

คุณลักษณะการเผาไหม้ และสมรรถนะของเครื่องยนต์ CI ขนาดเล็กเมื่อใช้ ปาล์มไบโอดีเซล-เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง

Combustion Characteristic and Performance of Small CI Engine Using Palm Biodiesel-Ethanol Blend as Fuels

ณัฐพล ศิริสวัสดิ์ ประชาสันติ ไตรยสุทธิ* กุลเชษฐ์ เพียรทอง
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ
จ.อุบลราชธานี 34190

Nattapon Sirisawat Prachasanti Thaiyasuit* Kulachate Pianthong
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University,
Warinchamrap, Ubon Ratchathani 34190
Tel : 0-4535-3309 E-mail: prachasanti.t@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา จุดเริ่มต้นการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ไม่มีการปรับแต่งเมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง มักจะเกิดขึ้นเร็วกว่าการใช้ดีเซลปกติ ทำให้พลังงานที่ได้บางส่วนสูญเสียไปกับการต้านทานการเคลื่อนที่ขึ้นของลูกสูบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของการนำเอทานอลซึ่งมีค่าซีเทนต่ำมาผสมกับไบโอดีเซลจากปาล์มเพื่อหน่วงจังหวะเริ่มต้นการจุดระเบิดให้ใกล้เคียงกับดีเซล โดยผสมเอทานอลที่อัตราส่วนร้อยละ 5-20 โดยปริมาตร ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง 1 สูบ โดยไม่ปรับแต่งเครื่องยนต์ ที่ 1300-1700 rpm ความดันยังผลเฉลี่ย 143-715 kPa จากผลการทดลองพบว่าไบโอดีเซลที่ผสมเอทานอลจะหน่วงจุดเริ่มต้นการจุดระเบิดให้ช้าลงไปอยู่หลังตำแหน่ง TDC และออกซิเจนที่อยู่ในเอทานอลจะช่วยทำให้การเผาไหม้ดียิ่งขึ้น ทำให้พลังงานจากการเผาไหม้เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะกำลัง แต่เมื่ออัตราส่วนของเอทานอลสูงเกินไปในช่วงร้อยละ 15-20 จะทำให้จุดเริ่มต้นการจุดระเบิดเกิดขึ้นในช่วงที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลง เพราะมีช่วงการจุดระเบิดล่าช้าเกินไป ซึ่งการเผาไหม้จะเป็นแบบส่วนผสมบาง ทำให้ช่วงท้ายของจังหวะการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นจากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า อัตราส่วนผสมของเอทานอล

ในช่วงร้อยละ 5-10 ที่ 1300 rpm ความดันยังผลเฉลี่ย 429-715kPa จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด
คำหลัก จุดเริ่มต้นการเผาไหม้ ปาล์มไบโอดีเซล
สมรรถนะเครื่องยนต์

Abstract

In previous studies on combustion characteristic of biodiesel in CI engine, the start of ignition tended to be advance than that of diesel fuel. Thus, in this study, the ethanol which usually has low cetane-number was blended into palm biodiesel to delay the start of ignition of biodiesel. The blended ratio of ethanol-palm biodiesel is between 5-20% by volume. A normal single-cylinder direct injection diesel engine (no modification) was used. The experiments are tested at 1300-1700 rpm of engine speed and 143-715 kPa of brake mean effective pressure. From the tests, it is shown that the start of ignition of palm biodiesel-ethanol blended can be retarded and is occurred at after TDC, while the oxygen in ethanol can improve the combustion to suitable in power stroke. In case of high percentage of ethanol being 15% to 20%, the start of ignition occurs pretty late while the piston

has already moved down due to the too long of ignition delay and lean burn combustion affecting to the slow burn in the last of combustion phase. Thus in this study, it may be concluded that the biodiesel-blend at ratio between 5-10%, 1300 rpm and 429-715 kPa of brake mean effective pressure should give the highest efficiency comparing to other palm biodiesel-ethanol blended ratios.

Keywords: Start of ignition, palm biodiesel, engine performance

1. บทนำ

เครื่องยนต์ดีเซลมีความนิยมใช้ในงานขนส่ง และในการเกษตร อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพดี และความคงทนของเครื่องยนต์สูง และให้แรงบิดสูงที่รอบต่ำ ทำให้น้ำมันดีเซลเป็นที่ต้องการ และมีราคาแพงขึ้นมาก จึงส่งผลให้ต้นทุนด้านขนส่ง และการเกษตรที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลังมีการปรับตัวสูงขึ้นตลอดเวลา

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้ไบโอดีเซลจากปาล์มมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เพราะน้ำมันปาล์มสามารถผลิตได้ในประเทศ เป็นการลดต้นทุนการนำเข้า และส่งเสริมการปลูกปาล์มภายในประเทศ แต่จากการทดลอง และศึกษาจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ไบโอดีเซลจากปาล์มมีคุณลักษณะการเผาไหม้ ต่างจากดีเซล ซึ่งเมื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จะทำให้มีประสิทธิภาพต่ำลง และจากการศึกษาเพิ่มเติมงานวิจัยของ Sahoo และคณะ [1] ที่ได้ศึกษาจุดเริ่มต้นการเผาไหม้ของไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ชนิด 1 สูบ 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำกำลังสูงสุด 6 kW พบว่า เมื่อใช้ไบโอดีเซลจากสบู่ดำ Koranja และ Polanga เป็นเชื้อเพลิง จุดเริ่มต้นการเผาไหม้จะเกิดล่วงหน้าดีเซลอยู่ 4.2 4.5 และ 4.2 องศาเซลเซียสเพียงตามลำดับ จากงานวิจัยของ Bittle และคณะ [2] พบว่าไบโอดีเซลจะมีช่วงการเผาไหม้ล่าช้าสั้นกว่าดีเซล และ Canakci [3] ก็ได้ผลที่สอดคล้องเช่นกัน คือไบโอดีเซลจะเริ่มเผาไหม้ก่อนดีเซล ซึ่งเกิดจากการฉีดเชื้อเพลิงก่อนเนื่องจากไบโอดีเซลมีค่าการอัดตัวได้ต่ำกว่าดีเซล เพราะโมดูลัส รวมทั้งความหนืด และค่าซีเทนที่สูงกว่าของไบโอดีเซล

เนื่องจากเครื่องยนต์ได้ถูกปรับแต่งจังหวะการทำงานจากผู้ผลิตเพื่อให้เหมาะสมกับดีเซล ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนมาใช้ไบโอดีเซลซึ่งมีจังหวะเริ่มต้นการเผาไหม้เร็วกว่าดีเซล โดยเฉพาะเมื่อจุดเริ่มต้นการเผาไหม้เกิดขึ้นก่อนจุดศูนย์ตายบน (TDC) จะส่งผลให้แรงดันที่ได้จากการเผาไหม้สวนทางกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ทำให้เกิดการสูญเสียงาน

เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนอีกชนิดหนึ่งที่สามารถผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตร เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย และกากน้ำตาล โดยการหมักให้เป็นแอลกอฮอล์ เอทานอลมีออกซิเจนผสมอยู่ถึง 34% ของน้ำหนัก การนำเอทานอลมาผสมดีเซล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลจะช่วยลดเขม่าในเครื่องยนต์ลง [4] นอกจากนี้เอทานอลเป็นผลผลิตที่ได้มาจากการเกษตร การนำเอทานอลมาใช้จะเป็นการส่งเสริมการเกษตรด้วย เอทานอลจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สามารถนำมาผสมกับไบโอดีเซลเพื่อหน่วงช่วงล่าช้าการเผาไหม้ของไบโอดีเซลให้ใกล้เคียงกับการเผาไหม้ของดีเซล ในกรณีที่ไม่ต้องการปรับแต่งเครื่องยนต์

Park SH และคณะ [5] ได้ศึกษาเชื้อเพลิงผสมดีเซลเอทานอล โดยใช้ไบโอดีเซล เป็นตัวประสาน เพราะไบโอดีเซลสามารถผสมเข้ากันได้ทั้งแอลกอฮอล์ และดีเซล จากการศึกษา พบว่าไบโอดีเซล ที่เพิ่มเข้าไปช่วยลดการแยกตัวของเชื้อเพลิง และพบว่า เมื่อเพิ่มส่วนผสมที่เป็นเอทานอล ทำให้ลำพุงของเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปแตกตัวเป็นละอองฝอยมากยิ่งขึ้น และ Guarieiro และคณะ [6] ได้ทดลองเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซล เอทานอล ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมเอทานอล มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นเนื่องจาก ปริมาณของออกซิเจนที่ผสมอยู่ในเอทานอล และไบโอดีเซล ช่วยทำให้มีการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น

นอกจากนี้ Torres-Jimenez และคณะ [7] และ Wang และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะการฉีดเชื้อเพลิงระหว่างดีเซล ไบโอดีเซล และไบโอดีเซลผสมเอทานอล พบว่า ไบโอดีเซลจะเริ่มฉีดเชื้อเพลิงก่อนดีเซล เนื่องจาก ค่าโมดูลัส และความหนืดที่สูงกว่าดีเซล จึงมีผลทำให้ระยะเวลาในการฉีดของเชื้อเพลิงยาวนานกว่าดีเซล แต่เมื่อนำเอทานอลมาผสมกับไบโอดีเซล พบว่าจะทำให้จุดเริ่มต้นการฉีดของเชื้อเพลิงช้าลง และมีช่วงระยะเวลาในการฉีดเชื้อเพลิงสั้น

ลงด้วย โดยระยะเวลาในการฉีดที่ลดลงนี้จะแปรผันตามอัตราส่วนของเอทานอล ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นและความหนืดที่ลดลงเมื่ออัตราส่วนของเอทานอลสูงขึ้น แต่ในขณะเดียวกันค่าซีเทนของไบโอดีเซลที่ผสมเอทานอลก็มีค่าต่ำลงด้วย เนื่องจากค่าซีเทนของเอทานอลมีค่าประมาณ 6 ซึ่งจะส่งผลต่อช่วงล่าช้า และคุณลักษณะการเผาไหม้โดยรวม ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะใช้เอทานอลมาเป็นสารหน่วงช่วงล่าช้าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และศึกษาผลกระทบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของปาล์มไบโอดีเซลเมื่อผสมกับเอทานอล

2. เชื้อเพลิง และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิง

ในการทดลองนี้เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย น้ำมันดีเซล(D100) ไบโอดีเซลจากปาล์ม (B100) เอทานอล 99.8% (E100) และเชื้อเพลิงผสมระหว่างไบโอดีเซลจากปาล์มกับเอทานอลในอัตราส่วน 5% (BE5), 10% (BE10), 15% (BE15) และ 20% (BE20) โดยปริมาตร ซึ่งมีคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิง [9]

คุณสมบัติ	มาตรฐาน	Diesel	E100	B100
ค่าความถ่วงจำเพาะ	ASTM D1298	0.870	0.785	0.888
ค่าความหนืด 40 °C	ASTM D88	4.1	1.2	6.44
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D97	52	13.5	155
จุดติดไฟ (°C)	ASTM D97	74	78.4	160
ซีเทน	ASTM D976-9	52	6	60
ค่าความร้อน (MJ/kg)	ASTM D1250	42	26.95	39.4

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

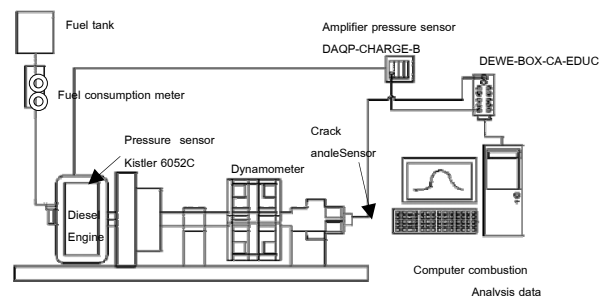
เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้เป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด ชนิด 1 สูบ 4 จังหวะ นำอากาศเข้าแบบธรรมชาติ ระบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง ดังรายละเอียดในตารางที่ 2 เครื่องยนต์ดังกล่าวถูกติดตั้งเข้ากับไดนาโมมิเตอร์โดยตรง เพื่อให้ความดันยังผลเฉลี่ยกับเครื่องยนต์ในการทดสอบสมรรถนะ

ในการวัดความดันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จะใช้เซนเซอร์วัดความดันในห้องเผาไหม้ชนิด Piezoelectric รุ่น Kistler 6052C ซึ่งถูกติดตั้งเข้าไปใน

ห้องเผาไหม้ผ่านฝาสูบของเครื่องยนต์ โดยสัญญาณที่ได้จะถูกขยายสัญญาณโดยอุปกรณ์ขยายสัญญาณ Dewetron รุ่น DAQP-CHARGE-B และรับสัญญาณขององศาเพลาช้อเหี้ยงจาก DEWE-CA-Angle-Sensor 0.2 เพื่อส่งเข้ากับ กล้องรับสัญญาณรุ่น DEWE-BOX-CA-EDUC เพื่อนำไปประมวลผลคุณลักษณะการเผาไหม้ ข้อมูลที่ได้จะถูกเก็บที่ทุก 0.2 ขององศาเพลาช้อเหี้ยง ค่าความดันในห้องเผาไหม้สามารถนำมาคำนวณหาอัตราการปลดปล่อยความร้อนได้จากสมการที่ 1 [10] สำหรับแผนผังการติดตั้งของชุดวิเคราะห์คุณลักษณะการเผาไหม้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1

ตารางที่ 2 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องยนต์	Mitsubishi Diesel D-800
จำนวนสูบ	1 สูบ
ระยะชัก	78 mm.
ขนาดกระบอกสูบ	82 mm.
ปริมาตรกระบอกสูบ	411 cc.
กำลังสูงสุด	5.88 kW / 2400 rpm
แรงบิดสูงสุด	25.5 N.m / 1900 rpm
อัตราส่วนการอัด	18.0 : 1



รูปที่ 1 แสดงแผนผังชุดวิเคราะห์การเผาไหม้และทดสอบ

ความดันยังผลเฉลี่ยงานเครื่องยนต์

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{Pdv}{d\theta} + \frac{1}{\gamma-1} \frac{VdP}{d\theta} \quad (1)$$

โดย Q ที่ คืออัตราการปลดปล่อยความร้อน

γ คืออัตราส่วนของค่าความร้อนจำเพาะ $\frac{C_p}{C_v}$ ใน

งานวิจัยนี้ใช้ค่าเท่ากับ 1.37

θ คือองศาเพลาช้อเหี้ยง (°CA)

P คือความดันในห้องเผาไหม้ (bar)

V คือปริมาตรในห้องเผาไหม้ (m³)

ค่าที่ได้จากสมการนี้สามารถแสดงการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิง โดยที่ค่าความดันในห้องเผาไหม้

และอัตราการปลดปล่อยความร้อนเฉลี่ยมาจากข้อมูลการเผาไหม้ 50 วัฏจักร ที่การทำงานของเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงที่

2.3 วิธีการทดลอง

ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่ได้ปรับแต่งเครื่องที่ความเร็วรอบคงที่ 1300 1500 และ 1700 รอบต่อนาที และที่ความดันยังผลเฉลี่ยของเครื่องยนต์ 143 286 429 572 และ 715 kPa โดยใช้เชื้อเพลิง D100 B100 BE5 BE10 BE15 และ BE20 ตามลำดับ ควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ 80°C แล้วทำการบันทึกผลความดันในห้องเผาไหม้ แรงบิด อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ อัตราการไหลของไอดี และอุณหภูมิไอเสีย

3. ผลการวิจัย

3.1 คุณลักษณะการเผาไหม้

ความดันในห้องเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลกับดีเซล ที่ความดันยังผลเฉลี่ยต่างๆแสดงไว้ในรูปที่ 2 และ 3 พบว่า เมื่อความดันยังผลเฉลี่ยมากขึ้นทำให้ความดันในห้องเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น และมากที่สุดที่ 1300 รอบต่อนาที ที่ความดันยังผลเฉลี่ย 715 kPa โดยมีความดันสูงสุดเท่ากับ 66.8 68.4 68.3 68.1 67.5 และ 67.1 Bar ของเชื้อเพลิง D100 B100 BE5 BE10 BE15 และ BE20 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3 ทั้งนี้ความดันยังผลเฉลี่ยของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนผสมเอทานอลสูงจะทำให้ค่าซีเทนต่ำ และค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง ส่งผลให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ลดลง

จากรูปที่ 4 และ 5 แสดงกราฟอัตราการปลดปล่อยความร้อนภายในกระบอกสูบที่องศาเพลวข้อเหวี่ยงใดๆ พบว่าเมื่อความเร็วรอบและความดันยังผลเฉลี่ยเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการปลดปล่อยความร้อนมีแนวโน้มเลื่อนไปทางขวา ในกรณีเชื้อเพลิงที่ผสมเอทานอล พบว่าเมื่อสัดส่วนเอทานอลสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเผาไหม้ช้าลงที่ทุกความดันยังผลเฉลี่ย โดยเฉพาะ BE20 จะมีจุดเริ่มต้นการเผาไหม้ช้าที่สุด คือ 4 °CA เมื่อเทียบกับ B100 ที่ 1700 รอบต่อนาที เนื่องจาก ค่าซีเทนที่ต่ำของเอทานอล ทำให้การจุดระเบิดของเชื้อเพลิงผสมถูกหน่วงออกไป นอกจากนี้ในช่วงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศก่อนแล้ว (premixed combustion

phase) จะมีการหน่วงให้ช้าลง และค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจาก เอทานอลมีค่าความหนืด และความหนาแน่นต่ำ เมื่อถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้จะแตกตัวทำให้ผสมกับอากาศได้ไม่ดีส่งผลให้การลุกไหม้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้อัตราการปลดปล่อยความร้อนในช่วงนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วตามไปด้วย ซึ่งค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงสุดที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของเอทานอลสอดคล้องกับผลการทดลองของ Qi และคณะ [11]

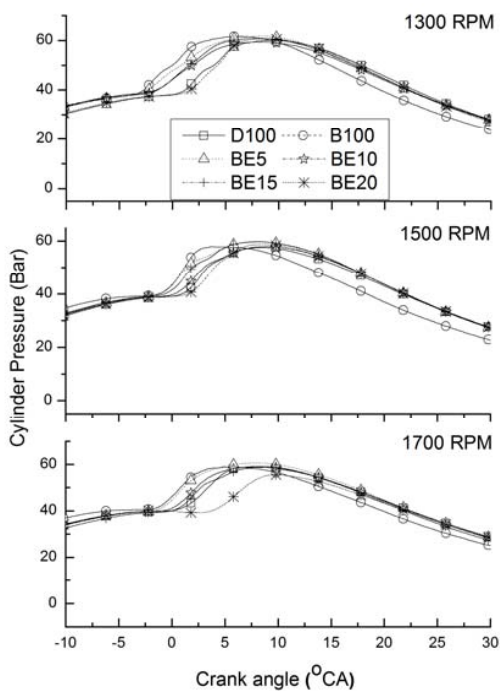
จากรูปที่ 6 แสดงตำแหน่งองศาเพลวข้อเหวี่ยงที่เป็นจุดเริ่มต้นการเผาไหม้พบว่ามี แนวโน้มลดลงเมื่อความดันยังผลเฉลี่ยเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhu และคณะ [12] นอกจากนี้ตำแหน่งองศาเพลวข้อเหวี่ยงของจุดเริ่มต้นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมเอทานอล จะเกิดช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับ B100 และจะช้ามากยิ่งขึ้นตามอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะ BE20 พบว่าจุดเริ่มต้นการเผาไหม้ ถูกหน่วงให้ช้าไป 4 °CA เมื่อเปรียบเทียบกับ B100 ที่ 1700 รอบต่อนาที ซึ่งอยู่หลังตำแหน่ง TDC 5.4 °CA เป็นผลจากค่าซีเทนที่ต่ำของเอทานอล ทำให้ใช้เวลาในการจุดระเบิดนานขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่าในทุกเชื้อเพลิงที่ความดันยังผลเฉลี่ยสูงความเร็วรอบต่ำ จะทำให้อัตราการเผาไหม้ช้าลง เนื่องจากอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่สูง และในเชื้อเพลิงผสมเอทานอลพบว่าการหน่วงการเผาไหม้จากเอทานอลจะมีผลน้อยมากเมื่อความดันยังผลเฉลี่ยสูงขึ้น เนื่องจาก ความหนืดที่ลดลงเมื่อผสมเอทานอล ทำให้เชื้อเพลิงแตกตัวได้ดี อีกทั้งอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง ทำให้การเริ่มต้นเผาไหม้เกิดขึ้นได้เร็ว

