บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร

1. รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัย / แผนงานวิจัย

ชื่อโครงการ :

(ภาษาไทย) การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาและเอ็มอีเอที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน

(ภาษาอังกฤษ) Preparation of high performance electrocatalyst and MEA for proton exchange membrane fuel cell

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2550 จำนวนเงิน 2,400,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 17 กันยายน 2550 ถึง 16 กันยายน 2551

ผู้ดำเนินการวิจัย :

1. รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์ E-mail: pornpote.p@chula.ac.th
2. รองศาสตราจารย์ ดร.เก็จวลี พฤกษาทร E-mail: kejvalee.p@chula.ac.th
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มะลิ หุ่นสม E-mail: mali.h@chula.ac.th
4. ดร.นิสิต ตัณฑวิเชฐ E-mail: nisit25@hotmail.com
5. นางสาวกฤติกา จารุทะวัย E-mail: krittika_c2000@yahoo.com
6. นางสาวศศิกานต์ เอ็นดู E-mail: ple_sasi@hotmail.com
7. นางสาววราพร กิติเกียรติโสภณ E-mail: wondermee@hotmail.com

หน่วยงานที่สังกัดและหมายเลขโทรศัพท์ของคณะผู้วิจัย :

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โทรศัพท์ 02-2187523-25
โทรสาร 02-2555831

2. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานเป็นปัญหาใหญ่ที่หลายฝ่ายกำลังดำเนินการแก้ไขอย่างเร่งด่วน และเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน หรือเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเซลล์

เชื้อเพลิงชนิดนี้ให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูง มีขนาดเล็กจึงเหมาะสำหรับเป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์ เคลื่อนที่ขนาดเล็ก แต่เนื่องจากต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูงเพราะเป็นอุปกรณ์นำเข้า และการทำงานยังขึ้นกับตัวแปรหลายตัวแปร ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมและพัฒนาการเตรียมเอ็มอีเอสมรรถนะสูงโดยกระบวนการต่างๆ อันจะนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิตเมื่อได้กระบวนการที่เหมาะสม

3. วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาและองค์ประกอบของเอ็มอีเอของเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อให้ได้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูง (0.7 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.6 โวลต์)

4. ระเบียบวิธีการวิจัย

ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมและโลหะผสมแพลทินัม ซึ่งเตรียมด้วยกระบวนการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้าและโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า ทดสอบสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาเพื่อวิเคราะห์ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิง จากนั้นพัฒนาการเตรียมและองค์ประกอบของเอ็มอีเอเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน รวมถึงการทดสอบสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยาและเอ็มอีเอที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า

5. ผลการวิจัย

ผลการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การพอกพูนแพลทินัมบนชั้นแก๊สแพร่ที่มีชั้นตัวรองรับเป็นผงคาร์บอนจะช่วยให้การกระจายตัวของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยามีความสม่ำเสมอและทั่วถึงมากกว่าการพอกพูนบนชั้นแก๊สแพร่โดยตรง เนื่องจากการตัวรองรับของผงคาร์บอนที่มีความพรุนและมีพื้นที่ผิวสูงจึงช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้มีพื้นที่ผิวของแพลทินัมในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่า นอกจากนี้ชั้นการแพร่ของแก๊สที่ทำหน้าที่รองรับผงคาร์บอนยังช่วยให้แก๊สเชื้อเพลิงไหลไปยังชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาได้อย่างสม่ำเสมอ การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาบนชั้นแก๊สแพร่ที่เป็นผ้าคาร์บอนที่มีชั้นตัวรองรับให้สมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงสูงกว่าและมีการจัดการน้ำดีกว่าการเตรียมบนกระดาษคาร์บอนที่มีชั้นตัวรองรับ เนื่องจากผ้าคาร์บอนมีความพรุนและมีความเป็นเส้นใยที่เหมาะสมมากกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะแพลทินัมที่เตรียมด้วยการให้กระแสไฟฟ้าแบบเป็นช่วงๆ มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยา

รีดักชันของแก๊สออกซิเจนในเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็มได้ดีกว่าการเตรียมด้วยการให้กระแสไฟฟ้าแบบคงที่ เนื่องจากมีการกระจายตัวของโลหะแพลทินัมบนขั้วอิเล็กโทรดดีกว่า และขนาดอนุภาคของโลหะแพลทินัมมีขนาดเล็กกว่า โดยภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการให้กระแสไฟฟ้าแบบเป็นช่วงๆ คือ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุดในการพอกพูนแต่ละช่วง 200 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร (รอบทำงานร้อยละ 5) ความหนาแน่นประจุไฟฟ้า 2 คูลอมบ์ต่อตารางเซนติเมตร เวลาในการให้กระแสไฟฟ้า 0.05 วินาที เวลาในการหยุดให้กระแสไฟฟ้า 0.95 วินาที และความถี่ 1 เฮิรตซ์ ผลจากการทดสอบสมรรถนะการทำงานเมื่อนำไปประกอบเป็นเอ็มอีเอในเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็มแบบชนิดเซลล์เดี่ยว พบว่าสามารถให้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 318.3 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่ค่าความต่างศักย์ 0.6 โวลต์ ซึ่งยังคงมีสมรรถนะต่ำกว่าเอ็มอีเอทางการค้าอยู่พอสมควร (569.8 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตรที่ค่าความต่างศักย์ 0.6 โวลต์) และเมื่อนำภาวะที่เหมาะสมที่ได้ในการพอกพูนตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะแพลทินัมบริสุทธิ์ดังกล่าวมาทดลองใช้ในการพอกพูนตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมแพลทินัม-โคบอลต์ โดยไม่มีขั้นตอนการรีดิวซ์ด้วยการผ่านแก๊สไฮโดรเจน พบว่าโคบอลต์กับแพลทินัมสามารถพอกพูนบนขั้วอิเล็กโทรดในรูปของโลหะผสม ผลการทดสอบโพลาไรเซชันแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะผสมแพลทินัม-โคบอลต์ มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะแพลทินัมบริสุทธิ์ที่เตรียมโดยวิธีเดียวกัน ดังนั้นการใช้โลหะผสมแพลทินัม-โคบอลต์น่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพีอีเอ็ม เนื่องจากสามารถลดการใช้โลหะราคาแพงอย่างแพลทินัมโดยการใช้โลหะราคาถูกมาแทนบางส่วน โดยที่ยังคงหรือแม้กระทั่งเพิ่มสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน

ผลการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการพอกพูนโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า

ผลการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการรีดักชันด้วยแอลกอฮอล์

จากการศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิริยาแพลทินัมสำหรับปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน พบว่าการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แอมโมเนียมเฮกซะคลอโรแพลทิเนตจะให้ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพทางเคมีไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกับการใช้กรดเฮกซะคลอโรแพลทินิก และการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดคือการเตรียมด้วยวิธีรีดักชันด้วยแอลกอฮอล์ โดยภาวะที่เหมาะสมคือใช้เมทานอลที่ความเข้มข้น 5.0 โมลต่อลิตร มีค่าความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นเท่ากับ 1 และใช้เวลาในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้นที่ภาวะนี้จะมีแพลทินัมที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2 ถึง 3 นาโนเมตร นอกจากนี้ยังมีการกระจายตัวของอนุภาคแพลทินัมที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ มีการรวมตัวกันของอนุภาคแพลทินัมน้อย ตัวเร่งปฏิกิริยาที่

เตรียมได้มีพื้นที่ผิวทางเคมีไฟฟ้าเท่ากับ 39.66 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งมีค่าสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาของบริษัท E-TEK และเมื่อนำขั้วอิเล็กโทรดที่เตรียมได้ไปทดสอบในเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวโดยขั้วแอโนดเป็นขั้วอิเล็กโทรดทางการค้าของบริษัท E-TEK และขั้วแคโทดเป็นขั้วอิเล็กโทรดที่เตรียมขึ้นจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้น และใช้เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนเป็นเนฟิออน 212 พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงเดี่ยวจะให้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 535 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0.6 โวลต์หรือมีค่าความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.32 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร อย่างไรก็ตามตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้นยังคงมีค่าความต้านทานโอห์มมิกที่สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาของบริษัท E-TEK ทำให้ในช่วงค่าความต่างศักย์ตั้งแต่ 0.6 โวลต์ ไปจนถึงค่าความต่างศักย์ค่าต่ำ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้นมีประสิทธิภาพต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาของบริษัท E-TEK เล็กน้อย

สรุปผลการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการรีดักชันด้วยฟอร์มัลดีไฮด์

จากการศึกษาพบว่าภาวะในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อสมบัติต่างๆ ของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ขนาดอนุภาค พื้นที่ผิว และลักษณะความเป็นผลึกของโลหะ ซึ่งภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการพอกพูนโดยไม่ใช้ไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ คือ ความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัม 10 กรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ 0.15 โมลต่อลิตร ระยะเวลาในการพอกพูน 2 ชั่วโมง และจำนวนครั้งในการเติมฟอร์มัลดีไฮด์ 7 ครั้ง จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสมบัติดีที่สุด คือ ขนาดอนุภาคโลหะแพลทินัม 2.93 นาโนเมตร พื้นที่ผิวของโลหะ 95.47 ตารางเมตรต่อกรัม และตัวเร่งปฏิกิริยามีการกระจายตัวดี ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าของ Electrochem, Inc. การแคลไซน์และรีดิวซ์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยการพอกพูนโดยไม่ใช้ไฟฟ้าจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมมีขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น และพื้นที่ผิวโลหะและพื้นที่ผิวของแพลทินัมในการเกิดปฏิกิริยาเคมีน้อยลง ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยการพอกพูนโดยไม่ใช้ไฟฟ้าโดยการแคลไซน์และรีดิวซ์

การศึกษาโพลาไรเซชัน พบว่าเอ็มอีเอที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมในงานวิจัยนี้ จะให้ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ดีกว่าเอ็มอีเอที่ใช้ขั้วอิเล็กโทรดทางการค้า ในช่วงความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ (น้อยกว่า 10 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร) ซึ่งเป็นช่วงโพลาไรเซชันทางเคมี โดยสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของแพลทินัมในการเกิดปฏิกิริยาเคมี พบว่าพื้นที่ผิวของแพลทินัมในการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเอ็มอีเอที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้มีค่ามากกว่าของเอ็มอีเอที่ใช้ขั้วอิเล็กโทรดทางการค้าของบริษัท Electrochem, Inc. และ E-TEK เล็กน้อย แต่ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูง ซึ่งเป็นช่วงโพลาไรเซชัน

เนื่องจากความต้านทาน พบว่าเอ็มอีเอที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้เองนั้นมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเอ็มอีเอที่ใช้ขั้วอิเล็กโทรดทางการค้าของบริษัท E-TEK อาจเนื่องมาจากขั้นตอนในการเตรียมเอ็มอีเอที่แตกต่างกันทำให้ความต้านทานโอห์มมิกนั้นแตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบเอ็มอีเอที่เตรียมได้เองกับเอ็มอีเอทางการค้าของบริษัท Electrochem, Inc. พบว่าประสิทธิภาพการทำงานยังต่ำกว่าทั้งในช่วงโพลาไรเซชันทางเคมีและโพลาไรเซชันเนื่องจากความต้านทาน โดยเอ็มอีเอที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมด้วยการพอกพูนโดยไม่ใช้ไฟฟ้าให้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 366 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.6 โวลต์ ที่ปริมาณแพลทินัม 1 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นจึงควรศึกษาในส่วนของการประกอบเอ็มอีเอต่อไป

ผลการพัฒนาชั้นแก๊สแพร่ และเอ็มอีเอ

จากผลการศึกษาพัฒนาชั้นแก๊สแพร่และเอ็มอีเอ จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า (E-TEK) พบว่าชนิดของชั้นแก๊สแพร่ ชนิดของเมมเบรน องค์ประกอบในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาและชั้นย่อยมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ชั้นแก๊สแพร่ที่เป็นผ้าคาร์บอนจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากระดาษคาร์บอน อิเล็กโทรดที่มีชั้นย่อยจะให้ประสิทธิภาพดีกว่าที่ไม่มีชั้นย่อย โดยองค์ประกอบชั้นย่อยที่เหมาะสมคือ เทฟลอนร้อยละ 6 ผงคาร์บอนเป็นชนิด HICON Black และมีปริมาณชั้นย่อยประมาณ 2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ปริมาณสารละลายเนฟิออนที่เหมาะสมในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาคือ ร้อยละ 33 ในช่วงปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม 0.3 – 0.5 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนชนิดเมมเบรนพบว่าเมมเบรนเนฟิออน 212 จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าเนฟิออน 115 เนื่องจากมีความหนาน้อยกว่าทำให้ความต้านทานของเซลล์ลดลง เอ็มอีเอที่เตรียมจากภาวะที่เหมาะสมนี้จะให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 810 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.6 โวลต์ ในภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิเซลล์หม้อความชื้นด้านแอโนดและหม้อความชื้นด้านแคโทดเท่ากับ 60, 65 และ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ ที่ความดันบรรยากาศ อัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนและออกซิเจนเท่ากับ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ที่ภาวะมาตรฐาน ซึ่งเป็นค่าที่บรรลุเป้าหมายของงานวิจัยที่ตั้งไว้ (ไม่น้อยกว่า 700 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.6 โวลต์)

6. บทสรุปและข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการใน 2 ส่วน คือ การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการใช้งานในเซลล์เชื้อเพลิงกับการประกอบเอ็มอีเอให้ได้สมรรถนะสูง เพื่อลดการนำเข้าส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์รวมถึงการลดต้นทุนการผลิตเซลล์ที่เกิดขึ้นได้ในอนาคต จากการวิจัยทั้งหมด

คณะผู้วิจัยสามารถเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสมบัติเทียบได้กับตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงการค้า และพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงที่มีสมรรถนะสูงกว่าเป้าหมาย กล่าวคือ เซลล์ที่พัฒนาขึ้นให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 810 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.6 โวลต์ สูงกว่าค่าเป้าหมายคือให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 700 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.6 โวลต์ สำหรับข้อเสนอแนะผู้วิจัยมีข้อเสนอดังนี้

1. จากการศึกษาสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมที่เตรียมโดยวิธีการพอกพูนโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า พบว่าได้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสมบัติ อาทิเช่น ขนาดตัวเร่งปฏิกิริยา พื้นที่ผิวการเกิดปฏิกิริยา ใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าที่ใช้กันทั่วไป ดังนั้นการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีการนี้ จึงน่าจะได้รับความสนใจ เนื่องจากสามารถเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาได้เอง ซึ่งลดการนำเข้าตัวเร่งปฏิกิริยาจากต่างประเทศ อย่างไรก็ตามในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้การศึกษาวิจัยในโครงการนี้ ผลการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า ยังให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงที่ต่ำอยู่ จึงควรต้องศึกษา ปรับแต่งค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

2. การใช้เมมเบรนเนฟิออน 212 เป็นอิเล็กโทรไลท์ซึ่งเป็นเมมเบรนที่มีความหนาน้อยกว่าเมมเบรนเนฟิออน 115 จะช่วยการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าอันเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ได้ค่าความหนาแน่นกระแสเพิ่มมากขึ้น แต่มีข้อเสียประเด็นหนึ่งที่น่าสังเกตคืออาจเกิดปรากฏการณ์แก๊สข้ามผ่านเมมเบรนได้ ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วงจรเปิดมีค่าต่ำลงกว่าในกรณีที่ใช้เมมเบรนที่มีความหนามากกว่า ดังนั้นในการเลือกใช้เมมเบรนควรต้องพิจารณาสมบัติของเมมเบรนในส่วนของค่าการซึมผ่านของแก๊สด้วย

3. การประกอบเอ็มอีเอ ณ ภาวะที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ พบว่าที่ศักย์ไฟฟ้า 0.6 โวลต์ เซลล์เชื้อเพลิงให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 810 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสูงกว่าค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ (700 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร) จากการทบทวนเอกสารพบว่า ยังมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถพัฒนาเอ็มอีเอให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นกว่าที่ได้ ณ ขณะนี้ ดังนั้นประเด็นนี้เป็นประเด็นหนึ่งที่น่าศึกษาต่อไปว่าถ้าต้องการสมรรถนะที่สูงกว่านี้ จะต้องนำปัจจัยใดเข้ามาเกี่ยวข้องอีกบ้าง นอกจากนี้ถ้าต้องนำเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อไปใช้งานจริงควรศึกษาการพัฒนาเอ็มอีเอที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากในทางปฏิบัติเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้งานจริงจะมีขนาด 50 100 150 ตารางเซนติเมตรหรือมากกว่า ซึ่ง

จากประสบการณ์ของนักวิจัยส่วนใหญ่พบว่าสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงมักจะลดลงอย่างมากเมื่อทำการขยายขนาดของเอ็มอีเอ เนื่องจากการกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่สม่ำเสมอ คุณภาพของการประกอบเอ็มอีเอที่กำกับดูแลยากขึ้น ส่งผลให้ได้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าลดลง จึงควรมีการศึกษาและพัฒนาในขั้นต่อไปสำหรับวิธีการเตรียมเอ็มอีเอขนาดใหญ่ รวมไปถึงวิธีการทำและการประกอบเซลล์ในรูปของเซลล์แถว (Stack cell) เพื่อเพิ่มค่าความศักย์ไฟฟ้า

7. การนำไปใช้ประโยชน์

เป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญสำหรับการวิจัยและพัฒนางานทางด้านเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อนำไปสู่แนวทางการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงที่มีศักยภาพในการใช้งานจริง อันจะนำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์และการลดต้นทุนการผลิตต่อไป