

**การศึกษาประสิทธิภาพการลดคาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนของ
Diesel Oxidation Catalyst สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงร่วม
Experimental Study of Diesel Oxidation Catalyst Performance on CO and HC
Reduction of Diesel Dual Fuel Engines**

วรเทพ วชิรพันธ์¹, เอกไท วิโรจน์สกุลชัย¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
ผู้ติดต่อ: โทรศัพท์: 02 942 8555 ต่อ 1839, E-mail: w_breeze_w@hotmail.com

บทคัดย่อ

การใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซธรรมชาติในเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Dual Fuel, DDF) แทนการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวมีผลให้ปริมาณของเขม่า (soot) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ลดลง แต่ปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) เพิ่มขึ้น รวมถึงอุณหภูมิของไอเสียที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้สภาวะการทำงานของ Diesel Oxidation Catalyst (DOC) ที่ออกแบบมาเพื่อใช้ลดไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นการควบคุมการปลดปล่อยไอเสียให้อยู่ในระดับที่กฎหมายกำหนดจึงเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเมื่อคุณลักษณะของเชื้อเพลิงและกระบวนการเผาไหม้เปลี่ยนแปลงไป

ในการศึกษานี้ได้ใช้ระบบสร้างก๊าซไอเสียสังเคราะห์เพื่อจำลองไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ขนาด 2.5 ลิตร ซึ่งผ่านมาตรฐานมลพิษในระดับ EURO III โดยไอเสียที่จำลองขึ้นมีลักษณะคล้ายกับไอเสียที่ปล่อยจากเครื่องยนต์ในขณะที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมกับก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบและภาระงานเดียวกัน จากนั้นทำการปล่อยไอเสียสังเคราะห์ที่จำลองขึ้นไหลเข้าสู่ DOC ที่ควบคุมอุณหภูมิภายนอกด้วยเตาอบ (Furnace) DOC ที่ใช้ทดสอบเป็น DOC ที่ติดมากับเครื่องยนต์ทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดคาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน การศึกษาดังกล่าวช่วยให้รู้ถึงขอบเขตความสามารถในการลดไอเสียของ DOC ที่ติดตั้งมากับเครื่องยนต์ เพื่อนำมาปรับปรุงหรือแก้ไขให้เหมาะสมกับสภาวะของไอเสียเมื่อมีการเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงต่อไป

คำหลัก: ก๊าซธรรมชาติ, Diesel Dual Fuel, Diesel Oxidation Catalyst, คาร์บอนมอนนอกไซด์,
ไฮโดรคาร์บอน

Abstract

In using the natural gas with diesel fuel in diesel engine is called Diesel-Dual Fuel (DDF) engine that affect the amount of soot and NO_x decrease, while the amount of CO and HC are increasing. Moreover, the operating conditions of the Diesel Oxidation Catalyst (DOC) that is designed to reduce emissions from diesel engines change accordingly. Therefore, control of exhaust emissions below the

level permitted is considered, when the characteristics of fuel and combustion process is different. In this study has used the synthesis exhaust gas system to simulate exhaust gas from diesel engine 4 cylinder 2.5 liter, which meet EURO III standard. The synthetic exhaust gas is similar to the exhaust gas from the DDF engine, when the engine is operated by conventional diesel combustion and DDF combustion at the same speed and load. Then, the synthetic exhaust gas is released to the DOC, which the outside temperature is controlled by a furnace. The experiment use The DOC was installed on the conventional diesel engine to compare the effectiveness of reducing CO and HC. Such knowledge the extent of reduction in emissions of DOC installed conventional diesel engine. For improve its performance when the different types of fuel is used.

Keyword: Natural gas, Diesel Dual Fuel, Diesel Oxidation Catalyst, Carbon monoxide, Hydrocarbon

1. บทนำ

การลดมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลโดยอาศัยหลักการ Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) สามารถช่วยลดปริมาณของ NO_x และ Soot ในไอเสียลงได้ แต่กลับมีปริมาณของ CO และ HC เพิ่มขึ้น [1, 2] อีกทั้งหลักการดังกล่าวมีความยุ่งยากในการควบคุมจังหวะจุดระเบิดของเครื่องยนต์ จึงมีการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการฉีดเชื้อเพลิงหลักผสมกับอากาศก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้แบบเครื่องยนต์เบนซินและใช้การจุดระเบิดด้วยการฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปในห้องเผาไหม้เพียงเล็กน้อยเพื่อกระตุ้นให้เกิดการจุดระเบิดแบบเครื่องยนต์ดีเซล หลักการดังกล่าวนิยมใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่มีอุณหภูมิจุดระเบิดสูง หลักการดังกล่าวเรียกว่า Diesel Dual Fuel (DDF) ซึ่งสามารถลดปริมาณ NO_x และ Soot ลงได้ แต่มีปริมาณ CO และ HC เพิ่มขึ้นอย่างมากและยังมี CH₄ ที่เป็น HC รูปแบบหนึ่งซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของก๊าซธรรมชาติเกิดขึ้นในไอเสีย [3 - 5] จากลักษณะและปริมาณของไอเสียที่เปลี่ยนแปลงไปนี้เองทำให้สภาวะการทำงานของ DOC เปลี่ยนแปลงไปส่งผลถึงประสิทธิภาพในการลดมลพิษของ DOC ที่ติดตั้งมากับเครื่องยนต์ ซึ่งถูกออกแบบมาสำหรับลดมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ DOC ที่ติดตั้งมากับเครื่องยนต์ใน

การลดปริมาณของ CO และ HC โดยใช้ระบบสร้างก๊าซไอเสียในการสังเคราะห์ไอเสียให้มีลักษณะคล้ายกับไอเสียจากเครื่องยนต์จริงและใช้ Furnace ควบคุมอุณหภูมิภายนอกของ DOC [6 - 9] เพื่อหาขอบเขตความสามารถของ DOC และแนวทางการปรับปรุงหรือแก้ไขระบบลดมลพิษให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2. การทดลอง

2.1 คุณสมบัติของ Catalytic Converter

Catalytic Converter ที่ใช้ในการทดลองเป็น Catalytic Converter แบบ DOC ที่ติดตั้งมากับเครื่องยนต์ดีเซล Common Rail 2.5 ลิตร รหัส 2KD-FTV ของ Toyota

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของ Catalytic Converter

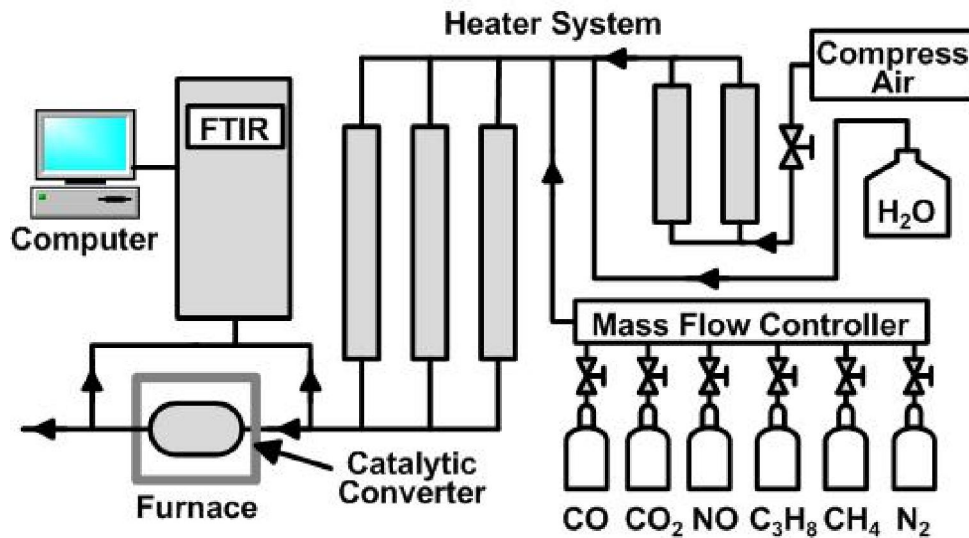
Parameter	Original DOC
Designation	OEM Cat.
CPSCM	62
Cell shape	Square
wall thickness (mm)	0.12
wall thickness (mil)	4.7
Length (mm)	150
Diameter (mm)	129
Substrate Material	Cordierite
Substrate Volume (m ³)	0.00196
Pt:Pd	1:0
PGM Loading (g/m ³)	494.41

ซึ่งเป็น Catalytic Converter ที่ออกแบบมาสำหรับลดมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล

2.2 ระบบสร้างไอเสียสังเคราะห์

ไอเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นไอเสียที่สังเคราะห์จากการผสมก๊าซที่เป็นส่วนประกอบหลักในไอเสียจากเครื่องยนต์จริง โดยใช้อากาศเป็นส่วนประกอบหลัก และใช้ N₂ ในการควบคุมความเข้มข้นของ O₂ ส่วนก๊าซชนิดอื่น ได้แก่ CO, CO₂, NO, CH₄ และ HC ซึ่งในที่นี้ใช้ C₃H₈ ปล่องเข้าสู่ระบบตามปริมาณที่ต้องการ

ระบบสร้างไอเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่กว่าระบบในอดีต ประกอบด้วย (1) Mass Flow Controller ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณของก๊าซแต่ละชนิด (2) ชุด Heater จำนวน 5 ตัว ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิของไอเสียสังเคราะห์ (3) Furnace ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายนอกของ Catalytic Converter และ (4) SESAM FTIR Analyzer ทำหน้าที่วัดปริมาณก๊าซในไอเสียสังเคราะห์ทั้งก่อนและหลัง Catalytic Converter



รูปที่ 1 ระบบสร้างไอเสียสังเคราะห์

2.3 การทดลองหา Light-off Temperature

Light-off Temperature หมายถึงอุณหภูมิทำงานที่ Catalytic Converter สามารถลดมลพิษชนิดนั้นๆ ลงได้ 50% ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงประสิทธิภาพของการลดมลพิษ [5]

$$\% \text{Conversion} = \frac{[X]_{in} - [X]_{out}}{[X]_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

โดย X เป็นความเข้มข้นของก๊าซแต่ละชนิด

Light-off Temperature ที่ต่ำแสดงถึงความสามารถในการลดมลพิษที่ดี ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งในช่วงเครื่องเย็น (Cold Start) และช่วงภาระงานต่ำ (Light Load) ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิของไอเสียต่ำ

การทดลองหา Light-off Temperature ใช้การผสมก๊าซหลักที่มีในไอเสียให้ได้ลักษณะดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการจำลองลักษณะของไอเสียจากเครื่องยนต์

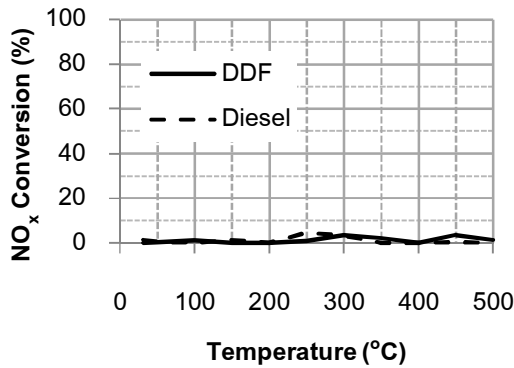
DDF และเครื่องยนต์ดีเซล โดยใช้อัตราการไหลประมาณ 10 kg/h และปรับอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของ Furnace ที่ 5°C/min จากนั้นวัดปริมาณของก๊าซแต่ละชนิดในไอเสียสังเคราะห์ทุกๆ 50°C ทั้งก่อนและหลัง Catalytic Converter

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของไอเสียสังเคราะห์

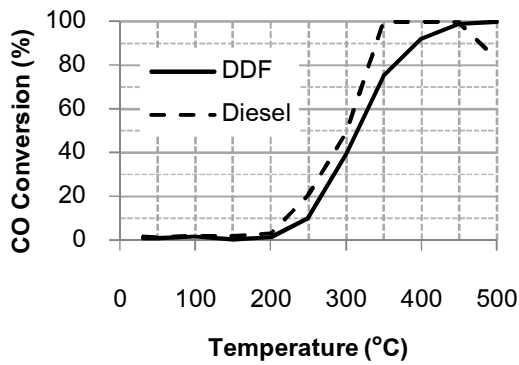
Gas Composition	Concentration (ppm)	
	DDF Condition	Diesel Condition
C ₃ H ₈	2,000	500
CH ₄	2,600	0
CO ₂	43,000	43,000
CO	1,000	500
NO _x	38	38
O ₂	120,000	120,000
Total Flow rate	10 kg/h	10 kg/h

3. ผลการทดลอง

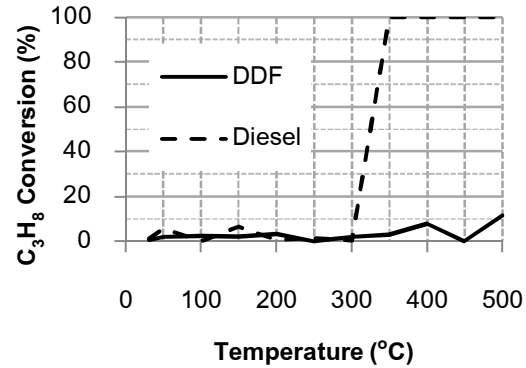
จากการทดลองดังกล่าวพบว่า OEM Cat. ซึ่งเป็น Catalytic Converter ที่ติดตั้งมากับเครื่องยนต์ดีเซล ในส่วนของ NO_x ไม่พบ Light-off Temperature ทั้ง ในขณะที่ไอเสียสังเคราะห์อยู่ในสภาวะดีเซลและ DDF ดังรูปที่ 2 สำหรับ CO พบ Light-off Temperature ที่ประมาณ 300°C และ 310°C ในขณะที่ไอเสียสังเคราะห์อยู่ในสภาวะดีเซลและ DDF ตามลำดับ ดังรูปที่ 3



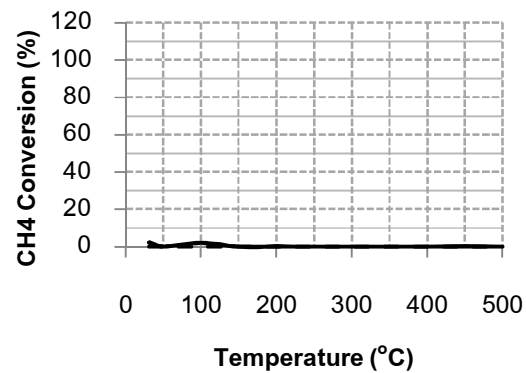
รูปที่ 2 แผนภาพแสดงความสามารถในการลด NO_x



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงความสามารถในการลด CO สำหรับ HC ซึ่งในที่นี้ใช้ C₃H₈ พบ Light-off Temperature ที่ประมาณ 325°C ในขณะที่ไอเสียสังเคราะห์อยู่ในสภาวะดีเซล แต่ในสภาวะ DDF ไม่พบ Light-off Temperature ดังรูปที่ 4 และสำหรับ CH₄ มีลักษณะคล้ายกับ C₃H₈ โดยไม่พบ Light-off Temperature ขณะที่ไอเสียสังเคราะห์อยู่ในสภาวะ DDF ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงความสามารถในการลด C₃H₈



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงความสามารถในการลด CH₄

5. สรุป

จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า OEM Cat. ซึ่งเป็น DOC ที่ติดตั้งมากับเครื่องยนต์ดีเซลไม่มีความสามารถในการลด NO_x ในขณะที่ไอเสียสังเคราะห์อยู่ในสภาวะ DDF และดีเซล เนื่องจาก OEM Cat. ไม่ได้ออกแบบมาสำหรับลด NO_x สำหรับความสามารถในการลด CO ทำได้ดีใกล้เคียงกัน โดยขณะที่ไอเสียสังเคราะห์อยู่ในสภาวะดีเซลมีประสิทธิภาพในการลด CO สูงกว่าประมาณ 10% (ที่ Light-off Temperature) แต่ความสามารถในการลด HC กลับมีลักษณะแตกต่างกันอย่างมาก โดย OEM Cat. ไม่สามารถลด C₃H₈ และ CH₄ ได้ในขณะที่ไอเสียสังเคราะห์อยู่ในสภาวะ DDF ซึ่งเป็นสภาวะที่มีปริมาณ HC และ CH₄ สูง จึงไม่เหมาะต่อการทำงานของ OEM Cat. ที่ออกแบบสำหรับลดมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมีปริมาณ HC ต่ำและ OEM Cat. ดังกล่าวยังมีส่วนผสมของสารเร่งปฏิกิริยาในปริมาณ

ต่ำ (PGM Loading) แต่ในขณะที่ไอเสียสังเคราะห์อยู่ในสถานะดีเซล OEM Cat. สามารถลด HC ได้ดี

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ด้วยความตั้งใจที่ให้ความสนับสนุนทางทุนและสถานที่ในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Technology, U.S. Department of Energy (2001). *Report 2001*.

[2] Ganesh, D., Nagarajan, G. and Ibrahim, M.M. (2008). Study of Performance, Combustion and Emission Characteristics of Diesel Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) Combustion with External Mixture Formation. *Fuel*, vol. 87, July 2008, pp. 3497 – 3503.

[3] Papagiannakis, R.G. and Hountalas, D.T. (2004). Combustion and Exhaust Emission Characteristics of a Dual Fuel Compression Ignition Engine Operated with Pilot Diesel Fuel and Natural Gas. *Energy Conversion and Management*, vol. 45, February 2004, pp. 2971 – 2987.

[4] Papagiannakis, R.G., Rakopoulos, C.D., Hountalas, D.T. and Rakopoulos, D.C. (2010). Emission Characteristics of High Speed, Dual Fuel, Compression Ignition Engine Operating in a Wide Range of Natural Gas/Diesel Fuel Proportions. *Fuel*, vol. 89, December 2009, pp. 1397 - 1406.

[5] Noipeng, A., Juntsuwan, W., Waitayapat, N. and Wirojsakunchai, E. (in press). Applying Raw Fuel Injection Technique for Reducing Methane in Diesel Dual Fuel Engine Aftertreatment. *Journal of Engineering and Technology*.

[6] Jobson, E., Laurell, M., Högberg, E., Bernler, H., Lundgren, S., Wirmark, G. and Smedler, G.

(1993). Deterioration of Three-Way Automotive Catalysts, Part I – Steady State and Transient Emission of Aged Catalyst, *SAE International* (930937).

[7] Choi, B., Son, G., Kim, E. and Lee, K. (1996). Effective Parameters on the Catalytic Reaction of NGV Catalytic Converter, *SAE International* (960239).

[8] Skoglundh, M., Thormählen, P., Fridell, E., Hajbolouri, F. and Jobson, E. (1999). Improved Light-off Performance by Using Transient Gas Compositions in the Catalytic Treatment of Car Exhausts, *Chemical Engineering Science*, vol. 54, pp. 4559 – 4566.

[9] Sumiya, S., Oyamada, H., Fujita, T., Nakamura, K., Osumi, K. and Tashiro, Y. (2009). Highly Robust Diesel Oxidation Catalyst for Dual Mode Combustion System, *SAE International* (2009-01-0280).