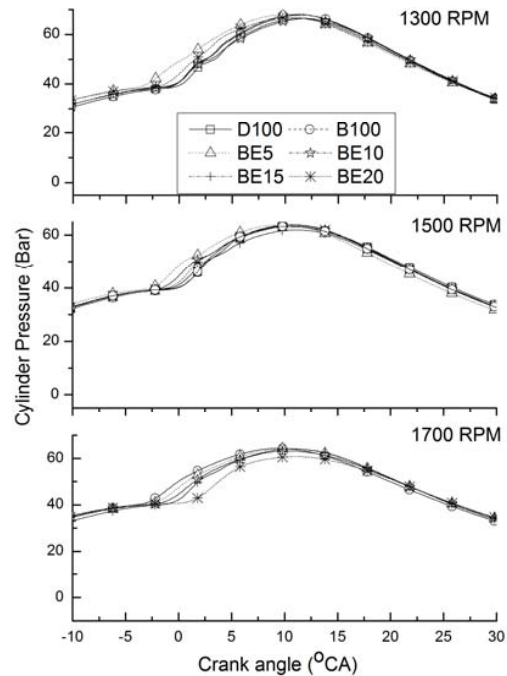
จากรูปที่ 7 แสดงตำแหน่งจุดสิ้นสุดการเผาไหม้พบว่า เชื้อเพลิง B100 จะสิ้นสุดการเผาไหม้เร็วที่สุด เนื่องจากมีค่าซีเทนสูงที่สุด และมีการฉีดเชื้อเพลิงที่เร็วขึ้นเนื่องมาจากค่าความหนาแน่นที่สูง และจากผลการทดลองยังพบว่าเมื่อความดันยังผลเฉลี่ยที่สูงขึ้น จะทำให้อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงที่มากขึ้นตามไปด้วย และในเชื้อเพลิงผสมเอทานอล จุดสิ้นสุดการเผาไหม้จะช้าลง เมื่อเปรียบเทียบกับ B100 เนื่องจากมีค่าซีเทนที่ต่ำ และค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง ทำให้มีช่วงเวลาก่อนการเผาไหม้ที่ควบคุมโดยการผสมยาวนานขึ้น โดยเฉพาะใน BE20 จะมี

จุดสิ้นสุดการเผาไหม้ช้ากว่า B100 อยู่ 23°CA ที่ 1300 รอบต่อนาที ซึ่งใช้เวลาเผาไหม้นานที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 8

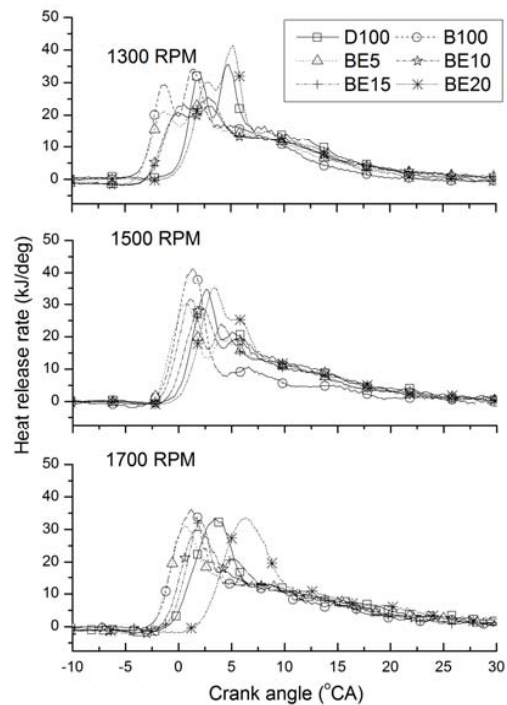
นอกจากนี้เมื่อความเร็วรอบต่ำและความดันยังผลเฉลี่ยสูง พบว่า BE20 จะมีช่วงเวลากการเผาไหม้นานขึ้น เพราะ เกิดจากมีช่วงเวลาล่าช้าของการจุดระเบิดมาก และยังใช้เวลาในการฉีดเชื้อเพลิงที่ยาวนานขึ้น เพื่อให้ได้ค่าความร้อนเท่าเดิม ทำให้ตำแหน่งการจุดระเบิดอยู่หลัง TDC มาก ขณะที่ช่วงเวลากการเผาไหม้ของ B100 ใช้เวลาเผาไหม้สั้นที่สุดเท่ากับ 43°CA รองลงมาเป็นเชื้อเพลิงผสมเอทานอล BE5 BE10 BE15 และ BE20 เท่ากับ 60 61 63 และ 64°CA ตามลำดับ



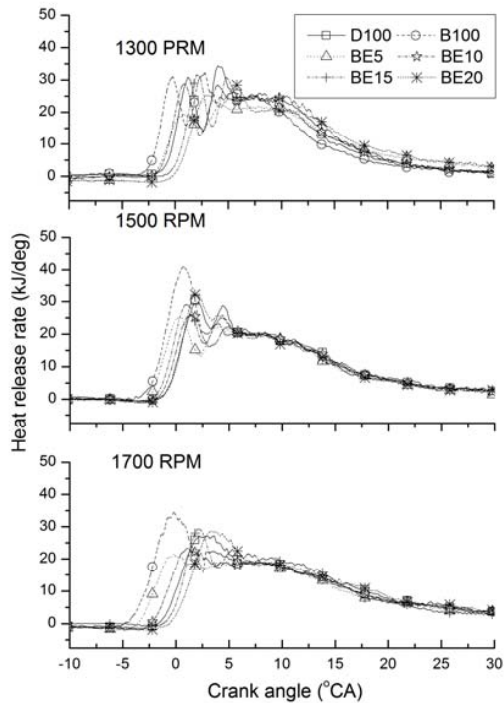
รูปที่ 2 ความดันภายในห้องเผาไหม้ที่ 1300 1500 และ 1700 รอบต่อนาที และความดันยังผลเฉลี่ย 429 kPa



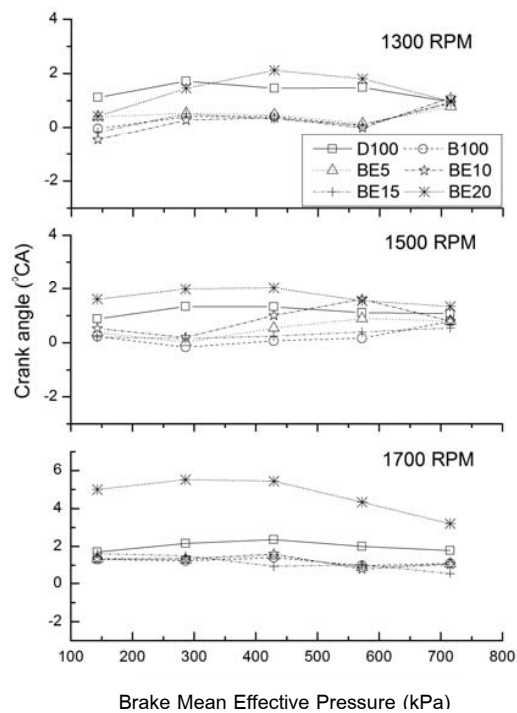
รูปที่ 3 ความดันภายในห้องเผาไหม้ที่ 1300 1500 และ 1700 รอบต่อนาที และความดันยังผลเฉลี่ย 715 kPa



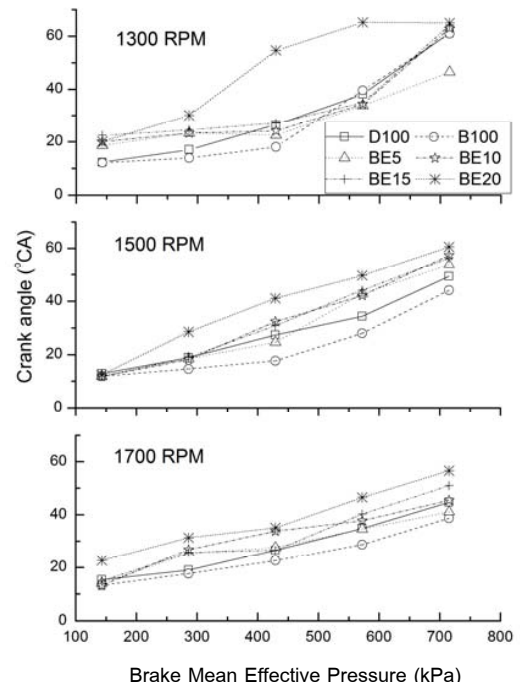
รูปที่ 4 อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ 1300 1500 และ 1700 รอบต่อนาที และความดันยังผลเฉลี่ย 429 kPa



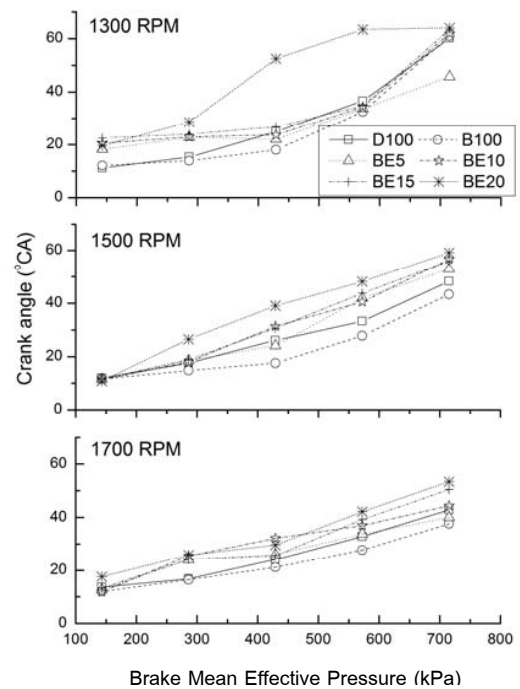
รูปที่ 5 อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ 1300 1500 และ 1700 รอบต่อนาที และที่ความดันยังผลเฉลี่ย 715 kPa



รูปที่ 6 จุดเริ่มต้นการเผาไหม้ที่ 1300 1500 และ 1700 รอบต่อนาที



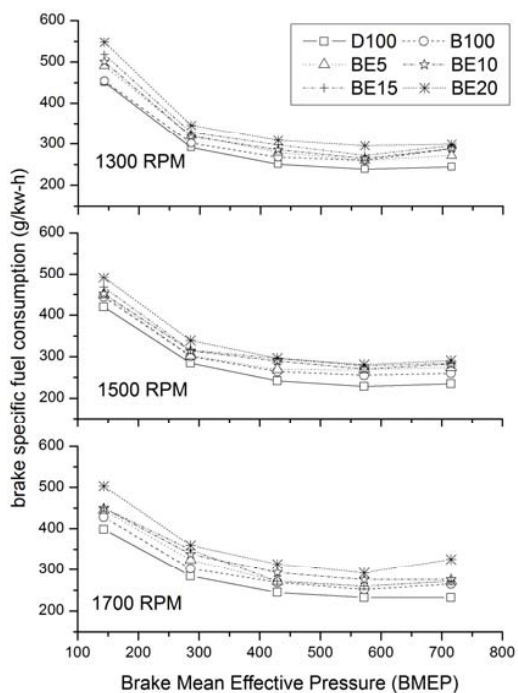
รูปที่ 7 จุดสิ้นสุดการเผาไหม้ที่ 1300 1500 และ 1700 รอบต่อนาที



รูปที่ 8 ช่วงเวลาการเผาไหม้ที่ 1300 1500 และ 1700 รอบต่อนาที

3.2 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค

จากรูปที่ 9 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะเบรค จากการทดลองพบว่า ทุกเชื้อเพลิงมีแนวโน้มของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคลดลงเมื่อความดันยังผลเฉลี่ยเพิ่มขึ้น และในกรณีของเชื้อเพลิงผสมเอทานอลจะมีแนวโน้มของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความร้อนของเอทานอลที่มีค่าต่ำ และที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรค 572 kPa ซึ่งมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคต่ำสุดในทุกๆเชื้อเพลิง พบว่าเชื้อเพลิงผสมเอทานอล มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค เพิ่มขึ้น 5.2% 5.8% 8.8% และ 9.9% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ B100 ต่างกัน

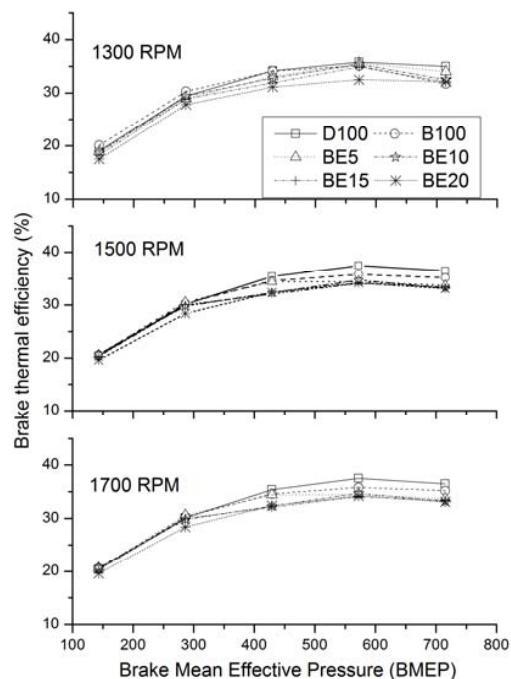


รูปที่ 9 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรคที่ความเร็วรอบ 1300 1500 และ 1700 รอบต่อนาที

3.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากรูปที่ 10 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรค พบว่า เมื่อความดันยังผลเฉลี่ยเบรคเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยและทุกเชื้อเพลิงจะมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดที่ความดันยังผลเฉลี่ยเบรคประมาณ 572 kPa และกรณีเชื้อเพลิงผสมเอทานอลพบว่า BE5 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงที่สุดในกลุ่มเชื้อเพลิงผสมเอทานอล เนื่อง

จากเอทานอล ในสัดส่วนร้อยละ 5 ที่ผสมเข้าไปจะช่วยหน่วงจังหวะการเผาไหม้ให้เหมาะสมไม่ช้าหรือเร็วเกินไป ทำให้จุดเริ่มต้นการเผาไหม้ที่ถูกหน่วงไปอยู่หลังจุด TDC ซึ่งใกล้เคียงกับตำแหน่ง maximum brake torque (MBT) ทำให้พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้มีค่าบวก และอยู่ในจังหวะกำลังของเครื่องยนต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Qi และคณะ [13]



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคที่ 1300 1500 และ 1700 รอบต่อนาที

4. สรุป

ไบโอดีเซลที่ผสมเอทานอลจะหน่วงจุดเริ่มต้นการจุดระเบิดให้ช้าลงไปอยู่หลังจุด TDC และออกซิเจนที่อยู่ในเอทานอลจะช่วยทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น ทำให้พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะกำลังของเครื่องยนต์ แต่เมื่ออัตราส่วนของเอทานอลสูงใน BE15 และ BE20 จะทำให้จุดเริ่มต้นการจุดระเบิดเกิดในช่วงที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลง เพราะมีช่วงการจุดระเบิดล่าช้าเกินไป และการเผาไหม้จะเป็นแบบส่วนผสมบาง ทำให้ช่วงท้ายของจังหวะการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ดังนั้นจากการทดลองจึงสรุปได้ว่า ที่อัตราส่วนผสมของเอทานอล ในช่วงร้อยละ

5-10 ที่ความเร็วรอบต่ำ 1300 รอบต่อนาที ในช่วงความดันยังผลเฉลี่ย 429-715 kPa จะมีประสิทธิภาพสูงสุด

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยนี้ และขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการทำงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sahoo, P.K. and Das, L.M. 2009. Combustion analysis of Jatropa, Karanja, and Polanga based biodiesel as fuel in a diesel engine. *Fuel*, 88(6): 994-999.
- [2] Bittle, J.A., Knight, B.M. and Jacobs T.J. 2010. Interesting behavior of biodiesel ignition delay and combustion duration. *Energy and Fuel*. 24(8): 4166-4177.
- [3] Canakci, M. 2007. Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. *Bioresource Technology*, 98(6): 1167-1175.
- [4] Xingcai, Lu. Junjun, Ma. Libin, Ji and Zhen, H. 2008. Simultaneous reduction of NOx emission and smoke opacity of biodiesel-fueled engines by port injection of ethanol. *Fuel*, 87(7): 1289-1296.
- [5] Park, SH. Kim, SH. and Lee, CS. 2009. Mixing stability and spray behavior characteristics of diesel- Ethanol- Methyl Ester Blended Fuels in a Common-Rail Diesel Injection System. *Energy Fuels*, 23(10): 5228-5235.
- [6] Guarieiro, LN. de Souza, AF. Torres, EA. and de Andrade, JB. 2008. Emission profile of 18 carbonyl compounds, CO., CO2, and NOx emitted by a diesel engine fuelled with diesel and ternary blends containing diesel, ethanol

and biodiesel or vegetable oils. *Atmospheric Environment*, 43(17): 2754-2761.

- [7] Torres-Jimenez, E. Pilar Dorado, M. and Kegl, B. 2010. Experimental investigation on injection characteristics of bioethanol-diesel fuel and bioethanol-biodiesel blends. *Fuel*, 90(5): 1968-1979.
- [8] Wang, X., Huang Z., Kuti O.A., Zhang W. and Nishida K. 2010. An experimental investigation on spray, ignition and combustion characteristics of biodiesels. *Proceedings of the Combustion Institute*, 3(2): 2071-2077.
- [9] อิทธิพล วรพันธ์, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, สงบทิพย์ พงศ์สถาปติ และ เด่นพงศ์ สุดภักดี. 2549. สมรรถนะ และการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลเมื่อน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง. *วิศวกรรมสาร มข.* 33(6): 691-705.
- [10] Heywood, JB. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals* International edn. McGraw-hill, Massachusetts.
- [11] Zhu, L., Cheung, C.S., Zhang, W.G. and Huang, Z. 2010. Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol-biodiesel blends. *Fuel*, 90(5): 1743-1750.
- [12] Qi, D.H., Chen, H., Matthews, R.D., and Bian, Y.ZH. 2010. Combustion and emission characteristics of ethanol-biodiesel-water micro-emulsions used in a direct injection compression ignition engine. *Fuel*, 89(5): 958-964.
- [13] Qi D.H., Chen, H., Geng, L.M. and Bian, Y.Z. 2010. Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodiesel-diesel blended fuel engine. *Renewable Energy*, 36(4): 1252-1258.