

AEC-133

ผลกระทบของการปรับองศาการฉีดดีเซลต่อคุณลักษณะของการเผาไหม้ที่ผิดปกติ ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมระหว่างแก๊สธรรมชาติและดีเซล

Effect of diesel injection timing on knocking combustion characteristics of a CNG-Diesel dual fuel engine

นาวิ นันตะภาพ สมชาย จันทรชานา สิทธิพร เขียวธาดา และ ยศพงษ์ ลออนวล

ห้องปฏิบัติการเครื่องยนต์และเผาไหม้ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
เลขที่ 126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140
*ติดต่อ: yossapong.lao@kmutt.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 02-4709123 เบอร์โทรสาร 02-4709111

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ที่ปกติและผิดปกติของเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์จุดระเบิดแบบอัด โดยเครื่องยนต์ให้สามารถปรับองศาการฉีดดีเซลที่ 20, 30 และ 45 องศา ก่อนศูนย์ตายบน (BTDC) และแก๊สธรรมชาติในสัดส่วนร้อยละ (Z%) 70, 82 และมากกว่า 88 โดยมวล โดยทดสอบที่ภาระงานคงที่ 3.18 kW และความเร็รรอบเครื่องยนต์ที่ 1500, 1800 และ 2000 rpm ผลการทดสอบที่ปริมาณแก๊สธรรมชาติในสัดส่วนร้อยละ (Z%) 70 และ 82 โดยมวล พบว่ายังคงเป็นการเผาไหม้ที่ปกติเมื่อเพิ่มองศาการฉีดดีเซลเร็วขึ้นและการเพิ่มความเร็รรอบเครื่องยนต์ทำให้จุดเริ่มต้นของการเผาไหม้เกิดความล่าช้าหลังศูนย์ตายบนมากขึ้นเช่นกัน แต่การทดสอบที่ปริมาณแก๊สธรรมชาติในสัดส่วนมากกว่าร้อยละ (Z%) 88 โดยมวล ที่องศาการฉีดดีเซลที่ 20 BTDC พบว่าเกิดการเผาไหม้แบบใกล้น็อก (Near Knock) และที่องศาการฉีดดีเซลที่ 30 และ 45 BTDC เป็นลักษณะการเผาไหม้แบบน็อก (Knock)

คำหลัก: เชื้อเพลิงร่วม; การเผาไหม้แบบน็อก ; การเผาไหม้แบบใกล้น็อก

Abstract

The objective of this research is to study the normal and abnormal combustion of dual fuel in the compression ignition engines. Experiments were carried out on this engine by varying diesel injection timing i.e. at 20, 30 and 45 before top dead centre (BTDC) and varying the amount of natural gas in fuel (Z%) from 70%, 82% and more than 88% by mass at a constant static load of 3.18 kW with three different engine speed, i.e. 1500, 1800 and 2000 rpm. It is found that the combustion characteristics of the amount of natural gas in fuel (Z%) at 70% and 82% at all engine speeds and diesel injection timings are normal combustion. However, the increasing of engine speed causes that the start of combustion delay further away from the top dead centre. In addition, when the amount of natural gas in fuel (Z%) is more than 88%, the near knocking combustion occurs at 20 BTDC and knocking combustion occurs at 30 and 45 BTDC.

Keywords: diesel dual fuel (DDF), near knocking combustion, knocking combustion

AEC-133

1. บทนำ

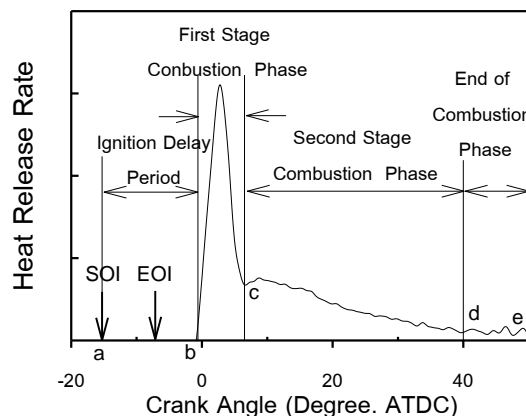
ประเทศไทยเริ่มมีการใช้แก๊สธรรมชาติมาตั้งแต่ พ.ศ. 2524 โดยส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า และส่วนที่เหลือถูกนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรมและการขนส่ง การบริโภคแก๊สธรรมชาติมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกๆปี เนื่องจากราคาแก๊สธรรมชาติที่ต่ำกว่าดีเซลและเบนซิน จึงเป็นปัจจัยที่กระตุ้นให้ประชาชนหันมาให้ความสนใจเกี่ยวกับเครื่องยนต์ DDF ที่สามารถนำแก๊สธรรมชาติมาใช้เพื่อลดต้นทุนได้มากกว่าเครื่องยนต์แบบดั้งเดิม

วัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ DDF เป็นการผสมผสานวัฏจักรของ Otto และ Diesel เข้าด้วยกัน โดยเพิ่มพลังงานความร้อนเมื่อปริมาตรและความดันคงที่ เรียกว่า วัฏจักร Sabathe [1,2] ในการใช้งานทั่วไปเครื่องยนต์ DDF สามารถวิเคราะห์จากการปลดปล่อยพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ (Heat release rate) ประกอบไปด้วย 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรกของการเผาไหม้ (First stage combustion) และในช่วงที่สองของการเผาไหม้ (Second stage combustion) โดยแสดงรูปแบบการปลดปล่อยพลังงานความร้อนดังรูปที่ 1 [3]

โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ DDF จะอยู่ในระดับต่ำกว่าของเครื่องยนต์ดีเซล[4,5] ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ DDF ได้แก่ ปริมาณของแก๊สที่ผสมรวม อากาศการฉีดดีเซลนำร่อง ปริมาณดีเซลนำร่อง และอัตราส่วนกำลังอัดของเครื่องยนต์ เป็นต้น ซึ่งล้วนส่งผลกระทบต่อการเผาไหม้ทั้งสิ้น [6 - 8]

การน็อก คือ ปรากฏการณ์ที่การเผาไหม้เกิดความปั่นป่วนที่ไม่สามารถควบคุมได้ ส่งผลให้ความดันของการเผาไหม้ในกระบอกสูบไม่เป็นไปตามลักษณะปกติซึ่งจะเกิดอัตราการเปลี่ยนแปลงความดันเพิ่มขึ้นสูงมากในตำแหน่งที่ไม่พึงประสงค์ จึงเป็นสาเหตุทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำหรือสร้างความเสียหายต่อเครื่องยนต์ ซึ่งการเกิด

น็อกในเครื่องยนต์ DDF ไม่สามารถอธิบายบนพื้นฐานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟหรือการอัด



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนและองศาเฟลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ DDF[3]

เพียงอย่างเดียวเพราะเครื่องยนต์ DDF ใช้ดีเซลสำหรับกระบวนการเผาไหม้นำร่องเพื่อจุดระเบิดและแก๊สเป็นการเผาไหม้หลัก การเผาไหม้ผิดปกติสามารถเกิดขึ้นสามารถแบ่งออก ได้แก่ การเผาไหม้ที่เกิดจากการจุดติดไฟด้วยตัวเองของเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ล่วงหน้าที่พื้นผิวกระบอกสูบ เป็นต้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ช่วง First stage combustion ก่อนข้างสูงร่วมกับ Second stage combustion เพียงเล็กน้อยส่งผลให้อัตราการปลดปล่อยความร้อนสูงมาก จึงสูญเสียการควบคุมการเผาไหม้ [9 - 13]

2. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

2.1 อุปกรณ์การทดสอบ

ในงานวิจัยนี้เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดแบบอัด ยีห้อ คูโบต้า รุ่น RT140 กระบอกสูบเดี่ยวแบบ 4 จังหวะ โดยรายละเอียดเครื่องยนต์จะแสดงในตารางที่ 1 ในขณะเดียวกันการทดสอบจะใช้ตัววิเคราะห์อนุภาคควบคุมปริมาณการจ่ายแก๊สธรรมชาติร่วมกับปรับแต่งปั๊มเชื้อเพลิงควบคุม

AEC-133

องศาการฉีดดีเซล โดยทดสอบบนไดนาโมมิเตอร์แบบ Eddy current ยี่ห้อ Nishishiba รุ่น NEDZ-113 สำหรับการวัดความดันภายในกระบอกสูบจะใช้ Pressure transducer ยี่ห้อ Kistler รุ่น 6061B สัญญาณที่ได้จากการวัดจะถูกส่งผ่านเครื่องขยายสัญญาณที่ 1 แสดงข้อมูลเครื่องยนต์

| ENGINE SPECIFICATIONS | |
|-------------------------------|--------------------|
| MODEL | Kubota RT140 |
| Engine Type | 1 cylinder |
| Combustion Chamber Type | Direct Injection |
| Bore x Stroke | 97 x 96 mm |
| Displacement Volume | 709 cc |
| Compression Ratio | 18:01 |
| Maximum power output | 14 hp at 2400 rpm |
| Continuous rated power output | 12 hp at 2400 rpm |
| Maximum Torque | 5 kg-m at 1600 rpm |

ตารางที่ 2 แสดงเงื่อนไขการทดสอบ

| ตัวแปร | เงื่อนไขการทดสอบ |
|---------------------------|---------------------------------|
| ปริมาณแก๊สธรรมชาติ (%) | 0(Diesel), 72, 82 และมากกว่า 88 |
| ความเร็วเครื่องยนต์ (rpm) | 1500, 1800 และ 2000 |
| องศาการฉีดดีเซล (BTDC) | 20, 30 และ 45 |

ญาณและส่งไปยังระบบเก็บข้อมูลสำหรับการประมวลผลต่อไป การวัดอัตราสิ้นเปลืองของดีเซลจะใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลและมีเตอร์วัดอัตราการไหลสำหรับอัตราการสิ้นเปลืองของแก๊สธรรมชาติถูกวัดโดยมาตรวัดอัตราการไหลพร้อมกับ Load cell ที่ติดตั้งบนตาชั่งน้ำหนัก โดยแผนผังของอุปกรณ์การทดสอบแสดงในรูปที่ 2

2.2 อุปกรณ์ปรับองศาการฉีด

โดยปกติเครื่องยนต์มาตรฐานสามารถปรับองศาการฉีดดีเซลเพียงเล็กน้อย จึงมีแนวความคิดแยกชุดปั๊มเชื้อเพลิงออกจากเครื่องยนต์ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อให้สามารถปรับองศาการฉีดดีเซลได้มากขึ้นซึ่งมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

1. ชุดส่งกำลังโดยใช้เฟืองและสายพานโดยใช้ของเครื่องยนต์ Toyota รุ่น 4AGE ซึ่งมีอัตราทด 2 : 1 สามารถปรับองศาการฉีดจากร่องเฟืองสายพาน
2. ชุดเพลาลูกเบี้ยวของชุดปั๊มเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ Kubota รุ่น RT140
3. ชุดควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์โดยขาเกอเวอร์เนอร์และชุดตุ้มเหวี่ยง
4. แขนประคองสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เมื่อต้องการปรับองศาการฉีดดีเซลแบบละเอียดสามารถเลื่อนแขนประคองขึ้นหรือลง

ขั้นตอนการปรับตำแหน่งองศาการฉีดดีเซลโดยปรับมาร์คของล้อช่วยแรงไปที่ตำแหน่งการฉีดและปรับสายพานเพื่อให้ลูกเบี้ยวเริ่มกดหัวฉีด ทำการเดินเครื่องยนต์ที่รอบเดินเบาพร้อมกับเปิดโปรแกรม IndiWin สังเกตสัญญาณการฉีดจาก Needle lift เทียบกับองศาเพลาลูกเบี้ยวว่าหัวฉีดเริ่มฉีดที่องศาใดและตรวจสอบองศาการฉีดอีกครั้ง

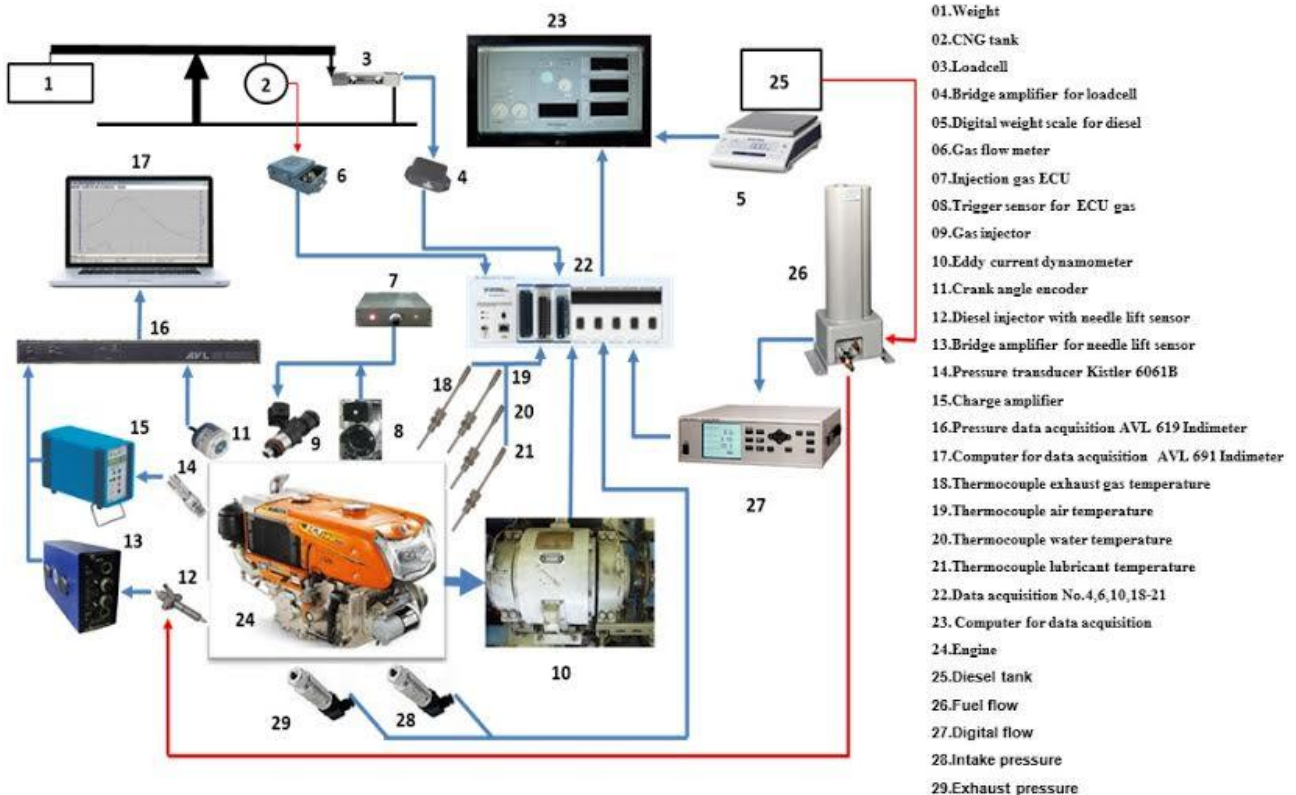
2.3 เงื่อนไขการทดสอบ

สำหรับการทดสอบเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม โดยการดัดแปลงปั๊มเชื้อเพลิงเพื่อปรับองศาการฉีดดีเซลเพื่อศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ปกติและผิดปกติจากวิเคราะห์ความดันภายในกระบอกสูบ ซึ่งเชื้อเพลิงร่วมที่ใช้ คือ ดีเซลและแก๊สธรรมชาติ โดยปรับองศา

AEC-133

การฉีดดีเซลที่ 20, 30 และ 45 BTDC โดยกระทำการทดสอบที่ความเร็วรอบที่ต่างกันว่า 1500, 1800 และ 2000 rpm การทดสอบเพื่อศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ปกติ จะปรับปริมาณ Z% ที่ 70% และ 82% กำหนดภาระงานคงที่ 3.18 kW สำหรับการบันทึกผลการทดสอบจะกระทำเมื่อตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีค่าคงที่

ระงานของเครื่องยนต์ เป็นต้น ในแต่ละเงื่อนไขการทดสอบจะบันทึกผลการทดสอบจำนวน 100 วิวัจกร และนำมาเฉลี่ยโดยกระทำซ้ำ 3 ครั้ง การทดสอบเพื่อศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ผิดปกติมีขั้นตอนการทดสอบเช่นเดียวกับการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ปกติ แต่จะปรับปริมาณ Z% มากกว่า 88% จนเกิด



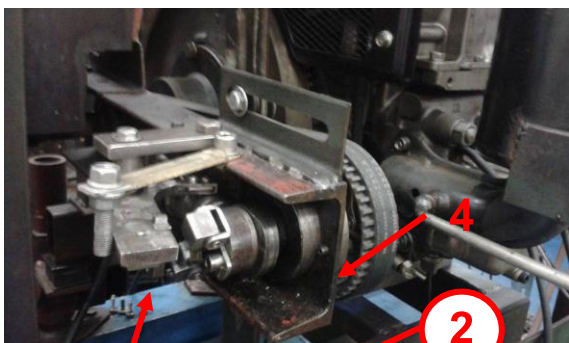
เช่น ความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิไอเสีย และภา-

การเผาไหม้ผิดปกติ โดยแสดงรายละเอียดการทดสอบดังตารางที่ 2

การคำนวณสัดส่วนปริมาณแก๊สธรรมชาติในเชื้อเพลิงร่วม(Z%) แสดงในสมการที่ (1)

$$Z\% = \frac{\dot{m}_{CNG}}{\dot{m}_D + \dot{m}_{CNG}} \times 100 \quad (1)$$

การวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยความร้อนสามารถคำนวณจากความดันภายในกระบอกสูบที่วัดได้จากการทดสอบซึ่งแสดงในสมการที่ (2)



รูปที่ 3 ระบบการปรับองศาการฉีดดีเซลที่ปรับปรุง



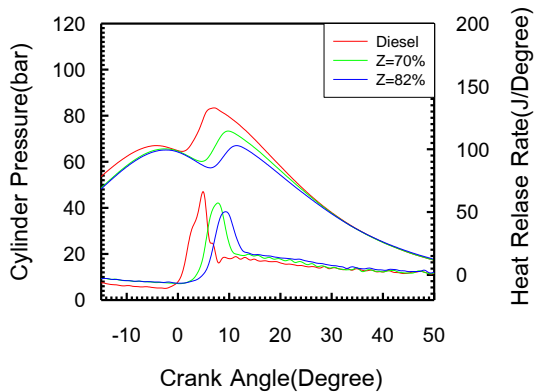
AEC-133

$$\frac{dQ_{net}}{d\theta} = \left(\frac{\gamma}{\gamma-1} \right) P \frac{dV}{d\theta} + \left(\frac{1}{\gamma-1} \right) V \frac{dP}{d\theta} \quad (2)$$

3. ผลการทดสอบและวิจารณ์

3.1 การเผาไหม้ปกติ

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นการเพิ่มสัดส่วนปริมาณแก๊สธรรมชาติ(Z%) มีผลกระทบต่อความดันภายในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนลดลง เนื่องจากค่าความร้อนจำเพาะของแก๊สธรรมชาติมีค่าน้อยกว่าดีเซลเมื่อเพิ่มสัดส่วนแก๊สธรรมชาติที่สูงส่งผลให้ความดันภายในกระบอกสูบลดลง



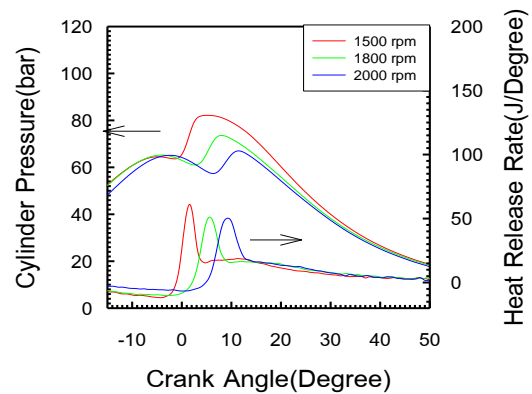
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน และองศาเพลลาข้อเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 rpm ขณะองศาการฉีดดีเซลที่ 20 BTDC โดยเปรียบเทียบในแต่ละเชื้อเพลิง

ลงและอัตราเผาไหม้ของแก๊สธรรมชาติต่ำกว่าดีเซล จึงทำให้เกิดความล่าช้าของการเผาไหม้และเกิดการเผาไหม้ที่ ATDC ของเชื้อเพลิงรวมมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาคคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ DDF ของ W. Krisada และคณะ[8] ที่ระบุว่าผลกระทบจากการเพิ่ม Z%ทำให้แนวโน้มของอัตราเปลี่ยนแปลงความดันภายในกระบอกสูบลดลง

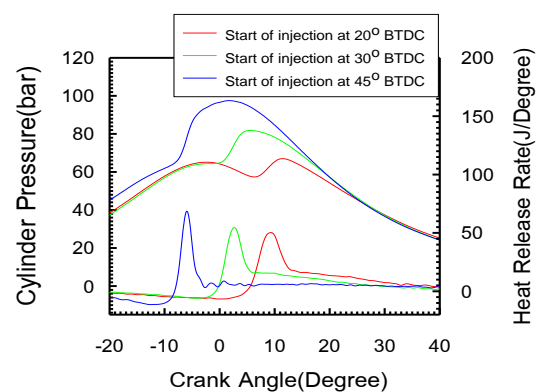
จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นการเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์มีผลกระทบต่อความดันภายในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนลดลง

เนื่องจากระยะเวลาของการผสมเชื้อเพลิงกับอากาศสั้นลง จึงเกิดความล่าช้าของการเผาไหม้และเกิดการเผาไหม้ที่ ATDC ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาคคุณลักษณะความดันและระยะเวลาของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงรวมของ Mohamed Y.E. Selim และคณะ [7] ที่ระบุว่าผลกระทบจากการเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์ของ DDF ทำให้แนวโน้มของอัตราเปลี่ยนแปลงความดันภายในกระบอกสูบลดลง

จากรูปที่ 6 และ 7 การเพิ่มองศาการฉีดดีเซลมีผลกระทบต่อความดันภายในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับเนื่องจากองศาเริ่มการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้น



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน และองศาเพลลาข้อเหวี่ยงของ Z% ที่ 82% ขณะองศาการฉีดดีเซลที่ 20 BTDC โดยเปรียบเทียบในแต่ละความเร็วรอบเครื่องยนต์



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน และองศาเพลลาข้อเหวี่ยงของ Z% ที่ 82% ขณะ

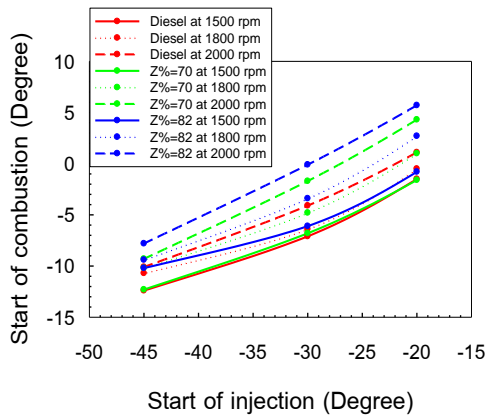
AEC-133

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2000 rpm โดยเปรียบเทียบ
ในแต่ละองศาการฉีดดีเซล

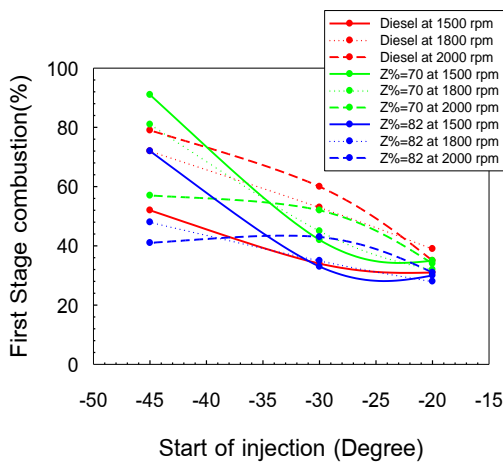
ล่วงหน้าทำให้เกิดความดันสะสมจากการเผาไหม้
ก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึง TDC เร็วขึ้นจากรูปที่ 8
พบว่าเครื่องยนต์ DDF มีแนวโน้มการเผาไหม้ช่วง
First stage combustion เพิ่มขึ้น แต่ทำให้การเผาไหม้
ช่วง Second stage combustion ลดลงเช่นกัน[6]

3.2 การเผาไหม้แบบใกล้เกิดการน็อก

จากรูปที่ 9 และ 10 พบว่าองศาการฉีดดีเซลที่ 20
BTDC เมื่อเพิ่มแก๊สธรรมชาติมากกว่า 88% การเผา



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองศาเริ่มการเผา
ไหม้และองศาการฉีดดีเซลในแต่ละเชื้อเพลิงขณะ
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง First Stage
Combustion และองศาการฉีดดีเซลในแต่ละเชื้อเพลิง

ไหม้จะมีลักษณะก่อนการเกิดการน็อก (Near
Knocking) ซึ่งอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน
และการปลดปล่อยความร้อนสะสม (Cumulative Heat
Release) มากกว่าปกติ (ดีเซล) ประมาณ 1 เท่าตัว
เนื่องจากการสัดส่วนแก๊สธรรมชาติที่ผสมไว้ในอากาศ
มีจำนวนมาก และการเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์
ทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นหลังศูนย์กลางบนเพิ่มขึ้น
ซึ่งองศาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นระหว่าง -1 ไปจนถึง
4.4 BTDC เพราะการเผาไหม้ของแก๊สธรรมชาติใช้
ระยะเวลานานกว่าดีเซลทำให้มีการเผาไหม้แบบ First
stage combustion ร่วมกับ Second stage
combustion

