

Effects of the Presence of Inert Gases with Natural Gas on SI Engine Performance

คณิต วัฒนวิเชียร¹ วิสุทธิ์ กวยรักษา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

โทร 0-2218-6607 โทรสาร 0-2252-2889 E-mail: wkanit@chula.ac.th¹

Kanit Wattanavichien¹ Wisut Kuayraksa

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,

Bangkok, 10330, THAILAND

Phone: +66-2218-6607, Fax: +66-2252-2889, E-mail: wkanit@chula.ac.th¹

บทคัดย่อ

รัฐบาลไทยได้เร่งสนับสนุนให้มีการนำแก๊สธรรมชาติมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนให้กับยานยนต์เพื่อแก้ปัญหามลพิษทางอากาศและทดแทนการนำเข้าเชื้อเพลิง เนื่องจากการใช้แก๊สธรรมชาติในประเทศไทยมาจาก 2 แหล่ง คือ แหล่งอ่าวไทยซึ่งองค์ประกอบหลักคือ มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 72 และ 15 โดยปริมาตรตามลำดับ และแหล่งพม่าซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ มีเทนและไนโตรเจนร้อยละ 72 และ 18 โดยปริมาตรตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนองค์ประกอบของมีเทนและแก๊สเฉื่อยที่แตกต่างกันดังกล่าวมีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ SI ดังนั้นในการศึกษานี้จึงแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบความเร็วแปรผันไปกับขีดจำกัดการติดไฟที่ส่วนผสมบาง และการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์สองสูบ Daihatsu AB 547cc เมื่อนำน้ำมันแก๊สโซลีนและแก๊สผสมที่มีองค์ประกอบของมีเทนและแก๊สเฉื่อยต่างกันดังกล่าวมาเป็นเชื้อเพลิงทดสอบ จากผลการทดสอบความเร็วแปรผันพบว่าความเร็วแปรผันไฟแลมินาร์และขีดจำกัดการติดไฟที่ส่วนผสมบางของแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยมีค่าสูงกว่าของแก๊สจากแหล่งพม่าเนื่องจากสัดส่วนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนของแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยสูงกว่าของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า ส่วนผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติ พบว่าสมรรถนะของการใช้แก๊สธรรมชาติจากทั้งสองแหล่งตกลงอย่างมากเมื่อเทียบกับน้ำมันแก๊สโซลีนเนื่องจากค่าความร้อนที่ต่ำกว่าของแก๊สธรรมชาติ นอกจากนี้ค่าแรงบิดเบรกสูงสุดที่ได้จากเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติอ่าวไทยมีค่าสูงกว่า แต่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่าสูงกว่าของแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทย อาจเกิดจากค่าความจุความร้อนของ CO₂ มีผลต่อความดันและอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เป็นผลให้งานที่ได้มีค่าลดลง นอกจากนี้ที่ตำแหน่งลิ้นผีเสื้อเปิดสุด องศาจตุระเบ็ด MBT ของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่าล่วงหน้ากว่าของแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทย เนื่องจากมีความเร็วแปรผันไฟที่ต่ำกว่าของแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทย

ABSTRACT

The Thai government realized that utilizing natural gas (NG) as an alternative fuel in the transport sector assists Thailand in improving air quality and saving foreign currencies. Available NG for Thai transportation shall come from different sources, the gulf of Thailand and gulf of Mataban of Myanmar, that their compositions contain different elements and amount of inert gases. The Thai's NG compositions has mainly methane 72% and carbondioxide 15% by volume while the Myanmar's NG has mainly methane 72% and nitrogen 18% by volume. This presence of different diluents with methane brings about significant changes in combustion process in engines, fuel metering characteristics and knock resistance of the fuel that are known to affect engine performance and emissions. This study aims to determine the effects of methane and inert gases on engine performance. The flame propagation test unit has been employed to measure the flammability limit and laminar flame speed of both gases at equivalence ratio from lean misfire limit to rich mixture ($\phi \sim 1.14$), ambient pressure and room temperature. Then, engine steady state constant speed testings were carried out with an unmodified two cylinders SI engine. A carburetion system was used to supply NG to the engine. At selected points, the effects of different Thai's NG on engine performance at MBT timing were investigated and compared. The results show that NG with high CO₂ from gulf of Thailand has faster laminar flame speed and leaner flammability than the NG with high N₂ from gulf of Mataban of Myanmar. At WOT operation, the NG with high CO₂ provides higher engine brake power output, richer fuel mixture but lower engine brake thermal efficiency than the NG with high N₂. However, these differences can not clearly be observed during the engine part load operation.

1. บทนำ

แก๊สธรรมชาติ หรือ Natural Gas (NG) เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอนที่เกิดจากการทับถมของซากพืชและสัตว์ซึ่งแปรสภาพเป็นแก๊สและน้ำมัน เนื่องจากความร้อนและความกดดันของผิวโลกที่สะสมในชั้นดิน องค์ประกอบของแก๊สธรรมชาติโดยทั่วไปประกอบด้วยมีเทนตั้งแต่ร้อยละ 70 ขึ้นไป นอกจากนั้นเป็นสารไฮโดรคาร์บอนหนัก (Heavier hydrocarbon) เช่น อีเทน (C_2H_6) และ โพรเพน (C_3H_8) และแก๊สเฉื่อย อาทิ คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO_2) และไนโตรเจน (Nitrogen, N_2) เป็นต้น ทั้งนี้ องค์ประกอบของแก๊สที่ส่งมาตามระบบท่อมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของแก๊สที่มาจากแหล่งกำเนิดและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของแก๊สในระหว่างการจัดส่งในระบบท่อ [4,5]

จากปัญหาคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่ปรับตัวสูงขึ้นเรื่อย ๆ และปัญหามลพิษทางอากาศที่มีสาเหตุหลักจากไอเสียจากยานยนต์ ทำให้ในปัจจุบันทั้งภาครัฐและภาคเอกชนในประเทศไทยได้เร่งสนับสนุนให้มีการนำแก๊สธรรมชาติมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนให้กับยานยนต์ [1] ซึ่งปกติจะมีการดัดแปลงมาจากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟเพื่อใช้กับเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยเพราะนอกจากจะผลิตได้ในประเทศจึงมีราคาที่ถูกลงกว่าน้ำมันที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ การควบคุมการปรับตัวของราคาทำได้ง่าย และลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศแล้ว ยังมีข้อได้เปรียบอีก คือ การผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) เกิดได้ง่าย การจ่ายเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์หลายสูบจึงสม่ำเสมอ (uniform distribution) และมลพิษจากไอเสียมีแนวโน้มน้อยกว่าแก๊โซลีน [2] และมีความต้านทานการน็อก (Knock resistance) ค่อนข้างสูง [3] สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดที่สูงกว่าเครื่องยนต์แก๊โซลีนได้ ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์แก๊สธรรมชาติสูงกว่าเครื่องยนต์แก๊โซลีนอีกด้วย

สำหรับบริเวณภาคกลางของประเทศไทยได้มีการนำแก๊สธรรมชาติมาใช้จาก 2 แหล่ง คือ แหล่งอ่าวไทยและแหล่งพม่า ซึ่งพบว่ามีองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน กล่าวคือ แหล่งอ่าวไทยมี CH_4 และ CO_2 ปริมาณโดยเฉลี่ย 72% และ 15% ตามลำดับ เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนแก๊สจากแหล่งพม่ามี CH_4 และ N_2 ปริมาณโดยเฉลี่ย 72% และ 18% ตามลำดับ เป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้ได้คุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นโครงการที่จะนำแก๊สธรรมชาติจากทั้งสองแหล่งมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานยนต์ ซึ่งในการนำมาใช้กับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในชนิดจุดระเบิดด้วยประกายไฟนั้น สัดส่วนองค์ประกอบของมีเทนและแก๊สเฉื่อยจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญในแก๊สธรรมชาติที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ อาทิ ประสิทธิภาพ กำลังที่ได้และการบริโภคเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption, sfc) ตลอดจนลักษณะและความจำเป็นในการดัดแปลงเครื่องยนต์ การทดสอบและวิเคราะห์ผลเพื่อหาผลของสัดส่วนองค์ประกอบต่าง ๆ ของแก๊สมีเทนกับแก๊สเฉื่อยต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องยนต์ดังที่กล่าวมาในข้างต้น จึงเป็นฐานข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญต่อการประยุกต์ใช้แก๊สธรรมชาติในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน

บทความนี้จะนำเสนอผลการศึกษาผลขององค์ประกอบระหว่าง CH_4 และแก๊สเฉื่อย ในแก๊สผสมต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ SI ได้แก่ แรงบิด ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และการตั้งไฟจุดระเบิด (Spark timing)

2. คุณสมบัติทางกายภาพของแก๊สธรรมชาติ

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแก๊สธรรมชาติเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอื่นแสดงในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่าแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยซึ่งมีปริมาณของอีเทนและโพรเพนสูงจึงทำให้ค่าความหนาแน่นและค่า Heating value ของแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยสูงกว่าของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีขององค์ประกอบในแก๊สธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ [3,4,5]

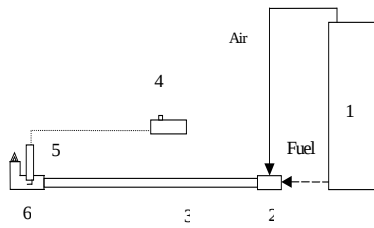
Property	Gasoline	Propane	Methane	Thai gulf NG	Myanmar NG
1.Chemical Formula	$C_nH_{1.87n}$	C_3H_8	CH_4	$C_{1.1}H_{3.6}O_{0.3}N_{0.05}$	$C_{0.88}H_{3.16}O_{0.12}N_{0.36}$
2.Molecular Weight	~110	44.1	16.04	~23	~20.7
3.Specific gravity, 15° C	0.72–0.78	1.52	0.55	~0.78	~0.71
4.Flammability limits, by %volume					
- Lower	1.4	2	5.0	~5	~6
- Higher	7.6	9.5	15.0	~17	~19
5. Heating Value					
- HHV, MJ/kg	47.3	50.4	55.5	~37	~35
- LHV, MJ/kg	44.0	46.4	50	~33	~31
6. Stoichiometric ratio, weight	14.6	15.67	17.2	11.6	10.8
7.Octane number					
- RON	92-98	112	>127	-	-
- MON	80-90	97	122	~128	~114

3. อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

ในการศึกษานี้ได้จัดแบ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.1. อุปกรณ์การทดสอบความเร็วเปลวไฟแลมินาร์

เนื่องจากคุณสมบัติความเร็วเปลวไฟแบบแลมินาร์ (Laminar flame speed) เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการพิจารณาและทำนายสมรรถนะของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ในการศึกษานี้ใช้อุปกรณ์ชุดทดสอบ Flame stability and propagation unit ผลิตภัณฑ์ของ P.A.Hilton รุ่น C551 ในการวัดค่าความเร็วเปลวไฟแบบแลมินาร์ของเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ แสดงการติดตั้งดังรูปที่ 1

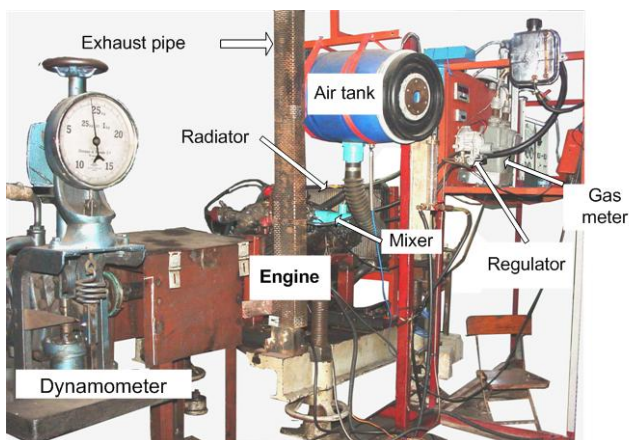


รูปที่ 1 แสดงแผนภาพและอุปกรณ์การทดสอบความเร็วเปลวไฟโดย
1.Flow controller, 2. Mixing unit, 3.Plastic tube 3.05 m,
4.Ignition unit, 5.Igniter, 6.Burner block

3.2 อุปกรณ์การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์กระทำบนแท่นทดสอบในห้องปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 2 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบมีคุณลักษณะดังนี้

เครื่องยนต์	Daihatsu รุ่น AB
ชนิดเครื่องยนต์/ จำนวนสูบ	4 จังหวะ/ 2 สูบแบบเรียง
ปริมาตรกระบอกสูบ	547 cc
ขนาดกระบอกสูบ x ระยะชัก	71.6 x 68 (mm x mm)
อัตราส่วนการอัด	9.2 : 1
ระบบจ่ายเชื้อเพลิง	คาร์บูเรเตอร์
ระบบจุดระเบิด	คอยล์จุดระเบิดกับจานจ่ายแบบกลไก



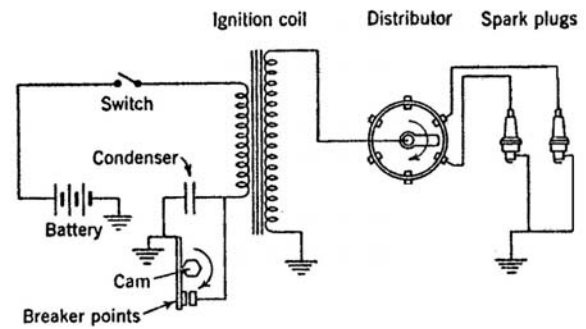
รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบ

ไดนาโมมิเตอร์ที่ใช้วัดแรงบิดจากเครื่องยนต์เป็น Fluid friction dynamometer ชนิด Absorption ของ Redman Heenan Froude LTD. รุ่น Dynamometer size DPX2 มีระยะแขนสมดุล 0.3525 m และ Resolution 0.1 kg

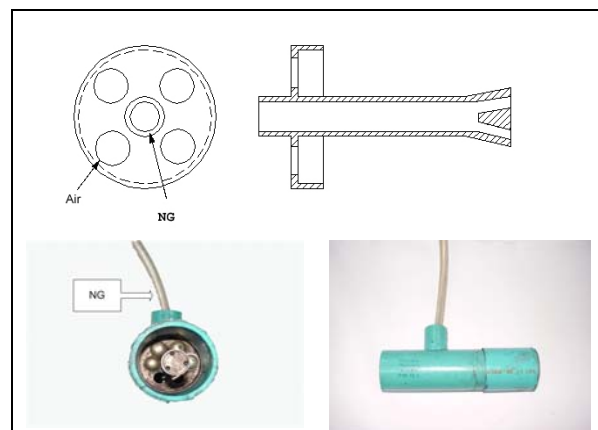
เครื่องยนต์แก๊สลิ้นซึ่งได้ถูกดัดแปลงมาใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง นั้นมีอุปกรณ์เพิ่มเติม ได้แก่ ถังแก๊สธรรมชาติอัด อุปกรณ์ปรับลดความดันแก๊ส (Pressure regulator) ยี่ห้อ OYRSA GNC รุ่น IN 2000 ชนิด Three-stage มีความดันใช้งานสูงสุด (Highest feed pressure) 200 Bar อัตราการไหลสูงสุด $40 \text{ m}^3/\text{h}$ มีวาล์วนิรภัยหรือโซลินอยด์วาล์วติดตั้งอยู่ระหว่าง 2nd และ 3rd Stage ของ Regulator ทำหน้าที่ปิด-เปิดการไหลแก๊สธรรมชาติเข้าสู่เครื่องยนต์เมื่อเครื่องยนต์ทำงานและมี

Pressure relief valve ติดตั้งอยู่ที่ 1st stage ของการปรับความดันระบบจุดระเบิดที่ใช้เป็นชนิดการจุดระเบิดด้วยคอยล์ที่ใช้ชุดทองขาว (Coil ignition system) และหัวเทียน (Spark plugs) ควบคุมการทำงานด้วยจานจ่าย (Distributor) ดังแสดงในรูปที่ 3

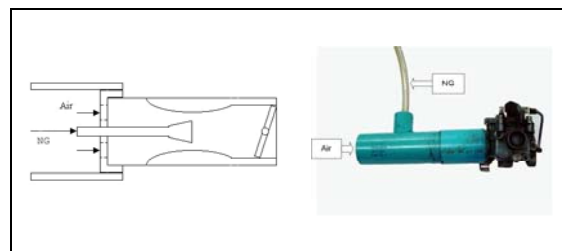
การทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ได้ดัดแปลงมาใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงกระทำโดยใช้มิกเซอร์ (Mixer) ซึ่งสวมครอบกับคาร์บูเรเตอร์น้ำมัน โดยอาศัยความกดอากาศ ที่เกิดในคอขวดของคาร์บูเรเตอร์เป็นตัวกำหนดอัตราการไหลของแก๊ส mixer ที่ใช้มี Venturi area ขนาด 28.86 mm^2 Air passage area 226.2 mm^2 และ Butterfly valve area 706.8 mm^2 ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ระบบจุดระเบิดด้วยคอยล์ที่ใช้กับเครื่องยนต์



(ก)



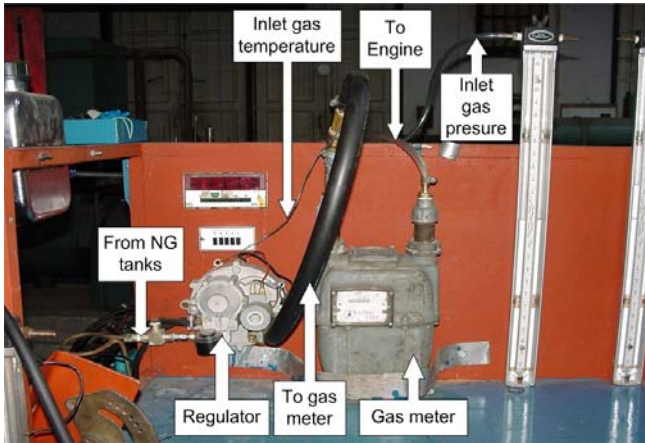
(ข)

รูปที่ 4 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ metering เชื้อเพลิงแก๊สผสม (ก) มิกเซอร์ที่ใช้ในการศึกษา (ข) ลักษณะการติดตั้งมิกเซอร์เข้ากับคาร์บูเรเตอร์แก๊สลิ้น

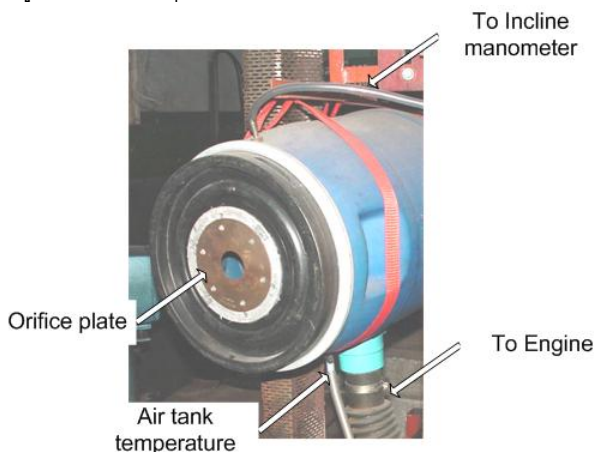
การบริโภคเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติวัดจากปริมาตรการไหลของแก๊สธรรมชาติด้วยมาตรชนิดไบโอมอนผลิตภัณฑ์ของ Rockwell มีปริมาตรการไหลผ่านของแก๊ส 1 ลูกบาศก์ฟุตต่อรอบ Full scale/rev

เท่ากับ 10 ช่อง Resolution 0.1 ลูกบาศก์ฟุตต่อช่อง ชุดอุปกรณ์แสดงในรูปที่ 5

การวัดปริมาณอากาศที่เครื่องยนต์นำไปใช้ในการเผาไหม้ ในการทดลองนี้ได้ใช้ Orifice plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.79 เซนติเมตร ติดตั้งบนถังพักอากาศ มีค่า Drag coefficient (C_D) เท่ากับ 0.6 ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 5 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้วัดการบริโภคเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ



รูปที่ 6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

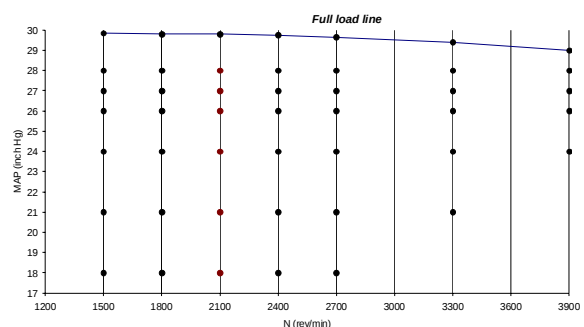
ในการวัดค่าอุณหภูมิต่างๆ ใช้เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) Type K (Chromel-Alumel) ร่วมกับ ตัวอ่านค่าและ Temperature selector ยี่ห้อ RKC รุ่น DP-2 มีช่วงการวัด 0-800 °C Resolution 0.1 °C ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการบันทึกอุณหภูมิภายในถังพักอากาศก่อนไหลเข้าสู่เครื่องยนต์ เพื่อใช้คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ อุณหภูมิเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่อุปกรณ์วัดปริมาตรการไหลเพื่อใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลของเชื้อเพลิง อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นซึ่งติดตั้งผ่านก้านวัดน้ำมันหล่อลื่น โดยให้ปลายเทอร์โมคัปเปิลสัมผัสกับน้ำมันหล่อลื่นในอ่างน้ำมันหล่อลื่นตลอดการทดสอบ อุณหภูมิไอเสียหลังท่อร่วมไอเสีย โดยปลายเทอร์โมคัปเปิลอยู่ข้างในตำแหน่งกึ่งกลางท่อ อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นทั้งทางเข้าและออกของแผงหม้อน้ำ ได้ใช้แมนอมิเตอร์ (manometer) แบบ U-tube ที่มีน้ำเป็นของไหลทำงานยี่ห้อ Meriam มีช่วงการวัด 0-36 นิ้ว Resolution 0.1 นิ้ว ในการวัดความดันสัมบูรณ์ที่ตำแหน่งท่อร่วมไอดี เพื่อกำหนดจุดทำงานตามเมทริกซ์ทดสอบ ความดันเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่อุปกรณ์วัดปริมาตรการไหล เพื่อใช้

ในการคำนวณอัตราการไหลของเชื้อเพลิง และความดันภายในท่อร่วมไอเสีย และใช้แมนอมิเตอร์แบบ Incline ซึ่งใช้ Red gage oil มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.826 เป็นของไหลทำงาน ยี่ห้อ Dwyer รุ่น 424 มีช่วงการวัด 240 mm H₂O Resolution 0.2 mm H₂O ในการวัดความดันส่วนต่างๆ ที่ออร์ฟิซเพื่อนำมาคำนวณอัตราการไหลของอากาศ

3.3 วิธีการทดสอบ

การศึกษานี้เริ่มจากการทดสอบความเร็วเปลวไฟแลมมินาร์ของแก๊สผสมที่มีองค์ประกอบของมีเทนและแก๊สเฉื่อย ซึ่งในการศึกษานี้คือ แก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยและจากแหล่งพม่า โดยการปล่อยแก๊สธรรมชาติที่มีความดันสูงจากถังผ่านอุปกรณ์ปรับลดความดันเข้า Flow controller ของชุดทดสอบความเร็วเปลวไฟแบบแลมมินาร์พร้อมเปิดวาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศและทำการปรับอัตราส่วนผสมเพื่อให้ได้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ต้องการ รอจนอัตราส่วนผสมในระบบมีสภาวะคงตัวแล้ว จึงทำการปิดวาล์วต่างๆ พร้อมกับกดปุ่มจุดระเบิดที่ Ignition unit ทันที ทำให้เกิดเปลวไฟวิ่งจาก Igniter ย้อนกลับพร้อมทำการจับเวลาที่เปลวไฟใช้ในการเดินทางในท่อเป็นระยะทาง 3.05 เมตร เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเร็วเปลวไฟแบบแลมมินาร์ของเชื้อเพลิงแก๊สผสมต่อไป การทดลองเริ่มจากการทดสอบขีดจำกัดการติดไฟซึ่งกระทำไปพร้อมกับการทดสอบความเร็วเปลวไฟ โดยทำการปรับอัตราส่วนผสมอากาศต่อเชื้อเพลิงค่าต่างๆ ตั้งแต่ส่วนผสมบาง ($\phi < 1$) ที่สุดเท่าที่ได้จากชุดเครื่องมือจะสามารถจุดติดไฟได้จนถึงส่วนผสมหนา ($\phi > 1$) โดยกำหนดให้ค่าสูงสุดที่ทำการทดสอบคือ $\phi \sim 1.1$

ส่วนการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์บนแท่นทดสอบเริ่มจากหาสมรรถนะเบื้องต้นของ เครื่องยนต์ เมื่อใช้แก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยและแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า โดยการทดสอบกระทำที่สภาวะคงตัวที่ความเร็วรอบคงที่ตามจุดเมทริกซ์ทดสอบระหว่างความดันท่อร่วมไอดี (Manifold Absolute Pressure, MAP) กับความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่กำหนดดังแสดงในรูปที่ 7 โดยที่แต่ละจุดทดสอบจะปรับองศาการจุดระเบิดให้ได้ค่า MBT Spark timing ด้วยการหมุนจานจ่าย ในระหว่างการทดสอบจะทำการบันทึกตัวแปรการทำงานที่เกี่ยวข้อง อาทิ แรงบิด อัตราการไหลของเชื้อเพลิง อุณหภูมิอากาศที่ถังพักอากาศ ความดันบรรยากาศ ความดันตกคร่อมของการไหลอากาศผ่าน orifice plate ความดันกับอุณหภูมิไอเสีย อุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิน้ำมันเครื่ององศาการจุดระเบิด และอุณหภูมิกับความดันของแก๊สธรรมชาติก่อนเข้า



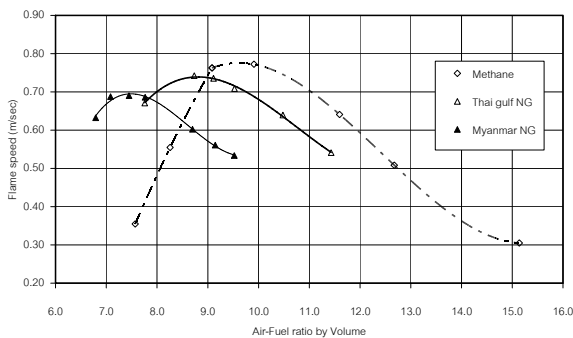
รูปที่ 7 แสดงเมทริกซ์ทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สผสมที่มีองค์ประกอบของมีเทนและแก๊สเฉื่อยต่างๆ

สู่อุปกรณ์วัดการบริโภคของเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ ในการประเมินผล ได้พิจารณาปรับแก้ไขค่าที่วัดได้ให้เป็นค่า ณ สภาวะมาตรฐานตามข้อกำหนดของมาตรฐานออสเตรเลีย AS 2789:1:1985 [6] และนำผลมาแสดงในรูปของแผนภูมิสมรรถนะ

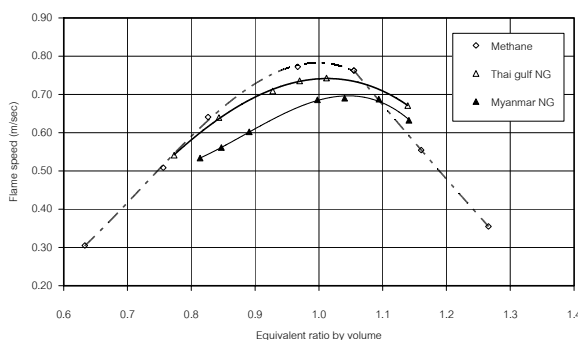
4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบความเร็วเปลวไฟแลมินาร์

ความเร็วเปลวไฟแบบแลมินาร์ (Laminar flame speed, S_L) และขีดจำกัดการติดไฟ (Flammability limit) เมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สผสมที่มีองค์ประกอบของมีเทนและแก๊สเฉื่อย คือ แก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทย (Thai gulf NG) และแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า (Myanmar NG) ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ พบว่า ที่ ϕ เดียวกันความเร็วเปลวไฟของมีเทน มีค่าสูงสุด ตามด้วยความเร็วเปลวไฟของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยและแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่าตามลำดับ ความเร็วเปลวไฟสูงสุดของมีเทน แก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทย และแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า มีค่า 0.78, 0.74 และ 0.69 m/sec ตามลำดับ ที่ส่วนผสมหนาเล็กน้อย ($\phi > 1$) ยกเว้นมีเทน (ที่ $\phi \sim 1$) โดยแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่าต้องใช้ส่วนผสมที่มีค่า ϕ สูงสุด ตามด้วยแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยและมีเทนตามลำดับ



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงโดยปริมาตรกับความเร็วเปลวไฟของมีเทน แก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยและแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสมมูลโดยปริมาตรกับความเร็วเปลวไฟของมีเทนแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยและแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า

โดยความแตกต่างของความเร็วเปลวไฟแบบแลมินาร์ (ΔS_L) สูงสุดของแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยและแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า

เทียบกับมีเทน มีค่าเท่ากับ -5.1 และ -11.88% ตามลำดับ หากเปรียบเทียบ ΔS_L สูงสุดของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่าเทียบกับแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยมีค่าเท่ากับ -7.13% โดย ΔS_L ของเชื้อเพลิงแก๊สผสมที่มีองค์ประกอบของมีเทนและแก๊สเฉื่อย ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ และ $\text{CH}_4 + \text{N}_2$) เทียบกับมีเทน ที่แต่ละอัตราส่วนสมมูล ส่วนผลการทดสอบขีดจำกัดการติดไฟในการศึกษาได้ทดสอบเฉพาะขีดจำกัดการติดไฟที่ส่วนผสมบาง (Lean flammability limit) เท่านั้น พบว่า ขีดจำกัดการติดไฟที่ส่วนผสมบางของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทย ($\phi = 0.77$) มีค่าบางกว่าของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า ($\phi = 0.81$)

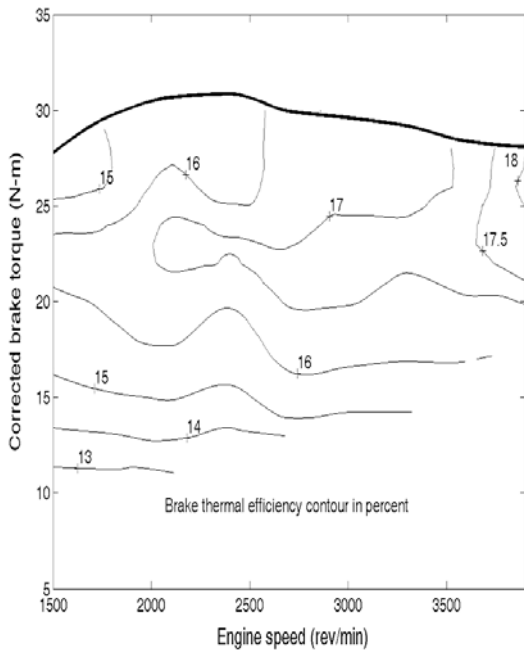
นอกจากนี้ที่ส่วนผสม $0.8 \leq \phi \leq 1$ ความเร็วเปลวไฟแบบแลมินาร์ (ΔS_L) ของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่าเมื่อเทียบกับมีเทน มีค่าน้อยกว่าอยู่ประมาณ 11 ถึง 16% และความเร็วเปลวไฟของแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยเมื่อเทียบกับมีเทน มีค่าน้อยกว่าอยู่ประมาณ 1 ถึง 5% เมื่อส่วนผสมหนา ความแตกต่างระหว่างค่าความเร็วเปลวไฟแบบแลมินาร์ของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่ากับแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยมีแนวโน้มลดลง จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า ความเร็วเปลวไฟและขีดจำกัดการติดไฟที่ส่วนผสมบางของเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยมีค่าสูงกว่าและบางกว่าของเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่าตามลำดับ เนื่องจากมีสัดส่วนองค์ประกอบสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทย (ประมาณ 82% โดยปริมาตร) สูงกว่าของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า (ประมาณ 76% โดยปริมาตร) นอกจากนี้แก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทย ยังมีองค์ประกอบของสารไฮโดรคาร์บอน C_2H_6 และ C_3H_8 มากกว่าแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่าอีกด้วย ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุช่วยในการเพิ่มความเร็วเปลวไฟและขยายขีดจำกัดการติดไฟที่ส่วนผสมบาง

4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

ในการทดสอบเครื่องยนต์การบริโภคเชื้อเพลิงจะถูกวัดเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง ($\dot{m}_f$) ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการใช้งานและให้สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบได้โดยทั่วไปแล้วจะคำนวณในรูปของการบริโภคเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake specific fuel consumption, bsfc) คืออัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังเบรก (P) ที่ให้ออกมา

$$\text{bsfc} = \frac{\dot{m}_f}{P}$$

ค่า bsfc ที่ต่ำบ่งชี้ถึงการนำพลังงานไปใช้ได้ดี และเพื่อความสะดวกในการใช้งานยังได้มีการกำหนดค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในรูปของค่าที่ไม่มีหน่วยขึ้น คืออัตราส่วนระหว่างงานที่ได้ต่อวัฏจักรกับพลังงานของเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปต่อวัฏจักร โดยพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถปล่อยออกมาจากการเผาไหม้จะคำนวณได้จากมวลของเชื้อเพลิงที่ส่งเข้าไปในเครื่องยนต์ต่อวัฏจักรคูณด้วยค่าความร้อนของเชื้อเพลิง อัตราส่วนนี้เรียกว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th})



รูปที่ 10 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่องศาจุดระเบิด MBT โดยแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในฟังก์ชันของแรงบิดและความเร็วรอบเครื่องยนต์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สผสมที่มีมีเทนและ CO₂ เป็นองค์ประกอบ

$$\eta_{th} = \frac{W_c}{m_f Q_{Hv}} = \frac{P}{\dot{m}_f Q_{Hv}}$$

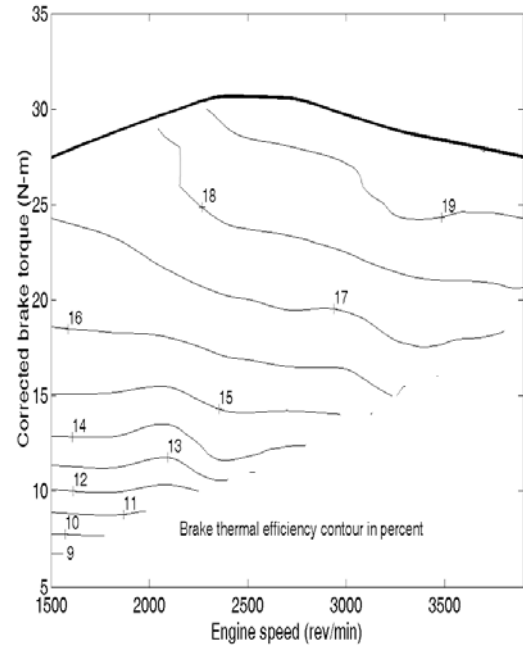
โดย m_f เป็นมวลของเชื้อเพลิงที่ถูกนำเข้าสู่ตัวจักรและ Q_{Hv} เป็นค่าความร้อนของเชื้อเพลิง สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคเชื้อเพลิงจำเพาะกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนดังนี้

$$\eta_{th} = \frac{1}{bsfc Q_{Hv}}$$

ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Daihatsu AB 547 cc โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทย ตามเมทริกซ์ทดสอบ พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงสุดมีค่า 18.59% ที่ค่าแรงบิดเบรกที่แก๊ซ 28.1 N-m ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3900 rev/min และ MBT spark timing ที่ 22 องศาเฟลาข้อเหวี่ยงก่อนศูนย์ตายบน นอกจากนี้พบค่าแรงบิดเบรกที่แก๊ซสูงสุด 30.8 N-m ที่ความเร็วรอบ 2400 rev/min และ MBT spark timing ที่ 14 องศาเฟลาข้อเหวี่ยงก่อนศูนย์ตายบน ขณะที่ผลการใช้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่าตามเมทริกซ์ทดสอบเดียวกันพบประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงสุดมีค่า 20.21% ที่ค่าแรงบิดเบรกที่แก๊ซ 27.5 N-m ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3900 rev/min และ MBT spark timing ที่ 24 องศาเฟลาข้อเหวี่ยงก่อนศูนย์ตายบน นอกจากนี้พบค่าแรงบิดเบรกที่แก๊ซสูงสุด 30.7 N-m ที่ความเร็วรอบ 2400 rev/min และ MBT spark timing ที่ 18 องศาเฟลาข้อเหวี่ยงก่อนศูนย์ตายบน ผลการทดสอบสามารถแสดงในรูปของแผนภูมิสมรรถนะดังรูป 10 และรูป 11 ตามลำดับ

จากแผนภูมิเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกันสามารถอภิปรายโดยสังเขปได้ดังต่อไปนี้

1 ค่าแรงบิดเบรกที่แก๊ซสูงสุดระหว่างเชื้อเพลิงแก๊สผสมดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าแรงบิดเบรกที่แก๊ซสูงสุดของเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติ



รูปที่ 11 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่องศาจุดระเบิด MBT โดยแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในฟังก์ชันของแรงบิดและความเร็วรอบเครื่องยนต์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สผสมที่มีมีเทนและ N₂ เป็นองค์ประกอบหลัก

ที่มี CO₂ เป็นส่วนผสม (คือ แก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทย) สูงกว่าของเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติที่มี N₂ เป็นส่วนผสม (คือ แก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า) เล็กน้อย ยกเว้นที่ความเร็วรอบ 2700 และ 3000 rev/min

2 เมื่อใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่แรงบิดเบรกที่แก๊ซตั้งแต่ 20 N-m ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยซึ่งมี CO₂ เป็นแก๊สเฉื่อยผสมอยู่มีค่าต่ำกว่าของเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่าซึ่งมี N₂ เป็นแก๊สเฉื่อยผสมอยู่ทุกความเร็วรอบ อาจเกิดจากค่าความจุความร้อนที่สูงของ CO₂ ดูดซับพลังงานในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เกิดได้น้อยกว่า ส่งผลต่อการเพิ่มความดันขณะเผาไหม้ ทำให้ได้พื้นที่ของกราฟระหว่างความดันและปริมาตรของห้องเผาไหม้ลดลง (งานที่ได้น้อยลง) [7] โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบสูง (3300 ถึง 3900 rev/min) พบการลดลงของประสิทธิภาพเชิงความร้อนตั้งแต่ที่ภาระน้อย โดยช่วงที่ความเร็วรอบสูงเชื้อเพลิงแก๊สผสมทั้งสองมีแนวโน้มที่จะให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 3

3 จากผลการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน พบว่า องศาจุดระเบิด MBT ที่ WOT ของน้ำมันแก๊ซโซลีนมีค่าน้อยกว่าของเชื้อเพลิงแก๊สผสมทั้งสอง เนื่องจากความเร็วเปลวไฟของเชื้อเพลิงแก๊สผสมต่ำกว่าของน้ำมันแก๊ซโซลีน ดังแสดงในตารางที่ 4 ส่วนองศาจุดระเบิด MBT ที่ WOT ของเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติที่มี CO₂ เป็นส่วนผสม (แก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทย) มีค่าสูงกว่าของเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติที่มี N₂ เป็นส่วนผสม (แก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า) ที่ความเร็วรอบปานกลางและสูง (ตั้งแต่ 1800 ถึง 3600 rev/min) เนื่องจากความเร็วเปลวไฟของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยมีค่าสูงกว่าของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า

5. บทสรุป

การศึกษานี้บรรลุดำเนินการเสร็จสิ้นที่กำหนดไว้คือ ได้ทราบถึงผลกระทบขององค์ประกอบระหว่างมีเทนและแก๊สเฉื่อย ในแก๊สผสมต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ SI ได้แก่ แรงบิด และประสิทธิภาพเชิงความร้อน และตัวแปรการทำงาน ได้แก่ องศาจุดระเบิด

จากผลการศึกษาคุณลักษณะที่สำคัญในการเผาไหม้ ได้แก่ ความเร็วเปลวไฟแลมินาร์ และขีดจำกัดการติดไฟของเชื้อเพลิงแก๊สผสมที่มีองค์ประกอบของมีเทนและแก๊สเฉื่อย ด้วยชุดทดสอบ Flame stability and propagation unit ผลิตภัณฑ์ของ P.A. Hilton รุ่น C551

พบว่า ความเร็วเปลวไฟและขีดจำกัดการติดไฟที่ส่วนผสมบางของเชื้อเพลิงแก๊สผสมที่มีมีเทนและ CO_2 เป็นองค์ประกอบหลัก (แก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทย) มีค่าสูงกว่าของเชื้อเพลิงแก๊สผสมที่มีมีเทนและ N_2 เป็นองค์ประกอบหลัก (แก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า) เนื่องจากแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยมีปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า

จากผลการศึกษาหาสมรรถนะเครื่องยนต์ Daihatsu AB 547cc เมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สผสมที่มีองค์ประกอบของมีเทนและแก๊สเฉื่อยแตกต่างกันโดยแก้ไขแรงบิดตามมาตรฐาน AS2789.1-1985 พบว่า เชื้อ

ตารางที่ 2 แสดงค่าแรงบิดเบรกที่แก้ไขสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อใช้แก๊สผสมที่มีองค์ประกอบของมีเทนและแก๊สเฉื่อยต่างกัน

Corrected brake torque (N-m)	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600	3900
Thai gulf NG ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$)	27.8	29.7	30.7	30.8	29.9	29.6	29.2	28.4	28.1
Myanmar NG ($\text{CH}_4 + \text{N}_2$)	27.4	28.7	29.8	30.7	30.6	29.7	28.8	28.2	27.5

ตารางที่ 3 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงสุดที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อใช้แก๊สผสมที่มีองค์ประกอบของมีเทนและแก๊สเฉื่อย

Brake thermal efficiency (%)	1500	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600	3900
Thai gulf NG ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$)	15.54	15.41	16.31	16.84	17.41	17.63	17.81	18.07	18.59
Myanmar NG ($\text{CH}_4 + \text{N}_2$)	17.65	16.57	18.55	19.27	19.81	19.82	19.73	19.72	20.21

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบ MBT spark timing ของเครื่องยนต์ที่จุดทำงานบนเมทริกซ์ทดสอบเมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สผสมที่มีมีเทนและแก๊สเฉื่อย

		Thai gulf NG ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$): MBT ($^{\circ}$ BTDC)						Myanmar NG ($\text{CH}_4 + \text{N}_2$): MBT ($^{\circ}$ BTDC)					
N	MAP(inHg)	24	25	26	27	28	WOT	24	25	26	27	28	WOT
	(rev/min)												
	1500	22	18	14	14	14	14	28	28	24	20	20	14
	1800	22	20	16	14	14	14	28	28	22	22	20	16
	2100	24	20	18	14	14	16	28	24	22	20	18	18
	2400	22	18	16	14	14	16	30	24	20	18	18	18
	2700	22	20	18	16	-	16	30	28	24	20	-	18
	3000	22	20	20	18	-	18	-	26	22	20	-	20
	3300	26	24	20	20	-	20	-	28	24	22	-	22
	3600	-	24	20	20	-	20	-	-	26	24	-	22
	3900	-	24	22	22	-	22	-	-	26	24	-	22

เพลิงแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยมีค่าแรงบิดสูงสุดใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า แต่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรคสูงสุดของเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทยมีค่าต่ำกว่าของเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่า อาจเกิดจากค่าความจุความร้อนที่สูงของ CO₂ ในเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติจากแหล่งอ่าวไทย ดูดซับพลังงานในระหว่างการเผาไหม้ มีผลทำให้การเพิ่มขึ้นอุณหภูมิและความดันภายในห้องเผาไหม้เกิดได้น้อยลง ส่งผลต่อพื้นที่ของกราฟระหว่างความดันและปริมาตรของห้องเผาไหม้ลดลง (งานที่ได้ลดลง)

ที่ WOT องศาจุดระเบิด MBT ของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่าจะล่วงหน้ากว่าของแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยประมาณ 2° BTDC ตลอดช่วงความเร็วรอบ 1800 -3600 rev/min เนื่องจากความเร็วเปลวไฟของแก๊สธรรมชาติจากแหล่งพม่ามีค่าน้อยกว่าของแก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก ในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ ทบวงมหาวิทยาลัย ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ปตท จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อก๊าซธรรมชาติและข้อมูลคุณสมบัติของก๊าซที่ใช้ตลอดงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

1. เอกสารเผยแพร่ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์. โครงการก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, กันยายน 2544: 1-9.
2. Sher, E. Handbook of air pollution from internal combustion engines pollutant formation and control. The United States of America: Academic press ltd, 1998.
3. Owen, K. and Coley, T. Automotive fuel reference book. 2nd edition, The United States of America: Society of automotive engineer, 1995.
4. Heywood, J.B. Internal combustion engine fundamental. Singapore: McGraw-Hill, 1988.
5. American Society for Testing and Materials. Standard method of calculating calorific value and specific gravity gaseous fuels. 1980 annual book of ASTM standards/ American Society for Testing and Materials 1980: 187-190.
6. The standards association of Australia. AS2789.1-1985 North Sydney: 1985.
7. Bade Shrestha, S.O. and Karim, G.A. Predicting the effects of the presence of diluents with methane on spark ignition engine performance. Applied Thermal Engineering, Pergamon 2001.