

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาชุดรวมเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนขั้วไฟฟ้า
สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

**DEVELOPMENT OF MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY FOR
POLYMER ELECTROLYTE FUEL CELLS**



นางสาวกิตติมา สมชื่น
นางสาววันสนันท์ มะธิโตปะนำ

ส.ค.บ.
1674 7
2550

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **83196**
วัน, เดือน, ปี..... - 6 ส.ค. 2551

b. 119 62690
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาชุดรวมเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนขั้วไฟฟ้า
สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์



นางสาวกิตติมา สมชื่น
นางสาวนันทันท์ มะริโคปะน้า

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DEVELOPMENT OF MEMBRANE ELECTRODE ASSEMBLY FOR
POLYMER ELECTROLYTE FUEL CELLS**



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร การพัฒนาชุดรวมเชื้อแลกเปลี่ยนโปรตอนชีวไฟฟ้า
สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์
โดย นางสาวกิตติมา สมชื่น รหัสประจำตัว 47010046
นางสาววนันสนันท์ มะธิโตปะนำ รหัสประจำตัว 47010644
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ไพศาล นาคพัฒนา
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาบัตรนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาบัตร

..... ประธานกรรมการ
(รศ.ดร. ไพศาล นาคพัฒนา)

..... กรรมการ
(ดร. วลัยรัตน์ สุขสมัย)

..... กรรมการ
(อ. รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง การพัฒนาชุดรวมเชื้อแลกเปลี่ยนโปรตอนจิวไฟฟ้า
สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

โดย นางสาวกิตติมา สมชื่น
นางสาววันสนันท์ มะธิโคปะนา

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการทดลองผลิตแผ่นเชื้อแลกเปลี่ยนโปรตอนจากตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C และตัวเร่งปฏิกิริยา Pt-Ru/C เพื่อประกอบเป็นชุดรวมเชื้อแลกเปลี่ยนโปรตอนจิวไฟฟ้าสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ เมื่อนำไปทำการทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและเปรียบเทียบผลที่ได้กับเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูปพบว่า เซลล์สำเร็จรูปสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่มีสารเชื้อเพลิงไหลผ่านตัวเซลล์ ขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิตขึ้นเองทั้งสองชนิดจะทำงานไปได้ระยะเวลาหนึ่ง โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C มีช่วงเวลาการทำงานเฉลี่ย 36.67 นาที และเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt-Ru/C 29.3 นาที จากนั้นความต่างศักย์ของเซลล์จะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดน้ำขึ้นและมีการสะสมภายในเซลล์ สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มชั้นผนังกันเซลล์ เมื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพด้วยความต่างศักย์ที่วัดได้พบว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C มีประสิทธิภาพ 93.56% และเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt-Ru/C 93.45%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Development of Membrane Electrode Assembly (MEA) for
Polymer Electrolyte Fuel cells (PEFCs)

By Miss Kittima Somchuen
Miss Vanusanun Matitopanum

Advisor Assoc. Prof.Dr. Paisal Nakpipat

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This project is the production of Membrane Electrode Assembly (MEA) for PEFCs , using Pt/C and Pt-Ru/C catalyst. By electrical properties test and compared with the commercial cell. The result obtain are ,the commercial cell can keep work continuously at all time, but the produced cells work the one period of time. As a consequence, the accumulation of water within the cells occurs which causes the voltage dropped. The period of time that fuel cell can work continuously by stable efficiency of two cell is different, the fuel cell produces a membrane exchanges by Pt/C catalyst takes 36.67 minutes as well as a membrane exchanges by Pt-Ru/C catalyst takes 29.3 minutes .However that problem can be improved by using backing layers. The efficiency of produced cells by compared voltage with commercial cell was the fuel cell produces a membrane exchanges by Pt/C catalyst 93.56% as well as a membrane exchanges by Pt-Ru/C catalyst 93.45%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ เพราะได้รับความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ไพศาล นาคพิพัฒน์ ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้านเป็นอย่างดี ตลอดจน ทั้งให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และช่วยแก้ไขปัญหา

Prof.Dr. Toshio Ijima มหาวิทยาลัยโตเกียว ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และเอื้อเฟื้อหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำโครงการ

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่อำนวยความสะดวกด้านการทำอุปกรณ์ประกอบเซลล์ ให้ออกมาตามที่ผู้จัดทำออกแบบไว้

คุณกวี พิพัฒน์ผลสกุล และคุณสุรศักดิ์ เมืองแก้ว ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้ความรู้และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับทฤษฎีทางไฟฟ้า

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา คณาจารย์ทุกท่านและเพื่อนๆทุกคน ที่คอยช่วยเหลือให้วิชาความรู้ ประสบการณ์และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

ทั้งนี้หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

นางสาวกิตติมา สมชื่น

นางสาววนัสนันท์ มะธิโตปะนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 เซลล์เชื้อเพลิง.....	3
2.2 ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิงที่พบในปัจจุบัน.....	3
2.3 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเชื้อเพลิงเปลี่ยนโปรตอน.....	5
2.4 ความสำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง.....	8
2.5 การเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนของโปรตอน (Ion conduction).....	9
2.6 วิธีการผลิต Membrane Electrode Assembly: MEA.....	12
2.7 ทฤษฎีทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 การทดลอง.....	18
3.1 วัตถุประสงค์การทดลอง.....	18
3.2 อุปกรณ์การทดลองและสารเคมี.....	19
3.3 วิธีการทดลอง.....	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	26
4.1 การทดสอบศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อหาช่วงเวลาที่เซลล์ทำงานได้ปกติ.....	26
4.2 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุปผลการทดลอง	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	35
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	36
ภาคผนวก ข ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	51
ภาคผนวก ค มัลติมีเตอร์	56
ภาคผนวก ง เอกสารข้อมูลความปลอดภัยในการใช้สารเคมี	58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิง PEM..... 6
รูปที่ 2.2	โครงสร้างและหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง PEM..... 7
รูปที่ 2.3	แสดงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยา..... 8
รูปที่ 2.4	แสดงโครงสร้างทางเคมีของ Nafion..... 9
รูปที่ 2.5	แผ่นพอลิเมอร์ที่ถูกเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัมบนผงคาร์บอน..... 11
รูปที่ 2.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความหนาแน่นกระแส..... 13
รูปที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและความต้านทาน..... 16
รูปที่ 3.1	การเตรียมแผ่นปิด..... 20
รูปที่ 3.2	การเตรียมแผ่นช่องทางเดินก๊าซ..... 20
รูปที่ 3.3	การเตรียมนีโอคและสกรูจำนวน 1 ชุด..... 21
รูปที่ 3.4	หัวต่อท่อก๊าซเสตนเลส..... 21
รูปที่ 3.5	แม่พิมพ์สำหรับอัดแผ่นเชื้อ..... 21
รูปที่ 3.6	แผ่น Nafion สำเร็จรูป..... 22
รูปที่ 3.7	แผ่นประเก็น (Gasket)..... 23
รูปที่ 3.8	ลำดับขั้นตอนของการประกอบเซลล์..... 23
รูปที่ 3.9	เซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ชนิดเซลล์เดี่ยว..... 24
รูปที่ 3.10	การวัดความต่างศักย์ของเซลล์เชื้อเพลิง..... 25
รูปที่ 4.1	กราฟโพลาริเซชัน (Polarization curve)..... 27
รูปที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาของเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูป การทดลองครั้งที่ 2..... 28
รูปที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst การทดลองครั้งที่ 3..... 28
รูปที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst การทดลองครั้งที่ 1..... 29
รูปที่ 4.5	การเปรียบเทียบความต่างศักย์และแนวโน้มของเซลล์แต่ละชนิด..... 29
รูปที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst เมื่อทำการเพิ่มชั้นผนังกันเซลล์ ในการทดลองครั้งที่ 2..... 31
รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst เมื่อทำการเพิ่มชั้นผนังกันเซลล์ ในการทดลองครั้งที่ 2..... 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ ข-1 แม่พิมพ์สำหรับอัดแผ่นเชื้อ	51
รูปที่ ข-2 แผ่นอะคริลิกสำหรับใช้เป็นแผ่นปิดพร้อมหัวต่อท่อก๊าซ	51
รูปที่ ข-3 นีตและสกรู.....	51
รูปที่ ข-4 แผ่นช่องทางเดินของก๊าซ.....	52
รูปที่ ข-5 แผ่นยางซิลิโคน.....	52
รูปที่ ข-6 แผ่นเยื่อพอลิเมอร์ (Nafion 117)	52
รูปที่ ข-7 ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัมบนผงคาร์บอน.....	53
รูปที่ ข-8 ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัม – รูธเนียมบนผงคาร์บอน.....	53
รูปที่ ข-9 สารละลาย Nafion 5%.....	53
รูปที่ ข-10 ขวดดักก๊าซ.....	54
รูปที่ ข-11 กระจกคาร์บอน.....	54
รูปที่ ข-12 มัลติมิเตอร์	54
รูปที่ ข-13 เซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิตได้	55
รูปที่ ข-14 เซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูป	55
รูปที่ ข-15 การจัดอุปกรณ์การทดลอง.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ ก-1.1 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูปครั้งที่ 1	36
ตารางที่ ก-1.2 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูปครั้งที่ 2	37
ตารางที่ ก-1.3 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูปครั้งที่ 3	38
ตารางที่ ก-1.4 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst ครั้งที่ 1	39
ตารางที่ ก-1.5 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst ครั้งที่ 2	40
ตารางที่ ก-1.6 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst ครั้งที่ 3	41
ตารางที่ ก-1.7 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst ครั้งที่ 1	42
ตารางที่ ก-1.8 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst ครั้งที่ 2	43
ตารางที่ ก-1.9 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst ครั้งที่ 3	44
ตารางที่ ก-2.1 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst ครั้งที่ 1 ...	45
ตารางที่ ก-2.2 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst ครั้งที่ 2 ...	46
ตารางที่ ก-2.3 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst ครั้งที่ 3 ...	47
ตารางที่ ก-2.4 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst ครั้งที่ 1	48
ตารางที่ ก-2.5 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst ครั้งที่ 2	49
ตารางที่ ก-2.6 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst ครั้งที่ 3	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

V	=	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)
I	=	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
R	=	ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)
P	=	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา พลังงานหลักของโลกล้วนมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) โดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ในขณะที่เกิดวิกฤตราคาน้ำมันเมื่อเร็วๆ นี้ รวมถึงปัญหามลภาวะทางอากาศ ทำให้หลายฝ่ายต้องร่วมมือกันในการหาพลังงานทดแทนเพื่อแทนน้ำมัน เช่นพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ หรือพลังงานชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีอีกทางเลือกที่น่าสนใจคือ เซลล์เชื้อเพลิง หรือ Fuel Cell

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) คือ อุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวกับอิเล็กตรอนมาเป็นกระแสไฟฟ้า (Electrochemical Energy Conversion Device) โดยมันจะทำการแปรสภาพสาร Hydrogen (H_2) และ Oxygen (O_2) ให้กลายเป็นน้ำ (H_2O) ซึ่งในกระบวนการนี้จะมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นด้วย เซลล์เชื้อเพลิงในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดแต่ที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากคือ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cells : PEMFCs) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ (Polymer Electrolyte Fuel Cells : PEFCs)

หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน คือเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จะทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำกล่าวคือ $50-80^{\circ}C$ โดยใช้เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนเป็นอิเล็กโทรไลต์ และมีแพลตตินัม (Platinum) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทางผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แพลตตินัมเคลือบบนผงคาร์บอน (Pt/C) และ แพลตตินัม-รูทีเนียมเคลือบบนผงคาร์บอน (Pt-Ru/C) โดยหวังว่าเซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิตได้จะสามารถใช้งานได้จริงและเอื้อประโยชน์สำหรับผู้สนใจศึกษาพัฒนาให้ได้เซลล์เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นไป เพื่อส่งเสริมให้พลังงานทดแทนนี้ สามารถช่วยแก้ไขปัญหามลพิษพลังงาน และปัญหาสิ่งแวดล้อมในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาหาวิธีผลิตเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (MEA) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C และ Pt-Ru/C สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

2. ประกอบเซลล์เชื้อเพลิงด้วย MEA ที่สร้างขึ้น

3. ศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิตและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์ที่ผลิตได้กับเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติ ส่วนประกอบ และหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ (Polymer Electrolyte Fuel cells : PEFCs)

1.3.2 ผลิตแผ่นเชื้อแลกเปลี่ยนโปรตอน (MEA) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pt/C และ Pt-Ru/C

1.3.3 ประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์แบบเซลล์เดี่ยว โดยใช้แผ่นเชื้อแลกเปลี่ยนโปรตอนที่ผลิตได้

1.3.4 ศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิตได้กับเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูป

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติและหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

1.4.2 เลือกประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเซลล์เดี่ยวสำหรับการทดลองนี้และจัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- (1) ดำเนินการสั่งซื้อตัวเร่งปฏิกิริยาและแผ่นเชื้อพอลิเมอร์ (Nafion 117) พร้อมชุดอิเล็กโทรด
- (2) ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์สำหรับใช้ในการเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาไปบนแผ่นเชื้อพอลิเมอร์
- (3) ออกแบบส่วนประกอบอื่นๆ และสร้างชุดอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้
- (4) ผลิต MEA โดยการเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยา ไปบนแผ่นเชื้อพอลิเมอร์
- (5) ประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์แบบเซลล์เดี่ยว โดยใช้แผ่น MEA ที่ผลิตได้และอุปกรณ์ต่างๆ ได้ออกแบบไว้

1.4.3 ศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิตได้

1.4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิตได้กับเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูป

1.4.5 รวบรวมและทำการวิเคราะห์ผล สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์และสามารถผลิตเซลล์เชื้อเพลิงที่สามารถใช้งานได้จริง

1.5.2 ทำให้เกิดความสนใจและเป็นแนวทางให้งานวิจัยอื่นๆ เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีของพลังงานทดแทนชนิดนี้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าเคมีซึ่งเป็นทางเลือกของแหล่งพลังงานใหม่ที่ยังมีการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะในยุโรป อเมริกา และญี่ปุ่น พลังงานที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงเกิดจากการเปลี่ยนพลังงานเคมีของเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงที่ใช้ เช่น แก๊สไฮโดรเจน แก๊สธรรมชาติ มีเทน เมทานอล และแก๊สจากถ่านหิน (Gasified Coal) โดยขบวนการทางเคมีไฟฟ้าไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ซึ่งการเกิดมลพิษจากเซลล์เชื้อเพลิงนี้น้อยมากเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานจากแหล่งอื่น

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงมีลักษณะคล้ายกับการทำงานของแบตเตอรี่มาก ต่างกันเพียงแต่เซลล์เชื้อเพลิงไม่สามารถเก็บพลังงานไว้ได้เหมือนแบตเตอรี่ แต่เซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตลอดเมื่อมีสารเชื้อเพลิงไหลผ่านในตัวเซลล์ ไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) ซึ่งสามารถจ่ายเป็นพลังงานให้กับมอเตอร์ หลอดไฟ และเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทอื่นๆได้

นอกจากนี้แล้วการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิง ยังให้ผลดีในแง่ที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะรวมถึงไม่มีเสียงดังรบกวนเกิดขึ้น จากข้อดีที่กล่าวถึงนี้ทำให้นักวิจัยพยายามที่จะพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน ในอดีตได้มีการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับยานอวกาศ^[2] องค์การนาซาต้องจ่ายเงินถึงสิบล้านดอลลาร์เพื่อใช้เซลล์เชื้อเพลิงเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าในการส่งยานอพอลโลไปยังดวงจันทร์เมื่อปี ค.ศ. 1960 เซลล์เชื้อเพลิงนี้จะใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง และทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวส์ (Reducing Agent) และใช้แก๊สออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing Agent) ซึ่งนอกจากจะได้พลังงานไฟฟ้าจากปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิง และยังมีน้ำเกิดขึ้นเป็นผลพลอยได้ซึ่งมีความบริสุทธิ์สูงจนสามารถใช้น้ำดื่มในยานอวกาศได้ ปัจจุบันมีการทดลองใช้เซลล์เชื้อเพลิงในระบบขนส่งมวลชนหรือใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในบ้านพักอาศัย เป็นต้น

2.2 ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิงที่พบในปัจจุบัน

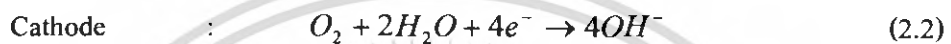
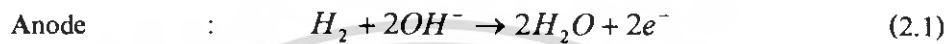
การแบ่งชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงสามารถแบ่งได้โดยพิจารณาจากอุณหภูมิที่เซลล์ทำงาน รวมถึงชนิดและธรรมชาติของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ ทำให้มีการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อใช้งานที่แตกต่างกันหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทก็มีการใช้สารเคมีที่ต่างกัน^[3]

ชนิดเซลล์เชื้อเพลิง 6 ชนิด

2.2.1 Alkaline Fuel Cell (AFC)

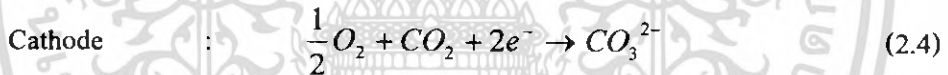
เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ถูกพัฒนาและนำไปใช้โดยองค์การนาซา สำหรับใช้ในสถานีอวกาศ เนื่องจากสามารถให้ประสิทธิภาพได้เกือบ 70 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังมีราคาค่อนข้างสูง เซลล์ชนิดนี้ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide: KOH) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 - 50 โดยน้ำหนัก เป็นอิเล็กโทรไลต์ อุณหภูมิการทำงานอยู่จะอยู่ที่ 60 - 90 องศาเซลเซียส โดยที่ตัวเร่งปฏิกิริยาด้านขั้วแอโนด คือ นิกเกิล (Nickel) และด้านขั้วแคโทดคือ นิกเกิลออกไซด์ (Nickel Oxide)

ปฏิกิริยาดังเซลล์



2.2.2 Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)

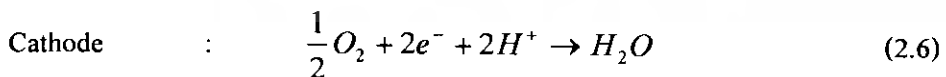
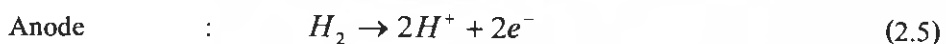
เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ใช้เชื้อเพลิงชนิด Coal-Based Fuel มีอิเล็กโทรไลต์เป็นส่วนผสมของ Alkaline carbonate ซึ่งฝังอยู่ใน Lithium Aluminate Matrix มีอุณหภูมิการทำงานในช่วง 600 - 700 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้ Alkaline Carbonate สร้างทางเกลือที่นำประจุได้ดีมาก เซลล์ชนิดนี้มีตัวเร่งปฏิกิริยาด้านขั้วแอโนด คือ นิกเกิล และด้านขั้วแคโทดคือ นิกเกิลออกไซด์ ปฏิกิริยาดังเซลล์



2.2.3 Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้กำลังถูกพัฒนาเพื่อการค้าและอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายเพราะสามารถนำไปใช้ในโรงพยาบาล โรงแรม สำนักงาน โรงไฟฟ้าขนาดย่อมหรือใช้ในรถยนต์ขนาดใหญ่ เช่น รถเมล์ โดยเซลล์ชนิดนี้จะใช้กรดฟอสฟอริกเป็นอิเล็กโทรไลต์โดยมีอุณหภูมิการทำงานช่วง 160 - 220 องศาเซลเซียส นอุณหภูมิต่ำกว่านี้กรดฟอสฟอริกจะนำไอออนได้ไม่ดึ้นัก

ปฏิกิริยาดังเซลล์



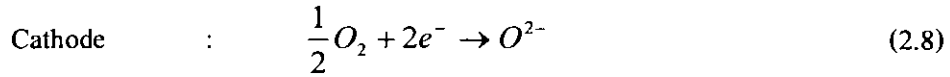
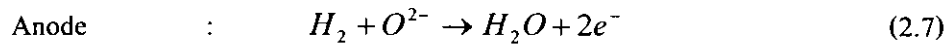
2.2.4 Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ถูกใช้งานกับระบบที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงๆ เช่นในทางอุตสาหกรรม และโรงงานผลิตไฟฟ้าโดยเซลล์เชื้อเพลิงแบบ Solid Oxide จะใช้เซรามิกแข็งจำพวกออกไซด์ของแข็ง อาทิ อีเทรีย (Yttria) เซอร์โคเนีย (Zirconia) ^[7] เป็นอิเล็กโทรไลต์โดยอุณหภูมิการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานประมาณ 1000 องศาเซลเซียส เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงถึงร้อยละ 60 และมีเสถียรภาพที่ดี อายุการใช้งานนานกว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่น

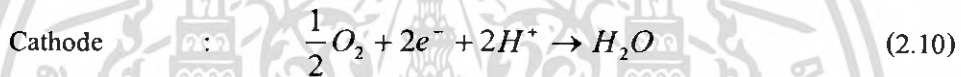
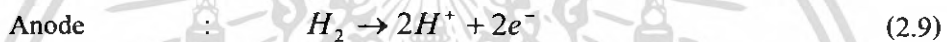
ปฏิกิริยาครึ่งเซลล์



2.2.5 Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Polymer Electrolyte Fuel Cells (PEFCs) เป็นเซลล์ที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงและสามารถปรับค่ากำลังไฟฟ้าได้รวดเร็วตามค่าที่ต้องการ ปัจจุบันได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายด้าน เช่น ในรถยนต์อาคารสำนักงาน หรือจะใช้ในก๊อสดำเนินรูป ซึ่งเซลล์ชนิดนี้มีอิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็งขนาดบางเรียกว่า Proton Exchange Membrane (PEM) ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา คือแพลตินัม (Pt) โดยมีอุณหภูมิการทำงานอยู่ที่ 50 – 80 องศาเซลเซียส

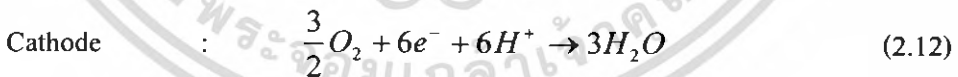
ปฏิกิริยาครึ่งเซลล์



2.2.6 Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)

เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่พัฒนาต่อมาจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEMFC แต่ใช้สารละลายเมทานอล (Methanol Solution) เป็นเซลล์เชื้อเพลิงในการทำปฏิกิริยามีอุณหภูมิการทำงานในช่วง 60 – 90 องศาเซลเซียส ความดันไม่เกิน 2 บรรยากาศ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขั้วแอโนดเป็น แพลตินัม – รูทีเนียม อัลลอยด์ (Pt – Ru alloy) และขั้วแคโทดเป็นแพลตินัม

ปฏิกิริยาครึ่งเซลล์



2.3 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน

โครงสร้างและหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน

โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนประกอบด้วยอิเล็กโทรดเชื้อเพลิง (ขั้วแอโนด) และอิเล็กโทรดออกซิเจน (ขั้วแคโทด) ซึ่งค้ำก็ทำมาจากวัสดุ Porous-Carbon โดยมีแพลตินัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) กระจายตัวฝังอยู่ที่ขั้วทั้งสองอย่างสม่ำเสมอ เพื่อช่วยเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้นและมีแผ่น Gas Diffusion Backing ประกบปิดทั้งอีกชั้นหนึ่งเพื่อทำหน้าที่เป็นช่องทางผ่านของก๊าซที่เข้ามาทำปฏิกิริยาและรักษาความชื้นภายในเซลล์เชื้อเพลิงด้วย

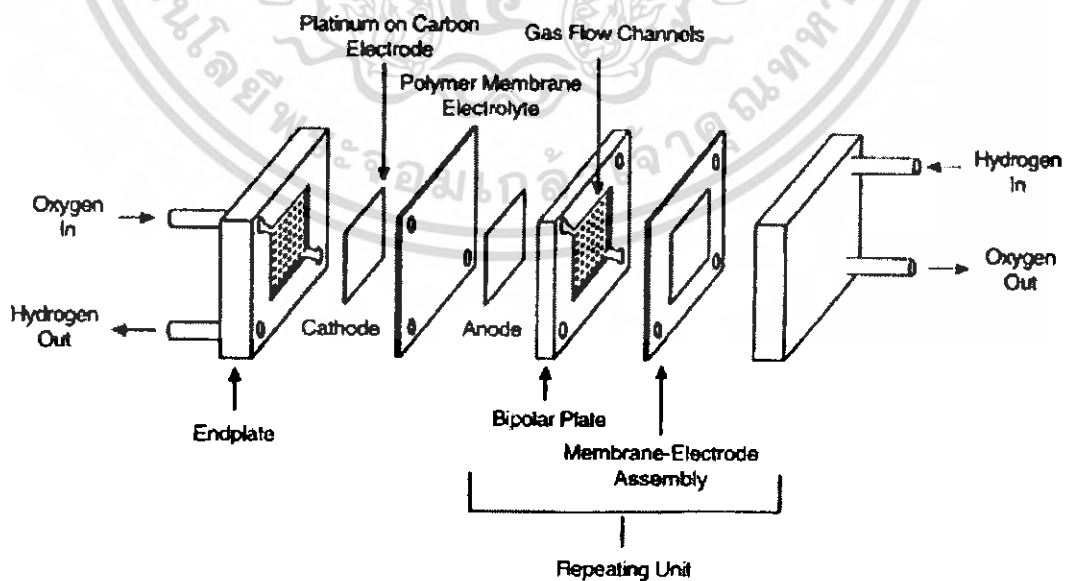
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทั้งสองขั้วจะถูกแยกออกจากกันด้วยชั้นของอิเล็กโตรไลต์ที่เป็นพอลิเมอร์มีคุณสมบัติ Ion-Conducting ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนโปรตอนระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด ด้วยเหตุนี้เองจึงได้เรียกว่า Proton Exchange Membrane (PEM) โดยอิเล็กโตรไลต์มีคุณสมบัติเป็นตัวนำสำหรับโปรตอนแต่เป็นฉนวนสำหรับอิเล็คตรอนและเป็นตัวกั้นการแทรกซึมของก๊าซด้วย เมื่อนำแต่ละส่วนประกอบมารวมกัน จะเรียกรวมกันว่า Membrane Electrode Assembly (MEA)

ในการสร้างเซลล์เชื้อเพลิง 1 เซลล์นั้นจะต้องมีแผ่นประกบที่ต้องวางอยู่แต่ละด้านของ MEA โดยแผ่นประกบนี้ต้องถูกทำให้ผิวหน้าที่สัมผัสกับ MEA เป็นช่องเพื่อเป็นทางเดินของตัวปฏิกิริยาไปยังขั้วอิเล็คโตรด และยังคงมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดีและทนต่อสภาวะความเป็นกรดสูงได้ เรียกแผ่นประกบนี้ว่า แผ่นช่องทางเดินก๊าซ (Gas Flow Field Plate) โดยวัสดุที่มีความเหมาะสมที่สุดคือ แกรไฟต์ (Graphite)

นอกจากนั้นยังต้องมีแผ่นประเก็น (Gasket) ที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น ทนต่ออุณหภูมิสูงและแรงกดอัดได้ดี ซึ่งวัสดุที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันคือ เทฟลอน (Teflon) หรือ ซิลิโคน (Silicone) โดยทำหน้าที่ป้องกันก๊าซที่เป็นตัวปฏิกิริยารั่วซึมซึ่งจะแทรกไว้ในแต่ละหน้าที่ประกบกันระหว่าง แผ่นช่องทางเดินก๊าซกับ MEA องค์ประกอบทั้งหมดจะถูกประกบติดกันเรียกว่า แผงเซลล์เดี่ยว (Single Cell Stack)

สำหรับการสร้างเซลล์เชื้อเพลิงหลาย ๆ เซลล์หรือเรียกว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบชั้น (Multi Cell Stack) จะเป็นการนำเอาเซลล์เชื้อเพลิงมาเรียงต่อกันหรือเรียงซ้อนกันเป็นชั้น เพื่อเพิ่มขนาดของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแผ่นช่องทางเดินก๊าซ ก็จะทำหน้าที่เป็น Bipolar Plate คือเป็นทั้งขั้วแอโนดของเซลล์หนึ่ง และแคโทดของอีกเซลล์หนึ่งด้วย โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิง PEM แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1

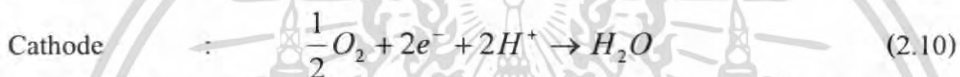
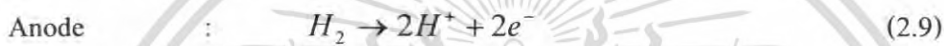


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิง PEM ⁽⁴⁾

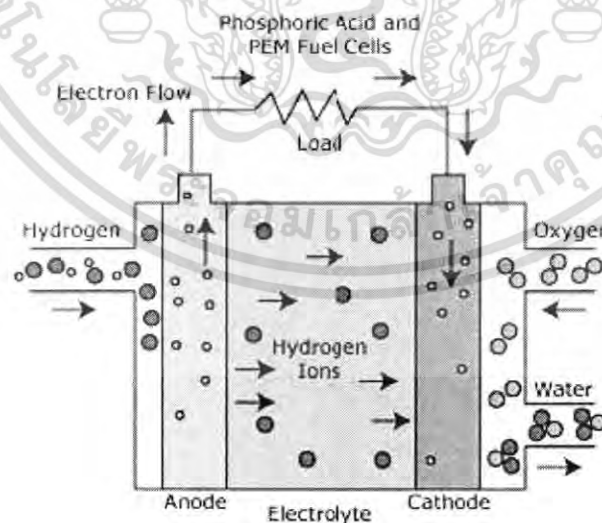
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นเริ่มจากขั้วแอโนดได้รับก๊าซไฮโดรเจน ส่วนแคโทดได้รับก๊าซออกซิเจนแล้วก๊าซจะไหลผ่านช่องภายใน แผ่นช่องทางเดินก๊าซ เข้าไปในชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยด้านขั้วแอโนดมีอะตอมของไฮโดรเจนแตกตัวไปเป็นโปรตอน(H^+) กับอิเล็กตรอน(e^-) โดยโปรตอนสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังขั้วแคโทดได้ เนื่องจากอิเล็กโตรไลต์ที่อยู่ในรูปของพอลิเมอร์จะมีคุณสมบัติเป็นตัวนำโปรตอน ส่วนอิเล็กตรอนอิสระจะเคลื่อนที่เป็นกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรไหลคภายนอกเพื่อไปยังขั้วแคโทด จากปฏิกิริยาข้างต้นทำให้ขั้วแอโนดมีคุณสมบัติเป็นลบเมื่อเทียบกับขั้วแคโทด ดังแสดงในรูปที่ 2.2

ปฏิกิริยาทางเคมีจะสมบูรณ์เมื่อโปรตอน อิเล็กตรอน และออกซิเจนรวมตัวกันที่ขั้วแคโทด ในรูปของโมเลกุลน้ำ รวมทั้งเกิดความร้อนขึ้นด้วยจากกระบวนการนี้ ซึ่งอธิบายเป็นปฏิกิริยาทางเคมีได้ดังสมการที่ (2.9) และ (2.10) ข้างต้น



ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดคือ ไฮโดรเจนแตกตัวให้ 2 ไฮโดรเจนไอออน และ 2 อิเล็กตรอน และปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดคือ อะตอมของออกซิเจนรวมตัวกับ 2 ไฮโดรเจนไอออน และ 2 อิเล็กตรอน กลายเป็นโมเลกุลน้ำ และจะเห็นว่าอิเล็กตรอนจะไหลผ่านวงจรไหลคเพื่อไปยังขั้วแคโทด ถ้าเปิดวงจรไหลคปฏิกิริยาทางเคมีก็จะหยุด แสดงว่าความต้านทานของไหลคมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วย



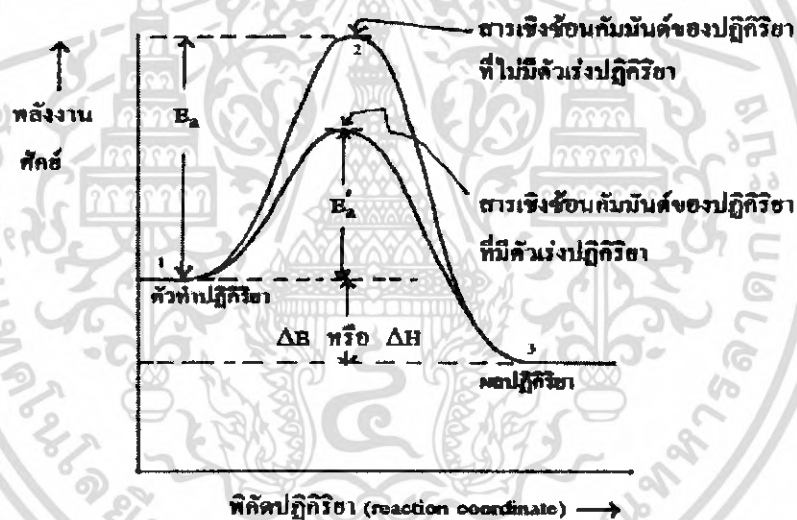
รูปที่ 2.2 โครงสร้างและหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง PEM ^[5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความสำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

จากการศึกษาพลังงานเคมีหมายถึง ผลรวมของพลังงานในรูปแบบของ ความร้อน หรืองาน ในรูปแบบต่าง ๆ เมื่อมีสารเคมีตั้งต้นตั้งแต่ 2 สารขึ้นไปทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารใหม่ขึ้นมา^[1] เช่น กรณีของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน ซึ่งถ้านำก๊าซทั้งสองมา ผสมกันในอุณหภูมิปกติจะไม่เกิดปฏิกิริยาขึ้นเนื่องจากโมเลกุลมีความเสถียรมาก ยกเว้นแต่ถ้าจะมี บางสิ่งมาทำเป็นตัวกระตุ้นจึงจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้อย่าง เช่น ให้ความร้อนระหว่างที่ก๊าซ ไฮโดรเจนผสมกับออกซิเจนหรือเติมสารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น โดยสารที่เติมลงไปนั้นไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลง สารที่ช่วยเร่งอัตราการ เกิดปฏิกิริยาได้โดยตัวเองไม่เปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่นและปริมาณคงเดิมเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุด เรียก สารนั้นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

อิทธิพลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ การทำให้พลังงานกระตุ้น (Activation Energy: E_a) น้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยา^[1]

E_a : พลังงานกระตุ้นเมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

E'_a : พลังงานกระตุ้นเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา

การที่ $E'_a < E_a$ ทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วแต่สำหรับความร้อนของปฏิกิริยา จะมีค่าเท่าเดิม เสมอไม่ว่าปฏิกิริยานั้นจะมีตัวเร่งปฏิกิริยาหรือไม่ โดยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวใหม่ของอิเล็กตรอนที่สารผลิตภัณฑ์ (Product) ซึ่งต่างไปจากการจัดเรียงขณะยังเป็น สารตั้งต้น (Reactant) ซึ่งรูปแบบการจัดเรียงตัวจะเป็นลักษณะที่ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานต่ำกว่า สารตั้งต้น ซึ่งผลต่างของพลังงานสารตั้งต้นกับสารผลิตภัณฑ์ก็คือ พลังงานความร้อนที่ได้ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปฏิกริยานั้นเอง โดยจากรูปที่ 2.3 เป็นการอธิบายถึงระดับพลังงานของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ในขณะเกิดปฏิกริยาโดย ณ จุดที่ 1 พลังงานของอิเล็กตรอนอยู่ที่ Ground State ไม่มีปฏิกริยาใด ๆ เกิดขึ้นและเมื่อมีพลังงานกระตุ้นเพิ่มเข้าไปให้สารตั้งต้นทำให้ระดับพลังงานเพิ่มไปสู่ ณ จุดที่ 2 แต่ในกรณีที่มีตัวเร่งปฏิกริยาจะช่วยลดระดับพลังงานกระตุ้นลงจาก E_2 มาเป็น E'_2 กระบวนการเกิดปฏิกริยาที่เร็วขึ้นจากนั้นจะได้สารผลิตภัณฑ์ออกมาพร้อมกับปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบต่าง ๆ โดยระดับพลังงานสุดท้ายจะตกมาอยู่ ณ จุดที่ 3 โดยผลรวมของพลังงานที่ปล่อยออกมาเท่ากับผลบวกของพลังงานกระตุ้น(E_2)และพลังงานอิสระ(ΔH) โดย

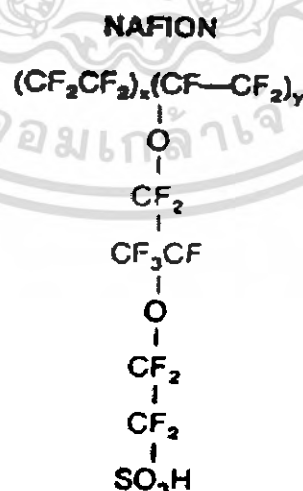
ถ้า ΔH เป็น บวก จะเป็นปฏิกริยาดูดความร้อน

ถ้า ΔH เป็น ลบ จะเป็นปฏิกริยาคายความร้อน

สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงจะเกี่ยวข้องกับปฏิกริยาของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนซึ่งสามารถใช้ แพลตินัม, แพลเลเดียม, นิเกิล และ เหล็ก เป็นตัวเร่งปฏิกริยาได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แพลตินัมเป็นตัวเร่งปฏิกริยาที่สามารถดูดก๊าซไฮโดรเจนได้ดีมาก ทำให้โมเลกุลของไฮโดรเจนแตกเป็นอะตอมซึ่งอะตอมของไฮโดรเจนมีความว่องไวต่อการทำปฏิกริยามาก และยิ่งพื้นที่ผิวมากปฏิกริยาก็ยิ่งเกิดได้เร็วขึ้น