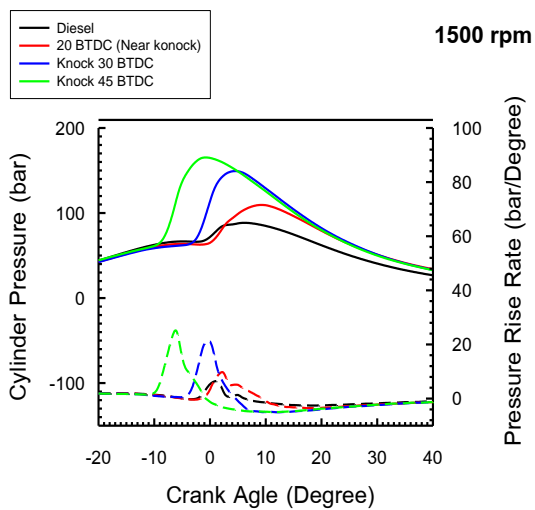
3.3 การเผาไหม้แบบน็อก

จากรูปที่ 9 และ 10 แสดงข้อมูลความดันภายใน
กระบอกสูบที่เกิดการผันผวนที่ผิดปกติในระหว่างการ
เผาไหม้ ซึ่งองศาการฉีดดีเซลที่ 30 และ 45 BTDC
โดย Z% มากกว่า 88% ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์
1500, 1800 และ 2000 rpm พบว่าองศาการฉีดดีเซลที่
45 BTDC จะเกิดการเผาไหม้ลักษณะการน็อกรุนแรง
ที่ตำแหน่ง BTDC เพราะแก๊สธรรมชาติทั้งหมดถูกเผา
ไหม้ก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ถึง TDC ทำให้ระยะเวลา
การเผาไหม้น้อยมากจึงเกิดการเผาไหม้ช่วง First
stage combustion มากกว่า 95% ร่วมกับช่วง
Second stage combustion เพียงเล็กน้อย ซึ่งความ
ดันภายในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อย
พลังงานความร้อนสูงมากว่าองศาการฉีดดีเซลอื่นๆ
การวิเคราะห์อัตราเปลี่ยนแปลงความดันภายใน
กระบอกสูบจะเพิ่มขึ้นสูงมากและลดลงอย่างรวดเร็ว
สำหรับการปลดปล่อยพลังงานความร้อนสะสมในช่วง
การเผาไหม้แบบ First stage combustion จะเพิ่มขึ้น
สูงสุดจนกระทั่งในช่วงการเผาไหม้แบบ Second
stage combustion เริ่มลดลงและเพิ่มอีกครั้ง ผลการ
ทดสอบองศาการฉีดดีเซลที่ 30 BTDC ให้แนวโน้ม
ลักษณะเดียวกับองศาการฉีดดีเซลที่ 45 BTDC แต่
ความดันภายในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อย
พลังงานความร้อนมีระดับต่ำกว่าในทุกๆ ความเร็วรอบ
เครื่องยนต์ ขณะเดียวกันการเพิ่มความเร็วยังมี

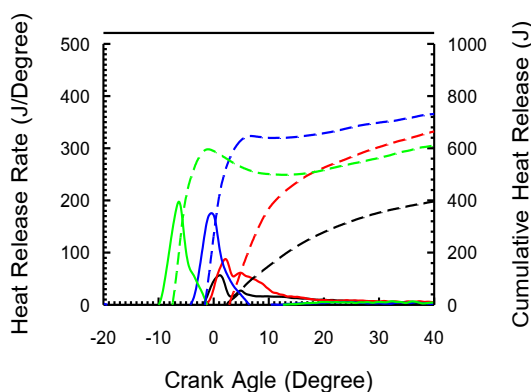
AEC-133

ผลกระทบเกิดน็อกที่รุนแรงเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษารากฏการณ์เกิดน็อกในเครื่องยนต์ DDF [1,7,8,12,13] ซึ่งสามารถสังเกตจากอัตราเปลี่ยนแปลงความดันภายในกระบอกสูบที่สูงผิดปกติ เมื่อวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนและการปลดปล่อยพลังงานความร้อนสะสม แสดงความแปรปรวนชัดเจน ซึ่งปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับเกิดน็อก ได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์, Z% และองศาการฉีดดีเซล มีค่ามากกว่าความเหมาะสมย่อมส่งผลให้เกิดการน็อกที่รุนแรงเช่นกัน

จากรูปที่ 11 แสดงอัตราปลดปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุดในตำแหน่งองศาเพลาช้อเหวียงจึงสามารถ



(a)

