การออกแบบและปรับปรุงรูปแบบทางเข้าและทางออกของท่อส่งก๊าชของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ ในรูปแบบท่อส่งแบบไฮบริดเซอร์เพนไทน์และอินเตอร์ดิจิเทต โดยการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข

เสนอ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

โดย

รศ.ดร. ณัฐพล ลิ้มจีระจรัส

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนโครงการวิจัยนี้ ภายใต้เลขที่โครงการ 1610/A009

ณัฐพล ลิ้มจีระจรัส

สารบัญ

หัวข้อ หน้า
กิตติกรรมประกาศ ข
สารบัญ ค
สารบัญตาราง ง
สารบัญรูปภาพ จ
1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.5 แผนการวิจัย 4
2 การศึกษาวรรณกรรม 5
2.1 ประวัติความเป็นมาและประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง 5
2.2 องค์ประกอบและการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ 8
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12
2.4 สมการที่เกี่ยวข้องในการคำนวณผลลัพธ์ 14
3 ระเบียบวิธีวิจัย 21
3.1 การสร้างแบบจำลองและการกำหนดเงื่อนไขในการศึกษา 22
3.2 หลักการวิเคราะห์ผลคำตอบและเปรียบเทียบความถูกต้อง 25
4 ผลและการวิเคราะห์ 27
4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้กราฟคุณลักษณะ 27
4.2 การตรวจสอบการกระจายตัวของแรงดันกระแส 28
4.3 การตรวจสอบการกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนและน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุน 29
4.4 การตรวจสอบค่าแรงดันตก และกำลังไฟฟ้าสุทธิที่สร้างได้ 32
5 สรุปผลการวิจัย 34
บรรณานุกรม 35

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 แผนการวิจัย..... 4

3.1 ขนาดรูปทรงต่างๆในแบบจำลอง.....23

3.2 เงื่อนไขขอบและคุณสมบัติของวัสดุ 25

สารบัญรูปภาพ

รูป		หน้า
1.1	ท่อส่งก๊าซแบบเฮซเอสไอ ที่มีการจัดเรียงรูปแบบทางเข้า และทางออกของท่อส่งก๊าซแบบ ก) 2 ทาง และ ข) ทางเดียว	2
2.1	แผ่นนำกระแสไฟฟ้า	8
2.2	ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน	9
2.3	ขั้วอิเล็กโทรด	10
2.4	การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์	12
3.1	แบบจำลอง HIS ที่วิเคราะห์ในโครงการนี้ (a) 1-IO HIS, (b) 1I-2O HIS and (c) 2-IO HSI	21
3.2	โครงสร้างหลักของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์	22
3.3	เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อเมซ	24
4.1	กราฟคุณลักษณะของความหนาแน่นกระแสเมื่อเทียบกับแรงดันของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซทั้ง 3 แบบ	27
4.2	การกระจายตัวของอัตราส่วนมวลของออกซิเจนของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบ (a) 1-IO HSI (b) 1I-2O HSI และ (c) 2-IO HSI	29
4.3	การกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนบนฝั่งแคโทดของของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบ (a) 1-IO HSI (b) 1I-2O HSI และ (c) 2-IO HSI	30
4.4	การกระจายตัวของน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุนของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบ (a) 1-IO HSI (b) 1I-2O HSI และ (c) 2-IO HSI	31
4.5	กำลังไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้จากท่อส่งก๊าซแบบ HIS ทั้ง 3 แบบ	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

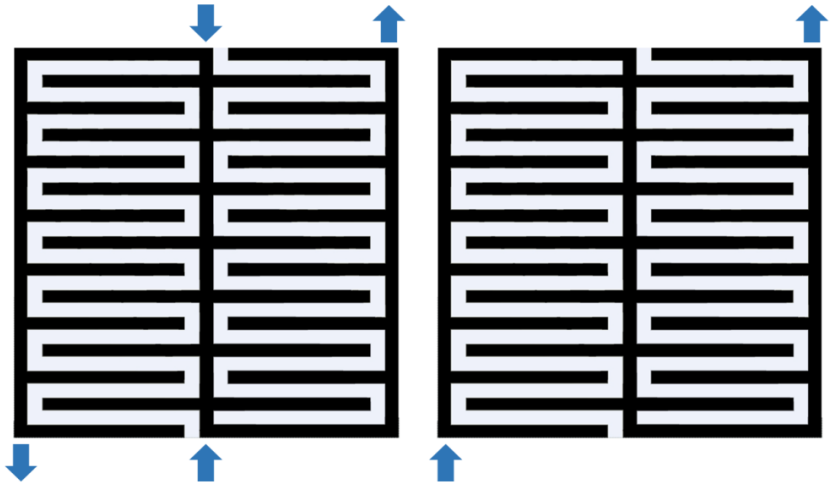
พลังงานต้นกำเนิดสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทได้แก่ พลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) และ พลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือใช้แล้วหมดไป (Non-renewable energy) ซึ่ง 80% ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในโลก คือพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำให้ในปัจจุบันทั่วโลกนั้นกำลังตระหนักถึงปัญหาการขาดแคลนพลังงาน [1] จึงมีนักวิจัยหลายคนพยามคิดค้นและพัฒนาเกี่ยวกับการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ [2 - 3] โดยท่ามกลางงานวิจัยเหล่านั้น เครื่องแปลงพลังงานแบบเซลล์เชื้อเพลิงเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นเครื่องแปลงพลังงานที่ได้รับการคาดหวังเป็นอย่างมาก โดยที่เซลล์เชื้อเพลิงเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยใช้สารตั้งต้นที่มาจากพลังงานต้นกำเนิดเช่น ก๊าซไฮโดรเจน หรือ ก๊าซธรรมชาติต่างๆ

ในปัจจุบันนั้นมีเซลล์เชื้อเพลิงอยู่หลายชนิด แต่เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์เป็นหนึ่งในอุปกรณ์แปลงพลังงานที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เพราะเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานที่สูง ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก อุณหภูมิ และความดันในการทำงานที่ต่ำ มีความหนาแน่นของกำลังที่สูง และเสียงในการทำงานเบา แต่ถึงอย่างไรก็ตามเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ ก็ยังต้องการการพัฒนาประสิทธิภาพให้สูงยิ่งขึ้นเพื่อที่จะเข้าไปแข่งขันในตลาดพลังงานได้ หลังจากทำการค้นคว้าและศึกษางานวิจัยที่ผ่านๆมาทำให้เราได้ทราบว่า รูปแบบท่อส่งก๊าซของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นส่งผลกระทบโดยตรงกับประสิทธิภาพโดยรวมของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งจากผลการวิจัยจากหลายๆงานวิจัย รวมถึงงานวิจัยของผู้ขอรับทุนเองนั้นพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยวให้ประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 5 ตารางเซนติเมตร แต่ในการใช้งานจริงนั้นเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้งานมีขนาดใหญ่กว่านั้นมาก ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการวิจัย [4] โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยว ที่มีขนาดต่างกันที่ 5 และ 50 ตารางเซนติเมตร และผลการวิจัยทำให้เราพบว่าสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีขนาด 50 ตารางเซนิเมตรนั้น ท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดี่ยวให้ประสิทธิภาพได้ไม่ดีนัก และมีปัญหาในเรื่องน้ำขังภายในเซลล์ ยิ่งไปกว่านั้นยังมีข้อเสียในเรื่องแรงดันตกที่สูง นั่นจึงทำเราได้ทำการนำเสนอรูปแบบท่อส่งก๊าซแบบใหม่ที่เป็นท่อส่งก๊าซแบบผสมระหว่างท่อส่งก๊าซแบบ

เซอร์เพนไทน์ และท่อส่งก๊าซแบบอินเตอร์ดิจิเทต หรือเรียกว่า “ท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอ (hybrid serpentine-interdigitated)”

หลังจากที่ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 50 ตารางเซนติเมตร พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอนั้นเหนือกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์อย่างชัดเจนไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการที่ผลิตกำลังสุทธิได้สูงกว่า มีการกระจายตัวภายในเซลล์อย่างสม่ำเสมอและสามารถจัดการน้ำได้ดีกว่า แต่ถึงแม้ว่าการที่ท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอนั้นจะทำได้ดีในหลายด้านแต่ก็ยังมีจุดที่ต้องการการพัฒนาและปรับปรุง (มีบริเวณที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำเกินไป สันนิษฐานได้ว่าการเกิดปฏิกริยาไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งเซลล์) ดังนั้นแล้วในงานวิจัยที่จะนำเสนอต่อไปนี้จะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาและปรับปรุงท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอ โดยผลจากงานวิจัยของ Seungjae Lee และคณะ [5] พบว่าการเพิ่มปริมาณทางเข้า และทางออกของท่อส่งก๊าซจะช่วยแก้ไขปัญหาในเรื่องของการระบายน้ำและช่วยให้ก๊าซลำเลียงผ่านท่อได้ดีขึ้น

จากผลการวิจัยข้างต้นทำให้เกิดข้อสมมุติฐานว่า หากมีการปรับแต่งรูปแบบทางเข้าทางออกของท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอแล้ว จะช่วยแก้ปัญหาในเรื่องปริมาณออกซิเจนต่ำในพื้นที่บางจุดภายในเซลล์ และมีปริมาณน้ำในเฟสของเหลวสูงที่บริเวณนั้น ในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการนำเสนอท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอที่มีการจัดเรียงรูปแบบทางเข้าและทางออกของท่อส่งก๊าซแบบ 2 ทาง ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยจะทำการศึกษาและเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียกับท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอทีมีการจัดเรียงรูปแบบทางเข้า และทางออกของท่อส่งก๊าซแบบทางเดียว ซึ่งมีความคาดหวังว่าท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอที่ได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาอย่างดีแล้วจะสามารถนำไปใช้งานได้จริง และเป็นความคาดหวังสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ในอนาคต



รูปที่ 1 ท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอ ที่มีการจัดเรียงรูปแบบทางเข้า และทางออกของท่อส่งก๊าซแบบ ก) 2 ทาง และ ข) ทางเดียว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อประเมินและเปรียบเทียบสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ ขนาด 50 ตารางเซนติเมตรในรูปแบบท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอที่มีทางเข้าและออกของก๊าซทางเดียว และแบบ 2 ทาง ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลอง
- เพื่อศึกษาลักษณะพฤติกรรมการกระจายตัวของ น้ำ อุณหภูมิ และก๊าซชนิดต่างๆ ภายในเซลล์เชื้อเพลิงทั้งแบบที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอที่มีทางเข้าและออกของก๊าซทางเดียว และแบบ 2 ทาง ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีการทดลอง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย (ระบุขอบเขตของงานวิจัยให้ครอบคลุม ดังต่อไปนี้)

- การคำนวณเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์นั้นกระทำผ่านโปรแกรม ANSYS FLUENT
- แบบจำลองที่จะสร้างขึ้นคือ เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอที่มีทางเข้าและออกของก๊าซทางเดียว และแบบ 2 ทาง
- ระยะเวลาของโครงการ ประมาณ 1 ปี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบสมรรถนะของ เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอที่มีทางเข้าและออกของก๊าซทางเดียว และแบบ 2 ทาง ผ่านการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์
- เข้าใจลักษณะพฤติกรรมการขนส่ง เช่น น้ำ อุณหภูมิ และก๊าซชนิดต่างๆ ภายในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอที่มีทางเข้าและออกของก๊าซทางเดียว และแบบ 2 ทาง
- สามารถเปรียบเทียบและเห็นข้อแตกต่าง ของการประพฤติตัวของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอที่มีทางเข้าและออกของก๊าซทางเดียว และแบบ 2 ทาง ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร เพื่อให้เห็นถึงข้อดีและข้อเสียของท่อส่งก๊าซแต่ละแบบ
- ผลงานวิชาการที่ตีพิมพ์ในที่ประชุมวิชาการ / วารสาร ระดับชาติ / นานาชาติ อย่างน้อย 1 ผลงาน

1.5 แผนการวิจัย

ตาราง 1.1 แผนการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ศึกษาข้อมูล ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	■	■	■									
2. สร้างแบบจำลอง		■	■	■	■							
3. คำนวณเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ในแบบจำลองที่มีลักษณะท่อส่งก๊าซแบบต่างๆ		■	■	■	■							
4. สร้างท่อส่งก๊าซ					■	■						
5. ตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์						■	■	■	■			
6. วิเคราะห์ผล และสรุปผลการวิจัย									■	■	■	
7. จัดทำรายงานการวิจัย หรือผลงานตีพิมพ์											■	■

บทที่ 2

การศึกษาวรรณกรรม

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหลักการพื้นฐาน เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ ซึ่งจะทำการนำเสนอเป็นหัวข้อตามลำดับ โดยในหัวข้อ 2.1 จะกล่าวถึงความเป็นมาและประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง หัวข้อที่ 2.2 จะกล่าวถึงองค์ประกอบและการทำงานชองเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ หัวข้อที่ 2.3 จะนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และหัวข้อที่ 2.4 จะอธิบายถึงสมการที่ใช้ในการคำนวณและประเมินผลลัพธ์ของงานวิจัย

2.1 ประวัติความเป็นมาและประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) จัดเป็นเซลล์กัลวานิกชนิดหนึ่งที่มีสารตั้งต้นของปฏิกิริยาครึ่งเซลล์อยู่ในรูปของแก๊สที่ป้อนเข้าไปในเซลล์แบบต่อเนื่อง เมื่อสารเหล่านี้ถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาก็จะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น เชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในเซลล์ชนิดนี้ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอนมอนนอกไซด์ 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 และสารคาร์บอเนตของแอลคาไลน์หลอมเหลว (Molten alkaline carbonate) เป็นสารพาประจุ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จะทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามยังคงพบปัญหาทางด้านวัสดุที่ใช้ในการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงเนื่องจากความยากลำบากในการกำจัดกากถลุง (Slag) ที่เกิดขึ้นนั่นเอง

จากนั้นนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรชาวอังกฤษได้ทำการปรับปรุงค้นคว้าเซลล์เชื้อเพลิงในห้องทดลองอย่างต่อเนื่อง จนในปี ค.ศ. 1959 Bacon และ Frost จากมหาวิทยาลัยแคมบริดจ์ได้ประกาศว่าสามารถปรับปรุงและสร้างเซลล์เชื้อเพลิงที่มีกำลังขนาด 6 กิโลวัตต์ซึ่งเพียงพอที่จะใช้ในการขับรถยกสินค้า เลื่อยไฟฟ้าและเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ซึ่งในเวลาใกล้เคียงกันนั้น (เดือนตุลาคม ค.ศ.

1959) ทางสหรัฐอเมริกา โดย Ihrig จากบริษัท Allis-Chalmers ได้ติดตั้งเซลล์เชื้อเพลิงให้กับรถแทรคเตอร์ที่มีกำลัง 20 แรงม้าได้เป็นผลสำเร็จ

จากการพัฒนาในอดีตที่มีผู้ให้ความสนใจเพียงเล็กน้อย จนในเวลาต่อมามีผู้ให้ความสนใจมากมายและมีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง จนในปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงถูกพัฒนาให้เป็น อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานของเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเผาไหม้ ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงนี้ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ และยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์เผาไหม้ประมาณ 1-3 เท่า

เซลล์เชื้อเพลิงสามารถจำแนกได้เป็นหลายแบบขึ้นอยู่กับสารที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ไฮดราซีน เซลล์เชื้อเพลิงโพรเพน-ออกซิเจน เป็นต้น และชนิดที่นิยมใช้คือ เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน เพราะเมื่อเกิดปฏิกิริยาในเซลล์แล้วจะให้กระแสไฟฟ้า น้ำบริสุทธิ์ และความร้อน นอกจากนี้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ยังไม่ก่อให้เกิดแก๊สพิษ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้รับ ความนิยมมากที่สุดคือ เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์

ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง

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

เซลล์เชื้อเพลิงในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดจะมีลักษณะการทำงานโดยทั่วไปคือ อะตอมของไฮโดรเจนจะถูกจ่ายเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงทางขั้วแอโนด (Anode) และเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแยกอิเล็คตรอน (Electron) ออก ทำให้ไฮโดรเจนอะตอมอยู่ในสภาวะ "Ionized" ผ่าน Electrolyte ไปยังแคโทด (Cathode) ที่มีออกซิเจนอยู่ทำให้เกิดการรวมตัวกันกลายเป็นน้ำไหลออกมา ส่วนอิเล็คตรอนก็จะวิ่งอยู่ภายนอกเป็นกระแสขับเคลื่อนทางไฟฟ้า แม้จะมีแรงดันโวลต์เพียงเล็กน้อย คือ 1.16 V ต่อ Cell ต้องต่อพ่วงกันหลาย ๆ เซลล์ ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าระดับที่ต้องการได้

เซลล์เชื้อเพลิงที่มีใช้งานในปัจจุบันนั้น แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกัน ทำให้การนำมาประยุกต์ใช้งานแตกต่างกันด้วย ซึ่งสามารถสรุปโดยย่อได้ดังนี้

เซลล์เชื้อเพลิงแบบแอลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell, AFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (50–70%) แต่เนื่องจากระบบไวต่อการปนเปื้อนมาก จึงจำเป็นต้องใช้

ไฮโดรเจนและออกซิเจน ที่บริสุทธิ์เท่านั้น ทำให้ระบบโดยรวมมีราคาสูงมาก ดังนั้นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จะถูกใช้ในงานด้านอวกาศ เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีประสิทธิภาพ สูงสุด อุณหภูมิขณะที่ทำงานอยู่ต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ของเสียที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงคือ น้ำบริสุทธ์ 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 องสาเซลเซียส สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 2 เมกะวัตต์ และยังให้ไอน้ำความดันสูงออกมา ซึ่งสามารถนำมาช่วยผลิตกระแสไฟฟ้าในลักษณะความร้อนร่วมได้ เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมสูงขึ้นถึง 80-85 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง ทำให้ไม่ต้องใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ จึงทำให้ระบบโดยรวมมีราคาที่ต่ำกว่า

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

เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ได้รับความนิยมมาก ในการนำมาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากมีอุณหภูมิในการทำงานที่ไม่สูงมากนัก และราคาที่ไม่แพงเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิง ชนิดอื่น รวมถึงมีประสิทธิภาพที่สูง (35–60%) เชื้อเพลิงที่ใช้คือ ไฮโดรเจน (บริสุทธ์ที่ 99.99%) และอากาศ ปัจจุบันนำมาประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการนำมาเป็นแหล่งพลังงานขับเคลื่อนสำหรับรถยนต์หรือรถโดยสารสาธารณะ รวมถึงเป็นแหล่งกำเนิดระแสไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อใช้ภายในที่อยู่อาศัย เป็นต้น

เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนสารเมทานอลโดยตรง (Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ถูกพัฒนาจากเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน แตกต่างจากเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ

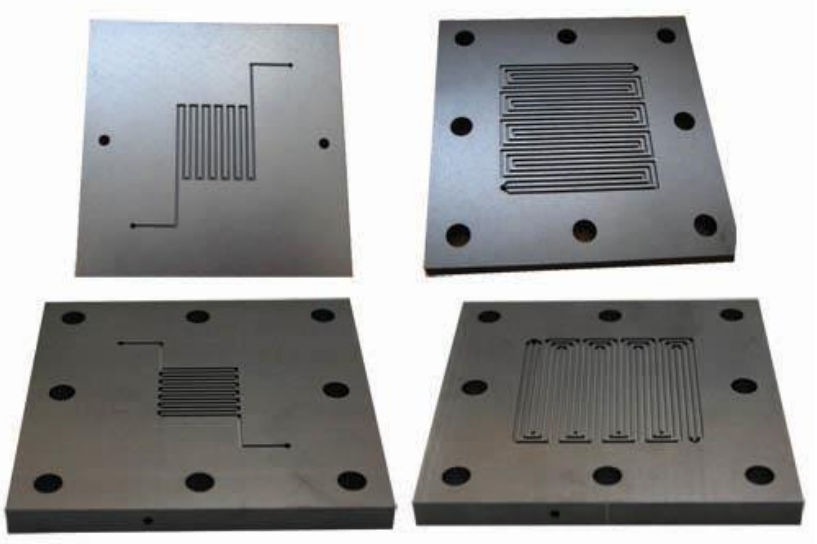
คือ ใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งถือว่าเป็นข้อดี ในเรื่องของการจัดการเชื้อเพลิงที่สะดวกกว่า หากแต่ให้แรงดันไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้จำเป็นต้องใช้เซลล์เป็นจำนวนมากมาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้แรงดันสูงพอ เป็นผลให้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด (ประมาณ 35–40%) เมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ อย่างไรก็ตาม เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีอุณหภูมิในการทำงานค่อนข้างต่ำและใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง ทำให้เหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์ขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา เป็นต้น

จากลักษณะเฉพาะดังกล่าวข้างต้น ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ (PEMFC) เป็นที่นิยมสูงสุดในการนำมาใช้เป็นต้นกำลังในภาคคมนาคมขนส่ง เนื่องจากมีขนาดกะทัดรัด และให้พลังงานสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนัก เริ่มทำงานได้รวดเร็ว สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำและอายุการทำงานยาวกว่าเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น หากแต่มีข้อเสียคือ ต้นทุนการผลิตสูงและต้องการเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์สูง สำหรับอุปกรณ์ต่อเนื่องที่ใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิดจะมีลักษณะที่เหมือนกัน หากจะแตกต่างกันตรงขนาดกำลังไฟฟ้าที่ทำงานได้เท่านั้นซึ่งในงานวิจัยนี้เราจะใช้เซลล์เชื้อเพลิงในรูปแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ในการศึกษา

2.2 องค์ประกอบและการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์

เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญได้แก่ แผ่นนำกระแสไฟฟ้า ขั้วอิเล็กโทรด อิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น

1. แผ่นนำกระแสไฟฟ้า (Current collector plate)



รูปที่ 2.1 แผ่นนำกระแสไฟฟ้า

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

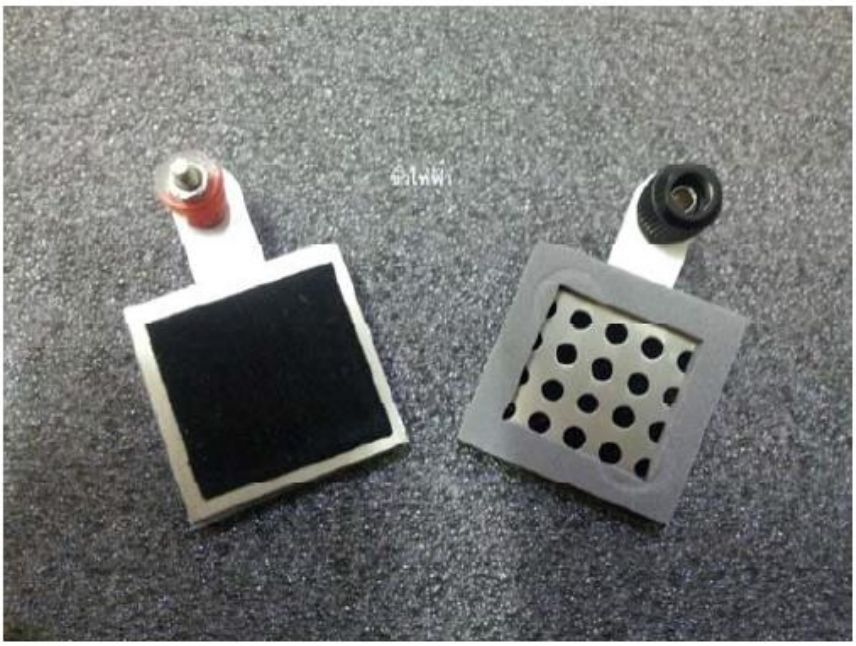
2. ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน (Membrane Electrode Assembly)

ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน ถือเป็นหัวใจสำคัญต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ เนื่องจากเป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาและการถ่ายโอนประจุ ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรนประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ เมมเบรนทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์และขั้วอิเล็กโทรดที่มีชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา การประกอบขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรนทำโดยการนำขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว คือขั้วแอโนดและขั้วแคโทด มาประกบเข้ากับเมมเบรน โดยวิธีการอัดด้วยความร้อน (Hot pressing)

รูปที่ 2.2 ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน

3. ขั้วอิเล็กโทรด (Electrode)

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



รูปที่ 2.3 ขั้วอิเล็กโทรด

- ชั้นแพร่แก๊ส (Gas diffusion layer)

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

- ชั้นจัดการน้ำ (Water management layer)

เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นแพร่แก๊สและชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา มีส่วนช่วยในการจัดการน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิง

- ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer)

เป็นชั้นที่เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง ในอุณหภูมิปกติตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน จำเป็นต้องมีตัวกระตุ้นเพื่อให้เกิดการแตกตัว เช่น เติมสารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ เช่น แพลทินัม (Pt) หรือ นิกเกิล (Ni) เป็นต้น

โดยเฉพาะอย่างยิ่งแพลทินัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์มากที่สุด เนื่องจากสามารถทนต่อการกัดกร่อนและว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของแก๊สออกซิเจน (ขั้วแคโทด) และแก๊สไฮโดรเจน (ขั้วแอโนด) ได้ดีกว่าโลหะอื่น

- อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

อิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์คือ พอลิเมอร์เมมเบรนชนิดเนฟิออนเมมเบรน (Nafion membranes) ซึ่งยึดติดกับขั้วอิเล็กโทรด ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้โมเลกุลไฮโดรเจนสัมผัสกับออกซิเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาขึ้นโดยตรง และยอมให้โปรตรอนเคลื่อนที่ผ่านจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดเท่านั้น

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์

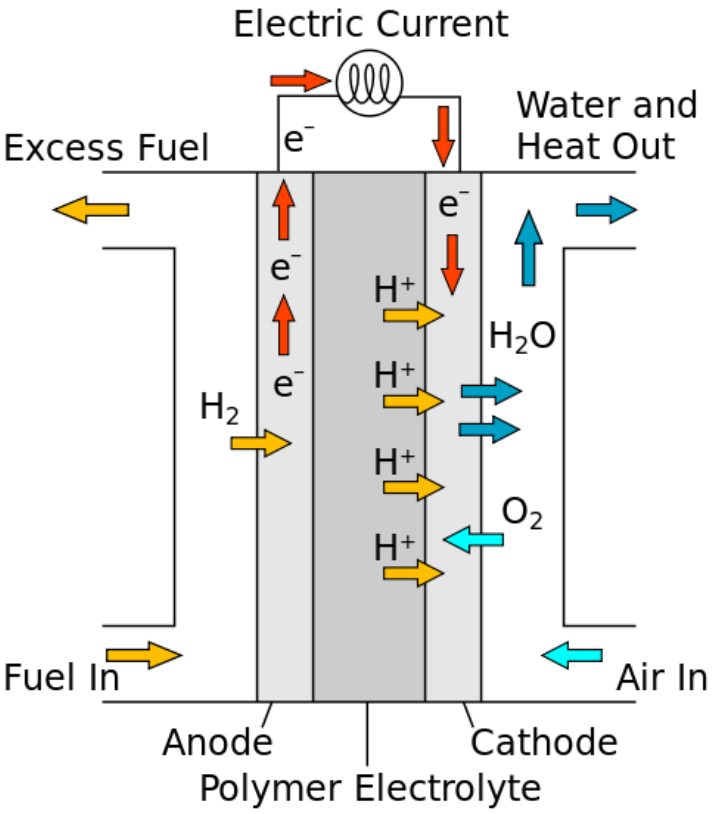
เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์มีลักษณะการทำงานคล้ายแบตเตอรี่ ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrochemical reaction) ในการเปลี่ยนพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงเซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องตราบเท่าที่มีการป้อนเชื้อเพลิงอย่างสม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์คือ กระแสไฟฟ้า น้ำและความร้อน จึงไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ภาวการณ์ทำงานที่อุณหภูมิต่ำ ในช่วง 60-100 องศาเซลเซียส จึงเป็นที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการทำงานด้านต่างๆ โดยกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเซลล์เกิดมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่ขั้วอิเล็กโทรดแต่ละด้าน เชื้อเพลิงหลักที่ใช้คือ แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนเป็นสารออกซิแดนท์ จากรูปที่ 2.4 แก๊สไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาคือ แพลทินัม ได้โปรตรอน อิเล็กตรอนและความร้อน ดังสมการ

(ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) $$2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$$ (2.1)

โปรตรอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโทรไลต์คือ แผ่นเมมเบรน ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำโปรตรอนสูง (High proton conductivity) แต่ไม่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่าน (Electron barrier) อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกได้เป็นกระแสไฟฟ้า จากนั้นทั้งโปรตรอนและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดเพื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนที่ถูกป้อนเข้ามายังขั้วดังกล่าว เกิดปฏิกิริยารีดักชันที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาคือ แพลทินัม ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือน้ำ ตามสมการที่ (2.2) และได้ปฏิกิริยารวมแสดงดังสมการที่ (2.3)

(ปฏิกิริยารีดักชัน) $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ (2.2)

(ปฏิกิริยารวม) $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ (2.3)



รูปที่ 2.4 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เป็นที่ทราบกันอย่างกว้างขวางว่ารูปแบบของท่อส่งก๊าซนั้นมีผลกระทบต่อสมรรถนะของเซลล์อย่างมาก ซึ่งรูปแบบชองท่อส่งก๊าซที่ดีนั้นจะต้องทำให้ก๊าซตัวทำปฏิกิริยามีการการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เพราะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของก๊าซตัวทำปฏิกิริยานำไปสู่การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ และการสร้างตัวของน้ำ ซึ่งจะช่วยลดการเสื่อมสภาพของเซลล์ ในทางตรงกันข้าม การกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอของกาซตัวทำปฏิกิริยานำไปสู่การกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และความเค้นเชิงกลในหน่วยเยื่อแผ่นและขั้วไฟฟ้า (Membrane Electrode Assembly) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเสื่อมสภาพของเซลล์ เนื่องด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมานี้รูปแบบท่อส่งก๊าซจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญเนื่องจาก

ลักษณะหน้าที่ที่ใช้ในการส่งก๊าซตัวทำปฏิกิริยาไปสู่ชั้นเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งยังช่วยนำน้ำส่วนเกินที่จะทำให้เกิดน้ำท่วมในเซลล์ออกมาจากเซลล์อีกด้วยโดยที่ Manso และคณะ [6] 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 และที่มากไปกว่านั้นคือการมีลักษณะที่เรียบง่ายอีกด้วย

จากการศึกษาและค้นคว้าแล้วทำให้เราทราบว่า ท่อส่งก๊าซที่ดีนั้นจะต้องมีความเหมาะสมของ คุณสมบัติ ทั้ง 4 ข้อ ดังที่ Arvay และคณะได้ทำการศึกษาไว้ ได้แก่ การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของตัวทำปฏิกิริยา, การขับไล่น้ำส่วนเกินที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา, การมีพื้นที่สัมผัสมากพอระหว่าง แผ่นสองขั้ว และชั้นแพร่ของก๊าซ และการที่มีแรงดันลดต่ำเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงาน แม้ว่าท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์นั้นให้สมรรถนะที่ดี และได้รับความนิยมสูง แต่ก็ยังมีการออกแบบและพัฒนารูปแบบท่อส่งก๊าซรูปแบบใหม่ๆเกิดขึ้นเรื่อยๆ โดย Arvay และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาและนำเสนอรูปแบบของท่อส่งก๊าซซึ่งมีรูปแบบไอเดียพื้นฐานมาจากธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นท่อส่งก๊าซที่มีลักษณะคล้ายกิ่งไม้ หรือปอดของมนุษย์ เป็นต้น ซึ่งจากผลการวิจัยของ Arvay และคณะ แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของก๊าซตัวทำปฏิกิริยาภายในเซลล์นั้นมีความสม่ำเสมอมากกว่าเมื่อเทียบกับท่อส่งก๊าซรูปแบบพื้นฐาน นั่นหมายความว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ท่อส่งก๊าซรูปแบบนี้จะมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าท่อส่งก๊าซรูปแบบพื้นฐาน ซึ่งเป็นเรื่องความสำคัญอย่างมากสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่จะผลิตเพื่อนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งนั่นก็หมายความว่าท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์นั้นถึงจะให้สมรรถนะที่ดี แต่อาจจะไม่เหมาะในการทำงานเชิงอุตสาหกรรมก็ได้

ในงานวิจัยครั้งที่แล้วเราได้ทำการนำเสนอรูปแบบท่อส่งก๊าซแบบใหม่ที่ชื่อว่า “ท่อส่งก๊าซแบบเฮซเอสไอ (hybrid serpentine-interdigitated)” ที่เกิดจากการนำข้อดีของท่อส่งก๊าซทั้งสองแบบมาเป็นเป้าหมายในการออกแบบ ซึ่งท่อส่งก๊าซทั้ง 2 แบบคือ 1. ท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ (Serpentine) โดยท่อส่งก๊าซแบบนี้จะมีข้อดีในเรื่องการปัญหาการเกิดน้ำขังภายในท่อ โดยลักษณะของท่องทางเดียวทำให้ก๊าซมีแรงดันสูง จึงทำให้เกิดการรวมตัวของละอองน้ำได้ยาก ท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์มักจะเป็นรูปแบบที่ถูกนำไปในการอ้างอิงและเปรียบเทียบในการออกแบบ ท่อส่งก๊าซของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์รูปแบบใหม่ เพราะท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์นั้นเป็นรูปแบบที่เรียบง่าย และมีประสิทธิภาพสูง และ 2. ท่อส่งก๊าซแบบอินเตอร์ดิจิเทต (interdigitated) โดยท่อส่งก๊าซแบบอินเตอร์ดิจิเทตจะมีลักษณะเรียงประสานสลับกันและมีจุดที่เป็นทางตันของท่อ ซึ่ง

ออกแบบมาเพื่อบังคับให้ตัวทำปฏิกริยาไหลซึมไปยังบริเวณที่เกิดปฏิกริยา และยังช่วยในการไล่น้ำออกจาก porous media แต่ข้อเสียก็คือแรงดันลดที่สูงเช่นเดียวกับท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ ซึ่งท่อส่งก๊าซแบบท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอก็ประสบความสำเร็จในเรื่องแรงดันตกที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับท่อส่งก๊าซแบบพื้นฐานที่เป็นที่นิยมอย่างท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ แต่ท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอก็ยังมีปัญหาในเรื่องปริมาณออกซิเจนน้อยมากในบริเวณทางออกของท่อส่งก๊าซฝั่งแคโทด ทำให้เกิดปัญหาน้ำขังที่บริเวณนั้น

