

การพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง

นายวิฑูรพงศ์ กลิ่นสุคนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

DEVELOPMENT OF DIRECT METHANOL FUEL CELL

Mr. Wiputpong Klinsukon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง
โดย	นายวิฑูรพงศ์ กลิ่นสุคนธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อันตรเสน)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.แก้ววดี พุกษาท)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชัย เทอดเทียนวงษ์)

วิพุทธพงศ์ กลิ่นสุคนธ์ : การพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง. (Development of Direct Methanol Fuel Cell) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์, 91 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง ที่ใช้แผ่นสแตนเลสและตาข่ายสแตนเลสเป็นอิเล็กโทรด และใช้ แนนีฟอนและนีโอเซ็ปตาเป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน นำเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ไปทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะและศึกษาวงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ขึ้น จากการศึกษา พบว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุดสำหรับวิทยานิพนธ์นี้คือเซลล์เชื้อเพลิงที่มีขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร โดยอิเล็กโทรดทั้งแอโนดและแคโทดทำจากแผ่นสแตนเลส ที่ด้านแอโนดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า ปริมาณ 0.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ด้านแคโทดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนทำจากแนนฟอนเมมเบรน 117 ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สร้างเอ็มอีเอโดยวิธีการกีดกันด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ด้วยแรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงโดยจ่ายสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 2 โมลาร์ แบบไม่มีการไหลในช่องทางไหลที่ด้านแอโนด และจ่ายก๊าซออกซิเจน ด้วยอัตราไหล 1 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 50 กิโลปาสคาลที่ด้านแคโทด ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์นี้ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าความต้านทานภายในเท่ากับ 0.522 โวลต์ 12.2 มิลลิแอมแปร์ 1.14 มิลลิวัตต์ และ 10 โอห์ม ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2554.....

527 06946 21 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : DIRECT METHANOL FUEL CELL / STAINLESS STEEL PLATE /
STAINLESS STEEL MESH / NEOSEPTA MEMBRANE

WIPUTPONG KLINSUKON : DEVELOPMENT OF DIRECT METHANOL FUEL
CELL. ADVISOR : ASSOC.PROF.MANA SRIYUDTHSAK, Ph.D., 91 pp.

This thesis presents fabrication of direct methanol fuel cell (DMFC). Stainless steel plate and stainless steel mesh were used as electrode. While Nafion and Neosepta membrane were used as electrolyte membrane. Optimization of the fuel cell and investigation of its equivalent circuit was performed. It was found that the best fuel cell was obtained from the following condition. The DMFC should have 1 cm² active area, having stainless steel plate as electrode material. The anode and cathode were modified with 0.9 mg/cm² Pt-Ru and 0.3 mg/cm² Pt, respectively. Nafion 117 membrane should be activated before using. The MEA should be hot pressed at temperature of 150°C with pressure of 30 kg/cm². It was found that open circuit voltage, maximum current, maximum power and fuel cell impedance were 0.522 V, 12.2 mA, 1.14 mW and 10 Ω respectively, when the DMFC was supplied with 2 M methanol under static condition to the anode and 1 l/min at 50 kPa of oxygen to cathode.

Department : Electrical Engineering..... Student's Signature

Field of Study : Electrical Engineering.... Advisor's Signature

Academic Year : 2011.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่ดูแลช่วยเหลือ และให้คำแนะนำความรู้แก่ข้าพเจ้า จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดังนี้ ศ.ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว รศ.ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ รศ.ดร.ชุมพล อ้นตรเสน รศ.ดร.เก็จวลี พฤษชาทร และ รศ.ดร.อภิชัย เทอดเทียนวงษ์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าในการเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ รศ.ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุญรัตน์ รศ.ดร.เก็จวลี พฤษชาทร นางสาวณภากาศ ไชยทรัพย์อนันต์ รวมทั้งอาจารย์และนิสิต จากห้องปฏิบัติการเซลล์เชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำความรู้เกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิง และให้ความช่วยเหลืออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการสนับสนุนจาก โครงการการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (EN276B)

ขอขอบคุณ บริษัท ยูนิคอร์ พรีเซียส เมทัลส์ (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ได้ให้น้ำยาชุบโลหะแพลทินัม (Platina N1) ปริมาณ 100 มิลลิลิตร มาให้ทดลองใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อน พี่ และน้องจากห้องปฏิบัติการไบโออิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนข้าพเจ้า จนสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้วิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า ทั้งด้านวิชาการและการวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	7
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....	7
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	7
2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน.....	8
2.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง.....	8
2.2 ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง.....	9
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง.....	14
2.4 วงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง.....	16
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 วัสดุและสารเคมี.....	21
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	23
3.3 การทดลอง.....	24
3.4 วิธีการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง.....	35
3.5 การศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิง.....	36
3.6 วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์.....	43
3.7 วิเคราะห์ข้อมูล.....	43

บทที่	หน้า
4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล.....	47
4.1 การศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิง.....	47
4.2 วงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์.....	76
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	78
5.1 สรุปผล.....	78
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	84
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	88
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง.....	2
4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงแนฟิออนเมมเบรนและนีโอเซ็ปตาเมมเบรน.....	49
4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ แนฟิออนเมมเบรนที่ปรับปรุงคุณภาพและไม่ปรับปรุงคุณภาพ.....	51
4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1.....	53
4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงทั้ง 3 แบบ ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า.....	55
4.5 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมอเตอร์ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุด ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 และ 5 ตารางเซนติเมตร.....	57
4.6 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส เอ็มอีเอกค/ไม่กัดกัดด้วยความร้อน	59
4.7 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงตรงที่เอ็มอีเอ กัดกัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100°C และ 125°C.....	61
4.8 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสที่เอ็มอีเอ ไม่กัดกัดด้วยความร้อน และเอ็มอีเอ กัดกัดด้วยความร้อน ที่ค่าอุณหภูมิ 137°C 150°C และ 160°C.....	62

ตารางที่	หน้า
4.9 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายใน ของเซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอไม่ก่อดัดด้วยความร้อนอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส และ ตาข่ายสแตนเลส.....	65
4.10 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และ ความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิง อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส และ อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสที่มีเอ็มอีเอ ก่อดัดด้วยความร้อน.....	67
4.11 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงตรง ที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแอโนดเท่ากับ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร.....	69
4.12 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงตรง ทดสอบที่เมทานอล ความเข้มข้น 1 2 4 และ 5 โมลาร์.....	71
4.13 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และ ความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด และใช้อากาศจากภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงที่ด้านแคโทด.....	74
4.14 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงตรง ที่มีการจ่ายเมทานอล แบบไม่มีการไหลในช่องทางไหล และแบบที่มีการไหลที่อัตรา 0.5 และ 0.62 มิลลิลิตรต่อนาที.....	76
5.1 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง	83

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	หลักการทํางานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง..... 9
2.2	ส่วนประกอบพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง..... 9
2.3	ส่วนประกอบของเอ็มอีเอ..... 10
2.4	โครงสร้างของเนฟิออน..... 11
2.5	ลักษณะโครงสร้างของแผ่นช่องทางไหล..... 13
2.6	โครงสร้างช่องทางไหล (Flow field)..... 13
2.7	กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง..... 15
2.8	วงจรไฟฟ้าสมมูล..... 16
2.9	การแทนที่วงจรไฟฟ้าเชิงเส้นด้วยวงจรสมมูลไฟฟ้าเทเวนิน..... 17
2.10	การแทนที่วงจรไฟฟ้าเชิงเส้นด้วยวงจรสมมูลไฟฟ้านอร์ตัน..... 18
2.11	วงจรไฟฟ้าสมมูลเทเวนินที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด..... 19
3.1	แผนผังการดำเนินงาน..... 24
3.2	เซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์..... 25
3.3	แผ่นช่องทางไหลที่ประดิษฐ์ 26
3.4	เอ็มอีเอที่ประดิษฐ์..... 27
3.5	อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน 27
3.6	อิเล็กโทรด..... 28
3.7	ประเก็นที่ประดิษฐ์..... 28
3.8	การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า..... 29
3.9	การตอบสนองของตาข่ายสแตนเลสที่ไม่ชุบ Pt และ ชุบ Pt ต่อสารละลาย โปแตสเซียมเพอร์ไซยาไนด์ (III) ($K_3 [Fe(CN)_6]$) โดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี..... 30
3.10	อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส และ อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส ที่ถูกเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า..... 31
3.11	เนฟิออนเมมเบรังก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพ..... 32
3.12	แผ่นรองรับแรงกดไมลาร์ฟิล์มและแผ่นสแตนเลส..... 33
3.13	เครื่องอัดด้วยความร้อน..... 34

ภาพที่	หน้า
3.14	34
3.15	35
3.16	36
3.17	44
3.18	45
3.19	46
4.1	48
4.2	49
4.3	49
4.4	50
4.5	50
4.6	52
4.7	53
4.8	54
4.9	54

ภาพที่	หน้า
4.10 ค่าความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง ขนาดพื้นที่ทำงาน 1 และ 5 ตารางเซนติเมตร.....	56
4.11 ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 และ 5 ตารางเซนติเมตร.....	56
4.12 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเอ็มอีเอไม่กดัดด้วยความร้อน.....	58
4.13 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอ กดัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตรและเอ็มอีเอไม่กดัดด้วยความร้อน.....	58
4.14 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100°C และ 125°C.....	60
4.15 กำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100°C และ 125°C.....	61
4.16 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสที่เอ็มอีเอ ไม่กดัดด้วยความร้อน และเอ็มอีเอ กดัดด้วยความร้อนที่ค่าอุณหภูมิ 137°C 150°C และ 160°C.....	62
4.17 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสที่เอ็มอีเอไม่กดัดด้วยความร้อนและ เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน ที่ค่าอุณหภูมิ 137°C 150°C และ 160°C.....	63
4.18 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอไม่กดัดด้วยความร้อน อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส และแผ่นสแตนเลส	64
4.19 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอไม่กดัดด้วยความร้อนอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสและแผ่นสแตนเลส	65
4.20 การซึมของตัวเร่งปฏิกิริยามาด้านหลังอิเล็กโทรด.....	65
4.21 ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส และอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส ที่เอ็มอีเอ กดัดด้วยความร้อน.....	66

ภาพที่	หน้า
4.22 ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า ของเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส และอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสที่เอมีโอเอ กดอัดด้วยความร้อน.....	67
4.23 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของ เซลล์เชื้อเพลิง ที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแอโนดเท่ากับ 0.3 0.6 0.9 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร.....	68
4.24 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแอโนดเท่ากับ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร.....	69
4.25 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของ เซลล์เชื้อเพลิง ทดสอบที่เมทานอลความเข้มข้น 1 2 4 และ 5 โมลาร์.....	70
4.26 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงทดสอบ ที่เมทานอลความเข้มข้น 1 2 4 และ 5 โมลาร์.....	70
4.27 ค่าแรงดันไฟฟ้าจากการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำการทดลองสลับระหว่างการทดลองเซลล์เชื้อเพลิงที่จ่ายก๊าซออกซิเจน และการทดลองเซลล์เชื้อเพลิง ที่ปล่อยให้แคโทดสัมผัสกับอากาศโดยธรรมชาติต่อเนื่องกัน.....	71
4.28 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลที่ประดิษฐ์ เปรียบเทียบระหว่างใช้อากาศจากภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงที่ด้านแคโทดและ จ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด.....	72
4.29 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของ เซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทดและ ใช้อากาศจากภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงที่ด้านแคโทด	73
4.30 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่มี การจ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทดและใช้อากาศจาก ภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงที่ด้านแคโทด	73
4.31 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของ เซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายเมทานอล แบบไม่มีการไหลในช่องทางไหล และ แบบที่มีการไหลที่อัตรา 0.5 และ 0.62 มิลลิลิตรต่ออนาที.....	75

ภาพที่	หน้า
4.32 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ที่มีการจ่ายเมทานอล แบบไม่มีการไหลในช่องทางไหล และ แบบที่มีการไหลที่อัตรา 0.5 และ 0.62 มิลลิลิตรต่อนาที.....	75
4.33 การหาค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์.....	77
4.34 วงจรไฟฟ้าสมมูลเทเวนินของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์.....	77
5.1 ภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง.....	84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้ถูกออกแบบและพัฒนาให้มีความสามารถใช้งานได้หลากหลายหน้าที่ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีความพร้อมของแหล่งจ่ายพลังงานที่เพียงพอและมีประสิทธิภาพ ที่จะช่วยให้อุปกรณ์เหล่านี้สามารถทำงานได้ โดยแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ แบตเตอรี่ แหล่งจ่ายเหล่านี้หากเป็นแบบปฐมภูมิที่ใช้แล้วทิ้งจะมีปัญหาเรื่องการกำจัดหลังการใช้งาน แต่หากเป็นแบบทุติยภูมิที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ก็จำเป็นต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากภายนอกในการอัดประจุไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้เวลาในการอัดประจุเป็นระยะเวลาหนึ่ง แบตเตอรี่ทั้งสองแบบนี้เมื่อหมดอายุการใช้งานแล้วจะเป็นขยะที่ย่อยสลายยากและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการพัฒนาแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าชนิดใหม่ที่มีประสิทธิภาพสามารถใช้งานในพื้นที่ห่างไกลไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลัก ไม่ต้องใช้เวลาในการอัดประจุ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จึงเป็นสิ่งที่นักวิจัยพยายามค้นคว้าเพื่อนำมาเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ทดแทนการใช้แบตเตอรี่

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่ใช้หลักการทางเคมีไฟฟ้าเปลี่ยนพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้า [1] ข้อดีของเซลล์เชื้อเพลิงคือ ไม่ต้องใช้ไฟฟ้าในการอัดประจุ สามารถใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลัก และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง คือ พลังงานไฟฟ้า และ น้ำ และสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดที่ใช้เมทานอล (Methanol) คือ พลังงานไฟฟ้า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

เซลล์เชื้อเพลิงมีอยู่หลายชนิด ซึ่งถูกแบ่งตามชนิดของอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ที่ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 1.1 อันได้แก่ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแอลคาไลน์ (Alkaline fuel cell) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid fuel cell) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง (Solid oxide fuel cell) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดคาร์บอเนตหลอม (Molten carbonate fuel cell) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนหรือเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพีอีเอ็ม (Proton exchange membrane fuel cell, PEMFC) และเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง (Direct methanol fuel cell, DMFC) [1, 2]

ตารางที่ 1.1 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง

ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง	อิเล็กโทรไลต์	ประจุเคลื่อนที่	เชื้อเพลิง	อุณหภูมิในการทำงาน (องศาเซลเซียส)
แอลคาไลน์	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	OH^-	ก๊าซไฮโดรเจน	60 - 120
กรดฟอสฟอริก	กรดฟอสฟอริก	H^+	ก๊าซไฮโดรเจน	~ 220
ออกไซด์แข็ง	ออกไซด์แข็ง	O^{2-}	ก๊าซไฮโดรเจน	~ 1000
คาร์บอนเนตหลอม	ลิเทียมและโพแทสเซียมคาร์บอเนต	CO_3^{2-}	ก๊าซไฮโดรเจน	~ 650
ฟิวเอ็ลเซลล์	เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน	H^+	ก๊าซไฮโดรเจน	50 - 100
เมทานอลโดยตรง	เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน	H^+	เมทานอล	30 - 80

จากตารางที่ 1.1 พบว่าเชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิงส่วนใหญ่คือ ก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งเป็นก๊าซอันตรายที่สามารถติดไฟได้ และเซลล์เชื้อเพลิงบางชนิด เช่น ชนิดออกไซด์แข็ง และชนิดคาร์บอนเนตหลอม มีอุณหภูมิในการทำงานสูง จึงทำให้การจัดการดูแลระบบของเซลล์เชื้อเพลิงเหล่านี้มีความยุ่งยาก ในขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง ซึ่งเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนามาจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดฟิวเอ็ลเซลล์ มีข้อดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจน เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้คือ เมทานอลซึ่งเป็นของเหลว และมีอุณหภูมิในการทำงานต่ำ จึงสามารถจัดการดูแลและขนย้ายระบบได้ง่าย

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรงมีอุปสรรคและปัญหาหลายอย่าง ที่ทำให้มีประสิทธิภาพและสมรรถนะต่ำกว่าที่คาดหวังในเชิงทฤษฎี ปัญหาเหล่านั้นได้แก่ ปัญหาการแพร่ของเมทานอลผ่านเมมเบรนจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทด (Methanol crossover) ปัญหาการกำจัดน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยา ปัญหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเมทานอลบนตัวเร่งปฏิกิริยา ปัญหาการจ่ายเชื้อเพลิงไปยังเซลล์และปัญหาต้นทุนการผลิตที่สูง มีงานวิจัยมากมายที่พยายามจะแก้ปัญหาลำเหล่านี้เพื่อให้ประสิทธิภาพ สมรรถนะและต้นทุนการผลิตของเซลล์เชื้อเพลิงดีขึ้น ซึ่งรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรงที่น่าสนใจมีดังต่อไปนี้

Yang และ Zhao [3] ได้ศึกษาผลของช่องทางไหลของแอโนด (Anode flow field) ที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างช่องทางไหลรูปแบบซิงเกิลเซอร์เพนไทน์ (single serpentine) กับรูปแบบขนาน (parallel) ที่ออกแบบให้มีอัตราส่วนของพื้นที่ช่องทางไหลต่อพื้นที่ของแอโนด (Open ratio) เท่ากัน ผลการศึกษาปรากฏว่า แบบซิงเกิลเซอร์เพนไทน์ ให้ผลสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงดีกว่า เพราะว่าที่อัตราส่วนของพื้นที่ช่องทางไหลต่อ

พื้นที่ของเอ็มอีไอเท่ากัน พื้นที่หน้าตัดของซิงเกิลเซอร์เพนไทน์จะเล็กกว่าแบบขนาน ซึ่งเมื่อจ่ายเมทานอลที่อัตราการไหลเท่ากัน จะทำให้ความเร็วของของเหลวในซิงเกิลเซอร์เพนไทน์มีมากกว่า เป็นผลให้อัตราการส่งถ่ายมวลของเมทานอลมากกว่าด้วย (Mass transfer) จึงทำให้มีเมทานอลไปทำปฏิกิริยากับเซลล์เชื้อเพลิงได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยในการดันให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาข้างนอกเซลล์เชื้อเพลิงด้วย

Zhang และคณะ [4] ศึกษาผลกระทบที่มีต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง ที่เกิดจากวิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาบนอิเล็กโทรด ระหว่างวิธี การขูด (Scraping) และวิธีการสเปรย์ (Spray) โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนามีส่วนของเอ็มอีไอ (MEA) ประกอบด้วย เมมเบรนทำจาก แนฟิออนเมมเบรน 117 (Nafion 117 membrane) และอิเล็กโทรดทำจากกระดาษคาร์บอน ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาด้านแอโนดคือ แพลทินัมรูทีเนียม (PtRu) และด้านแคโทดคือ แพลทินัม (Pt) จากผลการศึกษาพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่เตรียมอิเล็กโทรดด้วยวิธีการขูดมีสมรรถนะที่ดีกว่าวิธีการสเปรย์ เนื่องจากอิเล็กโทรดที่เตรียมด้วยวิธีการขูด มีพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความขรุขระน้อย และมีความราบเรียบดีกว่าวิธีการสเปรย์ ซึ่งมีผลช่วยลดค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อของตัวเร่งปฏิกิริยาและเมมเบรนได้ โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนามีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 67 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

Shao และคณะ [5] ได้ทำอิเล็กโทรดแบบใหม่ที่ใช้ตาข่ายไทเทเนียม (Ti mesh) เพื่อนำมาใช้แทนอิเล็กโทรดแบบทั่วไปที่ประกอบด้วยชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยากับผ้าหรือกระดาษคาร์บอน ที่มีขีดจำกัดในเรื่องการส่งถ่ายมวลของเมทานอลและการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยได้สร้างขั้วแอโนดที่ทำจากตาข่ายไทเทเนียมที่เคลือบด้วยโลหะผสมแพลทินัมกับรูทีเนียม ด้วยวิธีเทอร์มอลดีคอมโพสิชัน (thermal decomposition) ซึ่งแอโนดตาข่ายไทเทเนียมจะมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) จะช่วยให้เมทานอลแพร่ผ่านได้ง่ายขึ้น เมื่อนำไปทดสอบเปรียบเทียบกับขั้วแอโนดที่ทำจากผ้าคาร์บอนปรากฏว่า ที่ความหนาแน่นกระแส 200 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ขั้วแอโนดตาข่ายไทเทเนียม ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 412 มิลลิโวลต์ ส่วนแอโนดผ้าคาร์บอนให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 427 มิลลิโวลต์ ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกัน หากแต่ถ้าพิจารณาจากการที่ขั้วแอโนดตาข่ายไทเทเนียมสามารถสร้างได้ง่ายกว่าและราคาถูกกว่า จึงอาจกล่าวได้ว่า ขั้วแอโนดตาข่ายไทเทเนียมถือว่ามีสมรรถนะที่ดีกว่า สำหรับการที่แรงดันไฟฟ้าของขั้วแอโนดตาข่ายไทเทเนียมต่ำกว่าเล็กน้อย คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการแพร่ของเมทานอลจากด้านแอโนดไปยังด้านแคโทด และปัญหาของพื้นที่การเกิดปฏิกิริยาน้อย อาจเนื่องจากอนุภาคของแพลทินัมกับรูทีเนียม ที่ได้จากวิธีเทอร์มอลดีคอมโพสิชัน มีอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้

ยังได้นำตาข่ายไทเทเนียมมาทำขั้วแคโทดด้วยซึ่งจะทำการเคลือบแพลทินัมวิธีเดียวกับแอโนดตาข่ายไทเทเนียม แต่วก่อนเคลือบจะทำการเคลือบด้วยคาร์บอนที่ผสมกับเพฟลอน (PTFE) ก่อนเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เพื่อกันปัญหาน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทวมเซลล์เมื่อนำไปทดสอบเทียบกับแคโทดที่ทำจากกระดาษคาร์บอน ปรากฏว่าให้ผลที่ดีคือ ที่ค่าความหนาแน่นกระแส 200 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ให้แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 428 มิลลิโวลต์ ซึ่งใกล้เคียงกับแคโทดกระดาษคาร์บอนที่ได้ 427 มิลลิโวลต์ สรุปได้ว่าอิเล็กโทรดแบบตาข่ายไทเทเนียมนี้สามารถให้สมรรถนะที่ใกล้เคียงอิเล็กโทรดแบบผ้าและกระดาษคาร์บอน ซึ่งถ้าสามารถทำให้อนุภาคของแพลทินัมรูทีเนียมมีขนาดเล็กกว่านี้ และสามารถแก้ปัญหาการแพร่ของเมทานอลจากด้านแอโนดไปยังด้านแคโทดได้ อาจช่วยให้เซลล์เชื้อเพลิงมีสมรรถนะที่สูงขึ้น

ต่อมาในปีเดียวกัน Shao [6] ได้เปลี่ยนวิธีการเคลือบแพลทินัมกับรูทีเนียมบนตาข่ายไทเทเนียมเป็น วิธีอิเล็กโตรเคมีคอล เดโพสิชัน (Electrochemical deposition) ซึ่งจะมีผลทำให้อนุภาคของแพลทินัมกับรูทีเนียมมีขนาดเล็กลง ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่การเกิดปฏิกิริยา เมื่อนำแอโนดไทเทเนียมที่เคลือบด้วยวิธีใหม่นี้มาทำการศึกษาเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แอโนดแบบผ้าคาร์บอน พบว่าการใช้เมทานอลความเข้มข้นต่ำๆ เท่ากับ 0.5 โมลาร์ ที่ค่าความหนาแน่นกระแสต่ำ 100 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร แอโนดตาข่ายไทเทเนียมแบบใหม่สามารถให้แรงดันได้ 510 มิลลิโวลต์ ซึ่งใกล้เคียงกับแอโนดผ้าคาร์บอนที่ได้ค่าแรงดัน 525 มิลลิโวลต์ และสำหรับการทดลองที่ใช้เมทานอลความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ ที่ค่าความหนาแน่นกระแสสูง 200 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร แอโนดตาข่ายไทเทเนียมแบบใหม่สามารถจ่ายแรงดันได้ 300 มิลลิโวลต์ ส่วนแรงดันที่แอโนดผ้าคาร์บอนสามารถจ่ายได้คือ 0 มิลลิโวลต์ สาเหตุที่แอโนดแบบผ้าคาร์บอนมีค่าแรงดัน 0 มิลลิโวลต์ ทางผู้ทำวิจัยได้อธิบายว่าเป็นผลของปัญหาขีดจำกัดของการแพร่ของเมทานอล (Diffusion limiting) ซึ่งจะเห็นว่าแอโนดที่ทำจากตาข่ายไทเทเนียมให้ผลดีกว่าในเรื่องช่วยให้การส่งถ่ายมวลของเมทานอลดีขึ้น แต่ว่าถ้านำไปใช้ที่เมทานอลความเข้มข้นสูง พบว่ายังคงมีปัญหาของการแพร่ของเมทานอลจากแอโนดไปยังด้านแคโทดอยู่ เนื่องจากเมทานอลสามารถเข้ามาที่เมมเบรนได้ง่ายเกินไป

Tang และคณะ [7] เปรียบเทียบวิธีการเตรียมส่วน เอ็มอีเอ ของเซลล์เชื้อเพลิงระหว่างวิธีกดอัดด้วยความร้อน (Hot press MEA) และวิธีเคลือบด้วยปฏิกิริยาบนเมมเบรน (Catalyst coated membrane : CCM) จากการศึกษาพบว่า เอ็มอีเอที่เตรียมด้วยวิธีเคลือบด้วยปฏิกิริยาบนเมมเบรน มีพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าเอ็มอีเอที่เตรียมด้วยวิธีกดอัดด้วยความร้อนอย่างมาก และเมื่อนำเอ็มอีเอที่ประดิษฐ์มาทดสอบพบว่า เอ็มอีเอที่เตรียมด้วยวิธีเคลือบด้วยปฏิกิริยา

บนเมมเบรน เกิดการแพร่ของเมทานอลจากด้านแอโนดไปด้านแคโทด ต่ำกว่า 55% และมีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้ามากกว่า 36% เมื่อเทียบกับ เอ็มอีเอ ที่เตรียมด้วยวิธีกัดอัดด้วยความร้อน

Yuan และคณะ [8] พัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรงชนิด พาสซีฟ (Passive) ที่นำคาร์บอนนาโนทิวบ์ (Carbon nanotube : CNT) มาเป็นชั้นไมโครพอร์ส (Micro porous layer : MPL) ของอิเล็กโทรด ส่วน เอ็มอีเอประกอบด้วย แนนพอนเมมเบรน 117 อิเล็กโทรดทำจากกระดาษคาร์บอน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแอโนดคือ แพลทินัมรูทีเนียม และด้านแคโทดคือ แพลทินัม จากผลการศึกษาเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีชั้นไมโครพอร์ส ทำจากผงคาร์บอน (XC-72) พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้คาร์บอนนาโนทิวบ์ มีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 32.2 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการใช้คาร์บอนนาโนทิวบ์สามารถปรับปรุงรอยต่อระหว่างชั้นไมโครพอร์สกับชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ดีขึ้น มีผลช่วยลดค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงลง

Liu และคณะ [9] พัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรงแบบ แอร์บริธิง (Air breathing) ซึ่งเอ็มอีเอประกอบด้วย ส่วนเมมเบรน ทำจากแนพอนเมมเบรน 117 ที่ถูกเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาบนเมมเบรน ที่ด้านแอโนดคือ แพลทินัมรูทีเนียม และด้านแคโทดคือ แพลทินัม และส่วนของอิเล็กโทรดที่ด้านแอโนดทำจากกระดาษคาร์บอน และด้านแคโทดทำจากตาข่ายนิเกิลเคลือบด้วยทอง (Gold plated Ni mesh) ซึ่งรายงานว่ ตาข่ายนิเกิล จะช่วยให้การส่งผ่านมวลของก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทดดีขึ้นเมื่อเทียบกับกระดาษคาร์บอน จากผลการศึกษาพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนาให้ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 15.5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร

จากรายงานต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น พบว่ามีตัวแปรมากมายที่มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง ซึ่งส่วนประกอบที่มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงอย่างมากคือ เอ็มอีเอ (Membrane electrode assembly ; MEA) เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีของเซลล์เชื้อเพลิงจะเกิดขึ้นที่ส่วนนี้ ซึ่งเอ็มอีเอมีโครงสร้างประกอบด้วย อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน (Electrolyte membrane) ที่ถูกประกบด้วยอิเล็กโทรดทั้ง 2 ด้านคือ แอโนด (Anode) และแคโทด (Cathode) โดยที่อิเล็กโทรดจะถูกเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเซลล์เชื้อเพลิง โดยส่วนใหญ่ อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนที่ใช้ทดลองคือ แนนพอนเมมเบรน (Nafion membrane) อิเล็กโทรดที่ใช้ทดลองคือ ผ้าคาร์บอน (Carbon cloth) หรือกระดาษคาร์บอน (Carbon paper) และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ทดลองคือ แพลทินัม (Platinum ; Pt) หรือแพลทินัม-รูทีเนียม (Platinum

Ruthenium ; Pt-Ru) ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีราคาสูง นอกจากนี้รายงานการวิจัย [5, 10] พบว่าอิเล็กโทรด กระดาษและผ้าคาร์บอนจะมีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องการส่งถ่ายมวลของเมทานอล

เพื่อพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรงให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี และ ต้นทุนการผลิตไม่สูง อาจสามารถทำได้โดยการนำเอาแผ่นสแตนเลส (Stainless steel plate) หรือ ตาข่ายสแตนเลส (Stainless steel mesh) มาใช้เป็นอิเล็กโทรดของเซลล์เชื้อเพลิง เนื่องจากแผ่น สแตนเลสและตาข่ายสแตนเลส สามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูก เมื่อเทียบกับผ้าและกระดาษ คาร์บอน นอกจากนี้พบว่ามีรายงานวิจัย ที่นำตาข่ายสแตนเลสมาใช้เป็นแคโทดของเซลล์ เชื้อเพลิงชนิดจุลินทรีย์ (Microbial fuel cell) ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตา ข่ายสแตนเลสเป็นแคโทดมีสมรรถนะใกล้เคียงกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ผ้าคาร์บอนเป็นแคโทด [11] ด้วยเหตุนี้จึงคาดว่า แผ่นสแตนเลสและตาข่ายสแตนเลส สามารถนำมาใช้เป็นอิเล็กโทรดของเซลล์ เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรงได้

ในส่วนของอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนพบว่า นีโอเซปตาเมมเบรน (Neosepta membrane) ก็ เป็นเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange membrane) อีกชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับแนฟิออน เมมเบรน ซึ่งคาดว่าสามารถนำมาใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์ของเซลล์เชื้อเพลิงได้ ซึ่งยังไม่พบรายงาน วิจัยใดที่นำนีโอเซปตาเมมเบรนมาใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ จึงสนใจที่จะนำมาทดลองใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดมุ่งหมายที่จะประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรงรูปแบบ เซลล์เดี่ยว ศึกษาสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แผ่นสแตนเลสและตาข่ายสแตนเลสเป็น อิเล็กโทรด เปรียบเทียบสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนจากแนฟิออนเมม เบรนและนีโอเซปตาเมมเบรน จากนั้นนำเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ไปทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม ของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะ และศึกษาวงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง ที่ใช้แผ่นสแตนเลสและตาข่ายสแตน เลสเป็นอิเล็กโทรด และใช้แนฟิออนและนีโอเซปตาเป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน
2. ศึกษาวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะ
3. ศึกษาวงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรงขนาดเล็ก รูปแบบเซลล์เดี่ยว (Single cell)
2. นำเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์มาทดลองหาภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะ ได้แก่
 - 2.1 เปรียบเทียบเมมเบรนระหว่าง แนนีออนเมมเบรน กับ นีโอเซ็ปตาเมมเบรน
 - 2.2 อิเล็กโทรดที่ใช้ทดสอบ ได้แก่ ตาข่ายโลหะ (Metal mesh) และ แผ่นโลหะ (Metal plate)
 - 2.3 ศึกษาการปรับสภาพผิวอิเล็กโทรด ที่ใช้แพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
 - 2.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของเมทานอล ในช่วง 0 – 5 โมลาร์
 - 2.5 ศึกษาผลของอัตราการไหลของเมทานอล
3. ศึกษาวงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. การประดิษฐ์ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง
2. การปรับสภาพผิวอิเล็กโทรด ที่ใช้แพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
3. การเตรียม เอ็มอีเอ
4. การศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์หาภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะ
5. ศึกษาวงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

ได้เซลล์เชื้อเพลิงที่มีสมรรถนะที่ดี มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน สามารถผลิตได้ง่าย และทราบภาวะต่างๆ ของตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเซลล์

บทที่ 2

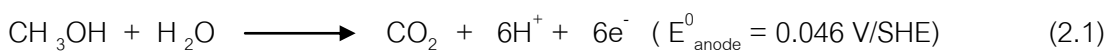
หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง ซึ่งประกอบด้วย หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง และวงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิง

2.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วคือ ขั้วแอโนด (Anode) และขั้วแคโทด (Cathode) และมีอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน (Electrolyte membrane) อยู่ตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของเมทานอลกับน้ำได้ผลิตภัณฑ์คือ อิเล็กตรอน โปรตอน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อิเล็กตรอนที่เกิดจะไหลออกสู่วงจรภายนอกหรือโหลด (Load) ไปยังขั้วแคโทด โปรตอนจะแพร่ผ่านอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนไปยังขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ระหว่างอิเล็กตรอนกับก๊าซออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์คือน้ำและความร้อน ดังสมการ 2.1, 2.2, 2.3 [1]

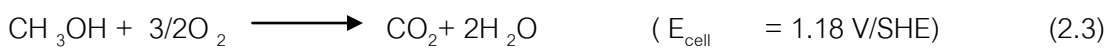
ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด

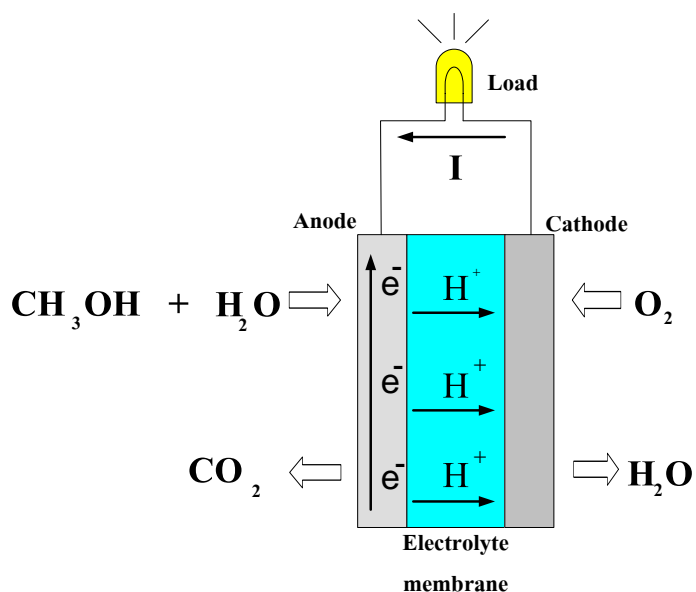


ปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทด



ปฏิกิริยารวม

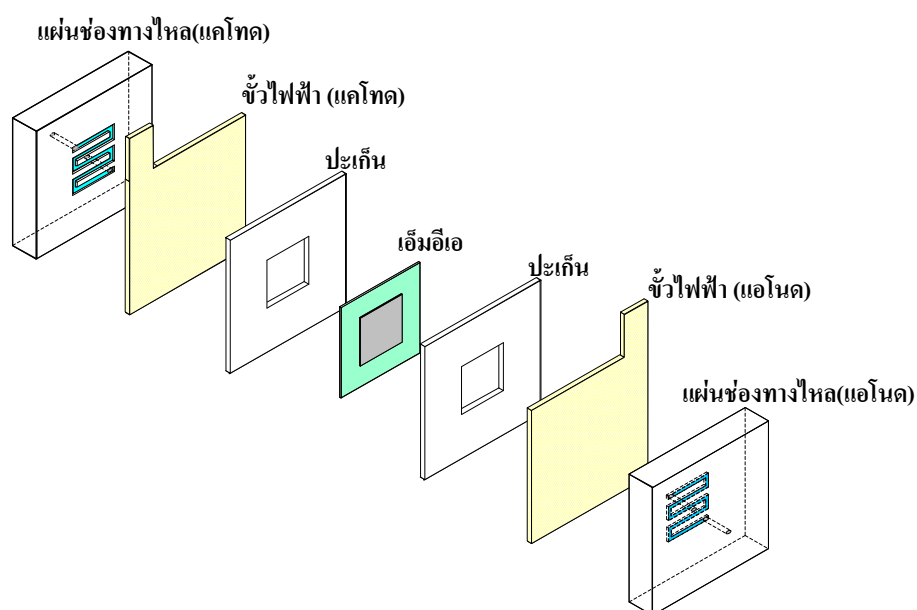




รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง

2.2 ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง

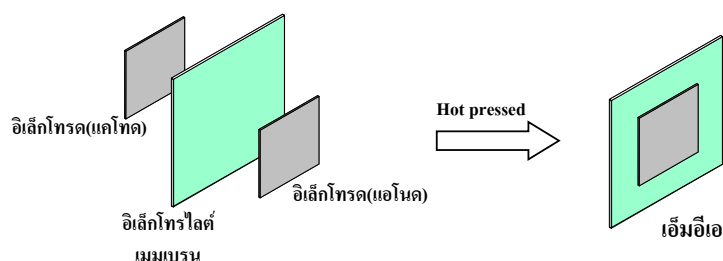
ส่วนประกอบพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง [12] ได้แก่ เอ็มอีเอ (Membrane electrode assembly ; MEA) แผ่นช่องทางไหล (Flow field plate) ขั้วไฟฟ้า (Current collector) และปะเก็น (Gasket) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง

2.2.1 เอ็มอีเอ (MEA)

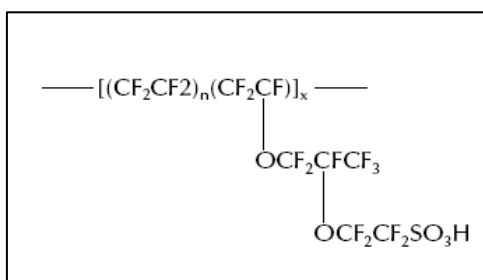
เอ็มอีเอ ถือว่าเป็นส่วนประกอบสำคัญมีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของเมทานอลและก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นที่ส่วนนี้ โครงสร้างของเอ็มอีเอ ประกอบด้วย อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนที่ถูกประกบด้วยอิเล็กโทรดแอโนดและแคโทดทั้ง 2 ด้าน ซึ่งอิเล็กโทรดทั้ง 2 นี้จะมีชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเคลือบอยู่ เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับเมทานอลและก๊าซออกซิเจน โดยทั่วไปวิธีการเตรียมเอ็มอีเอจะใช้วิธีการกดอัดด้วยความร้อน (Hotpress) อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนที่ถูกประกบด้วยอิเล็กโทรดทั้ง 2 ด้าน ที่ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง เพื่อให้อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนและอิเล็กโทรดยึดติดเป็นชิ้นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเอ็มอีเอ

2.2.1.1 อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน (Electrolyte membrane)

เป็นส่วนที่คั่นอยู่ระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด มีหน้าที่ให้โปรตอนที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดแพร่ผ่านไปยังขั้วแคโทด เพื่อเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนและอิเล็กตรอน และควรมีคุณสมบัติไม่ยอมให้เมทานอล อิเล็กตรอนและก๊าซออกซิเจนแพร่ผ่าน ดังนั้นเมมเบรนที่ใช้จะต้องมีความสามารถในการนำโปรตอนที่ดี เป็นฉนวนไฟฟ้า สามารถป้องกันการแพร่ซึมของเมทานอลและออกซิเจนได้ และยังต้องมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีเช่นเมทานอลได้ ซึ่งเมมเบรนที่ใช้กันส่วนใหญ่ที่พบในรายงานวิจัยสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงคือ เพอร์ฟลูออริเนตซัลโฟนิคแอซิดเมมเบรน (Perfluorinated sulfonic acid membrane) หรือมีชื่อทางการค้าว่า แนนฟิออน เมมเบรน [1] ที่พัฒนาโดย DuPont ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยเทฟลอน (Polymerized tetrafluoroethylene : PTFE) และ เพอร์ฟลูออริเนตไวนิลโพลีเอเทอร์ (Perfluorinated vinyl polyether) ที่เชื่อมต่อกันทางออกซิเจนอะตอม ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ที่ปลายสายของโพลีเมอร์จะมีกลุ่มกรดซัลโฟนิค (Sulfonic acid groups : $-SO_3H$) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้โพลีเมอร์มีความสามารถแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation) ได้



รูปที่ 2. 4 โครงสร้างของเนฟลอน [1]

นีโอเซ็ปตาเมมเบรน (Neosepta membrane) [13] เป็นเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนชนิดหนึ่ง พัฒนาโดยบริษัท Tokuyama ใช้ในอุตสาหกรรมการบำบัดน้ำเสีย และการผลิตเกลือจากน้ำทะเล นีโอเซ็ปตาเมมเบรนแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่ยอมให้ ไอออนบวกแพร่ผ่านได้ (Cation exchange membrane) เพราะเมมเบรนเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย หมู่ฟังก์ชันเนกาทีฟ (Negative functional groups) ได้แก่ กลุ่มกรดซัลโฟนิก (Sulfonic acid groups) และชนิดที่ยอมให้ไอออนลบแพร่ผ่าน (Anion exchange membrane) เพราะเมมเบรนเป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย หมู่ฟังก์ชันโพซิทีฟ (Positive functional groups) ได้แก่ กลุ่มควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (Quaternary ammonium groups)

2.2.1.2 อิเล็กโทรด (Electrode)

เซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วย 2 อิเล็กโทรด ได้แก่ แอโนดและแคโทด โดยแอโนดจะเป็นขั้วลบซึ่งเป็นที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลบนชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนแคโทดจะเป็นขั้วบวกซึ่งเป็นที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซออกซิเจนกับโปรตอนที่มาจากขั้วแอโนดและอิเล็กตรอนที่ส่งจากขั้วแอโนดผ่านวงจรภายนอก อิเล็กโทรดจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ชั้นแพร่ของก๊าซ (Gas diffusion layer, GDL) และชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer)

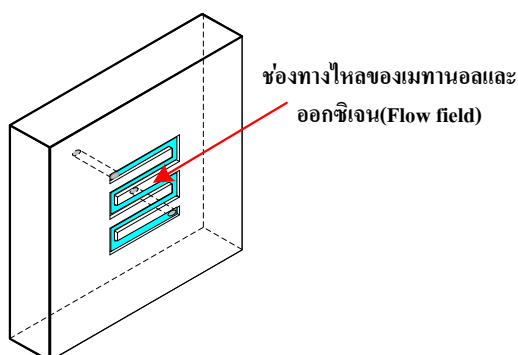
ชั้นแพร่ของก๊าซ (Gas diffusion layer, GDL) เป็นส่วนที่เป็นช่องทางไว้ให้ เมทานอล อากาศหรือก๊าซออกซิเจนจากภายนอกผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยาบนชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้อย่างสม่ำเสมอ และเป็นช่องทางปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาที่ด้าน แอโนดและแคโทดออกมาสู่ภายนอกเซลล์เชื้อเพลิง รวมทั้งยังเป็นส่วนที่นำอิเล็กตรอนที่เกิดจากปฏิกิริยามายังขั้วไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อนำสู่วงจรภายนอก ดังนั้นคุณสมบัติที่สำคัญของ

ชั้นแพร่ของก๊าซ คือ มีความพรุนและมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ดี วัสดุที่นิยมใช้ในงานวิจัยส่วนมาก คือ ฝ้ายคาร์บอนและกระดาษคาร์บอน

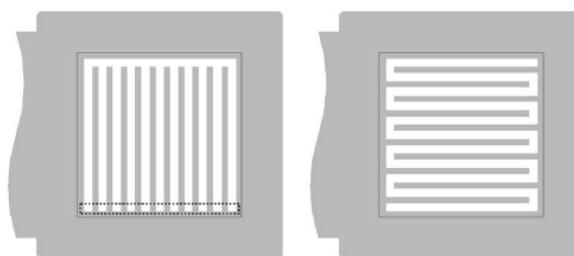
ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst layer) เป็นชั้นที่ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเกิดขึ้น ตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยกระตุ้นให้เมทานอลเกิดการแตกตัวเป็นไฮโดรเจน โดยจะไปช่วยลดระดับพลังงานกระตุ้น (Activation energy) ของการเกิดปฏิกิริยา ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาสูง มีความทนทาน มีความเสถียร นำไฟฟ้าได้ดี และราคาไม่สูง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมนำมาใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรงคือ แพลทินัม (Pt) เนื่องจากมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีสูง มีความสามารถทนต่อการกัดกร่อน และมีความเสถียร แต่พบว่าในกระบวนการแตกตัวของเมทานอลเป็นไฮโดรเจนนั้น จะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกิดขึ้นด้วย ซึ่งจะถูกดูดซับโดยแพลทินัม ส่งผลให้พื้นที่เกิดปฏิกิริยากับเมทานอลของแพลทินัมลดลง ดังนั้นจึงมีการแก้ปัญหาโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะผสมที่มีแพลทินัมเป็นส่วนประกอบหลัก (Pt-based catalyst) ซึ่งพบว่าโลหะผสมระหว่างแพลทินัมกับรูทีเนียม (PtRu) ให้ผลดี [14, 15]

2.2.2 แผ่นช่องทางไหล (Flow field plate)

แผ่นช่องทางไหล เป็นช่องทางไว้ส่งเมทานอลและก๊าซออกซิเจนไปยังส่วนของเอมีอ์เอ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาและบางงานวิจัยอาจใช้เป็นตัวนำกระแสออกมาสู่วงจรภายนอกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.5 คุณสมบัติของแผ่นช่องทางไหล คือ ต้องมีความแข็งแรงทนทานต่อแรงเชิงกล ทนต่อสารเคมีและอาจมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าด้วย วัสดุที่ใช้ ได้แก่ โลหะ แก้วไฟต์ และพวกวัสดุพลาสติก เช่น อะคริลิก โครงสร้างสำคัญของแผ่นช่องทางไหล คือ ช่องทางไหล (Flow field) ของเมทานอลและออกซิเจน ซึ่งเป็นส่วนที่นำพาเมทานอลและออกซิเจนเข้าสู่ชั้นแพร่ของก๊าซหรืออิเล็กโทรดของเอมีอ์เอ ลักษณะโครงสร้างของช่องทางไหลมีหลายรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ตัวอย่างของช่องทางไหล รูปแบบซิงเกิลเซอร์เพนไทน์ (single serpentine) และ รูปแบบขนาน (parallel) [3]



รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นช่องทางไหล



(ก) แบบขนาน

(ข) แบบซิงเกิลเซอร์เพนไทน์

รูปที่ 2.6 โครงสร้างช่องทางไหล (Flow field) (ก) แบบขนาน และ (ข) แบบซิงเกิลเซอร์เพนไทน์ [3]

2.2.3 ขั้วไฟฟ้า (Current collector)

เป็นส่วนที่นำกระแสที่เกิดที่อิเล็กโทรดออกสู่วงจรรภายนอก คุณสมบัติของขั้วไฟฟ้าจะต้องมีความสามารถนำไฟฟ้าได้ดี ทนทานต่อการกัดกร่อนของเมทานอลได้ มีค่าการนำความร้อนต่ำเพื่อที่จะรักษาระดับอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงและมีพื้นที่ราบเรียบสม่ำเสมอ วัสดุที่ใช้ได้แก่ ทองแดง ทองเหลือง และ สแตนเลส เป็นต้น

2.2.4 ปะเก็น (Gasket)

เป็นตัวช่วยป้องกันการรั่วของเมทานอลและก๊าซออกซิเจนหรืออากาศที่จ่ายให้แก่เซลล์เชื้อเพลิง ที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อของส่วนประกอบต่างๆ จากตัวเซลล์เชื้อเพลิง รวมทั้งเป็นตัวป้องกันการลัดวงจรระหว่างขั้วไฟฟ้าของตัวเซลล์เชื้อเพลิง ดังนั้นวัสดุที่นำมาใช้ต้องมีความทนทานต่อเมทานอล มีความยืดหยุ่น และมีความต้านทานไฟฟ้าสูง เช่น แผ่นยางซิลิโคน

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง

เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงที่จ่ายให้กับโหลดความต้านทานค่าต่างๆ มาเขียนกราฟ จะได้กราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้ามีลักษณะแสดงดังรูปที่ 2.7 พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่คาดหวังในเชิงทฤษฎีที่มีค่าประมาณ 1.18 โวลต์ ซึ่งลักษณะของกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น มีสาเหตุมาจากการสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในระบบของเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งพบว่ามีอยู่ 4 แบบ ได้แก่ การสูญเสียเนื่องจากการแพร่ข้ามฝั่งของเชื้อเพลิง (Fuel crossover) การสูญเสียเชิงแอคติเวชัน (Activation losses) การสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของเซลล์เชื้อเพลิง (Ohmic losses) และการสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่านมวลของเชื้อเพลิง (Mass transport losses) [1,16]

2.3.1 การสูญเสียเนื่องจากการแพร่ข้ามฝั่งของเชื้อเพลิง (Fuel crossover)

ขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงยังไม่จ่ายกระแสให้กับโหลด จากกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้างแสดงในรูปที่ 2.7 พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit voltage : V_{oc}) ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้ส่วนมากจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่คาดหวังเชิงทฤษฎีที่มีค่าประมาณ 1.18 โวลต์ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตกลงนี้ เป็นผลจากการมีเชื้อเพลิงจากด้านแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงแพร่ผ่านอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน ข้ามไปยังด้านแคโทด แล้วไปเกิดปฏิกิริยากับอิเล็กโทรดที่ด้านแคโทด ทำให้เกิดมิกซ์โพเทนเชียล (Mixed potential) ขึ้นที่ด้านแคโทด ซึ่งทำให้ศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่ด้านแคโทดลดลง มีผลทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง

2.3.2 การสูญเสียเชิงแอคติเวชัน (Activation losses)

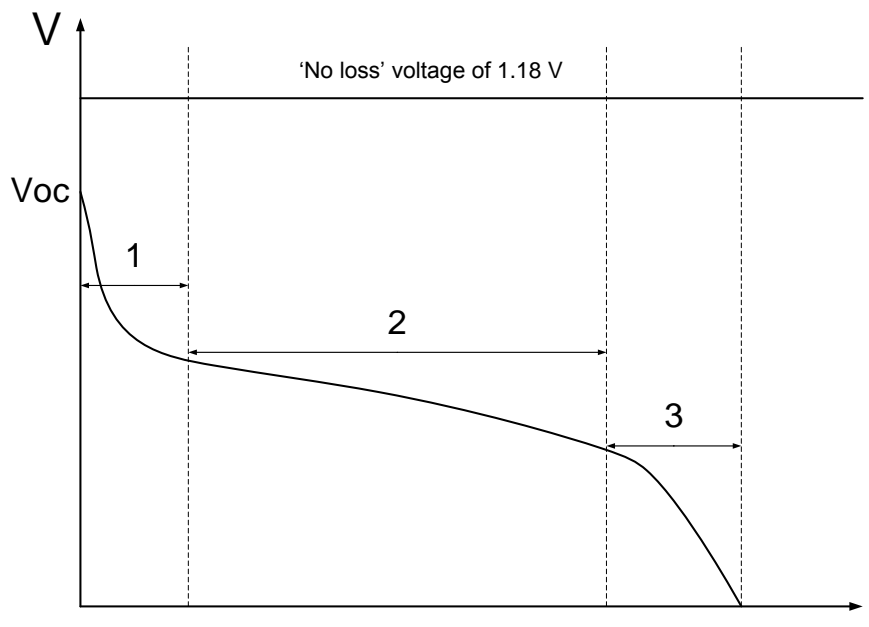
เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงเริ่มจ่ายกระแสให้แก่โหลด พบว่าตอนที่จ่ายกระแสค่าต่างๆ ดังแสดงในช่วงที่ 1 ของกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจะตกลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการตกลงของแรงดันไฟฟ้านี้มีสาเหตุมาจาก ความช้าของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เกิดบนผิวของอิเล็กโทรด ซึ่งวิธีการลดผลของการสูญเสียเชิงแอคติเวชันได้แก่ การเพิ่มอุณหภูมิการทำงานให้แก่เซลล์เชื้อเพลิง การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพ และการเพิ่มพื้นที่ผิวการเกิดปฏิกิริยาของอิเล็กโทรด เป็นต้น

2.3.3 การสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของเซลล์เชื้อเพลิง (Ohmic losses)

การตกลงของแรงดันไฟฟ้าในช่วงที่ 2 ของกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่าแรงดันไฟฟ้าจะตกลงอย่างช้าๆ และมีลักษณะเป็นเชิงเส้น ซึ่งการสูญเสียในส่วนนี้มีสาเหตุมาจากความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิง ที่ประกอบด้วยความต้านทานการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านรอยต่อของส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์เชื้อเพลิง ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาและอิเล็กโทรด และความต้านทานการเคลื่อนที่ของโปรตอนผ่านอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนและชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งวิธีการลดการสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของเซลล์เชื้อเพลิง ได้แก่ การใช้อิเล็กโทรดและตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความนำไฟฟ้าสูง และการลดความหนาของอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน

2.3.4 การสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่านมวลของเชื้อเพลิง (Mass transport losses)

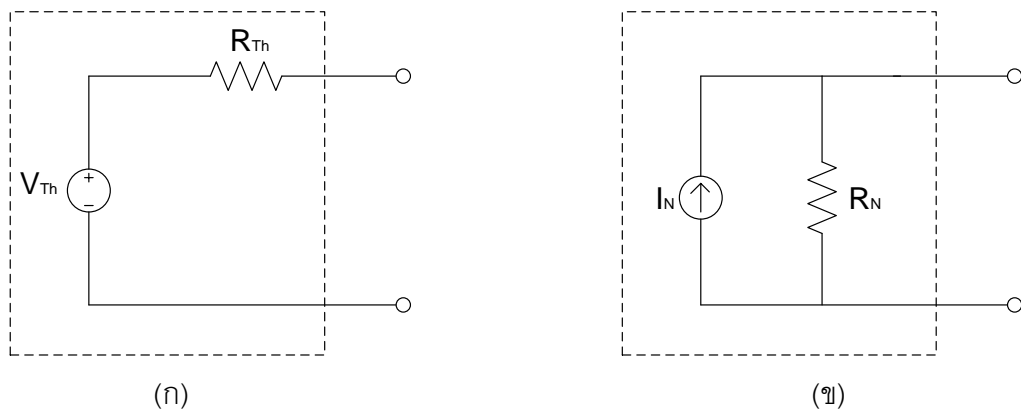
ช่วงที่ 3 ของกราฟกระแสและแรงดันไฟฟ้าเป็นช่วงที่เซลล์เชื้อเพลิงจ่ายกระแสสูง จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าจะตกลงอย่างรวดเร็วมาก ซึ่งมีสาเหตุมาจากความสามารถของการส่งเชื้อเพลิงไปที่ผิวของอิเล็กโทรดไม่เพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากในช่วงที่เซลล์เชื้อเพลิงจ่ายกระแสสูง เชื้อเพลิงจะถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วในการเกิดปฏิกิริยาที่ผิวอิเล็กโทรด



