

การศึกษาอิทธิพลของเชื้อเพลิงผสมเอทานอลที่ส่งผลต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษ ของเครื่องยนต์ดีเซล

Investigation on the Performance and Emissions Characteristics of a Diesel Engine Using Ethanol Blends

กัมปนาท เทียนน้อย^{1,*} และ ธวัชชัย วงศ์ช้าง¹

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร 10800
*ผู้ติดต่อ: โทรศัพท์: 029 132 500-24 ต่อ 1503, โทรสาร: 025 561 306
E-mail: ktn@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษเปรียบเทียบลักษณะการเผาไหม้และปริมาณการปล่อยมลพิษของเชื้อเพลิงผสมเอทานอล โดยทำการเปรียบเทียบอัตราการผสมเอทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ กับ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ของดีเซล (DE95) และไบโอดีเซล (BE95) เป็นเชื้อเพลิงหลักสำหรับการทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลหนึ่งสูบ ขนาดความจุกระบอกสูบ 773 ซีซี โดยที่ไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ เพื่อศึกษาการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ และ ภาระงานของเครื่องยนต์ ที่ส่งผลกระทบท่อสมรรถนะของเครื่องยนต์อันได้แก่ ความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยพลังงานของเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพเบรคเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ รวมไปถึงปริมาณมลพิษจากการเผาไหม้ได้แก่ ออกไซด์ของไนโตรเจน เหม่า ปริมาณไฮโดรคาร์บอน และ ปริมาณฝุ่นละออง ซึ่งพบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงผสมเอทานอลช่วยปรับปรุงกลไกและเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณมลพิษโดยเฉพาะ ไฮโดรคาร์บอน และ เหม่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้อีกด้วย อย่างไรก็ตามปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจนยังมีปริมาณที่สูง ซึ่งสามารถทำการควบคุมได้โดยการติดตั้งระบบบำบัดไอเสียควบคู่กันไปกับเชื้อเพลิงผสมเอทานอล ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลจึงเป็นแนวทางสำหรับน้ำมันทางเลือกใหม่ซึ่งถ้าต้องการให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงสุดควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับแต่งเครื่องยนต์ให้อยู่ภายใต้สภาวะการทำงานที่เหมาะสม และการนำเอาเทคโนโลยีการลดมลพิษเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมมลพิษให้อยู่ภายใต้มาตรการควบคุมมลพิษที่เข้มงวดมากขึ้นในอนาคต

คำหลัก: ดีเซลผสมเอทานอล, ไบโอดีเซลผสมเอทานอล, การปล่อยปริมาณมลพิษ, การเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซล

Abstract

The aim of this studies were investigated the compression ignition engine combustion characteristic and emission using the stable ethanol blends without additive. The 5% ethanol blends with 95% diesel (DE95) and 95% biodiesel (Rapeseed Methyl Ester- RME) (BE95) are use as the main fuel for 773 CC unmodified single cylinder diesel engine. The main parameters are exhaust gas recirculation-

EGR and engine load which are affect on heat released rate, in-cylinder pressure and thermal efficiency. The main emissions (e.g. nitrogen oxide - NO_x, Soot, hydrocarbon - HC and particulate matter - PM) are also monitor. The ethanol fuel blends are enhanced and improved the combustion efficiency of diesel engine. In addition, the combustion characteristics of stable ethanol blend fuels have significant effect on the HC and Soot reduction. However the higher NO_x emission of ethanol fuel blends can be reduced by using exhaust gas aftertreatment and emission control technologies. In additions, the exhaust emissions for ethanol blends dependent on the engine operating conditions (i.e. use of EGR, engine load). Therefore the engine optimisation and aftertreatment system would be required to improve the emissions (e.g. NO_x, HC, Soot) to met the environmental regulation in a near future.

Keywords: Diesel-Ethanol blend, Biodiesel-Ethanol blend, Emission, Diesel combustion

1. บทนำ

สภาวะปัจจุบันความต้องการใช้งานเชื้อเพลิงฟอสซิลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ดังนั้นแนวโน้มการตลาดแกลนน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นตามไปด้วย ประกอบกับสภาวะโลกร้อนที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบันจากปัญหาดังกล่าวจึงนำไปสู่ความพยายามที่จะแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เนื่องด้วยสนธิสัญญาเกียวโต จึงทำให้นักวิจัยพยายามที่ลดปริมาณแก๊สเรือนกระจก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แก๊สมีเทน (CH₄) และ แก๊สไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ซึ่งแก๊สดังกล่าวเป็นปัญหาหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อม ดังนั้นมาตรฐานต่างๆได้ถูกกำหนดขึ้นเพื่อควบคุมคุณภาพของอากาศ ซึ่งได้แก่ มาตรฐานยุโรป (EURO) มาตรฐานอเมริกา (FTP) และ มาตรฐานญี่ปุ่น (JAPAN) เป็นต้น โดยที่มาตรฐานจะทำการกำหนดปริมาณมลพิษจากเครื่องยนต์ซึ่งได้แก่ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ไฮโดรคาร์บอน (HC) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ ฝุ่นละออง (PM) [1]

มลพิษหลักที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลคือ ออกไซด์ของไนโตรเจน และ ฝุ่นละออง ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการออกแบบเครื่องยนต์และเทคโนโลยีการกำจัดไอเสียมาใช้งานเพื่อควบคุมปริมาณมลพิษให้อยู่ภายใต้มาตรฐาน นอกจากนี้ปัญหาคำคัญอีกประการหนึ่งคือเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการเผาไหม้ซึ่งพบว่า คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักสำหรับ

เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ในปริมาณที่สูง โดยที่ฝุ่นละอองดังกล่าวจะประกอบไปด้วย คาร์บอน ออกแกนนิก ซัลเฟต โลหะไนเตรด เป็นต้น [2, 3]

ปริมาณมลพิษบางชนิดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ซึ่งไม่สามารถทำการบำบัดได้ง่าย อันเนื่องมาจากเป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีที่อยู่ส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้และลดปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้น ในปัจจุบันได้มีการนำเอาน้ำมันไบโอดีเซลมาผสมน้ำมันดีเซลเพื่อลดต้นทุนการผลิต คุณสมบัติเด่นของไบโอดีเซลซึ่งมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมัน ซึ่งจะส่งเสริมประสิทธิภาพการเผาไหม้ และมีปริมาณการปล่อยมลพิษที่ต่ำ นอกจากนี้การนำเอทานอลมาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน กล่าวคือการนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันเบนซินในปัจจุบันพบว่าสามารถใช้งานได้ดีและไม่เป็นอันตรายต่อเครื่องยนต์ โดยองค์ประกอบทางเคมีของเอทานอลจะประกอบด้วยออกซิเจนเช่นเดียวกับไบโอดีเซล และไม่มีส่วนผสมของซัลเฟอร์ จากข้อได้เปรียบดังกล่าวจึงได้นำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลเพื่อปรับปรุงและเพิ่มคุณสมบัติของเชื้อเพลิงซึ่งนำไปสู่การลดปริมาณมลพิษจึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้และปริมาณมลพิษของน้ำมันดีเซลผสมเอทานอล (DE95) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมกับเอทานอล (BE95)

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองนี้ใช้เครื่องยนต์ดีเซลหนึ่งสูบ 4 จังหวะ แบบไต่เร็กอินเจกชั่น มีการระบายความร้อนโดยใช้ลม รายละเอียดข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ ดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

Engine specification	Data
Model	Lister Petter-TR1
Number of cylinders	1
Bore/stroke	98.4 mm/101.6 mm
Connecting rod length	165 mm
Displacement volume	773 cm ³
Compression ratio	15.5:1
Related power (kW)	8.6@ 2500 rpm
Peak torque (Nm)	39.2@ 1800 rpm
Injection system	Three holes pump-line-nozzle
Engine piston	Bowl-in-piston

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษาได้แก่น้ำมันดีเซล, ไบโอดีเซลที่ผลิตจาก Rapeseed Oil (Rapeseed Methyl Ester, RME) และเอทานอล ซึ่งคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของน้ำมันที่ใช้ทดสอบ

Fuel Analysis	Method	Diesel	Biodiesel	Ethanol
Cetane Number	ASTM D613	53.9	54.7	<5
Density at 15°C (kg m ⁻³)	ASTM D4052	827.1	883.7	792
Viscosity at 40°C (cSt)	ASTM D445	2.467	4.478	1.13
Boiling Point (°C)	ASTM D86	164-329	219-358	78
LCV (MJ kg ⁻¹)		42.7	39	25.2
Sulphur (mg kg ⁻¹)	ASTM D2622	46	5	0
AROMATICS (% wt)		24.4	~0	0
C (% wt)		86.5	77.2	52.17
H (% wt)		13.5	12	13.04
O (% wt)		0	10.8	34.79

การศึกษาอิทธิพลของการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่เพื่อการเผาไหม้ (Exhaust Gas Recirculation, EGR) สามารถทำได้โดยการนำไอเสียร้อนที่ได้จากการเผา

ไหม้มาทำให้อุณหภูมิต่ำลง ก่อนป้อนกลับเพื่อผสมกับอากาศบริเวณท่อร่วมไอดีก่อนการเผาไหม้ ซึ่งปริมาณไอเสียที่ป้อนกลับมาใช้สามารถทำการคำนวณในเชิงปริมาตรของอัตราที่ลดลงของปริมาตรอากาศทั้งหมดที่ใช้ในการเผาไหม้บริเวณท่อร่วมไอดี

ทำการศึกษาลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลผสมเอทานอล ในอัตราส่วน 95:5 โดยปริมาตร มีชื่อเรียกว่า “DE95” และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล ในอัตราส่วน 95:5 โดยปริมาตร มีชื่อเรียกว่า “BE95” ที่องศาการฉีดน้ำมัน 22 องศาเพลวข้อเหวี่ยง (Crank Angle Degree, CAD) โดยควบคุมความเร็วรอบคงที่ 1500 รอบต่อนาที และมีการปรับเปลี่ยนภาระงานของ 25% และ 50% ของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ทำการศึกษาอัตราการนำไอเสีย กลับมาใช้ใหม่ในอัตราส่วนร้อยละ 0 ถึง 20 โดยปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์ ในขณะที่มีการผสมไอเสียอยู่ในช่วง 27-31°C ดังนั้นอิทธิพลของอุณหภูมิจึงไม่ส่งผลต่อความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay) และกลไกการเผาไหม้

การวิเคราะห์ไอเสียจะใช้เครื่องมือวัดยี่ห้อ Horiba รุ่น MEXA-7100DEGR ทำการวัดปริมาณของไฮโดรคาร์บอนรวม จะใช้วิธีการวัดแบบ HFID (Heated Flame Ionisation Detector) และ ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนจะใช้วิธีการวัดแบบ HCLD (Heated Chemiluminescence Detector) ปริมาณเขม่าจะใช้ Bosch smoke meter โดยแสดงผลเป็นค่าดัชนี Bosch Smoke Number (BSN) ค่าที่อ่านได้จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ตามปริมาณเขม่าน้อยไปมากตามลำดับ

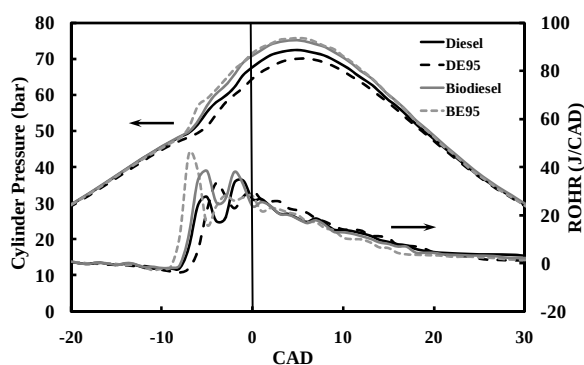
นอกจากนี้ในการศึกษาความเข้มข้นรวมเชิงจำนวนและเชิงปริมาตรของฝุ่นละออง (Total Particulate Number and Volume Concentrations) จะใช้เครื่อง Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) Spectrometer ยี่ห้อ TSI ซึ่งจะประกอบไปด้วย Electrostatic Classifier รุ่น 3080 Differential Mobility Analyser (DMA) รุ่น 3081 และ Condensation

Particle Counter (CPC) รุ่น 3775 ซึ่งจะใช้อัตราการเจือจาง (Dilution ratio) อยู่ที่ 100:1 และจะมีช่วงของการวัดจะอยู่ระหว่าง 7.23 ถึง 294.3 นาโนเมตร

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 อิทธิพลของเชื้อเพลิงที่ส่งผลต่อกลไกการเผาไหม้

ความดันกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อน (Rate of Heat Released-ROHR) ของการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ดีเซลผสมเอทานอล (DE95) ไบโอดีเซล และไบโอดีเซลผสมเอทานอล (BE95) ดังรูปที่ 1 พบว่า การเผาไหม้ของน้ำมัน DE95 ทำให้ขยายช่วง Ignition Delay ให้ช้าลง เมื่อพิจารณาที่องศาเพลวข้อเหวี่ยง (Crank Angle Degree-CAD) เดียวกัน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ล่าช้า (Retard Combustion) โดยผลของค่าซีเทนที่ลดลงจึงทำให้ความร้อนแฝงที่ใช้ในการระเหยของเอทานอลที่ต่ำ และปริมาณอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl Radical, $-OH$) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของเอทานอล จึงทำให้ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ลดลง [4,5] ดังนั้น อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ลดลงตามไปด้วย โดยพิจารณาได้จากค่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบขณะเผาไหม้มีค่าที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล

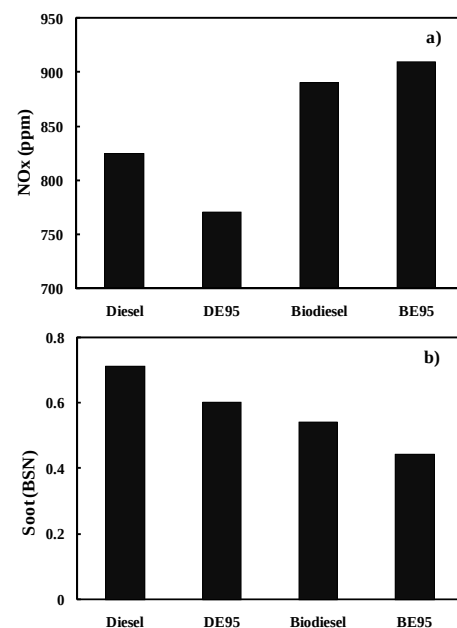


รูปที่ 1 แผนภาพแสดงความดันกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์จากการเผาไหม้น้ำมันชนิดต่างๆ

พิจารณาลักษณะการเผาไหม้ของน้ำมันเอทานอลผสมกับไบโอดีเซลพบว่าน้ำมัน BE95 ส่งผลต่อการเผาไหม้คือ ลดช่วงเวลาของ Ignition Delay และจะทำให้เกิดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นเร็วขึ้น โดยการ

เผาไหม้ดังกล่าวจะเกิดขึ้นในช่วง Premixed ซึ่งจะส่งผลให้กลไกการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบเกิดขึ้นเร็ว (Advanced Combustion) ดังนั้นจึงทำให้ความดันกระบอกสูบสูงขึ้นตามไปด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น โดยที่ความดันสูงสุดในกระบอกสูบมีค่าที่ใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซล

การเผาไหม้ในช่วง Premixed ที่สั้นลงนั้นจะส่งผลขยายให้การเผาไหม้ในช่วง Diffusion นานขึ้น ดังนั้นการเผาไหม้จะสิ้นสุดบริเวณช่วงจังหวะการคาย (Expansion Stroke) ซึ่งเป็นผลทำให้ความดันกระบอกสูบมีค่าที่ต่ำตามไปด้วย (รูปที่ 1) จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้อัตราการเกิด NOx ในปริมาณที่ต่ำ และ ส่งผลให้ปริมาณเขม่าที่เกิดขึ้นมีปริมาณเพิ่มขึ้นสำหรับ DE95 เมื่อเทียบกับ ไบโอดีเซล และ BE95 แต่ยังคงอยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

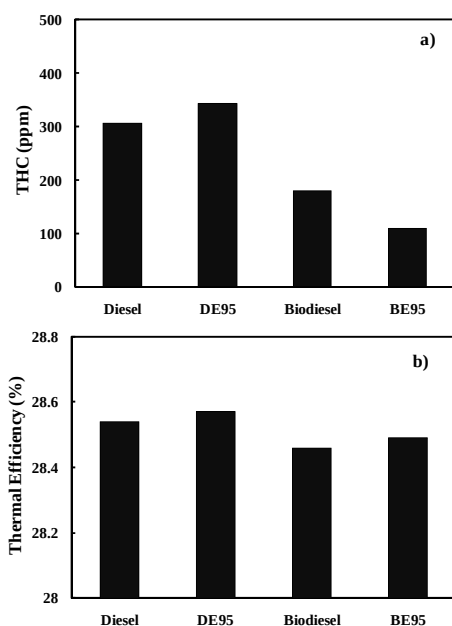


รูปที่ 2 แผนภาพแสดงอิทธิพลของเชื้อเพลิงต่อปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนและเขม่าที่ EGR = 0%

นอกเหนือจากอิทธิพลของการฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิงและรูปแบบการเผาไหม้แล้วนั้น ปริมาณออกซิเจนในน้ำมันเชื้อเพลิงยังเป็นอีกตัวแปรที่สำคัญสำหรับการลดลงของปริมาณเขม่า และฝุ่นละอองในสภาวะการเผาไหม้แบบส่วนผสมหนา (Rich Combustion) [6] พิจารณาถึงองค์ประกอบของน้ำมัน

เอทานอลและไบโอดีเซล พบว่าเมื่อนำน้ำมันทั้งสองชนิดมาผสมกันจะทำให้มีปริมาณออกซิเจนที่สูงขึ้นจึงช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ให้ดีขึ้นและช่วยเพิ่มอุณหภูมิของเปลวไฟด้วย [7,8] ซึ่งเป็นผลให้ปริมาณ NOx ที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 2a ปริมาณออกซิเจนที่สูงขึ้นจะช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ในช่วง Diffusion ประกอบกับเชื้อเพลิงมีค่าซีเทนที่สูง และไม่มีซัลเฟอร์ในองค์ประกอบของ BE95 กับ ไบโอดีเซล จึงส่งผลให้เขม่าถูกออกซิไดซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2b

โดยปกติทั่วไปสาเหตุในการเกิดไฮโดรคาร์บอนจะเกิดจากการเปื่อยของผนังของห้องเผาไหม้และปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ นอกจากนี้ยังพบว่าการตกค้างของเชื้อเพลิงบริเวณแซค(Sac) ของหัวฉีด [9] จากรูปที่ 3a พบว่า ปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่ได้การเผาไหม้น้ำมัน DE95 มีค่าสูง ซึ่งเป็นผลมาจากค่าซีเทนที่ลดลง จึงส่งผลให้อุณหภูมิการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบที่ลดลงและปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันต่ำกว่าการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลและ BE95 [10-13]



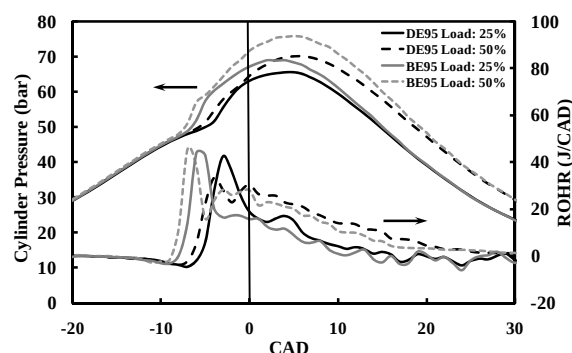
รูปที่ 3 แผนภาพแสดงอิทธิพลของเชื้อเพลิงต่อปริมาณไฮโดรคาร์บอนและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ที่ EGR = 0%

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง

ตามรูปที่ 3b ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากลักษณะกลไกการเผาไหม้ และ คุณสมบัติการฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงตามลำดับดังต่อไปนี้ DE95>ดีเซล>BE95>ไบโอดีเซล ซึ่งจะเห็นได้ว่าการนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ให้สูงขึ้น

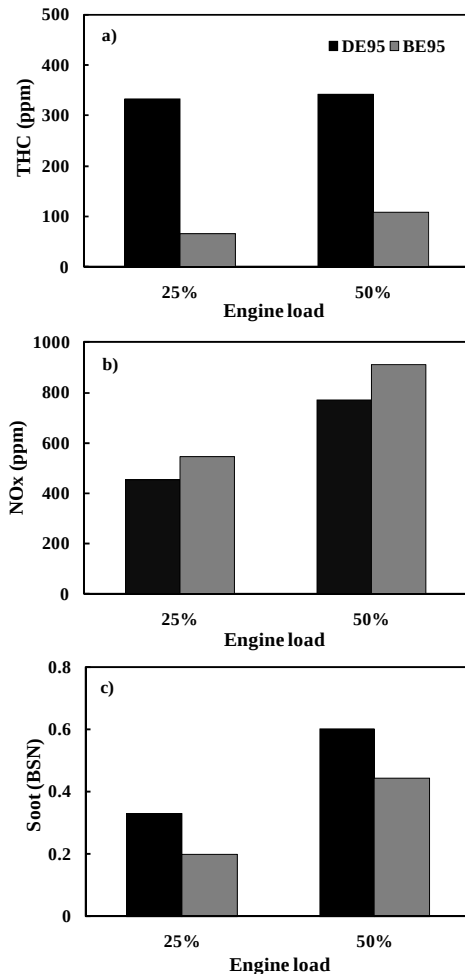
3.2 อิทธิพลของภาระงานของเครื่องยนต์

การศึกษาอิทธิพลของภาระงานของเครื่องยนต์สำหรับน้ำมัน DE95 และ BE95 ที่ส่งผลต่อความดันกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อน โดยการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ (1500 รอบต่อนาที) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงความดันกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์จากการเผาไหม้น้ำมันชนิดต่างๆ

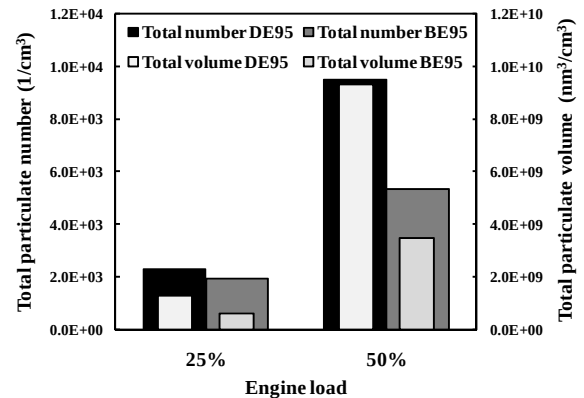
พบว่าเมื่อภาระงานของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น (50%) ส่งผลให้อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดในช่วง Premixed เกิดเร็วขึ้นและขยายการเผาไหม้ในช่วง Diffusion ให้ยาวนานขึ้น [14] โดยที่พิจารณากลไกการเผาไหม้ของน้ำมันทั้งสองชนิดจะเริ่มในตำแหน่งขององศาเพลลาข้อเหวี่ยงที่เร็วขึ้น จึงส่งผลให้ Ignition Delay ที่สั้นลง เมื่อเปรียบเทียบกับภาระงานของเครื่องยนต์ที่ต่ำ (25%) เป็นผลให้ค่าความดันสูงสุดในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงอิทธิพลของภาระงานของเครื่องยนต์ต่อปริมาณมลพิษจากการเผาไหม้ a) ไฮโดรคาร์บอน b) ออกไซด์ของไนโตรเจน และ c) เขม่า ที่ EGR = 0%

น้ำมันเชื้อเพลิงผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลพบว่าเมื่อภาระงานของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไฮโดรคาร์บอนอย่างเด่นชัดดังรูปที่ 5a แต่จะส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงออกไซด์ของไนโตรเจน และ เขม่า กล่าวคือเมื่อภาระงานเพิ่มขึ้น อัตราการฉีดน้ำมันจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้การเผาไหม้อยู่ในสภาวะส่วนผสมหนา ประกอบกับปริมาณของออกซิเจนที่สูงขึ้น จึงช่วยส่งเสริมการออกซิไดซ์ของเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ที่ดีขึ้น [13] โดยที่ออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นจะอยู่ในรูปของ Thermal NOx ซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิ [14,15] ดังรูปที่ 5b จึงทำให้อัตราการเกิดออกไซด์ของ

ไนโตรเจน จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง BE95 ในปริมาณที่สูงกว่า DE95 และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ BE95 พบว่ามีปริมาณที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิง DE95 ดังแสดงในรูปที่ 5c



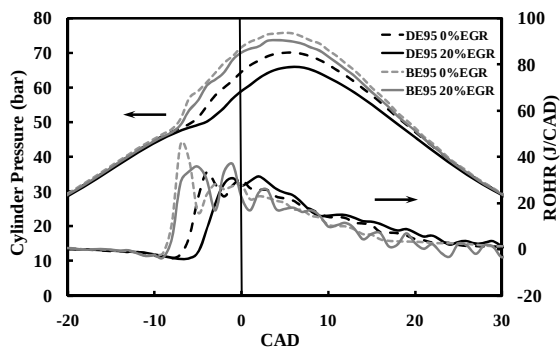
รูปที่ 6 แผนภาพแสดงอิทธิพลของภาระงานของเครื่องยนต์ต่อปริมาณฝุ่นละอองโดยรวมเชิงจำนวนและเชิงปริมาตร

ฝุ่นละอองโดยปกติจะมีองค์ประกอบหลัก คือ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organics Fraction - VOF) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ [3] จากการทดลองที่ภาระงานของเครื่องยนต์ที่ต่ำ (25%) พบว่า ระดับปริมาณฝุ่นละอองโดยรวมเชิงปริมาตรและเชิงจำนวนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง BE95 และ DE95 มีปริมาณที่แตกต่างกันไม่มาก ซึ่งเมื่อภาระงานของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น (50%) พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของฝุ่นละอองรวมเชิงจำนวนและเชิงปริมาตรของเชื้อเพลิง DE95 สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิง BE95 ดังรูปที่ 6

3.3 อิทธิพลของการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่

การนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่เป็นเทคนิคสำหรับในการลดปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งเป็นมลพิษหลักที่ได้จากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล โดยเทคนิคนี้ใช้หลักการแทนที่ออกซิเจน ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งจะทำหน้าที่ดูดซับความร้อนไว้ จึงส่งผลให้ระดับอุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำลง [16, 17] ในรูปที่ 7 เมื่อนำ 20% โดยปริมาตรของไอเสียมาผสมกับอากาศก่อนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด (DE95 และ BE95) จะส่งผล

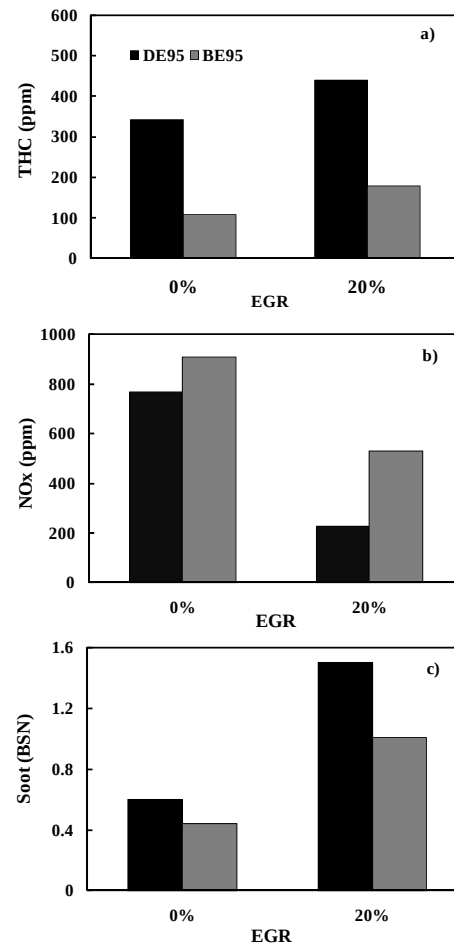
ให้การเผาไหม้เกิดขึ้นช้าลง (Retardation) นอกจากนี้ยังส่งผลให้ความดันสูงสุดในกระบอกสูบลดลงด้วย



รูปที่ 7 แผนภาพแสดงความดันกระบอกสูบและอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์จากการเผาไหม้ DE95 และ BE95 ที่ 0% EGR และ 20 %EGR

การนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่พบว่าการเผาไหม้ในช่วง Premixed มีระยะเวลาที่สั้นลง แต่จะขยายการเผาไหม้ในช่วง Diffusion ให้นานขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การเผาไหม้แบบปกติ จึงทำให้การเผาไหม้จะสิ้นสุดบริเวณช่วงจังหวะการคาย (Expansion Stroke) ซึ่งส่งผลให้ความดันและอุณหภูมิของเปลวไฟในกระบอกสูบลดต่ำลง ซึ่งเป็นสาเหตุให้อัตราการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนอยู่ในปริมาณที่ต่ำลงตามไปด้วย [15] ดังรูปที่ 8b

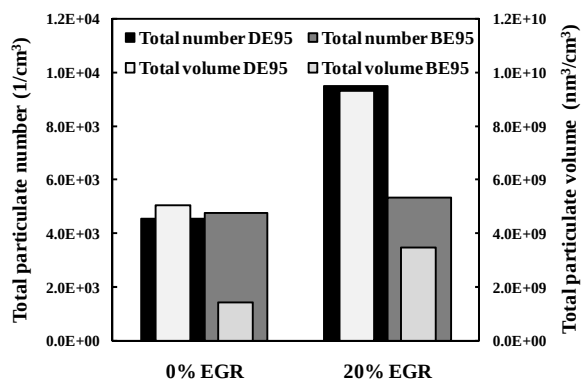
สำหรับการเผาไหม้ที่ในช่วง Premixed ที่สั้นจะส่งผลทำให้ปริมาณของ ไฮโดรคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้และเขม่ามีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่า DE95 จะมีปริมาณที่สูงกว่า BE95 อันเนื่องมาจากปริมาณองค์ประกอบของออกซิเจนภายในเชื้อเพลิงมีปริมาณที่สูงจึงทำให้การเผาไหม้ได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 8a และ 8c ปริมาณของไฮโดรคาร์บอนและปริมาณของสารอินทรีย์ไอระเหยที่สูงนั้น สามารถควบคุมได้โดยการนำเอาระบบบำบัดไอเสีย (Aftertreatment) มาใช้ร่วมกับเครื่องยนต์ ซึ่งจะสามารถช่วยลดปัญหามลภาวะทางอากาศเช่น การเกิดหมอกควัน ระดับโอโซนในชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 8 แผนภาพแสดงอิทธิพลของการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ต่อปริมาณมลพิษจากการเผาไหม้ a) ไฮโดรคาร์บอน b) ออกไซด์ของไนโตรเจน และ c) เขม่า

เทคนิคการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ในการเผาไหม้นั้นพบว่า อัตราการออกซิไดซ์เขม่าลดลงตามไปด้วย เมื่อเทียบกับอัตราการเกิดเขม่าที่สูงกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากความดันในกระบอกสูบที่ลดลง จึงทำให้ขนาดของฝุ่นละอองใน Accumulation Mode (30-500 nm) มีอัตราการเกิดที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของฝุ่นละอองโดยปกติซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงของ Nucleation Mode (3-30nm) [2] จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ปริมาณฝุ่นละอองโดยรวมเชิงจำนวนและเชิงปริมาตรมีอัตราการเพิ่มขึ้นตามปริมาณการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 9 ปริมาณการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝุ่นละอองโดยรวมเชิงจำนวนและเชิงปริมาตรของ DE95 จะแปรผันตามอัตราการเพิ่มของการนำไอเสีย

กลับมาใช้ใหม่อย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับ BE95 ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ไม่มากนัก



รูปที่ 9 แผนภาพแสดงอิทธิพลของการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ต่อปริมาณฝุ่นละอองโดยรวมเชิงจำนวนและเชิงปริมาตร

4. สรุป

การนำเชื้อเพลิงเอทานอล 5% โดยปริมาตรผสมกับน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซล แสดงให้เห็นถึงการลดข้อจำกัดในด้านประสิทธิภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงและปริมาณมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะปริมาณของไฮโดรคาร์บอนและเขม่า น้ำมันเชื้อเพลิง DE95 และ BE95 ช่วยส่งเสริมการเผาไหม้และประสิทธิภาพเชิงความร้อน ประกอบกับระดับของไฮโดรคาร์บอน เขม่าและฝุ่นละอองอยู่ในระดับที่ต่ำแต่อย่างไรก็ตามขึ้นกับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ที่เหมาะสมด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของการปรับแต่งช่วงเวลาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับประเภทของเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ สำหรับระดับปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่สูงใน DE95 และ BE95 สามารถควบคุมได้โดยการติดตั้งเทคโนโลยีบำบัดไอเสียเข้าร่วมกับระบบไอเสียของเครื่องยนต์

ภาระงานของเครื่องยนต์โดยใช้น้ำมันผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงหลักพบว่า ไม่ส่งผลต่อมลพิษอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับอิทธิพลการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ กล่าวคือการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่จะช่วยลดอัตราการเกิดฝุ่นละอองในช่วง Nucleation Mode ($D_p < 100$) ซึ่งฝุ่นละอองในช่วงดังกล่าวเป็นสาเหตุที่สำคัญต่อระบบหายใจของมนุษย์ นอกจากนี้

ยังส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัยในการมองเห็นในชั้นบรรยากาศ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการพัฒนาคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงโดยการนำเอทานอลมาผสมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และในขณะเดียวกันยังช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการ Future Power System, The University of Birmingham, UK ที่เอื้อเฟื้อห้องทดสอบเครื่องยนต์และเครื่องมือสำหรับการทดสอบเครื่องยนต์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kurt, E. (2004). Trends of future emission legislation and its measurement requirements, SAE, SAE Paper No. 2004-01-3291.
- [2] Kittelson, D.B. (1998). Engines and nanoparticles: a review, *Journal of Aerosol Science*, 29: 575 – 588.
- [3] Majewski, W.A. and Khair, M.K. (2006). *Diesel emissions and their control*, ISBN-10:0-7680-0674-0, SAE International, Warrendale.
- [4] Park, S.H., Cha, J. and Lee, C.K. (2010). Effect of Bioethanol-Blended Diesel Fuel on Combustion and Emission Reduction characteristics in a Direct-Injection Diesel Engine with Exhaust Gas Recirculation (EGR), *Energy&Fuel*, 24, 3872-3883.
- [5] Hashimoto, K. (2007). Effect of Ethanol on the HCCI Combustion, SAE, SAE Paper No. 2007-01-2038.
- [6] Mueller, C.J., Pitz, W.J., Picket, L.M., Martin, G.C., Siebers, D.L. and Westbrook, C.K. (2003). Effects of oxygenates on soot processes in DI diesel engines: experimental and numerical simulations. SAE, Paper No. 2003-01-1791.

- [7] Kannan, D., Nabi, Md. N. and Hustad, J. E. (2009). Influence of Ethanol Blend Addition on Compression Ignition Engine Performance and Emissions Operated with Diesel and Jatropa Methyl Ester, *SAE*, SAE paper No. 2009-01-1808
- [8] Song, J., Cheenkachorn, K., Wang, J., Perez, J., Boehman, A.L., Young, P.J. and Waller, F.J. (2002). Effect of oxygenated fuel on combustion and emissions in a light-duty turbo diesel engine, *Energy & Fuels*, 16: 294-301.
- [9] Sher, E. (1998). *Hand book of Air-Pollution from Internal Combustion Engines-Pollutant formation and Control*, Academic press, New York.
- [10] Rakopoulos, C.D., Antonopoulos, K.A., and Rakopoulos, D.C. (2007). Experimental heat release analysis and emissions of a HSDI diesel engine fueled with ethanol–diesel fuel blends, *Energy*, 32:1791-1808.
- [11] Li, d.-G., Zhen, H., Xingcai, L., Wu-gao, Z., and Jian-guang, Y. (2005). chemical properties of ethanol–diesel blend fuel and its effect on performance and emissions of diesel engines, *Renewable Energy*, 30, 967-976.
- [12] Kass, M.D., Thomas, J.F., Storey, J.M., Domingo, N., Wade, J., and Kenreck, G. (2001). Emissions from a 5.9 Liter Diesel Engine Fueled With Ethanol Diesel Blends, *SAE*, Paper No. 2001-01-2018.
- [13] Park, S.H., Cha, J. and Lee, C.S., (2010). Effects of bioethanol-blended diesel fuel on combustion and emission reduction characteristics in a direct-injection diesel engine with exhaust gas recirculation (EGR), *Energy & Fuel*, 24, 3872-3883.
- [14] Lapuerta, M., Armas, O. and Garcia-Contreras, R., (2009). Effect of ethanol on blending stability and diesel engine emissions, *Energy & Fuel*, 23, 4343-4354.
- [15] Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, ISBN 0-07-100499-8, New York.
- [16] Ladommatos, N., Abdelhalim, S.M., Zhao, H. and Hu Z. (1998). Effects of EGR on heat release in diesel combustion, *SAE*, SAE Paper No. 980184.
- [17] Theinnoi, K., York, A.P.E., Tsolakis, A., Chuepeng, S., Cracknell, R.F. and Clark, R.H., (2009) Engine performance and emissions from the combustion of low-temperature Fischer-Tropsch synthetic diesel fuel and biodiesel (RME) blends, *International Journal of Vehicle Design*, 50(1-4), 196 – 212.