จึงได้มีการค้นคว้าและศึกษาต่อจนพบว่า ในงานวิจัยของ Seungjae Lee และคณะ [5] ได้ทำการปรับรูปแบบท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์โดยการเพิ่มจำนวนทางเข้าของท่อส่งก๊าซ ผลจากงานวิจัยของ Seungjae Lee และคณะพบว่าการเพิ่มจำนวนทางเข้าของท่อส่งก๊าซนั้นทำให้การกระจายตัวของออกซิเจนบนฝั่งแคโทดภายในเซลล์เชื้อเพลิงนั้นสม่ำเสมอขึ้นและปริมาณของออกซิเจนก็มีความเข้มข้นมากขึ้นซึ่งถือว่าเป็นเรื่องที่ดี เพราะจะทำให้การเกิดปฏิกิริยานั้นเกิดมากขึ้นและสม่ำเสมอทั่วทั้งเซลล์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงสูงขึ้น

2.4 สมการที่เกี่ยวข้องในการคำนวณผลลัพธ์

ในงานวิจัยนี้ แบบจำลองแบบสามมิตินั้นจะถูกสร้างขึ้นผ่านโปรแกรม ANSYS FLUENT สมการนาเวียร์สโตกส์ซึ่งรวมถึงการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน นั้นถูกใช้ในการคำนวณเพื่อหาปรากฏการณ์การพา การไหลของความร้อนและของไหล ด้วยกระบวนการเชิงตัวเลขอย่างระเบียบวิธีไฟไนท์วอลุ่ม โดยสมการดังกล่าวสามารถเขียนได้อยู่ในรูปดังต่อไปนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \nabla \cdot \left(\rho\phi\vec{V}\right) = \nabla \cdot (\Gamma_\phi \nabla\phi) + S_\phi \qquad (2.4)$$

เมื่อ

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

สมการอนุรักษ์นี้กล่าวว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณที่ถูกพา ϕ บวกกับการพาโดยกลไกการพามีค่าเท่ากับการพาโดยกลไกการแพร่บวกแหล่งของ ϕ

ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีนั้นถูกจำลองโดยการคำนวณปฏิกิริยาไฮโดรเจนออกซิเดชั่น และออกซิเจนรีดักชั่น ซึ่งเกิดขึ้นในชั้นเร่งปฏิกิริยา สมการของความต่างศักย์ในแบบจำลองนี้ ซึ่งคำนวณแยกกันระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า และความต่างศักย์โปรตรอน สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\nabla \cdot \sigma_j \nabla \varphi_j + R_j = 0 \tag{2.5}$$

เมื่อ

σ	=	ความสามารถในการนำ	unit: 1/(Ω·m-elec)
φ	=	ความต่างศักย์	unit: V
R	=	กระแสไฟฟ้าถ่ายโอนเชิงปริมาตร	unit: A/m^3-elec

กระแสไฟฟ้าถ่ายโอนเชิงปริมาตรนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ Butler-Volmer

$$R_{an} = \left(\zeta_{an} j_{an}^{ref}\right)\left(\frac{[H_2]}{[H_2]_{ref}}\right)^{\gamma_{an}} \left(e^{\frac{\alpha_{an} F \eta_{an}}{RT}} - e^{-\frac{\alpha_{cat} F \eta_{an}}{RT}}\right) \tag{2.6}$$

$$R_{cat} = \left(\zeta_{cat} j_{cat}^{ref}\right)\left(\frac{[O_2]}{[O_2]_{ref}}\right)^{\gamma_{cat}} \left(-e^{\frac{\alpha_{an} F \eta_{cat}}{RT}} + e^{-\frac{\alpha_{cat} F \eta_{cat}}{RT}}\right) \tag{2.7}$$

เมื่อ

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

ความศูนย์เสียในการเกิดปฏิกิริยา η สามารถเขียนได้ตามสมการต่อไปนี้

$$\eta_{an} = \varphi_{sol} - \varphi_{mem} \quad (2.8)$$

$$\eta_{cat} = \varphi_{sol} - \varphi_{mem} - V_{OC} \quad (2.9)$$

เมื่อ

φ = ความต่างศักย์ unit: V

V_{OC} = ความต่างศักย์เมื่อวงจรเปิด unit: V

รูปโดยทั่วไปของสมการอนุรักษ์สารเคมี ซึ่งทำนายอัตราส่วนของมวลของสารเคมีในจุดต่างๆ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (2.10)$$

เมื่อ

Y_i = อัตราส่วนมวลของสารเคมีในจุดต่างๆ

$\vec{J}_i$ = ฟลักซ์การแพร่ของสารเคมีต่างๆ

R_i = แหล่งของสารเคมีเนื่องจากปฏิกิริยา

S_i = แหล่งของสารเคมี

พจน์แหล่งเชิงปริมาตรของสารเคมีในชั้นเร่งปฏิกิริยานั้นเป็นไปตามสมการข้างล่าง

$$S_{H_2} = -\frac{M_{W,H_2}}{2F} R_{an} < 0 \quad (2.11)$$

$$S_{O_2} = -\frac{M_{W,O_2}}{4F} R_{cat} < 0 \quad (2.12)$$

$$S_{H_2O} = \frac{M_{W,H_2O}}{2F} R_{cat} > 0 \quad (2.13)$$

เมื่อ

M_W = มวลโมเลกุลของสารเคมี unit: kg/kmol

กระแสไฟฟ้ารวมซึ่งถูกสร้างขึ้นในชั้นเร่งปฏิกิริยาของทั้งสองฝั่งนั้นต้องเท่ากัน ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงถูกอนุรักษณ์ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\int_{an} R_{an} dV = \int_{cat} R_{cat} dV \quad (2.14)$$

เนื่องจากพลังงานเคมีทั้งหมดนั้นไม่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากกำข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ดังนั้นแหล่งความร้อนเชิงปริมาตรจึงสามารถเขียนได้ดังนี้

$$S_h = h_{react} - R_{an,cat}\eta_{an,cat} + I^2 R_{ohm} + h_l \qquad (2.15)$$

เมื่อ

h_{react}	=	อัตราการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีเนื่องจากปฏิกิริยา	unit: J/s
$R_x\eta_x$	=	ผลคูณของกระแสกับความศูนย์เสียในการเกิดปฏิกิริยา	unit: J/s
R_{ohm}	=	ความต้านทานของตัวนำ	unit: Ω
h_l	=	อัตราการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีเนื่องจากการเปลี่ยนเฟส	unit: J/s

เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ทำงานภายใต้อุณหภูมิต่ำ น้ำอาจจะกลั่นตัวอยู่ในรูปแบบของเหลวได้ ซึ่งทำให้น้ำนั้นขวางทางเดินของก๊าซ ดังนั้นสมรรถนะของเซลล์จึงลดลงเนื่องจากผิวทำปฏิกิริยาที่ใช้งานได้นั้นลดลง ซึ่งสมการอนุรักษ์ของน้ำในเฟสของเหลวนั้นสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial(\varepsilon\rho_l s)}{\partial t} + \nabla\cdot\left(\rho_l \vec{V}_l S\right) = r_w \qquad (2.16)$$

เมื่อ

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

ความเร็วของน้ำในเฟสของเหลวนั้นถูกสมมติให้เท่ากับความเร็วของน้ำในเฟสก๊าซ อัตราการกลั่นตัวนั้นถูกจำลองได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$r_w = C_r \max\left(\left[(1-s)\frac{P_{wv}-P_{sat}}{RT} M_{W,H_2O}\right], [-s\rho_l]\right) \quad (2.17)$$

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

$$\vec{J}_k = -\rho D_j \nabla Y_k \quad (2.18)$$

เมื่อ

D_j = สัมประสิทธิ์การแพร่

$$D_j = \varepsilon^{1.5}(1-s)^{r_s} D_j^0 \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\gamma_p} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\gamma_t} \quad (2.19)$$

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 = ตัวยำกำลังของการบล็อกรูพรุน

s = พจน์ความอิ่มตัว

อย่างไรก็ตาม เมื่ออากาศถูกใช้เป็นตัวทำปฏิกิริยา ระเบียบวิธีการประมาณแบบเจือจางไม่สามารถให้ผลคำตอบได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นสมการ Stefan-Maxwell ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้จึงถูกใช้

$$\vec{J}_j = -\sum_{k=1}^{N-1} \rho D_{jk} \nabla Y_k - D_{T,j} \frac{\nabla T}{T} \quad (2.20)$$

เมื่อ

N = จำนวนชนิดสารเคมี

D_{ij} = สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารสองชนิด

D_T = สัมประสิทธิ์การแพร่ของความร้อน

$$D_{ij} = [D] = [A]^{-1}[B] \tag{2.21}$$

$$A_{ii} = -\left(\frac{X_i}{D_{i,N}}\frac{M_w}{M_{w,N}} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N}\frac{X_j}{D_{ij}}\frac{M_w}{M_{w,i}}\right) \tag{2.22}$$

$$A_{ij} = X_i\left(\frac{1}{D_{ij}}\frac{M_w}{M_{w,j}} - \frac{1}{D_{i,N}}\frac{M_w}{M_{w,N}}\right) \tag{2.23}$$

$$B_{ii} = -\left(X_i\frac{M_w}{M_{w,N}} + (1-X_i)\frac{M_w}{M_{w,i}}\right) \tag{2.24}$$

$$B_{ij} = X_i\left(\frac{M_w}{M_{w,l}} - \frac{M_w}{M_{w,N}}\right) \tag{2.25}$$

เมื่อ

X_i = อัตราส่วนโมล

ความสามารถในการนำความร้อนของอิเล็กโตรไลท์สามารถคำนวรได้ตามความสัมพันธ์นี้

$$\sigma_{mem} = \beta(0.00514\lambda - 0.00326)^{\omega}e^{1268(\frac{1}{303}-\frac{1}{T})} \tag{2.26}$$

เมื่อ

λ = ปริมาณน้ำในเมมเบรน

ปริมาณน้ำในเมมเบรนนั้นสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\lambda = \begin{cases} 0.043 + 17.18a - 39.85a^2 + 36a^3 & (a < 1) \\ 14 + 1.4(a-1) & (a > 1) \end{cases} \tag{2.27}$$

เมื่อ

a = แอคทิวิตีของน้ำ

แอคทีวิตีของน้ำนั้นถูกนิยามว่า

$$a = \frac{P_{wv}}{P_{sat}} + 2s \tag{2.28}$$

สัมประสิทธิ์การลากด้วยออสโมติกสามารถคำนวณได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$n_d = 2.5\frac{\lambda}{22} \tag{2.29}$$

ฟลักซ์ของการแพร่กลับสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$J_{bd} = -\frac{\rho_m}{M_m} M_{W,H_2O} D_l \nabla\lambda \tag{2.30}$$

เมื่อ

ρ_m = ความหนาแน่นของเมมเบรนแห้ง unit: kg/m^3

M_m = มวลสมมูลของเมมเบรนแห้ง unit: kg/kmol

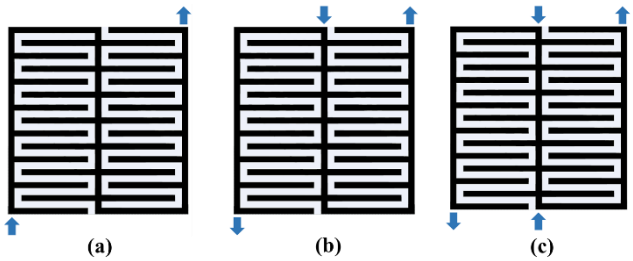
ความสามารถในการแพร่ของน้ำในเมมเบรนสามารถจำลองได้ด้วยความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$D_l = f(\lambda) e^{2416(\frac{1}{303}-\frac{1}{T})} \tag{2.31}$$

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

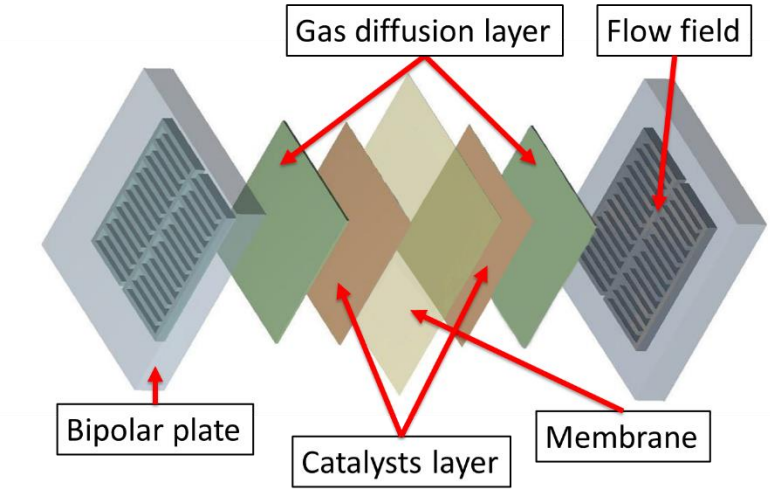
การศึกษาในครั้งนี้จะประกอบไปด้วย การศึกษาแบบจำลองเชิงตัวเลขของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเฮซเอสไอ (Hybrid Serpentine-Interdigitate, HIS) ที่มี จำนวนท่อส่งก๊าซทางเข้าและทางออกจำนวนต่างๆ 3 แบบ แบบแรก คือ แบบเข้าทางเดียวออกทางเดียว (one inlet and one outlet, 1-IO HIS) แบบที่สอง คือ แบบเข้าทางเดียว และออก 2 ทาง (one inlet and two outlets, 1I-2O HIS) และแบบที่สาม คือ แบบเข้า 2 ทาง และออก 2 ทาง (two inlets and two outlets, 2IO HIS) ดังแสดงในรูป 3.1 ซึ่งในงานวิจัยนี้ การศึกษาดังกล่าวจะถูกจัดทำผ่านโปรแกรมเชิงพาณิชย์ ANSYS FLUENT โดยใช้ฟังก์ชั่นที่มีอยู่ในโปรแกรม ซึ่งปรากฏการณ์การพา การไหลของความร้อนและของไหลที่เกิดขึ้นภายในเซลล์นั้นถูกจำลองและคำนวณภายใต้สมการนาเวียร์สโตกส์ซึ่งรวมถึงการอนุรักษ์มวล โมเมนตัม และพลังงาน และชุดสมการอีกมากมายภายใต้ฟังก์ชั่นของโปรแกรมซึ่งสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จากงานวิจัยอื่นๆ [3]



รูปที่ 3. 1แบบจำลอง HIS ที่วิเคราะห์ในโครงการนี้ (a) 1-IO HIS, (b) 1I-2O HIS and (c) 2-IO HSI

มีตัวเลือกมากมายในการคำนวณแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ภายใต้โปรแกรม 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 การขนส่ง

ของน้ำระหว่างสองฝั่งของเมมเบรนสามารถจำลองได้โดยการเลือกตัวเลือก membrane water transport ตัวเลือก multiphase นั้นจะยอมให้เกิดการสร้างตัวของน้ำที่อยู่ในรูปของเหลวในชั้นที่มีรูพรุน สำหรับกรณีที่ต้องการรวมผลกระทบจากก๊าซไนโตรเจนเข้ามาด้วย (ซึ่งเกิดตอนใช้อากาศ) ตัวเลือกที่ 7 อย่าง multicomponent diffusion ก็สามารถถูกเลือกได้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างหลักของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์

3.1 การสร้างแบบจำลองและการกำหนดเงื่อนไขในการศึกษา

ในการสร้างแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์โดยโปรแกรม ANSYS FLUENT นั้นประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1. สร้างรูปทรง
2. ย่อยรูปทรงออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ
3. กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ

ในการสร้างรูปทรงนั้นสามารถทำได้ในหลายๆโปรแกรมคอมพิวเตอร์เช่น CATIA, ANSYS และ SolidWorks จุดมุ่งหมายของขั้นตอนนี้คือเพื่อกำหนดขนาดทางกายภาพของส่วนประกอบต่างๆ และความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมากเนื่องจากตัวแปรทางกายภาพนั้นเกี่ยวข้องโดยตรงต่อสมรรถนะภาพของเซลล์ ดังนั้นการสร้างรูปทรงที่ผิดขนาดอาจจะนำไปสู่ผลคำตอบที่ผิดพลาด โดยเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอ ที่มีขนาด 50 ตารางเซนติเมตรนั้นถูกสร้างขึ้นใน ANSYS WORKBENCH ซึ่งประกอบไปด้วย แผ่นสองขั้ว ท่อส่งก๊าซ ชั้นการแพร่ของก๊าซ ชั้นเร่งปฏิกิริยา และเยื่อเมมเบรนดังที่แสดงในรูปที่ 3.2 โดยขนาดของรูปทรงของแบบจำลองนั้นสามารถแสดงได้ในตาราง 3.1 ซึ่งขนาดเหล่านี้เป็นขนาดจริงของชิ้นส่วนต่างๆ

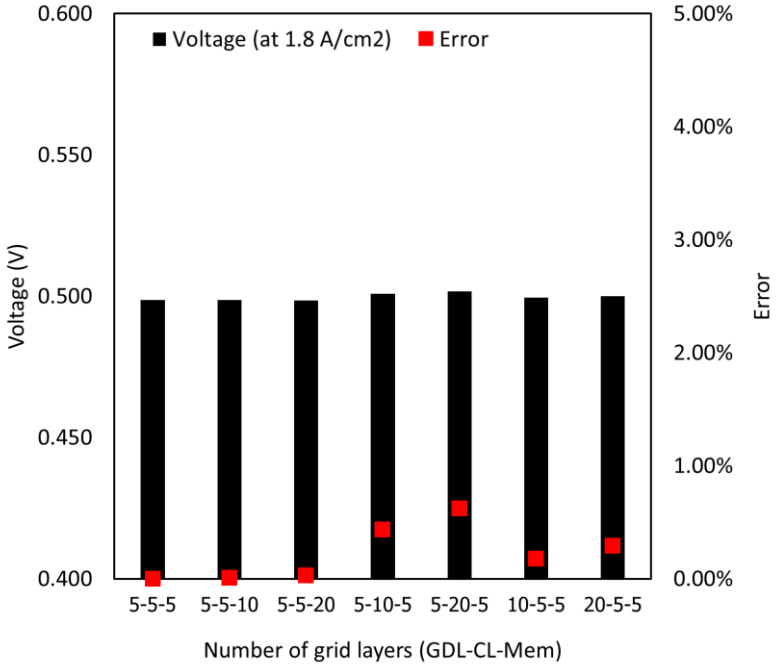
ANSYS FLUENT นั้นมีพื้นฐานมาจากเทคนิดการคำนวณชื่อไฟไนต์วอลุ่ม ซึ่งรูปทรงที่ถูกสร้างขึ้นจะต้องถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์เชิงปริมาตรย่อยๆ กระบวนการนี้สามารถทำได้ในหลากหลายโปรแกรมเช่น ANSYS Workbench, GAMBIT, หรือ ICEM CFD แต่เนื่องจากปรากฏการณ์ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์นั้นยุ่งยาก และซับซ้อนมาก การใช้เอลิเมนต์ที่มีคุณภาพสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการได้มาซึ่งผลคำตอบที่ลู่เข้า และเวลาคำนวณที่น้อยลง เอลิเมนต์แบบหกหน้าที่มีผิวโดยรอบเป็นสี่เหลี่ยมนั้นได้รับการยอมรับและแนะนำว่าเป็นเอลิเมนต์ที่ดีที่สุด เนื่องจากเอลิเมนต์ชนิดนี้จะไม่ก่อให้เกิดเอลิเมนต์แบบแหลมขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การลู่ออกของผลลัพธ์ได้ และถึงแม้ว่าการย่อยรูปทรงให้ละเอียดมากๆ หรือสร้างเอลิเมนต์ให้มีจำนวนมากๆนั้น จะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่แม่นยำขึ้น แต่ว่าเวลาที่ใช้คำนวณนั้นก็มากตามไปด้วย ความสมดุลระหว่างผลลัพธ์ที่แม่นยำและเวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงอย่างระมัดระวัง ดังนั้นการวิเคราะห์พื้นฐานอย่างการวิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อเมชจำเป็นที่จะต้องทำเพื่อยืนยันคุณภาพของผลลัพธ์ ในงานนี้กระบวนการสร้างเมชจะทำในโปรแกรม ANSYS ICEM CFD

ตารางที่ 3.1 ขนาดรูปทรงต่างๆในแบบจำลอง

ตัวแปร	ขนาด	หน่วย
ความสูงท่อ	0.8	mm
ความกว้างท่อ	0.8	mm
ความกว้างสันท่อ	0.8	mm
ความหนาแผ่นสองขั้ว	0.8	mm
พื้นที่เซลล์	48.067	cm^2
ความหนาชั้นแพร่ของก๊าซ	0.190	mm
ความหนาชั้นเร่งปฏิกริยา	0.015	mm
ความหนาเมมเบรน	0.050	mm

จากการศึกษาในงานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้ทำการวิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อเมชของแต่ละชั้นของหน่วยเยื่อแผ่นและขั้วไฟฟ้าทำให้เราทราบว่า ความแตกต่างสูงสุดของความต่างศักย์เซลล์ที่ได้มาจากจำนวนเซลล์ที่แตกต่างกันนั้นอยู่ในช่วง 1% เมื่อเทียบกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 3.3 อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการคำนวณสำหรับกรณีที่เอลิเมนต์มากๆนั้นมากกว่ามาก ยิ่งไปกว่านั้นการได้มาซึ่งผลคำตอบที่ลู่เข้านั้นยากกว่า และอัตราการลู่เข้าก็ก็แย่กกว่าเนื่องจากจำนวนเอลิเมนต์นั้นมากเกินไป

ดังนั้นจำนวนเซลล์วางเรียงกันในทิศทางตามแนวลึกของทั้ง ชั้นการแพร่ของก๊าซ ชั้นเร่งปฏิกิริยา และเมมเบรนที่ใช้ในงานนี้นั้นคือ 5-5-5



รูปที่ 3.3 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อเมซ [3]

แบบจำลองทั้งสามจะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์เชิงปริมาตรย่อยๆ โดยจำนวนเอลิเมนต์ที่ถูกแบ่งซึ่งคิดรวมทั้งหมด ประมาณ 1,500,000 เซลล์แบบหกหน้า สำหรับแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮซเอสไอแต่ละแบบ โดยรูปแบบการไหลจะถูกจัดวางให้เป็นการไหลแบบสวนทางกัน (Counter flow direction)

สำหรับงานวิจัยนี้การศึกษาการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะทำการศึกษาภายใต้การทำงานในสภาวะคงตัว นั่นคือในการพิจารณาการเสื่อมสภาพของวัสดุและความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำในเฟสของเหลวจะสมมุติให้มีค่าเท่ากับความเร็วของก๊าซ ซึ่งหมายความว่าในการศึกษาแบบจำลองนั้นน้ำจะไม่สามารถรวมตัวและทำการขัดขวางการไหลภายในท่อได้ นอกจากนี้แล้วการไหลภายในท่อได้ถูกกำหนดให้เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) ซึ่งความเร็วในการไหลได้ถูกคำนวณด้วยตัวเลขเรย์โนลด์ โดยทั้งฝั่งแอโนดและแคโทดจะกำหนดอัตราการไหลปริมาณสารสัมพันธ์ไว้ที่ 1.1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ 90% โดยรูปแบบการไหลจะจัดวางให้เป็นการไหลแบบสวนทางกัน การเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ที่มีการคายความร้อนนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นแบบสภาวะความร้อนไม่คงที่ ทั้งนี้เพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการเกิดความร้อนภายในเซลล์ โดยอุณหภูมิเริ่มต้นในการทำงานของเซลล์ถูกกำหนดไว้ที่ 60°C ซึ่งจะกำหนดไว้ที่ทางเข้าของท่อส่งก๊าซและบนผิวของแผ่นนำไฟฟ้าแบบสองขั้ว ทั้งฝั่งแอโนดและแคโทด และกำหนดแรงดันไว้ที่ 1 atm ที่

บริเวณทางออกของก๊าซทั้งฝั่งแอโนดและฝั่งแคโทดเช่นกันครับ โดยที่เงื่อนไขขอบเขตและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับคำแนะนำมาจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ของอาจารย์ณัฐพลครับ ซึ่งได้มีการทดลองและทำการปรับให้มีความเหมาะสมมาอย่างดีแล้ว [3]

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขขอบและคุณสมบัติของวัสดุ

Parameters	Value	Unit
ชั้นแพร่ของก๊าซ		
ความหนาแน่น	321.5	kg/m^3
ความสามารถในการนำไฟฟ้า	280	$1/\Omega$ m
Wall contact angle	110	Degree
ความพรุน	0.6	-
ชั้นเร่งปฏิกริยา		
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
น้ำหนักสมดุลของเมมเบรน	1,100	kg/kmol
เงื่อนไขในของปฏิกิริยา		
แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร	1.05	V
สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนประจุ	1	-
กระแสไฟฟ้าแบบแลกเปลี่ยนฝั่งแอโนด	7.17	A/m^2
กระแสไฟฟ้าแบบแลกเปลี่ยนฝั่งแคโนด	7.17×10^{-5}	A/m^2

3.2 หลักการวิเคราะห์ผลคำตอบและเปรียบเทียบความถูกต้อง

ดังที่ได้รับคำแนะนำโดย ANSYS [8] ค่ามาตรฐานของเงื่อนไขการลู่เข้าใน FLUENT นั้นเพียงพอต่อปัญหาโดยส่วนมากซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวนั้นคือ การที่ระดับของเศษเหลือของทุกสมการลดลงเหลือระดับต่ำกว่า 10^{-3} ยกเว้นสมการพลังงานซึ่งถูกแนะนำให้เป็น 10^{-6} อย่างไรก็ตามในการสร้างแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์นั้น เงื่อนไขดังที่กล่าวไปในข้างต้นนั้นไม่

เพียงพอเพื่อจะยืนยันว่าผลคำตอบนั้นได้ลู่เข้าอย่างสมบูรณ์ ซึ่งสังเกตได้จากการที่การตั้งค่ามาตรฐานของโปรแกรม ANSYS FLUENT เกี่ยวกับการตัดสินการลู่เข้าที่จะหยุดการคำนวณทันทีเมื่อเข้าเงื่อนไขที่กล่าวไปข้างต้น ได้ถูกยกเลิกทันทีเมื่อโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการคำนวณเซลล์เชื้อเพลิงนั้นถูกเรียกใช้งานขึ้นมาในโปรแกรม ANSYS FLUENT ผ่านส่วนต่อประสานผู้ใช้แบบข้อความ

แตกต่างจาก Arvay et al. [7] แบบจำลองนี้ใช้การกำหนดกระแสไฟฟ้าเป็นเงื่อนไขขอบที่ฝั่งแคโทด ดังนั้นค่าความต่างศักย์ของเซลล์จะถูกคำนวณในทุกๆรอบของการคำนวณแทนที่จะเป็นความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ความสม่ำเสมอของค่าความต่างศักย์ของเซลล์ดังกล่าวถูกใช้เป็นหนึ่งในเงื่อนไขตัดสินการลู่เข้า

เพื่อที่จะยืนยันว่าผลคำตอบนั้นลู่เข้า วิธีที่สามที่ใช้สมดุลมวลมาเป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินเงื่อนไขการลู่เข้าถูกนำเสนอโดย Arvay et al. [7] ซึ่งก็คือการที่มวลที่ถูกใช้ไปที่คำนวณได้จากแบบจำลองนั้นจะต้องเท่ากับมวลที่ถูกใช้ไปที่คำนวณได้จากกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลอง อย่างไรก็ตามในกรณีนี้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าถูกกำหนดให้เป็นเงื่อนไขขอบแทนค่าความต่างศักย์ของเซลล์ ดังนั้นในงานนี้จึงใช้มวลที่ถูกใช้ไปเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่กำหนดเพื่อเทียบกับมวลที่ถูกใช้ไปที่ได้จากการคำนวณผ่านแบบจำลอง

อย่างไรก็ตาม นอกเหนือจาก 3 วิธีในการช่วยตัดสินการลู่เข้าแล้ว เป็นที่ทราบกันดีว่าการสร้างแบบจำลองการไหลแบบหลายสถานะ และการขนส่งของน้ำภายในเมมเบรนนั้นยากมากที่จะได้มาซึ่งการลู่เข้าในการสร้างแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิง โดยทั่วไปแล้วโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้นมักกำหนดตัวประกอบ under-relaxation ไว้ต่ำๆเพื่อป้องกันการลู่ออกของผลคำตอบซึ่งทำให้บางครั้งอาจจะทำให้เข้าใจผิดได้ว่าผลคำตอบนั้นได้ลู่เข้าอย่างสมบูรณ์แล้ว ดังนั้นการตรวจสอบปริมาณสเกลาร์เฉลี่ยอย่างค่า water saturation ในชั้นรูพรุน และ water content ในเมมเบรน นั้นจำเป็นเป็นอย่างยิ่งสำหรับการยืนยันคุณภาพที่ดีของผลลัพธ์และแบบจำลองนั้นผลคำตอบได้ลู่เข้าอย่างสมบูรณ์

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์นั้นจำเป็นเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับการเทียบผลกับผลการทดลองอย่างระมัดระวังเนื่องจากความซับซ้อนและความยุ่งยากในการสร้างแบบจำลองเพื่อให้ได้ผลคำตอบมา ที่มักนำไปสู่ผลคำตอบที่ผิดอยู่เสมอ ทั้งนี้มีการเทียบผลหลากหลายรูปเช่น การตัวสอบดูการกระจายตัวของน้ำในรูปแบบของเหลว การกระจายตัวของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และการใช้กราฟโพลาไรเซชันซึ่งเป็นวิธีที่นำยมกันมากที่สุด โดยในงานนี้ก็เช่นกัน

บทที่ 4
ผลและการวิเคราะห์

ผลที่ได้จากการทำแบบจำลองนั้นถูกนำมาเสนอและวิเคราะห์ในบทนี้ตามลำดับดังต่อไปนี้

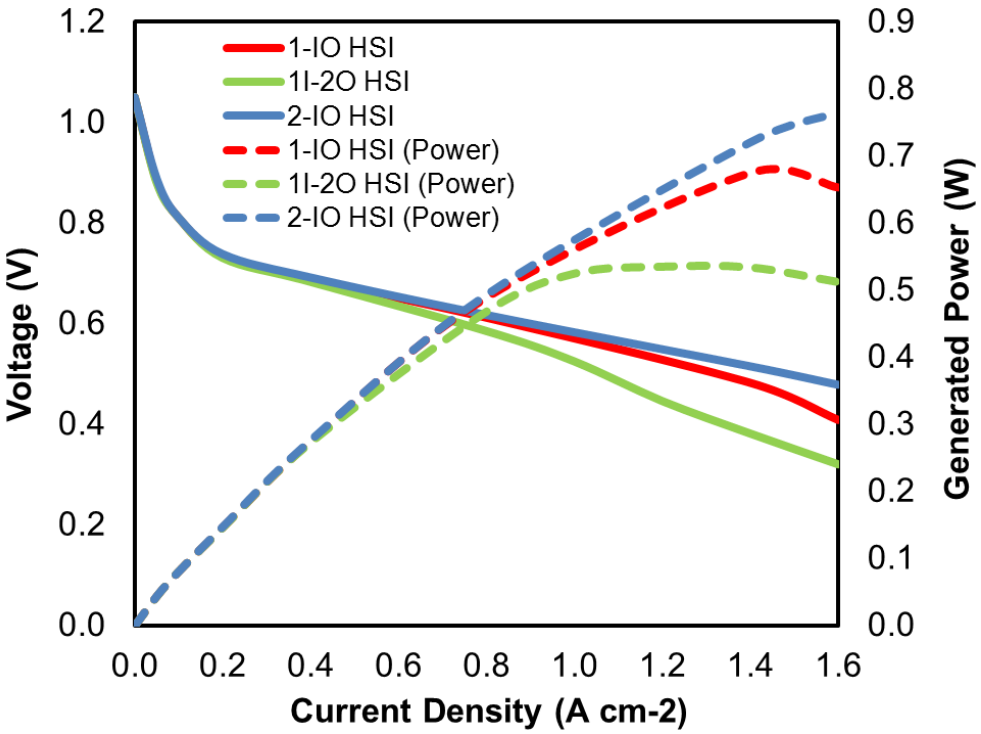
4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้กราฟคุณลักษณะ

4.2 การตรวจสอบการกระจายตัวของอัตราส่วนมวลของออกซิเจน

4.3 การตรวจสอบการกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนและน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุน

4.4 การตรวจสอบค่าแรงดันตก และกำลังไฟฟ้าสุทธิที่สร้างได้

4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้กราฟคุณลักษณะ



รูปที่ 4.1 กราฟคุณลักษณะของความหนาแน่นกระแสเมื่อเทียบกับแรงดันของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซทั้ง 3 แบบ

จากรูปที่ 4.1 กราฟคุณลักษณะของความหนาแน่นกระแสเมื่อเทียบกับแรงดัน และกำลังที่ผลิต ของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอทั้ง 3 แบบ ซึ่งผลคำตอบแสดงให้เห็นอย่างชัดเจน

ว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอ เข้าสองทางออกสองทาง (2-IO HIS) มีสมรรถนะที่สูงกว่าทั้ง 2 แบบที่เหลือ ทั้งในส่วนของความหนาแน่นของกระแส และกำลังไฟฟ้าที่สร้างได้ โดยเฉพาะที่ความหนาแน่นของกระแสตั้งแต่ 0.6 A/cm^2 เป็นต้นไป ในขณะที่ท่อส่งก๊าซแบบ 1I-2O HSI มีสมรรถนะต่ำที่สุด จากรูปที่ 4.1 พอว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ คือได้จาก แบบ 2-IO HIS ที่ 1.6 1.6 A cm-2 และ 0.48 V ซึ่งมีค่าประมาณ 1.0 W cm-2

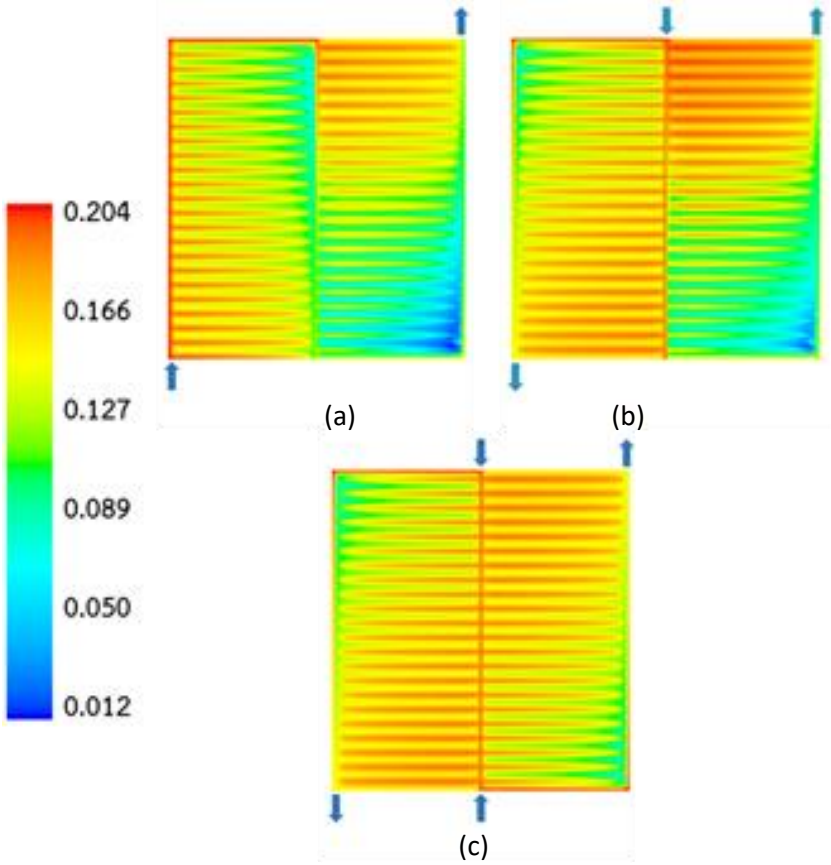
แต่ถึงอย่างไรก็ตามในการใช้งานในเชิงของยนตรกรรมแล้ว เซลล์เชื้อเพลิงจะมักจะถูกควบคุมให้ทำงานในช่วงที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.6 V ซึ่งได้ทำการศึกษาและทดลองไว้แล้ว [4] ถึงแม้ว่าการการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้กราฟคุณลักษณะนั้นจะบ่งบอกถึงสมรรถนะโดยรวมของเซลล์เชื้อเพลิงให้เห็น แต่นั่นยังไม่เพียงพอต่อการสรุปว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบไหนมีประสิทธิภาพดีกว่ากัน เพราะการตรวจสอบเกี่ยวกับการกระจายตัวไม่ว่าจะเป็นแรงดันกระแส, อุณหภูมิ, ปริมาณน้ำภายในเมมเบรน และปริมาณน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุน ก็มีความสำคัญเช่นกัน เพราะการกระจายตัวที่ว่ามานั้นจะทำให้เราเข้าใจถึงการเสื่อมสภาพของวัสดุและความทนทานของเซลล์ สรุปก็คือการตรวจสอบประสิทธิภาพนั้นจะต้องตรวจสอบควบคู่กับพฤติกรรมการถ่ายโอนภายในเซลล์ ซึ่งการตรวจสอบเกี่ยวกับการกระจายตัวทั้งหมดจะถูกตรวจสอบที่ความหนาแน่นกระแสเท่ากันที่ 0.8 A/cm^2 (แรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.6 V)

4.2 การตรวจสอบการกระจายตัวของอัตราส่วนมวลของออกซิเจน

ดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ว่า ปัญหาที่สำคัญที่สุดของรูปแบบท่อส่งก๊าซ แบบ 1-IO HIS ที่พัฒนาขึ้นในงนวิจัยก่อนหน้า คือ การเกิดบริเวณที่มีอัตราส่วนของมวลออกซิเจนต่ำ ตรงบริเวณทางออกของออกซิเจนที่ขั้วคาโทด ซึ่งทำให้เกิดการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอของ ความหนาแน่นของกระแส ส่งผลให้เซลล์เสื่อมสภาพไวขึ้น และมีอายุการใช้งานสั้นลง ดังนั้น เราจึงวิเคราะห์การกระจายตัวของอัตราส่วนมวลของออกซิเจนเป็นอันดับแรก ดังแสดงในรูป 4.2 ซึ่งเห็นได้ชัดว่า รูปแบบ 2-IO HIS ทำให้การกระจายตัวของอัตราส่วนมวลของออกซิเจนบริเวณทางออกของขั้วคาโทด (มุมล่างขวา) ดีขึ้นอย่างเห็นชัดเจน

สิ่งนี้บอกเป็นนัยได้ว่า ก๊าซออกซิเจนสามารถถูกนำส่งเข้าไปยังบริเวณจุดอับได้ดีขึ้น ด้วยการเพิ่มจำนวนท่อทางเข้าบริเวณตรงกลางของเซลล์ตามแนวความยาว ด้วยเหตุนี้ ในช่วงความต่างศักย์ต่ำกว่า 0.7 V ลงมา ท่อส่งก๊าซแบบ 2-IO HIS จึงสามารถสร้างความหนาแน่นของกระแสได้ดีที่สุด เพราะ ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีสามารถเกิดขึ้นได้อย่างทั่วถึง และสม่ำเสมอตลอดทั้งเซลล์ ผลลัพธ์นี้ยืนยันการค้นพบของ Seungjae Lee และคณะ [5] ที่ว่า การเพิ่มจำนวนท่อทางเข้าสามารถเพิ่ม

อัตราส่วนมวลของออกซิเจน ซึ่งทำให้ overpotential และการสูญเสียจากความต้านทาน (Ohmic loss) ลดลง และเพิ่มสมรรถนะของเซลล์



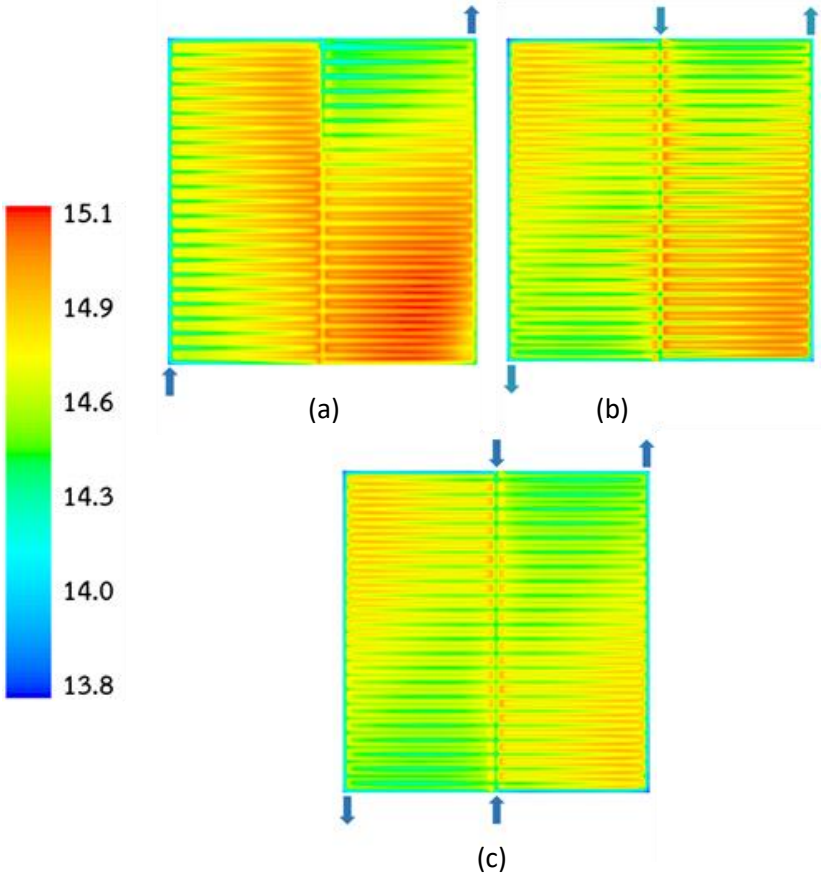
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของอัตราส่วนมวลของออกซิเจนของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบ (a) 1-IO HSI (b) 1I-2O HSI และ (c) 2-IO HSI

4.3 การตรวจสอบการกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรน และการกระจายตัวของน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุน

เป็นที่ทราบกันอย่างกว้างขวางว่า การกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนนั้นมีผลกระทบต่อสมรรถนะและความทนทานของเซลล์เชื้อเพลิงอย่างมาก [9] แม้ว่าการที่ค่าปริมาณน้ำภายในเมมเบรนสูงนั้นจะมีความหมายว่าภายในเมมเบรนมีความสามารถในการนำโปรตอนที่ดี แต่ถ้าหากค่าปริมาณน้ำภายในเมมเบรนนั้นมีค่าสูงกว่า 14 นั่นจะส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์น้ำขังภายในบริเวณ ชั้นเร่งปฏิกิริยาและชั้นแพร่ของก๊าซเพราะสาเหตุมาจากปริมาณน้ำที่มากเกินไป [3]

ปัญหาการจัดการน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงนั้นส่วนใหญ่แล้วจะเกิดที่ฝั่งแคโทดเป็นหลัก เนื่องจากฝั่งแคโทดมีการรวมตัวของน้ำเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากปฏิกิริยา Oxygen reduction อีกทั้งยัง

เกิดจากมีน้ำที่เกิดจากการไหลย้อนกลับมาจากฝั่งแอโนดซึ่งเป็นผลกระทบมาจากปรากฏการณ์ Electroosmotic drag ดังนั้นรูปแบบท่อส่งก๊าซที่ดีต้องสามารถให้การกระจายตัวของน้ำอย่างสม่ำเสมอ และสามารถจัดการน้ำได้ดี ไม่ให้เกิดน้ำท่วม แม้ว่าในงานวิจัยก่อนหน้าของทางกลุ่มวิจัย [4] จะแสดงให้เห็นว่า 1-IO HIS สามารถจัดการน้ำภายในเซลล์ได้ดีกว่าแบบ Single Serpentine แต่ยังคงดีไม่เพียงพอ เนื่องจากยังคงมีบริเวณที่มีค่าปริมาณน้ำภายในเมมเบรนสูงกว่า 14 ซึ่งแสดงว่ามีน้ำสถานะของเหลวอยู่เต็มท่อในบริเวฯทางออกของออซิเจนดังกล่าว การปรับปรุงจำนวนท่อทางเข้าและทางออกน่าจะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้

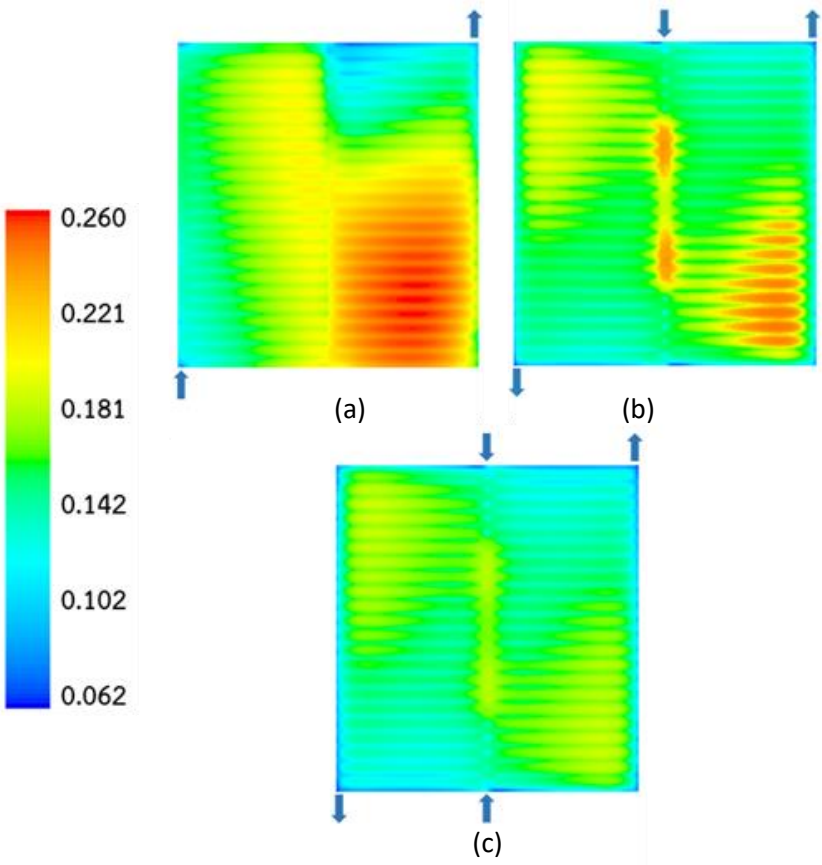


รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนบนฝั่งแคโทดของของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบ (a) 1-IO HSI (b) 1I-2O HSI และ (c) 2-IO HSI

รูปที่ 4.3 นำเสนอการกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนบนฝั่งแคโทดของท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอทั้ง 3 เคส โดยจะเห็นได้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบ 2-IO HSI มีการกระจายตัวของปริมาณน้ำภายในเมมเบรนได้สม่ำเสมอดีกว่ามาก เมื่อเทียบกับท่อส่งก๊าซแบบ 1I-2O HIS และ 1-IO HIS ตามลำดับ ซึ่งจพทำให้โอกาสในการเกิด Hot spot หรือ Cold spot น้อยลง

ส่งผลให้อายุการใช้งานของเซลล์ดีขึ้น แม้กระนั้น จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณน้ำภายในเมมเบรนยังคงสูงกว่า 14 ซึ่งเป็นประเด็นที่จะต้องได้รับการแก้ไขต่อไป

รูปที่ 4.4 นำเสนอข้อมูลการกระจายตัวของน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุนฝั่งแคโทดของท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอ ทั้ง 3 แบบ ซึ่งนั่นสามารถยืนยันได้ว่าไม่เพียงแต่ภายในเมมเบรนฝั่งแคโทดจะมีปริมาณน้ำที่สูงแล้ว (ปริมาณน้ำ >14) แต่น้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุน (Diffusion Layer) ของฝั่งแคโทดก็สูงด้วย ในส่วนของท่อส่งก๊าซแบบ 1-IO HSI และ 1I-2O HSI ที่สำคัญปริมาณน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุนของท่อส่งก๊าซทั้ง 2 ยังมีบริเวณที่มีค่าสูงกว่า 0.2 ซึ่งเป็นค่าที่ถูกแนะนำโดย Wang และคณะว่า จะทำให้สมารรถนะของเซลล์ไม่คงที่ (Unstable) นอกนั้นแล้วการรวมตัวกันของน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุนไม่เพียงแต่จะทำให้มีการขัดขวางตัวทำปฏิกิริยาไม่ให้เข้าไปสู่พื้นที่การทำปฏิกิริยาแล้ว แต่ยังทำให้ความทนทานของเซลล์เชื้อเพลิงลดลงและทำให้เกิดความไม่เสถียรของแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์อีกด้วย ซึ่งนั่นเป็นเรื่องที่สำคัญมากสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ที่จะนำไปใช้ในงานด้านอุตสาหกรรม

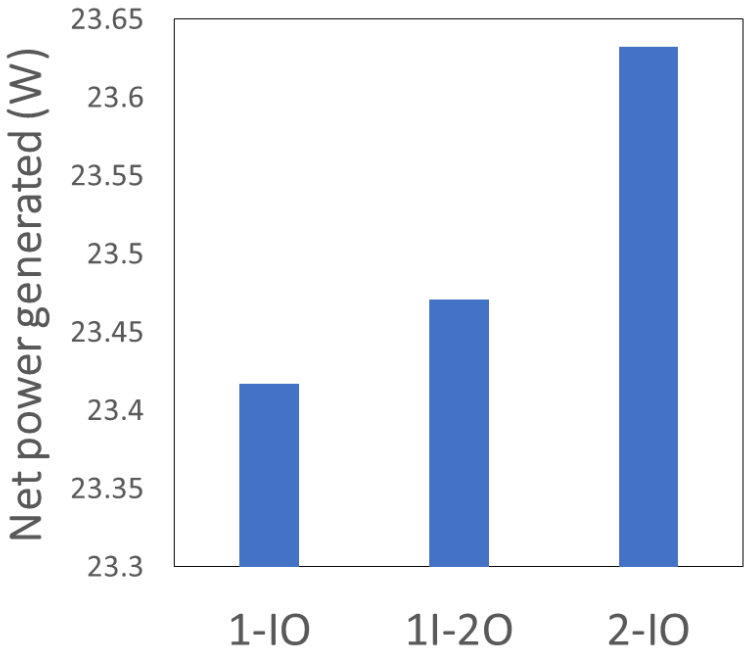


รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุนของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบ (a) 1-IO HSI (b) 1I-2O HSI และ (c) 2-IO HSI

ต่างกันกับ ในกรณีของ 2-IO HIS ที่สามารถจัดการกับปัญหาของน้ำในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุน ได้อย่างมีประสทิธิภาพกว่า ท่อส่งก๊าซ 2 แบบแรกมาก กล่าวคือ สามารถทำให้ในเฟสของเหลวในชั้นมีรูพรุน มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และที่สำคัญคือ มีค่าไม่เกิน 0.2

4.5 การตรวจสอบค่าแรงดันตก และกำลังไฟฟ้าสุทธิที่สร้างได้

เป็นเรื่องที่ขัดแย้งไม่ได้ที่จะกล่าวว่าค่าแรงนั้นตกนั้นมีผลกระทบอย่างมากต่อสมรรถนะของการทำงานโดยรวมและประสิทธิภาพของระบบของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ ซึ่งการที่จะเพิ่มกำลังนั้นสิ่งที่ต้องการก็คือการไหลอย่างต่อเนื่องของตัวทำปฏิกิริยา และยิ่งไปกว่านั้นแรงดันตกยังมีผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เชื้อเพลิงอีกด้วย ซึ่งอาจจะบอกเป็นนัยได้ว่าการที่แรงดันตกมีค่าสูงนั้นมีสาเหตุมาจากการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอของตัวทำปฏิกิริยา ส่งผลให้อายุการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ท่อส่งก๊าซแบบ 2-IO HIS และ 1I-2O HIS มีค่าแรงดันตกต่ำกว่า ท่อส่งก๊าซแบบ 1-IO HIS อยู่ถึง 3000 และ 600 Pa ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้ กำลังไฟฟ้าสุทธิที่เซลล์สามารถผลิตได้ (ดังแสดงในรูปที่ 4.5) ของ 2-IO HIS และ 1I-2O HIS มีค่าสูงกว่า ท่อส่งก๊าซแบบ 1-IO HIS อยู่ 0.92 และ 0.23% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์แล้วสาเหตุน่าจะมาจากการที่ท่อส่งก๊าซแบบ 2-IO HIS และ 1I-2O HIS นั้นมีความยาวของท่อโดยรวมแล้วสั้นกว่าท่อส่งก๊าซแบบ 1-IO HIS เมื่อเทียบจากระยะทางของทางเข้าไปจนถึงทางออกทำให้ก๊าซที่ไหลภายในท่อส่งก๊าซทั้ง 2 แบบแรกไหลด้วยความเร็วต่ำ ซึ่งข้อดีของการที่มีท่อส่งก๊าซสั้นนี้นอกจากจะทำให้ค่าแรงดันตกนั้นมีค่าน้อยแล้ว ยังทำให้ปริมาณน้ำภายในเมมเบรนน้อยลงอีกด้วย



รูปที่ 4.5 กำลังไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้จากท่อส่งก๊าซแบบ HIS ทั้ง 3 แบบ

หลังจากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ทำการตรวจสอบมาทั้งหมดนั้น ชี้ให้เห็นว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบ 2-IO HIS นั้นเหนือกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซแบบ 1I-2O HSI และ 1-IO HSI อย่างชัดเจนไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการที่ผลิตกำลังสุทธิได้สูงกว่า มีการกระจายตัวภายในเซลล์อย่างสม่ำเสมอและสามารถจัดการน้ำได้ดีกว่า แต่ถึงแม้ว่าการที่ท่อส่งก๊าซแบบเฮซเอสไอนั้นจะทำได้ดีในหลายด้านแต่ก็ยังมีจุดที่ต้องการการพัฒนาและปรับปรุง เช่นปริมาณน้ำในเมมเบรน

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1. สรุปผลการวิจัย

ข้อสรุปต่างๆจากการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลท์ ขนาด 50 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอส โดยใช้โปรแกรม ANSYS FLUENT นั้น ถูกรวบรวมมาดังต่อไปนี้

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการปรับเปลี่ยนจำนวนท่อส่งก๊าซ ในตำแหน่งทางเข้า และทางออกของเซลล์ เพื่อที่จะแก้ปัญหาบริเวณที่มีอัตราส่วนมวลของออกซิเจนน้อย เพื่อที่จะเพิ่มสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง แบบจำลอง 3 กรณีได้ถูจำลองขึ้น คือ 1-IO HIS, 1I-2O HIS และ 2-IO HIS และถูกวิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยเทคนิค CFD บนโปรแกรม ANSYS FLUENT ผลจากการสร้างแบบจำลองบ่งชี้ว่า ท่อส่งก๊าซแบบเฮชเอสไอ เข้าสองทางออกสองทาง (2-IO HIS) มีสมรรถนะสูงกว่าอีกทั้ง 2 แบบ ทั้งในเชิงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ การกระจายตัวของอัตราส่วนมวลของออกซิเจน และการจัดการกับน้ำ ทั้งนี้เนื่องจาก ท่อส่งก๊าซแบบ 2-IO HIS มีความยาวท่อที่ก๊าซจะต้องวิ่งไหลผ่านสั้นที่สุด นอกจากนี้ ท่อส่งก๊าซแบบ 2-IO HIS ยังทำให้การกระจายตัวของก๊าซออกซิเจน และน้ำเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัดของเซลล์ ซึ่งทำให้เซลล์มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น ดังนั้น ด้วยการออกแบบท่อส่งก๊าซแบบ 2-IO HIS จึงทำให้เราสามารถแก้ปัญหาของงานวิจัยในอดีตดังกล่าว และทำให้ ท่อส่งก๊าซแบบ 2-IO HIS เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงในการขยายผลเชิงพาณิชย์ เพื่อใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานแบบแสตกในการประยุกต์ใช้งานจริงในอนาคต โดยควรจะทำการศึกษาเปรียบเทียบกับรูปแบบท่อส่งก๊าซที่ใช้ในรถยนต์เซลล์เชื้อเพลิงจริงๆ ซึ่งก็คือแบบ 3D fine mesh

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] Limjeerajarus, 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] Charoen-amornkitt, P.; Santiprasertkul, T.; Munprakobkij, P.; and Limjeerajarus, N. "Numerical Study of a Polymer Electrolyte Fuel Cell with a Hybrid Serpentine-Interdigitated Flow Field Design" Proceedings of the 6th TSME International Conference of Mechanical Engineering (TSME-ICOME 2015), Phetchaburi, Thailand, December 2015, (1-6) (ETM002).

[5] L. Seungjae , K. Taeyoung and P. Heekyung, "Comparison of multi-inlet and serpentine channel design on water production of PEMFCs," Chemical Engineering Science, vol. 66(8), pp. 1748–1758, Apr. 2011.

[6] 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.

[7] 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.

[8] ANSYS, *ANSYS FLUENT Fuel Cell Modules Manual*. USA: ANSYS, 2011.

[9] L. Xianguo and I. Sabir "Review of bipolar plates in PEM fuel cells: flow field designs," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 30(4), pp. 359–371, Mar. 2005.