Engng.J.CMU.[2009] 16 (2),28-36

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Engineering Journal
Chiang Mai University

การศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตรอน ด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข

Study of Temperature Distribution in Proton Exchange Membrane Fuel Cell with Numerical Modeling

วรรณภา ระหาญนอก[1], ยศธนา คุณาทร[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

โทร 053 944 146 โทรสาร 053 944 145

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

โทร 053 944 146 โทรสาร 053 944 145

Wannapa Rahannok[1], Yottana Khunatorn[2]

[1]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Chiang Mai University, 50200, Thailand

[2]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Chiang Mai University, 50200, Thailand

Tel: 053 944 146 Fax: 053 944 145 * Corresponding author: baem_koly@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายตัวความร้อนภายในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตรอนแบบหอเซลล์จำนวน 5 เซลล์ ขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า 60 วัตต์ ด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติ โดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหล มุ่งเน้นศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิในชั้น Membrane Electrode Assembly (MEAs) และแผ่นไบโพลาร์เพลตภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่สภาวะคงตัว และสภาวะที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ผลการศึกษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเซลล์เชื้อเพลิงอันเนื่องมาจากความร้อนในกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมี ส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในเวลา 300 วินาที อุณหภูมิเซลล์สูงถึง 80 องศาเซลเซียส หากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิเซลล์จะทำให้เกิดความร้อนสะสมขึ้นและส่งผลให้ MEAs เสียหายได้ ลักษณะการกระจายตัวอุณหภูมิในชั้น MEAs มีค่าใกล้เคียงกับแผ่นไบโพลาร์เพลต และอุณหภูมิภายในเซลล์เชื้อเพลิงสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของแผ่นไบโพลาร์เพลตประมาณ 7 - 8 องศาเซลเซียส ซึ่งการลดลงของอุณหภูมิด้วยการพาความร้อนแบบธรรมชาติยังไม่เพียงพอต่อการระบายความร้อน จากผลการศึกษานี้จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบระบายความร้อนของเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงและลดปัญหาที่เกิดจากความร้อนภายในเซลล์เชื้อเพลิงต่อไป

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by
Faculty of Engineering
Chiang Mai University
All Right Reserved

ABSTRACT

This research studies heat transfer in five cells stack, proton exchange membrane fuel cell characteristic of 60 watts, by using three dimensional numerical model. This study focuses on the temperature and heat distribution within membrane electrode assembly (MEAs), and polar plates under steady state and transient state of operation. It was found that the heat distribution within fuel cell was affected from fuel cell reaction rate, caused the fuel temperature increased rapidly to 80 ^{o}C within 300 seconds, If there was no temperature control for cell, there would be heat accumulation which damaged the MEAs.The distribution of temperature in the MEAs had similar value as the bipolar plate, and the inside cell temperature was higher than that outside of bipolar plate about 7-8 ^{o}C. The numerical result, presented that natural convection around outside surface of the fuel cell was not enough. Therefore, the information about heat distribution from this study will be applied for cooling system development of the fuel cell in order to increase the fuel cell efficiency, and reduce the heat problem.

1. บทนำ

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตรอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) เป็นแหล่งพลังงานที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ซึ่งมีก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นเชื้อเพลิง สามารถทำงานที่สภาวะอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำในช่วง 60–80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ หากต้องการเพิ่มกำลังการผลิตหรือเพิ่มกระแสไฟฟ้า สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนชั้นเซลล์ เราเรียกว่า หอเซลล์ (stack cells) ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงให้สูงขึ้น นิยมนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าหรือประยุกต์ใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับยานพาหนะ เพื่อทดแทนน้ำมันและแบตเตอรี่ อีกทั้งยังช่วยลดปัญหามลภาวะ แต่พบว่าปัญหาส่วนใหญ่ในการเพิ่มจำนวนชั้นเซลล์นั้น จะทำให้สภาวะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว มีสาเหตุมาจากความร้อนภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ส่งผลให้ความชื้นไม่เพียงพอต่อระบบการทำงานของเซลล์ ถ้าหากอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงเกินไป อาจทำให้ส่วนประกอบสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า เช่น เมมเบรน แห้ง หดตัว และอาจทำให้เมมเบรนแตกหรือรั่ว ได้มีผลต่อการแพร่ผ่านของไฮโดรเจนไอออนซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงต่ำลง ในการวิจัยนี้ จะศึกษาการกระจายตัวความร้อนของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงแบบหอเซลล์ ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตรอน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป

2. หลักการและทฤษฎีที่นำมาใช้

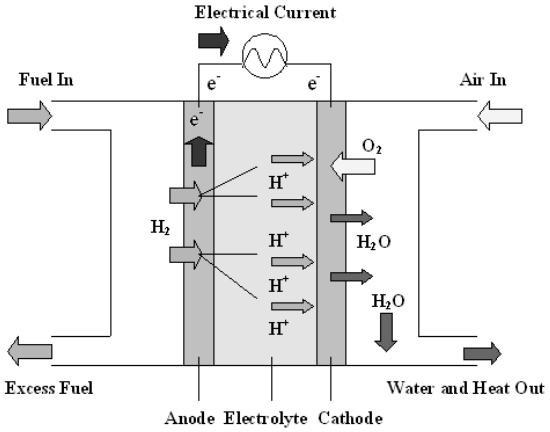
2.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตรอน ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ ขั้วอาโนดและขั้วคาโทด วางประกบกันโดยตรงกลางจะมีแผ่นพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนโปรตรอน ขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ขั้ว จะต้องมีความพรุนสูงและมีตัวเร่งปฏิกิริยาเกาะอยู่ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สำหรับขั้วไฟฟ้านี้ สามารถทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) และปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ได้ดี เชื้อเพลิงที่ใช้ป้อนเข้าทางด้านขั้วอาโนด เช่น ก๊าซไฮโดรเจนหรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่างๆ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ดังสมการที่ 1 เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าด้านขั้วอาโนดจะแตกตัวให้ไอออนบวกและอิเล็กตรอนโดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอกไปยังขั้วคาโทด ก๊าซออกซิเจนที่ถูกป้อนเข้ามาที่ขั้วคาโทดจะรวมตัวกับไอออนบวกและอิเล็กตรอนที่ได้จากขั้วอาโนด เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) ดังสมการที่ 2 ซึ่งผลจากการเกิดปฏิกิริยาจะได้โมเลกุลของน้ำและความร้อน แสดงดังรูปที่ (Hwang J.J, 2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Right Reserved

ปฏิกิริยาที่ขั้วอาโนด : $H_2 \longrightarrow 2H^+ + 2e^-$ (1)

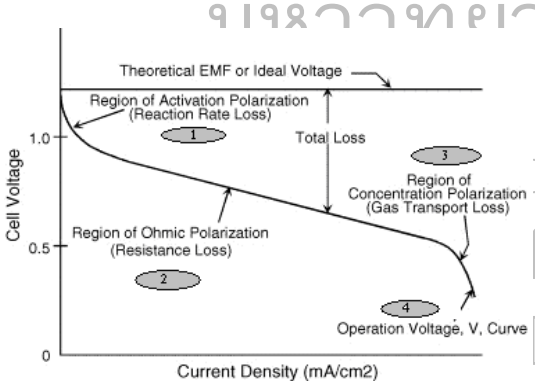
ปฏิกิริยาที่ขั้วคาโทด : $O_2 + 4e^- + 4H^+ \longrightarrow 2H_2O$ (2)



รูปที่ 1 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

2.2 ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนจะมีการวัดค่าออกมาอยู่ในรูปของความหนาแน่นกระแส คือ ปริมาณกระแสที่ได้ต่อหน่วยพื้นที่ที่เกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์เชื้อเพลิงในหน่วย milli amperes per square centimeter (mA/cm^2) จากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นกระแส (I-V characteristic curve) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความหนาแน่นกระแส (Larminie and Dicks, 2003)

ตามทฤษฎีแล้วความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นกระแสควรจะเป็นเส้นตรงขนานแกนนอน แต่จากสภาพการทำงานจริงของเซลล์เชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 2 คือ ความต่างศักย์จะมีค่าลดลงเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลมากขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพที่ลดลงเนื่องมาจากสาเหตุสำคัญ ดังนี้

1. ความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาไม่สูงพอขณะเริ่มเกิดปฏิกิริยา ทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาไม่ดีค่าความต่างศักย์ไม่เป็นไปตามทฤษฎี ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า reaction rate losses

2. เกิดจากความต้านทานของอิเล็กโตรไลท์ (electrolyte) หรือเมมเบรน (membrane) จึงจำกัดการส่งถ่ายไฮโดรเจนอิออน ส่งผลให้ความสามารถในการนำโปรตอนต่ำลง เรียกว่า resistance loss

3. เกิดจากความต้านทานของชั้นการแพร่และตัวสะสมกระแส ทำให้ความสามารถในการนำอิเล็กตรอนลดลงเรียกว่า gas transport losses

4. ผลจากอัตราการแพร่ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่สวนทางกันของก๊าซออกซิเจนที่จะไหลผ่านชั้นการแพร่เข้าไปสู่ชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำที่ไหลสวนทางออกมา ทำให้มีพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาน้อยลง ซึ่งเรียกว่า diffusion limiting (EG&E Services Inc, 2000)

ในการวิจัยนี้ สนใจศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงดังกรณีที่ 2 ความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้น MEAs เพิ่มสูงขึ้นจึงต้องการความชื้นมากตามไปด้วย หากความชื้นและความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบไม่สมดุล มีผลทำให้เกิดความต้านทานของอิเล็กโตรไลท์ (electrolyte) หรือเมมเบรน (membrane) ส่งผลให้ความสามารถในการนำโปรตอนต่ำลง ดังนั้นการศึกษาการเกิดความร้อนและลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงจะทำให้ทราบแนวทางในการป้องกันปัญหาที่เกิดจากความร้อนและการพัฒนาระบบระบายความร้อนให้กับเซลล์เชื้อเพลิง

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
right©by Faculty of Engineering Chiang Mai University
All Right Reserved

2.3 หลักการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล

(Computational fluid dynamics, CFD)

งานวิจัยนี้ ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิเซลล์เชื้อเพลิงทั้งแบบเซลล์เดียวและแบบหอเซลล์ จากแบบจำลองเชิงตัวเลขสามมิติ ซึ่งใช้โปรแกรมการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล โดยวิธีการเชิงตัวเลขมาคำนวณหาคำตอบจากสมการควบคุมการไหล (Governing Equations) ในงานวิจัยนี้ไม่คิดค่าความโน้มถ่วงของวัตถุ สมการควบคุมสามารถเขียนได้ดังนี้ (Wetton, B., 2004)

1. การอนุรักษ์มวล

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho U) = 0 \qquad (3)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของโดเมน Ω

U คือ ความเร็วของของไหล (m /s)

2. การอนุรักษ์โมเมนตัม

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U u) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \nabla(\mu \nabla u) \qquad (4)$$

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U v) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \nabla(\mu \nabla v) \qquad (5)$$

$$\frac{\partial \rho w}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U w) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \nabla(\mu \nabla w) \qquad (6)$$

3. การอนุรักษ์พลังงาน

$$\nabla \cdot (\rho u H) - \nabla \cdot (k \nabla T) = 0 \qquad (7)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ (K)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W / m^2. K)

H คือ heat flux (J/m^2)

4. การนำความร้อนภายในเซลล์เชื้อเพลิง

$$\nabla \cdot (k_{gr} \nabla T) = 0 \qquad (8)$$

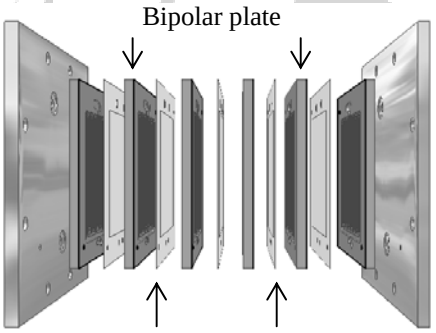
เมื่อ T คือ อุณหภูมิ (K)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นแกร์ไฟต์ (W / m^2. K)

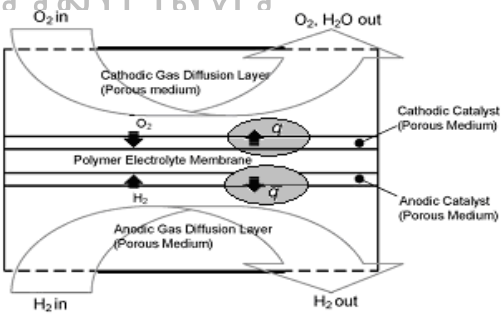
การนำความร้อนในเซลล์เชื้อเพลิง จะสมมุติให้การนำความร้อนเคลื่อนที่ได้ดี ในชั้นไบโพลาร์เพลตที่ทำจากแกรไฟต์

2.4 แบบจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติของเซลล์เชื้อเพลิง

แบบจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติที่สร้างขึ้นนั้นเป็นแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบหอเซลล์ ชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตรอน ขนาด 5 ชั้นเซลล์ ขนาดของ membrane electrode assembly (MEAs) มีพื้นที่ทำปฏิกิริยา 50 ตารางเซนติเมตร จำนวน 5 ชิ้น ขนาดของแผ่นไบโพลาร์เพลต กว้าง 100 มม.ยาว 100 มม. หนา 5 มม. จำนวน 6 ชิ้น แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แบบจำลองเชิงตัวเลขของเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 5 ชั้นเซลล์

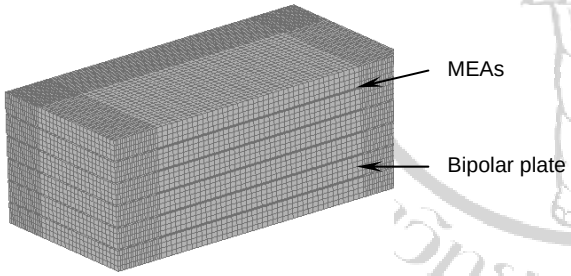


รูปที่ 4 การเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เชื้อเพลิง (Hwang J.J, 2006)

รูปที่ 4 แสดงระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในชั้น MEAs ซึ่งในกระบวนการนี้ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 5 ชั้นเซลล์โดย

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Copyright Faculty of Engineering Chiang Mai University All Right Reserved

ภายในได้สร้าง MEAs และพื้นผิวชั้นถัดมาเป็นแผ่นไบโพลาร์เพลตซึ่งทำจากแกร์ไฟต์มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดี มีจำนวนกริดเซลล์ทั้งสิ้น 149,520 เซลล์ การสร้างกริด (grid) ที่ใช้ในการคำนวณนี้ได้ใช้กริดสี่เหลี่ยม (structured grid) ซึ่งกริดสี่เหลี่ยมที่สร้างจะใช้ตามความเหมาะสม ถ้าบริเวณใดสำคัญมีผลต่อการศึกษาจะมีการแบ่งจำนวนกริดที่ละเอียดกว่าบริเวณที่ไม่ค่อยมีผลต่อการศึกษาและกริดแบบนี้สามารถใช้ได้ดีกับส่วนที่เป็นชั้นขอบเขตที่ผิว (boundary layer) ในที่นี้ แผ่นไบโพลาร์เพลต และ MEAs เป็นส่วนสำคัญจึงเป็นบริเวณที่มีการแบ่งกริดอย่างละเอียด แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การสร้างกริดของเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 5 ชั้นเซลล์

ในขั้นตอนการสร้างกริดจะต้องมีการตรวจสอบความเป็นอิสระของกริด (grid independent study) ก่อนนำแบบจำลองไปใช้ทำนายพฤติกรรมการเกิดความร้อนของเซลล์เชื้อเพลิง การตรวจสอบความเป็นอิสระของกริดจะทำโดยการเพิ่มจำนวนกริดครั้งละ 1/3 ของจำนวนกริดเดิมแล้วตรวจสอบดูว่าที่จำนวนกริดขนาดไหนที่ไม่ทำให้คำตอบเปลี่ยนแปลง จึงจะสามารถสรุปได้ว่า จำนวนกริดเซลล์ไม่มีผลต่อคำตอบหรือมีความเป็นอิสระของกริดนั่นเอง (Wei. Y. et al, 2006) แนวทางนี้ในการเลือกความหนาแน่นของกริด (grid density) ของแบบจำลองทำให้สามารถเลือกใช้กริดจำนวนที่น้อยที่สุดที่ไม่ทำให้ผลคำตอบเปลี่ยนแปลง จึงสามารถลดระยะเวลาและขั้นตอนในการคำนวณลงได้

2.5 สภาวะเงื่อนไขขอบเขตและสมมุติฐาน

การศึกษาการกระจายตัวความร้อนภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่ชั้น MEAs และแผ่นไบโพลาร์เพลตที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ขณะเซลล์เชื้อเพลิงกำลังทำงาน มีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนเป็นแบบ 3 มิติ กำหนดให้ MEAs เป็นแหล่งผลิตความร้อนของเซลล์เชื้อเพลิงแบบหอเซลล์ มีค่าคงที่ 60 วัตต์ สภาวะเงื่อนไขขอบเขตและสมมุติฐานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิอากาศสภาวะ เริ่มต้นการทำงานของเซลล์ 25 องศาเซลเซียส
2. ผิวด้านนอกของหอเซลล์เชื้อเพลิง (แผ่นไบโพลาร์เพลต) มีการระบายความร้อนด้วยวิธีการพาความร้อนแบบธรรมชาติโดยรอบตัวเซลล์ ซึ่งของไหลที่ใช้เป็นอากาศ มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเท่ากับ 25 วัตต์ต่อตารางเมตร (Incropera, 1999)
3. โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิงในช่วง 50 – 80 องศาเซลเซียส
4. ไม่มีการไหลของก๊าซผ่านชั้นเซลล์ และไม่คิดค่าการถ่ายเทความร้อนแบบแผ่รังสี

3. ผลและวิจารณ์การวิจัย

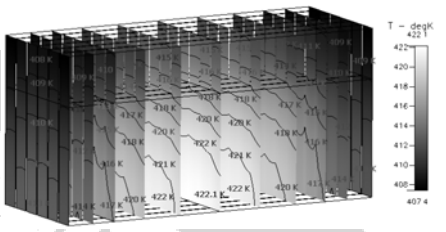
การศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวความร้อนของอุณหภูมิเซลล์เชื้อเพลิง โดยศึกษาแบบจำลองของหอเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อน เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาวิเคราะห์เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้หรือนำมาพัฒนาระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบหอเซลล์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะกำหนดให้เซลล์เชื้อเพลิงแบบหอเซลล์ มีกำลังการผลิตไฟฟ้าประมาณ 60 วัตต์ แสดงดังรูปที่ 6 ถึงรูปที่ 8 รูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองเป็นลักษณะการกระจายตัวแบบสมมาตรกัน เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงเริ่มทำงาน ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีจากภายในเซลล์เชื้อเพลิงจะกระจายตัวออกจากแหล่งกำเนิดความร้อนที่ชั้น MEAs ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาจึงทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากส่วนกลางของเซลล์และแผ่ขยายไปยังแผ่นไบโพลาร์เพลตด้านข้างที่สัมผัสกับพื้นที่ทำปฏิกิริยาแล้วกระจายสู่บริเวณพื้นผิวด้านนอกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Right Reserved

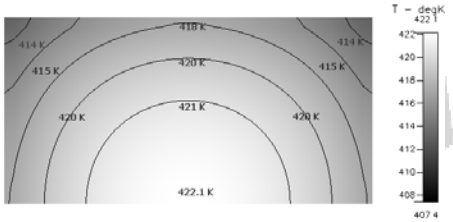
และที่สภาวะคงตัว อุณหภูมิเซลล์เชื้อเพลิงสูงถึง 149 องศาเซลเซียส ซึ่งระบบเซลล์เชื้อเพลิงใช้เวลา 4 ชั่วโมง อุณหภูมิจึงเข้าสู่สภาวะคงตัว ผลของอุณหภูมิที่สภาวะคงตัวสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิง (54 – 69 องศาเซลเซียส) ทำให้ทราบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ศึกษานี้มีการผลิตความร้อนออกมาอย่างต่อเนื่องและจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามเวลาจนกระทั่งเซลล์เชื้อเพลิงมีสภาวะการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งได้อุณหภูมิสุดท้ายเป็น 134 - 149 องศาเซลเซียส แต่ในการทำงานจริงนั้นเซลล์ไม่สามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงถึง 134 องศาเซลเซียสได้

รูปที่ 7 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิหอเซลล์เชื้อเพลิง บริเวณพื้นที่ทำปฏิกิริยาที่ชั้น MEAs ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เกิดความร้อนและมีอุณหภูมิสูงที่สุด เนื่องจากเป็นชั้นที่อยู่ภายใน ที่ผิวด้านนอกของเซลล์ไม่สามารถพาความร้อนออกมาได้มากพอ จึงทำให้เกิดความร้อนสะสมและทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แผ่นไบโพลาร์เพลตที่อยู่ติดกับ MEAs เป็นตัวรับความร้อนและนำความร้อนออกสู่สภาวะภายนอก อุณหภูมิ ณ บริเวณผิวด้านนอกที่แผ่นไบโพลาร์เพลตสัมผัสกับอากาศอุณหภูมิลดต่ำลงเหลือ 130 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของแผ่นไบโพลาร์เพลตนี้มีอุณหภูมิเท่ากันทั้งสองฝั่งเป็นลักษณะการกระจายแบบสมมาตรกัน จากการศึกษาบริเวณผิวด้านนอกที่สัมผัสกับอากาศของแผ่นไบโพลาร์เพลตนั้น ทราบว่า อุณหภูมิผิวด้านนอกลดลง 4 องศาเซลเซียส แต่การลดลงของอุณหภูมิที่ผิวด้านนอกยังน้อยเกินไปไม่สามารถระบายความร้อนได้ทัน จึงทำให้ MEAs รับความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยามาก ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีภายในระบบไม่สมดุล เซลล์ขาดความชื้นและประสิทธิภาพในการนำโปรตรอนลดลง

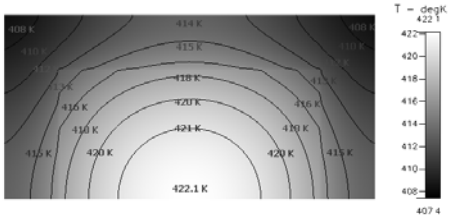
ดังนั้น หากไม่มีระบบระบายความร้อน จะทำให้อุณหภูมิบริเวณพื้นที่ทำปฏิกิริยาสูงเกินกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมและทำให้เซลล์ขาดความชื้น ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง และอายุการใช้งานของ MEAs



รูปที่ 6 การกระจายตัวของอุณหภูมิเซลล์เชื้อเพลิงแบบหอเซลล์ที่สภาวะคงตัว

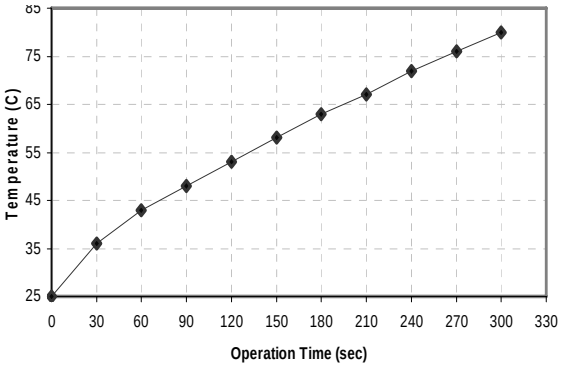


รูปที่ 7 การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ชั้น MEAs ที่สภาวะคงตัว



รูปที่ 8 กระจายตัวของอุณหภูมิแผ่นไบโพลาร์เพลตที่สภาวะคงตัว

ผลการศึกษาอุณหภูมิภายในเซลล์เชื้อเพลิงจากแบบจำลองเชิงตัวเลข สามารถบอกอัตราหรือความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากพื้นที่เกิดปฏิกิริยาเคมีอุณหภูมิสูงสุดที่ชั้น MEAs ณ เวลาต่างๆ แสดงดังรูปที่ 9

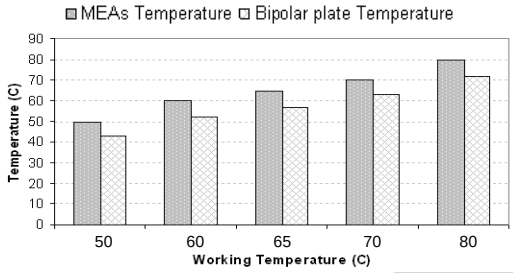


รูปที่ 9 กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ชั้น MEAs ของเซลล์เชื้อเพลิงตามเวลา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

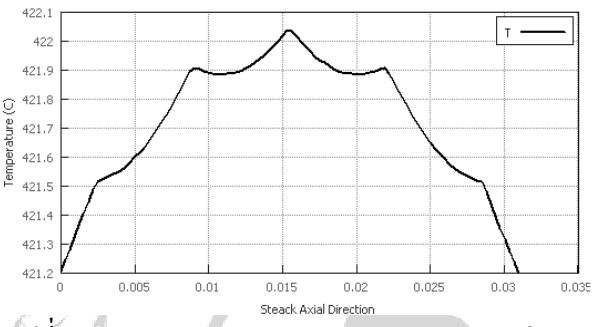
จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเซลล์เชื้อเพลิงที่ชั้น MEAs ซึ่งเป็นพื้นที่เกิดปฏิกิริยาอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มจากอุณหภูมิเริ่มต้น 25 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิเซลล์ 80 องศาเซลเซียส ในเวลา 300 วินาที จะเห็นได้ว่าที่กำลังผลิต 60 วัตต์ อุณหภูมิเซลล์เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเพียง 5 นาที หากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิหรือเพิ่มระบบระบายความร้อนให้เซลล์เชื้อเพลิง อาจทำให้ MEAs ไหม้หรือชำรุดได้

การศึกษาการกระจายตัวความร้อนภายในเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อวิเคราะห์และออกแบบระบบระบายความร้อนให้กับเซลล์เชื้อเพลิง จะต้องรู้อุณหภูมิภายนอกที่สัมผัสกับอากาศ ของผิวแกร์ไฟต์ หรือแผ่นไบโพลาร์เพลต ผลการศึกษา แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของแผ่นไบโพลาร์เพลตกับอุณหภูมิเซลล์

พบว่า MEAs อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวด้านนอกแผ่นไบโพลาร์เพลต 43 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ MEAs 60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวด้านนอกแผ่นไบโพลาร์เพลต 52 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ MEAs 65 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวด้านนอกแผ่นไบโพลาร์เพลต 57 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ MEAs 70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวด้านนอกแผ่นไบโพลาร์เพลต63 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิเซลล์ 80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวด้านนอกแผ่นไบโพลาร์เพลต 72 องศาเซลเซียส เซลล์เชื้อเพลิงที่มีการระบายความร้อนด้วยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ โดยใช้อากาศที่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 25 W/m^2-K จะทำให้อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกแผ่นไบโพลาร์เพลต ลดลง 7 - 8 องศาเซลเซียส แต่การระบายความร้อนด้วยการพาความร้อนแบบธรรมชาติยังไม่เพียงพอ เพราะอุณหภูมิเซลล์เชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จึงควรมีการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนหรือเพิ่มความเร็วลมช่วยระบายความร้อนให้กับเซลล์เชื้อเพลิง เป็นการช่วยรักษาสมดุลของระบบเซลล์ให้เหมาะสมกับการทำงาน

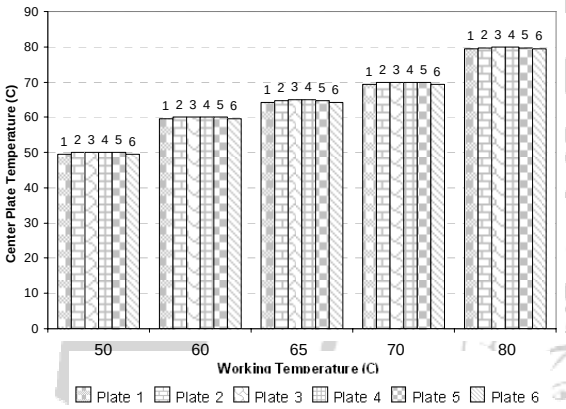


รูปที่ 11 ภาพตัดขวางการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในชั้น MEAs

รูปที่ 11 แสดงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในชั้น MEAs ที่สภาวะคงตัว พบว่า อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงทั้ง 5 ชั้นเซลล์นั้น มีลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิเป็นแบบสมมาตรกันและลดระดับอุณหภูมิจากสูงลงมาหาต่ำไล่ระดับชั้นดังรูป โดย MEAs ชั้นที่ 3 เป็นชั้นที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด 149 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากเป็นชั้นที่อยู่ตรงกลางและถูกประกบด้วย ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 4 ความร้อนที่เกิดขึ้นจึงถูกสะสมมากกว่าชั้นเซลล์อื่นๆ เพราะพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนน้อย จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิต่างกันน้อยมาก ส่วนชั้นที่ 2 และชั้นที่ 4 การกระจายตัวของอุณหภูมิสมมาตรกัน มีพื้นที่ในการแผ่กระจายความร้อนมากขึ้น เนื่องจากความร้อนส่วนหนึ่งไหลไปทางชั้นที่ 3 ส่วนหนึ่งไหลไปทางชั้นที่ 1และชั้นที่ 5 เมื่อมีพื้นที่ในการกระจายความร้อนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 5 มีอุณหภูมิลดลง 1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นชั้นที่แผ่นไบโพลาร์เพลตอยู่ด้านนอก ทำให้มีความร้อนสะสมน้อย ความร้อนจึงถูกส่งผ่านแผ่นไบโพลาร์เพลตไหลออกสู่บรรยากาศภายนอกได้มากกว่า จะเห็นได้ว่า MEAs ชั้นที่ 2,3,4 มีความเสี่ยงต่อการไหม้หรือชำรุดสูงมาก เนื่องจากถ่ายเทความร้อนได้น้อยและใน

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Faculty of Engineering Chiang Mai University All Right Reserved

ขณะเดียวกันก็ได้รับความร้อนเพิ่มจาก MEAs ชั้นที่อยู่ติดกันอีกด้วย



รูปที่ 12 การกระจายตัวของอุณหภูมิแผ่นไบโพลาร์เพลต

รูปที่ 12 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิแผ่นไบโพลาร์เพลตทั้ง 6 แผ่น ที่ประกบติดแผ่น MEAs ศึกษาอุณหภูมิขณะระบบเซลล์เชื้อเพลิงกำลังทำงาน โดยเลือกศึกษาช่วงอุณหภูมิเซลล์ 50 – 80 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิแผ่นไบโพลาร์เพลตมีค่าใกล้เคียงกับการกระจายตัวของอุณหภูมิ MEAs เนื่องจากแผ่นไบโพลาร์เพลตอยู่ติดกับพื้นที่เกิดปฏิกิริยาจึงได้รับความร้อนที่ถ่ายเทมาจากชั้น MEAs และสะสมอยู่ในตัว แผ่นไบโพลาร์เพลตมีขนาดเล็กพื้นที่ในการระบายความร้อนได้น้อย อุณหภูมิในแผ่นไบโพลาร์เพลตจึงใกล้เคียงกับ MEAs เช่น ที่อุณหภูมิเซลล์ 80 องศาเซลเซียส แผ่นไบโพลาร์เผลตที่ 3,4 มีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิ MEAs 80 องศาเซลเซียส แผ่นที่ 2,5 อุณหภูมิลดลงเหลือ 79.7 องศาเซลเซียส และแผ่นที่ 1,6 อุณหภูมิลดลงเหลือ 79.3 องศาเซลเซียส

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการกระจายตัวความร้อนของอุณหภูมิภายในหอเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตรอนจำนวน 5 ชั้นเซลล์ ขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า 60 วัตต์ ด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติ เทียบกับเวลา โดยใช้โปรแกรมการคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหล ทำการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง 50 – 80 องศาเซลเซียส

สรุปว่า อุณหภูมิเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากอุณหภูมิเริ่มต้น 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 300 วินาที หากไม่มีการควบคุมอุณหภูมิจะทำให้ MEAs ไหม้หรือชำรุดได้ โดยเฉพาะ MEAs ชั้นที่ 2, 3, 4 ซึ่งเป็นชั้นที่อยู่ด้านในสุดและถูกประกบด้วยแผ่นไบโพลาร์เพลตที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน จึงทำให้เกิดความร้อนสะสมขึ้น จึงควรเพิ่มพื้นที่ระบายความร้อนให้กับเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อช่วยให้เซลล์เชื้อเพลิงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

[1] Frank P. Incropera and David P. Dewitt., 1999. “Introduction to Heat and Mass Transfer”, third Edition

[2] EG&E Services Parson, Inc. 2000. “Fuel Cell Hand Book”. Morganton, West Verginia.

[3] Shimpalee, S. and Dutta, S., 2000. “Numerical Prediction of Temperature Distribution in PEM Fuel Cells” Numerical Heat Transfer, Part A, 38: 111-128.

[4] Zhang, Y., Ouyang, M., Lu, Q., Luo, J., and Li, X., 2003. “A model predicting performance of proton exchange membrane fuel cell stack thermal systems” Applied Thermal Engineering, 24: 501-513

[5] Preben J.S. Vie,Signe Kjelstrup,2003. “Thermal conductivities from temperature profiles in the polymer electrolyte fuel cell” Electrochimica Acta 49:1069-1077

[6] Larminie and A. Dick, 2003. “Fuel Cell Systems Explained”. 2nd Ed John Wiley: 371

[7] Wetton, B., Promislow, K., and Caglar, A., 2004. “A simple thermal model of pem fuel cell stack”. Second International Conference on Fuel cell Science, Engineering and Technology.

[8] Jianlu Zhang,Zhong Xie, Jiujun Zhang,2006. “High temperature PEM fuel cells”, Journal of Power Sources, June 2006, pp. 872 – 891.

Copyright© by
Faculty of Engineering
Chiang Mai University
All Right Reserved

[9] Wei, Y., Jian, W. and Guangxuan, L.,2006. "Grid-Independent Issue in Numerical Heat Transfer" [Online]. Available http://arxiv.org/ftp/math-ph/papers/ 0609/0609066 .pdf (12 May 2008).

[10] Hwang J.J,Chao C.H.,Wu W.,2006. "Thermal-fluid transports in a five-layer membrane-electrode assembly of a PEM fuel cell", Journal of Power Sources, October 2006, pp. 450 – 459.

.

ลิขสิทธิ์คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright©by
Faculty of Engineering
Chiang Mai University
All Right Reserved