



อิทธิพลของไฮโดรเจนต่อการลดไนโตรเจนออกไซด์บนแคตทาลิสต์ไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์จาก
ไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมไบโอดีเซลผสมเอทานอล

The Impact of Hydrogen on NO_x Reduction over HC-SCR Catalyst from Diesel
Engine Exhaust Gas Using Diesel-Biodiesel-Ethanol Fuel Blends

ศิริศักดิ์ ปุกต^{1,2}, ธวัชชัย วงศ์ช่าง^{1,2} และ กัมปนาท เทียนน้อย^{1,2*}

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาชาษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

*ติดต่อ: E-mail: kampanart.t@cit.kmutnb.ac.th, โทรศัพท์: 022 555 2000 ext. 6244

บทคัดย่อ

มลพิษหลักจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลได้แก่ ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และฝุ่นละออง (PM) ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นตามภาระงานของเครื่องยนต์ที่ใช้งาน แต่ด้วยแหล่งผลิตเชื้อเพลิงดีเซลที่จำกัดงานวิจัยนี้ทำการศึกษการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกเพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงดีเซล นอกจากนี้คำนึงถึงปริมาณมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้จากเชื้อเพลิงทางเลือก โดยศึกษาการทำงานของแคตทาลิสต์ชนิดซิลเวอร์-อลูมินาในการลดปริมาณ NO_x ของไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงทางเลือกที่ความเร็วรอบคงที่ (1,500 รอบต่อนาที) โดยปรับเปลี่ยนภาระงานของเครื่องยนต์ที่ร้อยละ 25, 50 และ 75 ของภาระงานสูงสุด และศึกษาอิทธิพลของการเพิ่มไฮโดรเจน (H₂) ในไอเสียในการส่งเสริมปฏิกิริยาในการลด NO_x ที่อุณหภูมิไอเสียต่ำ (<250°C) จากการศึกษาพบว่าการฉีดไฮโดรเจน (500-2,000 ในล้านส่วน) ช่วยส่งเสริมการลด NO_x ของอุปกรณ์บำบัดไอเสียแบบไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์จากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลผสมเอทานอลในอัตราส่วน 50:20:30 โดยปริมาตรได้ดีที่สุดที่ทุกสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตามการหาสภาวะที่เหมาะสมมีความจำเป็นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดปริมาณ NO_x ของซีเวอร์/อลูมินาแคตทาลิสต์

คำหลัก: เอสซีอาร์, เชื้อเพลิงทางเลือก, ไนโตรเจนออกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน, เครื่องยนต์ดีเซล

Abstract

The main pollution from combustion in diesel engine are NO_x and PM that are increased with higher engine load operating conditions. The limitations of diesel fuel source, thus the alternative fuel have been researched to reduce diesel fuel consumption. The effect of alternative fuel combustions on exhaust gas emission are also investigated. This study carried on the silver-alumina catalysts activities on NO_x reduction from diesel engine exhaust gas fuelled with alternative fuel under constant engine speed (1,500 rpm) and various engine load (25, 50 and 75 percent of maximum engine load). The influence of hydrogen addition on the exhaust gases also monitored to promoted the NO_x reduction under low operating exhaust temperatures (<250°C). The results shown that hydrogen

addition (500-2,000 ppm) can enhanced the NO_x reduction over HC-SCR aftertreatment system from diesel engine fuelled with diesel-biodiesel-ethanol fuel blends at a ratio of 50:20:30 by volume for all engine operating conditions. In additions, the silver-alumina catalyst mode need to find the optimal conditions to increase the silver/alumina catalyst activity for NO_x reduction.

Keywords: SCR, Alternative fuel, Nitrogen oxide, Hydrocarbon, Diesel engine

1. บทนำ

ความต้องการในการใช้พลังงานบนโลกในปัจจุบันมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อยๆ โดยพบว่าส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ประกอบกับเชื้อเพลิงดังกล่าวมีอย่างจำกัด จึงส่งผลให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ความต้องการใช้เชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากทำให้เชื้อเพลิงฟอสซิลมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนในอนาคต และการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นยังส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยมลพิษจำนวนมากออกสู่บรรยากาศ เป็นสาเหตุให้ภาวะมลพิษทางอากาศ

ปัจจุบันยานยนต์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ และเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด การใช้เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดจะเป็นที่นิยมอันเนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่สูงอันเนื่องมาจากค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิงดีเซล (45.8 kJ/g) ที่สูงกว่าน้ำมันเบนซิน (45.3 kJ/g) ที่สำคัญมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ต่ำอันซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้แบบส่วนผสมบาง (Lean burn combustion) [1] ทำให้ในการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบจะใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าแบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟในสภาวะภาระงานที่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

มลพิษหลักที่เกิดจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดจะประกอบด้วยกลุ่มก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ NO_x (ก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)) และฝุ่นละออง (PM) เป็นองค์ประกอบหลักในไอเสีย [2] ซึ่งปริมาณฝุ่นละอองมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจมนุษย์ และ

ไนโตรเจนมอนอกไซด์เมื่อถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศจะเป็นอันตรายต่อการสังเคราะห์แสงของพืช เมื่อก๊าซไนโตรเจนมอนอกไซด์ทำปฏิกิริยากับโอโซนเกิดเป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์นี้เมื่อมีอยู่ในปริมาณมากจะสามารถมองเห็นเป็นสีน้ำตาลและเมื่อรวมตัวกับสารระเหย น้ำและออกซิเจนจะทำให้เกิดเป็นกรดไนตริก จากนั้นจะกลั่นตัวกลายเป็นฝนกรด ซึ่งเป็นอันตรายโดยตรงต่อมนุษย์ [3,4]

ระบบบำบัดไอเสียที่นำมาใช้งานเพื่อลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์คือ ระบบซีเล็กทีฟแคตทาลิสต์รีดักชันหรือเอสซีอาร์ (Selective Catalyst Reduction - SCR) โดยแบ่งออกเป็น แคตทาลิสต์แอมโมเนีย-เอสซีอาร์ (Ammonia-SCR) และแคตทาลิสต์ไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์ (HC-SCR) ซึ่งมีความแตกต่างกันคือสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มเข้าไปในไอเสียบริเวณด้านหน้าก่อนผ่านแคตทาลิสต์เอสซีอาร์ เนื่องด้วยข้อจำกัดของแคตทาลิสต์แอมโมเนีย-เอสซีอาร์ในเรื่องของค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งโครงสร้างของระบบบำบัดไอเสียที่ซับซ้อน ต้องมีถังบรรจุแอมโมเนียบนโครงสร้างยานยนต์ซึ่งมีน้ำหนักมาก ประกอบกับต้องมีการดูแลอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากการกัดกร่อนของแอมโมเนียในระบบเมื่อใช้งานในระยะเวลานาน ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวไม่พบในแคตทาลิสต์ไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์เนื่องจากมีการนำน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนมาเป็นสารตั้งต้นในการบำบัดไอเสียได้เลยจึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งถังและระบบการจ่ายไฮโดรคาร์บอนที่ซับซ้อน ดังนั้นแคตทาลิสต์ไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการพัฒนา งานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาอิทธิพลของ

แคตทาลิสต์ในการลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [5,6] และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ [7-9] ซึ่งพบว่าความสามารถในการลดไนโตรเจนออกไซด์ของระบบไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์อยู่ระหว่าง 40-60% ขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ [10,11] โดยที่แคตทาลิสต์ไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์ที่ใช้งานได้แก่ แคตทาลิสต์แบบผง (Powder) และแบบปฏิกิริยารังผึ้ง (Monolite) โดยแคตทาลิสต์แบบผงมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบรังผึ้งอันเนื่องมาจากแคตทาลิสต์แบบผงมีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาที่สูงกว่า จึงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูง แต่ข้อจำกัดคือมีโอกาสที่จะเสื่อมประสิทธิภาพบริเวณผิวของแคตทาลิสต์ได้ง่าย (Coking) ซึ่งไม่เหมาะสมกับการใช้งานระยะเวลานาน [8] เมื่อทำการเปรียบเทียบการศึกษาโดยใช้แบบจำลองเปรียบเทียบกับทดลอง พบว่าการจำลองแคตทาลิสต์ไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ได้ดีกว่าการทดลองซึ่งเป็นผลจากองค์ประกอบที่จำลองขึ้นมาไม่มีส่วนประกอบของเขม่าจากการเผาไหม้ จึงไม่มีเขม่าเคลือบติดสะสมบนพื้นผิวแคตทาลิสต์ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเกิดขึ้นได้ในระยะเวลาที่นานกว่า และได้มีการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตั้งต้นที่เพิ่มเข้าไปก่อนแคตทาลิสต์ เช่น การเพิ่มไฮโดรเจนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแคตทาลิสต์แบบเอสซีอาร์ประสิทธิภาพในการลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำ (<250°C) [8-10] ในขณะที่การทำงานในช่วงอุณหภูมิสูงนั้นการเพิ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น โพรเพน [4], เอทานอล [5], เมทานอล [6] เป็นต้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนออกไซด์ที่ดีขึ้นในช่วงอุณหภูมิต่ำ (<300 °C) เนื่องจากสารตั้งต้นที่เพิ่มเข้าไปมีความสามารถในการทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ในอุณหภูมิต่ำทำให้ไฮโดรคาร์บอนเดิมที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์เกิดการแตกตัวสลายพันธะและเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น

จากปัญหาแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีอยู่จำกัด ประกอบกับปริมาณการปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมที่สูงขึ้น งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของการอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงผสมน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงต่อแคตทาลิสต์ไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์ชนิดซิลเวอร์/อลูมินา (Ag/Al₂O₃) ร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนในการลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์จากไอเสียจริงที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด

2. ขั้นตอนการทดลอง

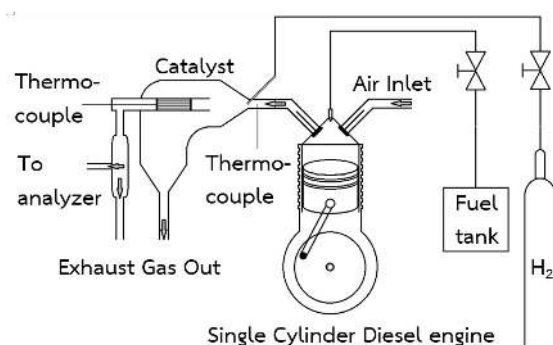
งานวิจัยนี้ทำการทดลองบนแท่นทดสอบซึ่งเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์ชนิดกระบอกสูบเดี่ยวระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นแบบกลไก ยี่ห้อ YANMAR รุ่น L100V รายละเอียดหลักของเครื่องยนต์แสดงในตารางที่ 1 ตารางที่ 1 รายละเอียดของเครื่องยนต์

Model	YANMAR L100V
Displacement volume	435 cm ³
Compression ratio	21.2 : 1
Bore x Stroke	86 x 75 mm
Pushrod length	118 mm
Maximum power	6.2 kW at 3600 rpm
Maximum torque	24 N.m at 2500 rpm

เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดไอเสียจะติดตั้งบนแท่นทดสอบร่วมกับไดนาโมมิเตอร์แบบไฟฟ้าเพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนภาระงานของเครื่องยนต์ โดยใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ได้แก่ น้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลผสมเอทานอลในอัตราส่วน 100:0:0(D100), 60:20:20(DBE60), 50:20:30(DBE50) ตามลำดับ ทำการศึกษาที่ภาระการทำงานของเครื่องยนต์ที่ร้อยละ 25, 50 และ 75 เปอร์เซ็นต์ของภาระงานสูงสุด ซึ่งควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์คงที่ 1,500 รอบ/นาที

ระบบบำบัดไอเสียแบบแคตทาลิสต์ไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์บรรจุในชุดขนาดเล็ก ซึ่งถูกบรรจุอยู่ในท่อ

ไอเสียเพื่อให้ได้เกิดการถ่ายเทความร้อนกับอุณหภูมิของไอเสียจริง ก๊าซไฮโดรเจนถูกปล่อยให้ผสมกับก๊าซไอเสียก่อนทางเข้าของแคตตาไลสต์ไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์ จากนั้นทำการปรับอัตราการไหลของไอเสียผ่านแคตตาไลสต์ไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์ โดยดำเนินการควบคุมอัตราการไหล 15 ลิตร/นาที หรือ Gas Hourly Space Velocity (GHSV) ที่ 18000 h^{-1} รายละเอียดดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์

เครื่องวิเคราะห์ปริมาณขององค์ประกอบภายในก๊าซไอเสียยี่ห้อ TESTO รุ่น 350L ซึ่งทำการวัดปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ CO, คาร์บอนไดออกไซด์ CO₂, ออกซิเจน O₂, ไนโตรเจนออกไซด์ NO_x (ซึ่งประกอบไปด้วยไนโตรเจนมอนอกไซด์ NO และไนโตรเจนไดออกไซด์ NO₂) และปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ HC ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน H₂ ที่ใช้เพิ่มในไอเสียถูกวัดโดยเครื่อง Gas Chromatography รุ่น GC-2014 AFT ซึ่งใช้หลักการวิเคราะห์โดยการตรวจจับค่าการนำความร้อน (TCD)

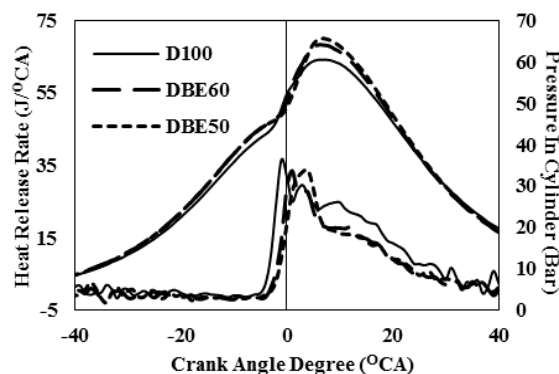
3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

3.1 ผลกระทบของการเผาไหม้และอุณหภูมิของไอเสีย

ปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในกระบอกสูบ ปริมาณออกซิเจน O₂ ระยะเวลาที่ใช้ในการ

ทำปฏิกิริยา(ระยะเวลาในการเผาไหม้) และอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ(ไอดี) [13]

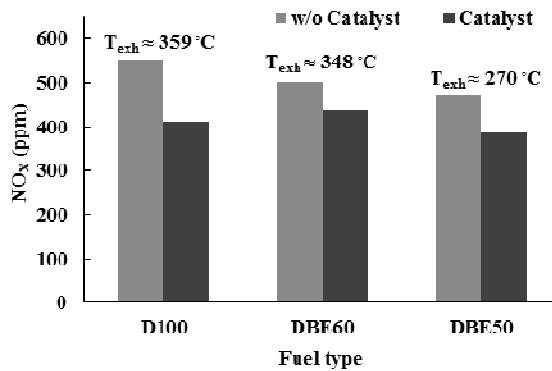
จากการทดลองเมื่อใช้เชื้อเพลิงดีเซลในการเผาไหม้ทำให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ยาวนานขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงผสมทั้ง 2 ชนิดต่อค่าการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงดังรูปที่ 2 พบว่าปริมาณเอทานอลและไบโอดีเซลในเชื้อเพลิงดีเซลช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าการปลดปล่อยความร้อนจากการเผาไหม้พบว่ามีปริมาณที่ต่ำกว่าการเผาไหม้จากน้ำมันดีเซลอย่างเดียว ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากค่าความร้อนจำเพาะของเอทานอล (25.2 MJ/kg) ที่ต่ำกว่าของน้ำมันดีเซล (39.55 MJ/kg) และส่งผลให้ระยะเวลาในการเผาไหม้ที่สั้นกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลด้วย



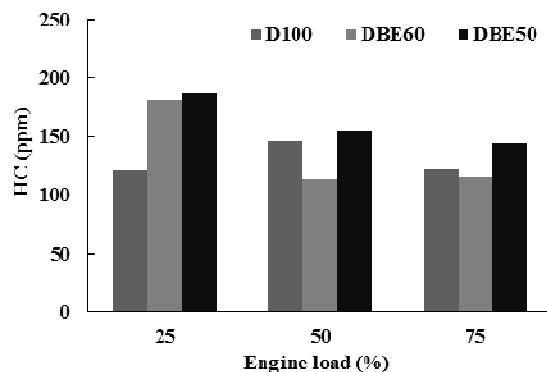
รูปที่ 2 ผลกระทบของการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงและความดันภายในกระบอกสูบต่อตำแหน่งองศาของเพลาค้อเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบ/นาที 75 % ของภาระการทำงานสูงสุด

ในส่วนของอุณหภูมิไอเสีย จากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมไบโอดีเซลผสมเอทานอลมาเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ เมื่ออัตราส่วนของเชื้อเพลิงเอทานอลเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในการเผาไหม้จะต่ำลง [14] ผลปรากฏว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์จึงมีปริมาณต่ำลงเนื่องจากอุณหภูมิภายในกระบอกสูบที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมลดลงเมื่อทำการเปรียบเทียบกับ

เชื้อเพลิงดีเซลในสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์เดียวกัน อัตราการเกิดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์จะไปที่ทิศทางเดียวกับอุณหภูมิการเผาไหม้ กล่าวคือไนโตรเจนออกไซด์จะเกิดขึ้นได้ดีในอุณหภูมิสูง เมื่อพิจารณาอัตราการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์จากมากไปน้อยได้เป็นอัตราส่วนผสมดีเซล:ไบโอดีเซล:เอทานอล คือ D100>DBE60>DBE50 จากนั้นเมื่อนำแคตทาลิสต์ไฮโดรคาร์บอน-เอสซีอาร์มาใช้ในการบำบัดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์พบว่าปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ลดลงอยู่ในช่วง 5-25 เปอร์เซ็นต์ ในทุกสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 อิทธิพลการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่อปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบ/นาที 75 % ของภาระการทำงานสูงสุด

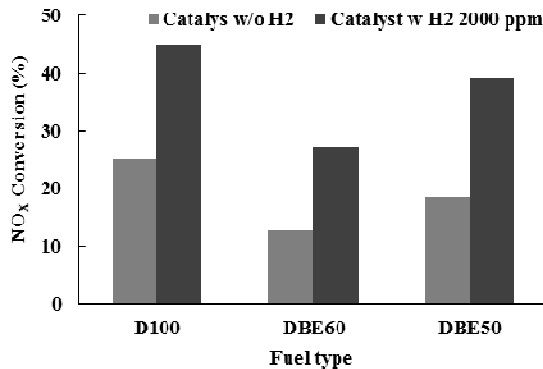


รูปที่ 4 อิทธิพลของภาระงานของเครื่องยนต์ต่อปริมาณไฮโดรคาร์บอนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

เมื่อพิจารณาถึงการเผาไหม้เมื่ออัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงเอทานอลเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าซีเทน (Cetane number) และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลง [15,16] ทำให้ต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับในสภาวะการทำงานเดียวกัน จากผลการทดสอบปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เหลือจากการเผาไหม้พบว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิงทางเลือกผสมทั้งสองชนิดนี้ อัตราการปลดปล่อยปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ในปริมาณที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลเรียงลำดับจากน้อยไปมากตามลำดับของอัตราส่วนเอทานอลแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น

3.2 ผลกระทบของปริมาณไฮโดรเจนที่เพิ่มไปในไอเสีย

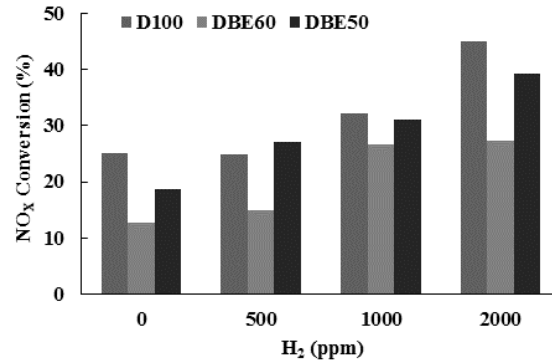
พิจารณาอิทธิพลของก๊าซไฮโดรเจนต่อประสิทธิภาพของแคตทาลิสต์ในการลดไนโตรเจนออกไซด์ พบว่าเมื่อป้อนก๊าซไฮโดรเจน (2,000 ppm) ในไอเสียจากเครื่องยนต์จะช่วยส่งเสริมอัตราการลดปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่สูงขึ้นในทุกอัตราส่วนน้ำมัน โดยอัตราการลดไนโตรเจนออกไซด์ลดลงมากที่สุดเท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นผลมาจากก๊าซไฮโดรเจนทำปฏิกิริยากับเขม่า (Soot) บริเวณผิวหน้าของแคตทาลิสต์เมื่อใช้งานในระยะเวลานาน ดังนั้นบริเวณผิวหน้าของแคตทาลิสต์จึงส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาในการลดไนโตรเจนออกไซด์ที่สูงขึ้น ที่อุณหภูมิต่ำ (<350°C) [8,9,10,17,18] นอกจากนี้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนในไอเสียจะทำปฏิกิริยากับแคตทาลิสต์ชนิดซิลเวอร์/อลูมินาโดยทำให้ประจุบวกในซีเวอร์สูงขึ้นจึงส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาในการลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มมากขึ้น [19]



รูปที่ 5 อิทธิพลของก๊าซไฮโดรเจนที่ส่งผลต่อการลดไนโตรเจนออกไซด์ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบ/นาทีและ 75 % ของภาระการทำงานสูงสุด

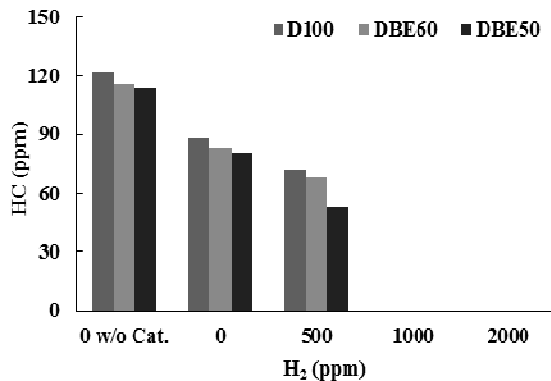
อิทธิพลของปริมาณก๊าซไฮโดรเจน (500 ถึง 2,000 ppm) ต่อประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนออกไซด์จากไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง 3 ชนิด พบว่าการเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของแคตตาไลสต์ที่ดีขึ้น นอกจากนี้ประสิทธิภาพการลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โดยเมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมที่มีส่วนประกอบของเชื้อเพลิงเอทานอลในการเผาไหม้ทำให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้มีแนวโน้มของปริมาณ Toluene ที่ลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล [12] และการเพิ่มปริมาณก๊าซไฮโดรเจนเข้าไปในไอเสียจะเป็นการส่งเสริมการลดปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ดีที่สุด ในสภาวะที่ไอเสียมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้โดยมีส่วนประกอบของ Toluene สูง [10] ดังนั้นจากการทดลองพบว่าไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดีเซลแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการลดปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่ดีในทุกสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนออกไซด์จากก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัตราส่วนผสมดีเซล:ไปโอดีเซล:เอทานอลพบว่าประสิทธิภาพที่ลดลง และเมื่ออัตราส่วนผสมของ

เอทานอลที่สูงขึ้น (DBE50) พบว่ามีแนวโน้มการลดปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมของเอทานอลที่มีปริมาณน้อย (DBE60) แต่อย่างไรยังมีระดับที่ต่ำกว่าไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 อิทธิพลของไฮโดรเจนที่ส่งผลต่อการลดไนโตรเจนออกไซด์ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบ/นาที 75 % ของภาระการทำงานสูงสุด

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของไฮโดรเจนต่อปริมาณไฮโดรคาร์บอนของไอเสียจากการเผาไหม้ของน้ำมันแต่ละชนิดพบว่า ปริมาณไฮโดรคาร์บอนลดลงตามปริมาณไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นในทุกน้ำมัน โดยที่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ไม่พบปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ที่อัตราการป้อนไฮโดรเจน 1,000 และ 2,000 ppm ดังรูปที่ 7 ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่ถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาการลดไนโตรเจนออกไซด์ของแคตตาไลสต์ สามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรคาร์บอนจากการเผาไหม้ได้ดี เมื่อปริมาณก๊าซไฮโดรเจนมากกว่า 1,000 ppm นั้นแคตตาไลสต์จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรคาร์บอนในการลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ทั้งหมด



รูปที่ 7 อิทธิพลของไฮโดรเจนที่ส่งผลต่อไฮโดรคาร์บอน ที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบ/นาที 75 % ของภาระการทำงานสูงสุด

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าปริมาณเอทานอลผสมไบโอดีเซลและดีเซลในเชื้อเพลิงมีผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สภาวะการทำงานของเครื่องยนต์แตกต่างกัน โดยปริมาณไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ที่มีปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ลดลงเมื่อทำการเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลเพียงอย่างเดียว และเมื่อใช้งานเอสซีอาร์แคตทาลิสต์พบว่า ปฏิกริยาการลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ได้ดีโดยใช้ไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซลในช่วงอุณหภูมิมากกว่า 250 องศาเซลเซียส และเมื่อมีปริมาณไฮโดรเจนไปยังไอเสียก่อนเข้าแคตทาลิสต์ พบว่าไอเสียของเชื้อเพลิงดีเซลสามารถเกิดปฏิกริยาการลดปริมาณก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงผสมทั้ง 2 ชนิด จึงเห็นได้ว่าคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง อุณหภูมิของแคตทาลิสต์ และปริมาณก๊าซไฮโดรเจนในไอเสียสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพของแคตทาลิสต์ชนิดซิลเวอร์/อลูมิน่าในการลดการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่อุณหภูมิไอเสียต่ำ (<250 °C) และเชื้อเพลิงทางเลือกสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์และยังสามารถทำงานได้ดีกับแคตทาลิสต์ชนิดนี้ แต่อย่างไรก็ตามการหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้แคตทาลิสต์ชนิด

ซิลเวอร์/อลูมิน่าในการบำบัดไอเสียมีความจำเป็นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการลดไนโตรเจนออกไซด์ได้ดีที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยจากคณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และ ศูนย์พัฒนาศักยภาพบุคลากร เพื่อการวิจัยและพัฒนาสำหรับภาคอุตสาหกรรม ประจำปี 2560 สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Liu, K., Song, C. and Subramani. V. (2010). *Hydrogen and Syngas Production and Purification Technologies*, 1st edition, John Wiley & Sons, New Jersey.
- [2] Heywood, J.B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, London.
- [3] Detels, R., Tashkin, D.P., Sayre, J.W., Rokaw, S.N., Massey, F.J., Coulson, A.H., Wegman, D.H. and Am. J. (1991). The Ucla Population Studies of Cord .10. a Cohort Study of Changes in Respiratory Function Associated With Chronic Exposure to SO_x, NO_x and Hydrocabons, *American Journal of Public Health*, vol. 81, March 1991, pp. 350 – 359.
- [4] Worch, D., Suprun, W. and Gläser R. (2011). Supported transition metal-oxide catalysts for HC-SCR DeNO_x with propene, *Catalysis Today*, vol. 176, November 2011, pp. 309 – 313.
- [5] Kim, M.K., Kim, P.S., Cho, B.K., Nama, I. and Se H. Oh (2012). Enhanced NO_x reduction and byproduct removal by (HC + OHC)/SCR over multifunctional dual-bed monolith catalyst, *Catalysis Today*, vol. 184, April 2012, pp. 95 –



106.

[6] Chansai, S., Burch, R., Hardacre, Ch., Norton, D., Bao, X. and Lewis, L. (2014). Investigating the promotional effect of methanol on the low temperature SCR reaction on Ag/Al₂O₃, *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 160–161, November 2014, pp. 356 – 364.

[7] Sitshebo, S., Tsolakis, A. and Theinnoi, K. (2009). Promoting hydrocarbon-SCR of NO_x in diesel engine exhaust by hydrogen and fuel reforming, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 34, September 2009, pp. 7842 – 7850.

[8] Sitshebo, S., Tsolakis, A., Theinnoi, K., Rodríguez-Fernández, J. and Leung, P. (2010). Improving the low temperature NO_x reduction activity over a Ag-Al₂O₃ catalyst, *Chemical Engineering Journal*, vol. 158, April 2010, pp. 402 – 410.

[9] Theinnoi, K., Tsolakis, A., Sitshebo, S., Cracknell, R.F. and Clark, R.H. (2010). Fuels combustion effects on a passive mode silver/alumina HC-SCR catalyst activity in reducing NO_x, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 158, April 2010, pp. 468 – 473.

[10] Gu, H., Chun K.M., and Song S. (2015). The effects of hydrogen on the efficiency of NO_x reduction via hydrocarbon-selective catalytic reduction (HC-SCR) at low temperature using various reductants, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 40, August 2015, pp. 9602 - 9610.

[11] Palomares, A.E., Uzca'tegui, A. and Corma, A. (2008). NO_x storage/reduction catalysts based

in cobalt/copper hydrotalcites, *Catalysis Today*, vol. 137, September 2008, pp. 261 – 266.

[12] Hu, N., Tan, J., Wang, X., Zhang, X. and Yu, P. (2017). Volatile organic compound emissions from an engine fueled with an ethanol-biodiesel-diesel blend, *Journal of the Energy Institute*, vol. 90, February 2017, pp. 101 - 109.

[13] Ajav, E.A., Singh, B. and Bhattacharya, T.K., (1998). Performance of a stationary diesel engine using vapourized ethanol as supplementary fuel, *Biomass and Bioenergy*, vol. 145, December 1998, pp. 493 - 502.

[14] Randazzo, M.L. and Sodr , J.R. (2011). Exhaust emissions from a diesel powered vehicle fuelled by soybean biodiesel blends (B3–B20) with ethanol as an additive (B20E2–B20E5), *Fuel*, vol. 90, January 2011, pp. 98 - 103.

[15] Khoobakht, G., Najafi, G., Karimi, M. and Akram, A. (2016). Optimization of operating factors and blended levels of diesel, biodiesel and ethanol fuels to minimize exhaust emissions of diesel engine using response surface methodology, *Applied Thermal Engineering*, vol. 99, April 2016, pp. 1006 - 1017.

[16] Zhu, L., Cheung, C.S., Zhang, W.G. and Huang Zh. (2011). Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends, *Fuel*, vol. 90, May 2011, pp. 1743 - 1750.

[17] Breen, J.P., Burch, R., Hardacre, C., Hill, C.J. and Rioche C. (2007). A fast transient kinetic study of the effect of H₂ on the selective catalytic reduction of NO_x with octane using isotopically labeled ¹⁵NO, *Journal of Catalysis*,



vol. 246, February 2007, pp. 1 – 9.

[18] Shibata, J., Shimizu, K., Takada, Y., Shichi, A., Yoshida, H., Satokawa, S., Satsuma, A. and Hattori, T. (2004). Structure of active Ag clusters in Ag zeolites for SCR of NO by propane in the presence of hydrogen, *Journal of Catalysis*, vol. 227, October 2004, pp. 367 – 374.

[19] Satsuma, A., Shibata, J., Wada, A., Shinozaki, Y. and Hattori, T. (2003). 46 *In-situ* UV-visible spectroscopic study for dynamic analysis of silver catalyst, *Studies in Surface Science and Catalysis*, vol. 145, December 2003, pp. 235 – 238.