



การศึกษาสมรรถนะ และพฤติกรรมการขนส่ง ภายในห้องส่ง
ก๊าซแบบ ลูกผสมเซอร์เพนไทน์-อินเตอร์ดิเจเทตแบบใหม่ของ
เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์

เสนอ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

โดย

TNI

ผศ.ดร. ณัฐพล ลิ่มจีระจรัส

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนโครงการนี้ภายใต้เลขที่

โครงการ 1507/A002

ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส



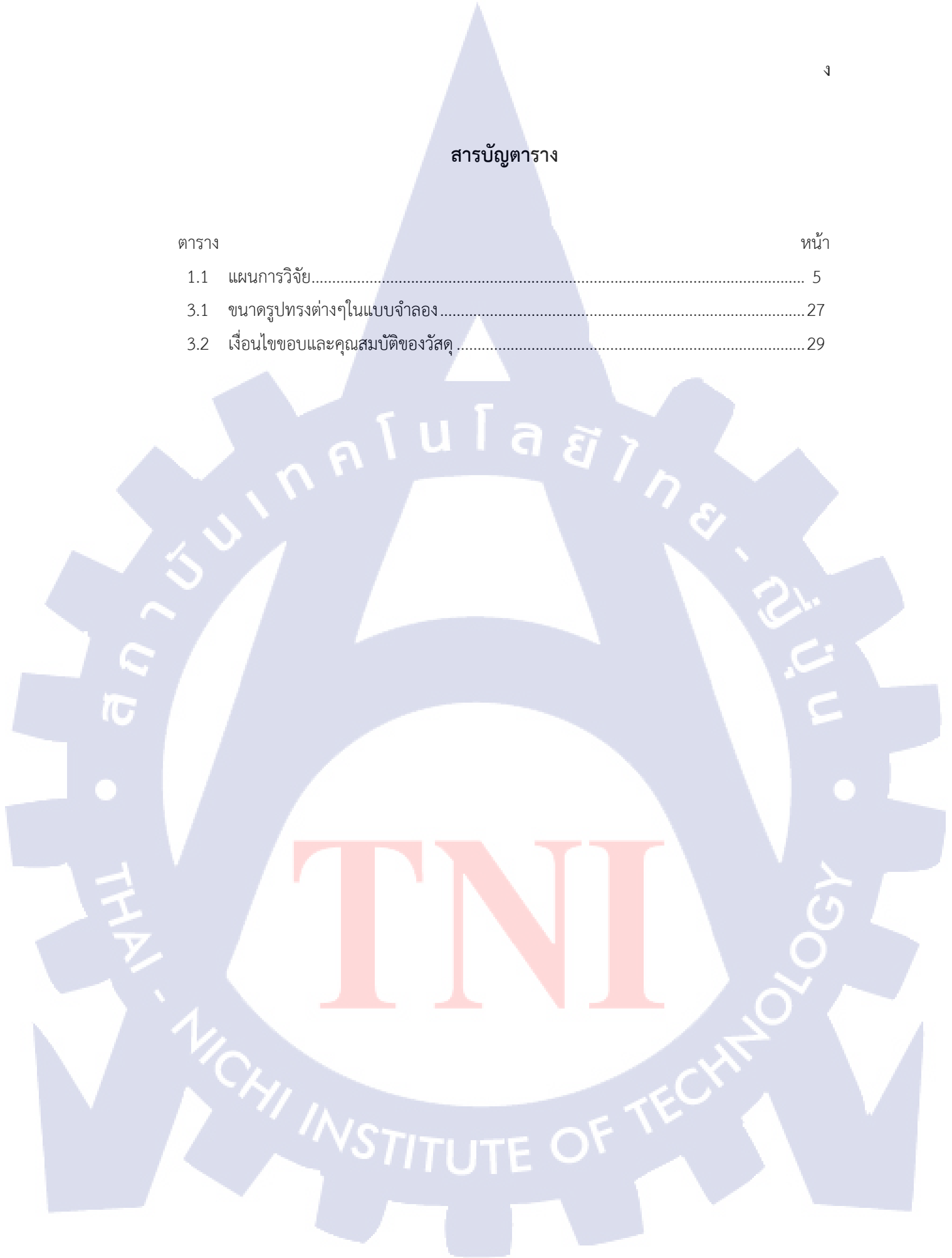
TNI

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ง
สารบัญรูปภาพ.....	จ
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 แผนการวิจัย.....	5
2 การศึกษาวรรณกรรม.....	6
2.1 ไฟฟ้าเคมี.....	6
2.2 ประวัติความเป็นมาและประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง.....	10
2.3 องค์ประกอบและการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์.....	13
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
2.4 สมการที่เกี่ยวข้องในการคำนวณผลลัพท์.....	19
3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	25
4 ผลและการวิเคราะห์.....	31
4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้กราฟคุณลักษณะ.....	31
4.2 การตรวจสอบการกระจายตัวของแรงดันกระแส.....	32
4.3 การตรวจสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิ.....	34
4.4 การตรวจสอบการกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนและน้ำในเฟส ของเหลวในชั้นมีรูพรุน.....	35
4.5 การตรวจสอบค่าแรงดันตก.....	37
5 สรุปผลการวิจัย.....	40
บรรณานุกรม.....	ช

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แผนการวิจัย.....	5
3.1 ขนาดรูปทรงต่างๆในแบบจำลอง.....	27
3.2 เงื่อนไขขอบและคุณสมบัติของวัสดุ.....	29



THAI-NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

TNI

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
1.1	ลักษณะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์..... 2
1.2	ท่อน้ำก๊าซแบบ (ก) ขนาน (ข) จุด (ค) เซอร์เพนไทน์ (ง) อินเตอร์ดิจิตัล (จ) เฮกเซสไอ..... 3
2.1	ส่วนประกอบภายในของเซลล์แห้ง..... 8
2.2	ส่วนประกอบของเซลล์ปรอท..... 8
2.3	ส่วนประกอบภายในของแบตเตอรี่..... 9
2.4	แผ่นนำกระแสไฟฟ้า..... 14
2.5	ขั้วอิเล็กโตรดประกอบเมมเบรน..... 14
2.6	ขั้วอิเล็กโตรด..... 15
2.7	การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์..... 17
3.1	โครงสร้างหลักของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์..... 26
3.2	เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อเมช..... 28
4.1	กราฟคุณลักษณะของความหนาแน่นกระแสเมื่อเทียบกับแรงดันของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี ท่อน้ำก๊าซแบบ (—) เฮกเซสไอ (—) เซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว และกำลังที่ผลิตของ ท่อน้ำก๊าซแบบ (—) เฮกเซสไอ (—) เซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว..... 31
4.2	การกระจายตัวของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี ท่อน้ำก๊าซแบบ ก) เฮกเซสไอ ข) เซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว..... 32
4.3	การกระจายตัวของมวลออกซิเจนฝั่งแคโทดของ ท่อน้ำก๊าซแบบ ก) เฮกเซสไอ ข) เซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว..... 33
4.4	การกระจายตัวของอุณหภูมิของท่อน้ำก๊าซแบบ ก) เฮกเซสไอ ข) เซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว 34
4.5	การกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนบนฝั่งแคโทดของ ท่อน้ำก๊าซแบบ ก) เฮกเซสไอ ข) เซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว..... 35
4.6	การกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนบนฝั่งแอโนดของ ท่อน้ำก๊าซแบบ ก) เฮกเซสไอ ข) เซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว..... 36
4.7	การกระจายตัวของน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุนของ ท่อน้ำก๊าซแบบ ก) เฮกเซสไอ ข) เซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว..... 37

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.8	กราฟการคำนวณการผลิตกำลังโดยรวมของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว และท่อส่งก๊าซแบบเฮกซะโกน เมื่อ (■) กำลังผลิตสุทธิ, (■) กำลังที่ต้องการใช้สำหรับฝั่งแคโทด, (■) กำลังที่ต้องการใช้สำหรับฝั่งแอโนด และ (■) แรงดันตก..... 38



TNII

บทที่ 1

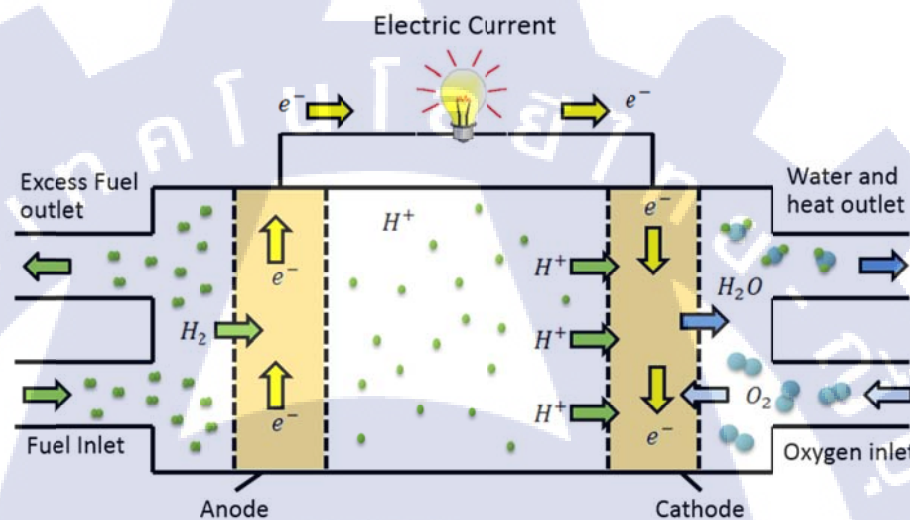
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

พลังงานต้นกำเนิดสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทได้แก่ พลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) และ พลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy) ซึ่ง 80% ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในโลก คือพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำให้ในปัจจุบันทั่วโลกนั้นกำลังตระหนักถึงปัญหาการขาดแคลนพลังงาน [1] จึงมีนักวิจัยหลายคนพยายามคิดค้นและพัฒนาเกี่ยวกับการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ [2 - 3] โดยท่ามกลางงานวิจัยเหล่านั้น เครื่องแปลงพลังงานแบบเซลล์เชื้อเพลิงเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นเครื่องแปลงพลังงานที่ได้รับการคาดหวังเป็นอย่างมาก โดยที่เซลล์เชื้อเพลิงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยใช้สารตั้งต้นที่มาจากพลังงานต้นกำเนิดเช่น ก๊าซไฮโดรเจน หรือ ก๊าซธรรมชาติต่างๆ ในปัจจุบันนั้นมีเซลล์เชื้อเพลิงอยู่หลายชนิด แต่เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ เป็นหนึ่งในเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับความสนใจมากที่สุดในการเป็นเครื่องแปลงพลังงานทางเลือกสำหรับการใช้งานทั้งในอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ได้ และอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ไม่ได้ เนื่องจากประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานที่สูง ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก อุณหภูมิ และความดันในการทำงานที่ต่ำ มีความหนาแน่นของกำลังที่สูง และเสี่ยงในการทำงานเบา ในการทำงานของ เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์นั้น ก๊าซไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าทางท่อก๊าซฝั่งแอโนด ในขณะที่ก๊าซออกซิเจนจะถูกป้อนเข้าทางท่อก๊าซฝั่งแคโทด ซึ่งก๊าซทั้งสองจะแพร่ผ่านชั้นการแพร่ของก๊าซ แล้วไปเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในชั้นเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยที่อิเล็กตรอนที่ฝั่งแอโนดจะไหลผ่านแผ่นสองชั้นไปสู่ขั้วจรรยาภายนอกและกลับไปสู่ฝั่งแคโทดเพื่อรวมตัวกับ โปรตอน และออกซิเจน (ดังแสดงในรูปที่ 1) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาคือ น้ำและพลังงานความร้อน ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ถึงแม้ว่า เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ จะเป็นหนึ่งในเครื่องแปลงพลังงานที่ได้รับการคาดหวังมากที่สุดที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น แต่ก่อนที่จะสามารถเข้าไปแข่งขันในตลาดพลังงานได้ เซลล์เชื้อเพลิงดังกล่าวยังต้องได้รับการพัฒนาอีกมากเช่น ด้านประสิทธิภาพ, ด้านความทนทานของเซลล์เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงนั้นมีอยู่หลายปัจจัยได้แก่ สภาวะในการทำงาน, โครงสร้างเมมเบรนประกอบขั้วไฟฟ้า (MEA Frabrication), รูปแบบของท่อส่งก๊าซ, ลักษณะทางจุลศาสตร์ของปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า และ ปรากฏการณ์ถ่ายโอนภายในเมมเบรนประกอบ

ชีวไฟฟ้า ซึ่งมีงานวิจัยมากมายได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการศึกษาลักษณะของรูปแบบท่อส่งก๊าซ [4 - 5] โดยให้ความสนใจในเรื่องของการออกแบบและปรับปรุงรูปแบบท่อส่งก๊าซให้เหมาะสมกับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง โดยในการออกแบบท่อส่งที่ดีนั้นจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของ ทั้ง 4 ข้อ ดังที่ Arvay และคณะได้ทำการศึกษาไว้ [6] ได้แก่ การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของตัวทำปฏิกิริยา, การขับไล่ส่วนผสมเกินที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา, การมีพื้นที่สัมผัสมากพอระหว่าง แผ่นสองขั้ว และชั้นแพร่ของก๊าซ และการที่มีแรงดันลดต่ำเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงาน



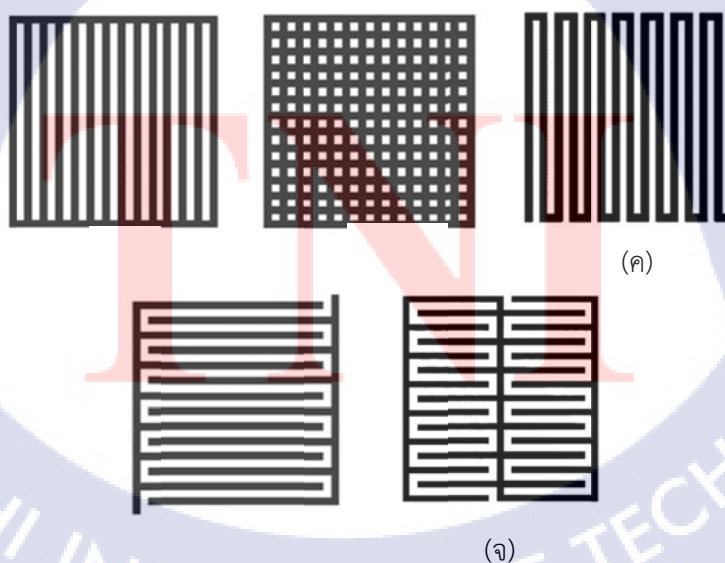
รูปที่ 1.1 ลักษณะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์

จากภาพที่ 1.2ก - 1.2ง แสดงให้เห็นถึงลักษณะของรูปแบบพื้นฐานทั่วไปของท่อส่งก๊าซ โดยในรูปแบบแรกคือ ท่อส่งก๊าซแบบขนาน (ดังแสดงในรูปที่ 1.2ก) ซึ่งลักษณะของท่อแบบนี้จะประกอบไปด้วยท่อที่ขนานกันหลายๆท่อตั้งแต่ทางเข้าของก๊าซไปจนถึงทางออก ซึ่งลักษณะของท่อแบบนี้จะช่วยลดแรงดันที่ต้องการในการส่งก๊าซออกสู่ทางออก แต่ถึงอย่างไรก็ตามการที่ลักษณะของท่อที่ทำให้เกิดแรงดันน้อยนั้นจะทำให้เกิดการรวมตัวของละอองน้ำที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยา ส่งผลให้การไหลของก๊าซในท่อนั้นไม่ราบรื่น ซึ่งปัญหาในลักษณะนี้ก็เกิดขึ้นเช่นเดียวกันใน ท่อส่งแบบจุด (ดังแสดงในรูปที่ 1.2ข) โดยท่อแบบนี้มีลักษณะของช่องส่งก๊าซที่มีการจัดเรียงเป็นรูปแบบเดียวกันทั้งหมด [5]

เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้ จึงได้มี ท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ (Serpentine) เกิดขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 1.2ค) โดยท่อส่งก๊าซจะช่วยลดปัญหาการเกิดน้ำขังภายในท่อ โดยลักษณะของท่อทางเดียว ทำให้ก๊าซมีแรงดันสูง จึงทำให้เกิดการรวมตัวของละอองน้ำได้ยาก ท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์มักจะเป็นรูปแบบที่ถูกนำไปในการอ้างอิงและเปรียบเทียบในการออกแบบ ท่อส่งก๊าซของเซลล์เชื้อเพลิง

แบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์รูปแบบใหม่ เพราะท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์นั้นเป็นรูปแบบที่เรียบง่ายและมีประสิทธิภาพสูง แต่ถึงอย่างไรก็ตามท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ มีข้อเสียที่สำคัญที่เกิดจากลักษณะท่อเดี่ยวที่แคบ ซึ่งทำให้ท่อในลักษณะนี้นั้นมีแรงดันลดที่สูงมาก โดยมีสาเหตุมาจากแรงเสียดทานที่เกิดจากการไหลของก๊าซในท่อ เช่นเดียวกับท่อส่งก๊าซแบบอินเตอร์ดิจิเทด (interdigitated) ดังแสดงในรูปที่ 1.2ง โดยท่อส่งก๊าซแบบอินเตอร์ดิจิเทดจะมีลักษณะเรียงประสานสลับกันและมีจุดที่เป็นทางตันของท่อ ซึ่งออกแบบมาเพื่อบังคับให้ตัวทำปฏิกิริยาไหลซึมไปยังบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา และยิ่งช่วยในการไล่น้ำออกจาก porous media แต่ข้อเสียก็คือแรงดันลดที่สูงเช่นเดียวกับท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์

ในเมื่อท่อส่งก๊าซแบบพื้นฐานที่ได้กล่าวมานั้นไม่สามารถตอบโจทย์กับเงื่อนไขทั้ง 4 ข้อที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จึงทำให้เป็นที่มาของงานวิจัยในครั้งนี้จะออกแบบท่อส่งก๊าซแบบใหม่ ซึ่งเป้าหมายในการออกแบบจะเน้นไปที่การนำข้อดีของ ท่อส่งก๊าซแต่ละแบบมารวมกันเพื่อลดข้อเสียและปัญหาที่เกิดขึ้นในท่อส่งก๊าซแบบพื้นฐาน นั้นจึงทำให้เกิดท่อส่งก๊าซแบบผสมระหว่างท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ และท่อส่งก๊าซแบบอินเตอร์ดิจิเทด หรือเรียกว่า “ท่อส่งก๊าซแบบเฮสเอสไอ (hybrid serpentine-interdigitated)” ดังแสดงในรูปที่ 1.2จ โดยสมมุติฐานในการออกแบบครั้งนี้คือ ตัวทำปฏิกิริยาสามารถเข้าสู่พื้นที่การทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้นโดยรูปแบบของท่อที่เป็นทางตันซึ่งเป็นข้อดีของท่อส่งก๊าซแบบอินเตอร์ดิจิเทด และการลดข้อเสียในเรื่องของแรงดันลดโดยการทำให้ระยะทางในการไหลของก๊าซจากทางเข้าสู่ทางออกให้น้อยลง ซึ่งสมมุติฐานข้อนี้ได้มาจากข้อสรุปในงานวิจัยของ shimpalee และคณะ [7]



รูปที่ 1.2 ท่อส่งก๊าซแบบ (ก) ขนาน (ข) จุด (ค) เซอร์เพนไทน์ (ง) อินเตอร์ดิจิเทด (จ) เฮสเอสไอ

เพื่อที่จะทำการศึกษาประสิทธิภาพและการประพุดตัวของเซลล์เชื้อเพลิง การคำนวณเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ (Numerical Simulation, NS) จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างมากในการศึกษาและทำความเข้าใจในงานวิจัยนี้ โดยในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบและศึกษาผลการทดลองระหว่าง ท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอ กับท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ โดยจะพิจารณาถึงผลกระทบและข้อแตกต่าง ของการประพุดตัวของเซลล์เชื้อเพลิงในท่อส่งก๊าซแต่ละรูปแบบ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อทำนายสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอขนาด (ดังแสดงในรูปที่ 1.2จ) และเปรียบเทียบผลกับ เซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอขนาด 50 ตารางเซนติเมตร
- เพื่อศึกษาลักษณะพฤติกรรมของการกระจายตัวของ น้ำ อุณหภูมิ และก๊าซชนิดต่างๆ ภายในเซลล์เชื้อเพลิงทั้งแบบที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอ และท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีการทดลอง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย (ระบุขอบเขตของงานวิจัยให้ครอบคลุม ดังต่อไปนี้)

- การคำนวณเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์นั้นกระทำผ่านโปรแกรม ANSYS FLUENT
- ผลการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะถูกตรวจสอบความถูกต้องกับผลการทดลอง ด้วย I-V Polarization curve
- แบบจำลองที่จะสร้างขึ้นคือ เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอและท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ (ดูรูปที่ 1.2ค และ 1.2จ)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบสมรรถนะของ เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอและท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ ผ่านการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์
- เข้าใจลักษณะพฤติกรรมของการขนส่ง เช่น น้ำ อุณหภูมิ และก๊าซชนิดต่างๆ ภายในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอและท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์

- ## ตาราง 1.1 แผนการวิจัย

[illegible]

บทที่ 2

การศึกษาวรรณกรรม

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหลักการพื้นฐาน เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ซึ่งจะทำการนำเสนอเป็นหัวข้อตามลำดับ โดยในหัวข้อ 2.1 จะกล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี 2.2 จะกล่าวถึงความเป็นมาและประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง หัวข้อที่ 2.3 จะกล่าวถึงองค์ประกอบและการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ หัวข้อที่ 2.4 จะนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และหัวข้อที่ 2.5 จะอธิบายถึงสมการที่ใช้ในการคำนวณและประเมินผลลัพธ์ของงานวิจัย

2.1 ไฟฟ้าเคมี (Electro Chemistry)

ไฟฟ้าเคมีเป็นการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า สามารถแบ่งปฏิกิริยาเคมีเป็น 2 ประเภทตามการถ่ายเทของอิเล็กตรอนได้แก่

1. ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction)
2. ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเรียกว่าปฏิกิริยานอนรีดอกซ์ (Non-redox Reaction)

2.1.1 ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction)

ปฏิกิริยารีดอกซ์ เป็นปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสาร โดยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าสามารถแยกออกเป็นปฏิกิริยาย่อยได้ 2 ปฏิกิริยา คือ

- ครึ่งปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- ครึ่งปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน เรียกว่า ปฏิกิริยารีดักชัน

ปฏิกิริยาทั้งสองต้องเกิดขึ้นพร้อมกัน จึงเรียกปฏิกิริยารวมว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ สารละลายในปฏิกิริยานี้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์

สรุปได้ว่าการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์จะต้องประกอบไปด้วย

1. สารที่ให้อิเล็กตรอนเรียกว่าตัวรีดิวซ์ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction)
2. สารที่รับอิเล็กตรอนเรียกว่าตัวออกซิไดซ์ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction)

2.1.2 เซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical cell)

เซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical cell) คือ อุปกรณ์ทางเคมีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือไฟฟ้าเป็นเคมี เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าเกิดจากสารเคมีทำปฏิกิริยากันภายในเซลล์ แล้วเกิดกระแสไฟฟ้า เช่น ถ่านไฟฉาย เซลล์แอลคาไลน์ เซลล์ปรอท เซลล์เงิน แบตเตอรี่ เป็นต้น
2. เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมีเกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์ แล้วเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น เช่น เซลล์แยกน้ำด้วยไฟฟ้า การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

โดยส่วนประกอบของเซลล์ไฟฟ้าเคมีสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ขั้วไฟฟ้า มีทั้งหมด 2 ชนิด
 - 1.1 ขั้วว่องไว (Active electrode) ได้แก่ ขั้วโลหะทั่วไป เช่น Zn Cu Pb
 - 1.2 ขั้วเฉื่อย (Inert electrode) คือ ขั้วที่ไม่มีส่วนร่วมใดๆ ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น Pt
2. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

ในเซลล์ไฟฟ้าปกติ จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วเสมอ ดังนี้

1. ขั้วแอโนด (Anode) คือ ขั้วที่เกิดออกซิเดชัน
2. ขั้วแคโทด (Cathode) คือ ขั้วที่เกิดรีดักชัน

2. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) คือ สารที่มีสถานะเป็นของเหลว นำไฟฟ้าได้ เพราะมีไอออนเคลื่อนที่ไปมาอยู่ในสารละลาย

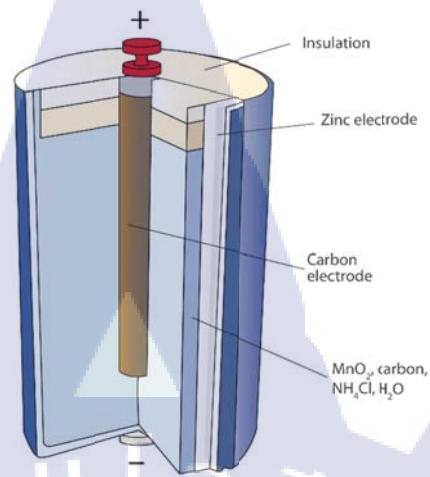
2.1.3 เซลล์กัลวานิก หรือเซลล์วอลตาอิก (Voltaic cell)

เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ 2 ครึ่งเซลล์มาต่อกัน และเชื่อมให้ครบวงจรโดยใช้สายพานไอออนต่อระหว่างครึ่งเซลล์ไฟฟ้าทั้งสอง เซลล์กัลวานิกมี 2 ประเภท คือ เซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ

• เซลล์ปฐมภูมิ

1. เซลล์แห้ง (Dry Cell)

เซลล์ไฟฟ้าชนิดนี้ถูกเรียกว่า เซลล์แห้ง เพราะไม่ได้ใช้ของเหลวเป็นอิเล็กโทรไลต์ เป็นเซลล์ที่ใช้ไฟฉาย หรือใช้ในประโยชน์อื่นๆ เช่น ในวิทยุ เครื่องคิดเลข ฯลฯ ซึ่งมีลักษณะตามรูปที่ 2.1



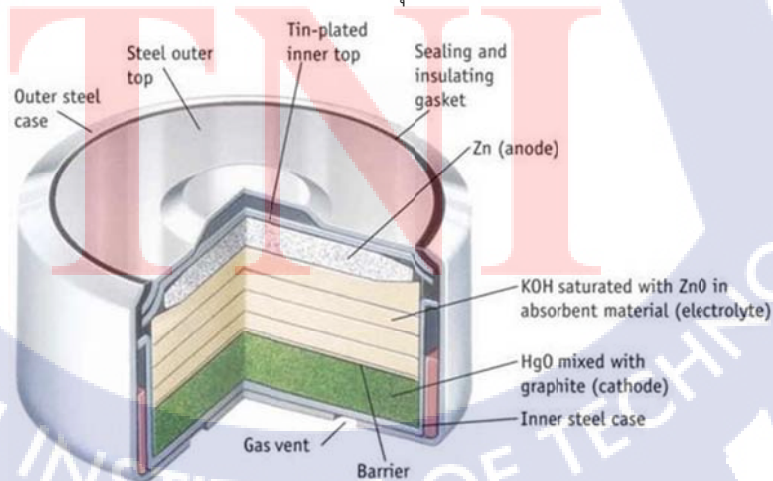
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบภายในของเซลล์แห้ง

2. เซลล์แอลคาไลน์ (Alkaline Cell)

เซลล์แอลคาไลน์มีส่วนประกอบของเซลล์เหมือนกับเซลล์แห้ง แต่มีสิ่งที่แตกต่างกันคือ เซลล์แอลคาไลน์ใช้เบสซึ่งได้แก่โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นอิเล็กโทรไลต์แทน แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และเนื่องจากใช้สารละลายเบสนี้เองเซลล์ชนิดนี้จึงถูกเรียกว่า เซลล์แอลคาไลน์

3. เซลล์ปรอท (Mercury Cell)

มีหลักการเช่นเดียวกับเซลล์แอลคาไลน์ แต่ใช้เมอร์คิวรี (II) ออกไซด์ (HgO) แทนแมงกานีส (IV) ออกไซด์ (MnO_2) เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กใช้กันมากในเครื่องฟังเสียงสำหรับคนหูพิการหรือใช้ในอุปกรณ์อื่น เช่น นาฬิกาข้อมือ เครื่องคิดเลข เซลล์นี้จะให้ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 1.3 โวลต์ ให้กระแสต่ำ แต่สามารถให้ค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่ตลอดอายุการใช้งาน



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของเซลล์ปรอท

- เซลล์ทุติยภูมิ

แบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว (Lead Storage Battery)

แบตเตอรี่คือเซลล์ไฟฟ้าหลายๆ เซลล์ต่อกันเป็นอนุกรม แบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่วนี้เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ โดยประกอบด้วยไฟฟ้า 6 เซลล์ แต่ละเซลล์จะมีศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ ดังนั้นแบตเตอรี่ในรถยนต์มีศักย์ไฟฟ้าทั้งหมด 12 โวลต์



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบภายในของแบตเตอรี่

2.1.4 อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis)

