วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008

บทความวิจัย

ผลของความดันฉีดต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวเพื่อการเกษตร

วุฒิชัย สิทธิวงษ์ *

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: sittiwong@gmail.com

วันที่รับบทความ: 21 กุมภาพันธ์ 2567 ; วันที่ทบทวนบทความ: 30 พฤษภาคม 2567; วันที่ตอบรับบทความ: 1 กรกฎาคม 2567
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 22 สิงหาคม 2567

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานกับระบบฉีดเชื้อเพลิงความดันสูงในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวทางการเกษตร ในการทดลอง ทำการปรับเปลี่ยนระบบฉีดเชื้อเพลิง โดยใช้ปั๊มแรงดันสูงกับรางร่วมความดันสูง (Common Rail) การฉีดเชื้อเพลิงของหัวฉีดถูกควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ปั๊มแรงดันสูงถูกขับด้วยเครื่องยนต์ทดสอบ ทำการทดลองเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระหว่างระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานกับระบบฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูง นอกจากนี้ ทำการเปลี่ยนแปลงความดันฉีดเชื้อพลิงจาก 300 bar 400 bar และ 500 bar ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm 1,600 rpm และ 1,800 rpm ผลการวิจัยพบว่าความดันฉีดเชื้อเพลิงมีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์นั้น การฉีดเชื้อเพลิงความดันสูงจะมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่ากรณีการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานเมื่อเครื่องยนต์มีภาระ ในส่วนของผลการปล่อยมลพิษนั้นพบว่า หากเครื่องยนต์ได้รับภาระระบบฉีดเชื้อเพลิงความดันสูงจะมีมลพิษต่ำกว่าระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นหากเพิ่มภาระให้กับเครื่องยนต์

คำสำคัญ: รางร่วมความดันสูง; สเปรย์น้ำมัน; ระบบฉีดเชื้อเพลิงความดันสูง

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008

บทความวิจัย

Effect of Injection Pressure to Fuel Consumption of Single Cylinder Diesel Engine for Agriculture

Wuttichai Sittiwong*

Division of Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan
* Corresponding author, E-mail: sittiwong@gmail.com

Received: 21 February 2024; Revised: 30 May 2024; Accepted: 1 July 2024
Online Published: 22 August 2024

Abstract: The aim of this research is to compare fuel consumption from standard fuel injection systems with high-pressure fuel injection systems in agricultural single-cylinder diesel engines. In the experiment, modifications were made to the fuel injection system by using a high-pressure pump and a high-pressure rail (common rail). The fuel injection of the injector is electronically controlled. The high-pressure pump is driven by a test engine, Experiments were conducted to compare fuel consumption between standard fuel injection systems and high-pressure fuel injection systems. In addition, the fuel injection pressures were varied from 300 bar, 400 bar, and 500 bar at engine speeds of 1,200 rpm, 1,600 rpm, and 1,800 rpm. The results showed that fuel injection pressure affects the fuel consumption rate and emissions of the engine. High-pressure fuel injection will have lower fuel consumption than standard fuel injection cases when the engine is loaded. In terms of emission results, it was found that if the engine is loaded, the high-pressure fuel injection system would be less polluting than the standard fuel injection system, which will increase if the load on the engine is increased.

Keywords: Common rail; Fuel spray; High pressure fuel injection system

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008

1. บทนำ

ในประเทศไทย เครื่องยนต์ดีเซลถูกใช้อย่างกว้างขวางโดยเฉพาะภาคขนส่ง เช่นเดียวกับภาคเกษตรกรรมที่มีการใช้เครื่องยนต์ดีเซลโดยเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวที่มีจำหน่ายในประเทศมีกำลังถึง 20 แรงม้า ได้รับความนิยมเนื่องจากเคลื่อนย้ายได้สะดวก การบำรุงรักษาทำได้ง่าย ราคาไม่สูง เลือกใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลาย ประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น ใช้เป็นเครื่องสูบน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต้นกำลังของรถฟาร์มแทรกเตอร์ ต้นกำลังโรงสีข้าว เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความพยายามศึกษา วิจัย เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวให้มีประสิทธิภาพ ลดมลพิษ ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การใช้เชื้อเพลิงทางเลือก เชื้อเพลิงดีเซลผสมไบโอดีเซล [1, 2] พัฒนาระบบฉีดเชื้อเพลิงให้ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ [3] เป็นต้น

เครื่องยนต์ดีเซลสำหรับยานยนต์สมัยใหม่ใช้ระบบการฉีดเชื้อเพลิงความดันสูง ที่ควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วมความดันสูง หรือ Common Rail ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพ ประหยัดเชื้อเพลิงและลดมลพิษ แต่เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวยังคงใช้ระบบป้อนเชื้อเพลิงแบบกลไกพื้นฐานที่พัฒนาขึ้นเมื่อกว่า 30 ปีที่แล้ว [4]

