บทที่ 6
บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยพบว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สกับดีเซล แบบ Diesel Cycle Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot (DDF) สามารถพัฒนาให้ใช้งานได้จริง ซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ภาระโหลดการใช้งานที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ต่างไปจากจากเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

6.1 กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สกับดีเซล

กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สกับน้ำมันดีเซล ซึ่งมีการปรับลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลให้น้อยลงทั้งสามกรณี พบว่ามีค่ากำลังสูงสุดสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงอย่างเดียวประมาณร้อยละ 8.5 ถึง 14

กำลังสูงสุดที่ทำได้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม ขึ้นอยู่กับปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงแก๊สที่เข้าห้องเผาไหม้ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนให้มากหรือน้อยกว่าเครื่องยนต์ดีเซลได้

6.2 ปริมาณมลพิษควันดำของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สกับดีเซล

ปริมาณมลพิษควันดำของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม ที่มีการปรับลดปริมาณการฉีดน้ำมันดีเซลลง ที่ภาระโหลดปานกลางถึงสูงที่อยู่ในช่วงการใช้งานปกติ มีค่ามลพิษควันดำใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว น่าจะเป็นเพราะการลดปริมาณดีเซลลงทำให้อัตราส่วนของเชื้อเพลิงดีเซลที่เกิดการเผาไหม้ไม่สมบรูณ์ลดลงตามอัตราส่วนไปด้วย แต่ในขณะเดียวกันปริมาณอากาศหรือออกซิเจนก็น้อยลงด้วยเพราะถูกแทนที่ด้วยแก๊ส จึงมีผลทำให้โดยรวมแล้วค่ามลพิษควันดำไม่ต่างจากการใช้ดีเซลอย่างเดียวมากนัก

อย่างไรก็ตามที่สภาวะโหลดสูงมากๆ รวมไปถึงโหลดสูงสุดของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมค่ามลพิษควันดำสูงกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียวมาก เพราะปริมาณเชื้อเพลิงที่เข้าห้องเผาไหม้มากเกินไป เมื่อเทียบกับปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ลดลงเพราะถูกแทนที่ด้วยเชื้อเพลิงแก๊ส จึงทำให้อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงรวมต่ออากาศสูงเกินไป เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในอัตราที่สูงมากขึ้น ปริมาณมลพิษควันดำจึงมีค่าสูงมาก

สำหรับที่สภาวะโหลดต่ำมากๆ ปริมาณมลพิษควันดำของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลอย่างเดียว ถึงแม้ว่าปริมาณดีเซลถูกลดลงก็จริงแต่แก๊สยังเข้าห้องเผาไหม้ในอัตราที่คงที่ มีผลทำให้อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงรวมต่ออากาศสูงมาก และอุณหภูมิของห้องเผาไหม้มีแนวโน้มที่ต่ำลง ทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์มีค่าสูงมากขึ้น

แต่อย่างไรก็ตามที่ภาระโหลดต่ำหรือสูงมากๆ เป็นสภาวะที่นอกเหนือช่วงที่ออกแบบให้ใช้งานจริงของการวิจัยครั้งนี้ และสภาวะการใช้งานจริงที่ภาระโหลดต่ำหรือสูงมากๆ มีอัตราส่วนที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับการใช้งานปกติ ผู้วิจัยมีความเห็นว่าสามารถนำมาใช้งานได้จริง และถ้ามีการพัฒนาปรับปรุงเครื่องยนต์หรือรถยนต์ให้สามารถลดปริมาณมลพิษควันดำที่ภาระโหลดต่ำหรือสูงมากๆ ได้ก็จะทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์มากขึ้น

ข้อสังเกตอีกอย่างคือ พบว่าเครื่องยนต์ดีเซลที่ถูกปรับแต่งให้เป็นเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมที่สภาวะการใช้งานบางสภาวะโหลด มีผลของมลพิษควันดำที่เปลี่ยนไปจากเครื่องยนต์ดีเซลอย่างเดียวมาก แสดงว่าการใช้เชื้อเพลิงผสมมีผลทำให้คุณสมบัติของเครื่องยนต์ดีเซลเดิมที่ถูกออกแบบไว้เปลี่ยนไปในบางสภาวะโหลด

สำหรับมลพิษ HC และ CO ที่มีการทดสอบในเครื่องยนต์เล็กพบว่า ที่ภาระโหลดต่ำถึงปานกลางมีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว และสอดคล้องกับปริมาณ NOx ที่มีค่าต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซลอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามที่ภาระโหลดสูงมากๆปริมาณ NOx ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมน่าจะสูงกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมที่สูงกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว [1, 2]

6.3 อัตราเร่งของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สกับดีเซล

อัตราเร่งของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมมีอัตราเร่งที่ดีกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว สำหรับรถยนต์ Toyota Hi-ace 3000 cc Engine มีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 37 ซึ่งน่าจะเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแก๊สที่มีอัตราการเผาไหม้ที่รวดเร็วและรุนแรงกว่าดีเซลนั่นเอง

6.4 อัตราการสิ้นเปลืองของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สกับดีเซล

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สกับดีเซล ที่ภาระโหลดปานกลางถึงสูงเปรียบเทียบกับการใช้ดีเซลอย่างเดียว พบว่า

เครื่องยนต์ EDI-120 624 cc อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิง CNGต่อดีเซลโดยพลังงานมีค่าประมาณ 30 ต่อ 70 สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการใช้ดีเซลอย่างเดียวร้อยละ 11 ลดค่าใช้จ่ายลงได้ประมาณร้อยละ 12

รถยนต์ Toyota Hi-ace 3000 cc Engine อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิง CNGต่อดีเซลโดยพลังงานมีค่าประมาณ 43 ต่อ 57 ถึง 48 ต่อ 52 สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการใช้ดีเซลอย่างเดียวร้อยละ 16 ลดค่าใช้จ่ายลงได้ประมาณร้อยละ 20

รถยนต์ Isuzu D-max 4JA1-L 2500 cc Engine อัตราส่วนผสมเชื้อเพลิง LPGต่อดีเซลโดยพลังงานมีค่าประมาณ 44 ต่อ 56 สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการใช้ดีเซลอย่างเดียวร้อยละ 2 ลดค่าใช้จ่ายลงได้ประมาณร้อยละ 26

แต่อย่างไรก็ตามที่สภาวะโหลดต่ำมากๆและรอบเดินเบา อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจะสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณแก๊สที่ถูกส่งเข้าห้องเผาไหม้เกือบจะคงที่นั้น มีผลทำให้อัตราส่วนแก๊สต่อดีเซลสูงขึ้น ดังผลการทดสอบของรถยนต์ Toyota Hi-ace 3000 cc Engine มีอัตราส่วนสูงถึง 67 ต่อ 33 โดยพลังงาน ดั้งนั้นในสภาวะโหลดต่ำมากๆควรมีการปรับลดปริมาณของแก๊สลง เพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน

ปัญหาอีกอย่างของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมคือ ถ้าเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงแก๊สมากเกินไปจะทำให้เครื่องยนต์เกิดการ Knock และอาจมีผลทำให้เครื่องยนต์อาจได้รับความเสียหายได้

6.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สกับดีเซล

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สกับดีเซล ที่สภาวะโหลดปานกลางช่วงหนึ่งเท่านั้นที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว ซึ่งเป็นสภาวะการใช้งานที่ประหยัดพลังงานที่สุด แต่ที่สภาวะโหลดสูงมากขึ้นหรือลดต่ำลง พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมต่ำกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว วิเคราะห์ได้ว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสม มีผลโดยตรงทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดั้งเดิมที่ถูกออกแบบไว้เปลี่ยนไป ขึ้นอยู่กับการปรับปริมาณเชื้อเพลิงที่จะถูกส่งเข้าห้องเผาไหม้

จากผลการวิจัย เครื่องยนต์เชื้อเพลิงผสมแก๊สกับดีเซลแบบ Diesel Cycle Premixed Dual-Fuel with Diesel Oil Pilot (DDF) พบว่ามีทั้งข้อดีและข้อเสีย

ข้อดีคือ สามารถประหยัดค่าเชื้อเพลิงลงได้ มีกำลังของเครื่องยนต์มากกว่าและมีอัตราเร่งของเครื่องยนต์ที่ดีกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว

ข้อเสียคือ มลพิษควันดำที่ภาระโหลดสูงและต่ำมากๆ มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว มลพิษ HC, CO ที่ภาระโหลดต่ำถึงปานกลาง มีค่าสูงกว่าเครื่องยนต์เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียว และในกรณีที่ใส่ปริมาณเชื้อเพลิงแก๊สเข้าห้องเผาไหม้มากเกินไปอาจทำให้เครื่องยนต์เกิดการ Knock และเกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์ได้

แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งระบบควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงแก๊ส ด้วยระบบอิเลคทรอนิคส์ที่ภาระโหลดสูงและต่ำมากๆ ให้เหมาะสมมากขึ้น น่าจะเป็นอีกทางเลือกที่สามารถแก้ปัญหาได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Ikegami M., Shioji M. and Ishiyama T. "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. 2000. pp. 13-22.

[2] Zagis G. and Watson H. C. "Alternative Ignition systems for CNG in Diesel Applications" **12th International Pacific Conference on Automotive Engineering, Bangkok, Thailand,** April 1-4. 2003. pp. D32.

[3] Kusaka J., Daisho Y., Shimonagata T., Kihara R. and Saito T. "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, 2000. pp. 23-31.

[4] Ishida A., Nishimura A., Uranishi M., Kihara R., Nakamura A. and Newman. Paul. "The development of the ECOS-DDF Gas engine for medium-duty trucks: exhaust emission reduction against base diesel engine" **JSAE review 22(2001)**, December 6. 2000. pp. 237-243.

[5] Ouellette P., Douville B., Hill P.G. and Ursu B. "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, 1998.

[6] Okada M. "Development of CNG Direct Injection Diesel-Cycle Engine" Engine Design and Development, Isuzu Motors Limited.

[7] Pulkrabek W.W. **Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine**. New Jersy : Prentice-Hall, Inc. 1997.

[8] Pelkmans L., Keukeleere D.D. and Lenaers G. "Emissions and fuel consumption of natural gas powered city buses versus diesel buses in real city traffic" Vito-Flemish Institute for Technological Research, Belgium.

[9] Douville B., Ouellettle P., Touchette A. and Ursu B. "Performance and Emissions of a Two-Stroke Engine Fueled Using High-Pressure Direct Injection of Natural Gas" **SAE Paper 981160**, February. 1998.

[10] Ouellettle P. and Welch A. "Progresses in High Pressure Direct Injection (HPDI) of Natural Gas In Automotive Diesel Engines" Westport Innovations Inc.

[11] Tanaka S., Yoshida M., Kokubun T., Uesugi T and Kodama T. " Development of 6M61 CNG Engine for Medium-Duty Trucks" New technologies Technical review No.15, pp. 66-69. 2003.

[12] Omnitek Engineering Corp. Alternative Fuel System. 2006 [Online]. Available : http://www.omnitekcorp.com

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. **P. Karin**, C.Charoenphonphanich, "**Study on Using Gaseous Fuel and Diesel in an Engine**," การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, จังหวัดนครราชสีมา, 18-20 ตุลาคม 2549.

ME NETT 20th
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
PROCEEDING
MECHANICAL ENGINEERING
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
สารจากคณบดี
วัตถุประสงค์
บทความ
กำหนดการ
คณะกรรมการ
ผู้ทรงคุณวุฒิ
เครือข่าย
ผู้สนับสนุน
คำขอบคุณ
ME NETT 20th
การประชุมวิชาการ
เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20
วันที่ 18-20 ตุลาคม 2549
ณ แมนคาริน โกลเด้น วัลเล่ย์ โฮเต็ล แอนด์ รีสอร์ท
เขาใหญ่ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา