



การศึกษาผลของขนาดของก้อนหกลื่นที่เหมาะสม
สำหรับท่อส่งก๊าซแบบรังผึ้งโดยการสร้างแบบจำลองเชิง
ตัวเลขในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์

เสนอ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

โดย

TNI

รศ.ดร. ณัฐพล ลิ่มจีระจรัส

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนโครงการวิจัยนี้ ภายใต้

เลขที่โครงการ 1610/A008

ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส



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.....	4
1.5 แผนการวิจัย.....	4
2 การศึกษาวรรณกรรม.....	5
2.1 ไฟฟ้าเคมี.....	5
2.2 ประวัติความเป็นมาและประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง.....	9
2.3 องค์ประกอบและการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์.....	12
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.4 สมการที่เกี่ยวข้องในการคำนวณผลลัพธ์.....	18
3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	24
4 ผลและการวิเคราะห์.....	30
4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้กราฟคุณลักษณะ.....	30
4.2 การตรวจสอบการกระจายตัวของแรงดันกระแส.....	31
4.3 การตรวจสอบการกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจน.....	32
4.4 การตรวจสอบการกระจายตัวของก๊าซออกซิเจน.....	33
4.5 การตรวจสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิ.....	34
4.6 การตรวจสอบการกระจายตัวของแหล่งความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี.....	35
4.7 การตรวจสอบค่าแรงดันตก.....	36
5 สรุปผลการวิจัย.....	38
บรรณานุกรม.....	ช

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แผนการวิจัย.....	4
3.1 ขนาดรูปทรงต่างๆในแบบจำลอง.....	26
3.2 ตัวแปรรูปทรงของหกเหลี่ยมแต่ละก้อน.....	26
3.3 เงื่อนไขขอบและคุณสมบัติของวัสดุ.....	27



สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
1.1 แสดงภาพรวมการทำงานของ เซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโตรไลต์	1
1.2 แสดงลักษณะของท่อส่งก๊าซที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ก) รังผึ้งแบบใหม่ และ ข) รังผึ้งแบบเก่า ทิศ ทางการไหลของก๊าซ ณ (→) ขั้วแอโนด และ (→) ขั้วแคโทด	2
1.3 แสดงขนาดของก้อนหกเหลี่ยมที่ใช้ในงานวิจัย ก) รังผึ้งแบบใหม่ และ ข) รังผึ้งแบบเก่า	3
2.1 ส่วนประกอบภายในของเซลล์แห้ง	7
2.2 ส่วนประกอบของเซลล์ปรอท	7
2.3 ส่วนประกอบภายในของแบตเตอรี่	8
2.4 แผ่นนำกระแสไฟฟ้า	13
2.5 ขั้วอิเล็กโตรดประกอบเมมเบรน	13
2.6 ขั้วอิเล็กโตรด	14
2.7 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโตรไลต์	16
3.1 โครงสร้างหลักของเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโตรไลต์	24
3.2 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อเมฆ	25
4.1 กราฟคุณลักษณะของความหนาแน่นกระแสเมื่อเทียบกับแรงดัน (เส้นทึบ) และกำลังที่ผลิต ของเซลล์เชื้อเพลิง (เส้นประ) ที่มีท่อส่งก๊าซ (→) รังผึ้งแบบใหม่ และท่อส่งก๊าซ (→) รังผึ้ง แบบเก่า	30
4.2 การกระจายตัวของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี ท่อส่งก๊าซรังผึ้ง ก) แบบใหม่ ข) แบบเก่า	31
4.3 การกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจนของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี ท่อส่งก๊าซรังผึ้ง ก) แบบใหม่ ข) แบบเก่า	32
4.4 การกระจายตัวของก๊าซออกซิเจนของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี ท่อส่งก๊าซรังผึ้ง ก) แบบใหม่ ข) แบบเก่า	33
4.5 การกระจายตัวของอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี ท่อส่งก๊าซรังผึ้ง ก) แบบใหม่ ข) แบบเก่า	34
4.6 การกระจายตัวของแหล่งความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี ท่อส่งก๊าซรังผึ้ง ก) แบบใหม่ ข) แบบเก่า	35

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.7 การกระจายตัวของแรงดันตกของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี ท่อส่งก๊าซรั้งผึ้ง ก) แบบใหม่ ข) แบบเก่า.....	36
4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณการผลิตกำลังโดยรวมระหว่างเซลล์เชื้อเพลิง ที่มีท่อส่งก๊าซรั้งผึ้งแบบใหม่ และแบบเก่า.....	37

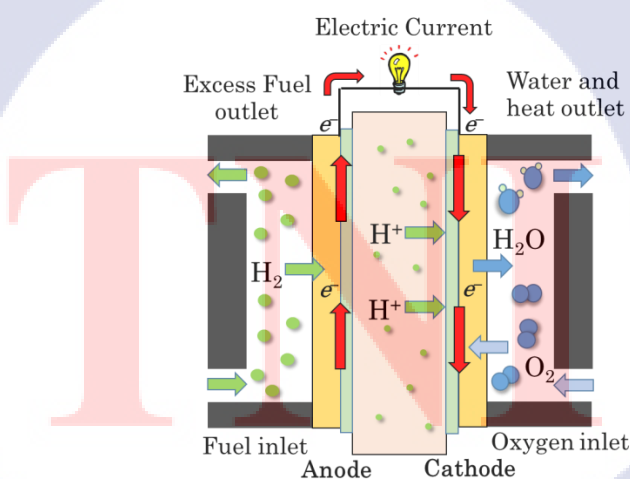


บทที่ 1

บทนำ

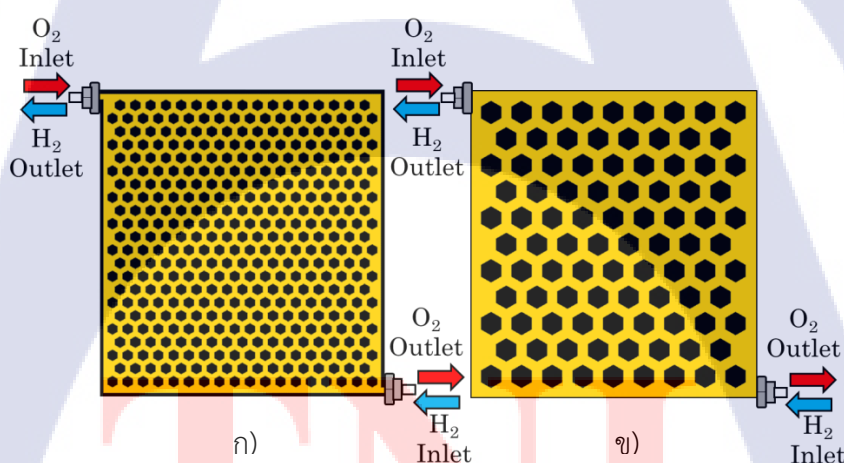
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์นั้น เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ด้วยประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานที่สูง เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงนั้นไม่ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดทางอุณหพลศาสตร์อย่าง วัฏจักรคาร์โนต์ หรือเครื่องแปลงพลังงานที่แปลงเชื้อเพลิงดีกดาบรพ์ เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ จึงได้รับความสนใจว่า เป็นหนึ่งในอุปกรณ์การเปลี่ยนพลังงานที่มีศักยภาพสำหรับใช้งานทั้งอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ได้ และอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ไม่ได้ โดยการป้อนก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซออกซิเจน เข้าไปยังท่อส่งก๊าซของขั้วแอโนด และขั้วแคโทดตามลำดับ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าออกมา ซึ่งก๊าซทั้งสองจะแพร่ไปยังชั้นแพร่ก๊าซเพื่อไปเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ชั้นเร่งปฏิกิริยา ซึ่งชั้นนี้จะมีโลหะชั้นสูง โดยทั่วไปจะเป็นแพลทินัมเพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาเคมีในฝั่งขั้วแอโนด ก๊าซไฮโดรเจนจะแตกตัวออกเป็นโปรตอน และอิเล็กตรอน โดยที่โปรตอนจะซึมผ่านเยื่อพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ไปยังฝั่งแคโทด ในขณะที่อิเล็กตรอนจะไหลผ่านแผ่นสองขั้วไปสู่วงจรภายนอก และกลับไปสู่ฝั่งแคโทดเพื่อรวมตัวกับ โปรตอน และออกซิเจนจนกลายเป็นน้ำ ซึ่งสามารถเห็นภาพรวมการทำงานของอุปกรณ์นี้ได้จากรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงภาพรวมการทำงานของ เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์

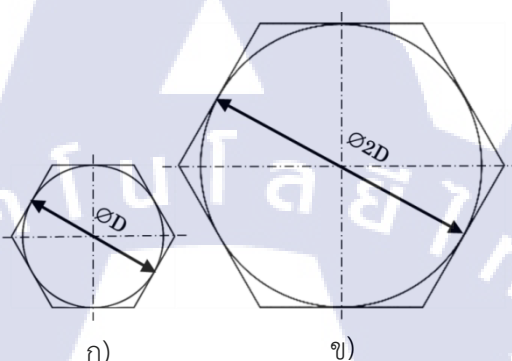
โดยทั่วไปแล้วเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ที่ใช้งานในรถยนต์นั้น มักจะทำงานอยู่ที่ค่าความต่างศักย์ 0.6 V เนื่องจากการทำงานในค่าความต่างศักย์ที่สูงอย่างเช่น มากกว่า 0.8 V นั้นทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาหกละลายซึ่งส่งผลกระทบต่อสมรรถนะและความทนทานของเซลล์ ในขณะที่การทำงานที่ความต่างศักย์ต่ำกว่า 0.6 V นั้นก็ไม่น่าเป็นที่ยอมรับเนื่องจากมักจะเกิดการฟอร์มตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ซึ่งส่งผลกระทบต่อความทนทานของเมมเบรน จึงทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ใช้ในการทำงานนั้นจะอยู่ที่ 0.6 V ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าที่สูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดยไม่กระทบต่อความทนทานของเซลล์ โดยเฉลี่ยแล้วกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้จากเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์แบบเซลล์เดียวนั้นจะถูกจำกัดอยู่ที่ราวๆ 0.5 W cm⁻² ทำให้เวลาไปใช้งานในรถยนต์นั้นจึงต้องนำเซลล์เดี่ยวเหล่านั้นมาเรียงต่อกันเป็นสแตค (Stack) การที่จะทำให้เซลล์เดี่ยวเหล่านั้นมาต่อกันได้เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้านั้น ส่วนประกอบสำคัญของเซลล์เชื้อเพลิงที่เรียกว่า แผ่นสองขั้วนั้นจะต้องนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี แผ่นของขั้วนั้นจึงจะมีท่อส่งก๊าซที่ใช้ในการส่งทั้งเชื้อเพลิงและตัวทำปฏิกิริยาไปยัง ชั้นเร่งปฏิกิริยาในหน่วยเยื่อแผ่นและขั้วไฟฟ้า อีกทั้งยังช่วยในการกำจัดน้ำส่วนเกินออกจากหน่วยเยื่อแผ่นและขั้วไฟฟ้าอีกด้วย ดังนั้นรูปแบบของท่อส่งก๊าซจึงเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์นั้นมีสมรรถนะที่ดี



รูปที่ 1.2 แสดงลักษณะของท่อส่งก๊าซที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ก) รังผึ้งแบบใหม่ และ ข) รังผึ้งแบบเก่า ทิศทางการไหลของก๊าซ ณ (→) ขั้วแอโนด และ (→) ขั้วแคโทด

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ของผู้วิจัย [1] ที่เป็นการศึกษาพฤติกรรมการขนส่งของท่อส่งก๊าซแบบรังผึ้งโดยการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ดังรูปที่ 1.2 ข ถึงแม้ผลลัพธ์จะแสดงให้เห็นว่า ท่อส่งก๊าซแบบรังผึ้งจะมีสมรรถนะที่เทียบเท่ากับท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ โดยยังสามารถลดความดันตกได้ ที่ค่าความต่างศักย์ 0.6 V แต่อย่างไรก็ตามลักษณะพฤติกรรมการกระจายตัวของ น้ำ อุณหภูมิ และก๊าซชนิดต่างๆ ที่พบภายในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ นั้นยังไม่มีดีพอ

เพื่อพัฒนาให้การกระจายตัวต่าง ๆ นั้นมีความสม่ำเสมอมากขึ้น จึงมีการออกแบบท่อส่งก๊าซ รั้งผึ้งแบบใหม่ ดังรูปที่ 1.2 ก ซึ่งท่อส่งก๊าซชนิดนี้ ได้รับการออกแบบโดยกำหนดให้มีขนาดของก้อน หกเหลี่ยมที่เล็กลง ดังรูปที่ 1.3 และควบคุมให้มีขนาดความกว้างของท่อส่งก๊าซที่แคบลง เพื่อบังคับให้ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซออกซิเจน ลงไปยังจุดที่เกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น ซึ่งการควบคุมด้วยวิธีเหล่านี้ จะส่งผลทำให้จำนวนรวมของก้อนหกเหลี่ยมในการออกแบบท่อส่งก๊าซรั้งผึ้งแบบใหม่นั้นมากกว่าท่อ ส่งก๊าซรั้งผึ้งแบบเก่า เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการขนส่งอิเล็กตรอนให้มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.3 แสดงขนาดของก้อนหกเหลี่ยมที่ใช้ในงานวิจัย ก) รั้งผึ้งแบบใหม่ และ ข) รั้งผึ้งแบบเก่า

ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาถึงผลกระทบของขนาดของก้อนหกเหลี่ยม โดย ศึกษาลักษณะพฤติกรรมของการขนส่ง (Transport behavior) ของท่อส่งก๊าซแบบดังกล่าว (รูปที่ 1.2 ก) โดยใช้การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยที่ท่อส่งก๊าซที่ได้จากการวิจัยนี้จะมี สมรรถนะที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับท่อส่งก๊าซแบบดั้งเดิมอย่างท่อส่งก๊าซรั้งผึ้งแบบเก่า (รูปที่ 1.2 ข) ซึ่งถูก พิจารณาให้เป็นท่อส่งก๊าซที่ไว้อ้างอิง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อทำนายสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ขนาด 5 ตาราง เซนติเมตร ซึ่งมีโครงสร้างของท่อส่งก๊าซแบบรั้งผึ้งที่มีก้อนหกเหลี่ยมขนาดต่างๆ
- เพื่อศึกษา และเปรียบเทียบลักษณะพฤติกรรมการกระจายตัวของ น้ำ อุณหภูมิ และ ก๊าซชนิดต่างๆ ภายในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ขนาด 5 ตาราง เซนติเมตร ระหว่างท่อส่งก๊าซรั้งผึ้งที่มีก้อนหกเหลี่ยมขนาดต่างๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย (ระบุขอบเขตของงานวิจัยให้ครอบคลุม ดังต่อไปนี้)

- การคำนวณเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์นั้นกระทำผ่านโปรแกรม ANSYS FLUENT
- ผลการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะถูกตรวจสอบ ความถูกต้องกับผลการทดลอง ด้วย I-V Polarization curve

- ทราบสมรรถนะของ เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ขนาด 5 ตารางเซนติเมตร ของท่อส่งก๊าซรั้งฝั่งแบบใหม่ ผ่านการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์
- เข้าใจลักษณะพฤติกรรม และความแตกต่างของการขนส่ง เช่น น้ำ อุ่นหภูมิ และก๊าซชนิดต่างๆ ภายในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ขนาด 5 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีโครงสร้างของท่อส่งก๊าซรั้งฝั่งมีก๊อนหกละเอียดขนาดต่างๆ
- ผลงานวิชาการที่ตีพิมพ์ในที่ประชุมวิชาการ / วารสาร ระดับชาติ / นานาชาติ อย่างน้อย 1 ผลงาน

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

ในเซลล์ไฟฟ้าปกติ จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วเสมอ ดังนี้

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

2. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) คือ สารที่มีสถานะเป็นของเหลว นำไฟฟ้าได้ เพราะมีไอออนเคลื่อนที่ไปมาอยู่ในสารละลาย

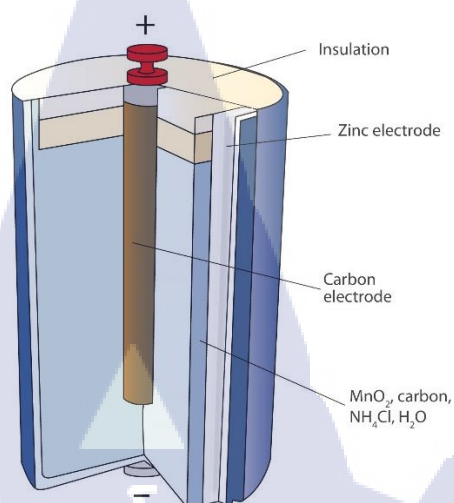
2.1.3 เซลล์กัลวานิก หรือเซลล์วอลตาอิก (Voltaic cell)

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

- เซลล์ปฐมภูมิ

1. เซลล์แห้ง (Dry Cell)

เซลล์ไฟฟ้าชนิดนี้ถูกเรียกว่า เซลล์แห้ง เพราะไม่ได้ใช้ของเหลวเป็นอิเล็กโทรไลต์ เป็นเซลล์ที่ใช้ในไฟฉาย หรือใช้ในประโยชน์อื่นๆ เช่น ในวิทยุ เครื่องคิดเลข ฯลฯ ซึ่งมีลักษณะตามรูปที่ 2.1



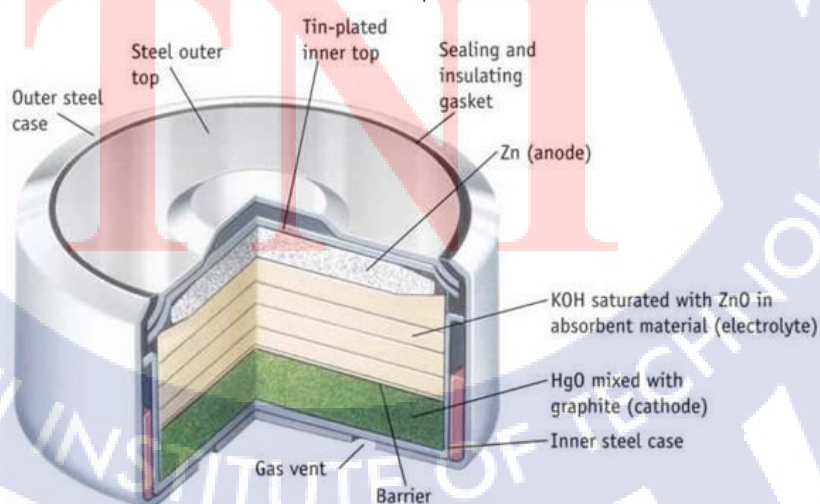
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบภายในของเซลล์แห้ง

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 ให้ กระแสต่ำ แต่สามารถให้ค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่ตลอดอายุการใช้งาน

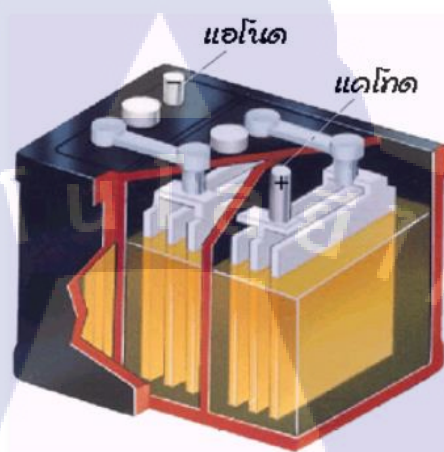


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของเซลล์ปรอท

- 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

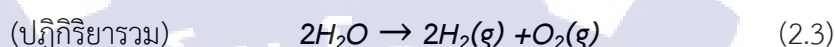
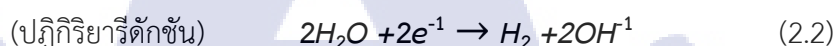
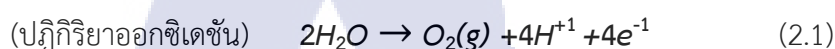
$\text{Cu(s)} + \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn(s)}$ ให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นได้โดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากภายนอกส่วนประกอบที่สำคัญของอิเล็กโทรไลติกเซลล์ (Electrolytic Cell) ประกอบด้วย

1. แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก
2. ขั้วไฟฟ้า
3. สารละลายอิเล็กโทรไลต์

โดยลักษณะการเกิดปฏิกิริยาสามารถอธิบายได้จากการที่สารให้อิเล็กตรอนแก่ขั้วบวกหรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันคือขั้วแอโนดที่มีประจุไฟฟ้าลบ และสารที่รับอิเล็กตรอนจากขั้วลบหรือการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันคือขั้วแคโทดที่มีประจุไฟฟ้าลบ และสารที่รับอิเล็กตรอนจากขั้วลบหรือการเกิดปฏิกิริยารีดักชันคือขั้วคาโทดที่มีประจุไฟฟ้าบวก 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 และสารคาร์บอนเตของแอลคาไลน์หลอมเหลว (Molten alkaline carbonate) เป็นสารพาประจุ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จะทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามยังคงพบปัญหา

ทางด้านวัสดุที่ใช้ในการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงเนื่องจากความยากลำบากในการกำจัดกากถลุง (Slag) ที่เกิดขึ้นนั่นเอง

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

จากการพัฒนาในอดีตที่มีผู้ให้ความสนใจเพียงเล็กน้อย จนในเวลาต่อมาผู้ให้ความสนใจมากมายและมีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง 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) ที่มีออกซิเจนอยู่ทำให้เกิดการรวมตัวกันกลายเป็นน้ำไหลออกมา ส่วน

อิเล็กทรอนิกส์ก็จะวิ่งอยู่ภายนอกเป็นกระแสขับเคลื่อนทางไฟฟ้า 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 อุณหภูมิขณะทำงานอยู่ต่ำกว่า 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

เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอนเหลว (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เหมาะสม สำหรับโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่สำหรับจำหน่ายไฟฟ้า มีอุณหภูมิการทำงานที่สูงมากประมาณ 650 องศาเซลเซียส สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 2 เมกะวัตต์ และยังให้อิฐานความดันสูงออกมา ซึ่งสามารถนำมาช่วยผลิตกระแสไฟฟ้าในลักษณะความร้อนร่วมได้ เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมสูงขึ้นถึง 80-85 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง ทำให้ไม่ต้องใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษ จึงทำให้ระบบโดยรวมมีราคาต่ำกว่า

เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้
 อุดมภูมิในการทำงานที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ คือ ประมาณ 800–1000
 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับโรงงานไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีเอนโทรปีสูง เป็นผลผลิตจากกระบวนการ
 ทางเคมี ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ในลักษณะความร้อนร่วมได้เช่นเดียวกับเซลล์
 เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอนเนตหลอม ทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นสูงถึงประมาณ 80-85
 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในระบบที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงมากๆ นั้นเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์ของแข็ง จะ
 มีราคาถูกกว่าระบบที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงแบบเกลือคาร์บอนเนตหลอม

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 ทำให้จำเป็นต้องใช้เซลล์เป็นจำนวนมากมาต่อกันเพื่อให้ได้แรงดันสูงพอ เป็นผลให้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด (ประมาณ 35–40%) เมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆ อย่างไรก็ตาม เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีข้อดีในการทำงานค่อนข้างต่ำ และใช้เมทานอลเป็นเชื้อเพลิง ทำให้เหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา เป็นต้น

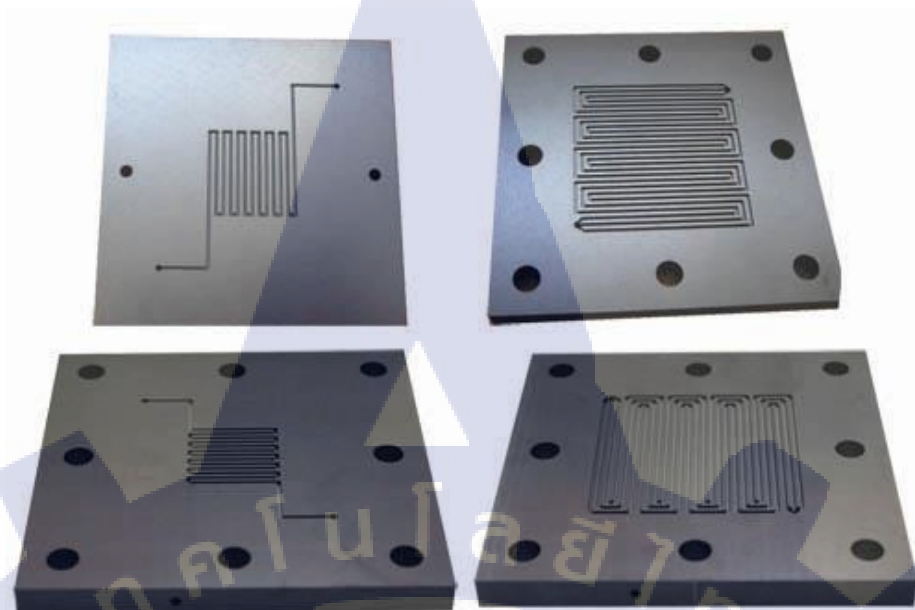
จากลักษณะเฉพาะดังกล่าวข้างต้น ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ (PEMFC) เป็นที่นิยมสูงสุดในการนำมาใช้เป็นต้นกำลังในภาคคมนาคมขนส่ง เนื่องจากมีขนาดกะทัดรัด และให้พลังงานสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนัก เริ่มทำงานได้รวดเร็ว สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ และอายุการทำงานยาวกว่าเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น 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)

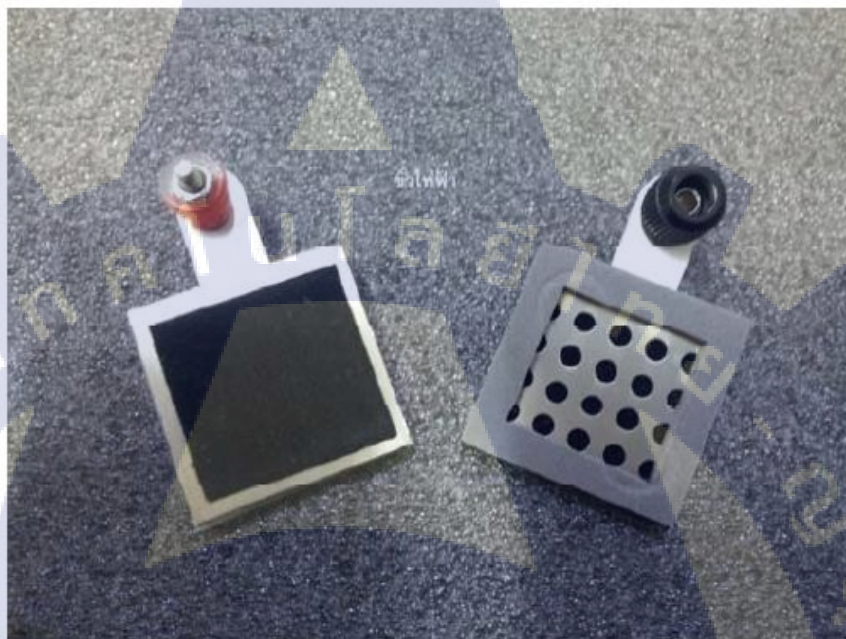
ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรน ถือเป็นหัวใจสำคัญต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ เนื่องจากเป็นส่วนที่เกิดปฏิกิริยาและการถ่ายโอนประจุ ขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรนประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ เมมเบรนทำหน้าที่เป็นอิเล็กโตรไลต์และขั้วอิเล็กโทรดที่มีชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา การประกอบขั้วอิเล็กโทรดประกอบเมมเบรนทำโดยการนำขั้วอิเล็กโทรด 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 และยังเป็นตัวนำอิเล็กตรอนจากชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังแผ่นนำกระแสไฟฟ้าเพื่อครบวงจรได้กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิง

- ชั้นจัดการน้ำ (Water management layer)

เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นแพร่แก๊สและชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา มีส่วนช่วยในการจัดการน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิง

- ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer)

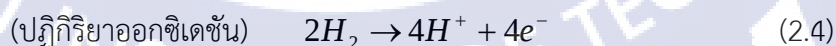
เป็นชั้นที่เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง ในอุณหภูมิปกติตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออน จำเป็นต้องมีตัวกระตุ้นเพื่อให้เกิดการแตกตัว เช่น เติมน้ำที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ เช่น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

4. อิเล็กโตรไลต์ (Electrolyte)

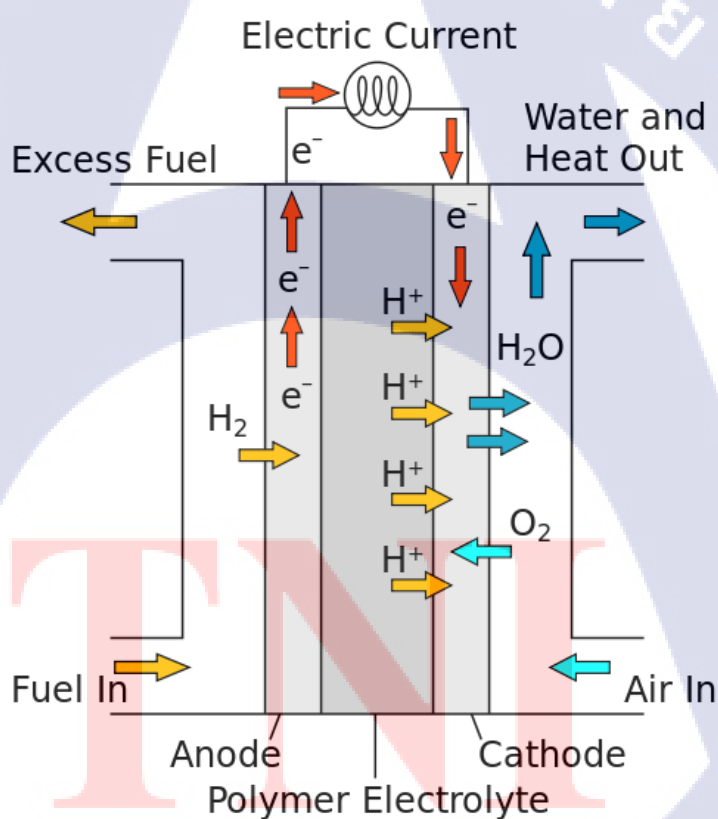
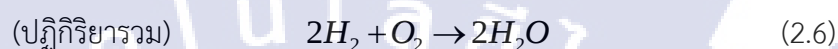
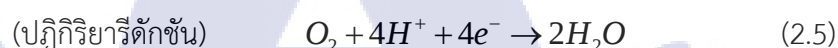
อิเล็กโตรไลต์ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์คือ พอลิเมอร์เมมเบรนชนิดเนฟลอนเมมเบรน (Nafion membranes) ซึ่งยึดติดกับขั้วอิเล็กโตรด ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้โมเลกุลไฮโดรเจนสัมผัสกับออกซิเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาขึ้นโดยตรง และยอมให้โปรตอนเคลื่อนที่ผ่านจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดเท่านั้น

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์

เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์มีลักษณะการทำงานคล้ายแบตเตอรี่ ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrochemical reaction) ในการเปลี่ยนพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง トラบเท่าที่มีการป้อนเชื้อเพลิงอย่างสม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์คือ กระแสไฟฟ้า น้ำและความร้อน จึงไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ภาวการณ์ทำงานที่อุณหภูมิต่ำ ในช่วง 60-100 องศาเซลเซียส จึงเป็นที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการทำงานด้านต่างๆ โดยกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเซลล์เกิดมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่ขั้วอิเล็กโตรดแต่ละด้าน เชื้อเพลิงหลักที่ใช้คือ แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนเป็นสารออกซิแดนท์ จากรูปที่ 2.7 แก๊สไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วแอโนด เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แพลทินัม ได้โปรตอน 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 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เป็นที่ทราบกันอย่างกว้างขวางว่ารูปแบบของท่อส่งก๊าซนั้นมีผลกระทบต่อสมรรถนะของเซลล์อย่างมาก ซึ่งรูปแบบของท่อส่งก๊าซที่ดีนั้นจะต้องทำให้ก๊าซตัวทำปฏิกิริยามีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ เพราะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของก๊าซตัวทำปฏิกิริยานำไปสู่การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ และการสร้างตัวของน้ำ ซึ่งจะช่วยลดการเสื่อมสภาพของเซลล์ ในทางตรงกันข้าม การกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอของก๊าซตัวทำปฏิกิริยานำไปสู่การกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และความเค้นเชิงกลในหน่วยเยื่อแผ่นและขั้วไฟฟ้า (Membrane Electrode Assembly) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเสื่อมสภาพของเซลล์ เนื่องด้วยเหตุผลดังที่กล่าวมานี้รูปแบบท่อส่งก๊าซจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญเนื่องจากลักษณะหน้าที่ที่ใช้ในการส่งก๊าซตัวทำปฏิกิริยาไปสู่ชั้นเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งยังช่วยนำน้ำส่วนเกินที่จะทำให้เกิดน้ำท่วมในเซลล์ออกมาจากเซลล์อีกด้วยโดยที่ Manso และคณะ [2] ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมที่วิจัยรูปแบบของท่อส่งก๊าซ และแบ่งตัวแปรทางกายภาพของท่อส่งก๊าซที่มีผลกระทบต่อพฤติกรรม และสมรรถนะของเซลล์ออกเป็น 8 ประเภก็คือ 1. รูปแบบท่อส่งก๊าซ 2.ทิศทางการไหลของก๊าซ 3.จำนวนท่อและความยาวท่อก๊าซ 4.การใช้แผ่นกั้นขวางทิศทางการไหลของก๊าซ 5.รูปร่างหน้าตัดของท่อ 6.ความกว้างของท่อและสันท่อ 7.ความลึกของท่อ 8.อัตราส่วนความลึกต่อความกว้างของหน้าตัดท่อ หลังจากการศึกษางานวิจัยแล้วพบว่า รูปทรงของท่อส่งก๊าซนั้นมีหลากหลายแบบท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ ได้รับความนิยมสูงที่สุด เนื่องจากเป็นรูปแบบที่เป็นพาณิชย์แล้ว ซึ่งได้ยอมรับกันอย่างแพร่หลายว่าให้สมรรถนะที่ดี และที่มากไปกว่านั้นคือการมีลักษณะที่เรียบง่ายอีกด้วย

แม้ว่าท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์นั้นให้สมรรถนะที่ดี และได้รับความนิยมสูง แต่ก็ยังมีการออกแบบและพัฒนาารูปแบบท่อส่งก๊าซรูปแบบใหม่ๆเกิดขึ้นเรื่อยๆ โดย Arvay และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาและนำเสนอรูปแบบของท่อส่งก๊าซซึ่งมีรูปแบบไอเดียพื้นฐานมาจากธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นท่อส่งก๊าซที่มีลักษณะคล้ายกิ่งไม้ หรือปอดของมนุษย์ เป็นต้น ซึ่งจากผลการวิจัยของ Arvay [3] และคณะ แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของก๊าซตัวทำปฏิกิริยาภายในเซลล์นั้นมีความสม่ำเสมอมากกว่าเมื่อเทียบกับท่อส่งก๊าซรูปแบบพื้นฐาน นั้นหมายความว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ท่อส่งก๊าซรูปแบบนี้จะมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าท่อส่งก๊าซรูปแบบพื้นฐาน ซึ่งเป็นเรื่องความสำคัญอย่างมากสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่จะผลิตเพื่อนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม 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

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

เมื่อ

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

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

φ	=	ความต่างศักย์	unit: V
V_{OC}	=	ความต่างศักย์เมื่อวงจรเปิด	unit: V

รูปโดยทั่วไปของสมการอนุรักษ์สารเคมี ซึ่งทำนายอัตราส่วนของมวลของสารเคมีในจุดต่างๆ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

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

เมื่อ

Y_i	=	อัตราส่วนมวลของสารเคมีในจุดต่างๆ
$\vec{J}_i$	=	ฟลักซ์การแพร่ของสารเคมีต่างๆ
R_i	=	แหล่งของสารเคมีเนื่องจากปฏิกิริยา

S_i = แหล่งของสารเคมี

พจน์แหล่งเชิงปริมาตรของสารเคมีในชั้นเร่งปฏิกิริยานั้นเป็นไปตามสมการข้างล่าง

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

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

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

เมื่อ

M_W = มวลโมเลกุลของสารเคมี unit: kg/kmol

กระแสไฟฟ้ารวมซึ่งถูกสร้างขึ้นในชั้นเร่งปฏิกิริยาของทั้งสองฝั่งนั้นต้องเท่ากัน ดังนั้นกระแสไฟฟ้าจึงถูกอนุรักษ์ด้วยสมการดังต่อไปนี้

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

เนื่องจากพลังงานเคมีทั้งหมดนั้นไม่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากกำกวมที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ ดังนั้นแหล่งความร้อนเชิงปริมาตรจึงสามารถเขียนได้ดังนี้

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

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

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

เมื่อ

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

ถึงแม้ว่าสมการ Stefan-Maxwell จะใช้อธิบายการแพร่ของสารเคมีหลายตัวในชั้นที่มีรูพรุน ระเบียบวิธีการประมาณแบบเชิงจางสามารถให้ผลคำตอบเมื่อสารเคมีนั้นมีเพียง 2 ชนิดได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นแบบจำลองสำหรับการตรวจสอบผลจะแบบจำลองนั้นจะใช้ระเบียบวิธีการประมาณแบบเชิงจางซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

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

เมื่อ

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

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	=	ตัวยากำลึงของการบล็อกรูพรุน	
s	=	พจน์ความอืดตัว	

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

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

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

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

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

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

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

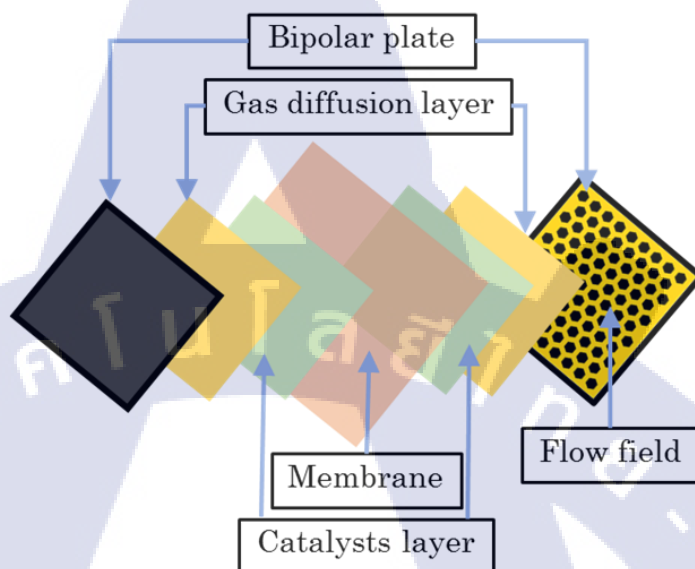
ความสามารถในการแพร่ของน้ำในเมมเบรนสามารถจำลองได้ด้วยความสัมพันธ์

ต่อไปนี้

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

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย



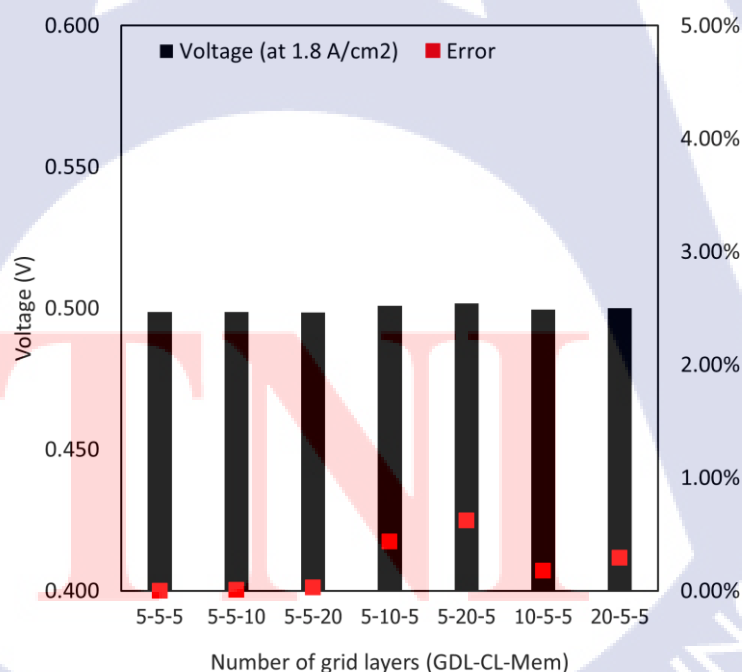
รูปที่ 3.1 โครงสร้างหลักของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์

ในการสร้างรูปทรงนั้นสามารถทำได้ในหลายๆ โปรแกรมคอมพิวเตอร์เช่น CATIA, ANSYS และ SolidWorks จุดมุ่งหมายของขั้นตอนนี้คือเพื่อกำหนดขนาดทางกายภาพของส่วนประกอบต่างๆ และความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมากเนื่องจากตัวแปรทางกายภาพนั้นเกี่ยวข้องโดยตรงต่อสมรรถนะภาพของเซลล์ ดังนั้นการสร้างรูปทรงที่ผิดขนาดอาจนำไปสู่ผลคำตอบที่ผิดพลาด

ANSYS FLUENT นั้นมีพื้นฐานมาจากเทคนิคการคำนวณชื่อไฟไนต์วอลุ่ม ซึ่งรูปทรงที่ถูกสร้างขึ้นจะต้องถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์เชิงปริมาตรย่อยๆ กระบวนการนี้สามารถทำได้ในหลากหลายโปรแกรมเช่น ANSYS Workbench, GAMBIT, หรือ ICEM CFD แต่เนื่องจากปรากฏการณ์ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์นั้นยุ่งยาก และซับซ้อนมาก การใช้เอลิเมนต์ที่มีคุณภาพสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการได้มาซึ่งผลคำตอบที่ลู่เข้า และเวลาคำนวณที่น้อยลง เอลิเมนต์แบบหกหน้าที่มีผิวโดยรอบเป็นสี่เหลี่ยมนั้นได้รับการยอมรับ และแนะนำว่าเป็นเอลิเมนต์ที่ดีที่สุดเนื่องจาก เอลิเมนต์ชนิดนี้จะไม่ก่อให้เกิดเอลิเมนต์แบบแหลมขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การลู่ออกของผลลัพธ์ได้ และถึงแม้ว่าการย่อยรูปทรงให้ละเอียดมากๆ หรือสร้างเอลิเมนต์ให้มีจำนวนมากๆนั้น จะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่แม่นยำขึ้น แต่เวลาที่ใช้คำนวณนั้นก็มากตามไปด้วย ความสมดุลระหว่างผลลัพธ์ที่แม่นยำและเวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงอย่างระมัดระวัง ดังนั้นการ

วิเคราะห์พื้นฐานอย่างการวิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อเมชจำเป็นที่จะต้องทำเพื่อยืนยันคุณภาพของผลลัพธ์ ในงานนี้กระบวนการสร้างเมชจะทำในโปรแกรม ANSYS ICEM CFD

สำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติเซลล์เชื้อเพลิงทั้งรูปทรงรังผึ้งแบบใหม่ และแบบเก่า ขนาด 5 ตารางเซนติเมตรนั้นถูกสร้างขึ้นในโปรแกรม ANSYS WORKBENCH ซึ่งมีโครงสร้างตามรูปที่ 3.1 ในส่วนของขนาดรูปทรงต่างๆในแบบจำลองที่ใช้ในงานนี้ ได้แสดงดังในตารางที่ 3.1 ในการแบ่งแบบจำลองสามมิติให้เป็นเอลิเมนต์เชิงปริมาตรย่อยๆ โดยใช้ โปรแกรม ANSYS ICEM CFD จะได้จำนวนเอลิเมนต์ที่ถูกแบ่งซึ่งคิดรวมทั้งหมดเป็น 647,472 เซลล์ สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงรังผึ้งแบบใหม่ และ 739,189 เซลล์ สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงรังผึ้งแบบเก่า ในงานวิจัยนี้ ก็ได้ใช้เซลล์จำนวน 5 เซลล์วางเรียงกัน ในทิศทางตามแนวลึก หรือ ตามทิศทางระนาบ (through-plane) ในแต่ละชั้นของหน่วยเยื่อแผ่นและขั้วไฟฟ้า เนื่องจากในงานที่แล้ว [4] มีการสำรวจว่า จำนวนเอลิเมนต์ในแต่ละชั้น (5, 10, 20 เซลล์ในแต่ละชั้น) ส่งผลให้เกิดความแตกต่างสูงสุดของความต่างศักย์เซลล์ที่ได้มาจากจำนวนเซลล์ที่แตกต่างกันนั้นอยู่ในช่วงเพียง 1% เมื่อเทียบกับ ตามรูปที่ 3.2 เพื่อลดจำนวนเอลิเมนต์ และทำให้ผลคำตอบนั้นง่ายขึ้น จำนวนเซลล์ 5 เซลล์ จึงถูกวางเรียงกันในทิศทางตามแนวลึกของทั้ง ชั้นการแพร่ของก๊าซ ชั้นเร่งปฏิกิริยา และเมมเบรน



รูปที่ 3.2 เปรียบเทียบการวิเคราะห์ความเป็นอิสระต่อเมช

ตารางที่ 3.1 ขนาดรูปทรงต่างๆในแบบจำลอง

ตัวแปร	ขนาด	หน่วย
ความสูงท่อ	0.8	mm
ความกว้างท่อ	0.8	mm
ความกว้างสันท่อ	0.8	mm
ความหนาแผ่นสองขั้ว	0.8	mm
พื้นที่เซลล์	5	cm ²
ความหนาชั้นแพร่ของก๊าซ	0.190	mm
ความหนาชั้นเร่งปฏิกิริยา	0.015	mm
ความหนาเมมเบรน	0.050	mm

เซลล์เชื้อเพลิงรังผึ้งแบบใหม่ได้รับการออกแบบให้มีขนาดของก้อนหกลีเทียมที่เล็กลง ซึ่งก้อนหกลีเทียมแบบใหม่นั้นได้ล้อมรอบวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลงครึ่งหนึ่งจากเดิม ในขณะที่ท่อส่งก๊าซนั้นแคบลง ขนาด 0.4 มิลลิเมตร ซึ่งยังคงความสูงของท่อส่งก๊าซไว้เท่าเดิมที่ 0.8 มิลลิเมตร จะทำให้มีก้อนหกลีเทียมเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม เมื่อเทียบกับแบบเก่า นอกจากนี้ เพื่อเพิ่ม contact area ระหว่าง bipolar plate และ GDL จึงมีการสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยม land area ไว้บริเวณขอบของเซลล์ ยกเว้นทางเข้า และทางออกของก๊าซ

เช่นเดียวกันกับงานที่แล้ว ในงานวิจัยนี้เราก็ได้ใช้รูปทรงหกลีเทียมแบบทั่วไปที่มีขนาดของมุมแต่ละมุมเท่ากับ 120° เพื่อที่จะควบคุม cell active area ให้อยู่ภายใน 5 ตารางเซนติเมตร นั้น จึงมีการกำหนดขนาดของโมเดลตามตารางที่ 3.2 ซึ่งแสดงตัวแปรรูปทรงของหกลีเทียมแต่ละก้อน

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรรูปทรงของหกลีเทียมแต่ละก้อน

ตัวแปร	ขนาดใหม่	ขนาดเก่า	หน่วย
ความสูงหกลีเทียม	0.8	0.8	mm
เส้นผ่านศูนย์กลาง (D)	0.8	1.6	mm
พื้นที่ผิวหกลีเทียม	0.554	2.217	mm ²
จำนวนหกลีเทียม	385	94	cells

ตารางที่ 3.3 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

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 ที่บริเวณทางออก

ของก๊าซทั้งฝั่งแอโนดและฝั่งแคโทดเช่นกันครับ โดยที่เงื่อนไขขอบเขตและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้รับคำแนะนำมาจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ของอาจารย์ณัฐพล ซึ่งได้มีการทดลองและทำการปรับให้มีความเหมาะสมมาอย่างดีแล้ว [4]

ดังที่ได้รับคำแนะนำโดย ANSYS ค่ามาตรฐานของเงื่อนไขการลู่เข้าใน FLUENT นั้นเพียงพอต่อปัญหาโดยส่วนมากซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวนั่นคือ การที่ระดับของเศษเหลือของทุกสมการลดลงเหลือระดับต่ำกว่า 10^{-3} ยกเว้นสมการพลังงานซึ่งถูกแนะนำให้เป็น 10^{-6} อย่างไรก็ตามในการสร้างแบบจำลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์นั้น เงื่อนไขดังกล่าวไปในข้างต้นนั้นไม่เพียงพอที่จะยืนยันว่าผลคำตอบนั้นได้ลู่เข้าอย่างสมบูรณ์ ซึ่งสังเกตได้จากการที่การตั้งค่ามาตรฐานของโปรแกรม ANSYS FLUENT เกี่ยวกับการตัดสินการลู่เข้าที่จะหยุดการคำนวณทันทีเมื่อเข้าเงื่อนไขที่กล่าวไปในข้างต้น ได้ถูกยกเลิกทันทีเมื่อโปรแกรมย่อยที่ใช้ในการคำนวณเซลล์เชื้อเพลิงนั้นถูกเรียกใช้งานขึ้นมาในโปรแกรม ANSYS FLUENT ผ่านส่วนต่อประสานผู้ใช้แบบข้อความ

แตกต่างจาก Arvay et al. [3] แบบจำลองนี้ใช้การกำหนดกระแสไฟฟ้าเป็นเงื่อนไขขอบเขตฝั่งแคโทด ดังนั้นค่าความต่างศักย์ของเซลล์จะถูกคำนวณในทุกๆรอบของการคำนวณแทนที่จะเป็นความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ความสม่ำเสมอของค่าความต่างศักย์ของเซลล์ดังกล่าวถูกใช้เป็นหนึ่งเงื่อนไขตัดสินการลู่เข้า

เพื่อที่จะยืนยันว่าผลคำตอบนั้นลู่เข้า วิธีที่สามที่ใช้สมมูลมวลมาเป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินเงื่อนไขการลู่เข้าถูกนำเสนอโดย Arvay et al. [3] ซึ่งก็คือการที่มวลที่ถูกใช้ไปที่คำนวณได้จากแบบจำลองนั้นจะต้องเท่ากับมวลที่ถูกใช้ไปที่คำนวณได้จากกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลอง อย่างไรก็ตามในกรณีนี้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าถูกกำหนดให้เป็นเงื่อนไขขอบเขตค่าความต่างศักย์ของเซลล์ ดังนั้นในงานนี้จึงใช้มวลที่ถูกใช้ไปเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่กำหนดเพื่อเทียบกับมวลที่ถูกใช้ไปที่ได้จากการคำนวณผ่านแบบจำลอง

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

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์นั้น จำเป็นเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับการเทียบผลกับผลการทดลองอย่างระมัดระวังเนื่องจากความ

ซับซ้อนและความยุ่งยากในการสร้างแบบจำลองเพื่อให้ได้ผลคำตอบมา ที่มักนำไปสู่ผลคำตอบที่ผิดอยู่เสมอ ทั้งนี้มีการเทียบผลหลากหลายรูปเช่น การตรวจสอบการกระจายตัวของน้ำในรูปแบบของเหลว การกระจายตัวของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และการใช้กราฟโพลาริเซชันซึ่งเป็นวิธีที่น่ายากที่สุด โดยในงานนี้ก็เช่นกัน



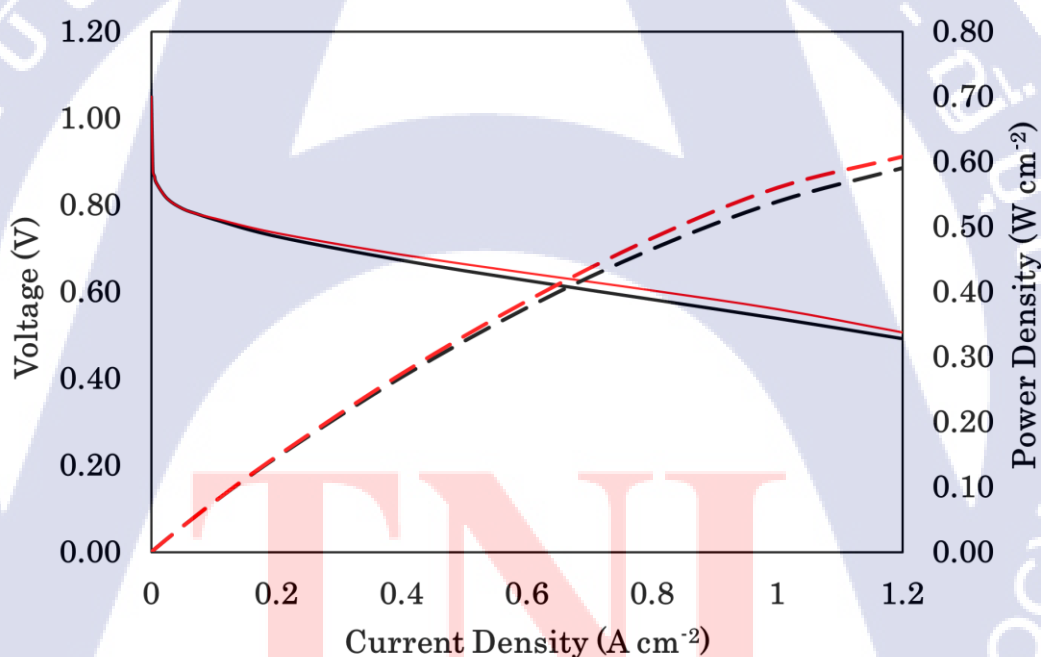
บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์

ผลที่ได้จากการทำแบบจำลองนั้นถูกนำมาเสนอและวิเคราะห์ในบทนี้ตามลำดับดังต่อไปนี้

- 4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้กราฟคุณลักษณะ
- 4.2 การตรวจสอบการกระจายตัวของแรงดันกระแส
- 4.3 การตรวจสอบการกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจน
- 4.4 การตรวจสอบการกระจายตัวของก๊าซออกซิเจน
- 4.5 การตรวจสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิ
- 4.6 การตรวจสอบการกระจายตัวของแหล่งความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี
- 4.7 การตรวจสอบแรงดันตก

4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้กราฟคุณลักษณะ



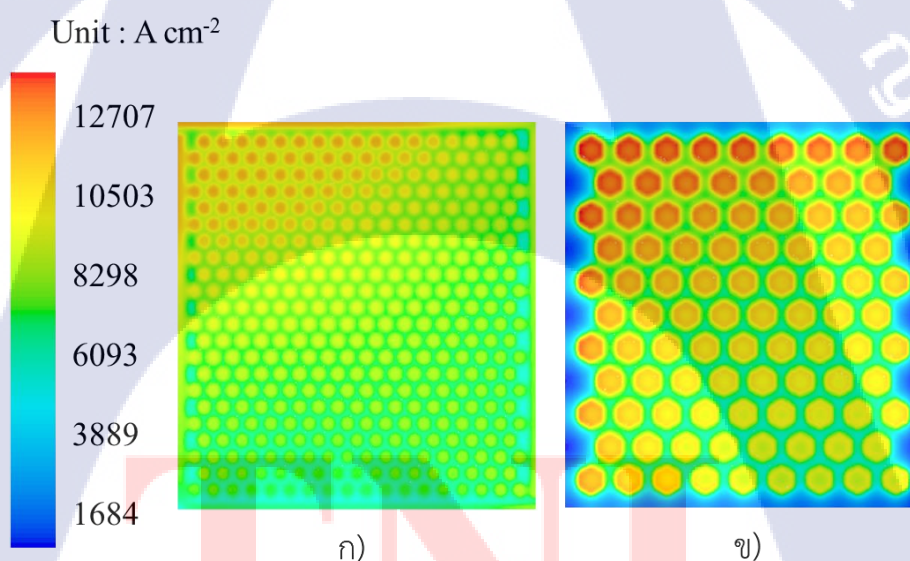
รูปที่ 4.1 กราฟคุณลักษณะของความหนาแน่นกระแสเมื่อเทียบกับแรงดัน (เส้นทึบ) และกำลังที่ผลิตของเซลล์เชื้อเพลิง (เส้นประ) ที่มีท่อส่งก๊าซ (—) รั้งฝั่งแบบใหม่ และท่อส่งก๊าซ (—) รั้งฝั่งแบบเก่า

ถ้าพิจารณากราฟคุณลักษณะโดยรวมแล้ว ณ จุดที่มีแรงดันกระแสเท่ากัน รั้งฝั่งแบบใหม่ให้ค่าความต่างศักย์ที่มากกว่ารวมทั้งกำลังที่ผลิตด้วย เมื่อเทียบกับรั้งฝั่งแบบเก่า ในช่วงแรงดันกระแสตั้งแต่ 0 ถึง 1.2 แอมป์ต่อตารางเซนติเมตร สาเหตุที่เกิดความแตกต่างในสมรรถนะของเซลล์นั้นสำหรับทั้งสองโมเดล อาจเกิดจากการกระจายตัวต่างๆ ที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นการกระจายตัวของ

ก๊าซไฮโดรเจน หรือก๊าซออกซิเจน ซึ่งรังผึ้งแบบใหม่อาจจะสามารถทำได้ดีกว่าในส่วนนี้ นอกจากนี้ การที่รังผึ้งแบบใหม่มีขนาดของก้อนหกละเอียดที่เล็กลง ซึ่งส่งผลทำให้ปริมาณก้อนหกละเอียดโดยรวม สูงกว่าแบบเก่า อาจช่วยบังคับให้ก๊าซต่างๆ ลงไปเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น ซึ่งสามารถนำไปสู่การแก้ไข พื้นที่ที่เกิด cold spot และ hot spot

โดยทั่วไปแล้ว เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์จะใช้งาน ณ ความต่างศักย์ ประมาณ 0.6 โวลต์ หรือความหนาแน่นแรงดันกระแสประมาณ 0.8 แอมป์ต่อตารางเซนติเมตร เพื่อใช้สำหรับการชาร์จ และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ PEFC stacks [5] การตรวจสอบถึงพฤติกรรม การขนส่งของก๊าซที่สามารถทำให้ท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่แสดงสมรรถนะของเซลล์ได้ดีกว่าแบบเก่าด้วยการกระจายตัวของก๊าซที่สม่ำเสมอกว่า จะได้รับการศึกษาต่อไป ณ จุดที่มีความหนาแน่นของแรงดันกระแส 0.8 แอมป์ต่อตารางเซนติเมตร

4.2 การตรวจสอบการกระจายตัวของแรงดันกระแส

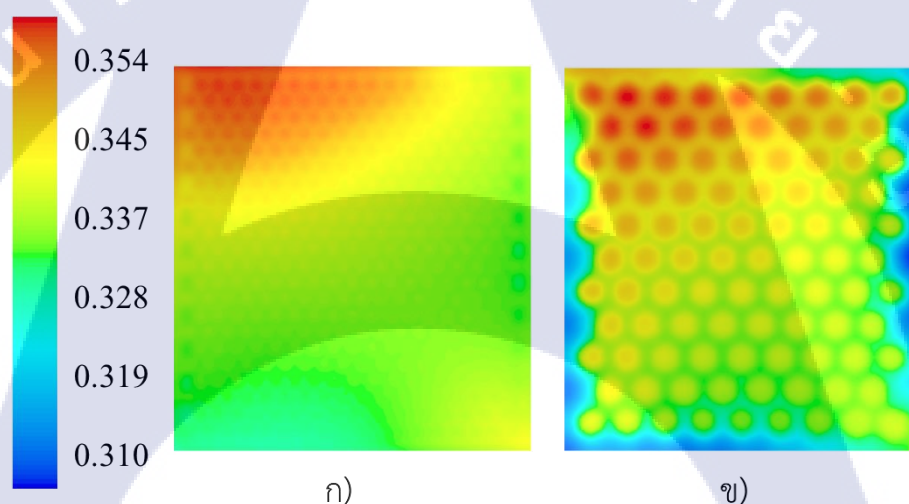


รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซรังผึ้ง ก) แบบใหม่ ข) แบบเก่า

เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะลดอายุการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงที่เกิดจาก hot spot และ cold spot การออกแบบท่อส่งก๊าซที่ดีควรที่จะสามารถใช้ประโยชน์พื้นที่ของเซลล์เชื้อเพลิงให้ได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยการกระจายการเกิดปฏิกิริยาเคมีไปให้ทั่วทั้งเซลล์ และขนส่งก๊าซต่างๆ ให้เกิด triple-phase boundary ได้ง่ายขึ้น ในงานวิจัยนี้ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า การกระจายตัวของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าของรังผึ้งแบบใหม่ มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมออย่างเห็นได้

ชัดเจนเมื่อเทียบกับรังผึ้งแบบเก่า โดยเฉพาะในบริเวณขอบของเซลล์ และทางเข้าของก๊าซออกซิเจน สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่มีศักยภาพที่เพียงพอที่สามารถลดปัญหาที่เกิดจาก hot spot และ cold spot ลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ นี่อาจสามารถแสดงให้เห็นได้อีกว่า ด้วยท่อที่เล็กลง และขนาดของก้อนหกลี้นที่เล็กลง อาจสามารถทำให้การกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซออกซิเจน กระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอว่า เนื่องจากรังผึ้งแบบใหม่แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของการเกิดปฏิกิริยาทั่วทั้งเซลล์ นอกจากนั้น ก็ควรระลึกไว้เสมอว่า land area แบบสี่เหลี่ยมก็ได้รับการออกแบบให้อยู่บริเวณขอบของเซลล์ ซึ่งสิ่งนี้ก็อาจจะมีส่วนช่วยทำให้ลดปัญหาของพื้นที่ cold spot ได้ ซึ่งนี่เป็นปัญหาใหญ่จากงานที่แล้ว

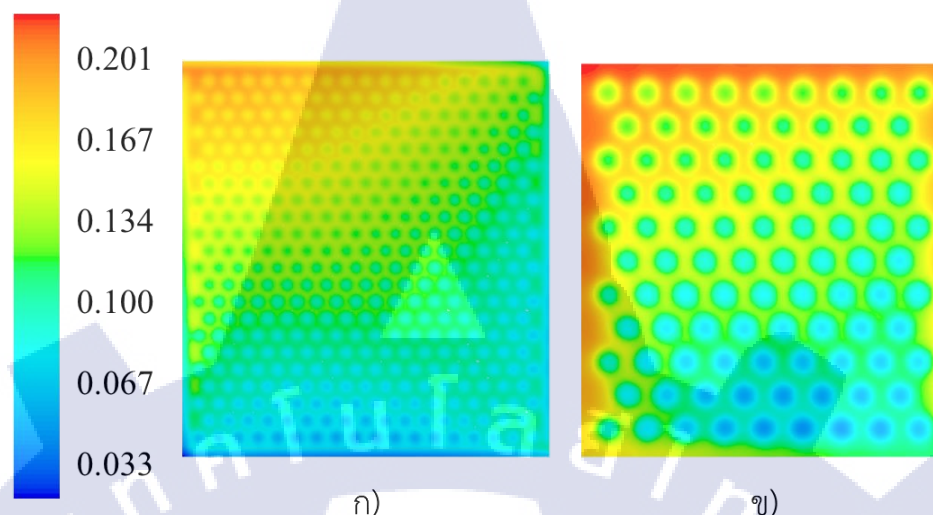
4.3 การตรวจสอบการกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจน



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจนของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซรังผึ้ง ก) แบบใหม่ ข) แบบเก่า

ผลเป็นไปอย่างที่คาดคิด การกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจนของท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่ มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอว่าแบบเก่า ด้วยขนาดของก้อนหกลี้นที่เล็กลง รังผึ้งแบบใหม่สามารถแสดงศักยภาพในการกระจายก๊าซไฮโดรเจนไปทั่วทั้งเซลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จนสามารถทดแทนในพื้นที่ที่ขาดแคลนก๊าซไฮโดรเจนบริเวณขอบของเซลล์แบบเก่าได้ ดังรูปที่ 4.3 ข) เนื่องจากการกระจายตัวของความหนาแน่นแรงดันกระแส และการกระจายตัวของก๊าซไฮโดรเจน ค่อนข้างหนาแน่น บริเวณทางเข้าของก๊าซออกซิเจน และบริเวณทางออกของก๊าซไฮโดรเจน ตามลำดับ เนื่องด้วยอัตรา การเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีความเข้มข้นสูง สิ่งนี้อาจทำให้การกระจายตัวของก๊าซออกซิเจนสูงในบริเวณเดียวกัน ซึ่งปรากฏการณ์นี้ก็ได้รับการยืนยัน ดังรูปที่ 4.4

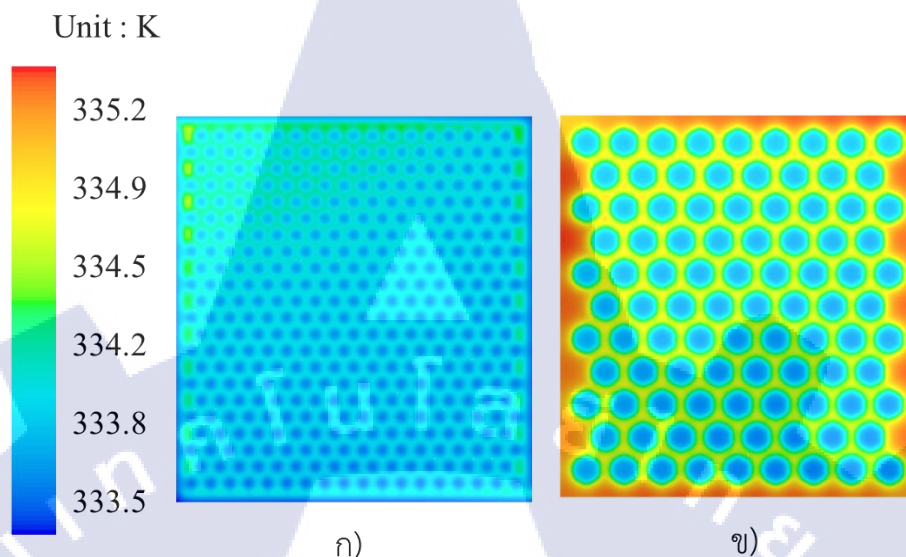
4.4 การตรวจสอบการกระจายตัวของก๊าซออกซิเจน



รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของก๊าซออกซิเจนของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี
ท่อส่งก๊าซรังผึ้ง ก) แบบใหม่ ข) แบบเก่า

ผลของท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่นั้นนอกจากจะแสดงการกระจายตัวของความหนาแน่นของกระแส และก๊าซไฮโดรเจนที่มีความสม่ำเสมอมากกว่าท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบเก่านั้น นอกจากนี้รังผึ้งแบบใหม่ยังสามารถกระจายตัวออกซิเจนได้ดีกว่าแบบเก่าอีกด้วย ดังรูปที่ 4.4 ก) สำหรับทั้งสองโมเดล ตั้งที่ตั้งสมมุติฐานไว้ ความหนาแน่นของการกระจายตัวของก๊าซออกซิเจนจะมีความเข้มข้นสูง ณ บริเวณพื้นที่ขาเข้าของก๊าซออกซิเจน และค่อยๆ ลดลงตามท่อส่งก๊าซจนถึงพื้นที่ขาออกของก๊าซออกซิเจน ถึงแม้ว่าท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบเก่าจะแสดงความหนาแน่นของการกระจายตัวของก๊าซออกซิเจนมากกว่า ณ บริเวณขาเข้าของก๊าซออกซิเจน และพื้นที่ขอบของเซลล์ ดังรูปที่ 4.3 ข) แต่ก๊าซไฮโดรเจนนั้นกระจายตัวไป ณ บริเวณเดียวกันของฝั่งแอโนดได้ยาก นี่ทำให้พื้นที่บริเวณขาเข้าออกซิเจน และพื้นที่ขอบของเซลล์ของท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบเก่า เป็นแบบ inactive areas หรือเรียกว่า stagnant flow area ซึ่งนำไปสู่การกระจายตัวความหนาแน่นของกระแสที่ไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4.2 ข) ในทางตรงกันข้าม ท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่นั้นสามารถที่จะกำจัดปัญหาเหล่านี้ได้ด้วยการกระจายตัวที่สม่ำเสมอกว่าของความหนาแน่นของกระแส ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซออกซิเจน ดังนั้นจึงทำให้สมรรถนะของเซลล์โดยรวมดีกว่า และอายุการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงก็มีมากกว่า

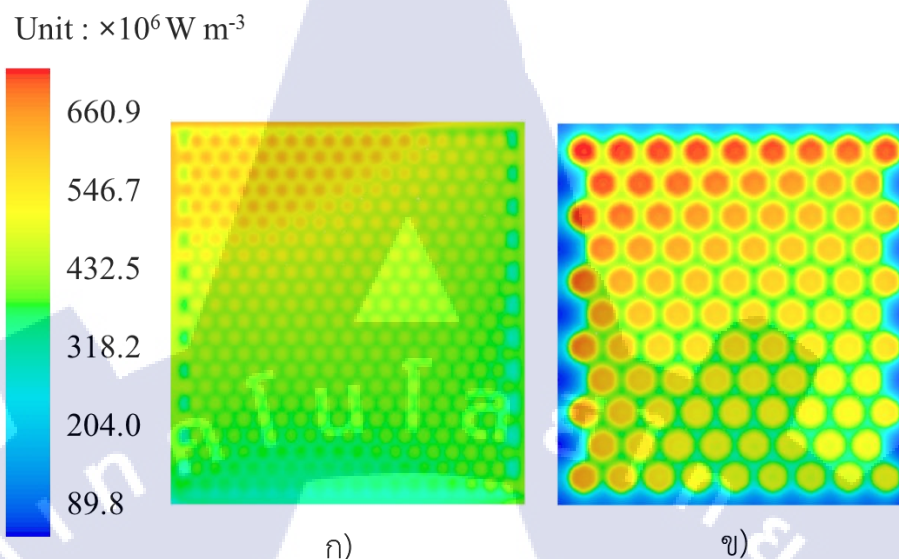
4.5 การตรวจสอบการกระจายตัวของอุณหภูมิ



รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี
ท่อส่งก๊าซรังผึ้ง ก) แบบใหม่ ข) แบบเก่า

ผลลัพธ์จากการกระจายตัวของอุณหภูมิของท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่แสดงให้เห็นว่าสามารถกระจายตัวได้ดีกว่าอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับแบบเก่า นอกจากนั้นอุณหภูมิบริเวณพื้นที่ใต้ land area จะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณพื้นที่ใต้ gas flow channel สำหรับทั้งสองโมเดล เนื่องจากความร้อนนั้นแพร่ไปที่ land area ได้มีประสิทธิภาพมากกว่าพื้นที่ว่าง หรือ void ในงานวิจัยก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่า มีความร้อนสะสมมากกว่าเมื่อเทียบกับรังผึ้งแบบใหม่ เนื่องจาก land area ไม่ค่อยติดกัน และด้วยท่อส่งก๊าซมีขนาดกว้างกว่า นี่เป็นเหตุผลที่ทำให้มีพื้นที่ void มากกว่าแบบใหม่ จึงทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่มากกว่ากระจายไปทั่วทั้งเซลล์ แต่อย่างไรก็ตาม จุดวิกฤติของอุณหภูมิที่มีผลต่อการทำงาน และความทนทานของ MEA ควรจะมีความแตกต่างของอุณหภูมิไม่เกิน 5 องศาเซลวิน โดยทั่วไป [6] ผลต่างของอุณหภูมิที่สูงที่สุดของรังผึ้งแบบใหม่อยู่ที่ประมาณ 1 องศาเซลวิน ซึ่งน้อยกว่ารังผึ้งแบบเก่าอยู่ที่ 0.5 องศาเซลวิน ถึงแม้ว่าทั้งสองโมเดลจะสามารถใช้งานภายใต้เงื่อนไขปกติได้ แต่สิ่งนี้ก็สามารถสรุปเป็นนัยได้ว่า การกระจายตัวของอุณหภูมิของท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่นั้น มีความสม่ำเสมอกว่าท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบเก่า

