

การวิเคราะห์ผลของการอุ่นน้ำมันดีเซล: คุณลักษณะของการเผาไหม้และสารมลพิษ Analysis of Preheating Diesel Fuel: Combustion and Emission Characteristics

เอกชัย สุธีรสักดิ์¹ สุรัชชัย สนิทใจ² สมชาย จันทร์ชานนท์²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

ถ. เพชรเกษม หนองแขม กรุงเทพฯ 10160

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ถ. สุขสวัสดิ์-48 บางมด กรุงเทพฯ 10140

Email: ekkachai_sutereesak@hotmail.com¹, surachai.san@kmutt.ac.th

E. Sutereesak¹, S. Sanitjai, S. Chanchaona

¹ Department of Mechanical Engineering, South-East Asia University

Petkasem Rd, Nongkaem, Bangkok 10160

Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

Suksawad-48 Rd, Bangmod, Bangkok 10140

บทคัดย่อ

ในสถานการณ์ที่ทุกๆ ฝ่าย ต้องมีส่วนร่วมในการประหยัดการใช้เชื้อเพลิงและรักษาสังแวดล้อมนั้น ได้มีการนำเสนอสิ่งประดิษฐ์ที่จะช่วยลดสารมลพิษในไอเสีย (โดยเฉพาะควันดำ) และลดการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล โดยการติดตั้งอุปกรณ์อุ่นน้ำมันดีเซลให้มีอุณหภูมิสูงถึงระดับหนึ่งก่อนที่จะฉีดเข้าไปในเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในหลายวิธี ที่ได้รับการจดสิทธิบัตร ความสนใจ ตลอดจนมีการอ้างว่าช่วยให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์มากขึ้น และลดสารมลพิษได้อย่างไรก็ตามยังมิได้มีการตรวจสอบตามหลักวิชาการอย่างละเอียด ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้ มจร. จึงได้ดำเนินโครงการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิน้ำมันดีเซลต่อสมรรถนะ สารมลพิษและคุณลักษณะของการเผาไหม้ โดยมีวัตถุประสงค์ในการให้ข้อมูลเชิงวิชาการว่า การอุ่นน้ำมันดีเซลก่อนฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้นั้น มีผลกระทบอย่างไรต่อกระบวนการเผาไหม้ โดยในการศึกษาได้ใช้การบันทึกข้อมูลความดันในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ทุกๆ 0.1 องศาของเพลอาข้อเหวี่ยง เป็นจำนวนหลายร้อยไซเคิล เพื่อใช้ในการคำนวณหาการปลดปล่อยพลังงานที่เป็นผลของการเผาไหม้เชื้อเพลิง นอกจากนี้ ได้บันทึกข้อมูลสารมลพิษในไอเสียด้วย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดีเซลในช่วง 47-90 °C ทำให้คุณลักษณะของการสเปรย์เปลี่ยนแปลงไป และส่งผลให้สัดส่วนในช่วง Premixed combustion มีค่าลดลง แต่ในช่วง Mixing-controlled combustion กลับมีค่าเพิ่มขึ้น ผลที่ตามมาคือปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียมีค่าลดลง ในขณะที่ปริมาณควันดำกลับมีค่าเพิ่มขึ้น คำสำคัญ: การปลดปล่อยพลังงาน / ออกไซด์ของไนโตรเจน / ควันดำ

Abstract

In the situation in which all parties concern about fuel economy and environmental preservation, several inventions are proposed to use for reducing emissions -especially black smoke- and for reducing fuel consumption in diesel engines. One of the inventions is a diesel fuel preheating device which is used to heat fuel prior to inject into an engine. This device has been patented, and is of interest by motorists. It is claimed that the device can help improving combustion and reducing emissions. However the formal and detail investigation on the device has not yet been done. The combustion and engines research laboratory of KMUTT conducted a detail study of this device. The aims of the study were to compare engine performance, emissions and combustion characteristics of non-preheating and preheating fuel. In the study, signals of cylinder pressure, fuel line pressure and injector-needle position at every 0.1 degrees crank angle for about hundred consecutive cycles were recorded. Then recorded data were used for determining energy release rate. Exhaust emissions were also recorded during the experiment. It is found that when the diesel fuel temperature is preheated from 47 to 90 °C, the spray characteristics are changed moderately. The fraction of premixed combustion phase decreases while that of mixing-controlled combustion phase increases. This gives rise to

the reducing of nitrogen oxides but the rising of black smoke in the exhaust gas.

