

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell; PEMFC) ประกอบด้วยแอโนด คาโทด และเมมเบรนเปียกซึ่งทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์ ข้อดีของการใช้เมมเบรนคือลดการกัดกร่อน และปัญหาการจัดการอิเล็กโทรไลต์ PEMFC สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ ให้ความหนาแน่นพลังงานสูง ใช้เวลาตอบสนองสั้น และสามารถเริ่มต้นทำงานได้เร็ว นอกเหนือจากนี้ยังปราศจากมลพิษในขณะทำงานอีกด้วย ดังนั้นระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนจึงได้รับการคาดว่าจะจะเป็นระบบพลังงานของยานพาหนะในอนาคต สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพา เครื่องสำรองไฟฟ้า (Uninterruptible Power System; UPS) และระบบพลังงานจ่ายไฟ (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, 2550)

การจัดการน้ำและความร้อน เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำงานของ PEMFC เมมเบรนโพลีเมอร์ใน PEMFC จะต้องมีสภาพความชื้นสูงเพื่อช่วยในการถ่ายเทโปรตอน ถ้าหากมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอเมมเบรนจะแห้งลงเรื่อยๆ และมีความต้านทานการนำโปรตอนสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในทางตรงกันข้ามหากมีปริมาณน้ำมากเกินไปจนเกิดสภาพท่วมขึ้นในรูพรุนของชั้นการแพร่ของก๊าซ (Gas Diffusion Layer) น้ำก็จะไปขัดขวางการขนส่งก๊าซปฏิกิริยาเข้าไปยังผิวอิเล็กโทรด

ในทางปฏิบัติการปรับความชื้นแก่ก๊าซด้านแอโนดหรือด้านคาโทด มักจะถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันการแห้งของเมมเบรน ส่วนปัญหาการท่วมเนื่องจากน้ำถูกผลิตขึ้นที่ชั้นเร่งปฏิกิริยาของคาโทด ผสมกับน้ำที่ถูกดึงจากด้านแอโนดสู่คาโทดเนื่องจากแรงดูดไฟฟ้าออสโมติก (Electro-osmotic Drag) ก็ยังเป็นหัวข้อสำคัญในการศึกษาหาหนทางป้องกันการท่วมในคาโทดและการใช้งาน PEMFC

เทคโนโลยีการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อป้องกันการแห้งของเมมเบรนในปัจจุบันช่วยให้เมมเบรนสามารถคงความชื้นไว้ได้โดยไม่ต้องปรับความชื้นให้แก่ก๊าซแอโนดเมื่อทำงานที่ระดับค่ากระแสต่ำๆ โดยอาศัยน้ำจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่คาโทดขณะทำงานในการให้ความชุ่มชื้นแก่ตัวเมมเบรน ดังนั้นการปรับความชื้นให้แก่ก๊าซขณะที่ยังไม่มีกระแสไฟฟ้าอาจก่อปัญหาให้แก่อิเล็กโทรดได้ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงระหว่างการปรับความชื้นก๊าซและไม่ปรับความชื้นของก๊าซเชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนมีข้อดีประการหนึ่งคือ มีสมรรถนะดี ในขณะที่ทำงานที่สภาวะคงตัว (Steady mode of operation) แต่ผลของการควบคุมความชื้นของ ก๊าซก่อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง ยังไม่มีรายงานการศึกษาออกมามากนัก การทำความเข้าใจในเรื่อง ระบบควบคุมความชื้นของเซลล์เชื้อเพลิง จะช่วยให้เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบควบคุมความชื้นของก๊าซเชื้อเพลิง โดยพิจารณาความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า เปรียบเทียบกับเวลาที่เซลล์ใช้ในการปรับตัวเข้าสู่ ค่าที่เสถียรในแต่ละสภาวะ ผลการวิจัยเรื่องการจัดการน้ำในเซลล์เชื้อเพลิงแบบสแต็กชนิด เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนชนิดนี้ จะเป็นพื้นฐานในการเข้าใจหลักการควบคุมความชื้น ภายนอกของเซลล์เชื้อเพลิงอย่างเหมาะสม และเป็นการเริ่มต้นการศึกษาด้านความชื้นของเซลล์ เชื้อเพลิงชนิดนี้ในประเทศไทยด้วย

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

นักวิจัยทั่วโลกให้ความสนใจศึกษาการเกิดน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงในหลายลักษณะ อาทิ การทดลองระบบต้นแบบ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายปรากฏการณ์เกิดน้ำ

Nguyen และ Knobbe (2002) นำเสนอผลการศึกษากาการจัดการน้ำพลอยได้ใน PEMFC โดยการปรับการจ่ายก๊าซตั้งต้นเข้าสู่เซลล์ และออกแบบสนามการไหลแบบอินเตอร์ดิจิตัล (Interdigitated Fluid Flow; IFF) ที่เอื้อต่อการระบายน้ำออกจากเซลล์ Nguyen และ Knobbe (2002) ทำการทดลองกับชุดเซลล์เชื้อเพลิง 3 ชุด ที่ใช้ IFF ทำงานที่ความดันและอุณหภูมิ บรรยากาศ พบว่าการสร้างรูปแบบการไหลในช่องนำก๊าซ IFF ของก๊าซแบบเดียวกันได้ในแต่ละ เซลล์ของสแต็กเซลล์ไม่สามารถทำได้ และเมื่อเซลล์เกิดการท่วมของน้ำการไหลของก๊าซจะไม่ เพียงพอ จึงต้องทำการปรับปรุงการควบคุมช่องที่เชื่อมต่อกันในแต่ละเซลล์ และจะมีเพียงช่อง เดียวที่เปิดช่องระบายน้ำตลอดเวลา ผลการทดสอบพบว่า พลังงานสูงสุดที่ได้เพิ่มขึ้นจาก 0.26 W/cm².cell เป็น 0.5 W/cm².cell และความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า (Power density) เพิ่มขึ้น เป็นสองเท่า สรุปว่าแก้ปัญหาการจัดการน้ำได้โดยการควบคุมการจ่ายก๊าซในแต่ละเซลล์ให้ไม่ เท่ากัน และการพัฒนาช่องทางเชื่อมต่อกันระหว่างเซลล์ สามารถควบคุมการระบายน้ำออกจาก เซลล์เชื้อเพลิงได้ และก๊าซไหลเข้าสู่เซลล์ได้มากยิ่งขึ้นโดยอาศัยช่องทางที่เชื่อมต่อกันในแต่ละ เซลล์

การรักษาความชื้นที่เหมาะสมคือไม่มากหรือน้อยเกินไปสำหรับอิเล็กโตรไลต์แบบโพลีเมอร์ (Polymer Electrolyte) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ซึ่งที่นิยมมาก คือแพลตตินัม (Platinum) Kwak และคณะ (2003) ศึกษาการดูดน้ำของโพลีเมอร์อิเล็กโตรไลต์ใน PEMFC และรักษาความชื้น โดยใช้เมมเบรนที่ทำจากเรซินที่มาจาก 2 องค์ประกอบ คือ เปอร์ฟลูออโรซัลโฟนิลฟลูออไรด์ โคโพลีเมอร์ เรซิน (Perfluorosulfonylfluoride Copolymer Resin) โดยเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างเมมเบรนทั้งสองแบบสเปตเทอริงเอ็มไอเอ (Sputtering MEA) จากนั้นจึงทำการอัด (Decal) พบว่าสำหรับเซลล์เดี่ยว ปริมาณที่เหมาะสมของแพลตตินัมจากการทดลอง คือ 0.15 mg/cm^2

Janseen และ Overvelde (2001) พบว่าความหนาของเมมเบรนเป็นปัจจัยที่สำคัญมากต่อการแพร่ ความแห้งที่คาโทดจะส่งผลกระทบต่อปฏิกิริยาความแห้งที่แอโนดด้วย การประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์สังเกตจากการสูญเสียของไฟฟ้ากระตุ้นที่เพิ่มขึ้น

การแพร่ของน้ำในเซลล์ศึกษาโดย Choi และคณะ (2000) Janssen และ Overvelde (2001) และ Dijlali และคณะ (2002) โดย Choi และคณะ (2000) ศึกษาการแพร่ของน้ำในโพลีเมอร์เมมเบรนของ PEMFC โดยการหาสัมประสิทธิ์แรงอิเล็กโตรออสโมติกสุทธิ (Net Electro-osmotic drag coefficient) ของเมมเบรนแบบนาฟิออน 115 (Nafion 115) และแบบฮานว้า (Hanwha) จากการวัดฟลักซ์ของการระบายน้ำจากแอโนดและคาโทดที่ความหนาแน่นกระแสแตกต่างกัน พบว่า ที่ความหนาแน่นของกระแสต่ำจะได้น้ำจากช่องการไหลของคาโทด และพบว่า ข้อแอโนดสำคัญมากกว่าคาโทดเมื่อความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้น และ Net electro-osmotic drag coefficient จะลดลงอย่างชัดเจนตามความหนาแน่นของกระแส จากนั้นจะมีค่าคงที่อยู่ที่ประมาณ 200 mA/cm^2

เมื่อคาโทดไม่มีความชื้นที่ความหนาแน่นกระแสต่ำ น้ำส่วนมากที่เกิดขึ้นที่คาโทดจะถูกนำไปใช้ในตัวเมมเบรนเอง ในกรณีที่ความหนาแน่นกระแสมีค่ามากกว่าความต้องการ การเกิดน้ำที่คาโทดจะไม่ได้สัดส่วนที่เหมาะสม ทำให้ Net electro-osmotic drag coefficient มีค่ามาก กลุ่มของ Janssen and Overvelde (2001) ได้ทำการศึกษาการแพร่ของน้ำใน PEMFC การวัดผลกระทบของ Net drag coefficient ต่อการแพร่ของน้ำ และแสดงผลเป็นช่วงของสภาวะการทำงานที่วิธีการประกอบเมมเบรนและอิเล็กโตรด (Membrane Electrode Assembly) แตกต่างกัน พบว่า ค่าความชื้นและสมมูลมวลสารสัมพันธ์ของการเกิดปฏิกิริยา (Stoichiometry) ของก๊าซเข้ามีผลกระทบอย่างมากต่อแรงต้าน (Drag force) ของน้ำ

Sridhar และคณะ (2001) เปรียบเทียบวิธีการปรับความชื้นให้แก่ก๊าซฮาโนดสองวิธี ได้แก่ การปรับความชื้นจากภายนอก (External humidification) และการปรับความชื้นด้วยเมมเบรน (Membrane humidification) โดยดูอิทธิพลของอุณหภูมิ ขนาดพื้นที่เมมเบรน และความหนาของเมมเบรน ที่มีต่อการรับเอาน้ำโดยไฮโดรเจน ในกรณีการปรับความชื้นด้วยเมมเบรนจากการทดลองปรับความชื้นจากภายนอก (ผ่านก๊าซไฮโดรเจนลงไปใต้น้ำร้อนก่อนเข้าเซลล์) พบว่าปริมาณน้ำที่ละลายในเมมเบรนมีค่าลดลงเมื่อเซลล์ทำงานที่ค่ากระแสสูงขึ้น เป็นผลให้การปรับความชื้นไม่เพียงพอเนื่องจากเมมเบรนต้องการน้ำมากขึ้น และเมมเบรนของเซลล์ยังคงมีการรับเอาน้ำจากไฮโดรเจน แม้ที่สภาวะ no load ส่วนในกรณีการปรับความชื้นด้วยเมมเบรนเป็นวิธีการปรับความชื้นโดยผ่านก๊าซไปบนเมมเบรนซึ่งมีน้ำปอดประจุ (Deionized Water) อยู่ที่อีกด้านหนึ่งของเมมเบรน

ผลสรุปแสดงว่าปริมาณน้ำที่ไฮโดรเจนรับจากเมมเบรนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากขึ้น และชะลอการรับน้ำลงเมื่ออุณหภูมิใกล้เคียงระดับ 70°C โดยกระบวนการหลักที่มีอิทธิพลต่อการรับน้ำจากเมมเบรนของไฮโดรเจนในช่วงแรกคือ Driving force เนื่องจากการพา (Convection) และอัตราการไหลของก๊าซ พื้นที่หน้าตัดของเมมเบรนที่ใหญ่จะให้ผลการรับน้ำจากเมมเบรนของไฮโดรเจนดีกว่าขนาดหน้าตัดเล็ก ในระดับอัตราการไหลก๊าซสูงๆ (>10 lpm) การศึกษาได้ให้ข้อสรุปเปรียบเทียบวิธีการปรับความชื้นทั้งสองวิธีว่า วิธีปรับความชื้นด้วยเมมเบรนจะเหมาะสมกับชุดหอเซลล์เชื้อเพลิงมากกว่า เพราะสะดวกในการออกแบบทำเป็นชุดปรับความชื้นอยู่รวมเป็นส่วนประกอบหนึ่งของเซลล์ และยังสามารถนำน้ำหล่อเย็นที่ได้มาช่วยในการปรับความชื้นได้อีกด้วย

งานวิจัยการพัฒนาด้านแบบอุปกรณ์จัดการน้ำในงานวิจัยของ Kristina และคณะ (2003) พบว่าปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นมีผลต่อการให้พลังงานของเซลล์เชื้อเพลิงในยานพาหนะ เพื่อจ่ายพลังงานอย่างต่อเนื่อง ขนาดของคอนเดนเซอร์ พื้นที่รับน้ำ (Reservoir) และช่องทางเดินก๊าซด้านคาโทดมีผลต่อการเกิดน้ำในระบบ อุณหภูมิใช้งานของยานพาหนะมีผลต่อขนาดของคอนเดนเซอร์ และขนาดของพื้นที่รับน้ำ (Reservoir) ซึ่งการเริ่มใช้งานที่อุณหภูมิแวดล้อม (Ambient start) จะใช้คอนเดนเซอร์และพื้นที่รับน้ำใหญ่กว่าการเริ่มใช้งานที่อุณหภูมิสูง (Hot start)

สำหรับงานวิจัยเซลล์เชื้อเพลิงในประเทศไทย ณัฐวุฒิ จารุสุพันธุ์ (2005) ได้ศึกษาการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนที่มีสนามการไหลของก๊าซในโพลาร์เพลตแบบ Parallel, แบบ Serpentine และ แบบ Parallel - Serpentine ด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลข 3 มิติของโพลาร์เพลต และส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์ โดยใช้โปรแกรมคำนวณ

ทางด้านพลศาสตร์ของไหล “CFDRC®” ทำให้สามารถแสดงลักษณะสนามการไหลของก๊าซ ที่มีผลกระทบต่ออัตราการใช้ก๊าซเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าภายในแบบจำลอง 3 มิติ ได้ข้อสรุปว่า สนามการไหลแบบ Serpentine และ Parallel – Serpentine มีการกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจนที่สูงกว่าและมีบริเวณการใช้ก๊าซที่มากกว่าสนามการไหลแบบ Parallel

ในขณะที่ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนที่ขั้วคาโทด ทั้ง 3 แบบ แตกต่างกันเล็กน้อย ความเข้มข้นของน้ำที่เกิดขึ้นในสนามการไหลแบบ Parallel สูงที่สุดบริเวณช่วงตรงกลางด้านล่างของสนามการไหล ความดันตกคร่อมภายในสนามการไหลจึงค่อนข้างต่ำ และเกิดการขังตัวของน้ำภายในสนามการไหล ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลง สนามการไหลแบบ Serpentine และ Parallel – Serpentine พบความเข้มข้นของน้ำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตามระยะทางของช่องนำก๊าซ ในขณะที่ความดันตกคร่อมที่เกิดขึ้นภายในสนามการไหลค่อนข้างสูง จึงช่วยในการระบายน้ำออกจากเซลล์เชื้อเพลิง

จากข้อมูลที่ได้จากเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น ทำให้ทราบว่าปริมาณความชื้นภายในเซลล์มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบเซลล์เชื้อเพลิง และแผ่นสะสมกระแสไบโพลาร์เพลตแบบ Serpentine มีปัญหาเรื่องน้ำเข้าไปอุดตันทางเดินก๊าซอยู่มากและเกิดการสะสมของน้ำจึงควรเน้นการขับน้ำออกจากแผ่นสะสมกระแส เพื่อให้เพิ่มพื้นที่ในการทำปฏิกิริยา

เซลล์เชื้อเพลิงควรมีระบบควบคุมความชื้นที่ดี การเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงจำเป็นต้องทราบผลการจัดการความชื้นเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของห่อเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อกำลัการผลิไฟฟ้าที่สูงขึ้น งานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาถึงผลของความชื้นในก๊าซที่จ่ายเข้าเซลล์จากภายนอกเซลล์และความชื้นภายในเซลล์ การทดสอบจริงโดยออกแบบและสร้างต้นแบบระบบควบคุมความชื้น เพื่อให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงสูงขึ้น รวมถึงผลกระทบการจัดการน้ำภายนอกเซลล์เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของห่อเซลล์เชื้อเพลิง

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาปรากฏการณ์การสะสมน้ำภายในหอยเชลล์เชื้อเพลิง
- 1.3.2 สร้างอุปกรณ์ต้นแบบระบบจัดการน้ำภายนอกเชลล์เชื้อเพลิง และทดสอบประสิทธิภาพด้านพลังงานของเชลล์เชื้อเพลิงที่มีการติดตั้งระบบจัดการน้ำแบบภายนอกเชลล์

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับการศึกษาเชิงทฤษฎี หรือเชิงประยุกต์

- 1.4.1 ต้นแบบชุดจ่ายความชื้นที่เหมาะสมสำหรับเชลล์เดี่ยวและหอยเชลล์เชื้อเพลิง
- 1.4.2 เงื่อนไขและแนวทางการควบคุมความชื้นเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของหอยเชลล์เชื้อเพลิง เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้น
- 1.4.3 อัตราการสะสมของน้ำในหอยเชลล์เชื้อเพลิง เมื่อควบคุมความชื้นของก๊าซเชื้อเพลิง

1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาการเกิดน้ำในเชลล์เชื้อเพลิงและสมดุลมวลของน้ำ โดยคำนวณปริมาณน้ำในกระแสไหลของก๊าซเชื้อเพลิงเข้าและออกจากหอยเชลล์ จากตัวแปรที่วัดค่าได้จากการทดลอง
- 1.5.2 การทดสอบระบบการจัดการน้ำภายนอกเชลล์เชื้อเพลิงเฉพาะการทดสอบการจ่ายความชื้นให้กับก๊าซเชื้อเพลิง ในเงื่อนไขการทำงานของเชลล์เดี่ยวและหอยเชลล์ (อย่างมาก 5 ชั้นเชลล์)
- 1.5.3 ไม่มีการนำน้ำพลอยได้จากหอยเชลล์กลับมาใช้ใหม่