การพัฒนาระบบต้นแบบการควบคุมการฉีดน้ำมันของระบบคอมมอนเรล สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลทางการเกษตรสูบเดียว

The Development Prototype of High Pressure Common Rail Injection System for Single Cylinder Agricultural Diesel Engine

วรรณธนะ สงวนทรัพย์, กัมปนาท เทียนน้อย*, สัก สิทธิชมภู, ณัฐพล ผ่องราศรี, กิติ สมวัฒน์ และ ธวัชชัย วงศ์ช่าง

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร *10800*
* ผู้ติดต่อ: โทรศัพท์: *025 552 000* ต่อ *1503* โทรสาร: *025 561 306 E-mail*: ktn@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมการฉีดน้ำมันของระบบคอมมอนเรลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตร ระบบต้นแบบนี้ออกแบบมาเพื่อควบคุมความดันและรูปแบบของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อนำไปสู่ประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น โดยระบบนี้สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการฉีดได้ 3 รูปแบบ (การฉีดล่อ, การฉีดหลัก และ การฉีดภายหลัง) เพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและปริมาณมลพิษ ในงานวิจัยทดลองนี้ได้ทำการปรับแต่งรูปแบบของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อหาเงื่อนไขการทำงานที่ดีที่สุด โดยทำการทดลองที่ความดันน้ำมันเชื้อเพลิง 500 800 และ 1,100 บาร์ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,500 รอบต่อนาที จากการทดลองดังกล่าวพบว่าเครื่องยนต์ที่ดัดแปลงสามารถทำงานได้ดี ที่ความดัน 500 บาร์ โดยใช้รูปแบบการฉีดหลายครั้ง ที่ระยะเวลาระหว่างการฉีด เท่ากับ 1 มิลลิวินาที (9 องศาเพลาข้อเหวี่ยง) ระบบดังกล่าวช่วยส่งเสริมให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ได้ถึง 50 %

คำหลัก: ระบบคอมมอนเรล, การเผาไหม้, เครื่องยนต์ดีเซล, ไนโตรเจนออกไซด์

Abstract

The aim of this research was design and development of computer controlled fuel injection system of the single cylinder diesel engine for agriculture applications. The prototype system has been designed to control the fuel injection pressure and injection pattern. In order to improve overall engine performances, injection can be separated up to triple injection (Pilot, Main and Post Injection) Significant reduction in Specific Fuel Consumption and Engine-out emission can be seen. Injection patterns in this experiment have been altered to gain the optimised operating condition. Tests were carried out at injection pressure of 500, 800 and 1100 bar and engine speed at 1,500 rpm. According to the experiment, the injection pressure of 500 bar with multiple injection strategies and dwell time of 1 ms (9 CAD) is the optimized injection pressure of this experiment diesel engine. The modified engine was able to improved overall engine performances, especially specific fuel consumption and oxides of nitrogen level had been reduced by 50%

Keywords: Common Rail Injection System, Single Cylinder Diesel Engine, Oxides of Nitrogen

1. บทนำ

เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวเป็นเครื่องที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายทางด้านการเกษตร เนื่องมาจากข้อดีด้านกำลัง ความทนทาน และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน อย่างไรก็ตามความพยายามในการปรับปรุงให้มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลดลงจากเดิมและเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ การควบคุมระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ระบบคอมมอนเรลเป็นหนึ่งในแนวทางเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เพื่อนำไปสู่การใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด [1] นอกจากนี้ระบบคอมมอลเรลมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและอัตราการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ที่ต่ำ [2] โดยที่ระบบดังกล่าวจะใช้ร่วมกับห้องเผาไหม้แบบเปิด (Open Combustion Chamber)

เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบการฉีดเชื้อเพลิง แบบระบบคอมมอนเรลมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้สมรรถนะสูง, ลดปริมาณมลพิษ ลดเสียงรบกวนและลดการสั่นสะเทือน [3] ระบบคอมมอนเรลมีหลักการ คือการสร้างความดันน้ำมันสูงรอไว้ในท่อความดันแล้วทำการจ่ายน้ำมัน น้ำมันที่ถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้จะมีลักษณะเป็นละอองฝอยละเอียด ร่วมกับการลักษณะรูปแบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงหลายครั้งในหนึ่งกลวัตร [4,5] เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผสมกับไอดี และเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และช่วยลดเขม่าควันดำ [6,7,8] ประกอบกับปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงความดันสูงที่สามารถจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยความดันที่สูงกว่า 1,800 บาร์หรือสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบไดเร็คอินเจคชั่นแบบทั่วไปกว่า 9 เท่าจึงทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงแตกตัวเป็นละอองสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงช่วยส่งเสริมให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยใช้ข้อดีของการที่สามารถปรับแต่งอัตราการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและจังหวะการฉีดให้เหมาะสมในแต่ละสภาวะการทำงาน [9]

ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบคอมมอนเรลนั้นประกอบด้วยส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ ปั้มน้ำมันความดันสูง หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงความดันสูงและ ระบบควบคุมและประมวลผลเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่มีระบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบกลไกเมื่อนำมาดัดแปลงเป็นระบบคอมมอนเรลจะต้องทำการติดตั้งปั้มน้ำมันความดันสูง หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงความดันสูงและออกแบบระบบควบคุมลักษณะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งสามารถควบคุมรูปแบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงได้อย่างอิสระเพื่อศึกษาภาวะการทำงานให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ และศึกษาผลที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน รวมถึงสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษาด้านผลกระทบของรูปแบบการควบคุมการฉีดและชนิดของเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นจากการปรับแต่งเครื่องยนต์ในอนาคต

2. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

2.1 เครื่องยนต์

เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว ยี่ห้อ YANMAR รุ่น TF 90 DI-L (มาตรฐาน EURO 2) มีลักษณะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบการฉีดตรง (Direct Injection) และระบายความร้อนโดยใช้น้ำ ดังแสดงในตารางที่1

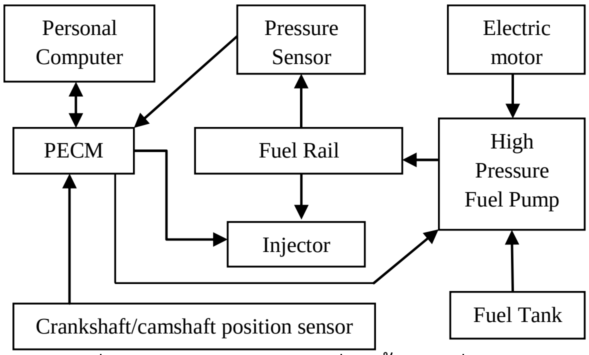
ตารางที่ 1 สมรรถนะของเครื่องยนต์

ข้อมูลเครื่องยนต์	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
รุ่น	YANMAR TF-DI 90	
จำนวนสูบ	1	
ชนิดฝาสูบ	2 ลิ้น, ลิ้นบนฝาสูบ	
ห้องเผาไหม้	แบบเปิด (Direct Injection)	
กระบอกสูบ/ระยะชัก	85 mm/87 mm	
ปริมาตรดูด	493 cm^3	
อัตราส่วนการอัด	16.6:1	
กำลังต่อเนื่อง (kW)	5.9@ 2400rpm	
กำลังสูงสุด (kW)	6.6@ 2400rpm	
ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	ระบบฉีดแบบกลไก	ระบบฉีดน้ำมันแบบท่อร่วมควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์
ความดันฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง	200 bar	500-1,100 bar
การขับปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง	ขับเคลื่อนโดยเครื่องยนต์	ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อน

2.2 การสร้างและติดตั้งระบบฉีดเชื้อเพลิง

ระบบชุดขับปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงแรงดันสูงถูกออกแบบและสร้างโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า (1.5 kW) ที่ 1450 รอบต่อนาที ให้พลังงานจากไฟสายส่ง (Off-the-line) เป็นต้นกำลัง เพื่อให้สามารถทำงานกับชุดอุปกรณ์ระบบคอมมอนเรล ซึ่งทำการประยุกต์ใช้จากเครื่องยนต์ Isuzu 4JJ1 และมีการการติดตั้งระบบหัวฉีดแทนหัวฉีด

แบบกลไกเดิม รวมถึงติดตั้งเซนเซอร์ ใช้ตรวจจับตำแหน่งในการฉีดของเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบคอมมอลเรลที่ติดตั้งในเครื่องยนต์การเกษตรสูบเดียว

จากรูปที่1 Programmable Electronic Control Module (PECM) เป็นชุดวงจรควบคุมการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสามารถควบคุมระยะเวลาการฉีด ระยะเวลาระหว่างการฉีด และความดันในการฉีด โดยสามารถควบคุมการฉีดได้สูงสุดสามครั้ง (Pilot Main และ Post injection) ผ่านคอมพิวเตอร์ โดยมีความละเอียดของฐานเวลาการฉีดเท่ากับ 10 μs ในส่วนจังหวะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงใช้องศาการฉีดเท่ากับเครื่องยนต์ก่อนการดัดแปลง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20 องศาก่อนศูนย์ตายบน

2.3 สภาวะในการทดสอบ

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เพื่อเปรียบเทียบระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสองระบบ ได้แก่ ระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก (ก่อนดัดแปลงเครื่องยนต์) และระบบการฉีดเชื้อเพลิงแบบคอมมอนเรล (หลังการดัดแปลงเครื่องยนต์) โดยทำการทดสอบเพื่อเก็บผลกับเครื่องยนต์ก่อนดัดแปลงแล้วจึงดัดแปลงเครื่องยนต์ โดยการถอดปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงและหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบกลไกออกแล้วติดตั้งหัวฉีดแบบอิเล็กทรอนิกส์และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงความดันสูง แล้วจึงเก็บผลการทดลอง โดยใช้การทดสอบแบบความเร็วรอบให้คงที่ ที่ 1,500 รอบต่อนาที เพราะเป็นความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่ให้แรงบิดสูงสุดและมีการใช้งานจริงแบบคงที่ (Steady State) เช่น ในงานเครื่องผลิตไฟฟ้าสำรอง ซึ่งที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์นี้ให้ไฟกระแสสลับที่ความถี่เท่ากับ 50 เฮิร์ต โดยใช้เงื่อนไขในการทดสอบตามตารางที่ 2 โดยเงื่อนไขที่ 0 คือเครื่องยนต์ก่อนการดัดแปลงและเงื่อนไขที่ 1 - 9 คือการทดสอบกับเครื่องยนต์หลังการดัดแปลงเป็นระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์

การทดสอบกระทำที่ภาระเครื่องยนต์ 25% 50% และ 75% จากกำลังเครื่องยนต์สูงสุด ซึ่งมีค่าภาระเบรกเท่ากับ 6.565, 13.130 และ 19.695 N.m ตามลำดับ การทดสอบทั้งหมดกระทำในห้องปรับอากาศควบคุมอุณหภูมิห้องไว้ที่ 30 องศาเซลเซียสตลอดการทดสอบ โดยไม่มีการใช้ไอเสียไหลวนกลับ (EGR) และอุปกรณ์บำบัดไอเสียใดๆ

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการทดสอบของเครื่องยนต์

Injection mode	Pressure (Bar)	Injection Strategy		
		Pilot	Main	Post
0	200		X	
1	500		X	
2		X	X	
3		X	X	X
4	800		X	
5		X	X	
6		X	X	X
7	1,100		X	
8		X	X	
9		X	X	X

2.4 เครื่องมือวัด

การทดสอบเครื่องยนต์ทดสอบบนแท่นทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์แบบเบรกน้ำ โดยความสิ้นเปลืองจำเพาะเบรกทำการวัดโดยวิธีตวงปริมาตรน้ำมันเชื้อเพลิงคงที่ที่ 47.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วจับเวลาที่เครื่องยนต์ใช้น้ำมันจนหมดปริมาตรคงที่นี้

การทดสอบทำการวัดปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ไอเสียยี่ห้อ Horiba รุ่น MEXA-584L ซึ่งวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนนอกไซด์ โดยใช้เทคนิค Non-dispersive infrared (NDIR) การวัดปริมาณออกซิเจนโดยใช้วิธี Magnetopneumatic และทำการวัดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ด้วยวิธี Chemiluminescence Detection (CLD) ปริมาณไฮโดรคาร์บอนโดยใช้หลักการ Flame Ionisation Detector (FID)

2.5 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและประสิทธิภาพทางความร้อน

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (bsfc) สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$bsfc = \frac{m_f}{W} \qquad (1)$$

เมื่อ bsfc คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (g/kW.h)

m_f คือ อัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิง (g/h)

W คือ กำลังงานเครื่องยนต์เบรก (kW)

ประสิทธิภาพทางความร้อน สามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$\eta_t = \frac{W \times 1000}{\left[\left(\frac{bsfc \times W \times HHV}{3.6 \times 10^6}\right) + W_{pump}\right]} \times 100\% \qquad (2)$$

เมื่อ η_t คือ ประสิทธิภาพทางความร้อน (%)

HHV คือ ค่าความจุความร้อนค่าสูงของน้ำมันเชื้อเพลิง (MJ/kg)

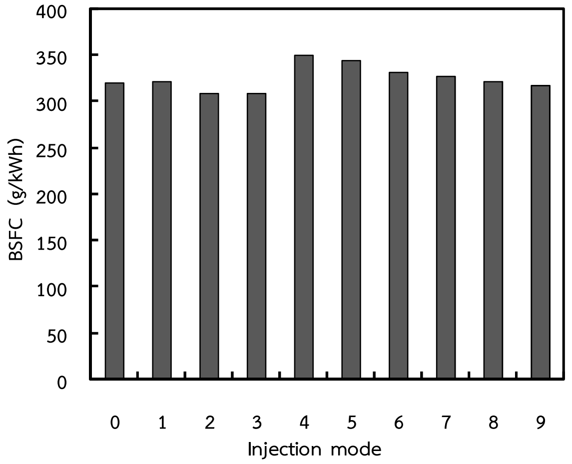
W_{pump} คือ กำลังงานที่ใช้ขับปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง (Watt)

ในกรณีของการทดสอบเครื่องยนต์ก่อนการดัดแปลง การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อนจะไม่พิจารณาถึงตัวแปร W_{pump} แต่จะนำมาพิจารณาในกรณีเครื่องยนต์หลังจากการดัดแปลงโดยติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าเข้าร่วมเพื่อขับเคลื่อนปั้มน้ำมันเชื้อเพลิง โดยค่า W_{pump} ได้จากการวัดกำลังทางไฟฟ้าของมอเตอร์ขณะที่ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงทำงาน

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

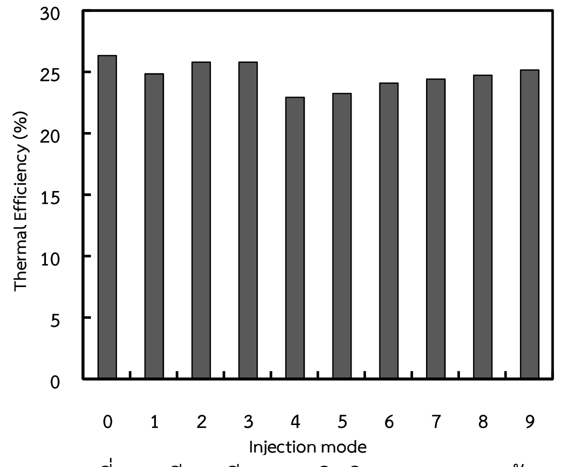
3.1 ประสิทธิภาพทางความร้อนและอัตราการสิ้นเปลือง

เมื่อเพิ่มความดันในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์มีค่าลดลง ดังรูปที่ 4 อันเนื่องมาจากการเพิ่มความดันที่สูงขึ้นทำให้น้ำมันสามารถถูกฉีดเป็นสเปร์ยได้ระยะทางที่เพิ่มขึ้นจึงก่อให้เกิดการเกาะตัวของละอองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผนังของห้องเผาไหม้ซึ่งสอดคล้องกับผลงานที่ผ่านมา [6] เป็นผลให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลง ดังรูปที่ 5 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพทางความร้อนโดยนำพลังงานที่มอเตอร์ไฟฟ้ามาขับปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงมาพิจารณาด้วย จากผลการทดลองพบว่า ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ที่ความดันการฉีด 500 บาร์ โดยมีรูปแบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงสามครั้ง ซึ่งมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำที่สุด อันเนื่องมาจากการเพิ่มความดันในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (>แบบกลไก) ประกอบกับการส่งเสริมการผสมกันระหว่างน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศในห้องเผาไหม้



รูปที่ 4 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเทียบกับแรงดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงที่ภาระโหลด50 %

อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์หลังการดัดแปลงนั้นมีค่าน้อยกว่าเครื่องยนต์ก่อนดัดแปลงเล็กน้อยแม้ว่าจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะต่ำกว่า อันเนื่องมาจากผลการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าภายนอกมาขับเคลื่อนปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงความดันสูงซึ่งทำให้ผลรวมพลังงานที่ใช้ในระบบสูงขึ้น



รูปที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อน-แรงดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงที่ภาระโหลด50 %

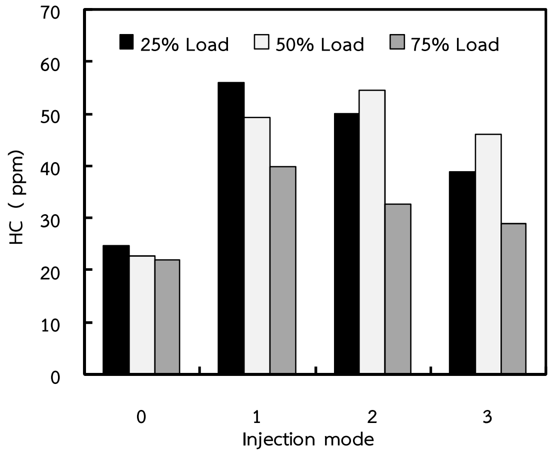
ความดันในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมีอิทธิพลโดยตรงต่อปริมาณมลพิษในไอเสีย กล่าวคือการฉีดเชื้อเพลิงที่แรงดันสูงจะทำให้เชื้อเพลิงที่ฉีดออกมานั้นมีความเป็นฝอยละอองที่ดีขึ้น จึงส่งผลให้ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศสามารถผสมเข้ากันได้ดี ดังนั้นปริมาณมลพิษ

โดยรวมที่ในไอเสียอันได้แก่ ไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนมอนนอกไซด์จึงมีปริมาณที่ต่ำ

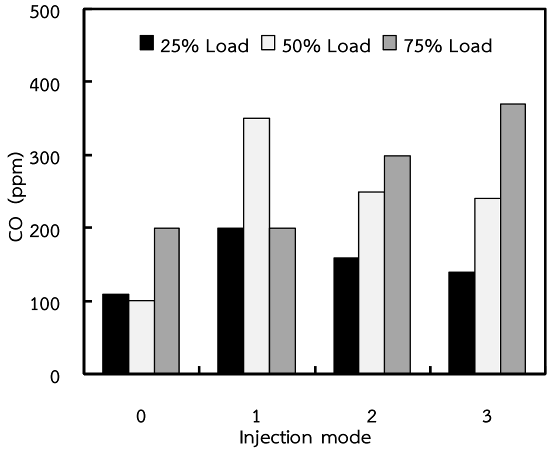
แต่ในทางตรงกันข้ามทำให้มีไนโตรเจนออกไซด์ที่สูงอันเนื่องจากมีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูง เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปริมาณของ ไนโตรเจนออกไซด์ที่สูง ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีความดันในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่มากเกินไปจะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงจะยึดเกาะตัวบริเวณผนังห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญให้กระบวนการเผาไหม้แย่ลงและยังก่อให้เกิดไฮโดรคาร์บอนตกค้างจากการเผาไหม้สูง และอุณหภูมิเผาไหม้ที่ลดลงทำให้ไนโตรเจนออกไซด์ลดลง นอกจากนี้รูปแบบของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงยังส่งผลกระทบต่อมลพิษในไอเสียอีกด้วย ซึ่งพบว่า ลักษณะการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในหนึ่งกลวัตรการทำงาน เมื่อทำการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยจำนวนครั้งที่มากขึ้น จะทำให้ปริมาณของมลพิษโดยรวมที่ออกมามีค่าลดลง เนื่องจากทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงผสมเข้ากับอากาศได้ดีขึ้นและการพุ่งของสเปรย์ฉีดลดลงจึงลดการยึดเกาะตัวบริเวณผนังห้องเผาไหม้ซึ่งสอดคล้องกับการอภิปรายในงานวิจัยที่ผ่านมา [6,10,11] นอกจากนี้ปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ลดลงเมื่อเทียบกับรูปแบบการฉีดเพียงครั้งเดียวในหนึ่งกลวัตรการทำงาน ซึ่งช่วยลดการเกิดการเผาไหม้บริเวณส่วนผสมหนา ซึ่งส่วนมากจะพบบริเวณใจกลางของลำน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกมา ทั้งนี้ปริมาณของมลพิษที่ถูกปล่อยออกมานั้น ขึ้นอยู่กับภาระการทำงานของเครื่องยนต์ด้วย โดยพบว่าที่ภาระการทำงานที่สูงจะส่งผลให้อัตราการป้อน น้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปในห้องเผาไหม้มีปริมาณที่สูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้อัตราการปลดปล่อยมลพิษในแต่ละกลวัตรการเผาไหม้มีปริมาณที่สูงขึ้นตามไปด้วย

3.2 ปริมาณไฮโดรคาร์บอน

ปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ทดสอบที่ติดตั้งระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกับระบบเดิมซึ่งเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก แต่ในบางกรณีพบว่ามีค่าสูงกว่าเนื่องจากมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้ความดันสูงซึ่งทำให้มีการเกาะตัวของละอองน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่ภาระงานของเครื่องยนต์ ที่แตกต่างกัน สามารถสังเกตได้ว่า รูปแบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง แบบ หลัก (Main) เพียงครั้งเดียวด้วยแรงดันสูง ทำให้เกิดรูปแบบการกระจายตัวของฝอยละอองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ มีฝอยละอองของน้ำมันเชื้อเพลิงเกาะกันเป็นฟิล์มบางๆที่ผนังของกระบอกสูบ ส่งผลให้มีปริมาณของไฮโดรคาร์บอนมากกว่าที่การทำงานในรูปแบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงแบบ การฉีดล่อ (Pilot) และการฉีดหลัก (Main) (ฉีด 2 ครั้ง) กับรูปแบบการฉีด แบบการฉีดล่อ (Pilot) การฉีดหลัก (Main) และการฉีดภายหลัง(Post) (ฉีด 3 ครั้ง) พบว่ามีการปล่อยปริมาณไฮโดรคาร์บอน ออกมาในปริมาณที่สูงกว่าเครื่องยนต์เดิมที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก



รูปที่ 6 ปริมาณของไฮโดรคาร์บอนที่โหมดการฉีดที่ 0, 1, 2 และ 3



รูปที่ 7 ปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่โหมดการฉีดที่ 0, 1, 2 และ 3

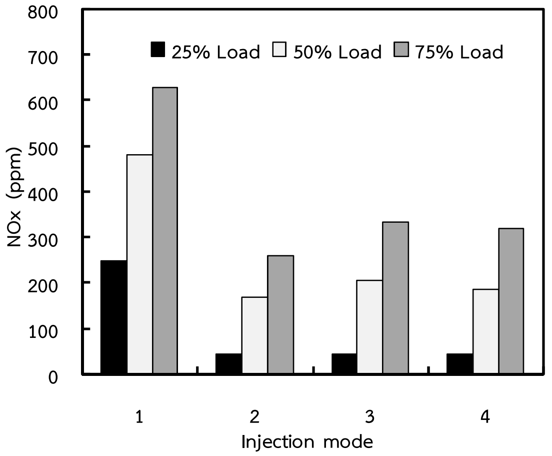
3.3 ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์

ในรูปที่ 7 แสดงปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์พบว่า ปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์มีปริมาณสูงมากกว่าเครื่องยนต์ก่อนดัดแปลงระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงโดยภาพรวมของเครื่องยนต์ทดสอบ ซึ่งติดตั้งระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ มีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์และปริมาณของไฮโดรคาร์บอนสูง

ซึ่งสอดคล้องกันตามธรรมชาติของการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ เนื่องจากเครื่องยนต์มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ โดยมีปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ เพิ่มขึ้นไปพร้อมๆกับปริมาณไฮโดรคาร์บอน

3.4 ปริมาณไนโตรเจนออกไซด์

ค่าปริมาณของ ไนโตรเจนออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ที่ติดตั้งระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบคอมมอนเรล มีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก ดังรูปที่ 8 โดยที่เครื่องยนต์ที่ติดตั้งระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ สามารถลดการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ ลงได้ถึง 50% จากเดิมที่ภาระงาน 75 % ซึ่งเป็นผลมาจากเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบคอมมอนเรลในการทดลองนี้ ทำงานด้วยแรงดันที่สูงกว่าระบบเดิมซึ่งเป็นแบบกลไก มีการฉีดน้ำมันเป็นลำสเปร์ยที่ระยะเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการเกาะตัวบริเวณห้องเผาไหม้ เป็นผลให้กระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อุณหภูมิการเผาไหม้จึงลดลง ประกอบกับการใช้การฉีดในหนึ่งกลวัตรมากกว่าหนึ่งครั้งช่วยลดอัตราการเกิดความดันการเผาไหม้ซึ่งช่วยลดอัตราการปลดปล่อยความร้อนเป็นผลให้การก่อตัวของออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง



รูปที่ 8 ปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์ที่โหมดการฉีดที่ 0, 1, 2 และ 3

4. สรุปผลการศึกษา

ระบบต้นแบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ติดตั้งในเครื่องยนต์การเกษตร 1 สูบโดยมีการควบคุมรูปแบบในการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและความดันการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น พบว่า ระบบฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไก โดยที่สามารถทำรูปแบบการฉีดได้สามครั้งในหนึ่งกลวัตรการฉีด คือฉีดล่อ ฉีดหลัก และ ฉีดหลัง ซึ่งเป็นรูปแบบการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลการเกษตร โดยพิจารณจากการปล่อยมลพิษออกมาในระดับที่ต่ำกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งสามารถลดได้กว่า 50% ซึ่งมลพิษดังกล่าวเป็นมลพิษหลักที่เกิดขึ้นในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล โดยที่ไม่ต้องพึ่งระบบบำบัดไอเสีย นอกจากนี้การพัฒนาและเลือกใช้ปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงความดันสูงและหัวฉีดให้เหมาะสมกับขนาดเครื่องยนต์นั้นมีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์ได้โดยการลดภาระและความสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Hwang J.W., Ka H.J., Kim M.H., Park J.K., Shenghua L., Martychenko A.A. and Chae J.O. “Effect of Fuel Injection Rate on Pollutant Emissions in DI Diesel Engine” SAE 1999-01-0195, 1999, pp.1-10.

[2] Chiatti G., Chiavola O. and Palmieri F. “Phenomenological Approach for Common Rail Diesel Engine Emission and Performance Prediction” SAE 2010-01-0874, 2010, pp.1-10.

[3] Hotta Y., Inayoshi M. and Nakakita K. "Achieving Lower Exhaust Emissions and Better Performance in an HSDI Diesel Engine with Multiple Injection" R&D Review of Toyota CRDL Vol. 37 No. 3, pp.9-16

[4] Dober G., Tullis S., Greeves G., Milovanovic N., Hardy M. and Zuelch S. “The Impact of Injection Strategies on Emissions Reduction and Power Output of Future Diesel Engines” SAE 2008-01-0941, 2008, pp.1-10.

[5] Zhu K-Q, Xu Q-K, Mao X-J, Zhuo B, and Wang J-X. “Experiment-based software optimization for multiple-injection control in a common-rail system” IMechE 2008 Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2008, pp.1717-1728.

[6] Abdullah N.R., Wyszynski M.L., Tsolakis A., Mamat R., Xu H.M. and Tian G. “Combined effects of pilot quantity, injection pressure and dwell periods on the combustion and emission behavior of a modern V6 diesel engine” Archivum Combustionis Vol. 30 no. 4, 2010, pp.481-492.

[7] Wloka J., Pflaum S. and Wachtmeister G. “Potential and Challenges of a 3000 Bar Common-Rail Injection System Considering Engine Behavior and Emission Level” SAE Int. J. Engines Volume 3 Issue 1 SAE 2010-01-1131, 2010, pp.801-814.

[8] Lee S., Kook S., Choi W. and Bae C. “The Combined Effect of Multi-hole Injector with Pilot Injection and EGR in a HSDI Diesel Engine” IMeche International Combustion Engine Performance & Emissions Conference, pp.1-10.

[9] Bunes O. and Einang P.M. “Comparing the performance of the common rail fuel injection system with the traditional injection system using computer aided modeling and simulation” MARINTEK paper at ENSUS 2000, pp.1-12.

[10] C Beatrice, P Belardini, C Bertoli, MG Lisbona and GM Rossi Sebastiano " Diesel combustion control in common rail engines by new injection strategies" International Journal of Engine Research 2002 pp. 23-36

[11] S Tonini, M Gavaises, A Theodorakakos and G E Cossali " Numerical investigation of a multiple injection strategy on the development of high-pressure diesel sprays" Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering 2010 pp. 125-141