การทดสอบศึกษาสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติที่อัตราส่วนการอัดต่างๆ

ปิติณัตต์ ตรีวงศ์ [1,2*] และ เชษฐวุฒิ ภูมิพิพัฒน์พงศ์[1,2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานทางเลือกเพื่อตอบสนองต่อวิกฤติพลังงานและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน โดยเป็นงานวิจัยเชิงการทดลองที่มีเป้าหมายเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเครื่องยนต์ดีเซล Daedong 4A220 ขนาด 2,197 cc สี่สูบ สี่จังหวะที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลกับเครื่องยนต์เดียวกันที่ถูกดัดแปลงเพื่อใช้ก๊าซธรรมชาติระบบดูดโดยเปลี่ยนอัตราส่วนการอัดเป็น 9.0, 9.5, 10.0 และ 10.5 ต่อ 1 ผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติสามารถสร้างแรงบิดและกำลังสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลในทุกช่วงความเร็วรอบและสูงที่สุดถึง 13.07% ที่ 2,600 rpm เครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติยังมีข้อได้เปรียบในด้านประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมากถึง 10.03% และ 36.75% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติที่อัตราส่วนการอัดต่างๆ กัน พบว่าปริมาณ NO_x จะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการอัดที่สูงขึ้นถึง 10:1 และปริมาณ NO_x จะเริ่มลดลงเมื่ออัตราส่วนการอัดเป็น 10.5:1 อัตราส่วนการอัดที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณ THC แต่ไม่พบผลกระทบต่อปริมาณ CO

คำสำคัญ : เครื่องยนต์ดีเซล, เครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติ, อัตราส่วนการอัด, สมรรถนะ, มลพิษ

---

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] ศูนย์วิจัยพลังงานยานยนต์และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[*] ผู้ติดต่อ, อีเมล์: peeteenut@windowslive.com รับเมื่อ 13 สิงหาคม 2556 ตอบรับเมื่อ 11 มีนาคม 2557

An Empirical Study of Performance and Emission Characteristics in a Natural Gas Engine with Various Compression Ratios

Peeteenut Triwong [1,2*] and Chedthawut Poompipatpong [1,2]

Abstract

This research is a part of alternative fuel studies which responses to the current energy and environment crisis. The experiment was aimed to compare the performance between an original diesel engine and a natural gas dedicated diesel engine with various compression ratios of 9.0, 9.5, 10.0 and 10.5 to 1. A Daedong 4A220 4-stroke 4-cylinder 2,197 cc was chosen as the tested engine. The results showed that the natural gas engine produced higher torque and power than that of diesel engine up to 13.07% at 2,600 rpm. Natural gas engine also showed advantages in term of thermal efficiency and specific fuel consumption which are 10.03% and 36.75% respectively. In addition, NO_x emission increases as the compression ratio increases to 10.5:1. Then NO_x emission begins to decrease when the compression ratio increases. The compression ratio significantly affects the hydrocarbon emission concentration while it does not show any relation with the carbon monoxide emission.

Keywords : Diesel Engine, Natural Gas Engine, Compression Ratio, Performance, Emissions

[1] Department of Power Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[2] Automotive Eco-Energy and Industrial Product Standard Research Center, Science and Technology Research Institute, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[*] Corresponding author, E-mail: peeteenut@windowslive.com Received 13 August 2013, Accepted 11 March 2014

1. บทนำ

ความเจริญทางเทคโนโลยีมีผลกระทบต่อการดำเนินชีวิต การใช้ทรัพยากรและการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก โดยพลังงานเกือบทุกชนิดนั้นจะมาพร้อมกับปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อม ในหลายประเทศทั่วโลกรวมถึงประเทศไทย ความต้องการปริมาณเชื้อเพลิงดีเซลนั้นสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ มากอันเนื่องมาจากภาคการขนส่งเพราะโดยปกติแล้วเครื่องยนต์ดีเซลมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์แก๊สโซลีน งานวิจัยหลายชิ้นได้พยายามลดความต้องการและปริมาณมลพิษของเชื้อเพลิงดีเซลโดยการผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลหรือเอทานอล แต่ก็สามารถทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลได้เพียงประมาณร้อยละ 5 ถึง 20 เท่านั้น [1-4]

ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นการผลักดันให้ก๊าซธรรมชาติ (natural gas) หรือก๊าซมีเทน (CH_4) มีความโดดเด่นในสภาวการณ์ปัจจุบัน ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาค่อนข้างต่ำ มีค่าความร้อน (heating value) อยู่ในระดับที่ใช้งานได้ดีและมีค่าออกเทนที่สูงมาก (ประมาณ 120) ยิ่งไปกว่านั้น ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนต่ำที่สุด (low-carbon fossil fuel) การใช้ก๊าซธรรมชาติมาทดแทนการใช้เชื้อเพลิงดีเซลจึงเป็นสิ่งน่าสนใจมากในด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

มีการศึกษาวิจัยจำนวนหนึ่งที่ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างรถยนต์ดีเซล (original diesel vehicle) และรถยนต์ดีเซลที่ดัดแปลงมาใช้ก๊าซธรรมชาติ (natural gas dedicated diesel vehicle) ซึ่ง Total Environment Centre Inc. ได้ศึกษาการปล่อยมลพิษของกลุ่มรถโดยสารในซิดนีย์โดยเก็บข้อมูลในหน่วยกิโลกรัมต่อกิโลเมตร (kg/km) และพบว่ารถโดยสารที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติปล่อยมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide; CO), ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxides of Nitrogen; NO_x) และอนุภาคเขม่า (Particulate Matter; PM) น้อยกว่ารถโดยสารที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล และงานวิจัยยังได้พบว่าการลดมลพิษทั้ง 3 ชนิดนี้เพียง 1 ตันจะสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพ (health saving) ได้มากกว่า 240,000 ดอลล่าร์สหรัฐ [5] ในขณะที่ บริษัท อีรูม จำกัด [6] ได้ดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 6,600 cc เพื่อใช้ก๊าซธรรมชาติ ด้วยกระบวนการศึกษาวิจัยทำให้กำลังของเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้นจากเครื่องยนต์ดีเซลประมาณ 5% โดยมลพิษไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน และอนุภาคเขม่าควันลดลงถึง 65, 70, 85 และ 100% ตามลำดับ

ในอีกส่วนหนึ่งได้มีงานวิจัยพบว่าหลังจากดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลให้มาใช้กับก๊าซธรรมชาติแล้วมลพิษหลายๆ ชนิดรวมถึงอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (fuel consumption) เพิ่มสูงขึ้นแต่กลับให้กำลังที่ต่ำลง [7,8] ซึ่งงานวิจัยของ Semin และคณะได้เสนอแนะไว้ว่าสาเหตุสำคัญหนึ่งที่ทำให้กำลังต่ำลงเป็นเพราะความดันภายในห้องเผาไหม้ลดลง [9]

วิธีการเพิ่มความดันภายในห้องเผาไหม้ที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดคือ การเพิ่มอัตราส่วนการอัด (compression ratio) ซึ่ง Bakar [10] ได้ทดสอบเปรียบเทียบเครื่องยนต์สูบเดียวที่ใช้แก๊สโซลีนกับก๊าซธรรมชาติเพื่อศึกษาสมรรถนะและปริมาณมลพิษ ผู้วิจัยได้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติในช่วง 9.0, 10.0, 11.0 และ 12.0 ต่อ 1 และพบว่าอัตราส่วนการอัดที่สูงขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้ แต่งานวิจัยของ Maher [11] ได้ศึกษา

ผลกระทบของอัตราส่วนการอัดและพบว่าอัตราส่วนการอัดที่ทำให้มีกำลังสูงที่สุดจะอยู่ที่ค่าหนึ่ง หากอัตราส่วนเพิ่มขึ้นกว่าค่านี้ กำลังและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องยนต์จะลดลงและอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้น อันเป็นสาเหตุมาจากการเผาไหม้ที่ไม่เสถียร (unstable combustion) การศึกษายังพบอีกว่าอุณหภูมิของไอเสียจะลดลงเมื่ออัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มอัตราส่วนการอัดทำให้ความเร็วการเผาไหม้สูงขึ้น เวลาที่ต้องใช้ในการเผาไหม้จึงน้อยลงเป็นเหตุให้อุณหภูมิไอเสียลดลงด้วย

จากข้อมูลต่างๆ ดังกล่าวทำให้ทราบว่าการเพิ่มอัตราส่วนการอัดสามารถเพิ่มแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ได้แต่ก็มีขีดจำกัดอยู่ที่ค่าๆ หนึ่งที่ต้องคำนึงถึงการเผาไหม้ การไม่ทำให้เกิดการจุดระเบิดเองของเชื้อเพลิงและต้องไม่เป็นการเพิ่มงานสูบ (pumping work) ของเครื่องยนต์จนทำให้งานสุทธิลดต่ำลง การศึกษาทดลองหาค่าอัตราส่วนการอัดที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นอย่างมาก ในงานวิจัยนี้ เครื่องยนต์ดีเซลจึงถูกดัดแปลงเพื่อใช้ก๊าซธรรมชาติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลและก๊าซธรรมชาติ รวมไปถึงการศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนการอัดเพื่อยกระดับการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติให้ใช้งานได้อย่างเต็มศักยภาพ

2. การทดสอบเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องยนต์ดีเซล Daedong 4A220A-S1 ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 เครื่องยนต์ทดสอบได้ถูกติดตั้งบนเครื่องทดสอบกำลังเครื่องยนต์ Hwanwoong Eddy Current Dynamometer พร้อมด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย Horiba Mexa 9100 DEGR

การทดสอบเริ่มต้นจากการใช้เชื้อเพลิงดีเซลในช่วงความเร็วรอบระหว่าง 1,600 rpm ถึง 2,600 rpm เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง โดยแรงบิดเพลา (brake torque) กำลังเพลา (brake power) อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อน (η_{th}) รวมถึงปริมาณมลพิษเป็นพารามิเตอร์ที่งานวิจัยนี้ให้ความสนใจ

จากนั้น เครื่องยนต์ถูกดัดแปลงให้ใช้ก๊าซธรรมชาติโดยการเปลี่ยนเป็นระบบจุดระเบิดแบบใช้ประกายไฟ (spark ignition) และระบบการจ่ายเชื้อเพลิงเป็นระบบดูดก๊าซ (fumigation system) โดยได้จัดทำลูกสูบเพิ่มขึ้นอีก 4 ชุดที่ให้อัตราส่วนการอัดต่างกันคือ 9.0, 9.5, 10.0 และ 10.5 ต่อ 1 การทดสอบจึงเริ่มต้นขึ้นอีกครั้งหนึ่งในช่วงความเร็วระหว่าง 1,200 rpm ถึง 4,000 rpm ด้วยเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ โดยการวิจัยนั้นได้ควบคุมอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงสมมูลไว้ที่ 1 ตลอดการทดสอบ (stoichiometric air-fuel ratio) โดยสมบัติของเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดถูกแสดงไว้ในตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

Item	Engine
Model	Daedong 4A220A-S1
Type	4-cylinder, 4-stroke diesel
Displacement	2,197 cc.
Bore (mm.)	87
Stroke (mm.)	92.4
Compression	22.0

ตารางที่ 2 สมบัติของเชื้อเพลิงดีเซลที่ใช้ในการทดสอบ

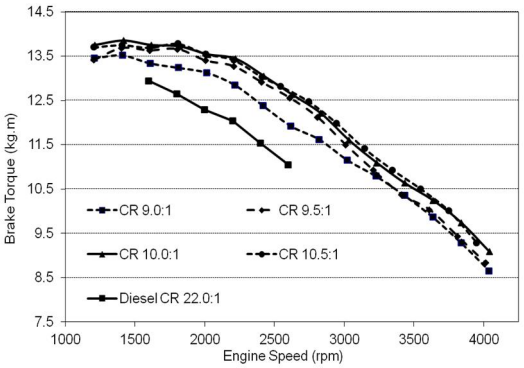
Fuel	Diesel
Density at 15ºC	0.8504
Specific Gravity	0.509
Heating Value	45,560 kJ/kg

ตารางที่ 3 สมบัติของก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในการทดสอบ

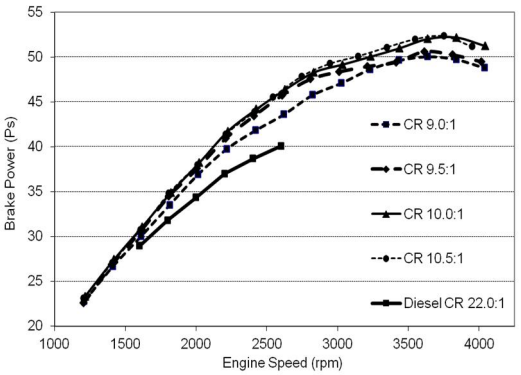
Fuel	Natural Gas
Octane Number	121.9
Heating Value	54,499.7946 kJ/kg
	44,169.5633 kJ/m^3
Main Component	CH_4 90.09%
	C_2H_6 6.04%
	C_3H_8 2.54%

3. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติมีแรงบิดและกำลังสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลในทุกช่วงความเร็วรอบ โดยค่าเฉลี่ยของเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติจะมีแรงบิดและกำลังสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลประมาณ 5.67% ที่ 1,600 rpm และเพิ่มสูงถึง 13.07% ที่ 2,600 rpm ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 โดยเป็นผลมาจากค่าความร้อนของก๊าซที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซลถึง 19% ประกอบกับการผสมระหว่างอากาศและก๊าซธรรมชาติที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันสูงอันนำไปสู่การเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่า และเมื่อนำผลไปวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ถูกใช้ไปจะพบว่าเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลประมาณ 10.03% และมีข้อได้เปรียบด้านอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะถึง 36.75% ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4

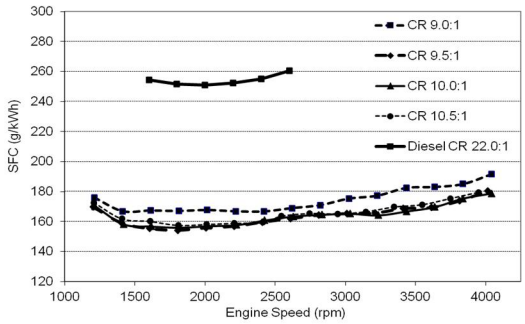


รูปที่ 1 เปรียบเทียบแรงบิดของเครื่องยนต์

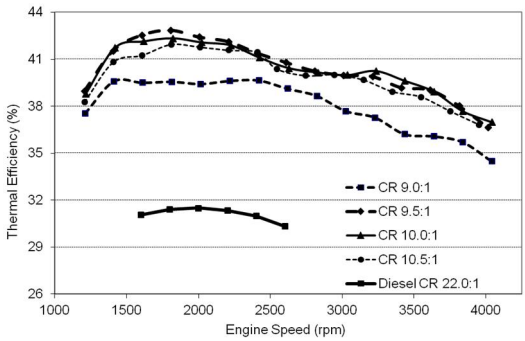


รูปที่ 2 เปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์

ผลกระทบของอัตราส่วนการอัดต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นการนำค่าเฉลี่ยตลอดช่วงความเร็วรอบที่ทดสอบมานำเสนอเปรียบเทียบกัน ผลการวิเคราะห์พบว่าอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงบิดและกำลังเพิ่มขึ้นจนถึงอัตราส่วนการอัดที่ 10:1 เมื่ออัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นเป็น 10.5:1 แรงบิดของเครื่องยนต์เริ่มลดลง และคาดคะเนได้ว่าเมื่ออัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นกำลังของเครื่องยนต์จะมีแนวโน้มคงที่และลดลงอย่างรวดเร็ว



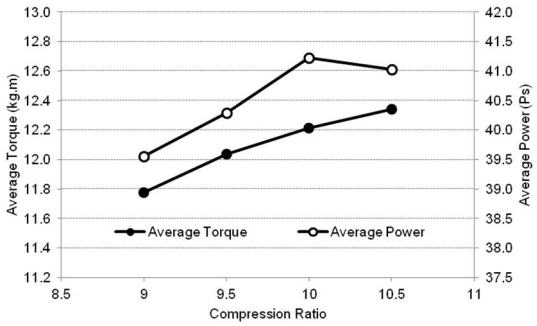
รูปที่ 3 เปรียบเทียบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ



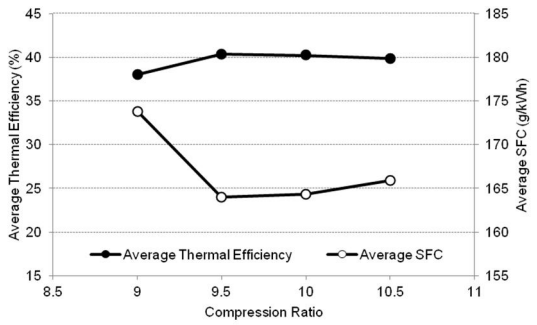
รูปที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

รูปที่ 6 เป็นการนำเสนอค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพเชิงความร้อนและความสิ้นเปลืองจำเพาะเช่นเดียวกับรูปที่ 5 พารามิเตอร์ทั้งสองนี้คำนวณมาจากกำลังของเครื่องยนต์และปริมาณการเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดยพารามิเตอร์ทั้งสองนำเสนอข้อมูลเดียวกันในมุมมองตรงข้ามกัน ดังนั้น จึงเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนการอัด 9.5:1 เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ในขณะที่ความสิ้นเปลืองจำเพาะมีค่าต่ำที่สุด

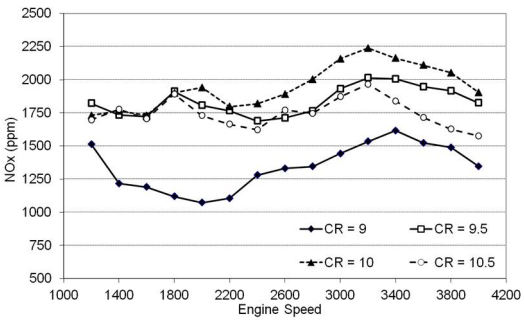
ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่ามลพิษประเภท NO_x เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการอัดที่เพิ่มขึ้น แต่กลับมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนการอัดเพิ่มขึ้นเป็น 10.5 ซึ่งแตกต่างกับทางทฤษฎีที่ปริมาณ NO_x ควรจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลของแรงบิดเครื่องยนต์จากรูปที่ 5 ก็วิเคราะห์ได้ว่า ที่อัตราส่วนการอัด 10.5 แรงบิดและปริมาณมลพิษ NO_x มีแนวโน้มลดลงไปด้วยกัน และถ้าพิจารณาผลดังกล่าวกับงานวิจัยของ Takagaki [12] จะพบข้อสังเกตที่สำคัญ คือ หากทำการทดสอบโดยกำหนดองศาจุดระเบิดให้คงที่ (fixed spark timing) ปริมาณ NO_x จะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการอัดที่เพิ่มขึ้น แต่ถ้าทำการทดสอบโดยปรับเปลี่ยนองศาจุดระเบิดเพื่อให้ได้ค่าแรงบิดสูงสุด (maximum brake torque) ปริมาณ NO_x จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและลดลงในเวลาต่อมา ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้จึงเห็นว่าผลการวิจัยสอดคล้องกัน



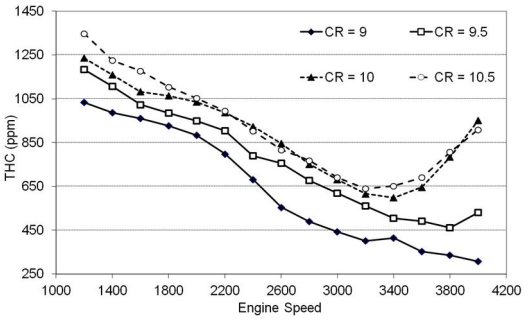
รูปที่ 5 แรงบิดและกำลังเฉลี่ยที่อัตราส่วนการอัดต่างๆ



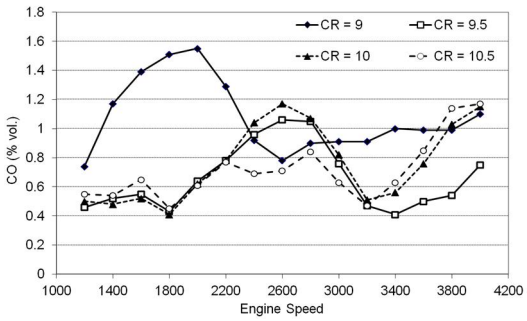
รูปที่ 6 ค่าความสิ้นเปลืองจำเพาะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยที่อัตราส่วนการอัดต่างๆ



รูปที่ 7 ปริมาณ NO_x ที่อัตราส่วนการอัดต่างๆ



รูปที่ 8 ปริมาณ THC ที่อัตราส่วนการอัดต่างๆ

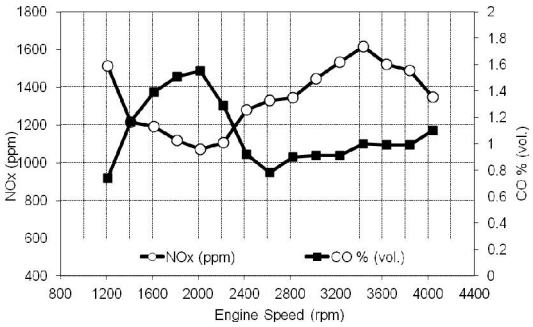


รูปที่ 9 ปริมาณ CO ที่อัตราส่วนการอัดต่างๆ

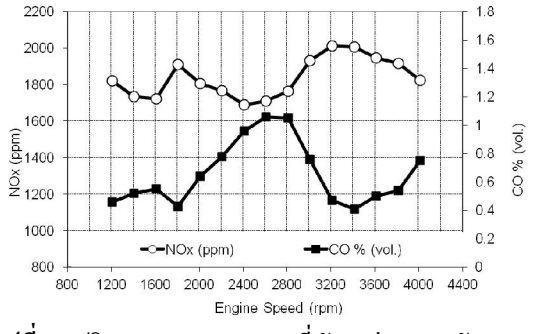
อัตราส่วนการอัดที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณมลพิษ THC เพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (surface to volume ratio) และสัดส่วนของปริมาตรในช่องแคบ (crevice volume) เพิ่มขึ้น สัดส่วนของ THC ที่ไม่ถูกเผาไหม้จึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [13-15]

ข้อสังเกตเพิ่มเติมในรูปที่ 8 คือ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่สูงขึ้นน่าจะทำให้ส่วนผสมภายในห้องเผาไหม้มีความเป็นเนื้อเดียวกันสูง การเผาไหม้จึงมีปริมาณ THC ในไอเสียลดต่ำลงอย่างชัดเจน [16, 17]

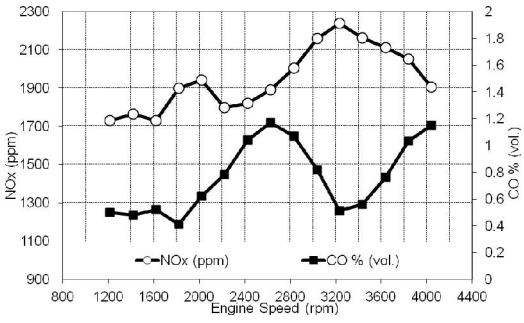
ในขณะที่ผลผลการทดสอบในรูปที่ 9 ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการอัดและปริมาณมลพิษ CO ได้อย่างชัดเจน ซึ่งทางทฤษฎีได้ยืนยันว่าอัตราส่วนการอัดไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณมลพิษ CO [13, 15] อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้พบความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างปริมาณ CO กับ NO_x ว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของ CO กับ NO_x มีทิศทางตรงข้ามกันอยู่ในตลอดช่วงความเร็วของทุกๆ อัตราส่วนการอัดดังแสดงในรูปที่ 10 ถึงรูปที่ 13



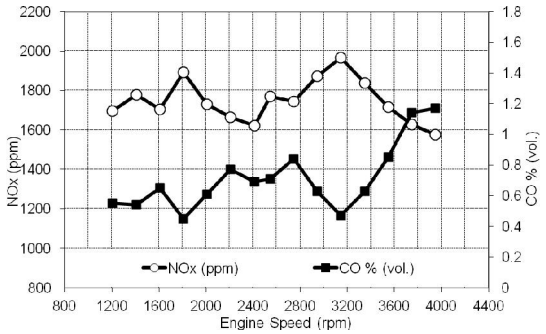
รูปที่ 10 ปริมาณ NO_x และ CO ที่อัตราส่วนการอัด 9:1



รูปที่ 11 ปริมาณ NO_x และ CO ที่อัตราส่วนการอัด 9.5:1



รูปที่ 12 ปริมาณ NO_x และ CO ที่อัตราส่วนการอัด 10:1



รูปที่ 13 ปริมาณ NO_x และ CO ที่อัตราส่วนการอัด 10.5:1

4. สรุปผล

ผลการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลกับเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติและการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติด้วยกันเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของอัตราส่วนการอัด พบว่าเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติมีแรงบิดและกำลังสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลในทุกช่วงความเร็วรอบโดยประมาณ 5.67% ที่ 1,600 rpm และเพิ่มสูงถึง 13.07% ที่ 2,600 rpm ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากค่าความร้อนที่สูงประกอบกับความเป็นเนื้อเดียวกันของส่วนผสมระหว่างอากาศและก๊าซธรรมชาติ และส่งผลทำให้เครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลประมาณ 10.03% และมีข้อได้เปรียบในด้านอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะถึง 36.75%

ปริมาณ NO_x จะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการอัดที่สูงขึ้นถึง 10:1 และปริมาณ NO_x จะเริ่มลดลงเมื่ออัตราส่วนการอัดเป็น 10.5:1 โดยอัตราส่วนการอัดที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณ THC เนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรและสัดส่วนของปริมาตรในช่องแคบเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบผลกระทบต่อปริมาณ CO อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบแสดงว่าปริมาณ CO และ NO_x มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกันตลอดทุกช่วงความเร็วรอบของทุกอัตราส่วนการอัด

5. เอกสารอ้างอิง

[1] T.K. Bhattacharya, S.Chatterjee and T.N. Mishra, “Performance of a constant speed CI engine on alcohol-diesel micro emulsion” Applied Engineering in Agriculture 23, 2004, pp. 253 – 257.

[2] O. Can, S. Shuai, and J. Wang, “Effects of ethanol addition on performance and emissions of a turbocharged indirect injection diesel engine running at different injection pressures” Energy Conversion and Management 45, 2007, pp. 2429 – 2440.

[3] K. Cheenkachorn and B. Fungtammasan, “Biodiesel as an additive for diesohol”, International Journal of Green Energy 6, 2009, pp. 57 – 72.

[4] P. Satge, Z. Mouloungui, G. Vaitilingom and J. Berge, “Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines” Fuel 80, 2001, pp. 565 – 574.

[5] Total Environment Centre Inc., "Diesel vs Compressed Natural Gas (CNG) in the Sydney Bus Fleet", Available: http://www.tec.org.au

[6] EROOM Public Company Limited, "Automotive Gas Technology", Available: http://www.eroomkorea.com, 26 July 2009.

[7] Cairo Air Improvement Project (CAIP), "Compressed Natural Gas versus Diesel", Available: http://www.pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACX796.pdf

[8] D. Choowichien and C. Poompipatpong, "A Comparative experiment of performance between a heavy-duty diesel truck and a heavy-duty natural gas truck" The Journal of Industrial Technology 5, 2009, pp. 68 – 76. (in Thai)

[9] Semin, A.R. Ismail and R.A. Bakar, "Effect of diesel engine converted to sequential port injection compressed natural gas engine on the cylinder pressure vs crank angle in variation engine speeds" American Journal of Engineering and Applied Sciences 2, 2009, pp. 154 – 159.

[10] R.A. Bakar and M.A. Sera, "Effect of compression ratios on engine performance and emissions of a CNG fuelled engine", Proceedings of the 3rd Pacific-Asia Conference on Mechanical Engineering, Manila, Philippines, 29-31 August, 2002.

[11] A.R. Maher, "Effect of compression ratio, equivalent ratio and engine speed on the performance and emission characteristics of a spark ignition engine using hydrogen as a fuel" Renewable Energy 29, 2004, pp. 2245 – 2260.

[12] S. Takagaki and R. Raine, "The effects of compression ratio on nitric oxide and hydrocarbon emissions from a spark-ignition natural gas fuelled engine", SAE Paper 970506, 1997.

[13] B.P. Pundir, "*Engine emissions; pollution formation and advances in control technology*", Alpha Science International Ltd., 2007.

[14] H. Heisler, "*Advanced Engine Technology*", SAE International, 1995.

[15] F. Schafer and R.V. Basshuysen, Reduced emissions and fuel consumption in automobile engines, Springer-Verlag Wien NewYork, 1995.

[16] D. Bradley and R.A. Head, "Engine auto ignition: the relationship between octane numbers and auto ignition delay times" Combust Flame 147, 2006, pp. 171–84.

[17] C. Sayin, "The impact of varying spark timing at different octane numbers on the performance and emission characteristics in a gasoline engine", Fuel 97, 2012, pp. 856 – 861.