

ผลกระทบของส่วนประกอบก๊าซธรรมชาติที่แปรผันจากแหล่งทางตะวันออกและแหล่งทางเหนือที่ส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของเครื่องยนต์

The Effect of Natural Gas Compositions Variation from East and North Sources on Engine Characteristics

กิตติ เอี่ยมเปรมจิต¹ เกียรติธนา จีระจาง¹ สมชาย จันทร์ชานนา² สำเร็จ จักรใจ² ยศพงษ์ ลออ่อนวล^{1,2*}

¹ วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

² ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

โทร 02-470-9273 โทรสาร 02-470-9111 *อีเมลล์ yossapong.lao@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้ในรถยนต์โดยเป็นก๊าซที่มาจากหลายแหล่ง เช่น ก๊าซธรรมชาติจากแหล่งทางตะวันออกจากอ่าวไทย และแหล่งทางเหนือจากแหล่งน้ำมันและก๊าซลานกะปือในจังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งทั้งสองแหล่งมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของก๊าซธรรมชาติจากทั้งสองแหล่งที่มีผลกระทบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เมื่อถูกดัดแปลงมาใช้ก๊าซธรรมชาติโดยเมื่อระบบการควบคุมปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงเป็นทั้งแบบเปิดและปิด ผลการทดลองพบว่า การใช้ก๊าซธรรมชาติที่แปรผันจากทั้งสองแหล่งมีผลกระทบต่อเครื่องยนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเครื่องยนต์ไม่สามารถปรับการจ่ายเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกับคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติที่เปลี่ยนไป (ระบบเปิด) ถ้าเครื่องยนต์ที่มีการปรับการจ่ายเชื้อเพลิงสำหรับแหล่งตะวันออกแต่ใช้ก๊าซธรรมชาติจากแหล่งเหนือ หรือถ้าเครื่องยนต์ที่มีการปรับการจ่ายเชื้อเพลิงสำหรับแหล่งเหนือแต่ใช้ก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออกจากการทดลองพบว่ากรณีทั้งสองทำให้เครื่องยนต์ทำงานที่ส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงไม่เป็นไปตามทฤษฎีนำไปสู่การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ภายในเครื่องยนต์ เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลงรวมถึงมลพิษที่เพิ่มสูงขึ้น

Abstract

Nowaday, Thai natural gas for vehicle (NGV) comes from different sources including the east source from the gulf of Thailand and the north source from Lankrabu oil and gas field in Kamphaeng Phet province. Both gas sources have different compositions. The study is to investigate the influence of natural gas compositions variations on the combustion engine characteristics when the engine is retrofitted to use the natural

gas with both open and closed loop fuel control system. It is found that the gas composition variation from both sources has the effect on the engine characteristics especially when the fuel injection of engine cannot be adjusted according to the gas quality (i.e. open system). In the cases that the fuel injection of engine is tuned-up for the east source but using the natural gas from the north source or the fuel injection of engine is tuned-up for the north source but using the natural gas from the east source, the experimental result of both cases found that the engine operate with non-stoichiometric air/fuel ratio. It leads to an incomplete combustion in the engine which causes lower engine efficiency and higher amount of exhaust gas emission.

1. คำนำ

ในปัจจุบันพลังงานทางเลือกในรูปแบบของก๊าซธรรมชาติสามารถนำมาประยุกต์ดัดแปลงในยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงจุดระเบิดแบบประกายไฟ โดยการติดตั้งอุปกรณ์เสริมในการควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงเข้าสู่เครื่องยนต์ ซึ่งถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้รับคามนิยมอย่างแพร่หลาย โดยในปัจจุบัน ข้อมูลของ ปตท. ณ วันที่ 25 สิงหาคม 2551 ประเทศไทยมีรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติทั้งหมด 94,332 คัน มีสถานีให้บริการจำนวน 225 สถานี [1] อย่างไรก็ตามก๊าซธรรมชาติจากแหล่งต่างๆ นั้นมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน ยศพงษ์และคณะ [2-4] ได้วิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย ดังในตารางที่ 1 พบว่าส่วนประกอบของก๊าซที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน เช่น ก๊าซธรรมชาติจากแหล่งทางตะวันออกจะมีค่าเฉลี่ยของก๊าซมีเทน (CH_4) อยู่ที่ 76% ก๊าซอีเทน (C_2H_6) อยู่ที่ 5.7% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อยู่ที่ 13% สำหรับก๊าซธรรมชาติจากแหล่งทางเหนือ จะมีค่าเฉลี่ยของก๊าซมีเทน (CH_4) อยู่ที่ 85% ก๊าซ

อีเทน (C₂H₆) อยู่ที่ 11.3% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) อยู่ที่ 1% หากนำก๊าซธรรมชาติมาเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ อัตราส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี (Stoichiometric Air/Fuel Ratio) ของก๊าซธรรมชาติจากแหล่งทางตะวันออกมีค่า 11.6-12.0 และก๊าซธรรมชาติจากแหล่งทางเหนือมีค่า 15.8 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิงมีค่าแตกต่างกันมาก ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ ถ้าระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงไม่มีระบบควบคุมแบบปิด (Closed loop control) เพื่อจะควบคุมให้เครื่องยนต์ทำงานที่อัตราส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิงตามจริง ต่ออัตราส่วนผสมของอากาศต่อเชื้อเพลิงตามทฤษฎี หรือ แลมด้า λ มีค่าเท่ากับ 1 นอกจากนี้ในการวิเคราะห์คุณภาพก๊าซจะมีคุณสมบัติอีก 2 ตัว ได้แก่ ค่ามีเทน (Methane Number, MN) และดัชนีว็อบบี (Wobbe Index, WI) ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงที่ยอมรับกันของผู้ผลิตเครื่องยนต์และผู้ผลิตก๊าซธรรมชาติ

สำหรับดัชนีว็อบบีเป็นค่าที่คำนวณมาจากอัตราส่วนของค่าความร้อน (H) ต่อรากที่สองของความถ่วงจำเพาะ (s) โดยนิยามความถ่วงจำเพาะว่า คืออัตราส่วนของความหนาแน่นของก๊าซ (ρ_{gas}) ต่อความหนาแน่นของอากาศ (ρ_{air}) ดังสมการ (1)

$$WI = \frac{H}{\sqrt{\rho_{gas}/\rho_{air}}} = \frac{H}{\sqrt{s}} \quad (1)$$

สำหรับค่ามีเทน เป็นค่าความต้านทานการน็อกของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทก๊าซ โดยค่ามีเทนที่ 100 คือเชื้อเพลิงมีความต้านทานการน็อกของเครื่องยนต์มากที่สุด และค่ามีเทนที่ 0 คือเชื้อเพลิงมีความต้านทานการน็อกของเครื่องยนต์น้อยที่สุด

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของ NGV ในประเทศไทย [1]

ส่วนประกอบ	แหล่งตะวันออก	แหล่งเหนือ
CH ₄	74.1 – 77.5 %	84.7 – 85.4 %
C ₂ H ₆	5.4 – 6.0 %	11.2 – 11.4 %
C ₃	1.5 – 2.4 %	1.34 – 1.81 %
C ₄	0.59 – 0.9 %	0.24 – 0.48 %
C ₅	0.1 – 0.15 %	0.07 – 0.14 %
C ₆ +	0.02 – 0.04 %	0.03 – 0.065 %
N ₂	2.0 – 2.2 %	0.5 – 0.6 %
CO ₂	12.7 – 14.4 %	1 %
กำมะถัน	< 16 ppm	-
ดัชนีว็อบบี	41.9 – 44.0 MJ/m ³	52.9 – 53.1 MJ/m ³
เลขมีเทน	75 - 82	75 -78
A/F Ratio	11.6 – 12.0	15.8

อย่างไรก็ดี ปัญหาของความแปรผันของก๊าซธรรมชาติยังเกิดขึ้นในบางประเทศ เช่น ประเทศบราซิล ซึ่งGuilherme และคณะ [5] ได้ประเมินผลกระทบขององค์ประกอบก๊าซธรรมชาติที่คาดว่าจะมีต่อเครื่องยนต์ พบว่าองค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติที่แตกต่างกัน ทำให้ค่าแลมด้าและค่ามีเทน (Methane Number) มีค่าแตกต่างกัน ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์อย่างมีนัยสำคัญ และยังพบว่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของดัชนีว็อบบี (Wobbe Index) มี

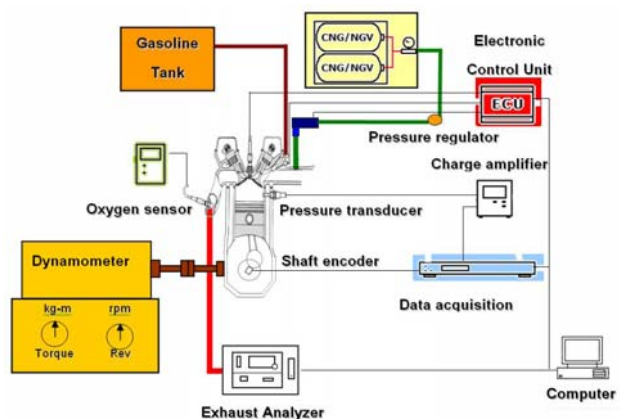
ความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าแลมด้าของไอดีที่จ่ายเป็นเชื้อเพลิงแก่เครื่องยนต์ ดังนั้นการนำรายละการเปลี่ยนแปลงค่าแลมด้าของไอดีที่จ่ายเป็นเชื้อเพลิงแก่เครื่องยนต์สามารถคำนวณได้จากร้อยละความแตกต่างดัชนีว็อบบีของก๊าซธรรมชาติจากแต่ละแหล่ง

การศึกษาความแปรผันของก๊าซธรรมชาติที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์ยังมีการศึกษาอยู่น้อย งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากความแตกต่างขององค์ประกอบก๊าซธรรมชาติในประเทศไทย ที่มีต่อสมรรถนะและมลพิษของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเปรียบเทียบกับก๊าซธรรมชาติจากสองแหล่ง คือ ก๊าซธรรมชาติจากอ่าวไทยที่มีสถานีจ่ายก๊าซอยู่ในบริเวณภาคกลางของประเทศไทย และก๊าซธรรมชาติจากแหล่งน้ำมันสิริกิติ์ในจังหวัดกำแพงเพชร ที่มีสถานีจ่ายก๊าซอยู่ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ทดลอง ดังในรูปที่ 1 และ 2 ใช้เครื่องยนต์ โดยตัว 4AFE ซึ่งเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 สูบแบบแถวเรียง (Inline) ขนาดความจุกระบอกสูบรวม 1,587 ซีซี อัตราส่วนการอัด 9.5:1 นำมาดัดแปลงให้ทำงานเพียงสูบเดียว เส้นผ่าศูนย์กลางกระบอกสูบ 81.03 มม. ระยะชัก 76.92 มม. ขนาดความจุกระบอกสูบ 396.75 ซีซี ควบคุมอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงและจังหวะจุดระเบิดด้วยอีซียู Haltech รุ่น E6X ซึ่งเป็นอีซียูที่สามารถควบคุมอัตราการจ่ายเชื้อเพลิง และจังหวะการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ทดสอบได้ การวัดค่าแลมด้าจะใช้ออกซิเจนเซนเซอร์ INNOVATE รุ่น LM-1 ซึ่งเป็นออกซิเจนเซนเซอร์แบบ Wide band อุปกรณ์วัดแรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์ NSDK Nishishiba รุ่น NEDD-130H ขนาด 15 กิโลวัตต์ เป็นไดนาโมมิเตอร์แบบกระแสหมุนวน (Eddy current) สามารถทำงานได้ที่ความเร็วรอบ 0 – 10,000 รอบต่อนาที อุปกรณ์วิเคราะห์ไอเสีย MRU รุ่น SWG 200⁻¹ สามารถวัดอุณหภูมิไอเสีย และวิเคราะห์องค์ประกอบของ O₂, CO₂, CO, NO, NO_x, NO₂, SO₂, และ HC ในไอเสียที่ออกมาจากเครื่องยนต์



รูปที่ 1 อุปกรณ์ทดสอบของเครื่องยนต์

อุปกรณ์วิเคราะห์ความดันภายในกระบอกสูบ ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความดันในกระบอกสูบ (Pressure Transducer) KISTLER

รุ่น 6061B ขนาด M5 X 0.5 สามารถวัดความดันภายในกระบอกสูบ ในช่วง 0 – 200 บาร์ อุปกรณ์ขยายสัญญาณไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์วัดความดันในกระบอกสูบ (Charge Amplifier) KISTLER รุ่น 5011 มีช่วงการวัด 10 – 999,000 พิกิวลอมป์ ความถี่ใช้งาน 1 – 200,000 เฮิรตซ์ อุปกรณ์ตรวจตำแหน่งของเพลาคือเหวี่ยง (Shaft Encoder) AVL รุ่น 364C ทำงานได้ที่ความเร็วรอบสูงสุด 15,000 รอบต่อนาที Light Pulse Converter AVL รุ่น 3064Z05 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (High Speed Data Acquisition) AVL รุ่น 619 Indimeter ซึ่งเป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่ทำงานร่วมกับโปรแกรม Indiwin เพื่อประมวลผลสัญญาณ



รูปที่ 2 เครื่องยนต์ทดสอบ Toyota 4AFE ขนาด 1,587 ซีซี ซึ่งได้ถูกดัดแปลงให้ทำงานเพียงสูบเดียว

2.2 วิธีการทดลอง

เชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ทดสอบจะมี 3 ชนิด คือ เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน ค่าออกเทน 91 แก๊สธรรมชาติแหล่งทางตะวันออกจากอ่าวไทย และแก๊สธรรมชาติแหล่งเหนือจากแหล่งน้ำมันสิริกิติ์ ทำการเดินเครื่องยนต์ที่ภาระสูงสุด (Full Load) โดยเปิดลิ้นปีกผีเสื้อมากที่สุด (WOT) ทำการทดสอบสมรรถนะและวัดมลพิษไอเสีย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 – 3,500 รอบต่อนาที โดยเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์ครั้งละ 500 รอบต่อนาที ทำการทดลองในเครื่องยนต์ 4 สูบ ซึ่งถูกดัดแปลงให้ทำงานเพียงสูบเดียวดังที่กล่าวข้างต้น เพื่อจะศึกษาผลกระทบของแก๊สธรรมชาติดังกล่าวโดยเฉพาะ โดยวิธีการทดลองจะทำการปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงสองกรณี กรณีแรกจะปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงให้ได้ค่าแลมดาค่าเท่ากับ 1 ($\lambda=1$) ตามคุณสมบัติของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งทางตะวันออก จากนั้นทดสอบเครื่องยนต์ด้วยแก๊สธรรมชาติจากแหล่งทางตะวันออกและแหล่งทางเหนือ และกรณีที่สองจะปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงของแก๊สธรรมชาติให้ได้ค่าแลมดาค่าเท่ากับ 1 ($\lambda=1$) ตามคุณสมบัติจากแหล่งทางเหนือ จากนั้นทดสอบเครื่องยนต์เหมือนกรณีแรก โดยใช้แก๊สจากแหล่งทางตะวันออกและแหล่งทางเหนือ

ดังนั้นเงื่อนไขการทดสอบจะมีทั้งหมด 4 เงื่อนไข สำหรับสองเงื่อนไขแรกค่า $\lambda=1$ คือ เงื่อนไขที่ 1 เครื่องยนต์ปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงสำหรับแก๊สธรรมชาติแหล่งตะวันออก และใช้แก๊สธรรมชาติ

จากแหล่งตะวันออกเป็นเชื้อเพลิง และเงื่อนไขที่ 2 เครื่องยนต์ปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงสำหรับแก๊สธรรมชาติแหล่งเหนือ และใช้แก๊สธรรมชาติจากแหล่งเหนือเป็นเชื้อเพลิง ทั้งสองกรณีนี้จะทำการควบคุมอัตราส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้ค่า $\lambda=1$ ที่ทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ โดยการปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงที่อ็อกซิเจนส่วนเกินที่ 3 เครื่องยนต์ปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงสำหรับแก๊สธรรมชาติแหล่งตะวันออก แต่ใช้แก๊สธรรมชาติจากแหล่งเหนือเป็นเชื้อเพลิง และเงื่อนไขที่ 4 เครื่องยนต์ปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงสำหรับแก๊สธรรมชาติแหล่งเหนือ แต่ใช้แก๊สธรรมชาติจากแหล่งตะวันออกเป็นเชื้อเพลิง จะไม่มีการปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงให้แก่เครื่องยนต์ ดังนั้น กรณีสองเงื่อนไขหลังเครื่องยนต์จะทำงานที่ผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงโดยมีค่า $\lambda \neq 1$ หรือเครื่องยนต์มีระบบควบคุมเชื้อเพลิงแบบเปิด (Opened loop control)

การวัดสมรรถนะของเครื่องยนต์ทดสอบที่ใช้แก๊สโซลีน และแก๊สธรรมชาติดังกล่าวเป็นเชื้อเพลิง จะทำการวัดค่าแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์ทดสอบ เพื่อคำนวณกำลังเบรคที่ได้จากเครื่องยนต์ทดสอบ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ทดสอบ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ การวัดแรงบิดและกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ทดสอบกระทำโดยเดินเครื่องยนต์ทดสอบและทำการเพิ่มภาระ (Load) แก่เครื่องยนต์ทดสอบโดยการเพิ่มกระแสหมุนวน (Eddy current) ของไดนาโมมิเตอร์ การทดสอบจะได้แรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ ในขณะที่เดียวกันจะทำการวัดปริมาณอัตราการใช้เชื้อเพลิงโดยวิธีการหาปริมาณของแก๊สที่หายไปจากถัง ดังรายละเอียดใน [6]

โดยมีการวิเคราะห์ความดันภายในกระบอกสูบตามเงื่อนไขการทดสอบข้างต้น ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลของความดันภายในกระบอกสูบทุกๆ 1 องศาการหมุนของเพลาคือเหวี่ยง จำนวน 100 วัฏจักร และนำข้อมูลดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์ความดันภายในกระบอกสูบตามเงื่อนไขทดสอบต่อไป

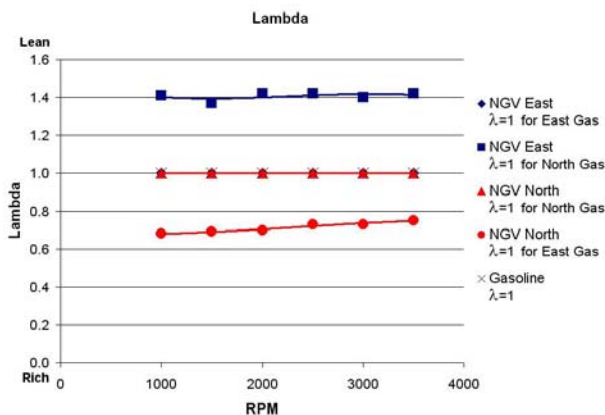
การวิเคราะห์มลพิษจากไอเสียตามเงื่อนไขทดสอบแต่ละครั้ง จะทำการวัดโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ไอเสีย บันทึกข้อมูลองค์ประกอบของไอเสียจำนวน 30 ข้อมูล มีระยะห่างของการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 2 วินาที นำข้อมูลดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยของมลพิษจากไอเสีย

วิธีการเดินเครื่องยนต์ด้วยแก๊สธรรมชาติ จะทำการติดเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนก่อนและทำการเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ประมาณ 2,000 รอบต่อนาที จึงทำการสลับมาจ่ายแก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงให้แก่เครื่องยนต์แทน

ผลการทดลองจะทำการเปรียบเทียบค่าแรงบิดที่ได้จากเครื่องยนต์ทดสอบ กำลังของเครื่องยนต์ อัตราการใช้เชื้อเพลิง แรงดันแก๊สภายในกระบอกสูบ และมลพิษจากแก๊สไอเสียที่ทุกเงื่อนไขการทดสอบ

รูปที่ 3 แสดงค่าแลมดาค่าของไอดี ตามเงื่อนไขที่กล่าวข้างต้น ซึ่งจะมีทั้งหมด 4 เงื่อนไข โดยเงื่อนไขที่ 1 และเงื่อนไขที่ 2 จะมีค่า $\lambda=1$ เงื่อนไขที่ 3 กรณีที่เครื่องยนต์ปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงสำหรับแก๊สธรรมชาติแหล่งตะวันออก แต่ใช้แก๊สธรรมชาติจากแหล่งเหนือเป็นเชื้อเพลิง จะมีค่า $\lambda=0.7$ และเงื่อนไขที่ 4 เครื่องยนต์ปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงสำหรับแก๊สธรรมชาติแหล่งเหนือ แต่ใช้แก๊สธรรมชาติจากแหล่งตะวันออกเป็นเชื้อเพลิง จะมีค่า $\lambda=1.4$ ส่วนกรณีเชื้อเพลิงแก๊สโซ

ลีน จะควบคุมอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงแก่เครื่องยนต์ที่ $\lambda=1$ จะเห็นว่า ความแตกต่างขององค์ประกอบก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออกและ แหล่งเหนือ ทำให้อัตราส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงมีความ แตกต่างกันค่อนข้างมาก

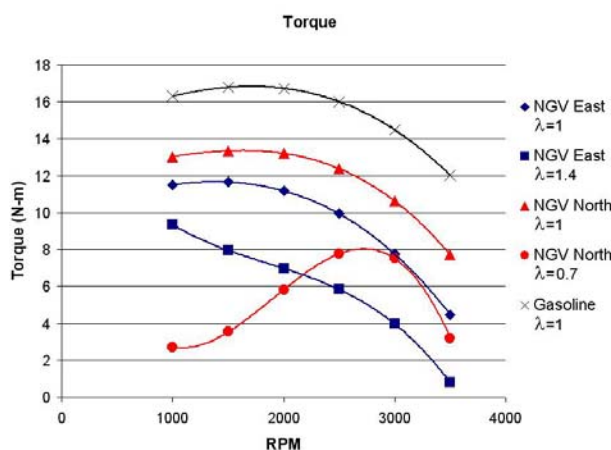


รูปที่ 3 ค่าแลมดาของเชื้อเพลิงตามเงื่อนไขทดสอบ

3. ผลการทดลอง

การทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบสมรรถนะและมลพิษจากไอเสีย จากการใช้ก๊าซธรรมชาติทั้งสองแหล่งเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ และ เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน

รูปที่ 4 เปรียบเทียบแรงบิดของเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน ด้วยแก๊สโซลีนจะให้แรงบิดสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติ ทุกความเร็วรอบ แรงบิดสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 2,000 รอบต่อนาที จาก ผลการทดลองพบว่า เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติจากแหล่ง เหนือและจากแหล่งตะวันออก $\lambda=1$ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 รอบต่อนาที จะได้แรงบิดน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนเป็นเชื้อเพลิง 24% และ 33% ตามลำดับ



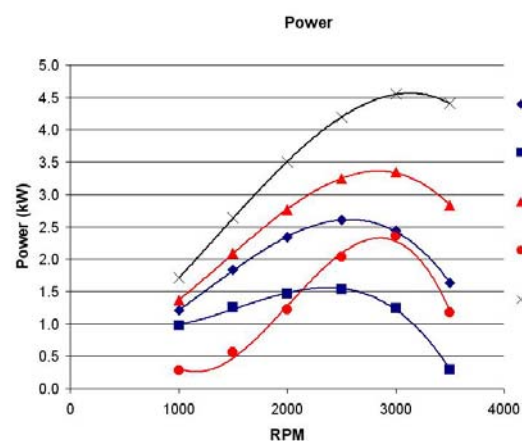
รูปที่ 4 แรงบิดของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อลีนปีกผีเสื้อ เปิดสุด (WOT) เปรียบเทียบ เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน และ เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติที่ส่วนผสมไอดีต่างๆ

เมื่อก๊าซธรรมชาติมีส่วนผสมหนา เช่นในกรณีเครื่องยนต์ที่ทำงาน ด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งเหนือ $\lambda=0.7$ แรงบิดที่ได้จะต่ำกว่ากรณี

เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งเหนือ $\lambda=1$ และจะตกลง อย่างมากที่ความเร็วรอบต่ำ เนื่องจากส่วนผสมหนาจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ แรงบิดสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 2,500 รอบต่อนาที เมื่อ เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติที่มีส่วนผสมบาง เช่นในกรณี เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก $\lambda=1.4$ แรงบิดที่ ได้จะต่ำกว่ากรณีเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก $\lambda=1.0$ เป็นอย่างมากที่ทุกความเร็วรอบ และแรงบิดจะลดลงเมื่อ ความเร็วรอบสูงขึ้น

รูปที่ 5 เปรียบเทียบกำลังของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วย เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนจะให้กำลังสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซ ธรรมชาติที่ทุกความเร็วรอบ กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์อยู่ที่ประมาณ 3,000 รอบต่อนาที ยกเว้นกรณีเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติ แหล่งตะวันออก $\lambda=1.4$ จะมีกำลังสูงสุดที่ 2,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติจากแหล่งเหนือ $\lambda=1$ และ เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก $\lambda=1$ ที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที จะได้กำลังน้อยกว่าแก๊สโซ ลีน 25% และ 44% ตามลำดับ โดยสรุปเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซ ธรรมชาติแหล่งเหนือจะให้แรงบิดและกำลังของเครื่องยนต์สูงกว่า เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก เนื่องจากมีค่า ความร้อนรวมทั้งค่าดัชนีวอบบีที่ต่ำกว่า

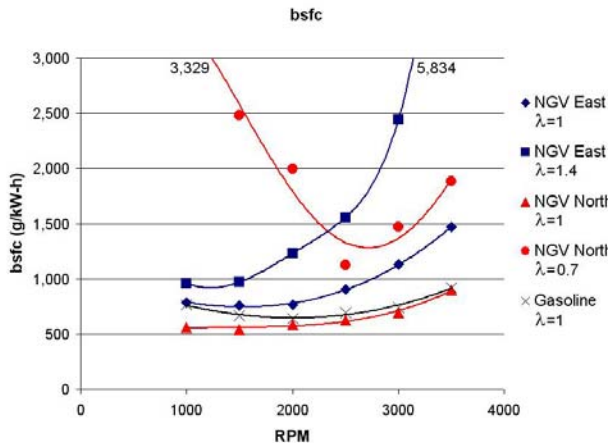
เมื่อก๊าซธรรมชาติมีส่วนผสมหนา เช่นในกรณีเครื่องยนต์ที่ทำงาน ด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งเหนือ $\lambda=0.7$ กำลังที่ได้จะต่ำกว่ากรณี เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งเหนือ $\lambda=1$ และจะตกลง อย่างมากที่ความเร็วรอบต่ำ เนื่องจากส่วนผสมหนาจะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อก๊าซธรรมชาติมีส่วนผสมบาง เช่นในกรณี เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก $\lambda=1.4$ กำลังที่ ได้จะต่ำกว่ากรณีเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก $\lambda=1$ เป็นอย่างมากที่ทุกความเร็วรอบ เนื่องจากส่วนผสมบางมีมวล เชื้อเพลิงน้อย ทำให้พลังงานความร้อนที่ได้น้อยตามไปด้วย



รูปที่ 5 กำลังของเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบต่างๆ

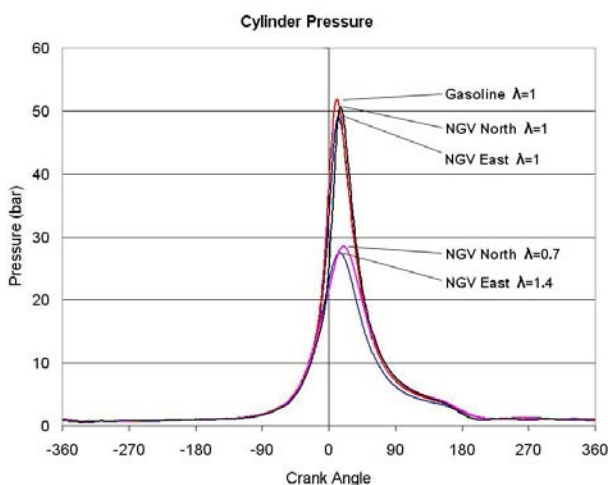
รูปที่ 6 เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ที่ ทำงานด้วยเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน ก๊าซธรรมชาติจากแหล่งเหนือและจาก แหล่งตะวันออก $\lambda=1$ พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าไม่ แตกต่างกันมากนัก และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น

เมื่อก๊าซธรรมชาติมีส่วนผสมหนา เช่นในกรณีเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งเหนือ $\lambda=0.7$ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำกว่า 2,500 รอบต่อนาที จะมีค่าสูงมาก ส่วนที่ความเร็วรอบสูงกว่า 2,500 รอบต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะมีค่าสูงกว่ากรณี $\lambda=1$ เล็กน้อย เมื่อก๊าซธรรมชาติมีส่วนผสมบาง เช่นในกรณีเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก $\lambda=1.4$ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำกว่า 2,500 รอบต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะมีค่าสูงกว่ากรณี $\lambda=1$ เล็กน้อย ที่ความเร็วรอบสูงกว่า 2,500 รอบต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจะมีค่าสูงมาก



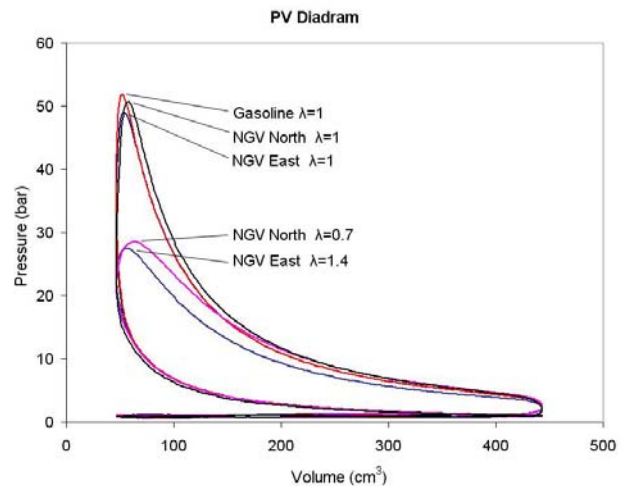
รูปที่ 6 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ที่ความเร็วรอบต่างๆ

รูปที่ 7 เปรียบเทียบความดันภายในกระบอกสูบ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที และมีการจ่ายเชื้อเพลิง $\lambda=1$ พบว่าเมื่อเครื่องยนต์ใช้แก๊สโซลีน หรือ ก๊าซธรรมชาติจากแหล่งเหนือและแหล่งตะวันออก จะมีความดันภายในกระบอกสูบสูงสุดที่ประมาณ 50 บาร์ สำหรับเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติ ที่มีส่วนผสมบางหรือหนาเกินไป เช่น ในกรณีเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก $\lambda=1.4$ และเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งเหนือ $\lambda=0.7$ จะมีความดันภายในกระบอกสูบลดต่ำประมาณ 40% โดยความดันสูงสุดมีค่าลดลงต่ำกว่าประมาณ 30 บาร์



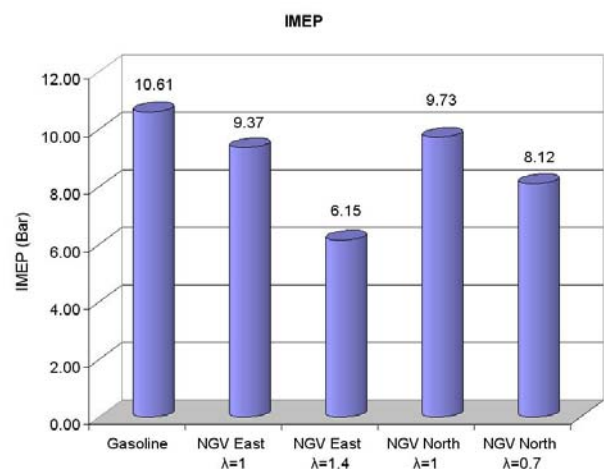
รูปที่ 7 ความดันภายในกระบอกสูบ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที

รูปที่ 8 แผนภูมิความดัน-ปริมาตร ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลจำนวน 100 วัฏจักร ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการคำนวณงานสุทธิของเครื่องยนต์ จากขนาดพื้นที่ที่ถูกล้อมด้วยเส้นกราฟของแต่ละเงื่อนไขทดลอง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที และมีการจ่ายเชื้อเพลิง $\lambda=1$ พบว่าเมื่อเครื่องยนต์ใช้แก๊สโซลีน หรือ ก๊าซธรรมชาติจากแหล่งเหนือและแหล่งตะวันออก จะได้งานจากเครื่องยนต์ในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมากนัก



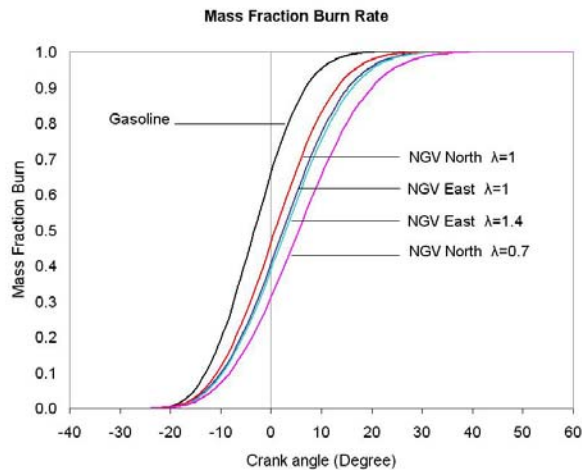
รูปที่ 8 แผนภูมิความดัน-ปริมาตร ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที

โดยงานที่คำนวณได้จากแผนภูมิความดัน-ปริมาตร สามารถนำมาหาค่าความดันเฉลี่ยประสิทธิผล (Integrated Mean Effective Pressure, IMEP) ของเครื่องยนต์ โดยการนำค่าของงานสุทธิที่ได้จากเครื่องยนต์ส่วนด้วยปริมาตรของกระบอกสูบ ดังแสดงในรูปที่ 9 เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก $\lambda=1.4$ และเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติจากแหล่งเหนือ $\lambda=0.7$ จะมีความดันเฉลี่ยประสิทธิผลต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ทำงานที่ $\lambda=1$ โดยที่เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก $\lambda=1.4$ ซึ่งเป็นส่วนผสมไอดีบางจะมีความดันเฉลี่ยประสิทธิผลต่ำที่สุด



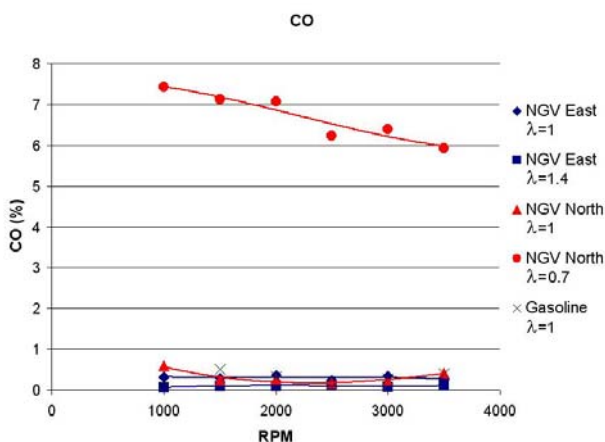
รูปที่ 9 ความดันเฉลี่ยประสิทธิผล ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที

เมื่อมีการเปรียบเทียบสัดส่วนการเผาไหม้ (Mass fraction burn) ที่เวลาของการเริ่มจุดระเบิดเดียวกัน ดังในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่า คุณสมบัติของแก๊สเชื้อเพลิงจะมียัตราการเผาไหม้เร็วกว่าแก๊สธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแก๊สธรรมชาติจะพบว่าแก๊สธรรมชาติแหล่งเหนือ $\lambda=1$ จะมีอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเร็วที่สุด และเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยแก๊สธรรมชาติแหล่งเหนือ $\lambda=0.7$ จะมีอัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงช้าที่สุด



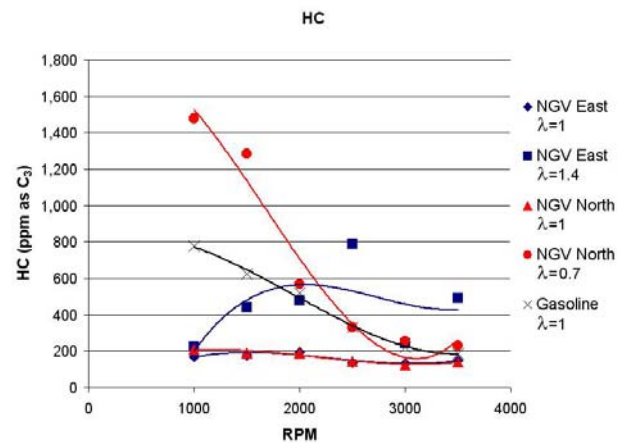
รูปที่ 10 สัดส่วนการเผาไหม้ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที

รูปที่ 11 เปรียบเทียบคาร์บอนมอนอกไซด์จากไอเสีย เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ และเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยแก๊สธรรมชาติ จะมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียในปริมาณที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ยกเว้นเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยแก๊สธรรมชาติแหล่งเหนือ $\lambda=0.7$ ซึ่งเป็นส่วนผสมไอดีหนา จะมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสียในปริมาณสูงมาก เนื่องจากส่วนผสมไอดีหนามีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ ทำให้ไม่สามารถเผาไหม้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 ได้ทั้งหมด จึงเกิดการเผาไหม้เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ CO บางส่วน



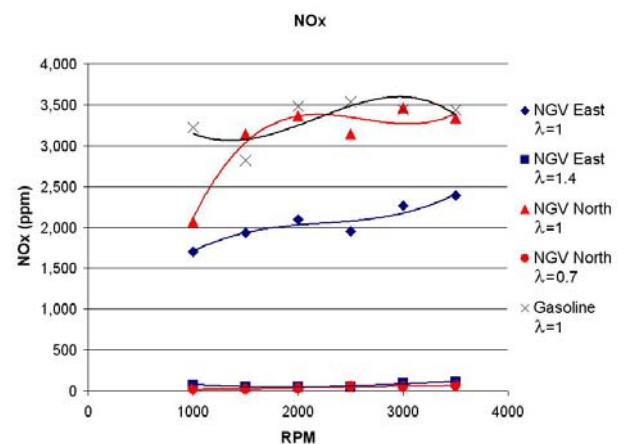
รูปที่ 11 ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ในไอเสีย ที่ความเร็วรอบต่างๆ

รูปที่ 12 เปรียบเทียบปริมาณไฮโดรคาร์บอน เมื่อเครื่องยนต์ทำงานด้วยเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ $\lambda=1$ และเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยแก๊สธรรมชาติที่ $\lambda=1$ จะเกิดไฮโดรคาร์บอนในไอเสียน้อยกว่ากรณีส่วนผสมบางและหนา กรณีส่วนผสมไอดีบางจะทำให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสียสูงเมื่อรอบเครื่องยนต์สูง เนื่องจากส่วนผสมบางจะทำให้ไอดีติดไฟได้ยาก ทำให้ไอดีไม่เกิดการเผาไหม้ในบางวัฏจักร (Misfire) และถูกปล่อยออกมาพร้อมไอเสีย ทำให้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนในไอเสียมีค่าสูง กรณีส่วนผสมไอดีหนา จะมีปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสียสูงเมื่อรอบเครื่องยนต์ต่ำ เนื่องจากส่วนผสมไอดีหนามีปริมาณอากาศไม่เพียงพอในการเผาไหม้ ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ไฮโดรคาร์บอนในไอเสียมีค่าสูง



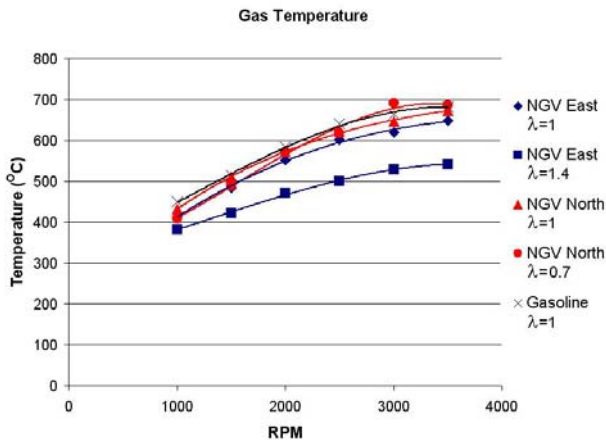
รูปที่ 12 ปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย ที่ความเร็วรอบต่างๆ

รูปที่ 13 เปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสีย เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ $\lambda=1$ และเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยแก๊สจากแหล่งเหนือ $\lambda=1$ จะมีปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียสูง เนื่องจากมีค่าความร้อนและค่าดัชนีรอบบีสูง ส่งผลให้อุณหภูมิและความดันในการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยแก๊สจากแหล่งตะวันออก $\lambda=1$ ส่วนเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยแก๊สจากแหล่งตะวันออก $\lambda=1.4$ และเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยแก๊สธรรมชาติแหล่งเหนือ $\lambda=0.7$ จะมีปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสียต่ำสุด เนื่องจากความดันสูงสุดภายในกระบอกสูบมีค่าต่ำมาก



รูปที่ 13 ไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสีย ที่ความเร็วรอบต่างๆ

รูปที่ 14 เปรียบเทียบอุณหภูมิไอเสีย เมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์สูงขึ้น อุณหภูมิไอเสียจะสูงขึ้นตามไปด้วย กรณีเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติแหล่งตะวันออก $\lambda=1.4$ จะมีอุณหภูมิไอเสียต่ำสุด สอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนออกไซด์ที่ต่ำกว่าอีกด้วย



รูปที่ 14 อุณหภูมิไอเสียที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อสิ้นปีกผีเสื้อเปิดสุด (WOT) เปรียบเทียบเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนและเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติที่ส่วนผสมไอดีต่างๆ

4. สรุปผลการทดลอง

เครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติที่ปรับอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ $\lambda=1$ จะมีกำลังและประสิทธิภาพต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ทำงานด้วยแก๊สโซลีนเล็กน้อย ส่วนเครื่องยนต์ที่มีการจ่ายเชื้อเพลิงเป็นระบบเปิด (Opened loop control) เมื่อทำงานด้วยก๊าซธรรมชาติที่มีส่วนผสมหนาหรือบางเกินไป เช่น ก๊าซธรรมชาติจากแหล่งทางเหนือแต่ใช้กับเครื่องยนต์ที่ปรับอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับก๊าซธรรมชาติจากแหล่งตะวันออก จะได้ส่วนผสมไอดีหนา ($\lambda=0.7$) และก๊าซธรรมชาติจากแหล่งทางตะวันออกแต่ใช้กับเครื่องยนต์ที่ปรับอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับก๊าซธรรมชาติจากแหล่งเหนือ จะได้ส่วนผสมไอดีบาง ($\lambda=1.4$) ทั้งสองกรณีจะเกิดขึ้นเมื่อยานพาหนะต้องใช้ก๊าซธรรมชาติจากทั้งแหล่งตะวันออกหรือแหล่งเหนือเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งถ้าเครื่องยนต์ไม่สามารถปรับการจ่ายเชื้อเพลิงตามคุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติที่เปลี่ยนไป โดยสามารถปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับก๊าซธรรมชาติแหล่งใดอันหนึ่ง จะทำให้เครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลงเป็นอย่างมาก รวมถึงปริมาณมลพิษ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ที่จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังนั้นเครื่องยนต์ที่ถูกดัดแปลงมาใช้ก๊าซธรรมชาติอาจจำเป็นต้องมีระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถปรับตั้งอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงอัตโนมัติตามองค์ประกอบหรือคุณภาพของก๊าซธรรมชาติที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยตัววัดออกซิเจนในไอเสียเพื่อคำนวณค่าแลมดาและทำการส่งสัญญาณกลับไปให้ระบบควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์

ในการปรับอัตราการจ่ายเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ $\lambda=1$ หรือใกล้เคียง ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. ปตท., 2551, สถิติ NGV ในประเทศไทย, เว็บไซต์ ปตท. http://pttweb2.pttplc.com/webngv/nw_sc.aspx, วันที่สืบค้น 25 สิงหาคม 2551
2. ยศพงษ์ ลอนวล, สำเร็จ จักรใจ, สมชาย จันทรชานา และ นวรงค์ ชลคุป, การวิเคราะห์ส่วนประกอบที่แปรผันของก๊าซธรรมชาติสำหรับรถยนต์ที่ใช้ในประเทศไทย, ในการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, โรงแรมไบเทคสกาย กรุงเทพฯ, 23 – 25 พฤษภาคม 2550
3. Laonual, Y., Chollacoop, N., Jugjai, S., Chanchaona, S., and Topaiboul, S., "A Theoretical Gas Quality Analysis of Natural Gas for Vehicles (NGV) in Thailand" In The 2nd Biennial Conference and Exhibition of the Asia-Pacific Natural Gas Vehicles Association (ANGVA), Bangkok, Thailand, 27 – 29 November 2007.
4. Laonual, Y., Chollacoop, N., Jugjai, S., Chanchaona, S., and Topaiboul, S., "Effect of Natural Gas Quality Variation in Thailand on the Engine Performance and Emission" In 11th IANGV Conference & Exhibition, Rio de Janeiro, Brazil, 3-5 June 2008.
5. Guilherme, B., Tadeu Cavalcante, C., de Melo Daniel Fonseca de, C. and Leandro, B., LNG Compositions – Evaluation of Impact on Brazilian CNG Vehicle Fleet, 11th IANGV Conference & Exhibition, Rio de Janeiro, Brazil, 3-5 June 2008.
6. ยศพงษ์ ลอนวล, รักษิต วิถีพัฒนพงศ์, กิตติ เอี่ยมเปรมจิต, เกียรติธนา จีระจา และ สมชาย จันทรชานา, วิธีการอย่างง่ายในการวัดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติอัดสำหรับการทดสอบเครื่องยนต์ ในการประชุมวิชาการเครือข่ายเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต