

การศึกษาการไหลของก๊าซ และศึกษาการกระจายตัวของความดันในเซลล์เชื้อเพลิง ชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข

Study of Gas Flow and Pressure Distribution in Proton Exchange Membrane Fuel Cell : Numerical Modeling

ณัฐวุฒิ จารุวัสพันธุ์ ผศ.ดร.ยศธนา คุณาทร* ผศ.ดร.ณัฐ วรยศ ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง เชียงใหม่ 50200
E-mail* : piakman@dome.eng.cmu.ac.th

Nattawoot Jaruwasupant Asst.Prof.Yottana Khunatom* Asst.Prof.Nat Vorayos Dr.Wipawadee Wongsuwan
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
Muang, Chiang Mai 50200
E-mail* : piakman@dome.eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลการกระจายตัวของความเร็ว และความดันที่เกิดจากลักษณะของช่องการไหลของก๊าซในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน แบบ Parallel, Serpentine และ Parallel - Serpentine ในโพลีเมอร์ด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติ โดยใช้โปรแกรมคำนวณทางด้านพลศาสตร์ของไหล “CFDRC”

ผลการวิจัยพบว่า ในสนามการไหลแบบ Parallel การไหลของก๊าซบริเวณด้านบน และด้านข้างของสนามการไหลมีอัตราการไหลที่สูง แต่บริเวณตรงกลางของสนามการไหลแทบจะไม่มีอัตราการไหลที่ช่วยในการระบายน้ำออกของสนามการไหลของก๊าซชนิดนี้ โดยมีความดันตกคร่อมประมาณ 22 Pa ในสนามการไหลแบบ Serpentine มีอัตราการไหลที่สูงกว่า และมีความดันตกที่สูงที่ช่วยในการระบายน้ำออกจากระบบ เนื่องจากการไหลของก๊าซเป็นการไหลทางเดียวและความดันต่างในแต่ละช่องมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความดันตกคร่อมประมาณ 978 Pa และในสนามการไหลแบบ Parallel - Serpentine มีอัตราการไหล และความดันที่ช่วยในการระบายน้ำออกจากระบบในด้านบนและด้านล่างของสนามการไหล เนื่องจากการเกิดการรวมตัวกันของก๊าซในแต่ละช่อง การไหลของแบบ Parallel โดยมีความดันตกคร่อมประมาณ 103 Pa จะเห็นว่าสนามการไหลแบบ Serpentine และ Parallel - Serpentine จะทำให้เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า แบบ Parallel เนื่องจากมีอัตราการไหลที่สม่ำเสมอทั่วตลอดทั้งแผ่น และมีความดันตกคร่อมค่อนข้างสูง ซึ่งความดันนี้จะช่วยในการผลักดันน้ำออกจากสนามการไหล ผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้จะใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนต่อไป

Abstract

The objective of this research is to study the affect of gas flow fields, parallel, serpentine, serpentine-parallel, within proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) on velocity field and pressure distribution. A 3D numerical model of a PEMFC was setup and solved by using commercial computational fluid dynamics (CFD) software, the “CFDRC”.

The result of the parallel flow field shows that the top and bottom channels have high flow rate. However, the central region experiences low flow rate, which result in water management difficulty within the flow field. Total pressure drop in this flow field is 22 Pa. Serpentine flow field has high flow rate and pressure drop, its represent the good water management within the cell due to single gas flow path and steady pressure drop. Total pressure drop in this flow field about 978 Pa. Parallel - serpentine flow field also presents high flow rate and pressure drop, which also promises good water management on top and bottom, because the accumulation of parallel flow fields. Total pressure drop in this flow field about 103 Pa. This research presents that the serpentine and parallel - serpentine flow fields have higher efficiency than the parallel flow field in the perspective of flow and pressure distribution. Consequently their use would lead to improve fuel cell efficiency.

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการตื่นตัวเกี่ยวกับปัญหาการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองเป็นอย่างมาก ดังจะเห็นได้จากการรณรงค์อย่างต่อเนื่องให้มีการประหยัดพลังงาน และให้มีการใช้พลังงานในรูปอื่นแทนการใช้พลังงานจากการเผาไหม้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาค้นคว้าเพื่อที่จะหาแหล่งพลังงานที่เป็นทางเลือกใหม่ เพื่อเป็นพลังงานทดแทนพลังงานที่ได้มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เพื่อหาทางแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานและมลภาวะในอนาคต ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานจากแหล่งอื่นที่เป็นเทคโนโลยีสะอาดและสามารถนำมาทดแทนพลังงานหลักได้ เชลล์เชื้อเพลิงเป็นพลังงานเทคโนโลยีสะอาดที่เป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ในเชลล์เชื้อเพลิง ชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน มีการทำงานที่อุณหภูมิต่ำ มีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งยังนิยมใช้ในการศึกษาวิจัยและใช้ในการผลิตพลังงานกันอย่างกว้างขวาง

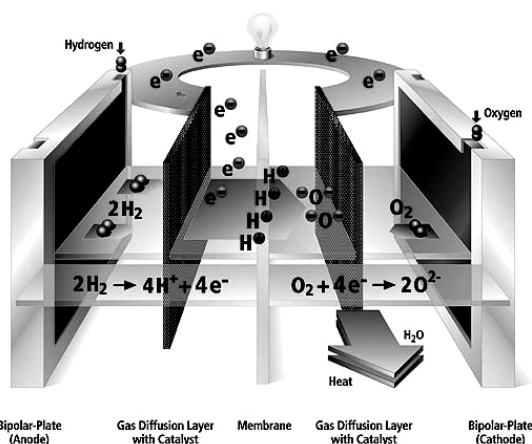
ในการวิจัยนี้จะศึกษาถึงผลกระทบของลักษณะช่องการไหลของก๊าซต่อการกระจายตัวของความเร็วและความดันภายในสนามการไหล แบบ Parallel, แบบ Serpentine, และแบบ Parallel and Serpentine เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการทำงานของเชลล์เชื้อเพลิงให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

2. ส่วนประกอบและการทำงานของเชลล์เชื้อเพลิง

2.1 ส่วนประกอบของเชลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

เชลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนแบบ เชลล์เดี่ยว มีส่วนประกอบสำคัญ ดังรูปที่ 1

1. ชั้นเมมเบรน (Membrane)
2. ชั้นอิเล็กโทรด (Electrode)
3. ชั้นการแพร่ของก๊าซ (Diffusion Layer)
4. แผ่นสะสมกระแสและช่องทางเดินก๊าซ (Gas Collector)



รูปที่ 1 โครงสร้างทั่วไปของเชลล์เดี่ยว

: <http://www.princeton.edu/.../Hydrogen/fuelcells.html>

ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ ทำหน้าที่ดังนี้

1. ชั้นเมมเบรน (Membrane)

เป็นชั้นที่ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์โดยใช้โพลีเมอร์ซึ่งอยู่ในสถานะของแข็ง โครงสร้างทางเคมีของเมมเบรนมีคุณสมบัติในการเป็นตัวนำที่ดีของโปรตอน และเป็นฉนวนของอิเล็กตรอน

2. ชั้นอิเล็กโทรด (Electrode)

เป็นชั้นที่ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า เป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีโดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประกอบด้วย Pt ที่เกาะอยู่บนคาร์บอน

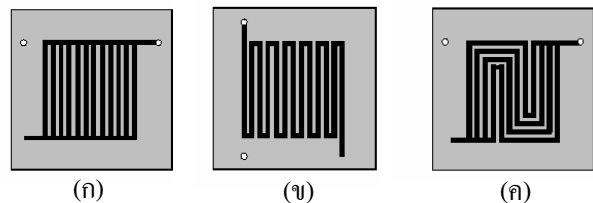
3. ชั้นการแพร่ของก๊าซ (Diffusion Layer)

ลักษณะของชั้นการแพร่ของก๊าซเป็นแผ่นที่มีรูพรุน ซึ่งปิดทับแผ่นชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกทีหนึ่ง

4. แผ่นสะสมกระแสและช่องทางเดินก๊าซ (Gas Collector)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอิเล็กตรอน ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรเจนออกซิเดชัน (Hydrogen oxidation) ทางด้านแอโนดมายังโพลิตและจากโพลิตไปยังบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเจนรีดักชัน (Oxygen reduction) เพื่อให้ครบวงจร และแผ่นสะสมกระแสยังทำหน้าที่เป็นทางเดินก๊าซ ทั้งก๊าซไฮโดรเจน และออกซิเจนและยังทำหน้าที่ระบายความร้อน

โดยลักษณะรูปแบบช่องทางเดินก๊าซ ที่ใช้ในการวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 2 (Mennola, 2000)



