

การศึกษาระบบเซลล์เชื้อเพลิง
A STUDY OF FUEL CELL SYSTEM



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การศึกษาาระบบเซลล์เชื้อเพลิง
A STUDY OF FUEL CELL SYSTEM



b.00265851
i.....

TB00210

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF FUEL CELL SYSTEM



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาระบบเซลล์เชื้อเพลิง
 A Study of Fuel Cell System

ชื่อนักศึกษา นางสาวกนกวรรณ สิ้นสวัสดิ์ รหัสนักศึกษา 55051440
 นายประภาส ขอบรัมย์ รหัสนักศึกษา 55051544
 นายศักรินทร์ อ่อนสิงห์ รหัสนักศึกษา 55051619

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
 ภาควิชา ฟิสิกส์
 ปีการศึกษา 2558
 อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กมลปัญญา สุวรรณสุขโข

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
 ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการ	ลายมือชื่อ
อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ประธานกรรมการ	
รศ.วิจิต ศรีโชติ กรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการ	พิศาล สุขวิสูตร
ดร.กมลปัญญา สุวรรณสุขโข กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาระบบเซลล์เชื้อเพลิง	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกนกวรรณ สิ้นสวัสดิ์	รหัสนักศึกษา 55051440
	นายประภาส ขอบรัมย์	รหัสนักศึกษา 55051544
	นายศักรินทร์ อ่อนสิงห์	รหัสนักศึกษา 55051619
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)	
ภาควิชา	ฟิสิกส์	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2558	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กมลปัญญา สุวรรณสุขโข	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ ทำการศึกษาเพื่อออกแบบและประดิษฐ์ระบบเซลล์เชื้อเพลิงรวมถึงอิเล็กทรอนิกส์ตัวนำแบบ เพื่อวัดกำลังไฟฟ้าของระบบ โดยการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและวัดกำลังไฟฟ้า ซึ่งในโครงการพิเศษฉบับนี้ได้ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจนและออกซิเจน โดยใช้ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ คือ 193.5 กรัม 387 กรัม และ 774 กรัม ในการทดลองจ่ายไฟให้กับระบบเท่ากับ 1A และ 3A จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ 387 กรัม ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 14 mW

คำสำคัญ : แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพ เซลล์เชื้อเพลิง อิเล็กทรอนิกส์ตัวนำ

Title	A Study of Fuel Cell System	
Students	Miss Kanokwan Sinsawat	Student ID 55051440
	Mr.Prapas Chobram	Student ID 55051544
	Mr.Sakkarin Oosing	Student ID 55051619
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2015	
Advisor	Dr.Kajpanya Suwansukho	

Abstract

This special project was studied to invent fuelcell and electrolyzer system. The experiment is measured electrical power by measured electrical voltage and current directly from fuelcell. The condition experiment are varying potassium hydroxide(KOH) content of 193.5g, 387.0g, 744.0g and current of 1A and 3A respectively . The result show that KOH content at 387.0g has maximum power of 14.43 mV

Keywords : Voltage, Power, Performance, Fuelcell, Electrolyzer

กิตติกรรมประกาศ

สำหรับความสำเร็จของโครงการพิเศษฉบับนี้ ข้าพเจ้าต้องขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ดร. กาจปัญญา สุวรรณสุขุโข สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้ชี้แนะแนวทางการทำงานวิจัย การช่วยเหลือแก้ไขในส่วนที่ไม่เข้าใจและคอยผลักดันให้งานได้ดำเนินต่อไปจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่เป็นกรรมการ คอยให้ความรู้และแนะนำข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อที่จะนำไปแก้ไขให้ดีขึ้น

ขอขอบคุณงานวิจัยและเอกสารอ้างอิง และทำการศึกษา จนทำให้เกิดความสนใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งคาดว่ารายงานโครงการพิเศษนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจในด้านพลังงานทดแทน

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้คำปรึกษา ตลอดจนการช่วยเหลือในด้านต่างๆ ที่ทำให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการทำงาน

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือและให้คำแนะนำ รวมถึงบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามทุกท่านที่ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำรายงานฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ

กนกวรรณ สิ้นสวัสดิ์
ประภาส ขอบรัมย์
ศักรินทร์ อ่อนสิงห์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อและสัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง	3
2.2 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง (Types of Fuel Cell)	3
2.2.1 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลคาไลน์ (AFC : alkaline fuel cell)	3
2.2.2 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก (PAFC : phosphoric acid fuel cell)	4
2.2.3 เซลล์เชื้อเพลิงชนิด มอลเทนคาร์บอเนต (MCFC : molten carbonate fuel cell)	4
2.2.4 เซลล์เชื้อเพลิงชนิด ออกไซด์ ที่เป็นของแข็ง (SOFC : solid oxide fuel cell)	4
2.2.5 เซลล์เชื้อเพลิงชนิด โพลีเมอร์อิเล็กโตรไลต์เมมเบรน (Polymer Electrolyte Membrane (PEM) Fuel Cells)	4
2.3 ตารางแสดงประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	5
2.4 เซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโตรไลต์เมมเบรน	7
2.4.1 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโตรไลต์เมมเบรน(PEM)	7
2.4.2 เมมเบรน	9
2.4.3 ขั้วไฟฟ้า (Electrode)	9
2.4.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)	10
2.4.5 แผ่นสะสมกระแส (Current Collector Plate)	10

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.5 การประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิง	11
2.5.1 เซลล์เชื้อเพลิงสำหรับการขนส่ง (Transportation Fuel Cell)	11
2.5.2 เซลล์เชื้อเพลิงแบบพกพา (Portable Fuel Cell)	12
2.5.3 เซลล์เชื้อเพลิงแบบประจำที่ (Stationary Fuel Cell)	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	16
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	16
3.1.1 เซลล์เชื้อเพลิง	16
3.1.2 อิเล็กโทรไลต์เซอร์	20
3.2 การออกแบบและประกอบเซลล์เชื้อเพลิงและอิเล็กโทรไลต์เซอร์	23
3.2.1 การออกแบบและประกอบเซลล์เชื้อเพลิง PEM	23
3.2.2 การออกแบบและประกอบอิเล็กโทรไลต์เซอร์	26
3.3 การจัดอุปกรณ์และวิธีการทดลอง	32
3.3.1 การทดลองเพื่อวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง	36
3.3.2 การทดลองเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ จากตัวต้านทาน (R-Box)	39
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการอภิปรายผล	42
4.1 ผลการทดลอง	42
ตอนที่ 1 การทดลองเพื่อวัดค่าความต่างศักย์ ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง	42
ตอนที่ 2 การทดลองเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ จากตัวต้านทาน (R-Box)	61
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	79
5.1 สรุปผลการวิจัย	79
5.2 ข้อเสนอแนะ	80
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 วิธีการดำเนินงาน	2
2.1 ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	5
4.1 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ครั้งที่ 1 ใส่ขั้วทองแดง ใช้เวลาวัด 60 นาที KOH 38.7 %	42
4.2 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ครั้งที่ 2 ใส่ขั้วทองแดง ใช้เวลาวัด 60 นาที KOH 38.7 %	43
4.3 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ครั้งที่ 3 ใส่ขั้วทองแดง ใช้เวลาวัด 60 นาที KOH 38.7 %	43
4.4 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ใส่ขั้วทองแดงใช้เวลาวัด 60 นาที KOH 38.7 %	45
4.5 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ถอดขั้วทองแดงใช้เวลาวัด 60 นาที KOH 38.7 %	46
4.6 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ถอดขั้วทองแดงใช้เวลาวัด 60 นาที KOH 38.7 %	46
4.7 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ถอดขั้วทองแดงใช้เวลาวัด 120 นาที KOH 38.7 %	48
4.8 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ถอดขั้วทองแดงใช้เวลาวัด 120 นาที KOH 38.7 %	49
4.9 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ใช้เวลาวัด 60 นาที KOH 19.35 %	51
4.10 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ใช้เวลาวัด 60 นาที KOH 19.35 %	51
4.11 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ใช้เวลาวัด 120 นาที KOH 19.35 %	53
4.12 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ใช้เวลาวัด 120 นาที KOH 19.35 %	54
4.13 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ใช้เวลาวัด 60 นาที KOH 77.4 %	56
4.14 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ใช้เวลาวัด 60 นาที KOH 77.4 %	56
4.15 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ใช้เวลาวัด 120 นาที KOH 77.4 %	58
4.16 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ใช้เวลาวัด 120 นาที KOH 77.4 %	59
4.17 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 1 KOH 38.7 %	61
4.18 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 2 KOH 38.7 %	63
4.19 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 3 KOH 38.7 %	65
4.20 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 1 KOH 19.35 %	67
4.21 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 2 KOH 19.35 %	69
4.22 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 3 KOH 19.35 %	71
4.23 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 1 KOH 77.4 %	73
4.24 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 2 KOH 77.4 %	75
4.25 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 3 KOH 77.4 %	77

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบเซลล์เชื้อเพลิง	6
2.2 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโตรไลต์เมมเบรน(PEM)	8
2.3 อุปกรณ์แยกน้ำด้วยไฟฟ้าแบบแอลคาไลน์ (ก) ข้าวเดียว (ข) ข้าวคู่	11
2.4 แสดง Think hydrogen hybrid จากบริษัท Think Nordic	12
2.5 แสดงอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องคอมพิวเตอร์พกพาของ NEC (บน), เครื่องเล่นเพลงของ Toshiba(กลาง) และเครื่องชาร์จไฟฟ้าแบบพกพาของ Voller (ล่าง)	12
2.6 Fronius Energy Cell 25F	13
2.7 Large hydrogen fuel-cell generator	14
3.1 แสดงลักษณะแผ่นเมมเบรนสารอิเล็กโตรไลต์ PEM	16
3.2 แสดงลักษณะและขนาดของแผ่นซิลิโคน	16
3.3 แสดงลักษณะท่อนำแก๊ส	17
3.4 แสดงลักษณะของขั้วไฟฟ้า	17
3.5 แสดงลักษณะของแผ่นทองแดง	18
3.6 แสดงลักษณะของท่อหด	18
3.7 แสดงลักษณะของน็อต	19
3.8 แสดงลักษณะของแผ่นสะสมกระแส	19
3.9 แสดงลักษณะของท่อ PVC และฝาปิดท่อ PVC	20
3.10 แสดงลักษณะแผ่นทองแดง	20
3.11 แสดงลักษณะของแผ่นยางกันรั่ว	21
3.12 แสดงลักษณะน็อตตัวผู้ตัวเมีย	21
3.13 แสดงลักษณะจุลพลาสติกนำแก๊ส	22
3.14 แสดงลักษณะท่อพลาสติกนำแก๊ส	22
3.15 การออกแบบเซลล์เชื้อเพลิง	23
3.16 แผ่นPVC ที่ติดขั้วทองแดง	23
3.17 แผ่นสะสมกระแสที่ติดแผ่นเมมเบรนแล้ว	24
3.18 แผ่นสะสมกระแสที่ประกอบเข้าแผ่นPVC ขั้วไฟฟ้า	24
3.19 น็อตขนาด M4×40 ที่สวมท่อหด	25
3.20 เซลล์เชื้อเพลิงที่ยึดเข้าด้วยกันเรียบร้อยแล้ว	25
3.21 เซลล์เชื้อเพลิงที่ใส่ท่อนำแก๊สขนาดเล็ก	26
3.22 การออกแบบอิเล็กโตรไลเซอร์	26

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 แสดงการเจาะรู	27
3.24 ฝาปิดกระบอกด้านล่าง	27
3.25 การพับแผ่นทองแดง	28
3.26 การทำขั้วแคโทด	28
3.27 ฝาปิดกระบอกด้านบน	29
3.28 การใส่แผ่นทองแดง และการเจาะรู	29
3.29 การทำขั้วแอโนด	30
3.30 การประกอบขั้วเล็กโทรไลต์เซอร์	30
3.31 ใส่จุกนำแก๊ส	31
3.32 แสดงการต่อสายขั้วนำแก๊ส	31
3.33 แสดงลักษณะโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	32
3.34 แสดงลักษณะบีกเกอร์	32
3.35 แสดงลักษณะ Power supply	33
3.36 แสดงลักษณะกรวยแยก	33
3.37 แสดงลักษณะของแอมมิเตอร์	34
3.38 แสดงลักษณะของโวลต์มิเตอร์	34
3.39 แสดงลักษณะของสายไฟ	35
3.40 แสดงลักษณะของ R-Box	35
3.41 การจัดการอุปกรณ์เพื่อวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง	36
3.42 แสดงบล็อกไดอะแกรมวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง	36
3.43 แสดงลักษณะขั้วทองแดงที่ถูกทำปฏิกิริยา	38
3.44 การจัดการอุปกรณ์ทดลองเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์จากตัวต้านทาน (R-Box)	39
3.45 แสดงบล็อกไดอะแกรมวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากตัวต้านทาน (R-Box)	40
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(60 นาที) KOH 387 กรัม ใส่ขั้วทองแดง กระแส 1 A	44
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(60 นาที) KOH 387 กรัม ใส่ขั้วทองแดง กระแส 3 A	45
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(60 นาที) KOH 387 กรัม ถอดขั้วทองแดง กระแส 1 A กับกระแส 3 A	47

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(120 นาที) KOH 387 กรัม ถอดขั้วทองแดง กระแส 1 A กับกระแส 3 A	50
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(60 นาที) KOH 193.5 กรัม ถอดขั้วทองแดง กระแส 1 A กับกระแส 3 A	52
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(120 นาที) KOH 193.5 กรัม ถอดขั้วทองแดง กระแส 1 A กับกระแส 3 A	55
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(60 นาที) KOH 774 กรัม ถอดขั้วทองแดง กระแส 1 A กับกระแส 3 A	57
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(120 นาที) KOH 774 กรัม ถอดขั้วทองแดง กระแส 1 A กับกระแส 3 A	60
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA)กับความต่างศักย์ (mV) KOH 387 กรัม ครั้งที่ 1	62
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA)กับความต่างศักย์ (mV) KOH 387 กรัม ครั้งที่ 2	64
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA)กับความต่างศักย์ (mV) KOH 387 กรัม ครั้งที่ 3	66
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA)กับความต่างศักย์ (mV) KOH 193.5 กรัม ครั้งที่ 1	68
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA)กับความต่างศักย์ (mV) KOH 193.5 กรัม ครั้งที่ 2	70
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA)กับความต่างศักย์ (mV) KOH 195.5 กรัม ครั้งที่ 3	72
4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA)กับความต่างศักย์ (mV) KOH 774 กรัม ครั้งที่ 1	74
4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA)กับความต่างศักย์ (mV) KOH 774 กรัม ครั้งที่ 2	76
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA)กับความต่างศักย์ (mV) KOH 774 กรัม ครั้งที่ 3	78

คำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อและสัญลักษณ์	คำอธิบาย
H	ไฮโดรเจน
O	ออกซิเจน
KOH	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
C	องศาเซลเซียส
Kw	กิโลวัตต์
Mw	เมกะวัตต์
μm	ไมโครเมตร
V	ความต่างศักย์ไฟฟ้า
P	กำลังไฟฟ้า
I	กระแสไฟฟ้า
A	หน่วยของกระแสไฟฟ้า
W	หน่วยของกำลังไฟฟ้า
Ω	หน่วยของตัวต้านทาน
m	หน่วยเป็นเมตร
mm	หน่วยเป็นมิลลิเมตร
Inch	หน่วยเป็นนิ้ว
Min	หน่วยเป็นนาที
PEM	เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนอนุภาคโปรตอน
AFC	เซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลคาไลน์
PAFC	เซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก
MCFC	เซลล์เชื้อเพลิงชนิดมอลเทนคาร์บอนेट
SOFC	เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ที่เป็นของแข็ง
CHP	ระบบ Combine Heat and Power
PVC	พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเชื้อเพลิงธรรมชาติ นั้นมีความต้องการเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก แต่ในทางเป็นจริงเชื้อเพลิงธรรมชาตินั้นกำลังจะหมดลง ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งต้องใช้เวลามากในการสร้างขึ้นใหม่ และยังเป็นอีกสาเหตุหนึ่งของสภาวะโลกร้อน หลายๆประเทศจึงได้หันมาใช้พลังงานทางเลือก หรือพลังงานทดแทนหมุนเวียน เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงธรรมชาติ หนึ่งในนั้นคือเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ไฮโดรเจน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด และไม่ก่อมลพิษ

โครงการนี้จึงจัดทำเพื่อศึกษาโครงสร้าง และระบบการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน (PEM) โดยจะทำการประกอบเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อนำมาเป็นต้นแบบในการพัฒนาและปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM และอิเล็กโทรไลเซอร์
- 1.2.2 ศึกษาการออกแบบโครงสร้างเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM และอิเล็กโทรไลเซอร์
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงที่จะนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้จะนำเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM ที่มีจำหน่ายอยู่ตามท้องตลาดมาประกอบเข้ากับระบบและโครงสร้างที่ออกแบบขึ้นมาเอง โดยจะทำให้ระบบเซลล์เชื้อเพลิงนี้มีกำลังไฟฟ้า และทำระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้า เพื่อใช้ในการทดสอบระบบเซลล์เชื้อเพลิง

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการวิจัย	ปี 2558					ปี 2559			
	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย
1. ศึกษาเอกสารและโครงสร้าง	←	→							
2. ศึกษาการทำงานและการออกแบบเซลล์เชื้อเพลิง				←	→				
3. จัดหาอุปกรณ์และออกแบบ				←	→				
4. ทดลองและบันทึกผล							←	→	
5. รวบรวมข้อมูลทำเล่ม			←	→					→

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีความรู้และเข้าใจหลักการการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงและอิเล็กทรอนิกส์
- 1.5.2 มีความเข้าใจขั้นตอนในการทำงานและการออกแบบพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงและอิเล็กทรอนิกส์
- 1.5.3 ได้ต้นแบบระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิง คือ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ซึ่งลักษณะการทำงานคล้ายกับแบตเตอรี่ แต่มีข้อดีกว่าแบตเตอรี่ตรงที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องตรงเท่าที่มีการป้อนเชื้อเพลิงในรูปของเหลวหรือก๊าซเข้าไปอย่างสม่ำเสมอ และไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงคือ น้ำ และความร้อน ก๊าซที่ปล่อยออกจากเซลล์เชื้อเพลิง จะมีปริมาณของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ต่ำกว่าระดับมาตรฐานความปลอดภัยที่กำหนดโดยกองควบคุมมลพิษ

2.2 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง (Types of Fuel Cell)

เซลล์เชื้อเพลิงที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายชนิด แต่ละชนิดก็จะมีสภาวะการทำงานที่แตกต่างกันออกไป แล้วแต่โครงสร้างที่ผู้ผลิตได้ผลิตออกมา การแบ่งชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงอาจแบ่งโดยใช้ความดันของก๊าซที่เข้าไป หรือใช้อุณหภูมิการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง แต่สิ่งที่นิยมในการแบ่งประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง คือชนิดของอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งจะแบ่งเซลล์เชื้อเพลิงออกมาได้ดังนี้

2.2.1 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลคาไลน์ (AFC : alkaline fuel cell)

มีอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เป็น KOH ความเข้มข้น 35 – 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 60 – 90 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันบรรยากาศ เซลล์ชนิดนี้ใช้ นิกเกิล (nickel) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับแอโนด (anode) และใช้ ลิเทียมนิกเกิลออกไซด์ (lithiated nickel oxide) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับแคโทด (cathode) และเนื่องจากอุณหภูมิทำงานของเซลล์ชนิดนี้ต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ น้ำที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จึงอยู่ในสถานะของเหลว ไม่มีก๊าซ ดังนั้นการจัดการเอาน้ำออกจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องระมัดระวัง เพราะน้ำที่เกิดจะทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์ลดลงได้ โดยส่วนมากแล้ว เซลล์เชื้อเพลิง ชนิดนี้ยมนำมาใช้ในงานทางด้านอวกาศ เช่น เป็นพลังงานในการขับเคลื่อนยานอวกาศ

2.2.2 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก (PAFC : phosphoric acid fuel cell)

มีกรดฟอสฟอริกเข้มข้นถูกนำมาใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์ชนิดนี้ อุณหภูมิทำงานอยู่ในช่วง 160 – 220 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้กรดฟอสฟอริกจะเป็นตัวนำไอออนที่ไม่ดี และเนื่องจากอุณหภูมิทำงานของเซลล์นี้เกินจุดเดือดของน้ำ การจัดการน้ำจึงไม่ใช่เรื่องยากเพราะน้ำที่เกิดขึ้นอยู่ในสถานะก๊าซอยู่แล้วเพียงแต่จัดการกับระบบนำก๊าซออกให้ดีก็เพียงพอเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ นิยมนำมาใช้ในโรงไฟฟ้าขนาด 5 – 20 MW และโรงไฟฟ้าโคเจนเนอเรชันขนาด 50 – 1000 kW

2.2.3 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดมอลเทนคาร์บอเนต (MCFC : molten carbonate fuel cell)

มีอิเล็กโทรไลต์ของเซลล์ชนิดนี้เป็นส่วนผสมของอัลคาไลน์ คาร์บอเนต (alkaline carbonate) ซึ่งฝังอยู่ในลิเทียมอะลูมิเนียมเมทริก (lithium aluminate matrix) อุณหภูมิทำงานของเซลล์ชนิดนี้ประมาณ 600 – 700 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้อัลคาไลน์คาร์บอเนต สร้างเกลือซึ่งมีสภาพนำประจุดีมาก ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาใช้เงินนิกเกิล สำหรับแอโนด และ นิกเกิลออกไซด์ (nickel oxide) สำหรับแคโทด โดยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จะมีการใช้งานที่คล้ายกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิด กรดฟอสฟอริก แต่ในอนาคตคาดว่าจะมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำมาใช้งานแทนเซลล์เชื้อเพลิงชนิด กรดฟอสฟอริก

2.2.4 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์ที่เป็นของแข็ง (SOFC : solid oxide fuel cell)

มีอิเล็กโทรไลต์ของเซลล์ชนิดนี้เป็นของแข็ง เป็นออกไซด์ของโลหะที่ไม่มีรูพรุน โดยปกติใช้ $Y_2O_3 - Stabilized ZrO_2$ (zirconia) เซลล์นี้ทำงานที่อุณหภูมิ 650 – 1000 องศาเซลเซียส เซลล์เชื้อเพลิงชนิด ออกไซด์ ที่เป็นของแข็ง นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนมาก

2.2.5 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน (Polymer Electrolyte Membrane (PEM) Fuel Cells)

หรือเรียกว่าเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนอนุภาคโปรตอน (Proton Exchange Membrane) เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ทำงานที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำคือประมาณ 50 – 80 องศาเซลเซียส โดยใช้เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน เป็นอิเล็กโทรไลต์และมีแพลตตินัม (Platinum) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ทำงานภายใต้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำจึงมีปัญหาในเรื่องของการจัดการนำน้ำออกจากเซลล์ เพราะน้ำที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จะอยู่ในสถานะของเหลวซึ่งอาจจะตกค้างและทำให้พื้นผิวที่จะเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีภายในเซลล์ลดลง วิธีการนำน้ำส่วนนี้ออกจากเซลล์ทำได้โดยการให้อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนมากกว่าความต้องการของเซลล์ ในปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีความนิยมนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับยานยนต์ โดยเซลล์เชื้อเพลิงชนิด เมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน มีการทำงานที่อุณหภูมิต่ำ สามารถกำจัดน้ำออกจากระบบได้ง่าย มีประสิทธิภาพสูง มี power density สูง อายุการใช้งานยาวนาน

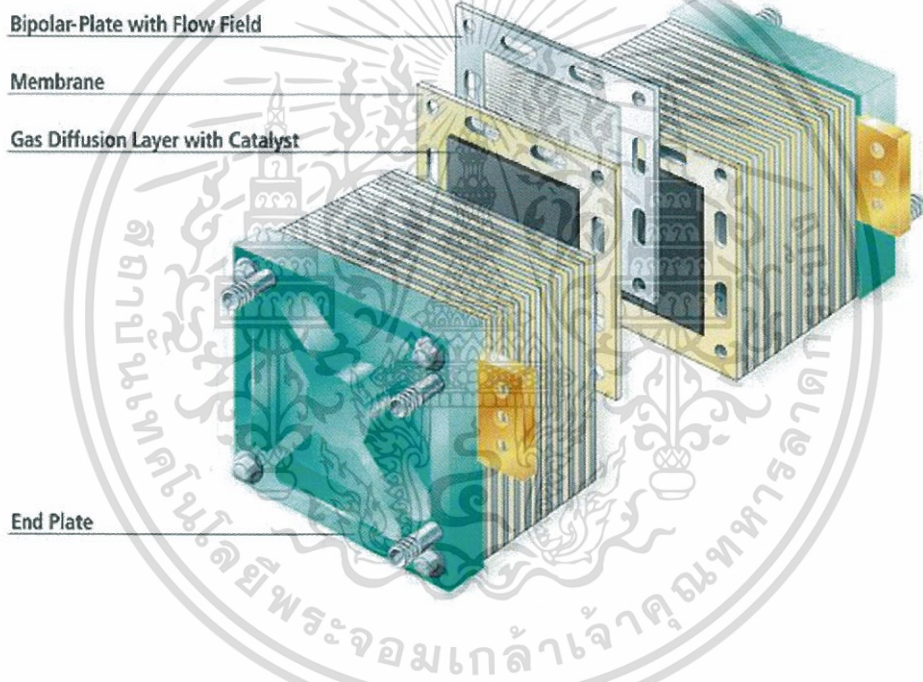
2.3 ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2.1 แสดงประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ประเภทของเซลล์เชื้อเพลิง	อิเล็กโทรไลต์	ทำงานที่อุณหภูมิ (°C)	การประยุกต์	ข้อดี	ข้อเสีย
เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน PEM	พอลิเมอร์	60 - 80	- การขนส่ง - ยานพาหนะ - โรงไฟฟ้า - อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เคลื่อนย้ายได้สะดวก	- ไม่ต้องใช้เวลาอุ่นเครื่อง - ใช้อุณหภูมิต่ำ - ไม่มีปัญหาการสึกกร่อนของอิเล็กโทรไลต์	- ไวต่อเชื้อเพลิงที่มีสิ่งปนเปื้อน
แอลคาไลน์ AFC	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	90 - 100	- การขนส่ง - ยานอวกาศ - เรือดำน้ำ	- ปฏิริยาที่แอโนดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว	- ไวต่อCO ₂ ทำให้สึกกร่อนง่าย
กรดฟอสฟอริก PAFC	กรดฟอสฟอริก (H ₃ PO ₄)	175 - 200	- การขนส่ง - โรงไฟฟ้าแบบความร้อนร่วม	- ประสิทธิภาพ 85% - ใช้ H ₂ ที่มีสิ่งเจือปนเป็นเชื้อเพลิงได้	- ใช้ Pt ซึ่งมีราคาแพงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา - ให้กระแสไฟฟ้าน้อย - ขนาดใหญ่
คาร์บอนเนตหลอมเหลว MCFC	โซเดียมคาร์บอเนต (Na ₂ CO ₃)	600 - 800	- โรงไฟฟ้าแบบความร้อนร่วม	- ประสิทธิภาพสูง - ปรับชนิดของเชื้อเพลิงได้หลายแบบ	- ใช้อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการสึกกร่อนและสารประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงเสียไป
ออกไซด์แข็ง SOFC	เซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO ₂)	600 - 1000	- โรงไฟฟ้าแบบความร้อนร่วม	- ประสิทธิภาพสูง - ตัวเร่งปฏิกิริยาราคาถูก	- ใช้อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการสึกกร่อนและสารประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงเสียไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์เชื้อเพลิงเซลล์เดี่ยวให้พลังงานไฟฟ้าออกมาไม่มากนัก ถ้าต้องการกำลังไฟฟ้ามากๆ ต้องนำเซลล์เชื้อเพลิงหลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็นห่อเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell stack) ซึ่งแสดงดังรูป 2.2 โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากห่อเซลล์เชื้อเพลิงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของห่อเซลล์ ซึ่งมีตั้งแต่ 2 - 3 วัตต์ จนถึง 1,000 กิโลวัตต์ หรือมากกว่า เซลล์เชื้อเพลิงที่มีกำลังมากๆ ขนาดหลายร้อยกิโลวัตต์ขึ้นไป สามารถใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับชุมชนได้ โรงไฟฟ้าประเภทนั้นนอกจากเซลล์เชื้อเพลิงแล้ว ยังมีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ อีก เช่น แบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า อุปกรณ์ควบคุม ตัวแปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ และเพิ่มศักย์ไฟฟ้า (electric potential) ให้สูงขึ้น ก่อนที่จะส่งเข้าสู่สายส่งเพื่อลดการสูญเสียกำลัง เมื่อถึงปลายทางจึงค่อยเปลี่ยนกลับเป็นศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำลงให้เหมาะสมกับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบเซลล์เชื้อเพลิง

ที่มา <http://www.thaifighterclub.org/webboard/9040/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน

เซลล์เชื้อเพลิงในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดทำงานต่างกันไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ พูดยังถึงเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน จากรูป 2.2 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนประกอบไปด้วยขั้วแอโนด (anode) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ให้ประจุลบกับเซลล์เชื้อเพลิง มีหน้าที่ส่งผ่านประจุอิเล็กตรอนหรือประจุไฟฟ้าลบบอกไปทางขั้วไฟฟ้า เมื่อต่อสายไฟกับขั้วไฟฟ้า ประจุไฟฟ้าจะไหลออกไป ส่วนก๊าซไฮโดรเจนที่ถูกดึงอิเล็กตรอนออกไป จะแสดงประจุบวก เรียกว่า โปรตอนแคโทด (cathode) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ให้ประจุบวกกับเซลล์เชื้อเพลิง มีหน้าที่ต่อเข้ากับสายไฟภายนอก รั่วอิเล็กตรอนมารวมกับอะตอมของก๊าซออกซิเจนกับไฮโดรเจนกลายเป็นโมเลกุลของน้ำ ตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นวัสดุพิเศษที่ช่วยให้ปฏิกิริยาใน ขั้นตอนต่างๆเกิดได้ดี โดยส่วนใหญ่จะเป็นผงแพลทินัมเคลือบอยู่บนเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ซึ่งจะมีลักษณะขรุขระเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน และอิเล็กโทรไลต์ ทาจากวัสดุต่าง ๆ เช่น สารละลาย แผ่นพลาสติก มีหน้าที่ค้ำยอุมให้ประจุบวกหรือโปรตอนเคลื่อนที่ผ่าน

2.4.1 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน(PEM)

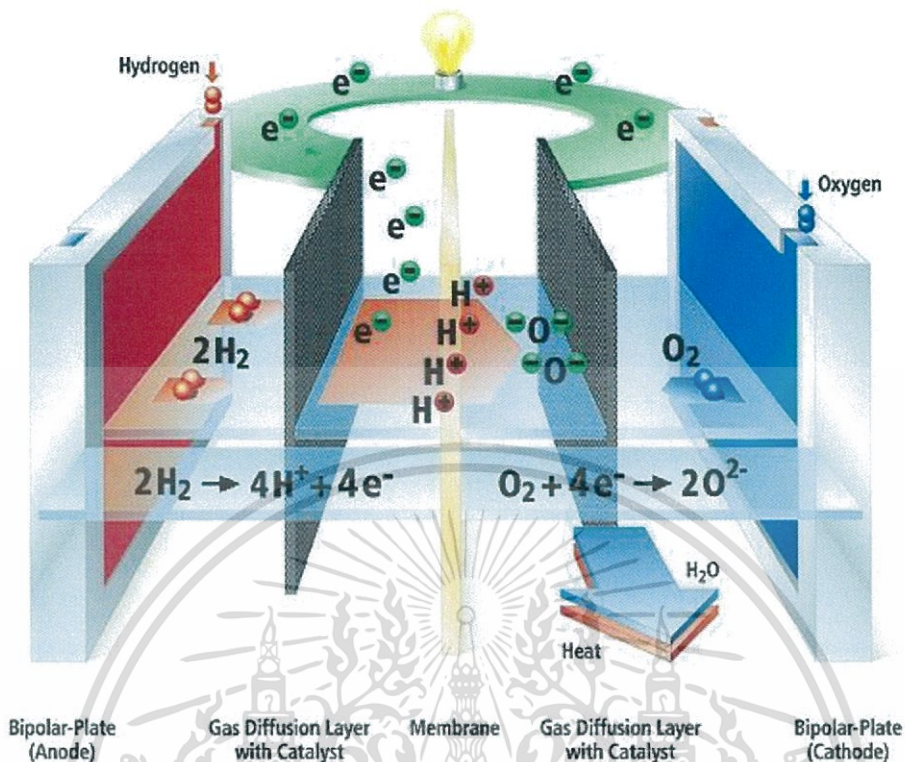
1. ตัวเร่งปฏิกิริยาบริเวณขั้วแอโนด (ขั้วลบ) จะทำหน้าที่แยกโมเลกุลไฮโดรเจน (H_2) เป็นโปรตอนของไฮโดรเจน (H^+) และอิเล็กตรอน (e^-) ดังสูตรเคมีต่อไปนี้



2. โปรตอน (H^+) จากขั้วแอโนดจะเคลื่อนตัวผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane) เพื่อไปยังขั้วแคโทด (ขั้วบวก) แต่ว่าจะบล็อกการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนดังกล่าวจะถูกดึงดูดไปยังขั้วแอโนด และจะต้องเคลื่อนที่ผ่านวงจรไฟฟ้า (electric circuit) เพื่อไปยังขั้วแคโทด โดยการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ

3. ขั้วแคโทด ที่ซึ่งมีโปรตอน (H^+) และอิเล็กตรอนที่เคลื่อนตัวมาจากขั้วแอโนดก็จะรวมออกซิเจนที่มาจากอากาศและได้ผลผลิตในรูปของน้ำ (H_2O)และความร้อน ดังสูตรเคมีต่อไปนี้





รูป 2.2 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์อิเล็กโตรไลต์เมมเบรน(PEM)

ที่มา http://www.proma.ac.th/main/chemistry/web_electrochemistry/fuel_cell_01.htm

สำหรับประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด โพลีเมอร์อิเล็กโตรไลต์เมมเบรน (PEM) มีปัจจัยหรือตัวแปรหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- (ก) ชนิดและความหนาของเมมเบรน
- (ข) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา
- (ค) ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา
- (ง) ชนิดและคุณสมบัติของชั้นการแพร่ของก๊าซ (gas diffusion layer)
- (จ) ความต้านทานไฟฟ้าขององค์ประกอบเซลล์เชื้อเพลิง
- (ฉ) ความต้านทานหน้าสัมผัส (contact resistance)
- (ช) รูปแบบของช่องทางเดินก๊าซ (gas flow field pattern)
- (ซ) เงื่อนไขในการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงประกอบด้วย อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และความชื้นของก๊าซที่เข้าทำปฏิกิริยา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 เมมเบรน

อิเล็กโทรไลต์ของเซลล์เชื้อเพลิงชนิด โพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน(PEM)จะมีลักษณะเป็น เมมเบรนพอลิเมอร์เหมือนพลาสติก มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน เนื่องจากมีกลุ่มของซัลโฟ นิก (sulfonic group) ประกอบอยู่ที่ปลายสายโซ่ของโมเลกุลพอลิเมอร์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโมเลกุลของ กรดเปอร์ฟลูออโรซัลโฟนิก (perfluorosulfonic acid) จึงมักเรียกพอลิเมอร์ชนิดนี้ว่าเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าแต่สามารถนำไอออนไฮโดรเจนได้ดี โดยคุณสมบัติของเมมเบรนพอลิเมอร์ที่ถูกใช้เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์เชื้อเพลิง มีดังต่อไปนี้

- (ก) มีค่าการนำไอออนสูงแต่มีค่าการนำอิเล็กตรอนต่ำ
- (ข) มีค่าการแพร่ของก๊าซต่ำ
- (ค) มีขนาดที่แน่นอน
- (ง) มีค่าความแข็งแรงเชิงกลสูง
- (จ) มีการแพร่ของน้ำต่ำ
- (ฉ) มีความต้านทานต่อการสูญเสียน้ำ (dehydration)
- (ช) มีความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชัน รีดักชันและไฮโดรไลซิส (hydrolysis)
- (ซ) มีค่าการถ่ายเทไอออนบวก (cation) สูง

2.4.3 ขั้วไฟฟ้า (Electrode)

ขั้วไฟฟ้าเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยแพลตตินัมที่ เกาะอยู่บนคาร์บอน ซึ่งเสริมความแข็งแรงด้วยผ้าหรือกระดาษคาร์บอน และใช้สารละลายอิมัลชันของเทฟลอน เป็นตัวเชื่อมยึดอนุภาคแพลตตินัมให้ติดอยู่บนคาร์บอน

การสร้างขั้วไฟฟ้าแบบที่มีชั้นตัวเร่งปฏิกิริยายึดติดบนเมมเบรนสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรกเป็นการทำขั้วไฟฟ้าแบบเก่าคือการใช้แพลตตินัมดำ (platinum black) มาอัดโดยใช้ความร้อนให้ติดลงไปโดยตรงบนแผ่นเมมเบรน โดยค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดมีค่าอยู่ระหว่างอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะแก้วและอุณหภูมิที่เกิดการเสื่อมสภาพ (degradation temperature) และอีกวิธีเป็นการทำขั้วไฟฟ้าแบบใหม่หรือแบบชั้นฟิล์มบาง (มีความหนา 4 – 5 μm) โดยการนำแพลตตินัมมาเกาะบนตัวรองรับคาร์บอนก่อนจากนั้นค่อยนำไปเกาะบนเมมเบรน โดยขั้วไฟฟ้าแบบชั้นฟิล์มบางให้สมรรถนะการทำงานที่ดีกว่าขั้วไฟฟ้าแบบที่ใช้แพลตตินัมดำ โดยเปรียบเทียบจากการใช้ไฮโดรเจนกับอากาศเป็นสารตั้งต้นและยังมีปริมาณการใช้แพลตตินัมที่น้อยกว่าถึง 10 เท่า

2.4.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

จากการศึกษาพลังงานเคมีหมายถึง ผลรวมของพลังงานในรูปแบบของ ความร้อน หรืองาน ในรูปแบบต่าง ๆ เมื่อมีสารเคมีตั้งต้นตั้งแต่ 2 สารขึ้นไปทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารใหม่ขึ้นมา เช่น กรณีของเซลล์เชื้อเพลิงเป็นปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจน ซึ่งถ้านำก๊าซทั้งสองมาผสมกันในอุณหภูมิปกติจะไม่เกิดปฏิกิริยาขึ้นเนื่องจากโมเลกุลมีความเสถียรมาก ยกเว้นแต่ถ้าจะมี บางสิ่งมาทำเป็นตัวกระตุ้นจึงจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ อย่างเช่น ให้ความร้อนระหว่างที่ก๊าซไฮโดรเจนผสมกับออกซิเจนหรือเติมสารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น โดยสารที่เติมลงไปนั้นไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลง สารที่ช่วยเร่งอัตราการ เกิดปฏิกิริยาได้โดยตัวเองไม่เปลี่ยนแปลงเป็นสารอื่นและปริมาณคงเดิมเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุด เรียกสารนั้นว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา

2.4.5 แผ่นสะสมกระแส (Current Collector Plate)

แผ่นสะสมกระแสเป็นองค์ประกอบในเซลล์ที่มีน้ำ หนักมากที่สุด โดยเฉพาะเมื่อประกอบเป็นชั้นเซลล์ซึ่งแผ่นสะสมกระแส เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าแผ่นช่องทางเดินก๊าซ (gas flow field plate) จะประกอบเป็นโครงสร้างหลักของชั้นเซลล์เชื้อเพลิง แผ่นสะสมกระแสมี 2 แบบ คือ bipolar plate และ unipolar plate โดยที่ bipolar plate จะคั่นอยู่ระหว่างเซลล์แต่ละเซลล์ที่ประกอบเป็น stack cell ซึ่งในแต่ละ bipolar plate จะทำ หน้าที่เป็นทั้งขั้วบวก และขั้วลบ ในเวลาเดียวกัน สำหรับ unipolar plate จะทำหน้าที่เป็นขั้วบวกหรือลบอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น

โดยหน้าที่หลักของแผ่นสะสมกระแส มีดังต่อไปนี้

- (ก) กระจายก๊าซเชื้อเพลิงและอากาศเข้าไปในพื้นที่ทำปฏิกิริยา
- (ข) ระบายความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา
- (ค) นำกระแสไฟฟ้าจากเซลล์ต่อเซลล์
- (ง) ป้องกันการรั่วของก๊าซข้ามเซลล์

การออกแบบแผ่นสะสมกระแสถือว่ามีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง เพราะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการกระจายตัวของก๊าซที่เข้าทำ ปฏิกิริยา ซึ่งถ้าเกิดการกระจายตัวของก๊าซไม่ดีภายในพื้นที่ทำปฏิกิริยา มีผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงลดลงพร้อมกับกำลังไฟฟ้าที่ให้ออกมาก็ต่ำลงด้วย และนอกจากการออกแบบรูปแบบของช่องทางเดินก๊าซ จะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแล้วยังมีผลต่อการจัดการน้ำ(water management) ภายในเซลล์ด้วย

2.5 การประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิง

การประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิงสามารถแบ่งออกได้หลายแบบ แต่เพื่อความสะดวกในการจัดประเภทของการประยุกต์ใช้งาน จึงขอแบ่งออกเป็น 3 ด้านดังนี้

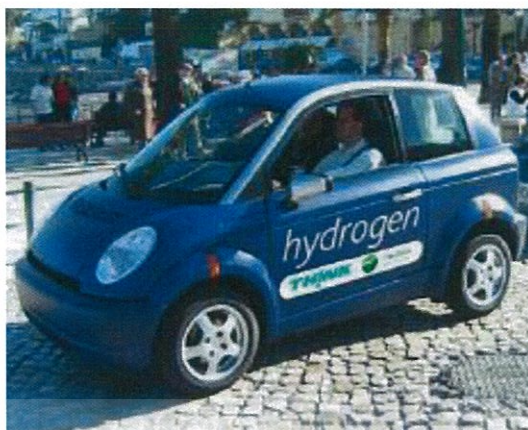
2.5.1 เซลล์เชื้อเพลิงสำหรับการขนส่ง (Transportation Fuel Cell)

ในปัจจุบันนั้นพบว่าผู้ผลิตรายยนต์ระดับใหญ่ของโลกต่างให้ความสำคัญกับการพัฒนา และวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพราะในแต่ละองค์กรเล็งเห็นถึงปัญหาการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงในอนาคต และต้องการพัฒนาศักยภาพของผลิตภัณฑ์ยานยนต์ให้สามารถตอบสนองต่อลูกค้าในการลดใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและหันมาใช้เซลล์เชื้อเพลิงแทนเครื่องยนต์แบบเดิม ซึ่งบริษัท Ford General Motor Daimler Chrysler Toyota และ Honda ที่สามารถนำเอารถยนต์แบบออกมาแสดงเพื่อเรียกความตื่นตาตื่นใจให้กับลูกค้า นอกจากนี้เชื่อว่าในอนาคตอันใกล้จะสามารถผลิตยานยนต์ที่สามารถรองรับการทำงานเซลล์เชื้อเพลิงแบบเต็มตัวโดยมีการสร้างถังเก็บไฮโดรเจนที่มีความปลอดภัยและสามารถนำมาประกอบกับตัวถังรถเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายก๊าซให้กับเซลล์เชื้อเพลิงได้ ซึ่งหากสามารถทำได้สำเร็จความคิดที่จะใช้เซลล์เชื้อเพลิงแทนเครื่องยนต์เบนซินหรือเครื่องยนต์ดีเซลคงจะเป็นจริงในอีกไม่นานนี้



รูปที่ 2.3 แสดง HyGenius B-Class FCV จากบริษัท Daimler Chrysler

ที่มา eworld.com



รูปที่ 2.4 แสดง Think hydrogen hybrid จากบริษัท Think Nordic

ที่มา www.evworld.com

2.5.2 เซลล์เชื้อเพลิงแบบพกพา (Portable Fuel Cell)

จากแนวคิดที่จะนำเซลล์เชื้อเพลิงที่ได้จากการวิจัยมาเป็นแหล่งพลังงานในการใช้เพื่อยานอวกาศของ NASA ทำให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมที่จะนำพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงมาใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อไป ทางผู้ผลิตอุปกรณ์ต่างๆ ได้ทำการวิจัยและทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานทดแทนการใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 2.5 แสดงอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องคอมพิวเตอร์พกพาของ NEC (บน), เครื่องเล่นเพลงของ Toshiba(กลาง) และเครื่องชาร์จไฟฟ้าแบบพกพาของ Voller (ล่าง)

ที่มา www.eletronics.in.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 เซลล์เชื้อเพลิงแบบประจำที่ (Stationary Fuel Cell)

เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่มีขนาดใหญ่และมีพลังงานมาก พร้อมทั้งมีอุณหภูมิสูงในระบบขณะทำงาน ซึ่งเหมาะที่จะออกแบบและติดตั้งแบบถาวร เช่น โรงพยาบาล ธนาคาร สนามบิน ฐานปฏิบัติการทางทหาร มหาวิทยาลัย และบ้าน ซึ่งสามารถจำแนกออกได้ 2 ประเภทดังนี้

1. เซลล์เชื้อเพลิงแบบประจำที่ขนาดเล็ก (Small Stationary Fuel Cell)

เซลล์เชื้อเพลิงประเภทนี้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 1-10 kW เพื่อนำกระแสไฟฟ้ามาใช้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้ระบบ CHP (Combined Heat and Power) คือสามารถผลิตไฟฟ้าได้ภายในได้และยังสามารถนำความร้อนที่ได้จากระบบมาใช้เพื่อทำน้ำร้อนหรือเครื่องปรับอากาศ(Heater) ได้อีกด้วย โดยในปัจจุบันพบว่าบริษัทต่างๆ ได้หันมาใช้เซลล์เชื้อเพลิงแบบประจำที่เป็นจำนวนมากจะเห็นได้ว่าหากมีการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อใช้ในอาคารบ้านเรือนจะสามารถช่วยลดการใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไป และยังสามารถทำให้ประหยัดการใช้ทรัพยากรในธรรมชาตินอกเหนือจากการใช้ในอาคารบ้านเรือนแล้ว เซลล์เชื้อเพลิงแบบประจำที่ขนาดเล็กก็เหมาะที่จะใช้ใน โรงพยาบาล โรงงาน อุตสาหกรรม ธนาคาร เป็นต้น

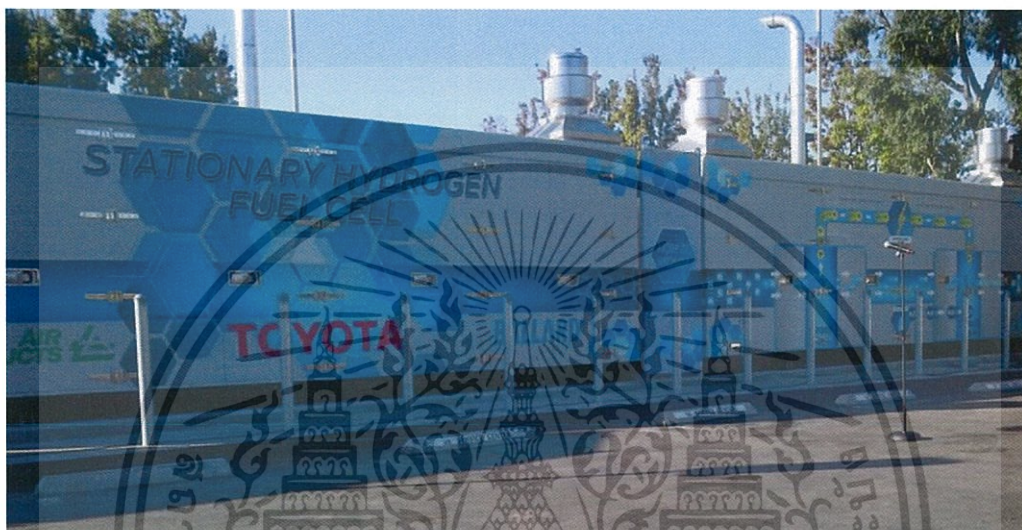


รูปที่ 2.6 Fronius Energy Cell 25F

ที่มา www.fronius.com

2. เซลล์เชื้อเพลิงแบบประจำที่ขนาดใหญ่ (Large Stationary Fuel Cell)

เซลล์เชื้อเพลิงประเภทนี้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่า 10kW ซึ่งในปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงประเภทนี้มีอัตราการเติบโตอย่างช้าๆ เพราะมีความยุ่งยากและจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนที่สูงมากในการสร้าง เซลล์เชื้อเพลิงแบบประจำขนาดใหญ่ที่สามารถผลิตกระแสได้มากและไอน้ำที่ได้จากกระบวนการสามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้กังหัน เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตและประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.7 Large hydrogen fuel-cell generator

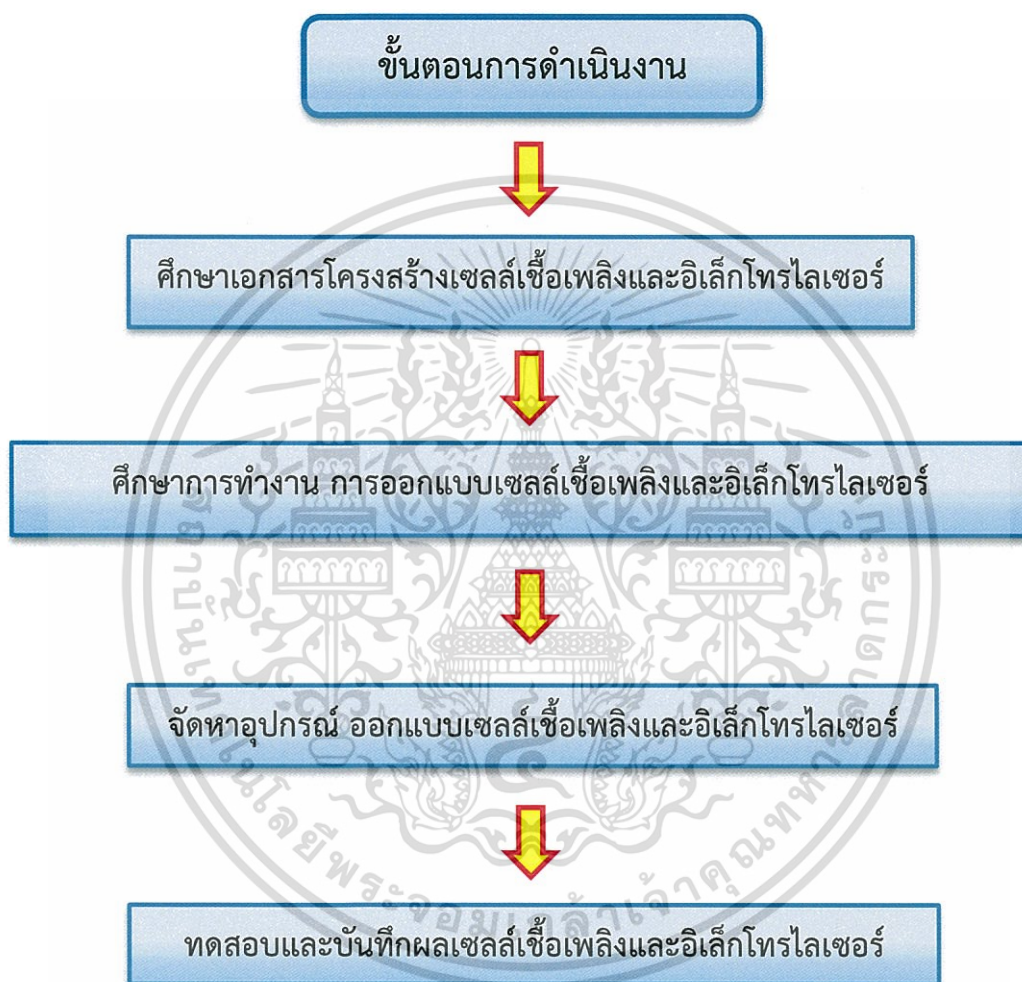
ที่มา www.slashgear.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการสร้างระบบเซลล์เชื้อเพลิง มีขั้นตอนการดำเนินงาน รายละเอียดของวัสดุ อุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

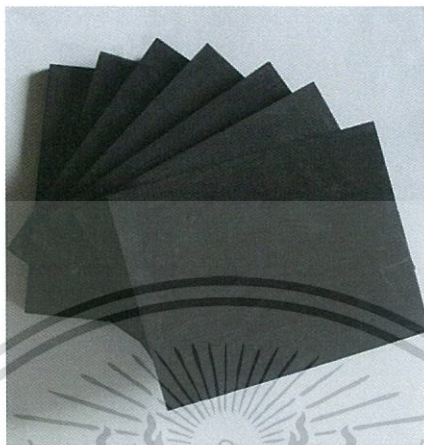


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 เซลล์เชื้อเพลิง

1. แผ่นเมมเบรนสารอิเล็กโทรไลต์ PEM 1 แผ่น



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะแผ่นเมมเบรนสารอิเล็กโทรไลต์ PEM

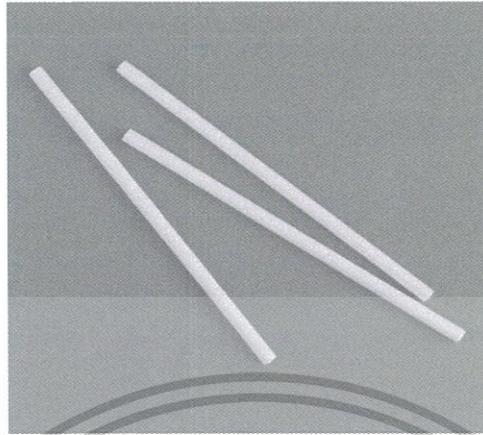
2. แผ่นPVC ชนิดหนา 2 แผ่น ขนาด 85 x 60 mm

ทำการเจาะรูดังรูป 3.2 โดยรูใหญ่ 4 รู มีขนาด 5 mm รูเล็ก 2 รู ขนาด 3 mm



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะและขนาดของแผ่นซีลิโคน

3. ท่อนำแก๊สขนาดเล็ก 4 อัน ขนาด 20.5 mm



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะท่อนำแก๊ส

4. ขั้วไฟฟ้าสีดำ และสีแดง อย่างละ 1 อัน



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของขั้วไฟฟ้า

5. แผ่นทองแดง 2 แผ่น หนา 0.2 mm ขนาด 35x69 mm
เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร และพับวัดเข้ามา 10 มิลลิเมตร ให้เป็นรูปตัวแอล



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของแผ่นทองแดง

10. ท่อหด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 mm



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของท่อหด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. น็อตยึด ขนาด M4×40 4 อัน



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของน็อต

12. แผ่นสะสมกระแส ที่ทำการเจาะรู และ เซาะร่องนำแก๊ส



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของแผ่นสะสมกระแส

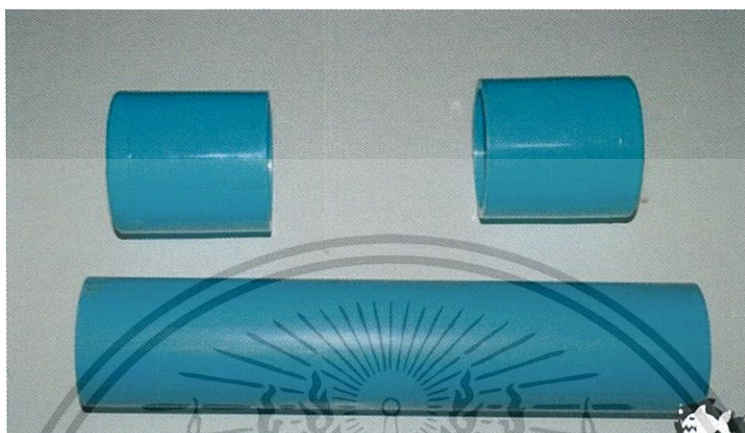
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อิเล็กโทรไลต์เซอร์

1. ท่อ PVC และฝาปิดท่อ PVC

ฝาท่อ ขนาด 3 นิ้ว 2 อัน ฝาท่อ
ท่อขนาด 3 นิ้ว ยาว 235 มิลลิเมตร

ขนาด 1 นิ้ว 1 อัน
ท่อขนาด 2 นิ้ว ยาว 55 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของท่อ PVC และฝาปิดท่อ PVC

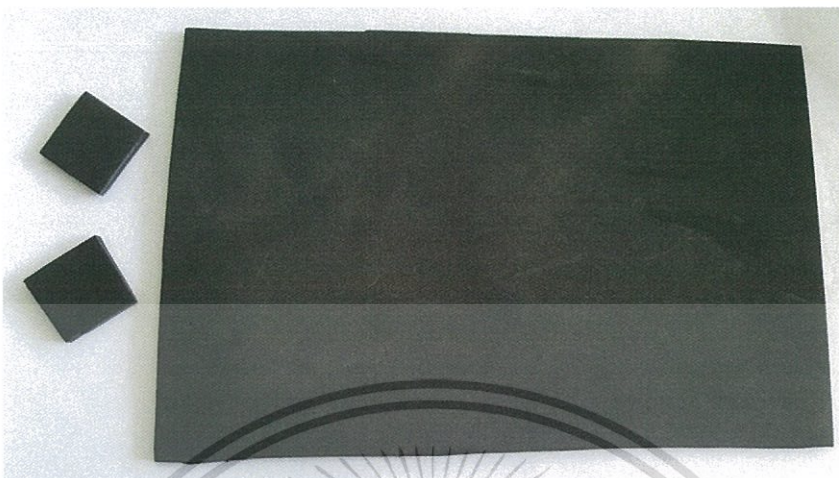
2. แผ่นทองแดง หนา 5 นิ้ว หนา 0.05 mm



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะแผ่นทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แผ่นยาง ขนาด 15×15 mm 3 ชั้น



รูปที่ 3.11 แสดงลักษณะของแผ่นยางกันรั่ว

4. น็อตตัวผู้ ตัวเมีย ขนาด M5×10 5 ชุด



รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะน็อตตัวผู้ตัวเมีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จุกพลาสติกนำแก๊ส จำนวน 3 อัน



รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะจุกพลาสติกนำแก๊ส

6. สายยางนำแก๊ส ขนาด 4x6 mm จำนวน 3 เส้น ยาว 1 m

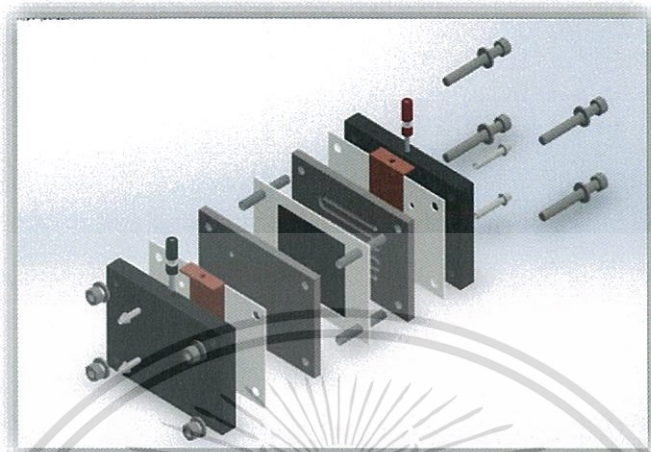


รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะจุกพลาสติกนำแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบและประกอบเซลล์เชื้อเพลิงและอิเล็กโทรไลเซอร์

3.2.1 การออกแบบและประกอบเซลล์เชื้อเพลิง PEM



รูปที่ 3.15 การออกแบบเซลล์เชื้อเพลิง

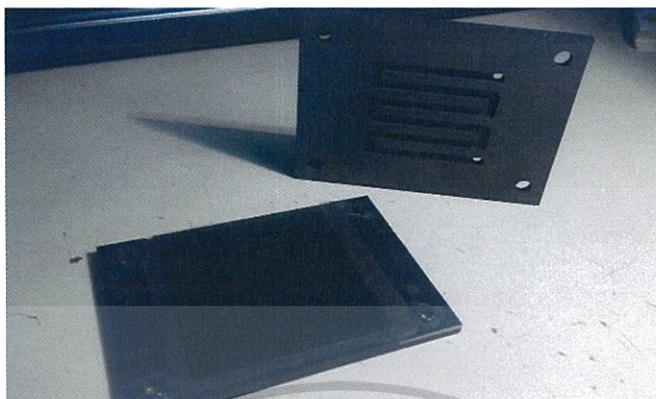
การประกอบเซลล์เชื้อเพลิง

1. นำแผ่นPVC ชนิดหนา 2 แผ่น มาติดแผ่นทองแดงและใส่ขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 3.16 แผ่นPVC ที่ติดขั้วทองแดง

2. นำแผ่นเมมเบรนสารอิเล็กโทรไลต์ PEM มาติดกับ แผ่นสะสมกระแสโดยติดด้านที่มีร่อง



รูปที่ 3.17 แผ่นสะสมกระแสที่ติดแผ่นเมมเบรนแล้ว

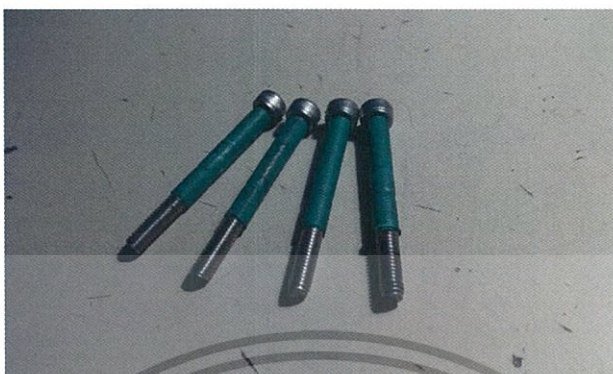
3. นำแผ่นสะสมกระแสที่ติดแผ่นเมมเบรนแล้ว ติดกับแผ่นPVC ชนิดหนาที่ใส่ขั้วไฟฟ้าแล้ว โดยหันด้านที่ไม่มีร่องเข้าติดกับขั้วแผ่นทองแดง



รูปที่ 3.18 แผ่นสะสมกระแสที่ประกอบเข้าแผ่นPVC ขั้วไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นำท่อหดตัดแบ่ง 4 อัน ขนาดความยาว 25 mm จากนั้นนำไปสวมเข้ากับน็อตขนาด M4×40 และทำการเป่าลมร้อนเพื่อให้ท่อหดตัว



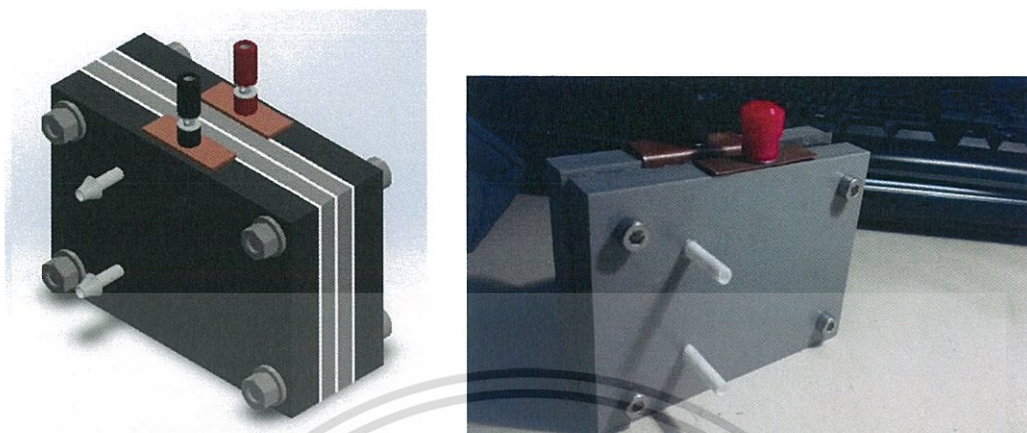
รูปที่ 3.19 น็อตขนาด M4×40 ที่สวมท่อหด

- นำน็อตที่ใส่ท่อหดมายึดประกอบแผ่นสะสมกระแสที่ประกอบเข้าแผ่น PVC ชั่วไฟฟ้าแล้ว ให้ติดเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.20 เซลล์เชื้อเพลิงที่ยึดเข้าด้วยกันเรียบร้อยแล้ว

6. นำท่อนำแก๊สขนาดเล็กที่เตรียมไว้ มาทากาวและใส่ไปในรูเล็กที่เจาะไว้ทั้ง 4 รู



รูปที่ 3.21 เซลล์เชื้อเพลิงที่ใส่ท่อนำแก๊สขนาดเล็ก

3.2.2 การออกแบบและประกอบอเล็กโตรไลเซอร์



รูปที่ 3.22 การออกแบบอเล็กโตรไลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประกอบอิเล็กทรอนิกส์

1. นำฝาท่อ ขนาด 3 นิ้ว 2 อัน เจาะรู ขนาด 5 มิลลิเมตร และ ท่อขนาด 3 นิ้ว ยาว 235 มิลลิเมตร เจาะรูขนาด 5 มิลลิเมตร ห่างจากปากกระบอก 70 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.23 แสดงการเจาะรู

2. นำฝาท่อ ขนาด 1 นิ้ว เจาะรู ขนาด 5 มิลลิเมตร และ นำไปทากาวติดข้างในฝาท่อ ขนาด 3 นิ้ว ตามรูป เพื่อนำไปทำฝาปิดกระบอกด้านล่าง



รูปที่ 3.24 แสดงฝาปิดกระบอกด้านล่าง

3. ตัดแผ่นทองแดง ขนาด 5x20 นิ้ว จากนั้นพับทบไปมาเป็นชั้นๆ และพับเป็นแฉกตั้งด้านขวา และ ตัดทองแดง ขนาด 5x5 นิ้ว จากนั้นพับเป็นแแห่ง ตั้งด้านซ้าย



รูปที่ 3.25 แสดงการพับแผ่นทองแดง

4. นำเอาแผ่นทองแดงที่เราพับไว้ไปใส่ในฝาปิดด้านล่าง โคนเสียบไว้ในฝาปิดขนาด 1 นิ้ว และทำการยึดน็อตด้วยลวด จากนั้น นำแผ่นทองแดงที่พับเป็นแฉกสวมทับลงไปอีกชั้น เพื่อนำไปทำเป็นขั้วแคโทด



รูปที่ 3.26 แสดงการทำขั้วแคโทด

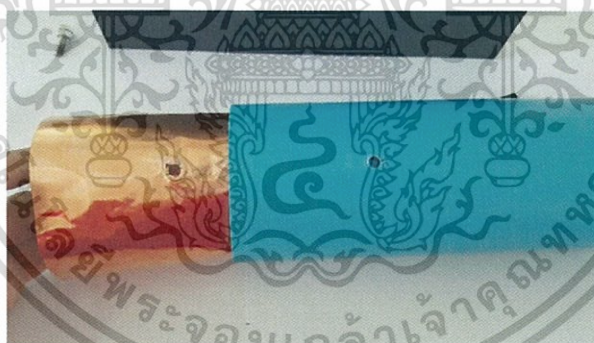
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำท่อขนาด 2 นิ้ว ยาว 55 มิลลิเมตร ทากาวและนำไปติดกึ่งกลางฝาท่อ 3 นิ้ว อีกอันเพื่อนำมาเป็นฝาปิดด้านบน



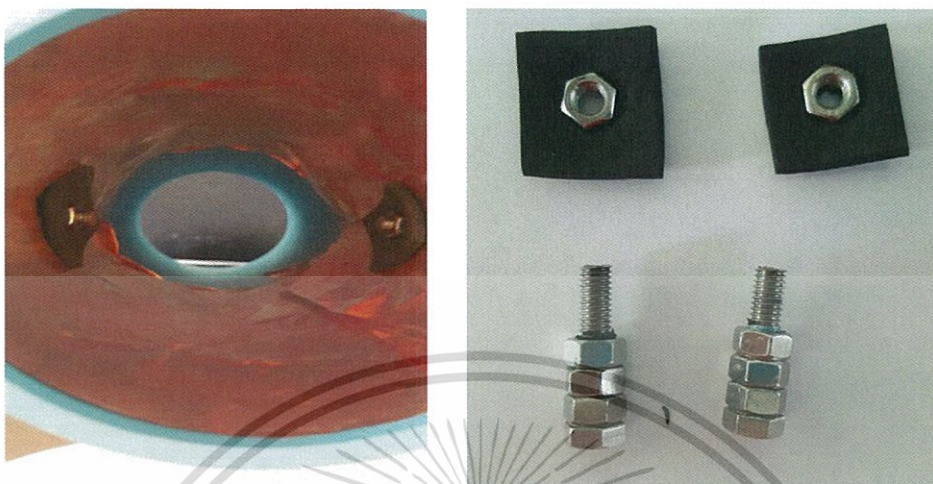
รูปที่ 3.27 แสดงฝาปิดกระบอกด้านบน

6. ตัดแผ่นทองแดง ขนาด 5x30 นิ้ว จากนั้นม้วนใส่ท่อ 235 มิลลิเมตร และทำการเจาะรูแผ่นทองแดงให้ตรงกับช่องท่อ



รูปที่ 3.28 แสดงการใส่แผ่นทองแดง และการเจาะรู

7. เตรียมน็อต M5x10 2 อัน และ แผ่นยาง ตามรูปซ้าย จากนั้น นำไปยึดติดกับแผ่นทองแดง ที่ม้วนใส่ในท่อ ตามรูปขวา เพื่อทำเป็นขั้วแอโนด



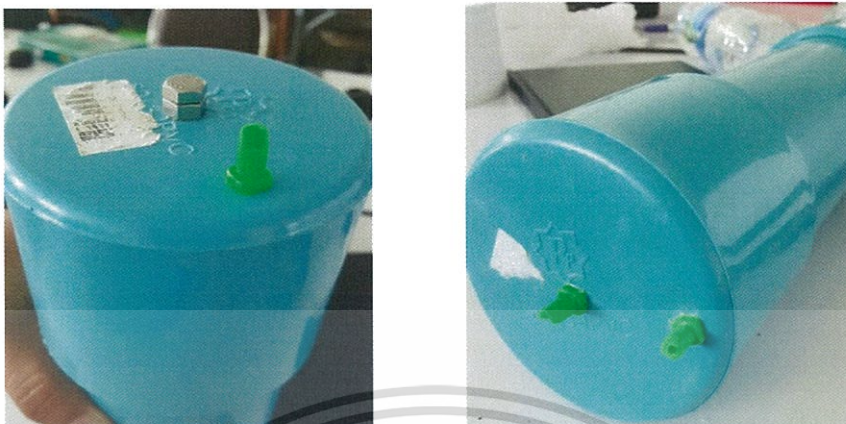
รูปที่ 3.29 แสดงการทำขั้วแอโนด

8. นำเอาฝาปิดกระบอกด้านล่าง มาประกอบเข้ากับส่วนท่อที่เป็นขั้วแอโนด และนำฝาปิดด้านบนมาสวมใส่เข้าไป



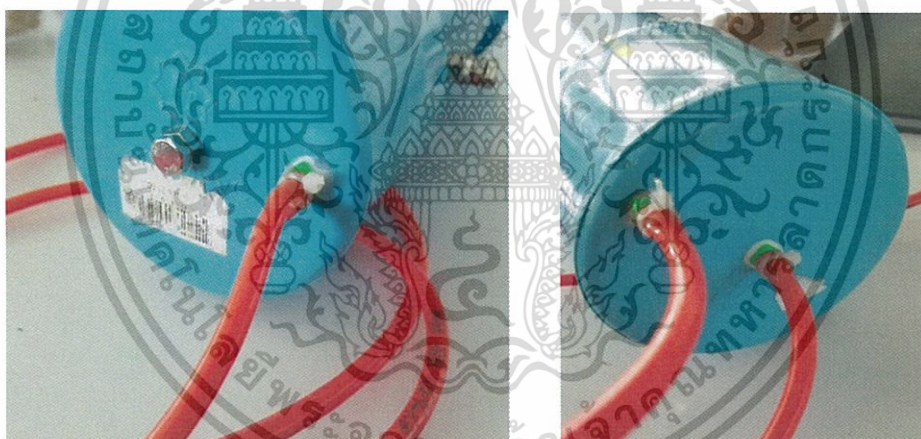
รูปที่ 3.30 แสดงการประกอบอิเล็กโทรไลต์

9. นำจุกพลาสติกทากาวและทำการใส่ตามรูที่เหลือ



รูปที่ 3.31 แสดงการใส่จุกนำแก๊ส

10. นำท่อขายนำแก๊สต่อเข้ากับจุกพลาสติกและมัดด้วยสาย Cable Tie



รูปที่ 3.32 แสดงการต่อสายขายนำแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การจัดอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

1.. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 3.33 แสดงลักษณะโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

2. ปีกเกอร์ 3000 mm



รูปที่ 3.34 แสดงลักษณะปีกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Power supply



รูปที่ 3.35 แสดงลักษณะ Power supply

4. กรวยแยก



รูปที่ 3.36 แสดงลักษณะกรวยแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แอมมิเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง



รูปที่ 3.37 แสดงลักษณะของแอมมิเตอร์

6. โวลต์มิเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง



รูปที่ 3.38 แสดงลักษณะของโวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สายไฟ



รูปที่ 3.39 แสดงลักษณะของสายไฟ

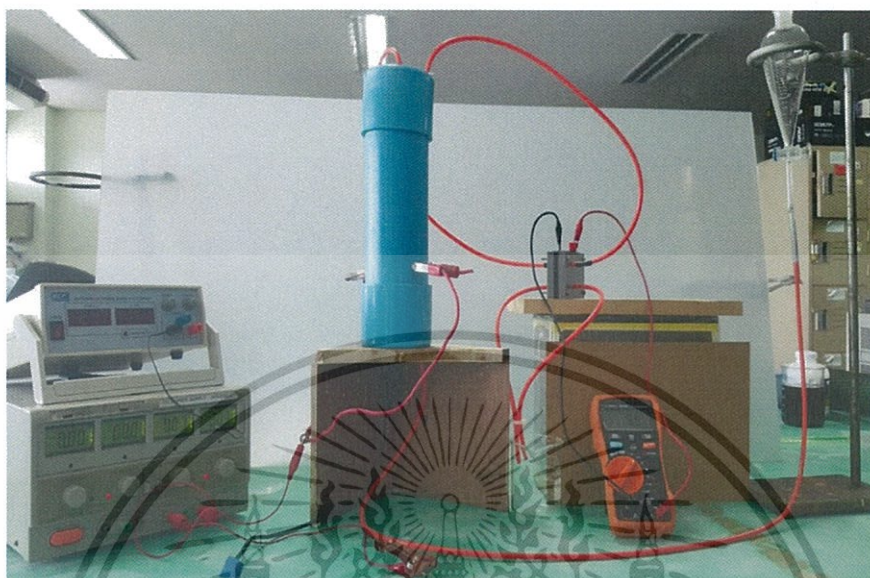
8. R Box 0.1 Ω - 10.0 Ω 

รูปที่ 3.40 แสดงลักษณะของ R Box

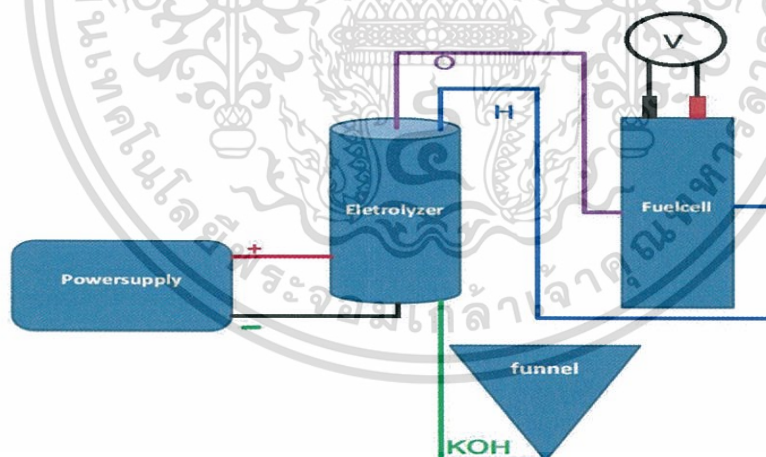
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การทดลองเพื่อวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง

1. การจัดอุปกรณ์



รูปที่ 3.41 การจัดการอุปกรณ์เพื่อวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง



รูปที่ 3.42 แสดงบล็อกไดอะแกรมวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ทำการต่อ Power supply โดยต่อขั้วบวกเข้ากับขั้วแอโนด ขั้วลบเข้ากับแคโทดของอิเล็กโทรไลเซอร์
2. ต่อสายยางนำแก๊สจากจุกนำแก๊สที่ฝาปิดกระบอกล่าง เข้ากับกรวยแยก เพื่อเป็นสายเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
3. ต่อสายยางนำแก๊สจากจุกนำแก๊สที่ฝาปิดกระบอกด้านบน ทั้งสองอัน เข้ากับเซลล์เชื้อเพลิงโดยต่อเข้าสายละฝั่ง

2. การทดลอง

ตอนที่ 1 การทดลองเพื่อวัดค่าความต่างศักย์ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง

1. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 387 กรัม
 - 1.1 ทำการผสมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 387 กรัม กับน้ำ 1000 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 1500 มิลลิลิตร
 - 1.2 เทสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ผสมแล้วลงในกรวยแยก 600 มิลลิลิตร รองนสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้าอิเล็กโทรไลเซอร์จนหมด
 - 1.3 เปิด Power supply ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 1 A
 - 1.4 บันทึกค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซลล์เชื้อเพลิง ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 60 นาที
 - 1.5 ทำการทดลองวัดซ้ำ 3 รอบ
 - 1.6 ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 3 A บันทึกผลบันทึกค่าความต่างศักย์ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 60 นาที
 - 1.7 ทำการถอดขั้วทองแดงออกเพราะเนื่องจากเกิดการทำปฏิกิริยากับขั้ว ทำให้ขั้วถูกกัดกร่อน



รูปที่ 3.43 แสดงลักษณะขั้วทองแดงที่ถูกทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 1A บันทึกค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซลล์เชื้อเพลิง ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 60 นาที

1.9 ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 3A บันทึกค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซลล์เชื้อเพลิง ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 60 นาที

2.0 ทำซ้ำ ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 1A 3A ตามลำดับ บันทึกค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซลล์เชื้อเพลิง ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 120 นาที

2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 193.5 กรัม ขณะถอดหัวทองแดง

2.1 ทำการผสมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 193.5 กรัม กับน้ำ 1000 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 1500 มิลลิลิตร

2.2 เทสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ผสมแล้วลงในกรวยแยก 600 มิลลิลิตร รอจนสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้าอิเล็กโทรไลเซอร์จนหมด

2.3 เปิด Powersupply ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 1A และ 3A ตามลำดับ

2.4 บันทึกค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซลล์เชื้อเพลิง ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 60 นาที

2.5 ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 1A 3A ตามลำดับ

2.6 บันทึกค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซลล์เชื้อเพลิง ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 120 นาที

3. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 774 กรัม ขณะถอดหัวทองแดง

3.1 ทำการผสมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 774 กรัม กับน้ำ 1000 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 1500 มิลลิลิตร

3.2 เทสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ผสมแล้วลงในกรวยแยก 600 มิลลิลิตร รอจนสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้าอิเล็กโทรไลเซอร์จนหมด

3.3 เปิด Powersupply ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 1A และ 3A ตามลำดับ

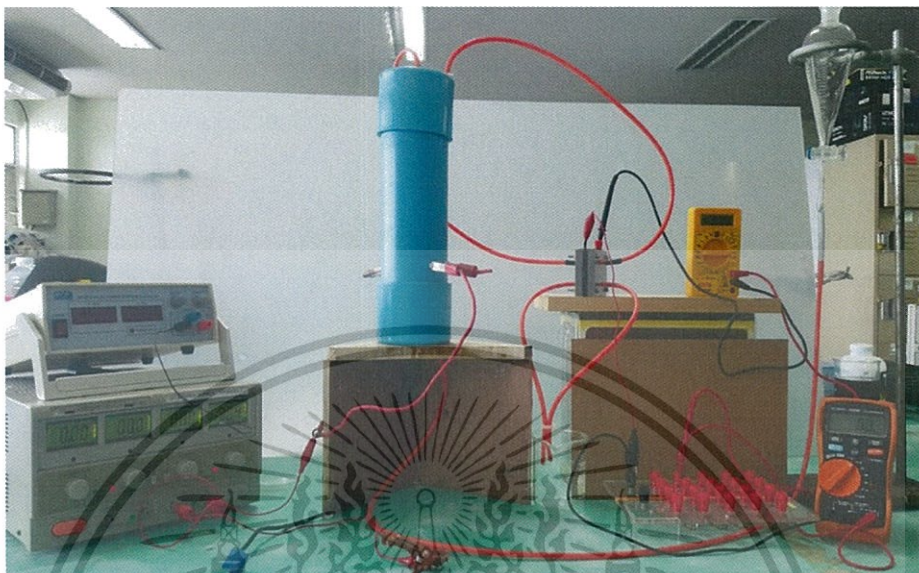
3.4 บันทึกค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซลล์เชื้อเพลิง ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 60 นาที

3.5 ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 1A 3A ตามลำดับ

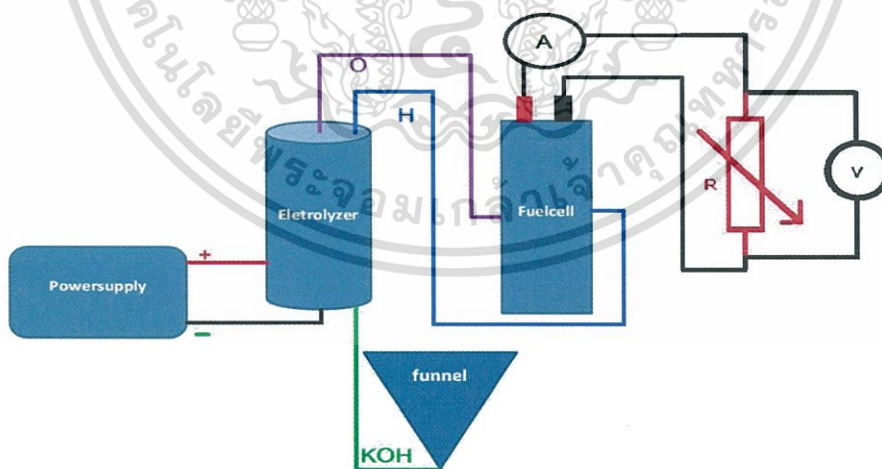
3.6 บันทึกค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซลล์เชื้อเพลิง ทุกๆ 5 นาที เป็นเวลา 120 นาที

3.3.2 การทดลองเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากตัวต้านทาน (R-Box)

1. การจัดอุปกรณ์



รูปที่ 3.44 การจัดการอุปกรณ์ทดลองเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากตัวต้านทาน (R-Box)



รูปที่ 3.45 แสดงบล็อกไดอะแกรมวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากตัวต้านทาน (R-Box)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ทำการต่อ Power supply โดยต่อขั้วบวกเข้ากับขั้วแอนโนด ขั้วลบเข้ากับแคโทดของอิเล็กโทรไลเซอร์
2. ต่อสายยางนำแก๊สจากจุกนำแก๊สที่ฝาปิดกระบอกล่าง เข้ากับกรวยแยก เพื่อเป็นสายเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
3. ต่อสายยางนำแก๊สจากจุกนำแก๊สที่ฝาปิดกระบอกด้านบน ทั้งสองอัน เข้ากับเซลล์เชื้อเพลิงโดยต่อเข้าสายละฝั่ง
4. นำสายแอมมิเตอร์ต่อเข้ากับเซลล์เชื้อเพลิงด้านขั้วบวกเพื่อวัดกระแส
5. จากนั้นต่อ ตัวต้านทาน R-Box เข้ากับแอมมิเตอร์และต่อกลับมาเข้าเซลล์เชื้อเพลิง
6. ต่อโวลต์มิเตอร์คร่อม ตัวต้านทาน R-Box เพื่อวัดค่าความต่างศักย์

2. การทดลอง

ตอนที่ 2 การทดลองเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากตัวต้านทาน (R-Box)

1. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 387 กรัม ขณะถอดขั้วทองแดง
 - 1.1 ทำการผสมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 387 กรัม กับน้ำ 1000 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 1500 มิลลิลิตร
 - 1.2 เทสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ผสมแล้วลงในกรวยแยก 600 มิลลิลิตร รอจนสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้าอิเล็กโทรไลเซอร์จนหมด
 - 1.3 เปิด Power supply ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 1 A
 - 1.4 บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวต้านทานตั้งแต่ 0.1 Ω ถึง 10.0 Ω
 - 1.5 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และบันทึกผล
2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 193.5 กรัม ขณะถอดขั้วทองแดง
 - 2.1 ทำการผสมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 193.5 กรัม กับน้ำ 1000 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 1500 มิลลิลิตร
 - 2.2 เทสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ผสมแล้วลงในกรวยแยก 600 มิลลิลิตร รอจนสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้าอิเล็กโทรไลเซอร์จนหมด
 - 2.3 เปิด Power supply ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 1 A
 - 2.4 บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวต้านทานตั้งแต่ 0.1 Ω ถึง 10.0 Ω
 - 2.5 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และบันทึกผล
3. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 774 กรัม ขณะถอดขั้วทองแดง
 - 3.1 ทำการผสมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 774 กรัม กับน้ำ 1000 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 1500 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เทสสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ผสมแล้วลงในกรวยแยก 600 มิลลิลิตร รองน
สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้าอิเล็กโทรไลเซอร์จนหมด

3.3 เปิด Power supply ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 1 A

3.4 บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่วัดได้จากตัวต้านทานตั้งแต่ 0.1 Ω ถึง 10.0 Ω

3.5 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และบันทึกผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

ผลการทดสอบการทดสอบประสิทธิภาพของของเซลล์เชื้อเพลิงและอิเล็กโทรไลเซอร์ โดยทำการทดสอบการวัดเชิงกลและการวัดทางไฟฟ้า แล้วนำผลทดลองที่ได้มาวิเคราะห์คำนวณหา กำลังงานที่เกิดจากไฮโดรเจนและออกซิเจน และการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดไฟฟ้า ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การทดลองเพื่อวัดค่าความต่างศักย์ ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง

1. ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 387 กรัม

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ครั้งที่ 1 ขณะใส่ขั้วทองแดง ใช้เวลาวัด 60 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จากเซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	1	2.0	34.6
5	1	2.0	45.9
10	1	2.1	72.2
15	1	2.1	135.1
20	1	2.1	178.8
25	1	2.1	430.0
30	1	2.1	584.1
35	1	2.1	663.5
40	1	2.1	708.2
45	1	2.1	729.3
50	1	2.2	741.4
55	1	2.2	748.0
60	1	2.2	754.0

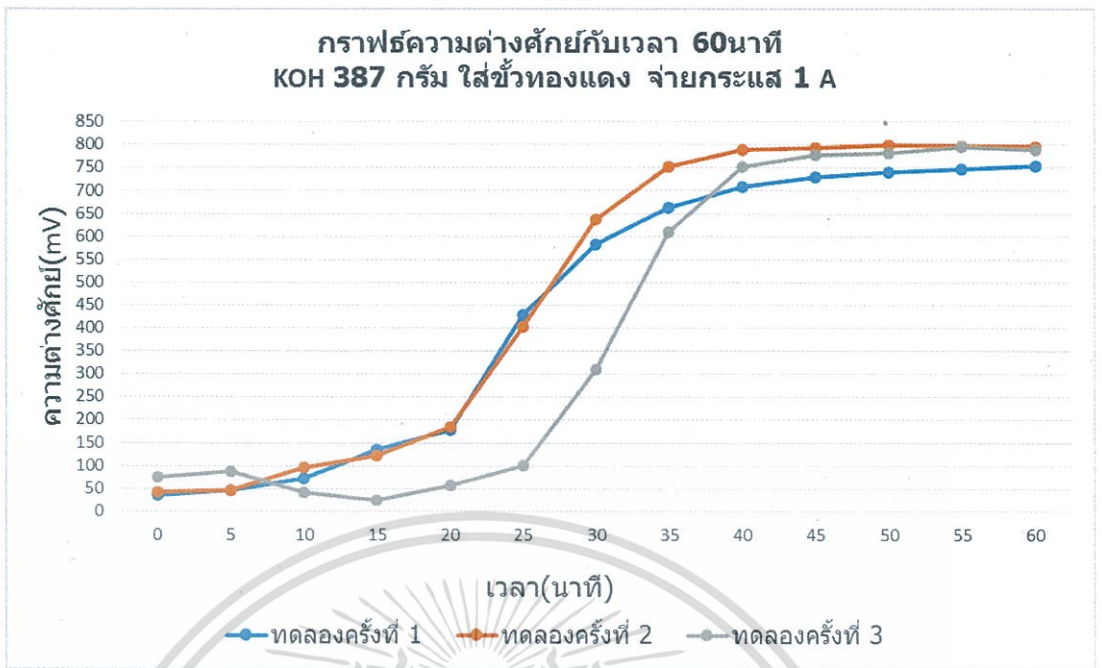
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ครั้งที่ 2 ใส่ขั้วทองแดง ใช้เวลาวัด 60 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	1	1.9	42.8
5	1	2.8	45.9
10	1	2.8	95.1
15	1	2.8	122.5
20	1	2.8	184.2
25	1	2.8	402.5
30	1	2.8	638.0
35	1	2.8	752.1
40	1	2.8	789.0
45	1	2.7	794.0
50	1	2.7	799.0
55	1	2.7	797.0
60	1	2.7	796.0

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ครั้งที่ 3 ใส่ขั้วทองแดง ใช้เวลาวัด 60 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	1	0.8	75.1
5	1	1.8	88.2
10	1	2.4	40.9
15	1	2.4	25.5
20	1	2.9	56.7
25	1	2.9	101.2
30	1	2.8	309.4
35	1	2.8	609.6
40	1	2.8	752.3
45	1	2.8	778.5
50	1	2.8	782.7
55	1	2.8	794.4
60	1	2.8	788.9

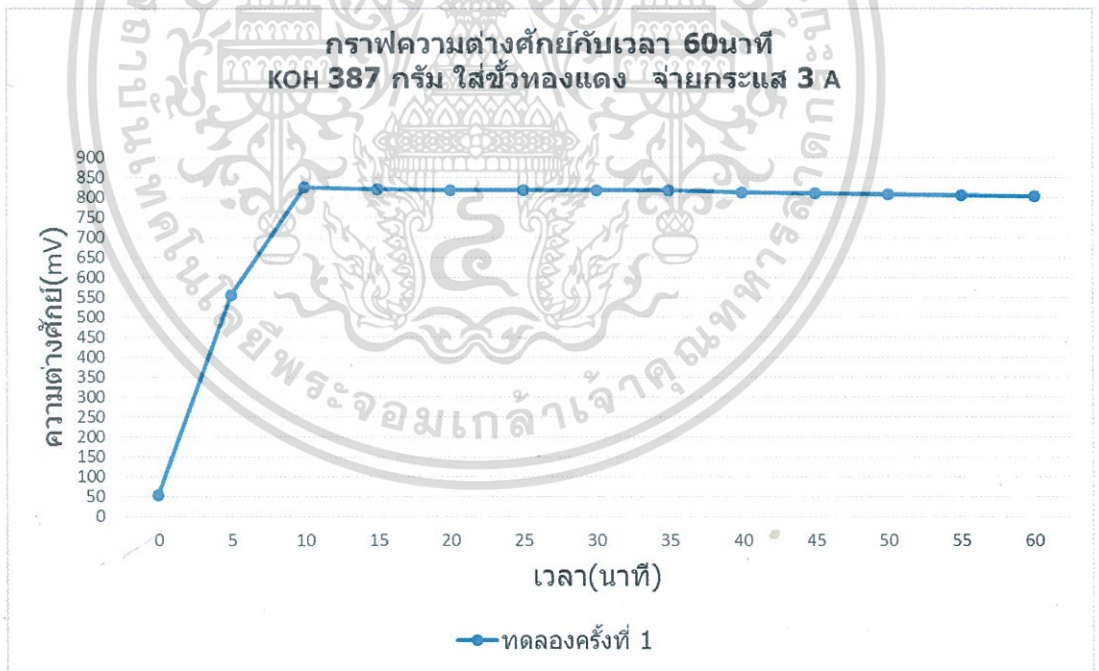
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(60 นาที) KOH 387 กรัม ใส่ขั้วทองแดง กระแส 1 A

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ใส่ขั้วทองแดง ใช้เวลาวัด 60 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	2.99	2.5	52.6
5	2.99	3.0	556.7
10	2.99	3.0	826.0
15	2.99	3.0	822.0
20	2.99	3.0	820.0
25	2.99	3.0	820.0
30	2.99	3.0	819.0
35	2.99	3.0	819.0
40	2.99	3.0	815.0
45	2.99	3.0	811.0
50	2.99	3.0	809.0
55	2.99	3.0	806.0
60	2.99	3.0	805.0



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(60 นาที) KOH 387 กรัม ใส่ขั้วทองแดง กระแส 3 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

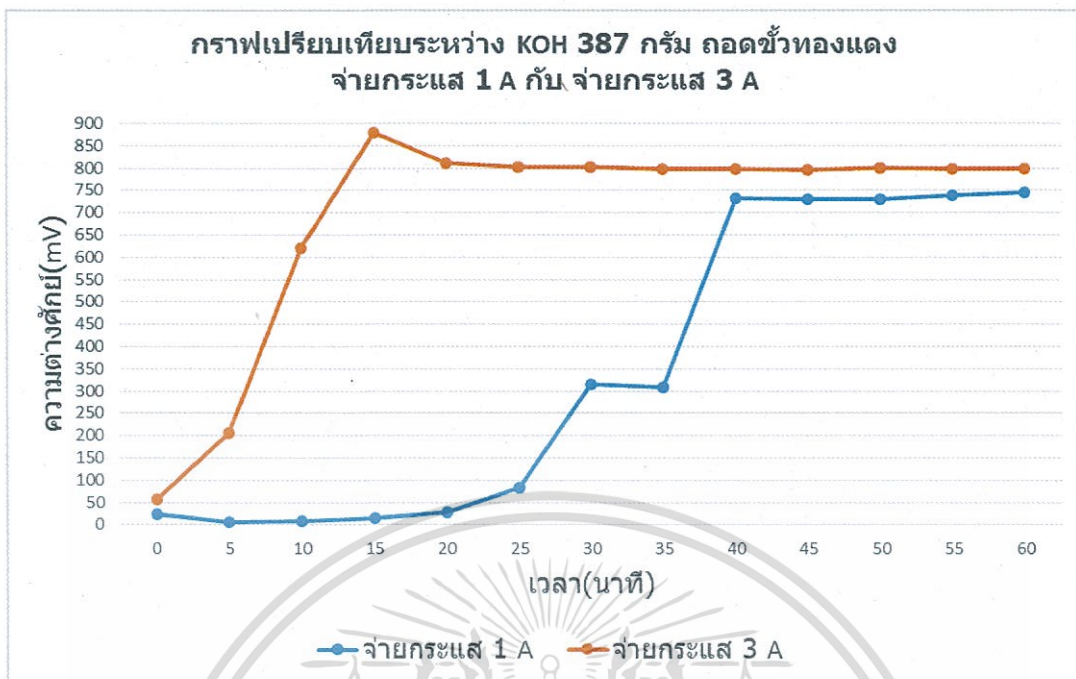
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ถอดขั้วทองแดง ใช้เวลาวัด 60 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	1	3.7	23.3
5	1	3.7	6.2
10	1	3.7	8.2
15	1	3.7	15.8
20	1	3.7	28.0
25	1	3.7	82.7
30	1	3.7	315.8
35	1	3.7	308.8
40	1	3.7	732.4
45	1	3.7	730.0
50	1	3.7	729.3
55	1	3.7	739.6
60	1	3.7	745.2

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ถอดขั้วทองแดง ใช้เวลาวัด 60 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	2.99	8.0	55.5
5	2.99	7.7	205.5
10	2.99	7.3	620.2
15	2.99	7.3	880.0
20	2.99	7.1	811.0
25	2.99	7.0	803.1
30	2.99	6.8	802.0
35	2.99	6.7	797.0
40	2.99	6.7	797.0
45	2.99	6.6	796.0
50	2.99	6.5	799.0
55	2.99	6.4	797.0
60	2.99	6.4	797.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(60 นาที) KOH 387 กรัม ถอดขั้วทองแดง กระแส 1 A กับกระแส 3 A

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ถอดขั้วทองแดง ใช้เวลาวัด 120 นาที

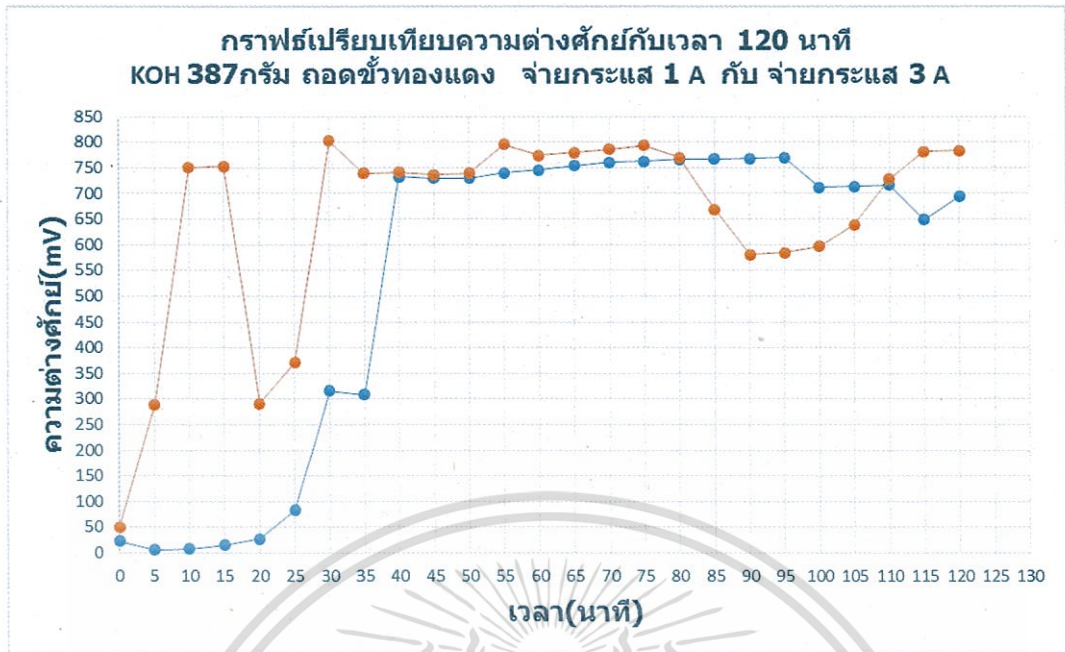
เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	1	3.7	23.3
5	1	3.7	6.2
10	1	3.7	8.2
15	1	3.7	15.8
20	1	3.7	28.0
25	1	3.7	82.7
30	1	3.7	315.8
35	1	3.7	308.8
40	1	3.7	732.4
45	1	3.7	730.0
50	1	3.7	729.3
55	1	3.7	739.6
60	1	3.7	745.2
65	1	3.7	754.0
70	1	3.7	761.0
75	1	3.7	762.0
80	1	3.7	766.0
85	1	3.7	767.0
90	1	3.6	768.0
95	1	3.6	770.0
100	1	3.6	712.0
105	1	3.6	714.0
110	1	3.6	716.0
115	1	3.6	649.0
120	1	3.6	694.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ถอดขั้วทองแดง ใช้เวลาวัด 120 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	2.99	7.0	50.7
5	2.99	8.0	288.0
10	2.99	6.8	750.0
15	2.99	6.5	753.0
20	2.99	6.4	290.8
25	2.99	6.3	370.5
30	2.99	6.2	803.0
35	2.99	6.2	739.0
40	2.99	6.1	741.0
45	2.99	6.0	736.0
50	2.99	6.0	739.0
55	2.99	5.9	795.0
60	2.99	5.9	774.0
65	2.99	5.8	779.0
70	2.99	5.8	786.0
75	2.99	5.8	793.0
80	2.99	5.7	770.0
85	2.99	5.7	668.0
90	2.99	5.7	580.0
95	2.99	5.7	584.0
100	2.99	5.6	596.0
105	2.99	5.6	638.0
110	2.99	5.6	728.0
115	2.99	5.6	781.0
120	2.99	5.5	783.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(120 นาที) KOH 387 กรัม ถอดขั้วทองแดง กระแส 1 A กับกระแส 3 A

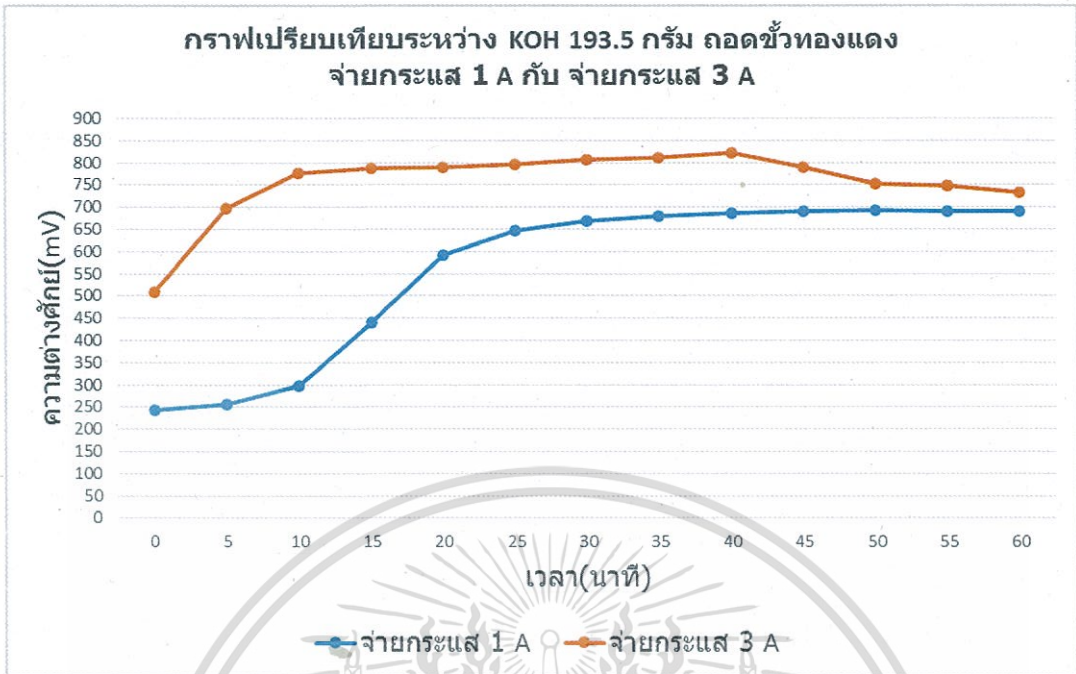
2. ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 193.5 กรัม

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ใช้เวลาวัด 60 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	1.0	4.1	242.1
5	1.0	4.1	255.2
10	1.0	4.1	297.6
15	1.0	4.1	440.6
20	1.0	4.1	592.8
25	1.0	4.1	646.6
30	1.0	4.3	669.0
35	1.0	4.3	680.2
40	1.0	4.3	686.5
45	1.0	4.3	690.3
50	1.0	4.3	691.9
55	1.0	4.3	690.0
60	1.0	4.3	690.3

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ใช้เวลาวัด 60 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	2.99	9.1	507.3
5	2.99	9.1	696.7
10	2.99	9.1	775.0
15	2.99	9.1	786.0
20	2.99	9.1	789.1
25	2.99	9.1	796.4
30	2.99	9.1	806.0
35	2.99	9.1	812.0
40	2.99	9.1	822.0
45	2.99	9.1	789.0
50	2.99	9.1	752.0
55	2.99	9.1	747.1
60	2.99	9.1	731.6



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(60 นาที) KOH 193.5 กรัม ถอดขั้วทองแดง กระแส 1 A กับกระแส 3 A

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ใช้เวลาวัด 120 นาที

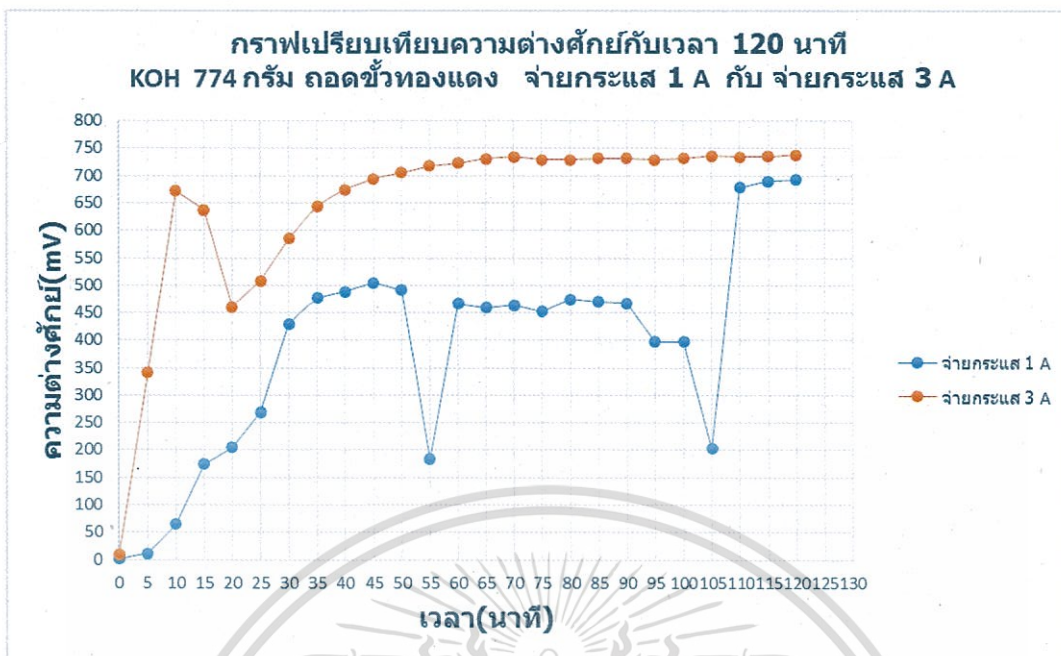
เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	1.0	4.0	1.6
5	1.0	4.0	11.5
10	1.0	4.0	65.0
15	1.0	4.0	175
20	1.0	4.0	205
25	1.0	4.0	269.3
30	1.0	4.0	430.1
35	1.0	4.0	476.9
40	1.0	4.0	488.9
45	1.0	4.0	504.3
50	1.0	4.0	491.6
55	1.0	4.0	183.8
60	1.0	4.0	466.7
65	1.0	4.0	459.5
70	1.0	4.0	463.9
75	1.0	4.0	452.2
80	1.0	4.0	474.8
85	1.0	4.0	469.7
90	1.0	4.0	467.4
95	1.0	4.0	397.8
100	1.0	4.0	397.3
105	1.0	4.0	202.7
110	1.0	4.0	679
115	1.0	4.0	690
120	1.0	4.0	693

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ใช้เวลาวัด 120 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	2.99	4.0	8.5
5	2.99	4.0	341.1
10	2.99	4.0	672
15	2.99	4.0	637
20	2.99	4.0	460
25	2.99	4.0	508
30	2.99	4.0	585
35	2.99	4.0	644
40	2.99	4.5	674
45	2.99	4.5	694
50	2.99	4.5	705
55	2.99	4.5	718
60	2.99	4.5	723
60	2.99	4.5	731
70	2.99	4.5	734
75	2.99	4.5	729
80	2.99	4.5	729
85	2.99	4.5	732
90	2.99	4.5	732
95	2.99	4.5	729
100	2.99	4.5	732
105	2.99	4.5	736
110	2.99	4.5	734
115	2.99	4.5	735
120	2.99	4.5	738

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(120 นาที) KOH 193.5 กรัม ถอดขั้วทองแดง กระแส 1 A กับกระแส 3 A

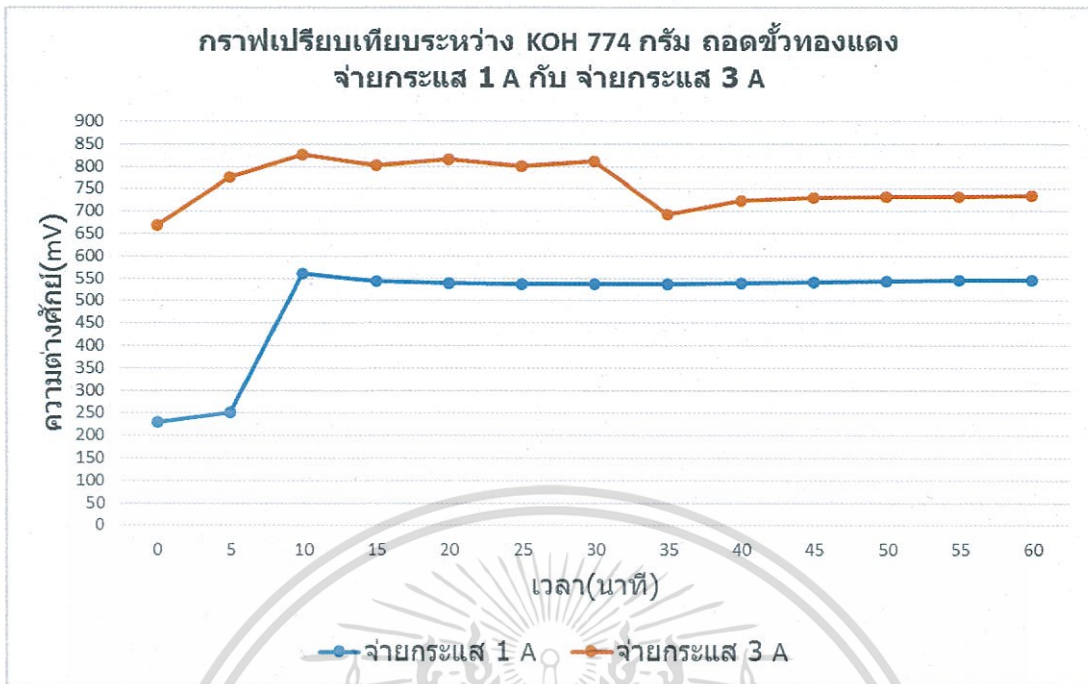
3. ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 774 กรัม

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ใช้เวลาวัด 60 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	1.0	4.2	228.9
5	1.0	4.2	251.2
10	1.0	4.2	560.2
15	1.0	4.2	543.1
20	1.0	4.2	538.7
25	1.0	4.2	537.2
30	1.0	4.2	536.7
35	1.0	4.2	537.5
40	1.0	4.2	539.7
45	1.0	4.2	542.0
50	1.0	4.2	543.9
55	1.0	4.2	545.4
60	1.0	4.2	546.7

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ใช้เวลาวัด 60 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	3.0	9.6	668
5	3.0	9.6	775
10	3.0	9.6	827
15	3.0	9.6	803
20	3.0	9.6	816
25	3.0	9.6	800
30	3.0	9.6	810
35	3.0	9.6	692
40	3.0	8.0	723
45	3.0	8.0	729
50	3.0	8.0	731
55	3.0	8.0	732
60	3.0	8.0	735



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(60 นาที) KOH 774 กรัม ถอดขั้วทองแดง กระแส 1 A กับกระแส 3 A

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A ใช้เวลาวัด 120 นาที

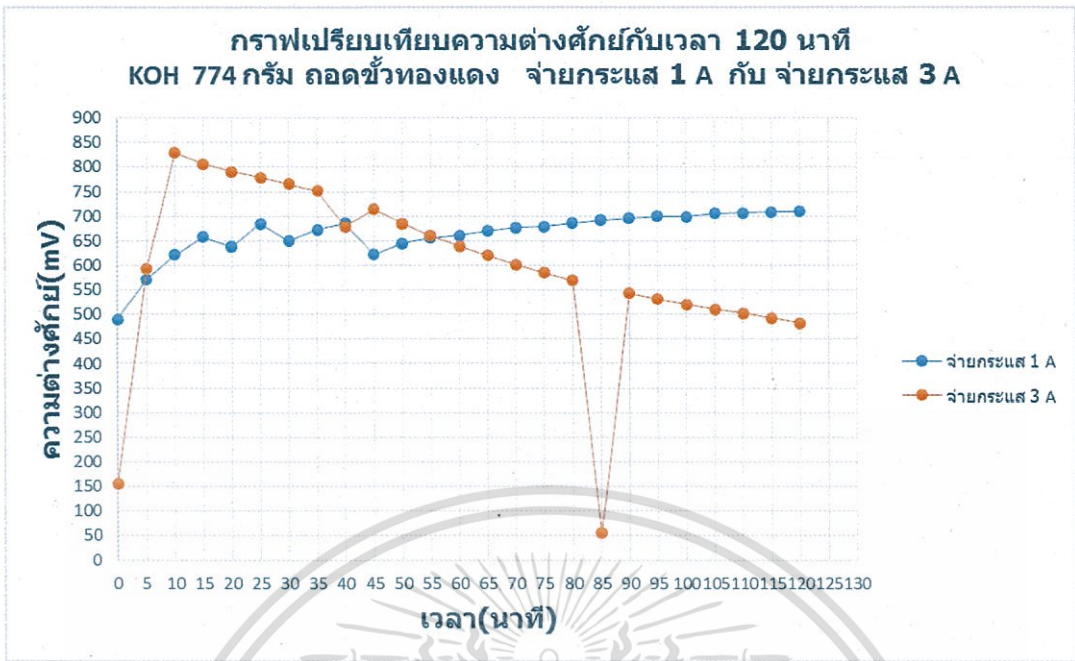
เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	1.0	3.4	490
5	1.0	3.4	572
10	1.0	3.4	622
15	1.0	3.4	658
20	1.0	3.4	638
25	1.0	3.4	685
30	1.0	3.4	650
35	1.0	3.4	673
40	1.0	3.4	686
45	1.0	3.4	622
50	1.0	3.4	645
55	1.0	3.7	656
60	1.0	3.7	661
65	1.0	3.7	670
70	1.0	3.7	677
75	1.0	3.7	679
80	1.0	3.7	686
85	1.0	4.0	692
90	1.0	4.0	696
95	1.0	4.0	700
100	1.0	4.0	699
105	1.0	4.0	706
110	1.0	4.0	707
115	1.0	4.2	709
120	1.0	4.2	710

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 A ใช้เวลาวัด 120 นาที

เวลา(นาที)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		ความต่างศักย์ ที่ได้จาก เซลล์เชื้อเพลิง (mV)
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	
0	3.0	7.0	155
5	3.0	7.0	593
10	3.0	7.0	829
15	3.0	7.0	806
20	3.0	7.0	790
25	3.0	7.0	778
30	3.0	7.0	766
35	3.0	7.0	752
40	3.0	7.0	679
45	3.0	7.0	714
50	3.0	7.0	685
55	3.0	7.0	660
60	3.0	7.0	639
65	3.0	7.0	620
70	3.0	7.0	601
75	3.0	6.6	584
80	3.0	6.6	569
85	3.0	6.6	55
90	3.0	6.6	543
95	3.0	6.6	531
100	3.0	6.6	520
105	3.0	6.6	510
110	3.0	6.6	502
115	3.0	6.6	492
120	3.0	6.6	482

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับเวลา(120นาที) KOH 774 กรัม ถอดขั้วทองแดง กระแส 1 A กับกระแส 3 A

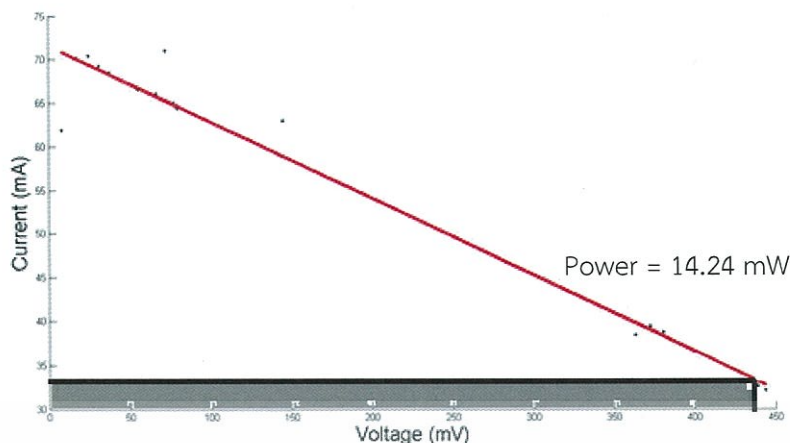
ตอนที่ 2 การทดลองเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์จากตัวต้านทาน (R-Box)

1. ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 387 กรัม

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 1

R(Ω)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		จาก R-Box		กำลังไฟฟ้าจากR-Box
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)	ความต่างศักย์ (mV)	
0.1	1	3.7	61.9	8.1	501
0.2	1	3.7	70.2	17.6	1236
0.3	1	3.7	70.4	24.5	1725
0.4	1	3.7	69.3	31.2	2162
0.5	1	3.7	68.5	37.6	2576
0.6	1	3.7	66.6	55.1	3670
0.7	1	3.7	64.4	79	5088
0.8	1	3.7	66.1	66.4	4389
0.9	1	3.7	65.1	76.9	5006
1	1	3.7	71	72	5112
2	1	3.7	63	145.1	9141
3	1	3.7	38.4	363.1	13943
4	1	3.7	38.7	380.4	14721
5	1	3.7	36.6	400.2	14647
6	1	3.7	39.4	372.3	14669
7	1	3.7	37.3	390.7	14573
8	1	3.7	32.6	438.9	14308
9	1	3.7	33	435.5	14372
10	1	3.7	32.1	443.9	14249

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA) กับความต่างศักย์ (mV)

ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 387 กรัม ครั้งที่ 1 ได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 14.24 mW ที่ กระแส 32 mA และ ความต่างศักย์ 445 mV

นำกำลังไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ที่ได้จากกราฟ คำนวณหาค่า R

จากสมการ

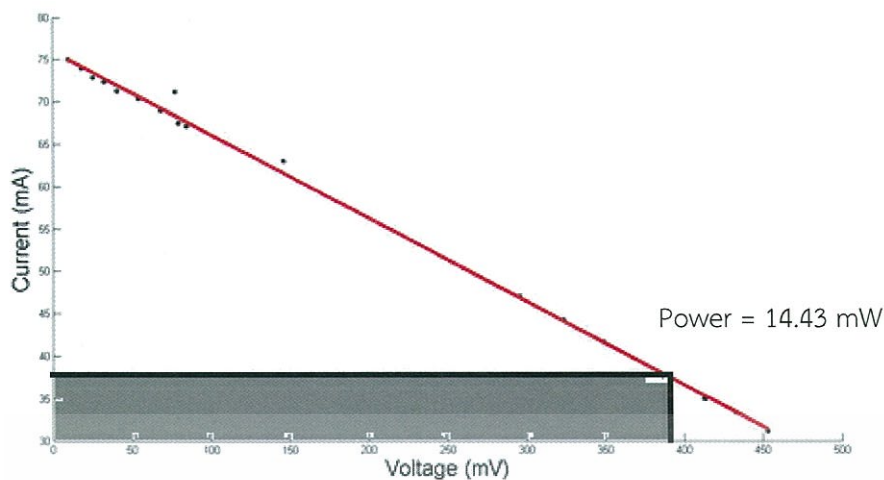
$$R = \frac{P}{V^2}$$

ได้ค่าความต้านทานที่เหมาะสม = 0.072 Ω

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 2

R(Ω)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		จาก R-Box		กำลังไฟฟ้าจากR-Box
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)	ความต่างศักย์ (mV)	
0.1	1	3.7	75	9.6	720
0.2	1	3.7	74	17.8	1317
0.3	1	3.7	72.9	25.5	1859
0.4	1	3.7	72.4	32.5	2353
0.5	1	3.7	71.3	40.4	2881
0.6	1	3.7	70.4	54.1	3809
0.7	1	3.7	67.1	84.4	5663
0.8	1	3.7	69	68.2	4706
0.9	1	3.7	67.5	79.2	5346
1	1	3.7	71.2	77.2	5497
2	1	3.7	63	146.1	9204
3	1	3.7	47.1	295.4	13913
4	1	3.7	44.3	323.4	14327
5	1	3.7	41.7	348.9	14549
6	1	3.7	37.4	391.5	14642
7	1	3.7	35	413.1	14459
8	1	3.7	35.1	412.8	14489
9	1	3.7	33.4	432.6	14449
10	1	3.7	31.2	452.9	14130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA) กับความต่างศักย์ (mV)

ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 387 กรัม ครั้งที่ 2 ได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 14.43 mW วัดที่ กระแส 37 mA และ ความต่างศักย์ 390 mV

นำกำลังไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ที่ได้จากกราฟ คำนวณหา R

จากสมการ

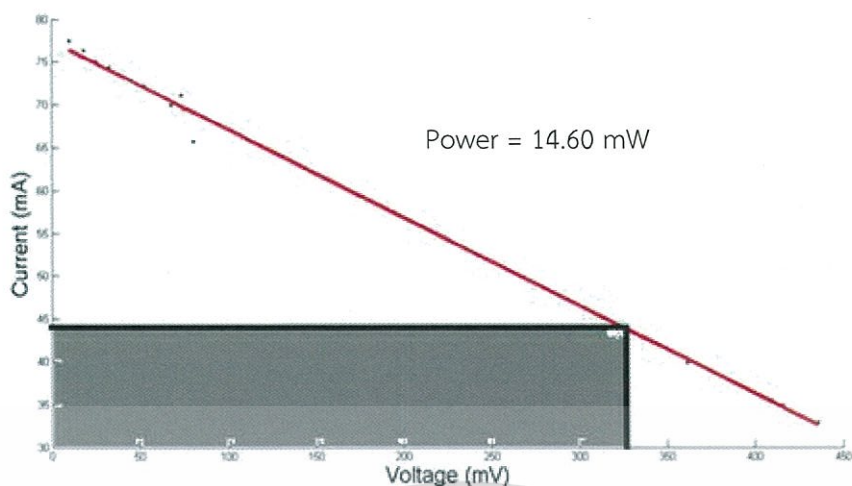
$$R = \frac{P}{V^2}$$

ได้ค่าความต้านทานที่เหมาะสม = 0.095 Ω

ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 3

R(Ω)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		จาก R-Box		กำลังไฟฟ้าจากR-Box
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)	ความต่างศักย์ (mV)	
0.1	1	3.7	77.4	10.1	782
0.2	1	3.7	76.3	18.5	1412
0.3	1	3.7	75	25.7	1928
0.4	1	3.7	74.4	32.7	2433
0.5	1	3.7	73.3	40.2	2947
0.6	1	3.7	72.2	52.5	3791
0.7	1	3.7	69.5	75.3	5233
0.8	1	3.7	70	68	4760
0.9	1	3.7	65.7	80.5	5289
1	1	3.7	71.1	73.8	5247
2	1	3.7	62.5	145.7	9106
3	1	3.7	45.9	306.6	14073
4	1	3.7	43	334.5	14384
5	1	3.7	40.6	358.6	14559
6	1	3.7	39.9	361.4	14420
7	1	3.7	35.5	408.8	14512
8	1	3.7	34.8	415.8	14470
9	1	3.7	34.9	415.9	14515
10	1	3.7	32.9	435.7	14335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA) กับความต่างศักย์ (mV)

ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 387 กรัม ครั้งที่ 3 ได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 14.60 mW ที่ กระแส 44 mA และ ความต่างศักย์ 332 mV

นำกำลังไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ที่ได้จากกราฟ คำนวณหาค่า R

จากสมการ

$$R = \frac{P}{V^2}$$

ได้ค่าความต้านทานที่เหมาะสม = 0.132 Ω

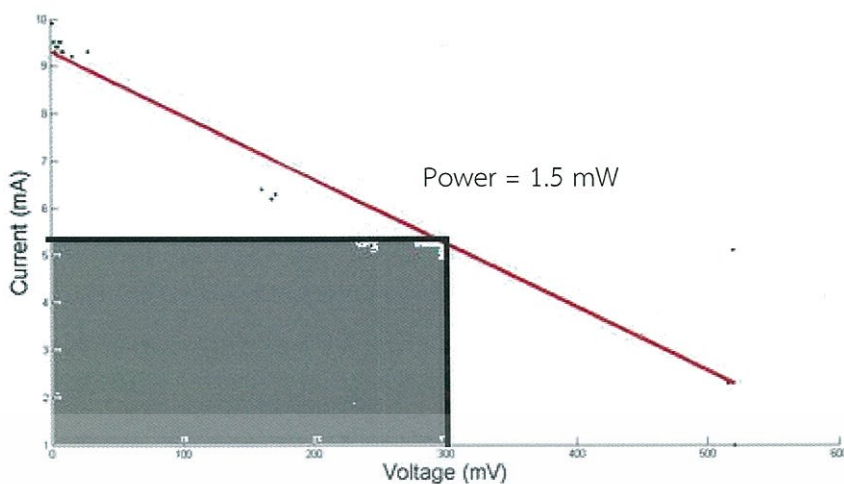
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 193.5 กรัม

ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 1

R(Ω)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		จาก R-Box		กำลังไฟฟ้าจากR-Box
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)	ความต่างศักย์ (mV)	
0.1	1	4.4	9.9	1.6	16
0.2	1	4.4	9.5	3	29
0.3	1	4.4	9.3	3.8	35
0.4	1	4.4	9.4	4.4	41
0.5	1	4.4	9.4	5.7	54
0.6	1	4.4	9.5	6.7	64
0.7	1	4.4	9.5	8.4	80
0.8	1	4.4	9.3	8.7	81
0.9	1	4.4	9.3	10.2	95
1	1	4.4	9.2	16.6	153
2	1	4.4	9.3	28.5	265
3	1	4.4	6.4	160.3	1026
4	1	4.4	6.2	168.7	1046
5	1	4.4	6.3	171.6	1081
6	1	4.4	5.3	235.2	1247
7	1	4.4	5.2	243.9	1268
8	1	4.4	5.1	519.7	2650
9	1	4.4	2.3	515.6	1186
10	1	4.4	1	520.3	520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA) กับความต่างศักย์ (mV)

ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 193.5 กรัม ครั้งที่ 1 ได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1.5 mW ที่ กระแส 5.2 mA และ ความต่างศักย์ 290 mV

นำกำลังไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ที่ได้จากกราฟ คำนวณหาค่า R

จากสมการ

$$R = \frac{P}{V^2}$$

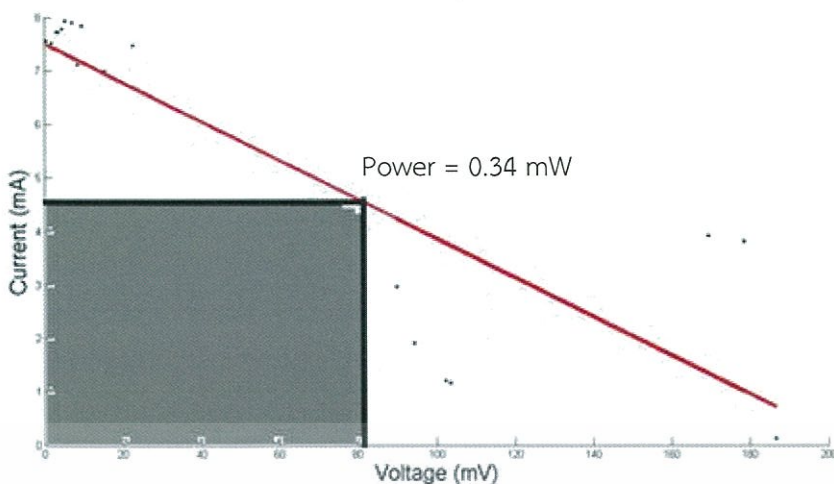
ได้ค่าความต้านทานที่เหมาะสม = 0.018 Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 2

R(Ω)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		จาก R-Box		กำลังไฟฟ้าจากR-Box
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)	ความต่างศักย์ (mV)	
0.1	1	4.4	7.56	0.6	5
0.2	1	4.4	7.51	2	15
0.3	1	4.4	7.73	3.1	24
0.4	1	4.4	7.73	3.5	27
0.5	1	4.4	7.79	4.6	36
0.6	1	4.4	7.93	5.3	42
0.7	1	4.4	7.85	9.5	75
0.8	1	4.4	7.91	7.1	56
0.9	1	4.4	7.12	8.6	61
1	1	4.4	7	15.5	109
2	1	4.4	7.47	22.6	169
3	1	4.4	4.42	81.2	359
4	1	4.4	3.92	169.4	664
5	1	4.4	3.82	178.6	682
6	1	4.4	2.96	89.8	266
7	1	4.4	1.91	94.3	180
8	1	4.4	1.21	102.3	124
9	1	4.4	1.17	103.6	121
10	1	4.4	0.12	186.6	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA) กับความต่างศักย์ (mV)

ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 193.5 กรัม ครั้งที่ 2 ได้กำลังไฟฟ้า

เท่ากับ 0.34 mW ที่ กระแส 4.2 mA และ ความต่างศักย์ 81 mV

นำกำลังไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ที่ได้จากกราฟ คำนวณหาค่า R

จากสมการ

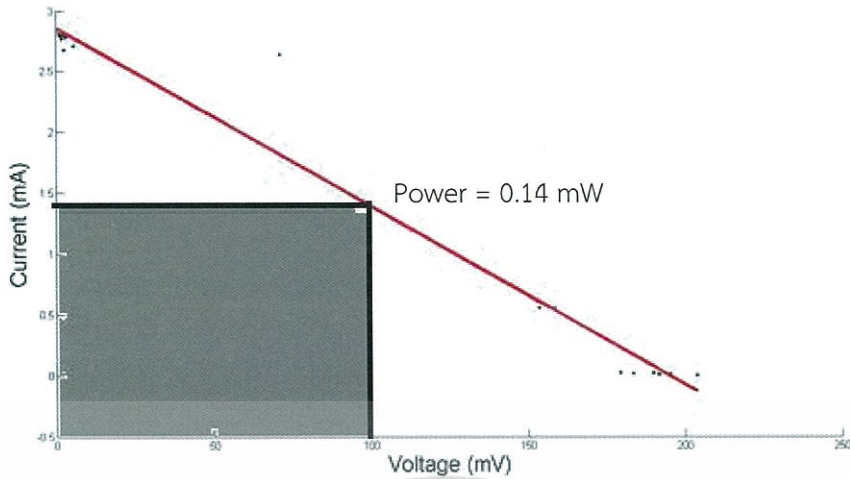
$$R = \frac{P}{V^2}$$

ได้ค่าความต้านทานที่เหมาะสม = 0.052 Ω

ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 3

R(Ω)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		จาก R-Box		กำลังไฟฟ้าจากR-Box
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)	ความต่างศักย์ (mV)	
0.1	1	4.4	2.84	0.3	1
0.2	1	4.4	2.81	0.8	2
0.3	1	4.4	2.8	1.1	3
0.4	1	4.4	2.79	1.3	4
0.5	1	4.4	2.77	1.7	5
0.6	1	4.4	2.8	1.9	5
0.7	1	4.4	2.79	3	8
0.8	1	4.4	2.68	2.5	7
0.9	1	4.4	2.78	2.9	8
1	1	4.4	2.71	5.3	14
2	1	4.4	2.64	70.9	187
3	1	4.4	0.56	153.6	86
4	1	4.4	0.55	158.4	87
5	1	4.4	0.0217	179.4	4
6	1	4.4	0.0194	183.4	4
7	1	4.4	0.0269	189.8	5
8	1	4.4	0.0132	191.7	3
9	1	4.4	0.0108	195.3	2
10	1	4.4	0.0013	203.8	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA) กับความต่างศักย์ (mV)

ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 193.5 กรัม ครั้งที่ 3 ได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.14 mW ที่ กระแส 1.4 mA และ ความต่างศักย์ 100 mV

นำกำลังไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ที่ได้จากกราฟ คำนวณหาค่า R

จากสมการ

$$R = \frac{P}{V^2}$$

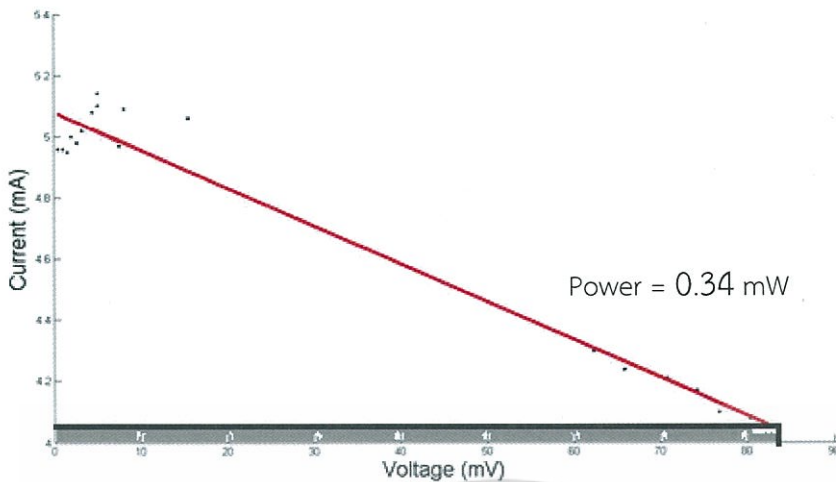
ได้ค่าความต้านทานที่เหมาะสม = 0.014 Ω

3. ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 774 กรัม

ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 1

R(Ω)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		จาก R-Box		กำลังไฟฟ้าจากR-Box
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)	ความต่างศักย์ (mV)	
0.1	1	4.1	4.96	0.5	2
0.2	1	4.1	4.96	1.1	5
0.3	1	4.1	4.95	1.7	8
0.4	1	4.1	5	2.1	11
0.5	1	4.1	4.98	2.8	14
0.6	1	4.1	5.02	3.3	17
0.7	1	4.1	4.97	7.6	38
0.8	1	4.1	5.08	4.5	23
0.9	1	4.1	5.1	5.1	26
1	1	4.1	5.09	8.1	41
2	1	4.1	5.14	5.1	26
3	1	4.1	5.06	15.6	79
4	1	4.1	4.3	62.3	268
5	1	4.1	4.24	65.8	279
6	1	4.1	4.21	70.7	298
7	1	4.1	4.17	74.2	309
8	1	4.1	4.1	76.7	314
9	1	4.1	4.08	80.3	328
10	1	4.1	4.04	83.6	338

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA) กับความต่างศักย์ (mV)

ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 774 กรัม ครั้งที่ 1 ได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.34 mW ที่ กระแส 4.1 mA และ ความต่างศักย์ 83 mV

นำกำลังไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ที่ได้จากกราฟ คำนวณหาค่า R

จากสมการ

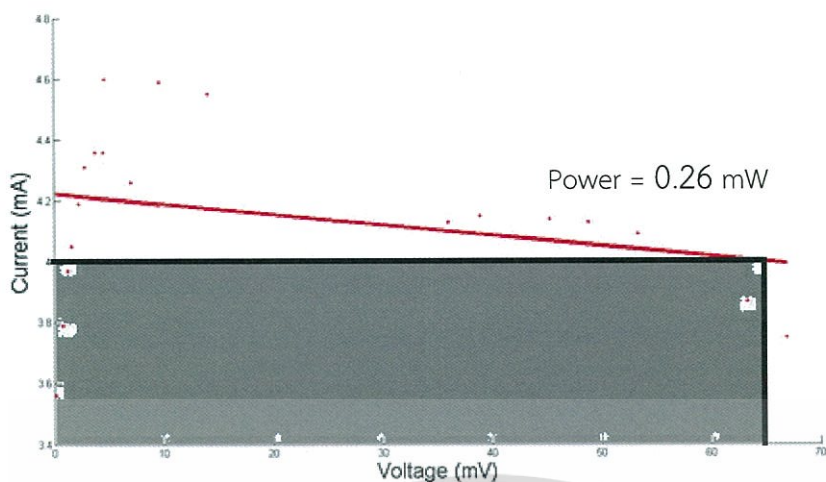
$$R = \frac{P}{V^2}$$

ได้ค่าความต้านทานที่เหมาะสม = 0.049 Ω

ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 2

R(Ω)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		จาก R-Box		กำลังไฟฟ้าจากR-Box
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)	ความต่างศักย์ (mV)	
0.1	1	4.1	3.56	0.2	1
0.2	1	4.1	3.79	0.8	3
0.3	1	4.1	3.97	1.2	5
0.4	1	4.1	4.05	1.6	6
0.5	1	4.1	4.19	2.2	9
0.6	1	4.1	4.31	2.8	12
0.7	1	4.1	4.26	7	30
0.8	1	4.1	4.36	3.8	17
0.9	1	4.1	4.36	4.5	20
1	1	4.1	4.59	9.6	44
2	1	4.1	4.6	4.6	21
3	1	4.1	4.55	14.1	64
4	1	4.1	4.13	36	149
5	1	4.1	4.15	38.9	161
6	1	4.1	4.14	45.3	188
7	1	4.1	4.13	48.8	202
8	1	4.1	4.09	53.3	218
9	1	4.1	3.87	63.3	245
10	1	4.1	3.75	66.9	251

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA) กับความต่างศักย์ (mV)

ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 774 กรัม ครั้งที่ 2 ได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.26 mW ที่ กระแส 4.1 mA และ ความต่างศักย์ 63 mV

นำกำลังไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ที่ได้จากกราฟ คำนวณหาค่า R

จากสมการ

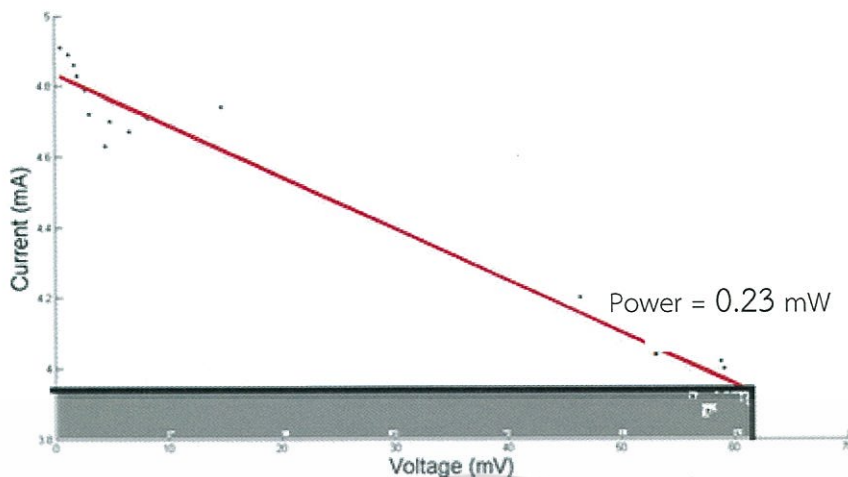
$$R = \frac{P}{V^2}$$

ได้ค่าความต้านทานที่เหมาะสม = 0.015 Ω

ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองวัดค่า I,V จากตัวต้านทาน (R-Box) ครั้งที่ 3

R(Ω)	จากแหล่งกำเนิด Power supply		จาก R-Box		กำลังไฟฟ้าจากR-Box
	กระแสไฟฟ้า (A)	ความต่างศักย์ (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)	ความต่างศักย์ (mV)	
0.1	1	4.1	4.91	0.5	2
0.2	1	4.1	4.89	1.2	6
0.3	1	4.1	4.86	1.7	8
0.4	1	4.1	4.83	2	10
0.5	1	4.1	4.79	2.7	13
0.6	1	4.1	4.72	3.1	15
0.7	1	4.1	4.71	8.2	39
0.8	1	4.1	4.63	4.5	21
0.9	1	4.1	4.7	4.9	23
1	1	4.1	4.67	6.6	31
2	1	4.1	4.74	14.7	70
3	1	4.1	4.2	46.4	195
4	1	4.1	4.05	58	235
5	1	4.1	4	59.1	236
6	1	4.1	4.09	53.1	217
7	1	4.1	3.92	56.3	221
8	1	4.1	3.88	57.6	223
9	1	4.1	4.02	58.8	236
10	1	4.1	3.92	61.5	241

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้า (mA) กับความต่างศักย์ (mV)

ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide) 774 กรัม ครั้งที่ 3 ได้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.23 mW ที่ กระแส 3.9 mA และ ความต่างศักย์ 61 mV

นำกำลังไฟฟ้า และ ความต่างศักย์ที่ได้จากกราฟ คำนวณหาค่า R

จากสมการ

$$R = \frac{P}{V^2}$$

ได้ค่าความต้านทานที่เหมาะสม = 0.066 Ω

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยวัดแบบใส่ขั้วทองแดงและไม่ใส่ขั้วทองแดงและมีเงื่อนไขที่เกี่ยวข้อง คือ จ่ายกระแสไฟฟ้า 1 A กับ 3 A ใช้เวลาในการวัด 60 นาที และ 120 นาที ใช้ปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น 387 กรัม, 193.5 กรัม และ 774 กรัม เริ่มวัดค่าตั้งแต่นาทีที่ 0 จนครบกำหนด โดยจากการทดลองค่าแรงดันจะค่อนข้างเท่ากันและมีความคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 35 นาที และค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถวัดได้มีค่าประมาณ 700 – 800 mV จากการทดลองโดยวัดแบบใส่ขั้วทองแดง เมื่อทำการทดลองไปนานๆทองแดงเกิดปฏิกิริยาโดยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จึงทำการถอดขั้วทองแดงออก ผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันกับตอนที่ใส่ขั้วทองแดง เราจึงทำการทดลองแบบไม่ใส่ขั้วทองแดง ซึ่งในการทดลองค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายไปยังมาก มีผลทำให้การเกิดการผลิตก๊าซไฮโดรเจนเร็วขึ้น แต่ไม่ได้เพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มากขึ้น

ตอนที่ 2 วัดกำลังของระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยใช้ปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ตามการทดลองในตอนที่ 1 และใช้เวลาที่ค่าแรงดันในตอนที่ 1 คงที่เป็นเวลาในการเริ่มค่าวัดกำลังของระบบ โดยใช้วัดกับ R-Box ตั้งแต่ 0.1 – 10.0 Ω โดยวัดค่าที่ได้จากปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) แต่ละค่า จำนวน 3 ครั้ง

- KOH 38.7% ได้กำลังไฟฟ้า 14.42 mW ค่าความต้านทานที่เหมาะสม 0.099 Ω
- KOH 19.35% ได้กำลังไฟฟ้า 0.66 mW ค่าความต้านทานที่เหมาะสม 0.028 Ω
- KOH 77.4% ได้กำลังไฟฟ้า 0.27 mW ค่าความต้านทานที่เหมาะสม 0.043 Ω

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 387 กรัม จะให้กำลังไฟฟ้าที่มากที่สุด เพราะเป็นความถ่วงจำเพาะที่เหมาะสมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.28 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ต้องใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 387 กรัมต่อน้ำ 1000 มิลลิตร ถ้าใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณมากหรือน้อยเกินไปก็จะผลิตไฮโดรเจนได้กำลังไฟฟ้าน้อยเหมือนกับที่ปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 193.5 กรัม, 774 กรัม ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้น้อยลงเพราะประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนน้อย และจากการทดลองยังไม่สามารถวัดประสิทธิภาพของระบบได้เนื่องจากในการทดลองใช้ระยะเวลาสั้น แต่สันนิษฐานว่า ประสิทธิภาพของระบบนี้ค่อนข้างต่ำ ปัญหาอาจเกิดจากขั้วไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า การออกแบบระบบและการประกอบระบบ ซึ่งเมื่อทำการทดลองไปนานๆทำให้เกิดการกัดกร่อนและเสื่อมสภาพตามการใช้งาน ทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อน เหตุผลนี้จึงยังคงต้องทำการศึกษาและทดลองต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการประกอบอิเล็กทรอนิกส์ถ้าจำเป็นต้องใส่ขั้วควรวาววัสดุที่มีคุณภาพสูง สามารถทนการกัดกร่อนและนำไฟฟ้าได้ดี
2. ในการประกอบอิเล็กทรอนิกส์ควรมีการเชื่อมรูให้ดีเพราะในการทดลองต้องใช้แรงดันของไฮโดรเจน หากมีรูรั่วจะทำให้แรงดันไม่คงที่ ทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อน ทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำไปด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

The electrolyte

Potassium hydroxide (also known as caustic potash) is a strong electrolyte. This means that it is essentially 100% ionized in solution and thus is a good conductor of electricity. When the positive and negative poles of the electrolyzer are connected to the power source, hydrogen ions combine with electrons at the negative electrode to form hydrogen, and hydroxy ions give up electrons at the positive electrode, releasing oxygen. Twice as much hydrogen is generated as oxygen, since the water molecule contains two hydrogen atoms for every oxygen atom.

Other electrolytes, such as sodium hydroxide, can be used, but they are not as conductive as KOH. Acids such as sulfuric acid can be used as electrolytes, but this is more corrosive to the electrodes, and the added wear and tear on various components does not justify its use.

Essentially KOH is the best choice for alkaline electrolyzers.

KOH can be purchased, or made if you have a source of hard wood ashes. The making of lye used to be a common chore in most households. If you are interested in making your own KOH my book Build Your Own Fuel Cells contains complete illustrated instructions. If you buy KOH from a chemical supply house you will find the following table helpful.

If you make your own KOH, use this table to determine the specific gravity of the solution when you take a hydrometer reading. This will indicate whether to boil the solution down more to strengthen it, or add more distilled water to weaken it.

I make my own KOH from wood ash and do not bother to boil it down. I simply refill the reservoir with more KOH solution rather than distilled water. The KOH, when I first make it, comes out at about 12% solution. In the electrolysis process, the solution becomes stronger as the water disassociates and is used up, leaving the KOH behind. Once the solution in the electrolyzer reservoir is at the right specific gravity, all that is necessary is to add distilled water as the water in the electrolyte disassociates and is used up.

If you start with the exact specific gravity that you want when you first fill the reservoir, then afterward, simply replenish the reservoir with distilled water to the same level of your first fill. KOH is lost over time, but it is mostly the water that is

used up in the process. Also, be sure to use distilled water only. Well, tap, and spring water contain far too many unknowns (minerals, organic particles, etc.) that will cause problems with the electrolyzing process and gum up the electrodes.

Potassium hydroxide (KOH) solution strength

Specific Gravity	Percent KOH	Lbs. US Gallon	Specific Gravity	Percent KOH	Lbs. US Gallon
1.0083	1	0.0841	1.1493	16	1.5350
1.0175	2	0.1698	1.1590	17	1.6440
1.0267	3	0.2570	1.1688	18	1.7560
1.0359	4	0.3458	1.1786	19	1.8690
1.0452	5	0.4361	1.1884	20	1.9830
1.0544	6	0.5280	1.1984	21	2.1000
1.0637	7	0.6214	1.2083	22	2.2180
1.0730	8	0.7164	1.2184	23	2.3390
1.0824	9	0.8130	1.2285	24	2.4610
1.0918	10	0.9111	1.2387	25	2.5840
1.1013	11	1.0110	1.2489	26	2.7100
1.1108	12	1.1120	1.2592	27	2.8370
1.1203	13	1.215	1.2695	28	2.966
1.1299	14	1.32	1.28	29	3.098
1.1396	15	1.427	1.2905	30	3.231

Never mix dry purchased KOH into the water in the reservoir-the process generates too much heat. Always mix KOH into the water by putting a little bit in at a time, very slowly. Do not mix by pouring water onto the KOH. Use only plastic or stainless steel buckets or containers. Do not use aluminum pots or utensils for mixing or holding KOH solution!!! And, always let the solution cool down before refilling the reservoir.

For best conductivity, the solution should be about 29.4%, which means it would have a specific gravity of about L28. This would require 3.231 pounds of KOH for one gallon of distilled water.

This particular specific gravity is not necessary, and a milder, less conductive solution of about 12% will work. For optimal performance however, you will want to work with a 29.4% solution. To check the specific gravity of a solution, use a hydrometer such as those designed for testing the specific gravity of battery electrolyte. Hydrometers can be purchased at any auto parts or hardware store.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

การศึกษาโครงสร้างและสมบัติทางไฟฟ้าโดยการเติมสารลงในตำแหน่ง A-site ของ $BaCeO_3$ ที่ใช้เป็นวัสดุอิเล็กโทรไลต์สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็ง.
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (17 กันยายน 2558).

Phillip Hurley. 2013. Build a Solar Hydrogen Fuel cell System. USA

http://www.il.mahidol.ac.th/emedial/electrochemistry/web/5fuel_kind2.htm.

<http://www2.dede.go.th/hydronet/01Knowledge/01Fuel%20Cell/FuelCellMain.html>.

<http://journal.pnu.ac.th/ojs/index.php/pnujr/article/viewFile/393/351>.

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/viewFile/25685/21815>.

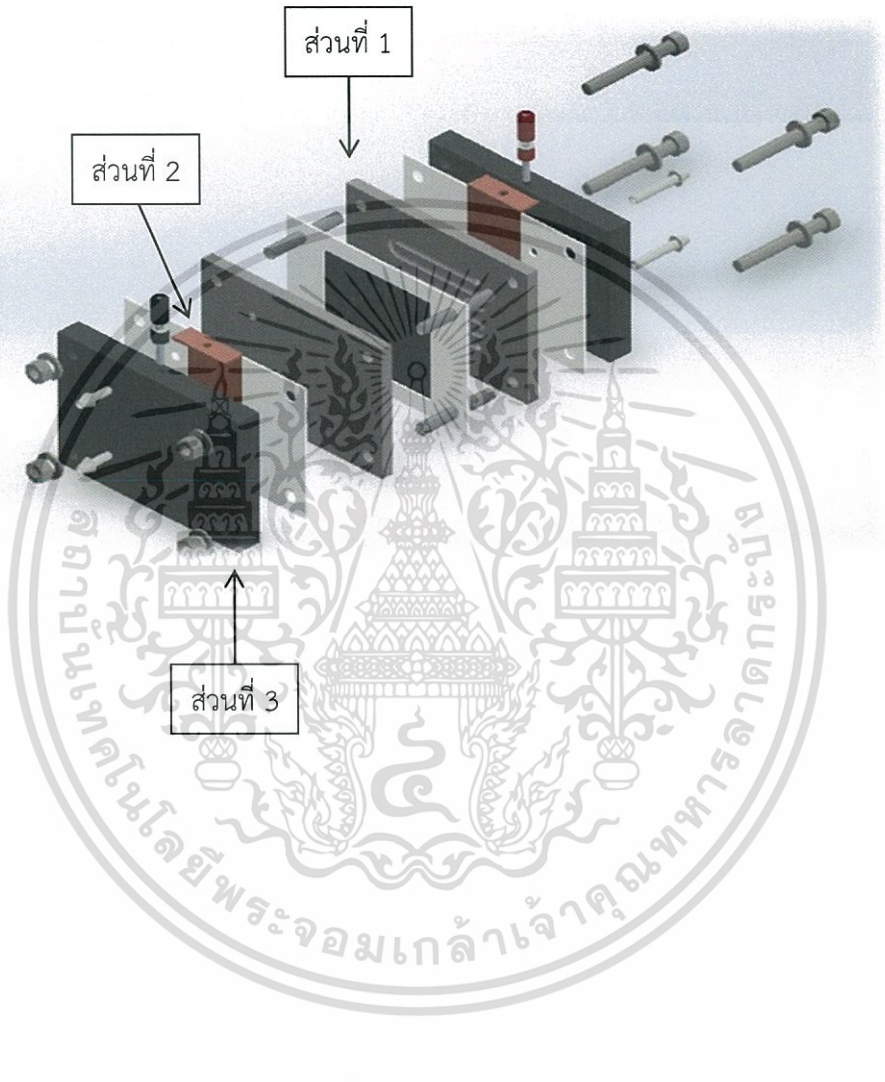


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

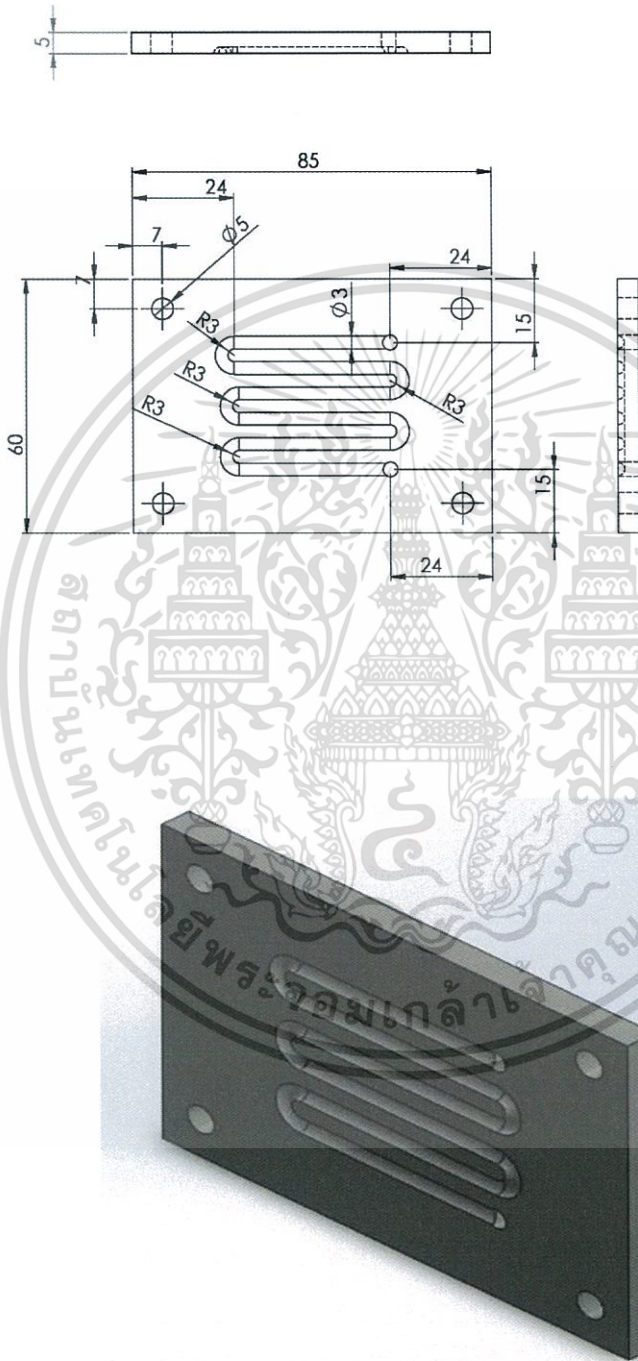
การออกแบบชุดทดลอง

1. Fuel Cell



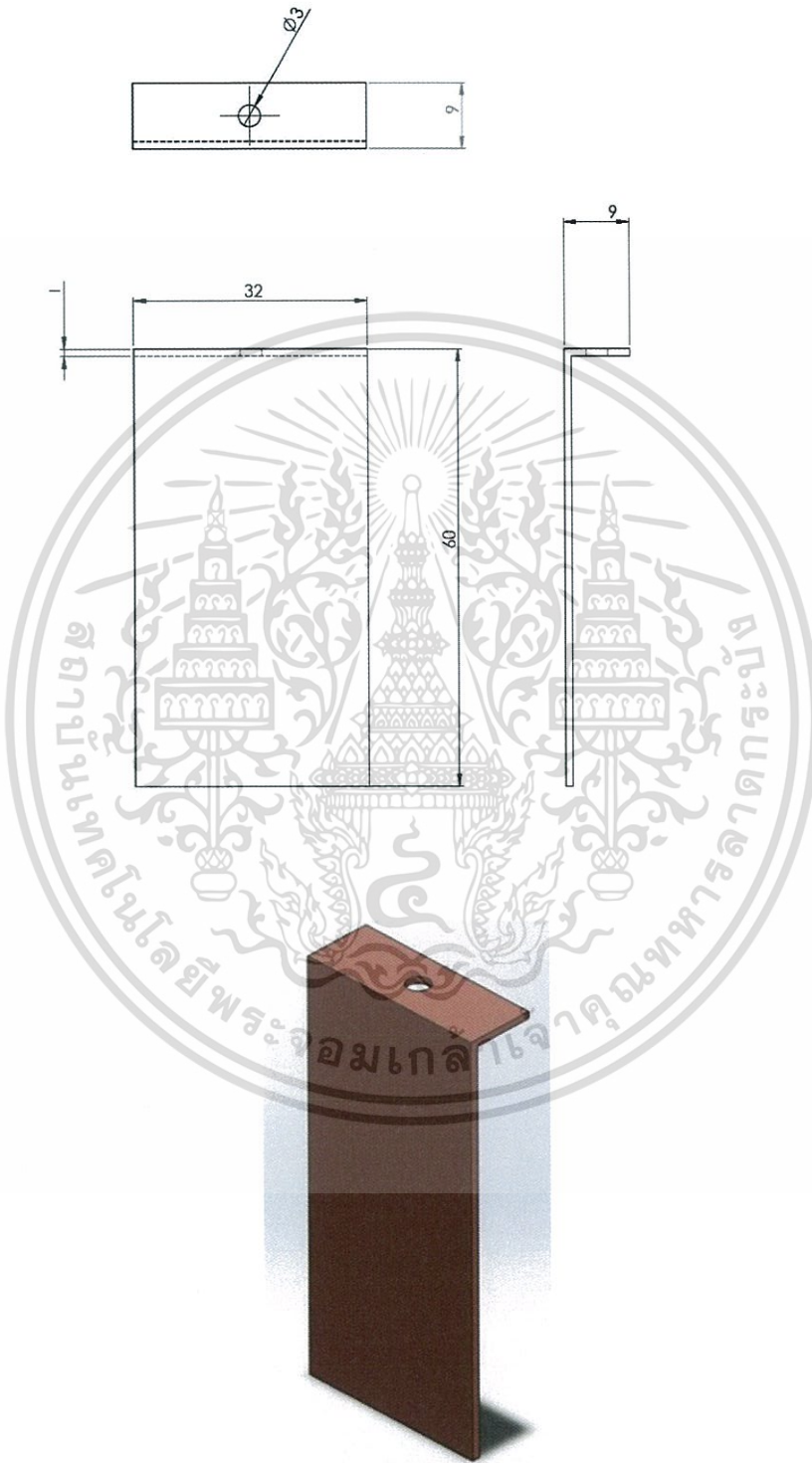
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 1



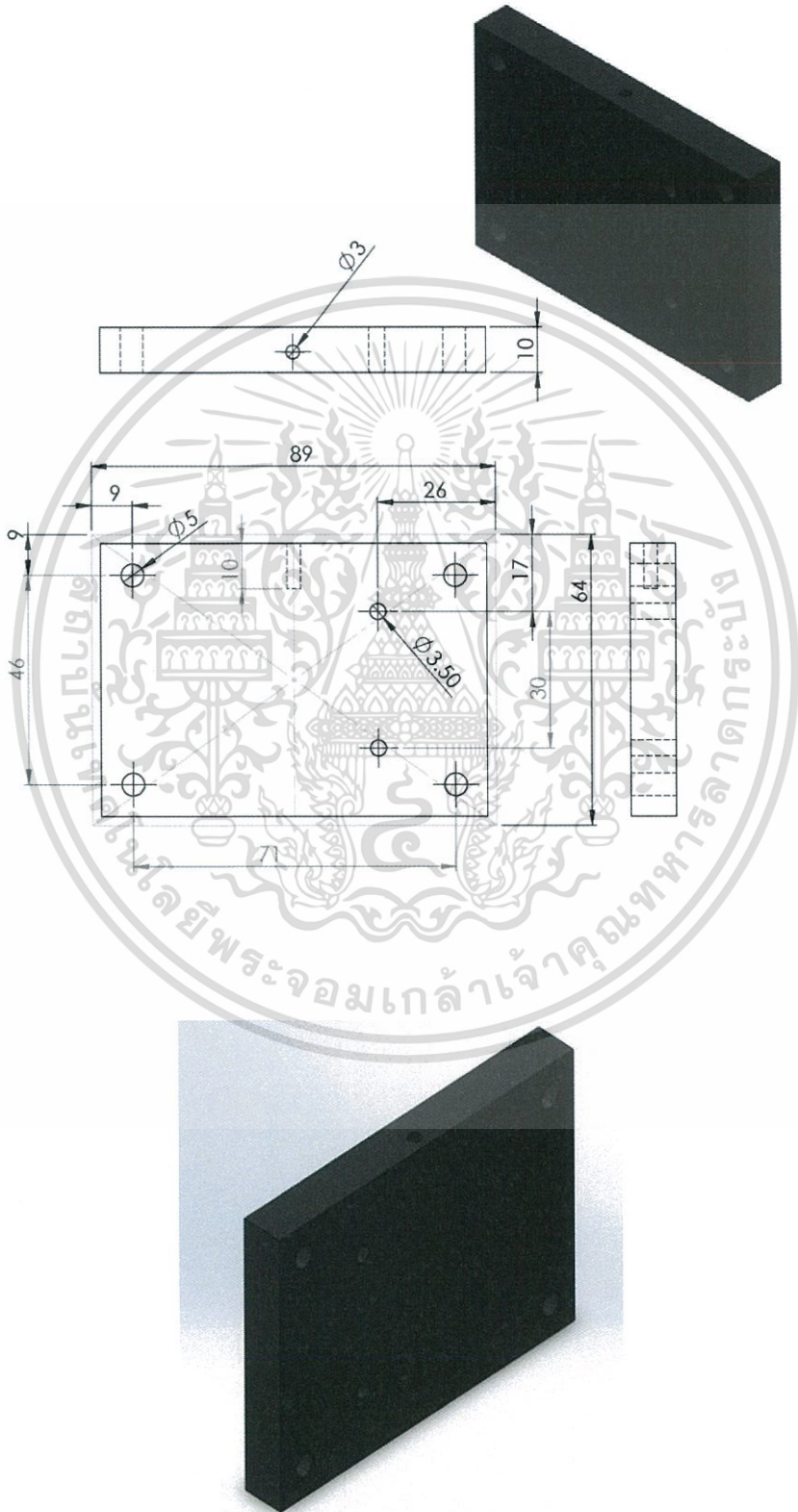
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2



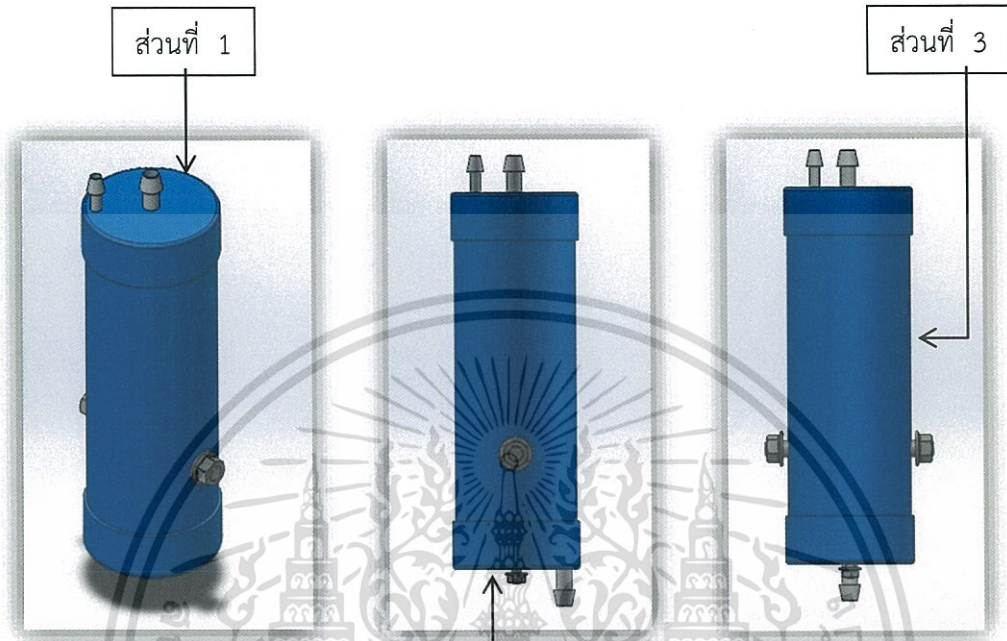
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3



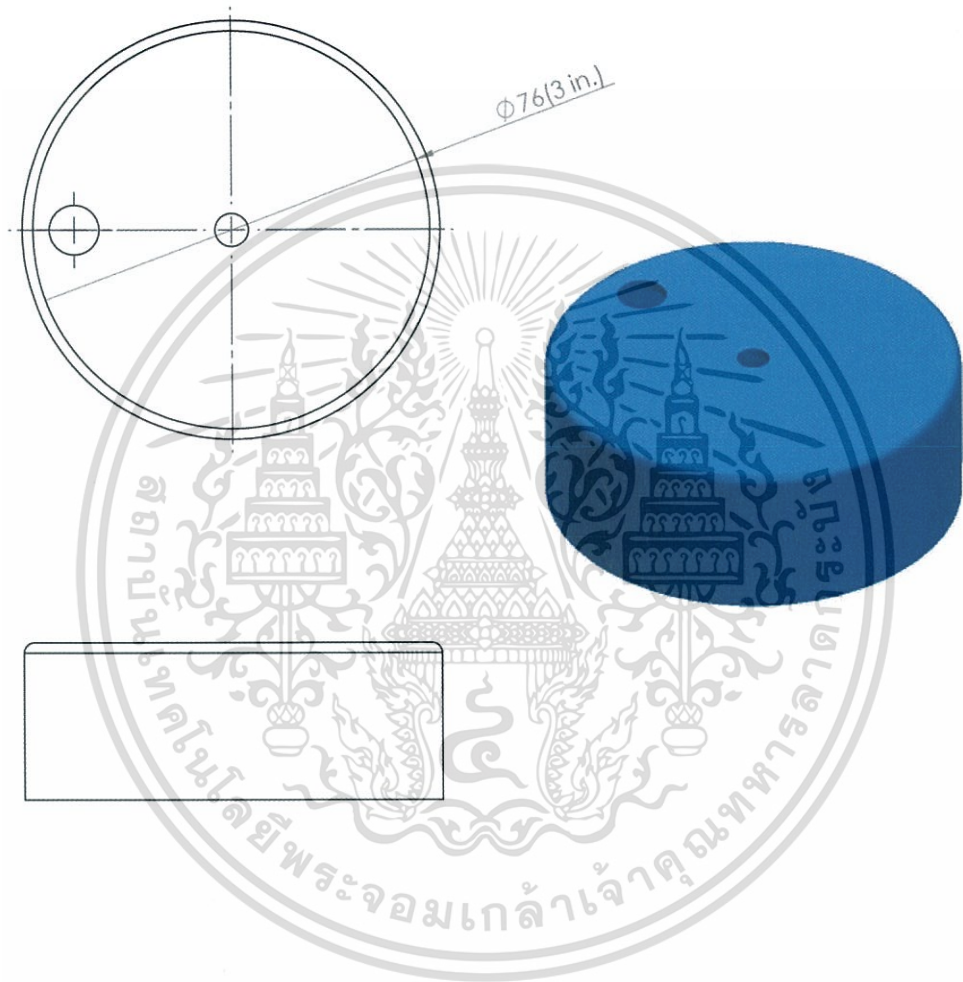
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Electrolyzers



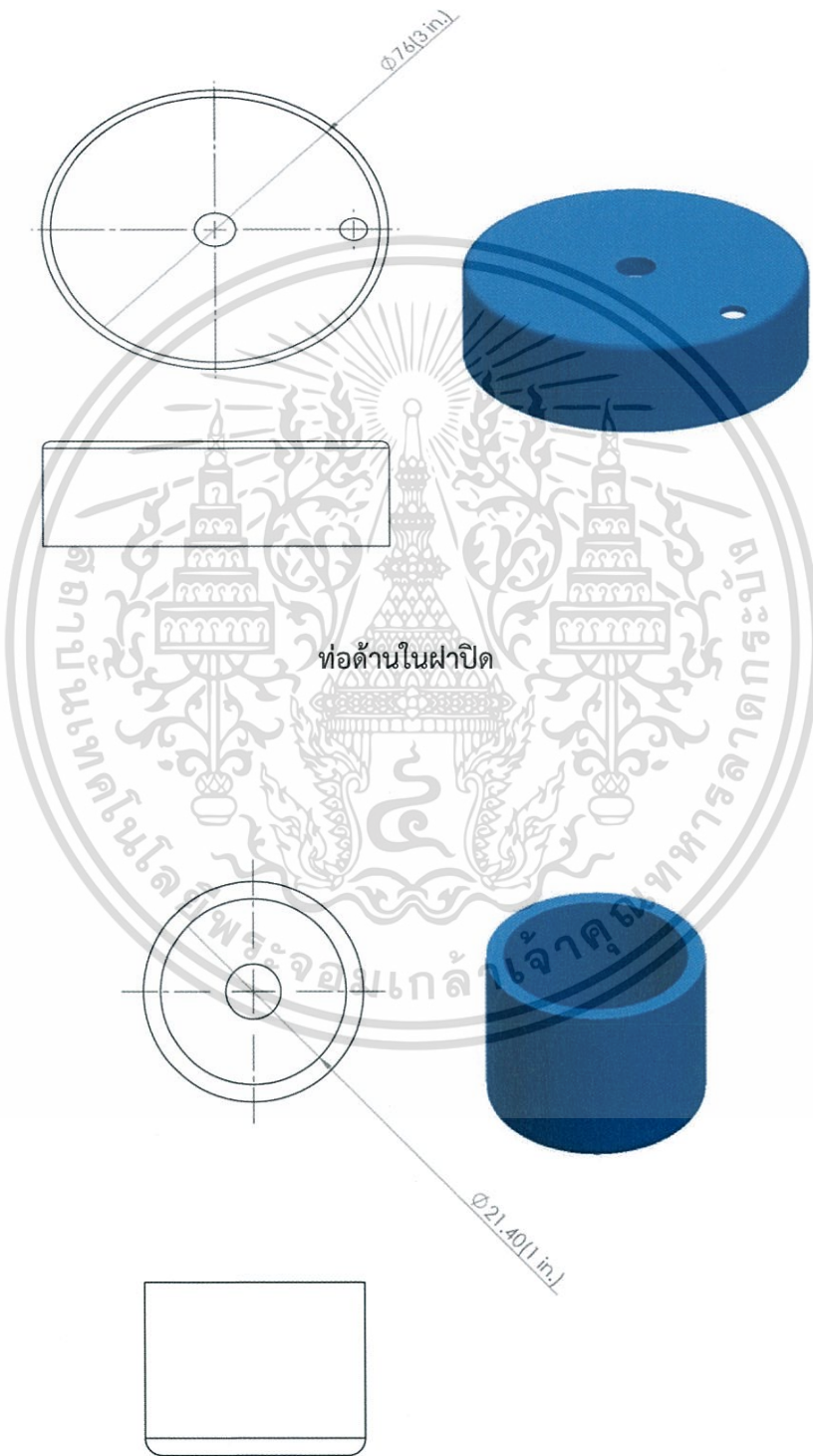
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 1
ฝาปิดด้านบน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2
ฝาปิดด้านล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3

กระบอกด้านนอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

การศึกษาโครงสร้างและสมบัติทางไฟฟ้าโดยการเติมสารลงในตาแหน่ง A-site ของ $BaCeO_3$ ที่ใช้เป็นวัสดุอิเล็กโทรไลต์สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงออกไซด์ของแข็ง.
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. (17 กันยายน 2558).

Phillip Hurley. 2013. Build a Solar Hydrogen Fuel cell System. USA

http://www.il.mahidol.ac.th/emedial/electrochemistry/web/5fuel_kind2.htm.

<http://www2.dede.go.th/hydronet/01Knowledge/01Fuel%20Cell/FuelCellMain.html>.

<http://journal.pnu.ac.th/ojs/index.php/pnujr/article/viewFile/393/351>.

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/viewFile/25685/21815>.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้