2.5 การเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนของโปรตอน (Ion conduction)

เซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEMFC มีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ Membrane Electrode Assembly (MEA) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นอิเล็กโทรดประกบอยู่กับอิเล็กโทรไลต์ที่อยู่ในรูปแผ่นพอลิเมอร์ (Fluorosulphonate Polyethylene) โดยพอลิเมอร์ตัวนี้มีคุณสมบัติพิเศษคือ เป็นตัวนำโปรตอนแต่ไม่นำไฟฟ้าหรือเป็นฉนวน เรียกพอลิเมอร์ ชนิดนี้ว่า Nafion มีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.4

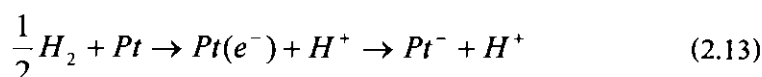


รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ NafionTM

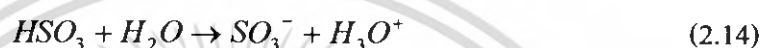
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโครงสร้างพบว่า ส่วนที่เป็นตัวนำโปรตอนคือ กลุ่มของกรดซัลโฟนิก (HSO_3) โดยมีกลไกการส่งผ่านโปรตอนจากขั้วแอโนดผ่านเมมเบรนไปยังขั้วแคโทดดังขั้นตอนต่อไปนี้^[3]

(1) ก๊าซไฮโดรเจนถูกป้อนเข้าทางขั้วแอโนด เกิดการแตกตัวของโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนบริเวณผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าที่มีโลหะแพลตินัมเคลือบฝังอยู่ได้โปรตอนและอิเล็กตรอนออกมาตามสมการ



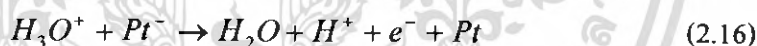
(2) อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านตัวนำไฟฟ้าไปยังขั้วแคโทดพร้อมทั้งเกิดการส่งผ่านโปรตอนจากกลุ่มซัลโฟนิกไปยังโมเลกุลน้ำเกิดเป็นไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ได้ เนื่องจากกลุ่มซัลโฟนิกมีสถานะเป็นกรดมีคุณสมบัติพิเศษคือให้โปรตอนแก่น้ำได้ดี เขียนได้ตามสมการ



(3) ไฮโดรเจนไอออนหรือโปรตอนที่เกิดจากการแตกตัวของก๊าซไฮโดรเจนจะเข้าไปแทนที่โปรตอนที่หลุดไปจากกลุ่มซัลโฟนิก ตามสมการ



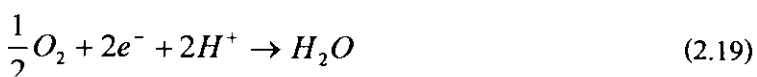
(4) โลหะแพลตินัมที่อยู่ด้านขั้วแคโทดจับกับอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากแอโนดไปยังขั้วแคโทดกลายเป็นแพลตินัมไอออน (Pt^-) และเกิดกระบวนการที่ไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ส่งถ่ายโปรตอนโดยเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนจากขั้วแอโนดไปยังแคโทด เรียกว่า กระบวนการนำไอออน (Ion Conduction) โดยเมื่อไปถึงขั้วแคโทดจะทำปฏิกิริยากับแพลตินัมไอออนซึ่งรออยู่แล้วเป็นไปตามสมการ



(5) โมเลกุลก๊าซออกซิเจนถูกป้อนเข้าทางด้านขั้วแคโทด รวมตัวกับน้ำและอิเล็กตรอนกลายเป็นไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับโปรตอน ได้ผลลัพธ์สุดท้ายคือโมเลกุลของน้ำ



โดยปฏิกิริยารวมสุดท้ายคือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

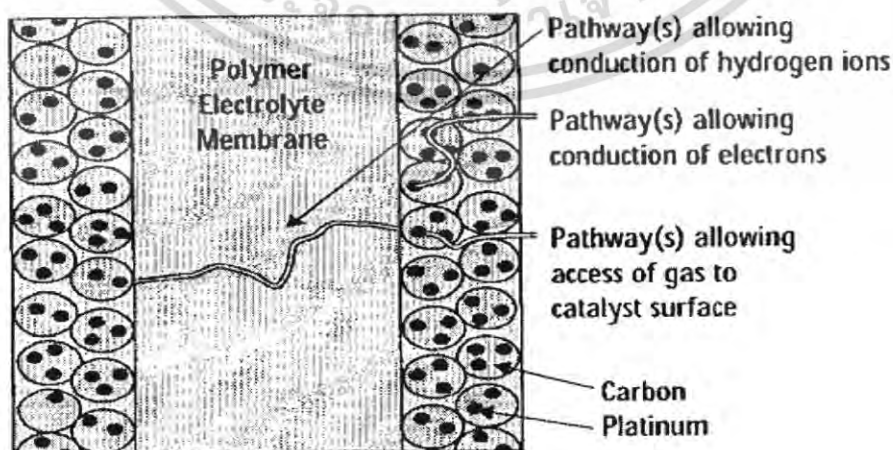
การใช้แพลตินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา¹⁸¹

ครึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแต่ละขั้ว สามารถเกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัมเท่านั้น แพลตินัมมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่จะเกิดการสร้างพันธะ H และ O ในขั้น Intermediate ได้ตามต้องการ ที่ขั้วของปฏิกิริยาจะสามารถผ่านขั้น Intermediate ไปสู่ผลิตภัณฑ์สุดท้าย (The Final Product) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากตัวอย่างขบวนการที่ขั้วแอโนดเมื่อโมเลกุลไฮโดรเจน (H_2) แยกตัวแพลตินัมจะสร้างพันธะกับไฮโดรเจนอะตอมและจะปลดปล่อยไฮโดรเจนอะตอมออกมาเป็น $H^+ + e^-$ ดังสมการ



ความต้องการที่จะสร้างพันธะ (Bonding) กับไฮโดรเจนอะตอม จะต้องไม่อ่อนเกินไปและไม่แข็งแรงจนเกินไป ซึ่งคุณลักษณะเฉพาะที่ดีของตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ความเป็นจริงแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุดสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนจะมีราคาแพง หนทางเลือกที่ดีที่สุดคือพยายามทำโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีชั้น (Layer) ให้มากที่สุดเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการสร้างพันธะ ขั้วอิเล็กโทรดอื่น ๆ ประกอบด้วยแท่งคาร์บอน (C) พอรุน ซึ่งสามารถสร้างพันธะได้น้อยกว่าขั้วแพลตินัม การที่ขั้วอิเล็กโทรดมีพอรุนเพื่อที่จะให้ก๊าซแพร่กระจายผ่านไปขั้วซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย ทั้งขั้วแพลตินัม และคาร์บอน จะเหนี่ยวนำอิเล็กตรอนได้ดี ดังนั้นอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านขั้วได้อย่างอิสระ อนุภาคของแพลตินัมมีขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๒ นาโนเมตร (nm) ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) ซึ่งมีผลทำให้แพลตินัมมีพื้นที่ผิวเป็นจำนวนมากเพื่อที่จะสัมผัสกับโมเลกุลของก๊าซ ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะที่ดีของตัวเร่งปฏิกิริยา และเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปได้ ดังเช่นกระแสในเซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.5 แผ่นพอลิเมอร์ที่ถูกเคลือบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัมบนผงคาร์บอน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วิธีการผลิต Membrane Electrode Assembly: MEA ¹⁸¹

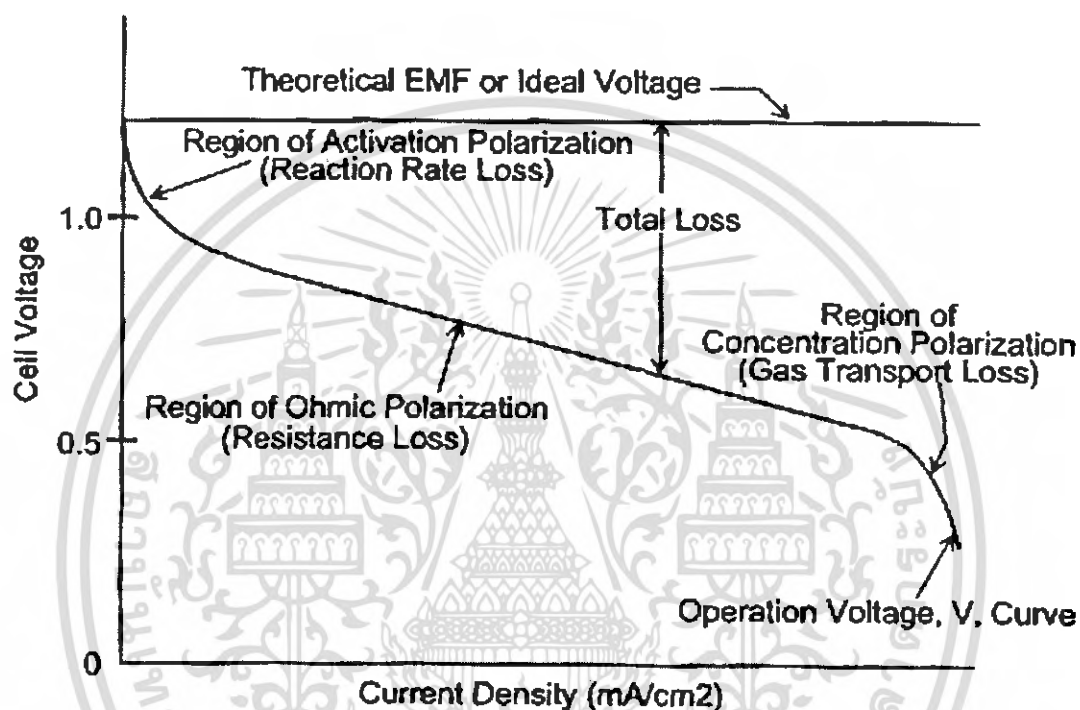
วิธีง่าย ๆ ก็คือ การทำด้วยสารละลาย “Ink” ซึ่งถูกเตรียมขึ้นโดยการผสมเข้าด้วยกันตามสัดส่วนที่เหมาะสมของตัวเร่งปฏิกิริยา (ผงแพลตินัมกระจายอยู่บนคาร์บอน) และสารละลายของสารเมมเบรนซึ่งถูกละลายอยู่ในแอลกอฮอล์ (Solution) โดยทำ “Ink” บนแผ่นเมมเบรนโดยตรงแล้วปล่อยให้แห้งบนผิวของเมมเบรน นำไปให้ความร้อนจนกระทั่งชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาแห้งและเคลือบติดชั้นเมมเบรน จากนั้นกลับอีกด้านหนึ่งและทำเช่นเดียวกับครั้งแรก จะทำให้มีชั้นของปฏิกิริยาบนเมมเบรนทั้งสองด้าน ขั้วเมมเบรนจะถูกรีดน้ำออก (Rehydrated) โดยการจุ่มลงในสารละลายกรดที่เดือดเบา ๆ เพื่อให้มั่นใจว่าเมมเบรนสามารถทำให้เกิดไฮโดรเจนไอออน ที่ต้องการสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงในการทำงาน ขั้นตอนสุดท้ายผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น ขั้วเมมเบรนอิเล็กโทรดนี้ สามารถที่จะใส่เข้าไปในโครงสร้างเซลล์เชื้อเพลิงต่อไป

The backing Layers ¹⁸¹

ชั้นผนังกันของเซลล์เชื้อเพลิง (Backing Layers) ถูกออกแบบมาเพื่อให้เกิดกระแสมากที่สุดซึ่งได้รับจากเมมเบรน/อิเล็กโทรด ด้านหนึ่งจะต่อกับขั้วแอโนด (Anode) อีกขั้วหนึ่งจะต่อกับขั้วแคโทด (Cathode) ซึ่งโดยปกติจะทำด้วยกระดาษคาร์บอนที่มีรูพรุนหรือผ้าคาร์บอนซึ่งมีความหนา 100-300 ไมครอน (ประมาณ 4-12 แผ่นกระดาษ) ชั้นผนังกันที่ทำด้วยวัสดุคาร์บอนสามารถนำอิเล็กตรอนออกจากขั้วแอโนด (Anode) ไปยังขั้วแคโทด (Cathode) รูพรุนของสารที่ใช้ทำผนังกันเซลล์เชื้อเพลิงจะต้องมีประสิทธิภาพในการแพร่กระจายของก๊าซ (Reactant Gas) กับตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) บนเมมเบรน/อิเล็กโทรด ในการแพร่กระจายหมายถึงการไหลของโมเลกุลก๊าซจากส่วนที่มีความเข้มข้นสูง (ด้านนอกผนังแผ่นกัน) ซึ่งก๊าซจะไหลไปตามทางที่ได้ออกแบบไว้ ส่วนที่มีความเข้มข้นต่ำ ด้านในของผนังแผ่นกันติดกับชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งก๊าซจะถูกหลอมรวมกันโดยปฏิกิริยา โครงสร้างของชั้นผนังกันจะทำให้ก๊าซแยกตัวออกขณะที่แพร่กระจาย ดังนั้นเมื่อก๊าซไหลทะลุผ่านผนังกันก๊าซจะถูกสัมผัสติดกับผิวของเยื่อที่เคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมด ชั้นผนังกันยังช่วยกำจัดน้ำระหว่างการดำเนินงานของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งน้ำในปริมาณที่น้อยมาก ๆ หรือมากเกินไปจะทำให้เซลล์หยุดทำงาน การแก้ไขโดยเลือกใช้วัสดุที่ทำผนังกันเพื่อควบคุมปริมาณไอน้ำ ให้ความชื้นที่เหมาะสมที่ไหลไปยังเมมเบรน/อิเล็กโทรด วัสดุที่ทำผนังกันยังช่วยให้ น้ำที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด (Cathode) ออกจากเซลล์โดยไม่ทำให้เกิดการ “Floods” ชั้นผนังกันจะเป็ยกชั้นอยู่เสมอซึ่งทำด้วย Teflon จะไม่เกิดการ “Clogged” ของน้ำ และจะป้องกันการแพร่ของก๊าซอย่างรวดเร็วซึ่งจำเป็นสำหรับการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่ขั้วอิเล็กโทรด

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง^[11]

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนจะมีการวัดค่าออกมาอยู่ในรูปของความหนาแน่นกระแสคือ ปริมาณกระแสที่ได้ต่อหน่วยพื้นที่ที่เกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์เชื้อเพลิง (ในหน่วย mA/cm^2) จากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและความหนาแน่นกระแส (I-V Characteristic Curve) ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความหนาแน่นกระแส^[11]

ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงคือการเกิดน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาภายในจะมีอิทธิพลในช่วงความต้านทานชั้นการแพร่ (Gas Transport Losses) และจากอัตราการแพร่ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่สวนทางของก๊าซออกซิเจนที่จะไหลผ่านชั้นการแพร่เข้าไปสู่ชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (Diffusion Limiting) ส่งผลให้มีพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาน้อยลง

ความชื้นหรือน้ำในเซลล์เชื้อเพลิง¹¹¹

ความชื้นหรือน้ำในเซลล์เชื้อเพลิงเกิดขึ้นมาจาก 2 สาเหตุ คือ น้ำหรือความชื้นที่ได้รับจากอุปกรณ์กำเนิดความชื้น เนื่องจากก๊าซได้รับความชื้นจากอุปกรณ์กำเนิดความชื้น (Humidifier) ทำให้ก๊าซแห้งจากถังจ่ายกลายเป็นก๊าซเปียก โดยปริมาณความชื้นหรือน้ำก่อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลของก๊าซ และอีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด โดยปริมาณน้ำจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นกระแส (Current Density) ที่เซลล์เชื้อเพลิงผลิตออกมา น้ำจะเคลื่อนที่ไปตามช่องทางเดินก๊าซ จึงทำให้เกิดการขัดขวางการทำปฏิกิริยาของก๊าซ การจัดการน้ำและการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงมีความเกี่ยวข้องกันในขณะที่เปลี่ยนเงื่อนไขตัวแปร อุณหภูมิ, อัตราการไหล, ความชื้นและปริมาณการดึงกระแสจะมีผลต่อปริมาณการผลิตน้ำและการกำจัดน้ำด้วย โดยที่การจัดการน้ำภายในชั้นเซลล์เชื้อเพลิง (Stack Cell) จะซับซ้อนกว่าเซลล์เดี่ยว (Single Cell) เนื่องจากจะทำให้เกิดการสะสมของน้ำในเซลล์ลำดับต้นๆ ซึ่งมีผลให้เกิดการขาดแคลนก๊าซในเซลล์ถัดๆ ไป

น้ำและประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง¹¹¹

การกำจัดน้ำเป็นกุญแจสำคัญที่มีผลต่อระบบของเซลล์เชื้อเพลิง แม้ว่าน้ำคือผลพลอยได้ของปฏิกิริยาและถูกกำจัดออกจากเซลล์ระหว่างการทำงาน ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจว่าทั้งเชื้อเพลิงและอากาศที่เข้ามาภายในเซลล์เชื้อเพลิง จำเป็นจะต้องมีความชื้น สภาวะเช่นนี้น้ำจะทำให้เซลล์เชื้อเพลิงเกิดเป็นไฮเดรต ความชื้นของก๊าซจำเป็นจะต้องควบคุมอย่างระมัดระวัง ละอองน้ำที่เล็กเกินไปจะป้องกันเมมเบรนจากการเหนียวน้ำไฮโดรเจนไอออน (H^+) ทำให้กระแสภายในเซลล์ลดต่ำลง ถ้าอากาศผ่านขั้วแคโทดเข้าไป อากาศไม่สามารถพาน้ำทั้งหมดที่ขั้วแคโทดออกจากเซลล์เชื้อเพลิงได้จะเกิด "Floods" เซลล์อาจจะเกิดอันตรายเพราะ O_2 ไม่เพียงพอที่จะสามารถผ่านทะลุน้ำไปถึงขั้วแคโทดได้

2.7 ทฤษฎีทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง¹⁶⁾

2.7.1 ความต่างศักย์ไฟฟ้า

ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุดใดๆ ในวงจรที่มีกระแสไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุที่สูญเสียไปในระหว่างจุด 2 จุดนั้น มีหน่วยเป็น โวลต์ (Volt) แบ่งเป็น

2.7.1.1 ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์

หมายถึง ความต่างศักย์ภายนอกของเซลล์ไฟฟ้า เป็นความต่างศักย์ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบของเซลล์ไฟฟ้าโดยผ่านความต้านทานภายนอกทั้งสิ้น

2.7.1.2 ความต่างศักย์ภายในเซลล์

หมายถึง ความต่างศักย์ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบของเซลล์ โดยผ่านความต้านทานภายในทั้งสิ้น

2.7.2 กระแสไฟฟ้า

เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนไหลจากจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าไปสู่จุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere)

2.7.3 ความต้านทานไฟฟ้า

ความต้านทานไฟฟ้า เป็นคุณสมบัติของวัตถุในการที่จะขัดขวางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านวัตถุนั้นๆ เมื่อต่อเข้ากับความต่างศักย์ค่าหนึ่ง วัตถุใดที่มีความต้านทานสูงกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไปได้ยาก ส่วนวัตถุใดที่มีความต้านทานน้อยกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไปได้ง่าย วัตถุพวกที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะมีความต้านทานน้อยกระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านได้สะดวก ส่วนวัตถุที่เป็นฉนวนไฟฟ้ามีความต้านทานสูงมากกระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านได้ยากหรือไม่ได้เลย

ตัวต้านทาน เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เพิ่มความต้านทานให้กับวงจรไฟฟ้า ซึ่งในวงจรไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่บางครั้งต้องทำให้มีความต้านทานเพิ่มขึ้น เพื่อให้กระแสไฟฟ้าในวงจรลดลงหรือให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมบนความต้านทานต่างๆ ตามที่ต้องการ ตัวต้านทานสร้างขึ้นมาจากโลหะผสมต่างๆ เช่น คาร์บอน เซรามิก เป็นต้น มีทั้งตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานคงที่และตัวต้านทานปรับค่าได้

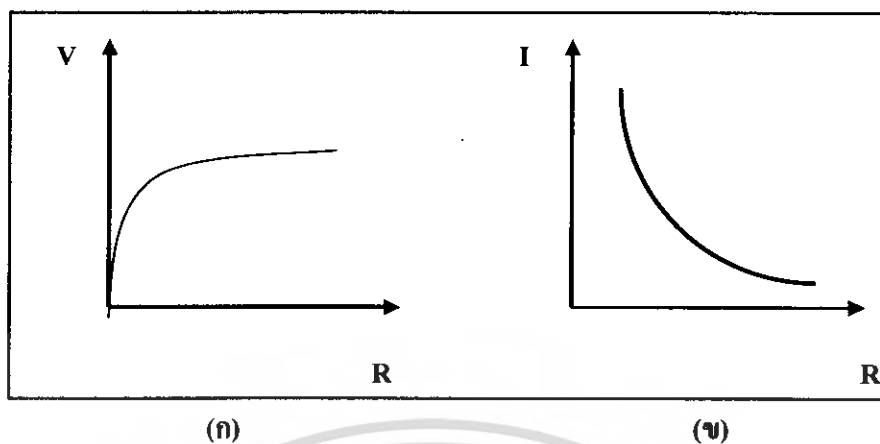
2.7.4 กฎของโอห์ม

ในปี พ.ศ. 2369 โอห์ม นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ทำการทดลองต่อความต้านทานเข้ากับ ความต่างศักย์ไฟฟ้า จะปรากฏว่า มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทาน และได้สรุปผลการทดลองเป็นกฎขึ้นมา มีใจความว่า ถ้าอุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้ามีค่าคงที่แล้ว อัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าของปลายทั้งสองของตัวนำกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำนั้นมีค่าคงที่ โดยค่าคงที่นี้คือค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เขียนความสัมพันธ์จากกฎของ โอห์ม ได้ตามสมการที่ (22)

$$V = IR \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎของโอห์ม สามารถเขียนกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและความต้านทาน

(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและความต้านทานตามกฎของโอห์ม

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต้านทานตามกฎของโอห์ม

2.7.5 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ถูกเปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น จูลต่อวินาที หรือวัตต์ (Watt) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ (23)

$$P = IV \quad (2.23)$$

เมื่อรวมกับกฎของโอห์มจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (24)

$$P = I^2 R \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชีวารัตน์ จำปาวงศ์และณัฐวีร์ สิจิววัฒน์^[9] ได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ประกอบเซลล์และทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งจากการทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราการป้อนไฮโดรเจนที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงพบว่า อัตราการเพิ่มของก๊าซไฮโดรเจนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์ เนื่องจากอัตราการใช้ก๊าซไฮโดรเจนของเซลล์เชื้อเพลิงค่อนข้างคงที่ประมาณ 0.05-0.10 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ดังนั้นอัตราการให้ไฮโดรเจนแก่เซลล์เชื้อเพลิงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและประหยัดสารตั้งต้นสูงสุดคืออัตราการไหลของไฮโดรเจน 0.05-0.10 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ นาที

ฐิติกร วาสนาเพียงพงศ์^[12] ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองกระบวนการเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนโดยใช้โปรแกรม fluent 4.5 และ Aspen plus ภายใต้สมมติฐานคือ แบบจำลองมีลักษณะ 2 มิติของวัฏภาค 2 ระบบ คือ ก๊าซและของเหลว และจำลองกระบวนการที่ภาวะพลวัตและอุณหภูมิคงที่ พบว่าโปรแกรมทั้งสองมีความถูกต้องสามารถจำลองกระบวนการได้ โดยยืนยันผลกับงานวิจัยของ He,W. และคณะ โดยแบบจำลองแสดงผลว่า การเพิ่มความดันทางด้านขั้วแคโทดและความเข้มข้นของออกซิเจนขาเข้า จะทำให้ค่าความหนาแน่นกระแสที่ได้สูงขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับระบบ

พรพิมล เพ็ชรวัฒนาและคณะ^[13] ได้ศึกษาถึงผลของความชื้นในก๊าซเชื้อเพลิงของเซลล์เชื้อเพลิง โดยควบคุมอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนให้คงที่ สภาวะการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงที่ความดันไม่เกิน 1 บาร์ และอุณหภูมิ 40-80 องศาเซลเซียส จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า การให้ก๊าซไฮโดรเจนสำหรับที่มีการปรับความชื้นในช่วงก่อนการจ่ายกระแส และการปรับความชื้นก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

โครงการนี้เป็น การทดลองเพื่อผลิตเยื่อแลกเปลี่ยน (Membrane Electrode Assembly : MEA) สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ จากตัวเร่งปฏิกิริยาสำเร็จรูป โดยมีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

3.1.1 การประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน

- 1) ทำการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง ทั้งส่วนประกอบของตัวเซลล์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเยื่อ โดยการออกแบบและจัดทำขึ้นใหม่ เพื่อใช้สำหรับการประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเซลล์เดี่ยว
- 2) ทำการขึ้นรูปแผ่นซิลิโคน สำหรับใช้เป็นประเก็นป้องกันก๊าซรั่วซึม
- 3) ทำการผลิตเยื่อแลกเปลี่ยนจากตัวเร่งปฏิกิริยาสำเร็จรูป Pt/C และ Pt-Ru/C โดยวิธีการทาเพื่อให้ได้แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยน (MEA) สำหรับการใช้ในประกอบเซลล์เชื้อเพลิง
- 4) ทำการประกอบเซลล์เพื่อให้ได้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเซลล์เดี่ยวที่ผลิตขึ้นเอง

3.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

การทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าจะทำให้ทราบถึงสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิตขึ้น โดยจะทำการวัดค่าตัวแปร ทางไฟฟ้า แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูป โดยตัวแปรที่ต้องการวัด คือ

- 1) ค่าความต่างศักย์เทียบกับเวลา เพื่อหาช่วงเวลาที่สามารถทำงานได้ตามปกติ เมื่อมีการป้อนไฮโดรเจนให้แก่เซลล์ในอัตราคงที่ โดยคาดว่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซลล์น่าจะมีค่าคงที่ เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงจะทำงานได้ตลอดเวลาที่มีสารไหลผ่านตัวเซลล์ ดังนั้นเมื่อมีการป้อนสารเข้าสู่เซลล์ด้วยอัตราคงที่ ความต่างศักย์ที่วัดได้จึงน่าจะคงที่ด้วย
- 2) กำหนดหาประสิทธิภาพของเซลล์ที่ผลิตขึ้นเองเทียบกับเซลล์สำเร็จรูป โดยใช้ค่าความต่างศักย์ที่วัดออกมาได้เมื่อทดสอบที่ภาวะเดียวกัน

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ผลผลิต (Output)}}{\text{สารตั้งต้น (Input)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์การทดลองและสารเคมี

3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 1) มัลติมิเตอร์ (Multimeter) จำนวน 1 เครื่อง
- 2) แผ่นอะคริลิกใสหนา 10 มิลลิเมตร ขนาด 100×100 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น
- 3) หัวต่อท่อก๊าซขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เกลียว 20 จำนวน 4 อัน
- 4) สกรูและน็อต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร
- 5) แผ่นแอสตันเลสชนิดเปอร์ฟอเรต หนา 0.5 มิลลิเมตร ที่มีรูพรุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร
- 6) แม่พิมพ์แอสตันเลสสำหรับอบแผ่นเยื่อ ขนาด 90×90 ตารางมิลลิเมตร
- 7) ตู้อบ
- 8) ฟูกัน เบอร์ 0
- 9) บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
- 10) สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 0.5 เมตร จำนวน 4 เส้น
- 11) นาฬิกาจับเวลา
- 12) ขวดดักก๊าซ

3.2.2 สารเคมี

- 1) สารละลาย Nafion 5%
- 2) ตัวเร่งปฏิกิริยา
 - Platinum 50% / Carbon
 - Platinum 30%- Ruthinium 23.3% / Carbon
- 3) แผ่นเยื่อพอลิเมอร์ (Nafion 117)
- 4) แผ่นยางซิลิโคน
- 5) ไฮโดรเจนบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 จำนวน 1 ถัง
- 6) น้ำกลั่น
- 7) กระดาษคาร์บอน

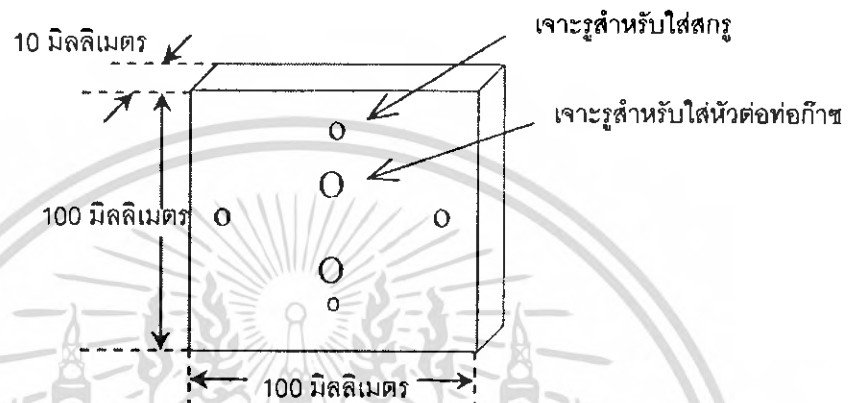
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน

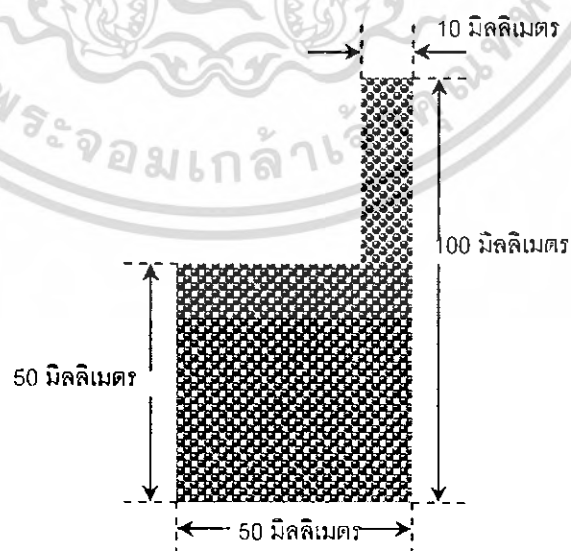
การเตรียมอุปกรณ์ประกอบเซลล์

- ตัดแผ่นอะคริลิกให้มีขนาด 100×100 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น เจาะรูสำหรับยึดน็อต สกรูและหัวต่อท่อก๊าซ เพื่อใช้เป็นแผ่นปิดหัว-ท้าย (End Plate)



รูปที่ 3.1 การเตรียมแผ่นปิดหัว-ท้าย

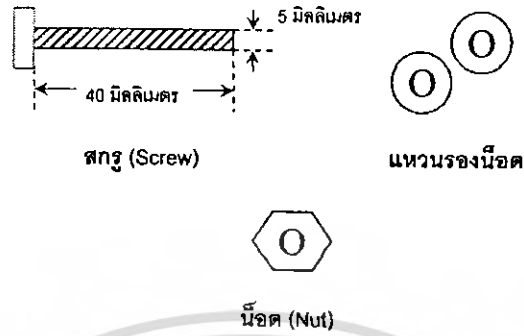
- ทำแผ่นช่องทางเดินก๊าซ (Gas Flow Field Plate) ด้วยแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเจาะรู (Stainless steel perforated) หนา 0.5 มิลลิเมตร มีรูพรุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร โดยมีพื้นที่ผิวสัมผัส 50×50 ตารางมิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 การเตรียมแผ่นช่องทางเดินก๊าซ

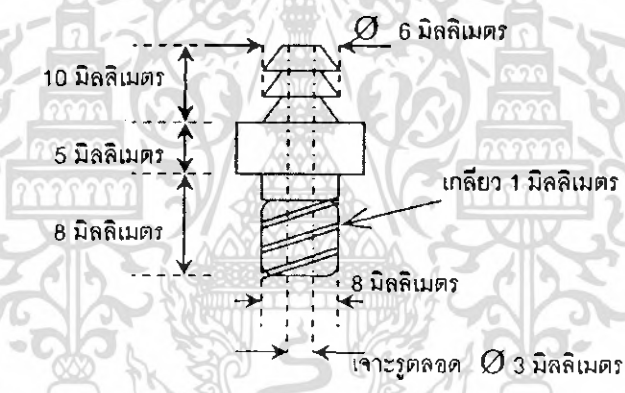
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำสกรูและน็อตจากแสดนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชุด



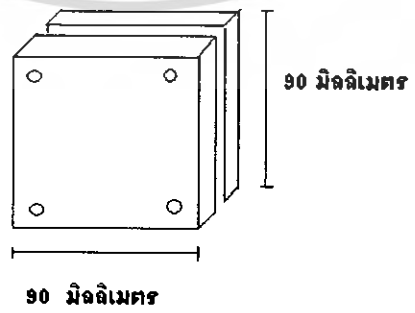
รูปที่ 3.3 การเตรียมน็อตและสกรูจำนวน 1 ชุด

- ทำหัวต่อท่อก๊าซแสดนเลสตามแบบ จำนวน 4 ชุด



รูปที่ 3.4 หัวต่อท่อก๊าซแสดนเลส

- ทำแม่พิมพ์แสดนเลสสำหรับอบแผ่นเชื้อขนาด 90×90 ตารางมิลลิเมตร โดยมีลักษณะผิวเรียบ ได้ระนาบเดียวกันทั้งแผ่นและมีน็อตและสกรูยึดที่มุมทั้ง 4 ด้าน



รูปที่ 3.5 แม่พิมพ์สำหรับอัดแผ่นเชื้อ

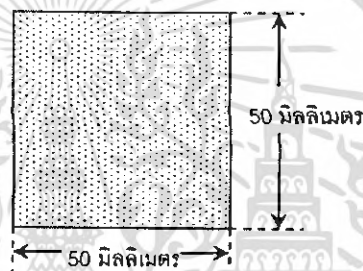
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขึ้นรูปแผ่นซีลีโคน

- นำซีลีโคนไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำออกจากตู้อบ รอให้ซีลีโคนที่อัดไว้เย็น
- นำซีลีโคนที่อัดไว้มาตัดให้ได้ขนาด 5×5 ตารางเซนติเมตร
- ทำตามขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นซีลีโคนอีก 3 ครั้ง เพื่อให้ได้แผ่นซีลีโคนเพื่อทำประกัน จำนวน 4 แผ่น

การผลิตแผ่นเยื่อ MEA

- 1) นำแผ่นเยื่อ Nafion 117 มาตัดให้มีขนาด 50×50 ตารางมิลลิเมตร (พื้นที่ทำปฏิกิริยา 40×40 ตารางมิลลิเมตร)



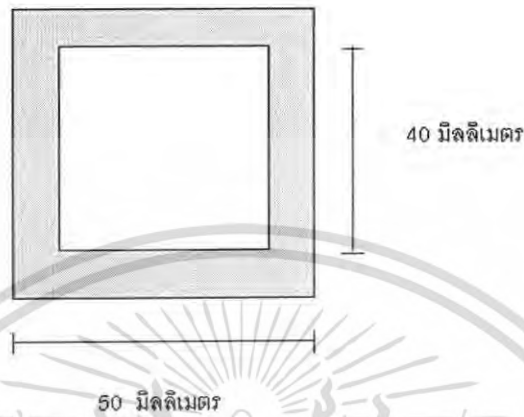
รูปที่ 3.6 ขนาดแผ่นเยื่อ Nafion

- 2) ชั่งตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตตินัมบนผงคาร์บอน (Pt/C) มาจำนวน 0.005 กรัม ใส่ลงใน บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 3) ละลายตัวเร่งปฏิกิริยาในสารละลาย Nafion 5% จำนวน 20 หยด คนให้ละลายเข้ากัน เป็นเนื้อเดียว
- 4) ทาสารละลายที่ได้บนแผ่น Nafion สำเร็จรูปให้ทั่วทั้งสองด้าน
- 5) ใช้แม่พิมพ์อัดแผ่นเยื่อ แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที
- 6) ได้แผ่นเยื่อ MEA ที่สามารถนำไปประกอบเซลล์เชื้อเพลิง ในกรณีของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตตินัม- รูทีเนียมบนผงคาร์บอน (Pt-Ru/C) ใช้วิธีการผลิตเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประกอบเซลล์เชื้อเพลิง

1) นำแผ่นซิลิโคนมาตัดตามแบบ เพื่อใช้เป็นประเก็น (Gasket) ป้องกันก๊าซที่ทำปฏิกิริยารั่วซึม โดยจะแทรกไว้แต่ละชั้นระหว่างแผ่นช่องทางเดินก๊าซและ MEA



รูปที่ 3.7 แผ่นประเก็น (Gasket)

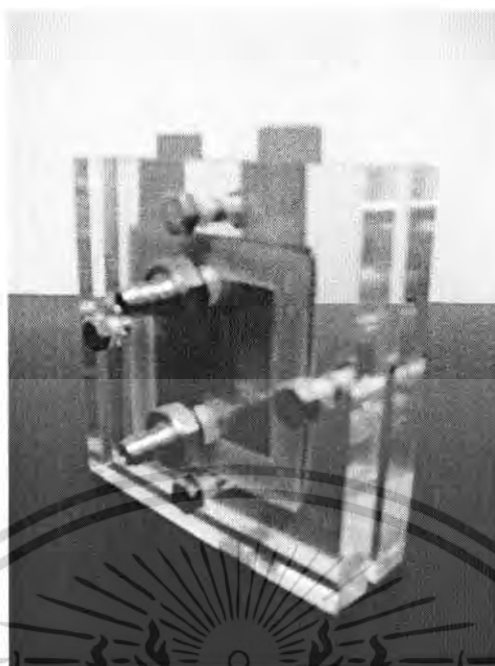
2) นำแผ่นช่องทางเดินก๊าซที่ทำจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเจาะรูมาประกบ MEA โดยแต่ละชั้นจะมีแผ่นประเก็นแทรกไว้กันการรั่วซึม



รูปที่ 3.8 ลำดับชั้นของการประกอบเซลล์

3) จากนั้นนำแผ่นปิดมาประกบทั้งสองด้าน ต่อหัวต่อท่อก๊าซ และใช้น็อต-สกรูยึดให้เซลล์ประกบกันแน่นจะได้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ชนิดเซลล์เดี่ยว (Single cell Stack)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ชนิดเซลล์เดี่ยว

3.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

3.3.2.1 การทดสอบหาช่วงเวลาที่เซลล์ทำงานได้ตามปกติ

1) จัดเตรียมอุปกรณ์โดยต่อสายขั้วจากถังไฮโดรเจนเข้ากับท่อทางเข้าก๊าซของขั้วดักก๊าซ ส่วนท่อทางออกของขั้วดักก๊าซใช้สายขั้วต่อเข้ากับท่อรับก๊าซของเซลล์เชื้อเพลิง จากนั้นนำสายขั้วอีกเส้นต่อจากด้านทางออกของไฮโดรเจนขึ้นแล้วขยับปลายอีกด้านหนึ่งลงใน บีกเกอร์ที่บรรจุ น้ำกลั่นเพื่อเพิ่มความดันภายในเซลล์

2) ส่วนทางขั้วแคโทด ทำการต่อสายขั้วจากถังอากาศเข้ากับท่อทางเข้าก๊าซของขั้วดักก๊าซอีกใบหนึ่ง ส่วนท่อทางออกของขั้วดักก๊าซใช้สายขั้วต่อเข้ากับท่อรับก๊าซของเซลล์เชื้อเพลิง

3) ปล่อยก๊าซไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 จากถังเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง ทางด้านแอโนดโดยให้อัตราการไหลคงที่ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที (โดย 1 ฟองไฮโดรเจนมี ปริมาตรเท่ากับ 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที) ทั้งนี้เพราะจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าอัตราการไหลของไฮโดรเจนไม่มีผลต่อความดันภายในเซลล์ของเซลล์เชื้อเพลิง^[9] ส่วนอากาศป้อนที่อัตราการไหลคงที่ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีเช่นเดียวกับก๊าซไฮโดรเจน

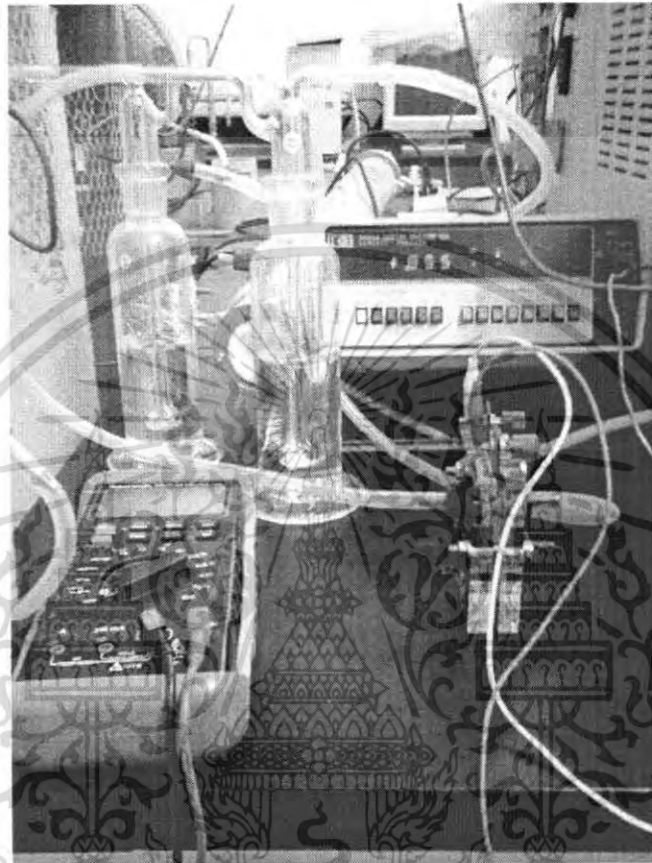
4) ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสโดยปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศในห้องทดลอง

5) วัดความต่างศักย์ที่ขั้วแอโนดและแคโทดด้วยมัลติมิเตอร์ทุก ๆ 1 นาที บันทึกผลการ

ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลา
- 7) ทำการทดลองทั้งเซลล์ Pt/C , Pt-Ru/C และเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูปแล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แต่ละชนิด



รูปที่ 3.10 การวัดความต่างศักย์ของเซลล์เชื้อเพลิง

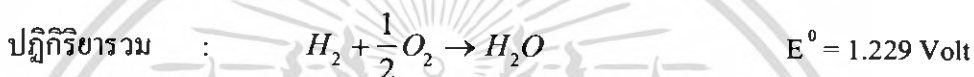
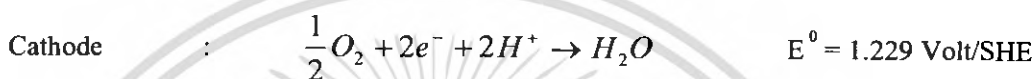
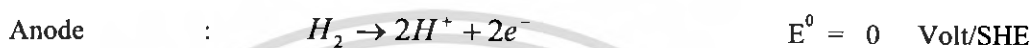
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อหาช่วงเวลาที่เซลล์ทำงานได้ปกติ

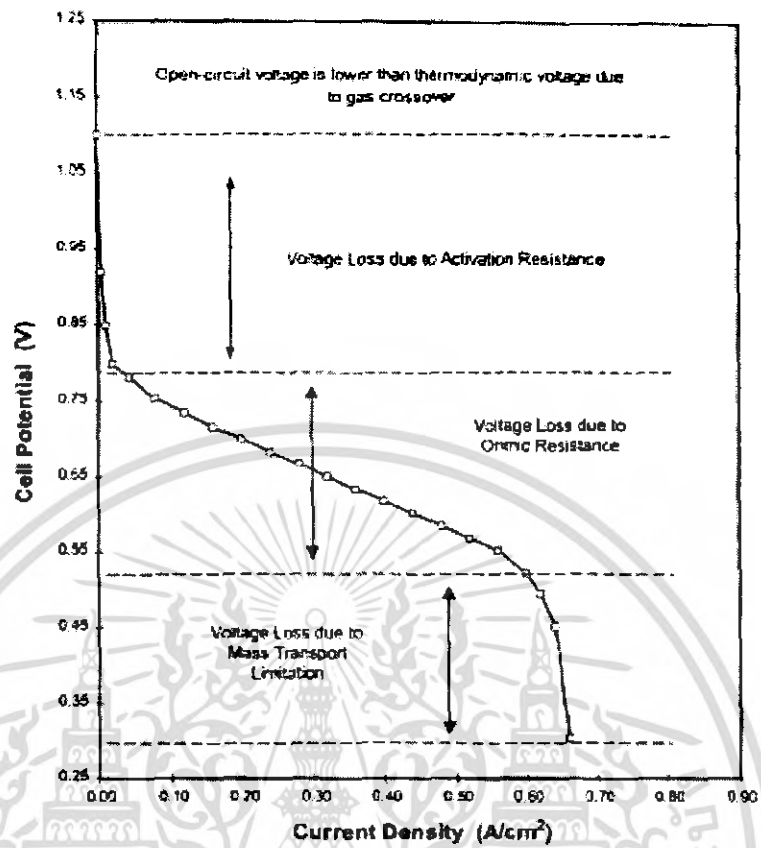
ศักย์ไฟฟ้าทางทฤษฎีของเซลล์เชื้อเพลิงควรมีค่าเท่ากับค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเมื่อเทียบกับขั้วมาตรฐานไฮโดรเจน ซึ่งจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้า



ดังนั้นเซลล์เชื้อเพลิง 1 เซลล์จะให้ศักย์ไฟฟ้าตามทฤษฎี $E^0 = 1.229 \text{ Volt}$ ที่สภาวะมาตรฐาน (ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส)

จากการทดลอง เมื่อป้อนก๊าซไฮโดรเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงทางขั้วแอโนดด้วยอัตราการที่ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และป้อนอากาศเข้าทางขั้วแคโทดด้วยอัตราการที่ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ควบคุมการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสแล้ว พบว่าเซลล์ทั้งสามชนิดให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.79-0.86 โวลต์ มีค่าน้อยกว่าศักย์ไฟฟ้าทางทฤษฎี เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงจะทำงานในระบบผันกลับไม่ได้ หรือเรียกว่า กระบวนการโพลาไรเซชัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่ศักย์ไฟฟ้าสูญเสียไปเนื่องจากปฏิกิริยาเคมี (Activation Polarization), สูญเสียไปเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุที่นำมาใช้เป็นอิเล็กโทรดและเมมเบรน (Ohmic Polarization) และสูญเสียไปเนื่องจากแรงต้านทานอันเกิดจากความเข้มข้นของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาที่ผิวหน้าของตัวเร่งปฏิกิริยา (Mass Transfer or Concentration Polarization) ทำให้ค่าที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้ทางทฤษฎี โดยเมื่อนำค่าศักย์ไฟฟ้าจริงที่วัดได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับความหนาแน่นกระแส จะได้กราฟที่เรียกว่า กราฟโพลาไรเซชัน (Polarization curve)

เมื่อพิจารณาจากกราฟโพลาไรเซชัน ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซลล์เชื้อเพลิง มีค่าอยู่ในช่วง 0.79 – 0.86 โวลต์ นั่นก็คือมีการสูญเสียศักย์ไฟฟ้าไปกับ Activation Resistance

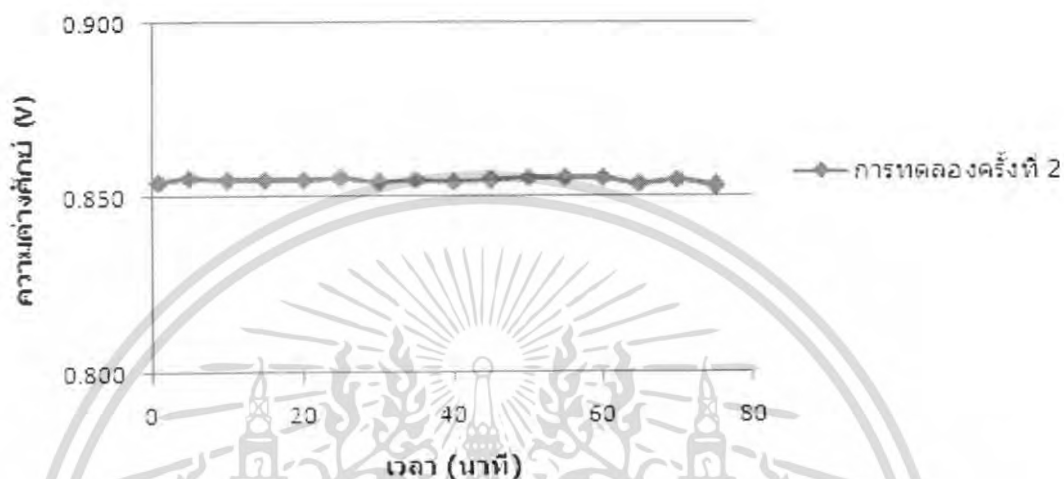


รูปที่ 4.1 กราฟโพลาริเซชัน (Polarization curve) ^[12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

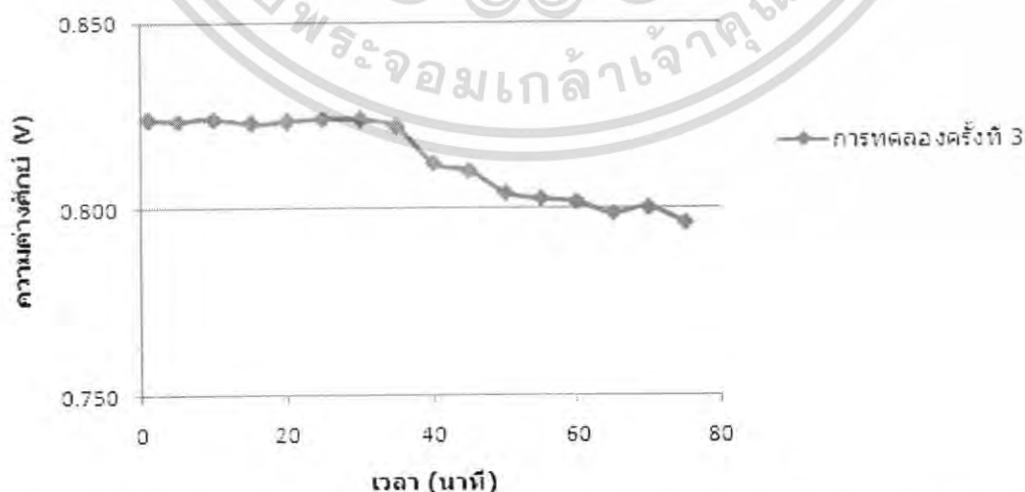
ค่าความต่างศักย์ของเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละชนิด

- เซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูปมีช่วงเวลาการทำงานของเซลล์ยาวนาน เมื่อเวลาผ่านไปค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ค่อนข้างคงที่ โดยค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ประมาณ 0.853 – 0.858 โวลต์



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาของเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูป การทดลองครั้งที่ 2

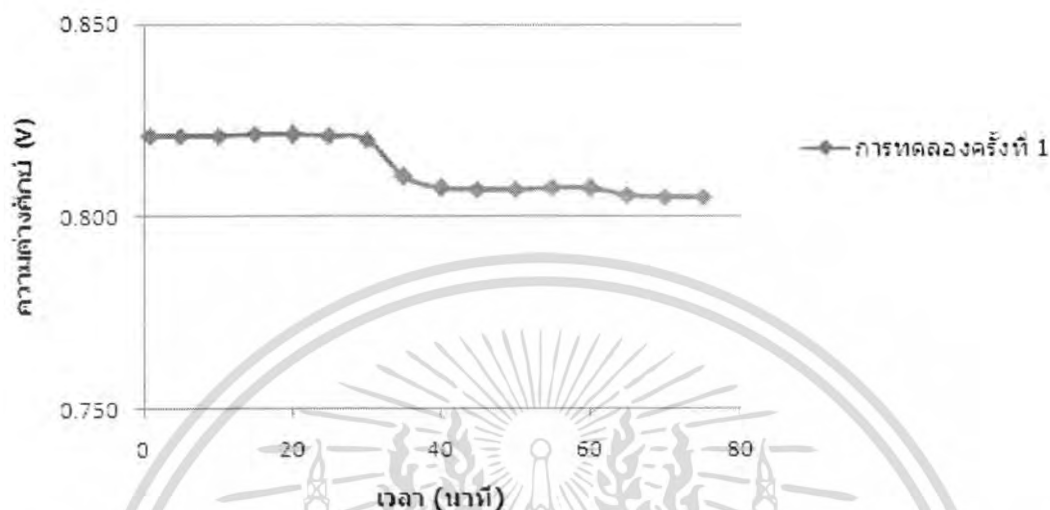
- เซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิต MEA จากตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัมบนผงคาร์บอน (Pt/C) พบว่าช่วงเวลาที่ค่าความต่างศักย์ค่อนข้างคงที่อยู่นานถึงช่วงนาทีที่ 36-37 จากนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว โดยแรงเคลื่อนภายในเซลล์น้อยกว่าเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูปเล็กน้อยคือประมาณ 0.790–0.830 โวลต์



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **การทดลองครั้งที่ 3** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

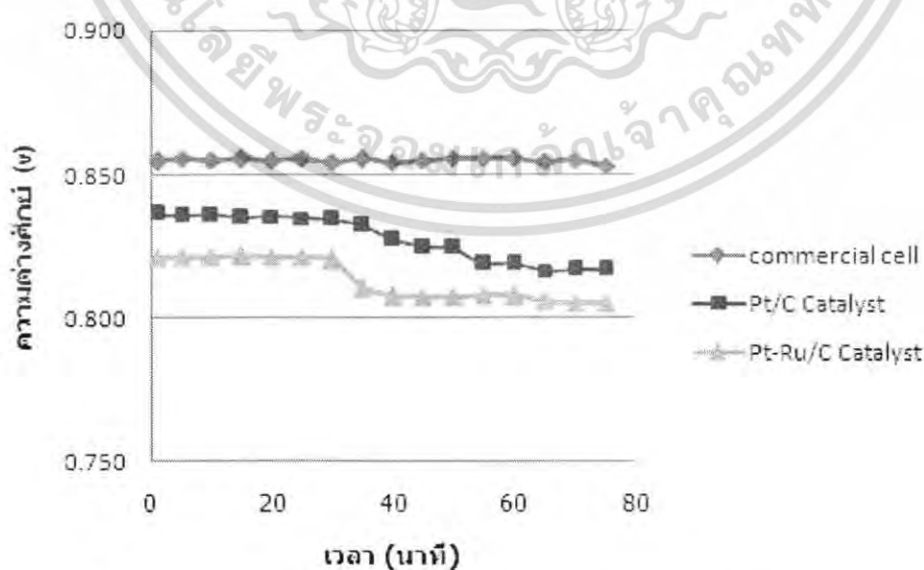
- เซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิต MEA จากตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัม-รูทีเนียมบนผงคาร์บอน (Pt-Ru/C) ค่าความต่างศักย์ก่อนข้างคงที่อยู่ประมาณ 28-30 นาทีจากนั้นจะลดลง ความต่างศักย์ที่วัดได้อยู่ในช่วง 0.800 – 0.820 โวลต์



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst

การทดลองครั้งที่ 1

เมื่อนำค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซลล์แต่ละชนิดมาเปรียบเทียบกัน พบว่ามีแนวโน้มเป็นดังรูป



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบความต่างศักย์และแนวโน้มของเซลล์แต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟเปรียบเทียบแนวโน้มของเซลล์แต่ละชนิด พบว่าค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซลล์ที่ผลิตขึ้นเองมีค่าน้อยกว่าเซลล์สำเร็จรูป และนอกจากนั้นยังพบว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นคือค่าความต่างศักย์ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไปเพียง 30 นาที ทั้งที่มีอัตราการป้อนสารเชื้อเพลิงคงที่ ซึ่งไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมของเซลล์เชื้อเพลิงที่จะทำงานได้ตลอดเวลาที่มีสารเชื้อเพลิงไหลผ่านตัวเซลล์

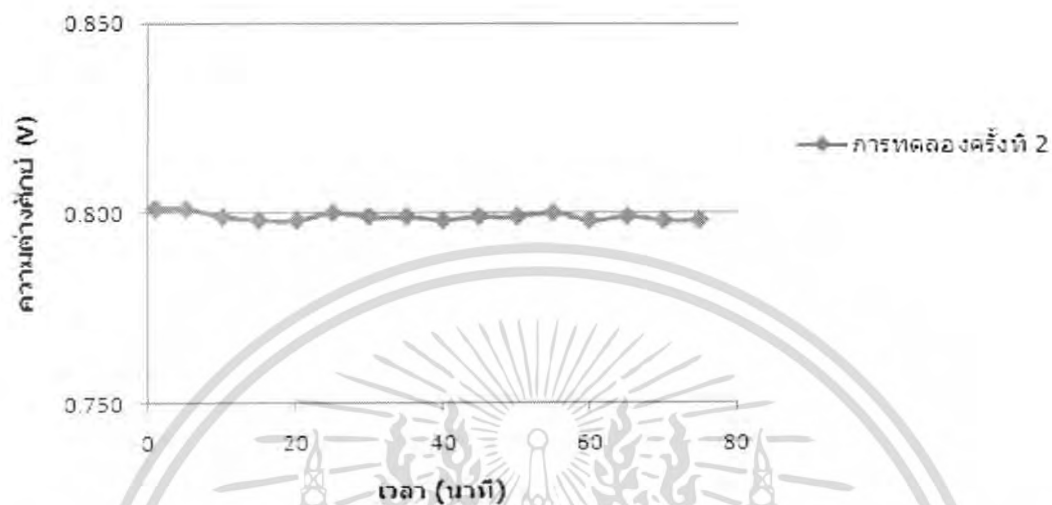
ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงคือการเกิดน้ำภายในเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาภายในจะมีอิทธิพลในช่วงความดันทานชั้นการแพร่ (Gas Transport Losses) และจากอัตราการแพร่ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่สวนทางของก๊าซออกซิเจนที่จะไหลผ่านชั้นการแพร่เข้าไปสู่ชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (Diffusion Limiting) ส่งผลให้มีพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาน้อยลง

จากการสังเกตพบว่า ช่วงเวลาที่เซลล์มีความต่างศักย์ลดลงอย่างรวดเร็วมีหยดน้ำเกาะอยู่ที่ผนังเซลล์ อาจเกิดจากการ “Floods” ภายในเซลล์ เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงจะทำงานได้ที่ภาวะที่ความชื้นพอเหมาะ ไม่มากหรือน้อยเกินไป พรหมิลและคณะ^[13] ได้ทำการศึกษาระบบจัดการน้ำภายในเซลล์ Stack ของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน พบว่าการให้ความชื้นแก่ก๊าซในโคโรเจน ไฮโดรเจนและออกซิเจน ก่อนเข้าสู่เซลล์จะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ดีกว่าภาวะที่ไม่ให้ความชื้น เพราะละอองน้ำที่เล็กเกินไปจะป้องกันเมมเบรนจากการเหนียวน้ำ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ทำให้กระแสภายในเซลล์ลดต่ำลง ถ้าอากาศผ่านขั้วแคโทดเข้าไป อากาศไม่สามารถพาน้ำทั้งหมดที่ขั้วแคโทดออกจากเซลล์เชื้อเพลิงได้จะเกิด “Floods” เซลล์อาจจะเกิดอันตรายเพราะ O_2 ไม่เพียงพอที่จะสามารถผ่านทะลุน้ำไปถึงขั้วแคโทดได้

การจัดการน้ำและการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงมีความเกี่ยวข้องกันในขณะที่เปลี่ยนเงื่อนไขตัวแปร อุณหภูมิ, อัตราการไหล, ความชื้นและปริมาณการคั่งกระแสะจะมีผลต่อปริมาณการผลิตน้ำและการกำจัดน้ำด้วย นอกจากนี้การเพิ่มชั้นผนังกันของเซลล์เชื้อเพลิง (Backing Layers) ซึ่งโดยปกติจะทำด้วยกระดาษคาร์บอนที่มีรูพรุนหรือผ้าคาร์บอนซึ่งมีความหนา 100-300 ไมครอน (ประมาณ 4-12 แผ่นกระดาษ) เพื่อควบคุมปริมาณไอน้ำ ให้มีความชื้นที่เหมาะสมที่ไหลไปยังเมมเบรน/อิเล็กโทรด วัสดุที่ทำผนังกันยังช่วยให้น้ำที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด (Cathode) ออกจากเซลล์โดยไม่ทำให้เกิดการ “Floods” ชั้นผนังกันจะเป็ยกขึ้นอยู่เสมอซึ่งทำด้วย Teflon จะไม่เกิดการ “Clogged” ของน้ำ และจะป้องกันการแพร่ของก๊าซอย่างรวดเร็วซึ่งจำเป็นสำหรับการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่ขั้วอิเล็กโทรด^[8]

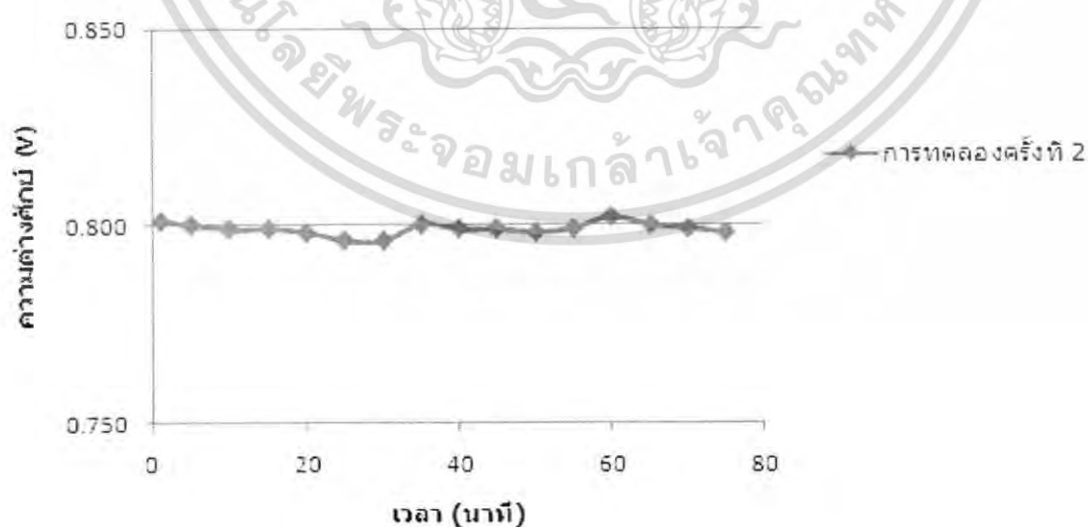
ดังนั้น จึงได้ทำการเพิ่มชั้นผนังกันของเซลล์เชื้อเพลิงเข้าไปและทำการทดสอบที่ภาวะเดิมและวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ พบว่าค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ก่อนข้างคงที่เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งเป็นไปตามพฤติกรรมของเซลล์เชื้อเพลิง

- เซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิต MEA จากตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัมบนผงคาร์บอน (Pt/C) ให้ศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.798-0.801 โวลต์ ซึ่งมีความคงที่มากกว่าค่าที่วัดได้ขณะที่ไม่ใส่ชั้นผนังกันเซลล์



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst เมื่อทำการเพิ่มชั้นผนังกันเซลล์ ในการทดลองครั้งที่ 2

- ในทำนองเดียวกันเซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิต MEA จากตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัม-รูทีเนียมบนผงคาร์บอน (Pt-Ru/C) ความต่างศักย์ที่วัดได้คงที่อยู่ในช่วง 0.796-0.802 โวลต์



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst

เมื่อทำการเพิ่มชั้นผนังกันเซลล์ ในการทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

โดยปกติประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะวัดออกมาในรูปของความหนาแน่นกระแส แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ทำให้ไม่สามารถทำการวัดได้ จึงได้ทำการวัดประสิทธิภาพของเซลล์ โดยเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ของเซลล์ที่ผลิตขึ้นเองเทียบกับเซลล์สำเร็จรูป ที่ภาวะการทำงานเดียวกัน โดยให้สมมติฐานว่าเซลล์สำเร็จรูปมีประสิทธิภาพ 100% และใช้ข้อมูลของเซลล์เชื้อเพลิงที่มีชั้นกั้นผนังเซลล์

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ผลผลิต (Output)}}{\text{สารตั้งต้น (Input)}}$$

- เซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิต MEA จากตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัมบนผงคาร์บอน (Pt/C) ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยที่วัดได้ 0.8 โวลต์

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพ} &= \frac{0.8}{0.855} \times 100 \\ &= 93.56\% \end{aligned}$$

- เซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิต MEA จากตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัม-รูทีเนียมบนผงคาร์บอน (Pt-Ru/C) ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยที่วัดได้ 0.799 โวลต์

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพ} &= \frac{0.799}{0.855} \times 100 \\ &= 93.45\% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) จากการทดลองศึกษาหาช่วงเวลาที่เซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำงานได้ปกติ พบว่าเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูปมีช่วงเวลาการทำงานยาวนานตลอดเวลาที่มีสารเชื้อเพลิงไหลผ่านตัวเซลล์ ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ค่อนข้างคงที่ในช่วง 0.853 – 0.858 โวลต์ ส่วนเซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิต MEA โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัมบนผงคาร์บอนมีช่วงเวลาในการทำงานเฉลี่ย 36.67 นาที ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ 0.790– 0.830 โวลต์ และเซลล์เชื้อเพลิงที่มีช่วงเวลาในการทำงานเฉลี่ยสั้นที่สุดคือ เซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิต MEA โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัม- รูทีเนียมบนผงคาร์บอน 29.3 นาที ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ 0.800 – 0.820 โวลต์ ค่าความต่างศักย์ของเซลล์ที่ผลิตขึ้นเองจะคงที่จนถึงเวลาดังกล่าวจากนั้นจะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไป มีความชื้นเกิดขึ้นภายในเซลล์มากเกินไปเกิดการ “Floods” ทำให้พื้นที่ในการทำปฏิกิริยาของเซลล์ลดลง ค่าความต่างศักย์จึงลดลงไปด้วย

2) การเพิ่มชั้นกันผนังเซลล์เข้าไป จะช่วยกำจัดน้ำที่เกิดที่ขั้วแคโทดออกจากเซลล์ ทำให้ไม่เกิดการ “Floods” เซลล์สามารถทำงานได้ยาวนาน โดยที่ความต่างศักย์มีค่าคงที่

3) การคำนวณหาประสิทธิภาพโดยใช้ค่าความต่างศักย์ของเซลล์ที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับเซลล์สำเร็จรูป พบว่าประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิต MEA จากตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัมบนผงคาร์บอน (P/C) เท่ากับ 93.56% และเซลล์เชื้อเพลิงที่ผลิต MEA จากตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัม-รูทีเนียมบนผงคาร์บอน (Pt-Ru/C) เท่ากับ 93.45%

5.2 ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานของเซลล์ให้ดีขึ้นได้โดย

1) ควรหาวิธีเพิ่มความดันให้แก่เซลล์เชื้อเพลิงทางขั้วแคโทดเพื่อลดความชื้นที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ เพื่อเพิ่มช่วงเวลาในการทำงานของเซลล์ให้ดีขึ้น

2) ใช้ออกซิเจนที่มีความบริสุทธิ์สูงแทนการใช้ออกซิเจนในอากาศเพื่อเพิ่มความต่างศักย์ภายในเซลล์

3) ควรใช้เครื่องมือวัดที่มีความประสิทธิภาพสูง เพราะค่าที่วัดค่อนข้างน้อยมากและมีความ sensitive ต่อสิ่งแวดล้อมสูง ถ้าเครื่องมือไม่ดีอาจมีผลต่อการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิโรจน์ ปิยวัชรพันธุ์. *เคมีเชิงฟิสิกส์*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 1998.
- [2] A. B. Stambouli. and E. Traversa. (2002). *Fuel cells, an alternative to standard sources of energy*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 6, pp. 297-306.
- [3] Hart, A.B. and Womack, G.J, *Fuel Cell: Theory and Their Application*, Chapman and Hall – Press Inc., London . 1996.
- [4] Rensselaer Polytechnic Institute (RPI) Home Page. 2550. *Proton Exchange Membrane Fuel Cells* [Online]. Available: http://www.rpi.edu/dept/eng/live/igert/images/fuel_cell_mfg.gif
- [5] FCTec. 2550. *Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC)*. [Online]. Available: http://www.fctec.com/fctec_types_pem.asp
- [6] พิสิษฐ วัฒนผดุงศักดิ์. 2542. *ไฟฟ้ากระแส*. กรุงเทพฯ : นิโอ ฟิสิกส์ เซ็นเตอร์.
- [7] *Solid Oxide Fuel cell*. [Online]. Available : http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/re/fuel_cell/SOFC.pdf
- [8] นาวเอกสบสุข ลีละบุตร. *The Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell* วารสาร โรงเรียนนายเรือ ฉบับที่ 4 กองวิชาฟิสิกส์และเคมี โรงเรียนนายเรือ: 2545. [online] Available : <http://library.rtna.ac.th>
- [9] ชีวรัตน์ จำปาวงศ์ และณัฐวีร์ สิริวัฒน์ . *การเตรียมอุปกรณ์ประกอบเซลล์และการทดสอบ เซลล์เชื้อเพลิง* . ปรียญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.
- [10] Sigma & Aldrich (TRF) . *เอกสารข้อมูลความปลอดภัยของสารเคมี*. [online] Available : <http://www.chemtrack.org/MSDS-Result.asp>. 2007
- [11] ทรงวุฒิ นิรัฐศิลป์, “การสร้างชั้นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน” ปรียญวิทยาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [12] จูติกกร วาสนาเพียงพงศ์ 2546 , “การจำลองเซลล์เชื้อเพลิงแบบเชื้อเพลิงเปลี่ยนโปรตอน” ปรียญวิทยาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [13] พรพิมล เพ็ชรวัฒนา และคณะ. “ระบบจัดการน้ำในสแต็กของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ก-1 การทดลองเพื่อหาช่วงที่เซลล์ทำงานได้ปกติ

ตารางที่ ก-1.1 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูปครั้งที่ 1

เวลา(นาทื)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา(นาทื)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา(นาทื)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.858	26	0.858	51	0.856
2	0.857	27	0.858	52	0.856
3	0.858	28	0.858	53	0.857
4	0.858	29	0.858	54	0.857
5	0.857	30	0.857	55	0.857
6	0.857	31	0.858	56	0.857
7	0.857	32	0.857	57	0.857
8	0.857	33	0.857	58	0.857
9	0.857	34	0.857	59	0.857
10	0.856	35	0.856	60	0.857
11	0.857	36	0.856	61	0.857
12	0.858	37	0.856	62	0.857
13	0.858	38	0.857	63	0.857
14	0.857	39	0.857	64	0.857
15	0.856	40	0.857	65	0.856
16	0.857	41	0.857	66	0.856
17	0.857	42	0.858	67	0.857
18	0.859	43	0.857	68	0.857
19	0.858	44	0.857	69	0.857
20	0.857	45	0.857	70	0.857
21	0.857	46	0.857	71	0.857
22	0.858	47	0.857	72	0.856
23	0.858	48	0.856	73	0.856
24	0.858	49	0.856	74	0.857
25	0.858	50	0.856	75	0.857

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1.2 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูปครั้งที่ 2

เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.854	26	0.856	51	0.855
2	0.854	27	0.855	52	0.855
3	0.855	28	0.856	53	0.855
4	0.855	29	0.855	54	0.855
5	0.855	30	0.854	55	0.855
6	0.855	31	0.855	56	0.855
7	0.855	32	0.855	57	0.855
8	0.855	33	0.855	58	0.855
9	0.854	34	0.856	59	0.856
10	0.854	35	0.855	60	0.855
11	0.854	36	0.855	61	0.855
12	0.853	37	0.855	62	0.855
13	0.853	38	0.855	63	0.855
14	0.854	39	0.856	64	0.854
15	0.854	40	0.854	65	0.855
16	0.854	41	0.855	66	0.854
17	0.853	42	0.855	67	0.854
18	0.852	43	0.856	68	0.854
19	0.853	44	0.855	69	0.855
20	0.853	45	0.854	70	0.854
21	0.855	46	0.854	71	0.854
22	0.855	47	0.855	72	0.854
23	0.855	48	0.855	73	0.853
24	0.855	49	0.855	74	0.854
25	0.855	50	0.855	75	0.854

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1.3 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงสำเร็จรูปครั้งที่ 3

เวลา (นาทีก)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาทีก)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาทีก)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.855	26	0.855	51	0.856
2	0.855	27	0.855	52	0.856
3	0.856	28	0.855	53	0.855
4	0.855	29	0.855	54	0.856
5	0.856	30	0.855	55	0.855
6	0.855	31	0.854	56	0.854
7	0.855	32	0.855	57	0.855
8	0.856	33	0.851	58	0.855
9	0.855	34	0.856	59	0.855
10	0.856	35	0.855	60	0.855
11	0.855	36	0.855	61	0.855
12	0.855	37	0.856	62	0.855
13	0.855	38	0.855	63	0.855
14	0.855	39	0.855	64	0.854
15	0.855	40	0.855	65	0.854
16	0.855	41	0.855	66	0.854
17	0.855	42	0.855	67	0.855
18	0.855	43	0.855	68	0.855
19	0.855	44	0.855	69	0.854
20	0.855	45	0.855	70	0.854
21	0.856	46	0.855	71	0.854
22	0.852	47	0.855	72	0.855
23	0.855	48	0.856	73	0.854
24	0.855	49	0.856	74	0.854
25	0.855	50	0.856	75	0.854

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1.4 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง P/C Catalyst ครั้งที่ 1

เวลา (นาทีก)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาทีก)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาทีก)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.836	26	0.833	51	0.813
2	0.836	27	0.832	52	0.813
3	0.837	28	0.833	53	0.812
4	0.835	29	0.832	54	0.812
5	0.836	30	0.831	55	0.812
6	0.836	31	0.831	56	0.813
7	0.834	32	0.831	57	0.811
8	0.836	33	0.831	58	0.811
9	0.836	34	0.830	59	0.810
10	0.836	35	0.829	60	0.808
11	0.833	36	0.829	61	0.808
12	0.832	37	0.829	62	0.806
13	0.835	38	0.819	63	0.808
14	0.836	39	0.818	64	0.806
15	0.834	40	0.817	65	0.807
16	0.838	41	0.816	66	0.808
17	0.878	42	0.151	67	0.805
18	0.836	43	0.816	68	0.807
19	0.836	44	0.815	69	0.807
20	0.833	45	0.815	70	0.806
21	0.832	46	0.813	71	0.808
22	0.832	47	0.814	72	0.808
23	0.832	48	0.815	73	0.807
24	0.832	49	0.815	74	0.806
25	0.833	50	0.814	75	0.807

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1.5 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst ครั้งที่ 2

เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.836	26	0.834	51	0.823
2	0.836	27	0.832	52	0.823
3	0.837	28	0.833	53	0.819
4	0.835	29	0.833	54	0.819
5	0.836	30	0.834	55	0.819
6	0.836	31	0.833	56	0.818
7	0.834	32	0.834	57	0.818
8	0.834	33	0.834	58	0.817
9	0.834	34	0.833	59	0.817
10	0.836	35	0.832	60	0.819
11	0.834	36	0.832	61	0.816
12	0.832	37	0.832	62	0.816
13	0.835	38	0.829	63	0.818
14	0.835	39	0.828	64	0.817
15	0.835	40	0.827	65	0.817
16	0.834	41	0.826	66	0.817
17	0.834	42	0.825	67	0.815
18	0.836	43	0.822	68	0.818
19	0.836	44	0.822	69	0.816
20	0.835	45	0.825	70	0.817
21	0.835	46	0.823	71	0.818
22	0.835	47	0.824	72	0.818
23	0.835	48	0.825	73	0.816
24	0.834	49	0.825	74	0.816
25	0.835	50	0.824	75	0.817

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1.6 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst ครั้งที่ 3

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.824	26	0.825	51	0.804
2	0.823	27	0.825	52	0.803
3	0.824	28	0.825	53	0.803
4	0.825	29	0.824	54	0.805
5	0.824	30	0.824	55	0.803
6	0.822	31	0.824	56	0.801
7	0.824	32	0.824	57	0.798
8	0.822	33	0.824	58	0.799
9	0.822	34	0.823	59	0.801
10	0.824	35	0.822	60	0.802
11	0.808	36	0.821	61	0.802
12	0.809	37	0.817	62	0.800
13	0.807	38	0.815	63	0.803
14	0.810	39	0.815	64	0.800
15	0.823	40	0.812	65	0.799
16	0.814	41	0.808	66	0.800
17	0.825	42	0.805	67	0.800
18	0.825	43	0.807	68	0.800
19	0.825	44	0.807	69	0.800
20	0.823	45	0.802	70	0.800
21	0.824	46	0.805	71	0.798
22	0.824	47	0.804	72	0.796
23	0.824	48	0.807	73	0.797
24	0.824	49	0.805	74	0.798
25	0.824	50	0.804	75	0.796

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1.7 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst ครั้งที่ 1

เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาที)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.821	26	0.821	51	0.808
2	0.821	27	0.821	52	0.806
3	0.822	28	0.821	53	0.808
4	0.821	29	0.821	54	0.807
5	0.821	30	0.820	55	0.808
6	0.822	31	0.818	56	0.806
7	0.822	32	0.815	57	0.807
8	0.822	33	0.813	58	0.808
9	0.822	34	0.813	59	0.809
10	0.821	35	0.810	60	0.808
11	0.821	36	0.810	61	0.807
12	0.821	37	0.808	62	0.805
13	0.822	38	0.806	63	0.805
14	0.822	39	0.808	64	0.804
15	0.822	40	0.808	65	0.806
16	0.821	41	0.806	66	0.806
17	0.821	42	0.807	67	0.805
18	0.821	43	0.808	68	0.804
19	0.821	44	0.805	69	0.805
20	0.821	45	0.807	70	0.805
21	0.821	46	0.808	71	0.805
22	0.821	47	0.807	72	0.804
23	0.821	48	0.807	73	0.804
24	0.821	49	0.807	74	0.806
25	0.821	50	0.807	75	0.805

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1.8 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst ครั้งที่ 2

เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.819	26	0.816	51	0.792
2	0.819	27	0.816	52	0.791
3	0.818	28	0.816	53	0.788
4	8.819	29	0.816	54	0.788
5	0.819	30	0.811	55	0.786
6	0.818	31	0.808	56	0.785
7	0.818	32	0.805	57	0.784
8	0.819	33	0.801	58	0.783
9	0.819	34	0.802	59	0.783
10	0.817	35	0.801	60	0.782
11	0.816	36	0.799	61	0.782
12	0.816	37	0.796	62	0.781
13	0.817	38	0.796	63	0.779
14	0.816	39	0.797	64	0.777
15	0.817	40	0.798	65	0.778
16	0.816	41	0.794	66	0.776
17	0.816	42	0.794	67	0.777
18	0.817	43	0.795	68	0.780
19	0.817	44	0.792	69	0.782
20	0.817	45	0.793	70	0.781
21	0.817	46	0.792	71	0.781
22	0.816	47	0.791	72	0.780
23	0.817	48	0.791	73	0.777
24	0.816	49	0.791	74	0.779
25	0.817	50	0.792	75	0.781

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1.9 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst ครั้งที่ 3

เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.822	26	0.822	51	0.799
2	0.822	27	0.822	52	0.795
3	0.822	28	0.822	53	0.796
4	0.822	29	0.821	54	0.794
5	0.822	30	0.817	55	0.794
6	0.822	31	0.816	56	0.793
7	0.922	32	0.816	57	0.793
8	0.822	33	0.814	58	0.792
9	0.822	34	0.815	59	0.792
10	0.822	35	0.815	60	0.791
11	0.822	36	0.816	61	0.791
12	0.822	37	0.814	62	0.735
13	0.822	38	0.812	63	0.793
14	0.821	39	0.811	64	0.793
15	0.822	40	0.810	65	0.792
16	0.822	41	0.808	66	0.792
17	0.821	42	0.807	67	0.790
18	0.822	43	0.804	68	0.791
19	0.822	44	0.802	69	0.792
20	0.822	45	0.800	70	0.792
21	0.822	46	0.801	71	0.793
22	0.822	47	0.800	72	0.793
23	0.822	48	0.797	73	0.789
24	0.822	49	0.801	74	0.789
25	0.822	50	0.798	75	0.791

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-2 การทดลองเพื่อหาช่วงที่เซลล์ทำงานได้ปกติ (เมื่อเพิ่มชั้นกระดาษคาร์บอน)

ตารางที่ ก-2.1 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง P/C Catalyst ครั้งที่ 1

เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.803	26	0.798	51	0.799
2	0.802	27	0.799	52	0.798
3	0.802	28	0.799	53	0.798
4	0.803	29	0.799	54	0.798
5	0.802	30	0.802	55	0.798
6	0.802	31	0.802	56	0.799
7	0.801	32	0.802	57	0.798
8	0.801	33	0.801	58	0.799
9	0.802	34	0.801	59	0.799
10	0.802	35	0.801	60	0.801
11	0.802	36	0.801	61	0.801
12	0.801	37	0.799	62	0.802
13	0.801	38	0.799	63	0.801
14	0.801	39	0.800	64	0.801
15	0.801	40	0.800	65	0.800
16	0.801	41	0.801	66	0.799
17	0.799	42	0.799	67	0.798
18	0.798	43	0.799	68	0.798
19	0.799	44	0.800	69	0.798
20	0.799	45	0.800	70	0.799
21	0.798	46	0.799	71	0.798
22	0.798	47	0.798	72	0.798
23	0.798	48	0.799	73	0.800
24	0.799	49	0.799	74	0.799
25	0.799	50	0.799	75	0.799

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2.2 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst ครั้งที่ 2

เวลา (นาทีก)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาทีก)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาทีก)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.801	26	0.800	51	0.823
2	0.801	27	0.799	52	8.000
3	0.800	28	0.798	53	0.799
4	0.801	29	0.799	54	0.800
5	0.801	30	0.799	55	0.800
6	0.801	31	0.798	56	0.799
7	0.800	32	0.800	57	0.798
8	0.799	33	0.799	58	0.798
9	0.799	34	0.800	59	0.798
10	0.799	35	0.799	60	0.798
11	0.798	36	0.798	61	0.798
12	0.799	37	0.798	62	0.799
13	0.798	38	0.799	63	0.798
14	0.798	39	0.798	64	0.799
15	0.798	40	0.798	65	0.799
16	0.799	41	0.799	66	0.799
17	0.800	42	0.799	67	0.798
18	0.800	43	0.800	68	0.798
19	0.799	44	0.799	69	0.798
20	0.798	45	0.799	70	0.798
21	0.798	46	0.798	71	0.799
22	0.801	47	0.798	72	0.799
23	0.800	48	0.798	73	0.800
24	0.800	49	0.800	74	0.798
25	0.800	50	0.799	75	0.798

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2.3 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt/C Catalyst ครั้งที่ 3

เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.805	26	0.799	51	0.799
2	0.804	27	0.799	52	0.799
3	0.803	28	0.798	53	0.799
4	0.804	29	0.798	54	0.799
5	0.804	30	0.798	55	0.800
6	0.803	31	0.798	56	0.800
7	0.804	32	0.799	57	0.799
8	0.803	33	0.798	58	0.799
9	0.803	34	0.798	59	0.799
10	0.802	35	0.797	60	0.800
11	0.802	36	0.798	61	0.800
12	0.803	37	0.798	62	0.800
13	0.803	38	0.798	63	0.799
14	0.802	39	0.798	64	0.799
15	0.802	40	0.800	65	0.799
16	0.800	41	0.799	66	0.800
17	0.799	42	0.799	67	0.800
18	0.799	43	0.800	68	0.800
19	0.799	44	0.800	69	0.800
20	0.799	45	0.803	70	0.799
21	0.800	46	0.802	71	0.798
22	0.799	47	0.804	72	0.970
23	0.799	48	0.802	73	0.797
24	0.798	49	0.801	74	0.799
25	0.798	50	0.801	75	0.799

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2.4 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst ครั้งที่ 1

เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.803	26	0.797	51	0.798
2	0.803	27	0.798	52	0.800
3	0.802	28	0.798	53	0.800
4	0.801	29	0.799	54	0.799
5	0.802	30	0.802	55	0.801
6	0.801	31	0.802	56	0.799
7	0.801	32	0.801	57	0.799
8	0.800	33	0.801	58	0.799
9	0.801	34	0.800	59	0.800
10	0.801	35	0.800	60	0.800
11	0.801	36	0.799	61	0.799
12	0.801	37	0.799	62	0.799
13	0.799	38	0.799	63	0.799
14	0.799	39	0.799	64	0.799
15	0.799	40	0.799	65	0.798
16	0.798	41	0.799	66	0.798
17	0.798	42	0.798	67	0.799
18	0.797	43	0.798	68	0.798
19	0.797	44	0.798	69	0.799
20	0.797	45	0.799	70	0.798
21	0.797	46	0.799	71	0.798
22	0.798	47	0.799	72	0.798
23	0.798	48	0.798	73	0.797
24	0.797	49	0.798	74	0.797
25	0.797	50	0.798	75	0.797

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2.5 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst ครั้งที่ 2

เวลา (นาทีก)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาทีก)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาทีก)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.801	26	0.796	51	0.798
2	0.801	27	0.797	52	0.800
3	0.800	28	0.797	53	0.800
4	0.800	29	0.796	54	0.800
5	0.800	30	0.796	55	0.799
6	0.799	31	0.796	56	0.799
7	0.798	32	0.797	57	0.798
8	0.798	33	0.797	58	0.797
9	0.798	34	0.798	59	0.797
10	0.799	35	0.800	60	0.802
11	0.799	36	0.800	61	0.801
12	0.799	37	0.799	62	0.801
13	0.799	38	0.798	63	0.800
14	0.798	39	0.799	64	0.800
15	0.799	40	0.799	65	0.800
16	0.798	41	0.799	66	0.799
17	0.797	42	0.798	67	0.798
18	0.798	43	0.798	68	0.798
19	0.798	44	0.798	69	0.798
20	0.798	45	0.799	70	0.799
21	0.798	46	0.799	71	0.798
22	0.798	47	0.799	72	0.797
23	0.797	48	0.798	73	0.797
24	0.796	49	0.798	74	0.798
25	0.796	50	0.798	75	0.798

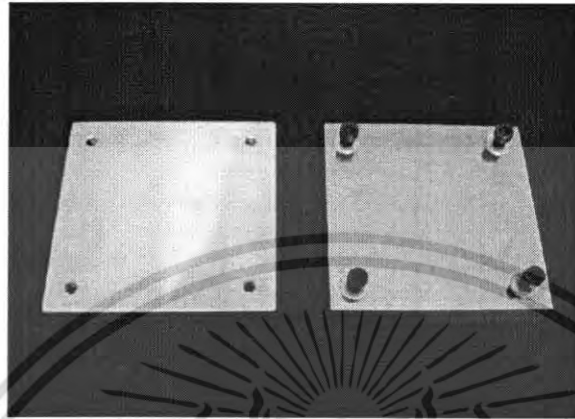
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2.6 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Pt-Ru/C Catalyst ครั้งที่ 3

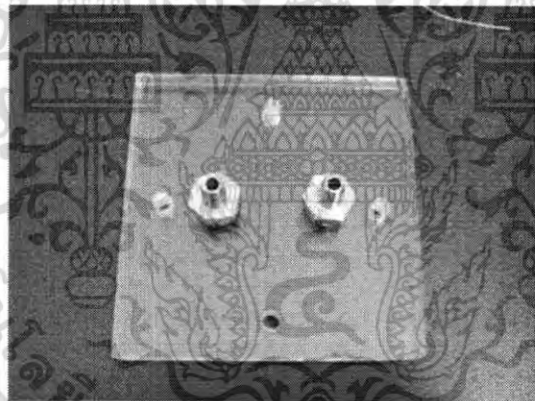
เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)	เวลา (นาท)	ความต่างศักย์ (V)
1	0.801	26	0.799	51	0.799
2	0.801	27	0.799	52	0.799
3	0.800	28	0.798	53	0.798
4	0.800	29	0.798	54	0.798
5	0.801	30	0.797	55	0.801
6	0.800	31	0.797	56	0.800
7	0.799	32	0.797	57	0.799
8	0.799	33	0.796	58	0.799
9	0.799	34	0.797	59	0.798
10	0.801	35	0.797	60	0.798
11	0.800	36	0.797	61	0.798
12	0.799	37	0.800	62	0.797
13	0.799	38	0.799	63	0.797
14	0.798	39	0.797	64	0.797
15	0.799	40	0.796	65	0.802
16	0.799	41	0.796	66	0.800
17	0.798	42	0.798	67	0.799
18	0.798	43	0.798	68	0.799
19	0.798	44	0.798	69	0.799
20	0.798	45	0.800	70	0.798
21	0.798	46	0.799	71	0.798
22	0.897	47	0.799	72	0.798
23	0.796	48	0.798	73	0.797
24	0.797	49	0.799	74	0.797
25	0.797	50	0.799	75	0.797

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

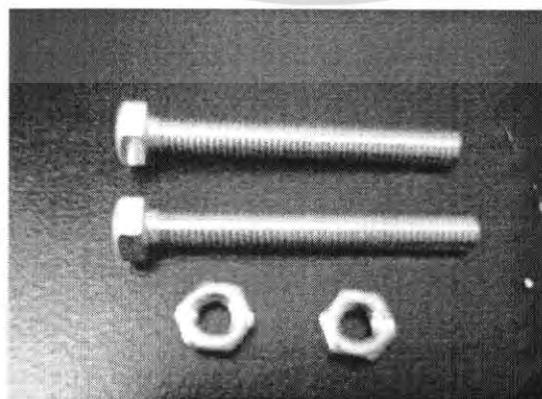
ภาคผนวก ข
ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



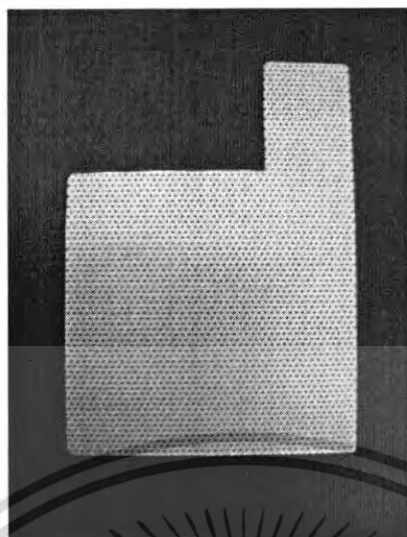
รูปที่ ข-1 แม่พิมพ์สำหรับอัดแผ่นเชื้อ



รูปที่ ข-2 แผ่นอะคริลิกสำหรับใช้เป็นแผ่นปิดพร้อมหัวต่อท่อก๊าซ



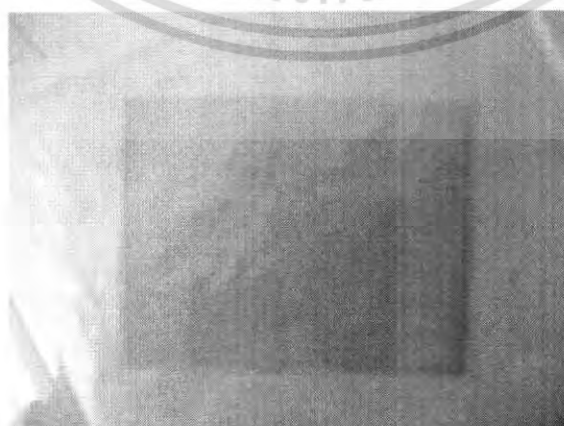
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ**รูปที่ ข-3** เนื้อดและสกรูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-4 แผ่นช่องทางเดินของก๊าซ

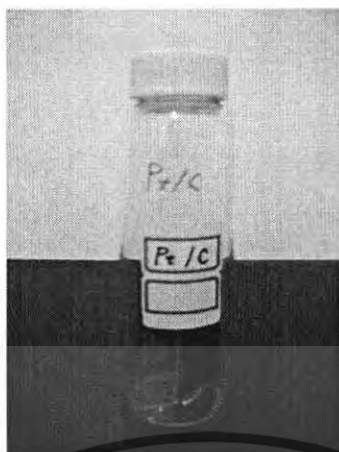


รูปที่ ข-5 แผ่นยางซิลิโคน



รูปที่ ข-6 แผ่นเยื่อพอลิเมอร์ (Nafion 117)

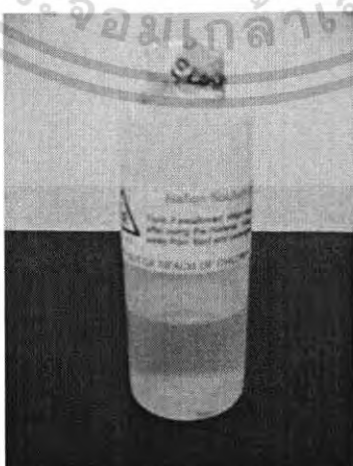
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



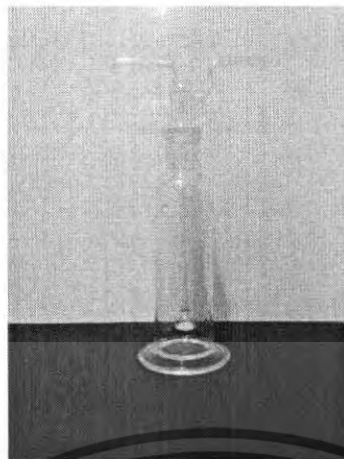
รูปที่ ข-7 ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัมบนผงคาร์บอน



รูปที่ ข-8 ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัม-รูธเนียมบนผงคาร์บอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ ข-9 สารละลาย Nafion 5% ใช้เฉพาะที่โครงการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



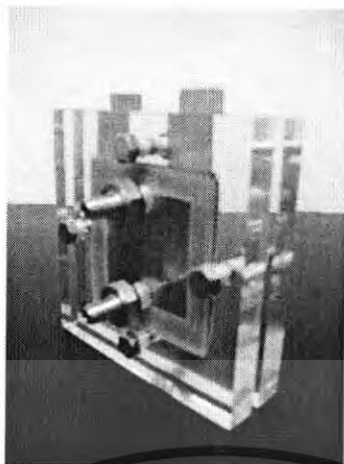
รูปที่ ข-10 ขวดคักก๊าซ



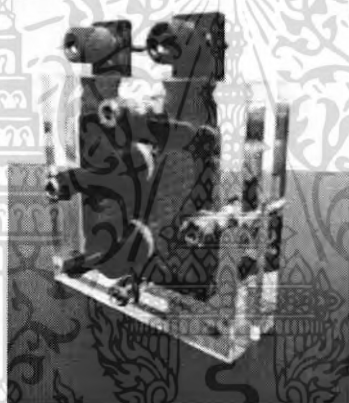
รูปที่ ข-11 กระดาศคาร์บอน



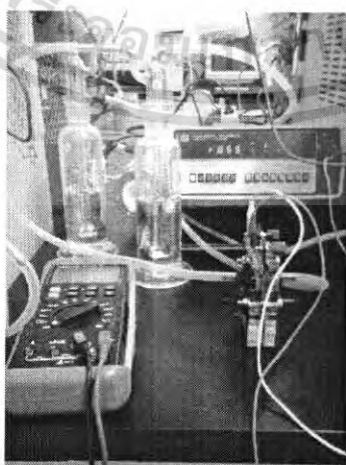
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ**รูปที่ ข-12 มัลติมิเตอร์** นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-13 เซลล์เซอเพลิงที่ผลิตได้



รูปที่ ข-14 เซลล์เซอเพลิงสำเร็จรูป



รูปที่ ข-15 การจัดอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

มัลติมิเตอร์

คุณสมบัติของมัลติมิเตอร์

มัลติมิเตอร์เป็นมิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการใช้งาน สำหรับการวัดค่าปริมาณไฟฟ้าต่างๆ เช่น แรงดันไฟตรง แรงดันไฟสลับ กระแสไฟตรง และความต้านทาน เป็นต้น นอกจากนั้นมัลติมิเตอร์หลายรุ่น หลายแบบ และหลายยี่ห้อ ถูกพัฒนามาให้ใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้น สามารถตรวจสอบ ตรวจวัดค่าต่างๆ ของอุปกรณ์ ตรวจวัดการต่อหรือขาดของวงจร รวมถึงตรวจวัดคุณภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าบางอย่างได้

ความสำคัญของการใช้งานมัลติมิเตอร์อยู่ที่วิธีการใช้งานที่ถูกต้อง การวัดค่า การอ่านค่า ปริมาณไฟฟ้าต่างๆ จึงจะได้ค่าที่แท้จริงออกมา แม้ว่ามัลติมิเตอร์แต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อ และแต่ละบริษัทจะมีส่วนประกอบ โครงสร้าง ลักษณะวงจร และรายละเอียดต่างๆ ของเครื่องแตกต่างกัน แต่การนำไปใช้งาน การวัดค่า การอ่านค่า มีหลักการที่เหมือนกัน ดังนั้นการศึกษาหลักการใช้งานของมัลติมิเตอร์เพียงรุ่นใดรุ่นหนึ่งให้เข้าใจถูกต้อง ก็สามารถนำหลักการไปใช้งานได้กับมัลติมิเตอร์รุ่นอื่นๆ ได้

หลักการใช้งานมัลติมิเตอร์

1. การวัดค่าความต้านทาน

- ปลดแหล่งจ่ายไฟฟ้าออกจากวงจร
- เลือกย่านวัด โอห์ม
- ปรับค่าความต้านทานศูนย์ โดยใช้ปลายทั้งสองของสายวัดแตะสัมผัสกัน
- นำสายวัดค่าความต้านทานของอุปกรณ์ที่ต้องการ

2. การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

- เลือกย่านวัดแรงดัน ไฟฟ้า และเลือกให้ถูกต้องว่าวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับ
- ย่านวัดที่เลือกไว้ต้องสูงกว่าค่าสูงสุดของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเสมอ
- นำสายวัดไปวัด โดยต่อขนานกับอุปกรณ์ที่ต้องการวัด
- นิยมใช้สายสีดำต่อกับจุด Com และสายสีแดงต่อกับขั้ว V เสมอ

3. การวัดค่ากระแสไฟฟ้า

- เลือกย่านวัดไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับ
- เลือกย่านวัดกระแส โดยเลือกย่านสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้นนั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นิยมใช้สายสีดำต่อกับจุด Com และสายสีแดงต่อกับขั้ว V เสมอ
- ต่อสายสีแดงเข้ากับวงจรไฟฟ้า โดยต่อเข้ากับจุดที่กระแสไหลเข้ามิเตอร์ และให้กระแสไหลออกที่สายสีดำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยในการใช้สารเคมี^[10]

ง - 1 ก๊าซไฮโดรเจน

หมวดที่ 1 – ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีและบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

ชื่อผลิตภัณฑ์ HYDROGEN, PRESSURE TIN WITH 1 L

หมายเลขผลิตภัณฑ์ 00473

บริษัท Sigma-Aldrich Pte Ltd #08-01 Citilink Warehouse Singapore 118529

เบอร์โทรศัพท์ฝ่ายวิชาการ 65 271 1089

โทรสาร: 65 271 1571

หมวดที่ 2 - องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

ชื่อผลิตภัณฑ์ HYDROGEN

CAS #: 1333-74-0 EC no : 215-605-7 Annex I เลขดัชนี : 001-001-00-9

สูตร : H₂ น้ำหนักโมเลกุล : 2.02 AMU

ชื่อห้อง Hydrogen (ACGIH:OSHA)

หมวดที่ 3 - ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

ข้อชี้บ่งสำหรับอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

ไวไฟอย่างยิ่ง

หมวดที่ 4 - มาตรการปฐมพยาบาล

เมื่อสูดดมสาร

ถ้าสูดดมเข้าไป ให้ย้ายผู้ป่วยไปที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าไม่หายใจ ให้การช่วยหายใจ ถ้าหายใจลำบาก ให้ออกซิเจน

เมื่อสัมผัสสาร

ในกรณีที่สัมผัสกับสาร ให้ล้างผิวหนังทันทีด้วยสบู่และน้ำปริมาณมาก

เมื่อสารเข้าตา

ควรขจัดสิ่งปนเปื้อนจากดวงตาทันทีโดยล้างตาด้วยน้ำปริมาณมากเป็นเวลานาน ต้องแน่ใจว่าได้ล้างตาอย่างเพียงพอ โดยใช้นิ้วมือแยกเปลือกตาออกจากกันระหว่างล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกลิ่นกิน

เมื่อกลิ่นกินให้ใช้น้ำบ้วนปากในกรณีที่ยังมีสติอยู่ แล้วไปพบแพทย์

หมวดที่ 5 - มาตรการการผจญเพลิง

อุปกรณ์ผจญเพลิง

เหมาะสม : ใช้ตะอองน้ำหรือหัวฉีดตะอองเพื่อทำให้ถังแก๊สเย็น เคลื่อนย้ายถังแก๊สให้ห่างจากไฟฟ้าไม่มีความเสี่ยง

ความเสี่ยงเฉพาะ

อันตรายเฉพาะ : ไวไฟอย่างยิง ไอระเหยอาจเคลื่อนที่ไปในระยะทางที่ห่างไกลออกไปจากแหล่งกำเนิดประกายไฟและย้อนกลับมาติดไฟ. ปล่องควันพิษออกมาภายใต้สภาวะที่เกิดไฟ

อันตรายจากการระเบิด : อาจเกิดของผสมที่ระเบิดได้กับอากาศ ไอระเหยอาจเคลื่อนที่เป็นระยะทางไกลถึงแหล่งที่เกิดไฟและเปลวไฟ ภาชนะอาจระเบิดเมื่อโดนไฟ

อุปกรณ์ป้องกันพิเศษสำหรับผู้ผจญเพลิง

สวมเครื่องช่วยการหายใจแบบครบชุดและเสื้อผ้าที่ใช้ป้องกัน เพื่อป้องกันการสัมผัสกับผิวหนังและดวงตา

วิธีเฉพาะสำหรับผู้ผจญเพลิง

ห้ามดับไฟที่เกิดจากแก๊สที่กำลังลุกไหม้ ถ้าไม่สามารถปิดแก๊สได้ทันที ใช้ตะอองน้ำหรือหัวฉีดตะอองเพื่อทำให้ถังแก๊สเย็น เคลื่อนย้ายถังแก๊สให้ห่างจากไฟฟ้าไม่มีความเสี่ยง

หมวดที่ 6 - มาตรการเมื่อมีอุบัติเหตุสารหกรั่วไหล

ข้อควรปฏิบัติสำหรับบุคคลในกรณีที่หก หรือรั่วไหล

อพยพคนออกจากบริเวณและให้อยู่เหนือลม ปิดแหล่งกำเนิดประกายไฟทุกแห่ง ปิดรอยรั่วไหลถ้าทำได้โดยไม่เสี่ยง

วิธีป้องกันภัยของบุคคล

สวมอุปกรณ์ช่วยหายใจแบบครบชุด รองเท้าบูท และถุงมือยางแบบหนา

วิธีการทำความสะอาดหลังการปนเปื้อน หรือรั่วไหล

ระบายอากาศในบริเวณนั้น และล้างตำแหน่งที่สารหกรั่วไหลหลังจากเก็บสารออกหมดแล้ว

หมวดที่ 7 – ข้อปฏิบัติการใช้สารและการเก็บรักษา

ข้อปฏิบัติการใช้สาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำแนะนำสำหรับการปฏิบัติที่ปลอดภัย : อย่าหายใจเอาแก๊สเข้าไป ระวังอย่าให้เข้าตา โคนผิวหนัง หรือเสื้อผ้า หลีกเลี่ยงการได้รับสารเป็นเวลานานหรือซ้ำหลายครั้ง

การเก็บรักษา

สถานะสำหรับการเก็บ : ปิดให้สนิท เก็บให้ห่างจากความร้อน ประกายไฟ และเปลวไฟ ใช้น้ำกับเครื่องมือที่กำหนดไว้ให้ใช้กับความดันจากถังแก๊สและทำจากวัสดุที่เข้ากันได้ ปิดควาส้วเมื่อไม่ได้ใช้ และเมื่อใช้หมด. ให้แน่ใจว่ายึดท่ออย่างปลอดภัยขณะที่ใช้หรือเก็บ อุณหภูมิของท่อไม่ควรเกิน 125 องศาฟาเรนไฮต์ (52 องศาเซลเซียส)

ไม่เหมาะสม: เก็บให้ห่างจากความร้อนและแสงแดด

สิ่งที่ต้องมีเป็นพิเศษ:

สารนี้บรรจุอยู่ภายใต้ความดัน

หมวดที่ 8 - การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล

การควบคุมเชิงวิศวกรรม

คำเตือน : การดูดกลับเข้าไปในท่ออาจทำให้เกิดการแตกได้ ใช้เครื่องป้องกันการไหลกลับในท่อ สุลักษณะทั่วไป

ทำความสะอาดเสื้อผ้าที่เป็นก่อนนำมาใช้ใหม่. ล้างให้สะอาดหลังการสัมผัส

เครื่องป้องกันส่วนบุคคล

การป้องกันทางเดินหายใจ : เครื่องช่วยหายใจที่ผ่านการรับรองโดยรัฐในบริเวณที่ไม่มีการระบาย อากาศและ/หรือการได้รับเหนือ TLV หรือ PEL

การป้องกันมือ : ถุงมือชนิดที่ทนสารเคมี.

การป้องกันดวงตา : แว่นตาแบบก๊อกเกิลส์ที่ป้องกันสารเคมี.

หมวดที่ 9 - สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะภายนอก

สถานะทางกายภาพ : แก๊สอัดความดัน สี: ไม่มีสี

<u>สมบัติ</u>	<u>ค่า</u>	<u>ณ อุณหภูมิหรือความดัน</u>
พีเอช	N/A	
จุดเดือด/ช่วงการเดือด	-252.8 °C	760 mmHg
จุดหลอมเหลว/ช่วงการหลอมเหลว	-259.2 °C	

จุดวาบไฟ

N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไวไฟ	N/A
อุณหภูมิจุดติดไฟด้วยตนเอง	571 °C
สมบัติออกซิไดซ์	N/A
สมบัติการระเบิด	N/A
ขีดจำกัดการระเบิด	ต่ำกว่า: 4 % สูงกว่า: 74.2 %
ความดันไอ	N/A
ถพ./ความหนาแน่น	N/A
ความหนืด	N/A
ความหนาแน่นของไอ	0.07 g/l 21 °C
ความเข้มข้นไอระเหยเมื่ออิ่มตัว	N/A
อัตราการระเหย	N/A
ความหนาแน่นในสภาพเป็นกลุ่มก้อน (bulk density)	N/A
อุณหภูมิสลายตัว	N/A
สัดส่วนของน้ำ	N/A
แรงดึงผิว	N/A
การนำไฟฟ้า	N/A
ข้อมูลเบ็ดเตล็ด	N/A
การละลาย	N/A

หมวดที่ 10 – ความเสถียรและความว่องไวต่อปฏิกิริยา

ความเสถียร

สารที่ควรหลีกเลี่ยง : ตัวออกซิไดซ์

ผลิตภัณฑ์อันตรายที่เกิดจากการสลายตัว

ผลิตภัณฑ์อันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : ไม่มี

หมวดที่ 11 - ข้อมูลทางพิษวิทยา

หมายเลข RTECS : MW8900000

ข้อชี้แจงและอาการของกรที่ได้รับสาร

เท่าที่ทราบยังไม่มีการตรวจสอบสมบัติทางเคมี ทางร่างกาย และทางพิษวิทยาอย่างละเอียด

ถั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิถีทางที่ได้รับสาร

การสัมผัสทางผิวหนัง: สามารถก่อให้เกิดอาการเนื้อเยื่อตายเนื่องจากความเย็นกัดขั้นร้ายแรง อาจทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง

การดูดซึมทางผิวหนัง: อาจเป็นอันตรายหากถูกดูดซึมผ่านผิวหนัง

การสัมผัสทางตา: อาจทำให้เกิดการระคายเคืองดวงตา

การสูดดม: อาจเป็นอันตรายหากสูดดม สารนี้อาจจะทำให้เกิดการระคายเคืองที่แผ่นเยื่อเมือก และบริเวณทางเดินหายใจส่วนบน สามารถทำให้หายใจไม่ออกได้อย่างเฉียบพลัน

การกลืนกิน: อาจเป็นอันตรายหากกลืนกิน

สถานะที่ร้ายแรงขึ้นจากการได้รับสาร

ไฮโดรเจนที่ความเข้มข้นสูงจะทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดภาวะขาดอากาศหายใจ (Asphyxia) โดยการแทนที่อากาศ อาการต่างๆของการได้รับสารอาจประกอบด้วย อาการปวดศีรษะ ความล้า อัตรการหายใจเพิ่มขึ้น เวียนศีรษะ กล้ามเนื้อไม่ประสานกัน คลื่นเหียน อาเจียน และหมดสติ

หมวดที่ 12 – ข้อมูลเชิงนิเวศน์

ไม่มีข้อมูล

หมวดที่ 13 – มาตรการการกำจัด

การกำจัดสาร

ในการกำจัดสารติดต่อผู้ให้บริการกำจัดขยะซึ่งมีใบประกอบอาชีพ ให้ตรวจสอบข้อบังคับด้านสิ่งแวดล้อมของรัฐบาลกลาง รัฐ และท้องถิ่น

การทิ้งบรรจุภัณฑ์ที่ปนเปื้อน

ข้อควรระวัง: ท่อที่ไม่รับคืน ห้ามนำกลับมาใช้ใหม่ ถึงแก๊สเปล่าจะมีสิ่งตกค้างซึ่งเป็นอันตราย ปฏิบัติตามวิธีกำจัดที่เหมาะสม

หมวดที่ 14 - ข้อมูลการขนส่ง

RID/ADR

UN#: 1049 **ประเภท:** 2 **ชื่อที่ใช้ในการขนส่ง:** ไฮโดรเจน, อัดความดัน

หมายเลข IMDG

UN#: 1049 **ประเภท:** 2.1 **ชื่อที่ใช้ในการขนส่ง:** ไฮโดรเจน, อัดความดัน

สถานะต่อทะเล: ไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มลภาวะต่อทะเลชั้นรุนแรง : ไม่

IATA

UN#: 1049 ประเภท: 2.1 ชื่อที่ใช้ในการขนส่ง: ไฮโดรเจน, อีความดัน

การบรรจุแบบป้องกันอันตรายจากการสูดดมกลุ่มที่ 1 : ไม่

หมวดที่ 15 – ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

การจำแนกประเภท และการติดฉลากตามคำสั่งของ EU

เลขดัชนีจาก ANNEX I : 001-001-00-9

สิ่งบ่งบอกความเป็นอันตราย : F+ ไวไฟอย่างยิ่ง

R : (วลีเกี่ยวกับความปลอดภัย) 12 ไวไฟอย่างยิ่ง

S : (วลีเกี่ยวกับความปลอดภัย) 9 16 33

เก็บภาชนะไว้ในที่ที่อากาศระบายได้ดี เก็บให้ห่างจากแหล่งที่จะทำให้เกิดการจุดติดไฟ ห้ามสูบบุหรี่ ใช้มาตรการการป้องกันไฟฟ้าสถิต

ข้อมูลเฉพาะของประเทศ

เยอรมนี WGK : ไม่อันตรายกับน้ำ

สวีเดน SWH : ประเภทความเป็นพิษของสวีเดน SWH : FREI

หมวดที่ 16 – ข้อมูลอื่นๆ

การรับประกัน

เป็นที่เชื่อว่าข้อความข้างต้นมีความถูกต้อง แต่ไม่ยืนยันว่าเป็นข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์ และพึงใช้เพื่อเป็นแนวทางเท่านั้น ข้อความในเอกสารนี้มาจากความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน และใช้ได้กับผลิตภัณฑ์โดยประกอบกับการระมัดระวังความปลอดภัยที่เหมาะสม ไม่ได้แทนการรับประกันคุณสมบัติใด ๆ ของผลิตภัณฑ์ บริษัท Sigma-Aldrich จะไม่รับผิดชอบค่าใช้จ่ายใด ๆ ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานหรือการสัมผัสสารข้างต้น ให้ดูหน้าหลังของใบส่งของหรือแผ่นการบรรจุสารสำหรับข้อความเพิ่มเติมและข้อกำหนดการขาย สงวนลิขสิทธิ์ 2004 บริษัท Sigma-Aldrich อนุญาตให้สำเนาไม่จำกัดสำหรับการใช้ภายในเท่านั้น

ข้อจำกัดความรับผิดชอบ

สำหรับการวิจัยและพัฒนาเท่านั้น ไม่ให้ใช้เป็นยา ในบ้านเรือน หรือเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้