อิทธิพลของการฉีดไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ต่อลักษณะการเผาไหม้และมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล

Effects of Hydrogen and Dimethyl Ether Injection on Combustion and Emission Characteristic of Diesel Engine

วีระพล เกิดสิน[1,2] และ กัมปนาท เทียนน้อย[1,2*]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2]ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

*ติดต่อ: kampanart.t@cit.kmutnb.ac.th, +66 5552 2000 ต่อ 6244

บทคัดย่อ

ไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้ โดยพบว่ามีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และปริมาณเขม่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง งานวิจัยนี้นำไดเมทิลอีเทอร์มาฉีดผสมกับไฮโดรเจนร่วมกับอากาศภายในท่อร่วมไอดีในปริมาณ 5% และ 10% โดยมวลของเชื้อเพลิงและใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลักในเครื่องยนต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนและลดปริมาณการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ ซึ่งพบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงร่วมที่ดีที่สุดคือ 30%ไดเมทิลอีเทอร์ และ 10% ไฮโดรเจน ซึ่งมีส่งผลให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ดีขึ้น (13%) โดยมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และปริมาณเขม่าและควันดำลดลงร้อยละ 14 และ 55 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงอัตราการฉีดไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์จะส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบและประสิทธิภาพเชิงความร้อน ดังนั้นอัตราการป้อนไดเมทิลอีเทอร์และไฮโดรเจนร่วมกับเชื้อเพลิงดีเซลที่เหมาะสมกับสภาวะการทำงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมที่สูงขึ้นและมีอัตราการปลดปล่อยมลพิษที่ลดลง

คำหลัก: เครื่องยนต์ดีเซล; เชื้อเพลิงร่วม; น้ำมันดีเซล; ไฮโดรเจน; ไดเมทิลอีเทอร์

Abstract

Dimethyl Ether is the one of alternative fuel which has an attribute to use in diesel engine. In additions, the amount of exhaust gas emissions such as carbon dioxide, nitrogen oxide and soot that can be reduced when compared with engine fuelled with diesel. This research was injected Dimethyl Ether and hydrogen with air intake in manifold port. In additions, the concentrations of hydrogen are 5% and 10% by mass fraction of primary fuel and the engine is operated with diesel fuel as a primary fuel. In order to enhance thermal efficiency and to reduce exhaust gas emission from engine. The results illustrated that the engine operated with 30% of dimethyl ether and 10% of hydrogen port injections are improved achieved combustion efficiency by 13%. Furthermore, the exhaust gas emission are reduce 14% and 55% for carbon monoxide and black smoke, respectively. Therefore, the amount of dimethyl ether and hydrogen injections was necessary, especially for in-cylinder combustion stability and thermal efficiency. Hence, the dimethyl ether and hydrogen concentration coupled with the optimisation of engine operation are required that can possibly enable further improve engine performance and emissions reduction.

Keywords: Diesel Engine; Dual Fuel; Diesel Fuel; Hydrogen; Dimethyl Ether

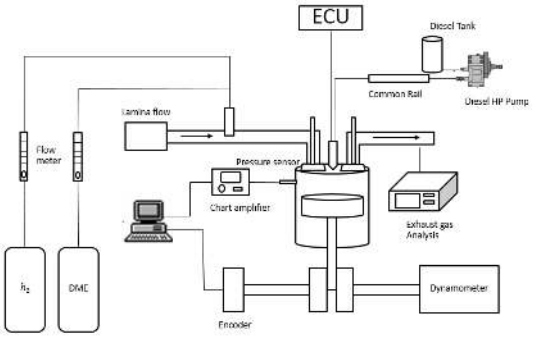
1. บทนำ

เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในเป็นเครื่องต้นกำลังที่มีความสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์โดยเฉพาะในด้านของการขนส่งและการเกษตร จึงทำให้มีความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นทุกปีซึ่งสวนทางกับปริมาณน้ำมันดิบที่มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องอันเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของแหล่งน้ำมันดิบ ดังนั้นพลังงานทางเลือกจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในภาคขนส่ง อาทิเช่น ไบโอดีเซล เอทานอล ก๊าซแอลพีจี ก๊าซธรรมชาติเป็นต้น นอกจาก ไดเมทิลอีเทอร์ หรือ Dimethyl Ether (DME) เป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่มีความเหมาะสมกับเครื่องยนต์ดีเซล[1-3] โดยไดเมทิลอีเทอร์สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลากหลาย เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ หรือแม้กระทั้งก๊าซชีวมวลที่เป็นพลังงานหมุนเวียน จึงเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่น่าสนใจ ไดเมทิลอีเทอร์มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนกับก๊าซแอลพีจี ที่สามารถเก็บเป็นของเหลวที่สภาวะที่มีความดันได้ จึงสามารถจัดเก็บได้ง่ายสามารถนำไปติดตั้งกับยานพาหนะได้สะดวก เนื่องจาก ไดเมทิลอีเทอร์ มีค่าซีเทนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้สามารถจุดติดไฟได้เองที่อุณหภูมิต่ำกว่าน้ำมันดีเซลและมีประสิทธิภาพทางการเผาไหม้ดีขึ้น[4] ไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบทำให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล และมีการปลดปล่อยเขม่าในปริมาณที่ต่ำ ไดเมทิลอีเทอร์จึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการลดการปลดปล่อยเขม่าในเครื่องยนต์ดีเซล การใช้ไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลยังสามารถลดการปล่อยมลพิษ เช่น ไฮโดรคาร์บอน(HC), คาร์บอนมอนอกไซด์(CO) สู่ชั้นบรรยากาศได้ แต่ในการนำ ไดเมทิลอีเทอร์ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงยังส่งผลให้เกิด ไนโตรเจนออกไซด์(NO_X) [5-6] ไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่มีค่าพลังงานความร้อนสูง การฉีดไฮโดรเจนร่วมกับเชื้อเพลิงดีเซลจะช่วยปรับปรุงการเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพที่ดีและลดการปลดปล่อยมลพิษลงได้ แต่อุณหภูมิของไอเสียเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์(NO_X) การนำ ไดเมทิลอีเทอร์ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลนั้นอาจยังมีผลกระทบอยู่ การฉีดไฮโดรเจนร่วมกับ ไดเมทิลอีเทอร์จะช่วยลดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ทั้งในด้านของกลไกการเผาไหม้และการลดมลพิษ

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาผลกระทบของการฉีดไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเผาไหม้และลดมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาลักษณะการเผาไหม้และการปลดปล่อยมลพิษที่เกิดขึ้นจากการนำไฮโดรเจนมาฉีดร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ ในเครื่องยนต์ดีเซลดัดแปลงระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นระบบรางร่วม (Common Rail) ด้วยวิธีการฉีดน้ำมันดีเซลกำหนดองศาจุดระเบิด ฉีดไดเมทิลอีเทอร์ด้วยอัตราส่วน 30% ของเชื้อเพลิงร่วมกับการฉีดไฮโดรเจนที่อัตราส่วน 5% และ 10% ทำการทดสอบที่สภาวะรอบคงที่ 1500 รอบต่อนาที ที่ภาระงาน 25 50 และ75% ของภาระงานสูงสุด โดยมีอุปกรณ์ทดสอบดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์บนแท่นทดสอบเครื่องยนต์

2.1 แท่นทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล YANMAR รุ่น L100V โดยมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมีการดัดแปลงระบบฉีดเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เป็นระบบรางร่วม (Common Rail) โดยใช้หัวฉีด common rail ยี่ห้อ Denso รุ่น4JJ1 พร้อมกับเปลี่ยน

ระบบการป้อนเชื้อเพลิงใหม่ โดยเครื่องยนต์ถูกติดตั้งบนแท่นทดสอบเครื่องยนต์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า(Eddy Current Engine Dynamometer) เพื่อควบคุมภาระงานของเครื่องยนต์ อัตราการไหลของอากาศเข้าเครื่องยนต์ด้วยชุดวัดการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow Elements) ร่วมกับมานอมิเตอร์ วัดอุณหภูมิของอากาศ ก๊าซไอเสียและน้ำมันหล่อลื่นด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์	*YANMAR L100V*
ชนิดเครื่องยนต์	ดีเซล 1 สูบ 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยอากาศ
ปริมาตรกระบอกสูบ	0.435 ลิตร
อัตราส่วนการอัด	21.2 : 1
ระบบฉีดเชื้อเพลิง	ระบบรางร่วม ,ฉีดเชื้อเพลิงแบบตรงเข้าห้องเผาไหม้
ตำแหน่งการฉีดเชื้อเพลิง	15° ก่อนศูนย์ตายบน
แรงดันฉีดเชื้อเพลิง	200 bar

2.2. เครื่องมือวิเคราะห์การเผาไหม้และมลพิษ

ความดันในห้องเผาไหม้จะถูกวัดโดย in-cylinder pressure transducer ยี่ห้อ Kistler รุ่น 6560A โดยทำการติดตั้งที่ฝาสูบของเครื่องยนต์ โดยเชื่อมต่อสัญญาณกับ Charge Amplifier ยี่ห้อ Kistler รุ่น 5018A เพื่อขยายสัญญาณ และได้ติดตั้ง shaft encoder เพื่อวัดตำแหน่งของเพลาข้อเหวี่ยง โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการเก็บข้อมูลความดันในห้องเผาไหม้และตำแหน่งเพลาข้อเหวี่ยงเพื่อวิเคราะห์ค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนจากการเผาไหม้ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเอง

ปริมาณมลพิษจากการเผาไหม้บันทึกด้วยเครื่องวิเคราะห์ไอเสีย Horiba รุ่น Mexa 584L ใช้วัดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ ในส่วนของการวัด ระดับควันดำนั้นใช้เครื่องมือวัดควันดำ โดยค่าที่วัดได้จะเป็นค่าระดับตาม ความเข้มของแสงผ่านได้ ตั้งแต่ 0 ถึง 100 ตามปริมาณความเข้มของเขม่าจากน้อยไปหามากตามลำดับ ซึ่งมีหน่วยเป็น Smoke Number (SN)

2.3 เชื้อเพลิง

ในการทดลองนี้จะทำการฉีดเชื้อเพลิง ไดเมทิลอีเทอร์และไฮโดรเจนก่อนเข้าสู่เครื่องยนต์ผ่านทางท่อร่วมไอดี เพื่อให้ปริมาณเชื้อเพลิงและอากาศผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยยังคงใช้การฉีดน้ำมันดีเซลเพื่อกำหนดตำแหน่งการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ โดยน้ำมันดีเซล ไดเมทิลอีเทอร์และไฮโดรเจนที่ใช้ในการศึกษานี้มีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

คุณสมบัติ	*ดีเซล*	*ไดเมทิลอีเทอร์*	*ไฮโดรเจน*
อุณหภูมิที่จุดติดไฟได้เอง (°c)	206	235	536
ความหนาแน่น (kg/m^3)	800-840	660	0.0838
ค่าพลังงานความร้อน (MJ/kg)	42.5	28.4	119.93
Cetane number	40-55	55-60	-
อัตราส่วนผสมอากาศ/เชื้อเพลิง (kg/kg)	14.5	9	34.3

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลร่วมกับการฉีดไฮโดรเจนและ ไดเมทิลอีเทอร์ คืออัตราส่วนพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับ ไดเมทิลอีเทอร์ และไฮโดรเจนเทียบกับกำลังงานที่เครื่องยนต์สามารถผลิตได้จากการใช้เชื้อเพลิงทั้งหมดดังสมการที่ 1 และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$\eta_{th} = \frac{P}{(FC_{diesel} \times Q_{diesel}) + (FC_{DME} \times Q_{DME}) + (FC_{h_2} \times Q_{h_2})} \times 100 \quad 1)$$

$$sec = \frac{(FC_{diesel} \times Q_{diesel}) + (FC_{DME} \times Q_{DME}) + (FC_{h_2} \times Q_{h_2})}{P} \quad (2)$$

โดยกำหนดให้

P = กำลังงาน (kw)

FC_{diesel} = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล (kg/s)

Q_{diesel} = ค่าพลังงานความร้อนน้ำมันดีเซล (kJ/kg)

FC_{DME} = อัตราการสิ้นเปลือง ไดเมทิลอีเทอร์ (kg/s)

Q_{DME} = ค่าพลังงานความร้อน ไดเมทิลอีเทอร์ (kJ/kg)

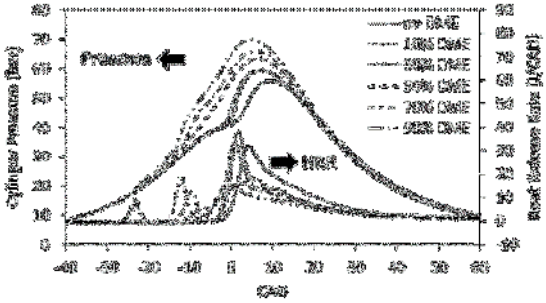
FC_{h_2} = อัตราการสิ้นเปลืองไฮโดรเจน (kg/s)

Q_{h_2} = ค่าพลังงานความร้อนไฮโดรเจน (kJ/kg)

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 อิทธิผลของเชื้อเพลิงที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ในเครื่องยนต์

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้นำเสนอในส่วนของความดันในกระบอกสูบ อัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เมื่อพิจารณาความดันในกระบอกสูบที่เกิดจากการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น และมีตำแหน่งความดันสูงสุดเกิดขึ้นเข้าใกล้ตำแหน่ง TDC มากขึ้น เนื่องจาก ไดเมทิลอีเทอร์ มีค่าซีเทนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลและมีสถานะเป็นก๊าซทำให้เกิดการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีจึงส่งผลให้การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นดีกว่าการเผาไหม้โดยใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงโดยลำพัง โดยความดันภายในกระบอกสูบที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนไดเมทิลอีเทอร์ที่แทนที่น้ำมันดีเซลที่เพิ่มสูงขึ้นในอัตราส่วน 10% 30% 50% 70% และ90% ของเชื้อเพลิงตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2

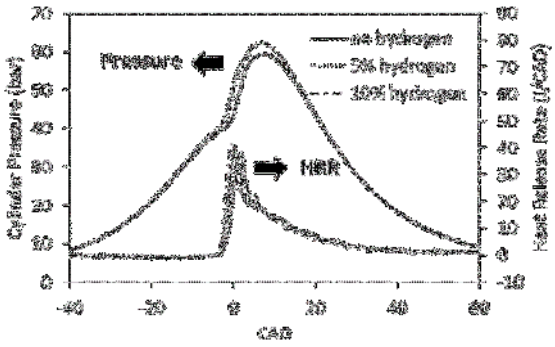


รูปที่ 2 อิทธิพลของปริมาณไดเมทิลอีเทอร์ที่ส่งผลต่อความดันในกระบอกสูบและอัตราการปลดปล่อยความร้อนจากการเผาไหม้

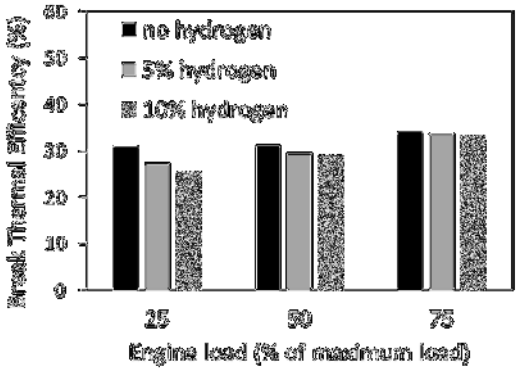
อัตราการปลดปล่อยความร้อนมีการปลดปล่อยที่รวดเร็วมากขึ้นตามปริมาณไดเมทิลอีเทอร์ที่เพิ่มขึ้น โดยที่หากมีการฉีด ไดเมทิลอีเทอร์ มากกว่า 30% จะทำให้เกิดการปลดปล่อยความร้อนก่อนที่ลูกสูบจะเคลื่อนที่ Top Dead Center-TDC ทำให้เกิดการชิงจุดระเบิด(knock) เกิดขึ้นภายในเครื่องยนต์ ซึ่งส่งผลให้กำลังของเครื่องยนต์จะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2 ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงอัตราการฉีดไดเมทิลอีเทอร์เป็นเชื้อเพลิงร่วมที่เหมาะสมคือที่อัตราส่วน 30%ของปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้

3.2 อิทธิพลของไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

เมื่อนำไฮโดรเจนมาฉีดร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ พบว่าความดันในกระบอกสูบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการฉีดไฮโดรเจนที่สูงขึ้น และมีตำแหน่งความดันภายในกระบอกสูบสูงสุดเกิดขึ้นก่อน 2 องศาเพลาข้อเหวี่ยงเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่ไม่มีการฉีดไฮโดรเจน เช่นเดียวกับอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อน โดยพบว่าประมาณการปลดปล่อยเพิ่มขึ้น 1.5% ที่การฉีดไฮโดรเจน 10% ดังแสดงในรูปที่ 3 เนื่องจากไฮโดรเจนมีสถานะเป็นก๊าซเมื่อนำมาฉีดที่ท่อไอดีจึงสามารถผสมกับอากาศได้ง่ายและสามารถเกิดการเผาไหม้ได้อย่างรวดเร็ว ประกอบกับค่าพลังงานความร้อนที่สูงของไฮโดรเจนเมื่อเกิดการเผาไหม้จึงทำให้เกิดความดันในกระบอกสูบที่สูงขึ้นและมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่สูงขึ้นด้วย

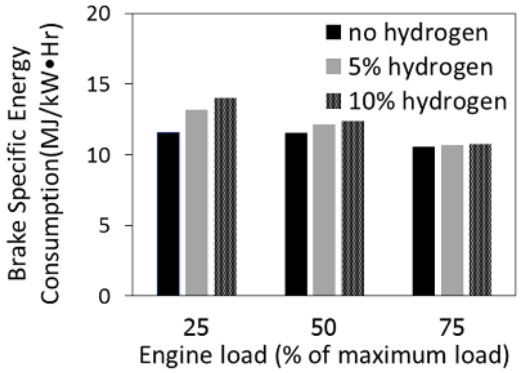


รูปที่ 3 อิทธิพลของปริมาณไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ที่ส่งผลต่อการเผาไหม้ในกระบอกสูบ



รูปที่ 4 อิทธิพลของปริมาณไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนในแต่ละภาระงานของเครื่องยนต์

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เมื่อฉีดไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีปริมาณที่ลดลงแปรผกผันกับอัตราการฉีดไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ ไดเมทิลอีเทอร์ เป็นเชื้อเพลิงร่วมเพียงเชื้อเพลิงเดียว ดังแสดงในรูปที่ 4 เนื่องจากการฉีดไฮโดรเจนที่ท่อไอดีส่งผลต่อปริมาณอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้น้อยลงทำให้การเผาไหม้ในกระบอกสูบอยู่ในสภาวะส่วนผสมหนา (Rich mixture) และส่งผลให้อุณหภูมิของไอเสียจากการเผาไหม้ที่สูงขึ้น[7]

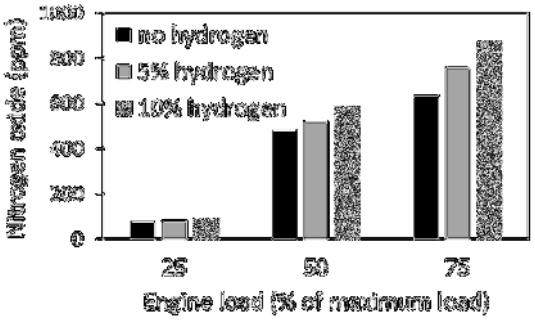


รูปที่ 5 อิทธิพลของปริมาณไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ที่ส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในแต่ละภาระงานของเครื่องยนต์

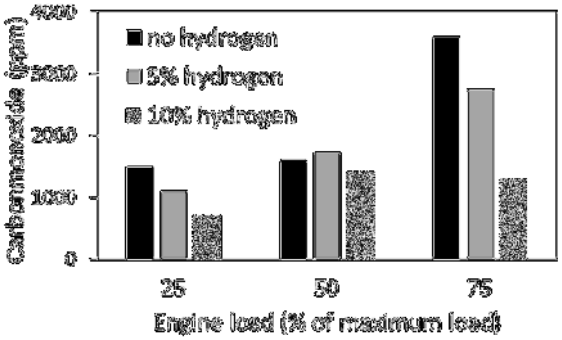
เนื่องจากการเชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์ประกอบไปด้วยไฮโดรเจนและไดเมทิลอีเทอร์ซึ่งอยู่ในสภาวะก๊าซ ส่วนน้ำมันดีเซลอยู่ในสถานะของเหลว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพิจารณาอัตราสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะซึ่งพบว่า เมื่อมีการฉีดไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ส่งผลให้มีการสิ้นเปลืองพลังงานสูงขึ้นโดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนที่ภาระงานของเครื่องยนต์ต่ำ โดยที่ภาระงานของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้นไม่ค่อยเห็นความแตกต่างเท่าไหร่นักดังรูปที่ 5 เนื่องจาก ที่ภาระงานเครื่องยนต์ต่ำการป้อนเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์จะมีปริมาณน้อยตามภาระงาน เมื่อมีการฉีดไฮโดรเจน[8]ที่มีค่าพลังงานความร้อนที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลมากจึงส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงขึ้น

3.3 อิทธิพลของไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์

ปริมาณของไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ที่ฉีดไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ พบว่ามีการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการฉีดไฮโดรเจนดังรูปที่ 6 โดยที่ภาระงาน 75% ของภาระงานสูงสุด พบว่าปริมาณไนโตรเจนออกไซด์มีปริมาณที่เพิ่มขึ้น 19% และ 37% ที่การฉีดไฮโดรเจน 5 และ 10% ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนออกไซด์เกิดขึ้นเพราะการฉีดไฮโดรเจนและไดเมทิลอีเทอร์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นสถานะแก๊สสามารถผสมกับอากาศได้ง่าย ประกอบกับค่าซีเทนที่สูงของไดเมทิลอีเทอร์ จึงช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ได้ง่าย นอกจากนี้ค่าความร้อนของไฮโดรเจนที่สูงทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ภายในกระบอกสูง ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาระหว่าไนโตรเจนและออกซิเจนแตกตัวเป็นไนโตรเจนออกไซด์อันเนื่องจากความร้อน (Thermal NOx) สูงขึ้นตามไปด้วย

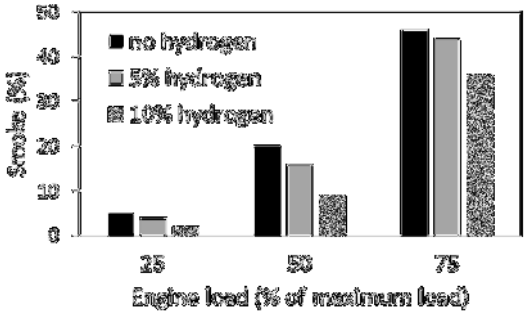


รูปที่ 6 อิทธิพลของปริมาณไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ในแต่ละภาระงานของเครื่องยนต์



รูปที่ 7 อิทธิพลของปริมาณไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ในแต่ละภาระงานของเครื่องยนต์

การปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ของการฉีดไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ พบว่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์มีอัตราส่วนที่ลดลงตามปริมาณการฉีดไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาที่ภาระงาน 50% พบว่ามีการลดการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ 14% และที่ภาระงานสูงขึ้น (75%) พบว่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงได้สูงสุดถึง 64% ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนในองค์ประกอบของไดเมทิลอีเทอร์ จึงทำให้มีปริมาณออกซิเจนทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้น



รูปที่ 8 อิทธิพลของปริมาณไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ที่ส่งผลต่อปริมาณควันดำที่ภาระงานของเครื่องยนต์

ปริมาณเขม่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของการฉีดไฮโดรเจนร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ พบว่ามีปริมาณเขม่าลดลง ที่ภาระงาน 50% สามารถลดเขม่าลงได้ 20% และ 55% ที่การฉีดไฮโดรเจน 5 และ 10% ตามลำดับและมีแนวโน้มเดียวกันทุกภาระงาน ดังแสดงในรูปที่ 8 เนื่องจากการเผาไหม้ของไฮโดรเจนและไดเมทิลอีเทอร์มีลักษณะการเผาไหม้ในรูปแบบเผาไหม้ได้อย่างรวดเร็ว (Fast combustion) ประกอบกับเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดอยู่ในสถานะเป็นก๊าซจึงสามารถผสมกับอากาศได้ดี ทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นระยะเวลานานขึ้น จึงสามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงได้สมบูรณ์มากขึ้นทำให้การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนเหลือจากการเผาไหม้ต่ำ

4. สรุปผลการทดลอง

การฉีดไฮโดรเจนร่วมกับ ไดเมทิลอีเทอร์ภายในท่อร่วมไอดี ในเครื่องยนต์ดีเซลที่สภาวะรอบคงที่และที่ภาระงานต่างๆ สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีขึ้นที่การฉีดไฮโดรเจน 10% ร่วมกับไดเมทิลอีเทอร์ 30% ซึ่งเป็นส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด ส่งผลให้ความดันในกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้น 5% และมีอัตราการปลดปล่อยพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น 1.5% ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลงและมีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงขึ้นจากการฉีดไฮโดรเจนที่มีพลังงานความร้อนสูง ในด้านของมลพิษสามารถลดการปลดปล่อยมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ลง 14% และปริมาณเขม่าและควัน

ดำลดลง 55% เนื่องมาจากการเผาไหม้ที่ดีขึ้น แต่มีปริมาณไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงขึ้น (Thermal NOx)

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยจากคณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Ying, W. and Longbao, Z. (2008). Experimental study on exhaust emission from a multi-cylinder DME engine operating with EGR and oxidation catalyst. Applied Thermal Engineering 28 , pp. 1589 - 1595.

[2] Jie, L., Shenghua, L., Yi, L., Yanju, W., Guangle, L. and Zan, Z. (2010). Regulated and Nonregulated Emissions from a Dimethyl Ether Powered Compression Ignition Engine . Energy Fuels, pp. 2465 - 2469.

[3] Kim, H.J., Park, S.H., Suh, H.K., and Lee, C.S. (2009) Atomization and Evaporation Characteristics of Biodiesel and Dimethyl Ether Compared to Diesel Fuel in a High-Pressure Injection System. Energy & Fuels, pp. 1734 - 1742.

[4] Kim, M.Y., Bang, S.H. and Lee, C.S. (2007) Experimental Investigation of Spray and Combustion Characteristics of Dimethyl Ether in a Common-Rail Diesel Engine. Energy & Fuels, pp. 793 - 800.

[5] Yu, H., Hu, E., Cheng, Y., Yang, K., Zhang, X. and Huang, Z. (2015) Effects of Hydrogen Addition on the Laminar Flame Speed and Markstein Length of Premixed Dimethyl Ether–Air Flames. Energy Fuels, pp. 4567 - 4575.

[6] Köse, H. and Ciniviz, M. (2013) An experimental investigation of effect on diesel engine performance and exhaust emissions of addition at dual fuel mode of hydrogen. Fuel Processing Technology 114, pp. 26-34.

[7] Prabhakar, B., Jayaraman, S., Wal, R.V. and Boehman, A. (2015) Experimental Studies of High Efficiency Combustion With Fumigation of Dimethyl Ether and Propane Into Diesel Engine Intake Air. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, pp. 041505-1 - 041505-9.

[8] Wang, Y., Liu, H., Huang, Z. and Liu, Z. (2016) Study on combustion and emission of a dimethyl ether-diesel dual- fuel premixed charge compression ignition combustion engine with LPG (liquefied petroleum gas) as ignition inhibitor. Energy 96, pp. 278 - 285.