การศึกษาการใช้เชื้อเพลิงแก๊สผสมกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์

Study on Using Gaseous Fuel and Diesel in an Engine

ปรีชา การินทร์[1*] จินดา เจริญพรพาณิชย์[2]
[1, 2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198 *E-mail: preechar_karin@ita.isuzu.co.jp

Preechar Karin[1*] Chinda Charoenphonphanich[2]
[1, 2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Ladkrabang, Bangkok 10520 Tel: 0-2326-4197, Fax 0-2326-4198 *E-mail: preechar_karin@ita.isuzu.co.jp

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอถึงการศึกษาและพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลโดยการใช้เชื้อเพลิงผสมแก๊สและน้ำมันดีเซล โดยในการวิจัยครั้งนี้ใช้แก๊สสองชนิดคือ LPG และ CNG มีหลักการเบื้องต้นคือ แก๊สจะถูกผสมกับอากาศที่ท่อทางเข้าอากาศก่อนที่จะเข้าห้องเผาไหม้ และจะถูกเผาไหม้หลังจากเครื่องยนต์ถูกจุดระเบิดด้วยเชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งในการวิจัยใช้เครื่องยนต์ดีเซลในการทดสอบ สำหรับเชื้อเพลิง LPG ใช้เครื่องยนต์ 4 สูบ 4 จังหวะ ขนาด 2499 ซีซี โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซล และสำหรับเชื้อเพลิง CNG ใช้เครื่องยนต์ขนาด 2986 ซีซี โดยมีการปรับเปลี่ยนปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลให้น้อยลง ทดสอบวัดค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ ปริมาณควันดำจากไอเสียและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ภาระโหลดต่างๆ นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว ซึ่งจากผลการวิจัยทำให้พบว่า กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมสูงกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียวประมาณร้อยละ 8.5 แต่อย่างไรก็ตามปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลอย่างเดียว สำหรับอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในเชิงพลังงานของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสมนั้นพบว่า อัตราส่วนการผสมระหว่างเชื้อเพลิง LPGกับดีเซล มีค่าประมาณ 14 ต่อ 86 ถ้าเทียบเป็นราคาเชื้อเพลิงแล้วจะประหยัดกว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียวประมาณร้อยละ 35

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงผสม เชื้อเพลิงแก๊ส เครื่องยนต์ดีเซล

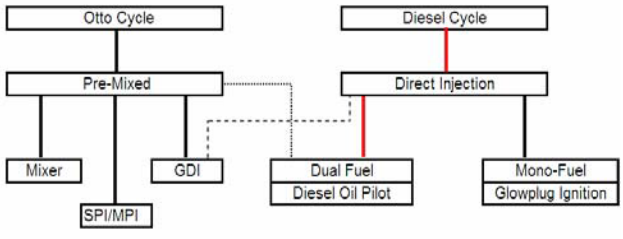
Abstract

The objective of this paper is to study and develop diesel engine for the use of dual fuel of gas and diesel. The fuel used in this study consists of both LPG and CNG. The concept is that gas and air are mixed at the air intake duct and the combustion of air-fuel mixture occurs after the ignition of diesel. The engine used for LPG is four-cylinder four strokes of diesel engine, 2499 cc, with no adjustment for amount of diesel injection. For CNG, similar engine of 2986 cc is used, with the reduction of diesel injection amount. The maximum engine power, smoke of exhausted gas and fuel consumption of combustion are measured and compared to the test result of pure diesel engine at each different load. As the result, the maximum engine power of dual fuel is higher than that of pure diesel about 8.5 percent. The smoke of exhaust gas of dual fuel is higher than pure diesel. The ratio of LPG to diesel by energy for dual system is 14 to 86. By comparing total cost of dual fuel of LPG to pure diesel, the dual fuel shows about 35 percent lower figure.

Keywords: Dual fuel, Gaseous fuel, Diesel engine

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังประสบปัญหาขาดแคลนพลังงาน รวมไปถึงปัญหามลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ แก๊สเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถนำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ได้ และยังมีมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ต่ำเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินหรือดีเซล ในปัจจุบันผู้ผลิตเครื่องยนต์ รถยนต์และยังรวมไปถึงนักวิจัยทั่วโลก ต่างกำลังวิจัยและพัฒนาเครื่องยนต์แก๊สกันอย่างแพร่หลาย โดยจะสามารถแบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆคือ ตามหลักการของเครื่องยนต์เบนซิน (Otto Cycle) กับหลักการของเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Cycle) และยังแบ่งแยกย่อยออกไปเป็น Pre-mixing ก่อนที่เชื้อเพลิงจะเข้าห้องเผาไหม้ กับ In-cylinder pre-mixing ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแต่ละประเภทต่างก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานจริง อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์แก๊สยังมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องวิจัยและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าปัจจุบัน เพื่อให้เกิดประโยชน์จากการใช้พลังงานสูงที่สุด



รูปที่ 1 การแบ่งประเภทของเครื่องยนต์แก๊ส

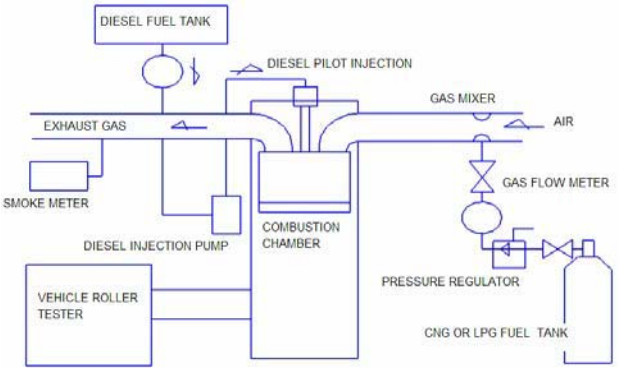
เนื้อความหลัก

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาเครื่องยนต์ ตามหลักการการใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแก๊สกับน้ำมันดีเซล (Diesel Cycle Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot) ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและนำมาเป็นเอกสารอ้างอิงดังนี้

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

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

การใช้เชื้อเพลิงผสมสองชนิดกับเครื่องยนต์ดีเซล เป็นการใช้เชื้อเพลิงร่วมกันระหว่างแก๊สกับน้ำมันดีเซล ซึ่งแก๊สถูกส่งจากถังที่มีความดันสูง สำหรับ LPG ประมาณ 20 ถึง 30 บาร์ และสำหรับ CNG ประมาณ 180 ถึง 200 บาร์ ผ่านชุดลดความดัน หลังจากนั้นแก๊สจะถูกผสมกับอากาศที่ท่อทางเข้าอากาศก่อนจะถูกนำเข้าในห้องเผาไหม้ ตามหลักการของเครื่องยนต์ดีเซลดัง รูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม

การทดลอง

การทดลองเป็นการทดสอบรถยนต์ ที่ใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแก๊สกับน้ำมันดีเซล สำหรับเชื้อเพลิงผสม LPGกับดีเซล ใช้เครื่องยนต์ดีเซล Isuzu 4JA1-L ความจุ 2499 ซีซี 4 สูบ 4 จังหวะ ขนาดกระบอกสูบ 93 x 92 mm และสำหรับเชื้อเพลิงผสม CNGกับดีเซล ใช้เครื่องยนต์ดีเซล Toyota 5L ความจุ 2986 ซีซี 4 สูบ 4 จังหวะ ขนาดกระบอกสูบ 95.5 x 96.0 mm ถังแก๊ส (Gas Tank) ถูกติดตั้งไว้ที่ส่วนท้ายของรถยนต์ ดังรูปที่ 3 และแก๊สถูกส่งไปตามท่อส่งเชื้อเพลิงผ่านอุปกรณ์ลดความดัน (Pressure Regulator) ดังรูปที่ 4 ก่อนที่จะถูกนำเข้าผสมกับอากาศที่ท่อทางเข้าอากาศ ด้วยชุดผสมแก๊สกับอากาศ (Gas and Air Mixer) ก่อนเข้าห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) เป็นการทดสอบบนแท่นทดสอบ (Roller Tester) และได้ทำการวัดค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วของรถยนต์ 60 ถึง 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 5 และ 6 ทำการวัดปริมาณควันดำจากไอเสียด้วยอุปกรณ์วัดควันดำ (Smoke Meter) ที่ภาวะโหลด 500 700 และ 900 kPa BMEP ดังรูปที่ 7

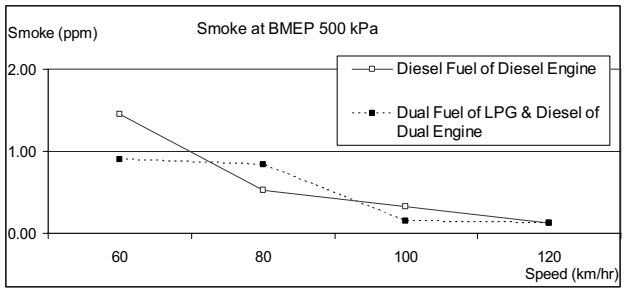
รูปที่ 3 แสดงการติดตั้งถังแก๊สกับรถยนต์

รูปที่ 4 แสดงการติดตั้งระบบลดความดันแก๊สก่อนเข้าเครื่องยนต์

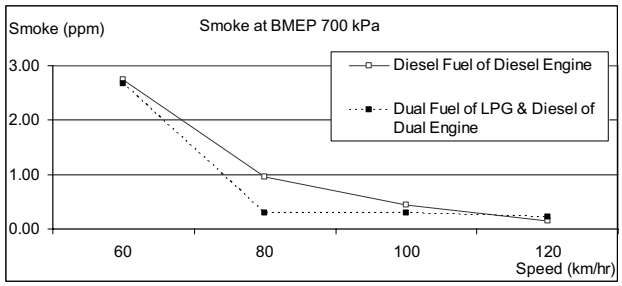
รูปที่ 5 แสดงการทดสอบของรถยนต์บนแท่นทดสอบ

รูปที่ 6 เครื่องควบคุมและแสดงผลกำลังของเครื่องยนต์

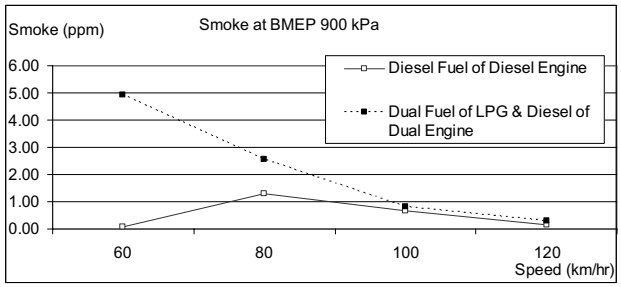
รูปที่ 7 เครื่องวัดปริมาณควันดำจากไอเสีย



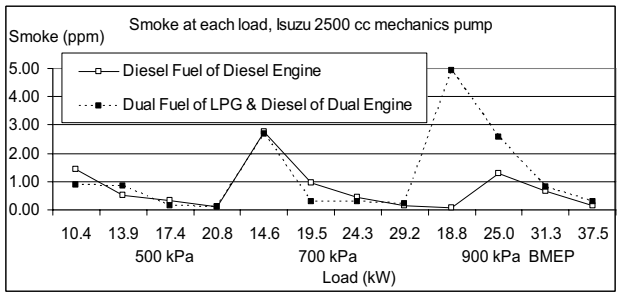
รูปที่ 8 ปริมาณควันดำที่ 500 kPa BMEP LPGกับดีเซล



รูปที่ 9 ปริมาณควันดำที่ 700 kPa BMEP LPGกับดีเซล



รูปที่ 10 ปริมาณควันดำที่ 900 kPa BMEP LPGกับดีเซล

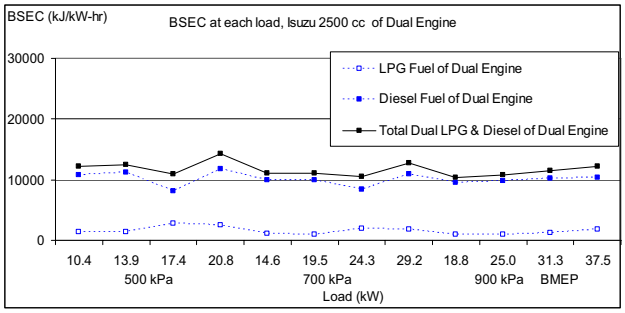


รูปที่ 11 ปริมาณควันดำที่ต่างสภาวะโหลด LPGกับดีเซล

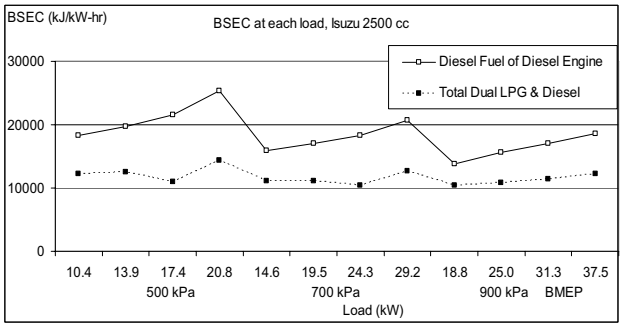
ผลการทดลอง

1. เครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม LPGกับดีเซล

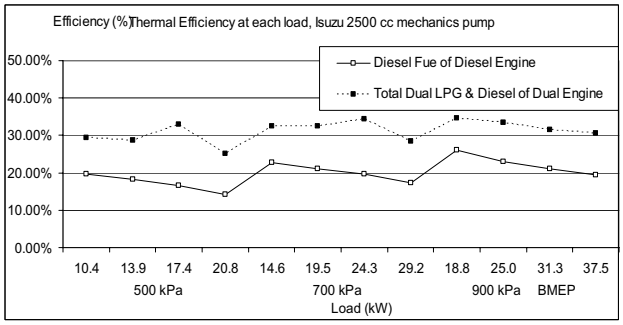
เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบไม่มีการปรับลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซล ผลการทดสอบวัดปริมาณไอเสียของเชื้อเพลิงผสม LPGกับน้ำมันดีเซล ที่ภาระโหลด 500 700 และ 900 kPa BMEP ได้แสดงไว้ในรูปที่ 8 9 10 และ11 จากการทดสอบพบว่าปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสม LPGกับดีเซล ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวที่ภาระโหลดปานกลาง แต่อย่างไรก็ตามที่ภาระโหลดสูงจะมีค่าสูงมาก เนื่องจากไม่มีการปรับลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลลง และปริมาณอากาศที่ถูกส่งเข้าไปในห้องเผาไหม้ลดลง เพราะถูกแทนที่ด้วยแก๊ส ทำให้อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศสูงเกินไป สำหรับการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ทดสอบที่ความเร็วรถ 60 80 90 และ100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภาระโหลด 500, 700 และ900 kPa BMEP พบว่าอัตราส่วนการผสมระหว่าง LPGกับดีเซลในเชิงพลังงานมีค่าประมาณ 14 ต่อ 86 สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณร้อยละ 38 ลดค่าใช้จ่ายได้ประมาณร้อยละ 35 และประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว ดังรูปที่ 12 13 และ14 ตามลำดับ



รูปที่ 12 อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิง LPGกับดีเซล



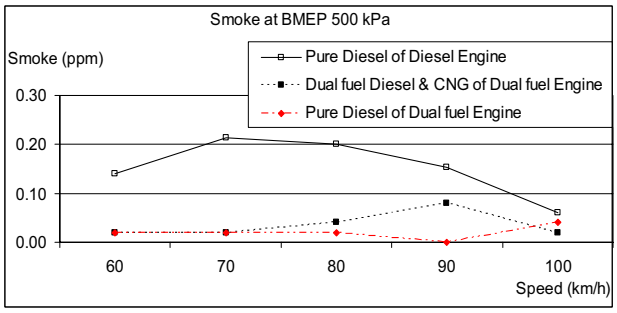
รูปที่ 13 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง LPGกับดีเซล



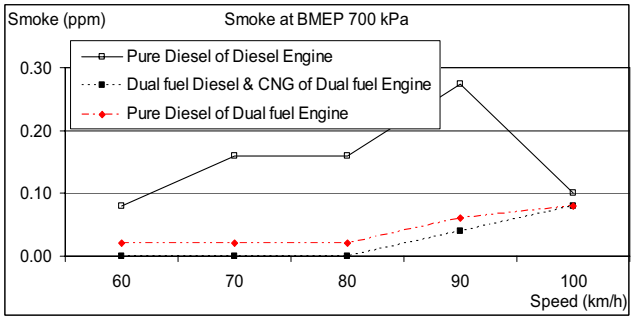
รูปที่ 14 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน LPGกับดีเซล

2. เครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม CNGกับดีเซล

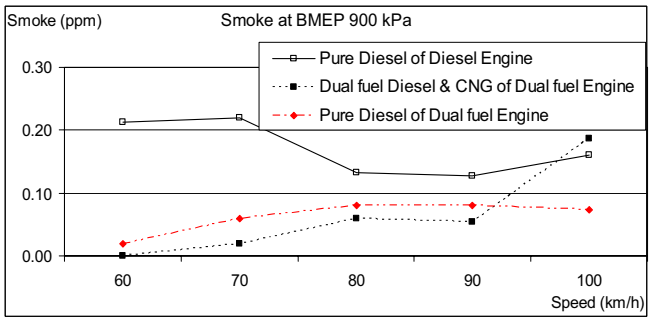
เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ มีการปรับลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลลง ผลการทดสอบวัดปริมาณไอเสียของเชื้อเพลิงผสม CNG กับดีเซล ที่ภาระโหลด 500 700 และ 900 kPa BMEP แสดงในรูปที่ 15 16 17 และ18 ปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงผสมมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวที่ภาระโหลดปานกลาง เพราะมีการปรับลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลลง ทำให้ปริมาณดีเซลที่ใช้ในการเผาไหม้ลดลง และเนื่องจากเชื้อเพลิงCNG มีอัตราการเผาไหม้ที่รวดเร็วและรุนแรงกว่า จึงทำให้เครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่า แต่อย่างไรก็ตามที่ภาระโหลดสูง ค่าควันดำของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณดีเซลที่ถูกส่งเข้าไปในห้องเผาไหม้มากขึ้น ทำให้มีอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศที่สูงขึ้นตามไปด้วย โดยมีสาเหตุมาจากปริมาณอากาศที่ถูกส่งเข้าไปในห้องเผาไหม้ลดลงเนื่องจากถูกแทนที่ด้วยแก๊ส ทำให้อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศสูงเกินไป ซึ่งเป็นข้อเสียของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแบบนี้



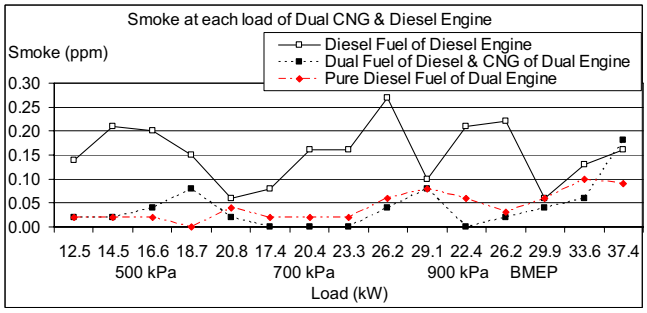
รูปที่ 15 ปริมาณควันดำที่ 500 kPa BMEP CNGกับดีเซล



รูปที่ 16 ปริมาณควันดำที่ 700 kPa BMEP CNGกับดีเซล



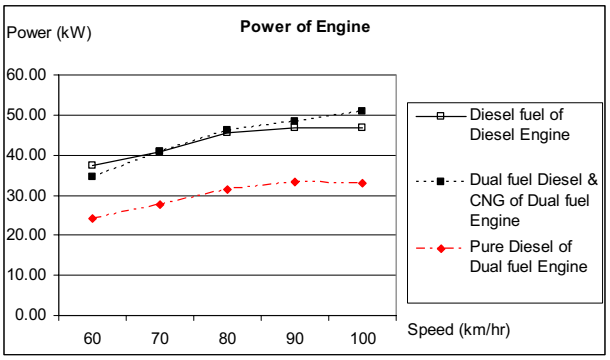
รูปที่ 17 ปริมาณควันดำที่ 900 kPa BMEP CNGกับดีเซล



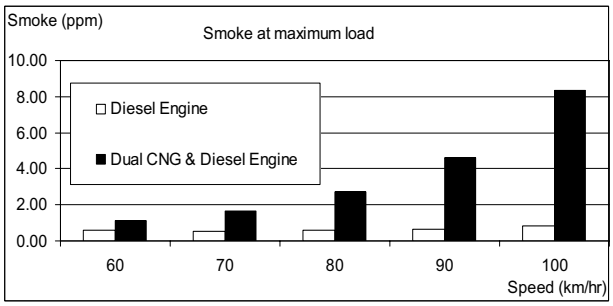
รูปที่ 18 ปริมาณควันดำที่ต่างสภาวะโหลด CNGกับดีเซล

ผลการทดสอบวัดกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรถยนต์ 60 70 80 90 และ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงไว้ในรูปที่ 19 จากผลการทดสอบพบว่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์น้ำมันดีเซลอย่างเดียวที่ความเร็วรถต่ำ แต่ที่ความเร็วรถสูงจะมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์น้ำมันดีเซลอย่างเดียวประมาณร้อยละ 8.5 เนื่องจากปริมาณดีเซลที่ถูกส่งเข้าไปในห้องเผาไหม้สูงขึ้น แต่อย่างไรก็-

ตามที่ภาระโหลดสูงสุดของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมมีค่าควันดำสูงกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียวมาก เพราะปริมาณดีเซลที่ถูกส่งเข้าไปในห้องเผาไหม้มากเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 20

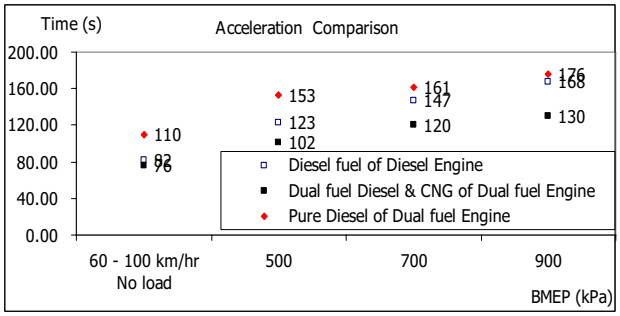


รูปที่ 19 กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม CNGกับดีเซล



รูปที่ 20 ปริมาณควันดำที่กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์

ผลการทดสอบวัดอัตราเร่งของเครื่องยนต์จากความเร็วรถยนต์ 60 ถึง 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงไว้ในรูปที่ 21 เครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม CNGและน้ำมันดีเซล มีอัตราเร่งที่ดีกว่า น่าจะเนื่องมาจากCNG มีอัตราการเผาไหม้ที่รวดเร็วและรุนแรงกว่า



รูปที่ 21 ผลการทดสอบวัดอัตราเร่งของรถยนต์ CNGกับดีเซล

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สกับน้ำมันดีเซลเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวสรุปได้ดังนี้

1. เครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม LPGกับดีเซล

1.1 ปริมาณควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม ที่ภาระโหลดปานกลาง มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามที่ภาระโหลดสูงจะมีค่าสูงมาก เนื่องจากไม่มีการปรับลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลลง และปริมาณอากาศที่ถูกส่งเข้าไปในห้องเผาไหม้ลดลง เพราะถูกแทนที่ด้วยแก๊ส ทำให้อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศสูงเกินไป

1.2 อัตราส่วนผสม LPG กับดีเซล โดยพลังงานมีค่าประมาณ 14 ต่อ 86 ประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 38 สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ร้อยละ 35 และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว

2. เครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม CNGกับดีเซล

2.1 กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม สูงกว่าเครื่องยนต์น้ำมันดีเซลอย่างเดียวประมาณร้อยละ 8.5 เนื่องจากปริมาณดีเซลที่ถูกส่งเข้าไปในห้องเผาไหม้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามที่ภาระโหลดสูงสุด ค่าควันดำจากไอเสียของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมมีค่าสูงมาก

2.2 ที่ภาระโหลดสูง ปริมาณควันดำของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมมีค่าสูงขึ้นมากกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว เนื่องจากอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงต่ออากาศที่สูงขึ้น เพราะอากาศที่ถูกส่งเข้าไปในห้องเผาไหม้ลดลงเนื่องจากถูกแทนที่ด้วยแก๊ส ซึ่งเป็นข้อเสียของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแบบนี้

2.3 อัตราการเร่งของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมมีค่าอัตราการเร่งที่ดีกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว เพราะว่าการเผาไหม้ของแก๊สมีความรวดเร็วและรุนแรงมากกว่า

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า เครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สกับดีเซลแบบ Dual Fuel มีข้อดีคือสามารถประหยัดค่าเชื้อเพลิงลงได้ แต่มีข้อเสียคือ มีค่ามลพิษควันดำสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลอย่างเดียว

เอกสารอ้างอิง

[1] Ikegami, M., Shioji, M., and Ishiyama, T., 2000. Approaches to High Thermal-Efficiency in High Compression-Ratio Gas Engine. 7th International Conference and Exhibition on Gas Vehicles NGV2000, Yokohama, Japan, October 17-19.

[2] George, Z., and Harry C., Alternative Ignition systems for CNG in Diesel Applications. 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering.

[3] Kusaka, J., Daisho, Y., Shimonagata, T., Kihara, R., and Saito, T., 2000. Combustion and Exhaust Emissions Characteristics of a Diesel Engine Dual-Fueled with Gas. 7th International Conference and Exhibition on Gas Vehicles NGV2000, Yokohama, Japan, October 17-19.

[4] Ishida, A., Nishimura, A., Uranishi, M., Kihara, R., Nakamura. A., and Newman. Paul., 2001. The development of the ECOS-DDF Gas engine for medium-duty trucks: exhaust emission reduction against base diesel engine. JSAE review 22.

[5] Patric. O., Brad. D., Phillip. G., and Buerebista. U., 1998. NOx reduction in a Directly Injected Gas Engine. Fall Technical Conference of the ASME Internal Combustion Engine Division, ICE Vol. 31-3, Clymer, New York, USA, September.