การนำหลักการทางไฟฟ้าเคมีของปฏิกิริยารีดอกซ์มาประยุกต์ใช้งานคือหลักการอิเล็กโทรไลซิส โดยอิเล็กโทรไลซิสสามารถทำให้ปฏิกิริยาใดที่เกิดขึ้นไม่ได้ เช่น

$$\text{Cu(s)} + \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn(s)}$$

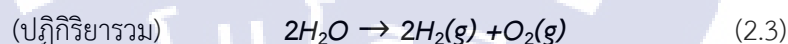
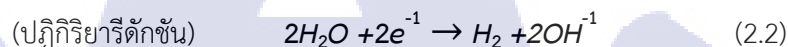
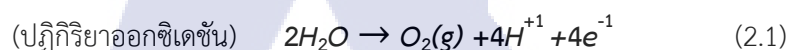
ให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นได้โดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากภายนอกส่วนประกอบที่สำคัญของอิเล็กโทรไลติกเซลล์ (Electrolytic Cell) ประกอบด้วย

1. แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก
2. ขั้วไฟฟ้า
3. สารละลายอิเล็กโทรไลต์

โดยลักษณะการเกิดปฏิกิริยาสามารถอธิบายได้จากการที่สารให้อิเล็กตรอนแก่ขั้วบวกหรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันคือขั้วแอโนดที่มีประจุไฟฟ้าลบ และสารที่รับอิเล็กตรอนจากขั้วลบหรือการเกิดปฏิกิริยารีดักชันคือขั้วแคโทดที่มีประจุไฟฟ้าบวก ในการประยุกต์ใช้งานของหลักการอิเล็กโทรไลซิสสามารถนำไปใช้ในหลักการแยกน้ำด้วย

ไฟฟ้าเพื่อแยกโมเลกุลของน้ำ (H_2O) เป็นโมเลกุล H_2 และโมเลกุล O_2 เพื่อนำแก๊สที่สามารถผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นต่อไป

หลักการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าหรืออิเล็กโทรไลซิส เป็นกระบวนการที่ใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมีในการแตกตัวน้ำโดยใส่กระแสไฟฟ้าเพื่อให้โมเลกุลน้ำ แตกตัวออกเป็นโมเลกุลไฮโดรเจนและโมเลกุลออกซิเจน ถ้าขั้วไฟฟ้าที่เลือกใช้คือ KNO_3 ดังปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น



ประโยชน์ของหลักการอิเล็กโทรไลซิส

1. การแยกน้ำด้วยไฟฟ้า เพื่อแตกตัวน้ำให้กลายเป็นแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน
2. การชุบโลหะ
3. การทำโลหะบริสุทธิ์

2.2 ประวัติความเป็นมาและประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) จัดเป็นเซลล์กัลวานิกชนิดหนึ่งที่มีสารตั้งต้นของปฏิกิริยาครึ่งเซลล์อยู่ในรูปของแก๊สที่ป้อนเข้าไปในเซลล์แบบต่อเนื่อง เมื่อสารเหล่านี้ถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาก็จะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น เชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในเซลล์ชนิดนี้ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และมีเทน ในปี ค.ศ. 1802 Davy ได้ค้นพบ ปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงและสร้างเซลล์คาร์บอนซึ่งทำงานที่อุณหภูมิห้องโดยใช้กรดไนตริกเป็นสารพาประจุ (Electrolyte) แต่เซลล์ชนิดนี้ยังไม่สมบูรณ์ต่อมาในปี ค.ศ. 1884 Grove ได้ประสบความสำเร็จในการสร้างเซลล์ไฮโดรเจน-ออกซิเจน ซึ่งได้รายงานผลการค้นคว้าใน "Gaseous Voltaic Battery" ซึ่งแสดงถึงปฏิกิริยาของออกซิเจนและไฮโดรเจนในการผลิตน้ำและให้กระแสไฟฟ้าออกมาในปริมาณมากพอที่จะทำให้คนบาดเจ็บได้ถ้าถูกช็อต

ต่อมาในปี ค.ศ. 1921 Baur ได้พัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงแบบที่ใช้อุณหภูมิสูง (High temperature cell) เมื่อใช้คาร์บอนเป็นขั้วแอโนดและใช้ออกไซด์ของเหล็กเป็นขั้วแคโทด และสารคาร์บอนเนตของแอลคาไลน์หลอมเหลว (Molten alkaline carbonate) เป็นสารพาประจุ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จะทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามยังคงพบปัญหา

ทางด้านวัสดุที่ใช้ในการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงเนื่องจากความยากลำบากในการกำจัดกากถลุง (Slag) ที่เกิดขึ้นนั่นเอง

จากนั้นนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรชาวอังกฤษได้ทำการปรับปรุงค้นคว้าเซลล์เชื้อเพลิงในห้องทดลองอย่างต่อเนื่อง จนในปี ค.ศ. 1959 Bacon และ Frost จากมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ได้ประกาศว่าสามารถปรับปรุงและสร้างเซลล์เชื้อเพลิงที่มีกำลังขนาด 6 กิโลวัตต์ซึ่งเพียงพอที่จะใช้ในการขับเคลื่อนสินค้า เลื่อยไฟฟ้าและเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ซึ่งในเวลาใกล้เคียงกันนั้น (เดือนตุลาคม ค.ศ. 1959) ทางสหรัฐอเมริกา โดย Ihrig จากบริษัท Allis-Chalmers ได้ติดตั้งเซลล์เชื้อเพลิงให้กับรถแทรกเตอร์ที่มีกำลัง 20 แรงม้าได้เป็นผลสำเร็จ

จากการพัฒนาในอดีตที่มีผู้ให้ความสนใจเพียงเล็กน้อย จนในเวลาต่อมามีผู้ให้ความสนใจมากมายและมีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง จนในปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงถูกพัฒนาให้เป็น อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานของเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเผาไหม้ ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงนี้ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ และยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์เผาไหม้ประมาณ 1-3 เท่า

เซลล์เชื้อเพลิงสามารถจำแนกได้เป็นหลายแบบขึ้นอยู่กับสารที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ไฮโดรคาร์บอน เซลล์เชื้อเพลิงโพรเพน-ออกซิเจน เป็นต้น และชนิดที่นิยมใช้คือ เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน เพราะเมื่อเกิดปฏิกิริยาในเซลล์แล้วจะให้กระแสไฟฟ้า น้ำบริสุทธิ์ และความร้อน นอกจากนี้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ยังไม่ก่อให้เกิดแก๊สพิษ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับ ความนิยมมากที่สุดคือ เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์

ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงทำงานโดยการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรงซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการเปลี่ยนรูปพลังงานเป็นพลังงานกลก่อน แล้วจึงเปลี่ยนมาเป็นไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง เครื่องยนต์ที่ใช้เปลี่ยนรูปพลังงานชนิดนี้มีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับ 30-35% เท่านั้น ส่วนเซลล์เชื้อเพลิงในบางรูปแบบเปลี่ยนพลังงานของเชื้อเพลิงไปเป็นไฟฟ้าได้ถึง 80% เพราะเป็นการเปลี่ยนพลังงานทางเคมีโดยตรง

เซลล์เชื้อเพลิงในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดจะมีลักษณะการทำงานโดยทั่วไปคือ อะตอมของไฮโดรเจนจะถูกจ่ายเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงทางขั้วแอโนด (Anode) และเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแยกอิเล็กตรอน (Electron) ออก ทำให้ไฮโดรเจนอะตอมอยู่ในสภาวะ "Ionized" ผ่าน Electrolyte ไปยังแคโทด (Cathode) ที่มีออกซิเจนอยู่ทำให้เกิดการรวมตัวกันกลายป็นน้ำไหลออกมา ส่วน

อิเล็กตรอนก็จะวิ่งอยู่ภายนอกเป็นกระแสขับเคลื่อนทางไฟฟ้า แม้จะมีแรงดันโวลต์เพียงเล็กน้อย คือ 1.16 V ต่อ Cell ต้องต่อพ่วงกันหลาย ๆ เซลล์ ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าระดับที่ต้องการได้

เซลล์เชื้อเพลิงที่มีใช้งานในปัจจุบันนั้น แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้การนำมาประยุกต์ใช้งานแตกต่างกันด้วย ซึ่งสามารถสรุปโดยย่อได้ดังนี้

เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell, AFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (50–70%) แต่เนื่องจากระบบไวต่อการปนเปื้อนมาก จึงจำเป็นต้องใช้ไฮโดรเจนและออกซิเจน ที่บริสุทธิ์เท่านั้น ทำให้ระบบโดยรวมมีราคาสูงมาก ดังนั้นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จะถูกใช้ในงานด้านอวกาศ เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีประสิทธิภาพ สูงสุด อุณหภูมิขณะที่ทำงานอยู่ต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ของเสียที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงคือ น้ำบริสุทธิ์ ซึ่งนักบินอวกาศสามารถใช้บริโภคได้

เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแรกที่สามารถสร้างขึ้นในเชิงพาณิชย์ มีระดับอุณหภูมิในการทำงานประมาณ 210 องศาเซลเซียส สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 200 กิโลวัตต์ มีประสิทธิภาพประมาณ 35–50% มักนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้า ในสถานที่ขนาดเล็กต่างๆ เช่น โรงแรมและสำนักงานต่างๆ เป็นต้น

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอม (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เหมาะสม สำหรับโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับจำหน่ายไฟฟ้า มีอุณหภูมิการทำงานที่สูงมากประมาณ 650 องศาเซลเซียส สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 2 เมกะวัตต์ และยังให้อุ่นน้ำความดันสูงออกมา ซึ่งสามารถนำมาช่วยผลิตกระแสไฟฟ้าในลักษณะความร้อนร่วมได้ เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมสูงขึ้นถึง 80-85 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง ทำให้ไม่ต้องใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ จึงทำให้ระบบโดยรวมมีราคาต่ำกว่า

เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีอุณหภูมิในการทำงานที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ คือ ประมาณ 800–1000 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับโรงงานไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีอุณหภูมิสูง เป็นผลผลิตจากกระบวนการทางเคมี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ในลักษณะความร้อนร่วมได้เช่นเดียวกับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอม ทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นสูงถึงประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในระบบที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงมากๆ นั้นเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง จะมีความคุ้มค่ากว่าระบบที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอเนตหลอม

เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ได้รับความนิยมมาก ในการนำมาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากมีอุณหภูมิในการทำงานที่ไม่สูงมากนัก และราคาที่ไม่แพงเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิง ชนิดอื่น รวมถึงมี

ประสิทธิภาพที่สูง (35–60%) เชื้อเพลิงที่ใช้คือ ไฮโดรเจน (บริสุทธิ์ที่ 99.99%) และอากาศ ปัจจุบันนำมาประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการนำมาเป็นแหล่งพลังงานขับเคลื่อนสำหรับรถยนต์หรือรถโดยสารสาธารณะ รวมถึงเป็นแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อใช้ภายในที่อยู่อาศัย เป็นต้น

เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนสารเมทานอลโดยตรง (Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ถูกพัฒนาจากเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน แตกต่างจากเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ คือ ใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งถือว่าเป็นข้อดี ในเรื่องของการจัดการเชื้อเพลิงที่สะดวกกว่า หากแต่ให้แรงดันไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้จำเป็นต้องใช้เซลล์เป็นจำนวนมากมาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้แรงดันสูงพอ เป็นผลให้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด (ประมาณ 35–40%) เมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ อย่างไรก็ตาม เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีข้อด้อยในการทำงานค่อนข้างต่ำ และใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง ทำให้เหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา เป็นต้น

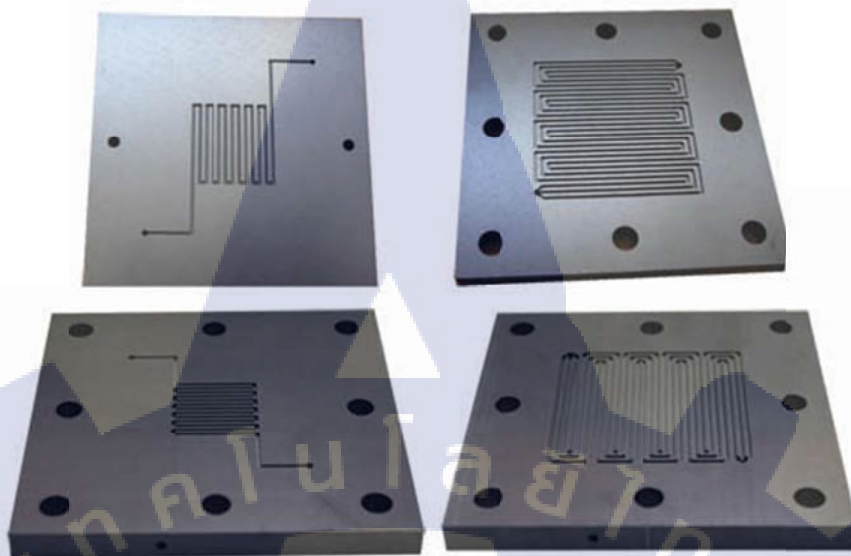
จากลักษณะเฉพาะดังกล่าวข้างต้น ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ (PEMFC) เป็นที่นิยมสูงสุดในการนำมาใช้เป็นต้นกำลังในภาคคมนาคมขนส่ง เนื่องจากมีขนาดเล็กกะทัดรัด และให้พลังงานสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนัก เริ่มทำงานได้รวดเร็ว สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ และอายุการทำงานยาวกว่าเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น หากแต่มีข้อเสียคือ ต้นทุนการผลิตสูงและต้องการเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูง สำหรับอุปกรณ์ต่อเนื่องที่ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีลักษณะที่เหมือนกัน หากจะแตกต่างกันตรงขนาดกำลังไฟฟ้าที่ทำงานได้เท่านั้นซึ่งในงานวิจัยนี้เราจะใช้เซลล์เชื้อเพลิงในรูปแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ในการศึกษา

2.3 องค์ประกอบและการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์

เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญได้แก่ แผ่นนำกระแสไฟฟ้า ขั้วอิเล็กโตรด อิเล็กโตรไลต์ เป็นต้น

1. แผ่นนำกระแสไฟฟ้า (Current collector plate)

แผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ แผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบบขั้วเดียว (Unipolar plate) และแผ่นนำกระแสไฟฟ้าแบบสองขั้ว (Bipolar plate) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง แผ่นนำกระแสไฟฟ้าทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ออกจากเซลล์จะเป็นช่องทางการไหลของแก๊ส (Gas flow field plate) ซึ่งอยู่บริเวณผิวหน้าของแผ่นเพื่อเป็นช่องทางให้แก๊สเคลื่อนที่ผ่านต่อไปยังขั้วอิเล็กโตรด ช่วยในการระบายความร้อน และการจัดการน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยา



รูปที่ 2.4 แผ่นนำกระแสไฟฟ้า

2. ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน (Membrane Electrode Assembly)

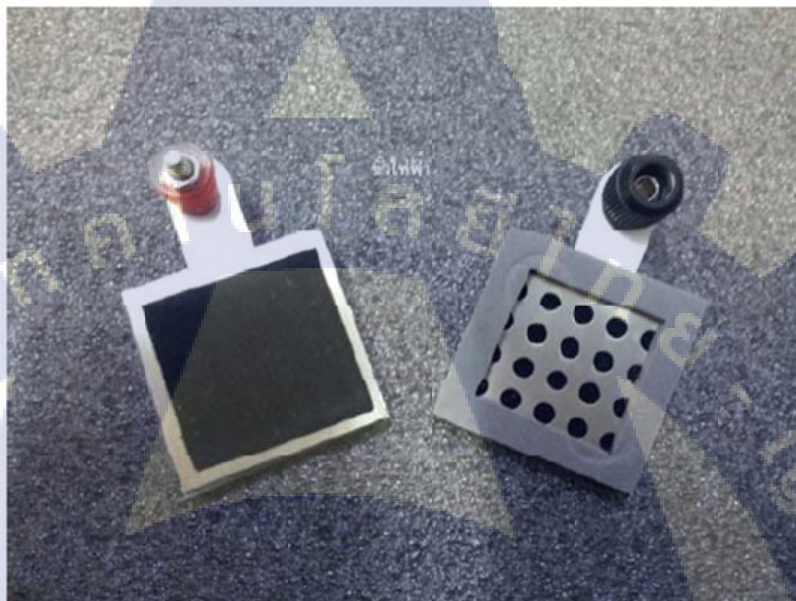
ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน ถือเป็นหัวใจสำคัญต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ เนื่องจากเป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาและการถ่ายโอนประจุ ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรนประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ เมมเบรนทำหน้าที่เป็นอิเล็กโตรไลต์และขั้วอิเล็กโทรดที่มีชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา การประกอบขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรนทำโดยการนำขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว คือขั้วแอโนดและขั้วแคโทด มาประกบเข้ากับเมมเบรน โดยวิธีการอัดด้วยความร้อน (Hot pressing)



รูปที่ 2.5 ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน

3. ขั้วอิเล็กโทรด (Electrode)

ขั้วอิเล็กโทรดเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ทางผ่านของแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อเข้าทำปฏิกิริยาและทางผ่านของอิเล็กตรอน ขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้อยู่โดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ชั้นแพร่แก๊ส (Gas diffusion layer) ชั้นจัดการน้ำ (Water management layer) และชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer)



รูปที่ 2.6 ขั้วอิเล็กโทรด

- ชั้นแพร่แก๊ส (Gas diffusion layer)

เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นตัวเร่งปฏิกิริยากับแผ่นนำกระแสไฟฟ้า โดยทั่วไปทำมาจากเส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) นำมาทำเป็นกระดาษคาร์บอน (Carbon paper) และผ้าคาร์บอน (Carbon cloth) โดยชั้นแพร่แก๊สมีหน้าที่ เป็นเส้นทางผ่านของแก๊สเชื้อเพลิงจากช่องทางการไหลของแก๊ส (Flow field channel) ไปยังชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา, เป็นเส้นทางผ่านสำหรับน้ำที่ได้จากปฏิกิริยาจากชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาออกไปยังช่องทางการไหลของแก๊ส และยังเป็นตัวนำอิเล็กตรอนจากชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังแผ่นนำกระแสไฟฟ้าเพื่อครบวงจรได้ กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิง

- ชั้นจัดการน้ำ (Water management layer)

เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นแพร่แก๊สและชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา มีส่วนช่วยในการจัดการน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิง

- ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer)

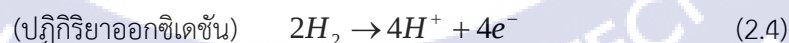
เป็นชั้นที่เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง ในอุณหภูมิปกติตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน จำเป็นต้องมีตัวกระตุ้นเพื่อให้เกิดการแตกตัว เช่น เติมน้ำที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ เช่น แพลทินัม (Pt) หรือ นิกเกิล (Ni) เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแพลทินัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์มากที่สุด เนื่องจากสามารถทนต่อการกัดกร่อนและว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของแก๊สออกซิเจน (ซัฟแคโทด) และแก๊สไฮโดรเจน (ซัฟแอโนด) ได้ดีกว่าโลหะอื่น

4. อิเล็กโตรไลต์ (Electrolyte)

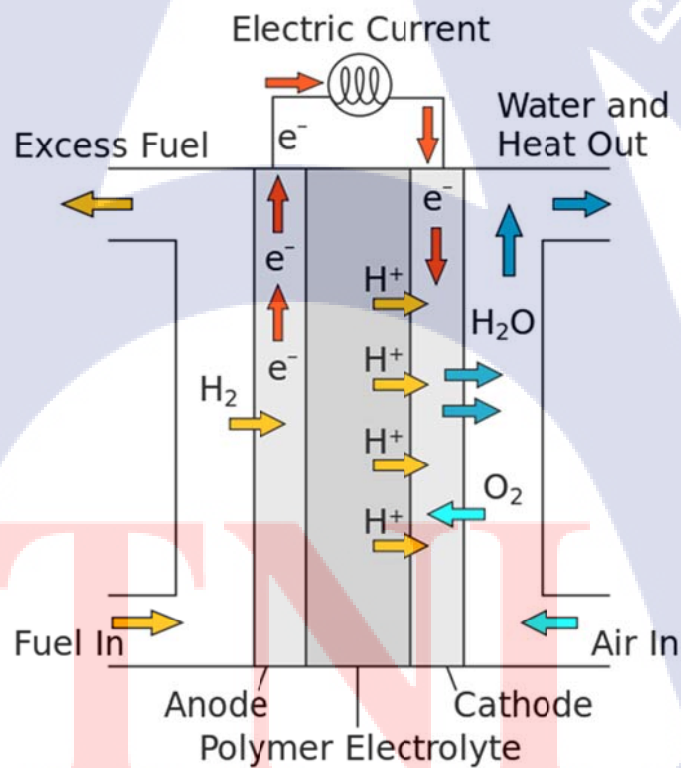
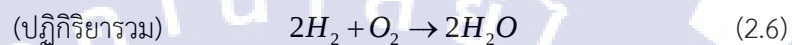
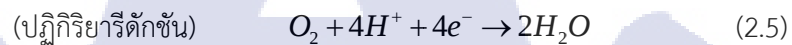
อิเล็กโตรไลต์ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์คือ พอลิเมอร์เมมเบรนชนิดเนฟลอนเมมเบรน (Nafion membranes) ซึ่งยึดติดกับซัฟอิเล็กโตรด ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้โมเลกุลไฮโดรเจนสัมผัสกับออกซิเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาขึ้นโดยตรง และยอมให้โปรตรอนเคลื่อนที่ผ่านจากซัฟแอโนดไปยังซัฟแคโทดเท่านั้น

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์

เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์มีลักษณะการทำงานคล้ายแบตเตอรี่ ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrochemical reaction) ในการเปลี่ยนพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงเซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง トラバเท่าที่มีการป้อนเชื้อเพลิงอย่างสม่ำเสมอ ผลิตรักษ์ที่ได้จากปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์คือ กระแสไฟฟ้า น้ำและความร้อน จึงไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ภาวการณ์ทำงานที่อุณหภูมิต่ำ ในช่วง 60-100 องศาเซลเซียส จึงเป็นที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการทำงานด้านต่างๆ โดยกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเซลล์เกิดมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่ซัฟอิเล็กโตรดแต่ละด้าน เชื้อเพลิงหลักที่ใช้คือ แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนเป็นสารออกซิแดนท์ จากรูปที่ 2.7 แก๊สไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าที่ซัฟแอโนด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แพลทินัม ได้โปรตรอน อิเล็กตรอนและความร้อน ดังสมการ



โปรตรอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโทรไลต์คือ แผ่นเมมเบรน ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำโปรตรอนสูง (High proton conductivity) แต่ไม่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่าน (Electron barrier) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกได้เป็นกระแสไฟฟ้า จากนั้นทั้งโปรตรอนและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดเพื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนที่ถูกป้อนเข้ามายังขั้วดังกล่าว เกิดปฏิกิริยารีดักชันที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แพลทินัม ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือน้ำ ตามสมการที่ (2.5) และได้ปฏิกิริยารวมแสดงดังสมการที่ (2.6)



รูปที่ 2.7 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เป็นที่ทราบกันอย่างกว้างขวางว่ารูปแบบของท่อส่งก๊าซนั้นมีผลกระทบต่อสมรรถนะของเซลล์อย่างมาก ซึ่งรูปแบบของท่อส่งก๊าซที่ดีนั้นจะต้องทำให้ก๊าซตัวทำปฏิกิริยา มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เพราะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของก๊าซตัวทำปฏิกิริยา นำไปสู่การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ และการสร้างตัวของน้ำ ซึ่งจะช่วยลดการเสื่อมสภาพของเซลล์ ในทางตรงกันข้าม การกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอของก๊าซตัวทำปฏิกิริยา นำไปสู่การกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และความเค้นเชิงกลในหน่วยเยื่อแผ่นและขั้วไฟฟ้า (Membrane Electrode Assembly) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเสื่อมสภาพของเซลล์ เนื่องด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมานี้ รูปแบบท่อส่งก๊าซจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญเนื่องจากลักษณะหน้าที่ที่ใช้ในการส่งก๊าซตัวทำปฏิกิริยาไปสู่ชั้นเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งยังช่วยนำน้ำส่วนเกินที่จะทำให้เกิดน้ำท่วมในเซลล์ออกมาจากเซลล์อีกด้วย โดยที่ Manso และคณะ [1] ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมที่วิจัยรูปแบบของท่อส่งก๊าซ และแบ่งตัวแปรทางกายภาพของท่อส่งก๊าซที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรม และสมรรถนะของเซลล์ออกเป็น 8 ประเภทคือ 1. รูปแบบท่อส่งก๊าซ 2. ทิศทางการไหลของก๊าซ 3. จำนวนท่อและความยาวท่อก๊าซ 4. การใช้แผ่นกั้นขวางทิศทางการไหลของก๊าซ 5. รูปร่างหน้าตัดของท่อ 6. ความกว้างของท่อและสันท่อ 7. ความลึกของท่อ 8. อัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของหน้าตัดท่อ หลังจากการศึกษางานวิจัยแล้วพบว่า รูปทรงของท่อส่งก๊าซนั้นมีหลากหลายแบบ ท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ ได้รับความนิยมสูงที่สุด เนื่องจากเป็นรูปแบบที่เป็นพาณิชย์แล้ว ซึ่งได้ยอมรับกันอย่างแพร่หลายว่าให้สมรรถนะที่ดี และที่มากกว่านั้นคือการมีลักษณะที่เรียบง่ายอีกด้วย

แม้ว่าท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์นั้นให้สมรรถนะที่ดี และได้รับความนิยมสูง แต่ก็ยังมีการออกแบบและพัฒนาารูปแบบท่อส่งก๊าซรูปแบบใหม่ๆ เกิดขึ้นเรื่อยๆ โดย Arvay และคณะ ได้ทำการศึกษาและนำเสนอรูปแบบของท่อส่งก๊าซซึ่งมีรูปแบบไอเดียพื้นฐานมาจากธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นท่อส่งก๊าซที่มีลักษณะคล้ายกิ่งไม้ หรือปอดของมนุษย์ เป็นต้น ซึ่งจากผลการวิจัยของ Arvay และคณะ แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของก๊าซตัวทำปฏิกิริยาภายในเซลล์นั้นมีความสม่ำเสมอมากกว่าเมื่อเทียบกับท่อส่งก๊าซรูปแบบพื้นฐาน นั่นหมายความว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ท่อส่งก๊าซรูปแบบนี้จะมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าท่อส่งก๊าซรูปแบบพื้นฐาน ซึ่งเป็นเรื่องความสำคัญอย่างมากสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่จะผลิตเพื่อนำไปใช้งานอุตสาหกรรม ซึ่งนั่นก็หมายความว่าท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์นั้นถึงจะให้สมรรถนะที่ดี แต่อาจจะไม่เหมาะในการทำงานเชิงอุตสาหกรรมก็ได้

2.5 สมการที่เกี่ยวข้องในการคำนวณผลลัพธ์

ในงานวิจัยนี้ แบบจำลองแบบสามมิตินั้นจะถูกสร้างขึ้นผ่านโปรแกรม ANSYS FLUENT สมการนาเวียร์-สโตกส์ซึ่งรวมถึงการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน นั้นถูกใช้ในการคำนวณเพื่อหาปรากฏการณ์การพา การไหลของความร้อนและของไหล ด้วยกระบวนการเชิงตัวเลขอย่างระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม โดยสมการดังกล่าวสามารถเขียนได้อยู่ในรูปดังต่อไปนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \nabla \cdot (\rho\phi\vec{V}) = \nabla \cdot (\Gamma_\phi \nabla \phi) + S_\phi \quad (2.7)$$

เมื่อ

ϕ	=	ปริมาณที่ถูกพา
t	=	เวลา
ρ	=	ความหนาแน่น
$\vec{V}$	=	เวกเตอร์ความเร็ว
Γ_ϕ	=	ความสามารถในการแพร่ของปริมาณที่ถูกพา
S_ϕ	=	แหล่งของ ϕ

สมการอนุรักษ์นี้กล่าวว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณที่ถูกพา ϕ บวกกับการพาโดยกลไกการพามีค่าเท่ากับการพาโดยกลไกการแพร่บวกแหล่งของ ϕ

ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีนั้นถูกจำลองโดยการคำนวณปฏิกิริยาไฮโดรเจนออกซิเดชัน และออกซิเจนรีดักชัน ซึ่งเกิดขึ้นในชั้นเร่งปฏิกิริยา สมการของความต่างศักย์ในแบบจำลองนี้ ซึ่งคำนวณแยกกันระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า และความต่างศักย์โปรตรอน สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\nabla \cdot \sigma_j \nabla \phi_j + R_j = 0 \quad (2.8)$$

เมื่อ

σ	=	ความสามารถในการนำ	unit: $1/(\Omega \cdot \text{m-elec})$
ϕ	=	ความต่างศักย์	unit: V
R	=	กระแสไฟฟ้าถ่ายโอนเชิงปริมาตร	unit: $\text{A/m}^3\text{-elec}$

กระแสไฟฟ้าถ่ายโอนเชิงปริมาตรนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ Butler-Volmer

$$R_{an} = (\zeta_{an} j_{an}^{ref}) \left(\frac{[H_2]}{[H_2]_{ref}} \right)^{\gamma_{an}} \left(e^{\frac{\alpha_{an} F \eta_{an}}{RT}} - e^{-\frac{\alpha_{cat} F \eta_{an}}{RT}} \right) \quad (2.9)$$

$$R_{cat} = (\zeta_{cat} j_{cat}^{ref}) \left(\frac{[O_2]}{[O_2]_{ref}} \right)^{\gamma_{cat}} \left(-e^{\frac{\alpha_{an} F \eta_{cat}}{RT}} + e^{-\frac{\alpha_{cat} F \eta_{cat}}{RT}} \right) \quad (2.10)$$

เมื่อ

j^{ref}	=	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าแลกเปลี่ยน	unit: A/m ² -Pt
ζ	=	อัตราส่วนผิวต่อปริมาตรขั้วไฟฟ้า	unit: m ² -Pt/m ³ -elec
$\square$	=	ความเข้มข้นของสาร	unit: kmol/m ³
$\square_{ref}$	=	ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน	unit: kmol/m ³
γ	=	ตัวยกกำลังความเข้มข้น	
α	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนประจุ	
F	=	ค่าคงที่ของฟาราเดย์	
η	=	ความสูญเสียในการเกิดปฏิกิริยา	unit: V
R	=	ค่าคงที่ของก๊าซมาตรฐาน	
T	=	อุณหภูมิ	

ความสูญเสียในการเกิดปฏิกิริยา η สามารถเขียนได้ตามสมการต่อไปนี้

$$\eta_{an} = \varphi_{sol} - \varphi_{mem} \quad (2.11)$$

$$\eta_{cat} = \varphi_{sol} - \varphi_{mem} - V_{OC} \quad (2.12)$$

เมื่อ

$$\varphi = \text{ความต่างศักย์} \quad \text{unit: V}$$

$$V_{OC} = \text{ความต่างศักย์เมื่อวงจรเปิด} \quad \text{unit: V}$$

รูปโดยทั่วไปของสมการอนุรักษ์สารเคมี ซึ่งทำนายอัตราส่วนของมวลของสารเคมีในจุดต่างๆ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (2.13)$$

เมื่อ

$$Y_i = \text{อัตราส่วนมวลของสารเคมีในจุดต่างๆ}$$

$$\vec{J}_i = \text{ฟลักซ์การแพร่ของสารเคมีต่างๆ}$$

$$R_i = \text{แหล่งของสารเคมีเนื่องจากปฏิกิริยา}$$

S_i = แหล่งของสารเคมี

พจน์แหล่งเชิงปริมาตรของสารเคมีในชั้นเร่งปฏิกิริยานั้นเป็นไปตามสมการข้างล่าง

$$S_{H_2} = -\frac{M_{W,H_2}}{2F} R_{an} < 0 \quad (2.14)$$

$$S_{O_2} = -\frac{M_{W,O_2}}{4F} R_{cat} < 0 \quad (2.15)$$

$$S_{H_2O} = \frac{M_{W,H_2O}}{2F} R_{cat} > 0 \quad (2.16)$$

เมื่อ

M_W = มวลโมเลกุลของสารเคมี unit: kg/kmol

กระแสไฟฟ้ารวมซึ่งถูกสร้างขึ้นในชั้นเร่งปฏิกิริยาของทั้งสองฝั่งนั้นต้องเท่ากัน ดังนั้น กระแสไฟฟ้าจึงถูกอนุรักษ์ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\int_{an} R_{an} dV = \int_{cat} R_{cat} dV \quad (2.17)$$

เนื่องจากพลังงานเคมีทั้งหมดนั้นไม่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่าง สมบูรณ์เนื่องจากกำก้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ดังนั้นแหล่งความร้อนเชิงปริมาตรจึงสามารถ เขียนได้ดังนี้

$$S_h = h_{react} - R_{an,cat} \eta_{an,cat} + I^2 R_{ohm} + h_l \quad (2.18)$$

เมื่อ

h_{react} = อัตราการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี
เนื่องจากปฏิกิริยา unit: J/s

$R_x \eta_x$ = ผลคูณของกระแสกับความสูญเสียในการเกิดปฏิกิริยา unit: J/s

R_{ohm} = ความต้านทานของตัวนำ unit: Ω

h_l = อัตราการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี
เนื่องจากการเปลี่ยนเฟส unit: J/s

เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ทำงานภายใต้อุณหภูมิต่ำ น้ำอาจจะกลั่นตัวอยู่ในรูปแบบของเหลวได้ ซึ่งทำให้น้ำนั้นขวางทางเดินของก๊าซ ดังนั้นสมรรถนะของเซลล์จึงลดลงเนื่องจากผิวทำปฏิกิริยาที่ใช้งานได้นั้นลดลง ซึ่งสมการอนุรักษ์ของน้ำในเฟสของเหลวนี้สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial(\varepsilon\rho_l S)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_l \vec{V}_l S) = r_w \quad (2.19)$$

เมื่อ

ρ_l	=	ความหนาแน่นของน้ำในเฟสของเหลว	unit: kg/m ³
r_w	=	อัตราส่วนการกลั่นตัว	
ε	=	ความพรุน	
$\vec{V}_l$	=	ความเร็วของน้ำในเฟสของเหลว	unit: m/s

ความเร็วของน้ำในเฟสของเหลวนี้ถูกสมมติให้เท่ากับความเร็วของน้ำในเฟสก๊าซ อัตราการกลั่นตัวนั้นถูกจำลองได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$r_w = C_r \max\left[\left(1 - s\right) \frac{P_{wv} - P_{sat}}{RT} M_{W,H_2O}\right], [-s\rho_l]) \quad (2.20)$$

เมื่อ

C_r	=	ค่าคงตัวของอัตราการกลั่นตัว	
P_{wv}	=	ความดันของไอน้ำ	unit: N/m ²
P_{sat}	=	ความดันของน้ำอิ่มตัว	unit: N/m ²

ถึงแม้ว่าสมการ Stefan-Maxwell จะใช้อธิบายการแพร่ของสารเคมีหลายตัวในชั้นที่มีรูพรุน ระเบียบวิธีการประมาณแบบเจือจางสามารถให้ผลคำตอบเมื่อสารเคมีนั้นมีเพียง 2 ชนิดได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นแบบจำลองสำหรับการตรวจสอบผลจะแบบจำลองนั้นจะใช้ระเบียบวิธีการประมาณแบบเจือจางซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\vec{J}_k = -\rho D_j \nabla Y_k \quad (2.21)$$

เมื่อ

$$D_j = \varepsilon^{1.5} (1 - s) r_s D_j^0 \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\gamma_p} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\gamma_t} \quad (2.22)$$

เมื่อ

D_j^0	=	ความสามารถในการแพร่ของสารเคมี i ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน	unit: m^2/s
P_0	=	ความดันมาตรฐาน	unit: N/m^2
T_0	=	อุณหภูมิมาตรฐาน	unit: K
ε	=	ความพรุน	
r_s	=	ตัวยากำลังของการบล็อกรูพรุน	
s	=	พจน์ความอึดตัว	

อย่างไรก็ตาม เมื่ออากาศถูกใช้เป็นตัวทำปฏิกิริยา ระเบียบวิธีการประมาณแบบเจือจางไม่สามารถให้ผลคำตอบได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นสมการ Stefan-Maxwell ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ จึงถูกใช้

$$\vec{J}_j = -\sum_{k=1}^{N-1} \rho D_{jk} \nabla Y_k - D_{T,j} \frac{\nabla T}{T} \quad (2.23)$$

เมื่อ

N	=	จำนวนชนิดสารเคมี
D_{ij}	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารสองชนิด
D_T	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ของความร้อน

$$D_{ij} = [D] = [A]^{-1}[B] \quad (2.24)$$

$$A_{ii} = -\left(\frac{X_i}{D_{i,N}} \frac{M_w}{M_{w,N}} + \sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{X_j}{D_{ij}} \frac{M_w}{M_{w,i}} \right) \quad (2.25)$$

$$A_{ij} = X_i \left(\frac{1}{D_{ij}} \frac{M_w}{M_{w,j}} - \frac{1}{D_{i,N}} \frac{M_w}{M_{w,N}} \right) \quad (2.26)$$

$$B_{ii} = -\left(X_i \frac{M_w}{M_{w,N}} + (1 - X_i) \frac{M_w}{M_{w,i}} \right) \quad (2.27)$$

$$B_{ij} = X_i \left(\frac{M_w}{M_{w,i}} - \frac{M_w}{M_{w,N}} \right) \quad (2.28)$$

เมื่อ

X_i = อัตราส่วนโมล

ความสามารถในการนำความร้อนของอิเล็กโตรไลต์สามารถคำนวณได้ตาม

ความสัมพันธ์นี้

$$\sigma_{mem} = \beta(0.00514\lambda - 0.00326)\omega e^{1268(\frac{1}{303} - \frac{1}{T})} \quad (2.29)$$

เมื่อ

λ = ปริมาณน้ำในเมมเบรน

ปริมาณน้ำในเมมเบรนนั้นสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\lambda = \begin{cases} 0.043 + 17.18a - 39.85a^2 + 36a^3 & (a < 1) \\ 14 + 1.4(a - 1) & (a > 1) \end{cases} \quad (2.30)$$

เมื่อ

a = แอคทิวิตีของน้ำ

แอกทิวิตีของน้ำนั้นถูกนิยามว่า

$$a = \frac{P_{wv}}{P_{sat}} + 2s \quad (2.31)$$

สัมประสิทธิ์การลากด้วยออสโมติกสามารถคำนวณได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$n_d = 2.5 \frac{\lambda}{22} \quad (2.32)$$

ฟลักซ์ของการแพร่กลับสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$J_{bd} = -\frac{\rho_m}{M_m} M_{W,H_2O} D_l \nabla \lambda \quad (2.33)$$

เมื่อ

ρ_m = ความหนาแน่นของเมมเบรนแห้ง unit: kg/m³

M_m = มวลสมมูลของเมมเบรนแห้ง unit: kg/kmol

ความสามารถในการแพร่ของน้ำในเมมเบรนสามารถจำลองได้ด้วยความสัมพันธ์

$$D_l = f(\lambda) e^{2416(\frac{1}{303} - \frac{1}{T})} \quad (2.34)$$

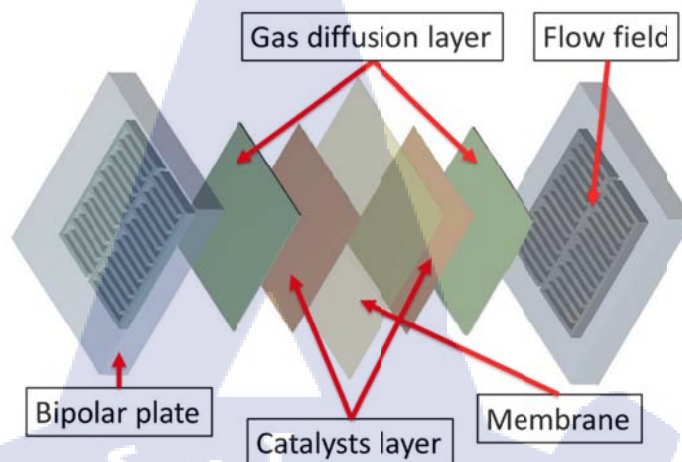
ต่อไปนี้

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้จะประกอบไปด้วย การศึกษาแบบจำลองเชิงตัวเลขของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยวและท่อส่งก๊าซแบบเฮกซะเอสไอ ซึ่งในงานวิจัยนี้ การศึกษาดังกล่าวจะถูกจัดทำผ่านโปรแกรมเชิงพาณิชย์ ANSYS FLUENT โดยใช้ฟังก์ชันที่มีอยู่ในโปรแกรม ซึ่งปรากฏการณ์การพา การไหลของความร้อนและของไหลที่เกิดขึ้นภายในเซลล์นั้นถูกจำลองและคำนวณภายใต้สมการนาเวียร์-สโตกส์ซึ่งรวมถึงการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน และชุดสมการอีกมากมายภายใต้ฟังก์ชันของโปรแกรมซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จากงานวิจัยอื่นๆ [3]

มีตัวเลือกมากมายในการคำนวณแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ภายใต้โปรแกรม ANSYS FLUENT ซึ่งมีทั้ง joule heating, reaction heating, electrochemistry sources, Butler-Volmer rate, membrane water transport, multiphase, multicomponent diffusion, and anisotropic e-conductivity in porous electrode แต่ในงานนี้จะในเพียง 7 ตัวเลือกต่อไปนี้เท่านั้น ตัวเลือก joule heating เป็นตัวเลือกที่จะรวมเอาการคำนวณความร้อนที่เกิดจากความต้านทานเข้าไปด้วย ในขณะที่ความร้อนที่ถูกสร้างขึ้นโดยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีนั้นจะถูกนำไปรวมด้วยในตัวเลือก reaction heating โดยทั่วไปแล้วตัวเลือก electrochemistry sources จะถูกเลือกไว้เสมอ แต่ถ้าหากสนใจเพียงแค่การไหลของของไหลผ่านเซลล์เท่านั้น ตัวเลือกนี้อาจถูกปิดได้ ตัวเลือก Butler-Volmer rate นั้นใช้ในการคำนวณกระแสส่งผ่านภายในชั้นเร่งปฏิกิริยา การขนส่งของน้ำระหว่างสองฝั่งของเมมเบรนสามารถจำลองได้โดยการเลือกตัวเลือก membrane water transport ตัวเลือก multiphase นั้นจะยอมให้เกิดการสร้างตัวของน้ำที่อยู่ในรูปของเหลวในชั้นที่มีรูพรุน สำหรับกรณีที่ต้องการรวมผลกระทบจากก๊าซไนโตรเจนเข้ามาด้วย (ซึ่งเกิดตอนใช้อากาศ) ตัวเลือกที่ 7 อย่าง multicomponent diffusion ก็สามารถถูกเลือกได้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างหลักของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์

3.1 การสร้างแบบจำลองและการกำหนดเงื่อนไขในการศึกษา

ในการสร้างแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์โดยโปรแกรม ANSYS FLUENT นั้นประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1. สร้างรูปทรง
2. ย่อยรูปทรงออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ
3. กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ

ในการสร้างรูปทรงนั้นสามารถทำได้ในหลายๆโปรแกรมคอมพิวเตอร์เช่น CATIA, ANSYS และ SolidWorks จุดมุ่งหมายของขั้นตอนนี้คือเพื่อกำหนดขนาดทางกายภาพของส่วนประกอบต่างๆและความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมากเนื่องจากตัวแปรทางกายภาพนั้นเกี่ยวข้องโดยตรงต่อสมรรถนะของเซลล์ ดังนั้นการสร้างรูปทรงที่ผิดขนาดอาจนำไปสู่ผลคำตอบที่ผิดพลาด โดยเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยวและท่อส่งก๊าซแบบเฮกเซสไอ ที่มีขนาด 50 ตารางเซนติเมตรนั้นถูกสร้างขึ้นใน ANSYS WORKBENCH ซึ่งประกอบไปด้วย แผ่นสองชั้น ท่อส่งก๊าซ ชั้นการแพร่ของก๊าซ ชั้นเร่งปฏิกิริยา และเยื่อเมมเบรนดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 โดยขนาดของรูปทรงของแบบจำลองนั้นสามารถแสดงได้ในตารางซึ่งขนาดเหล่านี้เป็นขนาดจากรูปทรงจริง 3.1 ภายหลังจากการกด

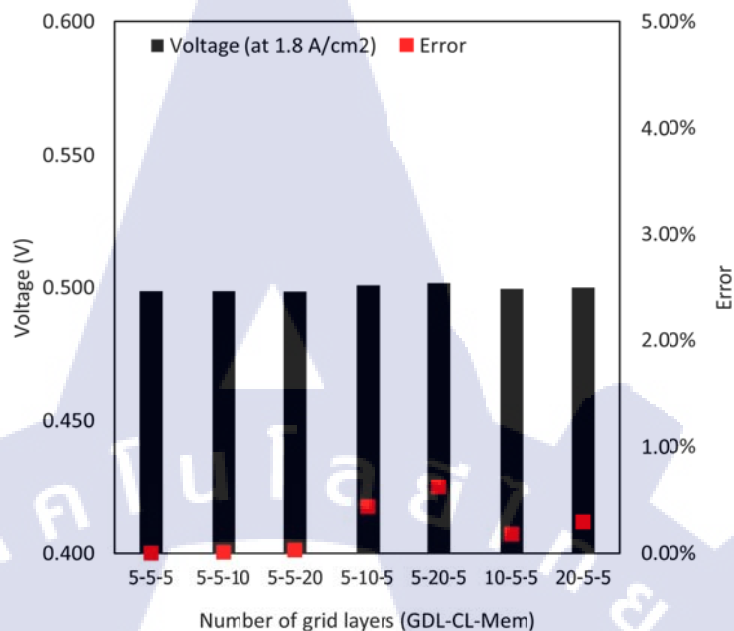
ANSYS FLUENT นั้นมีพื้นฐานมาจากเทคนิคการคำนวณชื่อไฟไนต์วอลุ่ม ซึ่งรูปทรงที่ถูกสร้างขึ้นจะต้องถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์เชิงปริมาตรย่อยๆ กระบวนการนี้สามารถทำได้ในหลากหลายโปรแกรมเช่น ANSYS Workbench, GAMBIT, หรือ ICEM CFD แต่เนื่องจากปรากฏการณ์ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์นั้นยุ่งยาก และซับซ้อนมาก การใช้เอลิ

เมนต์ที่มีคุณภาพสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการได้มาซึ่งผลคำตอบที่ลู่เข้า และเวลาคำนวณที่น้อยลง เอลิเมนต์แบบหกหน้าที่มีผิวโดยรอบเป็นสี่เหลี่ยมนั้นได้รับการยอมรับและแนะนำว่าเป็นเอลิเมนต์ที่ดีที่สุด เนื่องจากเอลิเมนต์ชนิดนี้จะไม่ก่อให้เกิดเอลิเมนต์แบบแหลมขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การลู่ออกของผลลัพธ์ได้ และถึงแม้ว่าการย่อยรูปทรงให้ละเอียดมากๆ หรือสร้างเอลิเมนต์ให้มีจำนวนมากๆนั้น จะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่แม่นยำขึ้น แต่เวลาที่ใช้คำนวณนั้นก็มากตามไปด้วย ความสมดุลระหว่างผลลัพธ์ที่แม่นยำ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงอย่างระมัดระวัง ดังนั้นการวิเคราะห์พื้นฐานอย่างการวิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อเมชจำเป็นที่จะต้องทำเพื่อยืนยันคุณภาพของผลลัพธ์ ในงานนี้กระบวนการสร้างเมชจะทำในโปรแกรม ANSYS ICEM CFD

ตารางที่ 3.1 ขนาดรูปทรงต่างๆในแบบจำลอง

ตัวแปร	ขนาด	หน่วย
ความสูงท่อ	0.8	mm
ความกว้างท่อ	0.8	mm
ความกว้างสันท่อ	0.8	mm
ความหนาแผ่นสองข้าง	0.8	mm
พื้นที่เซลล์	480.67	mm ²
ความหนาชั้นแพร่ของก๊าซ	0.190	mm
ความหนาชั้นเร่งปฏิกิริยา	0.015	mm
ความหนาเมมเบรน	0.050	mm

จากการศึกษาในงานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้ทำการวิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อเมชของแต่ละชั้นของหน่วยเยื่อแผ่นและขั้วไฟฟ้าทำให้เราทราบว่า ความแตกต่างสูงสุดของความต่างศักย์เซลล์ที่ได้มาจากจำนวนเซลล์ที่แตกต่างกันนั้นอยู่ในช่วง 1% เมื่อเทียบกับ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 อย่างไรก็ตาม เวลาที่ใช้ในการคำนวณสำหรับกรณีที่มีเอลิเมนต์มากก้นั้นมากกว่ามาก ยิ่งไปกว่านั้นการได้มาซึ่งผลคำตอบที่ลู่เข้าก็นั้นยากกว่า และอัตราการลู่เข้าก็ก็แยกกว่าเนื่องจากจำนวนเอลิเมนต์นั้นมากเกินไป [ref] ดังนั้นจำนวนเซลล์วางเรียงกันในทิศทางตามแนวหลักของทั้ง ชั้นการแพร่ของก๊าซ ชั้นเร่งปฏิกิริยา และเมมเบรนที่ใช้ในงานนี้นั้นคือ 5-5-5



รูปที่ 3.2 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อเมช

แบบจำลองทั้งสองจะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์เชิงปริมาตรย่อยๆ โดยจำนวนเอลิเมนต์ที่ถูกแบ่งซึ่งคิดรวมทั้งหมดเป็น 1,284,448 เซลล์แบบหกหน้า สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกซ์เอสไอ และ 2,568,896 เซลล์ สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว โดยรูปแบบการไหลจะถูกจัดวางให้เป็นการไหลแบบสวนทางกัน (Counter flow direction)

สำหรับงานวิจัยนี้การศึกษาการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะทำการศึกษาภายใต้การทำงานในสถานะคงตัว นั่นคือในการพิจารณาการเสื่อสภาพของวัสดุและความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำในเฟสของเหลวจะสมมุติให้มีค่าเท่ากับความเร็วของก๊าซ ซึ่งหมายความว่าในการศึกษาแบบจำลองนี้น้ำจะไม่สามารถรวมตัวและทำการขัดขวางการไหลภายในท่อได้ นอกจากนี้แล้วการไหลภายในท่อได้ถูกกำหนดให้เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) ซึ่งความเร็วในการไหลได้ถูกคำนวณด้วยตัวเลขเรย์โนลด์ โดยทั้งฝั่งแอโนดและแคโทดจะกำหนดอัตราการไหลปริมาณสารสัมพันธ์ไว้ที่ 1.1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ 90% โดยรูปแบบการไหลจะจัดวางให้เป็นการไหลแบบสวนทางกัน การเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ที่มีการคายความร้อนนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นแบบสภาวะความร้อนไม่คงที่ ทั้งนี้เพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนภายในเซลล์ โดยอุณหภูมิเริ่มต้นในการทำงานของเซลล์ถูกกำหนดไว้ที่ 60°C ซึ่งจะกำหนดไว้ที่ทางเข้าของท่อส่งก๊าซและบนผิวของแผ่นนำไฟฟ้าแบบสองขั้ว ทั้งฝั่งแอโนดและแคโทด และกำหนดแรงดันไว้ที่ 1 atm ที่บริเวณทางออกของก๊าซทั้งฝั่งแอโนดและฝั่งแคโทดเช่นกันครับ โดยที่เงื่อนไขขอบเขตและคุณสมบัติ

ของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับคำแนะนำมาจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ของอาจารย์ณัฐพลครับ ซึ่งได้มีการทดลองและทำการปรับให้มีความเหมาะสมมาอย่างดีแล้ว [3]

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขขอบและคุณสมบัติของวัสดุ

Parameters	Value	Unit
ชั้นแพร์ของก๊าซ		
ความหนาแน่น	321.5	kg/m ³
ความสามารถในการนำไฟฟ้า	280	1 /Ω m
Wall contact angle	110	Degree
ความพรุน	0.6	-
ชั้นเร่งปฏิกิริยา		
ความพรุน	0.4	-
Surface to volume ratio	1.127×10 ⁷	m ² /m ³
เมมเบรน		
ความสามารถในการนำความร้อน	0.16	W/m K
ความหนาแน่นของเมมเบรน	1,980	Kg/m ³
น้ำหนักสมมูลของเมมเบรน	1,100	kg/kmol
เงื่อนไขในของปฏิกิริยา		
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร	1.05	V
สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนประจุ	1	-
กระแสไฟฟ้าแบบแลกเปลี่ยนฝั่งแอโนด	7.17	A/m ²
กระแสไฟฟ้าแบบแลกเปลี่ยนฝั่งแคโทด	7.17×10 ⁻⁵	A/m ²

3.2 หลักการวิเคราะห์ผลคำตอบและเปรียบเทียบความถูกต้อง

ดังที่ได้รับคำแนะนำโดย ANSYS [8] ค่ามาตรฐานของเงื่อนไขการลู่เข้าใน FLUENT นั้นเพียงพอต่อปัญหาโดยส่วนมากซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวนั้นคือ การที่ระดับของเศษเหลือของทุกสมการลดลงเหลือระดับต่ำกว่า 10⁻³ ยกเว้นสมการพลังงานซึ่งถูกแนะนำให้เป็น 10⁻⁶ อย่างไรก็ตามในการสร้างแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์นั้น เงื่อนไขดังที่กล่าวไปในข้างต้นนั้นไม่เพียงพอที่จะยืนยันว่าผลคำตอบนั้นได้ลู่เข้าอย่างสมบูรณ์ ซึ่งสังเกตได้จากการที่การตั้งค่ามาตรฐาน

ของโปรแกรม ANSYS FLUENT เกี่ยวกับการตัดสินใจการลู่เข้าที่จะหยุดการคำนวณทันทีเมื่อเข้าเงื่อนไขที่กล่าวไปข้างต้น ได้ถูกยกเลิกทันทีเมื่อโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการคำนวณเซลล์เชื้อเพลิงนั้นถูกเรียกใช้งานขึ้นมาในโปรแกรม ANSYS FLUENT ผ่านส่วนต่อประสานผู้ใช้แบบข้อความ

แตกต่างจาก Arvay et al. [6] แบบจำลองนี้ใช้การกำหนดกระแสไฟฟ้าเป็นเงื่อนไขขอบที่ฝั่งแคโทด ดังนั้นค่าความต่างศักย์ของเซลล์จะถูกคำนวณในทุกๆรอบของการคำนวณแทนที่จะเป็นความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ความสม่ำเสมอของค่าความต่างศักย์ของเซลล์ดังกล่าวถูกใช้เป็นหนึ่งเงื่อนไขในการตัดสินใจการลู่เข้า

เพื่อที่จะยืนยันว่าผลคำตอบนั้นลู่เข้า วิธีที่สามที่ใช้สมมูลมาเป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจการลู่เข้าถูกนำเสนอโดย Arvay et al. [6] ซึ่งก็คือการที่มวลที่ถูกใช้ไปที่คำนวณได้จากแบบจำลองนั้นจะต้องเท่ากับมวลที่ถูกใช้ไปที่คำนวณได้จากกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลอง อย่างไรก็ตามในกรณีนี้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าถูกกำหนดให้เป็นเงื่อนไขขอบแทนค่าความต่างศักย์ของเซลล์ ดังนั้นในงานนี้จึงใช้มวลที่ถูกใช้ไปเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่กำหนดเพื่อเทียบกับมวลที่ถูกใช้ไปที่ได้จากการคำนวณผ่านแบบจำลอง

อย่างไรก็ตาม นอกเหนือจาก 3 วิธีในการช่วยตัดสินใจการลู่เข้าแล้ว เป็นที่ทราบกันดีว่าการสร้างแบบจำลองการไหลแบบหลายสถานะ และการขนส่งของน้ำภายในเมมเบรนนั้นยากมากที่จะได้มาซึ่งการลู่เข้าในการสร้างแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิง โดยทั่วไปแล้วโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหา นั้นมักกำหนดตัวประกอบ under-relaxation ไว้ต่ำๆเพื่อป้องกันการลู่ออกของผลคำตอบซึ่งทำให้บางครั้งอาจจะทำให้เข้าใจผิดได้ว่าผลคำตอบนั้นได้ลู่เข้าอย่างสมบูรณ์แล้ว ดังนั้นการตรวจสอบปริมาณสเกลาร์เฉลี่ยอย่างค่า water saturation ในชั้นรูพรุน และ water content ในเมมเบรน นั้นจำเป็นเป็นอย่างยิ่งสำหรับการยืนยันคุณภาพที่ดีของผลลัพธ์และแบบจำลองนั้นผลคำตอบได้ลู่เข้าอย่างสมบูรณ์

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์นั้น จำเป็นเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับการเทียบผลกับผลการทดลองอย่างระมัดระวังเนื่องจากความซับซ้อนและความยุ่งยากในการสร้างแบบจำลองเพื่อให้ได้ผลคำตอบมา ที่มักนำไปสู่ผลคำตอบที่ผิดอยู่เสมอ ทั้งนี้มีการเทียบผลหลากหลายรูปแบบ เช่น การตรวจสอบการกระจายตัวของน้ำในรูปแบบของเหลว การกระจายตัวของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และการใช้กราฟโพลาริเซชันซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกันมากที่สุด โดยในงานนี้ก็เช่นกัน

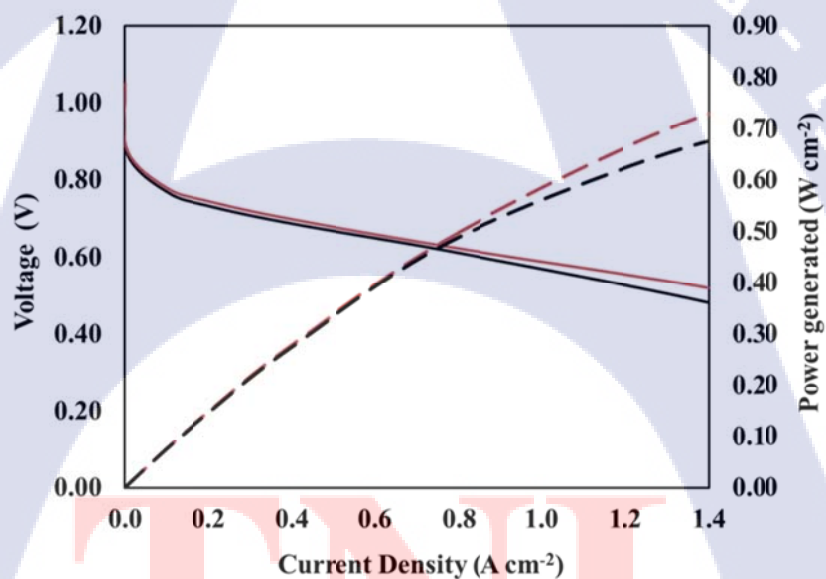
บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์

ผลที่ได้จากการทำแบบจำลองนั้นถูกนำมาเสนอและวิเคราะห์ในบทนี้ตามลำดับดังต่อไปนี้

- 4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้กราฟคุณลักษณะ
- 4.2 การตรวจสอบการกระจายตัวของแรงดันกระแส
- 4.3 การตรวจสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิ
- 4.4 การตรวจสอบการกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนและน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุน
- 4.5 การตรวจสอบค่าแรงดันตก

4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้กราฟคุณลักษณะ

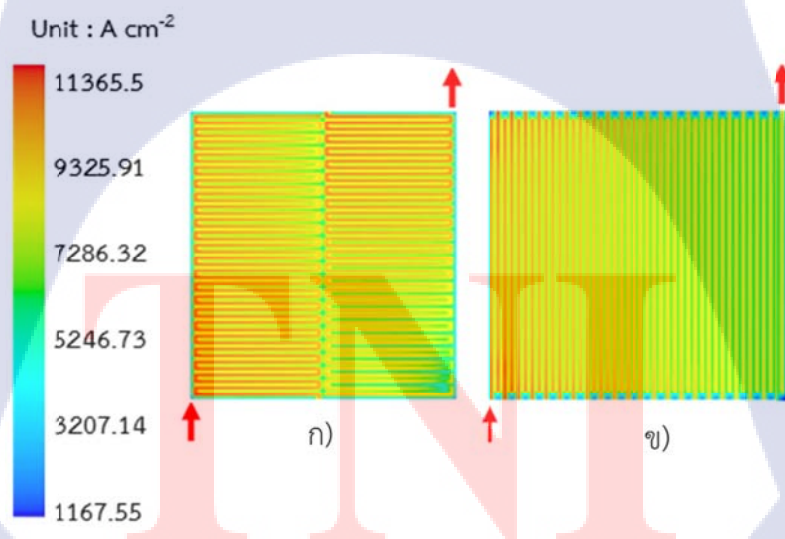


รูปที่ 4.1 กราฟคุณลักษณะของความหนาแน่นกระแสเมื่อเทียบกับแรงดันของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบ (—)เฮกเอสไอ (---)เซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว และกำลังที่ผลิตของท่อส่งก๊าซแบบ (—)เฮกเอสไอ (---)เซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว

จากรูปที่ 4.1 กราฟคุณลักษณะของความหนาแน่นกระแสเมื่อเทียบกับแรงดัน และกำลังที่ผลิต ของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว และท่อส่งก๊าซแบบเฮกเอสไอ ซึ่งผลคำตอบแสดงให้เห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเอสไอ สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้

เทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว ที่ความหนาแน่นกระแสในช่วง $0 - 0.8 \text{ A/cm}^2$ แต่หลังจากความหนาแน่นกระแสในช่วง $0 - 0.8 \text{ A/cm}^2$ แรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเซสไอจะน้อยกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยวอย่างเล็กน้อย แต่ถึงอย่างไรก็ตามในการใช้งานในเชิงของยন্ত্রกรรมแล้ว เซลล์เชื้อเพลิงจะมักจะถูกควบคุมให้ทำงานในช่วงที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.6 V ซึ่งได้ทำการศึกษาและทดลองไว้แล้ว [4] ถึงแม้ว่าการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้กราฟคุณลักษณะนั้นจะบ่งบอกถึงสมรรถนะโดยรวมของเซลล์เชื้อเพลิงให้เห็น แต่นั่นยังไม่เพียงพอต่อการสรุปว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบไหนดีประสิทธิภาพดีกว่ากัน เพราะการตรวจสอบเกี่ยวกับการกระจายตัวไม่ว่าจะเป็นแรงดัน กระแส, อุณหภูมิ, ปริมาณน้ำภายในเมมเบรน และปริมาณน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุน ก็มีความสำคัญเช่นกัน เพราะการกระจายตัวที่ว่ามานั้นจะทำให้เราเข้าใจถึงการเสื่อมสภาพของวัสดุและความทนทานของเซลล์ สรุปก็คือการตรวจสอบประสิทธิภาพนั้นจะต้องตรวจสอบควบคู่กับพฤติกรรม การถ่ายโอนภายในเซลล์ ซึ่งการตรวจสอบเกี่ยวกับการกระจายตัวทั้งหมดจะถูกตรวจสอบที่ความหนาแน่นกระแสเท่ากันที่ 0.8 A/cm^2 (แรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.6 V)

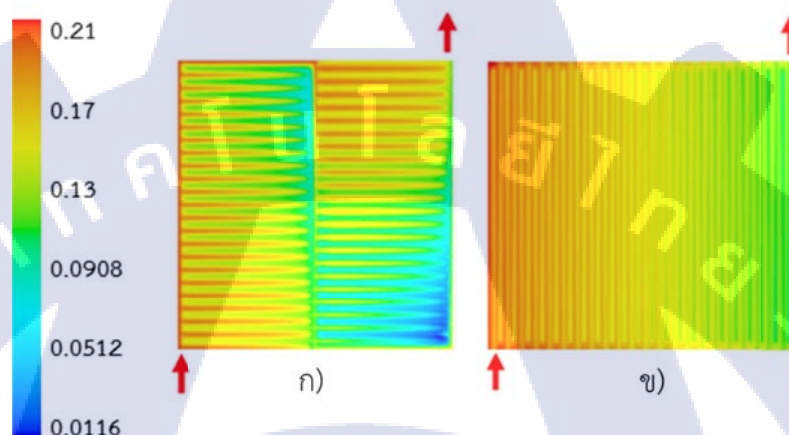
4.2 การตรวจสอบการกระจายตัวของแรงดันกระแส



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบ ก) เฮกเซสไอ ข) เซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว

สำหรับการออกแบบท่อส่งก๊าซภายในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์นั้น การดิงประสิทธิภาพของพื้นที่ส่งผ่านกระแสถือเป็นเรื่องที่สำคัญ ซึ่งการที่ท่อส่งก๊าซสามารถทำให้ตัวทำ

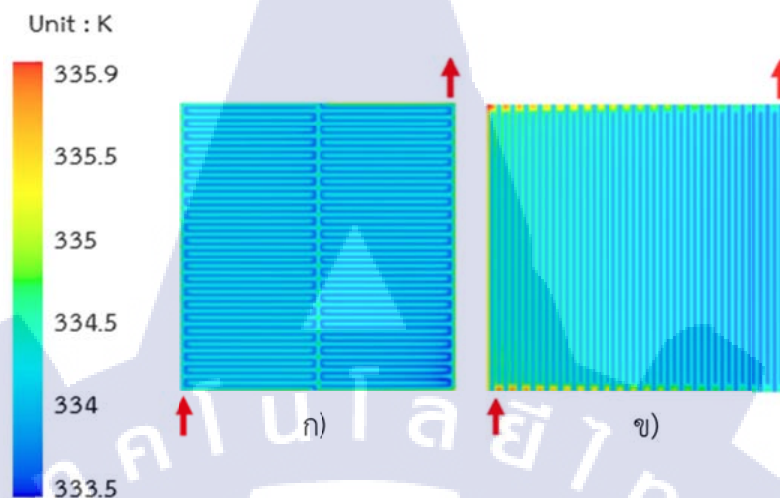
ปฏิกิริยาเข้าไปสู่พื้นที่ที่เกิดการทำปฏิกิริยาได้ทั่วทั้งบริเวณของท่อส่งก๊าซ นั้นจะทำให้การกระจายตัวของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้านั้นมีความสม่ำเสมอหรือมีการผลิตกระแสไฟฟ้าทั่วทั้งบริเวณ ทำให้ไม่เกิดจุดที่เรียกว่า hot spot และ cold spot ที่จะทำให้อายุการทำงานของเซลล์ลดลง การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าภายในเซลล์นั้นยังทำให้เราสามารถเข้าใจถึงความสามารถในการผลิตกำลังของเซลล์ได้อีกด้วย รูปที่ 4.2 นำเสนอการกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอ และท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของมวลออกซิเจนฝั่งแคโทดของท่อส่งก๊าซแบบ ก) เฮกเฮสไอ ข) เซอร์เพนไทน์ท่อเดียว

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าสำหรับท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอนั้นมีความสม่ำเสมอกว่าท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว แต่ถึงอย่างไรก็ตามความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าภายในบริเวณมุมขวาล่างภายในเซลล์สำหรับท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอนั้นมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น (ดังแสดงในรูปที่ 4.2) ซึ่งนั่นสามารถบอกได้เป็นนัยๆว่าตัวทำปฏิกิริยาที่บริเวณนั้นเข้าไปสู่พื้นที่ที่เกิดปฏิกิริยาได้ยากซึ่งอาจจะเกิดมาจากเกิดน้ำขังบริเวณนั้นหรือการที่ขาดก๊าซบริเวณนั้น ดังนั้นแล้วจึงจำเป็นต้องตรวจสอบการกระจายตัวของมวลออกซิเจนภายในเซลล์ (ดังแสดงในรูปที่ 4.3) จากการตรวจสอบพบว่าปริมาณของออกซิเจนที่บริเวณที่เกิดปัญหานั้นมีค่าต่ำมาก ซึ่งนั่นก็ยืนยันข้อสงสัยที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น อีกทั้งยังทำให้สามารถเข้าใจถึงสาเหตุที่เซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอมีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว

4.3 การตรวจสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิ



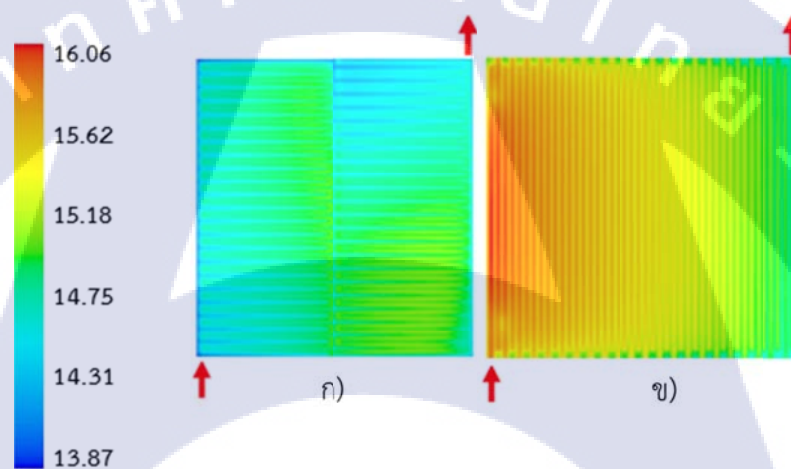
รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของอุณหภูมิของ
ท่อส่งก๊าซแบบ ก) เฮกเฮสไอ ข) เซอร์เพนไทน์ท่อเดียว

การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์นั้นขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการคายความร้อน, ความร้อนแบบโอห์มมิก และการควบแน่นของน้ำ ซึ่งนั่นหมายความว่าเมื่อฝั่งแคโทดของเซลล์เชื้อเพลิงมีการรวมตัวของน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา Oxygen reduction ก็จะทำให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยภายในเซลล์เชื้อเพลิง ของฝั่งแคโทดจะสูงกว่าฝั่งแอโนด รูปที่ 4.4 นำเสนอการกระจายตัวของอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงฝั่งแคโทดที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอ และแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอนั้นอยู่ที่ 334 K โดยจากภาพเราจะเห็นได้ว่าพื้นที่ของบริเวณใต้ท่อส่งก๊าซนั้นจะมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่อยู่ใต้ rib นั่นหมายความว่า การถ่ายโอนความร้อนบริเวณ rib นั้นทำได้ดีกว่า void สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียวนั้น ค่าอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 335.9 K ซึ่งสูงกว่าเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอ

จากงานวิจัยของ Shimpalee และคณะ ได้กล่าวไว้ว่าจำนวนของท่อส่งก๊าซภายในเซลล์นั้นมีผลต่อค่าความต่างของอุณหภูมิ โดยถ้าจำนวนท่อน้อยจะทำให้ค่าความต่างของอุณหภูมิน้อย ซึ่งก็เป็นที่ยืนยันเมื่อค่าความต่างของอุณหภูมิสูงสุดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอนั้นอยู่ที่ประมาณ 0.85 K ในขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียวนั้นอยู่ที่ประมาณ 1.9 K นั่นหมายความว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอนั้นทำได้ดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว

แต่ว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเซลไอนั้นยังมีจุดที่มีอุณหภูมิต่ำผิดปกติเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นอยู่นั้นก็คือบริเวณมุมขวาล่างซึ่งของบริเวณพื้นที่ท่อส่งก๊าซทั้งหมด ซึ่งนั่นอาจจะตีความได้ว่าพื้นที่บริเวณนี้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำทำให้ค่าอุณหภูมิไม่สูง และสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียวจะเห็นได้ว่าพื้นที่ตรงบริเวณทางเข้าของท่อส่งก๊าซจะมีอุณหภูมิสูงและจะค่อยๆลดลงไปจนถึงบริเวณทางออกของท่อส่งก๊าซ ซึ่งก็เป็นที่สังเกตได้ว่ามีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงที่บริเวณทางเข้าของท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว

4.4 การตรวจสอบการกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรน และการกระจายตัวของน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุน

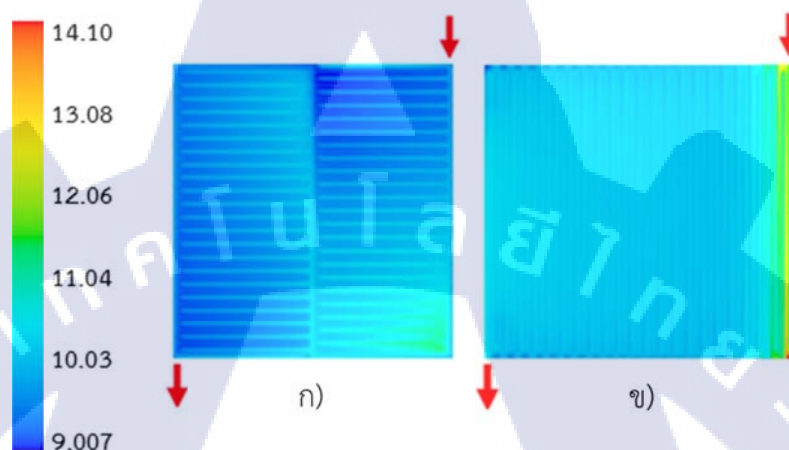


รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนบนฝั่งแคโทดของท่อส่งก๊าซแบบ ก) เฮกเซลไอ ข) เซอร์เพนไทน์ท่อเดียว

เป็นที่ทราบกันอย่างกว้างขวางว่า การกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนนั้นมีผลกระทบต่อสมรรถนะและความทนทานของเซลล์เชื้อเพลิงอย่างมาก แม้ว่าการที่ค่าปริมาณน้ำภายในเมมเบรนสูงนั้นจะมีความหมายว่าภายในเมมเบรนมีความสามารถในการนำโปรตอนที่ดี แต่ถ้าหากค่าปริมาณน้ำภายในเมมเบรนนั้นมีค่าสูงกว่า 14 นั้นจะส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์น้ำขังภายในบริเวณ ชั้นเร่งปฏิกิริยาและชั้นแพร่ของก๊าซเพราะสาเหตุมาจากปริมาณน้ำที่มากเกินไป [4]

ปัญหาการจัดการน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงนั้นส่วนใหญ่แล้วจะเกิดที่ฝั่งแคโทดเป็นหลัก เนื่องจากฝั่งแคโทดมีการรวมตัวของน้ำเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากปฏิกิริยา Oxygen reduction อีกทั้งยังเกิดจากมิน้ำที่เกิดจากการไหลย้อนกลับมาจากฝั่งแอโนดซึ่งเป็นผลกระทบมาจากปรากฏการณ์ Electroosmotic drag รูปที่ 4.5 นำเสนอการกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนบนฝั่ง

แคโทดของท่อส่งก๊าซแบบเฮกเอสไอ และท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว โดยจะเห็นได้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเอสไอ มีการกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว ซึ่งจากการพิจารณาแล้วชี้ให้เห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองมีปริมาณน้ำที่สูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว

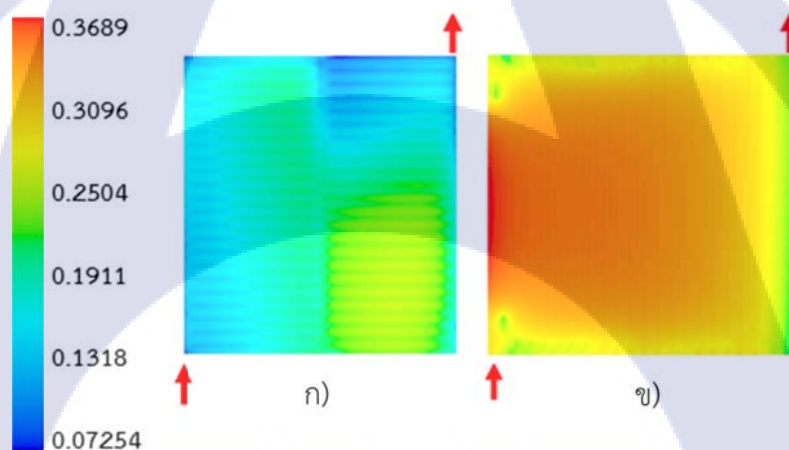


รูปที่ 4.6 การกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนบนฝั่งแอโนดของท่อส่งก๊าซแบบ ก) เฮกเอสไอ ข) เซอร์เพนไทน์ท่อเดียว

สำหรับปริมาณน้ำภายในเมมเบรนบนฝั่งแอโนดนั้นมีผลกระทบโดยตรงกับสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง อันเนื่องมาจากการคายน้ำภายในเมมเบรนที่เป็นผลมาจากปรากฏการณ์ Electroosmotic drag และการที่มีความต้านทานโปรตอนสูง ก็ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะอย่างมาก การกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนบนฝั่งแอโนดของท่อส่งก๊าซทั้งสองแบบได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียวมีปริมาณน้ำสูงมากที่บริเวณทางเข้าท่อส่งก๊าซ ในขณะที่ท่อส่งก๊าซแบบเฮกเอสไอนั้นมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอว่า แต่ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกันโดยปริมาณแล้วปริมาณน้ำของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเอสไอนั้นมีปริมาณน้ำฝั่งแอโนดน้อยกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว ซึ่งนั่นส่งผลให้สมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเอสไอเริ่มลดลงก็เป็นผลมาจากความต้านทาน protonic

รูปที่ 4.7 นำเสนอข้อมูลการกระจายตัวของน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุนฝั่งแคโทดของท่อส่งก๊าซแบบเฮกเอสไอ และท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว ซึ่งนั่นสามารถยืนยันได้ว่าไม่เพียงแต่ภายในเมมเบรนฝั่งแคโทดจะมีปริมาณน้ำที่สูงแล้ว (ปริมาณน้ำ >14) แต่น้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุนของฝั่งแคโทดก็สูงด้วย จากภาพแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำในเฟสของเหลวของท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียวนั้นสูงอย่างมากเมื่อเทียบกับท่อส่งก๊าซแบบเฮกเอสไอ ถึงแม้ว่าเซลล์

เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ขนาดเล็กที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียวนั้นจะมีสมรรถนะสูงและจัดการน้ำได้ดีเมื่อเทียบกับท่อส่งก๊าซรูปแบบอื่น [3] แต่สำหรับเซลล์ขนาดใหญ่แล้วจะเห็นได้ชัดเจนว่าท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียวนั้นทำได้ไม่ดีในเรื่องการขับไล่น้ำออกจากเซลล์ ซึ่งส่งผลให้เกิดการสะสมของปริมาณน้ำภายในเซลล์ จากภาพจะเห็นได้ว่าการสะสมของน้ำในเฟสของเหลวของท่อส่งก๊าซทั้งสองแบบนั้นมีบริเวณที่แตกต่างกัน โดยท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์นั้นจะมีการสะสมอยู่มากบริเวณที่ทางเข้าของท่อส่งก๊าซ ส่วนท่อส่งก๊าซแบบเฮกเซลไอจะสะสมอยู่ตรงบริเวณใกล้ทางออกของท่อส่งก๊าซ ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่าท่อส่งก๊าซแบบเฮกเซลไอนั้นมีความสามารถในการขับไล่น้ำที่ดีกว่าท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ นอกนั้นแล้วการรวมตัวกันของน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุนไม่เพียงแต่จะทำให้มีการขัดขวางตัวทำปฏิกิริยาไม่ให้เข้าไปสู่พื้นที่การทำปฏิกิริยาแล้วแต่ยังทำให้ความหนาแน่นของเซลล์เชื้อเพลิงลดลงและทำให้เกิดความไม่เสถียรของแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์อีกด้วย ซึ่งนั่นเป็นเรื่องที่สำคัญมากสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ที่จะนำไปใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม

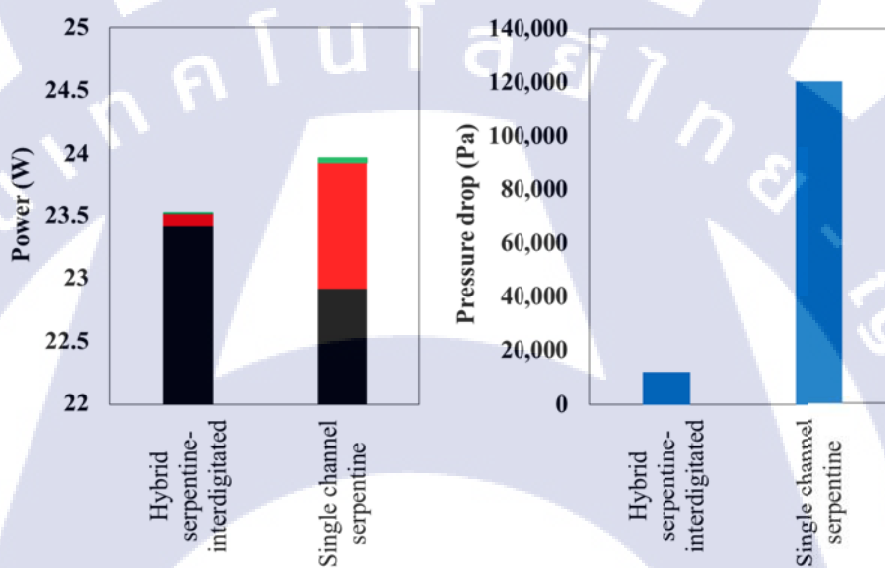


รูปที่ 4.7 การกระจายตัวของน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุนของท่อส่งก๊าซแบบ ก) เฮกเซลไอ ข) เซอร์เพนไทน์ท่อเดียว

4.5 การตรวจสอบค่าแรงดันตก

เป็นเรื่องที่ขัดแย้งไม่ได้ที่จะกล่าวว่าค่าแรงดันตกนั้นมีผลกระทบอย่างมากต่อสมรรถนะของการทำงานโดยรวมและประสิทธิภาพของระบบของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ซึ่งการที่จะเพิ่มกำลังนั้นสิ่งที่ต้องการก็คือการไหลอย่างต่อเนื่องของตัวทำปฏิกิริยา และยิ่งไปกว่านั้นแรงดันตกยังมีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เชื้อเพลิงอีกด้วย ซึ่งอาจจะบอกเป็นนัยได้ว่าการที่แรงดันตกมีค่าสูงนั้นมีสาเหตุมาจากการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอของตัวทำปฏิกิริยา ส่งผลให้

อายุการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง จากผลการตรวจสอบพบว่าค่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกซ์เอสไอนั้นมีแรงดันตกน้อยกว่าเซลล์ที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียวถึง 10 เท่า จากการวิเคราะห์แล้วสาเหตุน่าจะมาจากการที่ท่อส่งก๊าซแบบเฮกซ์เอสไอนั้นมีความยาวของท่อโดยรวมแล้วสั้นกว่าท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียวเมื่อเทียบจากระยะทางของทางเข้าไปจนถึงทางออก ทำให้ก๊าซที่ไหลภายในท่อส่งก๊าซแบบเฮกซ์เอสไอนั้นไหลด้วยความเร็วต่ำ ซึ่งข้อดีของการที่มีท่อส่งก๊าซสั้นนั้นนอกจากจะทำให้ค่าแรงดันตกนั้นมีค่าน้อยแล้ว ยังทำให้ปริมาณน้ำภายในเมมเบรนฝั่งแอโนดน้อยอีกด้วย



รูปที่ 4.8 กราฟการคำนวณการผลิตกำลังโดยรวมของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว และท่อส่งก๊าซแบบเฮกซ์เอสไอ เมื่อ (■) กำลังผลิตสุทธิ, (■) กำลังที่ต้องการใช้สำหรับฝั่งแคโทด, (■) กำลังที่ต้องการใช้สำหรับฝั่งแอโนด และ (■) แรงดันตก

รูปที่ 4.8 นำเสนอกำลังผลิตสุทธิ กำลังที่ต้องการใช้สำหรับฝั่งแคโทดและแอโนด สำหรับ 1 เซลล์เชื้อเพลิงพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ที่มีท่อส่งก๊าซทั้งแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว และท่อส่งก๊าซแบบเฮกซ์เอสไอ จากกราฟแสดงให้เห็นว่า แม้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียวจะสามารถผลิตกำลังได้สูงกว่าแบบที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกซ์เอสไอประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ (เซอร์เพนไทน์ท่อเดียว 24 W กับ เฮกซ์เอสไอ 23.5 W) แต่เมื่อหักค่ากำลังที่ต้องการใช้ทั้งฝั่งแอโนดและฝั่งแคโทดแล้ว กลับพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกซ์เอสไอนั้นมีกำลังผลิตสุทธิสูงกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียวประมาณ 2.2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มีค่าแรงดันตกน้อยกว่าถึง 10 เท่า

หลังจากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ทำการตรวจสอบมาทั้งหมดนั้น ชี้ให้เห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอนั้นเหนือกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์อย่างชัดเจนไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการที่ผลิตกำลังสุทธิได้สูงกว่า มีการกระจายตัวภายในเซลล์อย่างสม่ำเสมอและสามารถจัดการน้ำได้ดีกว่า แต่ถึงแม้ว่าการที่ท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอนั้นจะทำได้ดีในหลายด้านแต่ก็ยังมีจุดที่ต้องการการพัฒนาและปรับปรุง (ปริมาณออกซิเจนต่ำเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 4.3) ดังนั้นแล้วการศึกษาของเราในอนาคตจะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาและปรับปรุงท่อส่งก๊าซแบบเฮกเฮสไอน์



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1. สรุปผลการวิจัย

ข้อสรุปต่าง ๆ จากการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว และ ท่อส่งก๊าซแบบเฮกเซสไอ โดยใช้โปรแกรม ANSYS FLUENT นั้นถูกรวบรวมมาดังต่อไปนี้

จากการศึกษาพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเซสไอนั้น มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์ที่ต้องใช้เซลล์เชื้อเพลิงทำงานแบบสแตคเซลล์ได้มากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว ไม่เพียงแต่ท่อส่งก๊าซแบบเฮกเซสไอนั้นสามารถจัดการกับน้ำและความร้อนที่เกิดขึ้นในขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงกำลังทำงานได้ดีกว่าท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ อีกทั้งยังสามารถให้กำลังสุทธิได้มากกว่าและยังผลิตได้ไม่ยากเพราะมีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งก็น่าจะเป็นที่พึงพอใจสำหรับผู้ผลิตเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ซึ่งจะผลิตเพื่อให้เซลล์นั้นใช้ทำงานในเชิงอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น

แต่ถึงอย่างไรก็ตามเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเฮกเซสไอนั้นยังมีข้อบกพร่องในเรื่องของ การลำเลียงก๊าซออกซิเจนยังทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการขาดออกซิเจนที่บางจุดภายในเซลล์ โดยมีสาเหตุมาจากมีปริมาณน้ำที่สูงในบริเวณนั้นทำให้เกิดน้ำขัง ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำ ซึ่งทำให้แรงดันไฟฟ้าของเซลล์ลดต่ำลงหลังจากความหนาแน่นกระแสในช่วง 0.8 A/cm^2 ดังนั้นแล้วในงานวิจัยต่อไปจะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาารูปแบบท่อส่งก๊าซแบบเฮกเซสไอให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพื่อให้เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ สามารถเข้าไปแข่งขันในตลาดพลังงานได้

บรรณานุกรม

- [1] Organization of the Petroleum Exporting Countries (2015). Monthly Oil Market Report 12 May 2015.
- [2] Esteban, M. and Leary, D. (2012). Current developments and future prospects of offshore wind and ocean energy, *Applied Energy*, vol.90(1), February 2012, pp. 128 - 136.
- [3] Limjeearajarus, N. and Charoen-amornkitt, P. (2015). Effect of different flow field designs and number of channels on performance of a small PEFC, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol.40(22), June 2015, pp. 7144 - 7158.
- [4] Manso, A.P., Marzo, F.F., Barranco, J., Garikano, X., and Garmendia Mujika, M. (2012). Influence of geometric parameters of the flow fields on the performance of a PEM fuel cell. A review, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol.37(20), October 2012, pp. 15256 - 15287.
- [5] Xianguo L. and Sabir, I. (2005). Review of bipolar plates in PEM fuel cells: flow field designs, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol.30(4), March 2005, pp. 359 - 371.
- [6] Arvay, A., French, J., Wang, J.-C., Peng, X.-H., and Kannan, A.M. (2013). Nature inspired flow field designs for proton exchange membrane fuel cell, *International Journal of Hydrogen Energy*, vol.38(9), March 2013, pp. 3717 - 3726.
- [7] Shimpalee, S., Greenway, S., and Van Zee, J.W. (2006). The impact of channel path length on PEMFC flow-field design, *Journal of Power Sources*, vol.160(1), September 2006, pp. 398-406
- [8] ANSYS, *ANSYS FLUENT Fuel Cell Modules Manual*. USA: ANSYS, 2011.