บทคัดย่อ

209867

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษา ออกแบบพัฒนา และทดสอบหาสมรรถนะของเครื่องกังหันก๊าซขนาดเล็กแบบเพลากำลังอิสระ เพื่อรองรับขนาดการผลิตกำลังงานไฟฟ้าในช่วง 5-15 kW มุ่งเน้นการดัดแปลงวัสดุและอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ตามแหล่งต่างๆในประเทศ โดยอาศัยหลักการทางอุณหพลศาสตร์คำนวณวัฏจักรขั้นต้นอย่างง่าย ด้วยหลักการทำงานของกังหันก๊าซแบบเพลาแยก หรือเพลากำลังอิสระ ร่วมกับข้อมูลจากผังคุณลักษณะชุดอัดอากาศที่มีขนาดใบพัดใกล้เคียงกันกับรุ่นที่หาได้สะดวก เพื่อออกแบบและตรวจสอบการเลือกขนาดเทอร์โบชาร์จเจอร์ที่เหมาะสมกับขนาดกำลังการผลิตของเครื่องยนต์ที่ต้องการ ซึ่งในการในงานวิจัยได้เลือกใช้เทอร์โบชาร์จเจอร์รุ่น MHI TF08-2 ซึ่งเป็นเทอร์โบชาร์จเจอร์แบบแปรผันด้านโข่งไอเสีย ความเร็วรอบใช้งานสูงสุดไม่เกิน 96,000 rpm ด้วยการคำนวณวัฏจักรขั้นต้น โดยอาศัยข้อมูลจากผังคุณลักษณะชุดอัดอากาศของเทอร์โบชาร์จเจอร์รุ่น GT42 94 mm, 56-trim แล้วทำการออกแบบสร้างห้องเผาไหม้แบบต่อเนื่องแบบไซโล ติดตั้งระหว่างชุดอัดอากาศและกังหันของเทอร์โบชาร์จเจอร์เป็นชุดกำเนิดก๊าซร้อน ต่อชนเข้ากับชุดกังหันกำลัง ซึ่งเป็นชนิดกังหันดลแบบไหลออกตามแนวรัศมี มีรอบการทำงานไม่เกิน 6,000 rpm และใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ โดยในการศึกษาสมรรถนะการทำงานได้แบ่งออกเป็นสองส่วนหลักได้แก่ ส่วนของชุดกำเนิดก๊าซร้อน และส่วนของเครื่องยนต์ทั้งระบบอันประกอบไปด้วยชุดกำเนิดก๊าซร้อนติดตั้งใช้งานกับชุดกังหันกำลัง โดยในส่วนชุดกำเนิดก๊าซร้อนนั้น จะอาศัยการปรับวาล์วไอเสียที่ติดตั้งเพิ่มเติมที่ด้านท้ายของชุดกำเนิดก๊าซเพื่อจำลองเป็นภาระเทียม และการทดสอบเครื่องกังหันก๊าซทั้งระบบด้วยการใช้ชุดเจนเนอเรเตอร์กำเนิดกระแสไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 7 kVA รอบการทำงานสูงสุด 3,000 rpm เป็นตัวดูดซับกำลังงานกลที่ผลิตได้จากเพลาหมุนของชุดกังหันกำลังซึ่งปรับภาระทางไฟฟ้าได้

ผลการทดลองสมรรถนะพบว่า ชุดกำเนิดก๊าซร้อนสามารถทำงานได้อย่างมั่นคงในช่วงที่ได้ทำการคำนวณออกแบบไว้ขั้นต้น แต่สำหรับสมรรถนะในการผลิตกำลังงานกล และประสิทธิภาพเชิง

ความร้อนของเครื่องกังหันก๊าซต้นแบบขนาดเล็กทั้งระบบ ที่มีค่าต่ำกว่าจากที่ได้ออกแบบไว้มาก ก็เนื่องมาจากการลดทอนของประสิทธิภาพของชุดกังหันกำลังที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นส่วนสำคัญ โดยมีช่วงการทำงานของชุดกำเนิดก๊าซร้อนที่ความเร็วรอบ ได้ตั้งแต่ 36,000 - 85,000 rpm สำหรับการทดสอบที่ความเร็วปรับแก้ 48,978-78,339 rpm ด้วยสภาวะการเปิด Nozzle Guide Vane (NGV) 3 ตำแหน่งได้แก่ 25%, 50% และ 75% สามารถผลิตกำลังงานในก๊าซร้อนได้สูงสุด 17.4063 kW คิดเป็นกำลังงานจำเพาะ 49.71 kW-s/kg มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 8.08% หรือเป็นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ต่ำสุด 0.8630 kg/kW-h (LPG-51,600 kJ/kg LHV) แสดงได้เป็นอัตราการปลดปล่อยความร้อนจากเชื้อเพลิงต่อกำลังการผลิต 44.5 MJ/kW-h ให้อุณหภูมิก๊าซไอเสีย 889.3 K (612.1°C) และปริมาณก๊าซไอเสีย 0.3584 kg/s ด้วยอัตราส่วนความดันอากาศ 2.1756 เท่าบรรยากาศ อัตราส่วนอุณหภูมิก๊าซร้อนหลังเผาไหม้ต่ออุณหภูมิบรรยากาศ 3.3009 และมีความดันย้อนกลับกระทำด้านท้ายกังหันสูงสุด 123.9598 kPa โดยการนำไปประยุกต์ใช้งานขับเคลื่อนกังหันกำลังให้มีกำลังการผลิตมากกว่า 5 kW ควรมีการออกแบบให้มีความดันย้อนกลับกระทำกับด้านท้ายชุดกำเนิดก๊าซร้อนมากกว่า 111.3529 kPa ด้วยความเร็วรอบปรับแก้ตั้งแต่ 58,750 rpm เปิดพื้นที่ NGV กว้างกว่า 50% ขึ้นไป แต่ในกรณีที่พิจารณาเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็นหลัก ควรทำการออกแบบใช้งานที่สภาวะความเร็วรอบตั้งแต่ 78,339 rpm ด้วยตำแหน่งการเปิด NGV 50% เป็นต้นไป ให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเริ่มเข้าสู่ค่าคงที่ได้สูงสุด 7.64% ณ กำลังงานผลิต 15.26 kW และความดันย้อนกลับด้านท้ายชุดกำเนิดก๊าซร้อนตั้งแต่ 123.6655 kPa เป็นต้นไป

สำหรับสมรรถนะการทำงานเครื่องกังหันก๊าซต้นแบบขนาดเล็กทั้งระบบมีกำลังงานผลิตสูงสุด 0.6108 kW ที่ความเร็วรอบ 2,715 rpm ที่สภาวะชุดกำเนิดก๊าซร้อน 68,750 rpm ตำแหน่งการเปิด NGV 50% แรงบิดสูงสุด 2.39 N-m ที่ความเร็วรอบ 2,004 rpm และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อไปอีกแบบเชิงเส้นตามการลดลงของความเร็วรอบที่สภาวะชุดกำเนิดก๊าซร้อนจุดเดียวกัน พร้อมด้วยประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 0.55% ซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนชุดกำเนิดก๊าซและกังหันกำลังสูงสุดได้แก่ 5.04% และ 10.94% ตามลำดับ คิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำสุด 12.75 kg/kW-h หรืออัตราการปลดปล่อยความร้อนต่ำสุด 657.95 MJ/kW-h และที่สภาวะชุดกำเนิดก๊าซร้อน 58,750 rpm ตำแหน่งการเปิด NGV 75% มีอุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงสุด 879.8 K (606.6°C) ด้วยอัตราก๊าซร้อน 0.2035 kg/s ที่ความเร็วรอบ 2,851 rpm และมีปริมาณก๊าซไอเสียสูงสุดในอัตรา 0.2349 kg/s ที่ความเร็วรอบ 1,948 rpm ที่สภาวะชุดกำเนิดก๊าซร้อน 68,750 rpm ที่ตำแหน่งการเปิด NGV 50% ทั้งนี้พบปัญหาเรื่องการสั่นสะเทือนของชุดโรเตอร์กังหันกำลัง ที่สภาวะชุดกำเนิดก๊าซร้อนในย่านความเร็วรอบปรับแก้สูงกว่า 68,750 rpm

This research objective was to study the design, develop and performance parameter testing analysis of a free-shaft small gas turbine supporting for 5-15 kW-rated electrical power generation. It emphasized on the modification of equipments and materials those are locally available. By thermodynamic simple cycle considering of free-shaft or separated-shaft power gas turbine and relying on the data in the dimensional-similar compressor characteristic that closed to ones those are ordinary available in the after market places, the analytical of cycle design and turbocharger sizing for rating was performed. As a result, the MHI TF08-2 turbocharger, the turbine geometry variable type was chosen in this research of which the calculated maximum rotor speed was 96,000 rpm by preliminary cycle design calculation based on the GT42 94 mm, 56-trim compressor characteristic. The silo-type combustion chamber was developed and installed between compressor and turbine of the turbocharger as a gas generator unit. The gas generator was coupling with the developed impulse radial-outflow power turbine with the maximum speed of 6,000 rpm. The free-shaft-power small gas turbine was tested with LPG as a fuel. The study of performance parameters were separated in two stages. Firstly, the gas generator parameter performance rig was test by adjusting the exhaust valve producing back pressure as simulated load on the gas producing unit, and the overall parameter performance rig test for the second, employing the 7 kVA generator with maximum speed, which is not higher than 3,000 rpm the power turbine shaft power absorption could be varied by adjusting the electrical load.

From the experimental results the first stage shows that the gas generator was operated in smooth and steady manner, and it satisfied the preliminary design calculation, but the power output

and thermal efficiency of the overall unit was much lower than the preliminary calculation corresponding to the degradation from the low-efficient power turbine as a major factor. The overall operational range of gas generator was 36,000-85,000 rpm. By Testing in the corrected speed range of 48,978-78,339 rpm and nozzle guide vane (NGV) opening of 25%, 50% and 75%, the maximum gas power output was 17.4063 kW as the specific power of 49.71 kW-s/kg. The result of maximum thermal efficiency was 8.08%, in other word, the minimum specific fuel consumption was 0.8630 kg/kW-h (LPG-51,600 kJ/kg LHV) and was equivalent to 44.5 MJ/kW-h heat rate. Producing 889.3 K (612.1°C) and 0.3548 kg/s exhaust gas by employing the 2.1756 pressure ratio, turbine inlet temperature ratio of 3.3009 and compressor turbine back pressure was maximum at 123.9598 kPa, all in the rotor corrected speed of 78,339 rpm and 75% NGV opening. Applying to propel the power turbine for generating over than 5 kW power output, the gas generator back pressure might be larger than 111.3529 kPa and rely the correct speed from 58,750 rpm with NGV opening not less than 50%. Another point of view, by thermal efficiency optimization, the gas generator operational speed was recommended from 78,339 rpm and NGV opening 50% here-after approaching to nearly-constant 7.64% thermal efficiency by producing gas power from 15.26 kW with the back pressure of 123.6655 kPa.

Secondly, the over all free-shaft power small gas turbine performance testing has the result that the maximum power output was 0.6108 kW on the rotating speed of 2,715 rpm and gas generator operation in 68,750 rpm with NGV opening of 50%. The maximum correct torque was 2.39 N-m generated at speed of 2,004 rpm of which the gas generator was running at the same setting with the 0.55% as a maximum thermal efficiency consisted of 5.04% gas generator and 10.94% power turbine thermal efficiency. It leads to the lowest specific fuel consumption to 12.75 kg/kW-h, or in another word, 657.95 MJ/kW-h heat rate, and at the gas generator operation of 58,750 rpm with 75% NGV opening, the exhaust temperature reached to the maximum, 879.8 K (606.6°C) with the rate of 0.2035 kg/s by the 2,851 rpm power turbine speed. As the maximum flow rate of 0.2349 kg/s, the power turbine was running at 1,948 rpm simultaneously, the gas generator unit was set to 68,750 rpm and 50% NGV opening. The assembled machine has the severe vibration of power turbine rotor that in operation on gas generator running speed over than 68,750 rpm-corrected from the testing.