Thesis Title Water Management in a Strip Cell Stack of Proton Exchange Membrane Fuel Cells

Author Flight Lieutenant Songwut Nirunsin

Degree Doctor of Engineering (Energy Engineering)

Thesis Advisory Committee

Asst. Prof. Dr. Yottana	Khunatorn	Advisor
Asst. Prof. Dr. Nat	Vorayos	Co-advisor
Dr. Natanee Vorayos		Co-advisor

ABSTRACT

Water management is a major problem in proton exchange membrane fuel cell. The objective of this research is to develop the water management strategies in a strip cell stack of proton exchange membrane fuel cell and also one-dimensional numerical model was developed to study the effect of operating parameters on water management and fuel cell performance. A single cell and a three-strip cell stack were designed in direct visualization configuration. The brass current collector plates were machined in a single-serpentine flow field pattern with 1.5 mm of channel width, 2 mm of channel depth and 1.5 mm of channel rib within 25 cm^2 active area. Image processing technique was introduced to quantify the water content inside the flow field channel of a transparent single cell. The video recorder camera and digital camera were used to capture the water images in anode and cathode sides in different fuel cell operating conditions. In this study, the operational control and sequential exhaust control were presented as the water management strategies in a transparent strip cell stack. The individual cell and stack cell voltages in various operating conditions were recorded by using the computer interface system. The experimental results show that the image processing technique can be used to quantify the water content inside the flow field channel in term of water coverage area. The single cell performances in different operating conditions have relationship with the water content inside the cathode flow field channel. The operational controls were performed to study the effect of operating temperature, humidification, oxygen flow rate and pressure on the water management in a transparent strip cell stack. The information of water images and stack cell voltages were simultaneously recorded although the stack cell operating test. The proper operational control provides the best stack cell performance or the most positive shift in the polarization curve. By comparing among these operational controls, the humidification control is a major effect on the performance and water management in a strip cell stack while the minor effects were presented in other operational controls. The voltage losses from water flooding and water dehydration cause of reduction on the stack cell performance. Anode flooding was occurred in low current densities (0.1 A/cm^2- 0.3 A/cm^2). Cathode flooding was precisely observed in medium range of current densities (0.4 A/cm^2 - 0.7 A/cm^2). Water dehydration in anode and cathode sides was detected in

high current densities (0.8 A/cm^2 - 1 A/cm^2). The sequential exhaust control can force the individual cell to push the accumulated water out of the anode and cathode flow channels, uniformly. The experimental results show that the duration of 3 seconds for close and open of solenoid valves provided performance on stack cell operation slightly higher than other duration times. Its performance was increased about 0.34 W/cm^2 or 31.20 percent at 1 A/cm^2 with respect to the operating without sequential exhaust control. Moreover, the sequential exhaust control also improves more reliability on the stack cell operation. The numerical results of proton exchange membrane fuel cell model show that a strip cell stack configuration has higher pressure drop in the flow field channel than the conventional configuration. The Reynolds number for flow field channel and manifolds flow is in the laminar flow region. The wall friction loss is dominated in this stack cell configuration and the gas flow deviation is about 4 % from the average, which is in the acceptable range for the normal stack cell operating condition. The concept of residual term and water balance threshold were newly defined in the present study. At the first attempt, the water generation rate was assigned as a value of water balance threshold. Therefore, the water balance condition and stack cell performance can be predicted from this numerical model. The validation result shows that there is only a small difference between the numerical and experimental result, which is confirmed the validity of this model.

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การจัดการน้ำภายในสแต็กเซลล์แบบแถบของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน
ผู้เขียน	เรืออากาศเอก ทรงวุฒิ นิรัญศิลป์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมพลังงาน)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร.ยศธนา คุณาทร	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
ผศ.ดร.ณัฐ วรยศ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ดร.ณัฐนี วรยศ	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

การจัดการน้ำเป็นปัญหาสำคัญสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากลวิธีในการจัดการน้ำภายในสแต็กเซลล์แบบแถบของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน พร้อมกับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในหนึ่งมิติเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการน้ำและสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง โดยได้ออกแบบเซลล์เดี่ยวและสแต็กเซลล์แบบแถบที่มีจำนวนเซลล์ประกอบกันจำนวนสามเซลล์ให้มีรูปร่างแบบโปร่งใสสามารถมองเห็นภายในได้โดยตรง แผ่นสะสมกระแสทำมาจากโลหะทองเหลืองที่ถูกขึ้นรูปให้เป็นช่องทางเดินเดี่ยวแบบคดเคี้ยวภายใต้พื้นที่ทำปฏิกิริยาขนาด 25 ตารางเซนติเมตร มีความกว้างของช่องทางเดินก๊าซขนาด 1.5 มิลลิเมตร ความลึกขนาด 2 มิลลิเมตร และความกว้างของสันขนาด 1.5 มิลลิเมตร เทคนิคการประมวลผลภาพถูกนำมาใช้ในการวัดปริมาณน้ำภายในช่องทางเดินก๊าซของเซลล์เชื้อเพลิง โดยข้อมูลภาพของน้ำได้มาจากการใช้กล้องวิดีโอและกล้องดิจิตอลเพื่อบันทึกภาพของน้ำที่เกิดขึ้นในด้านขั้วอาโนดและคาโทดของสแต็กเซลล์ที่สภาวะการทำงานต่างๆ สำหรับกลวิธีในการจัดการน้ำภายในสแต็กเซลล์โปร่งใสแบบแถบในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การควบคุมสภาวะการทำงานของสแต็กเซลล์และการควบคุมท่อทางออกแบบเป็นลำดับ โดยความต่างศักย์ของแต่ละเซลล์และความต่างศักย์ของสแต็กเซลล์จะถูกบันทึกด้วยระบบคอมพิวเตอร์อินเตอร์เฟส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เทคนิคการประมวลผลภาพ สามารถนำมาใช้ในการวัดปริมาณน้ำที่ปกคลุมอยู่ในพื้นที่ของช่องทางเดินก๊าซได้ โดยสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงในสภาวะการทำงานต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่ปกคลุมภายในพื้นที่ของช่องทางเดินก๊าซด้านขั้วคาโทด การควบคุมสภาวะการทำงานของสแต็กเซลล์แบบแถบ ได้แก่ การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมความชื้น การควบคุมอัตราการไหล

ของก๊าซออกซิเจน และการควบคุมความดัน โดยข้อมูลภาพของน้ำและความต่างศักย์ของสเต็กเซลล์ที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ ได้ถูกบันทึกอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง ซึ่งสภาวะการทำงานที่เหมาะสมจะทำให้สเต็กเซลล์มีสมรรถนะสูงที่สุดหรือกราฟโพลาไรเซชั่นมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางบวกมากที่สุด ซึ่งจากการเปรียบเทียบในแต่ละสภาวะการทำงาน พบว่า ความชื้นมีผลกระทบต่อการจัดการน้ำและสมรรถนะของสเต็กเซลล์มากที่สุด สำหรับการทำงานที่สภาวะอื่น ๆ จะมีผลกระทบในระดับที่รองลงมา ปรากฏการณ์น้ำท่วม และ การสูญเสียน้ำ ทำให้สมรรถนะการทำงานของสเต็กเซลล์ลดลง โดยน้ำท่วมในด้านขั้วอาโนด จะเกิดเมื่อมีการดึงกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงในช่วงความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ (0.1 A/cm^2 – 0.3 A/cm^2) สำหรับน้ำท่วมในด้านขั้วคาโทดจะสังเกตได้ชัดเจนในช่วงความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าปานกลาง (0.4 A/cm^2 – 0.7 A/cm^2) และการสูญเสียน้ำในด้านขั้วอาโนดและคาโทด ตรวจพบได้ในขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงถูกดึงกระแสไฟฟ้าในช่วงความหนาแน่นสูง (0.8 A/cm^2 – 1 A/cm^2) สำหรับการควบคุมท่อทางออกแบบเป็นลำดับ สามารถไล่น้ำที่สะสมอยู่ในช่องทางเดินก๊าซของด้านขั้วอาโนดและคาโทดออกได้อย่างสม่ำเสมอ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า โซลินอยด์วาล์วที่ถูกควบคุมให้ เปิด-ปิด ในช่วงระยะเวลา 3 วินาที จะทำให้สเต็กเซลล์แบบแถบมีสมรรถนะการทำงานที่สูงมากกว่าการควบคุมการ เปิด-ปิด ของโซลินอยด์วาล์วในช่วงระยะเวลาอื่น ๆ เพียงเล็กน้อย โดยการควบคุมท่อทางออกแบบเป็นลำดับ จะทำให้สเต็กเซลล์แบบแถบมีสมรรถนะสูงขึ้นประมาณ 0.34 W/cm^2 หรือ 31.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานของสเต็กเซลล์ที่ไม่มีการควบคุมท่อขาออกแบบเป็นลำดับที่การดึงกระแสไฟฟ้าที่ 1 A/cm^2 นอกจากนั้นการควบคุมท่อทางออกแบบเป็นลำดับยังส่งเสริมให้การทำงานของสเต็กเซลล์มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นอีกด้วย ผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน พบว่า สเต็กเซลล์แบบแถบมีความดันตกคร่อมในช่องทางเดินก๊าซสูงกว่าสเต็กเซลล์แบบทั่วไป ตัวเลขเรย์โนลด์แสดงให้เห็นว่าการไหลในช่องทางเดินก๊าซและในท่อส่งก๊าซอยู่ในช่วงของการไหลแบบราบเรียบ การสูญเสียแรงดันก๊าซภายในสเต็กเซลล์แบบแถบมีสาเหตุหลักมาจากแรงเสียดทานที่ผนังท่อ และ ค่าอัตราการไหลของก๊าซจะมีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้สำหรับการทำงานของสเต็กเซลล์ในสภาวะปกติ แนวคิดของเทอมเศษเหลือและขอบเขตการสมดุลน้ำได้ถูกนิยามขึ้นครั้งแรกในงานวิจัยนี้ โดยใช้อัตราการเกิดน้ำจากปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นตัวกำหนดขอบเขตของการสมดุลน้ำ ทำให้สามารถทำนายช่วงของการเกิดสมดุลน้ำและสมรรถนะการทำงานของสเต็กเซลล์ได้ ผลของการสอบเทียบพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ผลลัพธ์ที่มีความแตกต่างจากผลการทดลองเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้