4.6 การตรวจสอบการกระจายตัวของแหล่งความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี

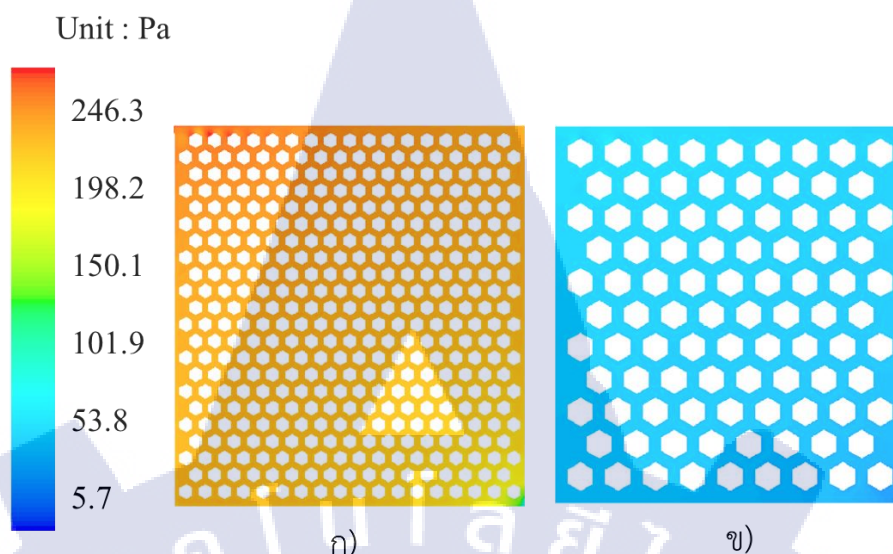


รูปที่ 4.6 การกระจายตัวของแหล่งความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซรังผึ้ง ก) แบบใหม่ ข) แบบเก่า

การกระจายตัวของแหล่งความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีของเซลล์เชื้อเพลิงนั้น สามารถเป็นตัวบ่งบอกพื้นที่ที่เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นได้ ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ปฏิกิริยาเคมีมักจะเกิดได้ land area มากกว่าใต้พื้นที่ gas flow channel ซึ่งก็มีความสอดคล้องกับการกระจายตัวความหนาแน่นกระแส และการกระจายตัวของอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.2 และ 4.5 ตามลำดับ กิจกรรมของการเกิดปฏิกิริยาของท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่นั้นแสดงให้เห็นว่า สามารถกระจายตัวการเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสม่ำเสมอมากกว่า ดังนั้นจึงสามารถความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งนำไปสู่การกระจายตัวของอุณหภูมิที่สม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ของเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่

4.7 การตรวจสอบแรงดันตก

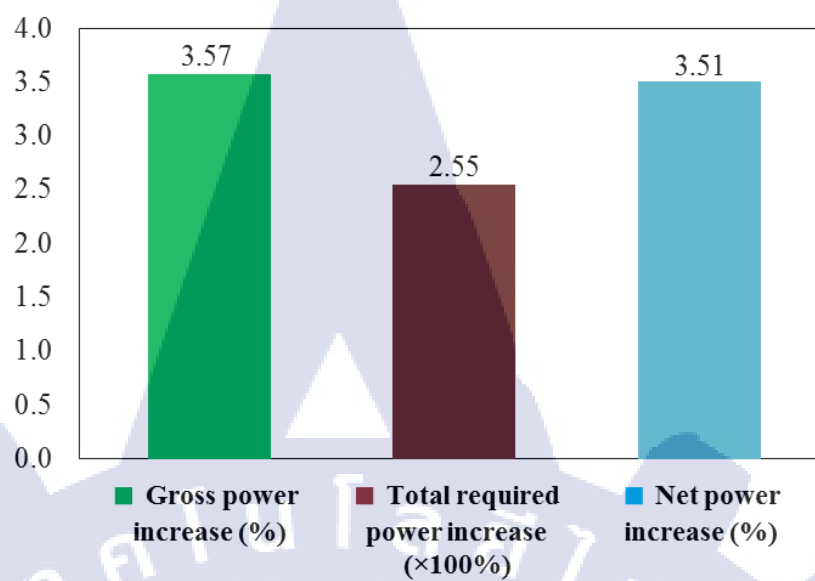
จากรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงการกระจายตัวของแรงดันตกของทั้งสองโมเดล ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่นั้น มีแรงดันตกที่มากกว่าแบบเก่า ซึ่งแรงดันตกเฉลี่ยที่มากที่สุดของรังผึ้งแบบใหม่จะอยู่ที่ 246 ปาสคาล ส่วนแบบเก่าจะอยู่ที่ 68 ปาสคาล ซึ่งท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่นั้นมีแรงดันตกที่มากกว่าแบบเก่าประมาณ 3 เท่า เนื่องจากขนาดของท่อส่งก๊าซที่แคบลง จึงส่งผลทำให้เกิดแรงเสียดทานเนื่องจากการไหลมากขึ้น



รูปที่ 4.7 การกระจายตัวของแรงดันตกของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี
ท่อส่งก๊าซรังผึ้ง ก) แบบใหม่ ข) แบบเก่า

กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณการผลิตกำลัง ได้รับการคำนวณโดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์เชิงตัวเลขของสมรรถนะระหว่างเซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่ และแบบเก่า ดังรูปที่ 4.8 เมื่อพิจารณาภาพรวมทั้งหมด ท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่ที่มีขนาดของก้อนเหล็กที่เล็กลงนั้น สามารถแสดงสมรรถนะของเซลล์ที่สูงกว่า และสามารถกระจายตัวก๊าซต่างๆ ได้สม่ำเสมอกว่าเมื่อเทียบกับท่อส่งก๊าซแบบเก่า นอกจากนั้นท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่ก็ยังสามารถให้กำลังรวมที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนประมาณ 3.57 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้ว่า พลังงานที่ต้องใช้ในการทดแทนแรงดันตกจะมากกว่าถึง 255 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม เนื่องจากขนาดของแรงดันตกที่มากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม กำลังสุทธิที่ได้จากท่อส่งก๊าซแบบใหม่นั้น ก็ยังคงสูงกว่าแบบเก่าอย่างชัดเจน ถึง 3.51 เปอร์เซ็นต์

แต่อย่างไรก็ตาม มีสิ่งหนึ่งที่ต้องระลึกไว้เสมอก็คือ การออกแบบท่อส่งก๊าซสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ที่เหมาะสมนั้น ไม่เพียงแต่สามารถกระจายตัวพฤติกรรมการณ์ขนส่งต่างๆ ได้อย่างสม่ำเสมอเพียงเท่านั้น แต่ต้องนึกถึงความสะดวกในการสร้างขึ้นจริงด้วย ดังนั้นการออกแบบท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่กว่าก็ควรที่จะได้รับการศึกษาต่อไป เพื่อความง่ายต่อการสร้างจริงในระดับอุตสาหกรรม โดยที่ยังสามารถคงสมรรถนะแบบเดิมไว้ได้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณการผลิตกำลังโดยรวมระหว่างเซลล์
เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่ และแบบเก่า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1. สรุปผลการวิจัย

จากการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ขนาด 5 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีท่อส่งก๊าซแบบรังผึ้ง และท่อส่งก๊าซแบบเซอร์เพนไทน์ท่อเดียว โดยใช้โปรแกรม ANSYS FLUENT นั้น ถูกรวบรวมดังต่อไปนี้

จากการศึกษาพบว่า ถึงแม้เซลล์เชื้อเพลิงที่มีท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่นั้นจะต้องใช้กำลังเพื่อทดแทนแรงดันตกมากกว่าถึง 255 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบเก่า แต่ท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่ก็ยังสามารถแสดงสมรรถนะของเซลล์ได้ดีกว่าอย่างชัดเจนโดยการให้กำลังสุทธิสูงขึ้นประมาณ 3.51 เปอร์เซ็นต์ และสามารถกระจายตัวพฤติกรรมต่างๆของก๊าซได้สม่ำเสมอมากกว่า ซึ่งนำไปสู่อายุการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ยาวนานมากขึ้น

แต่อย่างไรก็ตาม มีสิ่งหนึ่งที่ต้องระลึกไว้เสมอก็คือ การออกแบบท่อส่งก๊าซสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ที่เหมาะสมนั้น ไม่เพียงแต่สามารถกระจายตัวพฤติกรรมการขนส่งต่างๆ ได้อย่างสม่ำเสมอเพียงเท่านั้น แต่ต้องนึกถึงความสะดวกในการสร้างขึ้นจริงด้วย ดังนั้น การออกแบบท่อส่งก๊าซรังผึ้งแบบใหม่กว่าก็ควรที่จะได้รับการศึกษาต่อไป เพื่อความง่ายต่อการสร้างจริงในระดับอุตสาหกรรม โดยที่ยังสามารถคงสมรรถนะแบบเดิมไว้ได้

บรรณานุกรม

- [1] Limjeerajarus, N., Chitcharoenwong, S., Sujaritkitapaisarn, T. and Charoen-amornkitt, P. (2015). Investigation of Transport Behaviors in a Polymer Electrolyte Fuel Cell with a Honeycomb Flow Field Design, paper presented in the 4th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology , Matsuyama, Japan.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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. [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.
- [5] Wee, J.H. (2007). Applications of proton exchange membrane fuel cell systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.11(8), October 2007, pp. 1720-1738.
- [6] Pasaogullari, U. (2009). Heat and water transport models for polymer electrolyte fuel cells, In: Vielstich W, Yokokawa H, Gasteiger HA, editors. *Handbook of fuel cells*, Chichester, UK: John Wiley.