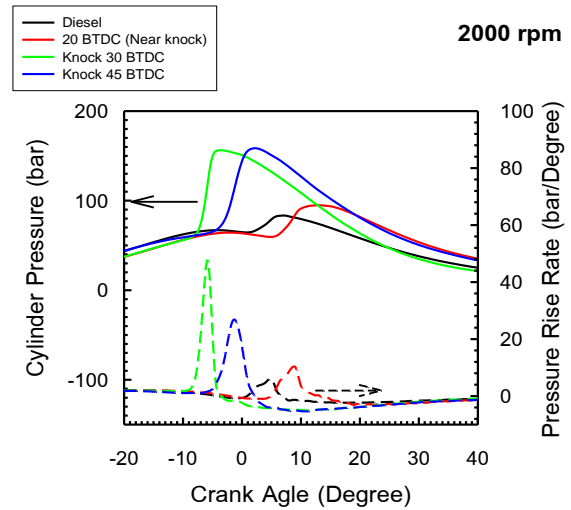


(b)

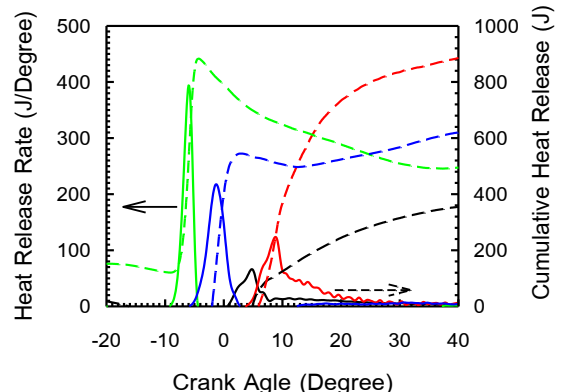
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (a) ความดันภายในกระบอกสูบ, อัตราการเปลี่ยนแปลงความดันภายในกระบอกสูบ และตำแหน่งองศาเพลาช้อเหวียง (b) การปลดปล่อยพลังงานความร้อนสะสม, อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน และตำแหน่งองศาเพลาช้อเหวียง

ข้อเหวี่ยงโดยเปรียบเทียบแต่ละองศาการฉีดดีเซลของเชื้อเพลิง Z% มากกว่า 88% ขณะความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1500 rpm

แบ่งการเผาไหม้ออกเป็น 3 แบบด้วยกันโดยแบบ a เป็นการเผาไหม้ปกติของดีเซลและ DDF มีสองช่วง First stage combustion และ Second stage combustion แบบ b เป็นการเผาไหม้ใกล้การน็อกของ DDF มีทั้ง First stage combustion และ Second stage combustion แต่มีค่ามากกว่าการเผาไหม้ปกติ และแบบ c เป็นการเผาไหม้ของ DDF ของการเผาไหม้ผิดปกติเงื่อนไขการเกิดน็อกมีช่วง First



(a)



(b)

รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (a) ความดันภายในกระบอกสูบ, อัตราการเปลี่ยนแปลงความดันภายในกระบอกสูบ และตำแหน่งองศาเพลาช้อเหวียง (b) การปลดปล่อยพลังงานความร้อนสะสม, อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน และตำแหน่งองศาเพลาช้อเหวียง

AEC-133

ข้อเหวี่ยงโดยเปรียบเทียบแต่ละองศาการฉีดดีเซลของ
เชื้อเพลิง Z% มากกว่า 88% ขณะความเร็วรอบ
เครื่องยนต์ 2000 rpm

stage combustion ที่มากกว่า 95% และมีอัตรา
ปลดปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุดในตำแหน่งองศา
เพลาคือข้อเหวี่ยง

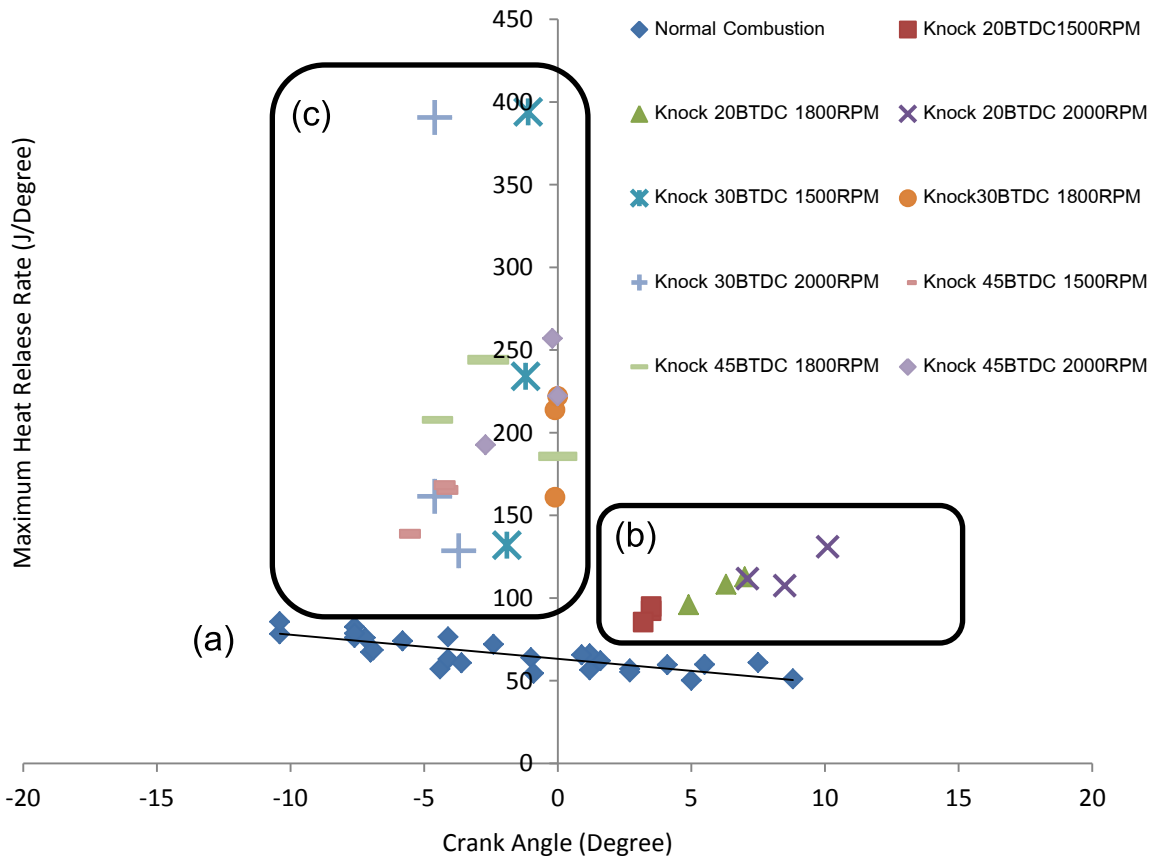
4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาคูณลักษณะเผาไหม้ของเครื่องยนต์
DDF มีปัจจัยที่ส่งผลของกระทบต่อการเผาไหม้ได้แก่
ความเร็วรอบเครื่องยนต์, Z% และองศาการฉีดดีเซล

combustion) มากกว่า 95% ร่วมกับการเผาไหม้ช่วงที่
สอง (Second stage combustion) เพียงเล็กน้อยและ
ไม่สามารถควบคุมการเผาไหม้ให้มีความแน่นอน
อย่างไรก็ตามการเกิดการเผาไหม้แบบใกล้เคียงเกิดการ
น็อกเป็นปรากฏการณ์ที่น่าสนใจควรมีการศึกษาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท สยามคูโบต้า
คอร์ปอเรชั่น จำกัด และบริษัท ลัญจกรพานิช จำกัด ที่
ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลรวมทั้งให้ความ
ช่วยเหลือสิ่งที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยจึงใคร่
ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้



รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบอัตราปลดปล่อยพลังงานความร้อนสูงสุด
ที่ตำแหน่งองศาเพลาคือข้อเหวี่ยงของการเผาไหม้ทั้ง 3 แบบ

เป็นต้น ซึ่งการเผาไหม้ที่ปกติจะปรากฏการเผาไหม้
เป็นสองลักษณะช่วงแรก (First stage combustion)
ร่วมกับช่วงที่สอง (Second stage combustion) แต่
การน็อกจะเกิดการเผาไหม้ในช่วงแรก (First stage

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Grzegorz, P. (2010), The concept of a dual
fuel highly efficient internal combustion engine.
SAE paper no. 2010-01-1480.

AEC-133

- [2] Motores endotermicos, theoretical cycles :(Diesel and otto),<http://en.demotor.net/theoretical-cycles/comparison-between-diesel-otto-sabathe>, acces 09/ 07/ 2013.
- [3] นาวิ นันตะภาพ, (2556), การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้แบบปกติและผิดปกติที่เงื่อนไขภาระสูงของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมใช้ก๊าซธรรมชาติและดีเซลเป็นเชื้อเพลิง, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] Broman, R., Stalhamar, P. and Erlandsson, L. (2010), Enhanced emission performance and fuel efficiency for HD methane engines, AVL MTC 9913, AVL.
- [5] Karim, G.A., Khan, M.O. (1968), Examination of effective rates of combustion heat release in a dual-fuel engine, Journal Mechanical Engineering Science, Vol.10 No.1.
- [6] Sahoo, B.B., Sahoo, N. and Saha, U.K. (2009), Effect of engine parameters and type of gaseous fuel on the performance of dual fuel gas diesel engines, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, 1151–1184.
- [7] Mohamed Y.E. Selim (2000), Pressure–time characteristics in diesel engine fueled with natural gas, Renewable Energy 22, 473–489
- [8] Krisada W., Nirod A, Somchai S. (2007), Combustion and Knock Characteristics of Natural Gas Diesel Dual Fuel Engine, SAE International, 2007-01-2047
- [9] Heywood, John B.(1988), Internal Combustion Engine Fundamentals, ISBN: 978-0-0702-8637-5, Mc Graw Hill Series
- [10] Karim, G.A., Klat, S.R. and Moore, N.P.W. (1966), Knock in dual fuel engines. Proc. Instn Mech Engrs, 1966-67, Vol 181, Pt. 1 No. 20.
- [11] Liu, Z. and Karim, G.A. 1994, Knock in dual fuel engines, International Symposium CAMODIA 94.
- [12] Selim, Y.E. (2004), Combustion noise measurements from small diesel and dual fuel engines, SAE paper no. 2004-32-0072.
- [13] Saidi, M.H., Eisazadeh Far, K. and Pirouzpanah, V. (2005), Analysis of combustion process in dual fuel diesel engines: knock phenomenon approach, SAE paper no. 2005-01-1132.