รูปที่ 2 รูปแบบช่องทางเดินของก๊าซที่ใช้ในงานวิจัย

(ก) Serpentine Channel

(ข) Parallel Channels

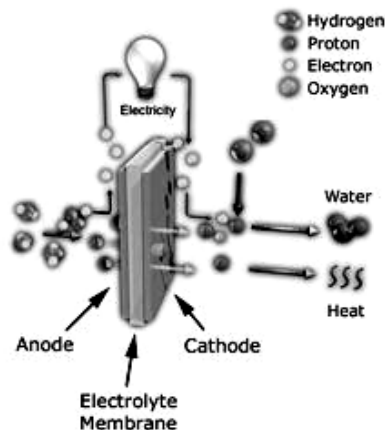
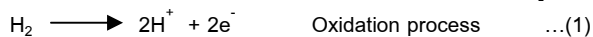
(ค) Parallel-Serpentine Channel

2.2 ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าภายในเชลล์เชื้อเพลิง

(Electrochemical Reaction Process in Fuel Cell)

เชลล์เชื้อเพลิงเป็นแหล่งให้พลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยาภายในเชลล์เชื้อเพลิง เริ่มจากการที่ก๊าซไฮโดรเจนถูกป้อนเข้าไปทางขั้วแอโนด แล้วเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ดังสมการที่ 1 ซึ่งจะได้อิเล็กตรอนอิสระและไฮโดรเจนไอออนออกมา โดยไฮโดรเจนไอออนจะเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ไปยังขั้วคาโทด ที่ขั้วคาโทดก๊าซออกซิเจนจะถูกป้อนเข้ามาเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ดังสมการที่ 2 ซึ่งเกิดจากไฮโดรเจนไอออน, ออกซิเจนไอออนกับอิเล็กตรอนมารวมตัวกันเกิดน้ำออกมา และได้กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในวงจรคาโทดและแอโนด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 จะต้องมี

ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะอยู่บริเวณผิวของขั้วไฟฟ้าที่สัมผัสกับก๊าซที่เข้ามา และอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดจะเคลื่อนที่ผ่านตัวต้านทานภายนอกมายังขั้วคาโทดดังแสดงในรูปที่ 3



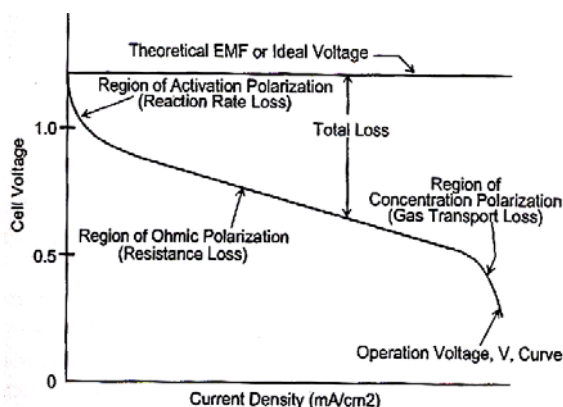
รูปที่ 3 ผังแสดงการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

: www.rpi.edu/polymers/research_fuel_cells.html

2.3 ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

(Efficiency of Fuel Cell)

ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน จะวัดออกมาในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกกับความหนาแน่นกระแส (current density) ในหน่วยของ milliamperes per square centimeter (mA / cm^2) ซึ่งพื้นที่ที่เป็นตัวหารนี้ก็คือบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์เชื้อเพลิง ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะสามารถวิเคราะห์ได้จาก I-V characteristic curve ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์

และความหนาแน่นของกระแส

จากรูปที่ 4 ตามทฤษฎีแล้วความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นกระแสควรจะเป็นเส้นตรงขนานแกนนอน แต่จากสภาพการทำงานจริงความต่างศักย์จะมีค่าลดลงเมื่อ

กระแสไฟฟ้าไหลมากขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพที่ลดลงนี้มีสาเหตุดังนี้ ในช่วงแรกความต่างศักย์ลดลงมาก เกิดความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาไม่สูงพอขณะเกิดปฏิกิริยา ทำให้ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาไม่ดีพอ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า reaction rate losses ช่วงที่ 2 ความต่างศักย์จะค่อย ๆ ลดลงเมื่อความหนาแน่นกระแสเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเกิดจากความต้านทานของอิเล็กโทรไลต์หรือเมมเบรน ทำให้เกิดความจำกัดในการส่งถ่ายไฮโดรเจนไอออน ทำให้ความสามารถในการนำโปรตอนต่ำลง เรียกว่า resistance loss ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่ความต่างศักย์ลดลงอย่างรวดเร็วอีกครั้ง ซึ่งเกิดจากความสามารถในการนำอิเล็กตรอนลดลงจากความต้านทานของชั้นการแพร่และตัวสะสมกระแส โดยเรียกว่า Gas Transport Losses ช่วงที่ความต่างศักย์ต่ำสุดซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการแพร่ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่สวนทางกันของก๊าซออกซิเจนที่จะไหลผ่านชั้นการแพร่เข้าไปสู่ชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำที่ไหลสวนทางออกมาทำให้พื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาน้อยลง ซึ่งเรียกว่า Diffusion Limiting

3. แบบจำลองเชิงตัวเลข

3.1 หลักการของ CFDRC®

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการกระจายตัวของก๊าซภายในเซลล์เชื้อเพลิงด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรม CFDRC® โดยใช้วิธีการเชิงตัวเลขมาแก้สมการควบคุมการไหลที่อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อย ซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วย 1. Continuity Equations 2. Momentum Equations 3. Energy Equations และ 4. Species Equations และจะมีการจัดสมการทั้งหมดอยู่ในรูปของสมการควบคุม (Governing Equations) ซึ่งมีสมการ คือ

1. Continuity Equations

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

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของโดเมน Ω

U คือ ความเร็วของของไหล (m/s)

2. Momentum Equations

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

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

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

3. Energy Equations

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

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ (K)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$)

H คือ heat flux (J/m^2)

4. Species Equations

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon \rho Y_i) + \nabla \cdot (\varepsilon \rho U Y_i) = \nabla J_i \quad \dots (8)$$

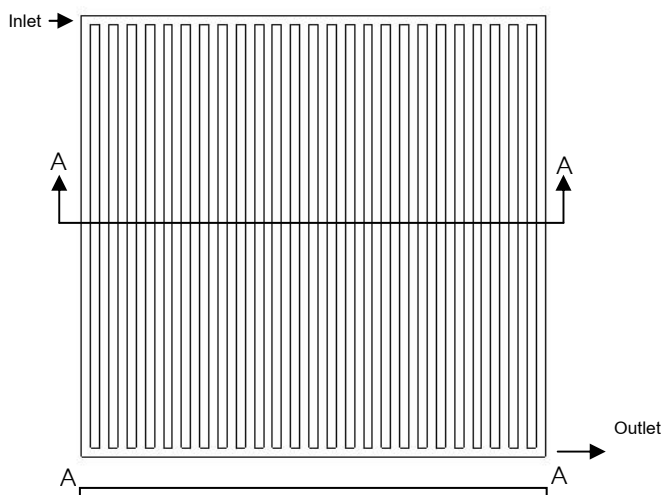
เมื่อ Y_i คือ Mass fraction of i th species

J_i คือ diffusion flux

ε คือ ค่าความพรุน

3.2 แบบจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติของเซลล์เชื้อเพลิง

การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติของสนามการไหลอาศัยโปรแกรม CFDRC[®] เป็นตัวสร้างแบบจำลอง โดยการออกแบบสนามการไหลของก๊าซ ขนาดของช่องนำก๊าซ กว้าง 1.0 มม. ลึก 1.0 มม. ครีบกว้าง 1.0 มม. ขนาดของสนามการไหลของก๊าซ กว้าง 50 มม. ยาว 50 มม. ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติของสนามการไหลแบบ Parallel

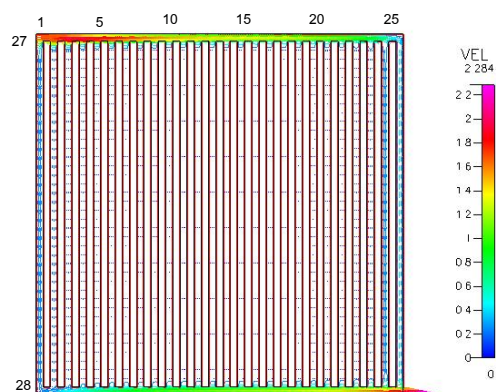
3.3 Boundary Conditions

สภาวะขอบเขตหลักที่ศึกษา มีการกำหนดสภาวะ คือ ให้สภาวะการไหลเป็นแบบ Steady State ก๊าซมีคุณสมบัติเป็น ideal gas การไหลของก๊าซเป็นแบบ Laminar flow ความดันอ้างอิงที่ 1 atm (ความดันบรรยากาศ) อุณหภูมิทำงานภายในเซลล์คือที่เท่ากับ 50 °C อัตราการไหลของก๊าซคงที่ที่ 100 sccm (square cubic centimeter per minute) โดยค่าสภาวะขอบเขตที่ใช้ในการกำหนดจะเป็นค่าจริงที่ใช้ในการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง

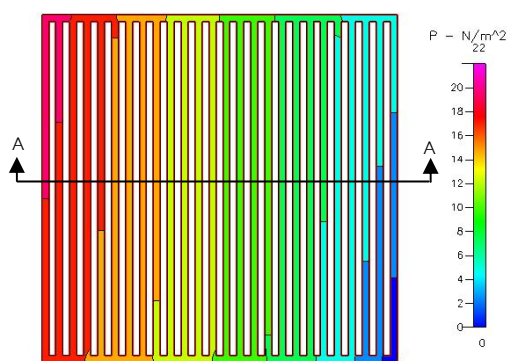
4. ผลการวิจัย

เมื่อพิจารณาถึงการกระจายตัวของความเร็ว และการกระจายตัวของความดัน สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

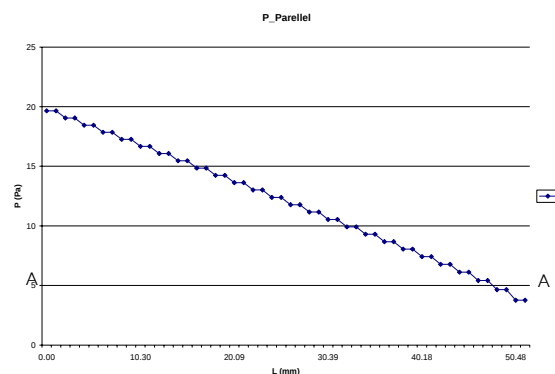
1. Parallel Flow Field



รูปที่ 6 การกระจายตัวของความเร็วในแบบ Parallel



รูปที่ 7 การกระจายตัวของความดันในแบบ Parallel

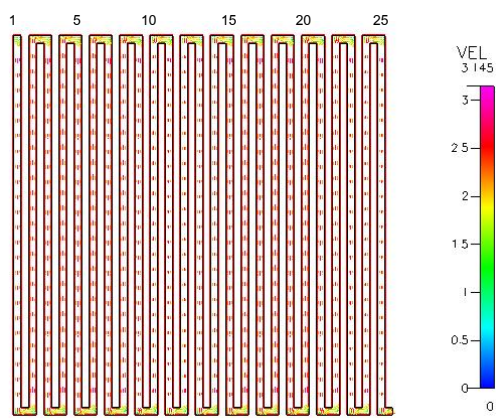


รูปที่ 8 กราฟความดันในแบบ Parallel

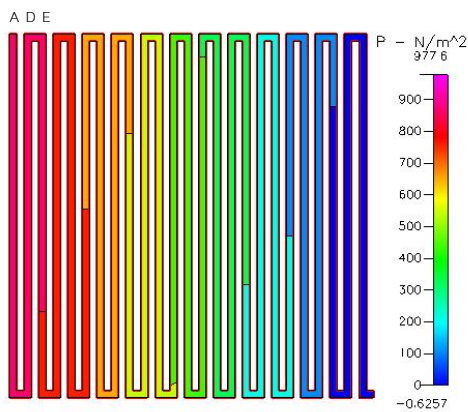
จากรูปที่ 6 เมื่อพิจารณาถึงรูปแบบการไหลของก๊าซภายในช่องทางเดินก๊าซแบบ Parallel ลักษณะการไหลโดยรวมของก๊าซ จะมีอัตราการไหลที่สูงบริเวณขาเข้าช่องทางเดินก๊าซในช่องทางที่ 27, 1 และ 26 ซึ่งอัตราการไหลจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงช่องทางที่ 4 ถึง 22 และค่อยๆ เพิ่มขึ้นตรงบริเวณทางออกของแผ่น โดยเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซในแต่ละช่องนำก๊าซ ลักษณะการไหลด้านทางเข้าของช่องนำก๊าซมีทิศทางการกระจายตัวเข้าไปในทิศเดียวกัน และไม่มีการชนกันภายในช่องนำก๊าซ แต่จะมีการชนกันเล็กน้อยตรงบริเวณทางออกของแต่ละช่อง ก่อนที่จะจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกันในช่องนำก๊าซด้านล่าง ซึ่งเมื่อการไหลเข้าสู่บริเวณทางออกของแต่ละช่องนำก๊าซ ลักษณะทิศ

ทางการไหลของก๊าซจะโค้งตามแนวการไหลของทิศทางการไหลหลัก ด้านนอกสุด ข้อแตกต่างของการกระจายตัวของก๊าซที่ไหลภายในสนามการไหล คือ ก๊าซจะมีการไหลที่เบาบางตรงบริเวณกลางแผ่น แต่บริเวณช่องนำก๊าซด้านนอกสุดจะมีการไหลมาก อาจทำให้เกิดปัญหาในการระบายน้ำออกจากสนามการไหล เพราะน้ำบางส่วนอาจจะขังอยู่ในช่องนำก๊าซ ในรูปที่ 7 และ รูปที่ 8 จะเห็นว่า ทางด้านทางเข้าจะมีความดันสูงสุด และความดันจะค่อยๆ ลดลงจนถึงบริเวณทางออก โดยความดันตกคร่อมรวมประมาณ 22 นิวตันต่อตารางเมตร และหากพิจารณาความดันภายในแต่ละช่องนำก๊าซ จะสังเกตเห็นว่าในแต่ละช่องนำก๊าซจะมีความดันต่างกันประมาณ 0.7 นิวตันต่อตารางเมตร

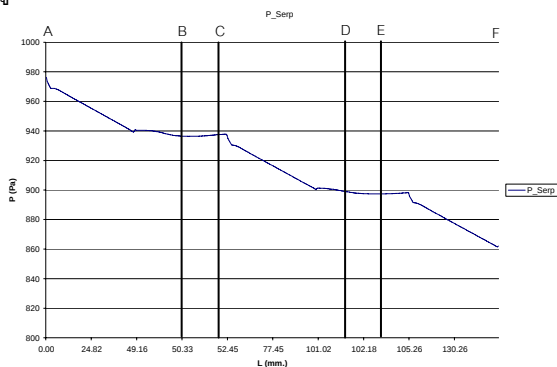
2. Serpentine Flow Field



รูปที่ 9 การกระจายตัวของความเร็วในแบบ Serpentine



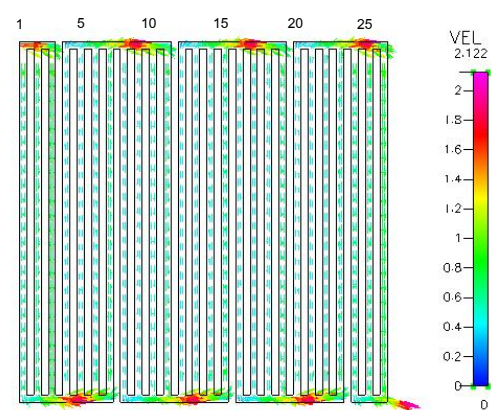
รูปที่ 10 การกระจายตัวของความดันในแบบ Serpentine



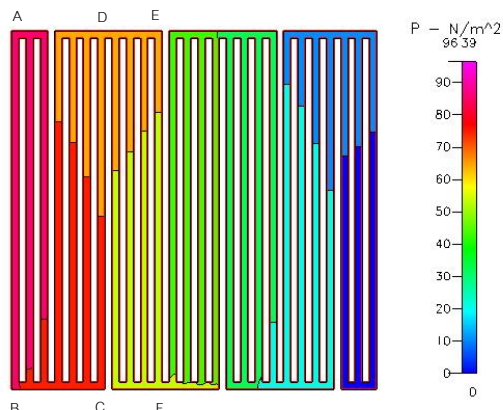
รูปที่ 11 กราฟความดันในแบบ Serpentine

จากรูปที่ 9 พิจารณาถึงรูปแบบการไหลของก๊าซภายในช่องทางเดินก๊าซแบบ Serpentine ลักษณะการไหลโดยรวมของก๊าซ จะมีอัตราการไหลที่สูงบริเวณช่องนำก๊าซของสนามการไหล และค่อนข้างคงที่ที่บริเวณช่วงกลางแผ่นในทุกช่องนำก๊าซ ลักษณะการไหลของช่องนำก๊าซมีทิศทางการกระจายตัวเข้าไปในทิศเดียวกัน และไม่มีการชนกันภายในช่องนำก๊าซ แต่ช่วงบริเวณช่วงมุมโค้งรูปตัว U อัตราการไหลของก๊าซจะลดลงขณะเกิดการหักเลี้ยว และเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่องนำก๊าซตรง และจะมีบริเวณที่ไม่มีการไหลของก๊าซในบริเวณมุมโค้งด้านนอกของสนามการไหล เนื่องจากก๊าซมีอัตราการไหลสูงขึ้นในช่วงที่เข้ามายังบริเวณช่วงมุมโค้งรูปตัว U ทำให้ก๊าซไหลไปชนกับผนังด้านข้างขวาสุดของช่องนำก๊าซ จึงอาจทำให้เกิดปัญหาในการระบายน้ำออกจากสนามการไหล เพราะน้ำบางส่วนอาจจะขังอยู่ในช่องนำก๊าซ แต่เป็นปริมาณที่น้อย ในรูปที่ 10 และ รูปที่ 11 ทางด้านทางเข้าจะมีความดันสูงสุด และความดันจะค่อยๆ ลดลงจนถึงบริเวณทางออกจะมีความดันต่ำสุด โดยความดันตกคร่อมรวมประมาณ 977-900 นิวตันต่อตารางเมตร และหากพิจารณาความดันภายในแต่ละช่องนำก๊าซ จะสังเกตเห็นว่าในทางตรงด้านทางเข้าของก๊าซ (ช่อง A-B) จะมีความดันลดประมาณ 40 นิวตันต่อตารางเมตร จากนั้นในช่วงหักเลี้ยว ความดันจะลดลงเพียงเล็กน้อย จนกระทั่งก๊าซไหลเข้าสู่ช่องนำก๊าซถัดไป (ช่อง C-D) จะมีความดันลดประมาณ 40 นิวตันต่อตารางเมตร ต่อมาในช่วงหักเลี้ยว ความดันจะลดลงตามช่องนำก๊าซเพียงเล็กน้อย จากนั้นเมื่อก๊าซไหลเข้ามาในช่องนำก๊าซตรง (ช่อง E-F) ความดันจะลดลงอีกครั้งตามความยาวของช่องนำก๊าซประมาณ 40 นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่าความดันในช่วงทางตรงของสนามการไหลจะค่อนข้างเท่ากัน

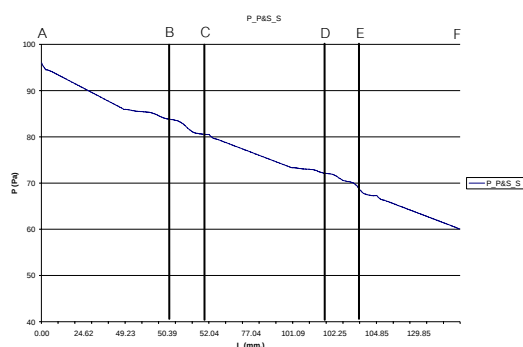
3. Parallel – Serpentine Flow Field



รูปที่ 12 การกระจายตัวของความเร็วในแบบ P-S



รูปที่ 13 การกระจายตัวของความดันในแบบ P-S



รูปที่ 14 กราฟความดันในแบบ P-S

รูปที่ 12 พิจารณาถึงรูปแบบการไหลของก๊าซภายในช่องทางเดินก๊าซแบบ Parallel - Serpentine ลักษณะการไหลโดยรวมของก๊าซจะมีอัตราการไหลที่มากขึ้นบริเวณช่วงมุมโค้งรูปตัว U ของสนามการไหล เนื่องจากในช่วงทางโค้งจะมีการรวมตัวกันของก๊าซจากช่องการไหลในแบบ Parallel (ช่องที่ 4 ถึง 7) โดยในช่องที่ 7 จะมีอัตราการไหลที่สูงที่สุดใน 4 ช่องการไหลและอัตราการไหลจะค่อนข้างคงที่ที่บริเวณช่วงกลางแผ่นในทุกช่องนำก๊าซ แต่จะมีอัตราการไหลในแต่ละช่องนำก๊าซต่ำกว่าแบบ Serpentine รูปที่ 13 และ รูปที่ 14 พบว่าความดันทางด้านทางเข้าจะมีความดันสูงสุด และความดันจะค่อยๆ ลดลงจนถึงบริเวณทางออก โดยความดันตกคร่อมรวมประมาณ 102 นิวตันต่อตารางเมตร และหากพิจารณาความดันภายในแต่ละช่องนำก๊าซ จะสังเกตเห็นว่าในทางตรงด้านทางเข้าของก๊าซ (ช่วง A-B) จะมีความดันลดประมาณ 15 นิวตันต่อตารางเมตร จากนั้นในช่วงหักเลี้ยว ความดันจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่เนื่องจากมีความยาวในช่วงหักเลี้ยวมากกว่าแบบ Serpentine จึงทำให้มีความดันลดที่มากกว่า จนกระทั่งก๊าซไหลเข้าสู่ช่องนำก๊าซช่วงถัดไป (ช่วง C-D) จะมีความดันลดประมาณ 8 นิวตันต่อตารางเมตร ต่อมาในช่วงหักเลี้ยว ความดันจะลดลงตามช่องนำก๊าซเพียงเล็กน้อยเช่นเดิม จากนั้นเมื่อก๊าซไหลเข้ามาในช่องนำก๊าซตรงช่วงถัดมา (ช่วง E-F) ความดันจะลดลงอีกครั้งตามความยาวของช่องนำก๊าซประมาณ 8 นิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งสังเกตเห็นได้ว่าความดันในช่วงทางตรงของสนามการไหลจะค่อนข้างเท่ากัน

5. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัย เมื่อวิเคราะห์ผลจากการกระจายตัวของความเร็ว และความดัน พบว่า สนามการไหลแบบ Serpentine และการไหลแบบ Parallel - Serpentine มีการกระจายตัวของความเร็วที่สูงกว่าสนามการไหลแบบ Parallel และในสนามการไหลแบบ Parallel จะมีความเร็วในช่องทางด้านล่างเร็วกว่าช่องในแนวนาน และความดันตกคร่อมภายในสนามการไหลค่อนข้างต่ำ ทำให้เกิดปัญหาการขังตัวของน้ำภายในสนามการไหล ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลง ส่วน สนามการไหลแบบ Serpentine และการไหลแบบ Parallel - Serpentine ความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นภายในสนามการไหลค่อนข้างสูง ซึ่งช่วยในการระบายน้ำออกจากเซลล์เชื้อเพลิง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของ Su (2004) ที่อัตราการไหล 300 sccm ในสนามการไหลแบบ Parallel มีค่าความดันตกคร่อมประมาณ 55 N/m² และ Serpentine มีค่าความดันตกคร่อม 1375 N/m² และพบว่าแบบ Serpentine จะมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่า ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับแบบจำลองทั้ง 2 แบบที่สร้างขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทรงวุฒิ นิธิกุลศิลป์, (2545) “การสร้างชั้นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [2] ณัฐวุฒิ จารุสุพันธุ์ และ ยศธนา คุณาทร, (2546) “Numerical Modeling of Gas Flow in Proton Exchange Membrane Fuel Cell “ สัมมนาวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนในอนุภูมิภาคกลุ่มแม่น้ำโขง ครั้งที่ 1, ประเทศลาว
- [3] ณัฐวุฒิ จารุสุพันธุ์, วาสนา คำโสภาส และ ยศธนา คุณาทร (2547) “การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของการไหลของก๊าซ และศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิในเซลล์เชื้อเพลิง ชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน” การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 3, เชียงใหม่
- [4] Chu, D., Jiang, R., and Walker, C., (2000) “Analysis of PEM fuel cell stacks using an empirical current-voltage equation” Journal of Applied Electrochemistry, 30 :365-370.
- [5] Larminie, J., Dicks, A., (2002) “Fuel Cell System Explained”
- [6] Mennola, T., (2000). “Design and Experimental Characterization of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells” Licentiate's thesis, Department of Engineering Physics and Mathematics, Helsinki University of Technology, Finland.

- [7] Sukkee, U and Wang,C.V. (2000) "Three Dimensional Analysis of Transport and Reaction in Proton Exchange Membrane Fuel Cells", Department of Mechanical and Nuclear Engineering, Pennsylvania State University, USA.
- [8] Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott., (1993) "Unit Operation of Chemical Engineering"
- [9] Wetton, B., Promislow, K., and Caglar, A., " A SIMPLE THERMAL MODEL OF PEM FUEL CELL STACKS" [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.google.co.th.
- [10] Kordesch,K. and Simader,G.,(1996) "Fuel Cell and their applications". Weinheim, Federal Replubic of Germany.
- [11] Su, A., Chiu, Y.C. and Weng, F.B. (2005) " The impact of flow field pattern on concentration and performance in PEMFC". Department of Mechanical Engineering, Yuan Ze University, Chung-Li, Taiwan. ; 29: 409-425.
- [12] Availabel: <http://www.princeton.edu/.../ Hydrogen/fuelcells.html> (online) [2004, Jan 16].
- [13] Availabel: www.rpi.edu/polymers/ research_fuel_cells.html (online) [2005, July 20].