

สมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้โพรดิวเซอร์แก๊สจากเตาแก๊สซิฟิเออร์ขนาดเล็ก

Performance of an engine-power generator using producer gas from a small gasifier

เอกชัย สุธีรศักดิ์^{1*}, สมารถ แคล้วคลาด¹, วงศกร จำนำงค์ผล¹, อำภา โภชนาผล¹, และสุรัชชัย สนิทใจ²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาธิปไตย เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

*ติดต่อ: ekkachai@eng.buu.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 038 102222 ต่อ 3385

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เครื่องยนต์จุดระเบิดแบบหนึ่งสูบสี่จังหวะ โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นโพรดิวเซอร์แก๊ส และโพรดิวเซอร์แก๊สร้อยละ 20 ถึง 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เปรียบเทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,900 ถึง 3,300 rpm และปรับภาระงานทางไฟฟ้าตั้งแต่ 0.2 ถึง 1.2 kW โพรดิวเซอร์แก๊สที่ใช้ในการทดลองนี้ มีค่าความร้อนสูงสุด 5.40 MJ/m³ และเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สซิฟิเออร์ขนาดเล็กที่ใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันในการผลิต ซึ่งแก๊สที่ผลิตได้จะถูกลดอุณหภูมิลงโดยใช้สครับเบอร์แบบเปียกและชุดกรองแก๊สเชื้อเพลิง ผลการทดลองพบว่า ค่าความดันยังผลเฉลี่ยและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะจากการใช้โพรดิวเซอร์แก๊สลดลงร้อยละ 14.54 และ 47.81 และประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้โพรดิวเซอร์แก๊สเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.12 เมื่อเทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ที่ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด ขณะที่การใช้โพรดิวเซอร์แก๊สร้อยละ 20 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ให้ค่าความดันยังผลเฉลี่ย (MEP) ใกล้เคียงกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 แต่ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้โพรดิวเซอร์แก๊สร้อยละ 20 และ 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ต่ำกว่าประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ส่วนอุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการใช้โพรดิวเซอร์แก๊ส และโพรดิวเซอร์แก๊สร้อยละ 20 ถึง 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 นั้นลดลงร้อยละ 8.27 ถึง 15.35 เมื่อเทียบกับอุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ที่ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด

คำหลัก: โพรดิวเซอร์แก๊ส น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สมรรถนะของเครื่องยนต์

Abstract

This research aims to investigate the performance of an engine-power generator, a single cylinder, four stroke spark ignition engine. Fuels used in this study are producer gas, producer gas of 20% and 40% mixed with gasohol 91 and pure gasohol 91. In this study, the engine speeds are adjusted from 1,900 to 3,300 rpm and the electrical loads are varied in the range of 0.2 to 1.2 kW. Producer gas with the higher heating value of 5.40 MJ/kg is produced by a small gasifier in which coconut shells is used as fuel. Producer gas is produced from the gasification process, and the gas temperature is reduced using the wet scrubber. Producer gas is filtered before sent into the mixing box and then to the engine. From the experimental results, it is found that mean effective pressure and the specific fuel consumption for using producer gas as fuel decreases 14.54% and 47.81%, respectively, and, however, the thermal efficiency increases 14.12% as compared the one using gasohol 91 at full electrical load. For mixing fuel, using producer gas of 20% mixed with gasohol 91, the mean effective pressure is similarly to those using gasohol 91 as fuel. However, using producer gas 20 and 40% mixed with gasohol 91, the thermal efficiency is lower than the one using gasohol 91. For using producer gas of 20 and 40% with gasohol 91, the exhaust gas temperature of producer gas decrease from 8.27% to 15.35% as compared to the one using gasohol 91 as fuel at full electrical load.

Keywords: Producer Gas, Gasohol 91, Power Generator, Engine Performance.

1. บทนำ

จากปัญหาความต้องการพลังงานภายในประเทศ และปัญหาราคาน้ำมันปรับตัวเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้มีการค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พลังงานชีวมวล (Biomass energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่หมุนเวียนและนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยชีวมวลนี้ไม่สามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์สันดาปภายในได้โดยตรง อย่างไรก็ตาม ถ้านำชีวมวลเผาไหม้ภายในเตาแก๊สซิฟิเคชัน จะสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงที่เรียกว่า โพรดิวเซอร์แก๊ส โดยแก๊สเชื้อเพลิงนี้มีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทนเป็นองค์ประกอบ สามารถติดไฟและนำมาใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในได้ [1, 2]