Keywords: Energy release / Nitrogen oxides / Black smoke

1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศเพิ่มขึ้นสูงมาก โดยเฉพาะกรุงเทพมหานครมีปริมาณสารมลพิษติดอันดับต้นๆ ของโลก ทำให้เกิดความพยายามที่จะปรับปรุงคุณภาพอากาศให้ดีขึ้น รัฐบาลได้เข้มงวดต่อการควบคุมปริมาณควันดำที่ออกมาจากรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลให้อยู่ในระดับที่กำหนด โดยมอบอำนาจให้ทางเจ้าหน้าที่กรมการขนส่งและตำรวจจราจรควบคุมเกี่ยวกับปริมาณควันดำที่ออกมาจากยานยนต์ ผู้ขับขี่ยานยนต์เป็นจำนวนมากได้รับผลกระทบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่ขับขี่ยานยนต์ประเภทรถบรรทุก และรถปิกอัพ ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะลดปริมาณควันดำที่ปล่อยออกมากับไอเสีย ให้มีปริมาณควันดำตามที่กฎหมายยอมรับได้ ทำให้เกิดแนวคิดและการประดิษฐ์อุปกรณ์ลดมลพิษออกมาวางจำหน่าย หนึ่งในอุปกรณ์ดังกล่าวใช้หลักการเพิ่มอุณหภูมิเชื้อเพลิง ซึ่งทางผู้ประดิษฐ์อ้างว่า เชื้อเพลิงจะแตกตัวเป็นฝอยละอองและระเหยได้ง่ายขึ้น และเผาไหม้ได้สมบูรณ์มากขึ้น ดังนั้นจะช่วยลดปริมาณควันดำได้ อย่างไรก็ตามการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลมีกระบวนการที่ซับซ้อนกว่าที่ประชาชนทั่วไปเข้าใจกันอยู่ ดังนั้นการอุ่นน้ำมันดีเซลจะมีผลกระทบอย่างไร ต่อจังหวะการฉีดเชื้อเพลิง ต่อ Spray pattern ต่อช่วง Ignition delay ต่อช่วงการเผาไหม้แบบ Premixed และ Mixing-controlled และต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารมลพิษ จะได้มีการดำเนินการและนำเสนอผลการศึกษานี้ในบทความนี้

2. งานวิจัยที่ผ่านมา

Ogura และคณะ [1] ได้ศึกษาผลกระทบของการอุ่นน้ำมันดีเซลต่อลักษณะการสเปรย์ โดยใช้ชุดทดลอง ทำการทดสอบฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ ขณะที่น้ำมันมีอุณหภูมิ 100 °C และ 30 °C ในการทดสอบมีการบันทึกภาพขณะที่เชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ ผลการทดสอบพบว่า การอุ่นน้ำมัน ทำให้มุมของการสเปรย์ และระยะการฉีดที่พุ่งเข้าไปในห้องเผาไหม้ลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิ ทำให้ค่าความหนืดและความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลลดลง ทำให้การแตกเป็นละอองฝอยและการระเหยกลายเป็นไอทำได้ดีกว่าน้ำมันดีเซลที่ไม่อุ่น Lee และคณะ [2] ได้ศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้และการสเปรย์ของเชื้อเพลิงโดยใช้น้ำมันดีเซลที่มีค่าความหนืด ความหนาแน่น และ Cetane number น้อยลง โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ 1 สูบ แบบฉีดตรง ทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 1500 rpm และภาระงานคงที่ ในการทดสอบมีการบันทึกภาพขณะที่เชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ และข้อมูลความดันในกระบอกสูบ ผลการทดสอบด้านการสเปรย์พบว่า มุมของสเปรย์เพิ่มขึ้น และระยะการฉีดที่พุ่งเข้าไปในห้องเผาไหม้ลดลง เนื่องจากการลดค่าความหนืดและความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล ทำให้การแตกเป็นละอองฝอย และการระเหยกลายเป็นไอดีขึ้น อัตราการเผาไหม้รวดเร็วขึ้น และผลการทดสอบด้านคุณลักษณะการเผาไหม้และ