รูปที่ 2.7 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง

2.4 วงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง

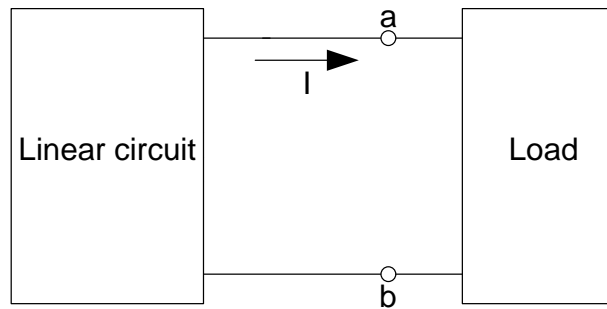
เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง สามารถแสดงลักษณะให้อยู่ในรูปของวงจรไฟฟ้าสมมูลได้ โดยใช้รูปแบบวงจรไฟฟ้าสมมูลเทเวนิน (Thevenin equivalent circuit) หรือ วงจรไฟฟ้าสมมูลนอร์ตัน (Norton equivalent circuit) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า V_{Th} คือแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit voltage ; V_{OC}) ของเซลล์เชื้อเพลิง แหล่งจ่ายกระแส I_N คือค่ากระแสลัดวงจรของเซลล์เชื้อเพลิง และความต้านทาน R_{Th} และ R_N คือความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งสามารถหาค่าโดยใช้หลักการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power transfer) [17]



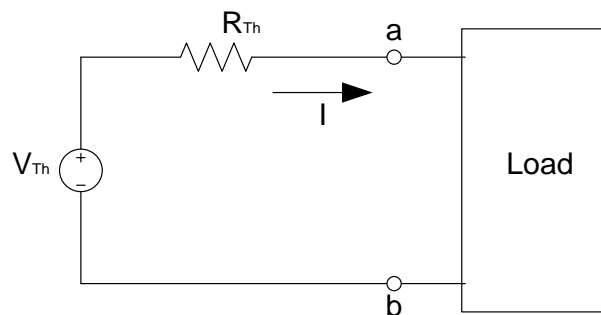
รูปที่ 2.8 วงจรไฟฟ้าสมมูล (ก) วงจรไฟฟ้าสมมูลเทเวนิน (ข) วงจรไฟฟ้าสมมูลนอร์ตัน

2.4.1 ทฤษฎีบทเทเวนิน (Thevenin 's Theorem)

ทฤษฎีบทเทเวนิน กล่าวว่าวงจรไฟฟ้าเชิงเส้น 2 ปลาย (A linear two – terminal circuit) สามารถถูกแทนที่โดยวงจรไฟฟ้าสมมูลเทเวนิน ที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 1 ตัว ที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน 1 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งแรงดันไฟฟ้า V_{th} คือ แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่ตกคร่อมปลายวงจร a-b และความต้านทาน R_{th} คือค่าความต้านทานขาเข้าหรือความต้านทานสมมูลที่ปลายวงจร a-b ในขณะที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระ (Independent sources) ของวงจรไม่ทำงาน



(ก)

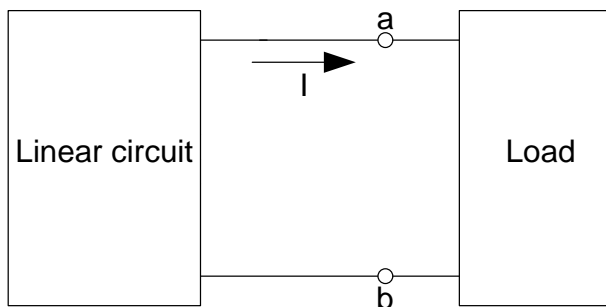


(ข)

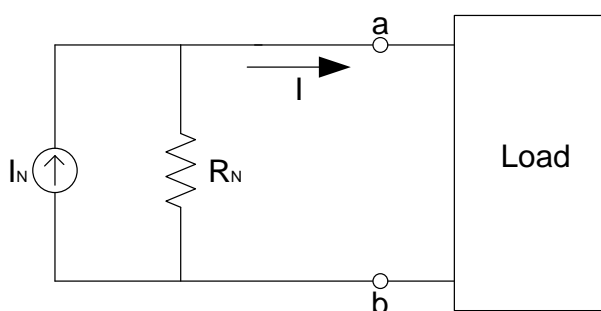
รูปที่ 2.9 การแทนที่วงจรไฟฟ้าเชิงเส้นด้วยวงจรไฟฟ้าสมมูลเทเวนิน (ก) วงจรเชิงเส้น (ข) วงจรไฟฟ้าสมมูลเทเวนิน

2.4.2 ทฤษฎีบทนอร์ตัน (Norton's Theorem)

ทฤษฎีบทนอร์ตัน กล่าวว่า วงจรไฟฟ้าเชิงเส้น 2 ปลาย (A linear two – terminal circuit) สามารถถูกแทนที่โดยวงจรไฟฟ้าสมมูลนอร์ตัน ที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 ตัว ที่ต่อขนานกับตัวต้านทาน 1 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งกระแสไฟฟ้า I_N คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit current) ที่ปลายวงจร a-b และความต้านทาน R_N คือค่าความต้านทานขาเข้าหรือความต้านทานสมมูลที่ปลายวงจร a-b ในขณะที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าอิสระ (Independent sources) ของวงจรไม่ทำงาน



(ก)



(ข)

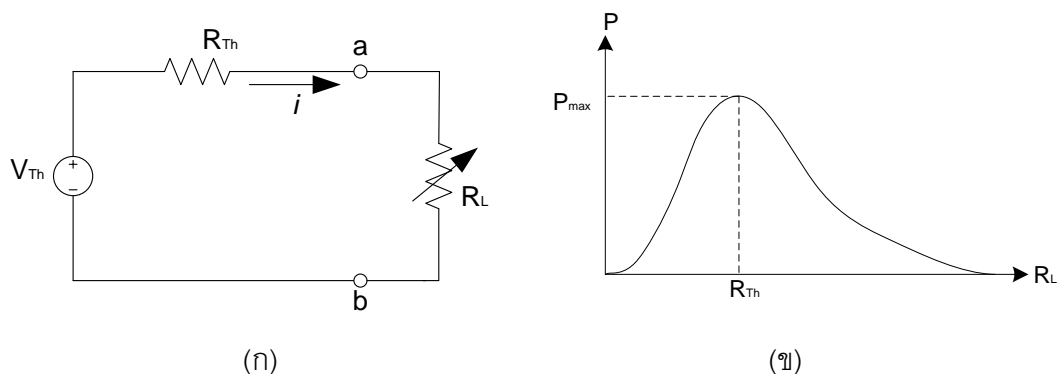
รูปที่ 2.10 การแทนที่วงจรไฟฟ้าเชิงเส้นด้วยวงจรไฟฟ้าสมมูลนอร์ตัน (ก) วงจรเชิงเส้น
(ข) วงจรไฟฟ้าสมมูลนอร์ตัน

ซึ่งจะเห็นได้ว่า วิธีการหาค่าความต้านทาน R_N ใช้วิธีเดียวกับการหาค่าความต้านทาน R_{Th} จึงกล่าวได้ว่า ความต้านทาน R_N มีค่าเท่ากับความต้านทาน R_{Th} ($R_N = R_{Th}$) ซึ่งทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีบทเทวินินกับทฤษฎีบทนอร์ตัน ดังแสดงในสมการที่ 2.4

$$I_N = \frac{V_{Th}}{R_{Th}} \quad (2.4)$$

2.4.3 การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power transfer)

การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าจากวงจรไฟฟ้าไปยังโหลด จะเกิดสูงสุดเมื่อความต้านทานของโหลดมีค่าเท่ากับความต้านทานภายในของวงจรไฟฟ้า ซึ่งวงจรไฟฟ้าสมมูลเทวินินจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากวงจรไฟฟ้าเชิงเส้นไปยังโหลด ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 (ก) วงจรไฟฟ้าสมมูลเทเวนินที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด
(ข) ลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายมายังโหลด

จากรูปที่ 2.11 พบว่ากำลังไฟฟ้าที่วงจรจ่ายให้กับโหลด คือ

$$P = i^2 R_L = \left(\frac{V_{Th}}{R_{Th} + R_L} \right)^2 R_L \quad (2.5)$$

จากวงจรในรูปที่ 2.11ก ค่าแรงดันไฟฟ้าเทเวนิน V_{Th} และความต้านทานเทเวนิน R_{Th} จะมีค่าคงที่ ส่วนความต้านทานโหลด R_L สามารถเปลี่ยนค่าได้ มีผลทำให้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดเปลี่ยนแปลงตามความต้านทานของโหลด ดังแสดงในรูปที่ 2.11ข ซึ่งพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ $R_L = R_{Th}$

ซึ่งความสัมพันธ์ของ R_L และ R_{Th} ที่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จ่ายให้กับโหลดสามารถแสดงได้ โดยการอนุพันธ์กำลังไฟฟ้าในสมการที่ 2.5 เทียบกับค่า R_L แล้วให้ค่าเท่ากับ 0

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dR_L} &= V_{Th}^2 \left[\frac{(R_{Th} + R_L)^2 - 2R_L(R_{Th} + R_L)}{(R_{Th} + R_L)^4} \right] = 0 \\ &= V_{Th}^2 \left[\frac{(R_{Th} + R_L - 2R_L)}{(R_{Th} + R_L)^3} \right] = 0 \\ &= R_{Th} - R_L = 0 \\ R_{Th} &= R_L \end{aligned} \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.6 จะเห็นได้ว่า เมื่อความต้านทานของโหลด (R_L) มีค่าเท่ากับความต้านทานภายในของวงจรไฟฟ้า (R_{Th}) การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าจากวงจรไฟฟ้าไปยังโหลดจะเกิดสูงสุด ซึ่งสามารถนำหลักการการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุดนี้ มาใช้ในการหาความต้านทานภายในของวงจรไฟฟ้า และเซลล์เชื้อเพลิงได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง การประดิษฐ์ ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง(หากไม่มีการระบุเป็นพิเศษ ต่อไปนี้จะเรียกว่า เซลล์เชื้อเพลิง) การเตรียมอิเล็กโทรด การเตรียมเอ็มอีเอ รวมถึงขั้นตอนการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิง ที่ประดิษฐ์

3.1 วัสดุและสารเคมี

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการศึกษามีดังต่อไปนี้

3.1.1 น้ำยาชุบโลหะแพลทินัม (Platuna N1, Umicore) ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมบนพื้นผิวอิเล็กโทรด

3.1.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า (20 wt.% Pt on Vulcan XC-72, Fuel cell store) ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม บนพื้นผิวอิเล็กโทรด

3.1.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า (20 wt.% Pt-Ru on Vulcan XC-72, Fuel cell store) ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม-รูทีเนียม บนพื้นผิวอิเล็กโทรด

3.1.4 สารละลายแนฟิออน (Nafion117, 5 wt.%, Fluka) ใช้เป็นตัวช่วยประสานระหว่างแนฟิออนเมมเบรนกับอิเล็กโทรดในการกดอัดด้วยความร้อนเอ็มอีเอ และใช้สำหรับการเตรียมหมึกตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ทาบนอิเล็กโทรด

3.1.5 ไดเมทิลเมทอกซีอีเทน (1,2-dimethyl methoxy ethane ; DME, Sigma – Aldrich) ใช้สำหรับเป็นตัวทำละลายของตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าสำหรับการเตรียมหมึกตัวเร่งปฏิกิริยา

3.1.6 กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) ใช้สำหรับการปรับปรุงคุณภาพแนฟิออนเมมเบรนเตรียมที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ในน้ำปราศจากอ็อกซิเจน

3.1.7 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (50 wt.% Hydrogen peroxide) ใช้สำหรับการปรับปรุงคุณภาพแนฟิออนเมมเบรน เตรียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ในน้ำปราศจากอ็อกอน

3.1.8 โพแทสเซียมเฟอริไซยาไนด์ (Potassium ferricyanide, $K_3[Fe(CN)_6]$) ใช้ทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรีอิเล็กโทรดที่เคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะแพลทินัม

3.1.9 น้ำปราศจากอ็อกอน (DI water) ใช้เป็นตัวทำละลายสารเคมีต่างๆ

3.1.10 เมทานอล (Methanol) ใช้เป็นเชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิง ใช้ที่ความเข้มข้น 1 2 4 และ 5 โมลาร์

3.1.11 ก๊าซออกซิเจน (Oxygen) ใช้เป็นเชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิง

3.1.12 นีโอเซปตาเมมเบรน (Neosepta CMS membrane, Astom) ใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนของเซลล์เชื้อเพลิง

3.1.13 แนฟิออนเมมเบรน (Nafion 115, 117 , Fluka) ใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนของเซลล์เชื้อเพลิง

3.1.14 แผ่นสแตนเลส (Stainless plate) ใช้เป็นอิเล็กโทรดของเซลล์เชื้อเพลิง

3.1.15 ตาข่ายสแตนเลส (Stainless steel mesh) ใช้เป็นอิเล็กโทรดของเซลล์เชื้อเพลิง

3.1.16 เอทานอล (Ethanol) ใช้สำหรับทำความสะอาดอิเล็กโทรด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 3.2.1 แผ่นอะคริลิกใส หนา 5 มิลลิเมตร ใช้ทำแผ่นช่องทางไหล
- 3.2.2 แผ่นยางซิลิโคน ใช้ทำปะเก็น
- 3.2.3 ไมลาร์ฟิล์ม ใช้ทำแผ่นรองรับแรงกดสำหรับการกดอัดด้วยความร้อนเอ็มอีเอ
- 3.2.4 แผ่นสแตนเลส ใช้เป็นตัวรองรับแรงกดสำหรับการกดอัดด้วยความร้อนเอ็มอีเอ
- 3.2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F4550 ใช้เป็นวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล
- 3.2.6 ตัวต้านทาน ใช้เป็นโหลดสำหรับการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ ใช้ค่า 10M 3M 1M 300k 100k 30k 10k 3k 1k 300 100 และ 10 โอห์ม
- 3.2.7 นี้อต ขนาด 3 มิลลิเมตร จำนวน 8 ตัว สำหรับยึดส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงเข้าด้วยกัน
- 3.2.8 เครื่องกดอัดด้วยความร้อน (compression mould , รุ่น LP20, LABTECT)
- 3.2.9 เครื่องปั๊มเมทานอล (Cassette peristaltic pump, Cassette[®] pump drive unit junior model, Monostat)
- 3.2.10 แผ่นทำความร้อน (Hot plate)
- 3.2.11 ออโตปิเปต ปริมาตร 0.5 - 10 ไมโครลิตร, 0 - 1 มิลลิลิตร และ 0 - 5 มิลลิลิตร
- 3.2.12 เครื่องโพเทนทีโอสแตด ใช้สำหรับวัดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Glucosen, Bioelectronic Research Laboratory)

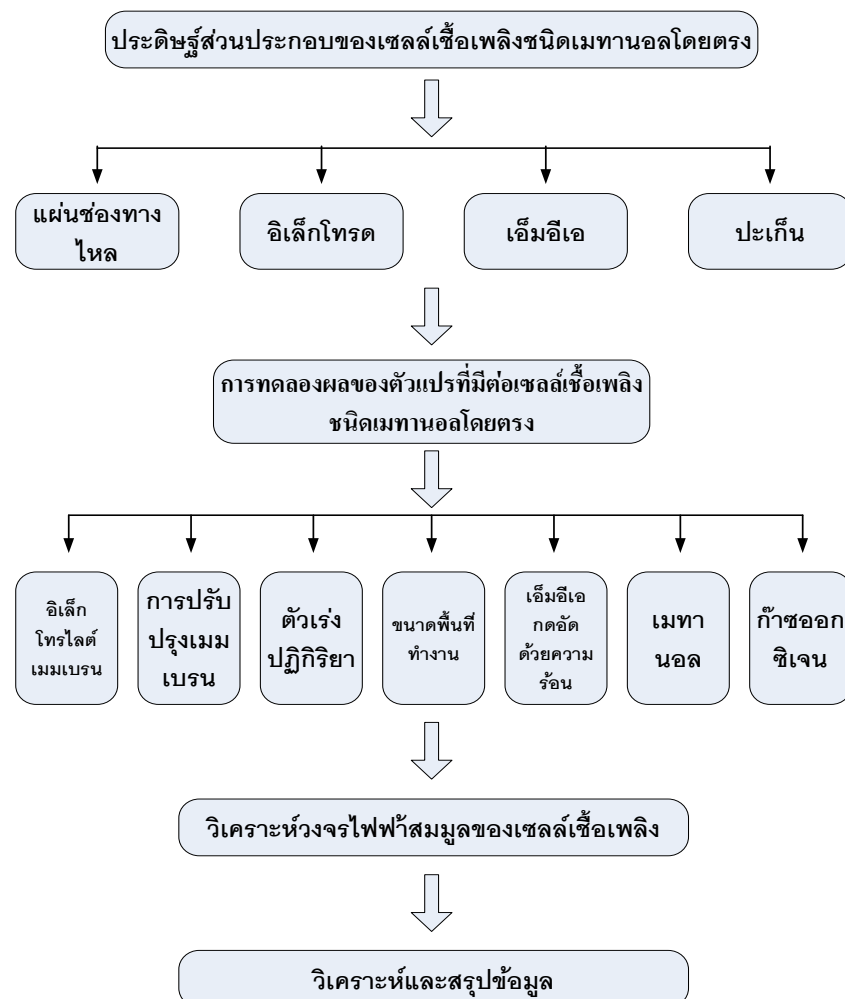
3.2.13 เครื่องอุลตราโซนิก

3.2.14 เครื่องซิงดิจิตอล ความละเอียด 4 ตำแหน่ง(Denver Instrument)

3.2.15 กรรไกรตัดสแตนเลส

3.3 การทดลอง

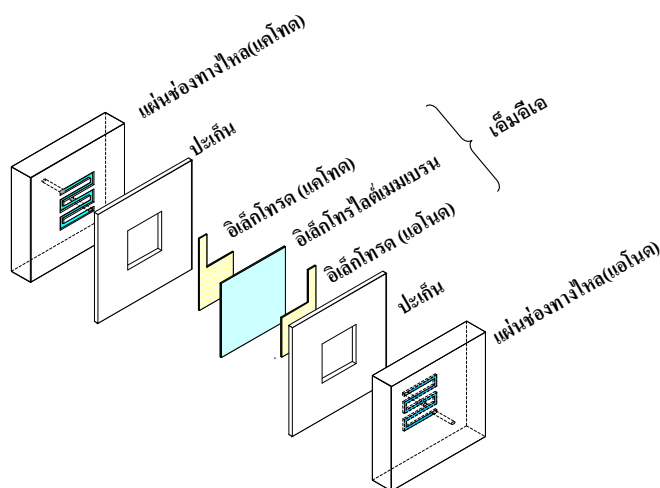
ขั้นตอนการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังแสดงในแผนผังรูปที่ 3.1 โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองหลัก คือ การศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิง และ วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

3.3.1 การประดิษฐ์ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิง

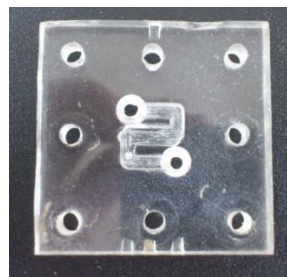
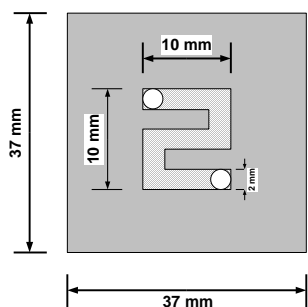
เซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์สำหรับงานวิจัยนี้มีพื้นที่ทำงาน (Working area) 2 ขนาดคือ ขนาด 1 ตารางเซนติเมตร และขนาด 5 ตารางเซนติเมตร ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ มีส่วนประกอบคือ เอ็มอีเอ แผ่นช่องทางไหล และประเก็น ดังแสดงในรูปที่ 3.2



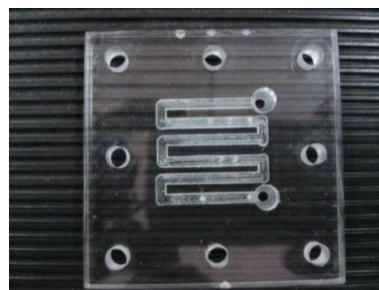
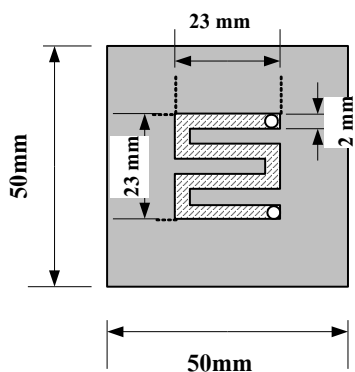
รูปที่ 3.2 เซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์

3.3.1.1 แผ่นช่องทางไหล

แผ่นช่องทางไหลที่ประดิษฐ์ทำจากแผ่นอะคริลิกใสหนา 5 มิลลิเมตร เนื่องจากอะคริลิกมีคุณสมบัติที่ทนทานต่อแรงเชิงกล และการกัดกร่อนของเมทานอลได้ดี รวมทั้งยังทำให้สามารถสังเกตพฤติกรรมของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดของเซลล์เชื้อเพลิงได้ รูปแบบของช่องทางไหล (Flow field) ของแผ่นช่องทางไหลที่ประดิษฐ์ ใช้รูปแบบซิงเกิลเซอร์เพนไทน์ ซึ่งมีขนาดความกว้างของช่องทางไหล 2 มิลลิเมตร และมีความลึก 1 มิลลิเมตร ลักษณะและขนาดของแผ่นช่องทางไหลที่ประดิษฐ์แสดงดังรูปที่ 3.3ก สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร และรูปที่ 3.3ข สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร



(ก)



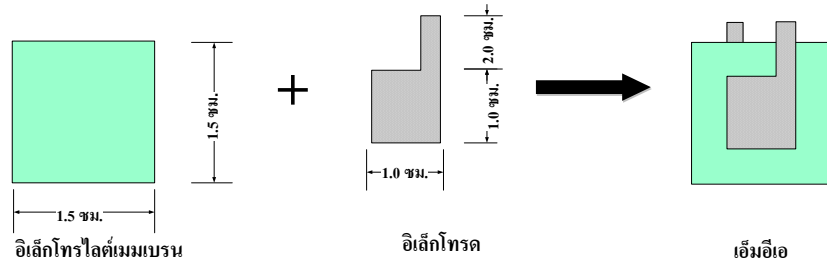
(ข)

รูปที่ 3.3 แผ่นช่องทางไหลที่ประดิษฐ์ (ก) ขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร, (ข) ขนาดพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร

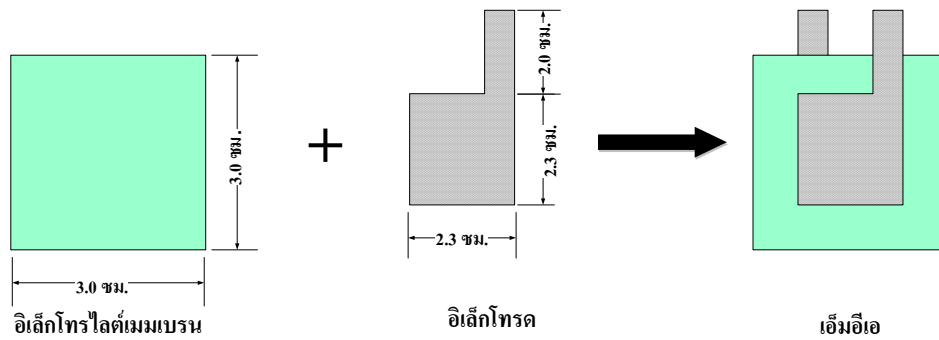
3.3.1.2 เอ็มอีเอ

เอ็มอีเอที่ประดิษฐ์ประกอบด้วย อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนที่ถูกประกบทั้ง 2 ด้านด้วยอิเล็กโทรด ซึ่งลักษณะและขนาดแสดงในรูปที่ 3.4ก สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร และรูปที่ 3.4ข สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่มีพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร ซึ่งอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ แนนไฟออนเมมเบรน 115 แนนไฟออนเมมเบรน 117 และนีโอเซ็ปตาเมมเบรน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และสำหรับอิเล็กโทรดที่ใช้คือ อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส และอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสจะมีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร จำนวน 4 รู เพื่อใช้เป็นช่องทางสำหรับเมทานอลและก๊าซออกซิเจน เพื่อเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ขั้วตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกเคลือบบนผิว

อิเล็กโทรดด้านที่ติดกับอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ แพลทินัม และ แพลทินัม – รูทีเนียม

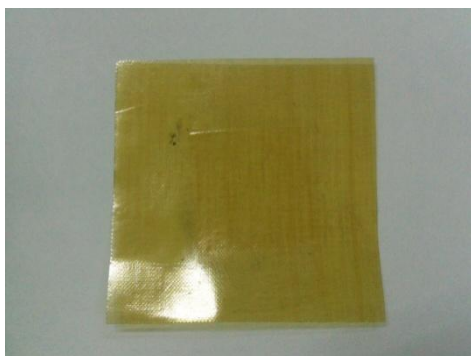


(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 เอ็มอีเอที่ประดิษฐ์ (ก) ขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร,
(ข) ขนาดพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร

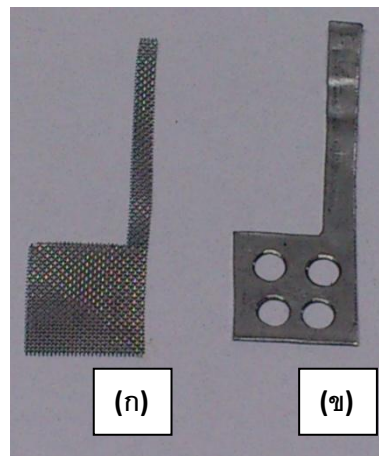


(ก)



(ข)

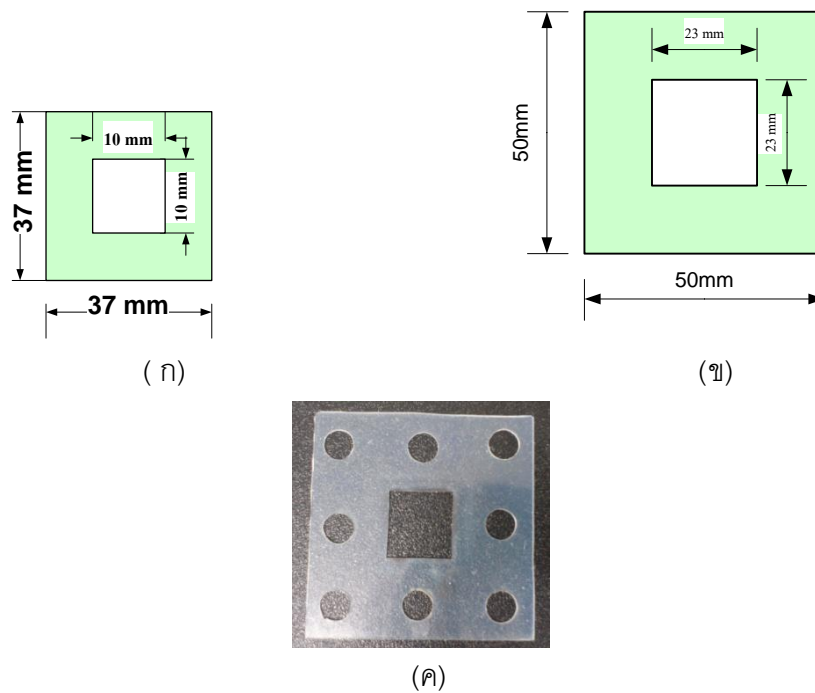
รูปที่ 3.5 อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน (ก) นีโอเซปตาเมมเบรน (ข) แนฟิออนเมมเบรน



รูปที่ 3.6 อิเล็กโทรด (ก) ตาข่ายสแตนเลส (ข) แผ่นสแตนเลส

3.3.1.3 ประเก็น

ประเก็นจะถูกวางอยู่ระหว่างแผ่นช่องทางไหลและเอ็มอีเอ เพื่อเป็นตัวป้องกันการรั่วของเมทานอลและก๊าซออกซิเจนที่จ่ายให้แก่เซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งประเก็นที่ประดิษฐ์ ทำจากแผ่นยางซิลิโคน โดยมีลักษณะและขนาดแสดงดังรูปที่ 3.7



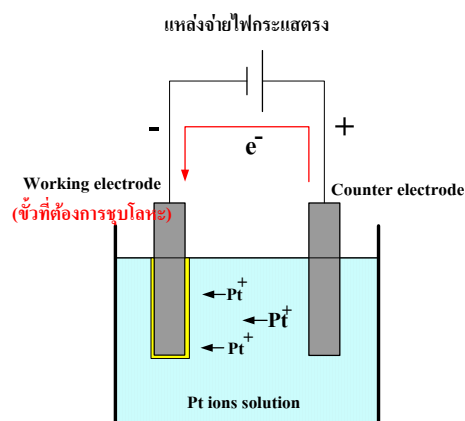
รูปที่ 3.7 ประเก็นที่ประดิษฐ์ (ก) ประเก็นขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร (ข) ประเก็นขนาดพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร (ค) ตัวอย่างประเก็นที่ประดิษฐ์

3.3.2 การเตรียมอิเล็กโทรด

ทั้งอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส และอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส จะถูกเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อใช้เป็นตัวทำปฏิกิริยากับเมทานอลที่ด้านแอโนด และก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และ ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม - รูทีเนียมทางการค้า ซึ่งใช้วิธีชุบโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 บนผิวของอิเล็กโทรด และใช้วิธีการทา จากหมึกที่เตรียมจากตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า สำหรับเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม และ แพลทินัม - รูทีเนียมทางการค้า บนผิวของอิเล็กโทรด

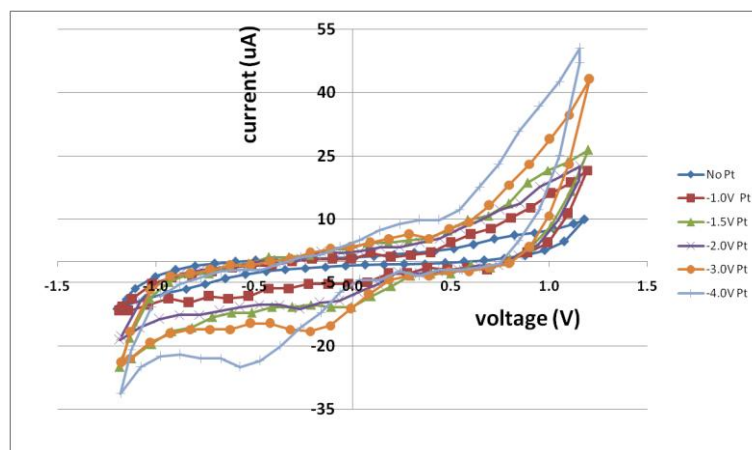
3.3.2.1 การเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 ด้วยวิธีชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

เนื่องจากแพลทินัมในน้ำยา Platuna N1 มีลักษณะเป็นไอออน ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (Electroplating) สำหรับเคลือบแพลทินัมบนอิเล็กโทรด ซึ่งระบบของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ประกอบด้วย อิเล็กโทรดทำงาน (Working electrode) และอิเล็กโทรดร่วม (Counter electrode) ให้ศักย์ไฟฟ้าลบแก่อิเล็กโทรดทำงาน กระแสไฟฟ้าจะรีดิวซ์ไอออนของแพลทินัมในสารละลาย เกิดเป็นชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาบนผิวของอิเล็กโทรด ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

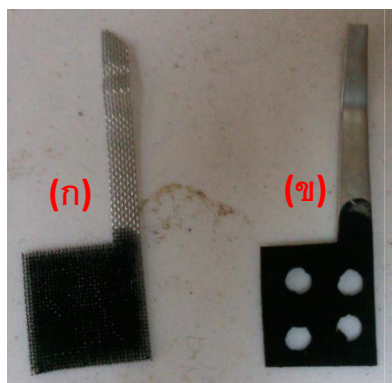
สำหรับศักย์ไฟฟ้าลบที่ใช้สำหรับชุบตัวเร่งปฏิกิริยา ได้จากการทดลองโดยให้ ศักย์ไฟฟ้าลบต่างกัน 7 ค่ากับอิเล็กโทรดทำงานที่ทำจากตาข่ายสแตนเลส ตั้งแต่ -1.0, -1.5, -2.0, -3.0 และ -4.0 โวลต์ ทำการศึกษากรณีละ 1 ตัว ใช้เวลาครั้งละ 10 นาที ใช้น้ำยา Platuna N1 ปริมาณ 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำอิเล็กโทรดที่ผ่านการเคลือบแพลทินัมด้วยศักย์ไฟฟ้าลบต่างๆ มาทดสอบการตอบสนองต่อสารละลายโปแตสเซียมเฟอริไซยาไนด์ (III) (Potassium ferricyanide; $K_3[Fe(CN)_6]$) โดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic voltammetry, CV) เปรียบเทียบกับอิเล็กโทรดที่ไม่ชุบแพลทินัม โดยสแกนศักย์ไฟฟ้า -1.2 ถึง +1.2 โวลต์ (อัตราการสแกน 100 มิลลิโวลต์ต่อวินาที) เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งผลการตอบสนองของอิเล็กโทรดที่ชุบแพลทินัมและไม่ชุบแพลทินัมแสดงดังรูปที่ 3.9 ซึ่งพบว่า อิเล็กโทรดที่เคลือบแพลทินัมที่ศักย์ไฟฟ้าลบตั้งแต่ -1.0 ถึง -4.0 โวลต์ มีค่ากระแสตอบสนองเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับอิเล็กโทรดที่ไม่ได้ชุบแพลทินัม โดยค่ากระแสตอบสนองจะเพิ่มขึ้นตามค่าศักย์ไฟฟ้าที่เป็นลบเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าการชุบแพลทินัมในช่วงศักย์ไฟฟ้า -1.5 ถึง -4.0 โวลต์ จะมีฟองอากาศที่เกิดจากปฏิกิริยามาก และมีการกระเด็นของน้ำยาชุบออกมาข้างนอกปริมาณมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ศักย์ไฟฟ้า -1.5 โวลต์ เป็นเวลา 10 นาที สำหรับการเคลือบแพลทินัมบนอิเล็กโทรด



รูปที่ 3.9 การตอบสนองของตาข่ายสแตนเลสที่ไม่ชุบ Pt และ ชุบ Pt ที่ใช้ศักย์ไฟฟ้า -1.0 , -1.5, -2.0 , -3.0 และ -4.0 โวลต์ต่อสารละลายโปแตสเซียมเฟอริไซยาไนด์ (III) ($K_3 [Fe(CN)_6]$) โดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมทรี

3.3.2.2 การเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมและแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า ด้วยวิธีการทา

ก่อนนำอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสและอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสมาเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยา ควรทำความสะอาดก่อนด้วยน้ำยาทำความสะอาด และทำความสะอาดด้วยเอทานอล โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 5 นาที สำหรับการเตรียมหมึกของตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า[18] มีขั้นตอนคือ นำตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าปริมาณ 12.5 มิลลิกรัม ใส่ลงในขวดเปล่าเติมตัวทำละลายไดเมทิลเมทอกซีอีเทน ผสมให้เข้ากันโดยเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารละลายแก๊พออน ปริมาณ 0.142 มิลลิลิตรลงในขวดข้างต้น แล้วผสมให้เข้ากันโดยเครื่องอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำหมึกที่เตรียมเสร็จแล้วมาทาบนผิวอิเล็กโทรด โดยใช้ก๊ากันทาหมึกตัวเร่งปฏิกิริยาลงบนผิวอิเล็กโทรดด้านที่ติดกับอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน พยายามไม่ให้หมึกซึมทะลุมาด้านหลังอิเล็กโทรดสำหรับอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส เมื่อทาหมึกทั่วแผ่นอิเล็กโทรดแล้ว นำมาทำให้แห้งโดยใช้แผ่นทำความร้อน (Hot plate) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อหมึกแห้งแล้วนำอิเล็กโทรดไปชั่งเพื่อดูปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ติดบนอิเล็กโทรด จากนั้นนำอิเล็กโทรดไปทาหมึกอีกครั้งแล้วทำการบวกรวมน้ำอีกจนกว่าจะได้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาตามต้องการ ซึ่งวิธีการคำนวณปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงไว้ในภาคผนวก ก รูปที่ 3.10 แสดงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส และ อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส ที่ถูกเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า



รูปที่ 3.10 (ก) อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส และ (ข) อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส ที่ถูกเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า

3.3.3 การปรับปรุงคุณภาพของแนฟิออนเมมเบรน [18]

แนฟิออนเมมเบรน เมื่อถูกเก็บไว้เป็นเวลานาน อาจมีการเสื่อมสภาพของเมมเบรนเกิดขึ้น ซึ่งก่อนนำแนฟิออนเมมเบรนมาใช้งาน ควรทำการปรับปรุงคุณภาพก่อน ซึ่งมีขั้นตอนคือ นำแนฟิออนเมมเบรนมาแช่ในน้ำปราศจากอิออน (DI water) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำเมมเบรนไปแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อเป็นการทำความสะอาดและกำจัดสารอินทรีย์ออกจากเมมเบรน จากนั้นนำเมมเบรนไปแช่ในสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อเป็นการกระตุ้นโปรตอนให้กับเมมเบรน และสุดท้ายนำเมมเบรนมาแช่ในน้ำปราศจากอิออน ปริมาตร 100 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อเป็นการล้างกรดออก โดยทำซ้ำขั้นตอนนี้อีก 3 ครั้ง สำหรับแนฟิออนเมมเบรนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว ควรเก็บไว้ในน้ำปราศจากอิออน และเมื่อจะนำมาใช้งานควรทำให้แห้งก่อนนำมาใช้งาน รูปที่ 3.11 แสดงแนฟิออนเมมเบรนก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพ



(ก)



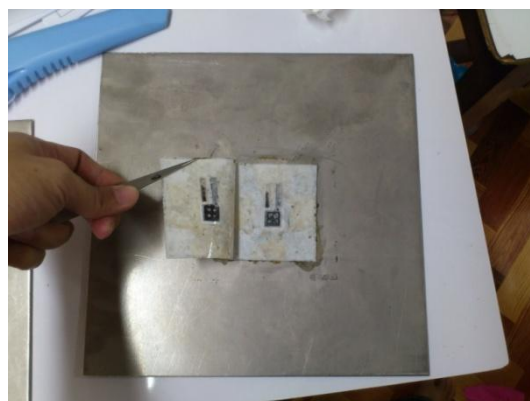
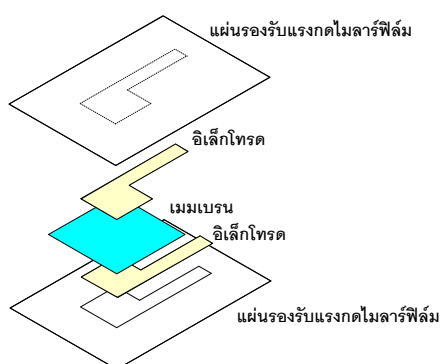
(ข)

รูปที่ 3.11 (ก) แนฟิออนเมมเบรนก่อนปรับปรุงคุณภาพ และ (ข) แนฟิออนเมมเบรนหลังปรับปรุงคุณภาพ

3.3.4 การเตรียมเอ็มอีเอ

เอ็มอีเอที่ประดิษฐ์ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยเอ็มอีเอที่มีลักษณะต่างกัน 2 แบบ คือ เอ็มอีเอไม่กดอัดด้วยความร้อน และ เอ็มอีเอกดอัดด้วยความร้อน (Hot press) ซึ่งเอ็มอีเอที่ไม่กดอัดด้วยความร้อน จะมีลักษณะคือ อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนและอิเล็กโทรดจะถูกทำให้ยึดติดกันโดยแรงบีบของแผ่นช่องทางไหลทั้ง 2 ด้าน และสำหรับเอ็มอีเอที่กดอัดด้วยความร้อน

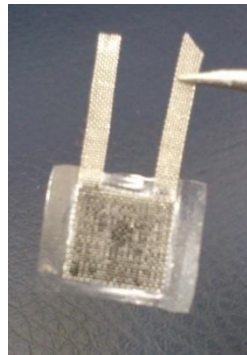
อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนที่ถูกประกบด้วยอิเล็กโทรดทั้ง 2 ด้าน จะถูกนำไปผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การกดอัดด้วยความร้อน โดยใช้อุณหภูมิและแรงอัดสูง ทำให้ อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนและ อิเล็กโทรด ยึดติดเป็นชิ้นเดียวกัน ซึ่งมีผลช่วยลดความต้านทานภายใน ที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อ ของอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนและอิเล็กโทรดของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งการกดอัดเอ็มอีเอ ด้วยความร้อน [18] มีขั้นตอนคือ นำอิเล็กโทรดที่เคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว มาหยดด้วยสารละลายแนฟิออน ร้อย ละ 5 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 5 ไมโครลิตร ลงบนชั้นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวประสานยึด ติดกับอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน นำอิเล็กโทรดที่หยดสารละลายแนฟิออนแล้ว มาวางในร่องที่เจาะไว้ เป็นรูปอิเล็กโทรดของแผ่นรองรับแรงกดที่ทำจากไมลาร์ฟิล์ม ที่ติดอยู่บนแผ่นสแตนเลส ดังแสดงใน รูปที่ 3.12 โดยหยาด้านที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้น วางแนฟิออนเมมเบรน ลงบนอิเล็กโทรดที่วางอยู่ให้ อยู่ตรงกลางพอดี นำอิเล็กโทรดอีกชิ้นหนึ่งมาวางทับแนฟิออนเมมเบรนอีกทีหนึ่ง โดยให้ตัวเร่ง ปฏิกิริยาอยู่ติดกับเมมเบรน แล้วปิดด้วยแผ่นรองรับแรงไมลาร์ฟิล์มและแผ่นสแตนเลส นำไปอัด ด้วยเครื่องอัดด้วยความร้อน (Compression mould) ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยเริ่มจากการอัด ร้อนก่อน ซึ่งใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้เวลา 2.50 นาที สำหรับเอ็มอีเออิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส และใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่ แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้เวลา 2.50 นาที สำหรับเอ็มอีเออิเล็กโทรดแผ่นสแตน เลส หลังจากอัดร้อนเสร็จแล้วนำเอ็มอีเอมาอัดเย็นที่อุณหภูมิห้อง ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร ใช้เวลา 2.50 นาที รูปที่ 3.14 แสดงเอ็มอีเอที่ผ่านการกดอัดด้วยความร้อนแล้ว



รูปที่ 3.12 แผ่นรองรับแรงกดไมลาร์ฟิล์มและแผ่นสแตนเลส



รูปที่ 3.13 เครื่องอัดด้วยความร้อน



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.14 เอ็มซีเอที่ผ่านการกดอัดด้วยความร้อน (ก) อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส (ข) อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส

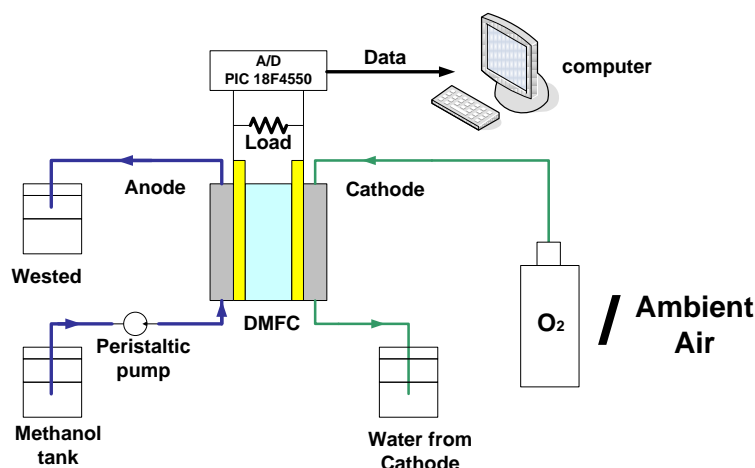
เมื่อนำแผ่นช่องทางไหล เอ็มซีเอ และประเก็นที่ประดิษฐ์ มาประกอบรวมกันโดยใช้หนีต จำนวน 8 ตัวเป็นตัวยึดส่วนประกอบแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน จะได้เซลล์เชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 เซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์

3.4 วิธีการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง

ในการทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ขึ้น ด้านแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิง จะถูกจ่ายด้วยสารละลายเมทานอล โดยใช้เครื่องเพอร์ริสเทลติกปั๊ม และที่ด้านแคโทดจะถูกจ่ายด้วยก๊าซออกซิเจนจากถังแก๊ส หรือบางการศึกษาจะปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงโดยธรรมชาติ ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์โดยต่อตัวต้านทานค่าต่างๆ เข้ากับขั้วไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด (Load) ของเซลล์เชื้อเพลิง ใช้เวลาตัวต้านทานละ 2 นาที เพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานมีค่าคงที่ ซึ่งค่าของโหลดตัวต้านทานที่ใช้ จะเริ่มจากค่า 10 เมกกะโอม แล้วเปลี่ยนโดยลดค่าลงมา วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทานที่ต่อ โดยใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to digital, A/D) ขนาด 10 บิต ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F4550 ทำการสุ่มวัดค่าทุกๆ 1 วินาที ส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตยูเอสบี (USB Port) ซึ่งใช้โปรแกรม VCMETER [19] เป็นตัวรับและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าง่ายแสดงในรูปที่ 3.16 สำหรับขั้นตอนการศึกษาแต่ละครั้ง จะเริ่มด้วยการจ่ายเมทานอลให้แก่เซลล์เชื้อเพลิงด้วยอัตราไหลที่ต้องการในแต่ละการศึกษาเป็นเวลา 20 นาที ก่อนเพื่อให้ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าคงที่ จากนั้นจึงเริ่มทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงโดยต่อโหลดตัวต้านทานค่าต่างๆเข้ากับขั้วไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ที่โหลดตัวต้านทานค่าต่างๆ จะถูกนำมาคำนวณเป็นค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.16 วิธีการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์

3.5 การศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิง

3.5.1 ผลของอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนแนฟิออนเมมเบรนและนีโอเซ็ปตาเมมเบรน

การศึกษาประกอบด้วย เซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร ที่ใช้อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ ต่างกัน 2 ชนิด คือ แนฟิออนเมมเบรน 115 และ นีโอเซ็ปตาเมมเบรน ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสอง เพื่อดูว่าเมมเบรนชนิดใดมีคุณสมบัติที่เหมาะสมจะนำมาใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนของของเซลล์เชื้อเพลิงที่จะประดิษฐ์ในการศึกษาต่อไป ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองชนิดประกอบด้วย อิเล็กโทรดทำจากตาข่ายสแตนเลสเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม จากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 ที่ศักย์ไฟฟ้า 1.5 โวลต์ ใช้เวลา 10 นาที ทั้งด้านแอโนดและแคโทด เอ็มซีเอไม่กัดกัดด้วยความร้อน ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองโดย ด้านแอโนดจ่ายสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 1 โมลาร์ ด้วยอัตราการไหล 0.62 มิลลิลิตรต่อนาที และด้านแคโทดปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงโดยธรรมชาติ ทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง

3.5.2 ผลของการปรับปรุงคุณภาพของแนฟิออนเมมเบรน

การศึกษาประกอบด้วย เซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร ที่ใช้แนฟิออนเมมเบรน 115 ที่มีลักษณะต่างกัน 2 แบบคือ ที่ปรับปรุงคุณภาพ และ ไม่ปรับปรุงคุณภาพ ทำการศึกษาเพื่อดูว่าการปรับปรุงคุณภาพแนฟิออนเมมเบรน สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงดีขึ้น ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองแบบประกอบด้วย อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 ทั้งด้านแอโนดและ

แคโทด เอ็มอีเอไม่มีการกอดัดด้วยความร้อน ซึ่งแนฟิออนเมมเบรนและอิเล็กโทรดที่ใช้ในการศึกษา นี้เป็นแนฟิออนเมมเบรนและอิเล็กโทรดที่ใช้เข้ามาจากการศึกษาหัวข้อที่ 3.5.1 สำหรับการทดสอบ เซลล์เชื้อเพลิงทั้งสอง ที่ด้านแอโนดจ่ายสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 1 โมลาร์ ด้วยอัตราการไหล 0.62 มิลลิเมตรต่อนาที ส่วนด้านแคโทดปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงโดยธรรมชาติ ทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง

3.5.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

การศึกษานี้ประกอบด้วยเซลล์เชื้อเพลิง ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกัน 3 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า

3.5.3.1 เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้าและตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1

ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า กับที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 เซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองแบบมีขนาดพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร ซึ่งการศึกษาของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 จะใช้ผลการศึกษาจากการศึกษาหัวข้อที่ 3.5.1 การศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรนที่มีอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 ที่ศักย์ไฟฟ้า -1.5 โวลต์ ใช้เวลา 10 นาที ทั้งด้านแอโนดและแคโทด สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้าของการศึกษานี้ใช้อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งด้านแอโนดและแคโทด มีอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนคือแนฟิออนเมมเบรน 115 ปรับปรุงคุณภาพเมมเบรน เอ็มอีเอไม่กอดัดด้วยความร้อน ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงโดย ด้านแอโนดจ่ายสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 1 โมลาร์ ด้วยอัตราการไหล 0.62 มิลลิเมตรต่อนาที ส่วนด้านแคโทดปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงโดยธรรมชาติ ทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง

3.5.3.2 เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้าและตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า

ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า ซึ่งในการศึกษา

นี้ประกอบด้วย เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร ที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแอโนดและแคโทดต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 ทั้งด้านแอโนดและแคโทดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร แบบที่ 2 ด้านแอโนดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียม ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และด้านแคโทดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแบบที่ 3 ด้านแอโนดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และด้านแคโทดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม– รูทีเนียม ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงทั้ง 3 แบบนี้ใช้อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนคือ แนนฟอนเมมเบรน 117 ที่ปรับปรุงคุณภาพ เอ็มอีเอ กัดกัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ใช้แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงทั้ง 3 แบบโดย ที่ด้านแอโนดจ่ายสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 1 โมลาร์ ด้วยอัตราการไหล 0.62 มิลลิลิตรต่ออนาที ส่วนด้านแคโทดปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงโดยธรรมชาติ ทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง

3.5.4 ผลของขนาดพื้นที่ทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

ทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร กับ 5 ตารางเซนติเมตร เพื่อดูผลของขนาดพื้นที่ทำงานที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ เซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วยอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตรของการศึกษานี้ประกอบด้วย อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรทั้งด้านแอโนดและแคโทด อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน คือ แนนฟอนเมมเบรน 115 ปรับปรุงคุณภาพเมมเบรน เอ็มอีเอไม่กัดกัดด้วยความร้อน ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์โดย ด้านแอโนดจ่ายสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 1 โมลาร์ ด้วยอัตราการไหล 0.62 มิลลิลิตรต่ออนาที ส่วนด้านแคโทดปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงโดยธรรมชาติ ทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง และสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร จะใช้ผลการศึกษาจากการศึกษาหัวข้อที่ 3.5.3.1 การศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า ทั้งด้านแอโนดและแคโทด ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองต้องนำมาหารด้วยขนาดของ

พื้นที่ทำงานเพื่อคำนวณค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าตามลำดับในการนำมาเปรียบเทียบระหว่างเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสอง

3.5.5 ผลของการกักอัดด้วยความร้อนเอ็มอีเอ

3.5.5.1 เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสเอ็มอีเอกด/ไม่กักอัดด้วยความร้อน

การศึกษาประกอบด้วยเซลล์เชื้อเพลิง อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร ที่มีเอ็มอีเอต่างกัน 2 รูปแบบ คือ เอ็มอีเอไม่กักอัดด้วยความร้อนและเอ็มอีเอกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงรูปแบบละ 3 ตัว สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงทั้ง 2 รูปแบบมีส่วนประกอบเหมือนกันคือ ใช้อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสที่ด้านแอโนดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และด้านแคโทดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนที่ใช้คือ แนนฟอนเมมเบรน 117 ที่ปรับปรุงคุณภาพ ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ทั้ง 2 รูปแบบ โดยด้านแอโนดจ่ายสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 1 โมลาร์ แบบไม่มีการไหลของเมทานอลในช่องทางไหล (ทำการศึกษาโดยเริ่มต้นจ่ายเมทานอลจากเครื่องปั๊มให้กับเซลล์เชื้อเพลิงด้วยอัตราการไหล 0.62 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปิดเครื่องปั๊มให้เมทานอลค้างอยู่ในช่องทางไหลเป็นเวลาอีก 10 นาที จึงเริ่มทำการต่อตัวต้านทานกับเซลล์เชื้อเพลิง) และด้านแคโทดปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงโดยธรรมชาติ ทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง

3.5.5.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้กักอัดความร้อนเอ็มอีเอที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส

การศึกษานี้ประกอบด้วยเซลล์เชื้อเพลิง อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส ที่ใช้อุณหภูมิกักอัดด้วยความร้อนเอ็มอีเอต่างกัน 2 ค่า คือ 100 และ 125 องศาเซลเซียส ที่ใช้แรงอัดเดียวกันคือ 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำการศึกษาเพื่อดูผลของอุณหภูมิกักอัดด้วยความร้อนเอ็มอีเอ ที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ใช้อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส ขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่เตรียมในการศึกษานี้ประกอบด้วยอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาด้านแอโนดคือ แพลทินัม-รูทีเนียมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และด้านแคโทดคือ แพลทินัมทางการค้าปริมาณ 0.3

มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนคือ แนนฟอนเมมเบรน 117 ที่มีการปรับปรุงคุณภาพ ทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์โดย ด้านแอนโดจ่ายสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 1 โมลาร์ แบบไม่มีการไหลของเมทานอลในช่องทางไหล และด้านแคโทดปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงโดยธรรมชาติ ซึ่งทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง

3.5.5.3 เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสเอ็มอีเอ/ไม่ก่อดัดด้วยความร้อน

ในการศึกษานี้ประกอบด้วยเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร 4 แบบ คือ เซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอ ไม่ก่อดัดด้วยความร้อนจำนวน 2 ตัว เซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอ ก่อดัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 137 องศาเซลเซียส จำนวน 2 ตัว และเซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอ ก่อดัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 150 และ 160 องศาเซลเซียส จำนวนอย่างละ 3 ตัว เอ็มอีเอที่ก่อดัดด้วยความร้อนแต่ละอุณหภูมิใช้แรงอัดเดียวกันเท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ทั้ง 4 แบบจะมีส่วนประกอบเหมือนกันคือ ใช้อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสที่ด้านแอนโดเคลือบด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และด้านแคโทดเคลือบด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้แนฟอนเมมเบรน 117 ที่ปรับปรุงคุณภาพ เป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน ทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ทั้ง 4 แบบ โดยด้านแอนโดจ่ายสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 1 โมลาร์ แบบไม่มีการไหลของเมทานอลในช่องทางไหล และด้านแคโทดปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกโดยธรรมชาติ ซึ่งทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง

3.5.6 ผลของอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสและอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส

3.5.6.1 เซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอไม่ก่อดัดด้วยความร้อน

การศึกษานี้ประกอบด้วย เซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร เอ็มอีเอไม่ก่อดัดด้วยความร้อน ที่ใช้อิเล็กโทรดต่างกัน 2 ชนิด คือ อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส และอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส ทำการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงรูปแบบละ 3 ตัว ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส ใช้จากผลการศึกษาของเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส เอ็มอีเอไม่ก่อดัดด้วยความร้อนของการศึกษาหัวข้อที่ 3.5.5.1 และเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสของการศึกษานี้ ประกอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาด้านแอนโดคือ แพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า และด้านแคโทดคือ แพลทินัมทางการค้า ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองด้าน

เท่ากับ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร อิเล็กโทรไลต์แมกนีเซียมที่ใช้คือ แนนพอนแมกนีเซียม 117 ที่ปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์แต่ละตัวโดย ที่ด้านแอโนดจ่ายสารละลาย เมทานอลความเข้มข้น 1 โมลาร์ แบบไม่มีการไหลของเมทานอลในช่องทางไหล และในส่วนด้าน แคโทดปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกโดยธรรมชาติ ซึ่งทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง

3.5.6.2 เซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน

ทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน ที่ใช้อิเล็กโทรดต่างกัน 2 ชนิด คือ อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส และอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส การศึกษาประกอบด้วยเซลล์เชื้อเพลิง อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งใช้จากผลการศึกษาของเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรของการศึกษาหัวข้อที่ 3.5.5.1 และเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 137 150 และ 160 องศาเซลเซียส ที่แรงอัดเดียวกันเท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งใช้จากผลการศึกษาของเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 137 150 และ 160 องศาเซลเซียส ที่แรงอัดเดียวกันเท่ากับ 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรของการศึกษาหัวข้อที่ 3.5.5.3

3.5.7 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิง

การศึกษานี้ประกอบด้วยเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร ใช้อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส ที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้าที่ด้านแอโนดต่างกัน 4 ค่า คือ เซลล์เชื้อเพลิงที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.3, 0.6 และ 0.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร จำนวนอย่างละ 3 ตัว และเซลล์เชื้อเพลิงที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 1.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร จำนวน 2 ตัว ทำการศึกษาเพื่อดูผลของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมที่ด้านแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแคโทดของเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละตัวในการศึกษานี้คือแพลทินัมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้แนนพอนแมกนีเซียม 117 ที่ปรับปรุงคุณภาพ เป็นอิเล็กโทรไลต์แมกนีเซียม เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงโดยที่

ด้านแอโนดจ่ายสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 1 โมลาร์ แบบไม่มีการไหลในช่องทางไหล และด้านแคโทดปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกโดยธรรมชาติ ทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง

3.5.8 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเมทานอล

ทำการศึกษาเพื่อดูผลของความเข้มข้นเมทานอล ที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่ประติษฐ์ กับเมทานอลค่าความเข้มข้นต่างกัน 4 ค่า คือ 1 2 4 และ 5 โมลาร์ ทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่ความเข้มข้นละ 3 ตัว ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วย อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร ด้านแอโนดเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยา แพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ด้านแคโทดเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยา แพลทินัมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน คือ แนนฟอนเมมเบรน 117 ที่ปรับปรุงคุณภาพ เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำการทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงโดย ด้านแอโนดจ่ายสารละลายเมทานอลที่ความเข้มข้นตามที่ได้กล่าวข้างต้น โดยจ่ายเมทานอลแบบไม่มีการไหลในช่องทางไหล และด้านแคโทดปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงโดยธรรมชาติ ทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง

3.5.9 ผลของก๊าซออกซิเจน

การศึกษานี้ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร ที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจนให้แก่เซลล์เชื้อเพลิงที่ด้านแคโทด ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษานี้มีส่วนประกอบ คือ อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสที่เคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา แพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า ปริมาณ 0.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับด้านแอโนด และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับด้านแคโทด ซึ่งใช้ แนนฟอนเมมเบรน 117 ที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน เอ็มอีเอ กดัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับเมทานอลที่ใช้ในการทดลอง ใช้ความเข้มข้น 2 โมลาร์ จ่ายให้ด้านแอโนดแบบไม่มีการไหลของเมทานอลในช่องทางไหล สำหรับวิธีการศึกษา จะทำการศึกษาโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจำนวน 1 ตัว ทำการทดลองสลับกันระหว่าง การศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เชื้อเพลิงด้านแคโทดเป็นก๊าซออกซิเจน กับการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เชื้อเพลิงด้านแคโทดโดยการปล่อยให้สัมผัสกับอากาศภายนอกโดยธรรมชาติ ซึ่งทำการทดลองสลับกันต่อเนื่องจนได้จำนวนการทดลองละ 3 ครั้ง ซึ่งก๊าซออกซิเจนที่

ใช้ในการทดลองนี้ จะจ่ายมาจากถังแก๊สออกซิเจน ที่ความดัน 50 กิโลปาสคาล ด้วยอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที

3.5.10 ผลของอัตราการไหลของเมทานอล

ทำการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร ที่มีการจ่ายเมทานอลให้กับเซลล์เชื้อเพลิงที่อัตราการไหลต่างกัน 3 ค่าคือจ่ายแบบไม่มีการไหลในช่องทางไหล และจ่ายแบบที่มีการไหลที่อัตรา 0.5 และ 0.62 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วย อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสที่ด้านแอโนดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า ปริมาณ 0.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และที่ด้านแคโทดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้ แนนฟิออนเมมเบรน 117 ที่ปรับปรุงคุณภาพเป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน ด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์โดย ที่ด้านแอโนดจ่ายเมทานอลความเข้มข้น 2 โมลาร์ และที่ด้านแคโทดจ่ายก๊าซออกซิเจน ด้วยอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 50 กิโลปาสคาล ซึ่งทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้อง ในการศึกษานี้จะทำการทดลองโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ 1 ตัว โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่องโดยเริ่มจากการทดลองเซลล์เชื้อเพลิงที่มีอัตราไหลของเมทานอล 0.62 มิลลิลิตรต่อนาทีก่อน จากนั้นจึงทำการทดลองเซลล์เชื้อเพลิงที่มีอัตราไหลของเมทานอลที่ 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที และ แบบที่ไม่มีมีการไหลในช่องทางไหล ตามลำดับ ทำซ้ำจนได้การศึกษาจำนวนละ 3 ครั้ง

3.6 วิเคราะห์วงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์

จากการศึกษาที่ 3.5 เพื่อที่จะทราบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์แบบใดมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุด จะนำผลการทดลองของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นมาหาความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิง โดยใช้หลักการการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด แล้วแสดงเซลล์เชื้อเพลิงนั้นในรูปของวงจรไฟฟ้าสมมูลเทเวนิน

3.7 วิเคราะห์ข้อมูล

3.7.1 การสร้างกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์

ผลการศึกษาของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ ที่ได้จากการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไหลตลอดตัวต้านทานค่าต่างๆ ที่ต่อเข้ากับเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ ใช้เวลาตัวต้านทานละ 2

นาที่ โดยเริ่มจากค่าความต้านทาน 10 เมกกะโอห์ม แล้วเปลี่ยนตัวต้านทานโดยลดค่าลงมาเรื่อยๆ แสดงดังรูปที่ 3.17 ในช่วงที่ยังไม่มีการต่อโหลดตัวต้านทานเข้ากับเซลล์เชื้อเพลิง ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้เรียกว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด (Open circuit voltage ; V_{oc}) และในช่วงที่มีการต่อโหลดตัวต้านทานค่าต่างๆ เข้ากับเซลล์เชื้อเพลิง จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจะตกลง เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดตัวต้านทานค่าน้อยๆ สำหรับการหาค่ากระแสไฟฟ้าที่เซลล์เชื้อเพลิงจ่ายให้กับตัวต้านทานค่าต่างๆ หาโดยการหารค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ตกคร่อมตัวต้านทานด้วยค่าความต้านทานนั้น ดังแสดงในสมการที่ 3.1

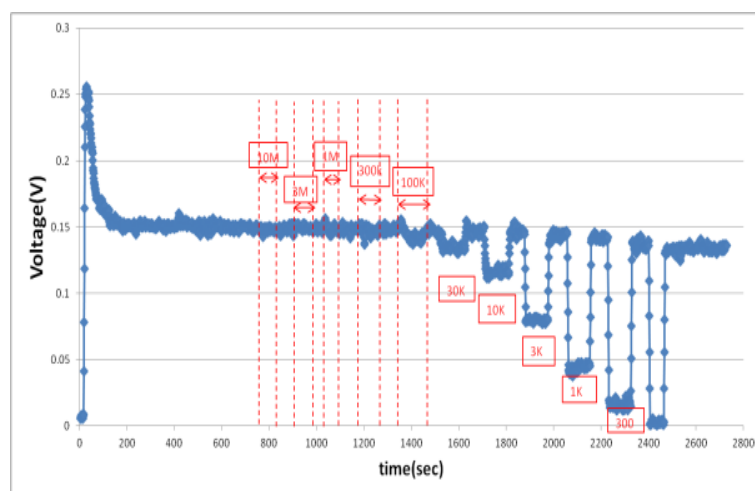
$$I_R = \frac{V_R}{R} \quad (3.1)$$

I_R คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่เซลล์เชื้อเพลิงจ่ายให้กับโหลดตัวต้านทาน (แอมแปร์)

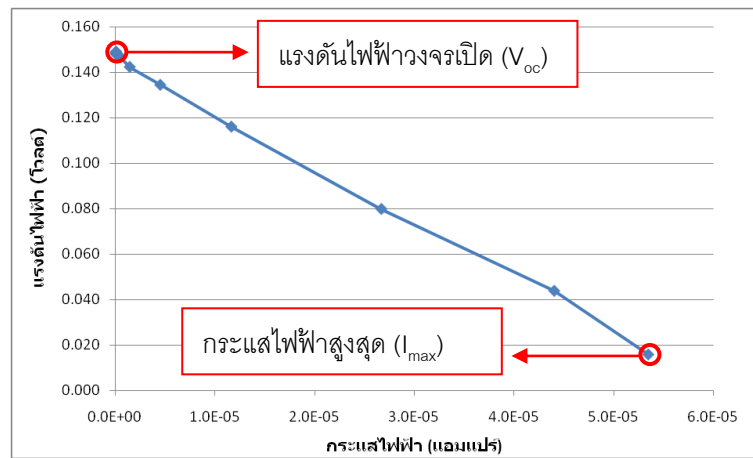
V_R คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน (โวลต์)

R คือ ค่าความต้านทานของโหลดตัวต้านทานที่เซลล์เชื้อเพลิงจ่ายกระแสให้ (โอห์ม)

ค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ ที่จ่ายให้กับโหลดตัวต้านทาน สามารถนำมาเขียนกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.18 ซึ่งถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทานค่าต่างๆ ที่ต่อเข้ากับเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์

จากรูปที่ 3.18 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถัด (V_{oc}) คือค่าแรงดันไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงขณะที่ไม่มีการจ่ายกระแสให้กับโหลดตัวต้านทาน และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{max}) สำหรับในการศึกษานี้ คือค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์เชื้อเพลิงจ่ายให้แก่โหลดตัวต้านทาน โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานยังมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ขนาด 10 บิต ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F4550 สามารถวัดได้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.8 มิลลิโวลต์ ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่กล่าวถึงนี้จึงไม่ใช่ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเนื่องจากเป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ยังคงมีตัวต้านทานต่ออยู่ในระบบ

3.7.2 การสร้างกราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์และค่าความต้านทานของโหลด

ค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์จ่ายให้กับโหลดตัวต้านทาน หาได้โดยการนำค่ากระแสไฟฟ้าที่เซลล์เชื้อเพลิงจ่ายให้กับโหลดตัวต้านทานคูณกับค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทานนั้น แสดงดังสมการที่ 3.2

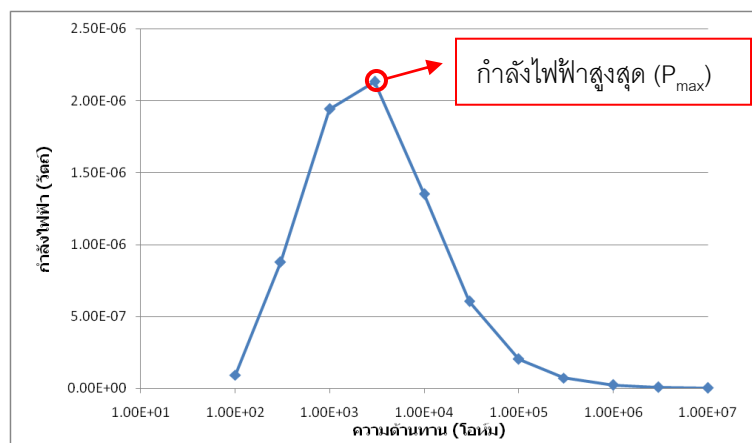
$$P_R = I_R \times V_R \quad (3.2)$$

P_R คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่จ่ายให้กับโหลดตัวต้านทาน (วัตต์)

I_R คือ ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่จ่ายให้กับโหลดตัวต้านทาน (แอมแปร์)

V_R คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน (โวลต์)

ค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่จ่ายให้กับโหลดตัวต้านทาน สามารถนำมาใช้เขียนกราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประติษฐ์และค่าความต้านทานของโหลดได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ซึ่งถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน และค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประติษฐ์



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างกราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประติษฐ์และค่าความต้านทานของโหลด

จากรูปที่ 3.19 นิยามของค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ในที่นี้คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์เชื้อเพลิงจ่ายให้กับโหลดตัวต้านทานที่ใช้ทดสอบในแต่ละการศึกษา ซึ่งอาจจะต่างจากค่ากำลังสูงสุดจริงอยู่เล็กน้อย เนื่องจากค่าความต้านทานที่ใช้ในการศึกษานี้ไม่ได้เปลี่ยนค่าอย่างต่อเนื่อง

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

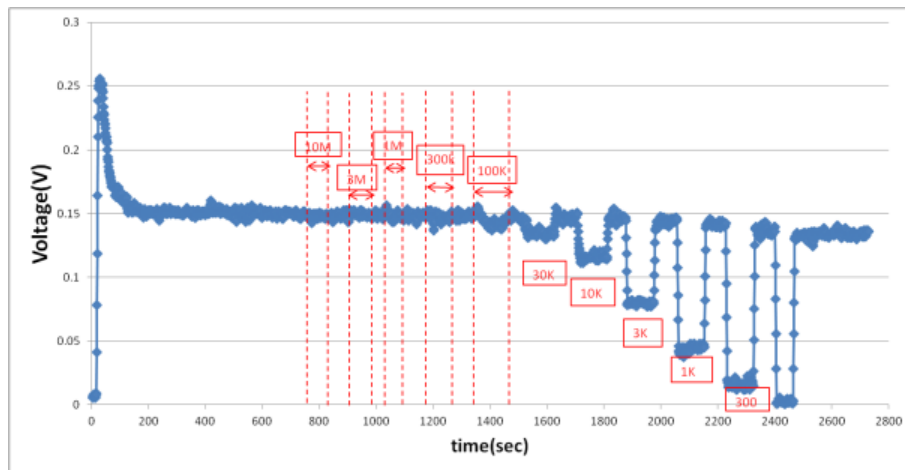
4.1 การศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิง

4.1.1 ผลของอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนแนฟิออนเมมเบรนและนีโอเซ็ปตาเมมเบรน

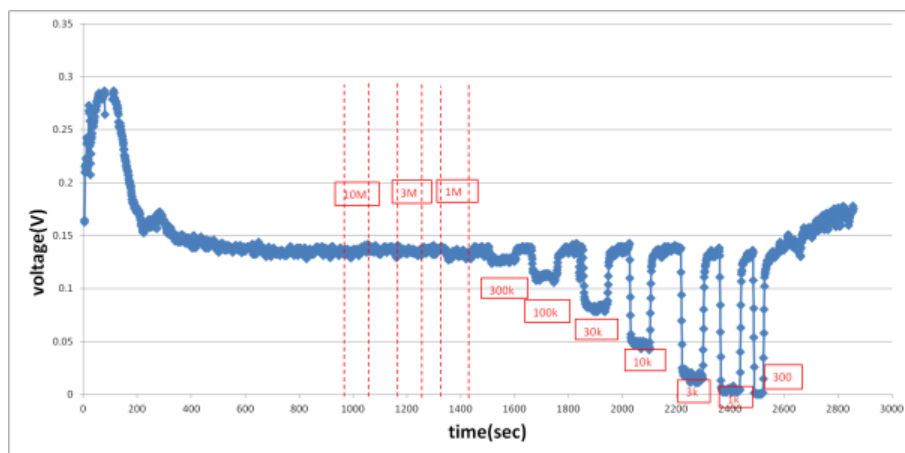
ทดสอบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ โดยต่อตัวต้านทานค่าต่างๆ เข้ากับเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลดให้กับเซลล์เชื้อเพลิง วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองแสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเซลล์เชื้อเพลิงจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงให้กับโหลดตัวต้านทานค่าต่ำ ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงจะลดลง ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ จะนำไปคำนวณร่วมกับค่าความต้านทานที่ต่อเข้ากับเซลล์เชื้อเพลิง จะได้เป็นค่ากระแสไฟฟ้า และค่ากำลังไฟฟ้า ซึ่งจะนำไปใช้สร้างเป็นกราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง และกราฟกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงและค่าความต้านทานของโหลด ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุด ของเซลล์เชื้อเพลิงแนฟิออนเมมเบรนและนีโอเซ็ปตาเมมเบรน แสดงดังตารางที่ 4.1

จากผลการศึกษาพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรน มีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 0.149 โวลต์ 53.4 ไมโครแอมแปร์ และ 2.13 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้นีโอเซ็ปตาเมมเบรนที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 0.135 โวลต์ 5.38 ไมโครแอมแปร์ และ 0.22 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ ซึ่งค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์สามารถประมาณได้เท่ากับ ค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่เซลล์เชื้อเพลิงสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด จากหลักการการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด จากผลการศึกษารูปที่ 4.3 ซึ่งพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงแนฟิออนเมมเบรนและนีโอเซ็ปตาเมมเบรนมีค่าความต้านทานภายในประมาณ 2 กิโลโอห์ม และ 20 กิโลโอห์ม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้นีโอเซ็ปตาเมมเบรน มีความต้านทานภายในสูงกว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้นีโอเซ็ปตาเมมเบรน มีค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรน สาเหตุหนึ่งที่นีโอเซ็ปตาเมมเบรนมีค่าความต้านทานสูงนั้นคาดว่าเนื่องมาจากความหนาของนีโอเซ็ปตาเมมเบรนมีค่า 170 ไมโครเมตรในขณะที่แนฟิออนเมมเบรนมี

ความหนา 127 ไมโครเมตร ดังนั้นการใช้แฉีพอลิเมอร์เป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนของเซลล์เชื้อเพลิง จึงมีความเหมาะสมกว่าการใช้ นีโอเซ็ปตาเมมเบรน ดังนั้นการใช้แฉีพอลิเมอร์เป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนของเซลล์เชื้อเพลิง จึงมีความเหมาะสมกว่าการใช้ นีโอเซ็ปตาเมมเบรน

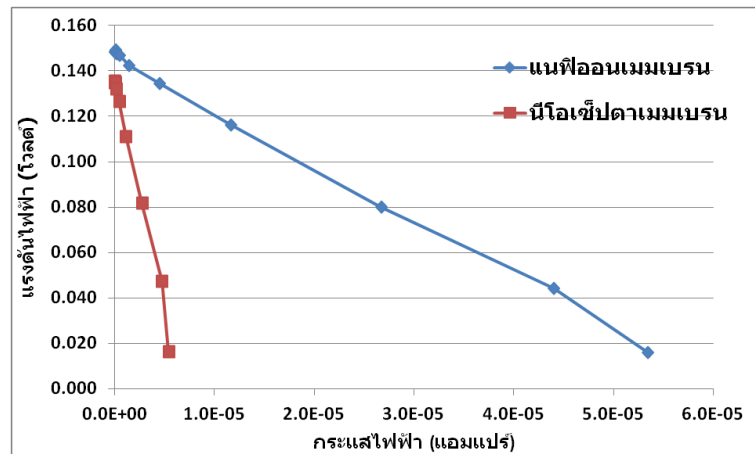


(ก)

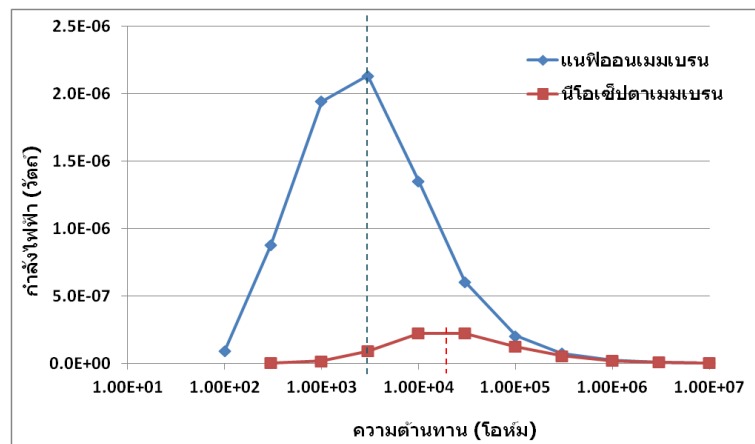


(ข)

รูปที่ 4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความต้านทานของโหลด
(ก) เซลล์เชื้อเพลิงแฉีพอลิเมอร์เมมเบรน (ข) เซลล์เชื้อเพลิงนีโอเซ็ปตาเมมเบรน



รูปที่ 4.2 กราฟกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนจาก แฉฟออนเมมเบรนและนีโอเซ็ปตาเมมเบรน



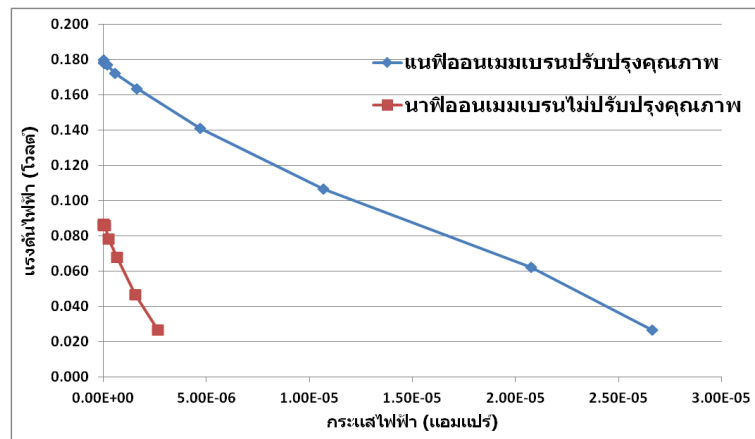
รูปที่ 4.3 กราฟกำลังไฟฟ้าและความต้านทานของโหลดของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนจากแฉฟออนเมมเบรนและนีโอเซ็ปตาเมมเบรน

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิง แฉฟออนเมมเบรนและนีโอเซ็ปตาเมมเบรน

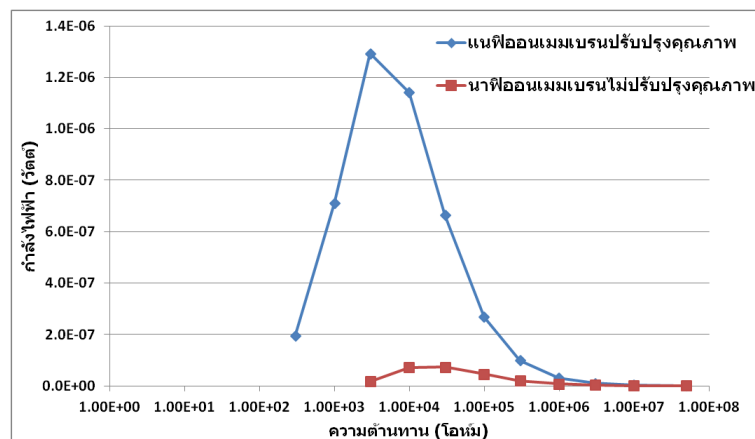
เซลล์เชื้อเพลิง	แรงดันไฟฟ้าวงจรมเปิด (โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครแอมแปร์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์)	ค่าความต้านทานภายใน (กิโลโอห์ม)
แฉฟออนเมมเบรน	0.149	53.4	2.13	2
นีโอเซ็ปตาเมมเบรน	0.135	5.38	0.22	20

4.1.2 ผลของการปรับปรุงคุณภาพของแนฟิออนเมมเบรน

ผลการศึกษาที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุด ของเซลล์เชื้อเพลิงจากการศึกษา แสดงดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.4 ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรนที่ปรับปรุงคุณภาพและไม่ปรับปรุงคุณภาพ



รูปที่ 4.5 กำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรนที่ปรับปรุงคุณภาพและไม่ปรับปรุงคุณภาพ

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ แนนฟิออนเมมเบรนที่ปรับปรุงคุณภาพและไม่ปรับปรุงคุณภาพ

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง	แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด(โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครแอมแปร์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์)	ค่าความต้านทานภายใน (กิโลโอห์ม)
ปรับปรุงคุณภาพเมมเบรน	0.180	26	1.29	3
ไม่ปรับปรุงคุณภาพเมมเบรน	0.086	2.6	0.07	20

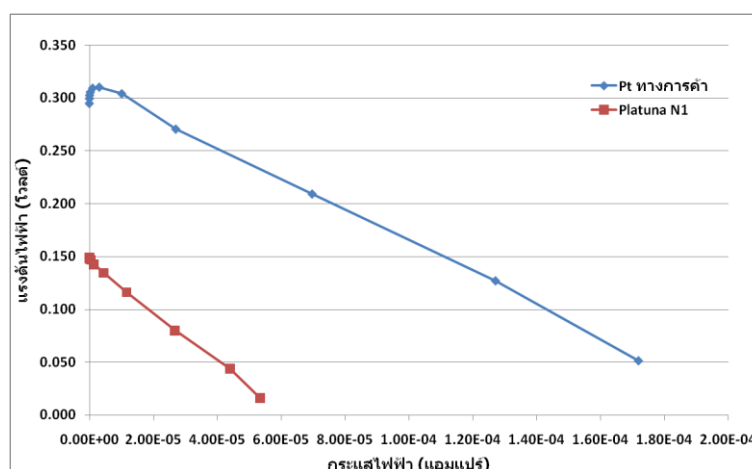
จากผลการศึกษาพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรนที่ปรับปรุงคุณภาพมีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 0.180 โวลต์ 26 ไมโครแอมแปร์ และ 1.29 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรนที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.086 โวลต์ 2.6 ไมโครแอมแปร์ และ 0.07 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่าค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรนที่ปรับปรุงคุณภาพ เท่ากับ 3 กิโลโอห์ม ซึ่งต่ำกว่าค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรนที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20 กิโลโอห์ม จากผลการศึกษาที่ได้ จะเห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพแนฟิออนเมมเบรน สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงดีขึ้น คาดว่าการปรับปรุงคุณภาพแนฟิออนเมมเบรน มีผลช่วยให้พื้นผิวของเมมเบรนสะอาดขึ้น ทำให้การส่งผ่านโปรตอนผ่านแนฟิออนเมมเบรนดีขึ้น มีผลช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาดีขึ้น การสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากความต้านทานที่เมมเบรนลดลง

4.1.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

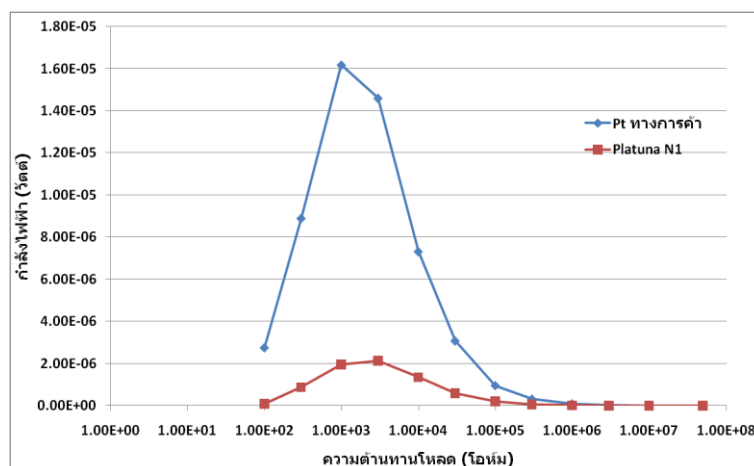
การศึกษานี้ประกอบด้วยเซลล์เชื้อเพลิง ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกัน 3 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า

4.1.3.1 เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1

จากผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า มีค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า มากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า มีค่าเท่ากับ 0.295 โวลต์ 172 ไมโครแอมแปร์ และ 16.2 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ และค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 มีค่าเท่ากับ 0.149 โวลต์ 53.4 ไมโครแอมแปร์ และ 2.13 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1



รูปที่ 4.6 ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1



รูปที่ 4.7 ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1

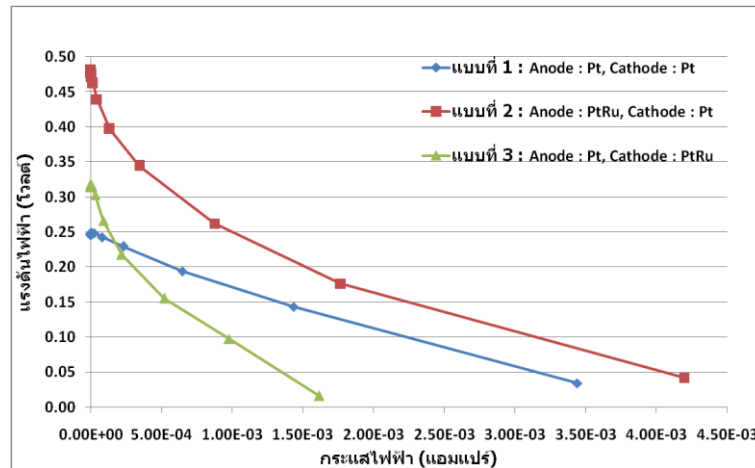
เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง	แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด(โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครแอมแปร์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์)	ค่าความต้านทานภายใน (กิโลโอห์ม)
แพลทินัมทางการค้า	0.295	172	16.2	1
Platuna N1	0.149	53.4	2.13	2

4.1.3.2 เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า

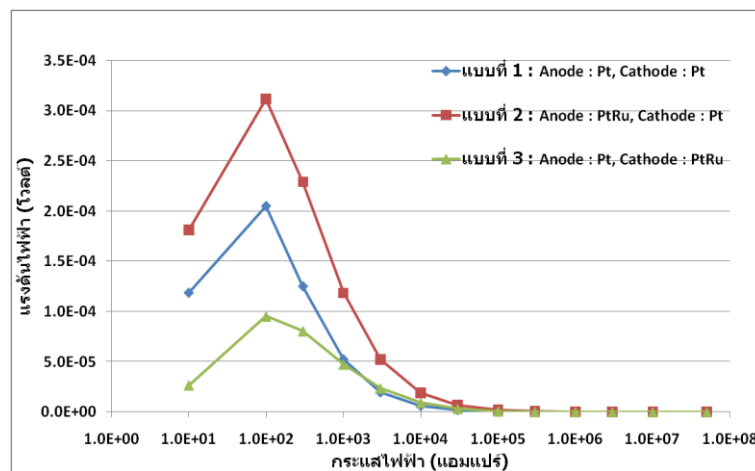
ผลการศึกษา รูปที่ 4.8 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงทั้ง 3 แบบ และรูปที่ 4.9 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงทั้ง 3 แบบ ซึ่งจากการศึกษาจะเห็นว่า เซลล์เชื้อเพลิงแบบที่ 2 ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาด้านแอโนดเป็น

แพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า และด้านแคโทดเป็นแพลทินัมทางการค้า มีประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุด ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์แบบที่ 1 และ 3 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

แพลทินัม – รูทีเนียม ที่ด้านแอโนดของเซลล์เชื้อเพลิง มีผลช่วยให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงดีขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม



รูปที่ 4.8 ค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลทั้ง 3 แบบ ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า



รูปที่ 4.9 ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงทั้ง 3 แบบ ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า

ตารางที่ 4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงทั้ง 3 แบบ ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า และตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า

เซลล์เชื้อเพลิง	แรงดันวงจรถูกเปิด (โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (มิลลิแอมแปร์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์)	ค่าความต้านทานภายใน (โอห์ม)
แบบที่ 1 Pt - Pt	0.246	3.44	205	100
แบบที่ 2 Pt/Ru – Pt	0.481	4.19	312	100
แบบที่ 3 Pt – Pt/Ru	0.315	1.62	95.4	100

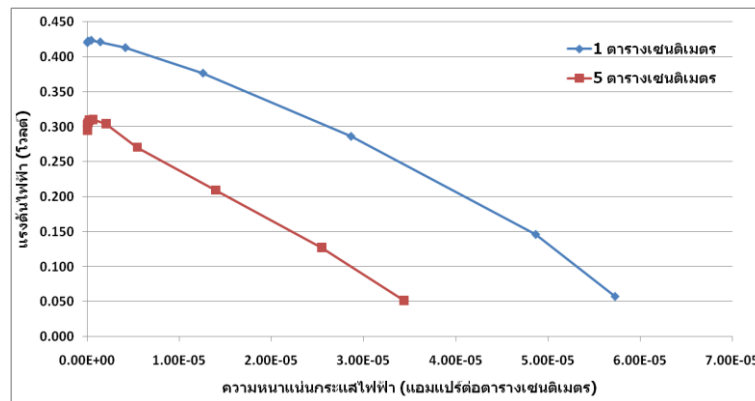
จากผลการศึกษาในหัวข้อ 4.1.3.1 และ 4.1.3.2 แสดงให้เห็นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้ามีประสิทธิภาพดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 ซึ่งอาจเนื่องมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า มีลักษณะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่กระจายตัวอยู่บนตัวรองรับที่เป็นผงคาร์บอน ดังนั้นจึงทำให้มีพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 ที่ถูกเคลือบลงบนผิวอิเล็กทรอนิกส์ทอตาข่ายสแตนเลสโดยตรง นอกจากนี้ยังพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ประกอบด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาด้านแอโนดเป็น แพลทินัม – รูทีเนียม และด้านแคโทดเป็นแพลทินัม มีสมรรถนะดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีด้านแอโนดและแคโทดเป็นแพลทินัม หรือด้านแอโนดเป็นแพลทินัมและด้านแคโทดเป็นแพลทินัม – รูทีเนียม

4.1.4 ผลของขนาดพื้นที่ทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

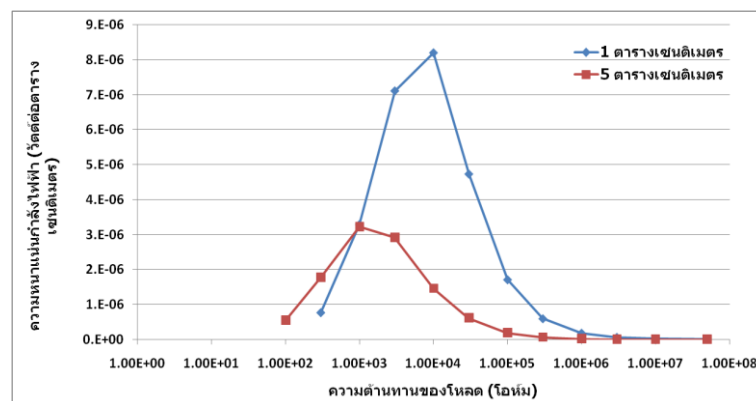
จากรูปที่ 4.10 พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร มีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถูกเปิด 0.420 โวลต์ และค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุด 57.3 ไมโครแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตรที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถูกเปิด 0.295 โวลต์ และค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุด 34.4 ไมโครแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร

เมื่อพิจารณาที่ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ได้จากรูปที่ 4.11 พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร มีค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 8.19 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร ที่มีความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 3.23 ไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร และพบว่าค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตรมีค่ามากกว่าความต้านทาน

ภายในเซลล์เชื้อเพลิงพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร คือ 10 กิโลโอห์ม และ 1 กิโลโอห์ม ตามลำดับ ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุด และความหนาแน่น กำลังไฟฟ้าสูงสุด ของเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 และ 5 ตารางเซนติเมตร แสดงดังตาราง ที่ 4.5



รูปที่ 4.10 ค่าความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 และ 5 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.11 ค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 และ 5 ตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 4.5 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุด ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 และ 5 ตารางเซนติเมตร

เซลล์เชื้อเพลิง	แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (โวลต์)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครแอมแปร์/ตารางเซนติเมตร)	ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์/ตารางเซนติเมตร)	ค่าความต้านทานภายใน (กิโลโอห์ม)
1 cm ²	0.420	57.3	8.19	10
5 cm ²	0.295	34.4	3.23	1

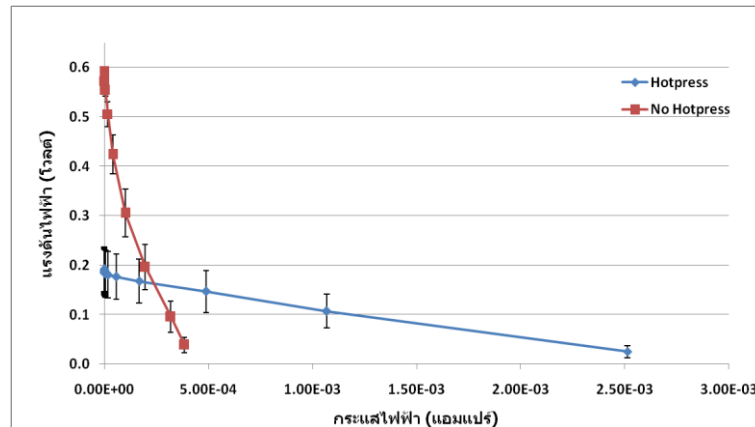
จากการศึกษาจะเห็นได้ว่า เซลล์เชื้อเพลิงพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตรมีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า มากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร โดยที่มีความต้านทานภายในสูงกว่า ซึ่งตามทฤษฎีเซลล์เชื้อเพลิงที่มีลักษณะเหมือนกัน แต่ว่ามีขนาดพื้นที่ทำงานต่างกัน ควรจะมีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเท่ากัน ดังนั้นจากผลการศึกษาที่ได้นี้ จึงคาดว่ามีสาเหตุมาจากการควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงขนาดใหญ่ ทำได้ยากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงขนาดเล็ก ตัวอย่างเช่น ในการเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาบนอิเล็กโทรดขนาดใหญ่ อาจเกิดความไม่สม่ำเสมอของการกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาบนผิวอิเล็กโทรดมากกว่าการเคลือบบนอิเล็กโทรดขนาดเล็ก ดังนั้นในการศึกษาส่วนต่อไป จึงเลือกประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิง พื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร เพื่อที่จะสามารถควบคุมผลของตัวแปรต่างๆ ได้ง่าย และได้เซลล์เชื้อเพลิงที่มีสมรรถนะที่ดี ดังนั้นการศึกษาต่อจากนี้ไป จึงใช้เซลล์เชื้อเพลิงที่มีพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร

4.1.5 ผลของการกีดกันด้วยความร้อนเอ็มอีเอ

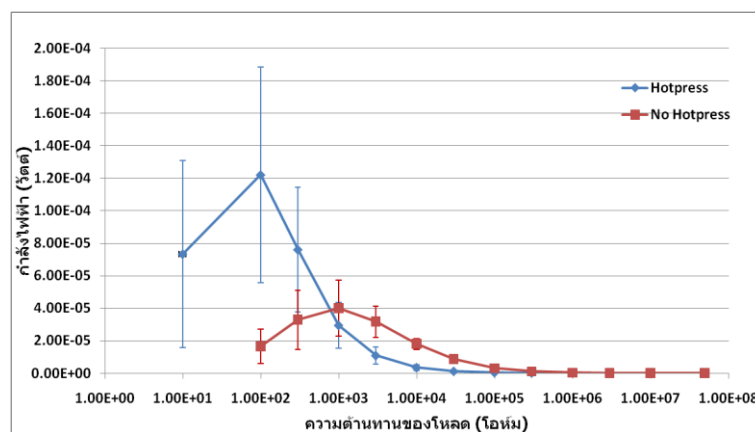
4.1.5.1 เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสเอ็มอีเอกีด/ไม่กีดด้วยความร้อน

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอ กีดกันด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และไม่กดอัดด้วยความร้อน แสดงดังรูปที่ 4.12 และค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอ กดอัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Hot press) และ เอ็มอีเอไม่กดอัดด้วยความร้อน (No hot press)



รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอกดอัดด้วยความร้อน (Hot press) และเอ็มอีเอไม่กดอัดด้วยความร้อน (No hot press)

ตารางที่ 4.6 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงตรง เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน (Hot press) และ เอ็มอีเอไม่กดอัดด้วยความร้อน (No hot press)

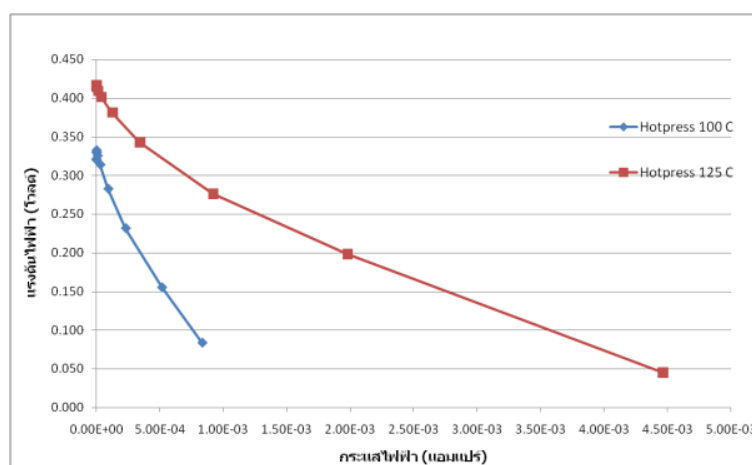
เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง	แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (มิลลิแอมแปร์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์)	ค่าความต้านทานภายใน (โอห์ม)
กดอัดด้วยความร้อน	0.192	2.51	122	100
ไม่กดอัดด้วยความร้อน	0.591	0.38	38.5	1k

พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน มีค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเท่ากับ 0.192 โวลต์ ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอไม่กดอัดด้วยความร้อน ที่มีค่าเท่ากับ 0.591 โวลต์ เนื่องจากอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสที่เคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า หลังจากถูกอัดด้วยความร้อน พบว่าจะมีตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนหลุดจากอิเล็กโทรดผ่านทางรูของตาข่าย จึงมีผลทำให้อิเล็กโทรดเกิดปฏิกิริยาได้ไม่ดีกับเมทานอลและก๊าซออกซิเจน ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าต่ำลง เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าสูงสุด และค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุด พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน มีค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าสูงสุด และค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 2.51 มิลลิแอมแปร์ และ 122 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ เอ็มอีเอไม่กดอัดด้วยความร้อน ที่มีค่า 0.38 มิลลิแอมแปร์ และ 38.5 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจากค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่าเซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน มีค่าความต้านทานภายในประมาณ 100 โอห์ม ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ เอ็มอีเอไม่กดอัดด้วยความร้อน ที่มีค่าความต้านทานภายในประมาณ 1 กิโลโอห์ม ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้ แสดงให้เห็นว่าถึงแม้เซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน จะมีค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอไม่กดอัดด้วยความร้อน แต่ว่าเซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน กลับมีค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าสูงสุดและค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุด มากกว่าเซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอไม่กดอัดด้วยความร้อน ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน มีค่าต่ำกว่าค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิง เอ็มอีเอ ไม่กดอัดด้วยความร้อน เนื่องจากการอัดด้วยความร้อน มีผลทำให้อิเล็กโทรดและเมมเบรนยึดติดกันดี ทำให้อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนและชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาบนผิวอิเล็กโทรดสัมผัสกันได้ดีขึ้น ส่งผลให้การส่งผ่านโปรตอนและอิเล็กตรอนดีขึ้น

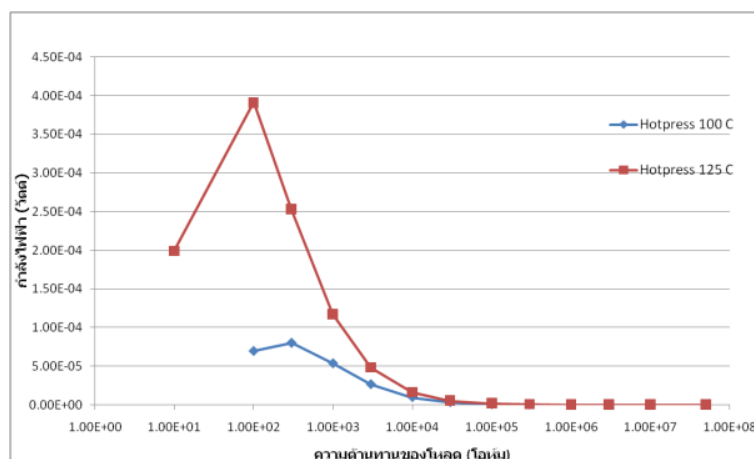
จึงทำให้ความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง จึงมีผลทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มมากขึ้น

4.1.5.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้กักอัดด้วยความร้อนเอ็มอีเอที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส

จากผลการศึกษาที่แสดงในรูปที่ 4.14 และ รูปที่ 4.15 พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กักอัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส มีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 0.416 โวลต์ 4.43 มิลลิแอมแปร์ และ 391 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กักอัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่มีค่าเท่ากับ 0.320 โวลต์ 0.83 มิลลิแอมแปร์ และ 80 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจากค่าความต้านทานภายใน พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กักอัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานภายในเท่ากับ 100 โอห์ม ซึ่งต่ำกว่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กักอัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่มีค่าเท่ากับ 300 โอห์ม ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้นี้จะเห็นได้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กักอัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กักอัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แต่พบว่าการเตรียมเอ็มอีเอ การกักอัด ความร้อน ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เอ็มอีเอที่เตรียมมีโอกาสที่อิเล็กโทรดที่ด้านแอนโนดและแคโทดจะถูกกัดด้วยอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ได้มากกว่าการกักอัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีผลทำให้เกิดการลัดวงจรของเซลล์เชื้อเพลิงเกิดขึ้น



รูปที่ 4.14 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กักอัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100°C และ 125°C



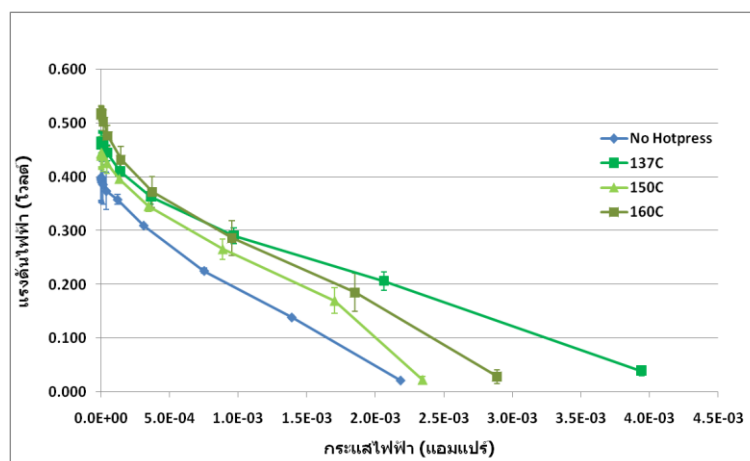
รูปที่ 4.15 กำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กัดกัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C และ 125°C

ตารางที่ 4.7 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถัด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงตรงที่เอ็มอีเอ กัดกัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100°C และ 125°C

เซลล์เชื้อเพลิง	แรงดันไฟฟ้าวงจรถัด (โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (มิลลิแอมแปร์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์)	ค่าความต้านทานภายใน (โอห์ม)
125°C	0.416	4.43	391	100
100°C	0.320	0.83	80	300

4.1.5.3 เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ทรานสเดนเลสเอ็มอีเอกัด/ไม่กัดกัดด้วยความร้อน

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กทรอนิกส์ทรานสเดนเลสที่เอ็มอีเอไม่กัดกัดด้วยความร้อน และเอ็มอีเอกัดกัดด้วยความร้อน ที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 จากผลการศึกษาพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กัดกัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 137 150 และ 160 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าวงจรถัดและกระแสไฟฟ้าสูงสุด มากกว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ ไม่กัดกัดด้วยความร้อน ซึ่งค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าวงจรถัดและกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงในการศึกษานี้แสดงในตารางที่ 4.8



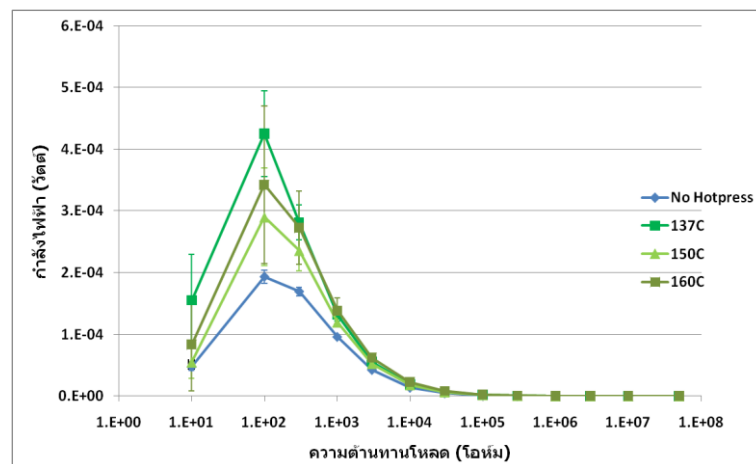
รูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสที่เอ็มอีเอ ไม่กดอัดด้วยความร้อน (No hot press) และเอ็มอีเอ กดอัดด้วยความร้อน ที่ค่าอุณหภูมิ 137°C 150°C และ 160°C (137C 150C และ 160C)

ตารางที่ 4.8 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสที่เอ็มอีเอ ไม่กดอัดด้วยความร้อน และเอ็มอีเอ กดอัดด้วยความร้อน ที่ค่าอุณหภูมิ 137°C 150°C และ 160°C

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง	แรงดันไฟฟ้าวงจรมืด (โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (มิลลิแอมแปร์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์)	ค่าความต้านทานภายใน (โอห์ม)
ไม่กดอัดด้วยความร้อน	0.400	2.18	193	100
137°C	0.460	3.94	425	100
150°C	0.440	2.34	290	100
160°C	0.515	2.83	342	100

เมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กดอัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 137 150 และ 160 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ ไม่กดอัดด้วยความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 4.8 ซึ่งจากค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ได้จากการศึกษานี้ จะเห็นได้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กดอัดด้วยความร้อน มีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ ไม่กดอัดด้วยความร้อน สำหรับค่าความต้านทานภายในของ

เซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กัดกัดด้วยความร้อน พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกับเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ ไม่กัดกัดด้วยความร้อน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงประมาณ 100 โอมห์ และเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิที่ใช้กัดด้วยความร้อนแล้ว แม้ว่าความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสยังไม่ชัดเจนมากนัก แต่จากการทดลองพบว่าการกัดด้วยความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส ประสบผลสำเร็จในการกัดสูง จึงเลือกใช้เอ็มอีเอที่กัดความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส ที่เอ็มอีเอ ไม่กัดกัดด้วยความร้อน (No hot press) และเอ็มอีเอ กัดกัดด้วยความร้อน ที่ค่าอุณหภูมิ 137°C 150°C และ 160°C (137C 150C และ 160C)

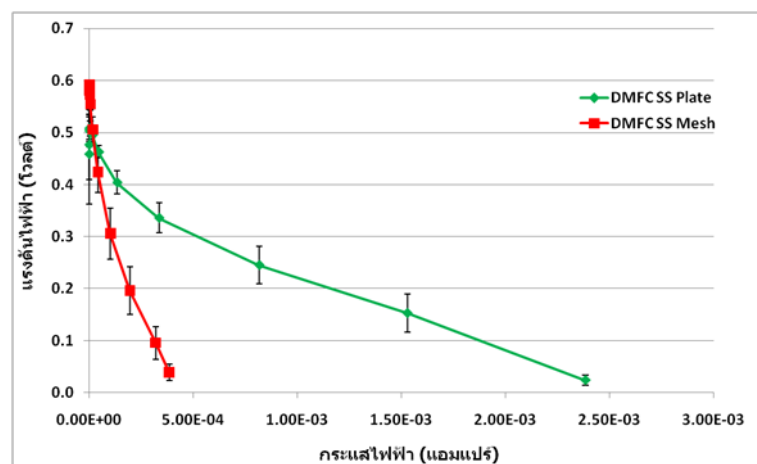
จากผลการศึกษาในหัวข้อ 4.1.5.1 และ 4.1.5.3 จะเห็นได้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส และเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส มีผลการศึกษาเหมือนกัน คือ เซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ กัดกัดด้วยความร้อน จะมีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและ กำลังไฟฟ้าสูงสุดมากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่เอ็มอีเอ ไม่กัดกัดด้วยความร้อน

4.1.6 ผลของอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสและอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส

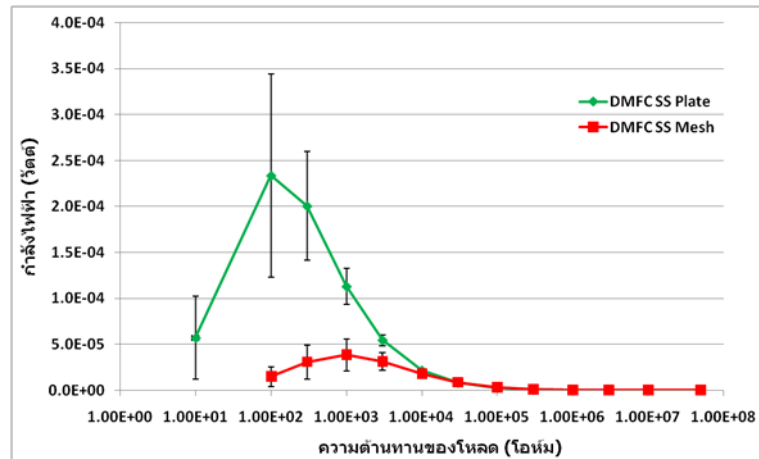
4.1.6.1 เซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอไม่กัดกัดด้วยความร้อน

ผลการศึกษา ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส และแผ่นสแตนเลส เอ็มอีเอ ไม่กัดกัดด้วยความร้อน แสดงดังรูปที่ 4.18 พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสมี ค่าเฉลี่ย

แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด และกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.459 โวลต์ และ 2.38 มิลลิแอมแปร์ ตามลำดับ ในขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส มีเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด และกระแสไฟฟ้าสูงสุด 0.591 โวลต์ และ 0.38 มิลลิแอมแปร์ ตามลำดับ รูปที่ 4.19 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสและแผ่นสแตนเลส พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส มีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุด 233.5 ไมโครวัตต์ ที่ความต้านทานของโหลด 100 โอห์ม ซึ่งมากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส ที่มีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุด 38.5 ไมโครวัตต์ ที่ความต้านทานของโหลด 1 กิโลโอห์ม ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้นี้จะเห็นว่า เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส มีค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดต่ำกว่า เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส เท่ากับ 0.132 โวลต์ แต่ว่ามีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากกว่า 2 มิลลิแอมแปร์ และ 195 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ รวมทั้งยังมีความต้านทานภายในเซลล์เชื้อเพลิงต่ำกว่า ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่า เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส ซึ่งคาดว่าในการทำตัวเร่งปฏิกิริยาบนตาข่ายสแตนเลส จะมีส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาสูญเสียเข้ามาด้านหลังแผ่นสแตนเลสซึ่งไม่ถูกใช้งาน แต่สำหรับแผ่นสแตนเลสจะไม่พบปัญหานี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.20 และแผ่นสแตนเลสมีพื้นผิวที่เรียบสม่ำเสมอ จึงอาจช่วยให้การสัมผัสระหว่างอิเล็กโทรดและอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนดีกว่า ตาข่ายสแตนเลสที่มีพื้นผิวเป็นเส้นลวดขนาดเล็กก็เข้าด้วยกัน



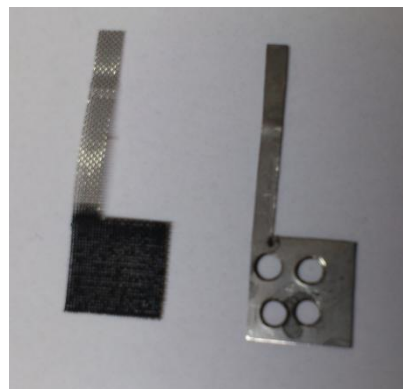
รูปที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอไม่ก่อดัดด้วยความร้อน อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส (DMFC SS Mesh) และแผ่นสแตนเลส (DMFC SS Plate)



รูปที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอไม่กัดอัดด้วยความร้อน อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส (DMFC SS Mesh) และแผ่นสแตนเลส (DMFC SS Plate)

ตารางที่ 4.9 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถัด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายใน ของเซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอไม่กัดอัดด้วยความร้อน อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส และ ตาข่ายสแตนเลส

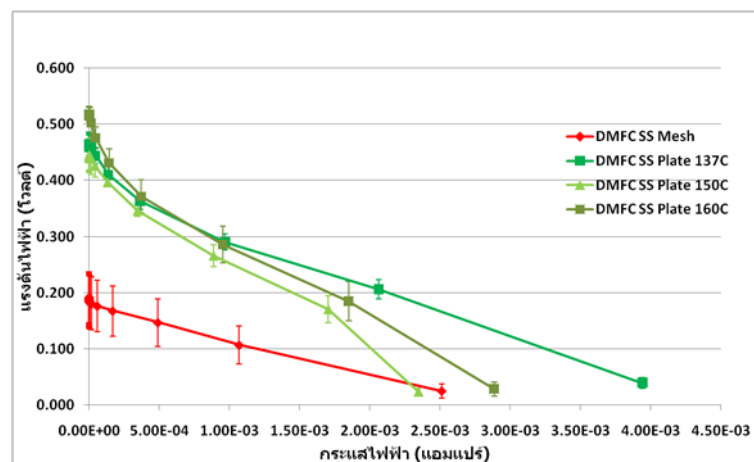
เซลล์เชื้อเพลิง	แรงดันไฟฟ้าวงจรถัด(โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (มิลลิแอมแปร์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์)	ค่าความต้านทานภายใน (โอห์ม)
แผ่นสแตนเลส	0.459	2.38	233.5	100
ตาข่ายสแตนเลส	0.591	0.38	38.5	1k



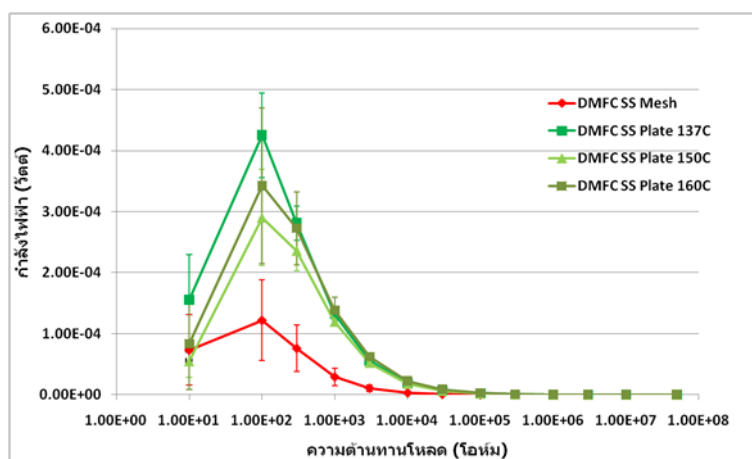
รูปที่ 4.20 การเชื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยามาด้านหลังอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสและแผ่นสแตนเลส

4.1.6.2 เซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน

รูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส และเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส ที่มีเอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน พบว่าค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส ที่มีเอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 137 150 และ 160 องศาเซลเซียส ที่แรงอัดเดียวกัน 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่ามากกว่า เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส ที่มีเอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน ร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีผลคล้ายกับการศึกษาที่ 4.1.6.1 คือเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส มีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส



รูปที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ของเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส (DMFC SS plate) และอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส (DMFC SS mesh) ที่มีเอ็มอีเอกดัดด้วยความร้อน



รูปที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า ของเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส (DMFC SS plate) และอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส (DMFC SS mesh) ที่มีเอ็มอีเอ กัดกัดด้วยความร้อน

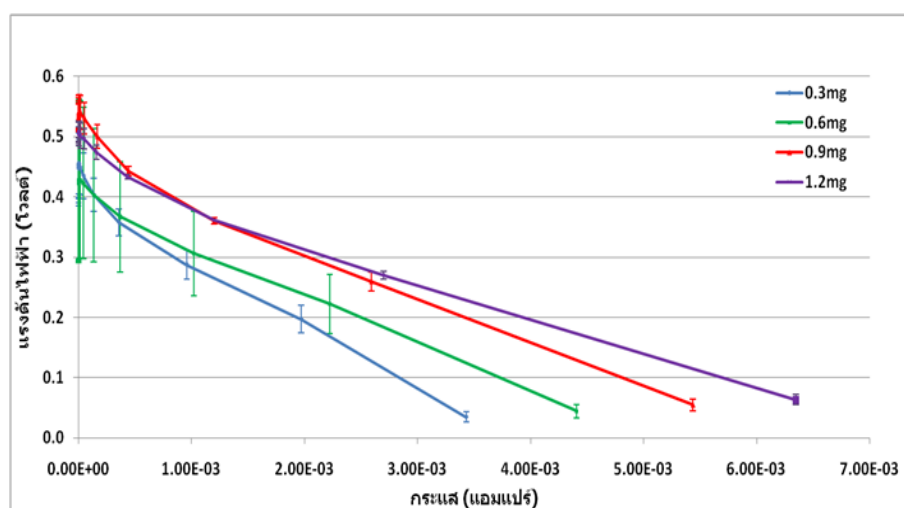
ตารางที่ 4.10 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงตรง อิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส และอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส ที่มีเอ็มอีเอ กัดกัดด้วยความร้อน

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง	แรงดันไฟฟ้าวงจรมืด(โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (มิลลิแอมแปร์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์)	ค่าความต้านทานภายใน (โอห์ม)
ตาข่ายสแตนเลส 100°C	0.192	2.51	122	100
แผ่นสแตนเลส 137°C	0.460	3.94	425	100
แผ่นสแตนเลส 150°C	0.440	2.34	290	100
แผ่นสแตนเลส 160°C	0.515	2.83	342	100

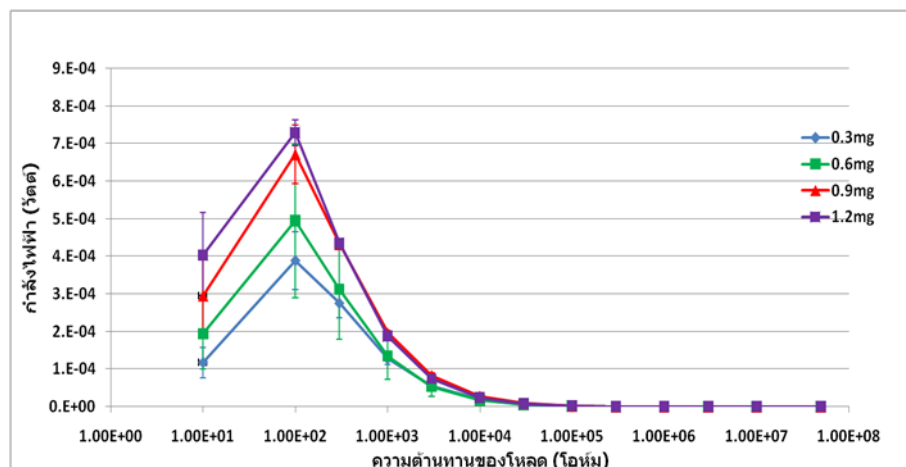
4.1.7 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิง

ผลการศึกษารูปที่ 4.23 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแอโนดต่างกัน โดยค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าสูงสุดและค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมืด แสดงในตารางที่ 4.11 เมื่อพิจารณา

ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดพบว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า ด้านแอนโนดเท่ากับ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเท่ากับ 0.447, 0.422, 0.531, และ 0.508 โวลต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิง จากรูปที่ 4.24 พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า ด้านแอนโนดเท่ากับ 0.3, 0.6, 0.9, และ 1.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 3.43, 4.41, 5.44 และ 6.35 มิลลิแอมป์ ตามลำดับ และมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 388, 494, 671 และ 729 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมที่ด้านแอนโนด จะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากอิเล็กโทรดสามารถทำปฏิกิริยากับเมทานอลได้เพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแอนโนดเท่ากับ 0.9 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความแตกต่างกันเล็กน้อย ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียม ในการศึกษาจึงเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมที่ด้านแอนโนด เท่ากับ 0.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่างกัน พบว่าไม่มีความแตกต่าง ซึ่งมีค่าประมาณ 100 โอห์ม



รูปที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแอนโนดเท่ากับ 0.3 0.6 0.9 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแอโนดเท่ากับ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

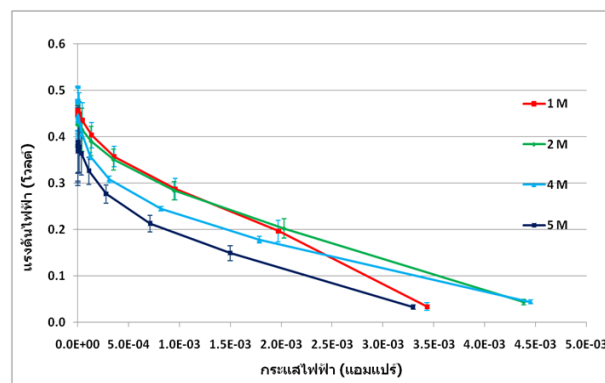
ตารางที่ 4.11 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถูกเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงตรง ที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแอโนดเท่ากับ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เซลล์เชื้อเพลิง	แรงดันไฟฟ้าวงจรถูกเปิด(โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (มิลลิแอมแปร์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์)	ค่าความต้านทานภายใน (โอห์ม)
0.3 mg/cm ²	0.447	3.43	388	100
0.6 mg/cm ²	0.422	4.41	494	100
0.9 mg/cm ²	0.531	5.44	671	100
1.2 mg/cm ²	0.508	6.35	729	100

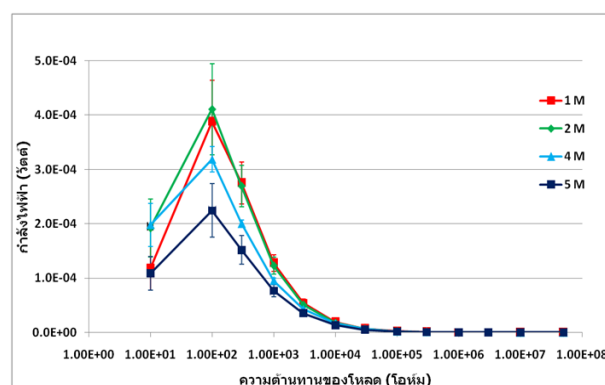
4.1.8 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเมทานอล

จากผลการศึกษา เมื่อพิจารณาที่ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด จากรูปที่ 4.25 และตารางที่ 4.12 จะเห็นว่าไม่สามารถแยกความแตกต่างของผลความเข้มข้นเมทานอลที่มีต่อ ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงได้ชัดเจนนัก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง เมื่อมีการจ่ายกระแสให้กับโหลด จะเห็นได้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เมทานอลความเข้มข้นต่ำเท่ากับ 1 และ 2 โมลาร์ จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เมทานอลความเข้มข้นสูงเท่ากับ 4 และ 5 โมลาร์ และเมื่อ

พิจารณาจากค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุด จากรูปที่ 4.26 พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้นจาก 388 ไมโครวัตต์ ไปยัง 411 ไมโครวัตต์ เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นเมทานอลจาก 1 เป็น 2 โมลาร์ คาดว่าเนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของเมทานอล ทำให้มีจำนวนโมเลกุลของเมทานอลไปทำปฏิกิริยากับอิเล็กโทรดมากขึ้น แต่พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะตกลง เมื่อใช้เมทานอลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น เท่ากับ 4 และ 5 โมลาร์ ซึ่งค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 318 และ 224 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ ซึ่งคาดว่าสาเหตุมาจากการใช้เมทานอลที่มีความเข้มข้นสูงมากเกินไป อาจมีผลทำให้การแพร่ของเมทานอลจากด้านแอโนดผ่านเมมเบรนไปยังด้านแคโทดได้มากขึ้น



รูปที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ทดสอบที่เมทานอลความเข้มข้น 1 2 4 และ 5 โมลาร์



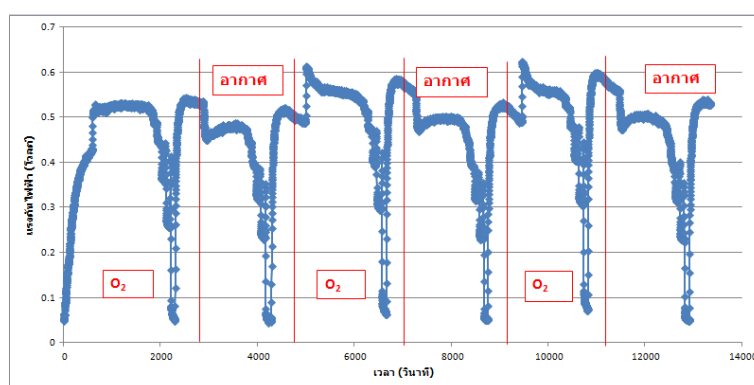
รูปที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ทดสอบที่เมทานอลความเข้มข้น 1 2 4 และ 5 โมลาร์

ตารางที่ 4.12 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงตรง ทดสอบที่เมทานอลความเข้มข้น 1 2 4 และ 5 โมลาร์

เซลล์เชื้อเพลิง	แรงดันไฟฟ้า วงจรเปิด(โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (มิลลิแอมแปร์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์)	ค่าความต้านทาน ภายใน (โอห์ม)
1 M	0.447	3.43	388	100
2 M	0.426	4.38	411	100
4 M	0.437	4.45	318	100
5 M	0.369	3.30	224	100

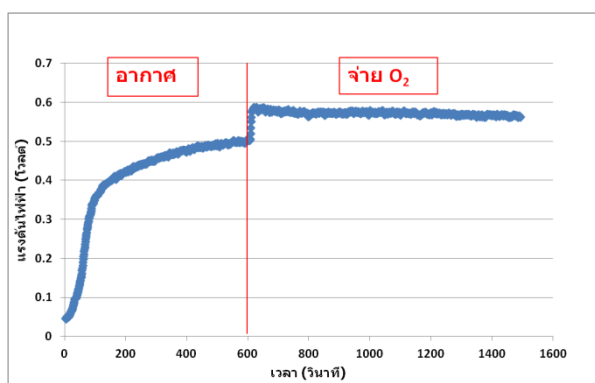
4.1.9 ผลของก๊าซออกซิเจน

วิธีการทดลองในการศึกษานี้ จะทำการทดลองโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงจำนวน 1 ตัว ทำการทดลองสลับกันระหว่าง การทดลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบมีการจ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด กับ การทดลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบปล่อยให้แคโทดสัมผัสกับอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิง โดยธรรมชาติ ซึ่งทำการทดลองสลับกันต่อเนื่องจนได้จำนวนการศึกษาละ 3 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.27 ซึ่งก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในการทดลองนี้ จะจ่ายมาจากถังแก๊สออกซิเจน ที่ความดัน 50 กิโลปาสคาลด้วยอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.27 ค่าแรงดันไฟฟ้าจากการศึกษาเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำการทดลองสลับระหว่าง การทดลองเซลล์เชื้อเพลิงที่จ่ายก๊าซออกซิเจน (ช่วง O₂) และการทดลองเซลล์เชื้อเพลิงที่ปล่อยให้แคโทดสัมผัสกับอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงโดยธรรมชาติ (ช่วง อากาศ) ต่อเนื่องกัน

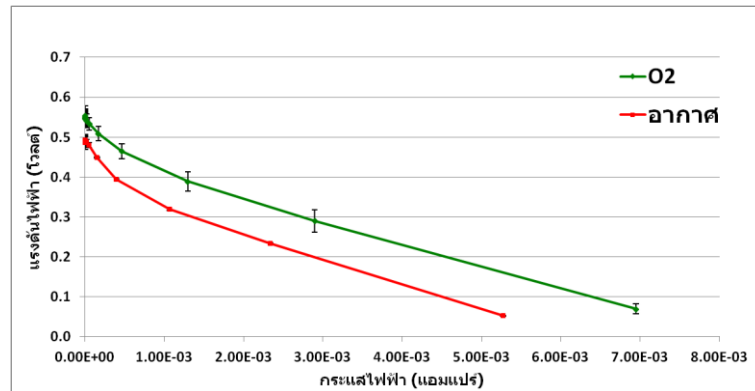
ผลการศึกษา รูปที่ 4.28 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์เชื้อเพลิง เปรียบเทียบระหว่างจ่ายเชื้อเพลิงที่ด้านแคโทดเป็นอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิง และ การจ่าย ก๊าซออกซิเจน พบว่าเมื่อมีการจ่ายก๊าซออกซิเจนให้แก่เซลล์เชื้อเพลิง มีผลทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้า วงจรเปิดของเซลล์เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่า การจ่ายก๊าซออกซิเจนมีผลช่วยลดการแพร่ของ เมทานอลจากด้านแอโนดไปยังด้านแคโทด หรือทำให้ศักย์ไฟฟ้าของแคโทดมีค่าสูงขึ้นซึ่งทำให้ค่า แรงดันวงจรถัดของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น



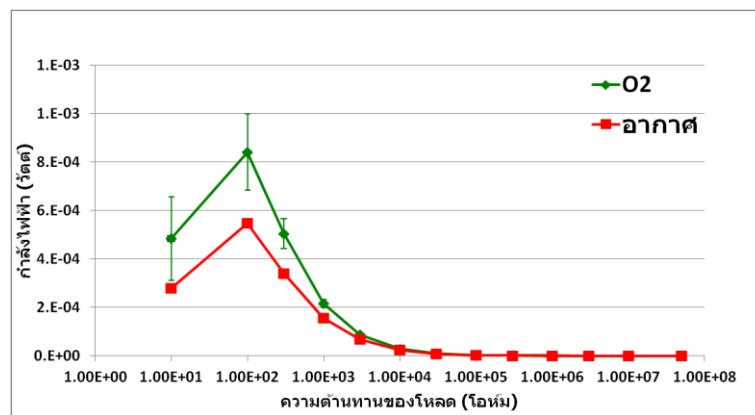
รูปที่ 4.28 แรงดันไฟฟ้าวงจรถัดของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลที่ประดิษฐ์เปรียบเทียบระหว่าง ใช้อากาศจากภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงที่ด้านแคโทด (อากาศ) และ จ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด (O_2)

จากผลการศึกษาในรูปที่ 4.29 พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจนที่ ด้านแคโทด จะมีค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าสูงกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ปล่อยให้แคโทดสัมผัสกับ อากาศภายนอกโดยธรรมชาติ ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถัดและค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์ เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด มีค่าเท่ากับ 0.553 โวลต์ และ 6.95 แอมแปร์ ตามลำดับ และค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถัดและค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงที่ปล่อยให้ แคโทดสัมผัสกับอากาศภายนอก มีค่าเท่ากับ 0.486 โวลต์ และ 5.27 แอมแปร์ ตามลำดับ ดัง แสดงในตารางที่ 4.13 ซึ่งการที่เซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด มีค่า กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่สูง แสดงให้เห็นว่า การจ่ายก๊าซออกซิเจนให้แก่เซลล์เชื้อเพลิง มีผลช่วยให้การ ส่งถ่ายมวลของออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับอิเล็กโทรดที่ด้านแคโทดดีกว่า การใช้ก๊าซออกซิเจน จากอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิง และเมื่อพิจารณาจากค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากรูปที่ 4.30 พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดสูงกว่าเซลล์

เชื้อเพลิงที่ปล่อยให้แคโทดสัมผัสกับอากาศภายนอกโดยธรรมชาติ ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 839 ไมโครวัตต์



รูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด (O₂) และใช้อากาศจากภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงที่ด้านแคโทด (อากาศ)



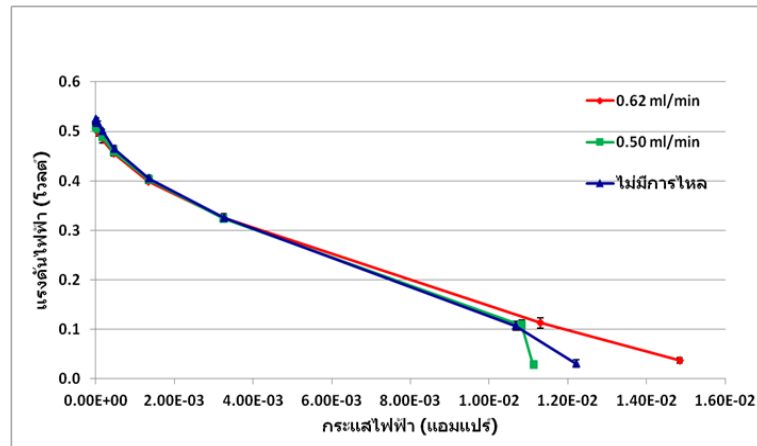
รูปที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด (O₂) และใช้อากาศจากภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงที่ด้านแคโทด (อากาศ)

ตารางที่ 4.13 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด (O₂) และใช้อากาศจากภายนอกเซลล์เชื้อเพลิงที่ด้านแคโทด (อากาศ)

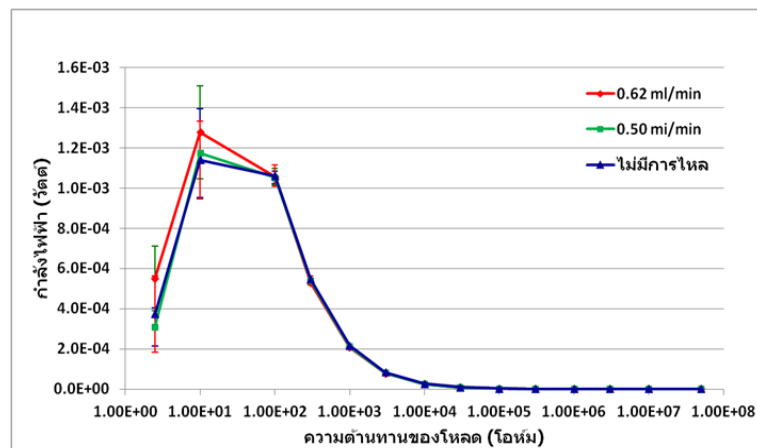
เซลล์เชื้อเพลิง	แรงดันไฟฟ้าวงจรมอเตอร์(โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (มิลลิแอมป์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ไมโครวัตต์)	ค่าความต้านทานภายใน (โอห์ม)
O ₂	0.553	6.95	839	100
อากาศ	0.486	5.27	546	100

4.1.10 ผลของอัตราการไหลของเมทานอล

จากผลการศึกษารูปที่ 4.31 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ของค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง ที่มีการจ่ายเมทานอลที่อัตราไหลค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 เมื่อพิจารณาที่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงจากรูปที่ 4.32 พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจาก 1.14 มิลลิวัตต์ ไปเป็น 1.28 มิลลิวัตต์ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของเมทานอลจากไม่มีการไหล ไปจนถึง 0.62 มิลลิลิตรต่อนาที และเมื่อพิจารณาที่ค่าความต้านทานภายใน พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายเมทานอลทั้ง 3 แบบ มีค่าความต้านทานภายในที่ใกล้เคียงกัน ประมาณ 10 โอห์ม ซึ่งจากผลการการศึกษาที่ได้จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอัตราการไหลของเมทานอล ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ และเมื่อคำนึงถึงพลังงานที่ถูกใช้ไปกับเครื่องปั๊มเมทานอลแล้ว การจ่ายเมทานอลแบบไม่มีการไหล จึงน่าจะเหมาะสมสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ในงานวิจัยนี้ ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายเมทานอลแบบไม่มีการไหล มีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าสูงสุดและ กำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 0.522 โวลต์ 12.2 แอมป์ และ 1.14 มิลลิวัตต์ ตามลำดับ



รูปที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายเมทานอล แบบไม่มีกการไหลในช่องทางไหล และแบบที่มีการไหลที่อัตรา 0.5 และ 0.62 มิลลิลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ที่มีการจ่ายเมทานอล แบบไม่มีกการไหลในช่องทางไหล และแบบที่มีการไหลที่อัตรา 0.5 และ 0.62 มิลลิลิตรต่อนาที

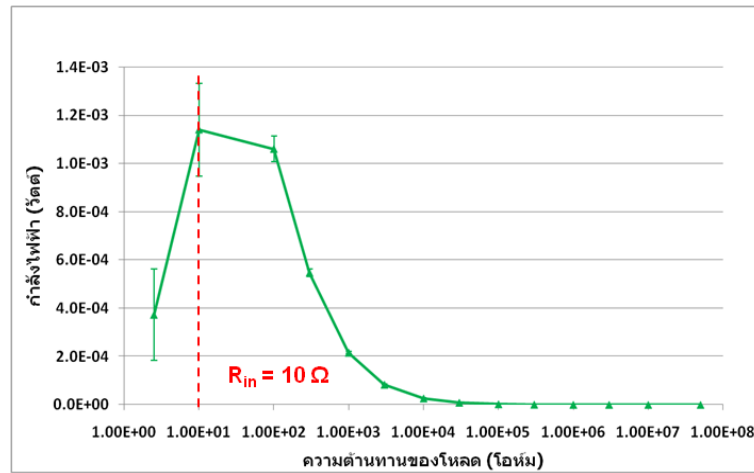
ตารางที่ 4.14 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงตรง ที่มีการจ่ายเมทานอล แบบไม่มีการไหลในช่องทางไหล และแบบที่มีการไหลที่อัตรา 0.5 และ 0.62 มิลลิลิตรต่อนาที

เซลล์เชื้อเพลิง	แรงดันไฟฟ้า วงจรเปิด(โวลต์)	กระแสไฟฟ้าสูงสุด (มิลลิแอมแปร์)	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (มิลลิวัตต์)	ค่าความต้านทาน ภายใน (โอห์ม)
0.62 ml/min	0.511	14.8	1.28	10
0.50 ml/min	0.511	11.1	1.17	10
ไม่มีการไหล	0.522	12.2	1.14	10

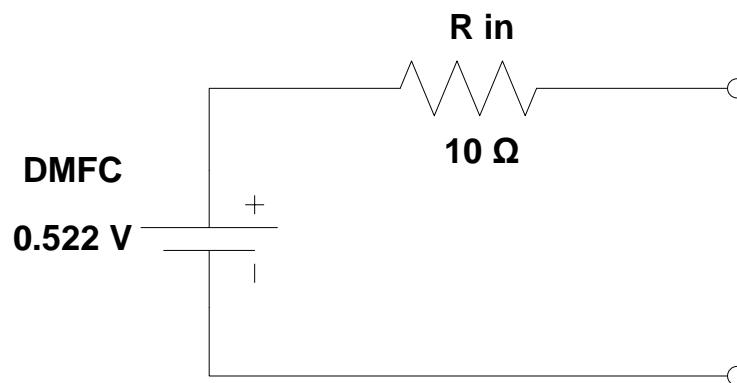
จากการศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิง สามารถสรุปได้ว่า ตัวแปรที่เหมาะสมที่ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี ประกอบด้วย ขนาดพื้นที่ทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง 1 ตารางเซนติเมตร อิเล็กโทรดทำจากแผ่นสแตนเลส ที่ด้านแอนโนดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมทางการค้า ปริมาณ 0.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ด้านแคโทดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนทำจากแนฟิออนเมมเบรน ทำการศึกษาโดยจ่ายสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 2 โมลาร์ แบบไม่มีการไหลในช่องทางไหลที่ด้านแอนโนด และจ่ายก๊าซออกซิเจน ด้วยอัตราไหล 1 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 50 กิโลปาสคาล

4.2 วงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์

จากผลการศึกษาในหัวข้อ 4.1 พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ ที่มีประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุดได้จากผลการศึกษาในหัวข้อ 4.1.10 การทดสอบเซลล์เชื้อเพลิงแบบไม่มีการไหลของเมทานอลในช่องทางไหล ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 0.522 โวลต์ 12.2 มิลลิแอมแปร์ และ 1.14 มิลลิวัตต์ ตามลำดับ สำหรับความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงสามารถหาได้จาก หลักการการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.33 ซึ่งพบว่าค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงนี้มีค่าประมาณ 10 โอห์ม ซึ่งสามารถแสดงเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์นี้ ให้อยู่ในรูปวงจรวจรไฟฟ้าสมมูลได้โดยใช้ วงจรวจรไฟฟ้าสมมูลเทเวนิน ดังแสดงในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.33 การหาค่าความต้านทานภายในของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์



รูปที่ 4.34 วงจรไฟฟ้าสมมูลเทเวนินของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรง ที่ใช้แผ่นสแตนเลสและตาข่ายสแตนเลสเป็นอิเล็กโทรด ใช้แพลทินัมหรือแพลทินัม-รูทีเนียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้แนฟโธอินและนีโอเซ็ปตาเป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน นำเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ไปทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะ และศึกษาวงจรไฟฟ้าสมมูลของเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ขึ้น จากการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 เซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์สำหรับวิทยานิพนธ์นี้มีพื้นที่ทำงาน 2 ขนาด คือ ขนาด 1 ตารางเซนติเมตร และขนาด 5 ตารางเซนติเมตร ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์มีส่วนประกอบคือ แผ่นช่องทางไหล ประเก็นและเอ็มอีเอ ซึ่งแผ่นช่องทางไหลที่ประดิษฐ์ทำจากแผ่นอะคริลิกใสหนา 5 มิลลิเมตร มีช่องทางไหลรูปแบบซิงเกิลเซอร์พินไทน์ ประเก็นที่ประดิษฐ์ทำจากแผ่นยางซิลิโคน และเอ็มอีเอที่ประดิษฐ์ประกอบด้วย อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนทำจากแนฟโธอินและนีโอเซ็ปตา และอิเล็กโทรดทำจากแผ่นสแตนเลสและตาข่ายสแตนเลส ปรับสภาพผิวอิเล็กโทรดด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ชนิด คือตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม-รูทีเนียมทางการค้า และแพลทินัมจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 เอ็มอีเออิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสจะถูกกัดกัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเอ็มอีเออิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสจะถูกกัดกัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5.1.2 การศึกษาผลของขนาดพื้นที่ทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตรมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 5 ตารางเซนติเมตร คาดว่ามีสาเหตุมาจากการควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงขนาดใหญ่ ทำได้ยากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงขนาดเล็ก ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตรให้ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.420 โวลต์ 57.3 ไมโครแอมแปร์ และ 8.19 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ

5.1.3 การศึกษาผลของอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนที่ใช้แนฟิออนและนีโอเซ็ปตา พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้นีโอเซ็ปตาเมมเบรน มีความต้านทานภายในสูงกว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 20 กิโลโอห์ม และ 2 กิโลโอห์ม ตามลำดับ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้นีโอเซ็ปตาเมมเบรน มีค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าต่ำกว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรน สาเหตุหนึ่งที่นีโอเซ็ปตาเมมเบรนมีค่าความต้านทานสูงนั้นคาดว่าเนื่องมาจากความหนาของนีโอเซ็ปตาเมมเบรนมีค่า 170 ไมโครเมตร ในขณะที่แนฟิออนเมมเบรนมีความหนา 127 ไมโครเมตร ดังนั้นการใช้แนฟิออนเมมเบรนเป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนของเซลล์เชื้อเพลิง จึงมีความเหมาะสมกว่าการใช้ นีโอเซ็ปตาเมมเบรน

5.1.4 การศึกษาผลของการปรับปรุงคุณภาพของแนฟิออนเมมเบรน พบว่าการปรับปรุงคุณภาพแนฟิออนเมมเบรน สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงดีขึ้น ทำให้มีค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงมากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แนฟิออนเมมเบรนที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ คาดว่าการปรับปรุงคุณภาพแนฟิออนเมมเบรน มีผลช่วยให้พื้นผิวของเมมเบรนสะอาดขึ้น ทำให้การส่งผ่านโปรตอนผ่านแนฟิออนเมมเบรนดีขึ้น มีผลช่วยให้การเกิดปฏิกิริยาดีขึ้น การสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากความต้านทานที่เมมเบรนลดลง

5.1.5 การศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้าที่เคลือบโดยวิธีการทา มีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากน้ำยาชุบโลหะ Platuna N1 ที่เคลือบผิวโดยวิธีชุบด้วยไฟฟ้า ซึ่งเข้าใจว่าเป็นผลของความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของแพลทินัมที่แตกต่างกันของอนุภาคที่แตกต่างกัน เซลล์เชื้อเพลิงขนาด 1 ตารางเซนติเมตรที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า มีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 0.295 โวลต์ 172 ไมโครแอมแปร์ และ 16.2 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 1 ตารางเซนติเมตรที่ประกอบด้วย ตัวเร่งปฏิกิริยาด้านแอโนดเป็น แพลทินัม – รูทีเนียม และด้านแคโทดเป็นแพลทินัม มีสมรรถนะดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่มีด้านแอโนดและแคโทดเป็นแพลทินัม หรือด้านแอโนดเป็นแพลทินัมและด้านแคโทดเป็นแพลทินัม – รูทีเนียม ซึ่งให้ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.264 โวลต์ 3.44 มิลลิแอมแปร์ และ 205 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ

5.1.6 การศึกษาผลของ เอ็มอีเอ กัดกัดด้วยความร้อน พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 1 ตารางเซนติเมตร อิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสและ เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส ที่เอ็มอีเอกัดกัดด้วยความร้อน มีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงเอ็มอีเอไม่กัดกัดด้วยความร้อน ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลสเอ็มอีเอกัดกัดด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่แรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรให้ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 122 ไมโครวัตต์ และ เซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส เอ็มอีเอกัดกัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 137 150 และ 160 องศาเซลเซียส ที่ใช้แรงอัดเท่ากันคือ 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 425, 290 และ 342 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ

5.1.7 การศึกษาผลของอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสและอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดตาข่ายสแตนเลส คาดว่าเนื่องมาจากการทำตัวเร่งปฏิกิริยาบนตาข่ายสแตนเลส จะมีส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูญเสียเนื่องจากซึมมาด้านหลังตาข่าย และหลังจากกัดกัดด้วยความร้อนเอ็มอีเอ จะมีตัวเร่งปฏิกิริยาบางส่วนหลุดออกมาตามรูของตาข่าย ทำให้มีตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงลดลง เมื่อเทียบกับแผ่นสแตนเลสที่การสูญเสียต่ำกว่า

5.1.8 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายเมทานอล พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเมทานอลจาก 1 โมลาร์ เป็น 2 โมลาร์ คาดว่าเนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของเมทานอล ทำให้มีจำนวนโมเลกุลของเมทานอลไปทำปฏิกิริยากับอิเล็กโทรดมากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะตกลง เมื่อใช้เมทานอลที่ความเข้มข้นสูงขึ้น เท่ากับ 4 และ 5 โมลาร์ คาดว่ามีสาเหตุมาจากการใช้เมทานอลที่มีความเข้มข้นสูงมากเกินไป อาจมีผลทำให้การแพร่ของเมทานอลจากด้านแอโนดผ่านเมมเบรนไปยังด้านแคโทดได้มากขึ้น ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ที่ใช้เมทานอลเข้มข้น 2 โมลาร์มีประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุด ให้ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 411 ไมโครวัตต์

5.1.9 การศึกษาผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 1 ตารางเซนติเมตร พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมที่ด้านแอโนด ที่ปริมาณเท่ากับ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าสูงสุดและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถทำปฏิกิริยากับเมทานอลได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ด้านแอโนดเท่ากับ 0.9 และ 1.2 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีความแตกต่างกัน

เล็กน้อย ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียม เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมที่ด้านแอโนด ที่ปริมาณเท่ากับ 0.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงมีความเหมาะสมกับงานวิจัยนี้ ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูทีเนียมที่ด้านแอโนด ปริมาณ 0.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมด้านแคโทด ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 5.44 มิลลิแอมแปร์ และ 671 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ

5.1.10 การศึกษาผลของก๊าซออกซิเจน พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลสขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจน ด้วยอัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 50 กิโลปาสคาล ที่ด้านแคโทด ให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและกระแสไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงที่ปล่อยให้แคโทดสัมผัสกับอากาศภายนอกโดยธรรมชาติ คาดว่าการจ่ายก๊าซออกซิเจนมีผลช่วยลดการแพร่ของเมทานอลจากด้านแอโนดไปยังด้านแคโทด หรือทำให้ศักย์ไฟฟ้าของแคโทดมีค่าสูงขึ้น และมีผลช่วยให้การส่งถ่ายมวลของออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับอิเล็กโทรดดีกว่า การใช้ก๊าซออกซิเจนจากอากาศภายนอกเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่มีการจ่ายก๊าซออกซิเจน มีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.553 โวลต์ 6.95 แอมแปร์ และ 839 ไมโครวัตต์ ตามลำดับ

5.1.11 การศึกษาผลของอัตราการไหลของเมทานอล พบว่าการเพิ่มอัตราไหลของเมทานอล ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 1 ตารางเซนติเมตรที่ประดิษฐ์ และเมื่อคำนึงถึงพลังงานที่ถูกใช้ไปกับเครื่องปั๊มเมทานอลแล้ว การจ่ายเมทานอลแบบไม่มีการไหล จึงน่าจะเหมาะสมสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงที่ประดิษฐ์ในงานวิจัยนี้ ซึ่งเซลล์เชื้อเพลิงอิเล็กโทรดแผ่นสแตนเลส ขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ที่มีการจ่ายเมทานอล 2 โมลาร์ แบบไม่มีการไหลที่ด้านแอโนด และจ่ายก๊าซออกซิเจนที่ด้านแคโทด ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าความต้านทานภายในเท่ากับ 0.522 โวลต์ 12.2 มิลลิแอมแปร์ 1.14 มิลลิวัตต์ และ 10 โอห์ม ตามลำดับ

การศึกษานี้หาภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง แสดงดังตารางที่ 5.1 จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า ตัวแปรที่เหมาะสมที่ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีแสดงดังรูปที่ 5.1 ซึ่งประกอบด้วย

- อิเล็กโทรดที่มีขนาดพื้นที่ทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง 1 ตารางเซนติเมตร

- อิเล็กโทรดทำจากแผ่นสแตนเลส

- แอโนดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม – รูที่นิยมทางการค้า ปริมาณ 0.9 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

- แคโทดเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า ปริมาณ 0.3 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

- อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนทำจากแนฟิออนเมมเบรน 117 ที่มีการปรับปรุงคุณภาพ

- เอ็มอีเอกัดต์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ด้วยแรงอัด 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

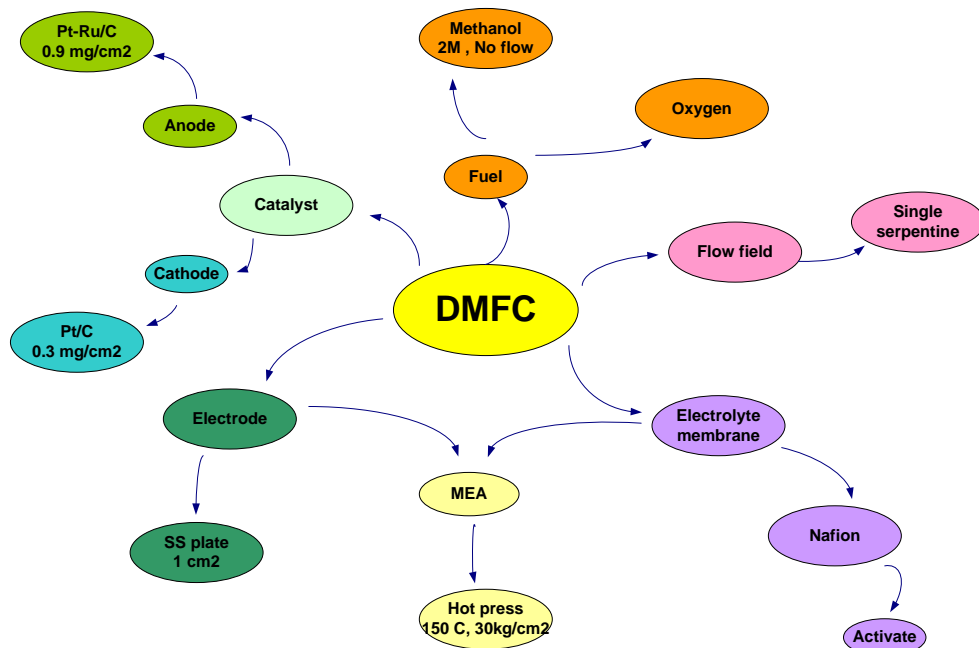
- ก๊าซสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 2 โมลาร์ แบบไม่มีการไหลในช่องทางไหลที่ด้านแอโนด

- ก๊าซออกซิเจน ด้วยอัตราไหล 1 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 50 กิโลปาสคาลที่ด้านแคโทด

เซลล์เชื้อเพลิงที่ประกอบด้วยตัวแปรข้างต้นจะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กระแสไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าความต้านทานภายในเท่ากับ 0.522 โวลต์ 12.2 มิลลิแอมป์ 1.14 มิลลิวัตต์ และ 10 โอห์ม ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 การศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง

Area		Membrane		Electrode		Anode catalyst					Cathode catalyst			Hot press		Fuel anode					Fuel		V _{oc} (V)	I _{max} (mA)	P _{max} (μW)	R _{in} (Ω)	หัวข้อผลการศึกษา		
5 cm ²	1 cm ²	Neosepta	Nafion		SS Mesh	SS Plate	Platuna (-1.5 V, 10 min)	PtRu			Platuna (-1.5 V, 10 min)	Pt		PtRu	yes	no	methanol				Flowrate							air	O ₂
			No Activate	Activate				0.3	0.3	0.6		0.9	1.2				0.3	0.3	1M	2M	4M	5M	0.62	0.5	No				
X		X			X		X								X	X							X		0.135	0.005	0.22	20k	4.1.1
X			X		X		X								X	X							X		0.149	0.053	2.13	2k	4.1.1
X			X		X		X								X	X							X		0.086	0.002	0.07	20k	4.1.2
X				X	X		X								X	X							X		0.180	0.026	1.29	3k	4.1.2
X				X	X			X							X	X							X		0.295	0.172	16.2	1k	4.1.3.1
	X			X	X			X							X	X							X		0.420	0.057	8.19	10k	4.1.4
	X			X	X			X						X	X		X						X		0.315	1.620	95.4	100	4.1.3.2
	X			X	X			X						X	X		X						X		0.246	3.440	205	100	4.1.3.2
	X			X	X				X					X	X		X						X		0.481	4.190	312	100	4.1.3.2
	X			X	X			X						X	X		X						X	X	0.591	0.380	38.5	1k	4.1.5.1
	X			X	X				X					X	X		X						X	X	0.192	2.510	122	100	4.1.5.1
	X			X		X			X					X	X		X						X	X	0.400	2.180	193	100	4.1.5.3
	X			X		X			X					X	X		X						X	X	0.459	2.380	233.5	100	4.1.6
	X			X		X			X					X	X		X						X	X	0.440	2.340	290	100	4.1.5.3
	X			X		X			X					X	X		X						X	X	0.447	3.430	388	100	4.1.7
	X			X		X				X				X	X		X						X	X	0.422	4.410	494	100	4.1.7
	X			X		X					X			X	X		X						X	X	0.531	5.440	671	100	4.1.7
	X			X		X						X		X	X		X						X	X	0.508	6.350	729	100	4.1.7
	X			X		X				X				X	X		X						X	X	0.447	3.430	388	100	4.1.8
	X			X		X				X				X	X		X						X	X	0.426	4.380	411	100	4.1.8
	X			X		X				X				X	X		X						X	X	0.437	4.450	318	100	4.1.8
	X			X		X				X				X	X		X						X	X	0.369	3.300	224	100	4.1.8
	X			X		X				X				X	X		X						X	X	0.486	5.270	546	100	4.1.9
	X			X		X				X				X	X		X						X	X	0.553	6.950	839	100	4.1.9
	X			X		X				X				X	X		X						X	X	0.522	12.200	1140	10	4.1.10
	X			X		X				X				X	X		X						X	X	0.511	11.100	1170	10	4.1.10
	X			X		X				X				X	X		X						X	X	0.511	14.800	1280	10	4.1.10



รูปที่ 5.1 ภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การใช้แนฟิออนเป็นอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน พบว่ายังมีผลของการแพร่ของเมทานอลอยู่มาก เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงยังต่ำกว่าค่าที่คาดหวังทางทฤษฎี ดังนั้นควรรหาอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนชนิดใหม่ที่สามารถลดการแพร่ของเมทานอล เพื่อให้เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพดีขึ้น

5.2.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เคลือบบนอิเล็กโทรดด้านแคโทด อัตราไหลและความดันของก๊าซออกซิเจนที่จ่ายให้แก่เซลล์เชื้อเพลิง

รายการอ้างอิง

- [1] Gregor Hoogers. Fuel cell technology handbook. Boca Raton London New York Washington, D.C.: CRC Press LLC, 2003.
- [2] Shelley Minteer. Alcoholic Fuels. Boca Raton London New York: Taylor & Francis Group, 2006.
- [3] Yang, H. and Zhao, T.S.. Effect of anode flow field design on the performance of liquid feed direct methanol fuel cells. Electrochimica Acta 50 (2005): 3243–3252.
- [4] Jian Zhang, Geping Yin, Zhenbo Wang and Yuyan Shao. Effects of MEA preparation on the performance of a direct methanol fuel cell. Journal of Power Sources 160 (2006): 1035–1040.
- [5] Zhi-Gang Shao, Wen-Feng Lin, Fuyun Zhu, Paul A. Christensen, Mingqiang Li and Huamin Zhang. Novel electrode structure for DMFC operated with liquid methanol. Electrochemistry Communications 8 (2005): 5–8.
- [6] Zhi-Gang Shao, Wen-Feng Lin, Paul A. Christensen and Huamin Zhang. Ti mesh anodes prepared by electrochemical deposition for the direct methanol fuel cell. International Journal of Hydrogen Energy 31 (2006): 1914–1919.
- [7] Haolin Tang, Shenlong Wang, Mu Pan, San Ping Jiang and Yunzhang Ruan. Performance of direct methanol fuel cells prepared by hot-pressed MEA and catalyst-coated membrane (CCM). Electrochimica Acta 52 (2007): 3714–3718.
- [8] Ting Yuan, Zhiqing Zou, Mei Chen, Zhilin Li, Baojia Xia and Hui Yang. New anodic diffusive layer for passive micro-direct methanol fuel cell. Journal of Power Sources 192 (2009): 423–428.
- [9] Peng Liu, Ge-Ping Yin and Qin-Zhi Lai. Gold-plated Ni mesh as the gas diffusion medium for air-breathing direct methanol fuel cell. International Journal of energy research 33 (2009): 1–7.

- [10] Allen, R.G., Chan Lim, Yang, L.X., Scott, K. and Roy, S.. Novel anode structure for the direct methanol fuel cell. Journal of Power Sources 143 (2005): 142–149.
- [11] Fang Zhang, Tomonori saito, Shaoan Cheng, Michael A . Hickner and Bruce E. Logan. Microbial Fuel Cell Cathodes With Poly(dimethylsiloxane) Diffusion Layers Constructed around Stainless Steel Mesh Current Collectors. Environ. Sci. Technol 44 (2010): 1490–1495.
- [12] Kamarudin, S.K., Achmad, F. and Daud, W.R.W.. Overview on the application of direct methanol fuel cell (DMFC) for portable electronic devices. international journal of hydrogen energy 34 (2009): 6902–6916.
- [13] Tishchenko, G., Bleha, M., Skvor, J., Bure, L., Mizutani, Y. and Ohmura, N.. Neosepta microporous ion-exchange membranes in dialysis desalination of immunoglobulin fraction of mouse ascitic fluids. Journal of Membrane Science 113 (1996): 237-245.
- [14] Burstein, G.T., Barnett, C.J., Kucemak, A.R. and Williams, K.R.. Aspects of the anodic oxidation of methanol. Catalysis Today 38 (1997): 425-437.
- [15] Huyen N. Dinh, Xiaoming Ren, Fernando H. Garzon, Piotr Zelenay and Shimshon Gottesfeld. Electrocatalysis in direct methanol fuel cells: in-situ probing of PtRu anode catalyst surfaces. Journal of Electroanalytical Chemistry 491 (2000): 222–233.
- [16] James Larminie and Andrew Dicks. Fuel cell systems explained. Chichester: John Wiley & Sons, 2003.
- [17] Charles K. Alexander and Matthew N.O. Sadiku. Fundamentals of electric circuits. New York: McGraw-Hill, 2007.
- [18] ณัฐศรา กาญจนรัชตะ. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัม/รูทีเนียมรองรับบนคาร์บอนด้วย การพอกพูนโดยไม่ใช้ไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงฟีดเอ็ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

- [19] สารีณี ชุ่มตระกูล. การวิเคราะห์การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ภาคผนวก

วิธีการคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมและแพลทินัม – รูทีเนียมจากหมึกที่เตรียมด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า

วิธีการคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา แพลทินัมและแพลทินัม – รูทีเนียม จากหมึกที่เตรียมด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้า จะใช้วิธีเดียวกัน ซึ่งในตอนนี้จะแสดงวิธีการคำนวณจากการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า บนอิเล็กโทรดขนาดพื้นที่ทำงาน 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งขั้นตอนในการคำนวณประกอบด้วย 1. คำนวณหาปริมาณของแพลทินัมที่อยู่ในหมึกตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้าที่เตรียม 2. คำนวณหาปริมาณของหมึกตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้าที่จะทาบนอิเล็กโทรด ขนาด 1 cm^2 ที่ปริมาณแพลทินัมที่ต้องการเท่ากับ 0.3 mg/cm^2

วิธีการคำนวณ

1. คำนวณน้ำหนักของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากหมึกตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้าที่เตรียม และ ปริมาณของแพลทินัมที่ได้จากหมึกตัวเร่งปฏิกิริยาทางการค้าที่เตรียม

หมึกของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้าประกอบด้วย

ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้า (Pt/C 20 wt%)	ปริมาณ	12.5	mg
ไดเมทิลเมทอกซีอีเทน (DME)	ปริมาณ	2	ml
สารละลายแนฟิออน (Nafion 5 wt%)	ปริมาณ	0.142	ml

- 1.1 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมที่ได้จากตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (Pt/C 20 wt%) ปริมาณ 12.5 mg เท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{Pt} &= 12.5 \times 0.2 \\ &= 2.5 \quad \text{mg} \end{aligned}$$

- 1.2 น้ำหนักของแนฟิออน ปริมาณ 0.142 ml

$$\begin{aligned} \text{Nafion} &= 0.142 \times 0.87 \times 1000 \times 0.05 \quad \text{mg} \\ &= 6.17 \quad \text{mg} \end{aligned}$$

1.3 น้ำหนักของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ตามทฤษฎี

$$\begin{aligned}
 &= \text{Pt/C} + \text{Nafion} \\
 &= (12.5) + (0.142 + 0.87 + 1000 + 0.05) \\
 &= 18.677 \quad \text{mg}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ว่า ชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมทางการค้าที่น้ำหนักเท่ากับ 18.677 mg จะมีปริมาณของแพลทินัมเท่ากับ 2.5 mg

2. คำนวณปริมาณของหมึกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทาบนีลิกโทรด ขนาด 1 cm^2 ซึ่งปริมาณแพลทินัมที่ต้องการเท่ากับ 0.3 mg/cm^2

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณแพลทินัมที่ต้องการทาบนีลิกโทรด ขนาด } 1 \text{ cm}^2 &= 0.3 \times 1 = 0.3 \quad \text{mg} \\
 \text{ดังนั้น ปริมาณของหมึกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทาบนีลิกโทรด} &= (18.677 \times 0.3) / 2.5 \text{ mg} \\
 &= 2.24 \quad \text{mg}
 \end{aligned}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวิฑูรพงษ์ กลิ่นสุคนธ์ เกิดวันที่ 20 กันยายน 2529 ที่จังหวัดสิงห์บุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

วิฑูรพงษ์ กลิ่นสุคนธ์, เกียรติ พุกษาท, พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ และ มานะ ศรียุทธศักดิ์. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมทานอลโดยตรงที่ใช้ตาข่ายสแตนเลสเป็นขั้วไฟฟ้า. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 34 (EECON 34) ฉบับที่ 1 ปีที่ตีพิมพ์ 2554 หน้า 609 - 612