้การผสมไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน ก็จะเป็นการช่วยลดค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงลงได้

ผลการทดลองรูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดงค่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำมันชนิดต่าง ๆ พบว่าไบโอดีเซลที่ส่วนผสมต่าง ๆมีจุดวาบไฟที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานทำให้มีความเสี่ยงต่อการระเบิดหรือการติดไฟน้อยกว่าเป็นผลให้สามารถจัดเก็บ และขนถ่ายได้ปลอดภัยกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานแต่จุดวาบไฟ ไม่มีความสำคัญโดยตรงต่อการสันดาปและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์[4] และพบว่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนของน้ำมันไบโอดีเซลที่มาผสมกันน้ำมันดีเซลมาตรฐาน



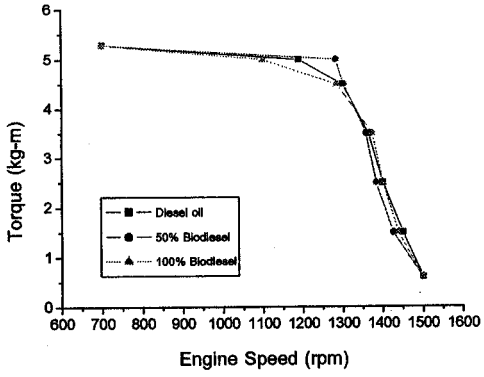
รูปที่ 9 แสดงค่าจุดติดไฟของน้ำมันไบโอดีเซลชนิดต่าง ๆเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล



รูปที่ 10 แสดงค่าจุดไหลเทของน้ำมันไบโอดีเซลชนิดต่าง ๆเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

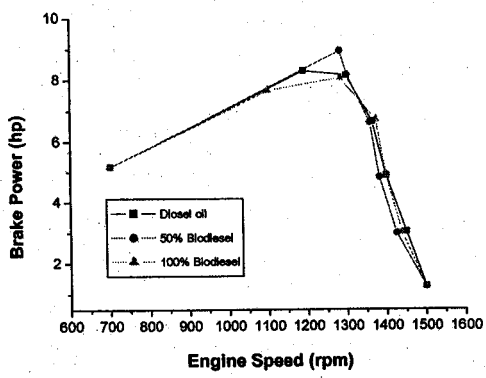
ผลการทดลองรูปที่ 10 จุดไหลเทของน้ำมันไบโอดีเซลที่ส่วนผสมต่าง ๆมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาตรฐานมาก ดังนั้นในการนำไบโอดีเซลไปใช้จำเป็นต้องรู้อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้

3.2 ผลการทดลองจากการทดสอบกับเครื่องยนต์

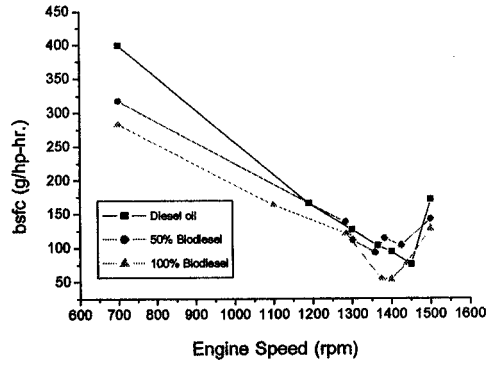


รูปที่ 11 แสดงค่าแรงบิดของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลชนิดต่างๆเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล

รูปที่ 11 และ 12 แสดงแรงบิดและกำลังงานเบรคของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ได้ผลการทดสอบว่าที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ในช่วง 700 ถึง 1,500 rpm เชื้อเพลิงไบโอดีเซล จะให้ค่าแรงบิดและค่ากำลังงานเบรคของเครื่องยนต์ ไม่แตกต่างจากเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลมากนัก โดยจากรูปที่ 11 ค่าแรงบิดของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันทั้งสามชนิดจะให้ค่าสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 700 rpm และจะลดลงเรื่อยๆอย่างต่อเนื่องในช่วงความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1300 rpmเป็นต้นไป จนให้ค่าแรงบิดต่ำสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1500 rpm สำหรับรูปที่ 12 ค่ากำลังงานเบรคของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันทั้งสามชนิดจะเพิ่มขึ้นโดยเริ่มจากที่ความเร็วรอบ 700 rpm ไปจนให้ค่ากำลังงานเบรคสูงสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1300 rpm และจะลดลงเรื่อยๆเหมือนกับค่าแรงบิดของเครื่องยนต์จนให้ค่าต่ำสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1500 rpm



รูปที่ 12 แสดงกำลังงานเบรคของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลชนิดต่างๆเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล



รูปที่ 13 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลชนิดต่างๆเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล

ผลการทดลองรูปที่ 13 แสดงค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (bsfc) ของเครื่องยนต์เมื่อใช้ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ได้ผลการทดสอบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิงมีความสิ้นเปลืองน้อยกว่าใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่ำ และยังพบว่าเมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ต่ำ จะสิ้นเปลืองมากกว่าที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่สูง และจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะใกล้เคียงกับที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น โดยค่า bsfc จะมีค่าสูงสุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 700 rpm และจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ช่วงความเร็วรอบ 700 - 1100 rpm จนให้ค่าต่ำสุดที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1400 rpm จากนั้นค่า bsfc ก็จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและที่น่าสังเกตุคือ Biodiesel 100% จะให้ค่า bsfc ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1400 rpm

4.สรุปและงานวิจัยในอนาคต

1. น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชใช้แล้วนั้น จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมัน พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากโครงการวิจัยนี้สามารถจัดเก็บ และขนถ่ายได้อย่างปลอดภัยโดยไม่ก่อให้เกิดอุบัติภัยได้ง่าย เนื่องมาจากน้ำมันมีจุดวาบไฟและจุดติดไฟที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล นอกจากนี้แล้วอายุการใช้งานของน้ำมันพืชที่นำมาทำไบโอดีเซลก็ยังมีผลต่อค่าคุณสมบัติทั้งสองของน้ำมันด้วย

2. น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชใช้แล้วมีคุณสมบัติการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลเพราะเมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลไปทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่าให้สมรรถะที่ใกล้เคียงกัน

3. ผลการทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ผลิต สามารถให้ค่าแรงบิดและค่ากำลังงานไม่แตกต่างจากเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล แต่การใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองที่สูงกว่าที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ต่ำ ที่ความเร็วรอบที่สูงขึ้นกลับพบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ใกล้เคียงกับการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล

4. ที่อัตราส่วนผสมไบโอดีเซล 100% โดยปริมาตร (ไม่ผสมกับน้ำมันดีเซล) ให้ค่าสมรรถนะของเครื่องยนต์ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

5. น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชใช้แล้ว สามารถนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลได้ โดยไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์เดินสะดุดเลยจากการเดินเครื่องยนต์ในระยะสั้น (ต่ำกว่า 10 ชั่วโมง)

งานวิจัยในอนาคต

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในขั้นต้น ดังนั้นจึงยังคงมีงานวิจัยที่ยังเกี่ยวข้องอีก ที่ควรจะศึกษาต่อไปลักษณะงานวิจัยในอนาคตที่สนใจจะทำการวิจัยต่อ เช่น

- ทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM
- ศึกษาถึงผลการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีต่ออุปกรณ์และชิ้นส่วนทั้งในระบบน้ำมันเชื้อเพลิงและภายในเครื่องยนต์ หลังจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ระยะเวลา 500 ชั่วโมงเพื่อดูผลกระทบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ในสภาวะการใช้งานเสมือนจริง
- วัดมลพิษจากไอเสียที่ปล่อยออกมาเทียบกับน้ำมันดีเซลมาตรฐาน
- ทดสอบกับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ เช่น เครื่องยนต์ขนาด 4 สูบ 2000 cc
- ศึกษาดู Wax หรือ Gum deposit ที่จะเกิดขึ้นตามกระบอกสูบ หรือหัวฉีดที่เวลารอบการทดลองต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] ไทยไบโอดีเซล.**Biodiesel Ester** [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 10 กันยายน 2546].จาก http://www.thaibiodiesel.com

[2] Mohamad I. Al-Widyan, Ghassan Tashtoush,Mohd Abu-Qudais. "Utilization of ethyl ester of waste vegetable oils as fuel in diesel engine" Fuel Processing Technology, 2002, Vol. 76, pp. 91-103

[3] H.Raheman,AG.Phadatare. "Diesel engine emission and performance from blends of karaja methyl ester and diesel" Biomass and Bioenger, 2004, Vol. 27, pp. 393-397

[4] กนกอร รจนากิจ และ จินดา เจริญพรพาณิชย์. "การนำเอทิลเอสเทอร์จากน้ำมันมะพร้าวไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก" การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17, ปี พ.ศ. 2546, หน้า 627-632

[5] กนกอร รจนากิจ, พงษ์ศักดิ์ คำมูล และ จินดา เจริญพรพาณิชย์. "การทำไบโอดีเซลจากไขปาล์มบริสุทธิ์ เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด" การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16, ปี พ.ศ. 2545, หน้า 66-71

[6] สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ. **การสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัยด้านพลังงานทดแทน.** สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ; 2546.

[7] Joshoa Tickell. **Frome the Fryer to the Fueltank.** New orleans,Louisiana: Joshoa Tickell Plublication, 1971

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นาย อิทธิพล วรพันธ์
วัน เดือน ปีเกิด	16 พฤษภาคม 2524
ที่อยู่ปัจจุบัน	119 หมู่ 6 ต.เหล่าไฮ อ.คำเขื่อนแก้ว จ.ยโสธร 35110
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	มัธยมศึกษาปีที่ 1-6 โรงเรียนคำเขื่อนแก้วชนูปถัมภ์ อ.คำเขื่อนแก้ว จ.ยโสธร พ.ศ. 2543
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ. 2547
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เมื่อ พ.ศ. 2549
ทุนการศึกษาหรือทุนงานวิจัย	**ทุนสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานจากวิทยานิพนธ์บางส่วน** ประจำปีการศึกษา 2549 จากบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี **ทุนสนับสนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา** ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี