

บทที่ 3

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สธรรมชาติกับน้ำมันดีเซล

เนื้อหาของบทนี้จะกล่าวถึง งานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สธรรมชาติกับน้ำมันดีเซล ที่นักวิจัยได้ทำการทดสอบและวิเคราะห์ไว้ เพื่อเป็นพื้นฐานและเป็นข้อมูลอ้างอิงในการวิจัยครั้งนี้ งานวิจัยที่ใช้อ้างอิงมีทั้งหมดเป็นการพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลให้สามารถใช้กับแก๊สธรรมชาติซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่มได้ดังนี้

Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot [1], [2], [8]

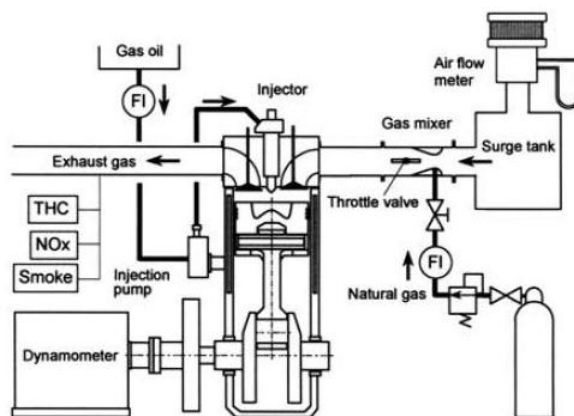
Direct Injection Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot [3], [4], [5], [9], [10]

3.1 Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot

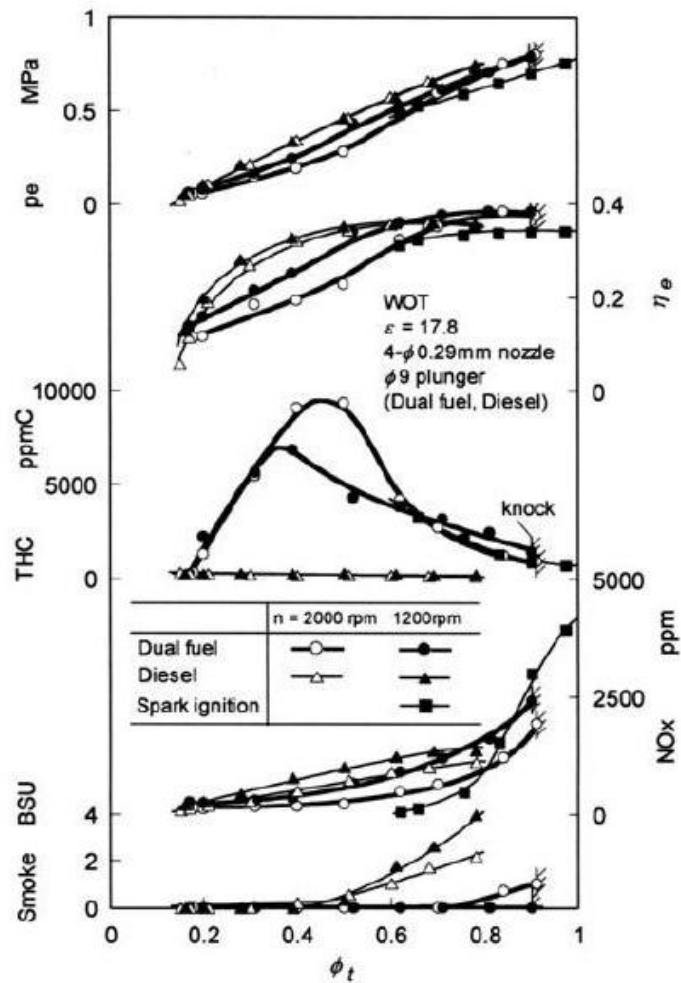
3.1.1 Approaches to High Thermal-Efficiency in High Compression-Ratio Natural-Gas Engine, [1]

7th International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles NGV2000, October 2000 Yokohama Japan, Kyoto University and Fukui University of Technology

เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้แก๊สธรรมชาติกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน (SI Engine) และเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (CI Engine) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดแบบ Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot in a Diesel Engine (DDF) ปริมาณ Pilot diesel $10\text{mm}^3/\text{stroke}$ (an equivalence ratio of 0.17) และ Injection timing 10 degree BTDC. Wide open throttle (WOT) โดยเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ขนาดเล็ก 857 ซีซี



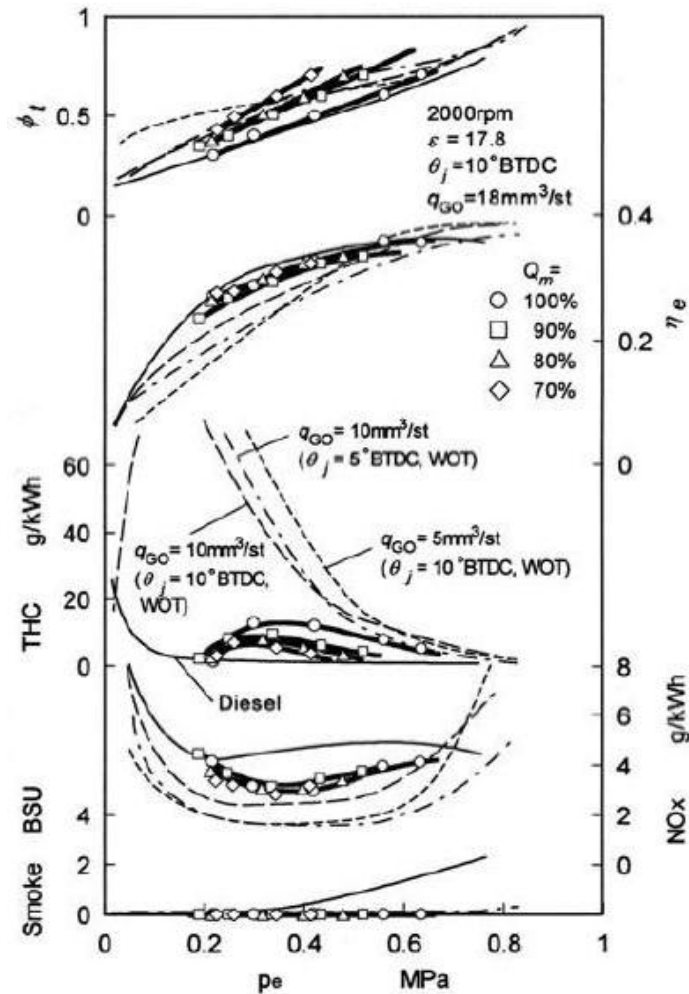
รูปที่ 3.1.1 Experimental setup for Pre-mixed Natural gas with Diesel pilot [1]



รูปที่ 3.1.2 Basic characteristics of performance and exhaust emission compared with a diesel and spark-ignited operation [1]

นักวิจัยวิเคราะห์และสรุปไว้ว่า

- (1) ที่อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงบางถึงพอดี (Middle and Low equivalent ratios) การได้รับการแก้ไขพัฒนาให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนได้ด้วยการลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Unburned HC) ของเครื่องยนต์
- (2) ที่อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงหนา (High equivalent ratios) จะเกิดการน็อกของเครื่องยนต์ (Knock) ซึ่งจุดที่เริ่มเกิดการน็อกนั้นมีค่า Equivalent ratio of total fuel ประมาณ 0.9
- (3) Injection nozzle, Pump plunger, Pilot fuel amount และ Injection timing ล้วนมีผลกระทบโดยตรงต่อขบวนการเผาไหม้ หากมีการออกแบบและปรับแต่งให้เหมาะสมแล้ว ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 3.1.3 Efficiency and exhaust emissions at increased pilot fuel amount with charge air throttling [1]

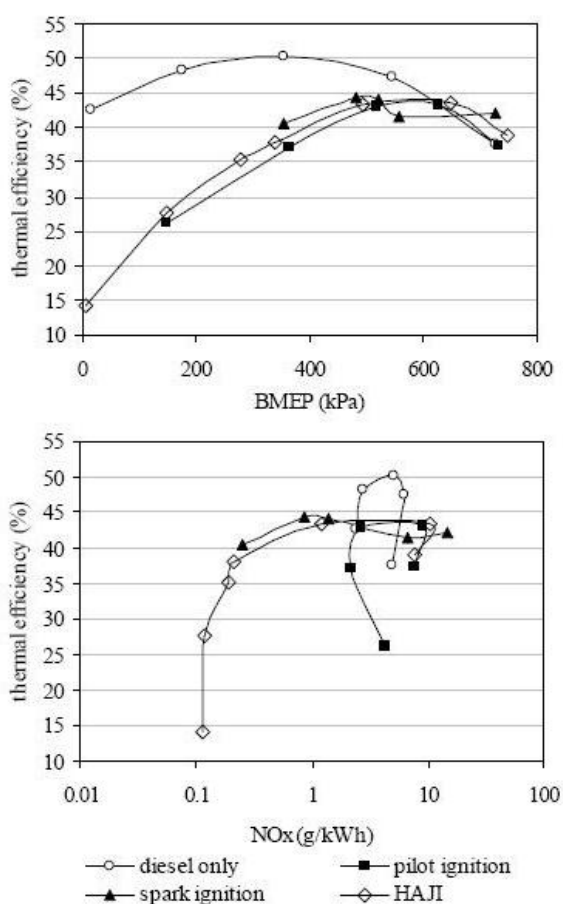
- (4) สามารถลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (Unburned HC) ที่ภาระโหลดต่ำถึงปานกลางและลดปริมาณควันดำ (Smoke) ที่ภาระโหลดสูงได้โดยการปรับขนาดของหัวฉีดให้เล็กลงเพื่อการกระจายตัวของน้ำมันได้มากขึ้น (Nozzle orifice 0.24 mm and plunger 0.75mm) ทำให้การเผาไหม้มีความสมบูรณ์มากขึ้น
- (5) ที่ภาระโหลดต่ำ (Low equivalent ratios) การเพิ่มปริมาณของ Pilot diesel ให้มากขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนและยังสามารถลดปริมาณไอเสียได้ด้วย
- (6) สามารถป้องกันการน็อก (Knock) ที่อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงหนา (High equivalent ratios) ได้โดยการลดปริมาณ Pilot diesel ให้น้อยลงเพราะจะทำให้การเผาไหม้ไม่รุนแรงเกินไป
- (7) สามารถเพิ่มค่าสูงสุดของ Equivalent ratio (Upper limit of equivalent ratio) ที่ถูกกำหนดค่าโดยการน็อกด้วยการควบคุมองศาการจุดระเบิด (The pilot injection timing) ให้เหมาะสม

3.1.2 Alternative Ignition systems for CNG in Diesel Applications, [2]

12th International Pacific Conference on Automotive Engineering, April 2003 Bangkok, Melbourne University

เป็นงานวิจัยการใช้แก๊สธรรมชาติกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยหัวเทียน (SI Engine) และเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (CI Engine) เป็นการทดสอบเครื่องยนต์เปรียบเทียบกันสี่แบบคือ Pure Diesel, Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot (Diesel pilot ignition: DPI), Spark ignition (SI) and Hydrogen Assisted Jet Ignition (HAJI) ในที่นี้จะกล่าวถึงสามแบบแรกเท่านั้น

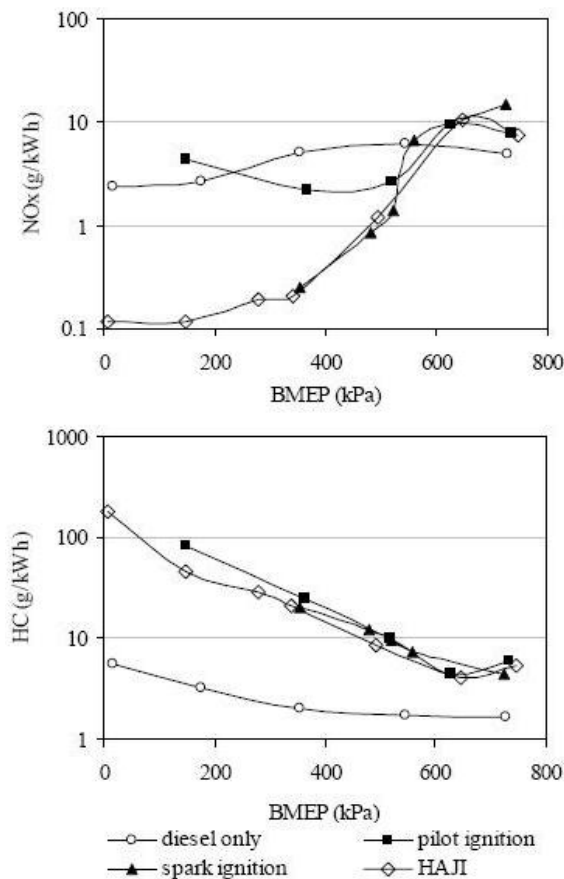
เครื่องยนต์ต้นแบบที่ใช้ทดสอบ 658 ซีซี Compression ratio 16.5 ทำการทดสอบและเก็บค่าการทดสอบที่ความเร็วรอบ 1350 rpm un-throttled ปริมาณ Pilot diesel ถูกกำหนดค่าโดยเพิ่มให้มากขึ้นจนมีค่าคงที่ที่สภาวะโหลดสูงสุด สุดท้ายปริมาณ Pilot diesel ที่ใช้ในการทดสอบ 5% โดยน้ำหนัก และมีค่าความดันในการฉีด 7.3 bar BMEP



รูปที่ 3.1.4 Indicated Thermal efficiency versus BMEP and indicated specific NOx [2]

นักวิจัยวิเคราะห์และสรุปไว้ว่า

- (1) เครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติทุกระบบ ที่ภาระโหลดต่ำถึงกลางจะมีค่ามลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากแก๊สธรรมชาติเกิดการเผาไหม้ในอัตราที่ไม่รุนแรง
- (2) เครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติทุกระบบ ที่ภาระโหลดสูงจะมีค่ามลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) สูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซล เพราะเกิดเนื่องจากการเผาไหม้ในอัตราที่สูงมาก (Rapid combustion) ของส่วนผสมที่ใกล้เคียง Stoichiometric mixture ทำให้เกิดความดันและอุณหภูมิที่สูงมาก



รูปที่ 3.1.5 Indicated specific NOx and HC versus BMEP [2]

- (3) ค่ามลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สธรรมชาติกับน้ำมันดีเซล (Pure Diesel and DPI) ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามภาระโหลดมากนักเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติล้วนที่จุดระเบิดด้วยหัวเทียน เพราะ Pure Diesel and DPI มีการเผาไหม้ Stratified ของ Diesel spray ทำให้บางส่วนมีส่วนผสมที่หนาเกินไป (Locally rich) เกิดการเผาไหม้ที่รุนแรง อุณหภูมิการเผาไหม้สูง ในโตรเจนออกไซด์ (NOx) จึงมีมากคงที่ตามไปด้วย
- (4) ไฮโดรคาร์บอน (HC) จากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติทุกระบบมาก เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีที่ต่างกัน
- (5) เครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติทุกระบบมีค่ามลพิษไฮโดรคาร์บอน (HC) เพิ่มขึ้นที่ภาระโหลดต่ำลงเนื่องจากอุณหภูมิการเผาไหม้ที่ต่ำลงนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนออกไซด์

(NO_x) ที่ลดลงด้วย เพราะการเย็นตัวของผนังห้องเผาไหม้และอัตราการเผาไหม้ที่ต่ำของเชื้อเพลิงที่อยู่รอบนอกบริเวณผนังห้องเผาไหม้ซึ่งเย็นตัวลงแล้ว

3.1.3 Emissions and fuel consumption of natural gas powered city buses versus diesel buses in real city traffic, [8]

Vito-Flemish Institute for Technological Research, Belgium

เป็นการวิจัยและพัฒนาการใช้แก๊สธรรมชาติกับเครื่องยนต์ โดยแบ่งออกเป็นสามกลุ่มคือ Pure diesel bus, Stoichiometric CNG bus และ Lean burn CNG bus

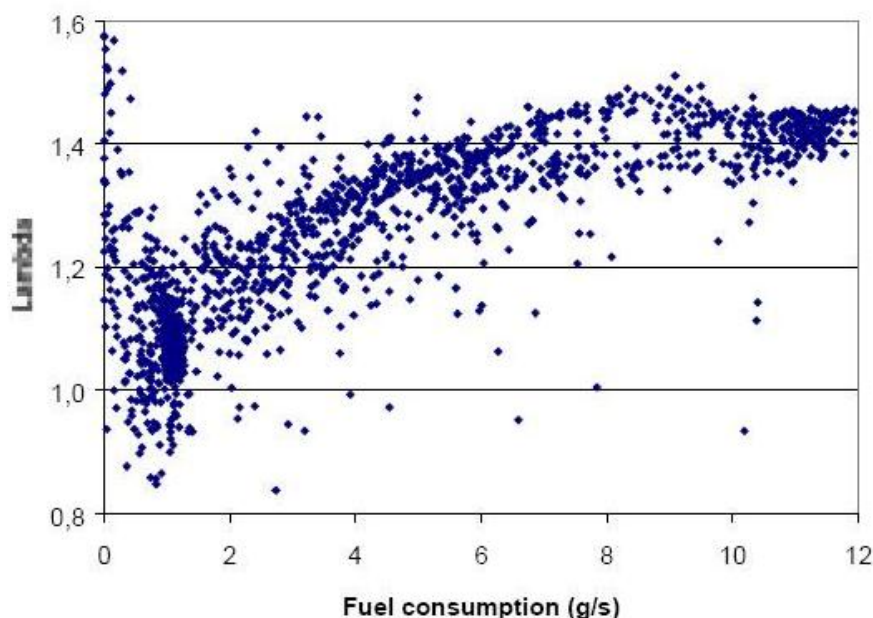
รถบัสที่ใช้ทดสอบทั้งหมดมีความยาว 12 เมตร โดยมี Gross weight 19 tons กำลังของเครื่องยนต์อยู่ระหว่าง 150 ถึง 200 kW เป็นรถยนต์เกียร์อัตโนมัติ (Automatic transmission) แต่อย่างไรก็ตามยังมีความแตกต่างของ Gear ratios

Diesel bus: Direct injection diesel engine with mechanical diesel pump

Stoich. CNG bus: Multi-point injection CNG engine with closed loop stoich. control

Lean burn CNG bus: Central gas mixer CNG engine with closed loop lean burn control

Lean burn CNG engine: fuel consumption vs. lambda (vehicle tests - real city)



รูปที่ 3.1.6 Relation between fuel consumption and lambda for lean burn engine [8]

รูปที่ 3.1.6 แสดงถึงค่า Lambda ของ Lean burn engine โดยทำการควบคุมอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงประมาณ 1.4 ที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงๆ เพื่อที่จะลดปริมาณมลพิษ

ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) แต่ทางตรงข้ามก็มีผลทางลบต่อปริมาณมลพิษไฮโดรคาร์บอน (THC) และประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิง

		Diesel bus	Stoich. CNG bus	Lean Burn CNG bus
Fuel cons.	<i>l/100 km</i>	62,8	73,5 *	83,2 *
CO₂	<i>g/km</i>	1633	1475	1634
CO	<i>g/km</i>	3,5	0,7	0,8
THC	<i>g/km</i>	1,7	0,2	7,5
NO_x	<i>g/km</i>	15,2	1,8	25,1

* expressed in diesequivalents (35700 kJ/l)

รูปที่ 3.1.7 General overview of average fuel consumption and emission of the three buses [8]

นักวิจัยวิเคราะห์และสรุปไว้ว่า

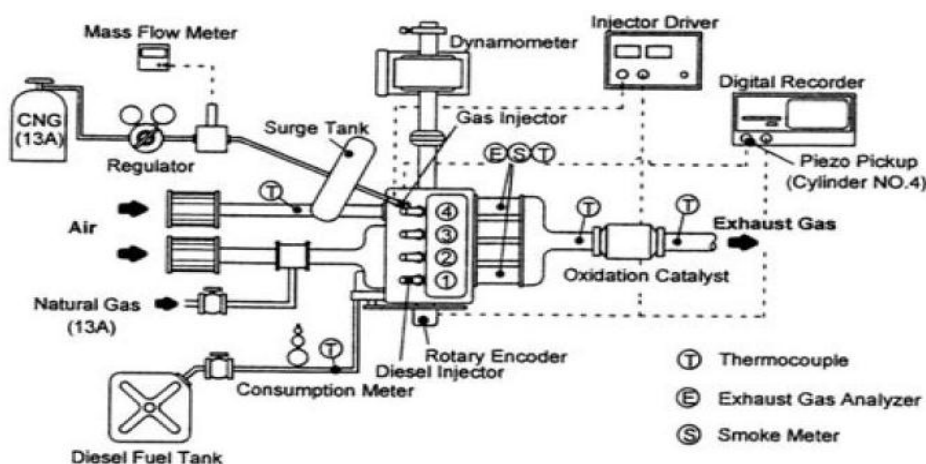
- (1) ค่าอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงของ Lean burn engine โดยมีค่า Lambda ที่ใช้งานจริงมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.2 ถึง 1.4
- (2) เครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติแบบ Lean burn engine มีค่ามลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) สูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลเพราะ Lean burn engine มีการเผาไหม้แบบ Stratified ของส่วน Diesel spray ที่เชื้อเพลิงบางส่วนมีส่วนผสมที่หนา (Locally rich) ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่รุนแรง อุณหภูมิการเผาไหม้สูงจึงทำให้ค่าไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มากคงที่ตามไปด้วย
- (3) เครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติแบบ Stoichiometric engine มีค่ามลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซล (Pure diesel engine)
- (4) เครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจะสูงขึ้น เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล

3.2 Direct Injection Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot

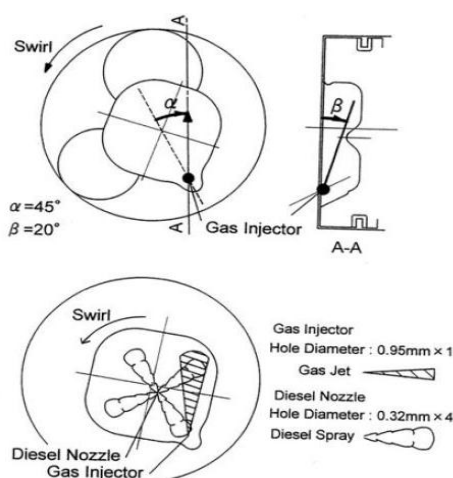
3.2.1 Combustion and Exhaust Emissions Characteristics of a Diesel Engine Dual-Fueled with Natural Gas [3],

7th International Conference and Exhibition on Natural Gas Vehicles NGV2000, October 2000 Yokohama Japan, Waseda University

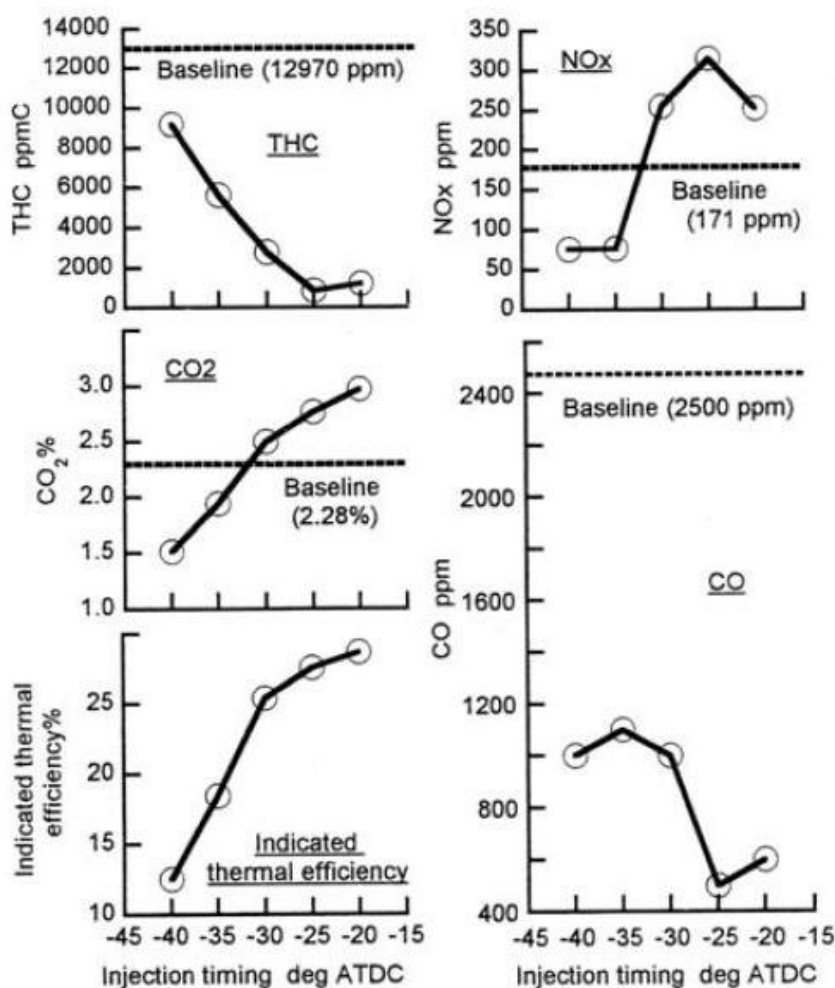
เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล Direct injection โดยระบายความร้อนด้วยน้ำ 4 สูบ 3.86 ลิตร 4 จังหวะ อัตราส่วนการอัด 17 ใช้กับรถบรรทุกขนาดกลาง (Medium-duty truck) หัวฉีดแก๊สธรรมชาติถูกติดตั้งแทนที่หัวเผา (Glow-plug) องศาการฉีดของหัวฉีดแก๊สธรรมชาติ (Injection timing) และช่วงเวลาในการฉีด (Duration of injection) ถูกควบคุมช่วงเวลาการเปิดปิดการฉีดด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีองศาการจุดระเบิดระหว่าง -40 ถึง -20 องศา ATDC



รูปที่ 3.2.1 Experimental setup for Direct Injection Natural gas with Diesel pilot [3]



รูปที่ 3.2.2 Combustion chamber layout of Direct Injection Natural gas with Diesel pilot [3]



รูปที่ 3.2.3 The effect of injection timing of Natural gas of thermal efficiency and exhaust gas emissions (Engine speed 1,280) [3]

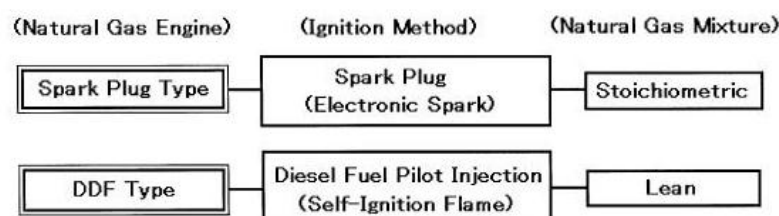
นักวิจัยวิเคราะห์และสรุปไว้ว่า

- (1) สามารถลดปริมาณมลพิษไฮโดรคาร์บอน (THC) ได้ด้วยการฉีดแก๊สธรรมชาติให้ช้าลงแต่ในขณะเดียวกันปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ก็จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแก๊สธรรมชาติที่ถูกฉีดออกมาช้าๆ จึงเห็นว่าการติดตั้งระบบ EGR เพื่อช่วยลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NOx)
- (2) ในกรณีฉีดแก๊สธรรมชาติ 25 BTDC มีค่ามลพิษคาบอนมอนนอกไซด์ (CO) ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ
- (3) ในกรณีฉีดแก๊สธรรมชาติ 20 BTDC มีค่ามลพิษคาบอนมอนนอกไซด์ (CO) สูงกว่า 25 BTDC เพราะปริมาณเชื้อเพลิงต่ออากาศสูงเกินไป
- (4) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์ได้ด้วยการฉีดแก๊สให้ช้าลง
- (5) สำหรับการทดลองครั้งนี้สรุปได้ว่าการฉีดแก๊สธรรมชาติควรให้อยู่ในช่วง 25 ถึง 20 BTDC เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และลดปริมาณมลพิษ

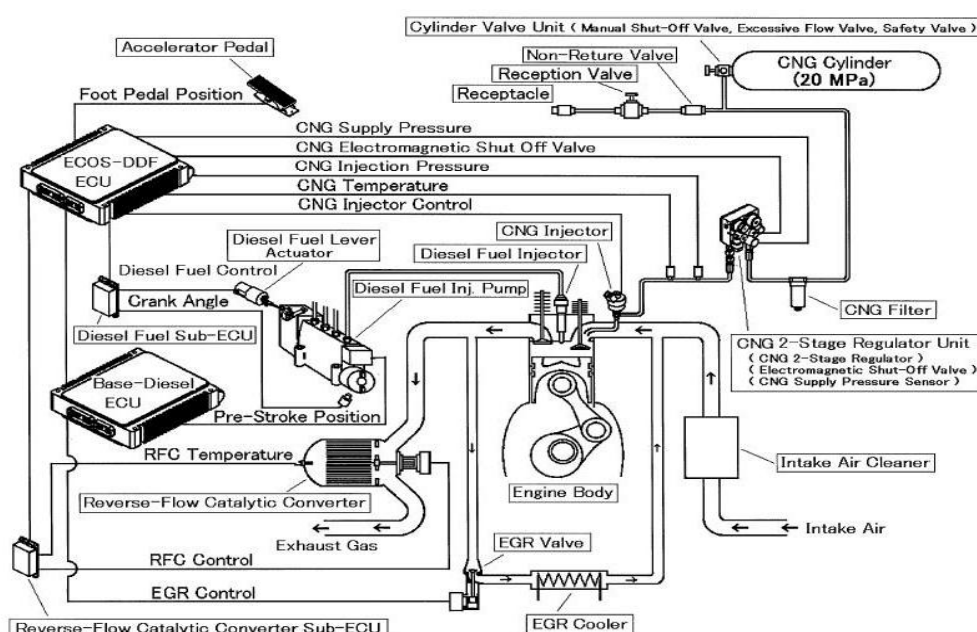
3.2.2 The development of the ECOS-DDF natural gas engine for medium-duty trucks: exhaust emission reduction against base diesel engine [4],

JSAE review 22-2001 December 2000, Nippon Ecology Work System Corp and Alternative Fuel Systems Inc.

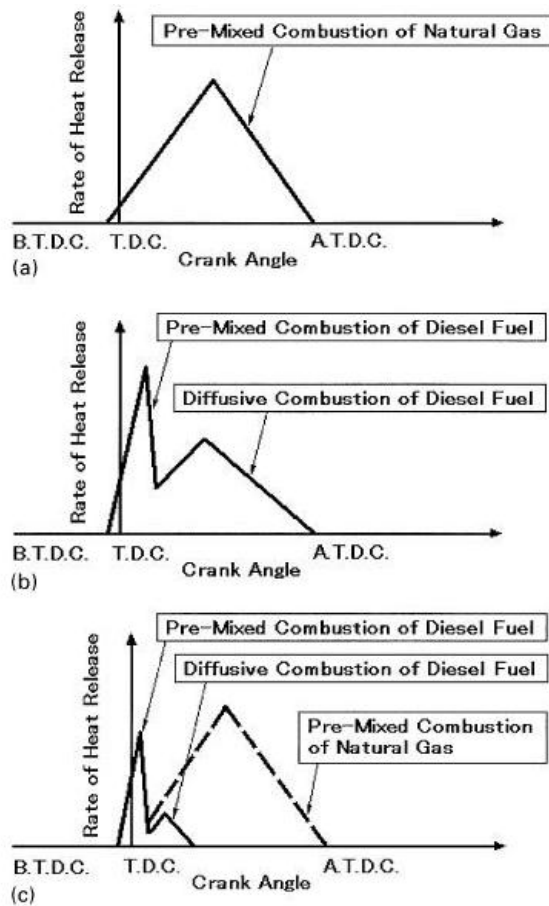
เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องยนต์ดีเซล Isuzu 6HH1-C 8226 ซีซี ที่ติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เรียกว่า ECOS-DDF Engine ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic control unit (ECU)) แทนที่ระบบควบคุมเดิม ระบบควบคุมการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลและแก๊สธรรมชาติขึ้นอยู่กับสัญญาณความเร็วรอบของเครื่องยนต์และสัญญาณแสดงตำแหน่งของขาคันเร่ง โดยจะมีความสัมพันธ์กับกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์และปริมาณมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ มีการติดตั้งระบบดักไอเสียที่ท่อไอเสีย (Reverse-flow catalytic (RFC) converter) ระบบกลไกลดปริมาณไอเสีย (Mechanism for exhaust emission reduction) รวมไปถึงการติดตั้งระบบ Cooled EGR



รูปที่ 3.2.4 Ignition method of Natural gas mixture for CNG Engine [4]



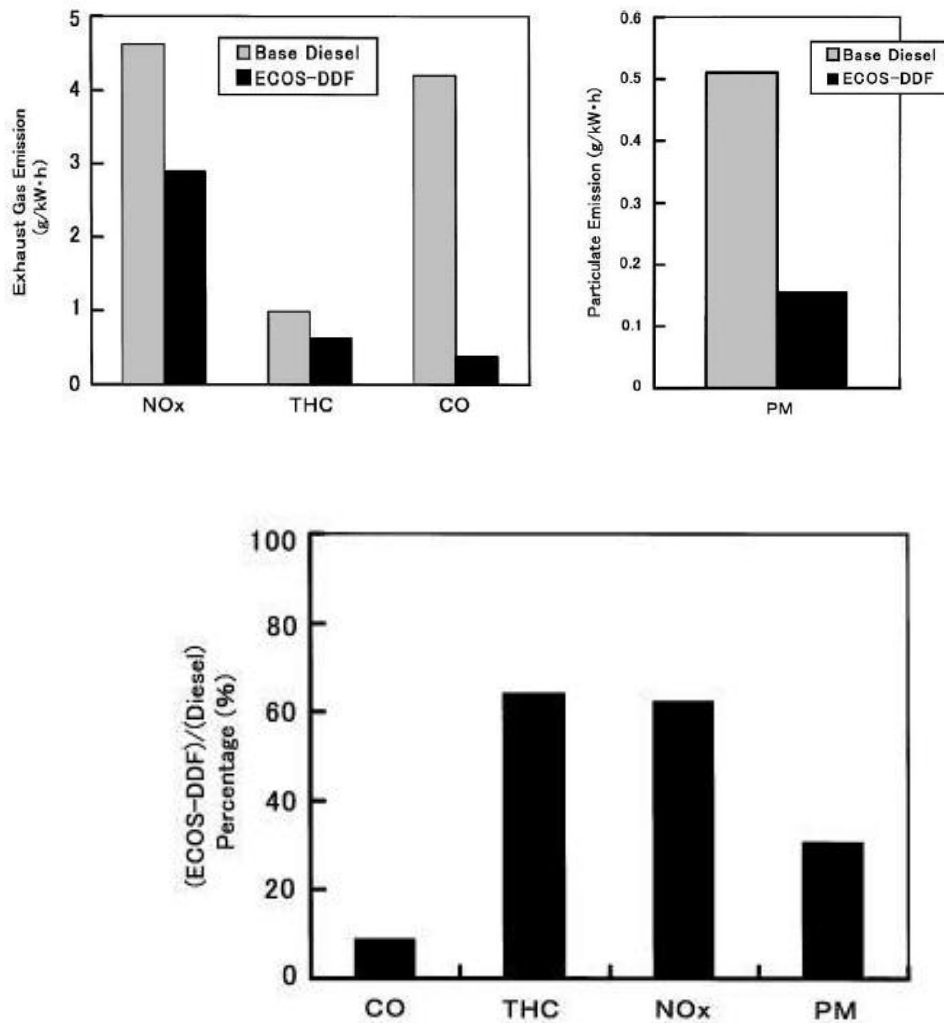
รูปที่ 3.2.5 ECOS-DDF Natural gas engine system [4]



รูปที่ 3.2.6 Schematic diagram of heat release for Engine: (a) spark plug type natural gas engine, (b) diesel engine, (c) ECOS-DDF Natural gas engine [4]

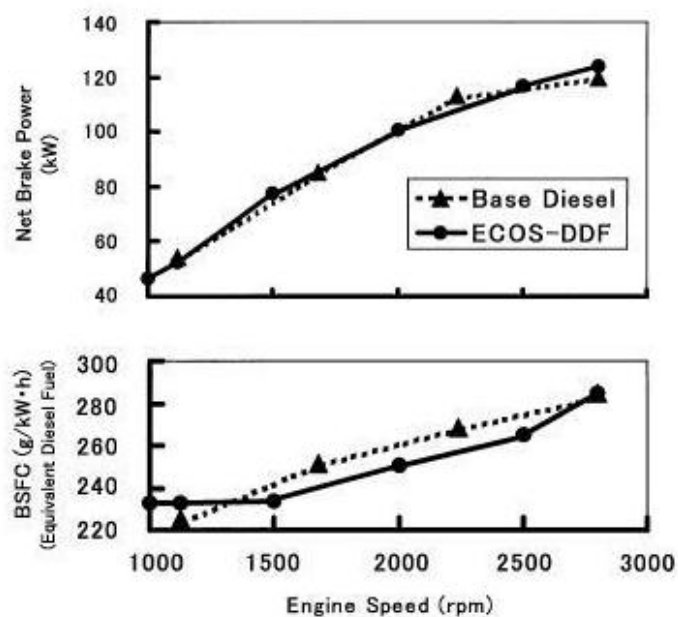
นักวิจัยวิเคราะห์และสรุปไว้ว่า

- (1) The ECOS-DDF Natural gas engine มีรูปแบบการเผาไหม้ (Combustion pattern) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของดีเซลในช่วงแรกตามปกติ (Basic diesel combustion) บวกกับการเผาไหม้ของส่วนผสมแก๊สธรรมชาติกับอากาศ (Combustion of natural gas premixed with air)
- (2) The ECOS-DDF เป็นระบบที่ช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ (Emissions) ได้ดีมาก
 - (2.1) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และเสียงที่เกิดจากการเผาไหม้ (Combustion noise) สามารถถูกลดได้ด้วยการลดการเผาไหม้ของส่วนผสมดีเซลกับอากาศ (Diesel fuel premixed with air)
 - (2.2) อนุภาคนาโนเล็กจากไอเสีย (PM) และควันดำ (Smoke) สามารถถูกลดได้ด้วยการลดการเผาไหม้แบบแพร่ของส่วนผสมดีเซลกับอากาศ (Diffusive combustion of diesel fuel)
 - (2.3) ควรจะลดไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ให้มากขึ้นซึ่งสามารถทำได้ด้วยการเพิ่มปริมาณการนำไอเสียบางส่วนกลับมาใช้อีกรอบ (The EGR system)
- (3) สามารถลดปริมาณไอเสีย NO_x , CO, THC, PM และ CO_2 ประมาณ 40, 90, 35, 70 และ 15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไอเสียจากน้ำมันดีเซล (Base diesel engine)

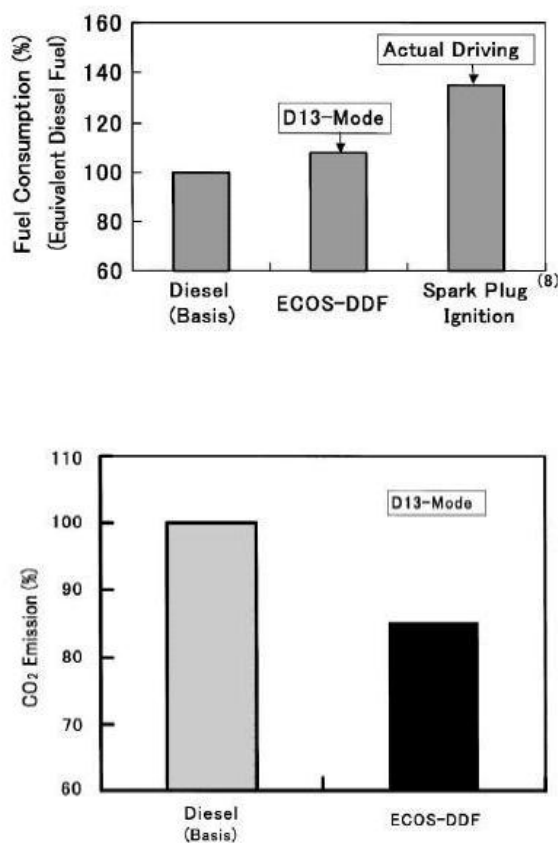


รูปที่ 3.2.7 Exhaust gas emissions of S ECOS-DDF Natural gas engine [4]

- (4) The ECOS-DDF natural gas engine มีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนและกำลังของเครื่องยนต์ (Thermal efficiency and Engine power) ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ดีเซล
- (5) The ECOS-DDF natural gas engine สามารถที่จะลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ให้ต่ำที่สุดในเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combustion engines)
- (6) The ECOS-DDF natural gas engine เป็นระบบที่มีความทนทานและมีอายุการใช้งานที่สูงมาก (Durability, functionality) และมีความประหยัดเชื้อเพลิงกว่า (Brake specific fuel consumption) เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยหัวเทียน (Spark plug-type natural gas engines)
- (7) ถ้าหากพิจารณาในเชิงของประสิทธิภาพทางความร้อน มลพิษจากไอเสีย และคุณสมบัติอื่นๆ (Thermal efficiency, low emissions and Functional properties) พบว่าระบบ The ECOS-DDF natural gas engine เป็นระบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรถบรรทุกและรถบัส (Heavy-duty trucks and buses) ในปัจจุบัน



รูปที่ 3.2.8 Comparison of full load performance of S ECOS-DDF Natural gas engine [4]

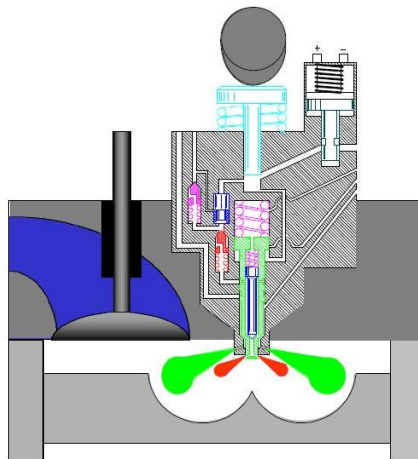


รูปที่ 3.2.9 Fuel consumption comparison base on D13 mode of ECOS-DDF Natural gas eng. [4]

3.2.3 NO_x reduction in a Directly Injected Gas Engine [5],

Westport Innovation Inc. and University of British Columbia

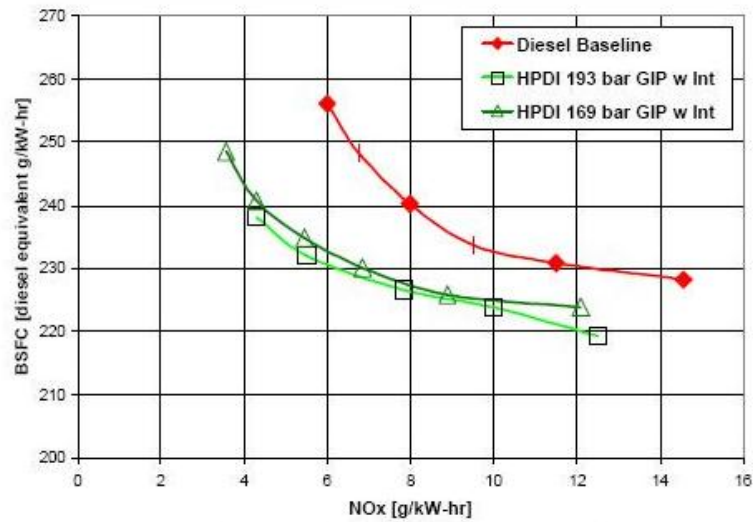
งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติโดยใช้หัวฉีดเชื้อเพลิงที่มีความดันสูง และสามารถฉีดเชื้อเพลิงได้สองชนิด คือ แก๊สธรรมชาติ กับเชื้อเพลิงดีเซล ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ช่วยในการจุดระเบิด ถึงแก๊สความดันสูง (The high-pressure storage cylinders) มีขนาดความจุ 200 kg และมีความดันสูงถึง 200 bar ความดันของหัวฉีดแก๊สประมาณ 250 bar ระบบหัวฉีดเชื้อเพลิงสองชนิด (Dual fuel injector) ถูกทำการติดตั้งบนเครื่องยนต์ 6V-92TA DDEC II 9050 cc



รูปที่ 3.2.10 Schematic representation of the HPDI of Natural gas injector [5]

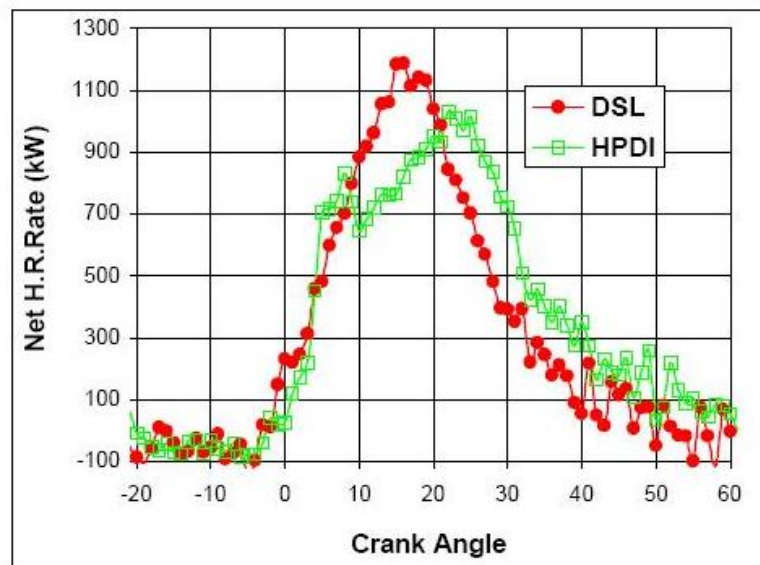
นักวิจัยวิเคราะห์และสรุปไว้ว่า

- (1) ที่อัตราการเผาไหม้ (Combustion rate) เดียวกันที่ Pilot Diesel 10% โดยปริมาณพลังงานจะพบว่าสามารถลดปริมาณมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ได้ประมาณ 40%
- (2) HPDI Engine มีอัตราการเผาไหม้ (Combustion rate) ใกล้เคียงกับการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล และการเพิ่มความดันในหัวฉีด Injection Delay และการลดปริมาณ pilot ignition จะทำให้อัตราการเผาไหม้มีความรุนแรงน้อยลง ซึ่งมีผลโดยตรงให้ปริมาณมลพิษ NO_x ลดลงได้



Trade-off between fuel consumption and NO_x emissions for natural gas and diesel fueling. 8.96 bar BMEP, 1260 RPM.

รูปที่ 3.2.11 Fuel consumption versus NOx of HPDI system [5]



Net heat release rate for 2025 RPM, 6.8 bar BMEP.

รูปที่ 3.2.12 Heat release rate results of the HPDI [5]

3.2.4, Performance and Emissions of a Two-Stroke Engine Fueled Using High-Pressure Direct Injection of Natural Gas [9],

Westport Innovation Inc. and University of British Columbia

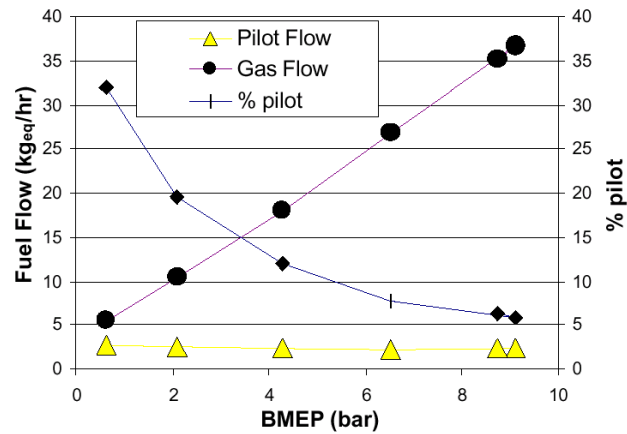


Figure 2 - Fuel flow of pilot fuel and CNG on a diesel equivalent energy basis, and relative amount of pilot fuel (on an energy basis). Gas injection of 165 bar and 1260 RPM.

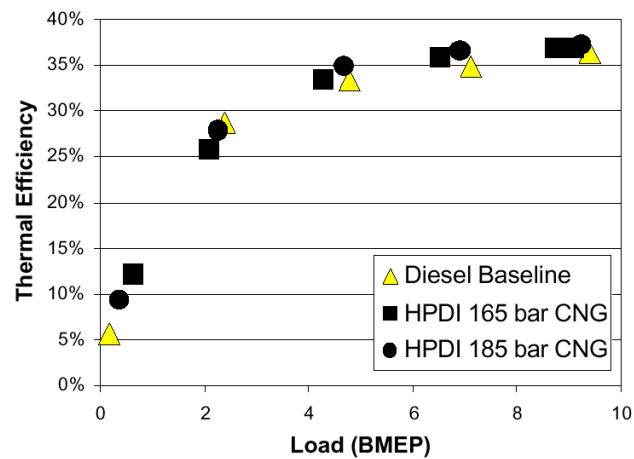


Figure 3 – Thermal efficiency of HPDI of NG compared to that of diesel fueling (1260 RPM).

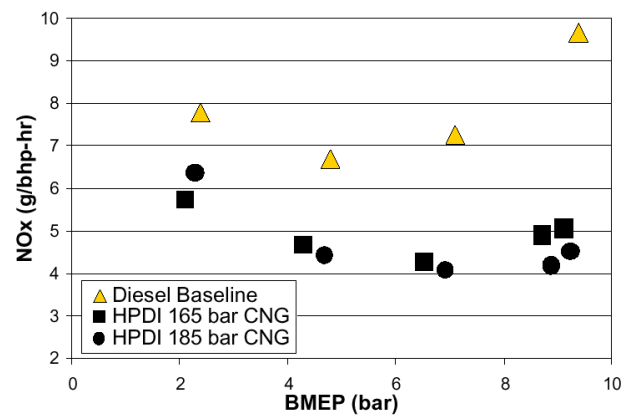


Figure 4 – Nitrogen oxide emissions of HPDI of NG compared to that of diesel fueling (1260 RPM).

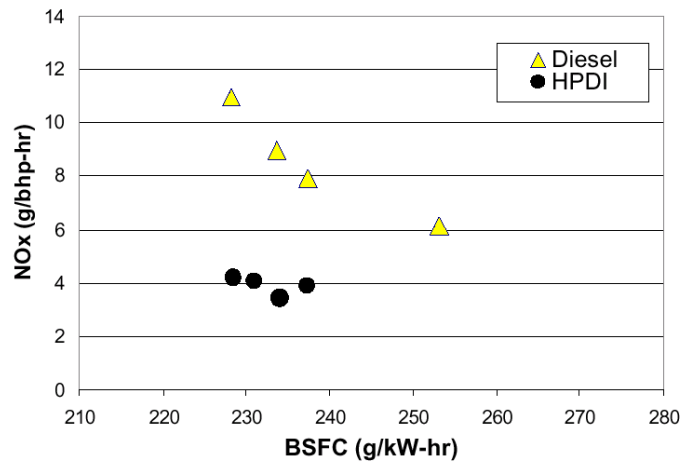


Figure 8 – BSFC vs. NOx trade-off obtained by varying the injection timing at mode 6.

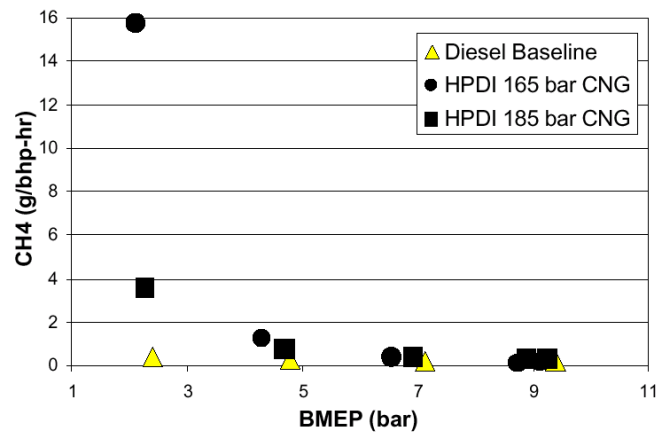


Figure 6 – Methane emissions of HPDI of NG compared to that of diesel Fueling (1260 RPM).

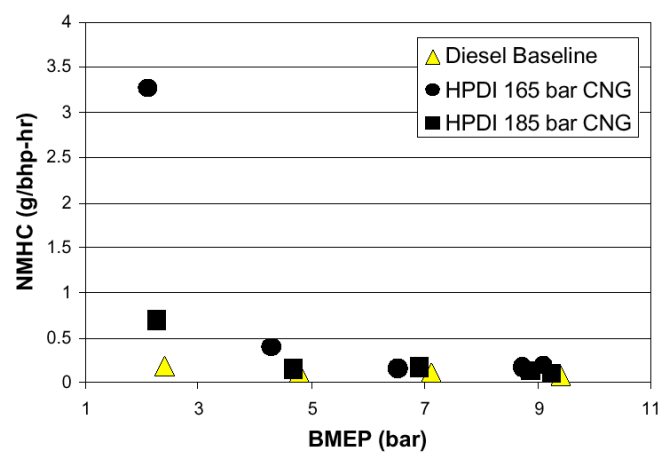
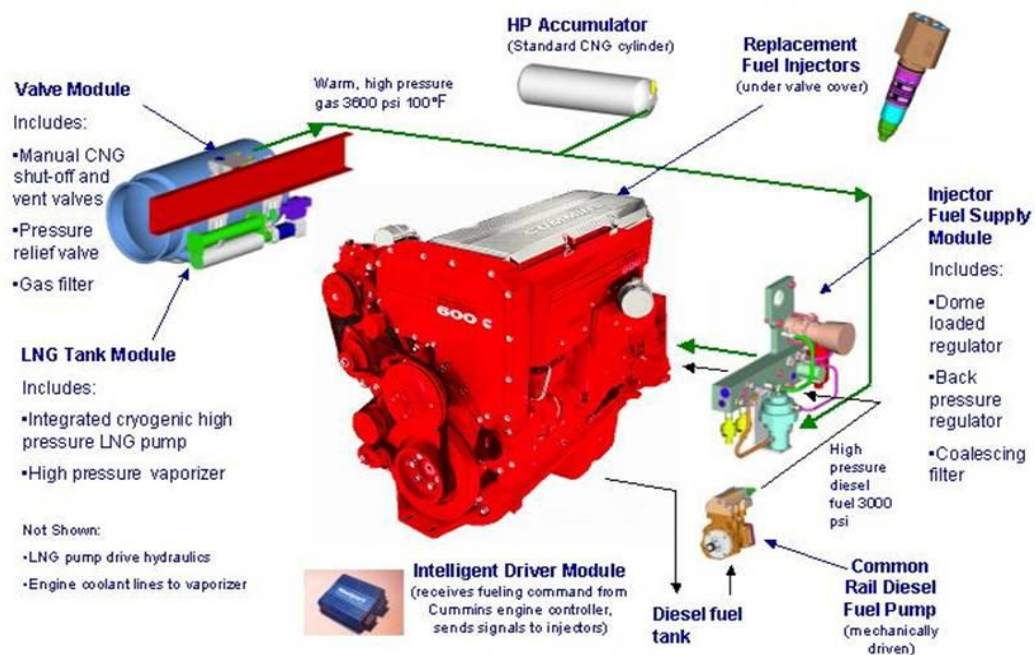


Figure 7 – Non-methane hydrocarbon emissions of HPDI of NG compared to that of diesel fueling (1260 RPM).

3.2.5 Progresses in High Pressure Direct Injection (HPDI) of Natural Gas In Automotive Diesel Engines [10],

Westport Innovation Inc. and University of British Columbia

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องยนต์ดีเซล โดยแทนที่ระบบฉีดเชื้อเพลิงเดิมด้วย หัวฉีด Common-rail ซึ่งทำหน้าที่ฉีดเชื้อเพลิงดีเซลเพื่อช่วยในการจุดระเบิด หรือเรียกว่า Pilot diesel ซึ่งถูกควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ท่อของระบบหัวฉีด Common-rail มีความดันประมาณ 25 MPa ปริมาณของเชื้อเพลิง Pilot diesel มีค่าระหว่างร้อยละ 9 ถึง 2.4 เมื่อภาระโหลดเพิ่มจากร้อยละ 20 ถึง 100



รูปที่ 3.2.15 Schematic of HPDI Fuel supply system [10]

จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ The HPDI of Natural gas with pilot ignition สามารถที่จะลดปริมาณมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และ PM ลดลงร้อยละ 45 และ 70 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล

นักวิจัยวิเคราะห์ว่า The HPDI of Natural gas with pilot ignition ในเครื่องยนต์ดีเซล สามารถทำให้มีอัตราการเผาไหม้ใกล้เคียงกับการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลได้ และยังสามารถที่จะลดปริมาณมลพิษในการเผาไหม้ให้ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวได้

3.3 ผลสรุปจากผลงานวิจัยที่ใช้อ้างอิง

(1) การใช้แก๊สธรรมชาติกับเครื่องยนต์ดีเซลทั้ง Pre-mixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot และ Direct Injection Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot สามารถทำให้มีประสิทธิภาพและอัตราการเผาไหม้ที่ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ดีเซลล้วนสามารถนำไปใช้งานจริงได้

(2) ในกรณีของเครื่องยนต์ Pre-mixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot ที่ภาระโหลดต่ำถึงปานกลาง เนื่องจากอุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำเกินไปทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่ไม่ได้รับการเผาไหม้สูงมาก ดังนั้นควรได้รับการพัฒนาให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

(3) ค่ามลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ของเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สธรรมชาติกับน้ำมันดีเซล (Pure Diesel and DPI) ไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามภาระโหลดมากนักเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติล้วนที่จุดระเบิดด้วยหัวเทียน เพราะในการเผาไหม้แบบ Stratified ของดีเซลมีอุณหภูมิการเผาไหม้สูงจึงทำให้ค่าไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) มากคงที่

(4) ในกรณีของเครื่องยนต์ Direct Injection Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot สามารถลดปริมาณมลพิษไฮโดรคาร์บอน (HC) ได้ด้วยการฉีดแก๊สธรรมชาติให้ต่ำลง แต่ในขณะเดียวกันปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ก็จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแก๊สธรรมชาติที่ถูกฉีดออกมาช้า จึงเห็นว่าควรมีการติดตั้งระบบ EGR เพื่อช่วยลดปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

(5) The HPDI of Natural gas with pilot ignition ในเครื่องยนต์ดีเซลมีอัตราการเผาไหม้ (Combustion rate) ใกล้เคียงกับการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล และการเพิ่มความดันในหัวฉีด Injection Delay และการลดปริมาณ pilot ignition จะทำให้อัตราการเผาไหม้มีความรุนแรงน้อยลง ซึ่งมีผลโดยตรงให้ปริมาณมลพิษ NO_x ลดลงได้