

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ แหล่งพลังงานส่วนใหญ่มักได้มาจากการสะสมตัวของซากดึกดำบรรพ์ (Fossil fuel) ซึ่งได้แก่ ปิโตรเลียมและถ่านหิน จากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ทำให้ความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงมีความเป็นไปได้ว่าในอนาคตอาจเกิดวิกฤตการณ์ด้านพลังงานขึ้น ประกอบกับการผลิตพลังงานจากปิโตรเลียมและถ่านหินจะก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา เช่น ปรากฏการณ์เรือนกระจก ซึ่งจะส่งผลให้โลกร้อนขึ้น สภาพอากาศแปรปรวน จากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น หลายหน่วยงานทั้งภาครัฐบาลและเอกชนจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อหาแหล่งพลังงานทดแทนหรือเทคโนโลยีการแปรรูปพลังงานที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยแหล่งพลังงานทดแทนหรือเทคโนโลยีนั้นจะต้องมีประสิทธิภาพใกล้เคียงหรือดีกว่าแหล่งพลังงานเดิม เช่น พลังงานลม พลังงานนิวเคลียร์ (Nuclear energy) พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy) และพลังงานจากชีวมวล (Biomass) เป็นต้น ทางเลือกหนึ่งในการแปรรูปพลังงานที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบันคือ เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell)

เซลล์เชื้อเพลิงคืออุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเผาไหม้ ผลที่ได้คือความร้อนและน้ำเท่านั้น จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากการสูญเสียในกระบวนการน้อย เซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตรงเท่ากับที่มีการป้อนแก๊สออกซิเจนหรืออากาศ และแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปในระบบ เซลล์เชื้อเพลิงมีด้วยกันหลายชนิด โดยจัดแบ่งเซลล์เชื้อเพลิงตามประเภทของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้คือ เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell, AFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) และเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมทานอลโดยตรง (Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) โดยพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่กำลังได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูง มีขนาดเล็ก จึงเหมาะสำหรับเป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก หรืออุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนที่หรือพกพาได้ เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์แบบพกพา และรถยนต์ เป็นต้น คุณสมบัติในการทำงานไม่สูงคือระหว่าง 50-100 องศาเซลเซียส จึงใช้



เวลาในการเริ่มเดินเครื่องน้อยกว่าเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น ความดันที่ใช้ไม่สูงคือระหว่าง 1-2 บรรยากาศ ซึ่งง่ายต่อการควบคุมความปลอดภัยของกระบวนการ

อย่างไรก็ดีในปัจจุบันการผลิตพลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดดังกล่าวยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก เนื่องจากต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง เพราะองค์ประกอบหลายอย่างในเซลล์เชื้อเพลิงมีราคาแพง เช่น ขั้วอิเล็กโทรด (Electrode) เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane) และตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ได้แก่ แพลทินัม (Platinum, Pt) ในปัจจุบันต้องนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้การเตรียมขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน (Membrane electrode assembly) หรือ เอ็มอีเอ (MEA) และปริมาณหรือองค์ประกอบที่ใช้ในการเตรียมเอ็มอีเอ เช่น ประเภทของวัสดุที่มีรูพรุนที่ใช้เป็นขั้ว (กระดาษคาร์บอนหรือผ้าคาร์บอน) ปริมาณเทฟลอน (Polytetrafluoroethylene, PTFE) ปริมาณเนฟลอน (Nafion) และชั้นแก๊สแพร่ (Gas Diffusion layer, GDL) ต่างก็เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณของแพลทินัมที่ต้องใช้ด้วย นอกจากนี้วิธีการประกอบชั้นแก๊สแพร่เข้ากับขั้วอิเล็กโทรดยังมีผลต่อความต้านทานของเซลล์ซึ่งควรมีค่าต่ำที่สุด เพราะความต้านทานของเซลล์มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมด้วยกระบวนการต่างๆ รวมทั้งศึกษาวิธีการเตรียม และองค์ประกอบของเอ็มอีเอ เพื่อให้ได้เอ็มอีเอที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาและองค์ประกอบของเอ็มอีเอของเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อให้ได้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูง (0.7 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ศักย์ไฟฟ้า 0.6 โวลต์)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

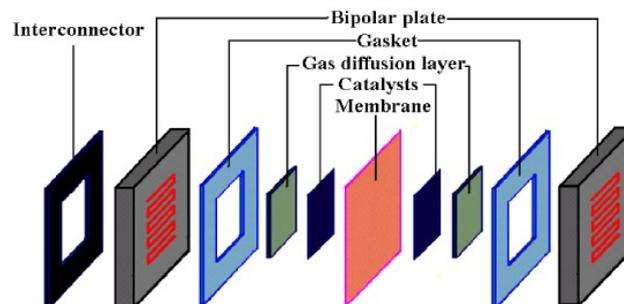
ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมและโลหะผสมแพลทินัม ซึ่งเตรียมด้วยกระบวนการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้าและกระบวนการพอกพูนโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า ทดสอบสมบัติทางกายภาพและโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาเพื่อวิเคราะห์ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิง การพัฒนาการเตรียมและองค์ประกอบของเอ็มอีเอเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน รวมถึงการทดสอบสมรรถนะของตัวเร่งปฏิกิริยาและเอ็มอีเอที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า

1.4 ทฤษฎีและแนวความคิด

1.4.1 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนและเอมอีเอ

ปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในด้านต่างๆ มีการพัฒนาอย่างมาก โดยเฉพาะด้านอุตสาหกรรมรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดพกพา รวมถึงโทรศัพท์มือถือ ทำให้มีความต้องการในการใช้พลังงานสูงขึ้นตามไปด้วย ปัญหาที่ตามมาคือการขาดแคลนพลังงานโดยเฉพาะพลังงานจากเชื้อเพลิงธรรมชาติ และปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้เกิดสารมลพิษขึ้น พลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ คือ พลังงานที่ได้มาจากเซลล์เชื้อเพลิง เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาด มีความปลอดภัย มีประสิทธิภาพการทำงานสูงและก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในปริมาณน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้จากการแปรรูปพลังงานส่วนใหญ่ที่กำลังใช้อยู่ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน เป็นต้น เซลล์เชื้อเพลิงเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานเคมี (Chemical energy) เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงด้วยกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical process) ทำให้ได้กระแสไฟฟ้า น้ำ และความร้อนออกมาโดยปราศจากการเผาไหม้ เซลล์เชื้อเพลิงมีหลายชนิดสามารถแบ่งได้ตามวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ แต่ที่นิยมนำมาใช้งานและได้รับความสนใจมากที่สุดคือเซลล์เชื้อเพลิงเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน เนื่องจากมีขนาดเล็กเหมาะสำหรับเป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่ ทำงานที่ภาวะอุณหภูมิและความดันต่ำ

เซลล์เชื้อเพลิงเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนหนึ่งเซลล์จะประกอบด้วยแผ่นสะสมกระแสไฟฟ้าแบบ 2 ขั้ว (Bipolar plate) และเอมอีเอ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งในการใช้งานจริงจะต้องนำเซลล์เดี่ยวหลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็นเซลล์เชื้อเพลิงแถว (Fuel cell stack) เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าตามความต้องการใช้งาน



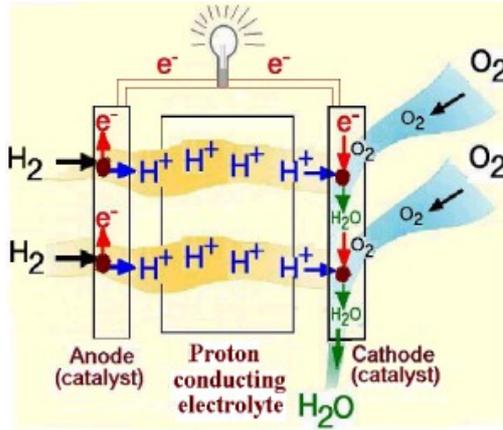
รูปที่ 1.1 องค์ประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน [<http://www.kemi.dtu.dk>]

เอมอีเอนับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุด เนื่องจากเป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาและผลิตกระแสไฟฟ้า เอมอีเอนประกอบด้วยเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer) และชั้นแก๊สแพร่ การเตรียมเอมอีเอนสามารถทำได้โดยการนำขั้วอิเล็กโทรดที่มีชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาประกบเข้ากับเมมเบรนโดยใช้วิธีการกดอัดด้วยความร้อน (Hot press) ซึ่งวิธีการเตรียมจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา ลักษณะของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์นั้น องค์ประกอบทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยา สารตั้งต้นหรือแก๊ส และเมมเบรนหรืออิเล็กโทรไลต์ ควรมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างกัน หรือมีการจัดเรียงตัวแบบ Three-phase boundary ถ้าพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ Three-phase boundary มีมากจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานสูง เอมอีเอนที่ดีควรมีสมบัติดังนี้

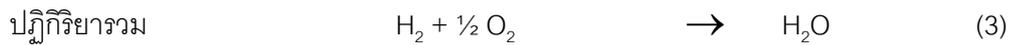
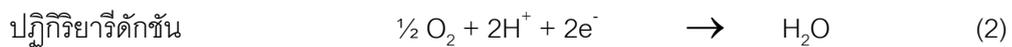
- ชั้นแก๊สแพร่ จะต้องมีความสามารถในการแพร่แก๊ส มีความพรุนและค่าการนำไฟฟ้าสูง
- ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา จะต้องมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และไม่หนา
- เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ต้องมีค่าการนำโปรตอนและความต้านทานในการบวม น้ำสูง และไม่ยอมให้แก๊สแพร่ผ่าน
- เมื่อประกอบเป็นเอมอีเอนแล้วต้องมีค่าความต้านทานในการสัมผัสและความต้านทานทางขนาดน้อย และตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่การเกิดปฏิกิริยาได้ดี

ในการเกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์เชื้อเพลิง ทั้งโปรตอน อิเล็กตรอนและแก๊สจะเป็น 3 เฟสที่พบกันที่ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นในส่วนของการออกแบบขั้วอิเล็กโทรดและการเตรียมเอมอีเอนที่เหมาะสม ต้องพยายามให้มีการกระจายตัวขององค์ประกอบต่าง ๆ ในแต่ละชั้นให้เหมาะสมเพื่อให้มีการถ่ายโอนของแต่ละเฟสเป็นไปด้วยดี ลดการสูญเสียการถ่ายโอนและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

รูปที่ 1.2 แสดงการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยเริ่มจากการป้อนเชื้อเพลิง เช่น แก๊สไฮโดรเจน แก๊สธรรมชาติ หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนต่างๆ เป็นต้น เข้าไปยังขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันตามปฏิกิริยา (1) โมเลกุลของแก๊สไฮโดรเจนแตกตัวให้อิเล็กตรอน (e^-) และโปรตอน (H^+) อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอกไปยังขั้วแคโทด ส่วนโปรตอนจะเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโทรไลต์ไปยังขั้วแคโทด เกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทดตามปฏิกิริยา (2) โดยแก๊สออกซิเจนที่ป้อนเข้ามาขั้วแคโทดจะรวมตัวกับโปรตอนและอิเล็กตรอนที่มาจากขั้วแอโนด ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำ ความร้อน และไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current, DC) ปฏิกิริยารวมแสดงได้ดังสมการที่ (3)



รูปที่ 1.2 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแลกเปลี่ยนโปรตอน [http://www.kemi.dtu.dk/]



ข้อดีของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ คือ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องตรงตามเท่าที่มีการป้อนเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ คือ น้ำ และความร้อน เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานในอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ได้ เช่น รถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ตลอดจนสามารถทำงานที่ภาวะอุณหภูมิ (60 - 100 องศาเซลเซียส) และความดันต่ำ (1 - 2 บรรยากาศ)

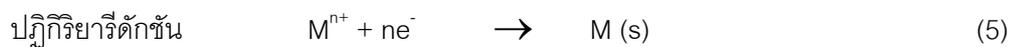
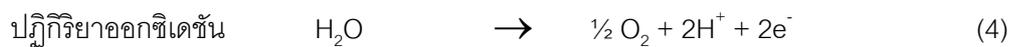
ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการโดยเฉพาะตัวเร่งปฏิกิริยาในด้านแคโทด เนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นช้า ซึ่งเกิดขึ้นช้ากว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโดรเจนถึงประมาณ 10^5 เท่า ดังนั้นการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพดีจะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงสูงตามไปด้วย ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมและโลหะผสมแพลทินัมด้วยกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า และการพอกพูนโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า

1.4.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า

การเตรียมขั้วอิเล็กโทรดด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการทางไฟฟ้าเคมี คือ การทำให้โลหะไปพอกพูนอยู่บนผิวหน้าชิ้นงานโดยการให้ศักย์ไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า ซึ่งผิวหน้าชิ้นงานในที่นี้คือกระดาษคาร์บอน (Carbon paper) หรือผ้าคาร์บอน (Carbon cloth) โดยกระดาษคาร์บอนหรือผ้าคาร์บอน



จะถูกจุ่มลงในสารละลายซึ่งมีโลหะที่ต้องการให้เกิดการพอกพูนอยู่ ในการต่ออุปกรณ์จะประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรด 3 ขั้ว คือ ขั้วทำงาน (Working electrode) ขั้วอ้างอิง (Reference electrode) และขั้วร่วม (Counter electrode) การพอกพูนจะเกิดขึ้นที่ขั้วทำงานโดยมีหลักการทำงานคือ ต่อชิ้นงานที่ต้องการจะพอกพูนซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดทำงานกับขั้วลบ (ขั้วแคโทด) และต่อขั้วโลหะที่ทนทานต่อการกัดกร่อนซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดร่วมกับขั้วบวก (ขั้วแอโนด) ระหว่างการพอกพูนโลหะจะมีการให้กระแสไฟฟ้าเข้าไประหว่างขั้วทั้งสองทำให้โลหะไอออนที่อยู่ในสารละลายเกิดปฏิกิริยารีดักชัน โดยโลหะไอออนจะเคลื่อนที่ไปรีดิวที่ขั้วลบ และเปลี่ยนสภาพเป็นโลหะที่เป็นของแข็งพอกพูนอยู่ที่ขั้ว ดังปฏิกิริยา



โดยที่ M คือโลหะและ n คือจำนวนอิเล็กตรอนที่ร่วมในการเกิดปฏิกิริยา

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อพื้นผิวของโลหะที่พอกพูนบนขั้วอิเล็กโทรด ได้แก่ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และเวลา โดยทั่วไปศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่เซลล์ไม่ควรมากเกินไป เพราะจะเป็นการเร่งการพอกพูนของสารทำให้ได้ชั้นของการพอกพูนที่ไม่เรียบ เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่มากเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงคือ ปฏิกิริยารีดักชันของน้ำที่ขั้วแคโทดได้เป็นแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งแก๊สดังกล่าวจะเป็นตัวขัดขวางการพอกพูนของโลหะบนขั้วแคโทด นอกจากนี้การที่ไอออนในสารละลายมีการเคลื่อนที่ไหลตลอดเวลาด้วยการกวนสารละลายหรือการหมุนของขั้วอิเล็กโทรดจะช่วยให้การพอกพูนของสารเป็นไปได้ดี สม่าเสมอ การเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายระหว่างการพอกพูนมีส่วนช่วยในการเพิ่มความเร็วในเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายไปที่ขั้วอิเล็กโทรด

1.4.3 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการพอกพูนโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการพอกพูนโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า เป็นกระบวนการพอกพูนโลหะโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารรีดิวซ์และไอออนของโลหะในสารละลาย เกิดเป็นชั้นโลหะในรูปของฟิล์มบางบนผิวชิ้นงาน ปฏิกิริยาสามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง (Autocatalytic reaction) ขึ้นกับปริมาณองค์ประกอบในสารละลาย โดยผิวหน้าชิ้นงานที่ต้องการพอกพูนโลหะควรมีลักษณะร่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Catalytic surface) การพอกพูนโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้าอาจหมายถึงรวมถึงเทคนิคต่างๆในการเคลือบโลหะโดยสารละลายที่ปราศจากการให้กระแสไฟฟ้า โดยทั่วไปจะใช้การจุ่มชิ้นงานในสารละลายให้สัมผัสกับโลหะไอออนและสารรีดิวซ์ วิธีนี้ยังมีข้อจำกัดสำหรับชิ้นงานที่ไม่ใช่โลหะหรือมีสมบัติเป็นฉนวน เช่น พลาสติก เซรามิก เป็นต้น ต่อมาได้มีการศึกษาพัฒนาเพื่อ

แก้ไขปรับปรุงผิวชิ้นงานเหล่านี้ด้วยวิธีต่างๆ เพื่อให้ผิวมีความเหมาะสมแก่การพอกพูนโลหะด้วยเทคนิคการพอกพูนโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า ทำให้เทคนิคนี้มีการนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งกับชิ้นงานที่เป็นฉนวน (Non-conductive material) กึ่งตัวนำ (Semiconductor) และโลหะ (Metal)

การเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้เป็นโลหะพอกพูนบนผิวชิ้นงาน เป็นกระบวนการที่ดำเนินไปแบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีขั้นตอนของปฏิกิริยาซับซ้อน อาจพิจารณาเพียงปฏิกิริยาที่มีความเป็นไปได้และถูกต้องมากที่สุด การเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโลหะจะเกิดบนผิวชิ้นงานที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ระหว่างปฏิกิริยา (Intermediate) อาจประกอบด้วยไฮโดรเจนในรูปอะตอม ไฮโดรเจนไอออน และสารประกอบไฮโดรเจน การดำเนินไปของปฏิกิริยาเป็นไปตามกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า โดยสารรีดิวซ์จะเกิดการออกซิไดซ์ (Anodically oxidized) ได้อิเล็กตรอนบนผิวหน้าที่ไวต่อปฏิกิริยา โลหะในรูปไอออนจะรับอิเล็กตรอน เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Cathodically reduced) ในระบบปฏิกิริยาทั้งสองจะเกิดขึ้นพร้อมกันและสัมพันธ์กันทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งจากกระบวนการนี้อิเล็กตรอนถือเป็นผลิตภัณฑ์ระหว่างปฏิกิริยาที่มีความว่องไว (Active intermediate product)



ที่ภาวะสถานะคงตัว (Steady state) ของกระบวนการพอกพูน อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าทั้ง 2 จะเท่ากัน และได้ค่าความต่างศักย์รวม (Mixed potential, E_m) ที่มีค่าระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (Equilibrium potential, E_c) ของโลหะกับสารรีดิวซ์ และขึ้นกับตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าทั้ง 2 ปฏิกิริยา ปัจจัยที่มีผลต่อการพอกพูนแบบไม่ใช้กระแสไฟฟ้าได้แก่ อัตราการพอกพูน องค์ประกอบของสารละลาย ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของสารละลาย สมรรถนะของสารรีดิวซ์ รวมถึงเสถียรภาพและอายุการใช้งานของสารละลาย

1.5 ข้อมูล เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า

Jyoko และคณะ (1996) เตรียมฟิล์มหลายชั้นของโลหะ Co-Pt ด้วยวิธีการพอกพูนโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า ภายใต้การควบคุมศักย์ไฟฟ้า โดยใช้ Pt(111) เป็นตัวรองรับ จากการศึกษาด้วย



Reflection electron microscopy (REM) พบว่าฟิล์มของ Pt กับ Co ซ้อนกันเป็นชั้น ๆ และจากภาพตัดขวางของ Transmission electron microscopy (TEM) จะเห็นความหนาเป็นชั้น ๆ ของ Pt (40 นาโนเมตร)/ Co (60 นาโนเมตร) และ Pt (5 นาโนเมตร)/ Co(5 นาโนเมตร) ซึ่งจากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าวิธีการพอกพูนโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าเป็นเทคนิคที่ดีและเหมาะสม โดยดูจากการจัดเรียงตัวของชั้นของโลหะที่ซ้อนกันสนิทและได้ความหนาตามที่ต้องการ

Choi และคณะ (1998) ศึกษาการเตรียมขั้วอิเล็กโทรดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนด้วยวิธีการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้าโดยการให้กระแสไฟฟ้าแบบเป็นช่วง (Pulse electrodeposition) เปรียบเทียบกับการให้กระแสไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (Direct current electrodeposition, DC) พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจะมีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงอย่างมาก โดยเมื่อเรียงประสิทธิภาพจากมากไปน้อยจะมีค่าดังนี้ 20 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร > 10 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร > 25 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร > 50 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร และจากการใช้ช่วงเวลาในการให้กระแสไฟฟ้า (On-time) และหยุดให้กระแส ไฟฟ้า (Off-time) ที่แตกต่างกันให้ประสิทธิภาพจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ 100 มิลลิวินาที/ 300 มิลลิวินาที > 10 มิลลิวินาที/ 30 มิลลิวินาที > 1 วินาที/ 3 วินาที > DC

Thompson และคณะ (2001) ศึกษาการเตรียมชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมด้วยกระบวนการ Ion-exchange/electroreduction โดยใช้ปริมาณเนฟิออนที่แตกต่างกันคือร้อยละ 15 ร้อยละ 20 และร้อยละ 29 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณเนฟิออนจะมีผลต่อขนาดของแพลทินัมที่พอกพูนเป็นอย่างมาก กล่าวคือตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้มีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 55 36 และ 19 ตารางเมตรต่อกรัมแพลทินัม ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณเนฟิออนที่มากเกินไปจะไปจำกัดการขยายขนาดของอนุภาคแพลทินัมส่งผลให้ได้อนุภาคแพลทินัมที่มีพื้นที่ผิวน้อย

Jyoko และ Schwarzacher (2001) ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Co-Pt และ Co-Ni-Pt ในระดับนาโนเมตรโดยวิธีการพอกพูนโลหะด้วยไฟฟ้าภายใต้การควบคุมศักย์ไฟฟ้า โดยมี Pt(111) ที่มีโครงสร้างแบบ FCC เป็นตัวรองรับ พบว่าศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้ฟิล์มของโลหะเกิดการเกาะติดเป็นชั้น ๆ คือ -0.65 โวลต์ โดยที่ศักย์ไฟฟ้าน้อยกว่า -0.30 โวลต์ จะทำให้ฟิล์มของโลหะเกิดเป็นชั้นของอัลลอยด์ขึ้น จากการวิเคราะห์ด้วย Atomic Force Microscope (AFM) พบว่าลักษณะชั้นของฟิล์มโลหะที่เตรียมได้เป็นแบบ FCC โดย Co-Ni-Pt จะเป็นเนื้อเดียวกัน เกรนที่ได้มีความละเอียด (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 นาโนเมตร) และขอบเขตของเกรนจะแหลม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ FCC-HCP Co/Pt มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100 นาโนเมตร จากการศึกษพบว่า Ni จะป้องกันการสูญเสียของ Co ระหว่างการเกาะติดกับ Pt และช่วยในกระบวนการก่อตัวเป็นผลึกทำให้เกิดการก่อตัวเป็นผลึกสูงขึ้น ซึ่งทำให้เกิดฟิล์มของโลหะเกาะเป็นชั้น ๆ ในระดับนาโนเมตร

Kim และคณะ (2004) ศึกษาการเตรียมขั้วอิเล็กโทรดด้วยวิธีการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า โดยการให้กระแสไฟฟ้าแบบต่อเนื่องที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 50 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร เทียบกับการให้กระแสไฟฟ้าแบบเป็นช่วง ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 200 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ช่วงเวลาในการให้กระแสไฟฟ้า 5.2 มิลลิวินาที หยุดให้กระแสไฟฟ้า 70 มิลลิวินาที และให้ความหนาแน่นประจุของทั้งสองวิธีเท่ากันที่ 6 คูลอมป์ต่อตารางเซนติเมตร ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงพบว่า การเตรียมด้วยการให้กระแสไฟฟ้าแบบเป็นช่วง ให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าการเตรียมด้วยการให้กระแสไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง ซึ่งความแตกต่างนี้เป็นผลเนื่องจากขนาดอนุภาคของโลหะที่พอกพูน โดยภาพจาก SEM แสดงให้เห็นว่าขนาดอนุภาคของโลหะแพลทินัมที่เตรียมด้วยการให้กระแสไฟฟ้าแบบต่อเนื่องมีขนาดใหญ่กว่า จึงส่งผลให้พื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยามีน้อยกว่า

Qian และคณะ (2005) ศึกษาการเตรียมแพลทินัมที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรบนพื้นผิว Indium-doped tin oxide (ITO) บนพื้นผิว Poly(sodium-p-styrenesulfonate) (PSS) /Poly(diallyldimethylammonium chloride) (PDDA)/ITO และบนพื้นผิว Amine-terminated fourth-generation polyamidoamine (G_4-NH_2)/PSS/PDDA/ITO ด้วยการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า จากสารละลาย 1 มิลลิโมล H_2PtCl_6 + 1 โมล H_2SO_4 ที่ศักย์ไฟฟ้า -0.2 โวลต์ ใช้แพลทินัมฟอยล์ (Pt foil) เป็นขั้วแอโนด และโพแทสเซียมคลอไรด์เป็นขั้วอ้างอิง โดยภาพถ่ายจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Field-emitted scanning microscopy (FE-SEM) แสดงอนุภาคแพลทินัมขนาดเล็กระดับนาโนเมตรจำนวนมากเรียงจากใหญ่ไปเล็กเป็นดังนี้ ITO (80-120 นาโนเมตร) > (G_4-NH_2)/PSS/PDDA/ITO (90-160 นาโนเมตร) > PSS/PDDA/ITO (120-200 นาโนเมตร) และพบว่าเวลาที่มีผลต่อขนาดอนุภาคด้วย เช่นกัน เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการให้ศักย์ไฟฟ้านานขึ้นขนาดอนุภาคของแพลทินัมจะใหญ่กว่าการให้ศักย์ไฟฟ้าที่ระยะเวลาสั้นกว่า

Duarte และคณะ (2006) ศึกษาการพอกพูนตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากสารละลายเฮกซะคลอโรแพลทินิก (H_2PtCl_6) บนคาร์บอนที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ Glassy carbon (GC) Graphite fiber (GF) และ Graphite fiber cloth (GFC) โดยวิธีการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า พบว่าศักย์ไฟฟ้าและเวลาที่มีอิทธิพลต่อขนาดอนุภาคและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมที่พอกพูน กล่าวคือเมื่อระยะเวลาในการให้ศักย์ไฟฟ้านานขึ้นขนาดอนุภาคก็จะใหญ่มากขึ้นและการใช้ศักย์ไฟฟ้าแบบ Double step จะให้การกระจายตัวของอนุภาคมีความสม่ำเสมอมากกว่าการใช้ศักย์ไฟฟ้าแบบ Single step ความแตกต่างของขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของโครงสร้างแพลทินัมจะสังเกตเห็นชัดเจนเมื่อแพลทินัมถูกพอกพูนบน Graphite fiber เนื่องจากเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าแบบ Double step ขนาดอนุภาคของแพลทินัมที่พอกพูนบนพื้นผิว Graphite fiber จะมีขนาดเล็กและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากกว่าการใช้ศักย์ไฟฟ้าแบบ Single step มาก ผลจากการทดสอบปฏิกิริยาการ



ออกซิเดชันของเมทานอลพบว่าแอคติวิตีเรียงจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ $GC > GFC > GF$ และยังพบว่าแอคติวิตีจะลดลงเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคแพลทินัมใหญ่ขึ้น เนื่องจากอนุภาคที่ใหญ่จะส่งผลให้พื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาลดลง

สุกัญญา ทองคำ (2547) เปรียบเทียบสมรรถนะของขั้วอิเล็กโทรดจากการเตรียมที่ต่างกัน 2 วิธี คือ การพิมพ์และการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า พบว่าขั้วอิเล็กโทรดที่เตรียมด้วยวิธีการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า เมื่อมีปริมาณแพลทินัมเพิ่มมากขึ้นความต้านทานจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะแพลทินัมไม่ได้เกาะอยู่ในรูผลึกและไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับชั้นอิเล็กโทรไลต์ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ยากและพบว่าสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงของโลหะชนิดต่างๆ ที่เตรียมโดยวิธีการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้าจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ $Pt/C > Pt-Ru/C > Pt-Co/C > Pt-Ni/C$ แต่ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงโดยรวมยังคงให้กระแสไฟฟ้าต่ำกว่าขั้วอิเล็กโทรดที่เตรียมด้วยวิธีการพิมพ์ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ไม่ได้เน้นการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมขั้วอิเล็กโทรดโดยวิธีการพอกพูนด้วยกระแสไฟฟ้า

1.5.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการพอกพูนโดยไม่ใช้กระแสไฟฟ้า

Kim และคณะ (2003) ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมบนตัวรองรับคาร์บอนด้วยกระบวนการรีดักชันด้วยสารรีดิวซ์ชนิดต่างๆ พบว่าสารรีดิวซ์ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมปฏิกิริยา คือ ฟอर्मัลดีไฮด์ (HCHO) เพราะเป็นสารรีดิวซ์ที่มีความแรงมากกว่าสารรีดิวซ์ตัวอื่น ($HCHO > NaBH_4 > i-PrOH > EtOH$) ทำให้แพลทินัมเกิดการกระจายตัวสูง และมีขนาดอนุภาคแพลทินัมเล็ก ความเข้มข้นและค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายแพลทินัมมีผลต่อขนาดของแพลทินัม กล่าวคือ สารละลายแพลทินัมมีความเข้มข้นต่ำ (ค่าความเป็นกรด-เบสประมาณ 8.5-9) จะให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อค่าความเป็นกรด-เบสเพิ่มขึ้นจะทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลง แต่เมื่อสารละลายมีความเป็นกรด-เบสมากกว่า 8 ขนาดของแพลทินัมจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยจะมีขนาดเฉลี่ยที่ 2 นาโนเมตร เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยารีดักชันของโลหะแพลทินัม ทำให้ขนาดของอนุภาคเล็กลง และการกระจายตัวของอนุภาคดีขึ้น

Tian และคณะ (2004) ศึกษาผลของภาวะในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C ต่อสมรรถนะการทำงานของขั้วอิเล็กโทรดด้านแคโทดในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยศึกษาผลของสารรีดิวซ์ชนิดต่าง ๆ และศึกษาผลของการบำบัดตัวรองรับคาร์บอนด้วยความร้อน (Heat treatment) ในแก๊สไนโตรเจน พบว่าฟอर्मัลดีไฮด์ (HCHO) เป็นสารรีดิวซ์ที่เหมาะสม เพราะมีความแรงในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าสารรีดิวซ์ตัวอื่นๆ ($HCHO > HCOOH > KBH_4$) ทำ



ให้ $[PtCl_6]^{2-}$ แพร่ซึมและดูดซับลงบนผิวของตัวรองรับคาร์บอนได้ง่ายกว่า ดังนั้นขนาดของแพลทินัมที่ได้จึงมีขนาดเล็กและมีการกระจายตัวดี และพบว่า การบำบัดตัวรองรับคาร์บอนด้วยความร้อนจะทำให้ปริมาณของออกซิเจนบนพื้นผิวดังกล่าวลดลง เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบบนพื้นผิวดังกล่าวจะทำให้เกิดความชื้นบนพื้นผิวบนตัวรองรับคาร์บอน และทำให้เกิดการดูดซับ $[PtCl_6]^{2-}$ ไม่ดี เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้นั้นมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขายทางการค้า

Zhenhua และคณะ (2004) ศึกษาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมบนคาร์บอนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก โดยใช้วิธีอิมเพกเนชันที่ปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น พบว่าขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแพลทินัมบนคาร์บอนขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียม โดยที่ระยะเวลา 15 นาที จะให้การกระจายตัวของอนุภาคของแพลทินัมสูงที่สุด ในขณะที่ระยะเวลา 36 ชั่วโมง อนุภาคของแพลทินัมจะเกิดการจับตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ นอกจากนี้จากการศึกษา ยังพบว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างไอออน $PtCl_6^{2-}$ กับสารฟอร์มัลดีไฮด์ยังมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ค่อนข้างช้าภายใต้ภาวะบรรยากาศ

Ysmael และคณะ (2004) ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน พบว่าแอมโมเนียมเฮกซะคลอโรแพลทีเนต (Ammonium hexachloroplatinate (IV), $(NH_4)_2PtCl_6$) เป็นสารตั้งต้นที่เหมาะสมในการเตรียมโลหะแพลทินัมจากการสลายตัวด้วยความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ไม่สูงนัก และสามารถละลายน้ำได้ดี

Hector และคณะ (2004) ศึกษาเสถียรภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะผสมแพลทินัมบนผงคาร์บอน (Valcan XC-72) ที่เตรียมโดยวิธี Ultrasonically blending ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ Pt/C , Pt-Fe/C, Pt-V/C, Pt-Ni/C ที่อัตราส่วนของ Pt:Ni คือ 1:1 และ 3:1 และ Pt-Co/C ที่อัตราส่วนของ Pt:Co คือ 1:1 และ 3:1 ตามลำดับ เมื่อเรียงลำดับแอกติวิตีของตัวเร่งปฏิกิริยาจากน้อยไปมากได้ดังนี้ Pt/C < Pt-Ni/C < Pt-V/C < Pt-Co/C < Pt-Fe/C และอัตราส่วนของแพลทินัมอัลลอยด์ที่มีแอกติวิตีสูง ๆ คือ Pt:Co คือ 3:1 และ Pt:Ni คือ 1:1 และโลหะผสมแพลทินัมมีเสถียรภาพมากกว่าแพลทินัมบริสุทธิ์ แต่โลหะผสมแพลทินัมจะมีการเสื่อมสภาพที่ศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น

Gharibi และคณะ (2005) ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมบนตัวรองรับที่เป็นคาร์บอนสำหรับปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจน โดยศึกษาผลของตัวรองรับคาร์บอนที่มีพื้นที่ผิวแตกต่างกัน 6 ชนิด ด้วยวิธี Direct method โดยใช้สารละลายโซเดียมฟอร์มเมต ($NaCOOH$) เป็นสารรีดิวซ์ และวิธี Indirect method โดยผ่าน PtO_2/C ภายใต้ภาวะที่แตกต่างกัน 4 แบบ จากการทดลองพบว่าตัวรองรับคาร์บอนชนิด N 339 และการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธี Direct method จะให้



ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนที่ดีที่สุด กล่าวคือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (Symmetry factor, α) และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าแลกเปลี่ยน (Exchange current density, i_0) เป็น 0.5279 และ 95.6 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

José และคณะ (2005) ศึกษาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมและแพลทินัมโคบอลต์ ($Pt_{70}Co_{30}$) โดยใช้กรดฟอร์มิคเป็นตัวรีดิวซ์ และผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่ 900 องศาเซลเซียส พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา $Pt_{70}Co_{30}/C$ ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนมีประสิทธิภาพสูง แต่ยังมีประสิทธิภาพต่ำกว่า Pt/C เล็กน้อย เนื่องจากอนุภาค $Pt_{70}Co_{30}$ มีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคแพลทินัมใน Pt/C ประมาณ 5 เท่า

Zhaolin และคณะ (2005) ศึกษาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนเมตรลงบนตัวรองรับคาร์บอน และคาร์บอนนาโนทิวบ์ (Carbon nanotubes, CNT) พบว่าอนุภาคของแพลทินัมที่เตรียมได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-6 นาโนเมตรและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนตัวรองรับ โดยผลึกแพลทินัมที่เตรียมได้จะเป็นแบบ FCC ซึ่งจะประกอบไปด้วย Pt(0) เป็นส่วนใหญ่และมี Pt (II) และ Pt (III) เพียงเล็กน้อยและเมื่อนำไปทดสอบใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงก็พบว่าให้ประสิทธิภาพที่น่าพอใจอีกด้วย

Benítez และคณะ (2005) ศึกษาผลของวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบต่างๆ ได้แก่ วิธีอิมเพกเนชัน (Impregnation) วิธีพ่นละออง (Spray) และวิธีพ่นละอองด้วยไฟฟ้า (Electrospray) พบว่าการเตรียมด้วยวิธีอิมเพกเนชันจะทำให้ขั้วอิเล็กโทรดมีความสามารถในการทำงานสูงที่สุด

Antolini และคณะ (2005) ศึกษาค่าแอกทิวิตีของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt-Co/C ซึ่งเตรียมด้วยวิธี Alloying และวิธี Borohydride พบว่าจะมีการ shift ของ Diffraction peak ของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt-Co/C ไปทาง 2θ มากขึ้น ซึ่งแสดงว่าเกิดการหดตัวของขนาดอนุภาค โดยที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มี Co จะมีความยาวพันธะระหว่างแพลทินัมลดลง และเมื่อนำไปใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Pt-Co/C มีค่าแอกทิวิตีในการเร่งปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C

Changpeng และคณะ (2006) ศึกษาการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมบนคาร์บอนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง (Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) โดยใช้วิธีการเตรียมแบบตกตะกอน (Pre-precipitation method) โดยทำการตกตะกอนกรดเฮกซะคลอโรแพลทินิก (Hexachloroplatinic acid, H_2PtCl_6) ด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride, NH_4Cl) เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียมเฮกซะคลอโรแพลทินเนตบนคาร์บอนก่อนที่จะถูกรีดิวซ์กลายเป็นแพลทินัม ซึ่งการเตรียมด้วยวิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดีเนื่องจากอนุภาคของแพลทินัมที่ได้จากการเตรียมวิธีนี้โดยเฉลี่ยจะมีขนาดเล็ก มีปริมาณผลึกสัมพัทธ์อยู่ในสัดส่วนที่

น้อย และมีพื้นที่ผิวที่พร้อมจะเกิดปฏิกิริยาอยู่เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้การเตรียมด้วยวิธีนี้ยังสามารถทำได้ง่ายและไม่สิ้นเปลืองมาก สามารถนำไปพัฒนาการผลิตในระบบขนาดใหญ่ได้

Yong-Hun และคณะ(2007) ศึกษาผลของปริมาณของแพลทินัมบนตัวรองรับคาร์บอนที่มีต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง สำหรับปริมาณของแพลทินัมบนตัวรองรับที่ใช้อยู่ที่ร้อยละ 20 - 60 โดยน้ำหนัก และเตรียมด้วยวิธีพ่นละออง (Spray) โดยกำหนดให้มีปริมาณแพลทินัมบนตัวรองรับอยู่ที่ 0.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณของแพลทินัมอยู่ที่ร้อยละ 20 - 40 โดยน้ำหนักนั้นมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของแพลทินัมเป็นร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก กลับพบว่าประสิทธิภาพการทำงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อปริมาณของแพลทินัมมีค่ามาก จำนวนรูพรุนที่มีขนาดเหมาะสมมีปริมาณลดลง ทำให้โมเลกุลของน้ำที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ ดังนั้นความต้านทานจากการถ่ายโอนมวลสารจึงมีค่าเพิ่มขึ้นและให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ลดลงนั่นเอง

1.5.3 การพัฒนาประสิทธิภาพของเอ็มอีเอ และเซลล์เชื้อเพลิง

Antolin และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของปริมาณเนฟลอนในช่วง 0 - 1.5 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่มีต่อปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนโดยใช้เทคนิค Galvanostatic polarization (GP) ในภาวะคงที่, Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), และการวัด Cyclic Voltammetry (CV) พบว่าปริมาณเนฟลอนที่เหมาะสมในขั้วอิเล็กโทรดจะต้องให้ค่าโอห์มมิก (Ohmic) และค่าศักย์ไฟฟ้าของการถ่ายโอนมวล (Mass transport overpotential) น้อย และการขยายขอบเขตของ 3 เฟสด้วยปริมาณเนฟลอนใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของศักย์ไฟฟ้าด้านแคโทดกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (Current density) และเทคนิค Cyclic voltammetry

Janssen และคณะ (2001) ได้ศึกษาการถ่ายเทของน้ำในเมมเบรนด้วยการวัดค่า Effective หรือ Net drag ในหน่วยชั้นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยทำการทดลองในช่วงสภาวะการทำงาน (ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า, อุณหภูมิ, ความดัน, ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่และความชื้นของแก๊ส) และทดลองหาความแตกต่างของเอ็มอีเอ ผลที่ได้พบว่าความชื้นและสัมประสิทธิ์การแพร่มีผลต่อค่า Drag และในส่วนของเอ็มอีเอ ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกับเมมเบรนเนฟลอน 112 และเมมเบรนเนฟลอน 115 พบว่าความหนาของเมมเบรนมีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง โดยเนฟลอน 112 ที่มีความบางกว่ามีการแทรกซึมของน้ำได้ดีกว่า

Jiang และคณะ (ปี 2001) ศึกษาโครงสร้างของชั้นเซลล์เชื้อเพลิงคือ แผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบบ 2 ชั้น โดยการเลือกใช้การอัดอากาศและการบีบอากาศ โดยชั้นเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แผ่นนำ



กระแสไฟฟ้าแบบสองขั้วเหมาะกับการใช้กำลังไฟฟ้าปานกลางถึงสูงแต่ถ้าเกิดมีเซลล์เดี่ยวเซลล์ใดเสื่อมจะทำให้ทั้งชั้นเซลล์เชื้อเพลิงสูญเสียค่ากำลังไฟฟ้า จากผลการทดสอบโดยการใช้อากาศในชั้นเซลล์เชื้อเพลิงที่ประกอบด้วย 18 เซลล์ โดยใน 1 เซลล์มีพื้นที่ทำปฏิกิริยา 34 ตารางเซนติเมตร ค่าความต่างศักย์เริ่มต้น 17 โวลต์ และใช้แก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์และอากาศเป็นแก๊สเชื้อเพลิง จะได้ค่ากำลัง ไฟฟ้าสูงสุด 72 วัตต์ คิดเป็นค่ากำลังไฟฟ้าต่อตารางเซนติเมตรเท่ากับ 0.117 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ข้อดีของการใช้อากาศคือไม่ต้องมีถังอัดอากาศซึ่งจะทำให้สามารถลดน้ำหนักของระบบชั้นเซลล์เชื้อเพลิงทั้งหมดได้ และผลการทดสอบโดยใช้การอัดอากาศในชั้นเซลล์เชื้อเพลิงที่ประกอบด้วย 24 เซลล์ โดยใน 1 เซลล์มีพื้นที่ทำปฏิกิริยา 42 ตารางเซนติเมตร ความต่างศักย์เริ่มต้น 23.6 โวลต์ จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 160 วัตต์ คิดเป็นค่ากำลังไฟฟ้าต่อตารางเซนติเมตรเท่ากับ 0.159 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นการใช้อัดอากาศจะให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่มากกว่า จึงควรเลือกใช้ชั้นเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นนำไฟฟ้าสองขั้วที่เป็นอัดอากาศมากกว่า

Qi และคณะ (2003) ได้ศึกษาการจัดการน้ำด้วยการสร้างชั้นของส่วนผสมของพอลิเอทีเธอร์ฟลูออโรเอทิลีน (PTFE) กับคาร์บอน เพื่อใส่ระหว่างชั้นของกระดาษคาร์บอนและชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นได้ทำการทดสอบชั้นของส่วนผสม PTFE กับคาร์บอนที่มีความหนาและส่วนผสมที่มีปริมาณของ PTFE ที่แตกต่างกัน ได้แก่ร้อยละ 24 ร้อยละ 35 และร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปทดสอบกับหน่วยชั้นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน 4 ชั้น โดยไม่ให้ความชื้นทั้งอากาศและแก๊สไฮโดรเจน จากผลการทดลองพบว่าชั้นของส่วนผสม PTFE ที่มีปริมาณร้อยละ 35 โดยน้ำหนักเป็นส่วนผสมที่ทำให้เซลล์มีสมรรถนะสูงที่สุดและ PTFE ร้อยละ 45 เป็นส่วนผสมที่ทำให้เซลล์มีสมรรถนะต่ำที่สุด

Qi และ Kaufman (ปี 2003) ศึกษาการเตรียมขั้วอิเล็กโทรดซึ่งมีปริมาณแพลทินัมต่ำให้มีประสิทธิภาพสูงของขั้วแคโทดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ผลจากการศึกษาปริมาณของเนฟิออนที่แตกต่างกันในชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยากับประสิทธิภาพพบว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจนปริมาณเนฟิออนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และหลังจากนั้นเมื่อปริมาณ เนฟิออนเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพก็จะลดลง จากการศึกษาค้นคว้าของอุณหภูมิจึงทำให้ขั้วอิเล็กโทรดแห่งต่อประสิทธิภาพ โดยศึกษาในส่วนหลังจากทำการทาตัวเร่งปฏิกิริยาลงบนชั้นแพรร่ผ่านของแก๊ส ซึ่งจะถูกทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องก่อน จากนั้นจึงนำไปอบให้แห้งในเตาอบ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบจะอยู่ในช่วง 90-180 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิในการทำให้ขั้วอิเล็กโทรดแห้งในช่วงดังกล่าวมีผลต่อประสิทธิภาพเล็กน้อย แต่ที่ 180 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพจะต่ำลงมาเล็กน้อยที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 0.8 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร นอกจากนี้ อุณหภูมิในการทดสอบเซลล์ก็มีผลต่อประสิทธิภาพด้วย โดยพบว่าค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเป็นแนวโน้มเดียวกับอุณหภูมิเซลล์ที่เพิ่มขึ้น และในการศึกษาปริมาณของแพลทินัมที่มีผลต่อ

ประสิทธิภาพของเซลล์ โดยการเตรียมขั้วอิเล็กโทรดโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C ร้อยละ 20 และร้อยละ 40 ให้มีปริมาณแพลทินัมที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณแพลทินัมที่เหมาะสมสำหรับ Pt/C ร้อยละ 20 จะอยู่ที่ 0.20 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำนองเดียวกันปริมาณแพลทินัมที่เหมาะสมสำหรับ Pt/C ร้อยละ 40 จะอยู่ที่ 0.35 ± 0.05 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Pt/C ร้อยละ 20 กับ Pt/C ร้อยละ 40 จะพบว่าประสิทธิภาพที่ Pt/C ร้อยละ 40 ดีกว่า Pt/C ที่ร้อยละ 20 เล็กน้อยในขณะที่ปริมาณแพลทินัมที่เหมาะสมใช้มากกว่าซึ่งที่จริงควรจะได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่ามาก แต่เนื่องจากที่ Pt/C ร้อยละ 40 ใช้ปริมาณแพลทินัมที่มากจึงอาจมีการรวมตัวกันของอนุภาคแพลทินัม ทำให้มีขนาดอนุภาคใหญ่จึงมีพื้นที่ผิวน้อยลงปฏิกิริยาจึงเกิดได้ไม่ดี ประสิทธิภาพจึงดีกว่าที่ Pt/C ร้อยละ 20 เล็กน้อย ดังนั้นการใช้ Pt/C ร้อยละ 20 จึงเหมาะสมมากกว่า Pt/C ร้อยละ 40 เพราะใช้ปริมาณแพลทินัมที่น้อยกว่าในขณะที่ประสิทธิภาพต่ำกว่าเล็กน้อย

Lui และคณะ (2003) ศึกษาการเตรียมเมมเบรนที่สามารถผลิตความชื้นได้เอง (Self-humidifying composite membranes) ด้วยวิธี Solution-cast method โดยการเติมชั้น Pt self-humidifying layer ลงบนเมมเบรน Nafion/PTFE พบว่าเซลล์ที่เตรียมด้วยเมมเบรน Pt-PEM และเมมเบรน Pt/C-PEM จะมีประสิทธิภาพและศักย์ไฟฟ้าวงจรมืด (Open circuit voltage) สูงกว่าเซลล์ที่ใช้เมมเบรน PTFE-PEM ทั้งในภาวะที่สารตั้งต้นมีความชื้นและภาวะแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่าในภาวะแห้ง เซลล์ที่ใช้เมมเบรน Pt/C-PEM จะมีประสิทธิภาพที่ค่อนข้างคงที่ (Stable performance) และมีการสูญเสียความสามารถในการนำไฟฟ้าต่ำ

Sasikumar และคณะ (2004) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแพลทินัมที่ใช้ (Platinum loading) กับปริมาณที่เหมาะสมของ Nafion ionomer ในขั้วอิเล็กโทรดและพบว่าปริมาณที่เหมาะสมของเนฟิออนขึ้นอยู่กับปริมาณแพลทินัมโดยเมื่อเพิ่มปริมาณเนฟิออนจะต้องลดปริมาณของแพลทินัมลง โดยขั้วอิเล็กโทรดที่มีปริมาณแพลทินัม 0.5, 0.25, และ 0.1 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะต้องใช้ปริมาณของเนฟิออนร้อยละ 20, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จึงจะให้สมรรถนะที่ดีที่สุด

Chen และคณะ (2004) ได้ศึกษาการจัดการน้ำด้วยการพัฒนาเอมิเอเพื่อให้มีการรักษาปริมาณน้ำและการกระจายของน้ำในเซลล์ได้เป็นอย่างดีด้วยการออกแบบชั้นการจัดการน้ำ (Water Management Layer, WML) ในระหว่างชั้นแพร่ของแก๊สและชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนและได้ทำแบบจำลอง เพื่อศึกษาการแทรกซึมของไอน้ำในส่วนของเอมิเอ ภายใต้ภาวะที่คล้ายกับการทำงานในเซลล์เชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบ



สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งพบว่าการจัดการน้ำด้วยการปรับปรุงเอ็มอีเอโดยใช้ WML สามารถจัดการน้ำในเซลล์ได้

Lee และคณะ (2004) ศึกษาวิธีการเตรียมและความหนาที่เหมาะสมของชั้นแพร่ผ่านของแก๊ส (GDL) ในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนโดยการเติมเนฟิออนลงบนขั้วอิเล็กโทรด สำหรับชั้นการแพร่ของแก๊ส พบว่าการเตรียมด้วยวิธีการพ่นละออง และ Screen-printed method จะทำให้ชั้นการแพร่ของแก๊สมีประสิทธิภาพดี เนื่องจากได้โครงสร้างที่มีความพรุน สำหรับในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าการพ่นละอองของผสมระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาและเนฟิออน ไปที่พื้นผิวของชั้นการแพร่ของแก๊สโดยตรงจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการทาเนฟิออนด้วยแปรง (Brushing) บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเคลือบอยู่บนชั้นการแพร่ของแก๊สแล้ว

Yang และคณะ (2005) ศึกษาความเป็นไปได้ในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงในภาวะที่ใช้แก๊สแห้ง (Dry H_2/O_2 system) โดยการใช้ Double-layer composite membrane ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C ที่เกาะอยู่บน Recast Nafion ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด และชั้น Plain recast Nafion ซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด พบว่าน้ำที่ผลิตที่ด้านแคโทดจะเกิดการแพร่ย้อนกลับ (Back diffusion) ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำงานได้ โดยเมมเบรนประกอบ (Composited membrane) จะมีประสิทธิภาพดีกว่า Plain membrane กล่าวคือเมมเบรนประกอบจะให้ประสิทธิภาพเป็นร้อยละ 90 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่แก๊สที่ป้อนมีความชื้น ในขณะที่ Plain membrane จะให้ประสิทธิภาพร้อยละ 80 ที่ภาวะการทำงานเดียวกัน

Park และคณะ (2006) ศึกษากระบวนการจัดการน้ำในเซลล์เชื้อเพลิงโดยการเติมคาร์บอนลงบนชั้นรูพรุนขนาดเล็ก (Microporous layer) พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ได้จะเป็นฟังก์ชันกับปริมาณคาร์บอนที่เติมลงไป โดยปริมาณคาร์บอนที่เหมาะสมที่สุด คือ 5 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ปริมาณ PTFE ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะได้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าประมาณ 0.85 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0.6 โวลต์

Amirinejad และคณะ (2006) ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง คือ อุณหภูมิและความดันของระบบ และการใช้แก๊สเชื้อเพลิง (แก๊สไฮโดรเจน (H_2) และแก๊สออกซิเจน (O_2 บริสุทธิ์) ที่มีความชื้น งานวิจัยนี้เจาะจงที่ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนภายใต้อุณหภูมิและภาวะความดันต่างๆ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนมากที่สุดคือ ค่าความต้านทานการเคลื่อนที่ ซึ่งประกอบด้วย การเคลื่อนที่ของแก๊สเชื้อเพลิงในพื้นที่ทำปฏิกิริยาของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา การเคลื่อนที่ของโปรตอนจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดผ่านเมมเบรนและการเคลื่อนที่ของน้ำซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนด

Zhang และ Shi (2006) ศึกษาผลของเนฟลอนต่อโครงสร้างของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดการส่งผ่านโปรตอน และแก๊สในด้านแคโทดของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนซึ่งโครงสร้างของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) และส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) โดยได้ทำการเตรียมซัพพอร์ตที่มีชั้นที่ไม่ชอบน้ำที่มีเทฟลอน (PTFE) เป็นส่วนประกอบหลักตามขั้นตอนการแพร่ของแก๊สซึ่งมีผลต่อการซึมผ่านของแก๊ส และมีการเคลือบผิวหน้าของชั้นที่ไม่ชอบน้ำด้วยสารละลายเนฟลอน จากนั้นก็จะทำชั้นที่ชอบน้ำบนผิวหน้าของชั้นที่ไม่ชอบน้ำซึ่งในชั้นนี้จะมีเนฟลอนเป็นส่วนประกอบหลักคือมีผลต่อการส่งผ่านโปรตอน โดยซัพพอร์ตทางด้านแอโนดจะมีการเตรียมที่เหมือนกัน แต่ชั้นจะมีปริมาณแพลทินัมอยู่ 0.1 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นปริมาณแพลทินัมรวมของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดจึงเท่ากับ 0.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยใช้เมมเบรนเนฟลอน 212 การประกอบเอ็มซีเอ จะทำที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 80 บรรยากาศ เป็นเวลา 2 นาที ในการทดลองจะทำการเตรียมซัพพอร์ตเป็น 2 ชุดคือ ชุด A และชุด B ดังนี้

ชุด A : Hydrophilic / constant hydrophobic layer คือมีปริมาณเนฟลอนที่เคลือบบนผิวหน้าของชั้นที่ไม่ชอบน้ำเท่ากันแต่เปลี่ยนแปลงปริมาณเนฟลอนในชั้นที่ชอบน้ำ คือร้อยละ 55 โดยน้ำหนัก(A1) ร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก (A2) และร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก (A3)

ชุด B : Constant hydrophilic / hydrophobic layer คือมีปริมาณเนฟลอนที่แตกต่างกันในการเคลือบบนผิวหน้าของชั้นที่ไม่ชอบน้ำแต่ในชั้นที่ชอบน้ำมีปริมาณเนฟลอนที่เท่ากันคือ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร (B1), 0.15 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร (B2) และ 0 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร (B3)

เอ็มซีเอที่ได้จะนำไปทดสอบในชุดทดสอบที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิเซลล์คือ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นสารตั้งต้น ได้ผลดังนี้คือ ปริมาณเนฟลอนที่แตกต่างในชั้นที่ชอบน้ำไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ แต่ปริมาณเนฟลอนในชั้นดังกล่าวจะช่วยปรับปรุงความสามารถในการส่งผ่านโปรตอนได้ดีขึ้น และปริมาณเนฟลอนที่แตกต่างในชั้นที่ไม่ชอบน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์ โดยจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อไม่มีปริมาณเนฟลอนอยู่ในชั้นที่ไม่ชอบน้ำ เนื่องจากเนฟลอนจะไปเคลือบอยู่ที่ผิวหน้าของชั้นดังกล่าวส่งผลให้แก๊สเชื้อเพลิงผ่านชั้นดังกล่าวได้ไม่ดี

จากการศึกษาทางวิจัยที่ผ่านมาในภาพรวมพบว่า ประเด็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนคือ องค์ประกอบของเอ็มซีเอที่เป็นหัวใจหลักของสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งประกอบด้วยสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา การกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาและองค์ประกอบในชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา ชั้นรองรับการแพร่ของแก๊สและน้ำเพื่อให้การถ่ายโอนมวล



ของแก๊สในน้ำภายในเซลล์เป็นไปอย่างเหมาะสม สมบัติของเมมเบรน และการประกอบเป็นเอ็มอีเอนอกจากนี้ยังมีในส่วนขององค์ประกอบของแผ่นนำกระแสไฟฟ้าและการอัดประกอบเซลล์ โดยตัวแปรทั้งหมดนี้ส่งผลโดยตรงกับสมรรถนะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งสามารถแยกศึกษาผลของตัวแปรในแต่ละส่วนได้ ในงานวิจัยนี้จึงเน้นศึกษาในส่วนของการเตรียมและพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาและเอ็มอีเอนให้มีสมบัติที่ดีเช่นเดียวกับที่ใช้ทางการค้า ทั้งนี้เพราะงานวิจัยที่ศึกษากันในประเทศส่วนใหญ่เป็นการศึกษาการทำงานของเซลล์โดยการนำเข้าองค์ประกอบต่างๆ ของเอ็มอีเอน ซึ่งการจะพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงไปสู่เชิงพาณิชย์ได้หัวใจสำคัญคือต้องสามารถผลิตเอ็มอีเอนให้ได้สมรรถนะที่สูงด้วย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยด้านเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อนำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์