ขณะที่ประเทศไทยนิยมบริโภคมะพร้าว โดยนำผลของมะพร้าวมาทำอาหารคาวหวาน กะทิเข้มข้น น้ำมันมะพร้าว และอื่นๆ ซึ่งความนิยมบริโภคมะพร้าวนี้เอง ทำให้กะลามะพร้าวที่เหลือจากการนำผลไปใช้ประโยชน์มีปริมาณสูงมาก ขณะที่กะลามะพร้าวจัดเป็นชีวมวลอย่างหนึ่ง เมื่อนำมาเผาไหม้ภายในเตาแก๊สซิฟิเคชัน โดยผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) ก็จะเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีภายในเชื้อเพลิงแข็งไปเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่สามารถเผาไหม้ได้ (Combustible Gas) โดยอาศัยปฏิกิริยา 4 กระบวนการคือ กระบวนการอบแห้ง กระบวนการไพโรไลซิส กระบวนการเผาไหม้ และกระบวนการรีดักชัน โดยแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดหรือเครื่องยนต์แก๊สโซลีน และเครื่องยนต์ดีเซลได้ ทำให้เกิดความต้องการนำเครื่องยนต์ที่ใช้โพรดิวเซอร์แก๊สไปใช้เป็นตัวนำกำลัง เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ทั้งในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม [2, 3]

ส่วนการศึกษาและพัฒนาระบบผลิตโพรดิวเซอร์แก๊ส และการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องยนต์เพื่อใช้โพรดิวเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิงนั้น มีงานวิจัยบางส่วนที่ศึกษาโดยนฤเบศร์ หนูโสพิ์ และสิทธิชัย วงศ์หน่อ [4] ทำการออกแบบและสร้างเตาแก๊สซิฟิเคชันขนาดเล็กแบบไหลขึ้น โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง เพื่อผลิตโพรดิวเซอร์แก๊สให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งใช้เครื่องยนต์จุดระเบิดหนึ่งสูบสี่จังหวะขนาด 3.7 kW และดัดแปลงคาร์บูเรเตอร์ให้ใช้กับแก๊สเชื้อเพลิง โดยสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงถึง 1.25 kW เฉลี่ยเป็นเวลา 75 min เมื่อปรับปริมาณอากาศเข้าท่อไอศร้อยละ 75 Ajay และคณะ [5] ศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดที่ใช้โพรดิวเซอร์แก๊สที่

อัตราการผลิตต่างๆ เพื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซินพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ที่กำลังสูงสุดทั้งในกรณีที่ใช้โพรดิวเซอร์แก๊สและน้ำมันเบนซินมีค่าเท่ากัน วิริยุทธ ฐานาพงษ์ และสุรชัย สนิทใจ [3] ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนสมมูลของโพรดิวเซอร์แก๊สในช่วง 0.9 ถึง 1.3 ต่อสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เครื่องยนต์จุดระเบิดหนึ่งสูบสี่จังหวะขนาด 3.0 kW โดยโพรดิวเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลงขนาด 100 kW เมื่อใช้ถ่านหินปฏิทินัสเป็นเชื้อเพลิง โดยทดสอบที่ภาระทางไฟฟ้า 0.5 ถึง 1.2 kW พบว่าเมื่ออัตราส่วนสมมูลมีค่าเพิ่มขึ้นที่ภาระของเครื่องยนต์คงที่ ทำให้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นแต่ค่าประสิทธิภาพโดยรวมจะมีลดลง ขณะที่ใช้อัตราส่วนสมมูล 1.2 ทำให้ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำสุดเท่ากับ 7.4 kg/kWh และค่าประสิทธิภาพโดยรวมสูงสุดร้อยละ 10.07 Kumar และ Kumar [6] พัฒนาเตาแก๊สซิฟิเคชันขนาดใหญ่ 300 kW โดยใช้ไม้สับเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตโพรดิวเซอร์แก๊สส่งเข้าชุดสกริปเปอร์แบบเปียกเพื่อขจัดน้ำมันดินและฝุ่นละอองขนาดเล็ก และติดตั้งชุดกรองเพื่อลดความชื้นก่อนส่งโพรดิวเซอร์แก๊สเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่โดยใช้เครื่องยนต์จุดระเบิดสี่สูบสี่จังหวะเป็นจิ๊กกลตันกำลัง โดยผลลัพธ์ที่ได้พบว่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลง และสามารถป้อนปริมาณไม้สับ 23 kg/h ในการผลิตโพรดิวเซอร์แก๊สเข้าเครื่องยนต์

ดังนั้น จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนั้น ส่วนใหญ่ใช้เตาแก๊สซิฟิเคชันขนาดใหญ่ในการผลิตโพรดิวเซอร์แก๊ส และมีการดัดแปลงเครื่องยนต์จึงสามารถใช้โพรดิวเซอร์แก๊สได้ ขณะที่งานวิจัยนี้ นำเสนอผลการตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เครื่องยนต์จุดระเบิดหนึ่งสูบสี่จังหวะเป็นตัวนำกำลังขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3 kW โดยใช้โพรดิวเซอร์แก๊สซึ่งได้มาจากการสันดาปกะลามะพร้าวภายในเตาแก๊สซิฟิเคชันขนาดเล็กเทียบกับน้ำมันแก๊สโซลีน 91 โดยไม่มีการดัดแปลงเครื่องยนต์

