Thesis Title Simulation of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell and Internal Combustion Engine Power Source Hybrid System

Author Mr. Winai Chanpeng

Degree Doctor of Philosophy (Mechanical Engineering)

Thesis Advisory Committee

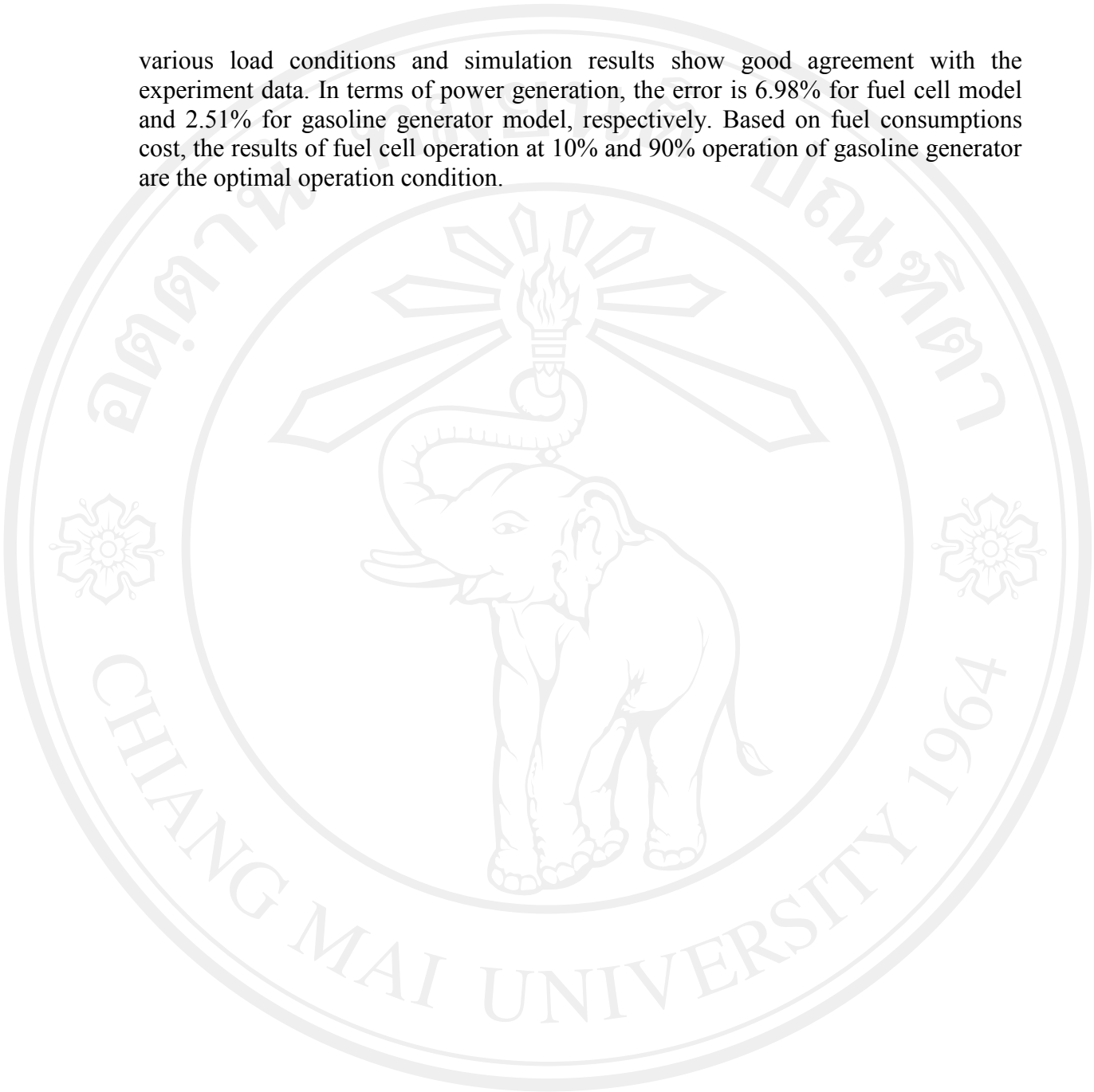
Asst. Prof. Dr. Yottana Khunatorn Advisor
Asso. Prof. Dr. Nakorn Tippayawong Co-advisor
Asst.Prof. Dr. Chatchawan Chaichana Co-advisor

ABSTRACT

This research aims to introduce a new hybrid power source system between proton exchange membrane fuel cell and gasoline generator, and to find the optimal operation technique of the hybrid system. The research involves study behavior and performance of a hybrid power sources system, experiments on the hybrid power source system, and determination of operation strategy for optimal performance of the hybrid system. In order to understand behavior and performance of a hybrid system, a mathematical model of the hybrid system with two sub-models was developed. The first sub-model is the stack fuel cell model with maximum power 1200 kW which is based on conservations of energy, mass, and electrochemical equation and the second sub-model is the gasoline generator model from which a data. A dynamic model of fuel consumption is developed based on experimental data. The fuel cell model can be used to predict the effects of various parameters on PEM fuel cell performance. From the simulation, following results are observed: Increasing the operating pressure of hydrogen from 1 to 3 bars will increase the average output voltage by 0.02V. Increasing the operating temperature from 40℃ to 80℃ will result in the decrease of the average output voltage by 0.04V. Increasing the transfer coefficient which lowers the activation losses of the fuel cell potential results in the increase of average output voltage by 0.26V. Decreasing an exchange current density from $3x10^{-4}$ to $3x10^{-8}$ A/cm^2, which in effect lowers the activation losses, results in the increase of average output voltage by 0.05V. The increase of internal resistance from 0.1 to 0.2 Ω/cm^2 results in the decrease of average output voltage by 0.03V. Increasing the limiting current density from 1.4 to 1.7A/cm^2, which affects concentration losses of the fuel cell potential, results in the increase of average output voltage by 0.10V. The operating concept of the model has been studied in 3 cases. Experiment was set up to verify the model. It composes of Nexa^{TM} 1200 watts stack fuel cell with maximum current at 45A and a gasoline generator with 2.7kW at maximum rate power, 3600 rpm. The tests are conducted for various load conditions. The hybrid model can predict the behavior of the fuel cell, gasoline generator and hybrid system under

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

various load conditions and simulation results show good agreement with the experiment data. In terms of power generation, the error is 6.98% for fuel cell model and 2.51% for gasoline generator model, respectively. Based on fuel consumptions cost, the results of fuel cell operation at 10% and 90% operation of gasoline generator are the optimal operation condition.



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ การจำลองระบบผสมต้นกำลังร่วมเซลล์เชื้อเพลิงเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนและเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน

ผู้เขียน นายวินัย จันทร์เพ็ง

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.ยศธนา คุณาทร	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
รศ.ดร.นคร ทิพยาวงศ์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ผศ.ดร.ชัชวาลย์ ชัยชนะ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบพลังงานร่วมแบบใหม่ ระหว่างเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนและเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และหาเทคนิคการทำงานของระบบพลังงานร่วมที่เหมาะสม โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมและสมรรถนะของระบบพลังงานร่วม ซึ่งได้ทดสอบระบบพลังงานร่วมและหากลยุทธ์การทำงานที่เหมาะสมของระบบพลังงานร่วม การที่จะเข้าใจในพฤติกรรมและสมรรถนะของระบบพลังงานร่วมนี้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบพลังงานร่วมได้ถูกพัฒนาขึ้น แบบจำลอง การทำงานของระบบพลังงานร่วมประกอบด้วยสองแบบจำลองย่อย แบบจำลองแรกคือแบบจำลองของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1200 วัตต์ อยู่บนพื้นฐานของสมการสมดุลพลังงาน สมดุล มวลและสมการสมดุลปฏิกิริยาเคมี แบบจำลองที่สองคือแบบจำลองของเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง อยู่บนพื้นฐานข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และแบบจำลองพลศาสตร์ของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของข้อมูลจากการทดลอง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์เชื้อเพลิง สามารถทำนายผลกระทบของตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง จากการสังเกตผลที่ได้จากแบบจำลอง การเพิ่มขึ้นของความดันทำงานของไฮโดรเจนจาก 1 บาร์ ถึง 3 บาร์ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.02 โวลต์ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการทำงานจาก 40 °C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถึง 80 ℃ ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งมีผลให้แรงดันไฟฟ้าลดลงเฉลี่ย 0.04 โวลต์ การเพิ่มขึ้นของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านอิเล็กตรอนส่งผลให้การสูญเสียของการเกิดปฏิกิริยาต่ำลง ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้เพลิงเพิ่มขึ้น 0.26 โวลต์ การลดลงของความหนาแน่นการแลกเปลี่ยนกระแสจาก $3x10^{-4}$ ถึง $3x10^{-8}$ A/cm^2 จะลดการสูญเสียการเกิดปฏิกิริยาลง เป็นผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.05 โวลต์ การเพิ่มขึ้นของความต้านทานภายในของระบบจาก 0.1 ถึง 0.2 Ω/cm^2 ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้ลดลงเฉลี่ย 0.03 โวลต์ การเพิ่มขึ้นของขีดจำกัดความหนาแน่นของกระแสจาก 1.4 ถึง 1.7A/cm^2 ส่งผลกระทบต่อการสูญเสียของการสะสมลดลงทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 0.10 โวลต์ กลยุทธ์การควบคุมการทำงานของระบบพลังงานร่วมถูกศึกษาใน 3 กรณี การทดลองได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้กับแบบจำลอง ในการทดลองใช้เซลล์เชื้อเพลิงยี่ห้อ Nexa^{TM} ขนาดกำลังสูงสุดที่ 1200 วัตต์ ที่ 45 แอมป์ จ่ายพลังงานร่วมกับเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าขนาด 2.7 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วสูงสุด 3600 รอบต่อนาที ทำการทดลองภายใต้การเปลี่ยนแปลงภาระโหลดต่างๆ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำนายพฤติกรรมของเซลล์เชื้อเพลิง เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าและระบบพลังงานร่วมภายใต้สภาวะที่เปลี่ยนแปลง และผลที่ได้มีความสอดคล้องกับข้อมูลการทดลองเป็นอย่างดี ในด้านของกำลังที่ผลิตออกมานั้น ผลของความผิดพลาดในการทำงานจากการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อยู่ที่ 6.98% สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงและ 2.51% สำหรับเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าตามลำดับ เมื่อพิจารณาบนพื้นฐานค่าใช้จ่ายในการใช้ปริมาณเชื้อเพลิง ผลที่ได้แสดงให้เห็นการทำงาน 10%ของเซลล์เชื้อเพลิง 90% การทำงานของเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าเป็นการทำงานของพลังงานร่วมที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved