การส่งเสริมการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติโดยใช้ก๊าซไฮโดรเจน

Combustion Enhancement of a Natural Gas Engine with Hydrogen

พิพัฒน์ ตันสกุล และ สมชาย จันทร์ชาวนา
ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ถนนสุขสวัสดิ์ 48 บางมด กรุงเทพฯ 10140

Pipat Tansakul and Somchai Chanchaona
Combustion and Engine Research Laboratory (CERL)
Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
91 Suksawad 48 Road, Bangmod, Bangkok 10140
Email: Somchai.cha@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การปรับปรุงกำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงกระทำได้โดยการใช้ระบบเทอร์โบชาร์ท และการส่งเสริมการเผาไหม้ของก๊าซธรรมชาติโดยใช้ก๊าซไฮโดรเจน จากแนวความคิดนี้ได้นำไปสู่การดำเนินการวิจัยการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเติมเข้าในระบบป้อนเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะของการเผาไหม้ ผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์และปริมาณสารมลพิษในไอเสีย การทดสอบได้กระทำโดยใช้เครื่องยนต์ที่ดัดแปลงมาจากเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 2500 ซีซี และใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณ 0-11% ผลการศึกษาพบว่ากำลังที่ได้จากเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณไฮโดรเจน ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงตามปริมาณไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนมีค่าลดลง แต่ออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ความดันในกระบอกสูบพบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม ช่วยให้การเผาไหม้รวดเร็วขึ้น COV of IMEP มีแนวโน้มลดลง และ COV of P_{max} มีค่าลดลง เมื่อผสมไฮโดรเจนในปริมาณมากกว่า 5%

Abstract

It is well known that power of a dedicated natural gas engine can be improved using a turbocharger and combustion enhancement by adding hydrogen. This concept was extented to this research work. Investigation of adding hydrogen in the intake system of a dedicated natural gas engine was performed. The aims of this work were to examine combustion characteristics, effect on performance and emissions. Test runs were conducted on a dedicated 2.5L natural gas engine. Interested range of hydrogen added was 0-11%. Results show that the more hydrogen added in the intake mixture, the better of power and brake specific energy consumption. Carbon monoxide and hydrocarbon emissions are improved with adding hydrogen while result on oxides of nitrogen is opposite. Moreover, the analysis of cylinder pressure-time data shows that adding hydrogen in the intake mixture of natural gas and air increases combustion rate. While the trend of COV of IMEP is decreased with hydrogen added, the COV of P_{max} tends to reduce with more than 5% hydrogen added.

1.บทนำ

ความต้องการในการปรับปรุงคุณภาพอากาศในเมืองใหญ่ และราคาน้ำมันที่สูงขึ้นมากในช่วงเวลาที่ผ่านมา ก่อให้เกิดความสนใจในการพัฒนาเครื่องยนต์ที่สามารถใช้เชื้อเพลิงที่หาได้ภายในประเทศ ได้แก่ เอทานอล น้ำมันพืช และก๊าซธรรมชาติ ปัจจุบันในประเทศไทยมีประชากรรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติประมาณ 180 คัน เป็นรถแท็กซี่ 100 คัน และรถโดยสารของขสมก 82 คัน และกำลังเพิ่มจำนวนรถแท็กซี่อีก 1000 คัน ในช่วงเวลา 1 – 2 ปีนี้

การปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ดีเซล หรือเครื่องยนต์เบนซินให้มาใช้ก๊าซธรรมชาตินั้น ส่งผลให้เกิดการลดลงของกำลังเครื่องยนต์ประมาณ 10–15% เนื่องจากเชื้อเพลิงก๊าซมีปริมาตรมากกว่าเชื้อเพลิงที่เป็นของเหลว จึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดประจุลดลง นอกจากนั้นความรวดเร็วในการเผาไหม้ของก๊าซธรรมชาติมีค่าต่ำกว่าน้ำมันเบนซิน ทำให้ต้องเพิ่มองศาการจุดระเบิดล่วงหน้ามากขึ้น ซึ่งก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้กำลังลดน้อยลง

การพัฒนาเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ จากเครื่องยนต์ดีเซลได้ดำเนินงานมาอย่างต่อเนื่อง ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้ มจธ โดยการออกแบบและพัฒนาเครื่องยนต์ดีเซลให้สามารถใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงได้ ได้แก่ การปรับปรุงรูปร่างห้องเผาไหม้ การติดตั้งระบบเทอร์โบชาร์จเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดประจุ การ

พัฒนาเครื่องยนต์ให้เผาไหม้ได้ดีที่ส่วนผสมเจือจาง (Lean-burn) และการศึกษาการเพิ่มความรวดเร็วในการเผาไหม้ในกระบอกสูบ โดยการผสมก๊าซไฮโดรเจนเข้าไปในไอดีที่ใช้ในการเผาไหม้ ในบทความนี้จะได้นำเสนอผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติกับเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ผสมไฮโดรเจน ในเครื่องยนต์ที่ได้รับการพัฒนามาจากเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเบา (Dedicated Turbocharged Natural Gas Engine)

2. งานวิจัยที่ผ่านมา

Sierens และ Rosseel [1] ได้ทำการศึกษาการใช้ก๊าซไฮโดรเจนผสมกับก๊าซธรรมชาติ โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ 8 สูบ ที่ความเร็วคงที่ 3800 รอบต่อนาที ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดสูงสุด ส่วนผสมของก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้ 0, 10, และ 20% โดยปริมาตร เพื่อศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพและสารมลพิษ ผลการศึกษาพบว่า การใช้ก๊าซไฮโดรเจนปริมาณเล็กน้อยสามารถช่วยลดสารมลพิษในไอเสียได้ และการเพิ่มปริมาณของก๊าซไฮโดรเจน ช่วยให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น

Swain และ Yusuf [2, 7] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการผสมก๊าซไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ 2 ขนาด (Nissan 2.0L และ Toyota 1.6L) ที่ภาระการทำงานต่ำ ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่ใช้ 20 % เพื่อศึกษาผลกระทบต่อประสิทธิภาพและขอบเขตของส่วนผสมที่เจือจางมากๆ ซึ่งเครื่องยนต์ยังสามารถทำงานได้ ผลการศึกษาพบว่า การเติมไฮโดรเจนสามารถเพิ่มความเร็วในการแพร่กระจายของเปลวไฟ (ประมาณ 29%) และขยายขอบเขตส่วนผสมเจือจางได้จนถึง *equivalence ratio* = 0.54 นอกจากนี้ยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกให้สูงขึ้นประมาณ 10 –14 %

Larsen และ Wallace [3] ทำการศึกษาผลกระทบของการปรับอัตราส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิง และองศาในการจุดระเบิด โดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติผสมกับไฮโดรเจน และทดสอบกับเครื่องยนต์ 6 สูบ สภาวะที่ใช้ทดสอบเป็นไปตาม SAE J1003 โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่ปริมาณ 15 % ผลการทดสอบพบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และลดปริมาณสารมลพิษได้ โดยสามารถลดปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจนลง 13 - 32% และไฮโดรคาร์บอน 5 –13%

Cattelan และ Wallace [4] ทดสอบเครื่องยนต์ 6 สูบ ที่ความเร็วรอบ 1200 และ 1800 รอบต่อนาที ที่ภาระการทำงาน 0%, 15%, และ 30% ของภาระการทำงานสูงสุด เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสารมลพิษและประสิทธิภาพโดยใช้ก๊าซไฮโดรเจน 15 % โดยปริมาตร ผลการทดสอบพบว่าที่ภาระการทำงานต่ำ การใช้ก๊าซไฮโดรเจนผสมทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สูงขึ้น แต่ที่ภาระการทำงานสูง ๆ มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์น้อยลง

Hoekstra และคณะ [5] ทำการทดสอบภาคสนาม โดยการจำลองการวิ่งของรถบรรทุกขนาดเล็กที่ความเร็ว 69 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (55 ไมล์ต่อชั่วโมง) และใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณ 0, 11, 20, 28 และ 36% เพื่อศึกษาปริมาณสารมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม ผลการศึกษาพบว่าปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าลดลง โดยมีค่าต่ำที่สุดเมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณ 28 และ 36 % ที่ equivalence ratio = 0.625

Raman และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาและทดสอบเครื่องยนต์ 5.7 ลิตร 8 สูบ เพื่อศึกษาขีดจำกัดของการเผาไหม้ที่สภาวะส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิงเบาบาง, ประสิทธิภาพ และปริมาณสารมลพิษ ผลการศึกษาพบว่า ผลของก๊าซไฮโดรเจนจะช่วยให้ขยายขอบเขตของการเผาไหม้ที่สภาวะส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิงเบาบางมีค่ามากขึ้น และทำให้ปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจน และไฮโดรคาร์บอนลดลง รวมทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

Watson และ Lawrence [8] ได้ทำการพัฒนาระบบจุดระเบิดสำหรับเครื่องยนต์ใช้ก๊าซธรรมชาติ โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้เพื่อช่วยในการจุดระเบิด และตั้งชื่อระบบจุดระเบิดแบบใหม่ว่า Hydrogen Assisted Jet Ignition หรือ HAJI ผลการทดสอบกับเครื่องยนต์สูบเดียว ที่ความเร็ว 600 รอบต่อนาที ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อเปิดสูงสุด พบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนช่วยในการจุดระเบิดส่งผลให้ปริมาณสารมลพิษ จำพวกออกไซด์ของไนโตรเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง ในขณะที่ปริมาณไฮโดรคาร์บอนมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้ยังพบว่าช่วงเวลาในการเผาไหม้สั้นลง

3. อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ

การทดสอบใช้เครื่องยนต์ดีเซลซึ่งได้ดัดแปลงให้สามารถใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงได้ ยี่ห้ออีซูซุ รุ่น 4J-A1 ขนาด 2500 ซีซี โดยมีรายละเอียดของเครื่องยนต์ดังแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 1

รูปที่ 1 แสดงเครื่องยนต์ดัดแปลงที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องยนต์	ISUZU model 4J-A1
ปริมาตรกระบอกสูบ	2499 ซี.ซี.
จำนวนกระบอกสูบ	4 สูบ
กระบอกสูบ × ระยะชัก	93 มม. × 92 มม.
อัตราส่วนอัด	10.5 : 1
ลำดับการจุดระเบิด	1-3-4-2

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ

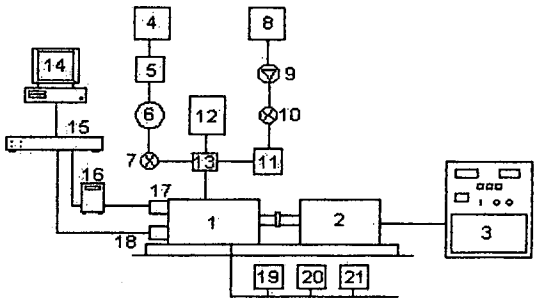
No	Property	Units	Hydrogen	Natural gas
1.	Composition	% by vol	H_2 99.99	CH_4 71.9594 C_2H_6 6.9417 C_3H_8 2.2228 C_4H_{10} 0.8992 C_5H_{12} 0.2428 C_6H_{14} 0.0868 N_2 1.7231 CO_2 15.9243
2.	Density	kg/m^3	0.0825	0.7827
3.	HHV	MJ/kg	119.81	45.93
4.	Flame speed	m/s	2.70	0.34
5.	Flamability imits	% vol in air	4-75	5.3-14

การทดสอบเครื่องยนต์กระทำได้โดยติดตั้งเครื่องยนต์กับไดนาโมมิเตอร์แบบ Eddy Current ขนาด 100 แรงม้า อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบของไอเสีย ประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ออกไซด์ของไนโตรเจน (Signal model 4000A, Chemiluminescent) ไฮโดรคาร์บอน (Signal model 3000, flame ionization) และคาร์บอนมอนอกไซด์(Servomax model 1490) การวิเคราะห์การเผาไหม้ได้จากข้อมูลความดันในกระบอกสูบ การวัดข้อมูลความดันในกระบอกสูบที่แต่ละมุมเพลาข้อเหวี่ยง ใช้เครื่องมือวัดความดันประกอบด้วย Piezo-electric pressure transducer, Charge amplifer, Shaft encoder , High speed data acquisition และ คอมพิวเตอร์

4. ขั้นตอนในการทดสอบ

การทดสอบกระทำที่สภาวะความเร็วคงที่ 2000 รอบต่อนาที ตำแหน่งลิ้นปีกผีเสื้อ 50 % อัตราส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิงเจือจาง และมุมองศาจุดระเบิดคงที่ โดยเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นก๊าซธรรมชาติที่ผสมก๊าซไฮโดรเจน ในปริมาณ 0% 3% 5% 7% 9% และ 11% ตามลำดับ เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ และปริมาณสารมลพิษที่ออกมากับไอเสีย ได้แก่ ออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนมอนอกไซด์

การวัดค่าความดันในกระบอกสูบ ได้ทำการวัดโดยใช้ Pressure Transducer เป็นตัวรับสัญญาณค่าความดัน แล้วส่งสัญญาณไปยัง Charge Amplifier, Data Acquisition การทำงานของ Data Acquisition ได้รับการสั่งการโดยจาก Shaft Encoder ที่ติดตั้งอยู่กับเพลาข้อเหวี่ยงอีกต่อหนึ่ง และสัญญาณความดันทุก ๆ หนึ่งองศาของเพลาข้อเหวี่ยงจำนวน 300 ไซเคิล ได้รับการบันทึกผล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในเวลาต่อมา ไดอะแกรมการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2



1.Engine
2.Dynamometer
3.Dynamometer controller
4.CNG cylinder
5.CNG flow meter
6.CNG pressure regulator
7.Needle control valve
8.Hydrogen cylinder
9.Flame arrestor
10.Needle control valve
11.H2 flow meter
12.Air flow meter
13.Gas mixer
14.Computer
15.A/D data acquisition
16.Charge amplifier
17.Pressure sensor
18.Shaft encoder
19.Nox analyser
20.THC analyser
21.CO analyser

รูปที่ 2 ไดอะแกรมการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ

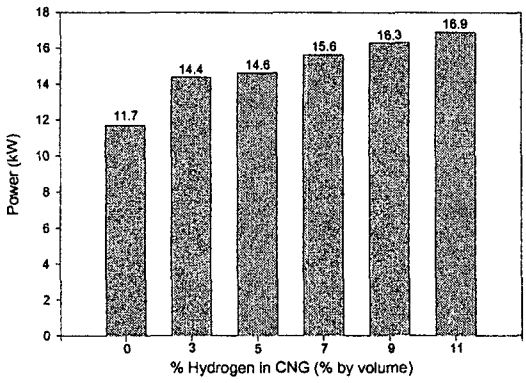
5. ผลการทดสอบด้านสมรรถนะและสารมลพิษ

ผลการทดสอบด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมาติที่ผสมไฮโดรเจนในปริมาณต่างๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

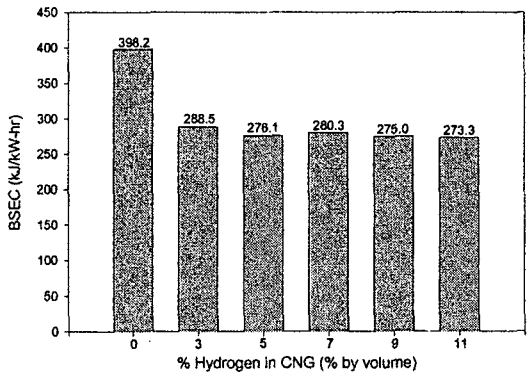
รูปที่ 3 แสดงกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ พบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม ทำให้กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณการใช้ก๊าซไฮโดรเจน โดยมีค่าสูงที่สุดเมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจน 11 % (16.9 kW) และมีค่าต่ำที่สุดเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว (11.7 kW)

รูปที่ 4 แสดงค่า Brake Specific Energy Consumption (BSEC) ที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ พบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมส่งผลให้ค่าของ BSEC ที่ได้มีค่าลดลงโดยมีค่าต่ำที่สุดในกรณีของการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณ 11 % (273.3 kJ/kW-hr) และมีค่าสูงที่สุดในกรณีของการใช้ก๊าซธรรมชาติเพียงอย่างเดียว (398.2 kW) ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าที่สภาวะการทำงานซึ่งให้ผลของกำลังที่เท่ากันการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมจะใช้พลังงานหรือเชื้อเพลิงในปริมาณที่น้อยลง

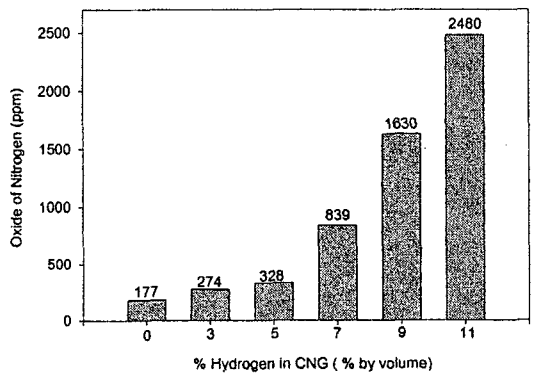
รูปที่ 5 แสดงปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ พบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม ส่งผลให้ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนมีปริมาณสูงขึ้นโดยมีปริมาณสูงขึ้นเล็กน้อย ในกรณีของปริมาณก๊าซไฮโดรเจน 3 % และ 5 % และมีค่าสูงที่สุดที่ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน 11 % (2480 ppm) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอุณหภูมิของการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในกรณีของการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมมีค่าสูงทำให้ปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนที่เกิดขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นมาก



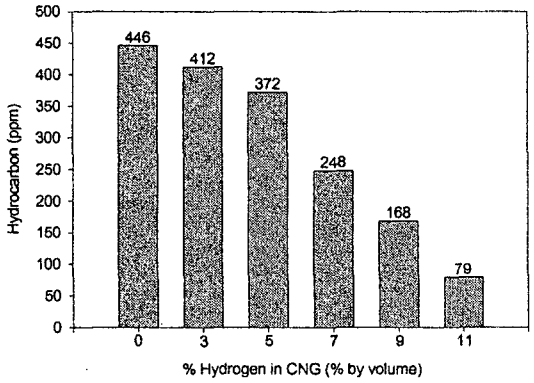
รูปที่ 3 กำลังของเครื่องยนต์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติผสมด้วยไฮโดรเจนในปริมาณต่าง ๆ



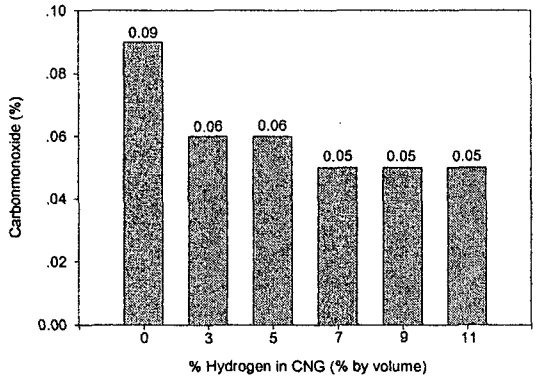
รูปที่ 4 แสดง BSEC ของเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติเมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ



รูปที่ 5 แสดงปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนของเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติเมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ



รูปที่ 6 แสดงปริมาณไฮโดรคาร์บอนของเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติเมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ



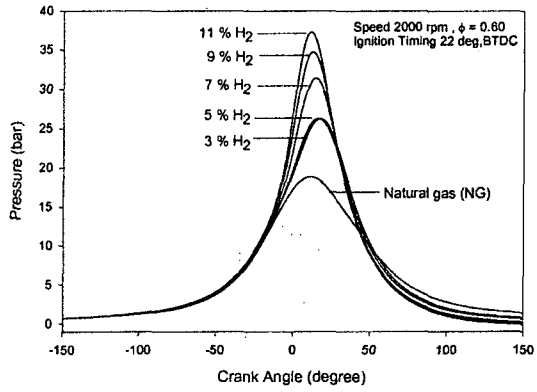
รูปที่ 7 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติเมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ

รูปที่ 6 แสดงปริมาณไฮโดรคาร์บอน เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ พบว่า ปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสียมีค่าลดลงตามปริมาณไฮโดรเจนที่เป็นเชื้อเพลิงเสริม เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณ 11 % ปริมาณไฮโดรคาร์บอนลดลงจาก 446 ppm เป็น 79 ppm (ลดลง 82.3 %) เชื่อว่าเชื้อเพลิงที่อยู่ตามผนังห้องเผาไหม้และบริเวณ crevice volume ถูกเผาไหม้ได้ ในกรณีที่มีไฮโดรเจนผสมอยู่

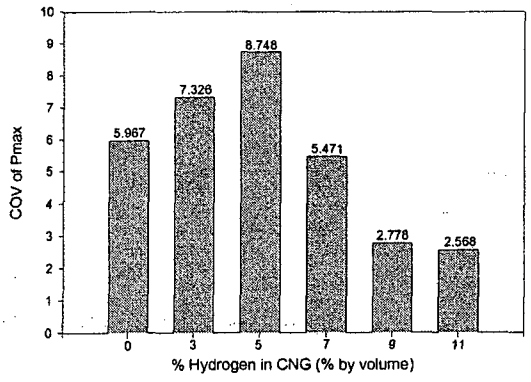
รูปที่ 7 แสดงปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ พบว่าการใช้ก๊าซธรรมชาติอย่างเดียวเป็นเชื้อเพลิง ค่าของคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าสูงที่สุด 0.09 % แต่ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์กลับมีค่าลดลงตามปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่เป็นเชื้อเพลิงเสริม โดยปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าลดลงเหลือ 0.05 % (ลดลง 44.4 %) เมื่อใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณ 7 - 11 %

6. ผลการวิเคราะห์ความดันในกระบอกสูบ

คุณลักษณะของการเผาไหม้กระทำได้โดยการวิเคราะห์ข้อมูลความดันในกระบอกสูบ ในกรณีนี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลความดันจำนวน 300 ไซเคิล โดยในแต่ละไซเคิลได้บันทึกค่าความดันในทุก ๆ องศาของมุมเพลาข้อเหวี่ยง ผลการวิเคราะห์เป็นไปดังนี้



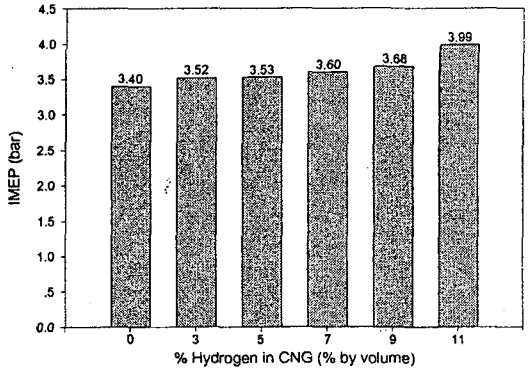
รูปที่ 8 แสดงความดันของไซเคิลเฉลี่ยกับมุมเพลาข้อเหวี่ยง



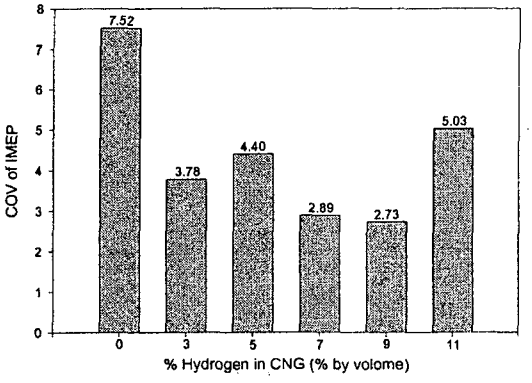
รูปที่ 9 แสดงค่า COV of Pmax เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ

รูปที่ 8 แสดงค่าความดันในกระบอกสูบของไซเคิลเฉลี่ยจากข้อมูล 300 ไซเคิล กับมุมเพลาข้อเหวี่ยง เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ พบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมทำให้ค่าความดันสูงสุดมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความดันสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1914.7 เป็น 3781.3 kPa เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณ 11 %

รูปที่ 9 แสดงค่าความแปรปรวนของค่าความดันสูงสุดจากข้อมูลจำนวน 300 ไซเคิล ในรูปของค่า Coefficient of variation of maximum pressure (COV of P_{max}) เป็นค่าที่แสดงถึงความไม่แน่นอนของการเผาไหม้ในแต่ละไซเคิล (cycle to cycle variation) และส่งผลมายังความไม่แน่นอนของความดันสูงสุดในกระบอกสูบในแต่ละไซเคิล (COV of P_{max} = standard deviation/mean valve) ผลการทดสอบพบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณที่ไม่เกิน 5 % ไม่ได้ส่งผลให้ค่า COV of P_{max} มีลดลงตามที่คาดการณ์ไว้ แต่ที่ปริมาณไฮโดรเจนมากกว่า 5 % ช่วยให้ค่า COV of P_{max} มีค่าลดลง การที่ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่ำ (น้อยกว่า 5%) ทำให้ส่วนผสมมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous mixture) ได้ลำบาก ดังนั้นจึงส่งผลกระทบต่อความรวดเร็วของการเผาไหม้ในไซเคิลส่วนใหญ่ แต่ยังมีไซเคิลส่วนน้อยที่อาจไม่ได้รับอิทธิพลจากการเติมไฮโดรเจนทำให้ค่าความดันสูงสุดมีค่าแตกต่างกันมาก และทำให้ค่า COV of P_{max} กลับมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 14 พบว่าผลที่เกิดขึ้นจะสอดคล้องกันโดยการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงในปริมาณ 3 และ 5 % ทำให้ cycle to cycle variation สูงขึ้น หลังจากนั้นจึงลดลงซึ่งเมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมสามารถช่วยให้ Cycle to Cycle Variation ลดลงและส่งผลให้เครื่องยนต์เดินเรียบรวมทั้งมีเสถียรภาพมากขึ้น



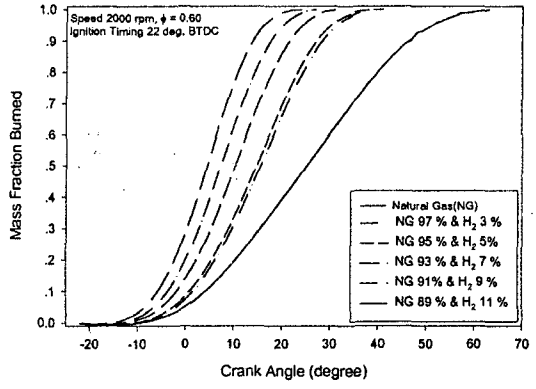
รูปที่ 10 แสดงค่า IMEP เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่างๆ



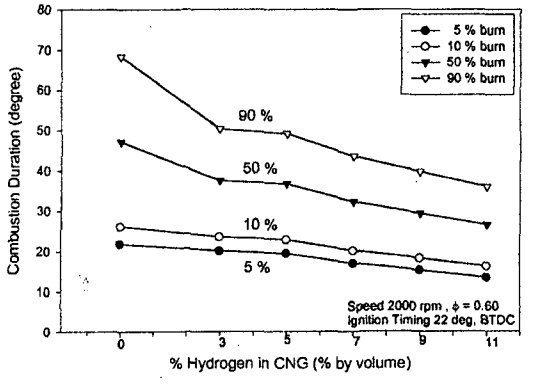
รูปที่ 11 แสดงค่า COV of IMEP เมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ

รูปที่ 10 และ 11 แสดงค่าของ IMEP และ COV of IMEP เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ พบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมส่งผลให้ค่า IMEP มีค่าสูงขึ้นตามปริมาณ

ไฮโดรเจนที่ใช้ ซึ่งค่า IMEP เพิ่มขึ้นสูงสุด 17.4 % เมื่อเติมไฮโดรเจน 11 % โดยสอดคล้องกับค่าของกำลังเบรก (brake power) ที่ได้จากเครื่องยนต์เมื่อใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมดังรูปที่ 3 ในส่วนของ COV of IMEP พบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมส่งผลให้ COV of IMEP มีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามการใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นในช่วง 0 – 11% ไม่ได้แสดงให้เห็นว่าค่า COV of IMEP มีค่าลดลงตามปริมาณไฮโดรเจนนั้น เชื่อว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากความเป็นไม่เนื้อเดียวกัน (inhomogenity) ของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติและไฮโดรเจนในไซเคิลต่าง ๆ อันเนื่องมาจากวิธีการผสมเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติและไฮโดรเจนด้วยการใช้ gas mixer



รูปที่ 12 แสดงสัดส่วนมวลที่เผาไหม้แล้วกับมุมเพลาข้อเหวี่ยง



รูปที่13แสดงช่วงเวลาในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงก๊าซที่ปริมาณไฮโดรเจนต่าง ๆ

รูปที่ 12 แสดงสัดส่วนโดยมวลที่เผาไหม้แล้วกับมุมเพลาข้อเหวี่ยงของการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณต่าง ๆ (mass burned fraction คำนวณโดยใช้ one-zone thermodynamic model) แสดงให้เห็นความเร็วของการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ในไซเคิลเฉลี่ย พบว่าเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติอย่างเดียวเป็นเชื้อเพลิงมีช่วงเวลาในการเผาไหม้นานที่สุด และเมื่อใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ช่วงเวลาการเผาไหม้มีค่าลดลงตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ตั้งแต่เริ่มจุดระเบิดจนถึงมวลไอดีถูกเผาไหม้ไปที่สัดส่วนต่าง ๆ

ปริมาณไฮโดรเจนที่ผสมกับก๊าซธรรมชาติ	ช่วงเวลาการเผาไหม้ (องศา)			
	0–5%	0–10%	0-50%	0–90%
0%	21.8	26.2	47.2	68.4
3%	20.2	23.6	37.6	50.4
5%	19.5	22.9	36.8	49.2
7%	17.0	20.2	32.3	43.6
9%	15.4	18.3	29.3	39.7
11%	13.5	16.3	26.5	35.9

รูปที่ 13 แสดงช่วงเวลาในการเผาไหม้ตั้งแต่เริ่มจุดระเบิดจนถึงเมื่อมวลไอดีที่สัดส่วนต่าง ๆ ได้เผาไหม้แล้ว (5%, 10%, 50%, 90%) จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริม ช่วยให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้รวดเร็วขึ้น (ช่วงเวลาการเผาไหม้ลดลง) และมีค่าลดลงตลอดทุกช่วงของการเผาไหม้ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นก๊าซที่มีความเร็วในการเผาไหม้สูง เป็นองค์ประกอบหนึ่งของเชื้อเพลิง สามารถช่วยเพิ่มความเร็วในการเผาไหม้ได้ ตารางที่ 3 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ตั้งแต่เริ่มจุดระเบิดจนถึงมวลไอดีถูกเผาไหม้ไปที่สัดส่วนต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่มีไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมที่ปริมาณต่าง ๆ จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นได้ว่าการเติมไฮโดรเจนช่วยลดช่วงเวลาในการเผาไหม้ทั้งช่วงต้น ช่วงกลาง และในช่วงท้ายของการเผาไหม้ อย่างไรก็ตามการเติมไฮโดรเจนด้วยปริมาณน้อยๆ (3-5%) มีผลกระทบต่อการเผาไหม้ช่วงต้น (5%และ10% mbf) น้อยกว่าการเผาไหม้ช่วงกลาง (50% mbf) และช่วงท้าย (90% mbf)

7. สรุป

การศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติและก๊าซธรรมชาติเสริมด้วยไฮโดรเจน ในเครื่องยนต์ที่พัฒนาสำหรับใช้กับเชื้อเพลิงก๊าซ สรุปได้ว่าการใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในช่วง 0-11% ช่วยให้กำลังของเครื่องยนต์มีค่าเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของไฮโดรเจน โดยกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 44.4% เมื่อใช้ไฮโดรเจนเสริม 11% ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง ตามปริมาณของไฮโดรเจน โดยค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเฉลี่ย 30 % เมื่อเติมก๊าซไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ส่วนผลกระทบต่อสารมลพิษที่ออกมากับไอเสียพบว่า การใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมในก๊าซธรรมชาติ สามารถช่วยลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนได้ อย่างไรก็ตามการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมทำให้ออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์ความดันในกระบอกสูบ พบว่าการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงเสริมช่วยให้การเผาไหม้รวดเร็วขึ้น COV of IMEP มีแนวโน้มลดลง COV of P_{max} มีค่าลดลงเมื่อผสมไฮโดรเจนในปริมาณมากกว่า 5%

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สพช) ที่ให้การสนันสนุนเงินทุนที่ใช้ในงานวิจัย และการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท) ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติอัดเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Sierens, R., Rosseel, E., 2000, "Variable Composition Hydrogen/Natural Gas Mixtures for Increased Engine Efficiency and Decreased Emissions," ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 122, pp. 135-140.

[2] Yusuf, M., Swain, M.R., Swain, M.N., and Dulger, Z., 1997, "An Approach to Lean Burn Natural Gas Fuelled Engine Through Hydrogen Addition," Proceeding, 30th ISATA Conference, Florence.

[3] Larsen, J.F., and Wallace, J.S., 1997, "Comparison of Emissions and Efficiency of a Turbocharged Lean-Burn Natural Gas and Hythane - Fuelled Engine," ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 119, pp. 218-226.

[4] Cattelan, A.I., and Wallace, J.S., 1994, "Hythane and CNG Fuelled Engine Exhaust Emission and Engine Efficiency Comparison," Proceedings, 10th World Hydrogen Energy Conference, CoCoa Beach, Vol. 3, pp. 1761-1770.

[5] Hoekstra, R.L., Collier, K., and Mulligan, N., 1994, "Demonstration of Hydrogen Mixed Gas Vehicle," Proceeding, 10th World Hydrogen Energy Conference, Cocoa Beach, Vol. 3, pp. 1781-1796.

[6] Raman, V., Hansel,J., Fulton, J., Lynch, F., and Bruderly, D., 1994, "Hythane - An Ultra Clean Transportation Fuel," Proceeding, 10th World Hydrogen Energy Conference, Cocoa Beach, Vol. 3, pp.1797-1806.

[7] Swain, M.R., Yusuf, M., Dulger, Z., and Swain, M.N., 1993, "The Effects of Hydrogen Addition on Natural Gas Engine Operation," SAE Paper 932775.

[8] Watson, H.C. and Lawrence, J., 1998, "Hydrocarbon Emissions from a HAJI Equipped Ultra-lean Burn SI Engine", SAE Paper 980044.