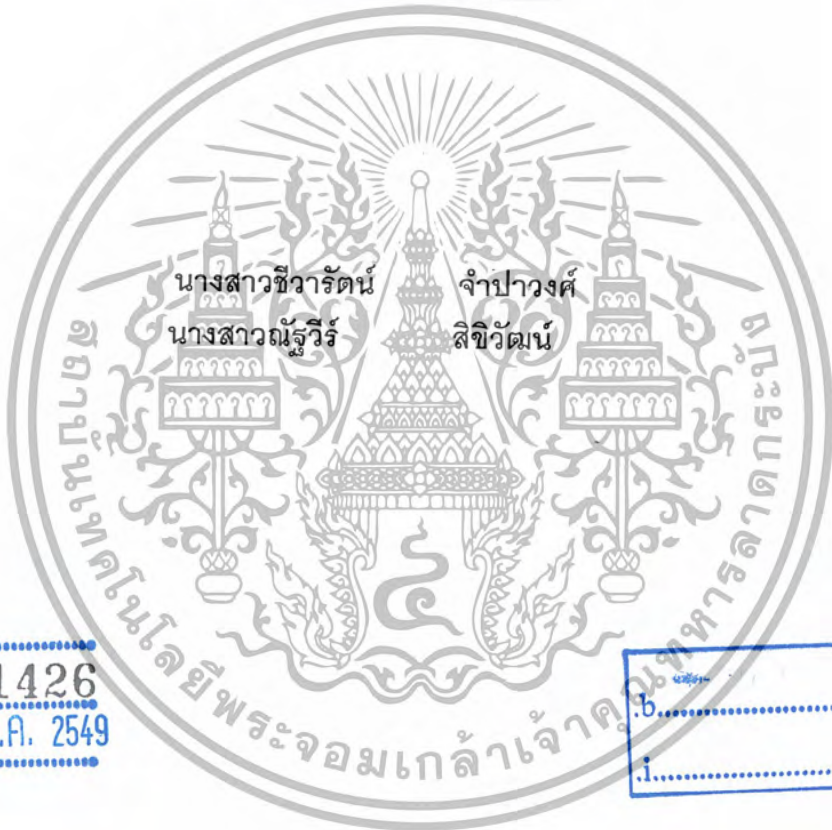


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมอุปกรณ์ประกอบเซลล์และการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61426
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549

บ.....
.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF CELL ASSEMBLY AND FUEL CELL
CHARACTERIZATION



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

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การเตรียมอุปกรณ์ประกอบเซลล์และการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง
โดย นางสาวชีวารัตน์ จำปาวงศ์
นางสาวณัฐวีร์ สีขิวัฒน์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์)

กรรมการ
(อาจารย์บุญชัย โชติวิริยวาณิช)

กรรมการ
(อาจารย์ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง การเตรียมอุปกรณ์ประกอบเซลล์และการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง
โดย นางสาวชีวารัตน์ จำปาวงศ์
นางสาวณัฐวีร์ สิริวัฒน์
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์
ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการทดลองประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนแบบเซลล์เดี่ยวและทดสอบผลของอัตราการป้อนไฮโดรเจนต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง โดยการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการป้อนไฮโดรเจนแก่เซลล์เชื้อเพลิง ผลการทดลองพบว่าอัตราการป้อนไฮโดรเจนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงมีแนวโน้มการใช้ก๊าซไฮโดรเจนคงที่ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดไฮโดรเจนจึงเลือกใช้อัตราการป้อนไฮโดรเจนที่ 0.05-0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที เซลล์เชื้อเพลิงจะทำงานไปได้เป็นระยะเวลาหนึ่งจากนั้นจะเกิดน้ำสะสมในเซลล์ซึ่งส่งผลให้ความต่างศักย์ลดลง ระยะเวลาที่เซลล์เชื้อเพลิงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยมีประสิทธิภาพคงที่คือประมาณ 71.43 นาทีก่อนที่ความต่างศักย์จะลดลง ขนาดความต้านทานภายนอกที่ต่อเข้ากับเซลล์มีผลต่อกำลังไฟฟ้าคือเมื่อเพิ่มความต้านทานจนถึงค่าที่เหมาะสม จะได้กำลังไฟฟ้าของเซลล์สูงสุด ซึ่งเมื่อเพิ่มความต้านทานสูงกว่าจุดนี้แล้วกำลังไฟฟ้าจะลดลง ผลการทดลองพบว่าเซลล์เชื้อเพลิงจะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อวงจรภายนอกมีความต้านทานขนาด 150 โอห์ม โดยให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดคือ 2.72 มิลลิวัตต์

Report Title Preparation of cell assembly and fuel cell characterization
By Miss Chiwarut Chumpawong
 Miss Nuttawee Sikiwat
Advisor Assoc.Prof.Dr.Paisal Nakpipat
Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
 Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This report is the studies on making a single polymer electrolyte membrane fuel cell assembly and testing the effect of hydrogen gas flow rate on the efficiency of fuel cell by adjustment of hydrogen gas flow rate. The results show that hydrogen gas flow rate is not affected to the efficiency of fuel cell due to its ability in hydrogen consumption is constant. So, in order to save the hydrogen gas, the flow rate of 0.05-0.1 cubic centimeters per minute is regulated. The fuel cell can continuously operated at constant efficiency for about 71.43 minutes after that the voltage is begin to decrease due to the water accumulated in the cell. The external resistance that is connected to a cell is affected directly on the power of cell, when resistance is increased to the optimum value, the cell's power will increase until it is reached the maximum power. If the resistance is increased to other higher values, the power will be decreased. From the experiment, the maximum cell's power of 2.72 milliwatts is obtained when 150 ohms is used.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ เพราะได้รับความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อเงินทุนในการทำโครงการนี้

คณาจารย์ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา พร้อมข้อชี้แนะในการจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ ที่อำนวยความสะดวกด้านการทำอุปกรณ์ประกอบเซลล์ ให้ออกมาตรงตามแบบที่ผู้จัดทำออกแบบไว้

คุณคริสฐา อิมเอิบ และคุณสมยศ สาระภิรมย์ ที่อำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์ถ่ายภาพที่ใช้ประกอบในปริญญานิพนธ์เล่มนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ไพศาล นาคพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำโครงการ ทั้งนี้หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออภัยและขออภัยมา ณ ที่นี้

นางสาวชีวารัตน์ จำปาวงค์

นางสาวณัฐวิทย์ สีขิวัฒน์

(1 เมษายน 2548)

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ฌ

บทที่

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	2

บทที่ 2 ทฤษฎี.....	3
2.1 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน.....	3
2.2 ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน.....	3
2.3 การประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน.....	5
2.4 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน.....	8
2.5 ทฤษฎีทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง.....	8

บทที่ 3 การทดลอง.....	11
3.1 อุปกรณ์การทดลองและสารเคมี.....	11
3.2 การทดลอง.....	11

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	16
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกัฏรการป้อนไฮโดรเจนที่ให้เซลล์เชื้อเพลิงและประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง.....	16
4.2 ช่วงเวลาที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานได้ปกติ.....	18
4.3 กำลังของเซลล์เชื้อเพลิง.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	22
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	22
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	22
เอกสารอ้างอิง.....	23
ภาคผนวก.....	24
ภาคผนวก ก. ผลการทดลอง.....	24
ภาคผนวก ข. ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	41
ภาคผนวก ค. วิธีการใช้มัลติมิเตอร์และข้อควรระวัง.....	43
ภาคผนวก ง. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยในการใช้สารเคมี.....	44



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.3.1 การเตรียมแผ่นอะคริลิกใส.....	5
รูปที่ 2.3.2 การเตรียมแผ่นแอโนดและแคโทด.....	5
รูปที่ 2.3.3 แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนชนิดเตรียมสำเร็จ.....	6
รูปที่ 2.3.4 นีโอดสแตนเลส.....	6
รูปที่ 2.3.5 หัวต่อท่อก๊าซสแตนเลส.....	6
รูปที่ 2.3.6 การประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเซลล์เดี่ยว.....	7
รูปที่ 2.3.7 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนประกอบเสร็จ.....	7
รูปที่ 2.4 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน.....	8
รูปที่ 2.5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและความต้านทานตาม กฎของโอห์ม.....	10
รูปที่ 3.2.1.1 การต่อวงจรในการทดลองที่ 1.....	12
รูปที่ 3.2.1.2 แสดงการวัดความต่างศักย์ของเซลล์.....	13
รูปที่ 3.2.1.3 การต่อวงจรในการทดลองที่ 2.....	13
รูปที่ 3.2.1.4 แสดงการวัดกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง.....	14
รูปที่ 4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของไฮโดรเจนและความต่างศักย์ จากการทดลองครั้งที่ 3.....	16
รูปที่ 4.1.2 อัตราการไหลเข้า – ออกของไฮโดรเจนจากการทดลองครั้งที่ 4.....	17
รูปที่ 4.1.3 อัตราเฉลี่ยการใช้ก๊าซไฮโดรเจนของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองครั้งที่ 1-6.....	17
รูปที่ 4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของไฮโดรเจนและกระแสไฟฟ้า จากการทดลองที่ 2.....	18
รูปที่ 4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง จากการทดลองที่ 3.....	19
รูปที่ 4.2.2 เวลาที่ความต่างศักย์ลดลงจากการทดลองครั้งที่ 1- 7.....	19
รูปที่ 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์เฉลี่ยและความต้านทาน.....	20
รูปที่ 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยและความต้านทาน.....	20
รูปที่ 4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและความต้านทาน.....	21
รูปที่ ข-1 แผ่นอะคริลิกใสที่ใช้เป็นแผ่นปิดของเซลล์เชื้อเพลิง.....	41
รูปที่ ข-2 นีโอด-สกรู.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ ข-3	แอโนดและแคโทด.....	41
รูปที่ ข-4	หัวต่อท่อก๊าซ.....	42
รูปที่ ข-5	เซลล์เชื้อเพลิงที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์.....	42
รูปที่ ข-6	การจัดอุปกรณ์การทดลอง.....	42



สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ ก-1.1 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 1.....	24
ตารางที่ ก-1.2 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 2.....	25
ตารางที่ ก-1.3 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 3.....	25
ตารางที่ ก-1.4 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 4.....	26
ตารางที่ ก-1.5 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 5.....	26
ตารางที่ ก-1.6 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 6.....	27
ตารางที่ ก-1.7 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและกระแสไฟฟ้าจากการทดลองครั้งที่ 1-2.....	28
ตารางที่ ก-1.8 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและกระแสไฟฟ้าจากการทดลองครั้งที่ 3-4.....	29
ตารางที่ ก-1.9 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและกระแสไฟฟ้าจากการทดลองครั้งที่ 5-6.....	29
ตารางที่ ก-2.1 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 1....	30
ตารางที่ ก-2.2 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 2....	31
ตารางที่ ก-2.3 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 3....	32
ตารางที่ ก-2.4 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 4....	33
ตารางที่ ก-2.5 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 5....	34
ตารางที่ ก-2.6 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 6....	35
ตารางที่ ก-2.7 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 7....	36
ตารางที่ ก-3.1 ค่าความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลังจากการทดลองครั้งที่ 1.....	37
ตารางที่ ก-3.2 ค่าความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลังจากการทดลองครั้งที่ 2.....	38
ตารางที่ ก-3.3 ค่าความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลังจากการทดลองครั้งที่ 3.....	38
ตารางที่ ก-3.4 ค่าความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลังจากการทดลองครั้งที่ 4.....	39
ตารางที่ ก-3.5 ค่าความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลังจากการทดลองครั้งที่ 5.....	39
ตารางที่ ก-3.6 ค่าความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลังจากการทดลองครั้งที่ 6.....	40
ตารางที่ ก-3.7 ค่าเฉลี่ยความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลังจากการทดลองครั้งที่ 1-6.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

R = ความต้านทาน (โอห์ม)

P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานที่น่าสนใจและเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบันชนิดหนึ่งคือเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน(Proton Exchange Membrane Fuel Cells) เซลล์เชื้อเพลิงประเภทนี้มีคุณสมบัติที่น่าสนใจคือ มีความจุพลังงานสูง ความร้อนในการทำงานไม่สูงมาก สามารถใช้งานได้สะดวก มีอายุการใช้งานได้นานและไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะมีข้อดีหลายประการแต่การใช้งานเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ยังมีการใช้งานไม่กว้างขวาง เนื่องจากมีราคาสูงและยังไม่ทราบแน่ชัดว่าหากเครื่องมีการทำงานต่อเนื่องกันตลอดเวลากะแสไฟฟ้าหรือความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนจะสม่ำเสมอหรือไม่ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพระยะยาวในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง จึงเกิดแนวคิดในการศึกษาความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงเมื่อให้ไฮโดรเจนแก่เซลล์เชื้อเพลิงด้วยอัตราการไหลที่แตกต่างกัน ศึกษาความต่างศักย์เมื่อมีการทำงานของเครื่องอย่างต่อเนื่อง และศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 สร้างเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน
- 1.2.2 ศึกษาอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจน ที่มีต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง
- 1.2.3 ศึกษาระยะเวลาในการทำงานของเครื่องที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด
- 1.2.4 ศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติและการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน
- 1.3.2 ศึกษาการประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนแบบเซลล์เดี่ยวโดยใช้แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนสำเร็จรูป
- 1.3.3 ประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนแบบเซลล์เดี่ยวโดยใช้แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนสำเร็จรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 ทดลองเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนที่ประกอบขึ้น และทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

1.3.5 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน

1.4.2 เลือกเซลล์เชื้อเพลิงแบบเซลล์เดียวเพื่อใช้ในการทดลองและจัดหาอุปกรณ์เพื่อประกอบเซลล์เชื้อเพลิง

1.4.2.1 เลือกชนิดและขนาดของแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนโดยเปรียบเทียบข้อมูลทางด้านราคา

1.4.2.2 ดำเนินการสั่งซื้อแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนพร้อมด้วยชุดอิเล็กทรอนิกส์

1.4.2.3 ออกแบบส่วนประกอบอื่นๆ ของเซลล์เชื้อเพลิงและสร้างชุดอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบไว้

1.4.2.4 ประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนจากแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนสำเร็จรูป

1.4.3 ทดลองเพื่อหาผลของอัตราการป้อนไฮโดรเจนและประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

1.4.4 รวบรวมและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.5 สรุปผลการทดลองและทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนและสามารถประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนได้

1.5.2 เป็นแนวทางในการทำวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีด้านเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (PEMFC)

เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนจะเปลี่ยนพลังงานเคมีไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยใช้สารตั้งต้น 2 ชนิดคือ ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจน [1] มีแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนเป็นอิเล็กโตรไลต์ ไม่ก่อเกิดปัญหาเรื่องการกัดกร่อนจากของเหลวอิเล็กโตรไลต์เนื่องจากภายในเซลล์มีของเหลวชนิดเดียวคือ น้ำ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 120 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีอุณหภูมิในการใช้งานค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น จึงใช้เวลาในการเดินเครื่องน้อยกว่าเซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่น ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่มีมลพิษ ไม่เกิดเสียงดังรบกวน จึงสามารถติดตั้งไว้ในเมืองหรือแหล่งชุมชนได้ ปัจจุบันนำมาใช้กับรถยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ ยังสามารถพัฒนาแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนขึ้นเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้จากเชื้อเพลิงเมทานอล โดยไม่ต้องเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนก่อนได้อีกด้วย [2]

2.2 ส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน

2.2.1 แผ่นปิด (End plate)

ทำจากวัสดุพลาสติกที่เป็นแผ่นอะคริลิกใส เจาะรูสำหรับใส่ลวดและนอต มีช่องทางสำหรับให้ก๊าซไหลผ่านเข้าสู่เซลล์ได้ ใช้ในการประกบส่วนประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงเข้าด้วยกัน

2.2.2 แผ่นช่องทางสำหรับให้ก๊าซไหลผ่าน (Flow field plate)

ทำจากวัสดุที่เป็นโลหะสแตนเลสมีรูพรุน ใช้เป็นช่องทางในการกระจายก๊าซให้เข้าสู่เซลล์

2.2.3 ขั้วไฟฟ้า (Electrode) [3]

ทำจากวัสดุที่ก๊าซซึมผ่านได้ บรรจุหรือเคลือบไว้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ขั้วแอโนด (Anode) และขั้วแคโทด (Cathode)

ขั้วแอโนด เป็นขั้วลบที่สัมผัสกับก๊าซไฮโดรเจน มีหน้าที่ส่งอิเล็กตรอนออกจากขั้ว โดยอิเล็กตรอนได้จากปฏิกิริยา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วแอโนดนี้จะแนบสัมผัสอยู่กับแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน เมื่อไฮโดรเจนแตกตัวและคายประจุอิเล็กตรอนออกไปแล้ว ก็จะมีความเป็นโปรตอน (ไฮโดรเนียมไอออน) ซึมผ่านชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าสู่แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน เป็นผลให้อีกด้านของแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (ด้านที่ติดกับแคโทด) มีสภาพเป็นด้านที่มีความเข้มข้นโปรตอนสูง

ขั้วแคโทด เป็นขั้วบวก มีพื้นผิวแนบติดกับแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ทำหน้าที่รับโปรตอนที่ถูกปล่อยออกมายังผิวหน้าของเยื่อ ซึ่งจับตัวเร่งปฏิกิริยาเอาไว้ และทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนกลับมาจากวงจรภายนอกเพื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจน รวมกันเป็นน้ำ ดังปฏิกิริยา



ปฏิกิริยารวมที่เกิดขึ้นคือ



2.2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) [3]

เป็นวัสดุพิเศษที่ช่วยให้ปฏิกิริยาในขั้นตอนต่างๆ เกิดได้ดี โดยส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นแพลทินัมเคลือบอยู่บนผงคาร์บอน ซึ่งจะมีลักษณะรูพรุนเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับก๊าซที่เข้าทำปฏิกิริยา

2.2.5 แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane) [4]

เป็นแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ชนิดกรดเปอร์ฟลูออโรซัลโฟนิกที่มีชื่อเรียกว่า แนนฟอน 117 (Nafion 117) มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มใส ความหนาประมาณ 175 ไมครอน (0.007 นิ้ว) มีสูตรโครงสร้างดังนี้

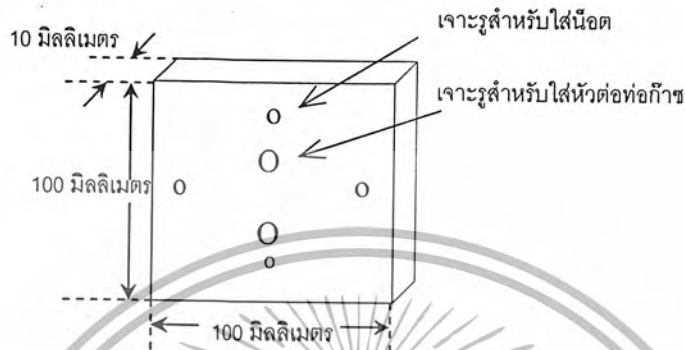


แนนฟอน 117 ประกอบด้วยอะตอมของฟลูออรีน คาร์บอน ออกซิเจน ซัลเฟอร์และไฮโดรเจนจัดเรียงตัวกันเป็นโมเลกุลพอลิเมอร์ซ้ำๆ กัน เมื่อก๊าซไฮโดรเจนเข้าทำปฏิกิริยาจะแตกตัวเป็นอะตอมและคายอิเล็กตรอนให้กับแอโนด กลายเป็นไฮโดรเนียมไอออน (โปรตอน, H⁺) เข้าแทนที่อะตอมไฮโดรเจนที่เกาะอยู่กับ SO₃ อะตอมไฮโดรเจนที่อยู่ติดกับ SO₃ จะหลุดออกจากด้าน SO₃ และมีสภาพเป็นโปรตอนเข้าแทนที่ในหมู่ SO₃H ถัดไปจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่ง จนถึงอีกด้านหนึ่งของแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (ด้านแคโทด) จากลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโปรตอนผ่านแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน จากด้านแอโนดไปยังแคโทด

2.3 การประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน

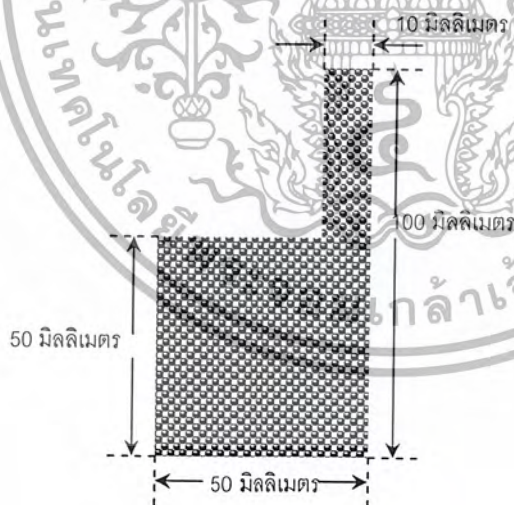
การเตรียมอุปกรณ์

- ตัดแผ่นอะคริลิกใสหนา 10 มิลลิเมตร เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 100x100 ตารางมิลลิเมตร
- เจาะรูสำหรับยึดหนีต-สกรูและหัวต่อท่อก๊าซ จำนวน 2 แผ่น



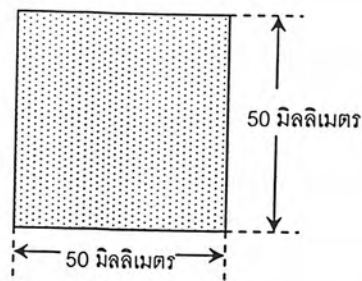
รูปที่ 2.3.1 การเตรียมแผ่นอะคริลิกใส

- ทำแอโนดและแคโทดด้วยแผ่นสแตนเลสชนิดเปอร์ฟอเรตตามแบบ โดยมีพื้นผิวสัมผัสขนาด 50x50 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น



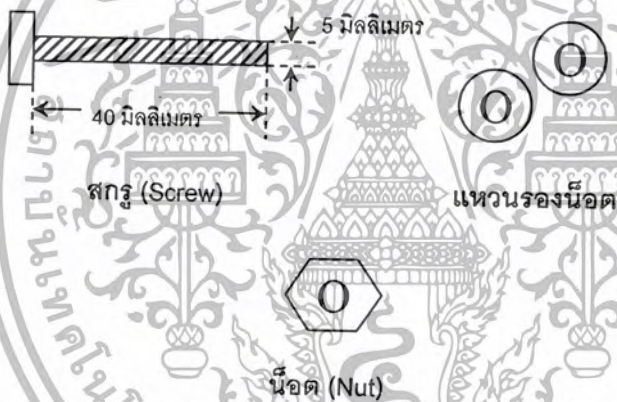
รูปที่ 2.3.2 การเตรียมแผ่นแอโนดและแคโทด

- แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนชนิดเตรียมสำเร็จ (แนฟิออน 117 เคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองด้าน) จำนวน 1 แผ่น



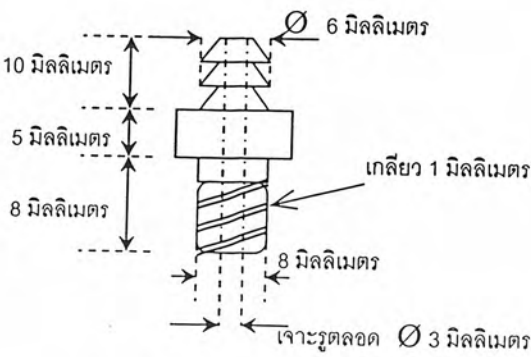
รูปที่ 2.3.3 แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนชนิดเตรียมสำเร็จ

- สกรู-น็อตสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชุด



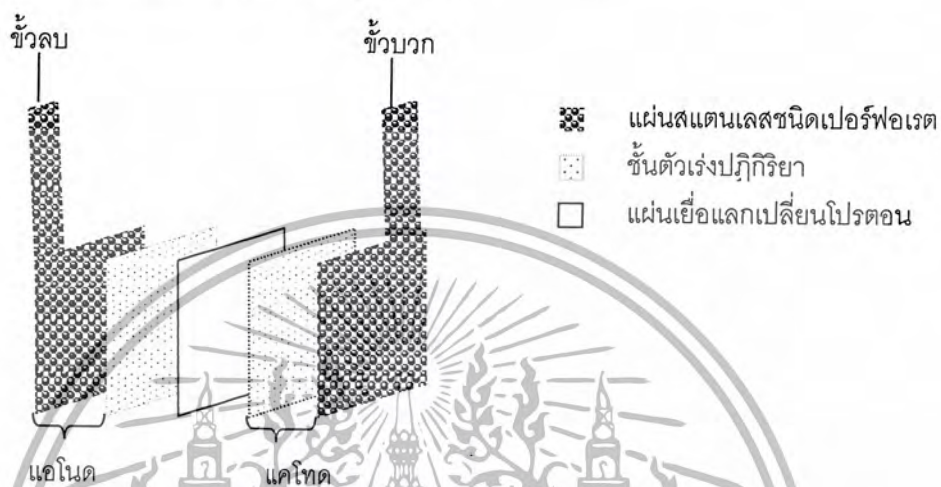
รูปที่ 2.3.4 น็อตสแตนเลส 1 ชุด

- หัวต่อท่อก๊าซสแตนเลส จำนวน 4 ตัว

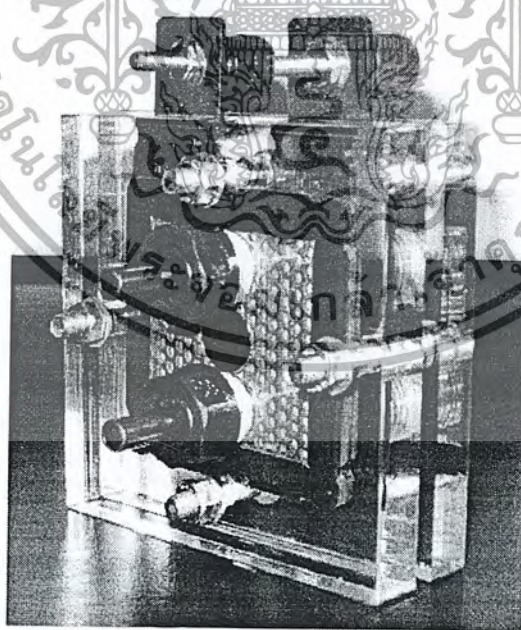


การประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเซลล์เดี่ยว [5]

นำแผ่นสแตนเลสชนิดเปอร์ฟอเรตที่เตรียมเป็นแอโนดและแคโทดมาประกบกับแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนชนิดเตรียมสำเร็จ ตามรูปที่ 3 จากนั้นนำแผ่นอะคริลิกที่เตรียมไว้มาประกบปิดทั้งสองด้าน ต่อหัวต่อก๊าซสแตนเลสและใช้น็อต-สกรูยึดให้เซลล์ประกบกันแน่น จะได้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนดังรูปที่ 2.3.7



รูปที่ 2.3.6 การประกอบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเซลล์เดี่ยว



รูปที่ 2.3.7 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนที่ประกอบเสร็จ

2.4 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน [6-7]

เซลล์เชื้อเพลิงแบบแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนมีหลักการทำงานดังนี้

ก๊าซไฮโดรเจนจะถูกปล่อยเข้าสู่ขั้วแอโนดโดยใช้ความดัน เมื่อก๊าซไปสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยา ก็เกิดการแตกตัวออกเป็น โปรตอนและอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนจะถูกส่งต่อไปยังวงจรภายนอก (Load) ส่วนโปรตอนนั้น จะผ่านช่องของเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนไปยังขั้วแคโทด ซึ่งจะไปรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่รับมาจากวงจรภายนอก รวมไปถึงอะตอมของออกซิเจนซึ่งแตกตัวโดยการเร่งของตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นโมเลกุลของน้ำขึ้นมา โดยการไหลของอิเล็กตรอนนี้ จะนำไปใช้เป็นไฟฟ้า กระแสตรงได้ ดังรูปที่ 2.4.1



รูปที่ 2.4 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน

2.5 ทฤษฎีทางไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง [8]

2.5.1 ความต่างศักย์ไฟฟ้า

ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุดใดๆ ในวงจรที่มีกระแสไฟฟ้าคือ พลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยประจุที่สูญเสียไปในระหว่างจุด 2 จุดนั้น มีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt) แบ่งเป็น

2.5.1.1 ความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์

หมายถึง ความต่างศักย์ภายนอกของเซลล์ไฟฟ้า เป็นความต่างศักย์ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบของเซลล์ไฟฟ้าโดยผ่านความต้านทานภายนอกทั้งสิ้น

2.5.1.2 ความต่างศักย์ภายในเซลล์

หมายถึง ความต่างศักย์ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบของเซลล์ โดยผ่านความต้านทานภายในทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 กระแสไฟฟ้า

เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนไหลจากจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าไปสู่จุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere)

2.5.3 ความต้านทานไฟฟ้า

ความต้านทานไฟฟ้า เป็นคุณสมบัติของวัตถุในการที่จะขัดขวางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าที่จะไหลผ่านวัตถุนั้นๆ เมื่อต่อเข้ากับความต่างศักย์ค่าหนึ่ง วัตถุใดที่มีความต้านทานสูง กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไปได้ยาก ส่วนวัตถุใดที่มีความต้านทานน้อยกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไปได้ง่าย วัตถุพวกที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะมีความต้านทานน้อยกระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านได้สะดวก ส่วนวัตถุที่เป็นฉนวนไฟฟ้ามีความต้านทานสูงมากกระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านได้ยากหรือไม่ได้เลย

ตัวต้านทาน เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เพิ่มความต้านทานให้กับวงจรไฟฟ้า ซึ่งในวงจรไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่บางครั้งต้องทำให้มีความต้านทานเพิ่มขึ้น เพื่อทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรลดลงหรือให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมบนความต้านทานต่างๆ ตามที่ต้องการ ตัวต้านทานสร้างขึ้นมาจากโลหะผสมต่างๆ เช่น คาร์บอน เซรามิค เป็นต้น มีทั้งตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานคงที่และตัวต้านทานปรับค่าได้

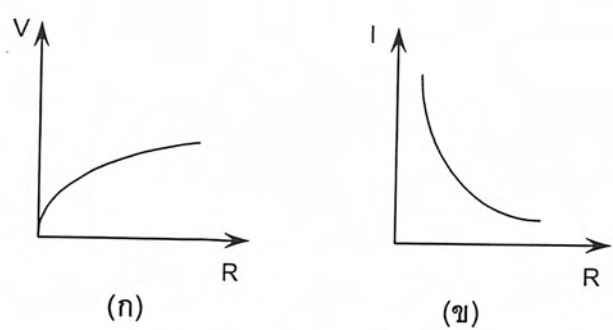
2.5.4 กฎของโอห์ม

ในปี พ.ศ.2369 โอห์ม นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันได้ทำการทดลองต่อความต้านทานเข้ากับ ความต่างศักย์ไฟฟ้า จะปรากฏว่า มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทาน และได้สรุปผลการทดลองเป็นกฎขึ้นมา มีใจความว่า ถ้าอุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้ามีค่าคงที่แล้ว อัตราส่วนระหว่าง ความต่างศักย์ไฟฟ้าของปลายทั้งสองของตัวนำกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำนั้นมีค่าคงที่ โดยค่าคงที่นี้คือค่าความต้านทานของตัวนำที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เขียนความสัมพันธ์ จากกฎของโอห์มได้ตามสมการ

$$V = IR$$

(2.5)

จากกฎของโอห์ม สามารถเขียนกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 2.5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและความต้านทาน

(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้าและความต้านทานตามกฎของโอห์ม

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต้านทานตามกฎของโอห์ม

2.5.5 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ถูกเปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น จูลต่อวินาที หรือวัตต์ (Watt) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการ

$$P = IV \tag{2.6}$$

เมื่อรวมกับกฎของโอห์มจะได้ความสัมพันธ์

$$P = I^2R \tag{2.7}$$

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลองและสารเคมี

- ถังไฮโดรเจนบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 จำนวน 1 ถัง
- มัลติมิเตอร์ (Multimeter) จำนวน 1 เครื่อง
- เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแลกเปลี่ยนโปรตอนแบบเซลล์เดี่ยว จำนวน 1 เครื่อง
- แผ่นอะคริลิกใสหนา 10 มิลลิเมตร ขนาด 30×30 ตารางเซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น
- หัวต่อท่อก๊าซขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร เกลียว 20 จำนวน 4 อัน
- สกรู (Screw) และน็อต (Knot) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร
- ชุดขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Membrane Electrode Assembly)
- ความต้านทานขนาด 2000 โอห์ม, 500 โอห์ม, 100 โอห์ม, 50 โอห์ม, และ 6 โอห์ม
- ขวดดักก๊าซ (Gas tap)
- สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 1 เมตร 1 เส้น
- สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 0.5 เมตร 2 เส้น
- น้ำกลั่น
- บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2 การทดลอง

3.2.1 การประกอบเซลล์เชื้อเพลิง และการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนไฮโดรเจนที่ให้เซลล์เชื้อเพลิงและประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

การประกอบเซลล์เชื้อเพลิง

- ตัดแผ่นอะคริลิกขนาด 100×100 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น ขัดขอบให้เรียบและเจาะรูให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตามแบบ เพื่อใช้เป็นแผ่นปิด (End plates) ด้านหน้าและด้านหลังของเซลล์เชื้อเพลิง
- ประกอบเซลล์เชื้อเพลิง
- ใส่หัวต่อท่อก๊าซในรูของแผ่นปิดที่เจาะไว้ทั้งด้านหน้าและด้านหลังของเซลล์

การทดลองที่ 1 การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลของไฮโดรเจนที่ให้เซลล์เชื้อเพลิงและความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง

ขั้นตอนที่ 1 จัดเตรียมอุปกรณ์โดยต่อสายยางขนาดความยาว 1 เมตร จากถังไฮโดรเจนเข้ากับ ท่อทางเข้าก๊าซของขวดดักก๊าซโดยผ่านวาล์ว (Needle valve) เพื่อปรับอัตราการไหล ส่วนท่อทางออกก๊าซของขวดดักก๊าซใช้สายยางขนาดความยาว 0.5 เมตรต่อเข้ากับท่อรับก๊าซไฮโดรเจนของเซลล์เชื้อเพลิง

ขั้นตอนที่ 2 ต่อสายยางขนาดความยาว 0.5 เมตร จากด้านทางออกของไฮโดรเจนขึ้นแล้ว จุ่มปลายอีกด้านลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำกลั่นเพื่อเพิ่มความดันภายในเซลล์ขึ้นเล็กน้อย

ขั้นตอนที่ 3 ต่อความต้านทานขนาด 500 โอห์ม ครอบมั่วแอโนดและแคโทดของเซลล์เชื้อเพลิงดังรูปที่ 3.2.1.1



รูปที่ 3.2.1.1 การต่อวงจรในการทดลองที่ 1

ขั้นตอนที่ 4 ปลอยก๊าซไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 ไหลเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงทางด้านแอโนด กำหนดอัตราการไหลจากการนับฟองของไฮโดรเจนในขวดดักก๊าซ บันทึกอัตราการไหลของไฮโดรเจนเป็นจำนวนฟองไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในขวดดักก๊าซต่อนาที

ขั้นตอนที่ 5 ด้านแคโทดปล่อยให้อากาศภายนอกไหลเข้า-ออกอย่างอิสระ (Convection) อุณหภูมิการทดลองเป็นอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส โดยปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศในห้องทดลอง

ขั้นตอนที่ 6 วัดความต่างศักย์ที่ขั้วแอโนดและแคโทดด้วยมัลติมิเตอร์ดังรูปที่ 3.2.1.2 แล้ว บันทึกผล

ขั้นตอนที่ 7 วัดอัตราการไหลออกของไฮโดรเจนโดยสังเกตการเกิดฟองในบีกเกอร์ บันทึกอัตราการไหลของไฮโดรเจนเป็นจำนวนฟองไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในบีกเกอร์ต่อนาที

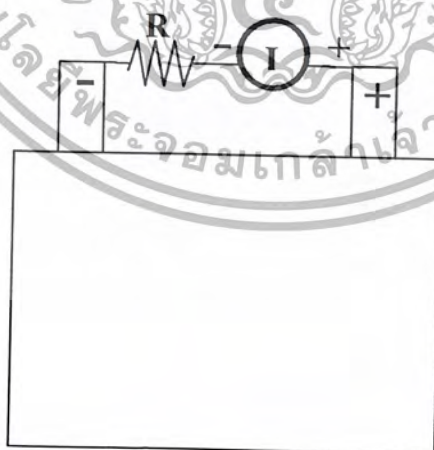
ขั้นตอนที่ 8 ทดลองในขั้นตอนที่ 4 – 7 โดยปรับอัตราการไหลของไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นตามลำดับจนกระทั่งไม่สามารถนับฟองได้ บันทึกข้อมูลและสร้างกราฟระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอัตราการไหลของก๊าซ



รูปที่ 3.2.1.2 แสดงการวัดความต่างศักย์ของเซลล์

การทดลองที่ 2 การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบ่อนไฮโดรเจนที่ให้เซลล์เชื้อเพลิงและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง

ขั้นตอนที่ 1 ต่อดวงจรดังรูปที่ 3.2.1.3

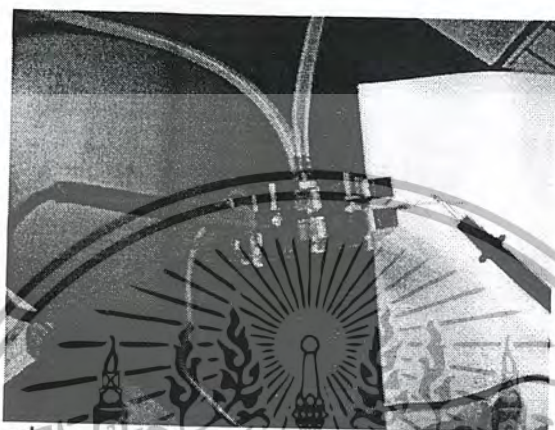


รูปที่ 3.2.1.3 การต่อดวงจรในการทดลองที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 ปรับอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนโดยค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ขั้นตอนที่ 3 เหมือน ขั้นตอนที่ 4 และขั้นตอนที่ 5 ใน การทดลองที่ 1

ขั้นตอนที่ 4 วัดกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงด้วยมัลติมิเตอร์ดังรูปที่ 3.2.1.4 และ บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.2.1.4 การวัดกระแสไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง

3.2.2 การทดลองเพื่อหาช่วงเวลาที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานได้ปกติ (ประสิทธิภาพคงที่)

การทดลองที่ 3 หาช่วงเวลาที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานโดยมีประสิทธิภาพคงที่

ขั้นตอนที่ 1 ต่อกอุปกรณ์การทดลองและต่อวงจรเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 ปรับอัตราการไหลของก๊าซไฮโดรเจนให้คงที่ ที่ 0.12 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีโดย 1 ฟองไฮโดรเจนมีปริมาตรเท่ากับ 0.05 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ขั้นตอนที่ 3 วัดความต่างศักย์ที่ขั้วแอโนดและแคโทดด้วยมัลติมิเตอร์บันทึกข้อมูล ทุก ๆ 2 นาที นำข้อมูลมาสร้างกราฟระหว่างความต่างศักย์กับเวลา

3.2.3 การทดลองเพื่อหากำลังของเซลล์เชื้อเพลิง

ขั้นตอนที่ 1 ต่อกอุปกรณ์เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 ต่อตัวต้านทานขนาด 500 โอห์ม คร่อมขั้วแอโนดและแคโทดของเซลล์เชื้อเพลิง ดังรูปที่ 3.2.1.1

ขั้นตอนที่ 3 ปลอยก๊าซไฮโดรเจนที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.999 ไหลเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงทางด้านแอโนด กำหนดอัตราการไหลจากการนับฟองของไฮโดรเจนในขวดดักก๊าซ บันทึกอัตราการไหลของไฮโดรเจนเป็นจำนวนฟองไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในขวดดักก๊าซต่อนาที

ขั้นตอนที่ 5 วัดความต่างศักย์ที่ขั้วแอโนดและแคโทดด้วยมัลติมิเตอร์ดังรูปที่ 3.2.1.2

บันทึกข้อมูล

ขั้นตอนที่ 6 ต่อดวงจrdังรูปที่ 3.2.1.3 และวัดกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงด้วยมัลติมิเตอร์ดังรูปที่ 3.2.1.4 บันทึกข้อมูล

ขั้นตอนที่ 7 เหมือน ขั้นตอนที่ 2 ถึง ขั้นตอนที่ 6 แต่เปลี่ยนขนาดความต้านทานเป็น 450 โอห์ม, 400 โอห์ม, 350 โอห์ม, 300 โอห์ม, 250 โอห์ม, 200 โอห์ม, 150 โอห์ม, 100 โอห์ม, 50 โอห์ม, 33.33 โอห์ม, 25 โอห์ม และ 6 โอห์ม แล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับความต่างศักย์และความต้านทานกับกระแสไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 8 คำนวณหาค่ากำลังจากค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าแล้วเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและกำลังเพื่อหาความต้านทานที่ใช้เพื่อให้ได้กำลังสูงสุด



ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

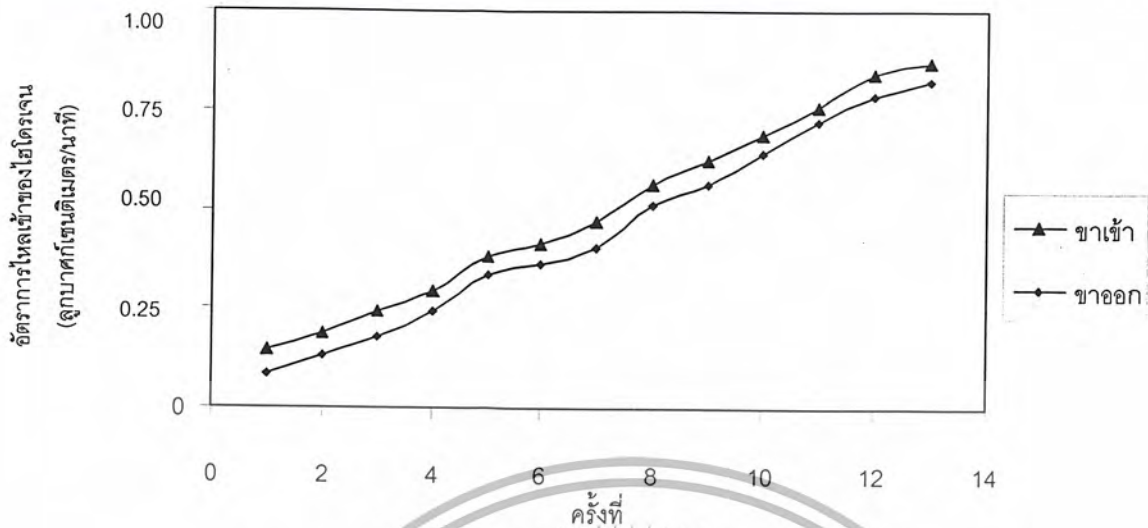
4.1 การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนไฮโดรเจนที่ให้เซลล์เชื้อเพลิงและประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของไฮโดรเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิง โดยสังเกตอัตราการเพิ่มของไฮโดรเจนจากการเพิ่มจำนวนฟองก๊าซไฮโดรเจนที่อยู่ในขวดดักก๊าซ ส่วนด้านแคโทดปล่อยให้อากาศภายนอกไหลเข้า – ออกอย่างอิสระ และควบคุมอุณหภูมิการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียสโดยปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ พบว่าค่าความต่างศักย์ที่วัดออกมามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่สัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของไฮโดรเจนที่ให้แก่เซลล์ และมีแนวโน้มใกล้เคียงกันทุกอัตราการไหล ทั้งนี้เพราะอัตราการไหลของไฮโดรเจนไม่มีผลต่อความดันภายในของเซลล์เชื้อเพลิง จึงทำให้โมเลกุลไฮโดรเจนที่แพร่เข้าสู่แอโนดมีอัตราคงที่ ดังรูปที่ 4.1.1



รูปที่ 4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 3

เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนไฮโดรเจนให้แก่เซลล์เชื้อเพลิงจะสังเกตเห็นการเพิ่มขึ้นของฟองไฮโดรเจนบริเวณปากท่อสายยางที่จุ่มอยู่ในบีกเกอร์บรรจุน้ำซึ่งเป็นทางออกของไฮโดรเจนส่วนเกิน ฟองที่เกิดขึ้นมาจากไฮโดรเจนส่วนที่ไม่ได้นำไปใช้ในกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงดัง รูปที่ 4.1.2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.2 อัตราการไหลเข้า-ออกของไฮโดรเจนจากการทดลองครั้งที่ 4

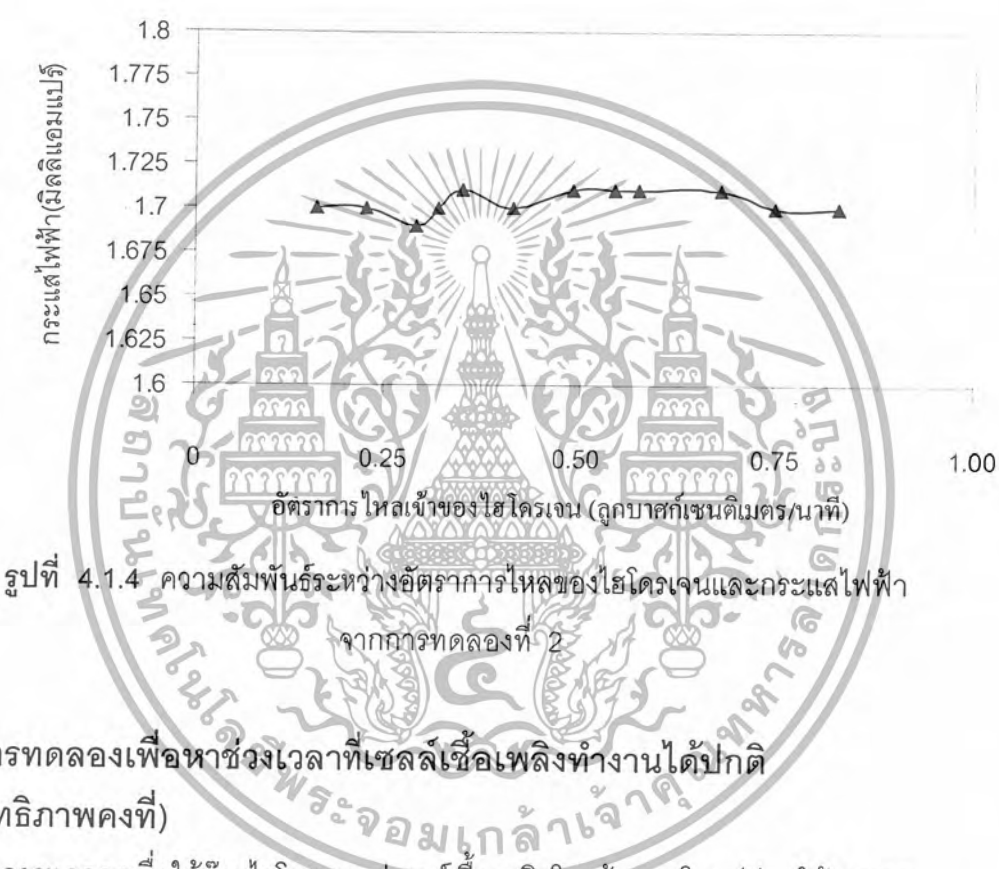
อัตราการใช้ก๊าซไฮโดรเจนของเซลล์เชื้อเพลิงจะมีค่าค่อนข้างคงที่และไม่สัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มขึ้นของก๊าซไฮโดรเจนดังรูปที่ 4.1.3



รูปที่ 4.1.3 อัตราเฉลี่ยการใช้ก๊าซไฮโดรเจนของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองครั้งที่ 1-6

ดังนั้นอัตราการให้ไฮโดรเจนแก่เซลล์เชื้อเพลิงที่สร้างขึ้นในการใช้งานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและประหยัดสารตั้งต้นสูงสุดคืออัตราการไหลของไฮโดรเจน 0.05-0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

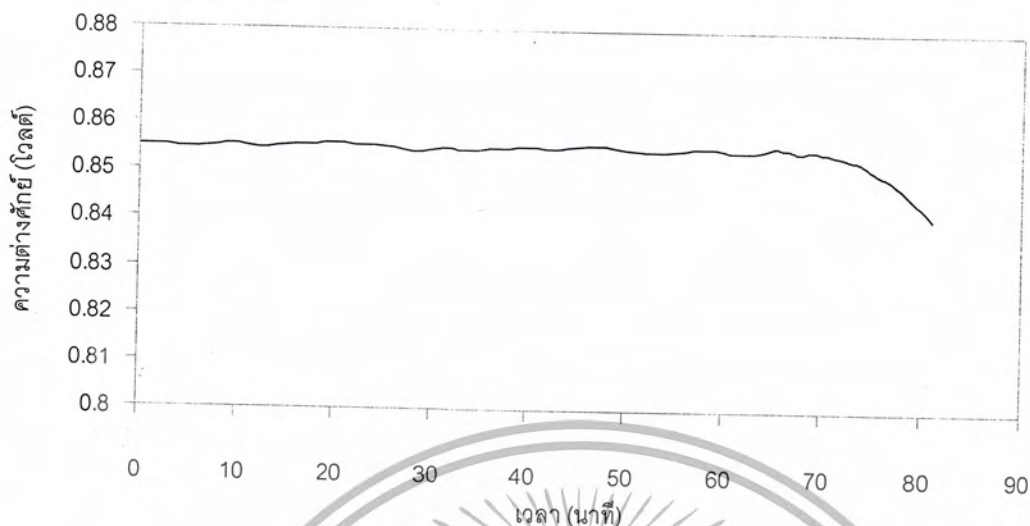
4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนไฮโดรเจนที่ให้เซลล์เชื้อเพลิงและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของไฮโดรเจนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงโดยด้านแคโทดปล่อยให้อากาศภายนอกไหลเข้า – ออกอย่างอิสระ และควบคุมอุณหภูมิการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียสโดยปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ และใช้ตัวต้านทานขนาด 500 โอห์มต่อเข้ากับขั้วแคโทดของเซลล์เชื้อเพลิงแล้ววัดกระแสไฟฟ้า พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิงค่อนข้างคงที่และไม่สัมพันธ์อัตราการไหลของไฮโดรเจนดังรูปที่ 4.1.4



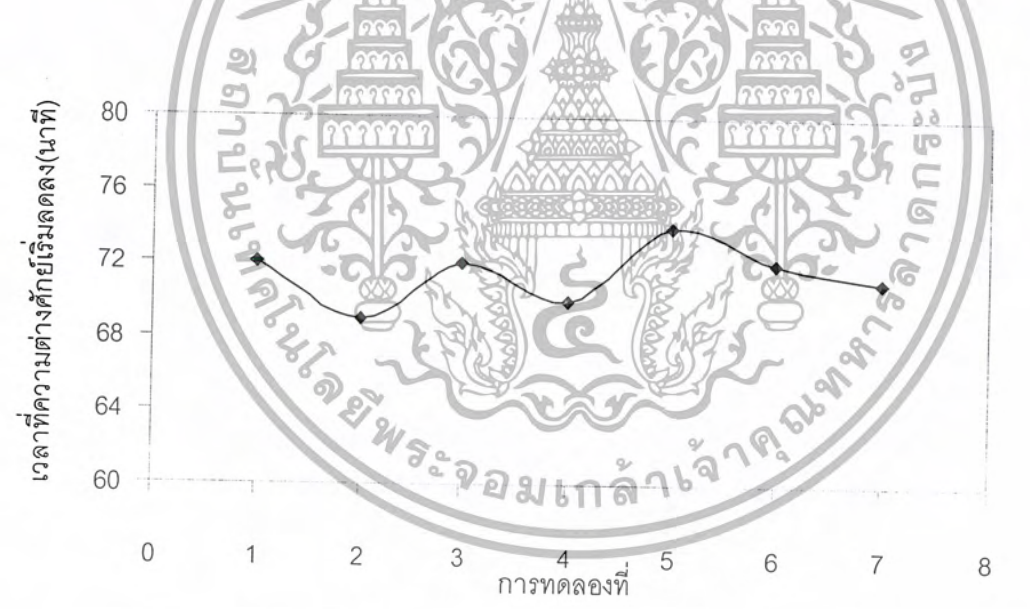
รูปที่ 4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของไฮโดรเจนและกระแสไฟฟ้าจากการทดลองที่ 2

4.2 การทดลองเพื่อหาช่วงเวลาที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานได้ปกติ (ประสิทธิภาพคงที่)

จากการทดลองเมื่อให้ก๊าซไฮโดรเจนแก่เซลล์เชื้อเพลิงโดยด้านแคโทดปล่อยให้อากาศภายนอกไหลเข้า – ออกอย่างอิสระ และควบคุมอุณหภูมิการทดลองที่ 25 องศาเซลเซียสแล้วปล่อยให้เซลล์เชื้อเพลิงมีการทำงานไปเรื่อย ๆ แล้วพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 60 นาทีจะเริ่มมีความชื้นเกิดขึ้นสังเกตได้จากไอน้ำที่เกาะบริเวณแผ่นปิดอะคริลิกใสและเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 70 นาทีปริมาณไอน้ำที่พบจะเพิ่มมากขึ้นและค่าความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์จะเริ่มลดลงดังรูปที่ 4.2.1 และค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่ความต่างศักย์เริ่มลดลงจากการทดลองครั้งที่ 1-7 คือนาทีที่ 71.43 ดังรูปที่ 4.2.2



รูปที่ 4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 3

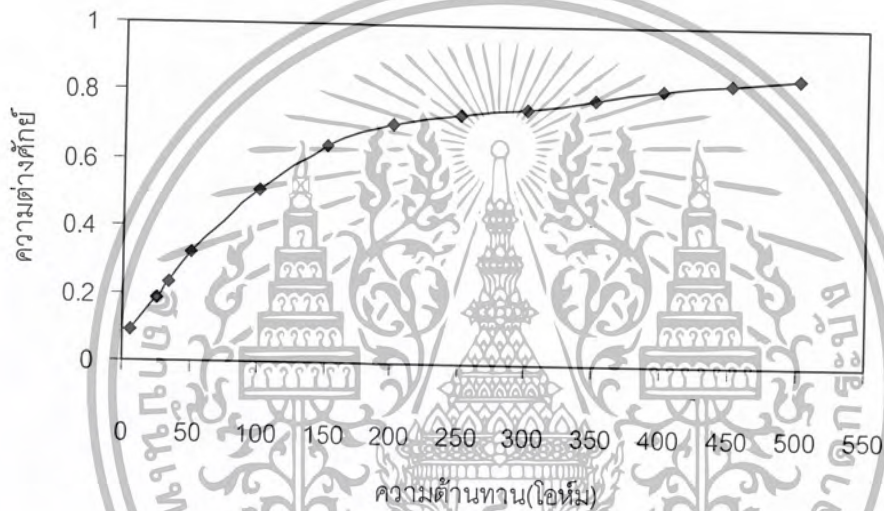


รูปที่ 4.2.2 เวลาที่ความต่างศักย์ลดลงจากการทดลองครั้งที่ 1-7

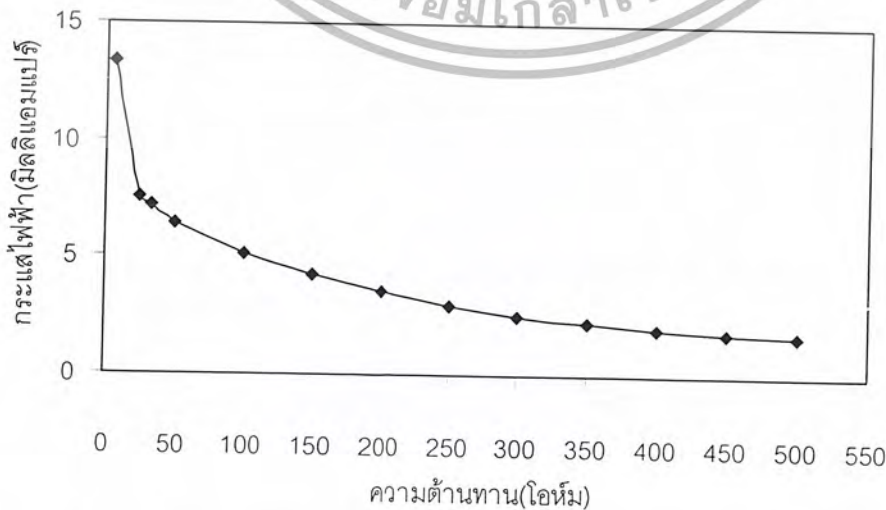
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองเพื่อหาค่ากำลังสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิง

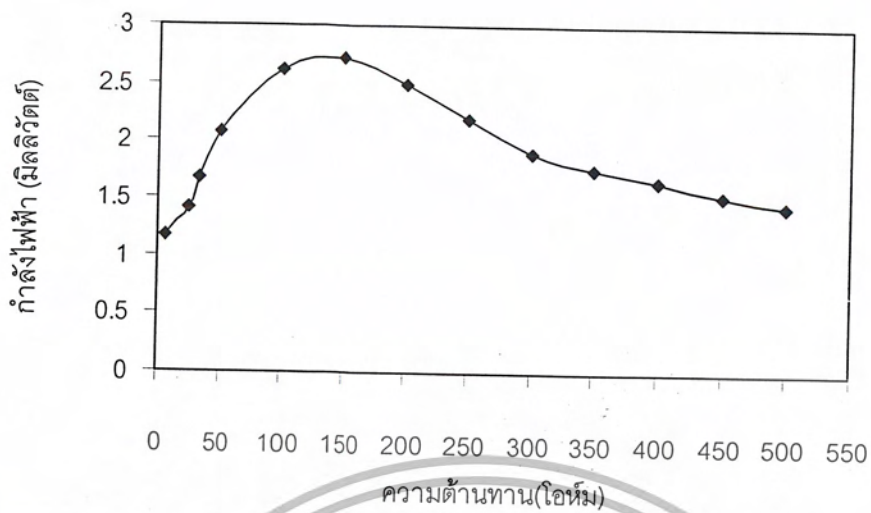
เมื่อให้ก๊าซไฮโดรเจนแก่เซลล์เชื้อเพลิงด้วยอัตราคงที่แล้ววัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า โดยเปลี่ยนความต้านทานเป็นขนาด 450 โอห์ม, 400 โอห์ม, 350 โอห์ม, 300 โอห์ม, 250 โอห์ม, 200 โอห์ม, 150 โอห์ม, 100 โอห์ม, 50 โอห์ม, 33.33 โอห์ม, 25 โอห์มและ 6 โอห์ม พบว่ามีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.3.1 -4.3.2 จากนั้นคำนวณหาค่ากำลังจากความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าแล้วนำมาเขียนกราฟเพื่อหาขนาดความต้านทานที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังรูปที่ 4.3.3



รูปที่ 4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์เฉลี่ยและความต้านทาน



รูปที่ 4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยและความต้านทาน



รูปที่ 4.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและความต้านทาน



สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราการป้อนไฮโดรเจนที่ให้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนแบบเซลล์เดี่ยวที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง พบว่าอัตราการเพิ่มของก๊าซไฮโดรเจนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์ เนื่องจากอัตราการใช้ก๊าซไฮโดรเจนของเซลล์เชื้อเพลิงค่อนข้างคงที่ประมาณ 0.05-0.10 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ดังนั้นอัตราการให้ไฮโดรเจนแก่เซลล์เชื้อเพลิงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและประหยัคสารตั้งต้นสูงสุดคืออัตราการไหลของไฮโดรเจน 0.05-0.10 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

2. ช่วงเวลาที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานโดยมีประสิทธิภาพคงที่นับจากเริ่มให้ก๊าซไฮโดรเจนแก่เซลล์เชื้อเพลิงคือ 71.43 นาทีหลังจากนั้นค่าความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์จะลดลง

3. เมื่อให้ก๊าซไฮโดรเจนแก่เซลล์เชื้อเพลิงด้วยอัตราคงที่แล้ววัดค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าโดยเปลี่ยนความต้านทานเป็นขนาดที่แตกต่างกัน คำนวณหากำลังไฟฟ้าจากข้อมูลพบว่าขนาดความต้านทาน 150 โอห์มให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 2.72 มิลลิวัตต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ให้ก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์แก่เซลล์เชื้อเพลิงแทนการใช้ออกซิเจนจากอากาศภายนอกเพื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์

2. หาวิธีเพิ่มความดันทางด้านแคโทดเพื่อลดปริมาณน้ำสะสมในเซลล์

เอกสารอ้างอิง

- [1] สิริพรรณ นิลไพรัช. "เซลล์เชื้อเพลิง แหล่งพลังงานสำหรับศตวรรษที่ 21." [Online].
เข้าถึงได้จาก : <http://www.material.chula.ac.th/RADIO44/january/radio1-8.htm>. 2547.
- [2] สุมิตรา จรตโรจน์กุล. "เซลล์เชื้อเพลิง : พลังงานสะอาด ทางเลือกแห่งอนาคต." [Online].
เข้าถึงได้จาก : <http://www.nstda.or.th/pr/press/fuel>. 2547.
- [3] ทิรพัฒน์ วิลัยทอง และคณะ. "PEM Fuel Cell." ฟิสิกส์สาร. ปีที่ 8, ฉบับที่ 7, มกราคม – มิถุนายน 2545.
- [4] Pyle W., Spivak A., Cortez R. and Healy J. "Making electricity with hydrogen." Home power. Vol. 11, no. 35, June 1993. pp. 42
- [5] Han J., Park G., Yoon Y., Yang T., Lee W. and Kim C. "A new evaluation method of anode/cathode used for polymer electrolyte membrane fuel cell." International of hydrogen energy. vol. 28, no. 2003, 2002. pp. 609-613.
- [6] คณะวิทยาศาสตร์, ม.สงขลานครินทร์. "เซลล์เชื้อเพลิง : เทคโนโลยีสะอาด." [Online].
เข้าถึงได้จาก : <http://banburee.psu.ac.th/Department/CHEM/Chemistry/chemworld.html>. 2547.
- [7] Schmidt H., Buchner P., Datz A., Dennerlein K., Lang S. and Waidhas H. "Low-cost air-cooled PEFC stacks." Journal of power sources. vol. 71, no. 105, March 2002. pp. 243-249
- [8] พิสิฐ วัฒนผดุงศักดิ์. 2542. "ไฟฟ้ากระแส." กรุงเทพฯ : นิโอ ฟิสิกส์ เซ็นเตอร์. เอกสารอัดสำเนา.
- [9] Machatronics, Northwestern. "Using a multimeter." [online]. Available :
http://mechatronics.mech.northwestern.edu/design_ref/tools/multimeter.htm. 2005.
- [10] "Repairing electronically equipments." [online]. Available :
http://www.bobvila.com/FixItClub/Task/Repairing/FIG_Multimeter.html. 2004.
- [11] Sigma & Aldrich (TRF). "เอกสารข้อมูลความปลอดภัย." [online]. Available :
<http://www.chemtrack.org/MSDS-Result.asp>. 2005.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลการทดลอง

ก-1 การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนไฮโดรเจนที่ให้เซลล์เชื้อเพลิงและประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง

1. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์

ตารางที่ ก-1.1 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 1

ครั้งที่	อัตราการไหลเข้าของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที่)	อัตราการไหลออกของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที่)	ผลต่างอัตราการไหลเข้า-ออกของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที่)	ความต่างศักย์(โวลต์)
1	3.2	1.8	1.4	0.8522
2	5.6	4.7	0.9	0.8512
3	6.9	5.6	1.3	0.8503
4	8.5	6.9	1.1	0.8516
5	9.3	8.5	0.8	0.8517
6	10.8	9.6	1.2	0.8528
7	11.4	10.3	1.1	0.8541
8	13.5	12.1	1.4	0.855
9	15.5	14.2	1.3	0.8536
10	16.5	15.8	0.7	0.8535
11	17.8	16.7	1.1	0.8542

ตารางที่ ก-1.2 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 2

ครั้งที่	อัตราการไหลเข้าของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที่)	อัตราการไหลออกของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที่)	ผลต่างอัตราการไหลเข้า-ออกของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที่)	ความต่างศักย์(โวลต์)
2	3.8	1.6	1.2	0.8542
3	4.7	3.8	0.9	0.8536
4	5.5	4.2	1.3	0.8541
5	7.3	5.5	0.8	0.8529
6	7.5	6.4	1.1	0.8535
7	9.6	8.2	1.4	0.8543
8	10.3	9.4	0.9	0.8541
9	12.6	11.3	1.3	0.8548
10	14.2	12.9	1.3	0.8537
11	15.3	14.1	1.2	0.8525
12	16.5	15.4	1.1	0.854
13	17.7	16.8	0.9	0.8537

ตารางที่ ก-1.3 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 3

ครั้งที่	อัตราการไหลเข้าของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที่)	อัตราการไหลออกของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที่)	ผลต่างอัตราการไหลเข้า-ออกของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที่)	ความต่างศักย์(โวลต์)
1	2.8	1.5	1.3	0.854
2	4.9	3.8	1.1	0.8538
3	5.5	4.7	0.8	0.8542
4	7.3	6.2	1.1	0.8541
5	8.7	7.5	1.2	0.8535
6	9.6	8.3	1.3	0.8546
7	10	9	1	0.8545
8	11.6	10.4	1.2	0.8551
9	12.7	11.6	1.1	0.8548
10	14.5	13.2	1.4	0.8547
11	15.3	14.4	1.1	0.8545
12	17	15.8	1.2	0.8543
13	17.5	16.6	0.9	0.8546

ตารางที่ ก-1.4 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 4

ครั้งที่	อัตราการไหลเข้าของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที)	อัตราการไหลออกของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที)	ผลต่างอัตราการไหลเข้า-ออกของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที)	ความต่างศักย์(โวลต์)
1	2.9	1.7	1.2	0.8541
2	3.7	2.6	1.1	0.8542
3	4.8	3.5	1.3	0.8545
4	5.9	4.8	1.1	0.855
5	7.6	6.7	0.9	0.8548
6	8.3	7.3	1	0.8551
7	9.4	8.1	1.3	0.8549
8	11.3	10.2	1.1	0.8543
9	12.5	11.3	1.2	0.8536
10	13.8	12.8	1	0.8541
11	15.2	14.4	0.8	0.8547
12	16.8	15.7	1.1	0.855
13	17.4	16.5	0.9	0.8552

ตารางที่ ก-1.5 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 5

ครั้งที่	อัตราการไหลเข้าของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที)	อัตราการไหลออกของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที)	ผลต่างอัตราการไหลเข้า-ออกของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที)	ความต่างศักย์(โวลต์)
1	3.2	2.1	1.1	0.8543
2	4.8	3.8	1.4	0.855
3	5.7	4.5	1.2	0.8551
4	7.4	6.3	1.1	0.8546
5	8.9	7.6	1.3	0.8542
6	10.3	9.1	1.2	0.855
7	10.9	9.8	1.1	0.8545
8	11.6	10.7	0.9	0.8541
9	12.6	11.5	1.2	0.8539
10	13.8	12.8	0.8	0.8543
11	15.3	14.4	0.9	0.8547
12	17	15.8	1.2	0.8542

ตารางที่ ก-1.6 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและความต่างศักย์จากการทดลองครั้งที่ 6.

ครั้งที่	อัตราการไหลเข้าของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที)	อัตราการไหลออกของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที)	ผลต่างอัตราการไหลเข้า-ออกของไฮโดรเจน(ฟอง/นาที)	ความต่างศักย์(โวลต์)
1	3.3	2.2	1.1	0.8545
2	3.9	2.8	1	0.855
3	4.9	3.7	1.2	0.8549
4	5.5	4.6	0.9	0.8551
5	7.4	6.3	1.1	0.8552
6	8.2	7.2	1	0.8547
7	9.9	8.7	1.2	0.8543
8	11.7	10.6	1.1	0.8544
9	12.5	11.3	1.2	0.855
10	13.8	12.9	1	0.8548
11	15.4	14.5	0.9	0.8542
12	16.7	15.6	1.1	0.8537
13	17.4	16.4	1	0.8542

2. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนไฮโดรเจนและกระแสไฟฟ้า

ตารางที่ ก-1.7 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและกระแสไฟฟ้าจากการทดลองครั้งที่ 1-2

การทดลองที่ 1		การทดลองที่ 2	
อัตราการไหลเข้า ของไฮโดรเจน (ฟอง/นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	อัตราการไหลเข้า ของไฮโดรเจน (ฟอง/นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)
3	1.7	3.2	1.7
4.7	1.69	4.5	1.7
5.5	1.71	5.8	1.69
6.3	1.72	6.4	1.7
7.4	1.7	7	1.71
8.7	1.69	8.3	1.7
10.1	1.7	9.8	1.71
11.3	1.7	10.9	1.71
12.6	1.71	11.5	1.71
13.5	1.71	13.6	1.71
15.2	1.7	15	1.7
16.8	1.7	16.6	1.7

ตารางที่ ก-1.8 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและกระแสไฟฟ้าจากการทดลองครั้งที่ 3-4

การทดลองที่ 3		การทดลองที่ 4	
อัตราการไหลเข้า ของไฮโดรเจน (ฟอง/นาทีก)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	อัตราการไหลเข้า ของไฮโดรเจน (ฟอง/นาทีก)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)
2.8	1.71	2.9	1.69
4.9	1.7	3.7	1.7
5.5	1.7	4.8	1.71
7.3	1.69	5.9	1.71
8.7	1.7	7.6	1.7
9.6	1.7	8.3	1.71
10	1.72	9.4	1.72
11.6	1.71	11.3	1.71
12.7	1.7	12.5	1.7
14.5	1.71	13.8	1.7
15.3	1.69	15.2	1.69
17	1.7	16.8	1.7
17.5	1.71	17.4	1.7

ตารางที่ ก-1.9 อัตราการป้อนไฮโดรเจนและกระแสไฟฟ้าจากการทดลองครั้งที่ 5-6

การทดลองที่ 5		การทดลองที่ 6	
อัตราการไหลเข้า ของไฮโดรเจน (ฟอง/นาทีก)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	อัตราการไหลเข้า ของไฮโดรเจน (ฟอง/นาทีก)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)
3.2	1.7	3.3	1.68
4.8	1.7	3.9	1.7
5.7	1.72	4.9	1.69
7.4	1.71	5.5	1.7
8.9	1.71	7.4	1.71
10.3	1.7	8.2	1.7
10.9	1.68	9.9	1.7
11.6	1.7	11.7	1.72
12.6	1.71	12.5	1.69
13.8	1.72	13.8	1.7
15.3	1.73	15.4	1.72
17	1.7	16.7	1.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-2 การทดลองเพื่อหาช่วงเวลาที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานได้ปกติ

ตารางที่ ก-2.1 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 1

เวลา (นาทื)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาทื)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	0.8553	48	0.855
2	0.8548	50	0.8543
4	0.8551	52	0.8546
6	0.8555	54	0.8547
8	0.855	56	0.8551
10	0.8547	58	0.8555
12	0.8549	60	0.8552
14	0.8553	62	0.8553
16	0.8556	64	0.8549
18	0.8554	66	0.8546
20	0.856	68	0.855
22	0.8551	70	0.8544
24	0.8549	72	0.8532
26	0.8552	73	0.8529
28	0.8548	74	0.8511
30	0.8546	75	0.8496
32	0.855	76	0.8472
32	0.8554	77	0.8461
34	0.8547	78	0.8443
36	0.8551	79	0.8426
38	0.8554	80	0.8407
40	0.8555	81	0.8389
42	0.8557	82	0.8385
44	0.8554	83	0.8377
46	0.8558	84	0.8369

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญอดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2.2 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 2

เวลา (นาทื)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาทื)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	0.8546	46	0.8558
2	0.855	48	0.8553
4	0.8551	50	0.8548
6	0.8555	52	0.8546
8	0.8553	54	0.8547
10	0.8547	56	0.8551
12	0.8549	58	0.8557
14	0.8551	60	0.8553
16	0.8555	62	0.8553
18	0.8554	64	0.8548
20	0.8556	66	0.8541
22	0.8558	68	0.8532
24	0.8554	69	0.8529
26	0.8552	70	0.8509
28	0.8548	71	0.8498
30	0.8546	72	0.8468
32	0.855	73	0.8457
32	0.8548	74	0.8443
34	0.8547	75	0.8427
36	0.8551	76	0.8407
38	0.8556	77	0.839
40	0.8555	78	0.8384
42	0.8551	79	0.8377
44	0.8554	80	0.8368

ตารางที่ ก-2.3 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 3

เวลา (นาที่)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที่)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	0.8549	52	0.8549
2	0.8551	54	5.8547
4	0.8556	56	0.8551
6	0.8554	58	0.8548
8	0.8558	60	0.8546
10	0.8554	62	0.855
12	0.8546	64	0.8548
14	0.855	65	0.8547
16	0.8551	66	0.8551
18	0.8557	67	0.8557
20	0.8553	68	0.8554
22	0.8549	69	0.8553
24	0.8547	70	0.8549
26	0.8551	71	0.8544
28	0.8548	72	0.854
30	0.8546	73	0.8528
32	0.8551	74	0.8506
32	0.8555	75	0.8487
34	0.8553	76	0.8475
36	0.8551	77	0.8451
38	0.8544	78	0.8438
40	0.8546	79	0.8442
42	0.8552	80	0.8436
44	0.8551	81	0.8422
46	0.8557	82	0.8425
48	0.8558	83	0.8411
50	0.855	84	0.8402

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2.4 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 4

เวลา (นาที่)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที่)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	0.8549	50	0.8548
2	0.855	52	0.8544
4	0.8553	54	0.8547
6	0.8555	56	0.8552
8	0.8548	58	0.8554
10	0.8551	60	0.8553
12	0.8549	62	0.8548
14	0.8547	64	0.8551
16	0.8551	66	0.8544
18	0.8554	68	0.8541
20	0.8556	69	0.8536
22	0.8553	70	0.8528
24	0.8749	71	0.8512
26	0.8747	72	0.8488
28	0.8752	73	0.8463
30	0.8751	74	0.8446
32	0.8547	75	0.8423
32	0.8551	76	0.8414
34	0.8554	77	0.8393
36	0.8555	78	0.8384
38	0.8557	79	0.8378
40	0.8558	80	0.8365
42	0.8555	81	0.8359
44	0.8554	82	0.8362
46	0.8556	83	0.8364
48	0.8558		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2.5 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 5

เวลา (นาทื)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาทื)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	0.8549	48	0.8553
2	0.8555	50	0.8558
4	0.8551	52	0.8559
6	0.8556	54	0.8555
8	0.8553	56	0.8556
10	0.8547	58	0.8557
12	0.855	60	0.8553
14	0.8551	62	0.8551
16	0.8553	64	0.8548
18	0.8554	66	0.8545
20	0.8557	68	0.8539
22	0.8558	69	0.8544
24	0.8551	70	0.8543
26	0.8552	71	0.8541
28	0.8548	72	0.8541
30	0.8549	73	0.8536
32	0.8552	74	0.8532
34	0.8547	75	0.8524
36	0.8551	76	0.8508
38	0.8544	77	0.8498
40	0.8543	78	0.8477
42	0.8547	79	0.8459
44	0.8546	80	0.8443
46	0.8551	81	0.8427

ตารางที่ ก-2.6 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 6

เวลา (นาที่)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาที่)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	0.8549	52	0.8549
2	0.8551	54	5.8547
4	0.8556	56	0.8551
6	0.8554	58	0.8548
8	0.8558	60	0.8546
10	0.8554	62	0.855
12	0.8546	64	0.8548
14	0.855	65	0.8547
16	0.8551	66	0.8551
18	0.8557	67	0.8557
20	0.8553	68	0.8554
22	0.8549	69	0.8553
24	0.8547	70	0.8549
26	0.8551	71	0.8544
28	0.8548	72	0.854
30	0.8546	73	0.8528
32	0.8551	74	0.8506
32	0.8555	75	0.8487
34	0.8553	76	0.8475
36	0.8551	77	0.8451
38	0.8544	78	0.8438
40	0.8546	79	0.8442
42	0.8552	80	0.8436
44	0.8551	81	0.8422
46	0.8557	82	0.8425
48	0.8558	83	0.8411
50	0.855	84	0.8402

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2.7 ความต่างศักย์และเวลาในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจากการทดลองที่ 7

เวลา (นาทื)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	เวลา (นาทื)	ความต่างศักย์ (โวลต์)
0	0.854	48	0.8553
2	0.8546	50	0.8558
4	0.8551	52	0.8557
6	0.8554	54	0.8548
8	0.8557	56	0.8556
10	0.8558	58	0.8557
12	0.855	60	0.8553
14	0.8551	62	0.855
16	0.8553	64	0.8548
18	0.8553	66	0.8556
20	0.8549	68	0.8545
22	0.855	69	0.8539
24	0.8551	70	0.8543
26	0.8548	71	0.8546
28	0.8544	72	0.8541
30	0.8549	73	0.8536
32	0.8553	74	0.853
32	0.8552	75	0.8522
34	0.8547	76	0.8526
36	0.8551	77	0.8514
38	0.8546	78	0.8493
40	0.8543	79	0.8478
42	0.8547	80	0.848
44	0.8551	81	0.8469
46	0.8555	82	0.845

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-3 การทดลองเพื่อหากำลังสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิง

ตารางที่ ก-3.1 ค่าความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลังจากการทดลองครั้งที่ 1

ความต้านทาน (โอห์ม)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	กำลัง (มิลลิวัตต์)
500	0.852	1.7	1.45
450	0.832	1.85	1.54
400	0.813	2.03	1.65
350	0.784	2.24	1.76
300	0.757	2.52	1.9
250	0.738	2.95	2.2
200	0.708	3.54	2.51
150	0.63	4.2	2.65
100	0.511	5.13	2.62
50	0.353	6.81	2.4
33.33	0.231	7.18	1.66
25	0.189	7.56	1.43
6	0.08	13.33	1.07

ตารางที่ ก-3.2 ค่าความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลัง จากการทดลองครั้งที่ 2

ความต้านทาน (โอห์ม)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	กำลัง (มิลลิวัตต์)
500	0.85	1.71	1.45
450	0.833	1.84	1.53
400	0.813	2	1.63
350	0.785	2.25	1.77
300	0.753	2.53	1.91
250	0.741	2.97	2.2
200	0.711	3.54	2.52
150	0.632	4.22	2.67
100	0.51	5.14	2.62
50	0.314	6.3	1.97
33.33	0.234	7.2	1.68
25	0.19	7.53	1.43
6	0.082	13.46	1.11

ตารางที่ ก-3.3 ค่าความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลัง จากการทดลองครั้งที่ 3

ความต้านทาน (โอห์ม)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	กำลัง (มิลลิวัตต์)
500	0.851	1.72	1.46
450	0.83	1.87	1.55
400	0.812	2.05	1.66
350	0.785	2.23	1.75
300	0.757	2.52	1.91
250	0.738	2.95	2.18
200	0.705	3.49	2.46
150	0.65	4.21	2.74
100	0.513	5.11	2.62
50	0.31	6.28	1.95
33.33	0.231	7.22	1.67
25	0.19	7.52	1.43
6	0.1	13.45	1.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3.4 ค่าความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลัง จากการทดลองครั้งที่ 4

ความต้านทาน (โอห์ม)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	กำลัง (มิลลิวัตต์)
500	0.852	1.69	1.44
450	0.831	1.88	1.56
400	0.812	2.05	1.66
350	0.785	2.24	1.76
300	0.754	2.52	1.9
250	0.736	2.95	2.17
200	0.707	3.47	2.45
150	0.655	4.24	2.78
100	0.513	5.11	2.62
50	0.311	6.31	1.96
33.33	0.233	7.25	1.69
25	0.185	7.54	1.39
6	0.098	13.4	1.31

ตารางที่ ก-3.5 ค่าความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลัง จากการทดลองครั้งที่ 5

ความต้านทาน (โอห์ม)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	กำลัง (มิลลิวัตต์)
500	0.852	1.7	1.45
450	0.833	1.84	1.53
400	0.812	2.05	1.66
350	0.784	2.24	1.76
300	0.756	2.52	1.91
250	0.738	3.01	2.22
200	0.71	3.54	2.51
150	0.634	4.31	2.73
100	0.51	5.13	2.62
50	0.322	6.25	2.01
33.33	0.231	7.23	1.67
25	0.187	7.54	1.41
6	0.08	13.2	1.06

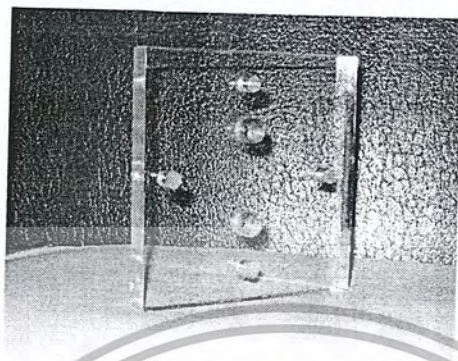
ตารางที่ ก-3.6 ค่าความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลัง จากการทดลองครั้งที่ 6

ความต้านทาน (โอห์ม)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	กำลัง (มิลลิวัตต์)
500	0.85	1.72	1.46
450	0.832	1.84	1.53
400	0.815	2.03	1.65
350	0.783	2.25	1.76
300	0.757	2.54	1.92
250	0.74	2.97	2.2
200	0.709	3.54	2.51
150	0.631	4.32	2.73
100	0.511	5.13	2.62
50	0.346	6.84	2
33.33	0.234	7.19	1.68
25	0.189	7.56	1.43
6	0.087	13.4	1.17

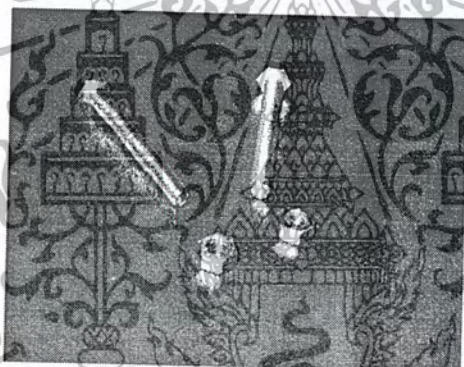
ตารางที่ ก-3.7 ค่าเฉลี่ยความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้า และกำลัง จากการทดลองครั้งที่ 1-6

ความต้านทาน (โอห์ม)	ความต่างศักย์ (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	กำลัง (มิลลิวัตต์)
500	0.851	1.706	1.452
450	0.831	1.853	1.541
400	0.812	2.035	1.653
350	0.784	2.241	1.758
300	0.755	2.525	1.906
250	0.738	2.966	2.194
200	0.708	3.52	2.493
150	0.639	4.25	2.72
100	0.511	5.125	2.62
50	0.321	6.44	2.07
33.33	0.232	7.212	1.673
25	0.188	7.541	1.419
6	0.087	13.37	1.175

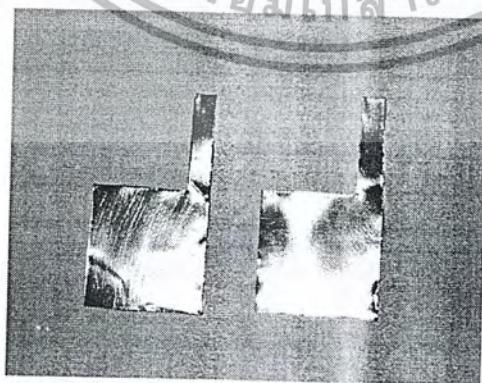
ภาคผนวก ข.
ภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ข-1 แผ่นอะคริลิกที่ใช้เป็นแผ่นปิดของเซลล์เชื้อเพลิง

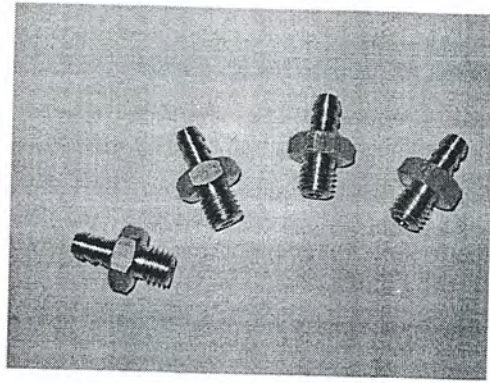


รูปที่ ข-2 นี้อต-สกรู

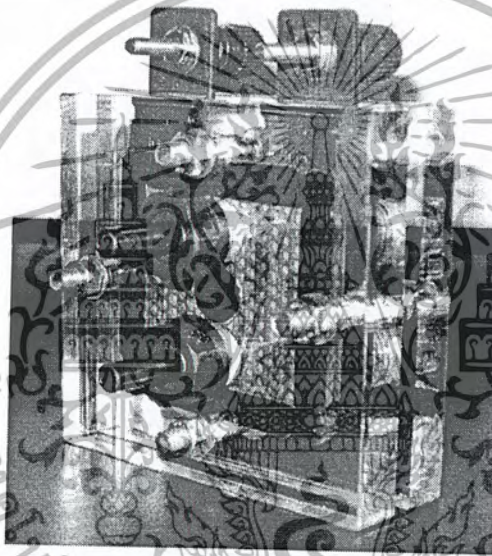


รูปที่ ข-3 แอนโอดและแคโทด

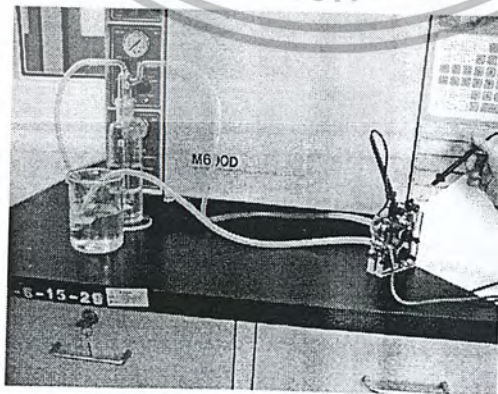
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-4 หัวต่อท่อก๊าซ



รูปที่ ข-5 เซลล์เชื้อเพลิงที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ ข-6 การจัดอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้มัลติมิเตอร์และข้อควรระวัง

ค-1 มัลติมิเตอร์ [9]

มัลติมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ใช้สำหรับวัดค่าทางไฟฟ้าต่างๆ เช่น ความต่างศักย์ของวงจรกระแสตรงและกระแสสลับ ค่ากระแสไฟฟ้าตรงและกระแสไฟฟ้าสลับ และค่าความต้านทาน มัลติมิเตอร์บางชนิดสามารถทดสอบตัวไดโอดและค่าการนำไฟฟ้าได้

ค-2 การใช้งานมัลติมิเตอร์ [10]

1. ต่อโพรบ (Probes) สีดำเข้ากับสายดินของมัลติมิเตอร์ และต่อโพรบสีแดงเข้ากับช่องของมัลติมิเตอร์ให้เหมาะสมกับค่าที่ต้องการวัด
2. เลือกโปรแกรมที่เหมาะสมกับค่าที่ต้องการวัด
3. เมื่อต้องการวัดค่าทางไฟฟ้า ให้ต่อโพรบสีดำเข้ากับขั้วลบของเซลล์เชื้อเพลิง และต่อโพรบสีแดงเข้ากับขั้วบวกของเซลล์เชื้อเพลิง อ่านค่าที่วัดได้จากหน้าจอที่แสดงผลเป็นตัวเลข

ค-3 ข้อควรระวังในการใช้งานมัลติมิเตอร์ [9]

1. ตรวจสอบตำแหน่งสวิตช์ของมัลติมิเตอร์และโพรบที่ต่อกับมัลติมิเตอร์ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องกับค่าที่ต้องการวัด
2. ไม่ควรนำโพรบทดสอบที่อยู่ในสภาพเสียหายมาใช้งาน
3. ไม่ควรวัดค่าความต้านทานของวงจรในขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงกำลังทำงาน
4. ไม่ควรใช้มัลติมิเตอร์กับวงจรที่มีกำลังไฟฟ้าเกิน 4800 วัตต์ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับมัลติมิเตอร์ได้
5. ไม่ควรใช้มัลติมิเตอร์วัดค่าความต่างศักย์ที่สูงกว่าอัตราที่เครื่องกำหนดไว้
6. ควรใช้มัลติมิเตอร์ด้วยความระมัดระวัง เมื่อใช้งานที่ความต่างศักย์ประมาณ 60 โวลต์ (สำหรับกระแสตรง) และความต่างศักย์ 30 โวลต์ (สำหรับกระแสสลับ) ซึ่งที่ความต่างศักย์นี้อาจทำให้เกิดการกระตุก (Shock hazard) ได้
7. ในการจับโพรบทดสอบเพื่อทำการวัดค่าทางไฟฟ้า ให้จับบริเวณที่เป็นฉนวน ห้ามใช้นิ้วมือสัมผัสกับส่วนที่เป็นโลหะของโพรบโดยตรง

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยในการใช้สารเคมี [11]

ง-1 ก๊าซไฮโดรเจน

หมวด 1. ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีและบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

CATALOG # 295396

ชื่อ: HYDROGEN, ร้อยละ 99.999

หมวด 2. องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

CAS #: 1333-74-0

MF: H2

EC NO: 215-605-7

ชื่อพ้อง

HYDROGEN (ACGIH:OSHA) *

หมวด 3. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

ข้อความบนฉลากเกี่ยวกับข้อควรระวัง

ไวไฟ (สหรัฐอเมริกา)

ไวไฟสูงมาก (สหภาพยุโรป)

อันตราย: แก๊สความดันสูงที่ไวไฟ.

เก็บให้ห่างจากแหล่งที่จะทำให้เกิดการจุดติดไฟ - ห้ามสูบบุหรี่.

ให้ใช้มาตรการในการป้องกันไฟฟ้าสถิต.

ในกรณีที่เกิดการระบายอากาศไม่เพียงพอ, ให้สวมเครื่องช่วยหายใจที่เหมาะสม.

สวมชุดป้องกันที่เหมาะสม.

อุณหภูมิถึงแก๊สไม่ควรเกิน 125 องศาฟาเรนไฮต์ (52 องศาเซลเซียส).

ห้ามเจาะหรือเผาทำลายถึงแก๊สนี้.

หมวด 4. มาตรการปฐมพยาบาล

ถ้าสูดดมเข้าไป ให้ย้ายผู้ป่วยไปที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์. ถ้าไม่หายใจ ให้การช่วยหายใจ

ถ้าหายใจลำบาก ให้ออกซิเจน.

เมื่อกลืนกิน ให้ใช้น้ำบ้วนปากในกรณีที่ผู้ป่วยที่ยังมีสติอยู่

ไปพบแพทย์.

หมวด 5. มาตรการการผจญเพลิง

สารดับเพลิง

ห้ามดับไฟที่เกิดจากแก๊สที่กำลังลุกไหม้ ถ้าไม่สามารถปิดแก๊สได้ทันที.

ใช้ละอองน้ำหรือหัวฉีดละอองเพื่อทำให้ถังแก๊สเย็น.

เคลื่อนย้ายถังแก๊สให้ห่างจากไฟถ้าไม่มีความเสี่ยง.

ขั้นตอนพิเศษในการผจญเพลิง

สวมเครื่องช่วยหายใจแบบครบชุดและเสื้อผ้าที่ใช้ป้องกัน เพื่อป้องกันการสัมผัสกับผิวหนังและดวงตา.

อันตราย: แก๊สความดันสูงที่ไวไฟ.

อันตรายจากไฟและการระเบิด

สามารถเกิดสารผสมที่ระเบิดได้ในอากาศ.

หมวด 6. มาตรการเมื่อมีอุบัติเหตุสารหกรั่วไหล

อพยพคนออกจากบริเวณและให้อยู่เหนือลม.

สวมเครื่องช่วยหายใจ รองเท้ายางหุ้มข้อและถุงมือยางหนาๆ.

ปิดรอยรั่วไหลถ้าทำได้โดยไม่เสี่ยง.

ระบายอากาศในบริเวณนั้น และล้างตำแหน่งที่สารหกรั่วไหลหลังจากเก็บสารออกหมดแล้ว.

หมวด 7. การจัดการและการเก็บรักษา

อ้างถึงหมวดที่ 8.

ข้อมูลเพิ่มเติม

ลิเทียม แคลเซียม แบเรียมและสตรอนเซียมทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วในไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส บางครั้งอาจทำให้ลุกติดไฟ.

โซเดียมและโพแทสเซียมทำปฏิกิริยาอย่างช้าๆ เกิดเป็นไฮโดรด์.

ไฮโดรเจนอาจจุดติดไฟหรือระเบิดเมื่อผสมกับ: ฟลูออรีน คลอรีน โบรมีน โบรมีน-ฟลูออไรด์ โบรมีนไตรฟลูออไรด์ ไอโอดีนเฮปตะฟลูออไรด์ ซีนอนเฮกซะฟลูออไรด์ ไดฟลูออโรไดอะซีน คลอรีนไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ไดคลอรีนออกไซด์ ไดไนโตรเจนออกไซด์ และไดไนโตรเจนเททรอกไซด์.

การให้ความร้อนกับสารผสมของผงแมกนีเซียมและแคลเซียมคาร์บอเนต ในกระแสไฮโดรเจนก่อให้เกิดการระเบิดที่รุนแรงได้.

สารผสมของไฮโดรเจนและไอของสารอินทรีย์สามารถจุดติดไฟได้ หรือระเบิดเมื่อสัมผัสกับเรซินนิเกิล แพลเลเดียม แพลทินัมที่เป็นผงละเอียดเมื่อมีออกซิเจนอยู่ด้วย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมวด 8. การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล

แว่นตาแบบก๊อกลีส์ที่ป้องกันสารเคมี.

ถุงมือทนสารเคมีที่เหมาะสม.

ใช้เครื่องช่วยหายใจที่ได้รับการรับรองโดย NIOSH/MSHA เมื่ออยู่ในบริเวณที่ไม่มีอากาศถ่ายเทและ/หรือเมื่อต้องเข้าไปในบริเวณที่มีสารเหนือระดับ TLV ของ ACGIH.

จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ระบายอากาศ.

ฝักบัวอาบน้ำ และล้างตา.

ใช้เครื่องมือที่ไม่ก่อให้เกิดประกายไฟ.

อย่าหายใจเอาแก๊สเข้าไป.

ระวังอย่าให้เข้าตา โดนผิวหนัง หรือเสื้อผ้า.

หลีกเลี่ยงการได้รับสารเป็นเวลานานหรือซ้ำหลายครั้ง.

ล้างให้สะอาดหลังการใช้งาน.

ปิดให้สนิท.

อุณหภูมิของถังแก๊สไม่ควรเกิน 125 องศาฟาเรนไฮต์ (52 องศาเซลเซียส).

เก็บให้ห่างจากความร้อน ประกายไฟและเปลวไฟ.

สารนี้บรรจุอยู่ภายใต้ความดัน.

คำเตือน: การดูดย้อนกลับเข้าถังแก๊สอาจทำให้แตกได้.

ใช้อุปกรณ์ป้องกันการไหลย้อนกลับในการเดินท่อ.

ใช้กับเครื่องมือที่กำหนดไว้ให้ใช้กับความดันจากถังแก๊สและทำจากวัสดุที่เข้ากันได้.

ปิดวาล์วเมื่อไม่ได้ใช้และเมื่อใช้หมด.

ต้องมั่นใจว่าได้ตรึงถังแก๊สไว้อย่างเหมาะสมขณะใช้หรือเก็บ.

หมวด 9. สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะทางเคมีและกลิ่น

แก๊สที่ไม่มีสี

สมบัติทางกายภาพ

จุดเดือด: -252.8 องศาเซลเซียส

จุดหลอมเหลว: -259.2 องศาเซลเซียส

ขีดจำกัดที่เกิดระเบิดในอากาศ:

ส่วนบน ร้อยละ 74.2 โดยปริมาตร

ส่วนล่าง ร้อยละ 4 โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่ลุกติดไฟได้เอง: 1060 องศาฟาเรนไฮต์ (570 องศาเซลเซียส)

ความหนาแน่นไอ: .07 ที่ 21 องศาเซลเซียส

หมวด 10. ความเสถียรและความว่องไวต่อปฏิกิริยา

ความเข้ากันไม่ได้

เก็บให้ห่างจากความร้อนและแสงอาทิตย์โดยตรง.

ตัวออกซิไดซ์

หมวด 11. ข้อมูลทางพิษวิทยา

ผลกระทบเฉียบพลัน

อาจเป็นอันตราย.

การได้รับสารสามารถก่อให้เกิด:

คลื่นเหียน เวียนศีรษะและปวดศีรษะ

ข้อมูลเพิ่มเติม

ไฮโดรเจนที่ความเข้มข้นสูง จะทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดภาวะขาดอากาศหายใจ (asphyxia) โดยการแทนที่อากาศ อาการต่างๆ ของการได้รับสารอาจประกอบด้วยอาการปวดศีรษะ ความล้า อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น เวียนศีรษะ กล้ามเนื้อไม่ประสานกัน คลื่นเหียน อาเจียนและหมดสติ.

RTECS #: MW8900000

ไฮโดรเจน

แสดงเฉพาะความเป็นพิษของสารเคมีที่เลือกมาจากข้อมูลของ RTECS หากต้องการข้อมูลสมบูรณ์ ให้ดูข้อมูลจริงที่นำเข้าสู่ฐานของ RTECS

หมวด 12. ข้อมูลเชิงนิเวศน์

ไม่มีข้อมูล

หมวด 13. มาตรการการกำจัด

ข้อควรระวัง: ไม่รับคืนถึงบรรจุ.

ห้ามนำกลับมาใช้ใหม่

ถึงแก่เปลี่ยนแปลงจะมีสิ่งตกค้างซึ่งเป็นอันตราย.

ปฏิบัติตามวิธีกำจัดที่เหมาะสม.

ปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ว่าด้วยสิ่งแวดล้อมของประเทศ ของรัฐ และของท้องถิ่น.

หมวด 14. ข้อมูลการขนส่ง

ติดต่อบริษัท ALDRICH เพื่อขอข้อมูลเกี่ยวกับการขนส่ง.

หมวด 15. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

ข้อมูลทางยุโรป

EC INDEX NO: 001-001-00-9

EXTREMELY FLAMMABLE

R 12 สารไวไฟสูงมาก

S 9 เก็บในสถานที่ที่มีอากาศถ่ายเทดี

S 16 เก็บให้ห่างจากแหล่งที่มีสารติดไฟ-ห้ามสูบบุหรี่

S 33 ระมัดระวังในการตรวจวัดประจุไฟฟ้าสถิต

หมวด 16. ข้อมูลอื่น

ข้อมูลความปลอดภัยข้างต้นเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้แต่อาจจะไม่สมบูรณ์ และใช้ได้ในลักษณะข้อแนะนำ บริษัทผู้ผลิตไม่สามารถรับผิดชอบต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้หรือการสัมผัสผลิตภัณฑ์ข้างต้น ให้ดูด้านหลังของใบส่งสินค้าหรือแผ่นข้อความที่ระบุการบรรจุเพื่อดูความหมายเพิ่มเติมและเงื่อนไขการจำหน่าย

สงวนลิขสิทธิ์ 1999 SIGMA-ALDRICH CO.

อนุญาตให้พิมพ์สำเนาในรูปกระดาษจำนวนไม่จำกัดหากเป็นการผลิตเพื่อใช้เฉพาะในหน่วยงาน

ง-2 ก๊าซออกซิเจน

หมวด 1. ข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีและบริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

CATALOG #: 00476

ชื่อ: OXYGEN, PRESSURE TIN WITH 1 L

หมวด 2. องค์ประกอบ/ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสม

CAS #: 7782-44-7

EC NO: 231-956-9

หมวด 3. ข้อมูลเกี่ยวกับอันตราย

ข้อความบนฉลากเกี่ยวกับข้อควรระวัง

ออกซิไดซ์

เมื่อถูกกับสารไหม้ไฟได้ อาจทำให้เกิดไฟไหม้

อันตราย: แก๊สออกซิไดซ์ความดันสูง.

เก็บให้ห่างจากวัสดุซึ่งไหม้ไฟได้.

สวมชุดป้องกัน ถุงมือและอุปกรณ์ป้องกันตาและหน้าที่เหมาะสม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมวด 4. มาตรการปฐมพยาบาล

เมื่อกลืนกิน ให้ใช้น้ำบ้วนปากในกรณีที่ผู้ป่วยที่ยังมีสติอยู่ ไปพบแพทย์.

ถ้าสูดดมเข้าไป ให้ย้ายผู้ป่วยไปที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์

ถ้าเริ่มหายใจลำบาก ให้ตามแพทย์มา.

ในกรณีที่ถูกผิวหนัง ให้ล้างออกด้วยน้ำปริมาณมาก เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที. ถอดเสื้อผ้าและรองเท้าที่เปื้อนสาร. ไปพบแพทย์.

ในกรณีที่เข้าตา ให้ล้างด้วยน้ำปริมาณมาก เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที. ต้องแน่ใจว่าได้ล้างตาอย่างเพียงพอ โดยใช้นิ้วมือแยกเปลือกตาออกจากกันระหว่างล้าง. ไปพบแพทย์.

หมวด 5. มาตรการการผจญเพลิง

สารดับเพลิง

คาร์บอนไดออกไซด์ ผงเคมีแห้ง หรือโฟมที่เหมาะสม.

ขั้นตอนพิเศษในการผจญเพลิง

สวมเครื่องช่วยหายใจแบบครบชุดและเสื้อผ้าที่ใช้ป้องกัน เพื่อป้องกันการสัมผัสกับผิวหนังและดวงตา.

อันตรายจากไฟและการระเบิด

ช่วยให้เกิดการเผาไหม้อย่างมาก.

ปล่อยควันพิษออกมาภายใต้สภาวะที่เกิดไฟ.

การสัมผัสกับสารอื่นๆ อาจก่อให้เกิดไฟได้.

อาจเร่งการเผาไหม้.

ภาชนะอาจเกิดการระเบิดขึ้นได้ หากอยู่ในสภาวะที่มีไฟ.

หมวด 6. มาตรการเมื่อมีอุบัติเหตุสารหกรั่วไหล

ให้ดูดซับบนทรายหรือเวอร์มิคูไลต์และบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิทสำหรับนำไปกำจัด. ระบายอากาศในบริเวณนั้น และล้างตำแหน่งที่สารหกรั่วไหลหลังจากเก็บสารออกหมดแล้ว. อพยพคนออกจากบริเวณ.

สวมเครื่องช่วยหายใจ รองเท้ายางหุ้มข้อและถุงมืออย่างหนาๆ.

หมวด 7. การจัดการและการเก็บรักษา

อ้างถึงหมวดที่ 8.

หมวด 8. การควบคุมการสัมผัสสาร/ การป้องกันส่วนบุคคล

สารนี้บรรจุอยู่ภายใต้ความดัน.

อย่าหายใจเอาไอระเหยเข้าไป.

ระวังอย่าให้เข้าตา โดนผิวหนัง หรือเสื้อผ้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลีกเลี่ยงการได้รับสารเป็นเวลานานหรือซ้ำหลายครั้ง.

เก็บให้ห่างจากวัสดุซึ่งไหม้ไฟได้ รวมทั้ง ความร้อน ประกายไฟและเปลวไฟ.
ปิดให้สนิท.

เก็บในที่แห้งและเย็น.

ใช้ในตู้ดูดควันสำหรับสารเคมีเท่านั้น.

ผักบัวอาบน้ำ และล้างตา.

เครื่องกรองอากาศที่ได้รับการรับรองโดย NIOSH/MSHA.

ถุงมือทนสารเคมีที่เหมาะสม.

แว่นตาแบบก๊อกเกลิลส์ที่ป้องกันสารเคมี.

ล้างให้สะอาดหลังการใช้งาน.

ถอดเสื้อผ้าที่เปื้อนออกและซักทันที.

หมวด 9. สมบัติทางเคมีและกายภาพ

ลักษณะทางเคมีและกลิ่น

เกิดภายใต้ความดัน

สมบัติทางกายภาพ

จุดเดือด: -183 องศาเซลเซียส

จุดหลอมเหลว: -218 องศาเซลเซียส

ความหนาแน่นไอส: 1.11 กรัมต่อลิตร

หมวด 10. ความเสถียรและความไวต่อปฏิกิริยา

ความเสถียร

เสถียร.

ความเข้ากันไม่ได้

สารอินทรีย์

โลหะที่เป็นผงละเอียด

การเผาไหม้หรือผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวที่เป็นอันตราย

คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์

ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันซึ่งเป็นอันตราย

จะไม่เกิด.

หมวด 11. ข้อมูลทางพิษวิทยา

ผลกระทบเฉียบพลัน

การหายใจเอาออกซิเจนปริมาณเข้มข้น (มากกว่าร้อยละ 75 โดยโมล) เข้าไป ก่อให้เกิดอาการเนื่องจากการมีออกซิเจนมากเกินไปในระบบร่างกาย ซึ่งรวมถึงตะคริว คลื่นเหียน เวียนศีรษะ อุณหภูมิของร่างกายลดเกินกว่าปกติ ตามัว หายใจลำบาก หัวใจเต้นช้ากว่าปกติ การเป็นลมและชัก อาจทำให้ถึงแก่ความตายได้.

อาจเป็นอันตราย.

อาจทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง.

อาจเป็นอันตรายหากถูกดูดซึมผ่านผิวหนัง.

อาจทำให้เกิดการระคายเคืองดวงตา.

อาจเป็นอันตรายหากสูดดม.

สารนี้อาจจะทำให้เกิดการระคายเคืองที่แผ่นเยื่อเมือก และบริเวณทางเดินหายใจส่วนบน.

อาจเป็นอันตรายหากกลืนกิน.

RTECS #: RS2060000

ออกซิเจน

แสดงเฉพาะความเป็นพิษของสารเคมีที่เลือกมาจากข้อมูลของ RTECS หากต้องการข้อมูลสมบูรณ์ ให้ดูข้อมูลจริงที่นำเข้าไปในฐานข้อมูลของ RTECS.

หมวด 12. ข้อมูลเชิงนิเวศน์

ไม่มีข้อมูล.

หมวด 13. มาตรการการกำจัด

ข้อควรระวัง: ไม่รั่วคืนถึงบรรจุ.

ห้ามนำกลับมาใช้ใหม่

ถังแก๊สเปล่าจะมีสิ่งตกค้างซึ่งเป็นอันตราย.

ปฏิบัติตามวิธีการกำจัดที่เหมาะสม.

ในการกำจัดสารติดต่อผู้ให้บริการกำจัดขยะซึ่งมีใบประกอบอาชีพ.

ปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ว่าด้วยสิ่งแวดล้อมของประเทศ ของรัฐและของท้องถิ่น.

หมวด 14. ข้อมูลการขนส่ง

ติดต่อบริษัท FLUKA เพื่อขอข้อมูลเกี่ยวกับการขนส่ง.

หมวด 15. ข้อมูลเกี่ยวกับข้อกำหนด

ข้อมูลทางยุโรป

EC INDEX NO: 008-001-00-8

ออกซีไดร์

R 8 อาจติดไฟได้เมื่อสัมผัสกับวัตถุเชื้อเพลิง

S 17 เก็บให้ห่างจากวัสดุที่ไหม้ไฟได้

หมวด 16. ข้อมูลอื่น

ข้อมูลความปลอดภัยข้างต้นเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้แต่อาจจะไม่สมบูรณ์ และใช้ได้ในลักษณะขอแนะนำ บริษัทผู้ผลิตไม่สามารถรับผิดชอบต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้หรือการสัมผัสผลิตภัณฑ์ข้างต้น ให้ดูด้านหลังของใบส่งสินค้าหรือแผ่นข้อความที่ระบุการบรรจุเพื่อดูความหมายเพิ่มเติมและเงื่อนไขการจำหน่าย

สงวนลิขสิทธิ์ 1999 SIGMA-ALDRICH CO.

อนุญาตให้พิมพ์สำเนาในรูปกระดาษจำนวนไม่จำกัดหากเป็นการผลิตเพื่อใช้เฉพาะในหน่วยงาน

