การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลร่วมกับก๊าซธรรมชาติเหลว

เชษฐวุฒิ ภูมิพิพัฒน์พงศ์[1,3*] และ กยอง โฮ เชว์[2,3]

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยความต้องการพลังงานและปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้น ก๊าซธรรมชาติได้ถูกศึกษาและนำมาใช้เป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงทางเลือกที่สะอาด แต่ทว่าการใช้งานก๊าซธรรมชาติในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงอาการน็อกได้ งานวิจัยนี้จึงต้องการทดสอบการใช้งานก๊าซธรรมชาติเหลวในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่โดยใช้เป็นระบบพลังงานร่วม งานวิจัยเริ่มต้นจากการทดสอบหม้อต้ม 2 รุ่นเพื่อเลือกใช้หม้อต้มรุ่นที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์มากกว่า จากนั้น จึงเป็นขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงร่วม ผลการทดสอบพบว่า หม้อต้มที่มีความยาวขดแลกเปลี่ยนความร้อน 3.8 m มีความเหมาะสมพิจารณาจากค่าสมรรถนะต่างๆ หม้อต้มที่มีความยาวขดแลกเปลี่ยนความร้อน 3.8 m จึงถูกติดตั้งในเครื่องยนต์เพื่อทดสอบการใช้งานตลอดช่วงความเร็วรอบ 1100 – 2000 rpm ผลการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์ที่ใช้พลังงานร่วมสามารถสร้างแรงบิดและกำลังต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซลประมาณ 2.10% ซึ่งนับว่ายอบรับได้ในการใช้งานจริง ผลการวิจัยพบว่าการป้องกันการเกิดอาการน็อกของเครื่องยนต์ทำได้โดยการควบคุมปริมาณการจ่ายก๊าซธรรมชาติที่ต้องเปลี่ยนแปลงไปตามความเร็ว โดยเฉลี่ยแล้วการจ่ายก๊าซธรรมชาติเข้าสู่ระบบอยู่ที่ประมาณ 71.32% ทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์พลังงานร่วมต่ำกว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซลประมาณ 2.73% และ 3.5% ตามลำดับ

คำสำคัญ : เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่, ก๊าซธรรมชาติ, ระบบพลังงานร่วม, สมรรถนะเครื่องยนต์

---

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] School of Basic Science, College of Convergence, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology, Republic of Korea

[3] ศูนย์วิจัยพลังงานยานยนต์เพื่อสิ่งแวดล้อม, สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[*] ผู้ติดต่อ, อีเมล์: chedthawutp@kmutnb.ac.th รับเมื่อ 29 มีนาคม 2556 ตอบรับเมื่อ 22 สิงหาคม 2556

An Experimental Study of Performances in a Large Diesel Engine Fuelled with Diesel and LNG

Chedthawut Poompipatpong[1,3*] and Gyeung Ho Choi[2,3]

Abstract

According to the increase of energy demand and environmental crisis, natural gas has been studied and considered as one of the clean alternative fuels. However, knocking phenomena is unavoidable when large diesel engines operate with natural gas. This research aimed to investigate a large diesel engine fuelled with diesel – natural gas dual fuel system. Firstly, two natural gas vaporizers were tested to find the appropriate one. Then, a comparative experimental between diesel operation and dual-fuel operation was conducted. Output performance was considered and found that vaporizer with 3.8-metre internal length heat exchanger was more advantageous. Thus, this vaporizer was installed in the tested engine. The experiment was done over the speed range between 1,100 to 2,000 rpm. It was found that dual-fuel engine produced less torque and power than those of diesel engine around 2.10%, which was still acceptable in actual application. The result found that the amount of injected natural gas must be controlled as a function of engine speed to avoid engine knocking. Averagely, the natural gas was injected into the system around 71.32%. This leaded to the reduction of engine volumetric and thermal efficiencies around 2.73% and 3.5% respectively.

Keywords : Large diesel engine, Natural gas, Dual fuel system, Engine performance

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

[2] School of Basic Science, College of Convergence, Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology, Republic of Korea

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

[*] Corresponding author, E-mail: chedthawutp@kmutnb.ac.th Received 29 March 2013, Accepted 22 August 2013

1. บทนำ

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลได้เพิ่มขึ้นไปตามจำนวนประชากรและการพัฒนาคุณภาพชีวิตในช่วงประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา ปริมาณการใช้พลังงานในภาพรวมเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 36% [1] และตลอดระยะ 200 ปีที่ผ่านมา มนุษย์ได้นำเอาคาร์บอนจากใต้ผิวโลกขึ้นมาใช้สูงถึงประมาณปีละ 7000 ล้านตัน [2] ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั่วโลกพบว่ามีการบริโภคน้ำมันสูงถึงประมาณ 80 ล้านบาร์เรลต่อวัน และ 2 ใน 3 ของปริมาณดังกล่าวใช้เพียงเพื่อกิจกรรมด้านการเดินทางและขนส่ง [3] โดยเกือบทั้งหมดนั้นถูกสันดาปให้เป็นก๊าซมลพิษออกสู่ชั้นบรรยากาศ เชื้อเพลิงทางเลือกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจมากในปัจจุบัน คือ ก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ยังคงมีปริมาณเหลืออยู่ไม่น้อยกว่าปริมาณน้ำมันดิบ โดยเชื่อว่าน่าจะมีปริมาณสำรองเพียงพอสำหรับการใช้งานอีกไม่น้อยกว่า 60 ปี [1] เมื่อก๊าซธรรมชาติถูกลดอุณหภูมิลงให้ต่ำกว่า –162°C และเก็บในถังที่มีการหุ้นฉนวนแบบพิเศษ ก๊าซธรรมชาติจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นของเหลวซึ่งเป็นสถานะที่สะอาดที่สุด โดยมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบสูงถึง 98% อันทำให้มีสมบัติต่างๆ ใกล้เคียงกับก๊าซมีเทนเป็นอย่างมาก [4-5] การเผาไหม้จึงก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้อยกว่าเชื้อเพลิงทั่วๆ ไป ยิ่งไปกว่านั้น การเก็บก๊าซธรรมชาติในสถานะของเหลวทำให้มีปริมาตรลดลงได้ถึง 600 เท่า จึงทำให้สะดวกต่อการใช้งานมากกว่าสถานะก๊าซ

ก๊าซธรรมชาติถูกจัดอยู่ในกลุ่มเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเนื่องจากมีค่าออกเทนที่สูง อย่างไรก็ตาม ก๊าซธรรมชาติก็สามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้แต่ต้องการน้ำมันดีเซลจำนวนหนึ่งสำหรับการจุดระเบิด ทั้งนี้ งานวิจัยมุ่งเน้นไปที่การใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas; LNG) ร่วมกับน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่เช่น รถโดยสารสาธารณะและรถบรรทุกในภาคขนส่ง เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีการใช้พลังงานสูงมาก และพบว่างานวิจัยในอดีตมักศึกษาเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมโดยมุ่งเน้นไปเฉพาะเครื่องยนต์ขนาดเล็ก เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะประสบปัญหาสำคัญคือ อาการน็อก (knocking) อย่างรุนแรง

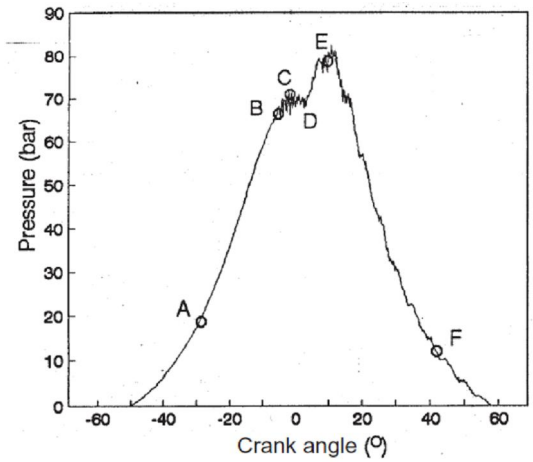
วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้จึงต้องการทำการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะและมลพิษระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียวกับการใช้พลังงานร่วม โดยมีข้อกำหนดในการทดสอบ 3 ข้อคือ 1) ก๊าซธรรมชาติจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ให้มากที่สุดเพื่อเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ 2) สมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้พลังงานร่วมต้องเทียบเคียงได้กับการใช้น้ำมันดีเซล และ 3) เครื่องยนต์พลังงานร่วมต้องไม่เกิดอาการน็อกอย่างเด็ดขาด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก๊าซธรรมชาติไม่สามารถติดไฟได้ด้วยตัวเองภายใต้การอัดของเครื่องยนต์ การจุดระเบิดจึงต้องใช้การฉีดนำร่องด้วยน้ำมันดีเซล (pilot diesel injection) โดยน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงถูกฉีดเป็นละอองขนาดเล็ก (spray) เข้าสู่ห้องเผาไหม้ และใช้ระยะเวลาสั้นๆ ช่วงหนึ่งในการระเหย ผสมคลุกเคล้ากับอากาศและเริ่มเกิดการเผาไหม้ ช่วงเวลาดังกล่าวเรียกว่า “Initial Ignition Delay Period” [6] หรือ “Pilot Ignition Delay Period” [7] ซึ่งแสดงอยู่ระหว่างช่วง AB ในรูปที่ 1 โดย

ช่วงเวลานี้จะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับระดับการผสมอากาศและเชื้อเพลิง แต่โดยปกติแล้ว ช่วง Pilot Ignition Delay ของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติร่วมด้วยนั้นจะยาวกว่าที่ใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในห้องเผาไหม้ลดลง [8]

เมื่อเชื้อเพลิงดีเซลเริ่มเกิดการเผาไหม้ ความดันในห้องเผาไหม้ก็จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วง BC เพราะเชื้อเพลิงดีเซลถูกฉีดเพื่อเป็นจุดเริ่มต้นของการเผาไหม้ ซึ่งสามารถเรียกช่วงนี้ว่า “Pilot Premixed Combustion” จากนั้น อุณหภูมิและความดันในห้องเผาไหม้อาจลดลงเล็กน้อยตามเส้น CD เนื่องจากก๊าซธรรมชาติมีอุณหภูมิติดไฟด้วยตัวเองที่สูง ช่วงนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็น Delay period อีกช่วงหนึ่งของการเผาไหม้ ซึ่งมักเรียกว่า “Second Delay Period” [6] หรือ “Primary Fuel Delay Period” [7] หลังจากที่เชื้อเพลิงก๊าซเริ่มเกิดการเผาไหม้ ความดันในห้องเผาไหม้ก็จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งในช่วง DE (ช่วง rapid combustion of primary fuel) งานวิจัย [8] ระบุว่าการเผาไหม้ในช่วงนี้นับว่าไม่เสถียร (unstable) ซึ่งน่าจะเป็นเพราะการแพร่ของเปลวไฟ (frame propagation) เกิดขึ้นจากน้ำมันดีเซลที่กระจายอยู่ทั่วห้องเผาไหม้ซึ่งแตกต่างจากการจุดระบิดด้วยหัวเทียนที่เปลวไฟมีจุดเริ่มต้นที่แน่นอนและแพร่ออกไปอย่างมีรูปแบบ โดยความดันที่เพิ่มขึ้นสูงในช่วงนี้ไม่ส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์เพราะเป็นช่วงที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลง ช่วง EF เป็นช่วงการแพร่ของการสันดาป (diffusion combustion) ซึ่งเกิดขึ้นต่อเนื่องจากช่วง rapid combustion ช่วงนี้ยังคงเกิดการสันดาปเชื้อเพลิงก๊าซภายในห้องเผาไหม้อยู่ แต่ความดันที่ลดต่ำลงเป็นเพราะปริมาตรของห้องเผาไหม้เพิ่มขึ้นและเชื้อเพลิงการมีอัตราการเผาไหม้ต่ำ (slower burning rate)



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในห้องเผาไหม้กับเพลาข้อเหวี่ยงในเครื่องยนต์พลังงานร่วม [7]

การเผาไหม้ที่ไม่เสถียรของเครื่องยนต์พลังงานร่วมน่าจะเป็นประเด็นที่ทำให้การประยุกต์ใช้งานจริงมีข้อจำกัดมากมาย งานวิจัยจำนวนมากพยายามศึกษาถึงสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์พลังงานร่วม การเผาไหม้ที่ไม่เสถียรสามารถนำไปสู่อาการน็อกของเครื่องยนต์โดยเฉพาะเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ซึ่งเกิดขึ้นอย่างแทบจะหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้น การวิจัยในศาสตร์นี้โดยส่วนใหญ่จะใช้เครื่องยนต์ขนาดเล็กเกือบทั้งหมด โดยมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่พยายามศึกษาอาการน็อกของเครื่องยนต์พลังงานร่วมโดยใช้เครื่องยนต์ขนาดเล็กและการใช้แบบจำลองต่างๆ [7,9-13]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดสอบเครื่องยนต์ในการวิจัยนี้ได้นำเครื่องยนต์ขนาดความจุ 12.9 L ที่มีรายละเอียดดังแสดงใน

ตารางที่ 1 มาติดตั้งบนเครื่องทดสอบกำลังเครื่องยนต์ (dynamometer) รุ่น AVL Dynoperform ขนาด 490 kW ที่มีความเที่ยงตรงในการวัดแรงบิดและความเร็วรอบสูง ±0.2% และ ±1 rpm ตามลำดับ

ตารางที่ 1 รายละเอียดข้อมูลของเครื่องยนต์ทดสอบ

Specification	Hyundai D6CA
Number of Cylinder	6 in Line
Stroke	4-stroke Diesel
Bore x Stroke (mm)	133 x 155
Displacement (cc)	12,920
Compression Ratio	17 : 1
Max. Power Output (PS/ rpm)	440 / 1,800
Max. Power Output (kW / rpm)	323.53 / 1,800
Max. Torque (kg-m)	197 / 1,400
Cooling Type	Water Cooling
Combustion Type	DI
Aspiration	TCI

เครื่องยนต์ได้ถูกทำการติดตั้งระบบก๊าซธรรมชาติเหลวแบบหัวฉีดแยกสูบ แต่เนื่องด้วยหม้อต้มของระบบก๊าซธรรมชาติเหลวที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ขนาดใหญ่มีอยู่ด้วยกัน 2 รุ่น การทดสอบจึงต้องแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบเบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบว่าหม้อต้มใดจะเหมาะสมกับเครื่องยนต์ในงานวิจัย จากนั้น ก็จะใช้หม้อต้มรุ่นนั้นเพื่อทำการทดสอบจริงในขั้นตอนถัดไป

การทดสอบเครื่องยนต์เริ่มต้นที่การใช้พลังงานดีเซลตลอดช่วงความเร็วรอบ 1,100 – 2,000 rpm เพื่อเก็บข้อมูลสมรรถนะอันประกอบด้วยแรงบิด (torque) กำลัง (power) ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (volumetric efficiency) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency) อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (specific fuel consumption)

จากนั้น เครื่องยนต์จะถูกทำการทดสอบด้วยสภาวะเดียวกันทุกประการแต่ทำการจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเหลวเข้าสู่ระบบ โดยพยายามลดปริมาณน้ำมันดีเซลให้มากที่สุดเพื่อเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยต้องยึดถือเงื่อนไขการทดลองคือแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ไม่ควรต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลมากกว่า 5% โดยเครื่องยนต์ต้องไม่เกิดอาการน็อกโดยเด็ดขาด

4. ผลการทดสอบ

ข้อมูลดิบที่ได้ถูกบันทึกจำนวนสภาวะละ 30 ค่า ถูกนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและนำเสนอเป็นกราฟเปรียบเทียบ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามการทดสอบ คือ 1) การทดสอบเปรียบเทียบการใช้หม้อต้มที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน และ 2) การทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแตกต่างกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

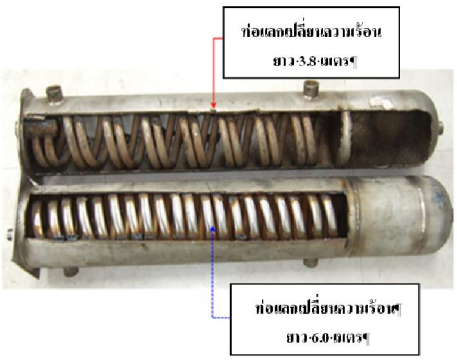
4.1 ผลกระทบของโครงสร้างภายในของหม้อต้ม

เนื่องด้วยหม้อต้มที่ใช้สำหรับก๊าซธรรมชาติเหลวที่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้มีอยู่ 2 ขนาด ซึ่งหม้อต้มทั้งสองมีลักษณะรูปร่างและขนาดเหมือนกันทุกประการ แต่มีข้อแตกต่างคือ โครงสร้างภายในที่มีความยาวของขดท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่แตกต่างกัน คือ 3.8 m (ซึ่งใช้สัญลักษณ์ว่า Vaporizer A) และ 6.0 m (ซึ่งใช้สัญลักษณ์ว่า Vaporizer B) ดังแสดงในรูปที่ 2 การทดสอบเพื่อให้ได้ข้อมูลเบื้องต้นจะทำให้ผู้วิจัยสามารถเลือกใช้หม้อต้มที่เหมาะสมและทำให้ได้ผลที่มีประโยชน์มากที่สุด ดังนั้น ในขั้นต้นนี้ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบเปรียบเทียบหม้อต้มทั้งสองแบบที่

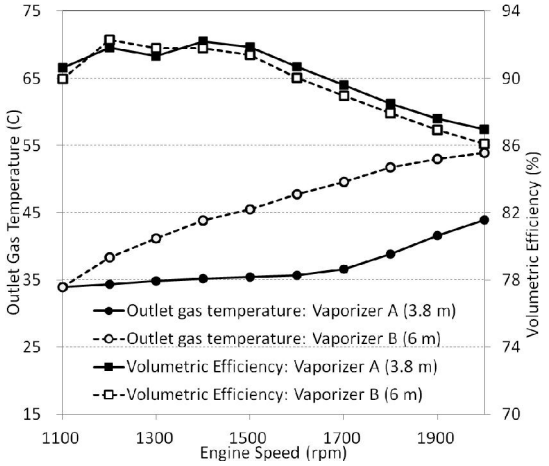
ความเร็วรอบ 1,100 – 2,000 rpm โดยควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงต่างๆ ระหว่างการทดสอบให้เหมือนกันทุกประการ

การทดสอบในขั้นนี้ ผู้วิจัยปรับลดปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลลงในขณะที่เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเหลวถูกจ่ายเข้าสู่ระบบโดยยังไม่ทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ที่มีความซับซ้อน อาทิเช่น จังหวะการฉีดเชื้อเพลิง การชดเชยปริมาณดีเซล (compensate) การควบคุมระยะการฉีดเชื้อเพลิงดีเซล (diesel injection duration) ผลการทดสอบเปรียบเทียบหม้อต้มทั้ง 2 แบบถูกนำเสนอในรูปที่ 3 ถึง 5

ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผ่าน Vaporizer A ซึ่งมีความยาวขดสั้นกว่าจึงทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นได้น้อยกว่า Vaporizer B ดังนั้น อุณหภูมิก๊าซที่ตำแหน่งขาออกของหม้อต้มจึงต่ำกว่าอย่างชัดเจน อุณหภูมิก๊าซที่ต่ำกว่าย่อมมีปริมาตรที่น้อยกว่า Vaporizer B จึงทำให้เครื่องยนต์มีพื้นที่สำหรับการประจุอากาศได้มากกว่า Vaporizer A ดังนั้น เครื่องยนต์จึงมีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่สูงกว่าดังแสดงในรูปที่ 3 อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิก๊าซที่ต่ำกว่าและประสิทธิภาพเชิงปริมาตรที่สูงกว่าอาจไม่ได้ส่งผลดีเสมอไปเนื่องจากหากอุณหภูมิต่ำจนเกินไป เชื้อเพลิงจะไม่พร้อมสำหรับการสันดาป การวิเคราะห์จึงต้องอาศัยข้อมูลเพิ่มเติมในด้านการใช้งานจริงด้วย

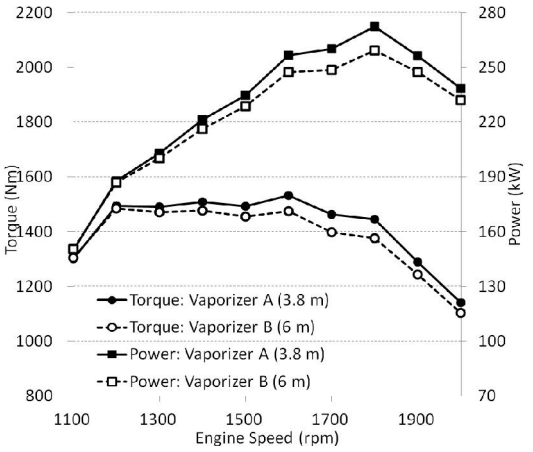


รูปที่ 2 โครงสร้างภายในของหม้อต้มในงานวิจัย

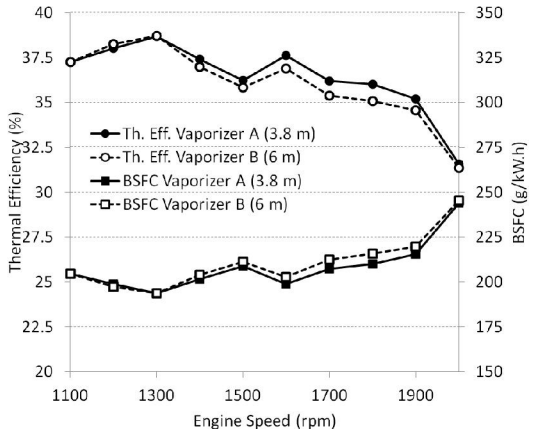


รูปที่ 3 ผลกระทบของโครงสร้างภายในของหม้อต้มต่ออุณหภูมิของก๊าซและประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบแรงบิดและกำลังตลอดช่วงความเร็ว 1100 – 2000 rpm โดยพบว่า Vaporizer A ทำให้เครื่องยนต์มีแรงบิดและกำลังที่ดีกว่า Vaporizer B ผู้วิจัยพบว่าตลอดการทดสอบดังกล่าว เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างปกติและไม่เกิดอาการน็อกใดๆ รูปที่ 5 แสดงว่า Vaporizer A ยังทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงกว่าและมีอัตราความสิ้นเปลืองจำเพาะที่ต่ำกว่า จากผลการทดสอบเปรียบเทียบหม้อต้มทั้ง 2 ชนิด ผู้วิจัยจึงสรุปว่า หม้อต้มที่มีความยาวขดแลกเปลี่ยนความร้อน 3.8 m (Vaporizer A) สามารถใช้งานได้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ตลอดช่วงความเร็วรอบใช้งานปกติ และทำให้เครื่องยนต์มีสมรรถนะที่ดีกว่า Vaporizer B งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Vaporizer A มาทำการทดสอบซึ่งแสดงผลในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4 ผลกระทบของโครงสร้างภายในของหม้อต้มต่อแรงบิดและกำลัง

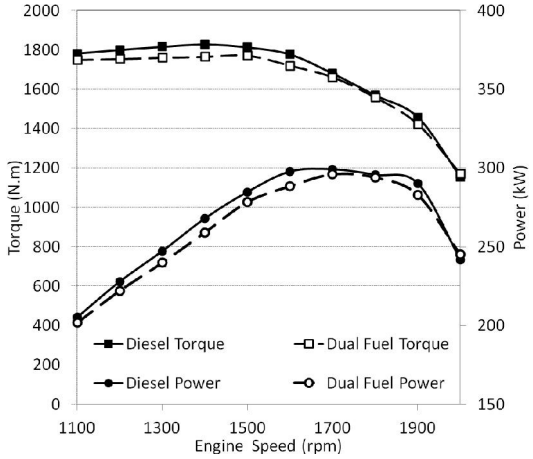


รูปที่ 5 ผลกระทบของโครงสร้างภายในของหม้อต้มต่อประสิทธิภาพและอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

4.2 การทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ถูกออกแบบมาให้มีแรงบิดสูงที่ช่วงความเร็วรอบต่ำ ดังนั้น รูปที่ 6 แสดงเส้นกราฟแรงบิดที่ค่อนข้างคงที่ในช่วง 1,100 – 1,600 rpm และค่อยๆ ลดลงเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น ส่วนกราฟกำลังเครื่องยนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบจนถึง 1,900 rpm และลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการสูญเสียไปกับความเสียดทาน (friction losses) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลมากที่ความเร็วสูง

จากข้อมูลในรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า โดยเฉลี่ยแล้วเครื่องยนต์ระบบเชื้อเพลิงร่วมให้แรงบิดและกำลังต่ำกว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซลประมาณ 2.10% ซึ่งนับว่าค่อนข้างใกล้เคียงกันและยอมรับได้ตามเป้าหมายของนักวิจัยดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 6 แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์

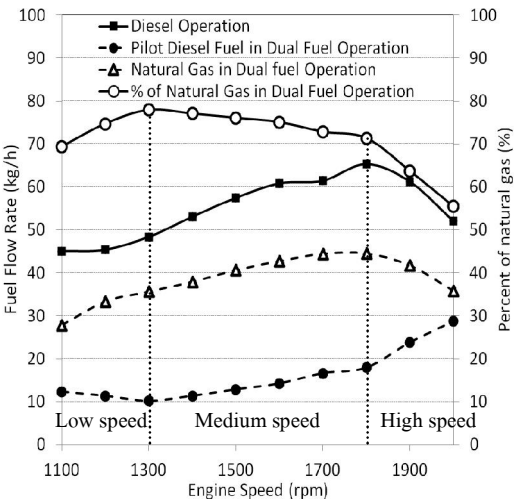
งานวิจัยด้านเครื่องยนต์ขนาดเล็กที่ใช้พลังงานเชื้อเพลิงร่วมจำนวนมากจะควบคุมปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลให้คงที่หรือไม่ก็ปรับปริมาณการฉีดให้เพียงพอที่จะเอาชนะความสูญเสียทางกล (mechanical losses) เพื่อแค่ให้เครื่องยนต์สามารถทำงานที่รอบเดินเบาได้ การเพิ่มกำลังของเครื่องยนต์จะใช้วิธีการเพิ่มปริมาณก๊าซธรรมชาติที่เข้าสู่ระบบจนได้สมรรถนะที่ต้องการ ปัญหาการน็อกของเครื่องยนต์จึงไม่ได้ถูกศึกษาหรือพบเห็นได้อย่างชัดเจนมากนัก [14,15-17] อย่างไรก็ตาม การใช้ระบบเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์ขนาดกลางและขนาดใหญ่มักจะประสบปัญหาการ

น็อกของเครื่องยนต์อย่างแทบจะหลีกเลี่ยงไม่ได้อันเนื่องมาจากระยะทางในการแพร่ของเปลวไฟนั้นมากขึ้น เพื่อให้การทำงานของเครื่องยนต์เป็นไปอย่างปกติ การปรับแต่งปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลจึงมีความจำเป็นต่อการพัฒนาสภาพการทำงานของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมเป็นอย่างมาก [7, 18-19]

รูปที่ 7 แสดงปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงของทั้งเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์พลังงานร่วม ในกรณีที่เครื่องยนต์ใช้น้ำมันดีเซล อัตราการบริโภคน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วที่ 2,000 rpm ซึ่งแสดงแนวโน้มสอดคล้องกับกำลังของเครื่องยนต์ที่แสดงไว้ในรูปที่ 6 แต่ในกรณีที่เครื่องยนต์ใช้เชื้อเพลิงร่วม อัตราการบริโภคเชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงอย่างชัดเจน คือ ช่วงความเร็วต่ำ (ประมาณ 1,100 – 1,300 rpm) ช่วงความเร็วปานกลาง (ประมาณ 1,300 – 1,800 rpm) และช่วงความเร็วสูง (ประมาณ 1,800 – 2,000 rpm)

ในช่วงความเร็วต่ำ สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติจาก 77.90% ที่ 1,300 rpm ลดลงเหลือ 69.33% ที่ 1,100 rpm เนื่องจากที่ความเร็วรอบต่ำเป็นเพราะก๊าซธรรมชาติมีความล่าในการจุดระเบิด (ignition delay) มากกว่าดีเซล สัดส่วนของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติจึงต้องลดลงเพื่อให้อัตราการเพิ่มขึ้นของความดันอยู่ในระดับปกติและไม่เกิดการน็อก [7, 9, 20]

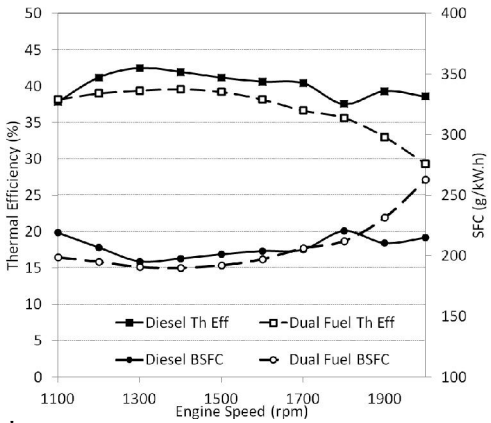
ในช่วงความเร็วปานกลาง ความเร็วรอบที่สูงขึ้นทำให้เกิดความสูญเสียไปกับความเสียดทานซึ่งส่งผลกระทบค่อนข้างสูง [14, 21] เครื่องยนต์ต้องการพลังงานจากเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะเป็นดีเซลหรือก๊าซธรรมชาติ แต่เนื่องด้วยน้ำมันดีเซลมีความหนาแน่นของพลังงาน (energy density) สูงกว่า อีกทั้งยังทำให้เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงกว่าการใช้ก๊าซธรรมชาติ ปริมาณสัดส่วนเชื้อเพลิงดีเซลจึงต้องเพิ่มขึ้นเพื่อให้เครื่องยนต์มีกำลังสูงใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียว ผลการทดสอบในรูปที่ 7 นี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohamed [22] ในประเด็นที่ว่า การฉีดเชื้อเพลิงดีเซลที่มากขึ้นในเครื่องยนต์พลังงานร่วมจะทำให้มีการปลดปล่อยพลังงานการจุดระเบิดเพิ่มขึ้น บริเวณหรือตำแหน่งการจุดระเบิดมีมากขึ้น การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะทำให้เครื่องยนต์มีกำลังและประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น [12,22]



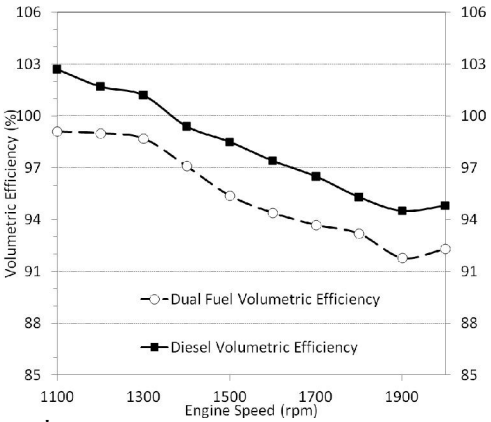
รูปที่ 7 ปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ และสัดส่วนของก๊าซธรรมชาติเหลว

รูปที่ 7 แสดงผลสำเร็จของการทดสอบเครื่องยนต์พลังงานร่วมที่สามารถใช้สัดส่วนของก๊าซธรรมชาติได้ถึง 77.90% ที่ 1,300 rpm โดยไม่เกิดการน็อก แต่เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น ผู้วิจัยต้องเพิ่มปริมาณการฉีดเชื้อเพลิงดีเซลและปรับลดสัดส่วนของก๊าซธรรมชาติลดลงเพื่อหลีกเลี่ยงอาการน็อกที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะช่วงความเร็ว

รอบสูง เครื่องยนต์พลังงานร่วมมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซลเฉลี่ยประมาณ 3.5% ดังแสดงในรูปที่ 8 แนวโน้มของประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะในช่วงความเร็ว 1,100 – 1,700 rpm พบว่าเครื่องยนต์พลังงานร่วมมีความสิ้นเปลืองจำเพาะต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซล แต่ความสิ้นเปลืองเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วมากตั้งแต่ความเร็ว 1,700 rpm ขึ้นไปซึ่งเป็นช่วงที่มีโอกาสใช้งานจริงไม่มากนัก ดังนั้น จะเห็นว่าเครื่องยนต์พลังงานร่วมเป็นระบบเชื้อเพลิงที่น่าสนใจเนื่องด้วยราคาและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงปริมาตร

เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำจึงต้องถูกออกแบบให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงที่ความเร็วรอบต่ำ เครื่องยนต์ดีเซลมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์พลังงานร่วมตลอดทุกช่วงความเร็วรอบ โดยประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ดีเซลสูงสุดสูงถึง 102.7% ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องยนต์มีการติดตั้งระบบเทอร์โบชาร์จเจอร์ เมื่อก๊าซธรรมชาติถูกป้อนเข้าสู่เครื่องยนต์ในระบบพลังงานร่วม ก๊าซธรรมชาติจะเข้าไปแทนที่อากาศทำให้ความสามารถในการประจุอากาศลดลง [19] และมีประสิทธิภาพเชิงปริมาตรลดต่ำลงประมาณ 2.73% ดังแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 9

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการทดสอบหาหม้อต้มที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ จากนั้นเป็นขั้นตอนการทดสอบเปรียบเทียบเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงร่วม ผลการทดสอบพบว่า หม้อต้มที่มีความยาวขดแลกเปลี่ยนความร้อน 3.8 m มีความเหมาะสมกว่าหม้อต้มที่มีความยาวขดแลกเปลี่ยนความร้อน 6.0 m โดยพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพเชิงปริมาตร แรงบิด กำลัง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ที่ใช้พลังงานร่วมสามารถสร้างแรงบิดและกำลังต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซลประมาณ 2.10% ซึ่งนับว่าใกล้เคียงกันและยอบรับได้ในการใช้งานจริง การป้องกันการเกิดอาการน็อกของเครื่องยนต์ทำให้ปริมาณการจ่ายก๊าซธรรมชาติต้องเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงความเร็ว โดยการจ่ายก๊าซธรรมชาติเข้าสู่ระบบทำให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรและประสิทธิภาพเชิงความ

ร้อนของเครื่องยนต์พลังงานร่วมต่ำกว่าการใช้เชื้อเพลิงดีเซลประมาณ 2.73% และ 3.5% ตามลำดับ

งานวิจัยแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานร่วมสามารถเป็นไปได้ในเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ แต่จำเป็นต้องอาศัยการควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ถูกต้องแม่นยำเพื่อหลีกเลี่ยงอาการน็อกของเครื่องยนต์ ทั้งนี้การศึกษาเพิ่มเติมด้านมลพิษไอเสียยังคงมีความจำเป็นเนื่องจากการใช้ก๊าซธรรมชาติเข้ามาร่วมในการเผาไหม้น่าจะทำให้มลพิษบางชนิดเพิ่มขึ้นจนเกินขอบเขตที่กฎหมายควบคุมมลพิษสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้กำหนดไว้

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือสำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ รวมถึง Daegu Gyeongbok Institute of Science and Technology (DGIST) สำหรับความร่วมมือทางวิชาการในทุกด้านจนงานวิจัยสามารถบรรลุผลสำเร็จทุกประการ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] British Petroleum. BP statistical review of world energy. BP Annual Review, June 2009.

[2] H.S. Robert and W.P. Stephen, “A Plan to Keep Carbon in Check” In: Energy’s Future beyond Carbon. Scientific American, 2006, Vol.295, No.3.

[3] J.B. Heywood, “Fueling Our Transportation Future” In: Energy’s Future beyond Carbon, Scientific American, 2006, Vol.295, No.3.

[4] G.A. Chamberlain, Management of large LNG hazardous, 23rd World gas conference, Amsterdam, 2006.

[5] S. Kumar, H.T. Kwon, K.H. Choi, W. Lim, J.H. Cho, K. Tak and I. Moon, “LNG: An eco-friendly cryogenic fuel for sustainable development”, Applied Energy, 88, 2011, pp. 4264–4273.

[6] T. Korakianitis, A.M. Namasivayam and R.J. Crookes, “Natural-gas fueled spark-ignition (SI) and compression-ignition (CI) engine performance and emissions”, Progress in Energy and Combustion Science, 37, 2011, pp. 89 – 112.

[7] O.M.I. Nwafor, “Knock characteristics of dual-fuel combustion in diesel engines using natural gas as primary fuel”, Sadhana, 27, 2002, pp. 375 – 382.

[8] B.B. Sahoo, N. Sahoo and U.K. Saha, “Effect of engine parameters and type of gaseous fuel on the performance of dual-fuel gas diesel engines - A critical review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 2009, pp. 1151 – 1184.

[9] O.M.I. Nwafor, “Effect of advanced injection timing on the performance of natural gas in diesel engines”, Sadhana, 25, 2000, pp. 11 – 20.

[10] D. Bradley and G.T. Kalghatgi, “Influence of autoignition delay time characteristics of different fuels on pressure waves and knock in reciprocating engines”, Combustion and Flame, 156, 2009, pp. 2307 – 2318.

[11] M. Pöschl and T. Sattelmayer, "Influence of temperature inhomogeneities on knocking combustion", Combustion and Flame, 153, 2008, pp. 562 – 573.

[12] G.H. Abd, H.A. Soliman, O.A. Badr and M.F. Abd, "Effect of Injection Timing on the Performance of a Dual Fuel Engine", Energy Conversion and Management, 43, 2002, pp. 269 – 277.

[13] A. Vezir, P. Adnan, C. Idris, B. Bari and K. Ahmet, "Performance and exhaust emission characteristics of a diesel engine running with LPG", International Journal of the Physical Sciences, 8, 2011, pp. 1905 – 1914.

[14] R.G. Papagiannakis and D.T. Hountalas, "Combustion and exhaust emission characteristics of a dual fuel compression ignition engine operated with pilot Diesel fuel and natural gas", Energy Conversion and Management, 45, 2004, pp. 2971 – 2987.

[15] R.G. Papagiannakis, P.N. Kotsiopoulos, T.C. Zannis, E.A. Yfantis, D.T. Hountalas and C.D. Rakopoulos, "Theoretical study of the effects of engine parameters on performance and emissions of a pilot ignited natural gas diesel engine" Energy, 35, 2010, pp. 1129 – 1138.

[16] N. Tippayawong, A. Promwungkwa and P. Rerkkriangkrai "Long-term operation of a small biogas/diesel dual-fuel engine for on-farm electricity generation", Biosystems Engineering, 98, 2007, pp. 26 – 32.

[17] A. Henham and M.K. Makkar, "Combustion of Simulated Biogas in a Dual-Fuel Diesel Engine", Energy Conversion Management, 39, 1998, pp. 2001 – 2009.

[18] O.M.I. Nwafor, "Effect of advanced injection timing on emission characteristics of diesel engine running on natural gas", Renewable Energy, 32, 2007, pp. 2361 – 2398.

[19] W.A. Abdelghaffar, "Performance and emissions of a diesel engine converted to dual diesel – CNG fuelling", European Journal of Scientific Research, 56, 2011, pp. 279 – 293.

[20] C. Mansour, A. Bounif, A. Aris and F. Gaillard, "Gas–Diesel (dual-fuel) modeling in diesel engine Environment", International Journal Thermal Sciences, 40, 2001, pp. 409 – 424.

[21] 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, 23, 2003, pp. 353 – 365.

[22] Y.E.S. Mohamed, "Sensitivity of dual fuel engine combustion and knocking limits to gaseous fuel composition", Energy Conversion and Management, 45, 2004, pp. 411 – 425.