http://journal.rmutp.ac.th/

การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเกษตร

ชัยยง ศิริพรมงคลชัย*

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
217 ถนนนนทบุรี ตำบลสวนใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000

รับบทความ 4 ตุลาคม 2563 แก้ไขบทความ 27 กุมภาพันธ์ 2564 ตอบรับบทความ 5 พฤษภาคม 2564

บทคัดย่อ

จากการวิจัยเรื่อง นวัตกรรมต้นแบบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเกษตร ที่ผู้วิจัยจัดทำไว้เมื่อปี พ.ศ. 2562 พบปัญหาที่เกิดขึ้นขณะใช้งานเครื่องยนต์ คือ เมื่อใช้งานในแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีน พบว่าความร้อนสะสมที่ห้องเผาไหม้เสริมจนมีอุณหภูมิสูงประมาณ 300 องศาเซลเซียส และเมื่อใช้งานในแบบเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าเกิดไอเสียมีควันสีดำมากที่ความเร็วรอบสูงเกินกว่า 1,800 รอบต่อนาที เพื่อต่อยอดงานวิจัยและแก้ปัญหาสองประการข้างต้น งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาห้องเผาไหม้เสริมในด้านการระบายความร้อน 2) พัฒนาอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศให้ปรับขนาดได้ และ 3) เปรียบเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลและแอลพีจี โดยการนำเครื่องยนต์เล็กดีเซล ยี่ห้อ Yanmar รุ่น TF120DI มาดัดแปลงติดตั้งระบบเชื้อเพลิงแอลพีจี ระบบจุดระเบิด ดัดแปลงและพัฒนาอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ สร้างและพัฒนาห้องเผาไหม้เสริมทำหน้าที่ลดอัตราส่วนการอัดลงมาเท่ากับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน สำหรับติดตั้งเข้าแทนที่ในตำแหน่งของหัวฉีดน้ำมันดีเซลเดิม ทำให้สามารถรองรับการใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียวได้ ซึ่งเป็นลักษณะการทำงานในแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีน การกลับไปใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงนั้นสามารถทำได้โดยการถอดห้องเผาไหม้เสริมออกแล้วติดตั้งหัวฉีดน้ำมันดีเซลแทนที่ห้องเผาไหม้เสริม ซึ่งเป็นลักษณะการทำงานในแบบเครื่องยนต์ดีเซล จากการทดลองเปรียบเทียบเครื่องยนต์ดัดแปลงขณะทำงานแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนพบว่าอุณหภูมิของห้องเผาไหม้เสริมและอุณหภูมิของฝาสูบเครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีน Honda GX160 ตรวจวัดที่ความเร็วรอบสูงสุด ได้ 182 และ 186 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และพบว่าในไอเสียมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 0.41 ไฮโดรคาร์บอน 1,315 ส่วนในล้านส่วน เมื่อใช้งานในแบบเครื่องยนต์ดีเซล พบว่ามีค่าควันดำร้อยละ 1.5 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ดีเซลก่อนดัดแปลง จากการทดลองใช้เป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังในการสูบน้ำด้วยท่อพญานาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8 นิ้ว ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,000 รอบต่อนาที พบว่าใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 0.65 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือประมาณ 0.77 ลิตรต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าใช้จ่าย 21.00 บาทต่อชั่วโมง และหากใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงจะใช้แอลพีจีเฉลี่ย 0.57 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าใช้จ่าย 13.71 บาทต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึงร้อยละ 34.71

คำสำคัญ : เครื่องยนต์ดีเซล; เครื่องยนต์แก๊สโซลีน; ห้องเผาไหม้เสริม; อุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ; แอลพีจี

*** ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 9789 3709, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: chaiyong_mp@hotmail.com***

http://journal.rmutp.ac.th/

The Development of Engine Prototype Powered by Diesel and LPG as Fuel for Agriculture

Chaiyong Siripornmongkolchai*

Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
217 Nonthaburi Road, Suan Yai Sub-district, Mueang District, Nonthaburi Province 11000

Received 4 October 2020; Revised 27 February 2021; Accepted 5 May 2021

Abstract

According to the research entitled "the innovative engine prototype powered by diesel and LPG as fuel for agricultural" in 2019, the problems found while using the engine were as follows: the accumulated heat in the auxiliary combustion chamber reached 300 °C in case of gasoline engine use and a lot of black smoke in the exhaust was found at the speed higher than 1,800 rpm in case of a diesel engine use. In order to extend the research and solve two foresaid problems, the objectives of this study were 1) to develop an auxiliary combustion chamber for cooling, 2) to develop a scalable gas-air mixing device, and 3) to compare diesel and LPG consumption rates, by modifying a small diesel engine, Yanmar version TF120DI to install LPG fuel systems and ignition system. In addition, a gas-air mixing device was modified while an auxiliary combustion chamber was developed to reduce the compression ratio to the same level as the gasoline engine for replacing the position of the original diesel fuel injector. This method could support LPG fueling only whose function was characterized by the function of a gasoline engine. The auxiliary combustion chamber could be removed and then installed a diesel injector to return using diesel fuel. From an experiment to compare the modified engine operating as a gasoline engine, it was found that the temperature of the auxiliary combustion chamber and the temperature of the engine cylinder head of Honda GX160 were measured at the maximum speed of 182 °C and 186 °C respectively. It was found that carbon monoxide content was 0.41 % and 1,315 ppm hydrocarbons. When used as a diesel engine, it was found that the black smoke was exhausted at 1.5 %, which was similar to the diesel engine before the modification. From the experiment of using the power engine for pumping water with an Irrigation propeller pump with the diameter of 8 inch at a constant engine speed of 1,000 rpm, it was found that the average diesel usage was 0.65 kg/hr or about 0.77 L/hr with the cost of 21.00 Baht/hr, and if using LPG as fuel, the average LPG consumption was 0.57 kg/hr with the cost of 13.71 Baht/hr, which could save up to 34.71 % of costs.

Keywords : Diesel Engine; Gasoline Engine; Auxiliary Combustion Chamber; Gas-air Mixing Device; LPG

** Corresponding Author. Tel.: +668 9789 3709, E-mail Address: chaiyong_mp@hotmail.com*

1. บทนำ

ปัจจุบันภาคเกษตรกรรมของไทยมีบทบาทและความสำคัญต่อเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก โดยการประกอบอาชีพเกษตรกรรมของเกษตรกรไทยมีวิวัฒนาการที่เปลี่ยนไปจากเดิม อันเนื่องจากการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยทุ่นแรงและเพิ่มความสามารถในการดำเนินการ การนำเครื่องยนต์เล็กดีเซลเพื่อการเกษตรมาใช้ในงานเกษตรกรรมจึงพบเห็นได้ทั่วไป ทั้งนี้กรณีที่น้ำมันดีเซลมีราคาสูงขึ้น เกษตรกรต้องการลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงจึงมักดัดแปลงชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์เล็กดีเซลเพื่อการเกษตรให้รองรับการใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว ซึ่งแอลพีจีเป็นที่นิยมใช้ทดแทนเชื้อเพลิงเหลวประเภทน้ำมันเบนซิน เนื่องจากในเชิงพาณิชย์มีราคาต่ำกว่าน้ำมันเบนซินและค่าความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซิน [1] ทั้งนี้เครื่องยนต์ที่ดัดแปลงแล้วไม่สามารถกลับไปใช้น้ำมันดีเซลได้อีกต่อไป [2] ประกอบกับผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์ดัดแปลงใช้แอลพีจี พบว่ากลุ่มเกษตรกรมีข้อเสนอแนะว่าควรพัฒนาให้เครื่องยนต์สามารถใช้เชื้อเพลิงได้

หลากหลายชนิดในเครื่องยนต์เดียว [3] จึงกล่าวได้ว่ากลุ่มเกษตรกรยังคงมีความต้องการเครื่องยนต์ประเภทนี้

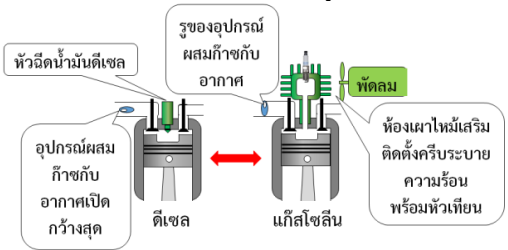
ในปี พ.ศ. 2562 ผู้วิจัยได้ทำวิจัยเรื่อง นวัตกรรมต้นแบบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเกษตร โดยดัดแปลงเครื่องยนต์เล็กเพื่อการเกษตรให้สามารถรองรับการใช้เชื้อเพลิงได้ทั้งน้ำมันดีเซลและแอลพีจีในลักษณะการใช้เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดที่แยกเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งทำให้เครื่องยนต์เครื่องเดียวกันนี้สามารถใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวเป็นเชื้อเพลิงและสามารถใช้แอลพีจีอย่างเดียวเป็นเชื้อเพลิงได้ นั่นคือสามารถปรับเปลี่ยนสลับให้เครื่องยนต์เครื่องเดียวกันนี้ทำงานได้ในแบบเครื่องยนต์ดีเซลและทำงานได้ในแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ทั้งนี้เพื่อเป็นทางเลือกแก่เกษตรกรในการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาต่ำตามสภาวะความผันผวนของราคาเชื้อเพลิงทั้งสองชนิด [2]

อย่างไรก็ตาม จากการวิจัยเรื่อง นวัตกรรมต้นแบบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเกษตร ยังพบปัญหาที่เกิดขึ้นขณะใช้งานเครื่องยนต์ ดังนี้

1) เมื่อใช้งานในแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนไปได้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง ตรวจสอบพบว่าความร้อนสะสมที่ห้องเผาไหม้เสริมจนมีอุณหภูมิสูงประมาณ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจส่งผลต่อการเผาไหม้ที่ผิดปกติ [4]

2) เมื่อใช้งานในแบบเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าเกิดไอเสียมีควันสีดำมากที่ความเร็วรอบสูงเกินกว่า 1,800 รอบต่อนาที ทั้งนี้เป็นเพราะอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศมีรูขนาดเล็ก ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรต่ำลง อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่ำเกินไปที่ความเร็วรอบสูง เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จึงเกิดควันดำและสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลมาก

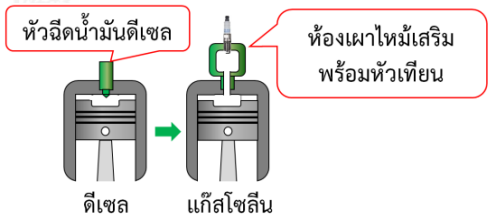
ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้เรื่อง การพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเกษตร จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาห้องเผาไหม้เสริมในด้านการระบายความร้อน 2) พัฒนาอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศให้ปรับขนาดได้ และ 3) เปรียบเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลและแอลพีจี ซึ่งเป็นการต่อยอดงานวิจัยและแก้ปัญหาทั้งสองประการที่กล่าวมา ตามแนวคิดดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แนวคิดการพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเกษตร

2. ระเบียบวิธีวิจัย

ในการวิจัยนี้ใช้เครื่องยนต์เล็กดีเซล ยี่ห้อ Yanmar รุ่น TF120 DI สูบเดียว 4 จังหวะ ปริมาตรกระบอกสูบ 638 มิลลิลิตร อัตราส่วนการอัด 16.1 ต่อ 1 เป็นเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง (Direct Injection) [5] เมื่อจะทำการดัดแปลงเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนโดยใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง จึงต้องลดอัตราส่วนการอัดลงเหลือประมาณ 8 ถึง 12 ต่อ 1 โดยการสร้างและติดตั้งห้องเผาไหม้เสริมพร้อมหัวเทียนเข้าแทนที่ในตำแหน่งของหัวฉีดน้ำมันดีเซลเดิม ดังรูปที่ 2



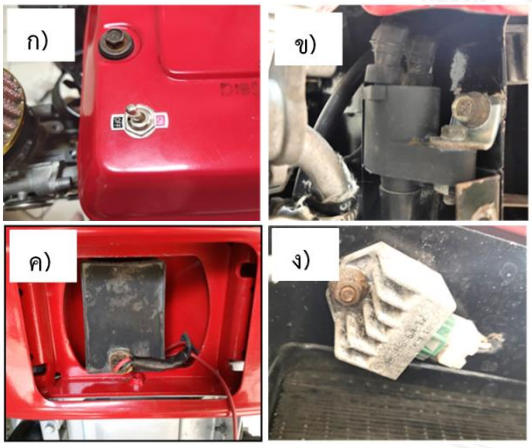
รูปที่ 2 ลดอัตราส่วนการอัดโดยการติดตั้งห้องเผาไหม้เสริม

2.1 ดัดแปลงและติดตั้งอุปกรณ์ระบบจุดระเบิด

1) ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณจุดระเบิด โดยใช้ขดลวดพัลเซอร์ของรถจักรยานยนต์ Honda รุ่น Dash125 และเชื่อมแผ่นเหล็กติดกับล้อช่วยแรง โดยการหมุนล้อช่วยแรงตามทิศทางการหมุนของเครื่องยนต์ให้ลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ตายบน จากนั้นหมุนล้อช่วยแรงย้อนกลับประมาณ 10 องศา ก่อนศูนย์ตายบน แล้วเชื่อมแผ่นเหล็กขนาดกว้างประมาณ 1 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตร ติดกับล้อช่วยแรง ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณจุดระเบิด

2) ติดตั้งอุปกรณ์ระบบจุดระเบิด ได้แก่ เดินวงจรไฟจุดระเบิดผ่านสวิตช์ ร่วมกับการใช้คอยล์จุดระเบิดและวงจรควบคุมการจุดระเบิดของรถจักรยานยนต์ Honda รุ่น Dash125 ดังรูปที่ 4 ก), 4 ข), 4 ค) ซึ่งเป็นวงจรควบคุมการจุดระเบิดแบบ Alternating Current Capacitor Discharge Ignition (AC-CDI) สามารถทำงานได้ด้วยการใช้กระแสไฟจากอัลเทอร์เนเตอร์ของเครื่องยนต์โดยไม่ต้องใช้กระแสไฟจากแบตเตอรี่ และติดตั้งอุปกรณ์เรียงกระแสไฟ (Rectifier) ของรถจักรยานยนต์ Yamaha รุ่น Mio115 เข้ากับเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 4 ง) สำหรับใช้งานกับพัดลมระบายความร้อน



รูปที่ 4 ก) สวิตช์จุดระเบิด ข) คอยล์จุดระเบิด ค) วงจรควบคุมการจุดระเบิด ง) อุปกรณ์เรียงกระแสไฟ

2.2 ติดตั้งระบบเชื้อเพลิง

1) ติดตั้งหม้อต้มเข้ากับเครื่องยนต์ ดังรูปที่ 5 โดยใช้หม้อต้มสำหรับเครื่องยนต์เล็ก และต่อท่อส่งก๊าซไปยังเรือนลิ้นเร่ง

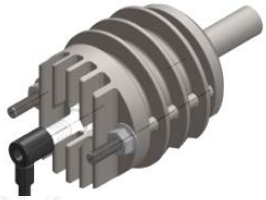
รูปที่ 5 หม้อต้ม

2) ติดตั้งท่อน้ำมันไหลกลับจากปั๊มฉีดเชื้อเพลิงไปยังถังน้ำมันเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 ท่อน้ำมันไหลกลับ

2.3 ออกแบบ สร้างและพัฒนาชุดห้องเผาไหม้เสริมในด้านการระบายความร้อน

ออกแบบห้องเผาไหม้เสริมเป็นลักษณะทรงกระบอกที่มีครีบระบายความร้อน ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ห้องเผาไหม้เสริมทรงกระบอกที่มีครีบระบายความร้อน

สร้างและพัฒนาชุดห้องเผาไหม้เสริมด้วยวัสดุเหล็ก SNCM 439 ที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงถึง 980 เมกกะปาสคาล ซึ่งวัสดุดังกล่าวใช้ในการผลิต สกรู เกียร์ เพลาข้อเหวี่ยง เพลาลูกเบี้ยว ลูกสูบ ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ที่ต้องการความเหนียวสูง [6] คำนวณความหนาของผนังห้องเผาไหม้เสริมโดยใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับ

ทรงกระบอกบางอยู่ภายใต้ความดันภายใน [7] ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$\sigma_H = \frac{Pr}{t} \quad (1)$$

$$\sigma_L = \frac{Pr}{2t} \quad (2)$$

โดยที่

σ_H = ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง (ปาสคาล)

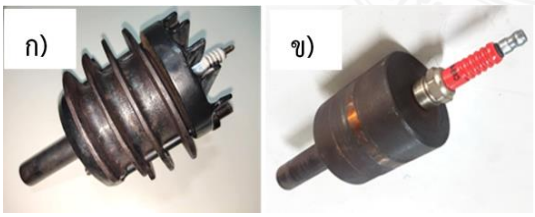
σ_L = ความเค้นตามแนวยาว (ปาสคาล)

t = ความหนาของผนังทรงกระบอกบาง (เมตร)

r = รัศมีเฉลี่ยของทรงกระบอกบาง (เมตร)

P = ความดันที่เกิดขึ้นในทรงกระบอกบาง (ปาสคาล)

โดยกำหนดปริมาตรห้องเผาไหม้เสริมเป็น 26.51 มิลลิลิตร ซึ่งเมื่อนำห้องเผาไหม้เสริมไปติดตั้งแทนที่ในตำแหน่งของหัวฉีดน้ำมันดีเซลเดิม จะได้ค่าอัตราส่วนการอัด 10.28 ต่อ 1 สามารถรองรับการใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงได้ และกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้องเผาไหม้เสริม 31 มิลลิเมตร คำนวณและออกแบบให้ห้องเผาไหม้เสริมมีผนังหนา 12 มิลลิเมตร สามารถรองรับความดันได้มากกว่า 6 เมกกะปาสคาล ซึ่งเป็นค่าระดับความดันสูงสุดที่เป็นไปได้ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีน [8] พัฒนาห้องเผาไหม้เสริมในด้านการระบายความร้อน ด้วยการติดตั้งครีบระบายความร้อน จะได้ชุดห้องเผาไหม้เสริม ดังรูปที่ 8 ก) ซึ่งแสดงเปรียบเทียบกับห้องเผาไหม้เสริมของการวิจัยครั้งที่ผ่านมาในปี พ.ศ. 2562 ดังรูปที่ 8 ข)



รูปที่ 8 ก) ห้องเผาไหม้เสริมที่ติดตั้งครีบระบายความร้อน ข) ห้องเผาไหม้เสริมของการวิจัยในปี พ.ศ. 2562

ติดตั้งห้องเผาไหม้เสริมติดตั้งเข้าแทนที่ในตำแหน่งของหัวฉีดน้ำมันดีเซลเดิม ดังรูปที่ 9

รูปที่ 9 ห้องเผาไหม้เสริมติดตั้งเข้าแทนที่ในตำแหน่งของหัวฉีดน้ำมันดีเซลเดิม

ติดตั้งพัดลมระบายความร้อนของรถจักรยานยนต์ Honda รุ่น CBR150 เข้ากับเครื่องยนต์เพื่อระบายความร้อนของห้องเผาไหม้เสริม ดังรูปที่ 10 ทั้งนี้พัดลมระบายความร้อนจะทำงานพร้อมกับระบบจุดระเบิดเมื่อสวิตช์จุดระเบิดอยู่ในตำแหน่ง ON

รูปที่ 10 พัดลมระบายความร้อน

2.4 ออกแบบ สร้างและพัฒนาอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ

อากาศที่ไหลผ่านรูของอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ จะเป็นลักษณะการไหลผ่านคอคอดนั่นเอง ในการนี้จึงมีสมมุติฐานที่ใช้ในการออกแบบ ดังนี้

- ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric Efficiency) ของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในแบบประจุไอดีเข้าสู่กระบอกสูบโดยธรรมชาติ (Naturally Aspirated ; NA) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 0.9 [9] ดังนั้นจึงกำหนดให้ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรมีค่า 0.85

- ความเร็วอากาศ ณ จุดคอคอดควรจะอยู่ในช่วง 100 ถึง 150 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้เพื่อทำให้ความดันอากาศ ณ จุดคอคอดต่ำลง อันจะเป็นผลทำให้เกิดการดึงเชื้อเพลิงมาผสมกับอากาศได้ดี [10] ดังนั้นจึง

กำหนดให้ความเร็วอากาศผ่านรูของอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ มีค่า 125 เมตรต่อวินาที

คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่กระบอกสูบ จากสมการที่ (3)

$$\dot{V}_i = \left(\frac{V_h \times n}{2{,}000 \times 60} \right) \eta_v \qquad (3)$$

โดยที่

$\dot{V}_i$ = อัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่กระบอกสูบ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

V_h = ปริมาตรกระบอกสูบ = 0.638 ลิตร

n = ความเร็วรอบเครื่องยนต์ = 2,400 รอบต่อนาที (ที่ความเร็วรอบสูงสุด)

η_V = ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร = 0.85

จะได้ $\dot{V}_i = 0.010846$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

และคำนวณความเร็วของอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ จากสมการที่ (4) และ (5)

$$A_i = \frac{\pi d_i^2}{4} \qquad (4)$$

$$c_i = \frac{\dot{V}_i}{A_i} \qquad (5)$$

โดยที่

c_i = ความเร็วของอากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ (เมตรต่อวินาที)

A_i = พื้นที่หน้าตัดช่องทางเข้าสู่ห้องเผาไหม้ (ตารางเมตร)

d_i = เส้นผ่านศูนย์กลางช่องทางเข้าสู่ห้องเผาไหม้ = 0.038 เมตร (จากการวัดขนาดที่เครื่องยนต์)

จะได้ $A_i = \frac{\pi 0.038^2}{4}$

$A_i = 0.001134$ ตารางเมตร

และ $c_i = \frac{0.010846}{0.001134}$

$c_i = 9.564$ เมตรต่อวินาที

คำนวณขนาดรูของอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ จากสมการที่ (6) และ (7)

$$A_v = \frac{A_i c_i}{c_v} \qquad (6)$$

$$d_v = \sqrt{\frac{4A_v}{\pi}} \qquad (7)$$

โดยที่

d_v = เส้นผ่านศูนย์กลางรูของอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ (เมตร)

A_v = พื้นที่หน้าตัดรูของอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ (ตารางเมตร)

c_v = ความเร็วอากาศผ่านรูของอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ = 125 เมตรต่อวินาที

จะได้

$$A_v = \frac{0.001134 \times 9.564}{125}$$

$A_v = 0.00008677$ ตารางเมตร

และ

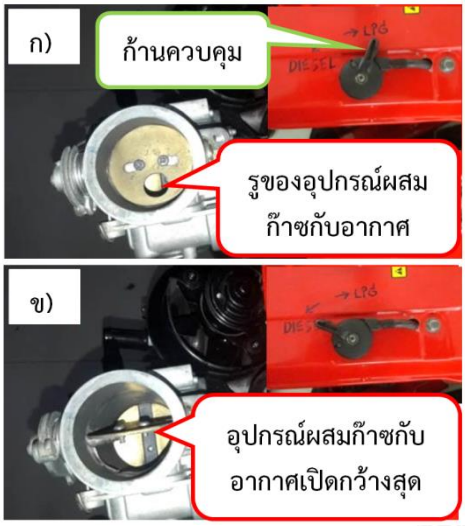
$$d_v = \sqrt{\frac{4 \times 0.00008677}{\pi}}$$

$d_v = 0.01051$ เมตร

ดังนั้นเลือกใช้ขนาดรูของอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ 11 มิลลิเมตร

พัฒนาอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ โดยใช้ชุดเรือนลิ้นเร่งของรถจักรยานยนต์ Honda รุ่น CBR300 ติดตั้งเข้ากับท่อไอดี ต่อสายคันเร่งจากลิ้นเร่งไปยังคันเร่ง และสร้างลิ้นปีกผีเสื้ออีกหนึ่งอันติดตั้งไว้เหนือลิ้นเร่งเพื่อพัฒนาเป็นอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศให้สามารถเปิดกว้างสุดได้เมื่อใช้งานในแบบเครื่องยนต์ดีเซล ดังรูปที่ 11 ทั้งนี้โดยการดัดแปลงใช้สายคันเร่งของ

รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ ซึ่งที่ปลายสายคันเร่งด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับก้านควบคุม ส่วนที่ปลายสายอีกด้านหนึ่งแยกเป็นสองจุด จุดหนึ่งต่อเข้ากับอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศและอีกจุดหนึ่งต่อเข้ากับลิ้นเร่ง ดังนั้นเมื่อใช้งานในแบบเครื่องยนต์ดีเซลจะปรับก้านควบคุมให้อุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศและลิ้นเร่งเปิดกว้างสุดได้



รูปที่ 11 ก) อุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ เมื่อใช้แอลพีจี ข) อุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศเปิดกว้างสุด

รูปที่ 12 เครื่องยนต์ที่ดัดแปลงและติดตั้งอุปกรณ์ที่เสร็จสมบูรณ์

ติดตั้งเรกกูเลเตอร์ (หัววาล์วก๊าซ) เข้ากับถังก๊าซ จึงได้เครื่องยนต์ที่ดัดแปลงและติดตั้งอุปกรณ์ที่เสร็จสมบูรณ์ ดังรูปที่ 12

สตาร์ทเครื่องยนต์และทำการปรับตั้งองศาการจุดระเบิดโดยการเลื่อนตำแหน่งของขดลวดพัลเซอร์ ซึ่งจะได้องศาการจุดระเบิดที่เหมาะสมประมาณ 11 องศาก่อนศูนย์ตายบน ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 600 รอบต่อนาที และปรับปริมาณการจ่ายก๊าซให้เหมาะสม

2.5 ดำเนินการทดลอง

ทดลองการทำงานของเครื่องยนต์ในแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ทำการตรวจวัดอุณหภูมิห้องเผาไหม้เสริมด้วยเครื่องมืออินฟาเรดเทอร์โมมิเตอร์ รุ่น Benetech GM320 ดังรูปที่ 13 ทำการตรวจวัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย รุ่น Koeng KEG-200 ดังรูปที่ 14

รูปที่ 13 อินฟาเรดเทอร์โมมิเตอร์ รุ่น Benetech GM320

รูปที่ 14 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย รุ่น Koeng KEG-200

จากนั้นทดลองการทำงานของเครื่องยนต์ในแบบเครื่องยนต์ดีเซล ทำการตรวจวัดค่าควันดำด้วยเครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสง รุ่น Koeng OP-201T ดังรูปที่ 15 แล้วจึงใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลังในการสูบน้ำด้วยท่อพญานาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8 นิ้ว ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,000 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นระดับความเร็วรอบเครื่องยนต์โดยประมาณที่เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ในการสูบน้ำ บันทึกผลระยะเวลาและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ โดยเปรียบเทียบในลักษณะการทำงานแบบเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและในลักษณะการทำงานแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 16 ทั้งนี้ทำการทดลองแบบสลับไป-มา ระหว่างลักษณะการทำงานแบบเครื่องยนต์ดีเซลและลักษณะการทำงานแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีน จนครบลักษณะการทำงานแบบละ 3 ครั้ง

รูปที่ 15 เครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสง รุ่น Koeng OP-201T

รูปที่ 16 ก) ขณะใช้งานแบบเครื่องยนต์ดีเซล
ข) ขณะใช้งานแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

สำหรับคุณลักษณะของเครื่องยนต์ที่นำมาทดลอง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของเครื่องยนต์ที่นำมาทดลอง

เครื่องยนต์	คุณลักษณะ
A	เครื่องยนต์เล็กดีเซล Yanmar TF120DI ดัดแปลงแล้ว ความเร็วรอบเดินเบา 600 รอบต่อนาที ความเร็วรอบสูงสุด 2,400 รอบต่อนาที สามารถสลับให้ทำงานได้ในแบบเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และทำงานได้ในแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง
B	เครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีน Honda GX160 ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง ความเร็วรอบเดินเบา 1,200 รอบต่อนาที ความเร็วรอบสูงสุด 3,600 รอบต่อนาที
C	เครื่องยนต์เล็กดีเซล Yanmar TF120DI ก่อนดัดแปลง ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ความเร็วรอบเดินเบา 600 รอบต่อนาที ความเร็วรอบสูงสุด 2,400 รอบต่อนาที

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการพัฒนาห้องเผาไหม้เสริมในด้านการระบายความร้อน ด้วยการติดตั้งครีบระบายความร้อนและพัดลมระบายความร้อน ได้ทำการตรวจวัดอุณหภูมิของห้องเผาไหม้เสริมในขณะเครื่องยนต์ที่ดัดแปลงทำงานแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของฝาสูบเครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีน Honda GX160 ได้ผลดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่าอุณหภูมิของห้องเผาไหม้เสริมในขณะทำงานแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนกับอุณหภูมิของฝาสูบเครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีน เมื่อขณะอุณหภูมิคงที่ ที่ความเร็วรอบสูงสุด มีอุณหภูมิ 182 และ 186 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ยังคงมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิลุกติดไฟได้เอง (Auto Ignition Temperature) ของแอลพีจี โดยแอลพีจีมีค่าอุณหภูมิลุกติดไฟได้เองที่ประมาณ 481 องศาเซลเซียส [11], [12] และมีค่าออกเทนสูงกว่าน้ำมันเบนซิน [4] เครื่องยนต์จึงทำงานได้โดยไม่เกิดการน็อก

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบอุณหภูมิของห้องเผาไหม้เสริมกับอุณหภูมิของฝาสูบเครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีน เมื่อขณะอุณหภูมิคงที่

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (RPM)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	เครื่องยนต์ A	เครื่องยนต์ B
600	127	-
1,200	149	117
1,800	164	128
2,400	182	148
3,000	-	163
3,600	-	186

หมายเหตุ
- เครื่องยนต์ A คือ เครื่องยนต์เล็กดีเซล Yanmar TF120DI ดัดแปลงแล้ว, ทำงานในแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง
- เครื่องยนต์ B คือ เครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีน Honda GX160 ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง

ทำการตรวจวัดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณ CO และ HC ในไอเสีย ตรวจวัดค่าโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย รุ่น Koeng KEG-200

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (RPM)	CO(%)	HC(ppm)
600	0.08	1,088
1,200	0.22	1,186
1,800	0.41	1,315
2,400	0.41	1,255

จากตารางที่ 3 พบว่าในไอเสียมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 0.41 เป็นไปตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียของรถจักรยานยนต์ ซึ่งกำหนดค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่เกินร้อยละ 2.5 และกำหนดค่าก๊าซไฮโดรคาร์บอนไม่เกิน 1,000 ส่วนในล้านส่วน [13] ทั้งนี้มีปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสีย 1,315 ส่วนในล้านส่วน อาจเป็นผลจากการที่ห้องเผาไหม้เสริมมีลักษณะเป็นกระเปาะที่มีช่องทางเข้าออกขนาดเล็ก คล้ายกับห้องเผาไหม้ล่วงหน้าในเครื่องยนต์ดีเซล [14], [15] ส่งผลให้ไอดีเข้าห้องเผาไหม้เสริมได้ไม่สม่ำเสมอ ทำให้เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงควรศึกษาพัฒนาและทดลองห้องเผาไหม้เสริมให้มีช่องทางเข้าออกขนาดใหญ่ ซึ่งอาจส่งผลให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนในไอเสียลดลง

ในส่วนของการพัฒนาอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศให้ปรับขนาดได้กว้างสุดและลิ้นเร่งเปิดกว้างสุดเมื่อใช้งานในแบบเครื่องยนต์ดีเซล ทำการตรวจวัดค่าควันดำ ได้ผลดังตารางที่ 4

จากตารางที่ 4 เครื่องยนต์เล็กดีเซลที่ดัดแปลงแล้ว ติดตั้งอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศที่เปิดได้กว้างสุดและลิ้นเร่งเปิดกว้างสุด เมื่อใช้งานในแบบเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง จะมีค่าควันดำสูงสุดร้อยละ 1.5 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์เล็กดีเซลก่อนดัดแปลง ทั้งนี้เป็นเพราะอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศที่เปิดได้กว้างสุดและลิ้นเร่งเปิดกว้างสุด อากาศสามารถไหลผ่านเข้าสู่กระบอกสูบได้มากขึ้น ส่งผลให้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในระดับที่เหมาะสม

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าควันดำเมื่อใช้งานในแบบเครื่องยนต์ดีเซล ตรวจวัดค่าโดยใช้เครื่องวัดควันดำระบบความทึบแสง รุ่น Koeng OP-201T

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (RPM)	ค่าควันดำ (%)	
	เครื่องยนต์ A	เครื่องยนต์ C
600	1.4	1.6
1,200	0.9	0.7
1,800	0.9	1.0
2,400	1.5	1.4

หมายเหตุ
- เครื่องยนต์ A คือ เครื่องยนต์เล็กดีเซล Yanmar TF120DI ดัดแปลงแล้ว, ทำงานในแบบเครื่องยนต์ดีเซล เมื่ออุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศที่เปิดกว้างสุดและลิ้นเร่งเปิดกว้างสุด, ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง
- เครื่องยนต์ C คือ เครื่องยนต์เล็กดีเซล Yanmar TF120DI ก่อนดัดแปลง, ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณและค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลและแอลพีจี ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,000 รอบต่อนาที โดยใช้เป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังในการสูบน้ำด้วยท่อพญานาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8 นิ้ว

ครั้งที่	เวลา (ชั่วโมง)	เมื่อใช้น้ำมันดีเซล		เมื่อใช้แอลพีจี	
		ปริมาณการใช้; กิโลกรัม (ลิตร)	ค่าใช้จ่าย; บาทต่อชั่วโมง	ปริมาณการใช้; กิโลกรัม	ค่าใช้จ่าย; บาทต่อชั่วโมง
1	1	0.63 (0.75)	20.54	0.60	14.52
2	1	0.63 (0.75)	20.54	0.50	12.10
3	1	0.68 (0.80)	21.91	0.60	14.52
ค่าเฉลี่ย	1	0.65 (0.77)	21.00	0.57	13.71

หมายเหตุ อ้างอิงราคาเชื้อเพลิง ณ วันที่ทำการทดลอง (24 มกราคม พ.ศ. 2563)
- แอลพีจีภาคครัวเรือน ปตท. ถังขนาด 15 กิโลกรัม ราคา 363 บาทต่อถัง = 24.20 บาทต่อกิโลกรัม [16]
- น้ำมันดีเซล ปตท. ราคา 27.39 บาทต่อลิตร [17]

- น้ำมันดีเซล มีค่าความหนาแน่น 0.845 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งได้จากการวัดค่าก่อนการทดลอง
- จากประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ได้กำหนดชื่อน้ำมันดีเซลในประเทศไทยเป็น “น้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี 7” ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2563 เป็นต้นไป [18]

จากการทดลองใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลังในการสูบน้ำด้วยท่อพญานาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8 นิ้ว โดยใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,000 รอบต่อนาที เปรียบเทียบในลักษณะการทำงานแบบเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงและในลักษณะการทำงานแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง บันทึกผลระยะเวลา ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้และค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 5

จากตารางที่ 5 การทดลองใช้งานเป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังในการสูบน้ำด้วยท่อพญานาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8 นิ้ว ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,000 รอบต่อนาที ในลักษณะการทำงานแบบเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง พบว่าใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 0.65 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือประมาณ 0.77 ลิตรต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าใช้จ่าย 21.00 บาทต่อชั่วโมง และหากใช้งานในลักษณะการทำงานแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง จะใช้แอลพีจีเฉลี่ย 0.57 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าใช้จ่าย 13.71 บาทต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึงร้อยละ 34.71

ทั้งนี้จากการทดลองใช้งานเป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังในการสูบน้ำด้วยท่อพญานาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8 นิ้ว อัตราทดพูลเลย์เครื่องยนต์ต่อพูลเลย์ท่อพญานาคเป็น 1 ต่อ 1 ในลักษณะการทำงานแบบเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,000 รอบต่อนาทีเท่ากัน สูบน้ำความสูง (Head) 3 เมตร ย่อมจะได้ปริมาณการสูบน้ำที่เท่ากันคือประมาณ 2.4 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือ 144 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เมื่อเทียบจากข้อมูลทางเทคนิคของท่อพญานาค [19]

ในส่วนของการดัดแปลงเครื่องยนต์ครั้งนี้ใช้งบประมาณ 7,000 บาท หากเกษตรกรทำนาพื้นที่ 10 ถึง 20 ไร่ จะต้องมีการสูบเข้าและออกจากนาโดยประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงได้ 58.32 บาทต่อวัน ซึ่งจะถึงจุดคุ้มทุนที่เวลา 120 วัน

อย่างไรก็ตาม การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นให้เกษตรกรมีทางเลือกในการใช้เครื่องยนต์ดัดแปลงที่สามารถใช้เชื้อเพลิงราคาต่ำได้ ซึ่งเมื่อเครื่องยนต์ดัดแปลงทำงานในแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนโดยใช้แอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศ เครื่องยนต์จะมีอัตราส่วนการอัด, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซล ส่งผลให้แรงบิดต่ำลง จึงไม่เหมาะกับการใช้งานที่มีภาระมาก เช่น ขับเคลื่อนรถไถนาเดินตาม แต่ใช้งานได้กับงานประเภทที่มีภาระไม่มากและความเร็วรอบคงที่ เช่น ใช้งานเป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังในการสูบน้ำด้วยท่อพญานาคขนาดเล็ก เป็นต้น

4. สรุป

จากการพัฒนาห้องเผาไหม้เสริมในด้านการระบายความร้อน พบว่าอุณหภูมิของห้องเผาไหม้เสริมในขณะเครื่องยนต์ที่ดัดแปลงทำงานแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีนกับอุณหภูมิของฝาสูบเครื่องยนต์เล็กแก๊สโซลีน Honda GX160 ตรวจวัดเมื่อขณะอุณหภูมิคงที่ ที่ความเร็วรอบสูงสุด มีอุณหภูมิ 182 และ 186 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน และพบว่าในไอเสียมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 0.41 และไฮโดรคาร์บอน 1,315 ส่วนในล้านส่วน สำหรับการพัฒนาอุปกรณ์ผสมก๊าซกับอากาศให้ปรับขนาดได้กว้างสุดและลิ้นเร่งเปิดกว้างสุดนั้น เมื่อใช้งานในแบบเครื่องยนต์ดีเซล พบว่ามีค่าควันดำสูงสุดร้อยละ 1.5 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ดีเซลก่อนดัดแปลง เมื่อนำเครื่องยนต์ที่ดัดแปลงไปใช้งานเป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังในการสูบน้ำด้วยท่อพญานาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 8 นิ้ว ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ 1,000 รอบต่อนาที ในขณะทำงานแบบเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 0.65 กิโลกรัมต่อชั่วโมง หรือประมาณ 0.77 ลิตรต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าใช้จ่าย 21.00 บาทต่อชั่วโมง และในขณะทำงานแบบเครื่องยนต์แก๊สโซลีน พบว่าใช้แอลพีจีเฉลี่ย 0.57 กิโลกรัมต่อชั่วโมง คิดเป็นค่าใช้จ่าย 13.71 บาทต่อชั่วโมง สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ร้อยละ 34.71 โดยมีปริมาณการสูบน้ำ

ประมาณ 2.4 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือ 144 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และถึงจุดคุ้มทุนที่เวลา 120 วัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] W. Sittiwong, T. Homchampa and V. Paratanavong, "Performance of LPG and biogas fueled engine," in *Proceeding of 8th National Academic Conference Rajamangala University of Technology Surin*, Surin, Thailand, December 22-23, 2016, pp. 434-440.

[2] C. Siripornmongkolchai, "Innovative Engine Prototype Powered by Diesel and LPG as Fuel for Agriculture," Research report, Dept. Faculty of industrial education, Rajamangala University of Technology Suvarnabumi, Nonthaburi, Thailand, 2019.

[3] C. Siripornmongkolchai, "Evaluation of agriculturist's satisfaction on 6 districts of Nonthaburi province, using the agricultural small engine modified for LPG gas instead of diesel," *Thaksin University Journal*, vol. 18, no. 3, pp. 72-80, 2015.

[4] S. Saisin, "The difference of LPG and NGV gas," *HCU Journal*, vol. 17, no. 34, pp. 139-154, Jun. 2014.

[5] *Yanmar TF-DI Series Data Manual*, Yanmar S.P. Co., Bangkok, Thailand, 2008.

[6] H. Chandler, *Heat Treater's Guide Practices and Procedures for Irons and Steels*. USA: ASM International, 1995.

[7] C. Kasiphar, *Strength of materials*, Bangkok: Chuan Pim, 1985.

[8] M. Bohner, H. Gerschler, H. Gobweiler, S. Leyer, W. Pichler, W. Saier, H. Schmidt and H. Zwickel, *Technology for the Automotive Trade Volume 2*, Germany: Vollmer GmbH&Co, 1989.

[9] J.B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Singapore: McGraw-Hill, 1988.

[10] K.V. Mitzlaff, *Engines for biogas*, Federal Republic of Germany, 1988.

[11] Energy Policy and Planning Office Ministry of Energy, "NGV and LPG," *Eppo Journal*, Special Issue, pp. 23-32, 2014.

[12] S. Termchokkasem, "Choosing to use gas as an alternative energy," *Executive Journal*, vol. 28, no. 1, pp. 74-77, Mar. 2008.

[13] Announcement of the Ministry of Natural Resources and Environment. (2007). *Government Gazette*, 124 (Special Part 29 d), 9-10.

[14] K. Wattanavichien, W. Kuakittiwong, A. Sathavarinthu and W. Tangpisityothin, "Prototype development of a CI spray combustion observation equipment by modification of an existing IDI engine," in *Proceeding of 23rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand*, Chiang Mai, Thailand, November 4-7, 2009, pp. AEC-014348.

[15] K. Tippaha, R. Kumwan, P. Krudnak, C. Lowefin, P. Mahawannam, T. Deethayat and T. Kiatsiriroat, "Quality upgrading of biodiesel from refined palm oil by catalytic cracking with HZSM-5 and small diesel engine testing," *Engineering Journal Chiang Mai University*, vol. 25, no. 1, pp. 214-225, Apr. 2018.

[16] RYT9. (2020, January 26). LPG prices on 24 January 2020 [Online]. Available: https://www.ryt9.com/s/nepo/3088408

[17] PTT Oil and Retail Business Public Company Limited. (2020, January 26). Retail prices in Bangkok and vicinity for the year 2020 [Online]. Available: https://www.pttor.com/oilprice-capital.aspx

[18] Announcement of the Department of Energy Business. (2020). *Government Gazette*, 137 (Special Part 135 d), 11-14.

[19] Pattanakarnkol. (2020, January 26). Whale pump [Online]. Available: https://www.whalepump.com/propellerpump