ดังที่กล่าวในข้างต้น ปัจจุบันระบบการฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะ ยังเป็นการฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ (Direct Injection, Di) ด้วยระบบกลไก ความดันฉีดเชื้อเพลิงสูงสุดประมาณ 200 bar ซึ่งต่างจากเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ หรือยานพาหนะสำหรับงานหนัก (Heavy Duty Vehicles) ที่ใช้ระบบ Common Rail ที่มีความดันสูงกว่า 2,000 bar [5] ซึ่งความดันฉีดเชื้อเพลิงที่สูงนี้จะทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการแตกตัวเป็นละอองที่มีขนาดเม็ดน้ำมันเล็กลงส่งผลให้เกิดการผสมกับอากาศได้ดีขึ้น นอกจากนี้หากความดันฉีดน้ำมันสูงมากจนทำให้ความเร็วของสเปรย์น้ำมันสูงกว่าความเร็วเสียง (Supersonic) จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำอากาศเข้าสู่แกนกลางของลำพุ่งน้ำมัน (Core Fuel Jets) และอุณหภูมิน้ำมันจะสูงขึ้นทำให้การระเหยตัวของน้ำมันดีขึ้น [6] นอกจากการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงจะเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงซึ่งจะเพิ่มสมรรถนะเครื่องยนต์แล้วยังลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้อีกด้วย [7, 8]

นอกจากนี้ เมื่อเครื่องยนต์สามารถฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงขึ้นได้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันทางเลือก เช่น น้ำมันสบู่ดำที่มีความหนาแน่น ความหนืดจลน์ จุดวาบไฟ จุดติดไฟ สูงกว่าน้ำมันดีเซล ได้ดีกว่าที่ความดันฉีดปกติ และเมื่ออุณหภูมิห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิปกติ น้ำมันสบู่ดำก็สามารถแตกตัว (Atomization) ได้ดีขึ้น [9]

จากข้อดีของการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงและระบบฉีดเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบที่ยังมีความดันต่ำ มีนักวิจัยพยายามที่จะพัฒนาระบบฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบนี้ Sittichompoo *et.al.* [10] ได้ทำการดัดแปลงระบบฉีดเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ ยี่ห้อ YANMAR TF-DI90 ให้ปรับแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิงระหว่าง 500 bar ถึง 1,100 bar ควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ จากการทดลอง พบว่า NO_X น้อยกว่าเครื่องยนต์เดิมประมาณ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008

50% แต่อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มิได้ใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์โดยตรง แต่ใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งทำให้เครื่องยนต์ไม่ได้รับภาระจากการขับปั๊มน้ำมันแรงดันสูงโดยตรง

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบฉีดเชื้อเพลิงความดันสูงในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว และศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงความดันสูงเปรียบเทียบกับระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบมาตรฐานจากผู้ผลิตเครื่องยนต์

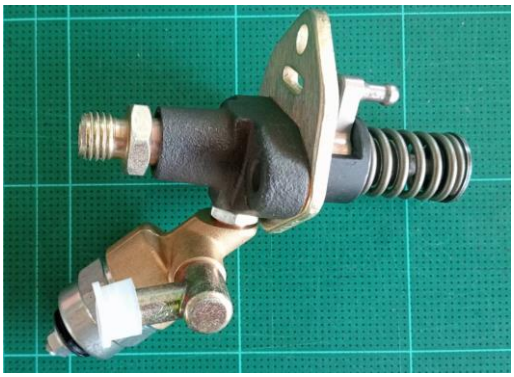
2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วิธีการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัย การทดลองระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานจากผู้ผลิตเปรียบเทียบกับระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงที่ทำการพัฒนาขึ้นโดยใช้ต้นกำลังขับจากเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ ดังนั้นภาระของเครื่องยนต์คือปั๊มแรงดันสูงที่เปลี่ยนแปลงตามความดันฉีดซึ่งอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่เกิดขึ้นจะเป็นพลังงานที่ใช้ขับปั๊มแรงดันสูงด้วย ดังนั้นภาระของเครื่องยนต์จะไม่คงที่หรือภาระของเครื่องยนต์จะเปลี่ยนแปลงตามความดันของระบบฉีดเชื้อเพลิง ภาระของเครื่องยนต์จะสูงขึ้นเมื่อความดันในระบบฉีดเชื้อเพลิงสูงขึ้น และระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงเป็นแบบควบคุมหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้น

การทดลองจะทำการเปลี่ยนแปลงความดันในการฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ในสภาวะห้องเผาไหม้จริงเปรียบเทียบกับความดันฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันใช้กับเครื่องยนต์มาตรฐาน (ความดันของระบบเดิมที่ติดตั้งมาพร้อมเครื่องยนต์) โดยมีรายละเอียด คือ เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความดันฉีดสูงกว่าความดันมาตรฐานจนถึงความดันสูงสุดที่สามารถทำการทดลองได้ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ เครื่องยนต์ไม่มีภาระจากภายนอกอื่น โดยเครื่องยนต์มาตรฐานใช้การสร้างแรงดันฉีดด้วยปั๊มเชื้อเพลิงที่สร้างแรงอัดหรือความดันจากลูกเบี้ยวของเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 1 ในส่วนของหัวฉีดของเครื่องยนต์มาตรฐานเป็นแบบ Multiple Hole ดังรูปที่ 2

หัวฉีดทำหน้าที่ฉีดเชื้อเพลิงตรงเข้าห้องเผาไหม้ด้วยความดันที่ปั๊มเชื้อเพลิงที่สูงพอที่จะยกเข็มหัวฉีดนั่นคือ ความดันปั๊มจะทำหน้าที่ควบคุมการเปิดของเข็มหัวฉีดและเป็นแรงดันฉีด ซึ่งแรงดันส่วนหนึ่งที่ปั๊มเชื้อเพลิงสร้างขึ้นจะสูญเสียไปกับการชนะแรงสปริงของหัวฉีด



รูปที่ 1 ปั๊มเชื้อเพลิงเดิมของเครื่องยนต์

รูปที่ 2 หัวฉีดเชื้อเพลิงเดิมของเครื่องยนต์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008

2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองจะทำการเปลี่ยนปั๊มเชื้อเพลิง หัวฉีด จากเครื่องยนต์เดิมออก ดังรูปที่ 3 ประกอบด้วย

1. เครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะ กำลัง 7HP ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบ Di ยี่ห้อ BENTO รุ่น BT-DE-7HP-HS ดังรูปที่ 3 มีรายละเอียดของเครื่องยนต์ ดังตารางที่ 1

2. ปั๊มจ่ายน้ำมัน หรือปั๊มแรงดันสูง (High Pressure Pump) ที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ระบบ Common Rail ยี่ห้อ DENSO รุ่น 4HK1/6HK1 ทำหน้าสร้างแรงดัน 500 - 1,900 bar จ่ายไปสะสมที่รางร่วม การทดลองนี้ปั๊มจะถูกเครื่องยนต์ขับโดยตรง

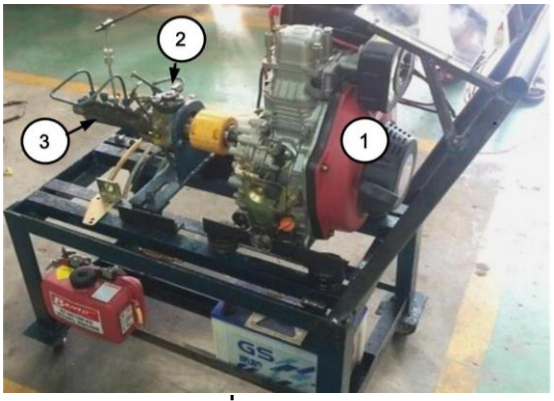
3. รางร่วมทำหน้าที่จัดเก็บเชื้อเพลิงแรงดัน (0 - 1,600 bar) [11] ที่ส่งจากปั๊มแรงดันสูงและจ่ายเชื้อเพลิงไปยังหัวฉีดแต่ละกระบอกสูบ รางร่วมความดันสูงจะประกอบด้วย

- ท่อจ่ายน้ำมันไปยังหัวฉีดทั้ง 4 หัว การทดลองนี้จะปิดท่อให้เหลือเพียง 1 หัวเท่านั้น

- ตัวจำกัดความดัน (Pressure Limiter) ทำหน้าที่ระบายแรงดันสะสมภายในรางร่วม หากความดันสูงถึง 2,000 bar และตัวจำกัดความดันจะปิด เมื่อความดันลดลงเหลือ 500 bar งานวิจัยนี้จะทำการดัดแปลงตัวจำกัดความดันให้สามารถควบคุมความดันระบายได้ด้วยการปรับความแข็งของสปริงวาล์วและวัดความดันรางด้วยเครื่องวัดความดันรางและเซ็นเซอร์ความดัน เซ็นเซอร์ความดัน (Pressure Sensor) รางร่วมทำหน้าที่ตรวจวัดแรงดันน้ำมันเชื้อเพลิงในรางร่วมและส่งสัญญาณไปยัง ECU ของเครื่องยนต์ ในการทดลองนี้จะถอดออกและติดตั้งเซ็นเซอร์ของเครื่องวัดความดันแทน ดังรูปที่ 4

ตารางที่ 1 ข้อมูลเฉพาะของเครื่องยนต์

Item	Technical specification
Engine	BENTO
Model	BT-DE-7HP-HS
Type	Single cylinder, 4-stroke, air-cooled, direct injection
Bore x Stroke(mm)	78 x 62
Speed (rpm)	3,600
Consumption rate (g/kW)	$\leq$ 4.08
Cooling type	Forced air-cooled system
Starting type	Electric start



รูปที่ 3 ชุดทดลอง

รูปที่ 4 เซนเซอร์เครื่องวัดความดันราง

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008

4. หัวฉีดเชื้อเพลิง ทำหน้าที่ฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ในจังหวะระเบิด หัวฉีดเดิมของเครื่องยนต์เป็นหัวฉีดแบบรูที่เปิดด้วยความดันของปั๊ม แต่เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการเปิดได้เนื่องจากแรงดันที่สะสมในรางร่วมในการทดลองมีความดันสูงกว่าความดันเปิดของหัวฉีดเดิม ดังนั้นการทดลองจึงใช้หัวฉีดแบบรูที่ควบคุมการเปิดด้วยไฟฟ้า ดังรูปที่ 5 เป็นหัวฉีดคอมมอนเรล ชนิด 6 รู ที่ใช้กับปั๊ม DENSO รุ่น 4HK1/6HK1 ขนาดรูฉีด 0.09 mm รูปทรง (Nozzle Shaping) แบบ Smoothed Hydro-erosion ปริมาตร Mini-sac 0.2 mm^3

5. เครื่องวัดความดันรางร่วม FOXWELL รุ่น CRD 700 สามารถวัดความดันที่ช่วง 0 – 2,000 bar Sensor Accuracy: +/- 1% ทำหน้าที่วัดความดันรางหัวฉีดเพื่อให้ทราบค่าความดันสะสมในรางร่วม ดังแสดงในรูปที่ 6 เครื่องวัดความดันรางจะแตกต่างจากเครื่องวัดความดันโดยทั่วไป คือ สามารถวัดความดันที่เป็น Dynamics Pressure ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องมือวัดความดันจะวัด Statics Pressure

6. ชุดควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง ในรูปที่ 7 ถูกออกแบบและสร้างขึ้นให้สามารถควบคุมเวลาการเปิดของหัวฉีดได้ โดยการรับสัญญาณจากเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์และควบคุมการทำงานของหัวฉีดโดยตรง ชุดควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงรับสัญญาณจากเซนเซอร์ ที่ติดตั้งที่เพลาลูกเบี้ยวของเครื่องยนต์ที่ตำแหน่ง 20° BTDC ซึ่งเป็นจังหวะฉีดเชื้อเพลิงเดิมของเครื่องยนต์ ค่าความถี่ (F) ของการยกเข็มหัวฉีดได้ 1- 40 Hz และค่าพัลส์ (P) เป็นเวลาที่หัวฉีดเริ่มยกจนสิ้นสุดการยกอยู่ที่ 100-6,000 ไมโครวินาที

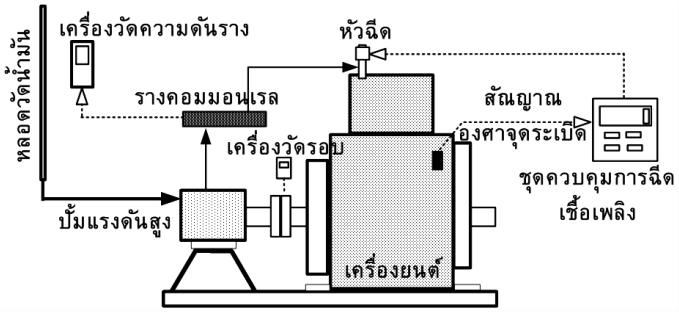
รูปที่ 5 หัวฉีดคอมมอนเรล

รูปที่ 6 เครื่องวัดความดันราง

รูปที่ 7 ชุดควบคุมการฉีดเชื้อเพลิง

โดยการทดลองจะตั้งความถี่ในการยกเข็มหัวฉีดไว้ที่ 40 Hz หรือ 40 ครั้งต่อวินาที และควบคุมเวลาในการยกหรือค่าพัลส์ ให้ได้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ต้องการทดลองและปรับตัวจำกัดความดันรางให้เหมาะสมไปพร้อมกันก่อนเริ่มบันทึกผลการทดลอง โดยที่อุปกรณ์ถูกติดตั้งดังรูปที่ 8

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008



รูปที่ 8 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

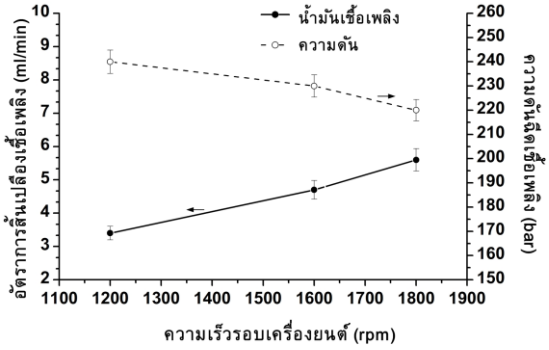
การทดลองจะทำการปรับตั้งความดัน โดยเริ่มต้นให้ความดันฉีดสูงกว่าความดันฉีดของระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (ความดันของระบบเดิมที่ติดตั้งมาพร้อมเครื่องยนต์) และเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเครื่องยนต์ด้วยการควบคุมปริมาณการฉีดของเชื้อเพลิง

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานไม่มีภาระ

การทดลองหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงด้วยระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm 1,600 rpm และ 1,800 rpm ที่สภาวะเครื่องยนต์ไม่มีภาระจากภายนอก ผลการทดลองจะแสดงในรูปที่ 9

จากรูปที่ 9 แสดงผลการทดลองอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ดีเซลของระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดมาตรฐานจากผู้ผลิต จากการทดลองพบว่า ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm ความดันฉีดของปั๊มที่ 240 bar อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง เฉลี่ยอยู่ที่ 3.4 ml/min ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm ความดันฉีดลดลงเหลือ 230 bar อัตรา



รูปที่ 9 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน

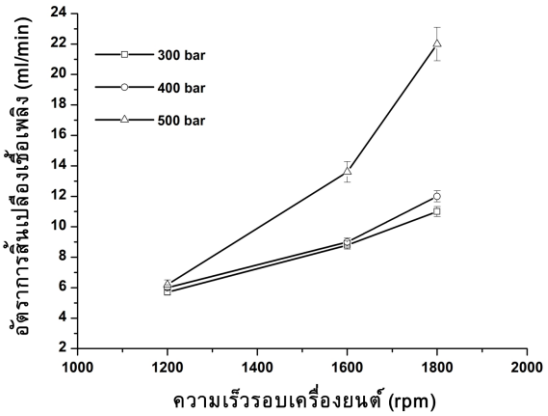
การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เฉลี่ยอยู่ที่ 4.7 ml/min และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1800 rpm ความดันฉีดเป็น 220 bar อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ที่ 5.6 ml/min นั่นสดงว่า เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นตาม และความดันของปั๊มลดลงซึ่งเกิดจากเวลาในการสะสมความดันในท่อส่งน้ำมันลดลงทำให้ความดันในระบบลดลง และเวลาในการอัดน้ำมันของลูกปั๊มลดลง ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ให้การแตกตัว (Atomization) ของน้ำมันลดลง ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้นในการสเปรย์น้ำมันเข้าห้องเผาไหม้

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008

3.2 อัตราการสิ้นเปลืองของระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานที่มีภาระขับปั๊ม

การทดลองนี้จะใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงเดิมของเครื่องยนต์ และให้ภาระจากภายนอกด้วยการติดตั้งปั๊มจ่ายน้ำมัน (Supply Pump) หรือปั๊มแรงดันสูงที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ระบบ Common Rail ยี่ห้อ DENSO รุ่น 4HK1/6HK1 ซึ่งจะใช้ทดสอบเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ภาระเดียวกันกับการทดลองในหัวข้อถัดไป

ภาระของเครื่องยนต์ คือ ภาระในการเป็นต้นกำลังขับปั๊มที่ควบคุมความดันในรางไว้เพียง 300 bar 400 bar และ 500 bar เท่านั้น เนื่องจากการทดลองในเบื้องต้นพบว่าหากเพิ่มความดันรางขึ้นจะไม่สามารถควบคุมความเร็วรอบเครื่องยนต์ได้ หรือเครื่องยนต์ไม่สามารถรับภาระจากภายนอกได้ ดังนั้นผลการทดลองต่อจากนี้ไปจึงควบคุมความดันรางที่ 300 bar 400 bar และ 500 bar ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm 1,600 rpm และ 1,800 rpm เท่านั้น อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันได้ผลดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ภาระ 300 bar 400 bar และ 500 bar

ในรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm อัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์ระบบฉีดมาตรฐานที่ภาระขับปั๊มให้มีความดัน 300 bar (ภาระของเครื่องยนต์เป็นต้นกำลังขับปั๊มที่ควบคุมความดันในรางไว้ 300 bar) เฉลี่ยอยู่ที่ 5.7 ml/min ที่ภาระ 400 bar เป็น 6.0 ml/min และที่ภาระความดัน 500 bar เฉลี่ยอยู่ที่ 6.2 ml/min

ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน ที่ภาระ 300 bar เฉลี่ยอยู่ที่ 8.8 ml/min ที่ภาระ 400 bar เฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 9.0 ml/min และที่ภาระ 500 bar อยู่ที่ 13.6 ml/min

ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 rpm อัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์ที่ภาระ 300 bar เฉลี่ยอยู่ที่ 11.0 ml/min ที่ภาระ 400 bar เฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 12 ml/min และที่ภาระ 500 bar เฉลี่ยอยู่ที่ 22 ml/min

จากผลการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์และความดันรางร่วมสูงขึ้น อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้น และที่ความดันรางร่วม 300 bar และ 400 bar แนวโน้มของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไม่ต่างกัน แต่ที่ความดันรางร่วม 500 bar อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงขึ้น นั่นแสดงว่าความดันสะสมในรางร่วมอาจเป็นภาระที่ไม่จำเป็นของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งต่างจากความดันฉีดของระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานของเครื่องยนต์ในรูปที่ 9 ที่ความเร็วรอบสูงขึ้นความดันฉีดจะลดลงเนื่องจากเวลาของการอัดลูกปั๊มของปั๊มจ่ายน้ำมันเร็วขึ้น ความดันสะสมในระบบท่อฉีดเชื้อเพลิงจึงลดลงดังที่ได้กล่าวไปแล้ว แต่ระบบฉีดเชื้อเพลิงความดันสูงที่พัฒนาขึ้นใช้รางร่วมสะสมความดัน ความดันในราง

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008

ร่วมจึงไม่ลดลง เมื่อเวลาในการเผาไหม้ลดลงเนื่องจากความเร็วรอบที่สูงขึ้นทำให้การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงขึ้นตาม ถึงแม้จะลดเวลาในการเปิดหัวฉีดให้น้อยที่สุด แต่ปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงยังสูงเนื่องจากแรงดันฉีด

อีกประการหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาคือ จะเห็นได้ว่ากรณีใช้ปั๊มมาตรฐานจากผู้ผลิต ที่ภาระของความดันรางที่ 500 bar อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะสูงมากจึงต้องพิจารณาต่อไปว่าหากจะนำระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงกับรางร่วมมาใช้แทนระบบเดิมจะมีความเหมาะสมกว่า

3.3 อัตราการสิ้นเปลืองของระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง

จากผลการทดลองระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (ระบบเดิมที่ติดตั้งมาจากผู้ผลิต) ที่มีภาระจากการขับปั๊มแรงดันสูงสามารถทำงานที่ภาระจากความดันรางร่วม 300 400 และ 500 bar ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm 1,600 rpm และ 1,800 rpm นั้น ผลการทดลองในส่วนนี้จึงทำการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยใช้ปั๊มแรงดันสูงและรางร่วมที่ความดันและความเร็วรอบเดียวกัน โดยไม่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงของเดิม

ผลการทดลองจากรูปที่ 11 เป็นผลจากการหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากปั๊มแรงดันสูงกับรางร่วมโดยไม่ใช้ระบบปั๊มเดิม พบว่า ที่ความเร็วรอบ 1,200 rpm อัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์ที่ความดันราง 300 bar เฉลี่ยอยู่ที่ 3.3 ml/min ที่ความดันราง 400 bar เฉลี่ยอยู่ที่ 4.2 ml/min และที่ความดันราง 500 bar เฉลี่ยที่ 5.2 ml/min

ที่ความเร็วรอบ 1,600 rpm อัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์ที่พัฒนาระบบฉีดเชื้อเพลิง ที่ความดันราง 300 bar อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ที่ 5.0 ml/min ที่ความดัน 400 bar เฉลี่ยอยู่ที่ 6.2 ml/min และที่ความดันราง 500 bar เฉลี่ยอยู่ที่ 8.4 ml/min

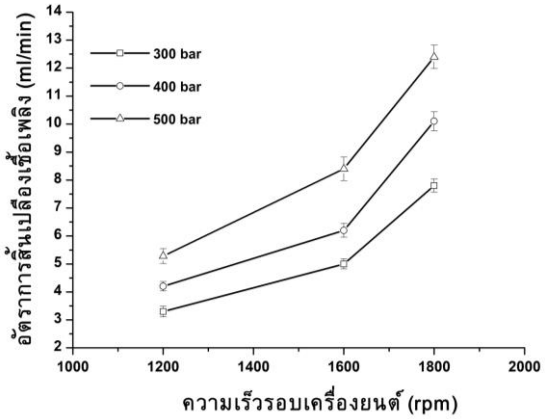
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,800 rpm อัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์ ที่ความดันราง 300 bar เฉลี่ยอยู่ที่ 7.8 ml/min ที่ความดันราง 400 bar เฉลี่ยที่ 10.1 ml/min และที่ความดัน 500 bar เฉลี่ยที่ 12.4 ml/min

3.4 เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

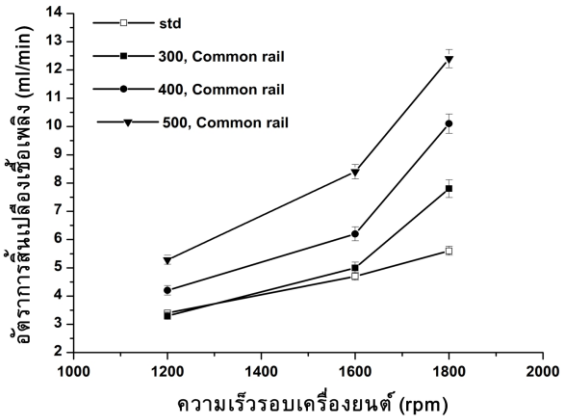
รูปที่ 12 เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองกรณีเครื่องยนต์ดีเซลใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดตรงมาตรฐาน (std) กับเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงที่ความดันราง 300 bar (300, Common Rail) 400 bar (400, Common rail) และ 500 bar (500, Common Rail)

จากรูปที่ 12 จะเห็นว่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่เกิดจากระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานจากผู้ผลิตโดยที่การทดลองไม่มีภาระ ที่ความเร็วรอบต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้ปั๊มแรงดันสูงร่วมกับรางร่วม โดยเฉพาะที่ความดันราง 300 bar (300, Common Rail) นั่นแสดงว่าการใช้แรงดันสูงขึ้นจากความดันมาตรฐาน (ประมาณ 240 bar) มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้อยมาก หากเพิ่มความดันฉีดสูงขึ้นเป็น 400 bar อัตราการสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนัก ในทุกความดันราง แต่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm เป็น1,800 rpm แนวโน้มอัตราการสิ้นเปลืองสูงขึ้นมาก

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008

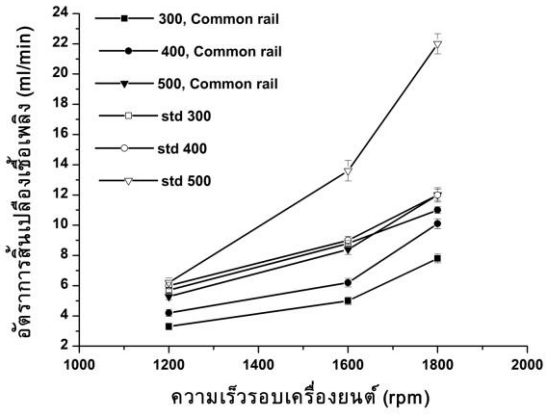


รูปที่ 11 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแรงดันสูง



รูปที่ 12 เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

รูปที่ 13 เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง กรณีเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดตรงมาตรฐาน (std) ที่มีภาระจากการขับปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงที่ 300 bar (std 300) 400 bar (std 400) และ 500 bar (std 500) กับเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงที่ความดันราง 300 bar (300, Common rail) 400 bar (400, Common Rail) และ 500 bar (500, Common Rail)



รูปที่ 13 เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อเปลี่ยนแปลงภาระ

จากผลการทดลองพบว่า หากใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานที่มีภาระขับปั๊มแรงดันสูงให้มีความดันรางร่วมต่างๆ ในเบื้องต้น อัตราการสิ้นเปลืองจะสูงกว่าการใช้เครื่องยนต์ขับปั๊มแรงดันสูงและใช้รางร่วมฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องสันดาป ซึ่งสรุปได้ว่าหากเครื่องยนต์มีภาระ ระบบฉีดเชื้อเพลิงความดันสูงจะยังคงประหยัดเชื้อเพลิงกว่าระบบมาตรฐาน โดยเฉพาะที่รอบเครื่องยนต์สูงขึ้นและภาระเครื่องยนต์มากขึ้น

3.5 ผลการปลดปล่อยก๊าซจากการเผาไหม้

จากการผลการทดลองวัดค่าการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ในรูปที่ 14 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในรูปที่ 15

ค่าของ CO และ CO_2 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐาน (std) และเครื่องยนต์ไม่มีภาระที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ มีระดับต่ำกว่ากรณีการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูง ซึ่งสาเหตุที่เป็นไปได้คือการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันต่ำเกิดการกระจายของน้ำมัน (Atomization) และระยะของการฉีด

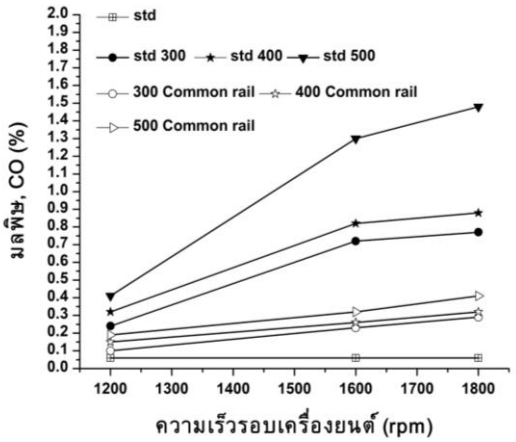
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008

(Penetration) อยู่ในวงที่แคบ และการสะสมของน้ำมันในห้องเผาไหม้น้อย หากเมื่อเปรียบเทียบกับการเพิ่มความดันฉีด แต่อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ในกรณีการฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานที่เครื่องยนต์มีภาระ 300 bar (std 300) 400 bar (std 400) และ 500 bar (std 500) กับกรณีการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูง 300 bar (300 Common rail) 400 bar (400 Common rail) และ 500 bar (500 Common Rail) จะพบว่าการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงนั้นปลดปล่อยมลพิษน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาณควันดำที่เครื่องยนต์มาตรฐานที่ไม่มีภาระมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 20% แต่เมื่อเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงมาตรฐานมีภาระค่าความดันสูงถึง 58% (std 500) ส่วนเครื่องยนต์ฉีดเชื้อเพลิงความดันสูงมีค่าความดำสูงสุดเพียง 28% (500 Common Rail)

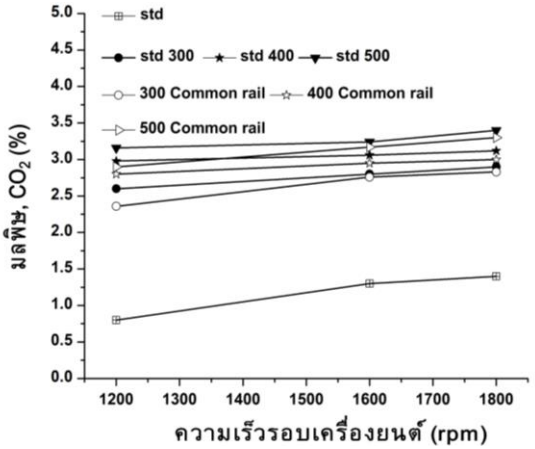
4. บทสรุป

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มีสมมุติฐานเบื้องต้นว่าการใช้ความดันฉีดเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้เครื่องยนต์ดีเซลมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลง การทดลองเครื่องยนต์สูบเดียว ขนาด 7 HP จะใช้ปั๊มแรงดันสูงและรางร่วมที่ความดันสูงกว่าความดันของระบบฉีดเชื้อเพลิงจากระบบฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เดิม (240 bar) เป็น 300 bar 400 bar และ 500 bar เท่านั้น เครื่องยนต์จึงจะสามารถขับปั๊มได้ด้วยการขับโดยตรง (อัตราทด 1:1)

จากผลการทดลองพบว่าที่ความดันฉีดเชื้อเพลิง 300 bar ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm และ 1,600 rpm มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เดิม แต่จะ



รูปที่ 14 ผลของการเปลี่ยนแปลงความดันฉีดต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์



รูปที่ 15 ผลของการเปลี่ยนแปลงความดันฉีดต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สูงมากหากความเร็วรอบสูงขึ้น หากเปรียบเทียบกันกับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของระบบฉีดเชื้อเพลิงเดิมที่มีภาระในการขับปั๊มพบว่าระบบฉีดเชื้อเพลิงความดันสูงมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่า ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาระบบฉีดเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ เพื่อการเกษตรด้วยการฉีด

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008

เชื้อเพลิงให้มีความดันสูงขึ้น ควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความแม่นยำสูงกว่า

นอกจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแล้ว การฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงยังมีผลโดยตรงกับการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ นั่นคือระบบการฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันต่ำหรือความดันมาตรฐานของเครื่องจะยิ่งปลดปล่อย CO และ CO_2 หากเครื่องยนต์ได้รับภาระและความเร็วรอบที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดจากน้ำมันไม่เกิดการแตกตัวเป็นละออง (Atomization) ของแกนสเปรย์น้ำมันและเกิดการสะสมน้ำมันที่ผนังห้องเผาไหม้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานการวิชัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณวิจัย ตลอดจนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ที่สนับสนุนการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] O. Nilaphai, The effect of acetone-butanol-ethanol blended diesel fuel on the engine stability of a single cylinder diesel engine, The Journal of Industrial Technology, 2020, 16(2), 89-103. (in Thai)

[2] N. Krasaelom, C. Damrongkijkosol and C.Trakunsaranakom, Study on the performance of small size diesel engine using fish oil blended with biodiesel as fuel, The Journal of Industrial Technology, 2021, 17(3), 99-112. (in Thai)

[3] Y.H. Teoh, H.G. How, C.G. Peh, T.D. Le, and H.T. Nguyen, Implementation of common rail direct injection system and optimization of fuel Injector parameters in an experimental single-cylinder diesel engine, Processes, 2020, 8(9), 1-21.

[4] E.A. Salykin, A.A. Skorobogatov and V.I. Lipilin, Method of fuel injection in small diesel engines, Procedia Engineering, 2017, 206, 1552-1557

[5] M.K. Yesilyurt, The effects of the fuel injection pressure on the performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with waste cooking oil biodiesel-diesel blends, Renewable Energy, 2019, 132, 649-666.

[6] W. Sittiwong, K. Pianthong, W. Seehanam, A. Matthujak and C. Kasemnimitporn, Effect of temperature on the high speed diesel fuel jets behaviors, Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University, 2011, 13(2), 33-43. (in Thai)

[7] S.S. Alrwashdeh, Investigation of the effect of the injection pressure on the direct-ignition diesel engine performance, AIMS Energy, 2022, 10(2), 340-355.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.08.008

[8] T.M.K. Yesilyurt, The effects of the fuel injection pressure on the performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with waste cooking oil biodiesel-diesel blends, Renewable Energy, 2019, 132, 649-666.

[9] W. Sittiwong, K. Pianthong and W. Seehanam, Effect of test chamber temperature on the high speed jatropha oil blends with diesel fuel behaviors, The Journal of Industrial Technology, 2015, 11(3), 11-26. (in Thai)

[10] S. Sittichompoo, K. Theinnoi and B. Sawatmongkhon, Design and development of electronic fuel injection control system program for single cylinder diesel engine, ASIAN International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing Engineering, 2013, 6(1), 11-17.

[11] C. Showa, S. Kariya, K. Aichi, Common Rail System (CRS) Service Manual, Denso Corporation, Japan, 2011.