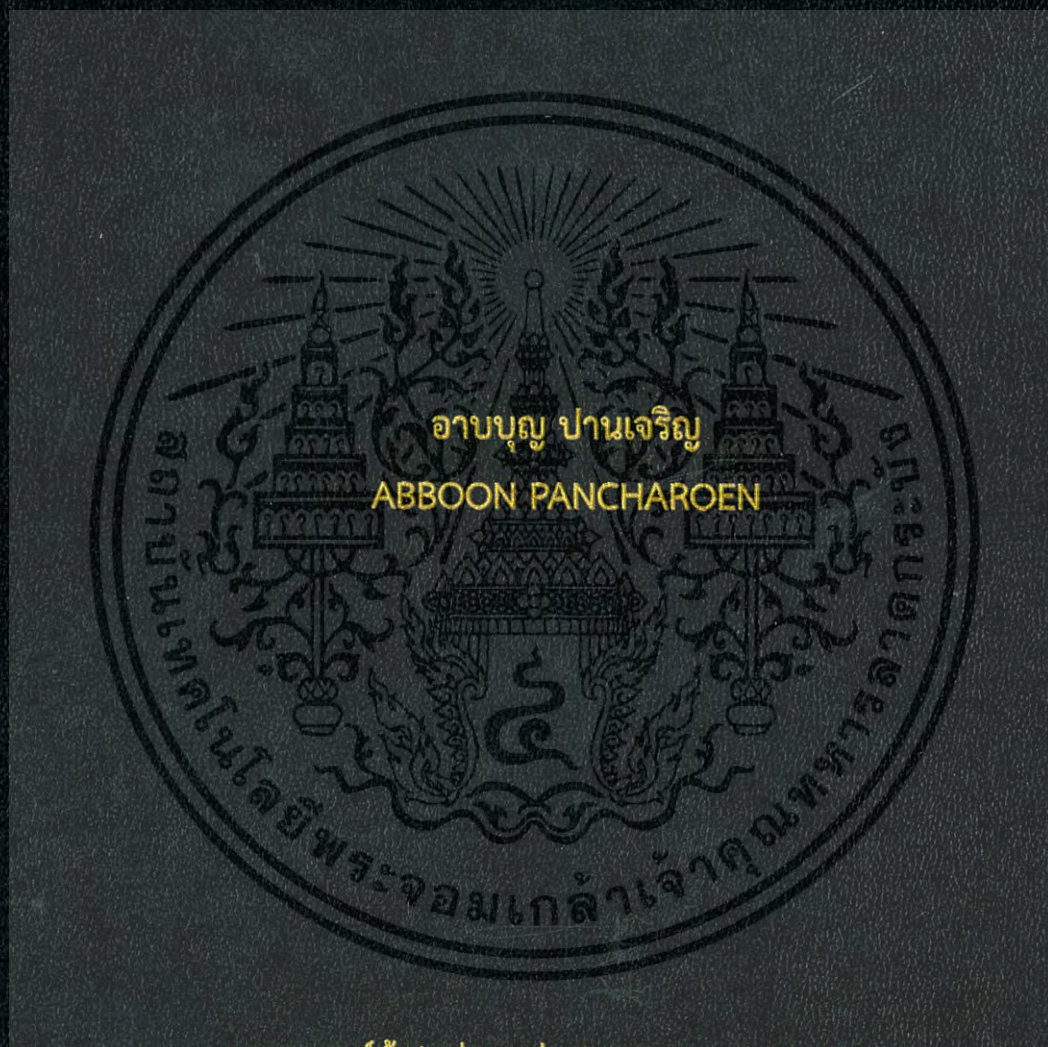


การศึกษาแบคทีเรียชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้ง
STUDY OF BIOBATTERY FROM WASTE MATERIAL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-SC-M-030-072

การศึกษาแบคทีเรียชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้ง
STUDY OF BIOBATTERY FROM WASTE MATERIAL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

KMITL-2015-SC-M-030-072

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF BIOBATTERY FROM WASTE MATERIAL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED PHYSICS

DEPARTMENT OF PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2015

KMITL-2015-SC-M-030-072

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPY RIGHT 2015

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาแบตเตอรี่ชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้ง
นักศึกษา	นายอาบบุญ ปานเจริญ
รหัสประจำตัว	55650608
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.สาหร่าย เล็กข่อม

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้เสนอการศึกษาแบตเตอรี่ชีวภาพ จากการนำเอาเศษซากพืชที่ไม่เกิดประโยชน์ คือ เศษลำต้นกล้วย เปลือกสับปะรด และผสมมะยม มาใช้เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ ร่วมกับเศษวัสดุโลหะเหลือใช้ที่ไม่ใช้งานแล้ว คือ ทองแดง สังกะสี อลูมิเนียม และเหล็ก เป็นขั้วไฟฟ้าแอโนดและแคโทด ในการทดลองนี้นำเอาเศษซากพืชมาผ่านกระบวนการเตรียมเป็นสารอิเล็กโทรไลต์แล้วนำมาทดสอบร่วมกับขั้วไฟฟ้าแอโนดและแคโทดคือทองแดง – สังกะสี ทองแดง – เหล็ก และ ทองแดง – อลูมิเนียม ตามลำดับ ทำการวิเคราะห์หาค่าศักย์ไฟฟ้า ความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิด วิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากพื้นที่และระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า และเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่ชีวภาพแต่ละชนิด ผลการทดลองพบว่าเซลล์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดสามารถให้ค่าความหนาแน่นพลังงานสูงสุดที่ 67.4119 วัตต์ชั่วโมง/ซ.ม.² คือสารอิเล็กโทรไลต์ที่นำมาจากเปลือกสับปะรด และขั้วไฟฟ้าทองแดง – สังกะสี ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำได้และมีต้นทุนในการผลิตพลังงานที่ต่ำ

คำสำคัญ : แบตเตอรี่ชีวภาพ ขั้วไฟฟ้า อิเล็กโทรไลต์ ความหนาแน่นพลังงาน

Thesis Title	Study of biobattery from waste material
Student	Abboon Pancharoen
Student ID	55650608
Degree	Master of Science
Program	Applied Physics
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc.Prof Sarai Lekchaum

ABSTRACT

In this research, we present study of biobattery which is comprised of waste material. Banana tree trunk, pineapple peel and star gooseberry as electrolytes conjunction with scrap waste metal not used is copper zinc aluminium and metal as electrodes. In this experiment bring scrap litter through a process of preparing an electrolyte and then tested with the electrode anode and cathode is copper – zinc, copper – iron and copper – aluminium respectively, to evaluate the electric potential, capacity of each biobattery types, to analyze the effect of space and distance between electrodes and compare the performance of each types of biobattery. The results showed that different types of biobattery that are temped, the best efficiency of many types of biobaattery provide a power density is 67.4119 WAh/cm² is an electrolyte taken from the pineapple peel with copper – zinc electrodes which was able to apply in low power electronic devices and low production costs.

Keywords: biobattery, electrodes, electrolyte, power density

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ “การศึกษาแบคทีเรียชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้ง”
“STUDY OF BIOBATTERY FROM WASTE MATERIAL”
ชื่อนักศึกษา นายอาบบุญ ปานเจริญ
รหัสประจำตัว 55650608
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์สาหร่าย เล็กชะอุ่ม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์ ประธานกรรมการ	ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์
ผศ.ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์ อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง)	เชรชฐา รัตนพันธ์
ผศ.ดร.สีปดระกุล สุชาติ ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ	สีปดระกุล สุชาติ
รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ 11 ธันวาคม พ.ศ.2558 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 307 อาคารจุฬารามณ์วิทยาลัย ชั้น 1

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุขนิ ธนะบริพัฒน์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่ 23 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดี ด้วยกับพระประสงค์ของพระเจ้าเพียงองค์เดียว นั่นคือ อัลลอฮ์ ผู้ทรงสร้างและผู้ที่เหมาะสมแก่การเคารพภักดีเพียงพระองค์เดียว เป็นผู้ที่เปี่ยมแรงบันดาลใจสูงสุดในการสร้างสิ่งดีๆ ให้เกิดประโยชน์แก่ผู้อื่น และพระองค์เป็นสาเหตุที่ทำให้ได้รับคำแนะนำทางด้านทฤษฎีเกี่ยวกับเซลล์ไฟฟ้าเคมีและการใช้งานแบตเตอรี่ตลอดจนได้รับคำแนะนำในการปรับปรุงการทดลองจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม และขอขอบคุณ ผศ.ดร.ภทรี ยา ดำรงค์ดี ผศ.ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์ และ ผศ.ดร.สีปตระกุล สุขชาติ ประธานกรรมการและคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ตลอดจนถึงชี้แนะข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษางานวิจัยให้มีคุณภาพที่มากขึ้น

ขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นเพื่อน และ รุ่นน้อง ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำแหล่งสืบค้นข้อมูลเพื่อการศึกษาค้นคว้า รวมไปถึงให้คำปรึกษาขั้นตอน ระบบการจัดทำและติดต่อกันเพื่อเติมเต็มวิทยานิพนธ์ให้ดียิ่งขึ้นไป

ขอขอบคุณ อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง ที่ให้สถานที่ คำแนะนำ และ จัดหาสิ่งอำนวยความสะดวกตลอดจนถึงแนะนำขั้นตอนการสมัคร เพื่อนำผลงานวิจัย ไปเสนอในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติได้สำเร็จ

ขอขอบคุณ ดร.กัจปัญญา สุวรรณสุขุโข ที่ได้อำนวยความสะดวกเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณหน่วยงานบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนและอำนวยความสะดวกในงานด้านเอกสาร

ท้ายที่สุดขอขอบคุณบิดาผู้ล่วงลับไปแล้ว มารดาและสมาชิกในครอบครัวทุกคนที่ยังมีชีวิตอยู่ รวมถึงเพื่อนสนิทที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือกันตลอดมา ขอให้ความดีงามได้โปรดประสพแก่ทุกท่านที่มีส่วนร่วมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย

นายอาบบุญ ปานเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การทำงานของแบตเตอรี่.....	6
2.2 การจำแนกประเภทของเซลล์ไฟฟ้าเคมีและแบตเตอรี่.....	7
2.3 การทำงานของแบตเตอรี่.....	9
2.4 ทฤษฎีแรงดันไฟฟ้า.....	10
2.5 ทฤษฎีของประจุไฟฟ้า.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 ทฤษฎีพลังงานไฟฟ้า.....	12
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่.....	13
2.8 ระดับค่าแรงดันไฟฟ้า.....	17
2.9 ความสัมพันธ์ทางอุณหพลศาสตร์.....	18
2.10 กระบวนการที่ขั้วไฟฟ้า.....	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 การพิจารณาอิเล็กทรอนิกส์และการเตรียมอิเล็กทรอนิกส์.....	27
3.2 การทดสอบสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์.....	30
3.3 การพิจารณาวัสดุโลหะที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้า.....	30
3.4 การศึกษาการสร้างแบตเตอรี่.....	33
3.5 วงจรทดสอบค่าความนำไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์.....	36
3.6 วงจรทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่.....	39
3.7 วงจรทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพ.....	40
3.8 การจับคู่ขั้วไฟฟ้าที่มีความเหมาะสม.....	43
3.9 การทดสอบหาค่าความนำไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์.....	43
3.10 การทดสอบหาค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่.....	43
3.11 การทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่.....	44
3.12 การวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละชนิดของแบตเตอรี่.....	45
3.13 การวิเคราะห์ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระหว่างการปล่อยประจุ.....	46
3.14 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพ.....	47
3.15 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่.....	48
3.16 การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.17 การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า.....	50
3.18 การวิเคราะห์ปริมาณงานที่เกิดขึ้นจากการทำงานของแบตเตอรี่.....	51
3.19 การวิเคราะห์ค่าพลังงานเสรีของแบตเตอรี่.....	53
3.20 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เชิงพลังงานไฟฟ้า.....	54
3.21 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงราคาต้นทุน.....	54
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	55
4.1 ผลจากการพิจารณาอิเล็กทรอนิกส์และการเตรียมอิเล็กทรอนิกส์.....	55
4.2 ผลจากการพิจารณาวัสดุโลหะที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้า.....	58
4.3 ผลจากการศึกษาการสร้างแบตเตอรี่ชีวภาพ.....	59
4.4 ผลจากการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่.....	60
4.5 ผลจากการวิเคราะห์การปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่.....	61
4.6 ผลจากการหาปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่แบตเตอรี่ผลิตออกมาได้.....	63
4.7 การวิเคราะห์ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระหว่างการปล่อยประจุ.....	65
4.8 ผลจากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพ.....	66
4.9 ผลจากการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่.....	68
4.10 ผลจากการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า.....	69
4.11 ผลจากการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า.....	70
4.12 ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณงานที่เกิดขึ้นในการทำงานของแบตเตอรี่.....	71
4.13 ผลจากการวิเคราะห์พลังงานเสรีของแบตเตอรี่.....	76
4.14 ผลจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงานของแบตเตอรี่.....	79
4.15 ผลจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงต้นทุนการผลิต.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	82
5.1 บทสรุป	82
5.2 ข้อเสนอแนะ	84
เอกสารอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	87
ประวัติผู้เขียน	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนภาพการดำเนินงานวิจัย	4
2.1 การทำงานของเซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	9
2.2 ความเบี่ยงเบนภายในแบตเตอรี่เทียบกับระดับกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยออกมา.....	16
2.3 แสดงลักษณะการคายประจุ.....	18
2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของทาเพลที่เส้นกราฟโค้งเข้าสู่จุดตำแหน่ง (0,0)	22
2.5 แสดงกระบวนการที่ซื้อไฟฟ้า.....	23
2.6 แสดงรูปความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าส่วนเกินและกระแสไฟฟ้า.....	26
3.1 ลำต้นกล้วย.....	28
3.2 เปลือกสับปรต.....	29
3.3 ผลมะยม.....	29
3.4 แสดงกระบวนการแปรสภาพของเศษซากพืชให้กลายเป็นอิเล็กโทรไลต์.....	30
3.5 แสดง pH Meter ที่ใช้ในการวัดค่า pH ของอิเล็กโทรไลต์.....	31
3.6 แผ่นทองแดง.....	32
3.7 แผ่นสังกะสี.....	32
3.8 แผ่นเหล็ก	33
3.9 แผ่นอลูมิเนียม	34
3.10 แสดงบล็อกของแบตเตอรี่ชีวภาพแบบที่ 1	35
3.11 แสดงบล็อกของแบตเตอรี่แบบที่ 2	35
3.12 แสดงที่ยึดขั้วไฟฟ้า.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 แสดงบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่.....	36
3.14 วงจรทดสอบสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์.....	38
3.15 แสดงเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่อวงจรทดสอบค่าสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์.....	39
3.16 แสดงเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน (VR).....	39
3.17 แสดงเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมอิเล็กทรอนิกส์ (Ve).....	40
3.18 วงจรทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่.....	41
3.19 แสดงเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมอิเล็กทรอนิกส์.....	41
3.20 แสดงวงจรทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่.....	42
3.21 แสดงเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (VE).....	42
3.22 แสดงเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน (VR).....	43
3.23 แสดงเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมหลอดแอลอีดี (VD).....	43
4.1 แสดงลักษณะของบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่หลังจากประกอบรวมเข้าด้วยกันแล้ว.....	61
4.2 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.2 ที่เวลาผ่านไปใดๆ.....	63
4.3 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมตัวต้านทานชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.2 ที่เวลาผ่านไปใดๆ.....	63
4.4 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมหลอดแอลอีดีชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.2 ที่เวลาผ่านไปใดๆ.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงความสมมูลทางไฟฟ้าของวัสดุแอโนดที่นำมาใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้าชนิดต่างๆ	10
2.2 แสดงความสมมูลทางไฟฟ้าของวัสดุแคโทดที่นำมาใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้าชนิดต่างๆ	11
2.3 ค่าแรงดัน ความจุไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบแบตเตอรี่ปฐมภูมิในทางทฤษฎีและในทางปฏิบัติ	13
2.4 ช่วงการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง	16
2.5 ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง	20
2.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ α ที่อุณหภูมิ 25°C สำหรับระบบที่เลือกใช้งาน	24
3.1 แสดงการเปลี่ยนสีของกระดาษลิตมัส หลังจากที่ได้ทดสอบกับเศษซากพืชที่ได้คัดเลือก	30
3.2 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการทดสอบ	34
3.3 แสดงจำนวนตัวต้านทานและหลอดแอลอีดี ที่ใช้ทดสอบกับแบตเตอรี่ที่มีพื้นที่ขั้วไฟฟ้าต่างกัน	45
4.1 แสดงกระบวนการต่างๆ ในการเตรียมอิเล็กโทรไลต์	56
4.2 แสดงอิเล็กโทรไลต์ที่ได้จากการเตรียม	57
4.3 แสดงค่า pH ที่ได้จากการวัดของอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด	57
4.4 แสดงสภาพความนำไฟฟ้าอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด	58
4.5 แสดงการจับคู่กันระหว่างขั้วไฟฟ้าที่มีความเหมาะสมเป็นขั้วแคโทดและแอโนด	59
4.6 ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้าแต่ละชนิด	60
4.7 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพในลักษณะ 1 เซลล์	62
4.8 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพในลักษณะ 4 เซลล์ต่ออนุกรม	62
4.9 ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของแบตเตอรี่แต่ละชนิด	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.10 ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระหว่างการปล่อยประจุของแบตเตอรี่แต่ละชนิด	67
4.11 ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิด	68
4.12 ค่ากำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิด	70
4.13 ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ขนาดพื้นที่ใดๆ ของแบตเตอรี่แต่ละชนิด	71
4.14 ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระยะห่างระหว่างขั้วใดๆ ของแบตเตอรี่แต่ละชนิด	73
4.15 ปริมาณงานที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ที่มีขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม. ²	76
4.16 ปริมาณงานที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ที่มีขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 6 ซม. ²	77
4.17 ปริมาณงานที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ที่มีขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 10 ซม. ²	77
4.18 แสดงพลังงานเสรีที่ได้จากขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 2 ซม. ²	79
4.19 แสดงพลังงานเสรีที่ได้จากขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 6 ซม. ²	80
4.20 แสดงพลังงานเสรีที่ได้จากขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 10 ซม. ²	80
4.21 แสดงประสิทธิภาพเชิงพลังงานของแบตเตอรี่แต่ละชนิด	82
4.22 แสดงต้นทุนการผลิตแบตเตอรี่ชนิดขั้วไฟฟ้าทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์เปลือกสับปะรด	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

E_0	คือ	ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (โวลต์)
σ_e	คือ	ค่าสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ (โอห์ม-เมตร) ⁻¹
V_e (โวลต์)	คือ	ค่าความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างแผ่นโลหะที่สัมผัสอิเล็กโทรไลต์
I	คือ	ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจร (แอมแปร์)
l	คือ	ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะ (ซ.ม.)
A_e	คือ	คือขนาดพื้นที่ของแผ่นโลหะที่สัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ (ซ.ม. ²)
R_e	คือ	คือค่าความต้านทานของอิเล็กโทรไลต์ (โอห์ม)
ρ_e	คือ	คือค่าสภาพความต้านทานของอิเล็กโทรไลต์ (โอห์ม-เมตร)
C	คือ	คือค่าความหนาแน่นจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (แอมป์ชั่วโมง/ซ.ม. ²)
P	คือ	คือค่าความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (วัตต์ชั่วโมง/ซ.ม. ²)
ΔG°	คือ	คือค่าพลังงานเสรีที่ได้ในทางทฤษฎี (จูล)
ΔG	คือ	คือค่าพลังงานเสรีที่ได้จากการวิเคราะห์ (จูล)
N_0	คือ	คือจำนวนอิเล็กตรอนโมลที่ได้ในทางทฤษฎี (อิเล็กตรอนโมล)
N	คือ	คือจำนวนอิเล็กตรอนโมล (อิเล็กตรอนโมล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บพลังงานและนำมาใช้ในรูปของพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเกิดจากปฏิกิริยา ออกซิเดชัน – รีดักชัน ทางไฟฟ้าเคมีแล้วสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ถูกคิดค้นและพัฒนาโดย อเล็กซานโดร โวลตา นักฟิสิกส์ชาวอิตาลี เมื่อปี ค.ศ. 1800 [1] และได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันนี้มีปริมาณการใช้แบตเตอรี่อย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มที่จะพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง [2]

ส่วนประกอบที่สำคัญในการสร้างแบตเตอรี่คือ ส่วนของโลหะที่มีการนำไฟฟ้าที่ดีเป็นขั้วแอโนดและขั้วแคโทด ขั้วไฟฟ้าที่นิยมนำมาสร้างเป็นแบตเตอรี่ ได้แก่ ตะกั่ว แมงกานีส แคดเมียม นิกเกิล พรอท และอิเล็กโทรไลต์ที่ส่วนมากคือกรดซัลฟิวริก เมื่อแบตเตอรี่ไม่ได้อยู่ในสถานะที่ใช้งานได้แล้ว จะเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม สิ่งมีชีวิตต่างๆ เกิดโรคร้ายไข้เจ็บได้ เนื่องจากสารพิษที่เกิดจากแบตเตอรี่ที่ไม่ใช้งานแล้วจะลงไปอยู่ในดิน ในน้ำ และโอโระเหยของอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะระเหยไปในอากาศได้ [3] ซึ่งเป็นอันตรายเมื่อมีการสูดดมเข้าไป

ทุกวันนี้ได้มีความพยายามที่จะคิดค้นแบตเตอรี่และเซลล์เชื้อเพลิงที่ไม่ก่อให้เกิดสารพิษต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อไม่นานมานี้ได้มีงานวิจัยอีกฉบับหนึ่งถูกตีพิมพ์เมื่อวันที่ 29 กันยายน ค.ศ. 2008 มีชื่อว่า “A high-power glucose/oxygen biofuel cell operating under quiescent conditions” โดย ฮิเดกิ ซากากิ (Hideki Sakai) และคณะ จากห้องปฏิบัติการทางวัสดุ บริษัทโซนี่ (Sony Corporation) ได้คิดค้นเซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพโดยเป็นพลังงานที่ได้จากกลูโคสและออกซิเจน มีค่าความหนาแน่นไฟฟ้าอยู่ในช่วง $1.21 - 1.69 \text{ mW-cm}^{-2}$ ที่ค่าความต่างศักย์ 0.3 V [4] และมีงานวิจัยถูกตีพิมพ์เมื่อวันที่ 22 เมษายน ค.ศ. 2011 มีชื่อว่า Maltodextrin-powered enzymatic fuel cell through a non-natural enzymatic pathway โดยซี้กง ชู (Zhiguang Zhu) และคณะ จากภาควิชาวิศวกรรมระบบทางชีวภาพ แห่งมหาวิทยาลัยแห่งรัฐเวอร์จิเนีย (Virginia Tech) ได้นำเสนอเซลล์ไฟฟ้าเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาบนขั้วไฟฟ้า สามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้ 0.085 mW-cm^{-2} [5] โดยซี้กง ชู (Zhiguang Zhu) และคณะได้ต่อยอดงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งวันที่ 21 มกราคม ค.ศ. 2014 มีงานวิจัยชิ้นใหม่ที่มีชื่อว่า “A

high-energy-density sugar biobattery based on a synthetic enzymatic pathway” เป็น แบตเตอรี่ชีวภาพโดยการนำเอากระบวนการทางชีววิทยาในการทำให้เกิดน้ำตาลเพื่อใช้งานเป็นอิเล็กโทรไลต์ ทำปฏิกิริยากับขั้วแอโนด – แคโทด กลายเป็นแบตเตอรี่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความหนาแน่นไฟฟ้าที่ 0.8 mW-cm^{-2} และมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 6 mA-cm^{-2} [6]

จากการคิดค้นแบตเตอรี่ชีวภาพนี้ ทำให้เกิดแรงจูงใจในการศึกษาการสร้างแบตเตอรี่ชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีราคาถูก โดยในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชีวภาพ จากการนำเอาเศษซากพืชที่ไม่เกิดประโยชน์แล้วนำมาใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์ และเศษวัสดุโลหะที่ไม่ใช้งานแล้วนำมาใช้งานเป็นขั้วแอโนดและแคโทด เพื่อให้ได้มาซึ่งแบตเตอรี่ชีวภาพที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและมีราคาถูกอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาเศษซากพืชแต่ละชนิดที่ไม่เกิดประโยชน์แล้ว นำมาใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์
- 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาลักษณะการทำงานทั่วไปของแบตเตอรี่
- 2) ศึกษาชนิดของอิเล็กโทรไลต์และวัสดุโลหะที่เหมาะสมกับการสร้างแบตเตอรี่ชีวภาพ
- 3) ศึกษาการออกแบบแบตเตอรี่ชีวภาพ
- 4) ทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

ในขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน มีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ศึกษาข้อมูลลักษณะการทำงานต่างๆ ไปของแบตเตอรี่

ขั้นที่ 2 ศึกษาข้อมูลลักษณะของอิเล็กทรอนิกส์ที่มาจากซากพืช

ขั้นที่ 3 ศึกษาข้อมูลลักษณะของวัสดุโลหะที่เหมาะสมแก่การสร้างแบตเตอรี่ชีวภาพ

ขั้นที่ 4 ศึกษาการออกแบบแบตเตอรี่ชีวภาพ

ขั้นที่ 5 ทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพ

ขั้นที่ 6 ทดสอบการหาความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่และความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า

ขั้นที่ 7 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า

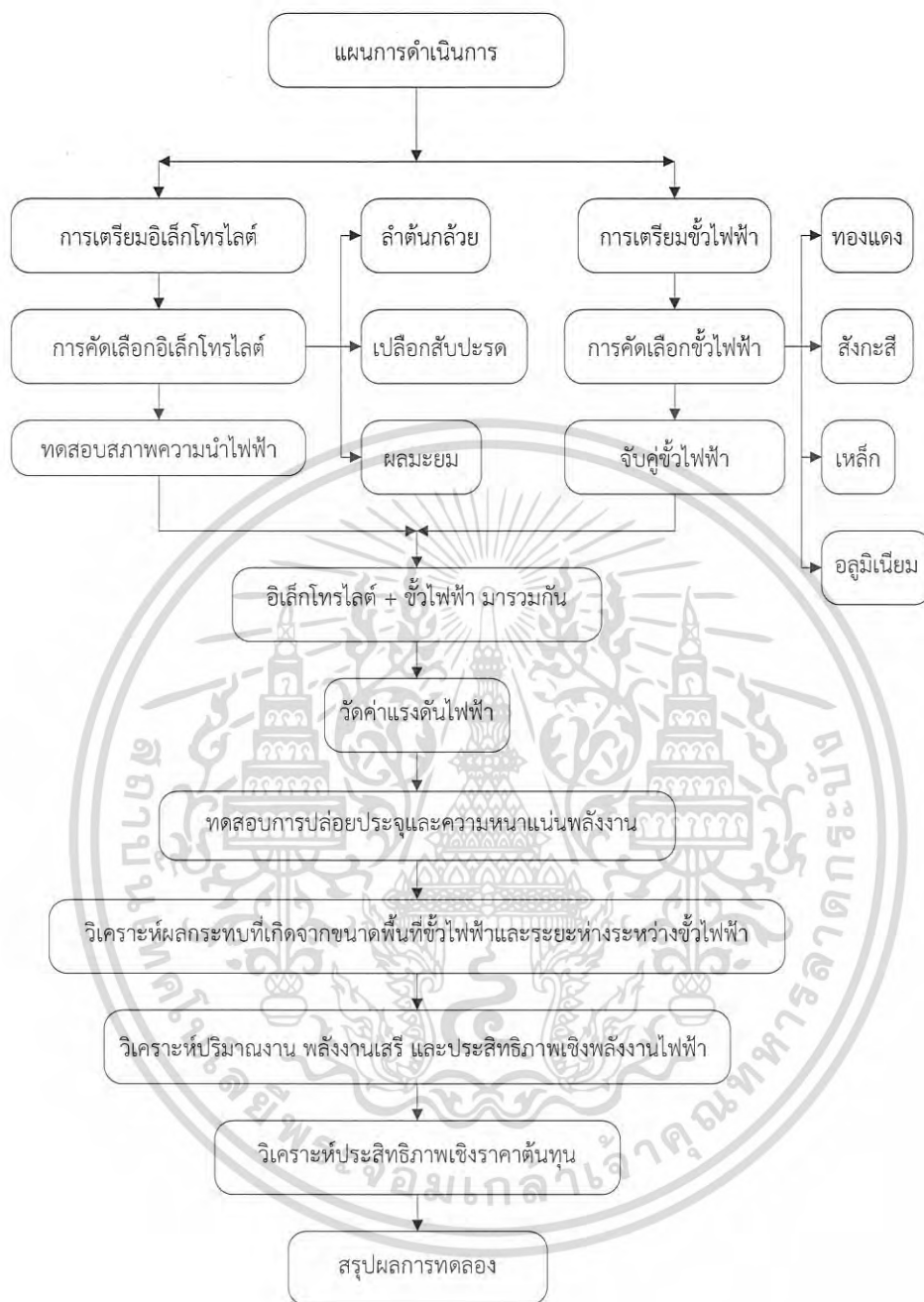
ขั้นที่ 8 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชีวภาพแต่ละชนิด

ขั้นที่ 9 วิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงต้นทุนการผลิตของแบตเตอรี่ชีวภาพ

ขั้นที่ 10 นำเสนอผลงานในการประชุมทางวิชาการ

ขั้นที่ 11 จัดเตรียมเล่มวิทยานิพนธ์และนำเสนอวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แผนภาพการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้นำเอาเศษซากพืชและเศษโลหะที่ใช้งานไม่ได้แล้วมาสร้างเป็นแบตเตอรี่ได้
- 2) ได้แบตเตอรี่ที่สามารถให้พลังงานไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ทางไฟฟ้า
- 3) ลดปริมาณสารเคมีในสิ่งแวดล้อมที่ถูกปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ ที่หมดสภาพการใช้งาน และได้พลังงานที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทำงานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานเคมีที่มีอยู่ในวัสดุที่ใช้งานโดยตรงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยวิธีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชัน ของไฟฟ้าเคมี เป็นการแปลงพลังงานทางเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ที่ไม่เกี่ยวกับการใช้การรวมเครื่องยนต์ทำความร้อนที่เป็นข้อจำกัดทางวัฏจักรคาโนต์ ตามกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์ แบตเตอรี่จึงมีความสามารถในการแปลงพลังงานได้ประสิทธิภาพสูง

คำว่า "แบตเตอรี่" เป็นคำที่ใช้กันอย่างกว้างขวางนั้น เป็นการรวมเอาเซลล์ไฟฟ้าหนึ่งเซลล์หรือมากกว่ามาต่อรวมกันแบบอนุกรมหรือขนาน เพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตและกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ

เซลล์ไฟฟ้าประกอบด้วยองค์ประกอบหลักๆ สามประการ ได้แก่

- 1) แอโนด หรือขั้วไฟฟ้าลบ เป็นขั้วที่ทำให้เกิดอิเล็กตรอนหลุดออกมาจากขั้วไฟฟ้ามาสู่วงจรภายนอกและมีการออกซิเดชันระหว่างเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี
- 2) แคโทด หรือขั้วไฟฟ้าบวก เป็นขั้วที่รับอิเล็กตรอนจากวงจรภายนอกที่เกิดจากขั้วแอโนดและจะลดการเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี
- 3) อิเล็กโทรไลต์ หรือตัวนำไอออน ซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการถ่ายโอนประจุที่เป็นไอออนภายในเซลล์ระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด โดยทั่วไปอิเล็กโทรไลต์จะเป็นของเหลว เช่น น้ำ สารละลายชนิดอื่น ๆ ที่มีเกลือละลายอยู่กรด หรือ ด่างที่ทำให้เกิดการนำไอออน แบตเตอรี่บางชนิดจะใช้อิเล็กโทรไลต์แข็ง เป็นตัวนำไอออนที่อุณหภูมิการทำงานของเซลล์

การรวมกันของวัสดุขั้วแอโนดและแคโทดที่ดีจะต้องมีมวลขนาดเบาและให้ค่าความต่างศักย์กับความจุไฟฟ้าที่สูง การรวมของวัสดุเหล่านี้อาจจะเป็นเช่นนี้เสมอไป แต่เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาฝนส่วนต่างๆ ของเซลล์ไฟฟ้า การเคลื่อนไฟฟ้า ความยากในการควบคุม ค่าใช้จ่ายสูง และด้วยปัจจัยอื่นๆ

คุณสมบัติของขั้วแอโนดจะต้องมีประสิทธิภาพในการปล่อยอิเล็กตรอนได้สูง เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี มีความเสถียร ง่ายต่อการสร้างเซลล์ไฟฟ้าและราคาถูก ชนิดของวัสดุที่มีความน่าสนใจในการใช้เป็นขั้วแอโนดนี้ได้แก่ สังกะสีและลิเทียม เพราะมีคุณสมบัติทางวัสดุเหมาะแก่การเป็นขั้วแอโนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของขั้วแคโทดจะต้องมีการออกซิไดซ์ที่ดี ทำงานได้ดีเมื่อมันได้สัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ และให้แรงดันไฟฟ้าในปริมาณที่มาก ๆ ออกซิเจนสามารถนำมาใช้ได้โดยตรงจากอากาศแวดล้อมที่ถูกดูดเข้าไปในเซลล์ไฟฟ้า เช่นเดียวกับกับแบตเตอรี่สังกะสี/อากาศ แต่โดยส่วนใหญ่ของวัสดุแคโทดที่นิยมนำมาใช้งานกันคือเหล็กออกไซด์

อิเล็กโทรไลต์จะต้องมีการนำไอออนที่ดี แต่จะไม่นำไฟฟ้าซึ่งเป็นสาเหตุของไฟฟ้าลัดวงจร ลักษณะที่สำคัญอื่นๆ นั่นคือไม่เกิดปฏิกิริยากับวัสดุขั้วไฟฟ้า มีการเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาภายในเล็กน้อยได้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ปลอดภัยในการใช้งานและราคาถูก อิเล็กโทรไลต์ส่วนมากจะเป็นสารละลาย แต่มีข้อยกเว้นที่สำคัญ ตัวอย่างเช่น ในการเกิดความร้อนและขั้วแอโนดที่เป็นลิเทียม เกิดเป็นเกล็ดเกลือและอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่เป็นสารละลายถูกใช้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาของขั้วแอโนดกับอิเล็กโทรไลต์

ในทางกายภาพแล้วขั้วแอโนดและแคโทดจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ต่างกันเพื่อป้องกันการลัดวงจรกันภายในเซลล์ แต่จะถูกล้อมรอบด้วยอิเล็กโทรไลต์ ในการออกแบบเซลล์ไฟฟ้าที่ปฏิบัติกันนั้นจะออกแบบให้มีวัสดุมาคั่นกลางในการแยกขั้วแอโนดและแคโทดออกจากกัน แต่อย่างไรก็ตามตัวกันนี้จะเป็นตัวดูดซึมแร่ธาตุเพื่อรักษาการนำไอออนิกเอาไว้ ในบางกรณีอิเล็กโทรไลต์จะถูกออกแบบมาให้เป็นตัวจริงไอออนไม่ให้อะไรไหลออกไป โครงสร้างของช่องที่ออกแบบในเซลล์ไฟฟ้า หรือวัสดุที่อาจถูกเพิ่มเข้าไปที่ขั้วไฟฟ้าเพื่อลดความต้านทานภายใน

2.2 การจำแนกประเภทของเซลล์ไฟฟ้าเคมีและแบตเตอรี่

เซลล์ไฟฟ้าเคมีและแบตเตอรี่ถูกจำแนกเป็นแบตเตอรี่ปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการชาร์จไฟกลับเข้าไปได้หรือไม่ ในการแบ่งประเภทลักษณะนี้ แบตเตอรี่ประเภทอื่นๆ จะแยกประเภทจากโครงสร้างภายในหรือจากการออกแบบ

1) เซลล์ปฐมภูมิหรือแบตเตอรี่ปฐมภูมิ

แบตเตอรี่ชนิดนี้จะไม่สามารถถูกชาร์จไฟกลับเข้าไปใหม่ได้ ทำได้แต่เพียงการคายประจุออกมาเท่านั้น แบตเตอรี่ปฐมภูมิมีอิเล็กโทรไลต์ที่ถูกวัสดุกันน้ำหรือวัสดุที่แยกส่วนของอิเล็กโทรไลต์ ในส่วนของเซลล์แห้ง

แบตเตอรี่ปฐมภูมิมีการใช้งานที่ง่ายตาย ราคาไม่แพง น้ำหนักเบา เหมาะสำหรับเป็นแหล่งพลังงานแก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพาและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไฟฉาย กล้องดิจิทัล ของเล่น อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำรองข้อมูล อุปกรณ์นำทาง และอุปกรณ์อื่นๆ อีกมากมาย ข้อดีทั่วไปของแบตเตอรี่ปฐมภูมิคือมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน แม้ว่าแบตเตอรี่ที่มีความจุไฟฟ้าสูงถูกใช้ในทางทหาร การส่งสัญญาณ และการสำรองพลังงาน แต่ส่วนใหญ่ของแบตเตอรี่ปฐมภูมิมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกเดี่ยวๆ และเป็นแบบเม็ดกระดุม หรือแบตเตอรี่หลายๆ เซลล์ต่อรวมกัน

2) เซลล์ทุติยภูมิหรือแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จประจุได้

แบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถชาร์จประจุกลับเข้าไปในแบตเตอรี่หลังจากการปล่อยประจุ ทำให้แบตเตอรี่กลับสู่สภาวะเดิมที่มีประจุไฟฟ้าเต็ม โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าไปในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการคายประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่ทุติยภูมิเป็นที่รู้จักว่าเป็นแบตเตอรี่สำรองพลังงานไฟฟ้าหรือหม้อสะสมไฟฟ้า

การใช้งานของแบตเตอรี่ทุติยภูมิตกอยู่ในสองประเภทหลักๆ คือ

2.1) การใช้งานของแบตเตอรี่ทุติยภูมิเป็นอุปกรณ์สำรองพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วจะเชื่อมต่อและอัดประจุไฟฟ้าจากแหล่งไฟฟ้านอกและพกพาอุปกรณ์นี้ไปใช้กับอุปกรณ์พกพาได้ ยกตัวอย่างเช่น ระบบรถยนต์และระบบเครื่องบิน แหล่งพลังงานฉุกเฉิน รถยนต์ระบบไฮบริด และระบบแบตเตอรี่เก็บพลังงานสำหรับการใช้งานสาธารณูปโภค

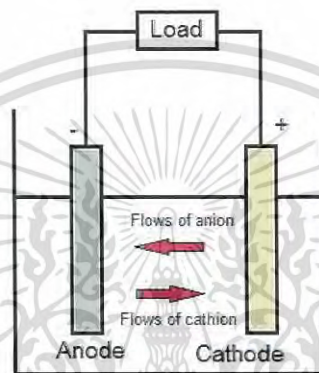
2.2) การใช้งานของแบตเตอรี่ทุติยภูมิในอุปกรณ์พกพา มีการคายประจุที่เหมือนกับแบตเตอรี่ปฐมภูมิ แต่สามารถชาร์จประจุกลับหลังจากที่แบตเตอรี่หมดประจุแล้ว แบตเตอรี่ทุติยภูมิจะใช้งานในอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา ได้แก่ โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์แล็ปท็อป เป็นต้น เพื่อการประหยัดค่าใช้จ่ายอันเนื่องจากการชาร์จประจุกลับได้ และในการใช้งานที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงที่เกินขีดความสามารถของแบตเตอรี่ปฐมภูมิ รถพลังงานไฟฟ้า และรถชาร์จไฟฟ้าระบบไฮบริดถูกจัดอยู่ในประเภทนี้

แบตเตอรี่ทุติยภูมิให้พลังงานไฟฟ้าสูง มีอัตราการคายประจุสูง เส้นกราฟการปล่อยประจुरาบและส่วนมากมีประสิทธิภาพดีเมื่ออุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปแล้วความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าจะมีค่าต่ำกว่าแบตเตอรี่ปฐมภูมิ และการเก็บประจูง่ายกว่าแบตเตอรี่ปฐมภูมิอีกด้วย ถึงแม้ว่าความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทุติยภูมิที่สูญเสียไปนั้นสามารถจะชาร์จประจุได้อีกครั้งก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การทำงานของแบตเตอรี่

การทำงานของเซลล์ไฟฟ้าในระหว่างที่มีการคายประจุ แสดงดังในรูปที่ 2.1 เมื่อเซลล์ไฟฟ้าเชื่อมต่อกับโหลดภายนอก อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดที่เกิดการออกซิไดซ์ ไปยังโพลภายนอก ทำให้ขั้วแคโทดได้รับอิเล็กตรอน เกิดการรีดิวซ์และจะมีค่าประจุบวกลดลง วงจรไฟฟ้านี้สิ้นสุดการคายประจุ/จะสิ้นในอิเล็กโทรไลต์โดยการเคลื่อนที่ผ่านของไอออนลบและไอออนบวกไปยังขั้วแอโนดและแคโทดตามลำดับ



รูปที่ 2.1 การทำงานของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

ปรากฏการณ์การคายประจุของขั้วแอโนดและแคโทด สามารถเขียนได้ จากตัวอย่างของคู่ขั้วไฟฟ้าสังกะสีที่เป็นแอโนด และขั้วไฟฟ้าคลอรีนที่เป็นแคโทดนี้

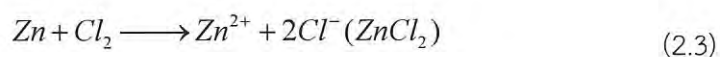
ขั้วไฟฟ้าลบ ปรากฏการณ์ anodic (ออกซิเดชันคือการสูญเสียอิเล็กตรอน)



ขั้วไฟฟ้าบวก ปรากฏการณ์ cathodic (รีดักชันคือรับอิเล็กตรอน)



ปรากฏการณ์ทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีแรงดันไฟฟ้า

ค่าแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับประเภทวัสดุที่นำมาใช้งานในเซลล์ไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากข้อมูล free energy หรือสังเกตได้จากการทดลอง

ตารางที่ 2.1 แสดงความสมมูลทางไฟฟ้าของวัสดุแอโนดที่นำมาใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้าชนิดต่างๆ

Material	atomic or molecular weight, g	Standard reduction potential at 25°C, V	Valence change	Melting point, °C	Density , g/cm ³	Electrochemical equivalents		
						Ah/g	g/Ah	Ah/cm ²
Anode Material								
H ₂	2.01	0 -0.83	2	-	-	26.59	0.037	-
Li	6.94	-3.01	1	180	0.54	3.86	0.259	2.06
Na	23.0	-2.71	1	98	0.97	1.16	0.858	1.14
Mg	24.3	-2.38	2	650	1.74	2.2	0.454	3.8
Al	26.9	-1.66	3	659	2.69	2.98	0.335	8.1
Ca	40.1	-2.84 -2.35	2	851	1.54	1.34	0.748	2.06
Fe	55.8	-0.44 -0.88	2	1528	7.85	0.96	1.04	7.5
Zn	65.4	-0.76 -1.25	2	419	7.14	0.82	1.22	5.8
Cd	112.4	-0.4 -0.81	2	321	8.65	0.48	2.1	4.1
Pb	207.2	-0.13	2	327	11.34	0.26	3.87	2.9
(Li)C ₆	72.06	2.8	1	-	2.25	0.372	2.69	0.837
MH		-0.83	2	-	-	0.305	3.28	-
CH ₃ OH	32.04		6	-	-	5.02	0.2	-

จากตารางที่ 2.1 และ 2.2 Standard reduction potential at 25°C คือค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของวัสดุแต่ละชนิดที่อุณหภูมิ 25°C

ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้าได้ โดยที่ศักย์ไฟฟ้าออกซิเดชันจะมีค่าเป็นลบ ส่วนศักย์ไฟฟ้ารีดักชันจะมีค่าเป็นบวก

$$\text{Anode (oxi. potential)} + \text{Cathode (red. potential)} = \text{standard cell potential} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงความสมมูลทางไฟฟ้าของวัสดุแคโทดที่นำมาใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้าชนิดต่างๆ

Material	atomic or molecular weight, g	Standard reduction potential at 25°C, V	Valence change	Melting point, °C	Density , g/cm ³	Electrochemical equivalents		
						Ah/g	g/Ah	Ah/cm ²
Cathode Material								
CuF ₂	101.5	3.55	2			0.528	1.89	
O ₂	32.0	1.23 0.4	4	-	-	3.35	0.3	
Cl ₂	71.0	1.36	2	-	-	0.756	1.32	
SO ₂	64.0	-	1	-	-	0.419	2.38	
MnO ₂	86.9	1.28	1	-	5	0.308	3.24	1.54
NiOOH	91.7	0.49	1	-	7.4	0.292	3.42	2.16
CuCl	99.0	0.14	1	-	3.5	0.27	3.69	0.95
FeS ₂	119.9	-	4	-	-	0.89	1.12	4.35
AgO	123.8	0.57	2	-	7.4	0.432	2.31	3.2
Br ₂	159.8	1.07	2	-	-	0.335	2.98	
HgO	216.6	0.1	2	-	11.1	0.247	4.05	2.74
Ag ₂ O	231.7	0.35	2	-	7.1	0.231	4.33	1.64
PbO ₂	239.2	1.69	2	-	9.4	0.224	4.45	2.11
LiFePO ₄	163.8	-0.42	1	-	3.44	0.16	6.25	0.554
LiMn ₂ O ₄	148.8	-1.2	1	-	4.1	0.12	8.33	0.492
Li _x CoO ₂	98	-1.25	0.5	-	5.05	0.155	6.45	0.782
I ₂	253.8	0.54	2	-	4.94	0.211	4.73	1.04

ยกตัวอย่างเช่น ในปฏิกิริยาของ



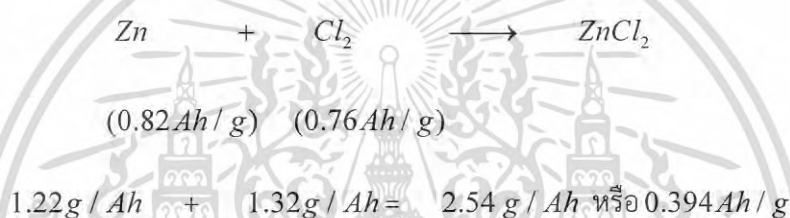
$$E = 2.12 \text{ V}$$

ค่าแรงดันเซลล์ไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีกด้วย โดยขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเซลล์ไฟฟ้า
อุณหภูมิตั้งแต่ที่เสนอในรูปสมการของเนรินส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ทฤษฎีของประจุไฟฟ้า

ทฤษฎีของประจุไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าจะหาได้จากค่าของวัสดุที่ใช้งานในเซลล์ไฟฟ้า แสดงเป็น ปริมาณรวมของกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีและแสดงผลออกมาในรูปของหน่วย ampere-hours ค่า “ampere-hour capacity” ของแบตเตอรี่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลโดยเกิดจากวัสดุที่ใช้งานอยู่ในทางทฤษฎี วัสดุหนักเทียบเท่า 1 g นั้นเทียบเท่ากับปริมาณประจุ 96,487 C หรือ 26.8 Ah (น้ำหนักเทียบเท่าคือค่ามวลอะตอมหรือมวลโมเลกุลของวัสดุที่ใช้งานหารด้วย จำนวนอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยา) ทฤษฎีความจุไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีนั้น ขึ้นอยู่กับ วัสดุที่ใช้งานมีส่วนที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี คำนวณจากค่าน้ำหนักเทียบเท่ากับสารตั้งต้น ดังนั้น ความจุไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้า Zn/Cl₂ คือ 0.394 Ah/g หาได้จาก



โดยทั่วไปแล้ว ค่าความจุ Ampere-hour บนพื้นฐานปริมาตรของสารสามารถคำนวณได้ในหน่วยของ Ah/cm² ได้

ทฤษฎีแรงดันไฟฟ้าและค่าประจุของจำนวนระบบไฟฟ้าเคมีหาได้ดังตารางที่ 2.3 ค่าทางทฤษฎีเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับวัสดุแอโนดและแคโทดที่นำมาใช้งานเท่านั้น น้ำ อิเล็กโทรไลต์ หรือวัสดุอื่นๆ ที่อาจเกี่ยวข้องในปฏิกิริยาของเซลล์ไฟฟ้าจะไม่รวมอยู่ในการคำนวณนี้

2.6 ทฤษฎีพลังงานไฟฟ้า

ความจุไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าสามารถหาได้ในรูปของพลังงาน (วัตต์ชั่วโมง) โดยนำค่าความต่าง ศักย์ไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้ามาคูณกัน ค่าพลังงานไฟฟ้านี้เป็นค่าที่สูงสุดที่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาสู่ระบบได้

$$\text{Watt hour (Wh)} = \text{voltage (V)} \times \text{ampere} \cdot \text{hour (Ah)} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่าแรงดัน ความจุไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบแบตเตอรี่ปฐมภูมิในทางทฤษฎี และในทางปฏิบัติ

Battery type	Anode	Cathode	Reaction mechanism	Theoretical values			Practical battery					
				V	g/Ah	Ah/kg	Specific energy Wh/kg	Nominal voltage V	Specific energy Wh/kg	Energy density Wh/L		
Primary batteries												
Leclanche	Zn	MnO ₂	Zn + 2MnO ₂ → ZnO · Mn ₂ O ₃ Mg + 2MnO ₂ + H ₂ O → Mn ₂ O ₃ + Mg(OH) ₂	1.6	6	224	358	1.5	85	165		
Manganese Alkaline	Mg	MnO ₂	Mg(OH) ₂	2.8	9	271	759	1.7	100	195		
MnO ₂	Zn	MnO ₂	Zn + 2MnO ₂ → ZnO + Mn ₂ O ₃	1.5	6	224	358	1.5	154	461		
Mercury	Zn	HgO	Zn + HgO → ZnO + Hg	1.3	5.2	4	7	190	255	1.35	100	470
Mercad	Cd	HgO	Cd + HgO + H ₂ O → Cd(OH) ₂ + Hg	0.9	6.1	1	5	163	148	0.9	55	230
Silver oxide	Zn	Ag ₂ O	Zn + Ag ₂ O + H ₂ O → Zn(OH) ₂ + 2Ag	1.6	5	180	288	1.6	135	525		
Zinc/O ₂	Zn	O ₂	Zn + 1/2O ₂ → ZnO	1.6	1.5	5	2	658	1085	-	-	-
Zinc/air	Zn	Ambient air	Zn + (1/2O ₂) → ZnO	1.6	1.2	5	2	820	1353	1.5	415	1350
Li/SOCl ₂	Li	SOCl ₂	4Li + 2SOCl ₂ → 4LiCl + S + SO ₂	3.6	3.2	5	5	403	1471	3.6	590	1100
Li/SO ₂	Li	SO ₂	2Li + 2SO ₂ → Li ₂ S ₂ O ₄	2.6	3.1	4	379	1175	3	260	415	
Li/MnO ₂	Li	MnO ₂	Li + Mn ^{IV} O ₂ → Mn ^{IV} O ₂ (Li ⁺)	3.5	3.5	286	1001	3	260	546		
Li/FeS ₂	Li	FeS ₂	4Li + FeS ₂ → 2Li ₂ S + Fe	1.3	1.8	8	726	1307	1.5	310	560	
Li/CF _x	Li	CF _x	xLi + CF _x → xLiF + xC	1.4	3.1	2	706	2189	3	360	540	
Li/I ₂	Li	I ₂ (PV2P)	Li + 1/2I ₂ → LiI	4.9	2.8	9	200	560	2.8	245	900	

เซลล์ไฟฟ้า ZnCl₂ ที่เป็นตัวอย่างนี้ ถ้าค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเท่ากับ 2.12 V พลังงานไฟฟ้าที่จะได้ออกมาจากคู่วัดนี้ในหน่วยต่อกรัมคือ

$$\begin{aligned} \text{Specific Energy (Watt-hour / gram)} &= 2.12 \text{ V} \times 0.394 \text{ Ah / g} \\ &= 0.835 \text{ Wh / g} = 835 \text{ Wh / kg} \end{aligned}$$

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

จะเป็นสิ่งที่ดีอย่างยิ่งหากว่าแบตเตอรี่สามารถปล่อยประจุไฟฟ้าออกมาให้พลังงานไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์ แต่ถึงอย่างไรก็ตาม การสูญเสียพลังงานไปกับการไหลเวียนของไอออนที่เกิดขึ้นเมื่อกระแสไหลผ่านขั้วอิเล็กโทรด ที่มาจากปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี การสูญเสียนี้เกิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 activation polarization ที่ขับเคลื่อนปฏิกิริยาที่พื้นผิวอิเล็กโทรด เกิดบริเวณรอยต่อระหว่างไฟฟ้าและสารละลาย

2.7.2 concentration polarization ที่เกิดจากความเข้มข้นที่ต่างกันของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ขั้วไฟฟ้าและในไอออนสะสมในสารละลายมีผลต่อการถ่ายโอนประจุ

ผลกระทบจากการเบี่ยงเบนออกจากภาวะสมดุลนี้จะทำให้พลังงานไฟฟ้าหายไปส่วนหนึ่งออกมาเป็นการสูญเสียพลังงานความร้อนออกมา จึงไม่ตรงกับทฤษฎีว่าพลังงานไฟฟ้าที่สะสมที่ขั้วไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งหมด

โดยหลักการแล้ว การเบี่ยงเบนจากรอยต่อและการเบี่ยงเบนจากความเข้มข้นสามารถคำนวณได้จากสมการทฤษฎีต่างๆ ไป แต่ในทางปฏิบัตินั้นเป็นเรื่องยากที่จะกำหนดค่าทั้งสองนี้เนื่องจากความซับซ้อนทางกายภาพของโครงสร้างขั้วไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วขั้วไฟฟ้าที่นำมาใช้ส่วนมากจะมีลักษณะต่างๆ แต่มีรูพรุนเยอะๆ

มีอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่คือค่าความต้านทานภายในเซลล์มันเป็นสาเหตุที่ทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลดลงในขณะที่แบตเตอรี่ทำงาน และสูญเสียออกมาในรูปของพลังงานความร้อนอีกด้วย ความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ที่ลดลงเนื่องจากค่าความต้านทานภายในแบตเตอรี่เรียกว่า การเบี่ยงเบนโอห์มมิก (Ohmic polarization) หรือการลดลงของ IR และจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ลดลงในระบบ ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ทั้งหมดคือผลรวมของความต้านทานไอออนิกของอิเล็กโทรไลต์ ความต้านทานของประจุ การสะสมของประจุและกลุ่มของอิเล็กตรอนที่คู่อิเล็กโทรด และความต้านทานที่เชื่อมต่อระหว่างประจุกับจุดที่ประจุสะสมอยู่ ความต้านทานเหล่านี้คือความต้านทานโอห์มมิกในธรรมชาติ และเป็นไปตามกฎของโอห์ม มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นระหว่างกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ที่ลดลง

เมื่อเชื่อมต่อกับโหลดภายนอก R ค่าความต่างศักย์ของแบตเตอรี่สามารถหาได้จาก

$$E = E_o - [(\eta_{ct})_a + (\eta_c)_a] - [(\eta_{ct})_c + (\eta_c)_c] - iR_i = iR \quad (2.6)$$

เมื่อ E คือค่าแรงดันไฟฟ้าหรือค่าความต่างศักย์ของแบตเตอรี่วงจรเปิด

$(\eta_{ct})_a, (\eta_{ct})_c$ คือค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดบริเวณรอยต่อระหว่างอิเล็กโทรดและ

สารละลาย

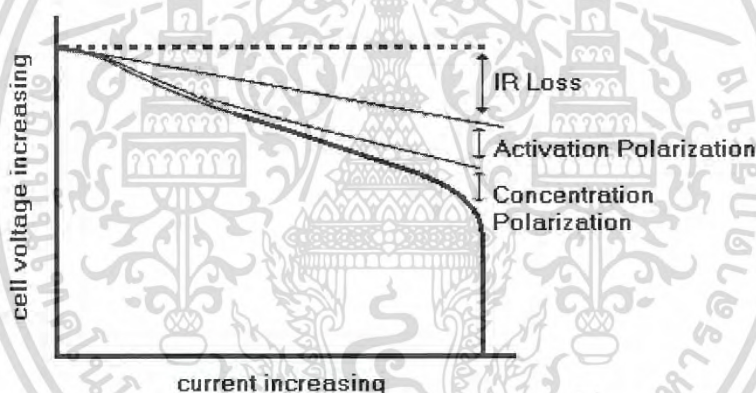
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$(\eta_c)_a, (\eta_c)_c$ คือค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดจากความเข้มข้นของอิเล็กโทรดที่ขั้วแอโนด และแคโทด

i คือกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่เมื่อต่อโหลด

R_i คือค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่

จากสมการที่ (2.6) ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ส่งผ่านออกมาจากแบตเตอรี่จะลดลงโดยเกิดจากค่าความเบี่ยงเบนเหล่านี้และจากความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ ความเบี่ยงเบนจุดนี้จะเกิดกระแสไฟฟ้าเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อความเบี่ยงเบนและการลดลงของ IR มีค่าน้อย แบตเตอรี่จะทำงานโดยที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเบิกมากและส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับค่าทฤษฎีที่สุด รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นภายในแบตเตอรี่กับกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยออกมา



รูปที่ 2.2 ความเบี่ยงเบนภายในแบตเตอรี่เทียบกับระดับกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยออกมา

แม้ว่าพลังงานจากแบตเตอรี่หรือเซลล์เชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับพื้นฐานทางปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่คู่ขั้วไฟฟ้า แต่มีปัจจัยอย่างอื่นที่มีผลต่อทิศทางของปฏิกิริยาการส่งผ่านประจุ อัตราการแพร่กระจายประจุ และทิศทางของการสูญเสียพลังงาน ปัจจัยเหล่านี้รวมถึงการกำหนดคู่ขั้วไฟฟ้าและการออกแบบแบตเตอรี่ ความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น มีกุญแจสำคัญบางอย่างที่อยู่บนพื้นฐานของเซลล์ไฟฟ้าเคมี ที่มีความสำคัญในการออกแบบแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงและสูญเสียพลังงานน้อยๆ ได้แก่

การนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ควรจะมีค่าที่สูงพอที่จะทำให้ค่าความต้านทานภายในเกิดขึ้นให้น้อยที่สุด จากตารางที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงช่วงของค่าความนำไฟฟ้าจำเพาะที่เหมาะสมสำหรับระบบของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในแบตเตอรี่ โดยปกติแล้วแบตเตอรี่จะถูกออกแบบสำหรับให้เกิดอัตราการไหลของกระแสอยู่ในช่วงตั้งแต่มีลลิแอมแปร์จนถึงระดับร้อยแอมแปร์ สำหรับอิเล็กโทรไลต์ที่นำมาใช้งานนั้น เซลล์ไฟฟ้าอาจจะมีขีดความสามารถที่เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้า เพื่อลดค่า IR ที่ลดลงไปเนื่องจากความต้านทานของอิเล็กโทรไลต์

ตารางที่ 2.4 ช่วงการนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง

Electrolyte system	Conductivity/S cm ⁻¹
Aqueous electrolytes	0.1 - 0.55
Molten salts	~10 ⁻¹
Inorganic electrolytes	10 ⁻² - 10 ⁻¹
Organic electrolytes	10 ⁻¹ - 10 ⁻²
Ionic liquids	10 ⁻⁴ - 10 ⁻²
Polymer electrolytes	10 ⁻⁷ - 10 ⁻³
Inorganic solid electrolytes	10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁵

อิเล็กโทรไลต์ต้องมีความเสถียรทางเคมีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโดยตรงกับวัสดุขั้วแอโนดและแคโทด

อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดและแคโทดควรเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ววิธีการต่างๆ ไป ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วคือออกแบบให้ขั้วไฟฟ้ามีลักษณะเป็นรูพรุน โครงสร้างขั้วไฟฟารูพรุนจะมีพื้นที่ผิวที่สูงในมิติทางเรขาคณิตของขั้วไฟฟ้าและลดค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสำหรับที่ใช้ในการหากระแสไฟฟ้าที่ทำงาน

ในระบบของแบตเตอรี่เกือบทั้งหมด ส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของปฏิกิริยามาจากส่วนของขั้วไฟฟ้าและส่วนของผลิตภัณฑ์ที่มาจากปฏิกิริยาจะกระจายออกหรือเคลื่อนที่ออกจากพื้นผิวของขั้วไฟฟ้า เซลล์ไฟฟ้าควรที่จะให้อิเล็กโทรไลต์เป็นตัวไหลผ่านที่ดีของไอออนเพื่อไม่ให้เกิดการลดประสิทธิภาพของเซลล์ไฟฟ้ามากเกินไป ขนาดของรูพรุนที่เหมาะสมของขั้วไฟฟ้านั้นจะต้องมีความหนาที่เพียงพอและโครงสร้างของตัวกัน และความเข้มข้นที่เพียงพอของปฏิกิริยาในอิเล็กโทรไลต์ซึ่งมีความสำคัญมากในการที่ทำให้เซลล์ไฟฟ้าทำงานได้ดี ข้อจำกัดของการส่งผ่านอิเล็กตรอนไม่ควรจะเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ไฟฟ้าทำงาน

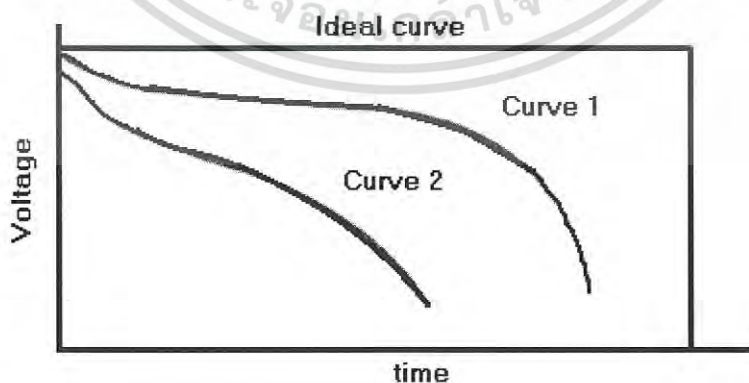
วัสดุที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้าจะต้องไม่เกิดการกัดกร่อนจากอิเล็กโทรไลต์ การออกแบบตัวนำประจุไฟฟ้าควรจะต้องออกแบบให้ประจุไฟฟ้ามีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและมีความต้านทานจากการเชื่อมต่อกันน้อยๆ เพื่อให้เกิดการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ระดับค่าแรงดันไฟฟ้า

ค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ได้แก่

- 1) ค่าแรงดันทฤษฎีเป็นฟังก์ชันของวัสดุแอโนดแคโทด และอิเล็กโทรไลต์ ที่อุณหภูมิห้อง (โดยปกติที่ 25°C)
- 2) ค่าแรงดันวงจรเปิดคือค่าแรงดันที่ไม่มีโหลดและมีค่าเข้าใกล้กับค่าแรงดันทางทฤษฎี
- 3) ค่าแรงดันวงจรปิดคือค่าแรงดันที่ต่อโหลดภายนอก
- 4) ค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบเป็นค่าแรงดันที่ยอมรับโดยทั่วไป เช่น แบตเตอรี่สังกะสี - แมงกานีส 1.5 โวลต์
- 5) ค่าแรงดันที่ทำงานแทนของค่าแรงดันในขณะที่แบตเตอรี่ทำงานต่อกับโหลดและมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันวงจรเปิด
- 6) ค่าแรงดันเฉลี่ยคือค่าแรงดันในขณะที่ปล่อยประจุ
- 7) แรงดันไฟฟ้ากึ่งกลางคือค่าแรงดันจุดกึ่งกลางระหว่างที่เกิดการปล่อยประจุของแบตเตอรี่
- 8) จุดตัดแรงดันถูกออกแบบให้หยุดทำงานเมื่อประจุถูกปล่อยหมด โดยปกติแล้วข้างต้นมันคือแรงดันไฟฟ้าที่เป็นส่วนมากของความจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่ปล่อยออกมา แรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการคายประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเซลล์ไฟฟ้าคายประจุ ค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงจากค่าทฤษฎี ค่าความแตกต่างนี้เกิดจากการสูญเสียจาก IR เนื่องจากความต้านทานภายในแบตเตอรี่และการเบี่ยงเบนของวัสดุที่เป็นขั้วไฟฟ้าระหว่างการปล่อยประจุ แสดงดังในรูปที่ 2.3 ที่เส้นกราฟอุดมคติ (Ideal curve) การปล่อยประจุของแบตเตอรี่ที่แรงดันทฤษฎีจะน้อยกว่าวัสดุที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดจะไม่สามารถปล่อยประจุออกมาได้อีก ค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะเหลือเท่ากับศูนย์

ในการทำงานจริงของเซลล์ไฟฟ้า เส้นกราฟจะเป็นดังเส้นอื่นๆในรูปที่ 2.3 นี้ แรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นของเซลล์ไฟฟ้าเมื่อเริ่มปล่อยประจุมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าทางทฤษฎีเนื่องจากความต้านทานภายในแบตเตอรี่และผลที่เกิดจากการสูญเสีย IR เช่นเดียวกันกับการเบี่ยงเบนที่ขั้วไฟฟ้า นอกจากนี้ค่าแรงดันจะลดลงในขณะที่ปล่อยประจุและค่าความต้านทานของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการสะสมของอิเล็กตรอนและไอออนที่ได้จากการคายประจุ และความเบี่ยงเบนรอยต่อและความเข้มข้น และปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เส้นโค้งที่ 2 จะคล้ายๆ กับเส้นโค้งที่ 1 แต่แสดงให้เห็นถึงแบตเตอรี่ที่มีค่าความต้านทานภายในที่สูงกว่าหรืออัตราการปล่อยประจุที่สูงกว่า หรือทั้งสองอย่าง เมื่อเทียบกับเส้นกราฟของแบตเตอรี่เส้นที่ 1 ในฐานะที่ความต้านทานของแบตเตอรี่หรืออัตราการปล่อยประจุเพิ่มขึ้นนั้น ค่าแรงดันที่ปล่อยประจุลดลงและการปล่อยประจุแสดงออกมาในรูปที่ 2.3

พลังงานจำเพาะจะถูกส่งจากแบตเตอรี่ในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงต่ำกว่าระดับพลังงานทฤษฎีของวัสดุที่นำมาใช้งาน เนื่องจาก

- 1) แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำกว่าแรงดันค่าทฤษฎี
- 2) แบตเตอรี่ไม่ปล่อยประจุที่ศูนย์โวลต์และไม่พบค่าความจุไฟฟ้า

ค่าพลังงานจำเพาะมีค่าเท่ากับ

$$\text{Watt hours / gram} = \text{Voltage} \times \text{Ampere} \cdot \text{hours / gram} \quad (2.7)$$

2.9 ความสัมพันธ์ทางอุณหพลศาสตร์

ในแบตเตอรี่ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลักๆ คือบริเวณพื้นที่ทั้งสองของขั้วไฟฟ้าหรือที่ส่วนภายในของเซลล์ไฟฟ้า ปฏิกิริยานี้มาจากการเชื่อมต่อของขั้วไฟฟ้า ในแง่ของลักษณะทั่วไปแล้วนั้น ปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าอันหนึ่ง (รีดักชันในทิศทางไปข้างหน้า) สามารถเขียนได้ว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโมเลกุล a ของสาร A ปล่อยอิเล็กตรอนจำนวน n ไปเป็น c ของวัสดุ C ที่ขั้วไฟฟ้าอีกอันหนึ่ง ปฏิกิริยา (ออกซิเดชันในทิศทางไปข้างหน้า) สามารถเขียนได้ว่า



ปฏิกิริยาทั้งหมดของเซลล์ไฟฟ้าหาโดยดรรรวมปฏิกิริยาครึ่งเซลล์ไฟฟ้าเข้าด้วยกัน



ความเปลี่ยนแปลงของพลังงานเสรี ΔG° ของปฏิกิริยาหาได้จาก

$$\Delta G^\circ = -nFE^\circ \quad (2.11)$$

เมื่อ F คือค่าคงที่ของฟาราเดย์ เท่ากับ 96,487 C

E° คือค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน

ตารางที่ 2.5 ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง

Electrode reaction	E°/N	Electrode reaction	E°/N
$Li^+ + e \leftrightarrow Li$	-3.045	$CuCl + e \leftrightarrow Cu + Cl^-$	0.121
$K^+ + e \leftrightarrow K$	-2.925	$AgCl + e \leftrightarrow Ag + Cl^-$	0.2223
$Na^+ + e \leftrightarrow Na$	-2.714	$AgCl + e \leftrightarrow Ag + Cl^-$ (seawater, pH 8.2)	0.2476
$Al^{3+} + 3e \leftrightarrow Al$	-1.67	$Hg_2Cl_2 + 2e \leftrightarrow 2Hg + 2Cl^-$	0.2682
$H_2O + e \leftrightarrow 1/2H_2 + OH^-$	0.8277	$Hg_2Cl_2 + 2e \leftrightarrow 2Hg + 2Cl^-$ (satdKCl (SCE))	0.2412
$H_2O + e \leftrightarrow 1/2H_2 + OH^-$ (seawater, pH 8.2)	0.5325	$O_2 + H_2O + 4e \leftrightarrow 4OH^-$	0.401
$Ni(OH)_2 + 2e \leftrightarrow Ni + 2OH^-$	-0.72	$Cu^{2+} + Cl^- + e \leftrightarrow CuCl$	0.559
$O_2 + H^+ + e \leftrightarrow H_2O$	-0.046	$O_2 + 4H^+ + 4e \leftrightarrow 2H_2O$ (pure water, pH 7)	0.815
$2H^+ + 2e \leftrightarrow H_2$	0	$O_2 + 4H^+ + 4e \leftrightarrow 2H_2O$	1.229
$HgO + H_2O + 2e \leftrightarrow Hg + 2OH^-$	0.0977	$Cl_2 + 2e \leftrightarrow 2Cl^-$	1.358

เมื่อเงื่อนไขต่างๆ ที่เกิดขึ้นไม่เป็นไปตามมาตรฐานทั่วไปแล้ว ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าจะหาได้จากสมการของเนรินส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{a_C^c a_D^d}{a_A^a a_B^b} \right) \quad (2.12)$$

เมื่อ	a_i	คือค่าความสามารถที่เกิดปฏิกิริยาของอิเล็กโทรดแต่ละชนิดที่คู่กัน
	R	คือค่าคงที่ของแก๊ส ($8.314 JK^{-1} mol^{-1}$)
	T	คืออุณหภูมิในขณะนั้นที่หน่วยเคลวิน

ความเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ ΔG^0 ของเซลล์ไฟฟ้านั้นเป็นค่าแรงที่ขับเคลื่อนประจุไฟฟ้าที่ช่วยให้แบตเตอรี่ขับเคลื่อนพลังงานไฟฟ้าไปยังภายนอกได้ การวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าอีกประการหนึ่งคือจะได้ข้อมูลที่เป็นการเปลี่ยนแปลงของพลังงานอิสระขึ้น เอนโทรปี และ เอนทาลปีขึ้นด้วยกันกับค่าสัมประสิทธิ์ ค่าคงที่ และความสามารถของวัสดุที่นำมาใช้งาน

การวัดค่าความต่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าเดี่ยวๆ นั้นจะไม่สามารถหาค่าได้ เพื่อที่จะสร้างการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ ศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงที่เป็น “ศูนย์” จะทำให้วัดค่าศักย์ไฟฟ้าได้ ตามแบบของค่าศักย์มาตรฐานของปฏิกิริยา $H_2 / H^+(aq)$ จะให้ค่าเป็นศูนย์และค่าศักย์มาตรฐานทั้งหมดจะอ้างอิงไปยังศักย์มาตรฐานนี้

2.10 กระบวนการที่ขั้วไฟฟ้า

ปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าเป็นลักษณะเฉพาะที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างพลังงานเคมีและพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าเป็นไปอย่างง่ายดายโดยการลดลงของไอออนเหล็กและเกิดการรวมตัวของอะตอมบนพื้นผิวหรือภายในโครงสร้างขั้วไฟฟ้า ลักษณะของแรงเคลื่อนไฟฟ้านั้นจะต้องเคลื่อนที่ไปยังพื้นผิวของขั้วไฟฟ้าโดยการเคลื่อนย้ายหรือการแพร่ของประจุก่อนที่จะเกิดขั้นตอนการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน การดูดซับทางไฟฟ้าของวัสดุเกี่ยวข้องกับขั้นตอนก่อนและหลังการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน นอกจากนี้กระบวนการทางเคมีมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดของขั้วไฟฟ้าอีกด้วย ในการเกิดปฏิกิริยานั้น อัตราโดยรวมของกระบวนการไฟฟ้าเคมีหาได้โดยอัตราของขั้นตอนที่ช้าที่สุดของการเกิดปฏิกิริยา

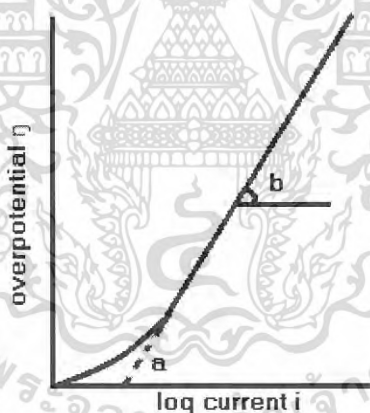
การรักษาระดับทางอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีนั้นนำเสนอในหัวข้อที่ผ่านๆ มา อธิบายสภาพเงื่อนไขของความสมดุลของระบบแต่ไม่ได้นำเสนอในส่วนที่ระบบที่ไม่สมดุล ยกตัวอย่างเช่นกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากความเบี่ยงเบนของขั้วไฟฟ้าที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อปฏิกิริยาทาง

ไฟฟ้าเคมี ความมุ่งมั่นในการทดลองหาลักษณะของกระแสไฟฟ้า – ความต่างศักย์ของระบบไฟฟ้าเคมีใดๆ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์แบบเอ็กโพเนนเชียลระหว่างกระแสไฟฟ้ากับค่าความต่างศักย์ที่ใส่เข้ามาในระบบ เรียกความสัมพันธ์นี้ว่าสมการของทาเฟล (Tafel's equation)

$$\eta = a \pm b \cdot \log(i) \quad (2.13)$$

เมื่อ	η	คือค่าความต่างศักย์ส่วนเกิน
	i	คือกระแสไฟฟ้า
	a และ b	คือค่าคงที่

โดยทั่วไปแล้วค่าคงที่ b คือค่าความชันของทาเฟล ความสัมพันธ์ของทาเฟลถือเป็นจำนวนมากของระบบทางไฟฟ้าเคมีที่มีช่วงศักย์ไฟฟ้าส่วนเกินที่กว้างๆ อย่างไรก็ตามที่ค่าศักย์ไฟฟ้าส่วนเกินต่ำๆ นี้ความสัมพันธ์มีค่าที่ตกลงและเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง η และ $\log(i)$ รูปที่ 2.4 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของทาเฟล แสดงให้เห็นถึงค่าศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำลง



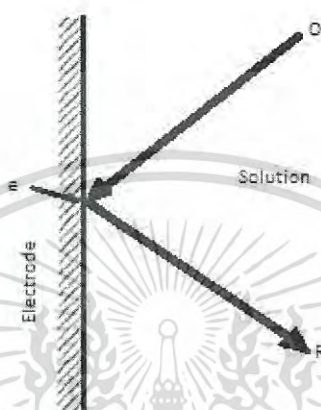
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของทาเฟลที่เส้นกราฟโค้งเข้าสู่จุดตำแหน่ง (0,0)

ความสำเร็จของสมการทาเฟลมีความพอดีกับระบบการทดลองอย่างมากช่วยให้ส่งเสริมทฤษฎีจลน์ของกระบวนการที่ช้าไฟฟ้า ตั้งแต่ช่วงความสัมพันธ์ของทาเฟลได้ใส่ค่าศักย์ไฟฟ้าส่วนเกินสูงเหมาะสมที่จะสรุปว่าการแสดงออกมานี้ไม่อยู่ในสภาพที่สมดุลแต่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า – ความต่างศักย์ไฟฟ้าในกระบวนการเกิดแบบทิศทางเดียว ในกระบวนการออกซิเดชันหมายถึงว่าจะเกิดกระบวนการย้อนกลับเล็กน้อย จากสมการที่ (2.14) อยู่ในรูปของสมการเอ็กโพเนนเชียล

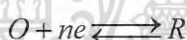
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i = \exp\left(\pm \frac{a}{b}\right) \exp \frac{\eta}{b} \quad (2.14)$$

พิจารณาทฤษฎีต่างๆ ไป จะต้องพิจารณากระบวนการทางไฟฟ้าเคมีทั้งแบบไปข้างหน้าและแบบย้อนกลับ แสดงในรูปที่ 2.5 แสดงในสมการที่ (2.15)



รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการที่ชั่วไฟฟ้า



(2.15)

เมื่อ

O คือส่วนที่เกิดออกซิไดซ์

R คือส่วนที่เกิดรีดิวซ์

n คือจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดในกระบวนการชั่วอิเล็กโทรด

ปฏิกิริยาแบบไปข้างหน้าและย้อนกลับสามารถอธิบายด้วยอัตราค่าคงที่ k_f และ k_b ตามลำดับ อัตราของปฏิกิริยาการเกิดไปข้างหน้าและย้อนกลับจะออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราการเกิดคงที่และเกี่ยวข้องกับความเข้มข้นที่เกิดบนผิวชั่วไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งคือความเข้มข้นของสภาพทางไฟฟ้าที่พื้นผิวชั่วไฟฟ้ามักจะแตกต่างจากความเข้มข้นจำนวนมาก อัตราของปฏิกิริยาไปข้างหน้าคือ $k_f C_O$ และปฏิกิริยาย้อนกลับคือ $k_b C_R$ เพื่อความสะดวก อัตราเหล่านี้จะนำเสนอในเทอมของกระแสไฟฟ้า i_f และ i_b สำหรับปฏิกิริยาไปข้างหน้าและย้อนกลับตามลำดับ

$$i_f = nFAk_f C_O \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_b = nFAk_b C_R \quad (2.17)$$

เมื่อ A คือขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า

F คือค่าคงที่ของฟาราเดย์

การเกิดกระบวนการเหล่านี้เป็นผลจากการใช้กฎของกระบวนการประจุที่กระทำไปข้างหน้าและไปข้างหลัง การจำลองสิ่งนี้เป็นบทสรุปจากการนำเอากฎของการเคลื่อนประจุไปข้างหน้าและย้อนกลับทางปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี บทบาทของอิเล็กตรอนในกระบวนการนี้เกิดขึ้นจากขนาดอัตราคงที่ที่ขึ้นอยู่กับศักย์ขั้วไฟฟ้า โดยปกติการพึ่งพาสิ่งนี้จะอธิบายโดยสมมติว่า αE ของศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมีส่วนต่อการเกิดกระบวนการรีดักชัน ในขณะที่ส่วนของ $(1-\alpha)E$ มีส่วนทำให้เกิดกระบวนการออกซิเดชันมากขึ้น ในทางคณิตศาสตร์ อัตราของค่าศักย์ไฟฟ้า - อัตราคงที่จะเป็น

$$k_f = k_f^o \exp\left(\frac{-\alpha nFE}{RT}\right) \quad (2.18)$$

$$k_b = k_b^o \exp\left(\frac{(1-\alpha)nFE}{RT}\right) \quad (2.19)$$

เมื่อ α คือสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน

E คือความสัมพันธ์ศักย์ไฟฟ้าที่เทียบกับศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ α ที่อุณหภูมิ 25°C สำหรับระบบที่เลือกใช้งาน

Electrode reaction	Metal	Electrode reaction	α
$H^+ + e \leftrightarrow 1/2H_2$	Pt (smooth)	$1.0 \text{ mol dm}^{-3} \text{ HCl}$	2.0
$H^+ + e \leftrightarrow 1/2H_2$	Ni	$0.12 \text{ mol dm}^{-3} \text{ NaOH}$	0.58
$H^+ + e \leftrightarrow 1/2H_2$	Hg	$10.0 \text{ mol dm}^{-3} \text{ HCl}$	0.61
$O_2 + 4H^+ + 4e \leftrightarrow 2H_2O$	Pt (smooth)	$0.1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ H}_2\text{SO}_4$	0.49
$O_2 + 2H_2O + 4e \leftrightarrow 4OH^-$	Pt (smooth)	$0.1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ NaOH}$	1.0
$Cd^{2+} + 2e \leftrightarrow Cd$	Cd/Hg	$10^{-3} \text{ mol dm}^{-3} \text{ Cd(NO}_3)_2 \text{ in}$	
		$1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ KNO}_3$	5.0
$Cu^{2+} + 2e \leftrightarrow Cu$	Cu	$1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ CuSO}_4$	0.5

จากสมการ (2.17) และ (2.18) สามารถหาตัวแปรที่มีประโยชน์สำหรับกระบวนการและอธิบายระบบไฟฟ้าเคมี สมการที่ (2.17) และ (2.18) จะสอดคล้องกับสมการของเนรินส์ (2.12) สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขที่สมดุลและจากความสัมพันธ์ของทาเพล (2.13) สำหรับกระบวนการทิศทางเดียว ภายใต้เงื่อนไขที่สมดุลทั้งกระแสเดินหน้าและถอยหลัง แต่เหตุผลของระบบที่อยู่ในสภาวะสมดุลนี้ อัตราการไหลของกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากันทั้งสองด้านและจะไม่มีค่ากระแสไฟฟ้าสุทธิ ดังนั้น

$$i_f = i_b = i_o \quad (2.20)$$

เมื่อ i_o คือค่ากระแสไฟฟ้าที่เคลื่อนที่สวนทางกัน จากสมการ (2.16) ถึงสมการที่ (2.19) พิจารณาร่วมกันกับสมการที่ (2.20) ความสัมพันธ์ทั้งหมดนี้จะได้ว่า

$$C_O k_f^o \exp\left(\frac{-\alpha n F E_e}{RT}\right) = C_R k_b^o \exp\left(\frac{(1-\alpha)n F E_e}{RT}\right) \quad (2.21)$$

เมื่อ E_e คือค่าศักย์ไฟฟ้าสมดุล จัดรูปสมการใหม่ได้ว่า

$$E_e = \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{k_f^o}{k_b^o}\right) + \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{C_O}{C_R}\right) \quad (2.22)$$

จากสมการนี้เราสามารถบอกได้ถึงศักย์มาตรฐาน E_C^o

$$E_C^o = \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{k_f^o}{k_b^o}\right) \quad (2.23)$$

เพื่อความเข้าใจที่ง่ายขึ้น ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานมักจะเป็นจุดอ้างอิงของค่าที่อาจเกิดการย้อนกลับได้ รวมสมการที่ (2.21) และ (2.22) เราสามารถแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกับสมการของเนรินส์ได้

$$E_e = E_C^o + \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{C_O}{C_R}\right) \quad (2.24)$$

ยกเว้นว่าเราจะเขียนแสดงความสัมพันธ์ในเทอมของความเข้มข้นของสารมากกว่าการทำงาน จากสมการที่ (2.15) และ (2.17) ในเงื่อนไขที่สมดุล

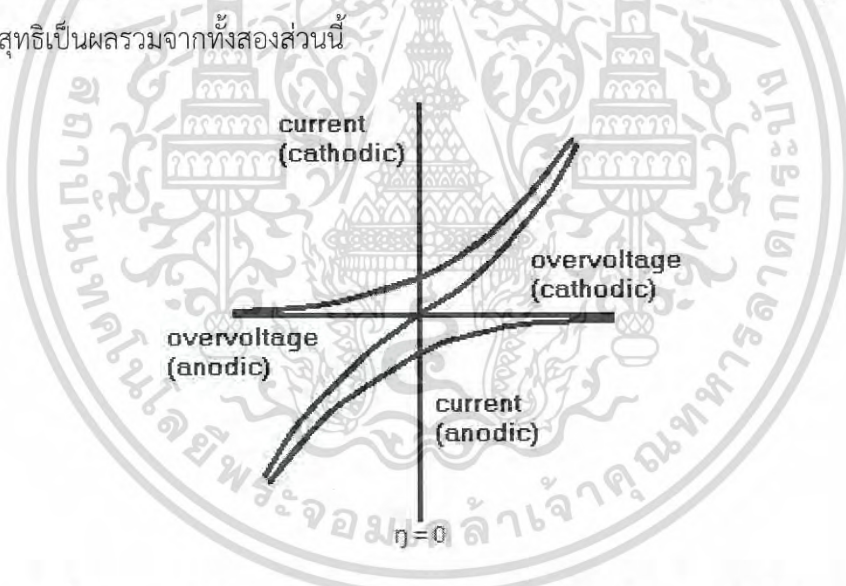
$$i_o = i_f = n F A C_O k_f^o \exp\left(\frac{-\alpha n F E_e}{RT}\right) \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแลกเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าหาได้จากสมการที่ (2.19) เป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการศึกษาเรื่องของแบตเตอรี่ ตัวแปรนี้อาจแสดงความสะดวกในเทอมของค่าคงที่ k โดยรวมสมการที่ (2.14), (2.16), (2.21) และ (2.24)

$$i_o = nFAk_f C_o^{(1-\alpha)} C_R^\alpha \quad (2.26)$$

การแลกเปลี่ยนกระแส i_o คือสิ่งที่วัดอัตราการและเปลี่ยนแปลงระหว่างการออกซิไดซ์และรีดิวซ์ที่ศักย์ไฟฟ้าสมดุลใดๆ โดยที่ไม่มีประจุส่วนเกิน อย่างไรก็ตามนั้นค่าคงที่ k กำหนดให้เป็นค่าคงที่จำเพาะสำหรับค่าศักย์มาตรฐานของระบบ โดยที่มันมีค่าไม่เพียงพอสอดคล้องกับลักษณะในระบบสัมประสิทธิ์ที่รู้จัก อย่างไรก็ตามสมการที่ (2.25) สามารถใช้ในการอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่ช้าไฟฟ้าได้ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสามารถหาได้โดยการวัดค่าอัตราการแลกเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าในฟังก์ชันของความเข้มข้นของการรีดักชันหรือการออกซิเดชันที่สภาพการเกิดออกซิเดชันและรีดักชันคงที่ตามลำดับ ลักษณะการเกิดกระแสไปข้างหน้าและย้อนกลับแสดงในฟังก์ชันของศักย์ไฟฟ้าส่วนเกิน $\eta = E - E_e$ แสดงในรูปที่ 2.23 เมื่อกระแสไฟฟ้าสุทธิเป็นผลรวมจากทั้งสองส่วนนี้



รูปที่ 2.6 แสดงรูปความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าส่วนเกินและกระแสไฟฟ้า

สำหรับสถานการณ์นี้ในขณะที่กระแสไฟฟ้ามีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งศักย์พลังงานเพียงพอที่เกิดความแตกต่างจากศักย์พลังงานมาตรฐาน และกระแสไฟฟ้าสุทธิที่เข้าใกล้สภาวะใกล้เคียงกับกระแสไฟฟ้าไปข้างหน้า จะเขียนได้ว่า

$$i = nFAC_o k \exp\left(\frac{-\alpha nF\eta}{RT}\right) \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\eta = 0$, $i = i_o$ จะได้ว่า

$$i = i_o \exp\left(\frac{-\alpha n F \eta}{RT}\right) \quad (2.28)$$

และ

$$\eta = \frac{RT}{\alpha n F} \ln i_o - \frac{RT}{\alpha n F} \ln i \quad (2.29)$$

จากจุดนี้คือสมการทาเฟลที่ได้กล่าวถึงไว้แล้วในรูปของสมการทั่วไปจากสมการที่ (2.11) จะเห็นได้ว่าการรักษาการเคลื่อนที่ของประจุสอดคล้องกับสมการของเนรินส์ที่เงื่อนไขสมดุล (2.24) และความสัมพันธ์ของทาเฟลสำหรับกระบวนการที่กระแสไฟฟ้าไหลทิศทางเดียว เพื่อที่จะนำเสนอการรักษาสภาพการเคลื่อนที่ของประจุที่จะเข้าใจง่ายที่สุด การแปลงค่าเข้าสู่ค่ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านสัทธิที่มีความเหมาะสม เราใช้

$$i = i_f - i_b \quad (2.30)$$

แทนค่าจากสมการที่ (2.16) (2.19) และ (2.24) ลงไปในสมการที่ (2.30) จะได้ว่า

$$i = nFAk \left[C_o \exp\left(\frac{-\alpha n FE_c^o}{RT}\right) - C_R \exp\left(\frac{(1-\alpha)n FE_c^o}{RT}\right) \right] \quad (2.31)$$

เมื่อสมการนี้ถูกนำมาใช้งานในทางปฏิบัติแล้วจะมีความสำคัญมากที่จะจดจำว่าค่า C_o และ C_R เป็นค่าความเข้มข้นของประจุที่พื้นผิวขั้วไฟฟ้า หรือความจุประจุที่มีผลต่อการเกิดกระแสไฟฟ้า สิ่งนี้ไม่จำเป็นต้องเหมือนกับความเข้มข้นแบบกลุ่ม ความเข้มข้นของส่วนที่เชื่อมต่อกันมักจะเปลี่ยนแปลงไปโดยความแตกต่างในศักย์ไฟฟ้าระหว่างพื้นผิวอิเล็กโทรดและความเข้มข้นแบบกลุ่ม ผลกระทบจากศักย์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันนี้จะเห็นได้อย่างชัดเจนที่จุดเชื่อมต่อกันที่ขั้วอิเล็กโทรด - อิเล็กโทรไลต์ [7]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ถูกวิจัยขึ้นเพื่อศึกษาเศษซากพืชแต่ละชนิดที่ไม่เกิดประโยชน์แล้ว นำมาใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อศึกษาการสร้างแบตเตอรี่ชีวภาพ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพ โดยมีลำดับขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

การศึกษาเศษซากพืชและเศษวัสดุที่ไม่ใช้งานแล้ว

3.1 การพิจารณาอิเล็กทรอนิกส์และการเตรียมอิเล็กทรอนิกส์

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกชนิดของเศษซากพืชที่จะนำมาใช้งานเป็นอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ ลำต้นของต้นกล้วย เปลือกกล้วย และ ผลมะยม



รูปที่ 3.1 ลำต้นกล้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เปลือกสับปะรด



รูปที่ 3.3 ผลมะยม

คุณสมบัติของอิเล็กทรอนิกส์ในทางฟิสิกส์จะมีคุณสมบัติที่นำไฟฟ้าได้ และในทางเคมี อิเล็กทรอนิกส์คือสารที่มีคุณสมบัติในการแตกตัวของไอออนที่ดี ซึ่งสารที่มีการแตกตัวของไอออนที่ดีจะมีสภาพความเป็นกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเตรียมอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวได้ทำการทดสอบคุณสมบัติความเป็นกรด – เบส โดยการใช้กระดาษลิตมัสทดสอบ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสีของกระดาษลิตมัสเป็นดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการเปลี่ยนสีของกระดาษลิตมัส หลังจากที่ได้ทดสอบกับเศษซากพืชที่ได้คัดเลือก

ชนิดของเศษพืช	ชนิดของกระดาษลิตมัส	
	สีแดง	สีน้ำเงิน
ลำต้นกล้วย	เปลี่ยนสี	ไม่เปลี่ยนสี
เปลือกสับปะรด	ไม่เปลี่ยนสี	เปลี่ยนสี
ผลมะยม	ไม่เปลี่ยนสี	เปลี่ยนสี

สำหรับขั้นตอนการเตรียมอิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆ ผู้วิจัยได้นำเอาลำต้นกล้วย เศษเปลือกสับปะรด และผลมะยมนำมาทำการปั่นโดยผ่านเครื่องปั่น และคั้นน้ำผ่านผ้าขาวบางดังรูปที่ 3.4 โดยผลที่ได้จากการเตรียมอิเล็กทรอนิกส์จะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4.1

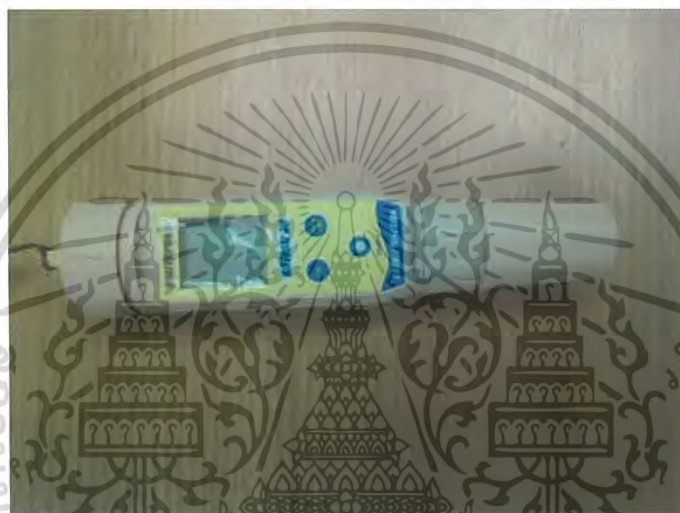


รูปที่ 3.4 แสดงกระบวนการแปรสภาพของเศษซากพืชให้กลายมาเป็นอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทดสอบสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์

หลังจากที่ได้ทำการคั่นน้ำอิเล็กโทรไลต์แล้ว จะนำเอาอิเล็กโทรไลต์ที่ได้มาทดสอบโดยการวัดค่า pH ของอิเล็กโทรไลต์โดยใช้เครื่องมือ pH Meter ดังรูปที่และทดสอบหาสภาพความนำไฟฟ้าจากการสร้างวงจรทดสอบสภาพความนำไฟฟ้า โดยผู้วิจัยจะกล่าวถึงลักษณะของวงจรทดสอบความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ และขั้นตอนการทดลองหาค่าความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ ในหัวข้อที่ 4.1 ต่อไป



รูปที่ 3.5 แสดง pH Meter ที่ใช้ในการวัดค่า pH ของอิเล็กโทรไลต์

3.3 การพิจารณาวัสดุโลหะที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้า

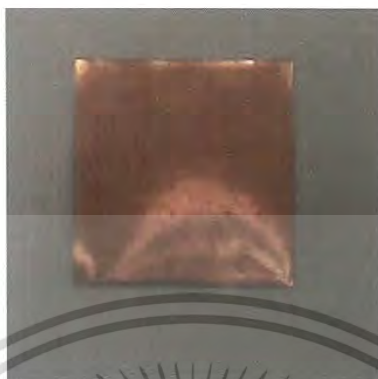
ในงานวิจัยนี้ผู้ทดลองได้ทำการเลือกเศษวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย และเป็นโลหะที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ ได้แก่ แผ่นทองแดง แผ่นสังกะสี แผ่นเหล็ก และแผ่นอลูมิเนียม โดยที่โลหะแต่ละชนิดมีลักษณะดังต่อไปนี้

3.3.1 ทองแดง

ทองแดงเป็นโลหะทรานซิชัน เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสารรีดและทองเหลือง มีเลขอะตอมเท่ากับ 29 มีมวลอะตอมเท่ากับ 63.546 มีความหนาแน่นเท่ากับ 8.96 g/cm^3 เป็นโลหะที่ค้นพบได้ตามแหล่งต่างๆ ไป แม้ส่วนมากจะได้แร่ทองแดงจากเหมืองแร่เป็นหลักก็ตาม บางครั้งสามารถค้นพบแร่ทองแดงที่บริสุทธิ์หรือในบางครั้งค้นพบว่าทองแดงเป็นสารประกอบของโลหะชนิดอื่นๆ ได้เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นโลหะที่มีการนำไฟฟ้าที่ดี จึงนิยมนำมาทำเป็นสายไฟ และนิยมนำมาทำเป็นอุปกรณ์เครื่องครัวเพราะเป็นตัวนำความร้อนที่ดี [8]



รูปที่ 3.6 แผ่นทองแดง

3.3.2 สังกะสี

สังกะสี เป็นโลหะทรานซิชัน มีเลขอะตอมเท่ากับ 30 มีมวลอะตอมเท่ากับ 65.39 มีความหนาแน่นเท่ากับ 7.1 g/cm^3 เป็นแร่ที่มักอยู่ร่วมกับสารชนิดอื่นๆ เช่น ซิงค์ซัลเฟต (ZnS) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) แร่คาลาไมน์ ($\text{Zn}_2[\text{OH}]_2\text{SiO}_3$) สังกะสีเป็นโลหะที่มีผิวมันวาวแต่สามารถดำได้อย่างง่ายดาย ปกติแล้วสังกะสีเป็นโลหะที่มีความแข็งแรงมาก แต่เมื่ออยู่ในสถานะที่อุณหภูมิสูงกว่า $100 \text{ }^\circ\text{C}$ จะมีลักษณะที่นิ่มและดัดโค้งได้ง่าย [8]

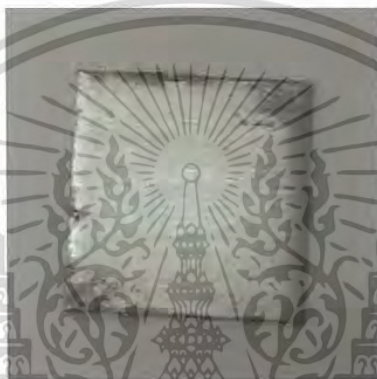


รูปที่ 3.7 แผ่นสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 เหล็ก

เหล็กเป็นโลหะทรานซิชัน มีเลขอะตอมเท่ากับ 26 มีมวลอะตอมเท่ากับ 55.843 มีความหนาแน่น 7.86 g/cm^3 เหล็กมีประโยชน์อย่างมากมายนับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน แร่เหล็กที่สำคัญและมีความสำคัญที่สุดคือแร่ฮีมาไทต์ (เฟอร์ริกออกไซด์ Fe_2O_3) โกอีไทต์และลิโมนีท์ ($\text{FeO}(\text{OH})$) เป็นต้น อุกกาบาตอุดมไปด้วยแร่เหล็ก ดังนั้นเหล็กจึงมีความหนาแน่นมากที่สุดที่อุกกาบาต เนื่องจากธาตุเหล็กมีอยู่ที่เปลือกโลก นอกจากนี้ธาตุเหล็กยังเป็นส่วนประกอบของโลหะชนิดอื่นๆ อีกด้วย นอกจากนี้ธาตุเหล็กพบเจอได้ในเม็ดเลือดแดงเนื่องจากเป็นส่วนประกอบของฮีโมโกลบินอีกด้วย [8]



รูปที่ 3.8 แผ่นเหล็ก

3.3.4 อลูมิเนียม

อลูมิเนียม เป็นธาตุโลหะอยู่ในหมู่ที่ 3 มีเลขอะตอมเท่ากับ 13 มีมวลอะตอมเท่ากับ 26.981538 มีความหนาแน่น 2.70 g/cm^3 เป็นโลหะสีเงิน ค้นพบอลูมิเนียมในวัสดุซิลิเกต (เป็นวัสดุที่มีการรวมกันของซิลิกอนและออกซิเจน) แร่บอกไซต์ (Al_2O_3) เป็นแร่ที่สำคัญที่สุดของอลูมิเนียม รองลงมาได้แก่คอร์ันดัม (Al_2O_3) นิยมใช้ในการขัดผิวให้มัน พื้นผิวของอลูมิเนียมโดยประมาณ 85 – 90 เกิดการสะท้อนแสงกลับ และส่วนน้อยของแสงถูกดูดกลืนไป อลูมิเนียมมีน้ำหนักเบาและมีความอ่อนตัว จึงเหมาะแก่การนำมาเป็นวัสดุโครงสร้าง เช่นในอากาศยานส่วนที่ต้องการความแข็งแรงแต่น้ำหนักเบา หรือนำอลูมิเนียมผสมกับโลหะชนิดอื่นๆ เพื่อเสริมความแข็งแรงให้แก่วัตถุนั้นๆ ได้ [9]



รูปที่ 3.9 แผ่นอลูมิเนียม

ในการเตรียมขั้วไฟฟ้าสำหรับการสร้างแบตเตอรี่ ทำความสะอาดแผ่นโลหะเหล่านี้โดยการนำเอากระดาษทรายมาขัดที่ผิวโลหะเพื่อให้อิเล็กทรอนิกส์ได้สัมผัสกับโลหะชนิดนั้นๆ อย่างเต็มพื้นที่ และทำการตัดแผ่นโลหะเหล่านี้ให้ได้ขนาด 2 ซม. × 2 ซม. และทำการจับคู่แผ่นโลหะโดยการพิจารณาว่าโลหะชนิดใดมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นขั้วแอโนดหรือแคโทดจากการตรวจสอบค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้า วัสดุที่นำมาใช้ในการทดสอบนี้มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเป็นไปดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการทดสอบ

ครึ่งปฏิกิริยา	E_0 (V)
$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$	0.34
$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Zn}$	-0.76
$\text{Fe}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.036
$\text{Al}^{3+} + 3e^- \rightarrow \text{Al}$	-1.66

3.4 การศึกษาการสร้างแบตเตอรี่

ในส่วนของการศึกษาการสร้างแบตเตอรี่ชีวภาพนั้น พบว่าการสร้างให้แบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพในการให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้นั้นมาจากการออกแบบให้ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่มีความแข็งแรง ป้องกันไม่ให้อิเล็กทรอนิกส์เกิดการระเหยออก และกำหนดระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่มีความพอดีตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้องการของผู้ออกแบบ โดยที่ผู้วิจัยได้ทำการคิดค้นส่วนประกอบที่สำคัญของบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่ที่ใช้ในงานวิจัยดังต่อไปนี้

บล็อกของแบตเตอรี่

บล็อกของแบตเตอรี่ มีหน้าที่คือเป็นช่องเอาไว้อะลูมิเนียมฟอยล์และเป็นที่บรรจุขั้วไฟฟ้าเพื่อให้แบตเตอรี่สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้โดยที่บล็อกของแบตเตอรี่จะมี 2 แบบ แบบที่ 1 จะเป็นบล็อกที่มีพื้นที่บล็อกขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร สูง 1 เซนติเมตร โดยนำเอาดัดบับใส่เข้ามาประยุกต์ใช้งานเป็นบล็อกของแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.10 แสดงบล็อกของแบตเตอรี่ชีวภาพแบบที่ 1

ส่วนบล็อกแบบที่ 2 เป็นบล็อกที่มีขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 7 เซนติเมตร สูง 2 เซนติเมตร โดยนำเอากล่องใส่อุปกรณ์ขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้งานเป็นบล็อกของแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 3.11

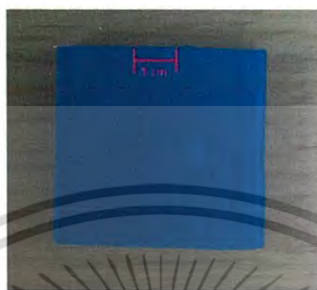


รูปที่ 3.11 แสดงบล็อกของแบตเตอรี่แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ยึดขั้วไฟฟ้า

ที่ยึดขั้วไฟฟ้า ประดิษฐ์จากแผ่นพลาสติกลูกฟูก มีหน้าที่ยึดขั้วไฟฟ้าให้มีระยะห่างตามที่ต้องการ และให้ขั้วไฟฟ้าไม่เกิดการเคลื่อนที่ขณะที่แบตเตอรี่ทำงาน โดยกำหนดร่องยึดแผ่นขั้วโลหะที่ระยะห่าง 0.50 2.00 4.00 และ 6.00 เซนติเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 3.12 แสดงที่ยึดขั้วไฟฟ้า

กล่องบรรจุแบตเตอรี่

บรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่ ทำการสร้างจากแผ่นพลาสติกลูกฟูก ครอบคลุมของบล็อกของแบตเตอรี่ และที่ยึดขั้วไฟฟ้าเอาไว้ เพื่อป้องกันการระเหยออกของอิเล็กโทรไลต์ขณะทำการทดลอง โดยด้านบนของกล่องทำการออกแบบให้มีฝาเปิดปิดเพื่อทำการเปลี่ยนองค์ประกอบภายในของแบตเตอรี่ได้ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.13 แสดงบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชีวมวล

ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชีวมวล ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบวิธีการทดสอบประสิทธิภาพ โดยการใช้วงจรไฟฟ้าทั้งหมด 3 ซึ่งจะนำเสนอต่อไปในหัวข้อที่ 3.5 – 3.7 ตามลำดับ

3.5 วงจรทดสอบค่าความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์

วงจรทดสอบค่าความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ เป็นการทดสอบโดยการใส่แรงดันไฟฟ้าเข้าไปในวงจรที่ได้ทำการต่อเชื่อมกับอิเล็กโทรไลต์ที่ถูกบรรจุอยู่ในบล็อกของแบตเตอรี่ และใส่แรงดันไฟฟ้าโดยใช้ลักษณะของการหาค่าความต้านทานของอิเล็กโทรไลต์และใช้ความสัมพันธ์ส่วนกลับของค่าความต้านทานนั้นคือค่าความนำไฟฟ้า โดยมีความสัมพันธ์ทางสมการคือ [10]

$$R_c = \frac{V_c}{I} \quad (3.1)$$

จากความสัมพันธ์ของความต้านทาน จะแปรผันตรงกับความยาวของเส้นลวดและแปรผกผันกับขนาดพื้นที่หน้าตัด โดยผู้วิจัยได้เปรียบเทียบวาระยะห่างระหว่างแผ่นเหล็กที่เชื่อมต่อกับ Power Supply คือค่าความยาวของเส้นลวด และขนาดพื้นที่ที่อิเล็กโทรไลต์สัมผัสกับผิวโลหะคือขนาดพื้นที่หน้าตัด จะได้ความสัมพันธ์ว่า [10]

$$R_c = \rho_c \frac{l_c}{A_c} \quad (3.2)$$

ค่าสภาพความต้านทาน เป็นส่วนกลับของสภาพความนำไฟฟ้า จากความสัมพันธ์

$$\rho_c = \frac{1}{\sigma_c} \quad (3.3)$$

แทนค่าสภาพความต้านทานจากสมการที่ (3.3) แทนลงในสมการที่ (3.2) จะได้ว่า

$$R_c = \frac{1}{\sigma_c} \frac{l_c}{A_c} \quad (3.4)$$

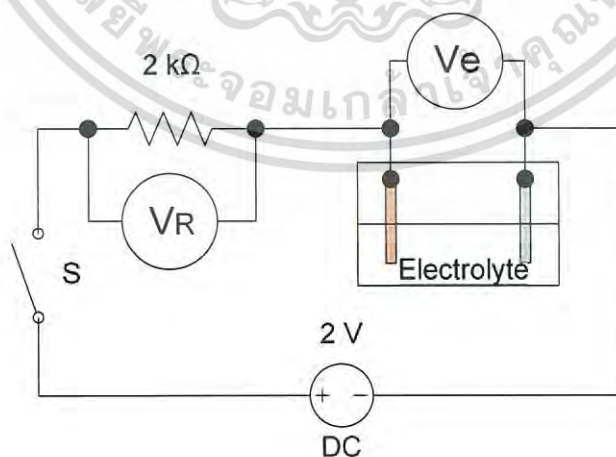
จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (3.1) นำมาแทนค่าลงในสมการที่ (3.4) จะได้ว่า

$$\frac{V_e}{I} = \frac{1}{\sigma_e} \frac{l_e}{A_e} \quad (3.5)$$

ทำการย้ายข้างสมการเพื่อทำการคำนวณค่าสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ จะได้ว่า

$$\sigma_e = \frac{l_e I}{A_e V_e} \quad (3.6)$$

เมื่อ	σ_e	คือค่าสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ (โอห์มเมตร) ⁻¹
(โวลต์)	V_e	คือค่าความต่างศักย์ตกคร่อมระหว่างแผ่นโลหะที่สัมผัสอิเล็กโทรไลต์
	I	คือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจร (แอมแปร์)
	l_e	คือระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะ (ซ.ม.)
	A_e	คือขนาดพื้นที่ของแผ่นโลหะที่สัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ (ซ.ม. ²)
	R_e	คือค่าความต้านทานของอิเล็กโทรไลต์ (โอห์ม)
	ρ_e	คือค่าสภาพความต้านทานของอิเล็กโทรไลต์ ($\Omega \cdot m$)



รูปที่ 3.14 วงจรทดสอบสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงเครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่อวงจรทดสอบค่าสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์



รูปที่ 3.16 แสดงเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน (V_R)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



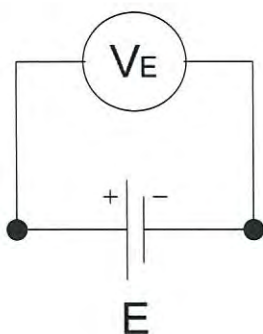
รูปที่ 3.17 แสดงเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ตกร้อมอิเล็กทรอนิกส์ (V_e)

ทำการวัดค่าโดยการใช้เครื่องวัดค่าความต่างศักย์เหล่านี้โดยจะแสดงผลในโปรแกรม Labview ทำการทดสอบโดยการสับสวิทช์ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ทำเช่นนี้ซ้ำกัน 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย นำค่าที่วัดได้จากโปรแกรมคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน และค่าสภาพความนำไฟฟ้า นำค่าสภาพความนำไฟฟ้าที่ได้เปรียบเทียบกับ กำหนดให้แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 2 โวลต์

3.6 วงจรทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

วงจรทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ทำการต่อโวลต์มิเตอร์เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ในขณะที่แบตเตอรี่ยังไม่ทำงาน เพื่อหาค่าแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละชนิด โดยลักษณะของวงจรที่ใช้ทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เป็นดังรูปที่ 3.18

จากรูปที่ 3.18 ค่าตัวแปรที่เกิดขึ้นได้แก่ค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่วัดได้จริง (V_E) ทั้งหมด 3 ครั้งและทำการเฉลี่ยค่าแรงดันไฟฟ้า โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้าผ่านโปรแกรม Labview แยกเป็นกรณีแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้า 1 ตัว และกรณีแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้า 4 เซลล์ที่ต่ออนุกรมกันตามลำดับ



รูปที่ 3.18 วงจรทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

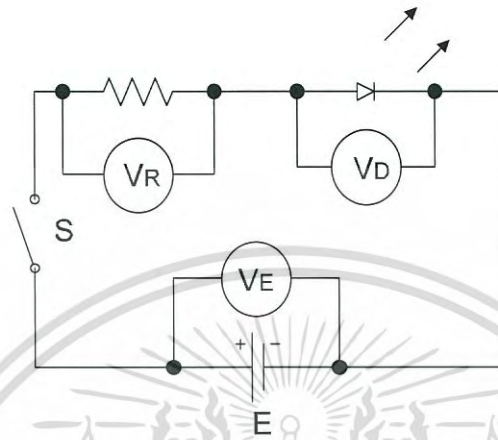


รูปที่ 3.19 แสดงเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ตกร้อมอิเล็กทรอนิกส์

3.7 วงจรทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพ

วงจรทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพ เป็นวงจรไฟฟ้าที่ใช้วิเคราะห์สิ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างที่แบตเตอรี่ทำงาน โดยมีการออกแบบวงจรทดสอบการปล่อยประจุของแบตเตอรี่เป็นดังรูปที่ 3.19 เชื่อมต่อโวลต์มิเตอร์ดังรูป ขนาดของตัวต้านทานที่ใช้ในวงจรสามารถปรับค่าตามที่ต้องการได้ และหลอดแอลอีดีที่ใช้ในการทดสอบนี้เป็นหลอดแอลอีดีสีเขียว เมื่อทำการทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าแล้ว หลอดแอลอีดีจะทำงาน และเมื่อหลอดแอลอีดีไม่ทำงานแล้ว จะถือว่าแบตเตอรี่ไม่สามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดงวงจรทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

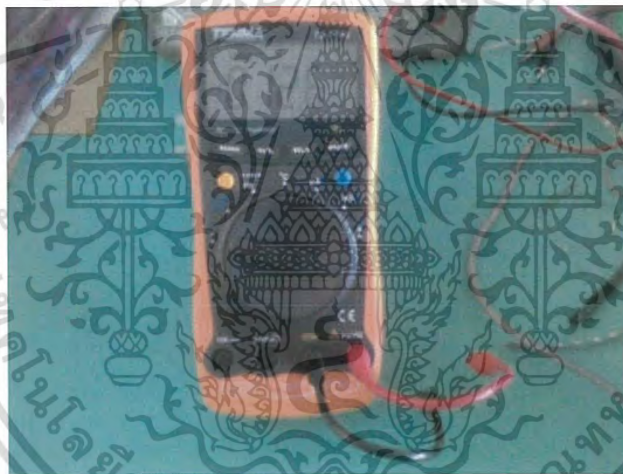


รูปที่ 3.21 แสดงเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V_E)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 แสดงเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน (V_R)



รูปที่ 3.23 แสดงเครื่องวัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมหลอดแอลอีดี (V_D)

จากรูปที่ 3.21 และ 3.22 ทำการเชื่อมต่อกับโปรแกรม Labview โดยตั้งค่าให้บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (V_B) และค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน (V_R) ทุกๆ 1 วินาที และวัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมหลอดแอลอีดี (V_D) จากอุปกรณ์มิเตอร์ดังรูปที่ 3.23 โดยมีลติมิเตอร์นี้สามารถบันทึกค่าได้ทุกๆ 1 วินาที บันทึกข้อมูลเก็บไว้ในรูปของไฟล์ข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยตรงอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาจะได้กล่าวถึงกระบวนการการทดสอบส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ชีวภาพ โดยกระบวนการการทดสอบส่วนต่างๆ มีขั้นตอนและวิธีการดังต่อไปนี้

3.8 การจับคู่ขั้วไฟฟ้าที่มีความเหมาะสม

กระบวนการแรกของการทดสอบลักษณะการปล่อยประจุของแบตเตอรี่ ทำการเลือกขั้วไฟฟ้า โดยนำเอาโลหะที่ให้อิเล็กทรอนิกส์ที่ดี (แอโนด) จับคู่กับโลหะที่รับอิเล็กทรอนิกส์ได้ดี (แคโทด) สำหรับขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่การทดสอบและจับคู่กันแล้วจะได้กล่าวต่อไป

3.9 การทดสอบหาค่าความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์

ทำการทดสอบโดยการให้แรงดันไฟฟ้าแก่วงจร ดังรูปที่ 3.5 กำหนดให้ระยะห่างระหว่างแผ่นทองแดงและแผ่นสังกะสีที่จุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์อยู่ห่างกัน 0.5 เซนติเมตร กำหนดให้ Power Supply มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 1 โวลต์ วัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน (V_r) เพื่อหาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอยู่ในวงจร และนำค่าศักย์ตกคร่อมอิเล็กโทรไลต์ (V_e) มาคำนวณเทียบกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในวงจร เพื่อใช้ในการเชื่อมโยงหาค่าความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ต่อไปทำการทดลองซ้ำกันทั้งสิ้น 3 ครั้ง ต่ออิเล็กโทรไลต์ 1 ชนิดโดยกำหนดให้ปริมาณของอิเล็กโทรไลต์สัมผัสผิวโลหะได้ขนาดพื้นที่หน้าตัด 2 ซม.²

3.10 การทดสอบหาค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

จากรูปที่ 3.17 ทำการจับคู่ขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสม บรรจุอิเล็กโทรไลต์ลงไปในบล็อกรีดให้ได้ขนาดพื้นที่ผิวสัมผัสขนาด 2 ซม.² ต่อขั้วไฟฟ้าเอาไว้ 2 แบบ คือ แบบ 1 เซลล์ และแบบ 4 เซลล์ต่ออนุกรมกัน ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกมาคร่อมทั้งสองแบบ หาค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยออกมา และทำการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในกรณีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 การทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่

จากรูปที่ 3.19 ทำการทดลองโดยนำเอาวงจรทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่มา เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ซึ่งสภาพที่ได้เตรียมไว้ สับสวิตซ์ให้วงจรไฟฟ้าทำงาน บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าของ แบตเตอรี่ ค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน และค่าความต่างศักย์ตกคร่อมหลอดแอลอีดี ทำการ ทดลองซ้ำกันทั้งสิ้น 3 ครั้งต่อคู่ขั้วไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 1 ชนิด และหาค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าของ แบตเตอรี่ ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมตัวต้านทาน และค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมหลอดแอลอีดี ในการทดลองนี้ผู้วิจัยกำหนดให้มีการเพิ่มขนาดพื้นที่ของคู่ขั้วไฟฟ้าและทำการปรับขนาดของตัวต้านทาน ให้มีความเหมาะสมในการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยปรับขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้าและปรับขนาดค่า ความต้านทานเป็นดังตารางที่ 3.3

ทำการเปรียบเทียบลักษณะของขั้วไฟฟ้าก่อนที่จะทดสอบการปล่อยประจุและหลังจากการปล่อย ประจุโดยการบันทึกภาพเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดลอง โดยการยกตัวอย่างของขั้วไฟฟ้ามา 1 ชนิด

ตารางที่ 3.3 แสดงจำนวนตัวต้านทานและหลอดแอลอีดี ที่ใช้ทดสอบกับแบตเตอรี่ที่มีพื้นที่ขั้วไฟฟ้า ต่างกัน

ขนาดพื้นที่หน้าตัดขั้วไฟฟ้า (ซ.ม. ²)	ค่าความต้านทาน (โอห์ม)	จำนวนหลอดแอลอีดี (หลอด)
2	0.50	1
6	0.10	1
10	0.05	1

จากตารางที่ 3.3 ขนาดพื้นที่หน้าตัดขั้วไฟฟ้า คือขนาดของพื้นที่ขั้วไฟฟ้าที่สัมผัสอิเล็กทรอนิกส์ โดยที่ขนาดของมิติพื้นที่หน้าตัดขั้วไฟฟ้า 2 ซ.ม.² คือ กว้าง 1 ซ.ม. ยาว 2 ซ.ม. ขนาดของมิติพื้นที่หน้าตัด ขั้วไฟฟ้า 6 ซ.ม.² คือ กว้าง 1 ซ.ม. ยาว 6 ซ.ม. เกิดจากการต่อเซลล์ไฟฟ้าขนาดของมิติพื้นที่หน้าตัด ขั้วไฟฟ้า 2 ซ.ม.² ต่อรวมกันแบบขนาน 3 เซลล์ และขนาดของมิติพื้นที่ขั้วหน้าตัดขั้วไฟฟ้า 10 ซ.ม.² คือ กว้าง 1 ซ.ม. ยาว 10 ซ.ม. เกิดจากการต่อเซลล์ไฟฟ้าขนาดของมิติพื้นที่หน้าตัดขั้วไฟฟ้า 2 ซ.ม.² ต่อ รวมกันแบบขนาน 5 เซลล์ ตามลำดับ

จากตารางที่ 3.3 ค่าความต้านทานที่กำหนดในตาราง เกิดจากตัวต้านทานสีน้ำตาลขนาด 1 โอห์ม ต่อขนานกันให้ได้ค่าความต้านทานตามที่ต้องการ โดยที่ค่าความต้านทาน 0.50 โอห์มเกิดจากการ ต่อตัวต้านทานขนานกัน 2 ตัว ค่าความต้านทาน 0.10 โอห์มเกิดจากการต่อตัวต้านทานขนานกัน 10 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าความต้านทาน 0.05 โอห์มเกิดจากการต่อตัวต้านทานขนานกัน 20 ตัว ตามลำดับ สำหรับการเลือกปรับขนาดความต้านทานให้ลดลงเมื่อเพิ่มขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้านั้น เนื่องจากผู้วิจัยต้องการให้ขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดขั้วไฟฟ้ามาก สามารถใช้เวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้าได้เร็วขึ้น

หลังจากที่ทำการทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทั้งหมดแล้ว พล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่เวลาใดๆ ความสัมพันธ์ของศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานที่เวลาใดๆ และความสัมพันธ์ของศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมหลอดแอลอีดีที่เวลาใดๆ โดยยกตัวอย่างของชนิดเซลล์ไฟฟ้า 1 ชนิด เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ นำผลที่ได้จากขั้นตอนการทดสอบทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ต่างๆ ในขั้นตอนที่ 3.12 – 3.20 ดังต่อไปนี้

3.12 การวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละชนิดของแบตเตอรี่

ในการวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ นำเอาค่าศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานคำนวณเทียบกับค่าความต้านทาน เพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่วินาทีใดๆ จากความสัมพันธ์

$$R_{load} = \frac{V_{load(t)}}{I_r} \quad (3.7)$$

$$I_r = \frac{V_{load(t)}}{R_{load}} \quad (3.8)$$

เมื่อ	I_r	คือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เวลาใดๆ (แอมแปร์)
	$V_{load(t)}$	คือค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน (โวลต์)
	R_{load}	คือค่าความต้านทานของตัวต้านทานในวงจรทดสอบการปล่อยประจุ (โอห์ม)

นำเอาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมที่จับได้ในทุกๆ 1 วินาที มาคำนวณเทียบกับค่าความต้านทานที่ใช้ในการทดสอบนั้นๆ จากนั้นนำเอาค่ากระแสที่ได้ในแต่ละวินาทีมาหาเป็นค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยออกมาจากความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{avg} = \frac{\sum I_{i_n}}{\sum n_i} \quad (3.9)$$

เมื่อ I_{avg}	คือค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของวงจรทดสอบการปล่อยประจุ (แอมแปร์)
$\sum I_{i_n}$	คือผลรวมของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากวงจรทั้งหมด (แอมแปร์)
$\sum n_i$	คือจำนวนข้อมูลของกระแสไฟฟ้าที่เวลาใดๆ ทั้งหมด

ทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยและเปรียบเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้

3.13 การวิเคราะห์ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระหว่างการปล่อยประจุ

จากขั้นตอนที่ 3.12 เมื่อได้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยแล้ว นำเอาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย มาคำนวณหาประจุไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ชีวภาพปล่อยออกมาจากความสัมพันธ์

$$I_{avg} = \frac{dQ}{dt} \quad (3.10)$$

$$dQ = I_{avg} \cdot dt \quad (3.11)$$

ทำการอินทิเกรตเพื่อหาจำนวนประจุไฟฟ้าทั้งหมด จะได้ว่า

$$\int_{t_1}^{t_2} dQ = I_{avg} \int_{t_1}^{t_2} dt \quad (3.12)$$

$$Q_{total} = I_{avg} \cdot t_{total} \quad (3.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	Q_{total}	คือค่าประจุไฟฟ้าทั้งหมด (คูลอมบ์)
(แอมแปร์)	I_{avg}	คือปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของวงจรทดสอบการปล่อยประจุ
	t_{total}	คือเวลาที่แบตเตอรี่ใช้ในการปล่อยประจุไฟฟ้าทั้งหมด (วินาที)

บันทึกค่าประจุไฟฟ้า และเปรียบเทียบปริมาณประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิดที่ได้จากการทดสอบ

3.14 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพ

จากขั้นตอนที่ 3.13 นำค่าประจุไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ชีวภาพปล่อยออกมา คำนวณหาค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่จากความสัมพันธ์

$$C = I_{avg} \left(\frac{t}{3600} \right) \left(\frac{1}{A} \right) \quad (3.14)$$

เมื่อ	C	คือค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้า (แอมป์ชั่วโมง/ซ.ม. ²)
	I_{avg}	คือจำนวนประจุไฟฟ้าทั้งหมด (คูลอมบ์)
	t	คือเวลาที่ใช้ไปในการปล่อยประจุ (วินาที)
	A	คือขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า (ซ.ม. ²)

สร้างตารางเปรียบเทียบปริมาณประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิดที่ได้จากการทดสอบพร้อมบันทึกผลลงในตารางที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.15 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่

จากขั้นตอนที่ 3.13 นำค่าค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่มาหาค่ากำลังไฟฟ้าจากความสัมพันธ์

$$P = C \cdot V_{total} \quad (3.15)$$

ในการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ใช้ค่าความต่างศักย์ที่ไม่ใช่ค่าแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากผู้วิจัยวิเคราะห์หากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดตัวต้านทาน กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ได้มาจากอุปกรณ์ในวงจรทดสอบที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ได้แก่ตัวต้านทาน และ หลอดแอลอีดี จึงทำให้การวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าต้องนำเอาค่าความต่างศักย์ตกรวมอุปกรณ์ทั้งสองตัวนี้มารวมกัน โดยการดึงเอาค่าความต่างศักย์สูงสุดของโหลดตัวต้านทานและหลอดแอลอีดีมาพิจารณารวมกัน จะได้ความสัมพันธ์

$$V_{total} = V_{load(max)} + V_{LED(max)} \quad (3.16)$$

$$P = C \cdot (V_{load(max)} + V_{LED(max)}) \quad (3.17)$$

เมื่อ	P	คือค่าความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (วัตต์ชั่วโมง/ซ.ม. ²)
	C	คือค่าความหนาแน่นจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (แอมป์ชั่วโมง/ซ.ม. ²)
	$V_{load(max)}$	คือค่าความต่างศักย์สูงสุดของตัวต้านทาน (โวลต์)
	$V_{LED(max)}$	คือค่าความต่างศักย์สูงสุดของหลอดแอลอีดี (โวลต์)

สร้างตารางเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิดที่ได้จากการทดสอบพร้อมบันทึกผล

3.16 การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า ทำการวิเคราะห์จากการนำเอาค่าสภาพความนำไฟฟ้าที่ทดสอบได้ มาวิเคราะห์โดยการอนุมานว่า ปริมาณของไอออนที่แลกเปลี่ยนระหว่างขั้วไฟฟ้ามีค่าเท่ากับปริมาณอิเล็กตรอน และใช้ความสัมพันธ์ของความต้านทานทางไฟฟ้ามารวิเคราะห์หา

ผลกระทบที่เกิดจากขนาดของพื้นที่หน้าตัดขั้วไฟฟ้า โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณประจุไฟฟ้าที่ได้จากขนาดพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนแปลงไปจากความสัมพันธ์

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3.18)$$

$$\frac{V_{batt}}{I_{avg}} = \rho \frac{l}{A} \quad (3.19)$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (3.20)$$

$$\frac{V_{batt}}{I_{avg}} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{A} \quad (3.21)$$

$$I_{avg} = \frac{\sigma A V_{batt}}{l} \quad (3.22)$$

เมื่อ	I_{avg}	คือกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ (แอมแปร์)
	V_{batt}	คือแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (โวลต์)
	σ	คือค่าสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ (โอห์มเมตร) ⁻¹
	A	คือขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วไฟฟ้า (ซ.ม. ²)
	l	คือระยะห่างของขั้วไฟฟ้า (ซ.ม.)

สร้างตารางเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ขนาดพื้นที่ใดๆ พร้อมบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.17 การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า ทำการเก็บค่าการปล่อยประจุไฟฟ้าโดยการกำหนดระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ 2 ซม. 4 ซม. และ 6 ซม. ตามลำดับ และกำหนดให้ใช้ชนิดของแบตเตอรี่ขั้วทองแดง – สังกะสี กับอิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด เป็นตัวอย่างของการทดสอบ สร้างแบตเตอรี่ชนิดนี้โดยใช้บล็อกแบตเตอรี่แบบที่ 2 มาทดสอบกับวงจรทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้า กำหนดให้ค่าความต้านทานของวงจรทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าเท่ากับ 0.5 โอห์ม โดยใช้ตัวต้านทานสีน้ำตาลขนาด 1 โอห์มต่อขนานกัน 2 ตัวทำการทดสอบการปล่อยประจุเหมือนขั้นตอนที่ 3.11 และทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าจากความสัมพันธ์เดียวกันกับการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า

$$I_{avg} = \frac{\sigma AV_{batt}}{l}$$

(3.23)

เมื่อ

 I_{avg}

คือกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ (แอมแปร์)

 V_{batt}

คือแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (โวลต์)

 σ คือค่าสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ (โอห์มเมตร)⁻¹ A คือขนาดพื้นที่หน้าตัดของขั้วไฟฟ้า (ซ.ม.²) l

คือระยะห่างของขั้วไฟฟ้า (ซ.ม.)

สร้างตารางเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าใดๆ พร้อมบันทึกผลและสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าใดๆ ในชนิดของแบตเตอรี่ขั้วทองแดง – สังกะสี กับอิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรดที่มีขั้วไฟฟ้าขนาดพื้นที่ 2 ซม.² ที่ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าใดๆ

3.18 การวิเคราะห์ปริมาณงานที่เกิดขึ้นจากการทำงานของแบตเตอรี่

การวิเคราะห์ปริมาณงานที่เกิดขึ้นจากการทำงานของแบตเตอรี่ ทำการวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ [11]

$$w = -qE \quad (3.24)$$

เมื่อ w คือปริมาณงานที่แบตเตอรี่สามารถผลิตออกมาได้ (จูล)
 q คือปริมาณประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ออกมาจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทด (โมลอิเล็กตรอน)

E คือค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ได้จากการทดสอบ (โวลต์)

นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ปริมาณงานในทางทฤษฎีได้จากความสัมพันธ์

$$w_o = -q_o E_o \quad (3.25)$$

เมื่อ w_o คือปริมาณงานที่แบตเตอรี่สามารถผลิตออกมาได้ในเชิงอุดมคติ (จูล)
 q_o คือปริมาณประจุไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ออกมาจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดในทางทฤษฎี (โมลอิเล็กตรอน)

E_o คือศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของแบตเตอรี่ (โวลต์)

จากความสัมพันธ์ค่าประจุไฟฟ้าที่เกิดการเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทด จะพิจารณาปริมาณประจุไฟฟ้าในรูปของปริมาณโมลอิเล็กตรอน โดยมีความสัมพันธ์

$$Q_{total} = ne \quad (3.26)$$

$$n = \frac{Q_{total}}{e} \quad (3.27)$$

เมื่อ	Q_{total}	คือปริมาณประจุไฟฟ้า (คูลอมบ์)
	n	คือจำนวนประจุไฟฟ้า (ตัว)
	e	คือค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน (1.6×10^{-19} คูลอมบ์)

ในการหาค่าอิเล็กตรอนโมลนั้น ใช้ความสัมพันธ์ทางด้านปริมาณสารสัมพันธ์ โดยมีความสัมพันธ์

$$n = N(6.02 \times 10^{23}) \quad (3.28)$$

$$N = \frac{n}{6.02 \times 10^{23}} \quad (3.29)$$

เมื่อ	N	คือจำนวนอิเล็กตรอนโมล
	n	คือจำนวนประจุไฟฟ้าที่ได้ (ตัว)

จากสมการที่ (3.28) และ (3.29) ค่าคงที่ 6.02×10^{23} คือจำนวนของอะตอมของประจุอิเล็กตรอน 1 โมล และกำหนดว่าจำนวนอิเล็กตรอนโมลที่ได้ (N) มีค่าเท่ากับ (q)

และจากความสัมพันธ์ของจำนวนอะตอมต่อโมล ทำการเปลี่ยนค่าจำนวนประจุไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของโมลอิเล็กตรอนเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ปริมาณงานในทางทฤษฎีและปริมาณงานที่เกิดขึ้นจริง สร้างตารางเปรียบเทียบปริมาณงานในทางทฤษฎีและปริมาณงานที่เกิดขึ้นจริงในแบตเตอรี่แต่ละชนิด

3.19 การวิเคราะห์ค่าพลังงานเสรีของแบตเตอรี่

จากขั้นตอนที่ 3.18 สามารถวิเคราะห์หาค่าพลังงานเสรีได้ เมื่อการปล่อยประจุไฟฟ้าอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิและความดันคงที่ การวิเคราะห์พลังงานเสรีเป็นการบ่งบอกว่าแบตเตอรี่ชนิดนั้นสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยตัวเองหรือไม่ โดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณงานที่เกิดขึ้นจากการทำงานของแบตเตอรี่

$$\Delta G = -NFE \quad (3.30)$$

เมื่อ	ΔG	คือค่าพลังงานเสรีที่ได้จากการวิเคราะห์ (จูล)
	N	คือจำนวนอิเล็กตรอนโมล (อิเล็กตรอนโมล)
	F	คือค่าคงที่ของฟาราเดย์ (มีค่าเท่ากับ 96,485 คุลอมบ์/อิเล็กตรอนโมล)
	E	คือค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ได้จากการทดสอบ (โวลต์)
นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ค่าพลังงานเสรีในทางทฤษฎีของแบตเตอรี่แต่ละชนิดได้จากความสัมพันธ์		

$$\Delta G^\circ = -N_0FE^\circ \quad (3.31)$$

เมื่อ	ΔG°	คือค่าพลังงานเสรีที่ได้ในทางทฤษฎี (จูล)
	N_0	คือจำนวนอิเล็กตรอนโมลที่ได้ในทางทฤษฎี (อิเล็กตรอนโมล)
	F	คือค่าคงที่ของฟาราเดย์ (มีค่าเท่ากับ 96485 คุลอมบ์/อิเล็กตรอนโมล)
	E°	คือค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ได้ในทางทฤษฎี (โวลต์)

ทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานเสรีของแบตเตอรี่แต่ละชนิด เปรียบเทียบค่าพลังงานเสรีในทางทฤษฎีและค่าพลังงานเสรีจากการทำงานของแบตเตอรี่จริง บันทึกผลลงในตารางเพื่อเปรียบเทียบกันในแบตเตอรี่แต่ละชนิด

3.20 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เชิงพลังงานไฟฟ้า

จากขั้นตอนที่ 3.18 สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เชิงพลังงานไฟฟ้าได้ โดยการนำเอาปริมาณงานที่วิเคราะห์ได้เทียบกับปริมาณงานในอุดมคติ จากความสัมพันธ์ [11]

$$Eff. = \frac{W}{W_{max}} \times 100\% \quad (3.32)$$

เมื่อ $Eff.$ คือประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

W คือปริมาณที่ได้จริง (จูล)

W_{max} คือปริมาณงานทางทฤษฎี (จูล)

ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เชิงพลังงานไฟฟ้าในแต่ละชนิดจากความสัมพันธ์นี้ บันทึกค่าลงในตาราง

3.21 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงราคาต้นทุน

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงราคาต้นทุน เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงราคา โดยการคิดราคาต้นทุนการผลิตของแบตเตอรี่ที่ได้ทำการทดสอบทั้งหมดว่าสามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้ทั้งสิ้นเท่าไร โดยจะได้แจกแจง ต่อไป

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ได้ถูกวิจัยขึ้นเพื่อศึกษาเศษซากพืชแต่ละชนิดที่ไม่เกิดประโยชน์แล้ว นำมาใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์ เพื่อศึกษาการสร้างแบตเตอรี่ชีวภาพ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพ โดยหลังจากที่ได้ดำเนินการวิจัยเรียบร้อยแล้ว จะได้ผลการและอภิปรายผลดังต่อไปนี้

- ผลจากการศึกษาเศษซากพืชและเศษวัสดุที่ไม่ใช้งานแล้ว

4.1 ผลจากการพิจารณาอิเล็กโทรไลต์และการเตรียมอิเล็กโทรไลต์

จากการที่ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกเศษซากพืชที่นำมาใช้งานเป็นอิเล็กโทรไลต์ ในเบื้องต้นก่อนทำการคั้นน้ำอิเล็กโทรไลต์โดยการใช้เครื่องปั่นอาหารผสมกับน้ำสะอาดเพื่อช่วยให้การปั่นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นำส่วนของเศษพืชแต่ละชนิดที่ทำกรปั่นแล้วมารองผ่านผ้าขาวบางเพื่อแยกส่วนของน้ำและกากออกจากกัน ในกระบวนการเตรียมอิเล็กโทรไลต์นี้มีขั้นตอนเป็นไปตามดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงกระบวนการต่างๆ ในการเตรียมอิเล็กโทรไลต์

ชนิดของอิเล็กโทรไลต์	ลำดับกล้วย	เปลือกสับปรด	ผลมะยม
ปริมาณของเศษพืช (กก.)	2.00	2.00	2.00
ปริมาณน้ำที่ใช้ในการปั่น (ลิตร)	ไม่ปั่น	0.35	0.60
การคั้นน้ำจากเศษพืชโดยตรง	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
ปริมาณอิเล็กโทรไลต์ที่ได้ (ลิตร)	1.00	3.00	2.40

หลังจากที่ได้ทำการคั้นน้ำอิเล็กโทรไลต์แล้ว อิเล็กโทรไลต์ที่ได้ในแต่ละชนิดจะเป็นไปดังตารางที่

4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงอิเล็กโทรไลต์ที่ได้จากการเตรียม



หลังจากที่ได้อิเล็กโทรไลต์แล้ว ทำการวัดค่า pH เพื่อทดสอบสภาพความเป็นกรด – ด่าง ของอิเล็กโทรไลต์ที่ได้จากการเตรียม นำเอาเครื่องวัดค่า pH จุ่มลงไปใอิเล็กโทรไลต์ที่ได้แต่ละชนิด โดยทำการวัดค่า pH ทั้งสิ้น 3 ครั้ง ต่ออิเล็กโทรไลต์ 1 ชนิด และทำการหาค่า pH เฉลี่ยออกมา พบว่าอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิดจะมีค่า pH ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า pH ที่ได้จากการวัดของอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด

ชนิดของเศษพืช	ค่า pH ที่วัดได้
ลำต้นกล้วย	8.37
เปลือกสับปะรด	4.15
ผลมะยม	5.51

หลังจากที่ได้ทำการวัดค่า ของอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิดแล้ว ทำการทดสอบหาค่าความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกว่าอิเล็กโทรไลต์ชนิดนี้มีสภาพการนำไอออนของวัสดุที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าได้ดีหรือไม่ โดยหลังจากที่ได้ทำการประกอบวงจรทดสอบค่าความนำไฟฟ้าจากในหัวข้อที่ 3.5 แล้วนำมาทดสอบสภาพความนำไฟฟ้าโดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างแผ่นทองแดงและแผ่นสังกะสีที่จุ่มอยู่ในอิเล็กโทรไลต์อยู่ห่างกัน 0.50 เซนติเมตร กำหนดให้ Power Supply มีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 1 โวลต์ วัดค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน (V) เพื่อหาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอยู่ในวงจร และนำค่าศักย์ตกคร่อมอิเล็กโทรไลต์ (V_e) มาคำนวณเทียบกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในวงจร เพื่อใช้ในการเชื่อมโยงหาค่าความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์ต่อไป ทำการทดลองซ้ำกันทั้งสิ้น 3 ครั้ง ต่ออิเล็กโทร

โลต์ 1 ชนิด โดยกำหนดให้ปริมาณของอิเล็กโทรไลต์สัมผัสผิวโลหะได้ขนาดพื้นที่หน้าตัด 2 ตารางเซนติเมตร

$$\sigma_e = \frac{l_e I_e}{A_e V_e} \quad (4.1)$$

จากสมการที่ (4.1) สามารถวิเคราะห์หาค่าสภาพความนำไฟฟ้าออกมาได้ จากตัวอย่างการคำนวณค่าสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์เปลือกสับปะรด

หาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานจากความสัมพันธ์

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{1.0177}{2000} = 0.5089 \text{ mA}$$

หาค่าสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์เปลือกสับปะรดจากสมการที่ (4.2)

$$\sigma_e = \frac{l_e I_e}{A_e V_e} \quad (4.2)$$

$$\sigma_e = \frac{(0.5 \times 10^{-3})(0.5089 \times 10^{-3})}{(2 \times 10^{-4})(1.0110)}$$

$$\sigma_e = 1.2584 (\times 10^{-2} \Omega \cdot m)^{-1}$$

ตารางที่ 4.4 แสดงสภาพความนำไฟฟ้าอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิด

ชนิดของอิเล็กโทรไลต์	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมป์)	สภาพความนำไฟฟ้า ($\times 10^{-2}$ โอห์ม เมตร) ⁻¹
ลำต้นกล้วย	0.4252	0.8888
เปลือกสับปะรด	0.5089	1.2584
ผลมะยม	0.5021	1.2354

จากการทดสอบหาสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กโทรไลต์แต่ละชนิดพบว่า ลักษณะอิเล็กโทรไลต์ที่ได้จากเปลือกสับปะรด จะมีค่าความนำไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาได้แก่อิเล็กโทรไลต์จากผลมะยม และอิ







เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กโทรไลต์จากลำต้นกล้วย ตามลำดับ การที่อเล็กโทรไลต์มีค่าความนำไฟฟ้าสูงนั้น จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนของคู่อิออนไฟฟ้าได้ดี และทำให้มีปริมาณอเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากคู่อิออนมาเลี้ยงอุปกรณ์ไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย

4.2 ผลจากการพิจารณาวัสดุโลหะที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้า

จากการที่ผู้วิจัยได้ทำการเลือกเศษวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย และเป็นโลหะที่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ใหม่ ได้แก่ แผ่นทองแดง แผ่นสังกะสี แผ่นเหล็ก และแผ่นอลูมิเนียม นั้น ได้ทำการจับคู่แผ่นโลหะโดยการพิจารณาว่าโลหะชนิดใดมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นขั้วแอโนดหรือแคโทด พบว่าเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงการจับคู่กันระหว่างขั้วไฟฟ้าที่มีความเหมาะสมเป็นขั้วแคโทดและแอโนด

ชนิดคู่อิออนไฟฟ้า (แคโทด – แอโนด)	ภาพประกอบ	
ทองแดง – สังกะสี		
ทองแดง – เหล็ก		
ทองแดง – อลูมิเนียม		

ในการพิจารณาว่าโลหะชนิดใดๆ นั้นเป็นขั้วแคโทดหรือขั้วแอโนด พิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน หากว่าค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานมีค่าเป็นบวก นั่นคือโลหะชนิดนั้นเป็นขั้วแคโทดที่ดี แต่ถ้าค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานมีค่าเป็นลบ นั่นคือโลหะชนิดนั้นเป็นขั้วแอโนดที่ดี จากการพิจารณาตารางที่ 3.2 พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของทองแดงจะมีค่าเป็นบวก ส่วนโลหะชนิดอื่นๆ จะมีค่าเป็นลบทั้งหมด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ขั้วทองแดงจึงเป็นขั้วแคโทด ส่วนสังกะสี เหล็ก และอลูมิเนียมคือขั้วแอโนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคิดค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้าชนิดใดๆ นั้น จากความสัมพันธ์ที่ (2.4) สามารถนำมาวิเคราะห์ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของแบตเตอรี่ได้โดยนำค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานจากตารางที่ 3.2 วิเคราะห์ตัวอย่างของค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของคู่ขั้วไฟฟ้าทองแดง - สังกะสี จะได้ความสัมพันธ์จากสมการที่ (4.3) ว่า

$$E_0 = -E_{anode} + E_{cathode} \quad (4.3)$$

$$E_0 = -(-0.76) + 0.34$$

$$E_0 = 1.10 \text{ V}$$

ตารางที่ 4.6 ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วไฟฟ้าแต่ละชนิด

คู่ขั้วไฟฟ้า	E_0 (V)
ทองแดง - สังกะสี	1.100
ทองแดง - เหล็ก	0.376
ทองแดง - อลูมิเนียม	2.000

จากตารางที่ 4.6 พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของคู่ขั้วทองแดง - อลูมิเนียม มีค่าสูงสุด รองลงมาคือคู่ขั้วทองแดง - สังกะสี และ คู่ขั้วทองแดง - เหล็ก ตามลำดับ

4.3 ผลจากการศึกษาการสร้างแบตเตอรี่ชีวภาพ

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการนำเอาส่วนประกอบทั้งหลายที่ได้นำเสนอไปในหัวข้อที่ 3.4 มาประกอบรวมกัน ทำให้เกิดลักษณะของบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่ชีวภาพเป็นไปดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่หลังจากประกอบรวมเข้าด้วยกันแล้ว

ลักษณะภายในบรรจุภัณฑ์จะมีอยู่สองแบบที่แตกต่างกันคือ บล็อกของแบตเตอรี่ที่ต่างกัน เนื่องจากบล็อกของแบตเตอรี่แบบที่ 1 ใช้สำหรับทดสอบในกรณีใดๆ ก็ตามที่ใช้ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าน้อย แต่บล็อกของแบตเตอรี่แบบที่ 2 ใช้สำหรับการทดสอบผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเท่านั้น

- ผลจากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชีวภาพ

ผลจากการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชีวภาพ พบว่าจะได้ผลการวิเคราะห์ในส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.4 ผลจากการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

จากขั้นตอนที่ 3.10 หลังจากที่ได้ทำการบรรจุอิเล็กโทรไลต์ลงไปในบล็อกของแบตเตอรี่ที่ทำการยัดขั้วไว้เรียบร้อยแล้วนั้น ได้ทำการแบ่งการต่อขั้วไฟฟ้าเอาไว้ 2 ลักษณะ คือแบบ 1 เซลล์ และแบบ 4 เซลล์ต่ออนุกรมกัน ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกมาพร้อมทั้งสองแบบ หาค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมา พบว่าในแต่ละลักษณะนั้นจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าออกมาดังตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพในลักษณะ 1 เซลล์

ชนิดอิเล็กโทรไลต์ ชนิดคู่ขั้วไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)		
	ลำต้นกล้วย	เปลือกสับปะรด	ผลมะยม
ทองแดง - สังกะสี	0.8796	0.9745	0.9752
ทองแดง - เหล็ก	0.1861	0.4824	0.5683
ทองแดง - อลูมิเนียม	0.4931	0.7235	0.6298

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพในลักษณะ 4 เซลล์ต่ออนุกรม

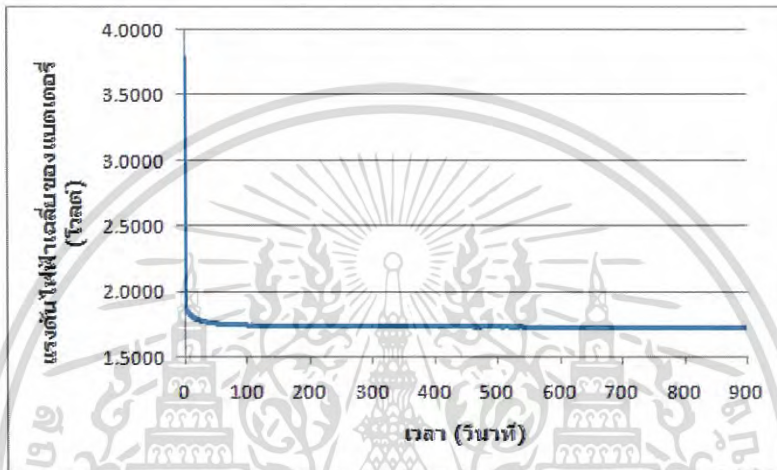
ชนิดอิเล็กโทรไลต์ ชนิดคู่ขั้วไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)		
	ลำต้นกล้วย	เปลือกสับปะรด	ผลมะยม
ทองแดง - สังกะสี	3.5184	3.8960	3.8926
ทองแดง - เหล็ก	0.7444	1.9237	2.2724
ทองแดง - อลูมิเนียม	1.9716	2.8894	2.5148

จากตารางที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีค่าไม่เหมือนกัน และมีความแตกต่างกับค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานจากตารางที่ 4.5 ซึ่งเป็นค่าในทางทฤษฎีอยู่พอสมควร

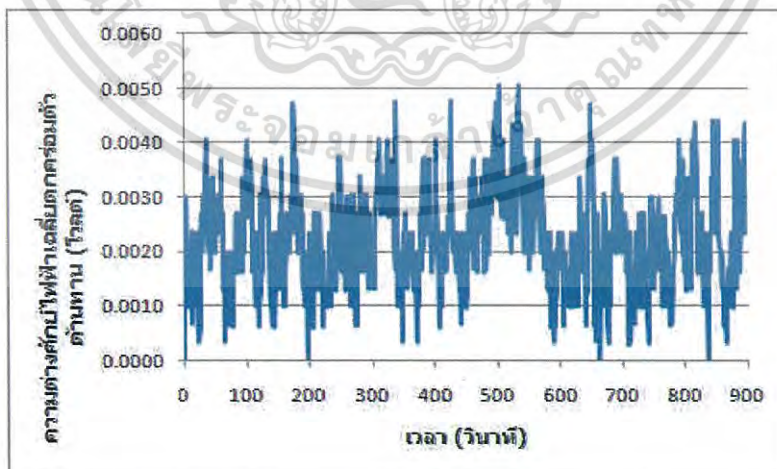
4.5 ผลจากการวิเคราะห์การปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่

จากขั้นตอนที่ 3.11 ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยนำเอาวงจรถดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่มาเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ชีวภาพที่ได้เตรียมไว้ สับสวิตซ์ให้วงจรถดสอบทำงาน บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน และค่าความต่างศักย์ตกคร่อมหลอดแอลอีดี ทำการทดลองซ้ำกันทั้งสิ้น 3 ครั้งต่อคู่ขั้วไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์ 1 ชนิด และหาค่าเฉลี่ยของ

แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมตัวต้านทาน และค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมหลอดแอลอีดี ในการทดลองนี้ผู้วิจัยกำหนดให้มีการเพิ่มขนาดพื้นที่ของคู่ขั้วไฟฟ้าและทำการปรับขนาดของตัวต้านทานให้มีความเหมาะสมในการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ พบว่าเมื่อทำการทดสอบปล่อยประจุไฟฟ้าแล้ว พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปทีละเวลาใดๆ ลักษณะของค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมตัวต้านทาน และค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมหลอดแอลอีดี จะมีลักษณะเป็นไปตามรูปที่ 4.2 – 4.4

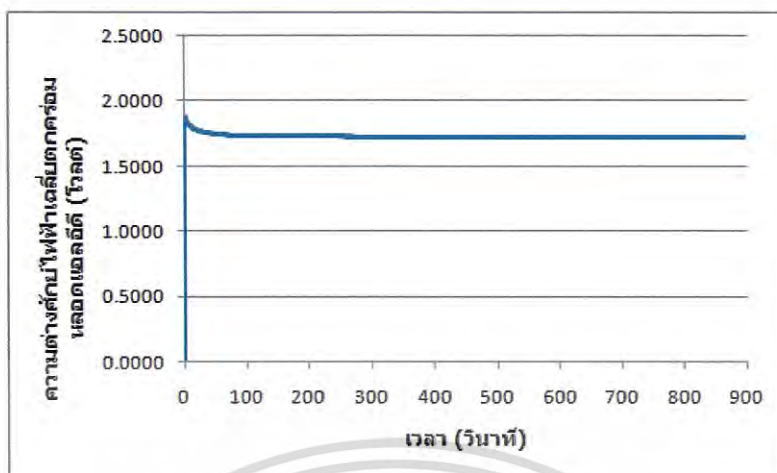


รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² ที่เวลาผ่านไปใดๆ



รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมตัวต้านทานชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² ที่เวลาผ่านไปใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมหลอดแอลอีดีชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² ที่เวลาผ่านไปใดๆ

จากรูปที่ 4.2 และ 4.4 พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและค่าความต่างศักย์ตกคร่อมหลอดแอลอีดีเมื่อเวลาผ่านไป พบว่ามีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นลักษณะกราฟรูปเอ็กซ์โพเนนเชียล ส่วนค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมตัวต้านทานจะมีค่าไม่คงที่ และจากรูปที่ 4.3 มีค่าความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทานอยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 0.06 โวลต์

ในขั้นตอนนี้ ค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมตัวต้านทานที่ได้ จะนำมาวิเคราะห์หาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ผลิตออกมาได้ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.6 ต่อไป

4.6 ผลจากการหาปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่แบตเตอรี่ผลิตออกมาได้

ในขั้นตอนการวิเคราะห์นี้ นำเอาค่าความต่างศักย์เฉลี่ยตกคร่อมตัวต้านทานที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 4.4 มาวิเคราะห์หากระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถผลิตออกมาได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์จากสมการที่ (3.8)

$$I_t = \frac{V_{load(t)}}{R_{load}} \quad (4.4)$$

จากค่ากระแสไฟฟ้าที่วิเคราะห์ได้จากสมการที่ (4.4) ทำการวิเคราะห์หาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่แบตเตอรี่สามารถผลิตได้จากความสัมพันธ์สมการ (3.9)

$$I_{avg} = \frac{\sum I_{i_n}}{\sum n_i} \quad (4.5)$$

แสดงตัวอย่างการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย โดยการนำเอาแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง - สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² เป็นตัวอย่างการคำนวณ

$$I_{avg} = \frac{\sum I_{i_n}}{\sum n_i} = \frac{4.0583}{900} = 4.5092 \text{ mA}$$

ดังนั้น จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของแบตเตอรี่แต่ละชนิดเป็นไปตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

ชนิดของแบตเตอรี่		ปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (มิลลิแอมแปร์)		
		ขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า		
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	2 ซม. ²	6 ซม. ²	10 ซม. ²
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	4.5092	51.1083	71.0311
	ผลมะยม	7.1950	41.3981	54.9980
	ลำต้นกล้วย	5.2305	39.4488	79.6633
ทองแดง - เหล็ก	เปลือกสับปะรด	5.5708	25.8111	103.1444
	ผลมะยม	7.4583	23.7881	35.7111
	ลำต้นกล้วย	-	-	-
ทองแดง - อลูมิเนียม	เปลือกสับปะรด	5.5040	22.7976	89.4200
	ผลมะยม	6.4717	23.1198	50.8267
	ลำต้นกล้วย	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.9 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดแล้ว แบตเตอรี่แต่ละชนิดจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า แต่มีแบตเตอรี่อยู่สองชนิดที่ไม่สามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยได้ นั่นคือ แบตเตอรี่ขั้วทองแดง – เหล็ก อิเล็กโทรไลต์จากลำต้นกล้วย และแบตเตอรี่ขั้วทองแดง – อลูมิเนียม อิเล็กโทรไลต์จากลำต้นกล้วย เนื่องจากเมื่อทำการทดสอบการปล่อยประจุแล้ว ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าไปยังวงจรทดสอบมีค่าไม่เพียงพอ ทำให้หลอดแอลอีดีในวงจรไม่ติด ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่ามีปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเท่าใด

4.7 การวิเคราะห์ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระหว่างการปล่อยประจุ

ในการวิเคราะห์ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระหว่างการปล่อยประจุนี้ นำเอาความสัมพันธ์ที่ได้จากหัวข้อที่ 3.14 ทำการวิเคราะห์ปริมาณประจุไฟฟ้าโดยที่

$$Q_{total} = I_{avg} \cdot t_{total} \quad (4.6)$$

แสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โดยการนำเอาแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² เป็นตัวอย่างการคำนวณ

$$Q_{total} = I_{avg} \cdot t_{total} = (4.5092 \times 10^{-3})(900) = 4.0583 \text{ C}$$

ดังนั้น จะได้ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระหว่างการปล่อยประจุของแบตเตอรี่แต่ละชนิดเป็นไปดังตารางที่ 4.10

จากตารางที่ 4.10 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดแล้ว ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระหว่างการปล่อยประจุของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า แต่มีแบตเตอรี่อยู่สองชนิดที่ไม่สามารถหาปริมาณประจุไฟฟ้าได้ นั่นคือ แบตเตอรี่ขั้วทองแดง – เหล็ก อิเล็กโทรไลต์จากลำต้นกล้วย และแบตเตอรี่ขั้วทองแดง – อลูมิเนียม อิเล็กโทรไลต์จากลำต้นกล้วย เนื่องจากเมื่อทำการทดสอบการปล่อยประจุแล้ว ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าไปยังวงจรทดสอบมีค่าไม่เพียงพอ ทำให้หลอดแอลอีดีในวงจรไม่ติด ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่ามีปริมาณประจุไฟฟ้าเท่าใด

ตารางที่ 4.10 ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระหว่างการปล่อยประจุของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

ชนิดของแบตเตอรี่		ปริมาณประจุไฟฟ้า (คูลอมบ์)		
		ขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า		
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	2 ซม. ²	6 ซม. ²	10 ซม. ²
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	4.0583	30.6650	127.8560
	ผลมะยม	1.7268	22.3550	82.4970
	ลำต้นกล้วย	3.1383	16.5685	47.7980
ทองแดง - เหล็ก	เปลือกสับปะรด	0.6685	2.3230	18.5660
	ผลมะยม	0.4475	4.9955	6.4280
	ลำต้นกล้วย	-	-	-
ทองแดง - อลูมิเนียม	เปลือกสับปะรด	0.8256	4.7875	26.8260
	ผลมะยม	0.7766	11.0975	15.2480
	ลำต้นกล้วย	-	-	-

4.8 ผลจากการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชีวภาพ

ในการวิเคราะห์ค่าความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ นำเอาความสัมพันธ์ที่ได้จากจากหัวข้อที่ 3.15 ทำการวิเคราะห์ค่าความประจุไฟฟ้าโดยที่

$$C = I_{avg} \left(\frac{t}{3600} \right) \left(\frac{1}{A} \right) \quad (4.7)$$

แสดงตัวอย่างการคำนวณค่าความจุไฟฟ้า โดยการนำเอาแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง - สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² เป็นตัวอย่างการคำนวณ

$$C = I_{avg} \left(\frac{t}{3600} \right) \left(\frac{1}{A} \right)$$

$$C = (4.5092 \times 10^{-3}) \left(\frac{900}{3600} \right) \left(\frac{1}{2 \times (10^{-2})^2} \right)$$

$$C = 5.6365 \text{ Ah/cm}^2$$

ดังนั้น จะได้ค่าความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิดเป็นไปตามตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

ชนิดของแบตเตอรี่		ความหนาแน่นประจุไฟฟ้า (แอมป์ ชั่วโมง/ซ.ม. ²)		
		ขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า		
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	2 ซ.ม. ²	6 ซ.ม. ²	10 ซ.ม. ²
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	5.6365	14.1968	35.5155
	ผลมะยม	2.3983	10.3495	22.9158
	ลำต้นกล้วย	4.3588	7.6706	13.2772
ทองแดง - เหล็ก	เปลือกสับปะรด	0.9285	1.0755	5.1572
	ผลมะยม	0.6215	2.3127	1.7855
	ลำต้นกล้วย	-	-	-
ทองแดง - อลูมิเนียม	เปลือกสับปะรด	1.1467	2.2164	4.4710
	ผลมะยม	1.0786	2.1377	2.5413
	ลำต้นกล้วย	-	-	-

จากตารางที่ 4.11 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดแล้ว ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า แต่มีแบตเตอรี่อยู่สองชนิดที่ไม่สามารถหาความหนาแน่นประจุไฟฟ้าได้ นั่นคือ แบตเตอรี่ขั้วทองแดง - เหล็ก อิเล็กโทรไลต์จากลำต้นกล้วย และแบตเตอรี่ขั้วทองแดง - อลูมิเนียม อิเล็กโทรไลต์จากลำต้นกล้วย เนื่องจากเมื่อทำการทดสอบการปล่อยประจุแล้ว ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าไปยังวงจรทดสอบมีค่าไม่เพียงพอ ทำให้หลอดแอลอีดีในวงจรไม่ติด ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่ามีปริมาณความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเท่าใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ผลจากการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่

ในการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่นำเอาความสัมพันธ์ที่ได้จากจากหัวข้อที่ 3.15 ทำการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่โดยที่

$$P = C \cdot (V_{load(max)} + V_{LED(max)}) \quad (4.8)$$

แสดงตัวอย่างการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า โดยการนำเอาแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง - สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² เป็นตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} P &= C \cdot (V_{load(max)} + V_{LED(max)}) \\ P &= (5.5365)(1.8775 + 0.0051) \\ P &= 10.6113 \text{ WAh/cm}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิดเป็นไปดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่ากำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

ชนิดของแบตเตอรี่		ความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้า (วัตต์แอมป์ชั่วโมง)		
		ขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า		
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	2 ซม. ²	6 ซม. ²	10 ซม. ²
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	10.6133	26.5778	67.4119
	ผลมะยม	4.6721	19.9517	44.1198
	ลำต้นกล้วย	7.8639	14.0049	24.5468
ทองแดง - เหล็ก	เปลือกสับปะรด	1.6717	1.9519	8.7677
	ผลมะยม	1.1362	4.2072	2.9570
	ลำต้นกล้วย	-	-	-
ทองแดง - อลูมิเนียม	เปลือกสับปะรด	2.0265	3.9735	7.9096
	ผลมะยม	1.9038	3.7686	4.3593
	ลำต้นกล้วย	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.12 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดแล้ว ความหนาแน่นไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้น ตามขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า แต่มีแบตเตอรี่อยู่สองชนิดที่ไม่สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าได้นั้นคือ แบตเตอรี่ขั้วทองแดง – เหล็ก อิเล็กโทรไลต์จากลำต้นกล้วย และแบตเตอรี่ขั้วทองแดง – อลูมิเนียม อิเล็กโทรไลต์จากลำต้นกล้วย เนื่องจากเมื่อทำการทดสอบการปล่อยประจุแล้ว ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าไปยังวงจรทดสอบมีค่าไม่เพียงพอ ทำให้หลอดแอลอีดีในวงจรไม่ติด ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่ามีความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าเท่าใด

หลังจากขั้นตอนนี้พบว่าแบตเตอรี่ชนิดที่ให้ค่าความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด คือแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ซึ่งสามารถให้ค่าความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้ที่ 67.4119 วัตต์แอมป์ชั่วโมง/ซ.ม.²

4.10 ผลจากการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า พบว่าเมื่อทำการเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดขั้วไฟฟ้าแล้ว นำค่าที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ 3.16 จากสมการ

$$I_{avg} = \frac{\sigma AV_{bau}}{l} \quad (4.9)$$

แสดงตัวอย่างการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ขนาดพื้นที่ใดๆ โดยการนำเอาแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซ.ม.² เป็นตัวอย่างการคำนวณ

$$I_{avg} = \frac{(1.2584 \times 10^{-2})(2 \times (10^{-2})^2)(3.7935)}{(0.5 \times 10^{-2})}$$

$$I_{avg} = 1.9095 \text{ mA}$$

ดังนั้น จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ขนาดพื้นที่ใดๆ ของแบตเตอรี่แต่ละชนิดเป็นไปดังตารางที่ 4.13

จากตารางที่ 4.13 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดแล้ว กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.31) ว่าเมื่อขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการแลกเปลี่ยนกันของไอออนมากขึ้นตามขนาดพื้นที่ผิว เกิดอิเล็กตรอนจำนวนที่เพิ่มขึ้นตามกันไปด้วย

ตารางที่ 4.13 ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ขนาดพื้นที่ใดๆ ของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

ชนิดของแบตเตอรี่		ปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (มิลลิแอมแปร์)		
		ขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า		
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	2 ซม. ²	6 ซม. ²	10 ซม. ²
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	1.9505	5.3304	8.8835
	ผลมะยม	1.9659	5.6691	9.1170
	ลำต้นกล้วย	1.1628	3.3462	5.4859
ทองแดง - เหล็ก	เปลือกสับปะรด	1.0084	2.9399	5.0847
	ผลมะยม	1.0332	3.0267	4.2705
	ลำต้นกล้วย	-	-	-
ทองแดง - อลูมิเนียม	เปลือกสับปะรด	1.1273	3.4966	5.6213
	ผลมะยม	1.2013	3.7213	4.9470
	ลำต้นกล้วย	-	-	-

4.11 ผลจากการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า พบว่าเมื่อทำการเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดขั้วไฟฟ้าแล้ว นำค่าที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ 3.16 จากสมการ

$$I_{avg} = \frac{\sigma AV_{batt}}{l} \quad (4.10)$$

ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้านี้ ทำการวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยกำหนดให้ใช้แบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง - สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² ตั้งระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าไว้ที่ 2 ซม. 4 ซม. และ 6 ซม. ใช้ปลั๊กใส่แบตเตอรี่แบบที่ 2 และได้ทำการทดสอบการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ และนำค่าที่ได้จากการทดลองบันทึกลงในตารางที่ 4.14

แสดงตัวอย่างการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า โดยการนำเอาแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² ที่ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ซม. เป็นตัวอย่างการคำนวณ

$$I_{avg} = \frac{(1.2584 \times 10^{-2})(2 \times (10^{-2})^{-2})(3.8188)}{(2 \times 10^{-2})}$$

$$I_{avg} = 0.3948 \text{ mA}$$

ดังนั้น จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า ของแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² ที่ระยะห่างค่าต่างๆ เป็นไปดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระยะห่างระหว่างขั้วใดๆ ของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

ชนิดของแบตเตอรี่		กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (มิลลิแอมแปร์)		
		ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า		
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	2 ซม.	4 ซม.	6 ซม.
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	0.3948	0.2439	0.1618

จากตารางที่ 4.14 พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ามากขึ้น กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จะมีค่าลดลง และเป็นไปตามความสัมพันธ์ของสมการที่ (3.22) ว่าเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ามากขึ้น จะทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยลดลง เนื่องจากเมื่อระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น ทำให้การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดขึ้นได้น้อยลง และปริมาณอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากขั้วแอโนดก็จะลดลงตามด้วยเช่นเดียวกัน

4.12 ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณงานที่เกิดขึ้นในการทำงานของแบตเตอรี่

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เชิงพลังงานไฟฟ้า นำเอาความสัมพันธ์ที่ได้จากหัวข้อที่ 3.17 – 3.19 วิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณงานที่เกิดขึ้นจริงและปริมาณงานในทางทฤษฎี โดยที่ในทางทฤษฎี ปริมาณอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากขั้วแคโทดไปขั้วแอโนดจะวิเคราะห์ในรูปของจำนวน

อิเล็กตรอนโมล และในทางทฤษฎีนั้น จำนวนอิเล็กตรอนของขั้วแอโนดที่เคลื่อนที่ไปยังแคโทดของ
ขั้วไฟฟ้าแต่ละชนิดนั้น จะนำไปตั้งสมการที่ (4.11) – (4.19)

4.12.1 ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง – สังกะสี

ที่ขั้วแอโนด



ที่ขั้วแคโทด



ปฏิกิริยารวมทั้งหมดคือ



4.12.2 ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง – สังกะสี

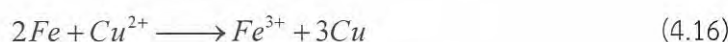
ที่ขั้วแอโนด



ที่ขั้วแคโทด



ปฏิกิริยารวมทั้งหมดคือ



4.12.3 ขั้วไฟฟ้าชนิดทองแดง – อลูมิเนียม

ที่ขั้วแอโนด

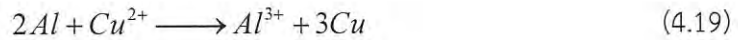


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ขั้วแคโทด



ปฏิกิริยาทั้งหมดคือ



และจากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานดังในตารางที่ 4.5 สามารถวิเคราะห์ปริมาณงานที่เกิดขึ้นในทางอุณหพลศาสตร์ได้จากสมการที่ (3.24)

$$w_o = -q_o E_o \quad (4.20)$$

และปริมาณงานที่ได้จากการทดสอบจริง หาได้จากการหาจำนวนอิเล็กตรอนจาก

$$n = \frac{Q_{\text{total}}}{e} \quad (4.21)$$

และจากจำนวนอิเล็กตรอนที่ได้จากสมการที่ (4.21) นำมาหาค่าอิเล็กตรอนโมลจากความสัมพันธ์

$$N = \frac{n}{6.02 \times 10^{23}} \quad (4.22)$$

นำค่าอิเล็กตรอนโมลที่ได้จากสมการ (4.22) หาปริมาณงานที่ได้จากการทดสอบจริงจากความสัมพันธ์

$$w = -qE \quad (4.23)$$

แสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณงาน โดยการนำเอาแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง - สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² เป็นตัวอย่างการคำนวณในสภาวะทางทฤษฎี จะได้ว่า (กำหนดให้ค่า E_o คือค่าที่เกิดจากการต่ออนุกรมกัน 4 เซลล์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 w_o &= -q_o E_o \\
 &= -(2)(4.40) \\
 &= -2.20 \text{ J}
 \end{aligned}$$

แสดงตัวอย่างการคำนวณปริมาณงาน โดยการนำเอาแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² เป็นตัวอย่างการคำนวณในสภาวะที่ทดสอบจริง จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{Q_{total}}{e} = \frac{4.0583}{1.6 \times 10^{-19}} = 2.5364 \times 10^{19} \\
 N &= \frac{n}{6.02 \times 10^{23}} = \frac{2.5364 \times 10^{19}}{6.02 \times 10^{23}} = 4.2133 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

ในกรณีที่เป็นจำนวนโมลอิเล็กตรอนของการทดสอบจริง กำหนดให้ค่า $N = q$

$$\begin{aligned}
 w &= -qE = (4.2133 \times 10^{-4})(3.7935) \\
 &= 1.5983 \times 10^{-3} \text{ J}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น จะได้ปริมาณงานเปรียบเทียบกันระหว่างค่าทางทฤษฎีและในการทดสอบจริงตามตารางที่ 4.15 – 4.17

จากตารางที่ 4.15 – 4.17 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้าจะทำให้เกิดปริมาณงานมากขึ้น แต่ในการทดสอบจริงพบว่าเกิดปริมาณงานที่น้อยมากเมื่อเทียบกับความเป็นจริง สาเหตุอันเนื่องมาจากว่าลักษณะของโลหะที่ได้นำมาใช้งานเป็นโลหะที่เป็นเศษวัสดุเหลือทิ้ง ทำให้อาจมีไอออนของสารชนิดอื่นๆ มาปะปนก็เป็นได้

ตารางที่ 4.15 ปริมาณงานที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ที่มีขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.²

ชนิดของแบตเตอรี่		ปริมาณงานที่ได้	
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	จากทฤษฎี (จุล)	ค่าที่ทดสอบได้จริง (มิลลิจุล)
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	-2.2000	-1.5983
	ผลมะยม	-2.2000	-0.0713
	ลำต้นกล้วย	-2.2000	-0.1065
ทองแดง - เหล็ก	เปลือกสับปะรด	-9.0240	-0.0139
	ผลมะยม	-9.0240	-0.0097
	ลำต้นกล้วย	-9.0240	0.0000
ทองแดง - อลูมิเนียม	เปลือกสับปะรด	-48.0000	-0.0208
	ผลมะยม	-48.0000	-0.0196
	ลำต้นกล้วย	-48.0000	0.0000

ตารางที่ 4.16 ปริมาณงานที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ที่มีขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 6 ซม.²

ชนิดของแบตเตอรี่		ปริมาณงานที่ได้	
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	จากทฤษฎี (จุล)	ค่าที่ทดสอบได้จริง (มิลลิจุล)
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	-2.2000	-1.1237
	ผลมะยม	-2.2000	-0.8875
	ลำต้นกล้วย	-2.2000	-0.5397
ทองแดง - เหล็ก	เปลือกสับปะรด	-9.0240	-0.0469
	ผลมะยม	-9.0240	-0.1058
	ลำต้นกล้วย	-9.0240	0.0000
ทองแดง - อลูมิเนียม	เปลือกสับปะรด	48.0000	-0.1149
	ผลมะยม	48.0000	-0.2892
	ลำต้นกล้วย	48.0000	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ปริมาณงานที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ที่มีขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 10 ซม.²

ชนิดของแบตเตอรี่		ปริมาณงานที่ได้	
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	จากทฤษฎี (จูล)	ค่าที่ทดสอบได้จริง (มิลลิจูล)
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	-2.2000	-4.6853
	ผลมะยม	-2.2000	-3.1595
	ลำต้นกล้วย	-2.2000	-1.5315
ทองแดง - เหล็ก	เปลือกสับปะรด	-9.0240	-0.3894
	ผลมะยม	-9.0240	-0.1153
	ลำต้นกล้วย	-9.0240	0.0000
ทองแดง - อลูมิเนียม	เปลือกสับปะรด	-48.0000	-0.5627
	ผลมะยม	-48.0000	-0.3169
	ลำต้นกล้วย	-48.0000	0.0000

4.13 ผลจากการวิเคราะห์พลังงานเสรีของแบตเตอรี่

จากการวิเคราะห์ปริมาณงานที่ได้จากแบตเตอรี่แล้ว ยังสามารถวิเคราะห์พลังงานเสรีของแบตเตอรี่ได้อีกด้วย ซึ่งค่าพลังงานเสรีมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\Delta G^\circ = -N_0 F E^\circ \quad (4.24)$$

จากสมการที่ (4.24) เป็นกรณีที่เป็นพลังงานเสรีของแบตเตอรี่ในทางทฤษฎี

$$\Delta G = -NFE \quad (4.25)$$

จากสมการที่ (4.25) เป็นกรณีที่เป็นพลังงานเสรีของแบตเตอรี่ที่ทดสอบได้จริง

จากความสัมพันธ์ของพลังงานเสรีทั้งสองสมการนี้ สามารถนำเอาค่าปริมาณงานที่ได้จากขั้นตอนที่ 4.12 มาคูณกับค่าคงที่ของฟาราเดย์ได้โดยตรง โดยที่ค่าคงที่ของฟาราเดย์มีค่าเท่ากับ 96,485 คูลอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเอาค่าปริมาณงานที่ได้ทั้งหมดมาคูณกับค่าคงที่ของฟาราเดย์ แสดงตัวอย่างของการคำนวณค่าพลังงานเสรีจากแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเกลือสังกะสีขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.² เป็นตัวอย่างการคำนวณค่าพลังงานเสรีทั้งค่าทฤษฎีและค่าที่ทดสอบได้จริง จะได้ว่า

(กรณีค่าพลังงานเสรีในทางทฤษฎี)

$$\Delta G^\circ = -N_e F E^\circ$$

$$\Delta G^\circ = -(2)(96485)(1.10)$$

$$\Delta G^\circ = -212267 \text{ J}$$

(กรณีค่าพลังงานเสรีจากการทดสอบจริง)

$$\Delta G = -NFE$$

$$\Delta G = -(4.2133 \times 10^{-4})(96485)(3.7935)$$

$$\Delta G = -154221.9755 \times 10^{-3} \text{ J}$$

ดังนั้นจะได้ปริมาณพลังงานเสรีของแบตเตอรี่ทั้งหมดเป็นไปดังตารางที่ 4.18 – 4.20

จากตารางที่ 4.18 – 4.20 พบว่าแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะมีค่าพลังงานเสรีที่เป็นลบ หมายความว่า เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถให้พลังงานไฟฟ้าออกมาได้ด้วยตัวเอง ส่วนค่าพลังงานที่มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่า เป็นแบตเตอรี่ที่ไม่สามารถให้พลังงานไฟฟ้าออกมาได้ด้วยตัวเอง

ตารางที่ 4.18 แสดงพลังงานเสรีที่ได้จากขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 2 ซม.²

ชนิดของแบตเตอรี่		พลังงานเสรี	
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	จากทฤษฎี (จูล)	ค่าที่ทดสอบได้จริง (มิลลิจูล)
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	-212267.0000	-154211.9755
	ผลมะยม	-212267.0000	-6879.3805
	ลำต้นกล้วย	-212267.0000	-10275.6525
ทองแดง - เหล็ก	เปลือกสับปะรด	-870680.6400	-1341.1415
	ผลมะยม	-870680.6400	-935.9045
	ลำต้นกล้วย	-870680.6400	0.0000
ทองแดง - อลูมิเนียม	เปลือกสับปะรด	-4631280.0000	-2006.8880
	ผลมะยม	-4631280.0000	-1891.1060
	ลำต้นกล้วย	-4631280.0000	0.0000

ตารางที่ 4.19 แสดงพลังงานเสรีที่ได้จากขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 6 ซม.²

ชนิดของแบตเตอรี่		พลังงานเสรี	
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	จากทฤษฎี (จูล)	ค่าที่ทดสอบได้จริง (มิลลิจูล)
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	-212267.0000	-108420.1945
	ผลมะยม	-212267.0000	-85630.4375
	ลำต้นกล้วย	-212267.0000	-52072.9545
ทองแดง - เหล็ก	เปลือกสับปะรด	-870680.6400	-4525.1465
	ผลมะยม	-870680.6400	-10208.1130
	ลำต้นกล้วย	-870680.6400	0.0000
ทองแดง - อลูมิเนียม	เปลือกสับปะรด	-4631280.0000	-11086.1265
	ผลมะยม	-4631280.0000	-27903.4620
	ลำต้นกล้วย	-4631280.0000	0.0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 แสดงพลังงานเสรีที่ได้จากขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 10 ซม.²

ชนิดของแบตเตอรี่		พลังงานเสรี	
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	จากทฤษฎี (จูล)	ค่าที่ทดสอบได้จริง (มิลลิจูล)
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	-212267.0000	-452061.1705
	ผลมะยม	-212267.0000	-304844.3575
	ลำต้นกล้วย	-212267.0000	-147766.7775
ทองแดง - เหล็ก	เปลือกสับปะรด	-870680.6400	-37571.2590
	ผลมะยม	-870680.6400	-11124.7205
	ลำต้นกล้วย	-870680.6400	0.0000
ทองแดง - อลูมิเนียม	เปลือกสับปะรด	-4631280.0000	-54292.1095
	ผลมะยม	-4631280.0000	-30576.0965
	ลำต้นกล้วย	-4631280.0000	0.0000

4.14 ผลจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงานของแบตเตอรี่

จากขั้นตอนที่ 4.11 สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงานของแบตเตอรี่ได้จากความสัมพันธ์

$$Eff. = \frac{W}{W_{max}} \times 100\% \quad (4.26)$$

นำเอาค่าพลังงานที่ได้ในทางทฤษฎีและในการทดสอบจริงมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพเชิงพลังงาน ตัวอย่างของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน โดยการนำเอาแบตเตอรี่ขั้วทองแดง - สังกะสี อิเล็กโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้า 2 ซม.ม.2 เป็นตัวอย่างของการทดลอง จะได้ว่า

$$Eff. = \frac{W}{W_{max}} \times 100\%$$

$$Eff. = \frac{-1.5983 \times 10^{-3}}{-2.2} 100\%$$

$$Eff. = 0.0727\%$$

ดังนั้นจะได้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่แต่ละชนิด เป็นไปดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงประสิทธิภาพเชิงพลังงานของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

ชนิดของแบตเตอรี่		ประสิทธิภาพ (%)		
		ขนาดพื้นที่ของขั้วไฟฟ้า		
ขั้วไฟฟ้า	อิเล็กโทรไลต์	2 ซม. ²	6 ซม. ²	10 ซม. ²
ทองแดง - สังกะสี	เปลือกสับปะรด	0.0727	0.0511	0.2130
	ผลมะยม	0.0032	0.0403	0.1436
	ลำต้นกล้วย	0.0048	0.0245	0.0696
ทองแดง - เหล็ก	เปลือกสับปะรด	0.0002	0.0005	0.0043
	ผลมะยม	0.0001	0.0012	0.0013
	ลำต้นกล้วย	0.0000	0.0000	0.0000
ทองแดง - อลูมิเนียม	เปลือกสับปะรด	0.0000	0.0002	0.0012
	ผลมะยม	0.0000	0.0006	0.0007
	ลำต้นกล้วย	0.0000	0.0000	0.0000

จากตารางที่ 4.21 พบว่าประสิทธิภาพที่ได้จากแบตเตอรี่นี้มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าพลังงานที่ได้จากทฤษฎี โดยที่ค่าประสิทธิภาพที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.2130%

4.15 ผลจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงต้นทุนการผลิต

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงต้นทุนการผลิต พบว่า ปริมาณกำลังไฟฟ้าของตัวอย่างการทดสอบที่ดีที่สุดคือแบตเตอรี่ชนิดขั้วไฟฟ้าทองแดง - สังกะสี อิเล็กโทรไลต์เปลือกสับปะรดที่ให้

กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 67.4199 วัตต์แอมป์ชั่วโมง/ช.ม.² โดยแบตเตอรี่ชนิดนี้มีต้นทุนในการผลิตดังต่อไปนี้ ตามตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 แสดงต้นทุนการผลิตแบตเตอรี่ชนิดชั่วโมงไฟฟ้าทองแดง – สังกะสี อิเล็กโทรไลต์เปลือกสับปะรด

ชนิดเศษวัสดุ	จำนวน	ราคา (บาท)
เปลือกสับปะรด	2 กิโลกรัม	0
แผ่นสังกะสี ขนาด 0.5 ม ²	1 แผ่น	10
แผ่นทองแดง ขนาด 0.075 ม ²	1 แผ่น	8
รวมราคาค่าต้นทุนการผลิต		18

จากตารางที่ 4.22 พบว่าจากแบตเตอรี่ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 67.4119 วัตต์แอมป์ชั่วโมง/ช.ม.² มีราคาค่าต้นทุนอยู่ที่ 18 บาท และยังมีเศษวัสดุที่สามารถสร้างแบตเตอรี่ได้อีกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงถือได้ว่าเป็นแบตเตอรี่ที่มีราคาค่าต้นทุนต่ำมากๆ เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ และมีความปลอดภัยสูงกว่าแบตเตอรี่ทั่วๆ ไปอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาการผลิตแบตเตอรี่จากเศษวัสดุเหลือทิ้ง โดยการนำเอาเศษพีซและเศษวัสดุโลหะที่ไม่ใช้งานแล้ว นำกลับมาสร้างประโยชน์ได้อีกครั้ง โดยการให้พลังงานไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ทางไฟฟ้า ศึกษาประเภทของอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมแก่การผลิตพลังงานไฟฟ้า ศึกษาวัสดุโลหะที่ไม่ใช้งานแล้วที่เหมาะสมแก่การนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้า ผลการวิจัยสามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1) การนำเอาเศษซากพีซและเศษโลหะที่ไม่ใช้งานไม่ได้แล้วมาทดสอบ

ในการศึกษาการนำเอาเศษซากพีซมาใช้งานเป็นอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า สามารถนำอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากเศษพีซมาใช้งานในแบตเตอรี่ได้ แต่อิเล็กทรอนิกส์บางชนิด ไม่เหมาะแก่การนำมาใช้งานเป็นอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสภาพความนำไฟฟ้าของอิเล็กทรอนิกส์มีค่าน้อยเกินไป ทำให้ชนิดของแบตเตอรี่บางชนิดไม่สามารถให้พลังงานไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าได้

ในการศึกษาการนำเอาเศษวัสดุโลหะที่ไม่ใช้งานแล้วมาผลิตพลังงานไฟฟ้า พบว่าวัสดุโลหะที่นำมาใช้งานเป็นขั้วไฟฟ้าจะมีค่าแตกต่างจากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน สาเหตุอาจเป็นเพราะลักษณะโลหะที่นำมาใช้เป็นโลหะที่เป็นเศษวัสดุโลหะที่ไม่ใช้งานแล้ว ทำให้อาจมีความไม่บริสุทธิ์เกิดขึ้น หรือเกิดจากอิเล็กทรอนิกส์ทำปฏิกิริยากับขั้วไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติแล้วอิเล็กทรอนิกส์ที่ดีจะไม่ทำปฏิกิริยากับขั้วไฟฟ้า

2) แบตเตอรี่ที่สามารถให้พลังงานไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ทางไฟฟ้า

ในการศึกษาการให้พลังงานไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ทางไฟฟ้า พบว่าสามารถให้พลังงานไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ทางไฟฟ้าได้ แต่ให้ได้แก่อุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้าที่ต่ำๆ เพราะแบตเตอรี่เหล่านี้ยังไม่สามารถให้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูงๆ ได้

ในการศึกษาค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับชนิดของอิเล็กทรอนิกส์และชนิดของขั้วไฟฟ้าที่นำมาใช้และค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองจะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าอุดมคติ เนื่องจากสภาพการนำไฟฟ้าของอิเล็คโทรไลต์มีผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้า สภาพความบริสุทธิ์ของโลหะที่นำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้า

ในการศึกษาประจุไฟฟ้า ความจุไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ พบว่าแบตเตอรี่ชนิดขั้วทองแดง - สังกะสี อิเล็คโทรไลต์จากเปลือกสับปะรด ให้ค่าความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ ที่ได้ทำการทดสอบแล้ว

ในการศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าที่พื้นที่ขั้วขนาดต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้าแล้ว จะมีปริมาณความจุไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยสูงขึ้น ตามขนาดพื้นที่ขั้วไฟฟ้าที่มากขึ้น

ในการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างจากขั้วไฟฟ้าค่าต่างๆ พบว่า เมื่อระยะห่างระหว่างขั้วมากขึ้น จะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยลดลงเนื่องจากความสัมพันธ์ความต้านทานทางไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างขั้วนำไฟฟ้า

ในการศึกษาพลังงานเสรีจากการทำงานของแบตเตอรี่ พบว่าแบตเตอรี่ส่วนมากอยู่ในสภาพที่สามารถทำงานได้เอง เนื่องจากค่าพลังงานเสรีอยู่ในช่วงที่มีค่าน้อยกว่าศูนย์ แต่แบตเตอรี่แต่ละชนิดจะมีค่าพลังงานเสรีไม่เท่ากัน ปริมาณอิเล็คตรอนที่วิ่งอยู่ในวงจรไม่เท่ากัน และค่าศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน

3) ลดปริมาณสารเคมีในสิ่งแวดล้อมที่ถูกปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ ที่หมดสภาพการใช้งาน และได้พลังงานที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ

จากงานวิจัยนี้พบว่าสามารถลดปริมาณสารพิษที่ออกมาสู่สภาพแวดล้อมได้ในปริมาณมาก เนื่องจากอิเล็คโทรไลต์ที่นำมาใช้งานเป็นสารที่มาจากธรรมชาติอยู่แล้ว สามารถย่อยสลายได้ด้วยตัวเอง และกำจัดได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการพิเศษในการกำจัดอิเล็คโทรไลต์ที่ไม่ใช้งานแล้ว

จากงานวิจัยนี้ยังมีต้นทุนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ทุกวันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พบข้อจำกัดในการทดลองหลายประการได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ได้ยังมีไม่มากพอที่จะอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ขนาดของแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่มาก ไม่สะดวกในการพกพาไปยังที่ต่างๆ

สำหรับงานวิจัยที่จะดำเนินต่อไปในอนาคตคือการศึกษาเศษพืชที่สามารถนำมาใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มเติม โดยที่อิเล็กทรอนิกส์ชนิดนั้นจะต้องมีค่าความนำไฟฟ้าที่สูง และมีข้อจำกัดว่าอิเล็กทรอนิกส์จะต้องมาจากธรรมชาติ เพื่อแบตเตอรี่ให้พลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้นและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกทั้งคัดเลือกชนิดของขั้วไฟฟ้าโดยเพิ่มขนาดของพื้นที่ขั้วไฟฟ้าให้มากขึ้น ทำให้แบตเตอรี่ให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่มากขึ้นได้ ซึ่งหากมองข้ามการคัดเลือกเศษวัสดุเหลือใช้แล้ว สามารถต่อยอดไปสู่การสร้างวัสดุที่มีความนำไฟฟ้าและมีสมบัติเฉพาะตัวที่ทำให้ขั้วไฟฟ้ามี่ขนาดเล็ก แต่พื้นที่ผิวสัมผัสอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดใหญ่ เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้น แต่ลดปริมาณสารพิษที่ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Isidor Buchmann, *Batteries in a Portable World: A handbook on rechargeable batteries for non – engineers*. 2nd ED, British Columbia : Cadex Electronics Inc. 2001.
- [2] M. Stanley Whittingham, “History, Evolution, and Future Status of Energy Storage”, *Proceeding of the IEEE*, Vol. 100, May 13th 2012, 1518 – 1534.
- [3] สุรียานต์ โตไทยะ, เกียรติไกร อายุวัฒน์และธงชัย ศรีนพคุณ. 2553 “การศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพจากไอระเหยของกรดซัลฟูริกในแบตเตอรี่รถยนต์ขณะประจุไฟฟ้า” หน้า 405-412. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ :มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] Hideki Sakai, Takaaki Nakagawa, Yuichi Tokita, Tsuyonobu Hatazawa, Tokuji Ikeda, Seiya Tsujimura and Kenji Kano, “A high-power glucose/oxygen biofuel cell operating under quiescent conditions”, *Energy Environ. Sci.*, 2009, 2, 133–138.
- [5] Zhiguang Zhu, Yiran Wang, Shelley D. Minter, Y.-H. Percival Zhang, “Maltodextrin powered enzymatic fuel cell through a non-natural enzymatic pathway”, *Journal of Power Sources* 196 (2011), 7505– 7509.
- [6] Zhiguang Zhu, Tsz Kin Tam, Fangfang Sun, Chun You and Y.-H. Percival Zhang, “A high-energy-density sugar biobattery based on a synthetic enzymatic pathway”, *Nature Communications* 5, Article number: 3026, 21 Jan 2014.
- [7] Thomas B. Reddy, *Linden’s Handbook of Batteries*. 4th ED, New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto: McGraw-Hill Education. 2011.
- [8] Monica Halka, Ph.D., and Brian Nordstrom, Ed.D., *Transition Metals*. Facts On File, Inc. 2011.
- [9] Monica Halka, Ph.D., and Brian Nordstrom, Ed.D., *Metals and Metalloids*. Facts On File, Inc. 2011.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

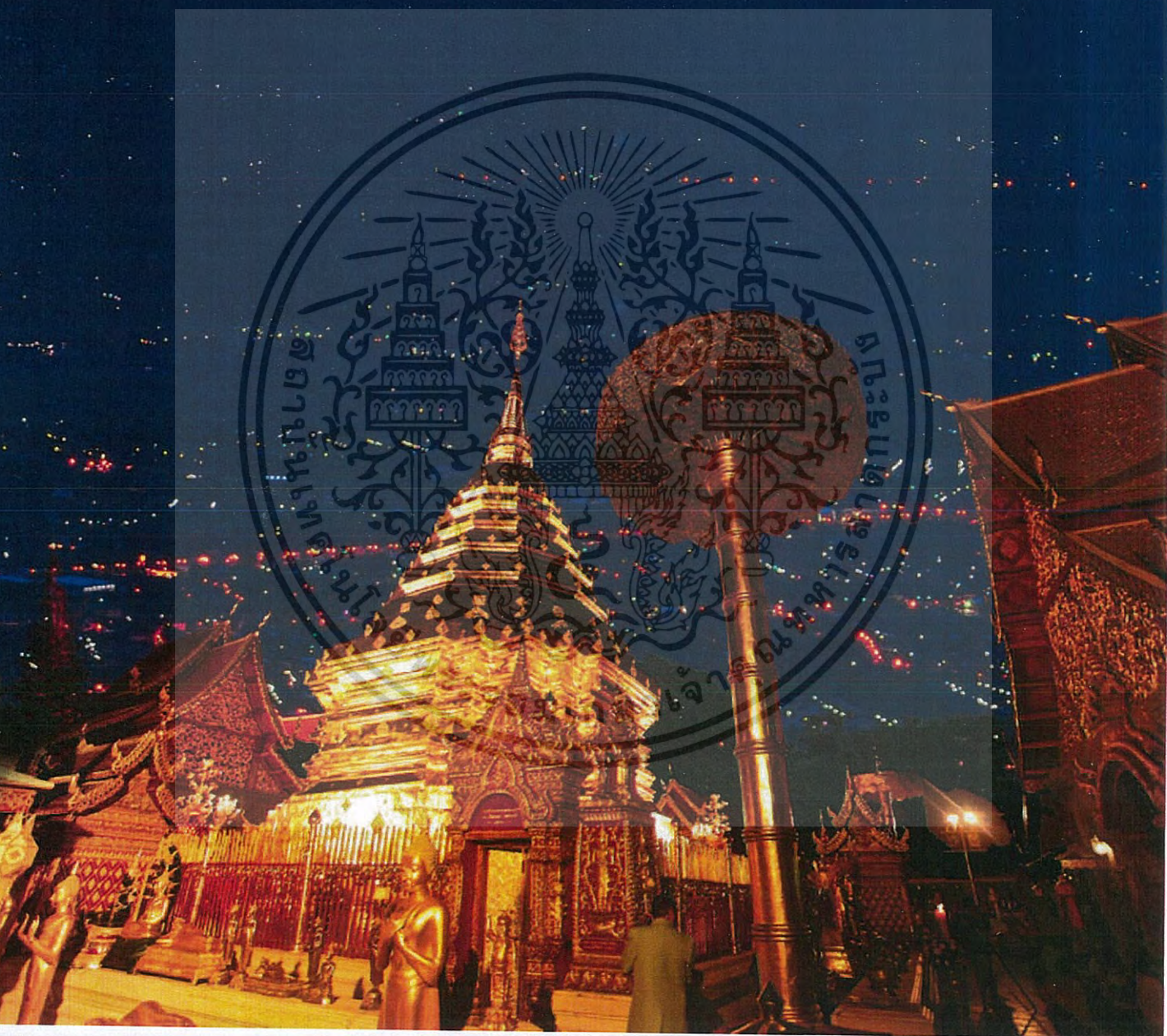
[10] Raymond A. Serway, John W. Jewett, **Physics for scientists and engineers.** 6th ED, Thomson - Brooks/Cole Cengage Learning, 2004.

[11] Steven S. Zumdahl and Susan A. Zumdahl, **Chemistry.** 9th ED, Thomson - Brooks/Cole Cengage Learning, 2010.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ABSTRACTS AND PROCEEDINGS OF
THE 10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON
THE PHYSICAL PROPERTIES AND APPLICATION
OF ADVANCED MATERIALS**



**17-21 NOVEMBER 2015
CHIANG MAI, THAILAND**

- AP-16 High Optical Transmittance of Indium Tin Oxide Nanorods Prepared by Electron Beam Evaporation with Glancing Angle Deposition Technique 254
Bhumin Yosvichit, Nontakoch Siriphongsapak, Mati Horprathum, Pitak Eiamchai, Viyapol Patthanasettakul, Saksorn Limwichean, Pongpan Chindaudom, Chaiyan Oros, Somyod Denchitcharoen

PROCEEDINGS

Structural Materials

- SO4 Effect of inoculant on machinability in gray cast iron 256
Taiki Tsuchiya, Katsutoshi Shigeno, Hirokazu Kawashima, Kenji Matsuda
- SO8 Reinforced Coconut Fiber/Homopolymer Polypropylene (Homo PP) Composites with Maleic Anhydride Grafted Polypropylene (MAgPP): Morphology, Thermal and Mechanical Properties 259
Laongdaw Techawinyutham, Achim Frick, Suchart Siengchin
- SO13 Preparation of β -C₂S phase using Nano-silica Extracted from Rice Husk Ash 264
Chayutpong Tongprachainam, Suthatip Sinyoung, Suwimol Asavapisit, and Kittipong Kunchariyakun
- SO20 Microstructure observation of Al-Mg-Ge alloy with difference aging times 267
Akihiro Kawai, Seungwon Lee, Kenji Matsuda, Ikeno Susumu
- SO29 Microwave activation for synthesis of β -dicalcium silicate 270
Kesinee Sawaspath, Suwimol Asavapisit, Suthatip Sinyoung and Kittipong Kunchariyakun
- SP7 Influence of Mg / Si ratio and Mg+Si amount on the mechanical properties and age-hardening of Al-Mg-Si alloy 273
Daiki Yoshino, Seungwon Lee, Kenji Matsuda, Ikeno Susumu
- SP9 Oxidation Properties of a Ferritic Stainless Steel Coated with (La,Sr)(Co,Fe)O₃ Film Prepared by Pulsed Laser Deposition 276
Ewa Durda, Kazimierz Przybylski, Kenji Matsuda
- SP13 Magnetic and Transport Properties of Stainless Steels SUS304 at Low Temperature 280
Li Jin, Katsuhiko Nishimura, Qiankun Lei, Takahiro Namiki, Takeru Nishikawa, Tsuyoshi Ikeno and Yuichi Yamamoto
- SP28 Mechanical and Morphological Properties of High Density Polyethylene/Ethylene Copolymer/Clay Composites 283
Sirirat Wacharawichanani, Nipawan Yasumlee

Computational Materials Science

- CO7 Development of Forming Processes for an Automotive Part by Finite Element Simulation: Case Study BRACKET FR BUMPER SIDE LH/RH 286
Bhanupong Suwanchinda and Surasak Suramuntchai
- CO9 Effect of Flash Location and Forged Shape on Metal Flow in Flash Gutter during Hot Forging by FEM 291
Sasikarn Aemvijarn, Siriporn Rojananan, Surasit Rojananan
- CP6 Estimation Equations of Biobattery Discharge Voltage by Using Simple Quotient Equations 295
Abboon Pancharoen and Sarai Lekchaum

Estimation Equations of Biobattery Discharge Voltage by Using Simple Quotient Equations

Abboon Pancharoen^{1,*}, Sarai Lekchaum¹

¹Department of Applied Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

*E-mail: r.meed.ap@gmail.com

Abstract

The purpose of this research is to present an accurate quotient equation to fit 15 minute data from discharge voltage of biobatteries supplying power to LEDs rather than Peukert's equation. During running the experiment, 15 minute data of discharge voltage versus time domain of the experimental biobattery were collected to calculate the most appropriate equation fitted by using a hexic polynomial equation, an exponential equation from the method of least square, and our self-created quotient equation from modifying shifted digits and power degrees. After a lot of trial runs had been done, we found that the estimation equation from simple quotient equation could fit the curve of operating biobattery voltage accurately with satisfied r-square value. Not only it is not too complicate to be discovered and utilized, but also it can provide high r-square value greater than 0.99 surprisingly which is better than r-square values of the hexic polynomial equation and the exponential equation from the method of least square.

Keywords: Biobattery, Quotient equation, Discharge voltage, R-square, Peukert's equation.

Introduction

Biobattery comprised of pineapple peel electrolyte from agricultural industries is a new electrochemical cell optimizing advantages of waste from agriculture. Generally present energy sources for industries and transportations are originally produced from non-reusable fossil which makes indestructible pollution by burning and mainly causes global warming by releasing carbon dioxide more than 0.5% every year.

Such a reason above, the environment deviates, green house effect occurs more, season periods change, natural disasters happen, etc. An optional interesting energy source is appropriate for climate and economy in Thailand is biomass energy which is produced from any agricultural waste of trees.

By using our method, it can make a lot of agricultural waste without any advantage becomes a biobattery which is appropriate for agricultural country as Thailand (1).

For such a reason above, biobattery is a kind of the agricultural waste optimized energy at present, which has been researched to improve for optional energy source very much, such as banana, tree trunks residues to produce electrical energy (2), production of galvanic cell from the pineapples peel as electrolyte (3).

A chemical reaction of an electrochemical cell between electrolyte and a negative charged electrode makes a lot of free electrons at an anode pole and a reaction between electrolyte and a positive charged electrode of the electrochemical cell at a cathode pole. Different metal electrodes make different electron attraction when metal electrodes are connected by conductive medium. There will be an electron transfer process from the low electron attraction electrode to the high electron attraction electrode to generate voltage between both electrodes until the cell is in an equilibrium state of electron transfer.

An electrochemical cell will be comprised mainly of 3 elements at least:

- An anode electrode or negative pole, it will release valence electrons.
- A cathode electrode or positive pole, it will accept the released electrons to keep them into its own electrode.
- Electrolyte solution (ion conductor), it will be a medium to transfer charged ions within the galvanic cell between positive and negative electrodes. Generally, electrolyte will conduct charged ions which are not electrons for avoiding charge release of the galvanic cell. Ions of metal are atoms without valence electrons; therefore the atoms will perform positive charges which are called cations.

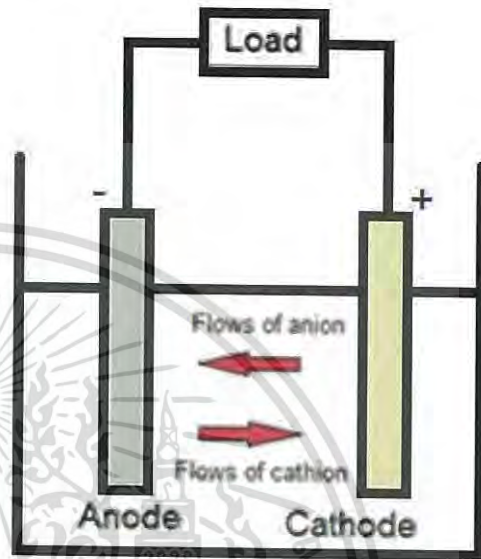


Figure 1. Diagram of electrochemical cell.

During releasing those charges, the electrons will use the electrolyte to move themselves through to the cathode electrode (4).

This is a new solution cells, which has been found and widely being developed. In order to make these cells, basic electrochemical is applied by using residues as electrolyte which is clean and nontoxic to the environment as well as powerful enough to supply electrical energy to many electronic devices. Recently there have been some researches of launching biobatteries to transform used paper into sugar as an electrolyte to react electrodes in the electrochemical reaction and launching agricultural byproducts to generate electric energy under principles of electrochemical also (5). In this research, the study of the curve fitting method will be applied for self-created biobatteries which are examined about electrical voltage. In order to predict a lifetime of each battery, Peukert's equation may be used, casually it will be applied for powerful Pb (lead) acid batteries but never found for other types of batteries. In 1897, Wilhelm Peukert (a German scientist) conducted an experiment to test Pb acid batteries and he found that during electric current was constant, there was a battery capacity (charge supply) with unit of ampere-hour stated as (1)

$$C_p = I^k t \quad (1)$$

Where t is time of charge release, I is the constant supplied electric current and k is Peukert's constant. This equation is described in the term of charge loss relation and supplied current. Especially, during charge releasing from the galvanic cell, the resistance of the cell will be decreased from a corrosion cause of electrodes as same as increase of resistance between cell electrodes and electrolyte. In fact, k is known as Peukert's constant which was created to explain these losses of the cell capacity. If there are a lot of losses, the capacity will be reduced (6).

Peukert's equation should be interpreted with care. It should not be understood to mean that when a battery is discharged fully at a certain high current discharge rate that it is completely empty. In fact, it is well-known that a seemingly empty battery discharged at a high current will still have some available capacity at a lower discharge current (7).

Due to limited terms of Peukert's equation and applications of Peukert's equation are always used in a term of constant discharge current only. Practically, constant discharge current may be too difficult to control, that's why usages of Peukert's equation are not convenient for all batteries. Therefore, quotient equations are suggested to estimate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

lifetimes of biobatteries with non-stable discharge voltage instead of Peukert's equation. They are probably better solutions for lifetime estimations of biobatteries than Peukert's equation in the future.

In practice, Peukert's equation cannot be quantified electric charge due to a small amount of electric current and unstable. So it required other method to estimate biobattery efficiency.

From this point, is the origin of estimation by the quotient's equation for the voltage of the biobattery at any time until biobattery is not available.

The quotient equation or the surd quotient equation is a new suggested equation of curve fitting methods which has been tried by our research team for a few months. The practical object of this equation is to fit the voltage decay curve of biobattery discharge with unstable current rather than a Peukert's equation. Generally the Peukert's equation is always applied to batteries with constant current supply, but it cannot be applied for biobatteries with unstable voltage and current. The primary equation was derived from the first trial equation of charge release voltage of the biobattery is

$$v = \frac{v_0}{1+t} \quad (2)$$

where t is time of charge release with unit of second and v_0 is the initial voltage with unit of volt and v is the charge release voltage of the experimental biobattery with unit of volt. If the initial voltage has to be controlled as the same value for all values of time domain, the equation (1) will be modified as

$$v = \frac{v_0}{1+t^n} \quad (3)$$

For many values of n , curves can be plotted according to figure 2.

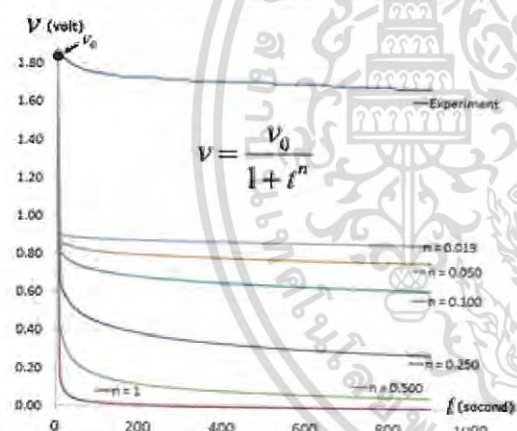


Figure 2. shows how to select the appropriate n by comparing with the experiment data.

After $n = 0.019$ had been selected, the shifted point was selected also to fit the target curve by using a further modified equation as

$$v = \frac{v_0}{1+(t+a)^n - a^n} \quad (4)$$

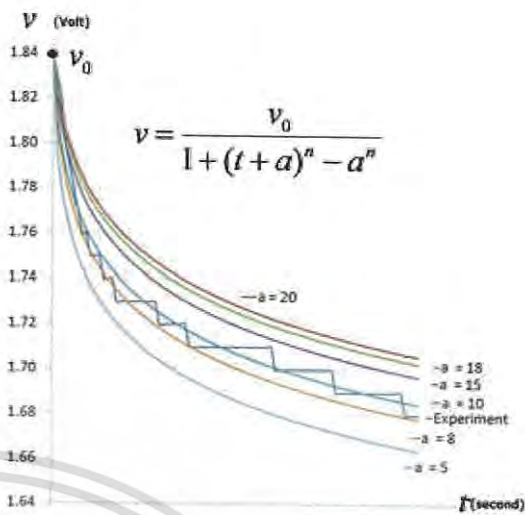


Figure 3. shows how to select the appropriate a by comparing with the experiment data.

Therefore, by using our suggested quotient equation, both n and a are selected to fit the experimental curve accurately.

In this experiment, we present estimation in biobattery discharge by using a simple quotient equation

Experimental

Experimental estimation of biobattery voltage by using quotient equation start by installing a biobattery. This biobattery is made from copper-zinc metals size $2 \times 2 \text{ cm}^2$, copper metal as cathode and zinc metal as anode, and juice electrolyte from squeezing pineapple peels. Assemble these components together and the character of the biobattery according to figure 2

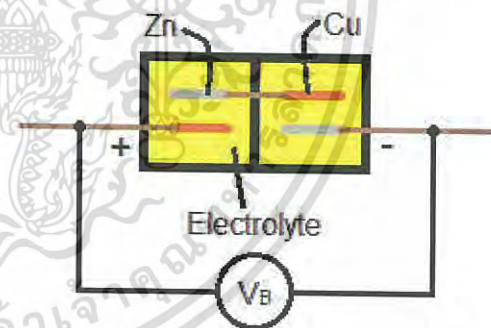


Figure 4. shows diagram of the components of biobattery.

In figure 2 found that biobattery have two cells connected in series. Each cell have 1.00 V , so the total biobattery voltage is 2.00 V before making an experiment.

For the voltage testing circuit of biobattery comprising a load resistance 0.50 ohm and one tube LED lamp connected in series according to figure 3

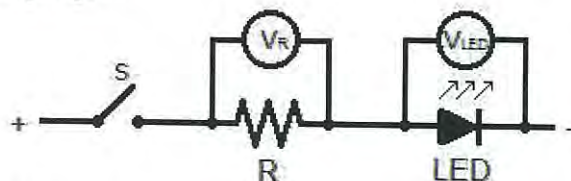


Figure 5. shows voltage testing circuit.

Connected the biobattery and voltage testing circuit together according to figure 4, switching to make electric current flows into voltage testing circuit and capture the operating time on biobattery, record

the voltage of the biobattery (V_B) at any time until the biobattery voltage is constant, switching to the biobattery to stop working. Create a graph of the relationship between the voltage at any time.

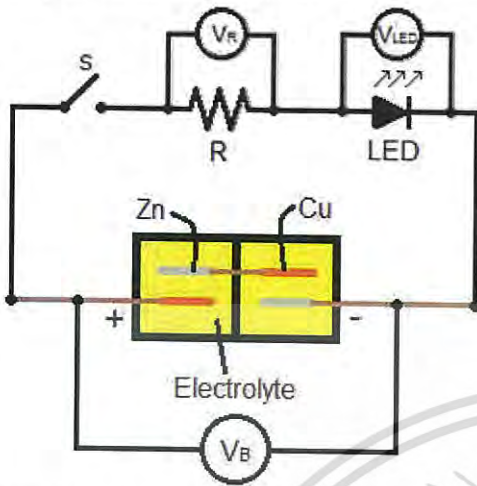


Figure 6 shows connected between the biobattery and voltage testing circuit.

Results and Discussion

The initial voltage of the experimental biobattery was originated at V , and then it was gradually reduced from its energy discharge, but not according to decay exponential functions which we firstly expected to use at all. Therefore, various types of functions were brought to be tried and compared to get r -square values greater than 0.99. At that moment, quotient equations were selected to be tried also. The first quotient function, we tried was creating from $v = (1.84/(t+1))$, where the discharge voltage is v volt and time is t second. Later the dominator of the quotient equation will be gradually modified by adding random digits and power degrees until r -square values greater than 0.99. Figure 7 shows some trial runs of many equations to fit the data curve of the battery discharge voltage. After many trial runs had been done, the appropriate power degree and shifted time domain digit were selected as 0.019 and 10 respectively, with r -square greater than 0.99. Therefore the appropriate equation to fit the data curve of the experimental biobattery is

$$v = \frac{1.84}{1 + (t+10)^{0.019} - 10^{0.019}} \quad (5)$$

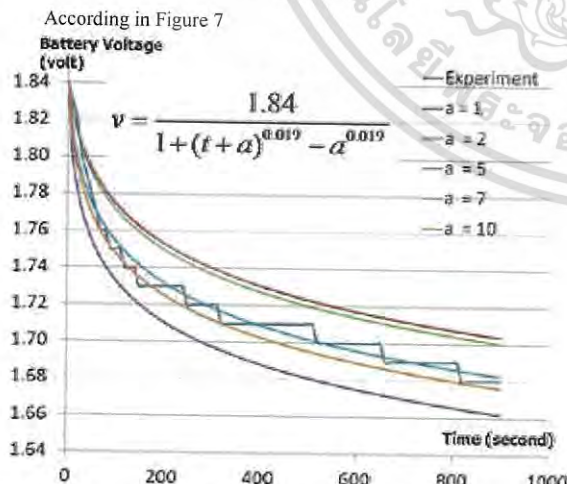


Figure 7. shows examples of selected equations to be tried.

Before the quotient equation was accepted to be the most appropriate equation to fit the data of biobattery discharge voltage, it had been compared about r -square values with the Hexic polynomial equation and the exponential equation also.

See r -square values of these three equations from figure 3. The software program of Microsoft Office Excel 2007 can calculate r -square values of three equations to find out the most appropriate equation for the experimental data. Three r -square values of the exponential equation, the Hexic polynomial equation and the quotient equation are 0.7568, 0.9893 and 0.99998 respectively.

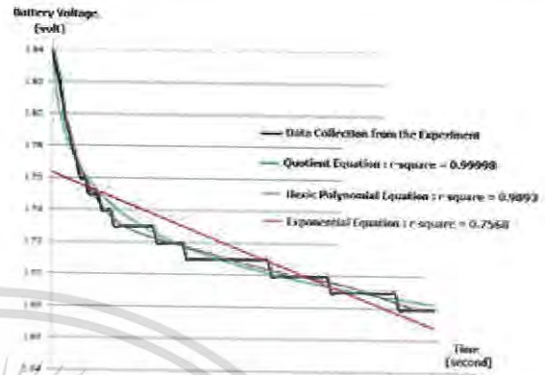


Figure 8 shows three types of equations for curve fitting of biobattery discharge voltage from the experiment.

In this research, we have presented a new method to fit data curve of discharge voltage for a biobattery cell by using a quotient equation improved from to finally be

$$v = \frac{1.84}{1 + (t+10)^{0.019} - 10^{0.019}} \quad (6)$$

Conclusions

From this result, it shows that the r -square value (greater than 0.99) of the quotient function is better than r -square values from the Hexic polynomial equation and the exponential equation from the method of least squares. The r -square value of the suggested quotient equation can be up to 0.99998, which is the highest and closest to the data curve of the biobattery discharge voltage at this moment.

Acknowledgement

The author would like to thank the Department of Applied Physics for experimental equipment.

References

- (1) A.Pancharoen., S.Poomjan., T.Taengtang., K.Srinuanjan., "A fabrication of galvanic cell from pineapple peel residue in agricultural industries", *Advanced Materials Research* Vol.979 (2014) pp 27-30.
- (2) A.Pancharoen., S.Poomjan., T.Taengtung., K.Srinuanjan., "A study of banana tree trunk to produce electrical energy", International Conference on Sciences and Social Sciences 2013: Research and Development for Sustainable Life Quality July 18-19, 2013 at Rajabhat Maha Sarakham University, 340 – 342.
- (3) A.Pancharoen., S.Poomjan., T.Taengtang., K.Srinuanjan., "A fabrication of galvanic cell from pineapple peel residue in agricultural industries", *Advanced Materials Research* Vol.979 (2014) pp 27-30.
- (4) Thomas B. Reddy, Linden's Handbook of Batteries. 4th ED, New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto: McGraw-Hill Education. 2011.
- (5) Zhiguang Zhu, Tsz Kin Tam, Fangfang Sun, Chun You & Y.-H.Percival Zhang, A high-energy-density sugar biobattery based on a synthetic enzymatic pathway, *Nature Communication*, 5,3026 (2014).
- (6) Austin Hausmann & Christopher Depcik, Expanding the Peukert equation for battery capacity modeling through inclusion of a temperature dependency, *Journal of Power Sources*, 235 (2013) 148-158.
- (7) Dennis Doerffel, Suleiman Abu Sharkh, A critical review of using the Peukert equation for determining the remaining capacity of lead-acid and lithium-ion batteries, *Journal of Power Sources*, 155 (2006) 395-400.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายอาบบุญ ปานเจริญ
วัน เดือน ปีเกิด	30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2532
ประวัติการศึกษา	2550 โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า สายวิทย์ – คณิต 2554 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ เกรตเฉลี่ย 2.68 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิชาการ	Estimation Equations of Biobattery Discharge Voltage by Using Simple Quotient Equations ในงาน the 10th International Conference on the Physical Properties and Application of Advanced Materials ระหว่างวันที่ 17-21 พฤศจิกายน 2558 ณ โรงแรม ดิ เอ็มเพรส เชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้