สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลและเบนซินที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว และก๊าซธรรมชาติอัด

Performance of the Diesel and Gasoline Engines using Liquid Petroleum Gas and Compressed Natural Gas

ไกรสร บุญเปรี่ยม[1] จินดา เจริญพรพาณิชย์[2]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Kraisorn Boonpream[1] Chinda Charoenphonphanich[2]

[1,2] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการนำเชื้อเพลิงก๊าซได้แก่ LPG และ CNG มาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เบนซิน โดยเครื่องยนต์ดีเซลจะใช้ระบบเชื้อเพลิงร่วมระหว่าง LPG กับดีเซล และ CNG กับดีเซล ส่วนเครื่องยนต์เบนซินจะใช้เชื้อเพลิง LPG, CNG และน้ำมันเบนซิน91 โดยเปรียบเทียบสมรรถนะที่ได้กับเครื่องยนต์เดิม พบว่าเครื่องยนต์ดีเซลระบบเชื้อเพลิงร่วมที่ใช้ LPG มีกำลังมากกว่า 17% และสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า 22-32% ส่วนระบบเชื้อเพลิงร่วมที่ใช้ CNG มีค่าใกล้เคียงกับการใช้ดีเซล แต่จะสิ้นเปลืองมากกว่า 19% ปริมาณควันดำจากไอเสียในระบบเชื้อเพลิงร่วมทั้ง LPG และ CNG ที่ภาระโหลดปานกลางจะใกล้เคียงกับการใช้ดีเซล แต่จะสูงมากที่ภาระโหลดสูง ในเครื่องยนต์เบนซินกำลังสูงสุดเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG และ CNG จะต่ำกว่าการใช้น้ำมันเบนซินประมาณ 9% มลพิษจากไอเสีย HC, CO_2 และNO_x ต่ำกว่า ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้ LPG จะต่ำกว่าประมาณ 5% และเมื่อใช้ CNG จะมีค่าใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันเบนซิน

คำสำคัญ : พลังงานทดแทน, ก๊าซธรรมชาติอัด, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว, เชื้อเพลิงก๊าซ

Abstract

This work aims to study of using of gaseous fuels include of LPG and CNG in compression ignition (CI) and spark ignition (SI) engines. The diesel engines were modified to run with combination of diesel and LPG or diesel and CNG. The gasoline engines were operated with LPG, CNG and gasoline RON 91 respectively and compared with the conventional engine. As the result, engine power of dual fuel of diesel and LPG engine is greater than 17% and provides less energy consumption 22-32%. And engine power of dual fuel of diesel and CNG engine is same as diesel engine but provides greater energy consumption about 19%. In high load, the black smoke of using LPG and CNG are higher than diesel engine. In case of SI engines, maximum power of using LPG or CNG is less than using gasoline approximately 9%. The HC, CO_2 and NO_x emissions are less than using gasoline. Fuel consumption in case of LPG is less than 5% and same as when using CNG that compared with gasoline.

Key words: Alternative fuel, CNG, LPG, Gaseous fuel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกได้ให้ความสนใจในด้านการควบคุมมลพิษ และการหาแหล่งพลังงานสำรองทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการใช้รถยนต์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้มลพิษที่ปล่อยออกมามีจำนวนมากขึ้นทำให้เกิดปัญหามลพิษตามมา นอกจากนี้ยังมีความต้องการปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นด้วย แต่แหล่งน้ำมันดิบที่มีอยู่ในปัจจุบันมีจำนวนน้อยลง และอาจหมดไปในอนาคตอันใกล้[1] จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาพลังงานชนิดอื่นมาทดแทนเชื้อเพลิงก๊าซจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ได้ และมีปริมาณมลพิษจากการเผาไหม้ต่ำเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซินหรือดีเซล เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการใช้พลังงานสูงสุด การนำเชื้อเพลิงก๊าซมาใช้ในเครื่องยนต์จึงมีความจำเป็นต้องวิจัยและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จากผลการวิจัยที่ผ่าน[2] การใช้ LPG จะเผาไหม้สะอาด เกิดคาร์บอนและการเจือปนในน้ำมันเครื่องน้อย ทำให้การสึกหรอของเครื่องยนต์ลดลง ช่วยยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเช่น แหวน และแบริ่ง เนื่องจาก LPG มีค่าออกเทนสูงทำให้ลดการสึกหรอจากการน็อค ส่วนการศึกษาการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวพบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่า และประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล[3] และเมื่อมีการปรับองศาการฉีดน้ำมันล่วงหน้าจะช่วยลดการเกิด CO และCO_2 แต่จะเกิด NO_x เพิ่มขึ้น และที่ภาระปานกลางถึงภาระสูงจะทำให้เกิดการน็อคของเครื่องยนต์เร็วขึ้น[4] เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนระหว่างการใช้ LPG กับ CNG พบว่าการใช้CNG มีเสียงที่เกิดจากการเผาไหม้ดังน้อยกว่า[5] และให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าอีกด้วย[6] การใช้เชื้อเพลิงก๊าซจะช่วยลดปัญหาการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกลงได้ เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิงจะปล่อย CO และCO_2 ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเป็น และในเครื่องยนต์ดีเซลจะช่วยลดเขม่าลงด้วย[7]

จะเห็นได้ว่าการนำเชื้อเพลิงก๊าซมาใช้แทนน้ำมันนั้นจะสามารถลดปัญหามลพิษลงได้ แต่ถ้าไม่ได้มีการปรับแต่งเครื่องยนต์กำลังที่ได้อาจเปลี่ยนไป ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงนำเชื้อเพลิงก๊าซ ทั้งการนำ LPG และCNG มาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลและเบนซิน เพื่อศึกษากำลังสูงสุด อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และมลพิษที่เปลี่ยนไปของเครื่องยนต์

2. การทดลอง

ในการทดสอบเครื่องยนต์จะแบ่งออกเป็น

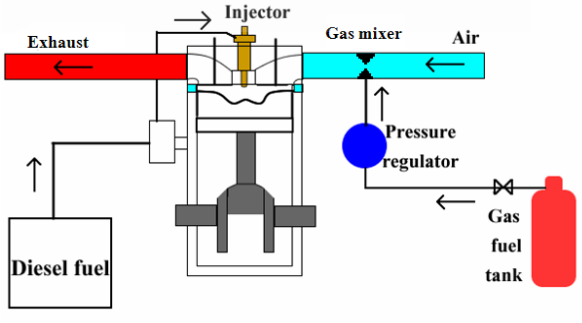
2.1 การทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล

ใช้เครื่องยนต์ดีเซลที่ติดตั้งระบบเชื้อเพลิงร่วมดังแสดงในรูปที่ 1 และ2 แบ่งเป็น

2.1.1 ระบบเชื้อเพลิงร่วมระหว่าง LPG กับดีเซล เครื่องยนต์ Toyota 2KD-FTV ความจุ 2494 ซีซี 4 สูบ 4 จังหวะ ขนาดกระบอกสูบ 92.0×93.8 mm เทอร์โบชาร์จ

2.1.2 ระบบเชื้อเพลิงร่วมระหว่าง CNG กับดีเซล เครื่องยนต์ Toyota 5L ความจุ 2986 ซีซี 4 สูบ 4 จังหวะ ขนาดกระบอกสูบ 95.5×96.0 mm จำนวน 2 คัน แบ่งเป็นดีเซลหนึ่งคัน และระบบเชื้อเพลิงร่วมที่ใช้ CNG หนึ่งคัน

รูปที่ 1: แสดงท่อก๊าซที่ต่อเข้าทางท่อไอดี



รูปที่ 2: แสดงแผนภาพของระบบเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์ดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทดสอบเครื่องยนต์เบนซิน

ใช้เครื่องยนต์ Monika ขนาด 650 ซีซี 3 สูบ 4 จังหวะ ติดตั้งในรถ 3 ล้อ 3 คันใช้เชื้อเพลิง LPG, CNG และน้ำมันเบนซิน91 อย่างละ 1 คัน

ทำการทดสอบบน Chassis dynamometer ดังรูปที่ 3 และ 4 โดยทดสอบดังเงื่อนไขในตารางที่ 1

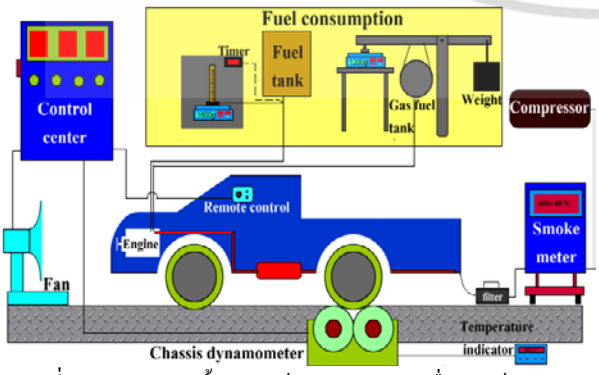
ตารางที่ 1: แสดงเงื่อนไขการทดสอบ

ประเภทรถ / เงื่อนไข	เครื่องยนต์ดีเซล	เครื่องยนต์เบนซิน
ความเร็ว (กม./ชม.)	คงที่ 60,80,100 และ 120	เฉลี่ย 19 และ 34.55 คงที่ 40 และ 60
ภาระ(BMEP) kPa	500,700 และ900	-
สมรรถนะ	กำลัง, อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง, ควันดำ และมลพิษ	
เชื้อเพลิง	Diesel, LPG และ CNG	Gasoline91, LPG และ CNG
เกียร์ที่ใช้	4	3

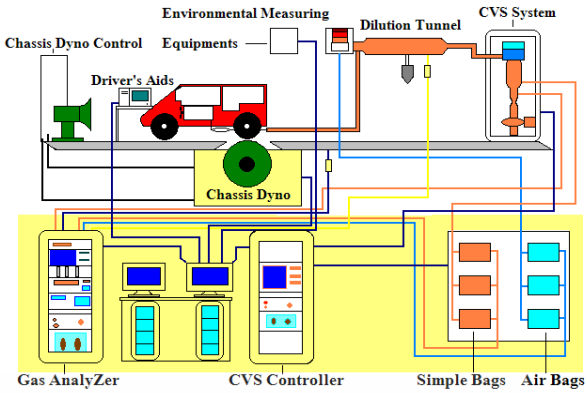
ตารางที่ 2: แสดงคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

Fuel / Properties	Diesel	LPG	CNG	Gasoline 91
Specific gravity	0.826	0.557	0.654	0.746
Gross heating value* (MJ/kg)	45.56	49.73	37.92	45.44

*ที่มาการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย



รูปที่ 3: แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซล



รูปที่ 4: แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบในเครื่องยนต์เบนซิน

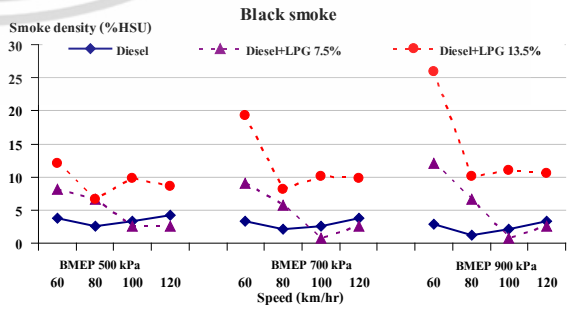
3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดสอบเครื่องยนต์ตามเงื่อนไขต่างๆ มีดังต่อไปนี้

3.1 ผลการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซล

3.1.1 เครื่องยนต์ดีเซลระบบเชื้อเพลิงร่วม LPGกับดีเซล

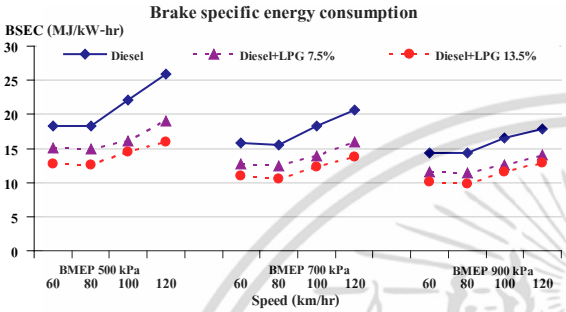
จากการทดสอบเครื่องยนต์ระบบเชื้อเพลิงร่วมโดยไม่มีการปรับลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลที่ความเร็วคงที่ 60, 80, 100 และ120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ BMEP 500, 700 และ900 kPa พบว่าปริมาณควันดำจากไอเสียที่ภาระโหลดปานกลางจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อภาระโหลดสูงในเครื่องยนต์ระบบเชื้อเพลิงร่วมจะมีค่าควันดำสูงขึ้น และเมื่อมีการปรับปริมาณก๊าซเพิ่มพบว่าปริมาณควันดำเพิ่มสูงขึ้นในทุกภาระโหลด เนื่องจากปริมาณอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ลดลงเพราะถูกแทนที่ด้วยก๊าซ และไม่ได้มีการปรับปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซล เป็นผลให้อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศสูงเกินไปทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ขึ้นดังรูปที่ 5



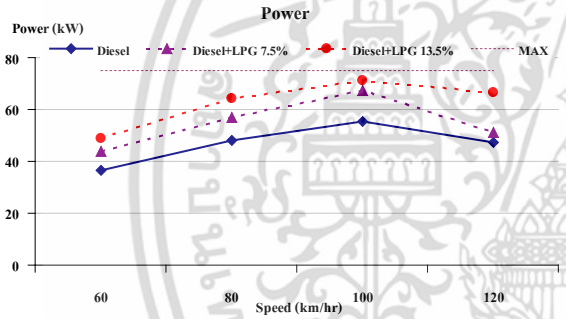
รูปที่ 5: ปริมาณควันดำจากไอเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงพบว่าเมื่อเปิดใช้ระบบเชื้อเพลิงร่วม ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลจะลดลง โดยอัตราส่วนระหว่าง LPG กับดีเซลในเชิงพลังงาน มีค่าประมาณ 7.5 ต่อ 92.5 สามารถประหยัดพลังงานได้ 22% แต่เมื่อเพิ่ม LPG อัตราส่วนเชิงพลังงานจะมีค่าประมาณ 13.5 ต่อ 86.5 ทำให้ประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นอีก 10% เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6: อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก

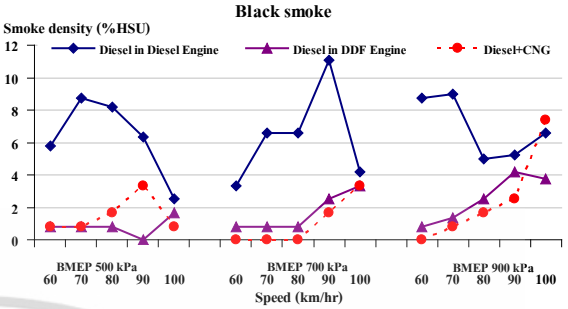


รูปที่ 7: แสดงกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ในเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วม LPGกับดีเซลเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล

กำลังที่ได้จากการใช้ระบบเชื้อเพลิงร่วมจะสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว 17% ในกรณีที่ไม่มีการปรับลดการฉีดน้ำมัน ดังรูปที่ 7

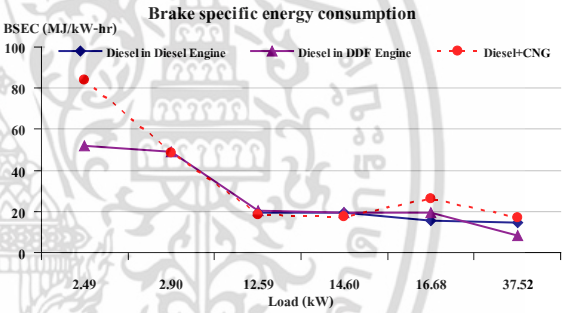
3.1.2 เครื่องยนต์ดีเซลระบบเชื้อเพลิงร่วม CNGกับดีเซล

เครื่องยนต์ระบบเชื้อเพลิงร่วมที่ใช้ในการทดสอบมีการปรับลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลลง ผลการทดสอบดังรูปที่ 8 พบว่าปริมาณควันดำจากไอเสียที่ภาระโหลดปานกลางจะมีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เพราะได้มีการปรับลดการฉีดน้ำมันดีเซลลง ซึ่งเชื้อเพลิง CNG มีการเผาไหม้ที่รวดเร็วและรุนแรงจึงทำให้การเผาไหม้ที่ภาระโหลดปานกลางดีกว่า แต่เมื่อภาระโหลดสูงขึ้น ทำให้ปริมาณอากาศเข้าน้อยลง เพราะถูกแทนที่ด้วยเชื้อเพลิง CNG อีกทั้งปริมาณน้ำมันดีเซลที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศสูงเกินไปเป็นผลทำให้ปริมาณควันดำเพิ่มมากขึ้น

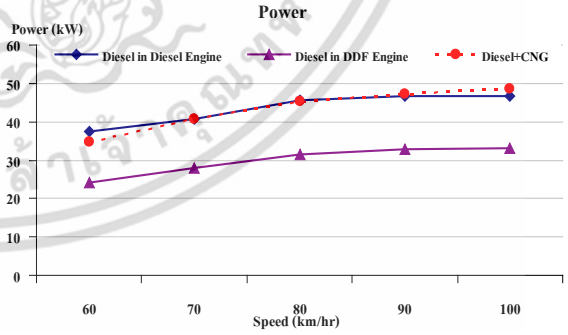


รูปที่ 8: ปริมาณควันดำจากไอเสีย

เมื่อทำการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงพบว่าอัตราส่วน ของก๊าซ CNG ต่อน้ำมันดีเซลมีค่าประมาณ 44 ต่อ 56 ในเชิงพลังงานซึ่งสิ้นเปลืองกว่าการใช้น้ำมันดีเซลประมาณ 19% ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9: อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกที่ภาระต่างๆ



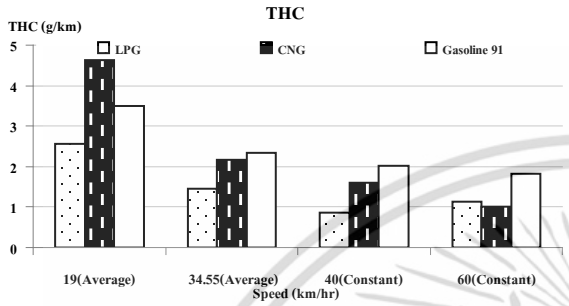
รูปที่ 10: กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ระบบเชื้อเพลิงร่วม CNG กับน้ำมันดีเซลเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล

ส่วนกำลังสูงสุดที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงร่วมจะมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล แต่มีแนวโน้มสูงขึ้นมากกว่าเมื่อความเร็วสูงขึ้น ดังรูปที่ 10 ทั้งนี้น่าจะเป็นผลจากปริมาณน้ำมันดีเซลที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณควันดำจะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

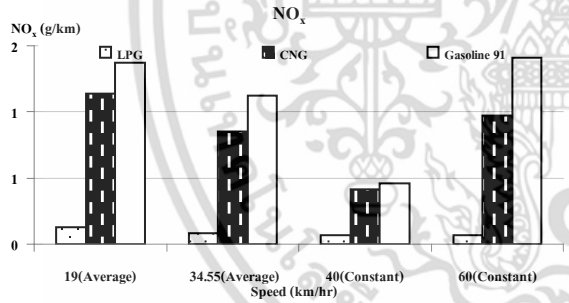
3.2 ผลการทดสอบเครื่องยนต์เบนซินที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ

ผลการทดสอบวัดมลพิษจากไอเสียพบว่ามีการปล่อย HC ในไอเสียที่ใช้เชื้อเพลิงLPG และCNG ต่ำกว่า39% และ 24% ตามลำดับเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซิน แต่ที่ความเร็วเฉลี่ย 19 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เชื้อเพลิง CNG จะปล่อย HC มากกว่าน่าจะเกิดจากปริมาณก๊าซมากเกิน ดังรูปที่ 11



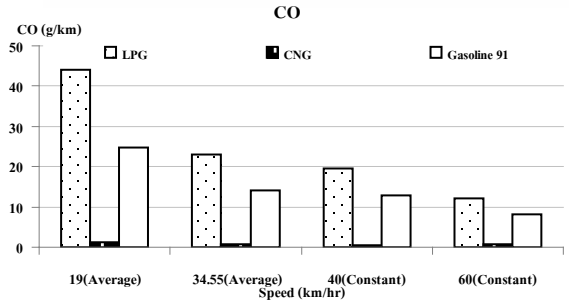
รูปที่ 11: ปริมาณไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดจากไอเสีย

พบว่ามี NO_x ในไอเสียที่ใช้เชื้อเพลิง LPG และCNG ต่ำกว่า 91%และ20% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซิน ดังรูปที่ 12 น่าจะเป็นผลมาจากเชื้อเพลิง CNG และน้ำมันเบนซินมีการเผาไหม้ที่รุนแรงทำให้เกิด NO_x ปริมาณมาก



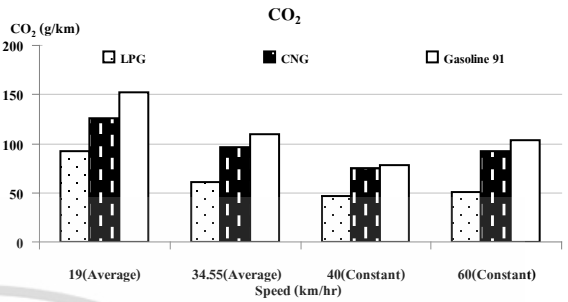
รูปที่ 12: ปริมาณ NO_x ที่ปล่อยออกมาจากไอเสีย

พบว่า CO จากไอเสียเมื่อใช้เชื้อเพลิง LPG จะสูงกว่า 60% และ เมื่อใช้ CNG จะต่ำกว่า 94% เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซินดังรูปที่ 13



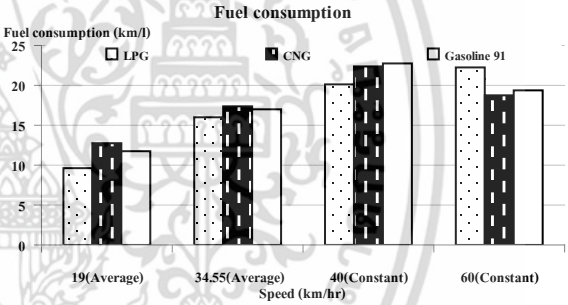
รูปที่ 13: แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์จากไอเสีย

พบว่า CO_2 ที่ปล่อยออกมาจากการใช้เชื้อเพลิง LPG และ CNG จะต่ำกว่า 43.5% และ11% ตามลำดับเมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซิน ดังรูปที่ 14

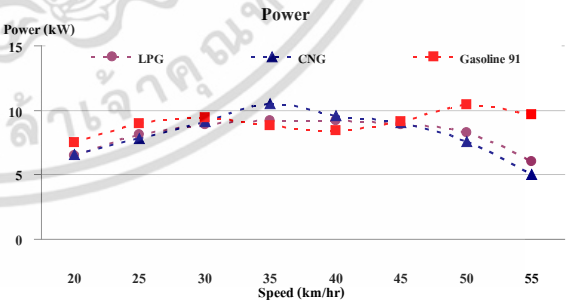


รูปที่ 14: แสดงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากไอเสีย

เมื่อทำการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงพบว่าการใช้เชื้อเพลิง LPG มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่า 5% และเมื่อใช้เชื้อเพลิง CNG จะสูงกว่า 1.5% เมื่อเทียบกับน้ำมันเบนซิน ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15: แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



รูปที่ 16: แสดงกำลังสูงสุดในเครื่องยนต์เบนซิน

ผลการทดสอบกำลังที่ได้พบว่ากำลังจากเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง LPG และ CNG มีค่าใกล้เคียงกันแต่จะต่ำกว่าการใช้น้ำมันเบนซิน91 ประมาณ 9% ดังรูปที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบการใช้เชื้อเพลิงก๊าซในเครื่องยนต์ดีเซล และเบนซิน สามารถสรุปได้ดังนี้

ในเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมระหว่าง LPGกับดีเซลที่ไม่ได้มีการปรับลดการฉีดน้ำมันดีเซลลง ในเชิงพลังงานสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 22-32% โดยที่กำลังของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น 17% มีค่าปริมาณควันดำที่ภาระโหลดปานกลางใกล้เคียงเมื่อเทียบกับการใช้ดีเซล แต่ที่ภาระโหลดต่ำและสูงจะมีปริมาณควันดำสูงกว่า อีกทั้งการปรับปริมาณการจ่ายก๊าซที่ไม่เหมาะจะทำให้ปริมาณควันดำเพิ่มขึ้นด้วย

ในเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมระหว่าง CNG กับดีเซลได้ทำการปรับปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลลง กำลังที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับการใช้ดีเซล แต่ในเชิงพลังงานจะสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าประมาณ 19% ปริมาณควันดำที่ภาระต่ำและสูงจะมีค่ามากกว่าการใช้ดีเซล

อย่างไรก็ตามการติดตั้งระบบควบคุมการจ่ายก๊าซด้วยระบบอิเลคทรอนิคส์น่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาที่ภาระโหลดต่ำและสูงได้

ในเครื่องยนต์เบนซินที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซ พบว่ากำลังที่ได้จะต่ำกว่าการใช้เบนซิน ประมาณ 9% มลพิษที่ปล่อยออกมาทั้ง HC, NO_x, CO_2 และ CO จากการใช้เชื้อเพลิงก๊าซจะต่ำกว่า ส่วนอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเมื่อใช้ LPG จะต่ำกว่า 5%และเมื่อใช้ CNG จะสูงกว่า 1.5% เมื่อเทียบกับการใช้เบนซิน

5. เอกสารอ้างอิง

[1] วีระศักดิ์ กรัยวิเชียร, “เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ทฤษฎีและการคำนวณ,” วิทยพัฒน์, 2546.

[2] Demirbas,A, “Fuel properties of hydrogen, liquefied petroleum gas (LPG), and compressed natural gas (CNG) for transportation,” Energy Sources, Vol.24, Issue 7, pp. 601-610, July, 2002.

[3] O M I NWAFOR, “Effect of advanced injection timing on the performance of natural gas in diesel engines,” Sadhana, Vol.25, Part 1, pp. 11-20, February, 2000.

[4] G.H. Abd Alla, H.A. Soliman, O.A. Badr and M.F. Abd Rabbo, “Effect of pilot fuel quantity on the performance of a dual fuel engine,” Energy Conversion & Management, Vol.41, pp. 559-572, 2000.

[5] G.H. Abd Alla, H.A. Soliman, O.A. Badr and M.F. Abd Rabbo, “Effect of injection timing on the performance of a dual fuel engine,” Energy Conversion and Management, Vol.43, pp. 269-277, 2002.

[6] Mohamed Y.E. Selim1, “Effect of engine parameters and gaseous fuel type on the cyclic variability of dual fuel engines,” Fuel, Vol.84, pp. 961–971, 2005.

[7] R.G.Papagiannakis and D.T.Hountalas, “Experimental investigation concerning the effect of natural gas percentage on performance and emissions of a DI dual fuel diesel engine,” Applied Thermal Engineering, Vol.23, pp. 353–365, 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้