การควบคุมเครื่องยนต์ชนิดจุดระเบิดด้วยประกายไฟฟ้า: ตอนที่ 2 สมรรถนะและมลภาวะ

Spark Ignition Engine Control: Part 2 Performance and Emission

วัชรินทร์ คงทรัพย์[1] วิชุพันธ์ วิจิตรดำเกิง[1] จินดา เจริญพรพาณิชย์[1] รักษิต ฐิติพัฒนพงศ์[2*] จตุรวิทย์ จันพบูลย์[2] และ มนตรี ชาติพจน์[2]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพ. 10520
[2]งานวิจัยระบบอิเล็กทรอนิกส์จัดการเครื่องยนต์, หน่วยปฏิบัติการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (ศอ.) 112 อุทยานวิทยาศาสตร์ ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทร 0-2940-5824 โทรสาร 0-2564-6774 *อีเมล raksit.thitipatanapong@nectec.or.th

Watcharin Khongsap[1], Wichuphan Wijitdumkaeng[1], Chinda Charoenpornphanich[2] Raksit Thitipatanapong[2*], Jaturawit Janpaiboon[2] and Montri Chatpoj[2]
[1]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
[2]Electronics Engine Management, Embedded System Technology Laboratory,
National Electronic & Computer Technology Center (NECTEC)
112 Thailand Science Park, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel: 0-0-2940-5824 Fax: 0-2564-6774 *E-mail: raksit.thitipatanapong@nectec.or.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการวิจัยและพัฒนาเครื่องยนต์ที่ใช้พลังงานทางเลือก (อาทิเช่น ก๊าซธรรมชาติอัด, แก๊สโซฮอล หรือ เอาทานอล) เพื่อใช้ทดแทนพลังงานจากน้ำมันปิโตรเลียมจะทวีความสำคัญอย่างยิ่งยวดในภาวะที่ราคาน้ำมันมีราคาสูงและไร้เสถียรภาพ ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะและมลภาวะของเครื่องยนต์ที่ได้ดัดแปลงปรับปรุงระบบการจ่ายเชื้อเพลิงเป็นแบบแบบหัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ระบบสมองกลฝังตัวที่พัฒนาขึ้นในประเทศ ในการควบคุมเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟชนิด 4 จังหวะขนาด 399 ซม.^{3} เปรียบเทียบกับระบบดั้งเดิมของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นระบบกลไกคาร์บูเรเตอร์โดยใช้น้ำมันก๊าซโซฮอล์ 95 จากผลการทดสอบแรงบิดของเครื่องยนต์โดยไดนาโมมิเตอร์พบว่าระบบที่มีสมองกลอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงมีแรงบิดมากกว่าระบบกลไกร้อยละ 33 ในขณะที่อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลงสูงสุดร้อยละ 27 อีกทั้งการควบคุมที่เพิ่มขึ้นยังสามารถลดการปลดปล่อย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้กว่าร้อยละ 96 จะเห็นได้ว่าการใช้หัวฉีดอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับสมองกลควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงสามารถเพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์และประสิทธิภาพการเผาไหม้รวมถึงการปลดปล่อยมลภาวะได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ระบบกลไกเดิม อย่างไรก็ตามการปรับแต่งอัตราส่วนการจ่ายเชื้อเพลิงที่เหมาะสม ยังคงต้องพึ่งพาความรู้และประสบการณ์ของผู้ทำการดัดแปลงเป็นหลัก

Abstract

Nowadays, Bio-fuel such as Gasohol, Ethanol and gas fuel plays important in role in energy price crisis. In this paper, the performance and emission of the spark ignition engine that convert mechanical fuel management system to electric injector with embedded fuel system control was investigated. Light spark ignition 4 stroke engine was tested for maximum torque on asohol 95. The result shown that engine control by embedded controller has more torque output than mechanical system for 33% while the fuel consumption was improved for 27%. In addition the carbon monoxide emission could be reduced by 96%.

1. บทนำ

ในปัจจุบันที่ราคาพลังงานประเภทปิโตรเลียมมีราคาสูงขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งราคาของน้ำมันซึ่งเป็นพลังงานที่สำคัญในภาคขนส่งของประเทศไทยที่สูงขึ้นเนื่องการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศซึ่งคิดเป็นร้อยละ 75 [1] ของปริมาณการจัดหาทั้งหมด โดยเฉพาะในส่วนของน้ำมันเบนซินที่มีอัตราส่วนการบริโภคมากถึงร้อยละ 17 ที่ใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟฟ้าในรถยนต์ขนาดกลางและเล็ก พลังงานทางเลือกที่สามารถใช้ทดแทนในเครื่องยนต์แบบนี้ได้แก่ แก๊สโซฮอล, เอทานอล, ก๊าซธรรมชาติอัด, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ซึ่งตามแผนพัฒนานโยบายพลังงานของประเทศในปี 2550 ที่จะทำการส่งเสริมการผลิตและใช้งานพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นเพื่อลดการนำเข้าและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก[2]

เครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟถูกออกแบบมามากกว่าศตวรรษโดยวิศวกรชาวเยอรมันชื่อ นิโคลัส ออโต้ (Nicolaus Otto) เป็นเครื่องยนต์ชนิดสันดาปภายใน (internal combustion engine) ที่มีการทำงานโดยอาศัยการเผาไหม้ของส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศในห้องเผาไหม้ซึ่งเริ่มต้นการเผาไหม้จุดระเบิดด้วยประกายไฟฟ้า โดยเครื่องยนต์จะถูกควบคุมกำลังด้วยการบังคับปริมาณอากาศที่ไหลเข้าสู่เครื่องยนต์และจากข้อจำกัดจากการเผาไหม้ปริมาณส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศจำเป็นต้องถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

ในอดีตระบบกลไกควบคุมถูกนำมาใช้ควบคุมปริมาณส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศโดยใช้หลักการทางกลศาสตร์ของไหลผ่านเวนจูรี่ (Venturi) ซึ่งค่าความดันของอากาศที่ไหลผ่านจะสัมพันธ์กับปริมาณอากาศที่ไหลผ่านและนำไปใช้ปรับปริมาณการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงให้ได้ส่วนผสมที่พร้อมจะติดไฟ อย่างไรก็ตามระบบกลไกคาร์บูเรเตอร์นั้นยังมีข้อจำกัดอย่างมาก[3]ในการประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงประเภทเอทานอลและแก๊สโซฮอล์ แม้ว่าอัตราส่วนผสมจะสามารถทำการปรับปรุงได้แต่ความเข้ากันได้ของวัสดุจำพวกอลูมินั่มและยางก่อให้เกิดปัญหาในการทำงาน ระบบหัวฉีดไฟฟ้าที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบสมองกลฝังตัวเป็นตัวเลือกที่ดีกว่าในการควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แบบจุดระเบิดด้วยประกายไฟฟ้า

ในงานวิจัยจะได้กล่าวถึงการดัดแปลงเครื่องยนต์จากระบบกลไกคาร์บูเรเตอร์เป็นระบบจ่ายเชื้อเพลิงด้วยหัวฉีดไฟฟ้าควบคุมด้วยสมองกลฝังตัวที่พัฒนาขึ้นในงานก่อนหน้านี้ รวมถึงการทดสอบเปรียบเทียบทางด้านสมรรถนะและมลภาวะระหว่างระบบการจ่ายเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด

2. เครื่องมืออุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในชนิดจุดระเบิดด้วยประกายไฟ 4 จังหวะขนาด 399 ซม.^{3} ของฮอนด้า โดยติดตั้งคาร์บูเรเตอร์เป็นอุปกรณ์จ่ายเชื้อเพลิงมาตรฐานตามที่แสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 และรูปที่ 1

การดัดแปลงใช้ระบบหัวฉีดไฟฟ้าจำเป็นต้องถอดชุดคาร์บูเรเตอร์ออกและทำการติดตั้งระบบหัวฉีดพร้อมระบบสมองกลควบคุม (NECTEC ECU-M163, Master Firmware) ตามรูปที่ 2 โดยการนำท่อไอดีที่ถูกออกแบบให้เหมาะสมกับขนาดของเครื่องยนต์ที่แสดงในรูปที่ 3 ใช้หัวฉีดไฟฟ้าของเครื่องยนต์ Honda Wave 125i ซึ่งเป็นหัวฉีดขนาด 15 ซม.^{3}

ตารางที่ 1 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องยนต์ทดสอบ

แบบเครื่องยนต์	4 สูบ DOHC. ระบายความร้อนด้วยน้ำ 4 วาล์วต่อหนึ่งสูบ(Honda NC23E)
ปริมาตรลูกสูบ	399 cc
Bore x Stroke	55mm x 42mm
Compression ratio	11.3 : 1
Fuel system	Carburetor

รูปที่ 1 เครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

การทดสอบทำด้วยการใช้แท่นทดสอบสมรรถนะรถยนต์ (Chassis Dynamometer) ร่วมกับการวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าไอเสีย (Exhaust Analyzer) โดยตัวแปรเชิงสมรรถนะที่วัดได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ดังนี้:

แท่นทดสอบจะให้ค่าแรงบิด (T) และความเร็วรอบของตัวลูกกลิ้ง (n) โดยสามารถหาค่ากำลัง ($\dot{P}$) ของเครื่องยนต์ในหน่วยกิโลวัตต์ (kW) ได้จากสมการที่ 1

$$\dot{P} = T \times \frac{2n\pi}{60} \tag{1}$$

ค่าความดันประสิทธิผลเฉลี่ย (Mean Effective Pressure, mep) จากสมการที่ 2 โดยที่ n = 2 (เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ชนิด 4 จังหวะ) และ V_d คือ ปริมาตรความจุกระบอกสูบของเครื่องยนต์ในหน่วยลิตร เป็นตัวแปรเชิงสมรรถนะที่ไม่ขึ้นกับขนาดของเครื่องยนต์ ใช้วิเคราะห์ความสมบูรณ์และสิ่งผิดปกติในเครื่องยนต์แต่ละชนิดได้

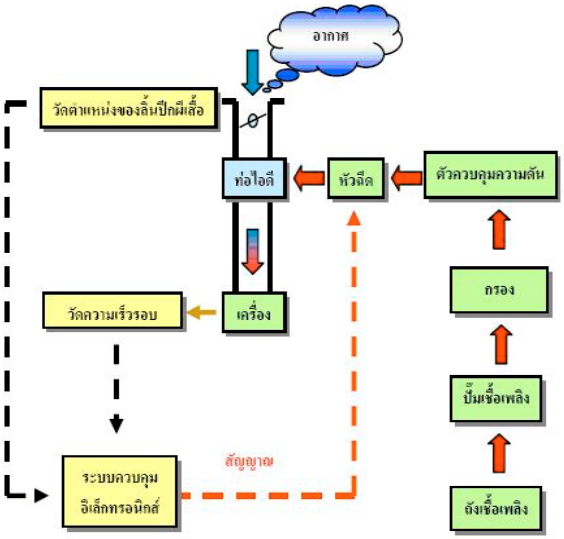
$$mep = \frac{2\pi nT}{V_d} \tag{2}$$

อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption, *sfc*) สามารถประเมินได้จากสมการที่ 3 ในการทดสอบนี้ได้ทำการวัดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในรูปอัตราการไหลเชิงมวล ($\dot{m}_f$) ซึ่งเครื่องยนต์ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้เปรียบเทียบกันซึ่งเป็นการไหลของเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยกำลัง

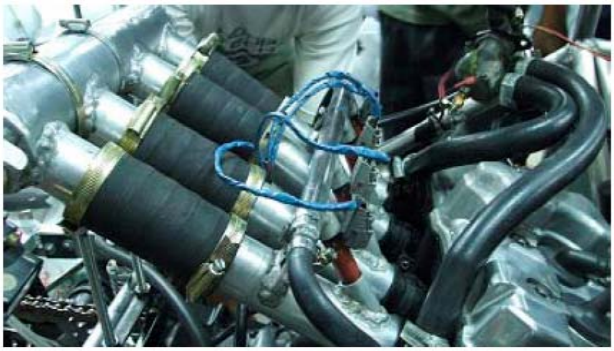
$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{\dot{P}} \qquad (3)$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Effieciency, η_{th})เป็นการบอกอัตราส่วนของพลังงานที่เครื่องยนต์ผลิตได้เทียบกับพลังงานที่ใช้ โดยประเมินได้จากสมการที่ 4

$$\eta_{th} = \frac{\dot{P}}{\dot{m}_f \times HV} \qquad (4)$$



รูปที่ 2 ชุดสมองกลฝังตัว(บน) และระบบจัดการเชื้อเพลิงที่ถูกดัดแปลงติดตั้งในเครื่องยนต์ (ล่าง)

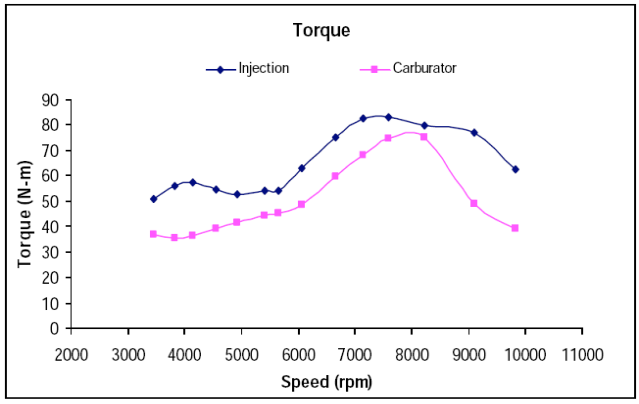


รูปที่ 3 ระบบที่ติดตั้งสมบูรณ์

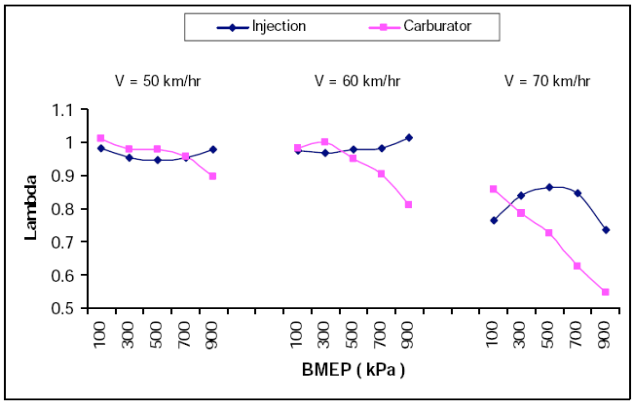
3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบสมรรถนะที่มุมลิ้นปีกผีเสื้อสูงสุดในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ระบบหัวฉีดไฟฟ้าร่วมกับสมองกลฝังตัวมีแรงบิดสูงกว่าระบบกลไกคาร์บูเรเตอร์เฉลี่ยร้อยละ 33 ทั้งที่เป็นผลมาจากการควบคุมอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ดีกว่าตามที่แสดงในรูปที่ 5 ที่แสดงถึงอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศสัมพันธ์ (λ) จะเห็นได้ว่าระบบสมองกลฝังตัวสามารถควบคุม λ ให้คงที่ได้ดีกว่าระบบกลไกในทุกสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์และยังส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองในรูปที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะของระบบสมองกลฝังตัวจะมีค่าต่ำกว่าระบบกลไกที่ภาระของค่าความดันประสิทธิผลเฉลี่ยมากกว่า 300 kPa ในทุกๆความเร็ว ซึ่งอัตราสิ้นเปลืองที่สูงกว่าของระบบสมองกลฝังตัวสูงสุดร้อยละ 27 และที่ความดันประสิทธิผลเฉลี่ยต่ำว่า 300 kPa นั้นเป็นผลมาจากการปรับแต่งตารางการจ่ายเชื้อเพลิงให้มีสมรรถนะสูงสุดในย่านการทำงานนี้ อนึ่งประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบสมองกลฝังตัวที่ค่าสูงกว่าระบบกลไก โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่รอบเครื่องยนต์และภาระของเครื่องยนต์สูง

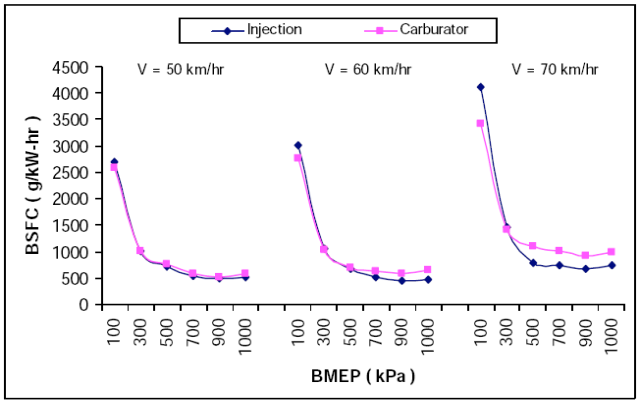
ในส่วนของการปลดปล่อยมลพิษนั้นในรูปที่ 8 แสดงถึงการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนกไซด์ (CO) พบว่าระบบสมองกลฝังตัวมีการปลดปล่อย CO น้อยกว่าระบบกลไกสูงสุดกว่าร้อยละ 96 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการควบคุมอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่รอบเครื่องยนต์และภาระสูงที่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ส่วนการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่แสดงในรูปที่ 9 จะเห็นว่าที่รอบเครื่องยนต์ต่ำปริมาณ NO_x มีค่าสูงกว่าที่รอบเครื่องยนต์สูงในทั้งสองระบบเนื่องจากระยะเวลาในห้องเผาไหม้ที่มีมากกว่าแต่ระบบสมองกลที่เป็นหัวฉีดมีการกระจายตัวของเชื้อเพลิงที่ดีกว่าทำให้มีปริมาณ NO_x น้อยกว่า ในขณะที่รอบการทำงานที่สูงขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันโดยการจ่ายเชื้อเพลิงด้วยระบบสมองกลนั้นมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเนื่องจากการควบคุมอัตราส่วนผสมได้พอดีทำให้มี O_2 เหลือในอากาศมากกว่า อนึ่งระบบกลไกคาร์บูเรเตอร์มีการจ่ายเชื้อเพลิงที่หนาจนไม่ก่อให้เกิด NO_x ซึ่งส่งผลให้ปลดปล่อย CO สูงกว่า



รูปที่ 4 แรงบิดของเครื่องยนต์ทดสอบเปรียบเทียบระหว่างระบบคาร์บูเรเตอร์และหัวฉีด



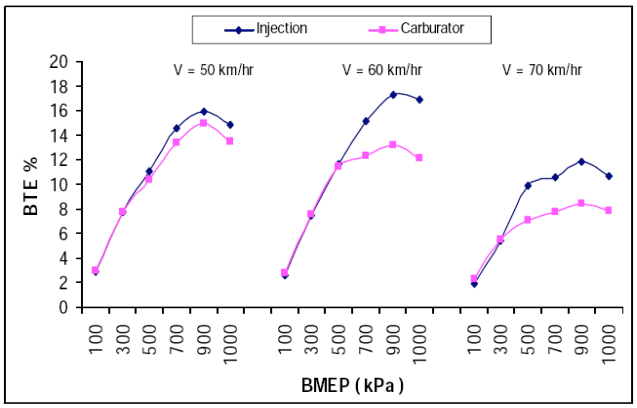
รูปที่ 5 ผลการทดสอบการเผาไหม้เปรียบเทียบที่ภาระและความเร็วระหว่างระบบคาร์บูเรเตอร์และหัวฉีด



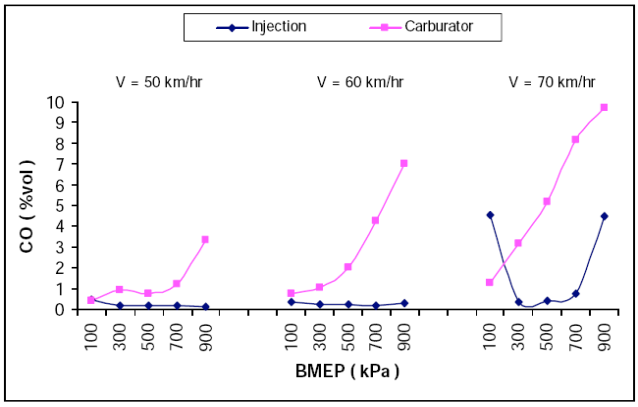
รูปที่ 6 อัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะเปรียบเทียบที่ภาระและความเร็วระหว่างระบบคาร์บูเรเตอร์และหัวฉีด

4. สรุป

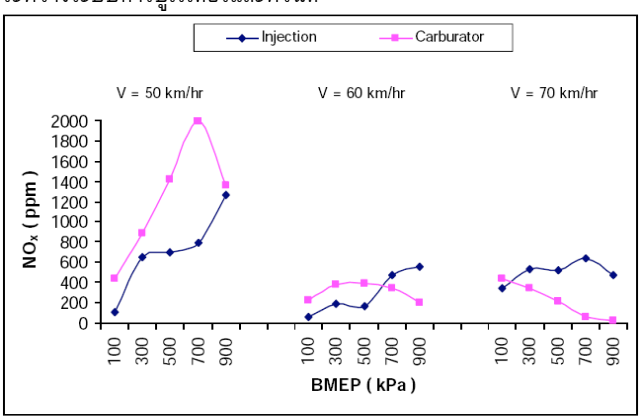
เครื่องยนต์สันดาปภายชนิดจุดระเบิดด้วยประกายไฟสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเชื้อเพลิงทางเลือก(ก๊าซโซฮอล์, เอทานอล, ก๊าซธรรมชาติอัด และ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว) ได้อย่างเป็นอย่างดี หัวใจของการปรับปรุงดัดแปลงเครื่องยนต์ให้ใช้เชื้อเพลิงทางเลือกคือ การพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวจัดการระบบเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ให้เหมาะสมการเชื้อเพลิงแต่ละชนิด จากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ได้รับการปรับปรุงระบบจ่ายเชื้อเพลิงจากกลไกคาร์บูเรเตอร์มาเป็นระบบหัวฉีดไฟฟ้า



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเปรียบเทียบที่ภาระและความเร็วระหว่างระบบคาร์บูเรเตอร์และหัวฉีด



รูปที่ 8 การปลดปล่อยคาร์บอนอกไซด์เปรียบเทียบที่ภาระและความเร็วระหว่างระบบคาร์บูเรเตอร์และหัวฉีด



รูปที่ 9 การปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์เปรียบเทียบที่ภาระและความเร็วระหว่างระบบคาร์บูเรเตอร์และหัวฉีด

ควบคุมด้วยสมองกลฝังตัวพบกว่าเครื่องยนต์มีสมรรถนะและอัตราสิ้นเปลืองที่ดีขึ้นมีการปลดปล่อยมลพิษจาการเผาไหม้ลดลงอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามสมรรถนะที่สูงต้องแลกมาด้วยการปลดปล่อยมลพิษที่สูงขึ้นซึ่งการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวที่สามารถระบบควบคุมการเผาไหม้แบบป้อนกลับได้จะช่วยให้เครื่องยนต์สามารถรักษาสมรรถนะและการปลดปล่อยมลพิษได้เครื่องยนต์เดียวกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ภายใต้โครงการวิจัยพัฒนาระบบควบคุมเครื่องยนต์ก๊าซธรรมชาติในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ (E54901)

6. เอกสารอ้างอิง

[1] "ข้อมูลพลังงาน" สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน [ออนไลน์] [อ้างเมื่อ 6 กุมพาพันธ์ 2550] http://www.eppo.go.th/info/2petroleum_stat.htm

[2] Siriporn Sailasuta "Thailand Energy Roadmap" Department of Alternative Energy Development & Efficiency, MINISTRY OF ENERGY, 2005

[3] "การพัฒนาและส่งเสริมเชื้อเพลิงชีวภาพ", สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, [อ้างเมือ 20 มิถุนายน 2550]