มลพิษพบว่า ช่วงล่าช้า (Ignition delay) ลดลง ความดันสูงสุดในกระบอกสูบเพิ่มขึ้น ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นและควันดำลดลง เชื่อว่าส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการปรับค่า Cetane number ให้น้อยลง Yamane และคณะ [3] ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของเชื้อเพลิงและคุณลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ 1 สูบ เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืช และน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ขณะที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 80 °C เทียบกับอุณหภูมิน้ำมัน 40 °C ทดสอบที่ความเร็วรอบ 1800 rpm และภาระงานคงที่ ในการทดสอบมีการบันทึกข้อมูลความดันในกระบอกสูบ ความดันในการฉีดเชื้อเพลิง และความเร็วของการเปิด-ปิดของเข็มน้ำมันในหัวฉีด ผลการทดสอบพบว่า เมื่ออุ่นน้ำมันดีเซล ทำให้ค่าความหนืดลดลง ส่งผลให้ค่าความดันในการฉีดเชื้อเพลิงลดลง จังหวะการฉีดเชื้อเพลิงเข้าใกล้ TDC มากขึ้น และเมื่ออุ่นน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชที่อุณหภูมิ 80 °C ทำให้จังหวะการฉีดเชื้อเพลิง และค่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ขณะที่ไม่อุ่นน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันพืชทำให้จังหวะการฉีดเชื้อเพลิงเร็วขึ้น และค่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบเพิ่มขึ้น Nwafor [4] ได้ศึกษาผลการอุ่นเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันพืช ที่ความเร็วรอบคงที่ โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ 1 สูบ แบบฉีดตรง ทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 3000 rpm ภาระงานหลายๆค่า ในการทดสอบมีการบันทึกข้อมูลความดันในกระบอกสูบ ผลการทดสอบพบว่า เมื่อใช้น้ำมันพืชในสภาวะปกติที่ไม่อุ่น ทำให้ค่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบมากกว่าน้ำมันดีเซล และน้ำมันพืชให้ช่วงความล่าช้าลดลง การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC) ของน้ำมันพืชและน้ำมันดีเซลมีค่าใกล้เคียงกันที่ภาระงานต่ำ และที่ภาระงานสูงพบว่าค่า BSFC ของน้ำมันพืชมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ขณะที่ทำการอุ่นน้ำมันพืชพบว่าค่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบของน้ำมันพืชและน้ำมันดีเซลมีค่าใกล้เคียงกัน ค่า BSFC ของน้ำมันพืชสูงกว่าน้ำมันดีเซลที่ภาระงานต่ำ และที่ภาระงานสูงพบว่าค่า BSFC มีค่าใกล้เคียงกัน Bari และคณะ [5] ได้ศึกษาผลกระทบของการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบ (CPO) ต่อสมรรถนะคุณลักษณะการเผาไหม้ และมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ 1 สูบ แบบฉีดตรง ทดสอบที่ภาระงานร้อยละ 55 ของภาระงานสูงสุด ในการทดสอบมีการบันทึกข้อมูลความดันในกระบอกสูบ ผลการทดสอบด้านคุณลักษณะการเผาไหม้ พบว่าการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบให้ค่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบมากกว่าน้ำมันดีเซลร้อยละ 6 และช่วงความล่าช้าลดลง 2.6 องศา ช่วงการเผาไหม้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น ค่าการปลดปล่อยความร้อนรวมลดลงเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ส่วนผลการทดสอบด้านมลพิษ การเผาไหม้น้ำมันปาล์มดิบ ทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้นร้อยละ 29.3

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีงานวิจัยจำนวนไม่มากนักที่ศึกษาถึงผลกระทบของการอุ่นเชื้อเพลิงต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ ซึ่งการศึกษานี้จะได้วิเคราะห์ผลกระทบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ ซึ่งรวมไปถึงผลกระทบต่อตำแหน่งการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง ต่อ Spray pattern ต่อช่วง Ignition delay ต่อช่วงการเผาไหม้แบบ Premixed และ Mixing-controlled และต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารมลพิษด้วย

3.การวิเคราะห์การปลดปล่อยพลังงาน

การวิเคราะห์อัตราการปลดปล่อยความร้อน (Heat Release Rate, HRR) หรืออัตราการปลดปล่อยพลังงาน (Energy Release Rate) สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ และวิเคราะห์การเผาไหม้เป็นแบบหนึ่งโซน ดังนี้ [6]

$$\frac{dQ_n}{dt} = \frac{dQ_{gr}}{dt} - \frac{dQ_{ht}}{dt} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \cdot \frac{PdV}{dt} + \frac{1}{\gamma-1} \cdot \frac{Vdp}{dt} \quad (1)$$

เมื่อ

- Q_n = การปลดปล่อยความร้อนสุทธิ (J)
- Q_{gr} = การปลดปล่อยความร้อนรวม (J)
- Q_{ht} = ความร้อนที่ถ่ายเทไปยังผนังกระบอกสูบ (J)
- γ = อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะ
- P = ความดันในกระบอกสูบ (Pa)
- V = ปริมาตรกระบอกสูบ (m^3)

จากสมการที่ 1 ถ้าทราบข้อมูลความดันในกระบอกสูบก็สามารถคำนวณการปลดปล่อยความร้อนได้ ส่วนการสูญเสียความร้อนที่ถ่ายเทไปยังผนังกระบอกสูบ ในที่นี้ใช้วิธีของ Woschni [7]

4. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบกับเครื่องยนต์

การทดสอบใช้เครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง หนึ่งสูบสี่จังหวะขนาด 625 ซีซี โดยดัดแปลงมาจากเครื่องยนต์สี่สูบ รายละเอียดของเครื่องยนต์ดังแสดงในตารางที่ 1 ในการทดสอบได้ติดตั้งเครื่องยนต์กับไดนาโมมิเตอร์แบบ Eddy Current และวิเคราะห์การปลดปล่อยพลังงานจากข้อมูลความดันในกระบอกสูบ ขณะที่วิเคราะห์ตำแหน่งการเปิด-ปิดของเข็มน้ำมันในหัวฉีด จากข้อมูลความดันในการฉีดเชื้อเพลิง และตำแหน่งระยะยกของเข็มน้ำมันในหัวฉีดซึ่งทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 0.1 องศาหมุนเพลอาข้อเหวี่ยง จำนวน 120 ไซเคิล โดยเครื่องมือวัดต่างๆ ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้ - Piezo-electric Pressure Transducer, Strain Gauge Pressure Transducer, Needle Lift Transducer, Charge Amplifier, Shaft Encoder, High Speed Data Acquisition และอุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบของสารมลพิษในไอเสีย ประกอบด้วย เครื่องวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (Chemiluminescent type) ไฮโดรคาร์บอน (Flame Ionization Detector) คาร์บอนมอนอกไซด์ (NDIR) และอุปกรณ์วิเคราะห์ควันดำ (Bosch Smoke Meter) ส่วนไดอะแกรมอุปกรณ์การทดสอบดังแสดงในรูปที่ 1

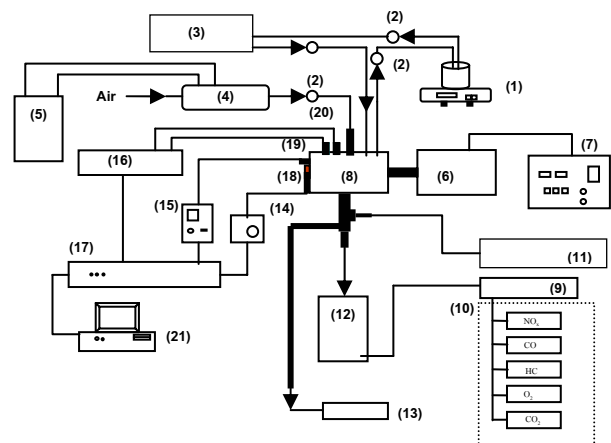
5. การทดสอบคุณลักษณะของการสเปรย์

ในการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเชื้อเพลิงต่อคุณลักษณะการเผาไหม้และสารมลพิษนั้น ก่อนที่จะทำการทดสอบจริงกับเครื่องยนต์ได้มีการศึกษาผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความหนืดและความหนาแน่นของเชื้อเพลิง และศึกษารูปร่างของการสเปรย์เชื้อเพลิงที่

อุณหภูมิต่างๆ โดยการบันทึกภาพ ขณะที่น้ำมันถูกฉีดออกจากหัวฉีดเข้าไปในบรรยากาศ [8] ซึ่งทำการทดสอบที่ความดันของการฉีดเชื้อเพลิง 12 MPa โดยใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง อุณหภูมิน้ำมันเริ่มต้นที่ประมาณ 47 °C และเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันในช่วง 60 – 90 °C

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

เครื่องยนต์	ISUZU model 4JA1
ปริมาตรกระบอกสูบ	4 จังหวะ แบบ Direct Injection
จำนวนกระบอกสูบ	625 cc
กระบอกสูบ x ระยะชัก	1 สูบ
อัตราส่วนการอัด	93 mm x 92 mm
กำลังสูงสุด	18.4 : 1
แรงบิดสูงสุด	14.4 kW
จังหวะการฉีดเชื้อเพลิง	34.3 N-m
	12 องศา BTDC



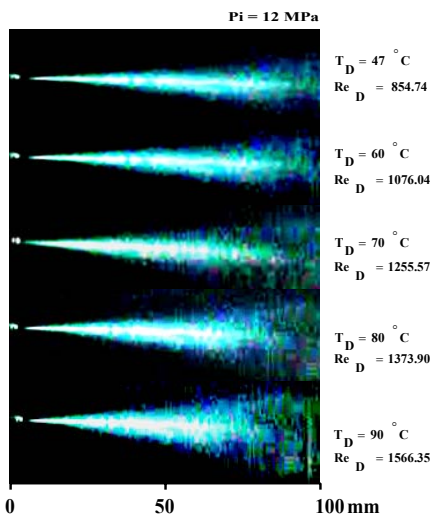
- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| (1) Electronic Scale | (12) Cooling Water |
| (2) Temperature Measurement | (13) Black Smoke |
| (3) Fuel Temperature Control | (14) Angle Encoder |
| (4) Laminar Air Flow Meter | (15) Charge Amplifier |
| (5) Manometer | (16) Electronic Indicating |
| (6) Eddy Current Dynamometer | (17) Data Acquisition |
| (7) Control Panel | (18) Pressure Transducer |
| (8) Direct Injection Diesel Engine | (19) Line Pressure Transducer |
| (9) Exhaust Gas Treatments | (20) Needle Lift Transducer |
| (10) Exhaust Gas Analyzer | (21) Micro Computer |
| (11) Exhaust Temperature Measurement | |

รูปที่ 1 ไดอะแกรมการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ

โดยผลการศึกษาการเพิ่มอุณหภูมิต่อค่าความหนืดและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดีเซลในช่วง 30 - 90 °C ทำให้ค่าความหนืดลดลง 22.2 – 67.6 % และค่าความถ่วงจำเพาะลดลง 1.5 – 4.4 %

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซล

Property	Test Method	Diesel Fuel
API gravity 60 °F	ASTM D 1298	38.5
Specific gravity	ASTM D 1298	
At Temperature 30 °C		0.816
40 °C		0.812
50 °C		0.806
60 °C		0.796
70 °C		0.792
80 °C		0.788
90 °C		0.772
Kinematics viscosity, cSt	ASTM D 445	
At Temperature 30 °C		4.420
40 °C		3.437
50 °C		2.812
60 °C		2.304
70 °C		1.895
80 °C		1.670
90 °C		1.432



รูปที่ 2 ภาพถ่ายสเปรย์น้ำมันดีเซลที่ถูกฉีดพุ่งเข้าไปในบรรยากาศ

ผลการศึกษาคุณลักษณะของการสเปรย์เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 และตารางที่ 3 พบว่า ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงคงที่ เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันเพิ่มขึ้น ค่า Reynolds Number ($Re = \rho U d / \mu$) ของน้ำมันที่ออกจากหัวฉีดมีค่าเพิ่มขึ้น 25.8 - 83.3% ทั้งนี้เป็นผลมาจากการลดลงของความหนืดเร็วกว่าการลดลงของความหนาแน่นต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 1 °C ($\Delta\rho/\mu > 1$) เมื่อความหนาแน่นของน้ำมันลดลงส่งผลให้ระยะการฉีดไกลสุด (Spray tip penetration) สั้นลงจากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าระยะของการฉีดไกลสุด มีค่าลดลง 11.3 - 27.3 มม. เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่อุ่นน้ำมัน ขณะที่น้ำมันมีความหนืดลดลงจะทำให้การแตกเป็นละอองฝอยง่ายขึ้น ส่งผลให้มุมกว้างของการ

ฉีด (Spray cone angle) มีค่าเพิ่มขึ้น 3 - 12 องศาเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่อุ่นน้ำมัน และเชื่อว่าอุณหภูมิของน้ำมันที่สูงขึ้นทำให้ Surface tension ลดลง ส่งผลให้การระเหยกลายเป็นไอของน้ำมันจะดีขึ้น [3] ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของความหนืดจะมีอิทธิพลต่อการแตกเป็นละอองฝอย ต่อการระเหยกลายเป็นไอ และต่อรูปร่างของสเปรย์ (Spray pattern) [9]

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาคุณลักษณะของการสเปรย์ที่อุณหภูมิต่างๆ

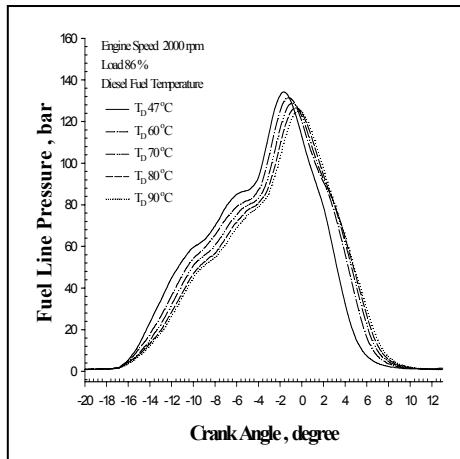
Fuel Temperature (°C)	47	60	70	80	90
Spray Cone Angle (degree)	6.8	9.8	13.2	16.0	18.8
Spray Tip Penetration (mm)	148.6	137.3	133.7	129.8	121.3
Reynolds Number $Re = \frac{\rho U d}{\mu}$	855	1076	1256	1374	1566

6. ผลการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์

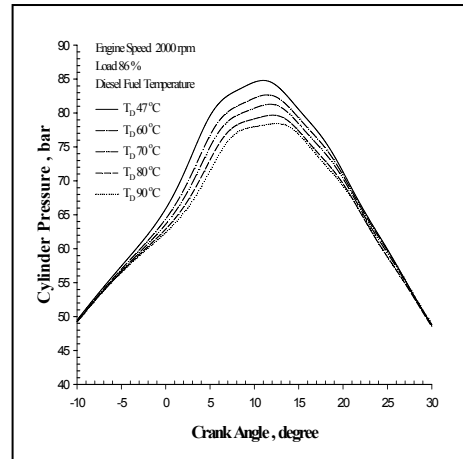
ในการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิเชื้อเพลิงต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ อัตราการปลดปล่อยพลังงาน และปริมาณสารมลพิษในไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ได้ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่ 2000 rpm โดยใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ทดสอบที่ภาระงานร้อยละ 86 ของภาระงานสูงสุด อุณหภูมิน้ำมันเริ่มต้นที่ 47 °C และเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันไปที่ 60 / 70 / 80 / 90 °C ผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิน้ำมัน ทำให้ความดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 3 ขณะที่ความดันสูงสุดในการฉีดเชื้อเพลิงลดลงจาก 134.2 bar มาเป็น 131.4 / 128.9 / 126.5 และ 124.9 bar ตามลำดับ (ลดลง 2.1-6.9 %)

รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งการเปิด-ปิดของเข็มน้ำมันในหัวฉีด พบว่า เข็มน้ำมันในหัวฉีดเปิดช้าลง เมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้จังหวะการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงช้าลงจาก 13.1 องศา ก่อนศูนย์ตายบน เป็น 9.9 / 8.9 / 7.5 และ 6.2 องศา ก่อนศูนย์ตายบน ตามลำดับ (ประมาณ 3.2-6.9 องศา) เชื่อว่ามีผลกระทบมาจากการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันสูงขึ้น ทำให้ความหนืดและความหนาแน่นลดลง ทำให้น้ำมันมีความสามารถในการอัดตัวได้มากขึ้น ดังนั้นน้ำมันสามารถยุบตัวได้มากขึ้น จังหวะในการเริ่มฉีดน้ำมันจึงช้าลงกว่ากรณีที่ไม่ได้อุ่นน้ำมัน [3]

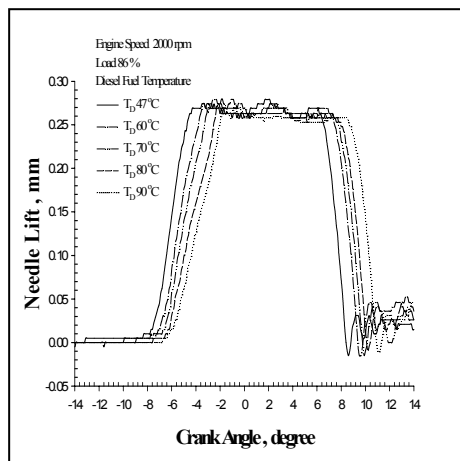
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของความดันในกระบอกสูบที่มุมเพลลาข้อเหวี่ยงต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันให้มีค่าสูงขึ้น ความดันสูงสุดในกระบอกสูบมีค่าลดลงจาก 84.8 bar เป็น 82.7 / 81.3 / 79.7 และ 78.5 bar (ลดลง 2.5-7.5 %) ขณะที่วิเคราะห์ค่าความดันยังผลเฉลี่ยแบบอินดิเคเตอร์ (IMEP) มีค่าลดลงจาก 574.1 kPa เป็น 571.0 / 570.5 / 566.0 และ 559.2 kPa (ลดลง 0.5-2.6 %) การเพิ่มอุณหภูมิ น้ำมัน เชื่อว่าทำให้การแตกเป็นละอองฝอยง่ายขึ้น และระเหยกลายเป็นไอผสมกับอากาศรวดเร็วขึ้น ทำให้การจุดระเบิดรวดเร็วกว่าน้ำมันที่ไม่ได้อุ่น [1,2,10] ทำให้ช่วง Ignition delay ลดลงจาก 5.4 องศา เป็น 4.6 / 4.4 / 4.2 / 3.9 องศา (ลดลง 0.8-1.5 องศา) ตามลำดับ



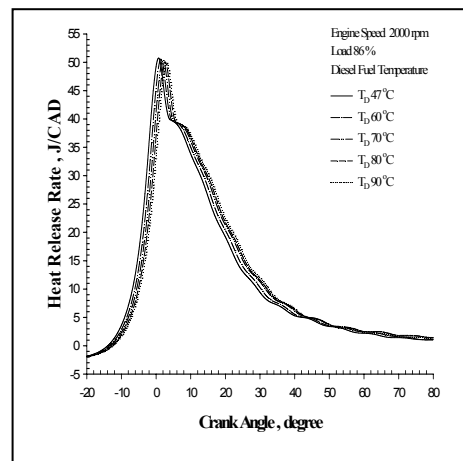
รูปที่ 3 ความดันในท่อน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 5 ความดันในกระบอกสูบของไซเคิลเฉลี่ยกับมุมเพลาคือเฉลี่ยช่วง -10 ถึง 30 มุมเพลาคือเฉลี่ย



รูปที่ 4 ระยะยกของเข็มน้ำมันในหัวฉีด



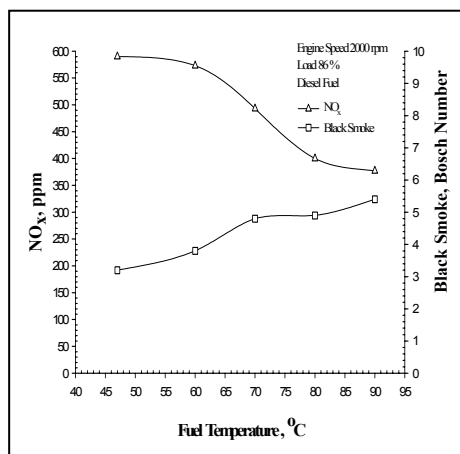
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยความร้อนที่มุมเพลาคือเฉลี่ยต่างๆ

7. ผลการวิเคราะห์การปลดปล่อยพลังงาน

รูปที่ 6 แสดงอัตราการปลดปล่อยพลังงานที่ตำแหน่งมุมเพลาคือเฉลี่ยต่างๆ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันให้สูงขึ้น ทำให้อัตราการปลดปล่อยพลังงานช้าลง นอกจากนั้นช่วงการเผาไหม้แบบ Premixed combustion มีค่าลดลงจาก 11.1 องศา เป็น 10.2 / 9.8 / 9.3 และ 8.8 องศา (ลดลง 0.9-2.3 องศา) และช่วงการเผาไหม้แบบ Mixing-controlled combustion มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 22.9 องศา เป็น 23.1 / 23.8 / 24.3 และ 24.9 องศา (เพิ่มขึ้น 0.2-2.0 องศา) ขณะที่การปลดปล่อยพลังงานในช่วง Premixed combustion มีค่าลดลงจาก 2420.74 J เป็น 2382.00 / 2217.20 / 2164.33 และ 2035.18 J (ลดลง 1.6-15.9 %) และในช่วง Mixing-controlled combustion มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5485.74 J เป็น 5672.93 / 5881.37 / 5982.23 และ 6197.54 J (เพิ่มขึ้น 3.4-13.0 %) ทั้งนี้เชื่อว่าเป็นผลมาจากการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมัน ทำให้การแตกเป็นละอองฝอยง่ายขึ้น และการจุดระเบิดรวดเร็วขึ้น ทำให้ช่วง Ignition delay ลดลง ส่งผลให้อัตราการเผาไหม้และการปลดปล่อยพลังงานของเชื้อเพลิงในช่วง Premixed combustion ลดลง และอัตราการเผาไหม้

8. ผลการศึกษาด้านสารมลพิษในไอเสีย

รูปที่ 7 แสดงปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และควันดำ (Black smoke) ในไอเสีย ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันในช่วง 47-90 °C ปริมาณ NO_x มีค่าลดลงจาก 590 ppm เป็น 573 / 493 / 400 และ 377 ppm (ลดลง 2.9-36.1 %) และปริมาณควันดำมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3.2 - 5.4 Bosch number (เพิ่มขึ้น 18.6-68.8 %) ตามลำดับ ทั้งนี้เชื่อว่าเป็นผลมาจากช่วงการเผาไหม้แบบ Premixed combustion มีค่าลดลง ทำให้ปริมาณสารมลพิษ NO_x น้อยลง และช่วงการเผาไหม้แบบ Mixing-controlled combustion มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณควันดำเพิ่มขึ้น [6,12,13]



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนและควันดำต่ออุณหภูมิของเชื้อเพลิง

9. บทสรุป

การเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันดีเซลในช่วง 47 - 90 °C มีผลกระทบให้รูปแบบของการสเปรย์เปลี่ยนแปลงไป โดยที่ Spray cone angle เพิ่มขึ้น 3 - 12 องศา Spray tip penetration ลดลง 11.3 - 27.3 mm และค่า Reynolds number เพิ่มขึ้น 25.8 - 83.3 % ขณะที่ผลการทดสอบในเครื่องยนต์ พบว่าความดันสูงสุดที่ต้องใช้ในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าลดลง 2.1 - 6.9 % จังหวะการเริ่มฉีดเชื้อเพลิงช้าลง 3.2 - 6.9 องศา และความดันสูงสุดในกระบอกสูบลดลง 2.5 - 7.5 % ผลการวิเคราะห์การปลดปล่อยพลังงาน พบว่าช่วง Ignition delay ลดลง 0.8 - 1.5 องศา ทำให้การปลดปล่อยพลังงานจากช่วง Premixed combustion ลดลง 1.6 - 15.9 % และการปลดปล่อยพลังงานในช่วง Mixing-controlled combustion เพิ่มขึ้น 3.4 - 13.0 % ผลที่ตามมาคือปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนในไอเสียลดลง 2.9 - 36.1 % และปริมาณควันดำมีค่าเพิ่มขึ้น 18.6 - 68.8 % เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันดีเซลจากอุณหภูมิปกติให้สูงขึ้นถึง 90 °C

10. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ที่ได้ให้การสนับสนุนการเงินบางส่วนสำหรับงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณคณะอาจารย์สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ ที่ให้การอนุเคราะห์อุปกรณ์การสเปรย์ และขอขอบคุณนักวิจัย ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้ มจร. ทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ จนกระทั่งการวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

[1] Ogura, M., Yamada, S., Takuo, Y., Xiao, F.B. and Sin, M., 2002, "Effect of Diesel Spray Impinging on a Ringed Wall", **JSAE Review**, Vol. 23, pp. 189-194.

- [2] Lee, S.W., Tanaka, D., Kusaka, J. and Daisho, Y., 2002, "Effect of Diesel Fuel Characteristics on Spray and Combustion in a Diesel Engine", **JSAE Review**, Vol. 23, pp. 407-414.
- [3] Yamane, K., Ueta, A. and Shimamoto, Y., 2001, "Influence of Physical and Chemical Properties of Biodiesel Fuel on Injection Combustion and Exhaust Emission Characteristics in a DI-CI Engine", **5th International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion Engines**, July 1 - 4, Nagoya, Japan, pp. 402 - 409
- [4] Nwafor, O.M.I., 2002, "The Effect of Elevated Fuel Inlet Temperature on Performance of Diesel Engine Running on Neat Vegetable Oil at Constant Speed Conditions", **Renewable Energy**, Vol. 431, pp. 171-181.
- [5] Bari, S., Lim, T.H. and Yu, C.W., 2002, "Effects of Preheating of Crude Palm Oil (CPO) on Injection System Performance and Emission of a Diesel Engine", **Renewable Energy**, Vol. 27, pp. 339-351.
- [6] Heywood, J.B., 1988, **"Internal Combustion Engine Fundamentals"**, McGraw Hill, New York, pp.491-558.
- [7] Woschni, G., 1967, "Heat Transfer Coefficient in the Internal Combustion Engine", **SAE Paper**, No. 670931.
- [8] Sovani, S.D., Chou, E., Sojka, P.E., Gore, J.P., Eckerle, W.A. and Crofts, J.D., 2001, "High Pressure Effervescent Atomization: Effect of Ambient Pressure on Spray Cone Angle", **FUEL**, Vol. 80, pp. 427-435.
- [9] Lefebvre, H.A., 1989, **"Atomization and Sprays"**, Taylor & Francis, Florida, pp. 9-73.
- [10] Lee, S.W., Kusaka, J. and Daisho, Y., 2001, "Spray Characteristics of Alternative Fuels in Constant Volume Chamber (Comparison of the Spray Characteristics of LPG, DME and n-dodecane)", **JSAE Review**, Vol. 22, pp. 271-276.
- [11] Kalam, M.A. and Masjuki, H.H., 2004, "Emissions and Deposit Characteristics of a Small Diesel Engine when Operated on Preheated Crude Palm Oil", **Biomass and Bioenergy**, Vol. 27, pp. 289-297.
- [12] Ferguson, C.R. and Kirtpatrick, A.T., 2001, **"Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences"**, Second Edition, John Wiley & Sons, New York.
- [13] Ganesan, V., 2003, **"Internal Combustion Engines"**, McGraw-Hill, Second Edition, New York, pp. 409-432.