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ระบบผลิตโพรดิวเซอร์แก๊ส

โพรดิวเซอร์แก๊สเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลงขนาดเล็ก 75 kW มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.407 m และความสูง 1.565 m ม้วนเป็นทรงกระบอก และใช้ระบบอัดอากาศที่ความเร็ว 5.6

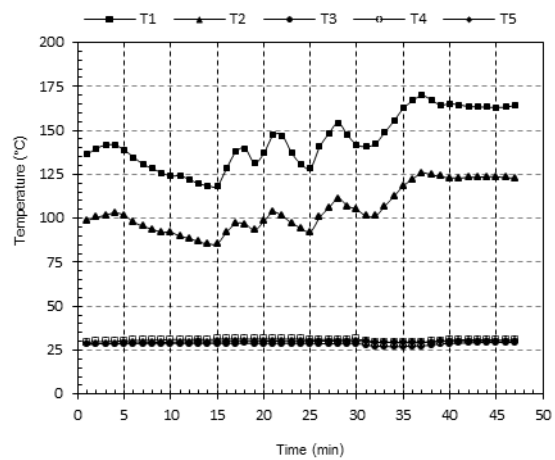
ถึง 52.4 m/s ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงภาพระบบผลิตโพรวินเซอร์แก๊ส ประกอบด้วยเตาแก๊สซีไฟเออร์ขนาดเล็กต่อกับชุดบำบัดแก๊สเชื้อเพลิงซึ่งประกอบด้วยไซโคลนเพื่อขจัดฝุ่นผง สกรับเบอร์แบบเปียกขจัดน้ำมันดินและฝุ่นละอองขนาดเล็ก และอุปกรณ์บำบัดน้ำมันดินเป็นแบบ Sandbed filter ซึ่งประกอบด้วยถาดของชั้นกรอง 3 ชั้นคือ ถ่าน แกลบ และทราย โดยระบบผลิตโพรวินเซอร์แก๊สนี้จะถูกต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เครื่องยนต์จุดระเบิดหรือเครื่องยนต์แก๊สโซลีนหนึ่งสูบซึ่งจังหวะเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนเจนเนอเรเตอร์และเพิ่มภาระงานโดยใช้ชุดโหลดไฟที่มีการต่อไฟฟ้าแบบวงจรแบบผสม



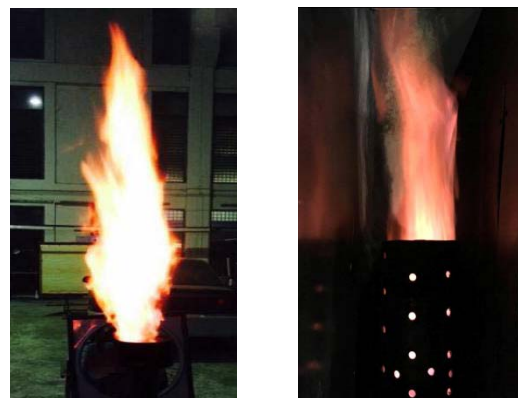
รูปที่ 1 รูปแบบของชุดทดสอบ

โดยก่อนทำการส่งโพรวินเซอร์แก๊สเข้าไปภายในเครื่องยนต์และทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ต่อกับเจนเนอเรเตอร์นั้น ได้ทำการตรวจสอบอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงแต่ละจุด ได้แก่ อุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงก่อนเข้าไซโคลน (T₁) อุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงก่อนเข้าสกรับเบอร์ (T₂) อุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงก่อนเข้าถังกรอง (T₃) อุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ชุดส่งแก๊ส (T₄) และอุณหภูมิแก๊สเชื้อเพลิงก่อนส่งเข้าท่อไอเสียของเครื่องยนต์ (T₅) ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่างๆ ของแก๊สเชื้อเพลิงกับเวลาจากระบบผลิตโพรวินเซอร์แก๊สโดยเริ่มต้นตั้งแต่การจุดเตาแก๊สซีไฟเออร์จนกระทั่งได้โพรวินเซอร์แก๊สที่สะอาดส่งเข้าไปในเครื่องยนต์ ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิของโพรวินเซอร์แก๊สลดลงเท่ากับ 27.5 °C เมื่อผ่านเข้าสกรับเบอร์แบบเปียก และถังกรองแก๊สเชื้อเพลิง โดยอุณหภูมิของแก๊สเชื้อเพลิงคงที่ และมีปริมาณน้ำมันดินลดลงขณะที่อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงอยู่ระหว่าง 5.0-8.67 m³/s โดยที่ค่าอัตราส่วนสมมูลอยู่ในช่วง 0.12-0.16

หลังจากนั้นทำการตรวจสอบสีของเปลวไฟดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งแสดงสีของเปลวไฟโพรวินเซอร์แก๊สที่อัตราการไหลของแก๊ส 8.67 m³/s โดยสีของเปลวไฟโพรวินเซอร์แก๊สที่ยังไม่สะอาดเมื่อออกมาเตาแก๊สซีไฟเออร์ดังแสดงในรูปที่ 3 (ก) พบว่ามีสีเหลืองเข้ม และสีของเปลวไฟที่ออกจากชุดกรองแก๊สเชื้อเพลิงก่อนจะนำโพรวินเซอร์แก๊สส่งเข้าไปในท่อไอเสียดังแสดงในรูปที่ 3 (ข) พบว่ามีสีเหลืองอมชมพู ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแก๊สเชื้อเพลิงมีความสะอาดขึ้นและปริมาณน้ำมันดินลดลง [2, 3]



รูปที่ 2 อุณหภูมิต่างๆ ของโพรวินเซอร์แก๊สเมื่อผ่านเข้าระบบผลิตโพรวินเซอร์แก๊ส



(ก) เปลวไฟของแก๊สที่ไม่สะอาด

(ข) เปลวไฟของแก๊สที่สะอาด

รูปที่ 3 สีของเปลวไฟจากโพรวินเซอร์แก๊ส

เมื่อนำโพรวินเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จากเตาแก๊สซีไฟเออร์ มาวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สต่างๆ ด้วยเครื่อง Gas Chromatography พบว่า โพรวินเซอร์แก๊สนี้ มีองค์

ประกอบของแก๊สต่างๆ และค่าความร้อนสูงสุดของเชื้อเพลิง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบเฉลี่ยของโปรตีนเซอร์แก๊ส

ชนิดของแก๊ส	องค์ประกอบแก๊ส (%) โดยปริมาตร
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	5.08
ไฮโดรเจน (H ₂)	14.75
มีเทน (CH ₄)	7.23
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	13.32
ค่าความร้อนสูง (HHV)	5.40 MJ/m ³

2.2 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เครื่องยนต์แก๊สโซลีนหนึ่งสูบสี่จังหวะระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบคาร์บูเรเตอร์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องยนต์ขนาด 3 kW แบบ 1 เฟส 220 Volt โดยข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 2 โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้จะต่อกับระบบผลิตโปรตีนเซอร์แก๊ส ดังแสดงในรูปที่ 1

ตารางที่ 2 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Engine	Engine Model	170F
	Engine Type	เครื่องยนต์สูบเดียว, 4 จังหวะ
	Displacement (cc)	210
	Max. Output (kW)	5.1
	Compression Ratio	8.5:1
	Ignition System	Transistor magneto
	Starting System	Recoil/Electric
	Continuous operation time (h)	10
	Lube. Oil Capacity (L)	0.6
	A.C. Output Voltage (V)	220/110
	Rated A.C. Output (kW)	2.8
	Max. A.C. Output (kW)	3
Generator	A.C. Frequency (Hz)	50/60
	A.C. Output Voltage (V)	220/110
	Rated A.C. Output (kW)	2.8
	Max. A.C. Output (kW)	3

ในการทดลองนี้ ภาระงานที่ใช้สำหรับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้น จะใช้ชุดควบคุมภาระงานทางไฟฟ้าที่ออกแบบเป็นวงจรไฟฟ้าแบบผสม และใช้หลอดไฟสองแบบคือ หลอดไฟแบบ 25 วัตต์ และแบบสปอร์ตไลท์ 500 วัตต์ โดยติดตั้งสวิตช์กับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อปรับกำลังไฟฟ้าในช่วง 0.5, 0.7, 1.0 และ 1.2 kW

ขั้นตอนการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้น เริ่มต้นจากการอุ่นเครื่องยนต์เป็นเวลา 15 นาที ต่อมาทำการทดสอบ โดยเริ่มต้นจากการทดสอบการใช้น้ำมันแก๊สโซลีน 91 (G91) เป็นเชื้อเพลิง โดยใช้กระบอกน้ำมันขนาด 1,000 ml เพื่อวัดปริมาณเชื้อเพลิง และปรับกำลังไฟฟ้าตามที่ได้กำหนดไว้ตามความเร็วรอบของการทดสอบจาก 1,900 ถึง 3,300 rpm และทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ข้อมูลความเร็วรอบของเครื่องยนต์ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง และอุณหภูมิต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศเข้าท่อร่วมไอดี อุณหภูมิครีบหล่อเย็น และอุณหภูมิแก๊สไอเสีย และนำไปคำนวณสมรรถนะของเครื่องยนต์

หลังจากนั้น 15 นาที ก็ทำการสลับเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นโปรตีนเซอร์แก๊ส (PG) โดยใช้ชุดวัดอัตราการไหลซึ่งประกอบด้วยแผ่นออริฟิสและมานอมิเตอร์ต่อผ่านวาล์วเข้าไปที่ห้องผสมแบบสามทางท่ามุม 90 องศา และสุดท้ายตรวจสอบการใช้โปรตีนเซอร์แก๊ส โดยการปรับอัตราส่วนของโปรตีนเซอร์แก๊สผ่านวาล์วให้มีร้อยละ 20 และ 40 เพื่อใช้ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซลีน 91 และทำการทดสอบสถานะเดียวกับการทดสอบน้ำมันแก๊สโซลีน 91

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

สมรรถนะของเครื่องยนต์ [7] นั้นจะพิจารณาจากค่าความดันยังผลเฉลี่ย (BMEP) ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC) และประสิทธิภาพทางความร้อน (η_{th}) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$BMEP = \frac{P_{ele} \cdot n_r}{V_d \cdot N} \quad (1)$$

$$BSFC = \frac{\dot{m}_f}{P_{ele}} \quad (2)$$

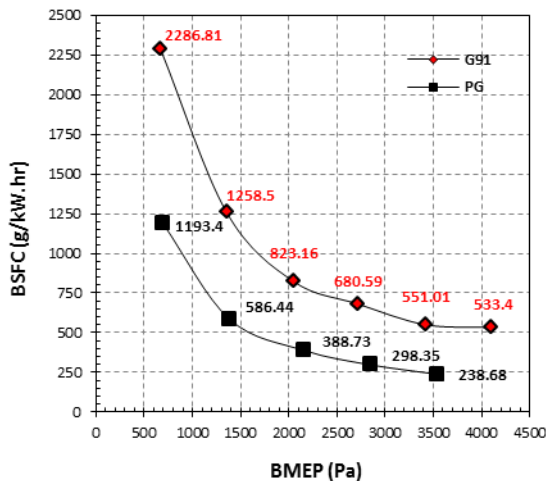
$$\eta_{th} = \frac{P_{ele}}{\dot{m}_f \cdot HHV} \quad (3)$$

โดยที่

- $BMEP$ คือ ความดันยังผลเฉลี่ย (Pa)
- $BSFC$ คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (g/kW.h)
- η_{th} คือ ประสิทธิภาพทางความร้อน (%)
- P_{ele} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kW)
- n_r คือ จำนวนความเร็วยรอบการหมุนของเพลาช้อ
- เหวี่ยงที่ให้กำลังงานหนึ่งรอบต่อวัฏจักร
- V_d คือ ปริมาตรกระจัด (m^3)
- N คือ ความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ (rpm)
- \dot{m}_f คือ อัตราการไหลของน้ำมัน (kg/sec)
- HHV คือ ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง (MJ/kg)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $BSFC$ และ $BMEP$ ที่ได้มาจากการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ไพรอติวเซอร์แก๊ส (PG) เทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (G91) แสดงในรูปที่ 4 โดยทำการปรับความเร็วยรอบของเครื่องยนต์จาก 1,900 ถึง 3,300 rpm และเพิ่มภาระงานทางไฟฟ้าจาก 0.5 ถึง 1.2 kW

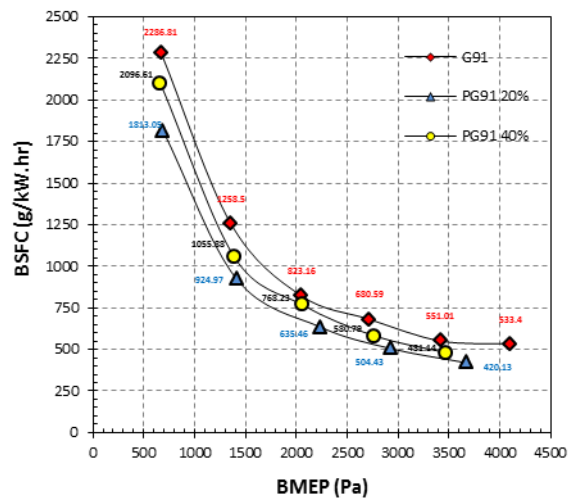


รูปที่ 4 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเมื่อใช้ไพรอติวเซอร์แก๊สเทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91

ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ค่า $BMEP$ ที่ใช้ไพรอติวเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิงนั้นลดลงร้อยละ 14.54 เมื่อเทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ที่ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด เนื่องจากในการทดสอบนี้ใช้อัตราส่วนผสมมวล 0.14 ซึ่งมีอัตราการผลิตความร้อนที่สามารถทำให้เครื่องยนต์จุดระเบิดทำงานได้ ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการใช้ไพรอติวเซอร์แก๊สต่ำ

กว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 นั้น เนื่องจากค่าความร้อนของไพรอติวเซอร์แก๊สต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ประมาณ 9 เท่า [2] นอกจากนี้ ค่าพลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์เมื่อใช้ไพรอติวเซอร์แก๊สเท่ากับ 0.28 kW ขณะที่ค่าพลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์เมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เท่ากับ 7.82 kW เมื่อทดสอบที่ภาระงานทางไฟฟ้าเท่ากัน จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตให้ออกมาจากการใช้ไพรอติวเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ส่งผลให้ค่า $BMEP$ ลดลง

ขณะที่ค่า $BSFC$ จากการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 จะมีความสิ้นเปลืองมากที่สุด ส่วนค่า $BSFC$ จากการใช้ไพรอติวเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิงนั้นลดลงร้อยละ 47.81 เมื่อเทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ที่ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการใช้ไพรอติวเซอร์แก๊สนั้นต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ยิ่งไปกว่านั้น อัตราการไหลของไพรอติวเซอร์แก๊สที่มาจากชุดผลิตแก๊สไหลได้ช้า และค่าความร้อนของไพรอติวเซอร์แก๊สต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ทำให้ค่า $BSFC$ ที่ให้ออกมาจากการใช้ไพรอติวเซอร์น้อยกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 [2, 5, 6]



รูปที่ 5 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเมื่อใช้ไพรอติวเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91

ในรูปที่ 5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $BSFC$ และ $BMEP$ ที่ได้มาจากการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ไพรอติวเซอร์แก๊สร้อยละ 20 และ 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (PG91 20% และ PG91 40%) เทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (G91) โดยใช้ อัตราส่วนผสมมวลในช่วง 0.14 ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าพลังงาน

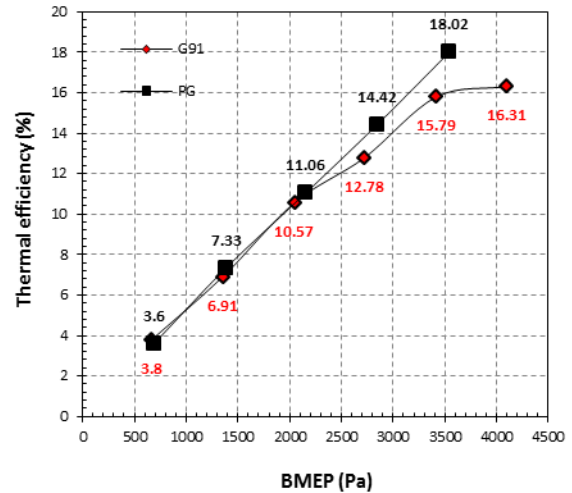
ความร้อนที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์เมื่อใช้โพรพิลีนแก๊ส ร้อยละ 20 และ 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ลดลงตามปริมาณโพรพิลีนแก๊สที่เพิ่มขึ้น โดยพลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ลดลงร้อยละ 17.32 และ 32.56 เมื่อเทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ขณะที่การเพิ่มปริมาณโพรพิลีนแก๊สมากกว่าร้อยละ 40 เมื่อใช้ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 พบว่า เครื่องยนต์มีการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง และหยุดการทำงานลง เนื่องจากสารผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกันของโพรพิลีนแก๊สและน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศและมีการจุดประกายไฟของหัวเทียน ทำให้เวลาในการจุดระเบิดและความเร็วของการเผาไหม้ของโพรพิลีนแก๊สเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ส่งผลให้เกิดการน็อกเพิ่มขึ้น และเครื่องยนต์หยุดการทำงาน [2, 5]

ขณะที่ค่า *BMEP* จากการใช้โพรพิลีนแก๊สร้อยละ 20 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (PG91 20%) สูงกว่าการใช้โพรพิลีนแก๊สร้อยละ 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (PG91 40%) และโพรพิลีนแก๊ส (PG) เนื่องจากการใช้โพรพิลีนแก๊สร้อยละ 20 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 นั้น ทำให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกันเมื่อทำปฏิกิริยากับอากาศและมีการจุดประกายไฟของหัวเทียน ส่งผลให้เวลาในการจุดระเบิดเร็วขึ้น นอกจากนี้ ยังมีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสูงกว่า ทำให้ผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าเชื้อเพลิงทั้งสอง

ขณะที่ค่า *BSFC* จากการใช้โพรพิลีนแก๊สร้อยละ 20 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ลดลง เนื่องจากการใช้โพรพิลีนแก๊สร้อยละ 20 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 นั้น มีพลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์และกำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมาน้อยกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ดังนั้น การใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 นั้นจึงมีค่า *BSFC* มากที่สุด รองลงมาคือการใช้โพรพิลีนแก๊สร้อยละ 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 และสุดท้ายคือการใช้โพรพิลีนแก๊สร้อยละ 20 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 อย่างไรก็ตาม การใช้โพรพิลีนแก๊สเพียงอย่างเดียว นั้นจะมีค่า *BSFC* น้อยสุด โดยค่า *BSFC* จากการใช้ PG91 20% ลดลงร้อยละ 20.70 และค่า *BSFC* จากการใช้ PG91 40% ลดลงร้อยละ 8.32 เมื่อเทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ที่ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด

ในรูปที่ 6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพทางความร้อนและค่า *BMEP* ที่ได้มาจากการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้โพรพิลีนแก๊ส

(PG) เทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 (G91) โดยทำการปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์จาก 1,900 ถึง 3,300 rpm และเพิ่มภาระงานทางไฟฟ้าจาก 0.5 ถึง 1.2 kW และใช้ค่าอัตราส่วนสมมูล 0.14



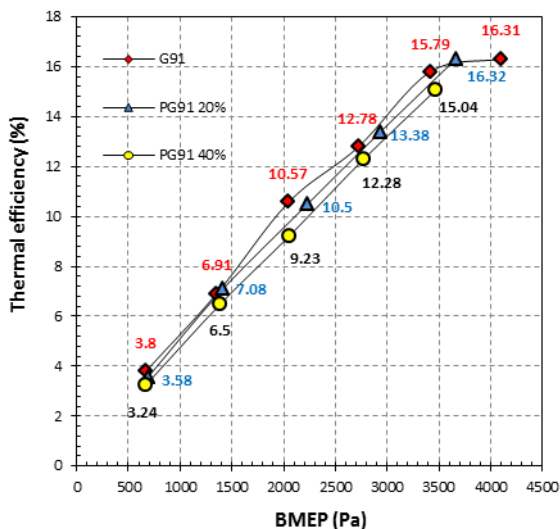
รูปที่ 6 ประสิทธิภาพทางความร้อนเมื่อใช้โพรพิลีนแก๊สเทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91

ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า *BMEP* เพิ่มขึ้น และการใช้โพรพิลีนแก๊สจะมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุด โดยค่าประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้โพรพิลีนแก๊สเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.12 เมื่อเทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ที่ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และค่าความร้อนของโพรพิลีนแก๊สต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 แต่อัตราการใช้พลังงานจากโพรพิลีนแก๊สสูงกว่าอัตราการใช้พลังงานจากน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 และความเร็วการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด มีค่าแตกต่างกัน โดยความเร็วของการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ที่ใช้โพรพิลีนแก๊สจะรวดเร็วกว่าความเร็วการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ประมาณ 3-3.5 เท่า [8, 9] เมื่อความเร็วของการเผาไหม้โพรพิลีนแก๊สรวดเร็วกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ดังนั้นการเริ่มต้นของการจุดระเบิดเร็วขึ้น ทำให้การลุกลามของเปลวไฟเร็วขึ้น ส่งผลให้ความล่าช้าการจุดระเบิดลดลง ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น [8, 9, 10]

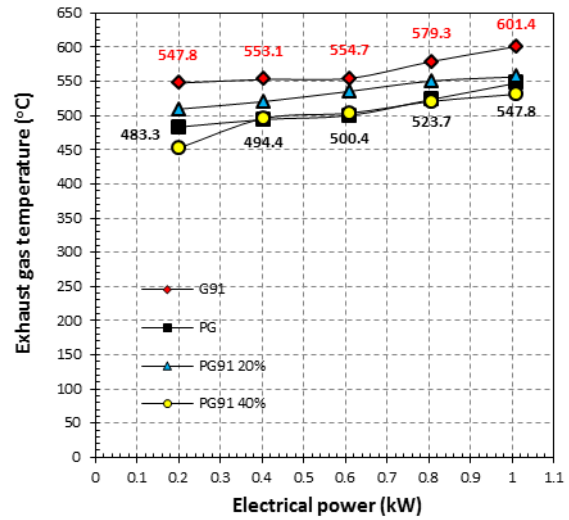
ในรูปที่ 7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพทางความร้อนและค่า *BMEP* ที่ได้มาจากการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้โพรพิลีนแก๊สร้อยละ 20 และ 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91

เทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้โพรพิลเซอร์แก๊ส ร้อยละ 20 และ 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 นั้น ต่ำกว่าการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เป็นเชื้อเพลิง โดยที่ค่า ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้โพรพิลเซอร์แก๊ส ร้อยละ 20 และ 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ลดลง เล็กน้อยคือร้อยละ 3.36 และ 4.75 เมื่อเทียบกับน้ำมัน แก๊สโซฮอล์ 91 ที่ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากค่า พลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์และกำลังไฟฟ้า ที่ผลิตได้จากการใช้โพรพิลเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันแก๊ส โซฮอล์ 91 นั้นต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 [1, 5]

ต่อมา ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิแก๊สไอเสีย กับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้แสดงในรูปที่ 8 เมื่อใช้ โพรพิลเซอร์แก๊ส และโพรพิลเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันแก๊ส โซฮอล์ 91 เทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 โดยทำการปรับ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์จาก 1,900 ถึง 3,300 rpm เพิ่มภาระงานทางไฟฟ้าจาก 0.5 ถึง 1.2 kW และใช้ค่า อัตราส่วนสมมูล 0.14 ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าอุณหภูมิแก๊สไอ เสียเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้จากเครื่อง กำเนิดไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบการ ปลดปล่อยความร้อนจากอุณหภูมิแก๊สไอเสียของ เครื่องยนต์พบว่า การใช้โพรพิลเซอร์แก๊ส และโพรพิลเซอร์ แก๊สร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 นั้นให้ค่าอุณหภูมิแก๊ส ไอเสียลดลงร้อยละ 8.27 ถึง 15.35 เมื่อเทียบกับน้ำมัน แก๊สโซฮอล์ 91 ที่ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพทางความร้อนเมื่อใช้โพรพิลเซอร์ แก๊สร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91



รูปที่ 8 อุณหภูมิแก๊สไอเสียเมื่อใช้โพรพิลเซอร์แก๊ส และ โพรพิลเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91

สาเหตุที่อุณหภูมิแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์จากการ ใช้โพรพิลเซอร์แก๊ส และโพรพิลเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมัน แก๊สโซฮอล์ 91 ลดลงนั้น เนื่องจากอัตราการเผาไหม้และ ความเร็วของเปลวไฟที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบจากการ ใช้โพรพิลเซอร์แก๊ส และโพรพิลเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมัน แก๊สโซฮอล์ 91 นั้นเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าการเผาไหม้น้ำมัน แก๊สโซฮอล์ 91 ส่งผลให้อุณหภูมิการเผาไหม้ลดลง และ อุณหภูมิแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ลดลง [1, 5]

4. สรุป

จากผลการศึกษาสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ ใช้โพรพิลเซอร์แก๊สและโพรพิลเซอร์แก๊สร้อยละ 20 และ 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 เทียบกับน้ำมันแก๊ส โซฮอล์ 91 สามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 ค่าความดันยังผลเฉลี่ย และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะจากการใช้โพรพิลเซอร์แก๊สลดลงร้อยละ 14.54 และ 47.81 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ที่ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด

4.2 ค่าความดันยังผลเฉลี่ยจากการใช้โพรพิลเซอร์แก๊ส ร้อยละ 20 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 มีค่ามากกว่าการ ใช้โพรพิลเซอร์แก๊สและโพรพิลเซอร์แก๊สร้อยละ 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 91 ทั้งนี้เนื่องจากมีสัดส่วนของ การผสมเป็นเนื้อเดียวกันและเป็นจุดเหมาะสมสำหรับการ ใช้อัตราการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงที่ 8.67 kg/s

4.3 ประสิทธิภาพทางความร้อนจากการใช้โพรติวเซอร์แก๊สเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.12 เมื่อเทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ 91 ที่ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด แต่การใช้โพรติวเซอร์แก๊สร้อยละ 20 และ 40 ร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ 91 ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลงต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ 91

4.4 การใช้โพรติวเซอร์แก๊ส และโพรติวเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ 91 นั้น ให้ค่าอุณหภูมิแก๊สไอเสียลดลงร้อยละ 8.27 ถึง 15.35 เมื่อเทียบกับน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ 91 ที่ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานแผนพลังงานทดแทน กลุ่มงานพัฒนาบุคลากร ปีงบประมาณ ๒๕๕๗ โครงการสนับสนุนทุนวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา และสำเร็จได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน และขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนการนำเสนองานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Malik, A and Mohapatra, S.K. (2013) Biomass-based gasifiers for internal combustion (IC) engines - A review, *Sadhana*, vol. 38(3), June 2013, pp. 461-476.
- [2] วีรยุทธ ฐาปนาพงษ์ และ สุรัชย์ สนิทใจ (2556). อิทธิพลของอัตราส่วนสมมูลของโพรติวเซอร์แก๊สต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27, 16-18 ตุลาคม 2556 อำเภอพัทลุง จังหวัดชลบุรี.
- [3] ธนินทร์รัฐ วงกตวรินทร์, พชร โอมพรนุวัฒน์ และสิทธา วัชร เอี่ยมสิริลักษณ์ (2555). การพัฒนาชุดแก๊สซิฟายด์ขนาดเล็กสำหรับใช้ในครัวเรือน. ปรินูญยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [4] นฤเบศร์ หนูใสพิเชษฐ์ และศศิธิชัย วงษ์หน่อ (2553). การออกแบบและสร้างเตาแก๊สซิฟิเออร์ขนาดเล็กสำหรับ

ผลิตกระแสไฟฟ้า. รายงานวิจัยมหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่.

- [5] Ajay, S., Radhakrishnan, S., Suminto, D.F. and Eugene, P.C. (2010). Performance and emissions of a spark-ignited engine driven generator on biomass based syngas, *Bioresource Technology*, February 2010, Vol. 101, pp. 4656-4661.
- [6] Kumar, A. and Kumar, R. (2013). Performance evaluation of downdraft gasifier for generation of engine quality gas. *Natural Resources and Conservation*, vol. 1(2), pp. 50-54.
- [7] Heywood, J.B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw Hill, New York, pp. 39-77.
- [8] Burke, M.P., Qin, X., Ju, Y. and Dryer, F.L. (2007). Measurement of hydrogen syngas flame speeds at elevated pressures, *5th US Combustion Meeting*, March 2007.
- [9] Jerzembek, S., Peters, N., Petiot-Desjardins, P. and Pitsch, H. (2008) Laminar burning velocities at high pressure for primary reference fuels and gasoline, *Combustion and Flame*, vol. 156, December 2008, pp. 292-301.
- [10] Martinez, J.D., Mahkamov, K., Andrade, R.V and Silva Lora, E.E. (2012). Syngas production in downdraft biomass gasifiers and its application using internal combustion engines. *Renewable Energy*, vol. 38, August 2011, pp. 1-9.