โครงการ

การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ การเตรียมขั้วไฟฟ้าเชิงประกอบพอลิไพโรล/แมงกานีสไดออกไซด์เพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดในแบตเตอรี่สังกะสีไอออน

The preparation of polypyrrole/manganese oxide composites for cathode in zinc-ion battery

ชื่อนิสิต นางสาวกัญญ์วรา แซ่ด่าน **เลขประจำตัว** 5933204423

นางสาวกานต์สิรี แก้วมรกต 5933205023

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

แขนงพอลิเมอร์และสิ่งทอ

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงงานวิจัยระดับปริญญาตรี

เรื่อง

การเตรียมขั้วไฟฟ้าเชิงประกอบพอลิไพโรล/แมงกานีสไดออกไซด์เพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดในแบตเตอรี่สังกะสีไอออน

เสนอ

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตามระเบียบการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์

นางสาวกัญญ์วรา แซ่ด่าน 5933204423

นางสาวกานต์สิรี แก้วมรกต 5933205023

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อ.ดร.ประสิทธิ์ พัฒนะนุวัฒน์

อนุมัติโดย

ประสิทธิ์ พัฒนะนุวัฒน์

.....

(อ.ดร.ประสิทธิ์ พัฒนะนุวัฒน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

ปีการศึกษา 2562

หัวข้องานวิจัย การเตรียมขั้วไฟฟ้าเชิงประกอบพอลิไพโรล/แมงกานีสไดออกไซด์เพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดในแบตเตอรี่สังกะสีไอออน

ชื่อผู้วิจัย กัญญ์วรา แซ่ด่าน
กานต์สิรี แก้วกรกต

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ประสิทธิ์ พัฒนะนุวัฒน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะพัฒนาอุปกรณ์กักเก็บพลังงานไฟฟ้าแบตเตอรี่สังกะสีไอออนขั้วแคโทดโดยใช้วัสดุเชิงประกอบ พอลิไพโรลและแมงกานีสไดออกไซด์แบบยืดหยุ่นสูง โดยวัสดุเชิงประกอบของพอลิไพโรล/แมงกานีสไดออกไซด์ถูกสังเคราะห์โดยวิธีฝังตัวทางเคมีไฟฟ้าลงบนกระดาษคาร์บอน โดยองค์ประกอบในการศึกษามุ่งเน้นศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบพอลิไพโรล/แมงกานีสไดออกไซด์ โดยใช้อัตราส่วนโมลของไพโรลมอนอเมอร์ต่อแมงกานีสไดออกไซด์ดังนี้ 1:0, 1:1, 1:2, 1:4, 0:1 ตามลำดับ โดยการวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิไพโรลถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โครงสร้างทางเคมีหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของพอลิไพโรลที่ถูกสังเคราะห์ถูกยืนยันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี ส่วนการวิเคราะห์การเกิดผลึกของแมงกานีสไดออกไซด์ถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ทำการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าเคมีของขั้วไฟฟ้าที่ผ่านการอิเล็กโทรดิโพสิตบนวัสดุรองรับกระดาษคาร์บอน และศึกษาประสิทธิภาพการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าแคโทดจากวัสดุเชิงประกอบของพอลิไพโรล/แมงกานีสไดออกไซด์ ที่สังเคราะห์ได้โดยจากการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าเคมีด้วยเทคนิคไซคลิกโวทาเมทรี และสมบัติทางไฟฟ้าเคมีด้วยเทคนิคกัลล์วาโนสแตติก ชาร์จ ดีสชาร์จ เพื่อเปรียบเทียบการอัดและการคายประจุของกระแสไฟฟ้า โดยได้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่เลือกใช้ คือ พอลิไพโรลต่อแมงกานีสไดออกไซด์ที่ 1:2 ซึ่งสมารถคงเสถียรภาพในการเก็บประจุไว้ได้ถึง 67.80 % หลังผ่านการใช้งาน 30 รอบ

คำสำคัญ : แบตเตอรี่สังกะสีไอออน, แบตเตอรี่ทุติยภูมิ, พอลิเมอร์นำไฟฟ้า, พอลิไพโรล, การฝังตัวทางเคมีไฟฟ้า

Research title The preparation of polypyrrole/manganese oxide composites for cathode in zinc-ion battery

Researchers Kanwara Saedan
Kansiree Keawmorakot

Advisor Dr.Prasit Pattananuwat

Abstract

This research is interesting in developing a flexible zinc ion battery by cooperation of polypyrrole with manganese dioxide as a composite material for zinc cathode which are successfully synthesized via electro-deposition on a carbon paper. The different ratio of polypyrrole (PPy) to manganese dioxide (MnO_2) of 1:0, 1:1, 1:2, 1:4 and 0:1 are determined to find the optinum condition. The chemical structure is studied by Fourier Transform Infrared Spectroscopy, revealing the evident characteristic of polypyrrole signals. Moreover, the crystallization is studied by X- ray Diffractometer, indicating the characteristic of manganese dioxide. The analysis of electrochemical properties using cyclic voltammetry (CV) and Galvanostasitic charge-discharge (GCD) is used to elvauate the performance of battery.The results reveal that composite materials cathode obtained from polypyrrole/ manganese dioxide at 1: 2 ratio exhibit the highest performance stability through 30 cycles with 67.8 % in stability retention.

Keyword : zinc ion battery, secondary battery, conductive polymer, polypyrrole, electrodeposition

กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ การสนับสนุน และความช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการ การดำเนินงาน และเงินทุนสนับสนุนจากคณาจารย์ ท่านทั้งหลายและหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ประสิทธิ์ พัฒนะนุวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาตลอดการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่นิสิตปริญญาเอก ปริญญาโท สาขาวิชาพอลิเมอร์และสิ่งทอ และเพื่อนนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และเป็นกำลังใจในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นแบบอย่างที่ดี ตลอดจนส่งเสริมการศึกษาและให้กำลังใจเป็นอย่างดี ทำให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวกัญญ์วรา แซ่ด่าน

นางสาวกานต์สิรี แก้วมรกต

สารบัญ

บทคัดย่อ.....ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญรูป.....ช

สารบัญตาราง.....ฌ

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....2

บทที่ 2 วารสารปริทรรศน์.....3

2.1 อุปกรณ์กักเก็บพลังงาน.....3

2.1.1 เซลล์เชื้อเพลิง.....3

2.1.2 แบตเตอรี่.....4

2.2 แบตเตอรี่โลหะไอออน.....5

2.3 พอลิเมอร์นำไฟฟ้า.....7

2.3.1 พอลิไพโรล.....7

2.4 แมงกานีสไดออกไซด์.....8

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....9

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี.....9

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....9

3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....9

3.3.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้ารองรับที่ขั้วแคโทด.....9

3.3.2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าแคโทดแมงกานีสไดออกไซด์.....10

3.3.3 การเตรียมขั้วไฟฟ้าแคโทดพอลิไพโรล.....10

3.3.4 การเตรียมขั้วไฟฟ้าแคโทดเชิงประกอบของพอลิไพโรลกับแมงกานีสไดออกไซด์.....10

3.3.5 ขั้นตอนการอิเล็กโทรดิโพสิต.....10

3.3.6 ขั้นตอนการประกอบเซลล์ขั้วไฟฟ้าและการทำบรรจุภัณฑ์.....11

3.3.7 ชั้นตอนการเตรียมเจลอิเล็กโทรไลต์.....12

3.3.8 การวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าเคมี.....12

3.4 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลอง.....12

3.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน.....13

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....14

4.1 ผลการเตรียมพอลิไพโรลและแมงกานีสไดออกไซด์.....14

4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุ.....15

4.2.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังชันทางเคมี.....15

4.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบเฟส.....16

4.3 การวิเคราะห์สมบัตรทางไฟฟ้าเคมี.....17

4.3.1 วิเคราะห์ด้วยเทคนิคไซคลิกโวททาเมทรี.....17

4.3.2 วิเคราะห์ด้วยเทคนิคกัลล์วาโนสแตติก.....19

4.3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่เมื่อใช้งานระยะเวลายาว.....23

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....26

5.1 สรุปผลการทดลอง.....26

5.2 ข้อเสนอแนะ.....26

เอกสารอ้างอิง.....27

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แบตเตอรี่ทุติยภูมิ 4

รูปที่ 2.2 โมเลกุลของพอลิไพโรล 7

รูปที่ 2.3 โครงสร้างทั่วไปของอนุพันธุ์พอลิไพโรลขณะรับและจ่ายอิเล็กตรอนในแบตเตอรี่ 8

รูปที่ 2.4 แมงกานีสออกไซด์บนผิวของขั้วไฟฟ้าแคโทด 8

รูปที่ 3.1 การอิเล็กโทรดิโพสิตด้วยเครื่องกัลวาโนสเตท 11

รูปที่ 3.2 การประกอบเซลล์ขั้วไฟฟ้าแคโทด 11

รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการทดลอง 12

รูปที่ 4.1 ผลการอิเล็กโทรดิโพสิตของพอลิไพโรลแมงกานีส และ พอลิไพโรล: แมงกานีส 14

รูปที่ 4.2 การวิเคราะห์เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy ของพอลิไพโรล 15

รูป 4.3 วิเคราะห์องค์ประกอบเฟสของแมงกานีสไดออกไซต์ ด้วยเทคนิค XRD 16

รูปที่ 4.4 ความสามารถในการเก็บประจุของขั้วแคโทด ในอัตราส่วนพอลิไพโรล 1 ต่อ แมงกานีส 0 17

รูปที่ 4.5 ความสามารถในการเก็บประจุของขั้วแคโทด ในอัตราส่วนพอลิไพโรล 1 ต่อ แมงกานีส 2 18

รูปที่ 4.6 ความสามารถในการเก็บประจุของขั้วแคโทด ในอัตราส่วนพอลิไพโรล 0 ต่อ แมงกานีส 2 18

รูปที่ 4.7 ความสามารถในการเก็บประจุของขั้วแคโทดระหว่างพอลิไพโรล: แมงกานีสไดออกไซด์ ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน ดังนี้ พอลิไพโรล 1 แมงกานีส 0, พอลิไพโรล 1 แมงกานีส 2, พอลิไพโรล 0 แมงกานีส 2 19

รูปที่ 4.8 การทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ที่ขั้วแคโทดเป็น แมงกานีสไดออกไซด์ 20

รูปที่ 4.9 การทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ที่ขั้วแคโทดเป็น พอลิไพโรล 21

รูปที่ 4.10 การทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ที่ขั้วแคโทดเป็น พอลิไพโรล: แมงกานีส 1:1 21

รูปที่ 4.11 การทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ที่ขั้วแคโทดเป็น พอลิไพโรล:
แมงกานีสไดออกไซต์ 1:2 22
รูปที่ 4.12 การทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอร์รีที่ขั้วแคโทดเป็น พอลิไพโรล:
แมงกานีสไดออกไซต์ 1:4 22
รูปที่ 4.13 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่เมื่อใช้ระยะเวลายาว 24

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ขอบเขตระยะเวลาการดำเนินงาน 13

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของขั้วแคโทดที่ผ่านการอิเล็กโทรดิโพสิตที่อัตราส่วนต่างๆโดยเฉลี่ย 14

ตารางที่ 4.2 เสถียรภาพในการเก็บประจุ 25

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีอุปกรณ์กักเก็บพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กประสิทธิภาพสูง เข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดพกพา เช่น smart watch, apple watch, ipod nano, airpods, heart rate watch เป็นต้น ซึ่งมีความต้องการอุปกรณ์กักเก็บพลังงานที่มีความยืดหยุ่นตัวที่สูง มีความปลอดภัยในการใช้งาน น้ำหนักเบา และมีประสิทธิภาพสูง

แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อไว้ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญคือขั้วแอโนดและขั้วแคโทด การพัฒนาวัสดุขั้วไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเป็นสิ่งที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยในปัจจุบันขั้วแอโนดของแบตเตอรี่นั้นนิยมทำจากโลหะลิเทียมซึ่งมีความสามารถให้ความหนาแน่นพลังงานไฟฟ้าที่สูง แต่อย่างไรก็ตามพบว่า โลหะลิเทียมมีแนวโน้มราคาที่สูงขึ้นในอนาคตอันใกล้เนื่องจากความต้องการใช้โลหะลิเทียมเป็นวัตถุดิบในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สูงขึ้น อีกทั้งโลหะลิเทียมนั้นมีความไวต่อความชื้น และความไวไฟที่สูงส่งผลให้มีความปลอดภัยที่ต่ำ วัสดุโลหะอื่นๆ เช่น โลหะสังกะสีก็เป็นโลหะอีกชนิดที่นิยมนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้า เนื่องจากสามารถเกิดปฏิกิริยาให้อิเล็คตรอนที่โวลต์ต่ำทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง มีความไวต่อ ความชื้นและความไวไฟที่ต่ำ อีกทั้งมีราคาถูกและมีปริมาณที่สูงมากในประเทศไทย จึงทำให้โลหะสังกะสีนั้นเป็นที่น่าสนใจในการพัฒนา โดยในระบบของแบตเตอรี่สังกะสีวัสดุที่ถูกนำมาใช้เป็นขั้วตรงข้ามจำเป็นต้องเป็นวัสดุโลหะที่มีการให้และรับอิเล็กตรอนที่สอดคล้องกันเพื่อให้ปฏิกริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น โลหะแมงกานีส เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่า โลหะแมงกานีสมีการเปลี่ยนเฟสเมื่อมีการะลายและฝังตัวใหม่ในระหว่างการอัด-คายประจุไฟฟ้า และไม่เสถียร เมื่อใช้งานต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน การนำเอาวัสดุในกลุ่มพอลิเมอร์นำไฟฟ้า เช่น พอลิไพโรล (polypyrrole) มาใช้เป็นขั้วตรงข้ามเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากพอลิไพโรล (polypyrrole) สามารถเข้ากันได้ดี กับโลหะซิงค์ อีกทั้งสังเคราะห์ได้ง่ายและเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ดี สามารถสังเคราะห์บนพื้นผิววัสดุขั้วไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี อีกทั้งมีสมบัติความยืดหยุ่นตัวที่ดี และการมีนำไฟฟ้าที่สูง

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับแบตเตอร์รี่ขั้วแคโทดที่สามารถนำพอลิเมอร์มาใช้ในการทำได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดข้อบกพร่องของแบตเตอร์รี่แบบเดิมที่ใช้วัสดุประเภทโลหะทำเพียงอย่างเดียว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์การผสมกันระหว่างพอลิเมอร์นำไฟฟ้าพอลิไพโรลกับอนุภาคแมงกานีสไดออกไซด์ เพื่อนำเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทด โดยการใช้พอลิไพโรลที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถผลิตให้มีขนาดเล็กและมีความยืดหยุ่นได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเตรียมวัสดุเชิงประกอบขั้วแคโทด พอลิไพโรล/แมงกานีสไดออกไซด์ที่อัตราส่วนต่างๆ

2.เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีไฟฟ้าในการเก็บประจุไฟฟ้าเคมีของระบบแบตเตอรี่สังกะสี พอลิไพโรล/แมงกานีสไดออกไซด์

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

ในปัจจุบันเทคโนโลยีเกี่ยวกับการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ขนาดพกพา ซึ่งมีความต้องการอุปกรณ์กักเก็บพลังงานที่มีความยืดหยุ่น มีความปลอดภัย และมีประสิทธิภาพสูง เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ที่เพิ่มมากขึ้น และมีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา เพื่อลดข้อบกพร่อง เพิ่มประสิทธิภาพของตัวกักเก็บประจุไฟฟ้า และสร้างความปลอดภัยต่อผู้ที่ใช้จึงทำให้มีการคิดค้นอุปกรณ์ด้านการกักเก็บไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่าแบตเตอรี่ซึ่งเทคโนโลยีกักเก็บพลังงานสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ จากแบตเตอรี่ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นเทคโนโลยีจากวัสดุโลหะลิเธียมซึ่งเป็นวัสดุที่ไวไฟ ทำให้ต้องมีมาตราฐานความปลอดภัยในการผลิตที่สูง อีกทั้งยังมีแนวโน้มราคาที่สูงขึ้นในอนาคต ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการที่จะพัฒนาระบบแหล่งจ่ายพลังงานที่ใช้วัสดุซึ่งมีอยู่มากในประเทศไทย และมีความปลอดภัยที่สูงกว่าวัสดุโลหะลิเธียม เช่น การออกแบบวัสดุที่ใช้ทำขั้วแอโนด/แคโทด และชนิดของอิเล็คโทรไลต์ เป็นต้น

2.1 อุปกรณ์กักเก็บพลังงาน (Energy storage)

การนิยามและแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์กักเก็บพลังงานไฟฟ้าจะถูกกล่าวถึง ดังนี้

2.1.1 เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cells)

เซลล์เชื้อเพลิง[2] คือ อุปกรณ์ที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนโมเลกุลไฮโดรเจนและออกซิเจนให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยไม่ผ่านปฏิกิริยาการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ จึงเป็นพลังงานสะอาด และยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถึง 2-3 เท่า สารตั้งต้นที่ใช้โดยทั่วไปในเซลล์เชื้อเพลิงได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนที่ขั้วแอโนดและก๊าซออกซิเจนที่ขั้วแคโทด โดยมีองค์ประกอบสำคัญของเซลล์เชื้อเพลิง คือ

1. ขั้วไฟฟ้าแอโนด[1] (anode) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ให้ประจุลบกับเซลล์เชื้อเพลิง มีหน้าที่ส่งผ่านประจุอิเล็กตรอนหรือประจุไฟฟ้าลบออกไปทางขั้วไฟฟ้า ส่วนแก๊สไฮโดรเจนที่ถูกดึงอิเล็กตรอนออกไปจะแสดงประจุบวกที่เรียกว่าโปรตอน

2. ขั้วไฟฟ้าแคโทด (cathode) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ให้ประจุบวกกับเซลล์เชื้อเพลิง มีหน้าที่ต่อเข้ากับสายไฟภายนอก รับอิเล็กตรอนมารวมกับอะตอมของแก๊สออกซิเจนกับไฮโดรเจนกลายเป็นโมเลกุลของน้ำ

3.สารพาประจุ (electrolyte) เป็นสารที่มีความสามารถที่จะเคลื่อนที่โดยทำตัวเป็นไอออน ยอมให้ปฏิกิริยาทางเคมีทำงานแล้วเสร็จในขั้วไฟฟ้าที่อยู่ห่างกัน เป็นการส่งมอบพลังงานให้กับวงจรภายนอก

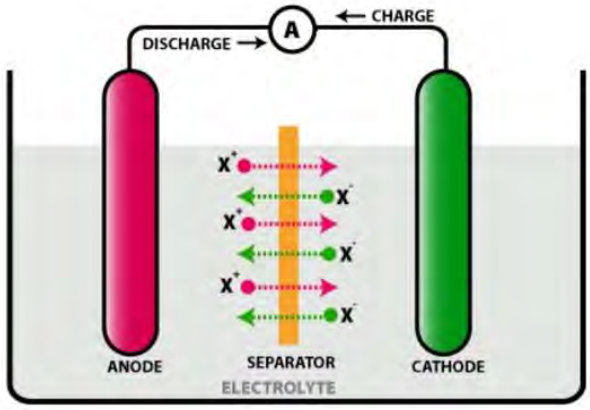
ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์จัดเก็บและจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด ได้แก่ แบตเตอรี่ทุติยภูมิชนิดโลหะไอออนเป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถอัดประจุซ้ำได้หลายครั้ง มีความ หลากหลายของระดับในการเก็บพลังงาน และมีประเภทการใช้งานที่หลากหลาย

2.1.2 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่[1] คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานไฟฟ้า สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรง ด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) มีโครงสร้างประกอบด้วย ขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับตัวพาประจุ แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์ หรือมากกว่าก็ได้ โดยแบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1. แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ไม่ได้ หรือ แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (primary battery) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถใช้ได้เพียงครั้งเดียว ดังนั้น เมื่อสารเคมีเกิดการเปลี่ยนสภาพหมด ไฟฟ้าก็จะหมดจาก แบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่เหล่านี้เหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และมีความต้องการใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ เช่น แบตเตอรี่อัลคาไลน์ (alkali battery) ที่ใช้สำหรับไฟฉาย เป็นต้น

2. แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ หรือ แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (secondary battery) เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟฟ้าใหม่ได้หลังจากไฟหมด เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการชาร์ตประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ จึงสามารถคายและอัดประจุใหม่ได้ หลายครั้ง ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่ใช้ในยานพาหนะ แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่ใช้ สำหรับโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แบตเตอรี่ทุติยภูมิ

2.2. แบตเตอรี่โลหะไอออน (Metal-ion battery)

แบตเตอรี่โลหะไอออนเป็นแบตเตอรี่ทุติยภูมิที่สามารถอัดประจุซ้ำได้ โดยขั้วโลหะไอออนที่จะถูกใช้ เป็นขั้วแอโนดของแบตเตอรี่มีอยู่หลายชนิด เช่น ลิเธียม โซเดียม อะลูมิเนียม และสังกะสี เป็นต้น โดยแบตเตอรี่ทุติยภูมิที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายและรู้จักกันดี คือ แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (Li-ion battery) เนื่องจากแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนสามารถอัดประจุไฟฟ้าได้เร็ว มีความหนาแน่นของพลังงานที่สูง และมีระยะเวลาการใช้งานที่นาน แต่แบตเตอร์รี่จากลิเธียมไอออนยังมีข้อจำกัดอยู่บางประการ เช่น ความไวไฟของลิเธียมไอออนทำให้เกิดการระเบิดได้ง่าย ความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และแนวโน้มของปริมาณลิเธียมที่ลดลงในอนาคต ส่งผลให้ลิเธียมไอออน มีราคาที่สูงและไม่มีวัตถุดิบในประเทศไทย เป็นต้น

โลหะสังกะสี (zinc) เป็นโลหะหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าแอโนด (anode electrode) ที่ใช้กันแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น ในผลการวิจัยของ Ning Zhang และ คณะ[4] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของ แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ ในระบบแมงกานีสไดออกไซด์-สังกะสี (Zn-MnO_2) เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้ใช้สังกะสีเป็นขั้วแอโนด ซึ่งมีข้อดีคือ มีราคาถูก ความปลอดภัยสูง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีกระบวนการผลิตที่ง่ายจึงส่งผลให้มีการพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่พบในการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือ มีจำนวนรอบการใช้งานที่น้อยเนื่องจากเกิดการจ่ายประจุไฟฟ้าที่ไม่ผันกลับ (irreversible) และยังพบว่าค่าความจุไฟฟ้าเมื่อจ่ายประจุไฟฟ้ามีค่าจำกัด

ปฏิกิริยาการอัดและจ่ายไฟฟ้า

$$\text{แอโนด} \quad : \quad Zn + 4OH^- \longrightarrow Zn(OH)_4^{2-} + 2e^-$$

$$Zn(OH)_4^{2-} \longrightarrow ZnO + H_2O + 2OH^-$$

$$\text{แคโทด} \quad : \quad O_2 + 4e^- + 2H_2O \longrightarrow 4OH^-$$

$$\text{ปฏิกิริยารวม} \quad : \quad 2Zn + O_2 \longrightarrow 2ZnO$$

ในขณะเดียวกันการเกิดแก๊สไฮโดรเจนเป็นปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้นในสารละลายแอลคาไลน์ จะ เกิดขึ้นดังนี้

$$2H_2O + 2e^- \longrightarrow 2OH^- + H_2$$

โดยปฏิกิริยาโดยรวมของการเกิดแก๊สไฮโดรเจน เกิดขึ้นดังสมการต่อไปนี้

$$Zn + 2H_2O \longrightarrow Zn(OH)_2 + H_2$$

การเกิดแก๊สไฮโดรเจน (Hydrogen Evolution Reaction) ที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอน ส่งผลให้เกิดการเกิดการคายประจุเอง (self-discharge) ให้ประสิทธิภาพของการเก็บกระจุไฟฟ้า และประสิทธิภาพต่อรอบระยะเวลาของการเก็บพลังงานไฟฟ้าลดลง และขั้วแคโทดของแบตเตอร์รี่ มีการนำพอลิเมอร์นำไฟฟ้ามาใช้ได้

จากวรรณกรรมของแนวทางวิจัยพบว่า การนำพอลิเมอร์นำไฟฟ้ามาใช้เป็นขั้วแคโทดของแบตเตอร์รี่ สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ ดังเช่น จากผลการวิจัยของ B.N.Grgur และคณะ[5] ได้ศึกษาการใช้พอลิไพโรลทำเป็นขั้วไฟฟ้าแคโทดในแบตเตอรี่ พบว่าพอลิไพโรลพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นพอลิเมอร์นำไฟฟ้า พอลิไพโรลสามารถสังเคราะห์ได้ง่าย เกิดปฏิกิริยาการรับและจ่ายอิเล็กตรอน (redox) เป็นพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นสูง จึงเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นพอลิเมอร์ขั้วแคโทด และตรงตามความต้องการที่จะศึกษาในการทำแบตเตอร์รี่ขนาดเล็กที่มีความยืดหยุ่น แต่พอลิไพโรลอาจจะเก็บและจ่ายประจุได้ไม่สูงมากพอ จึงมีการคิดค้นทำเป็นพอลิไพโรลผสมด้วยโลหะแมงกานีส เพื่อให้มีการเก็บประจุที่สูงมากขึ้นและยืดหยุ่นได้

พอลิไพโรลที่เกิดปฏิกิริยาการรับและจ่ายอิเล็กตรอน[5] (redox)

$$[\mathrm{PPy}]_n + ny\mathrm{Cl}^- \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftarrows}} [\mathrm{PPy}^{y+}(\mathrm{Cl}^-)_y]_n + ny\mathrm{e} \quad \text{(positive electrode)}$$

where y is doping degree, and:

$$[\mathrm{ZnCit}]^- + 2\mathrm{e} \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftarrows}} \mathrm{Zn} + \mathrm{Cit}^{3-} \quad \text{(negative electrode)}$$

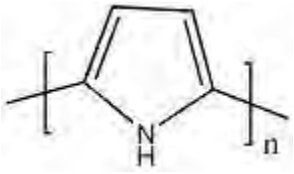
The reactions during charge/discharge of the complete cell will be as follows :

$$2[\mathrm{PPy}]_n + 2ny\mathrm{Cl}^- + ny[\mathrm{ZnCit}]^- \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftarrows}} 2[\mathrm{PPy}^{y+}(\mathrm{Cl}^-)_y]_n + ny\mathrm{Zn} + ny\mathrm{Cit}^{3-}$$

2.3 พอลิเมอร์นำไฟฟ้า (Conductive polymer)

2.3.1 พอลิไพโรล (Polypyrrole, PPy)

พอลิไพโรล[5] เป็นพอลิเมอร์อินทรีย์ที่มีโครงสร้างแบบพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยว (conjugated polymers) ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในโมเลกุลได้ ดังนั้นพอลิเมอร์จึงมีสมบัตินำไฟฟ้าได้ (electrically conducting polymers) โครงสร้างของพอลิไพโรลดังรูปที่ 2.1

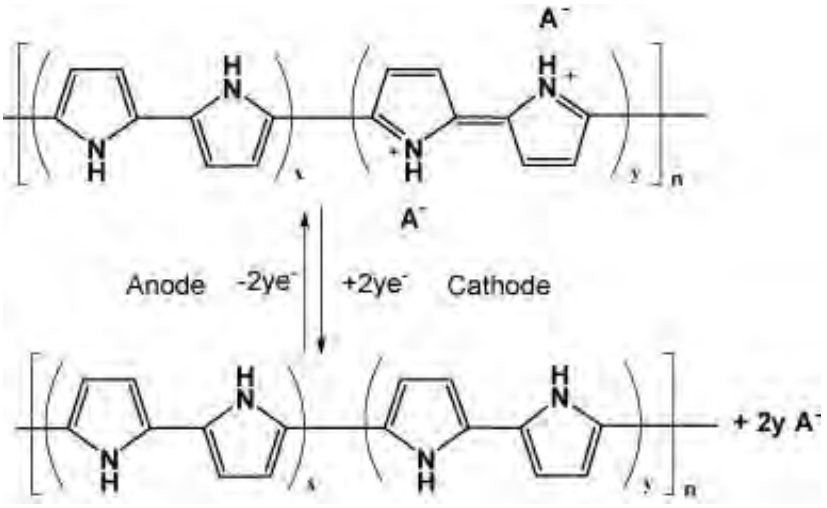


รูปที่ 2.2 โมเลกุลของพอลิไพโรล[6]

จากงานวิจัยของ R.Bagherzadeh และคณะ[6] ได้กล่าวว่า พอลิไพโรล เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำไฟฟ้าได้ และมีศักยภาพในการเกิดออกซิเดชั่นต่ำและมีค่าการนำไฟฟ้าสูง

โมโนเมอร์ของ Pyrrole (Py) สามารถละลายในน้ำจึงทำให้พอลิไพโรลไม่ระเบิดเมื่อเจอน้ำ หรือความชื้น เนื่องจากการสังเคราะห์ที่ง่ายและเป็นมิตรต่อส่งแวดล้อมในระยะยาวและจากการทดสอบความสามารถของพอลิไพโรลพบว่า เช่น การป้องกันไฟฟ้าสถิตย์, การป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำมาทำเป็นแบตเตอร์รี่ได้

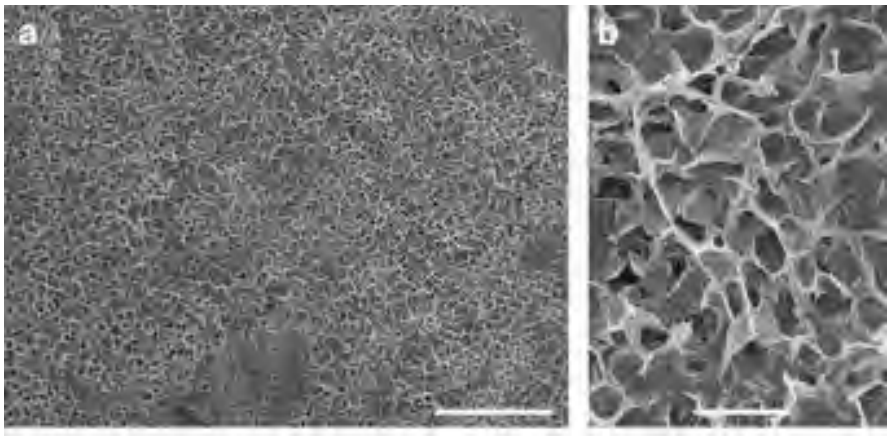
จากงานวิจัยของ jiaqi Wang[7] พบว่า แบตเตอร์รี่จากพอลิไพโรลและซิงค์ สามมารถเก็บประจุไฟฟ้า ได้ถึง 123 m Ah g^{-1} และยังสามารถทำให้แบตเตอร์รี่มีความอ่อนนุ่ม และยังสามารทำให้มีขนาดเล็กเหมาะสำหรับใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคขนาดเล็กที่ต้องการความยืดหยุ่นในการสวมใส่ได้ เช่น smart watcht ได้ และมีปฏิกิริยาการรับและจ่ายอิเล็กตรอน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทั่วไปของอนุพันธุ์พอลิไพโรลขณะรับและจ่ายอิเล็กตรอนในแบตเตอรี่[8]

2.4 แมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese dioxide)

แมงกานีสไดออกไซด์เป็นโลหะที่สามารถนำมาทำเป็นขั้วแคโทดของแบตเตอร์รี่ได้ จากงานวิจัยของ BrunoScrosati และคณะ[3] ได้กล่าวไว้ว่า แบตเตอร์รี่ทีมีการนำโลหะแมงกานีสมาใช้ ซึ่งสามารถเก็บประจุไว้ได้สูงเนื่องจากแมงกานีสมีลักษณะเป็นรูพรุน บนผิวของขั้วไฟฟ้าแคโทด สังเกตได้จากรูปที่ 2.3 ซึ่งได้จากภาพตัดขวางของกล้องจุลทรรศ์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) และการที่แมงกานีสมีลักษณะเป็นรูพรุน ทำให้สะดวกในการไหลผ่านของไฟฟ้า และสามารถรับและปล่อยกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 225 mAh g^{-1} และความสามารถในการใช้ในระยะยาวด้วยการเก็บรักษาความจุ 94% ในช่วง 2,000 รอบ



รูปที่ 2.4 แมงกานีสออกไซด์บนผิวของขั้วไฟฟ้าแคโทด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. แมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese Oxide)

2. ไพโรลมอนอเมอร์ (Pyrrole monomer)

3. แผ่นกระดาษคาร์บอน (Carbon paper)

4. สารแมงกานีสซัลเฟต (Manganese sulfate)

5. แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum foil)

6. ซิงค์ซัลเฟต (Zinc sulfate)

7. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)

8. น้ำกลั่น (DI Water)

9. โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl alcohol)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. บีกเกอร์ (Beaker)

2. ปิเปตต์ (Pipette)

3. ที่ปั่นกวน (Magnetic Bar)

4.เครื่องทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่ (Battery Testing Machine)

5.เครื่องกัลวาโนสเตท (Potentiostat/galvanostat)

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้ารองรับที่ขั้วแคโทด

1. ตัดกระดาษคาร์บอนขนาด 1 เซนติเมตร × 3 เซนติเมตร

2. อบทิ้งไว้ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

3.3.2 การเตรียมขั้วไฟฟ้าแคโทดแมงกานีสไดออกไซด์

ทำการชั่งแมงกานีสซัลเฟตน้ำหนัก 1.6903 กรัม นำมาละลายในกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.5 M. ปริมาตร 50 มิลลิลิตร คนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

3.3.3 การเตรียมขั้วไฟฟ้าแคโทดพอลิไพโรล

นำไพโรลมอนอเมอร์ความเข้มข้น 0.1 M. ใส่ในสารละลาย 0.5 M. H_2SO_4 โดยปิเปตต์ไพโรลมอนอเมอร์มา 0.32 ml. ใส่ลงในสารละลาย 0.5 M. H_2SO_4 50 ml. และนำไปปั่นด้วยที่ปั่นกวนให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน

3.3.4 การเตรียมขั้วไฟฟ้าแคโทดเชิงประกอบของพอลิไพโรลกับแมงกานีสไดออกไซด์

ใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ 0.1 โมล ไพโรลมอโนเมอร์ และ 0.2 โมล แมงกานีสซัลเฟตในอัตราส่วนต่างๆ

3.3.5 ขั้นตอนการอิเล็กโทรดิโพสิต

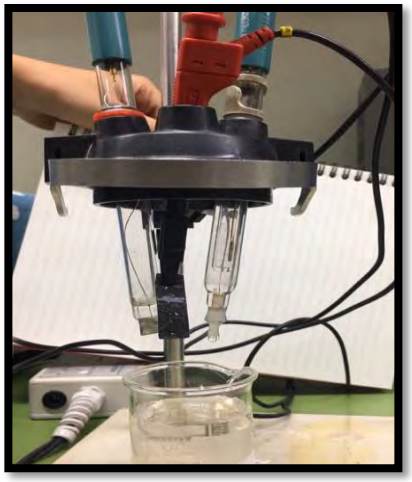
3.3.5.1 นำสารละลายที่ผสมระหว่างพอลิไพโรลและแมงกานีสไดออกไซด์ ในอัตราส่วนต่างๆ 1:0, 1:1, 1:2, 1:4 และ 0:1 ตามลำดับ

3.3.5.2 นำมาทำการอิเล็กโทรดิโพสิตด้วยเครื่องกัลวาโนสเตท (Potentiostat/galvanostat) โดยประกอบด้วย 3 ขั้ว ดังนี้

1. Reference Electrode คือ AgCl

2. Counter Electrode คือ Platinum

3. Working Electrode คือ กระดาษคาร์บอน ดังภาพ



รูปที่ 3.1 การอิเล็กโทรดิโพสิตด้วยเครื่องกัลวาโนสเตท (Potentiostat/galvanostat)

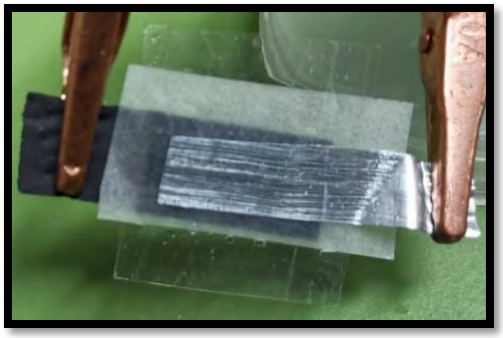
ซึ่งทำการอิเล็กโทรดิโพสิตด้วยพารามิเตอร์

$I = 8\ mA \cdot cm^{-2}$ (กระแสไฟฟ้า)

t = 900 s. (เวลา)

3.3.6 ขั้นตอนการประกอบเซลล์ขั้วไฟฟ้าและการทำบรรจุภัณฑ์

นำแผ่นโลหะซิงค์ขนาด 1 เซนติเมตร × 1.5 เซนติเมตร มาวางเพื่อที่จะทำเป็นขั้วแอโนดวางลงบนเทปใส และนำกระดาษกรองที่มีการดูดซับสารละลายซิงค์ซัลเฟตขนาด 1.2 เซนติเมตร × 3 เซนติเมตร วางทับบนแผ่นโลหะซิงค์ เพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นโลหะซิงค์สัมผัสกับกระดาษคาร์บอนที่มีการอิเล็กโทรดิโพสิตแล้ว โดยทำการวางแผ่นกระดาษคาร์บอนที่ทำการอิเล็กโทรดิโพสิตแล้วที่ผ่านการชุบด้วยเจลอิเล็กโทรไลต์ นำไปประกบกัน และติดด้วยแผ่นเทปใสทับลงไป ทำให้ได้เซลล์ขั้วไฟฟ้า ดังภาพ ที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การประกอบเซลล์ขั้วไฟฟ้าแคโทด

3.3.7 ขั้นตอนการเตรียมเจลอิเล็กโทรไลต์

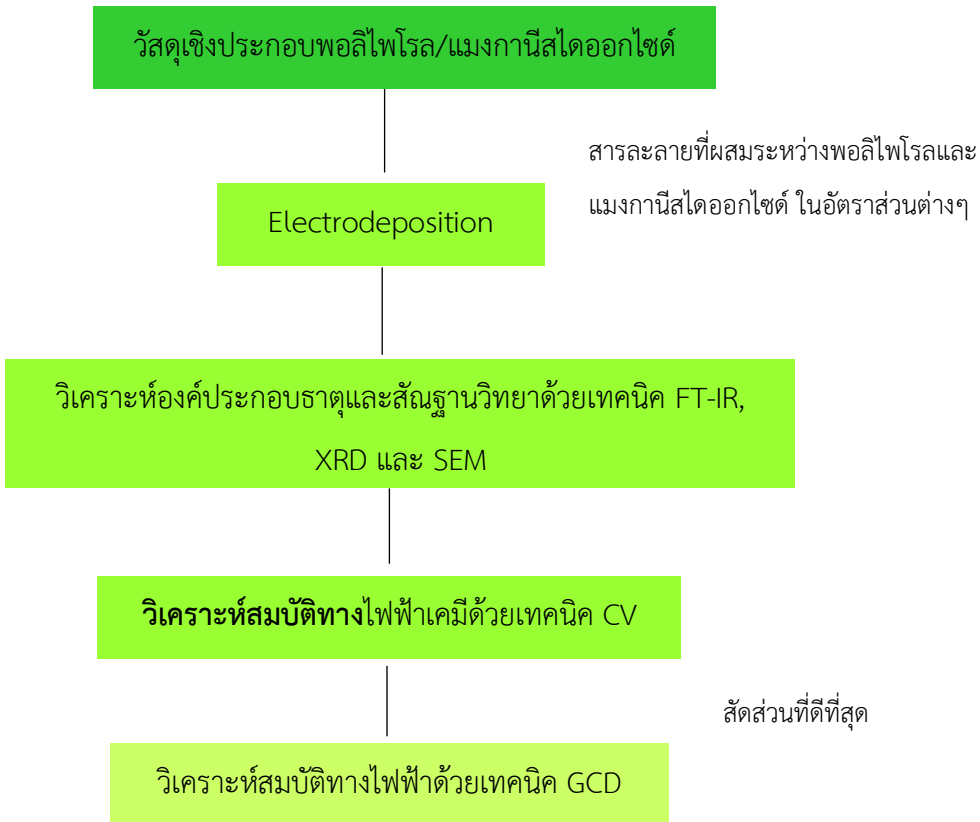
ซิงค์ซัลเฟต ความเข้มข้น 3 โมล นำไปละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เมื่อสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ทำการเติมโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 5 มิลลิกรัม แล้วนำไปปั่นกวนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียล

3.3.8 การวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าเคมี

3.3.8.1 นำขั้วไฟฟ้าที่ทำการขึ้นขั้วแล้วมาทำการทดสอบการอัดและจ่ายประจุด้วยเครื่องทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่ (Battery Testing Machine) โดยอัดประจุที่ปริมาณคูลอมบ์ต่างๆ ในช่วงความต่างศักย์ตั้งแต่ 0.8 ถึง 1.8 โวลต์

3.4 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการทดลอง

3.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ระยะเวลาการดำเนินงานตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2562 ถึง พฤษภาคม 2563 ดังตารางที่ 3.1

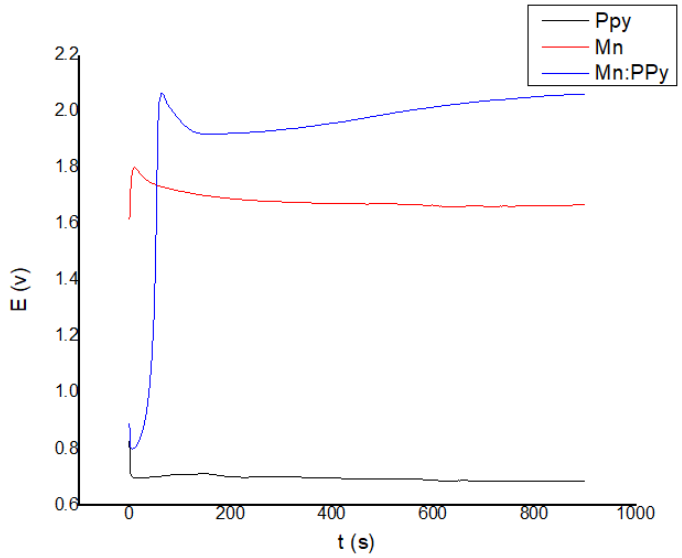
ตารางที่ 3.1 ขอบเขตระยะเวลาการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	เดือน									
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
1.รวบรวม จัดหาสารเคมี และอุปกรณ์ที่ใช้	←	→								
2.สังเคราะห์พอลิไพโรล และแมงกานีสไซด์ออกไซต์		←	—	→						
3.หาสภาวะที่เหมาะในการอิเล็กโทรดิโพสิต				←	—	→				
4.ประกอบเซลล์แบตเตอรี่และหาบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม						←	→			
5.ทดสอบคุณสมบัติทางสัณฐานวิทยา/สมบัติทางไฟฟ้าเคมี							←	—	→	
6.รายงานและวิเคราะห์ ผลการทดลอง									←	→

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการเตรียมพอลิไพโรลและแมงกานีสไดออกไซด์



รูปที่ 4.1 ผลการอิเล็กโทรดิโพสิตของพอลิไพโรลแมงกานีส และ พอลิไพโรล: แมงกานีส

จากผลการเตรียมการอิเล็กโทรดิโพสิต ดังรูปที่ 4.1 โดยเตรียมการอิเล็กโทรดิโพสิตที่ความเข้มข้นของกระแสเท่ากับ 8 mA/cm^2 เป็นเวลา 900 วินาที

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของขั้วแคโทดที่ผ่านการอิเล็กโทรดิโพซิตที่อัตราส่วนต่างๆ โดยเฉลี่ย

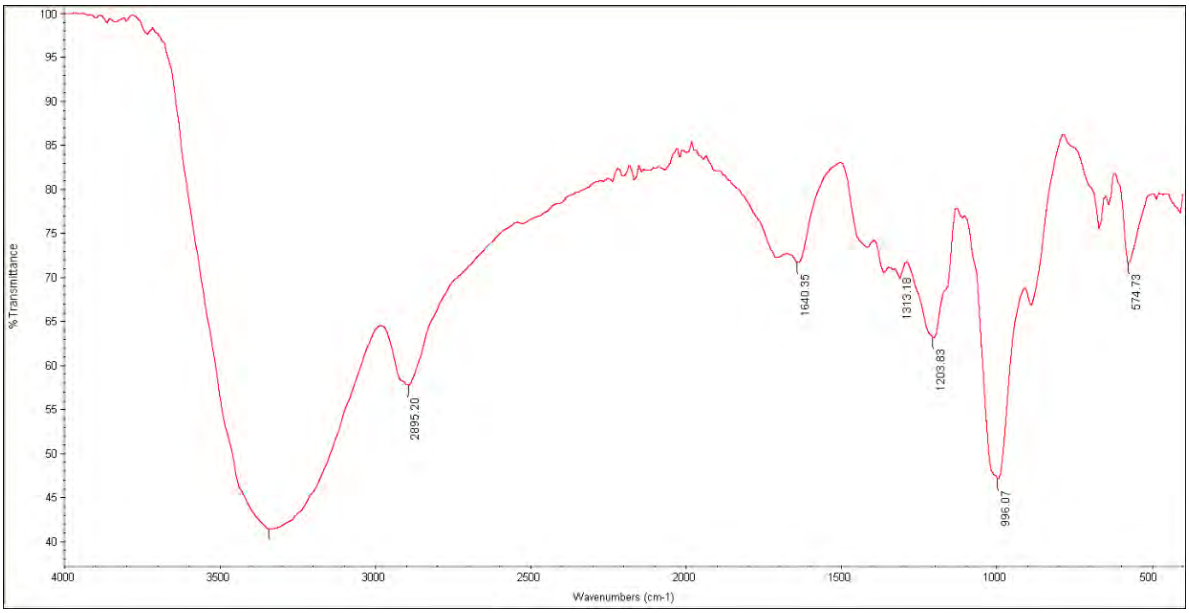
อัตราส่วน	น้ำหนักเฉลี่ยน (mg.)
พอลิไพโรล: แมงกานีสไดออกไซต์ 1:0	1
พอลิไพโรล: แมงกานีสไดออกไซต์ 1:1	2.7
พอลิไพโรล: แมงกานีสไดออกไซต์ 1:2	1.2
พอลิไพโรล: แมงกานีสไดออกไซต์ 1:4	1
พอลิไพโรล: แมงกานีสไดออกไซต์ 0:1	0.7

4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุ

4.2.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังชันทางเคมี

การวิเคราะห์ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี

จากรูปที่ 4.2.1 ได้แสดงผลสเปกตรัมแสดงหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) ของพอลิไพโรลจากการอิเล็กโทรดิโพสิตในช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ 400-4,000 cm^{-1} เพื่อดูค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความถี่ต่างๆ โดยที่เลขคลื่นประมาณ 3,400 cm^{-1} พบว่าเกิดพีคในลักษณะกว้างเกิดขึ้น โดยบ่งบอกถึงการสั่นของหมู่ฟังก์ชัน N-H, เลขคลื่น 1,203 cm^{-1} พบพีคที่มีลักษณะแหลม บ่งบอกถึงการมีหมู่ฟังก์ชันของ C-N, เลขคลื่น 1,313 cm^{-1} พบพีคที่บ่งบอกถึงการมีหมู่ฟังก์ชันของ C-H และเลขคลื่นที่ 1,640 cm^{-1} พบพีคที่บ่งบอกถึงการมีหมู่ฟังก์ชันของ C=C โดยทั้ง 3 หมู่ฟังก์ชันนี้ เป็นการบ่งบอกถึงโครงสร้างของการมีวงอะโรมาติกของพอลิไพโรล โดยมีลักษณะดังรูป 4.2

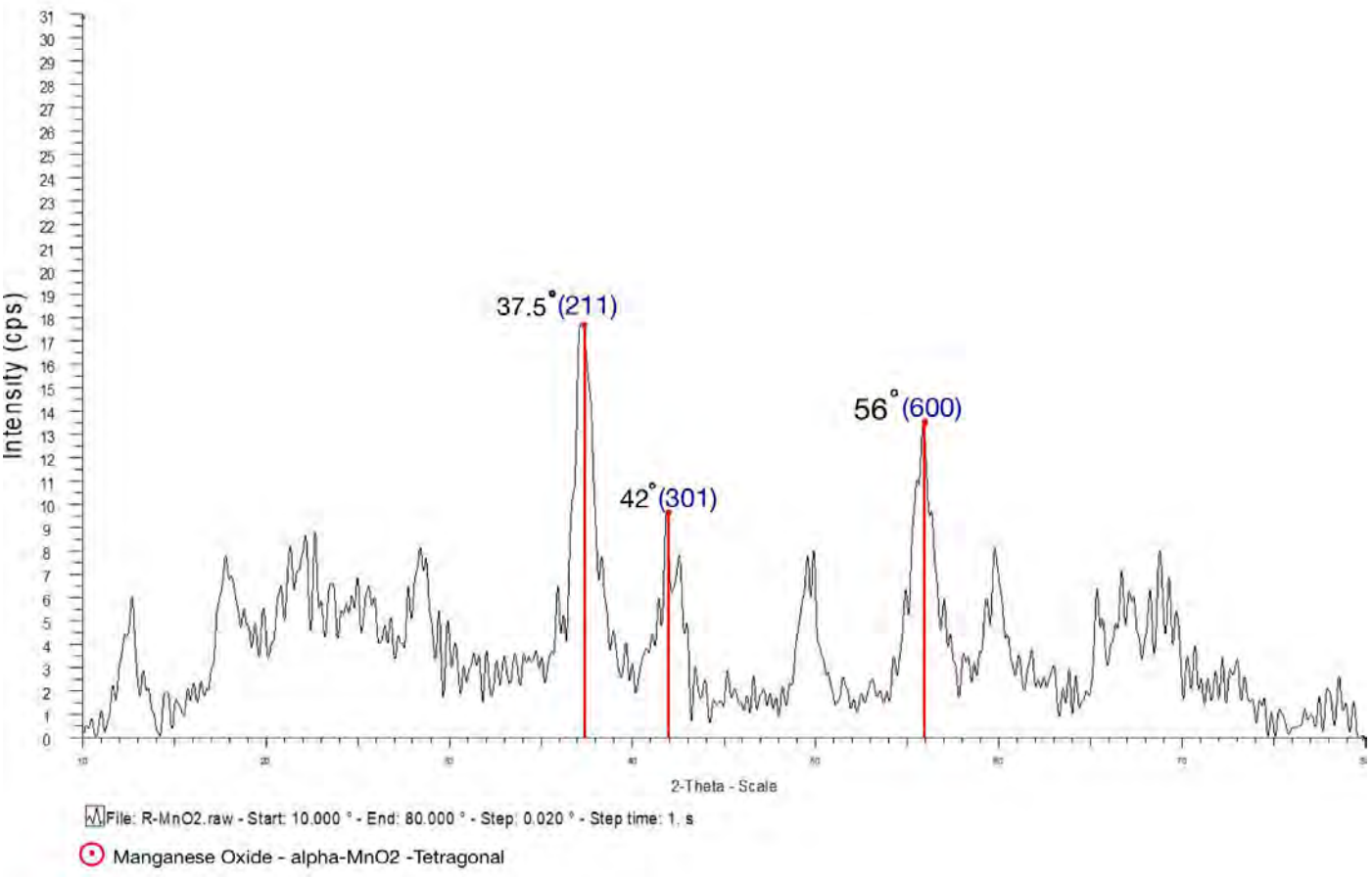


รูปที่ 4.2 การวิเคราะห์เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ของพอลิไพโรล

4.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบเฟส

การวิเคราะห์องค์ประกอบเฟสด้วยเทคนิค X-ray Diffractometer (XRD)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเฟสของแมงกานีสไดออกไซต์ ด้วยเทคนิค X-ray Diffractometer (XRD) ดังแสดงในรูป 4.3 พบว่าปรากฏเฟสของแมงกานีสไดออกไซต์ เป็นเฟสหลัก โดยมีความเข้มพีคสูงสุดที่ตำแหน่ง 2-theta ที่มุมประมาณ 37.5 องศา ซึ่งบ่งบอกถึงการมีระนาบ 211 รองลงมาอยู่ที่ 56 บ่งบอกถึงการมีระนาบแบบ 600 และ 40 องศา บ่งบอกถึงการมีระนาบ 310 ตามลำดับ



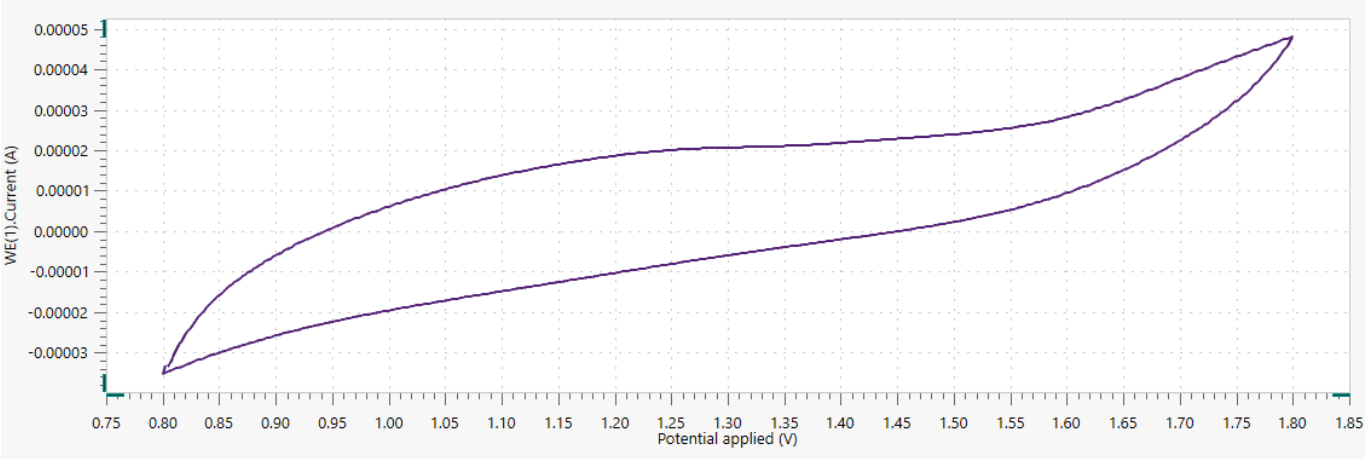
รูป 4.3 วิเคราะห์องค์ประกอบเฟสของแมงกานีสไดออกไซต์ด้วยเทคนิค X-ray Diffractometer (XRD)

4.3 การวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าเคมี

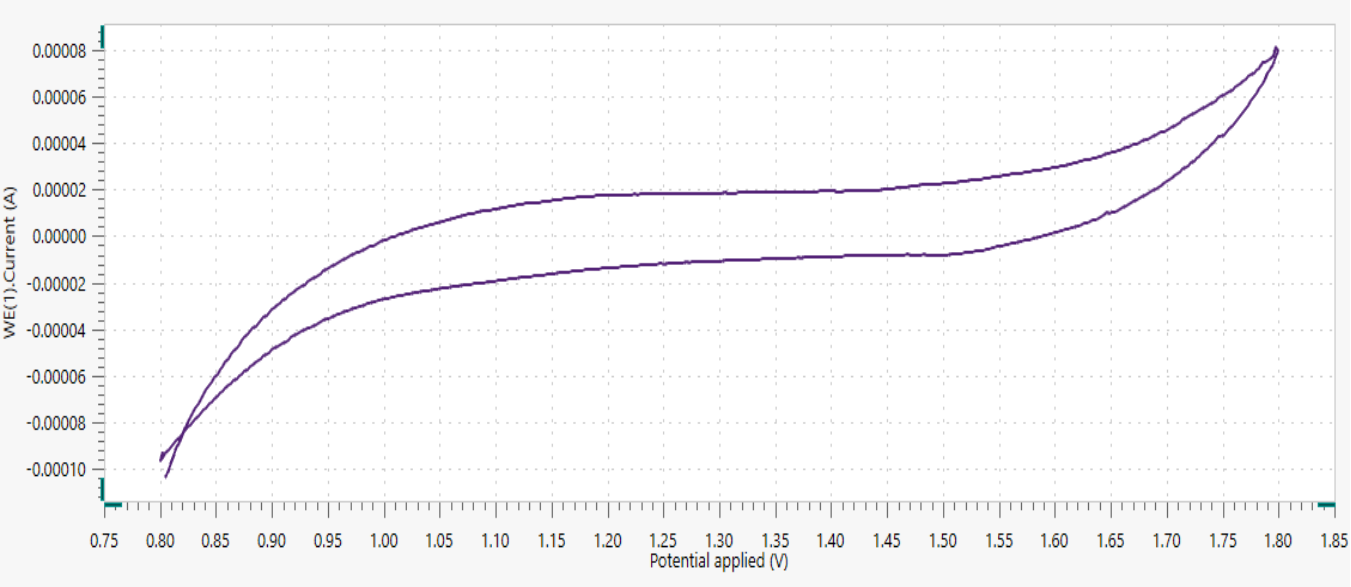
4.3.1 วิเคราะห์ด้วยเทคนิคไซคลิกโวททาเมทรี (CV)

การวิเคราะห์ความสามารถในการเก็บประจุ โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวททาเมทรี (Cyclic voltammetry, CV) โดยเป็นการพล็อตกราฟระหว่างแกนตั้งเป็นกระแสไฟฟ้า แกนนอนเป็นศักย์ไฟฟ้า และใช้เจลอิเล็กโทรไลต์ คือ ซิงค์ซัลเฟต 3 โมล ผสมกับ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร โดยใช้ scan rate ที่ 0.5 mV/s

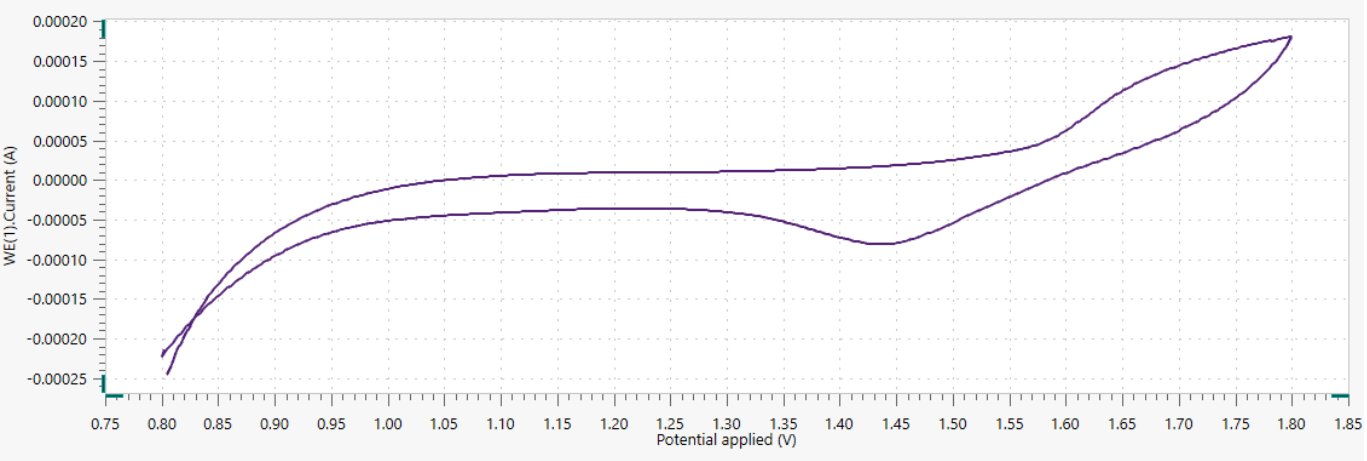
ในการทดสอบความสามารถในการเก็บประจุ โดยการให้อัตราส่วนของ พอลิไพโรล: แมงกานีสไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน ดังนี้ พอลิไพโรล 1 แมงกานีส 0, พอลิไพโรล 1 แมงกานีส 2, พอลิไพโรล 0 แมงกานีส 1 ให้ผลดัง รูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ และสามารถเปรียบเทียบผลการเก็บประจุ ได้ดังรูปที่ 4.7 พบว่าขั้วแคโทดที่ประกอบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์เพียงอย่างเดียว ให้ความสามารถในการเก็บประจุมากที่สุด โดยมีการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ศักย์ไฟฟ้า 1.3 และ 1.6 ดังในรูปที่ 4.6 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับขั้วแคโทดที่มีการเติมพอลิไพโรลที่อัตราส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าการเติมพอลิไพโรลลงไปจะไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (ลดลง)



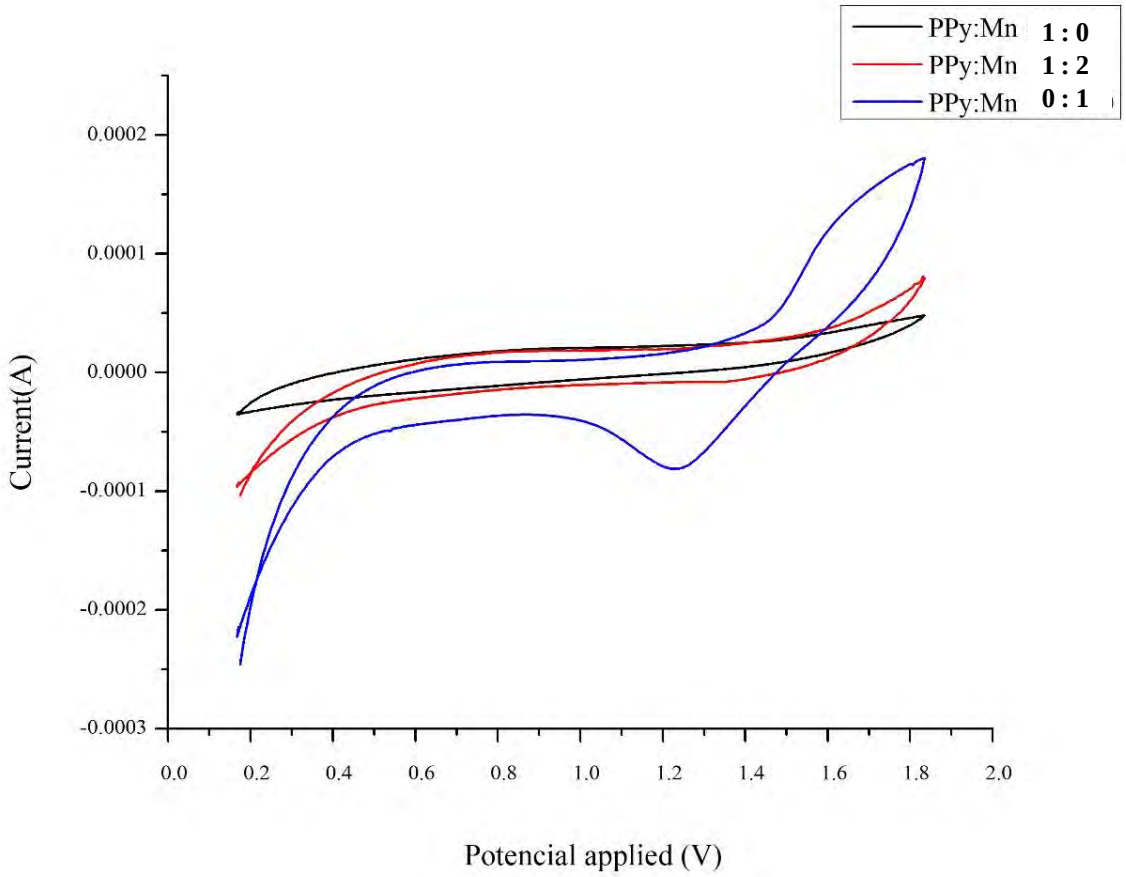
รูปที่ 4.4 ความสามารถในการเก็บประจุของขั้วแคโทด ในอัตราส่วนพอลิไพโรล 1 ต่อ แมงกานีสไดออกไซด์ 0



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการเก็บประจุของขั้วแคโทด ในอัตราส่วนพอลิไพโรล 1 ต่อ แมงกานีสไดออกไซด์ 2



รูปที่ 4.6 ความสามารถในการเก็บประจุของขั้วแคโทด ในอัตราส่วนพอลิไพโรล 0 ต่อ แมงกานีสไดออกไซด์ 1



รูปที่ 4.7 ความสามารถในการเก็บประจุของขั้วแคโทด ระหว่างพอลิไพโรล: แมงกานีสไดออกไซด์ที่อัตราส่วนแตกต่างกัน ดังนี้ พอลิไพโรล 1 แมงกานีสไดออกไซด์ 0, พอลิไพโรล 1 แมงกานีสไดออกไซด์ 2, พอลิไพโรล 0 แมงกานีสไดออกไซด์ 1

4.3.2 วิเคราะห์ด้วยเทคนิคกัลล์วาโนสแตติก ชาร์จ-ดิสชาร์จ (GCD)

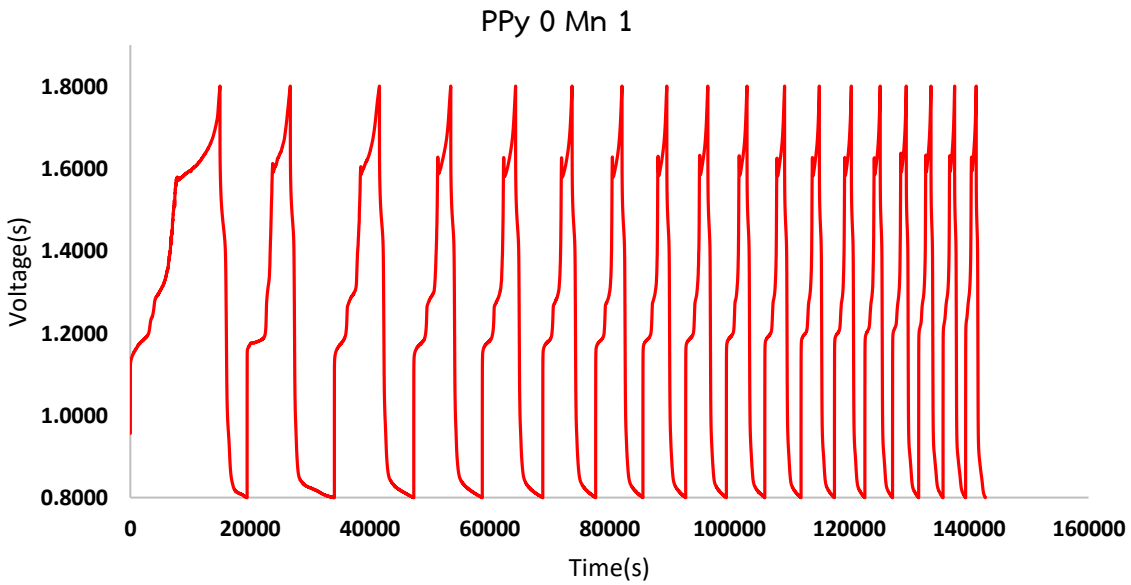
การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคกัลล์วาโนสแตติก ชาร์จ-ดิสชาร์จ (Galvanostatic charge-discharge curve, GCD) เป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ และนำมาพล็อตเป็นกราฟระหว่างเวลาและความต่างศักย์ โดยนำแบตเตอรี่ที่เตรียมได้ มาวัดการอัดและคายประจุด้วยเครื่องแบตเตอรี่เทสเตอร์แมชชีน โดยให้กระแสไฟฟ้าที่ 0.5 มิลลิแอมแปร์ จำนวน 100 รอบ โดยนำรอบที่ 3-รอบที่ 20 มาพล็อตเป็นกราฟ ที่อัตราส่วนระหว่าง พอลิไพโรล: แมงกานีส 1:0, 1:1, 1:2, 1:4 และ 0:1 ตามลำดับ โดยทำการทดสอบการอัดประจุที่ปริมาณคูลอมบ์ต่างๆ ในช่วงความต่างศักย์ตั้งแต่ 0.8-1.8 โวลต์ ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.8 - 4.12 โดยตัวอย่าง ทุกตัวอย่างแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถในการอัดและคายประจุได้ในระยะเวลา 20รอบของการใช้งาน

แสดงให้เห็นว่าเป็นแบตเตอร์รี่แบบทุติยภูมิ และด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ส่งผลให้พฤติกรรมการใช้งานในระยะเวลา 20 รอบที่ แตกต่างกัน ดังนี้

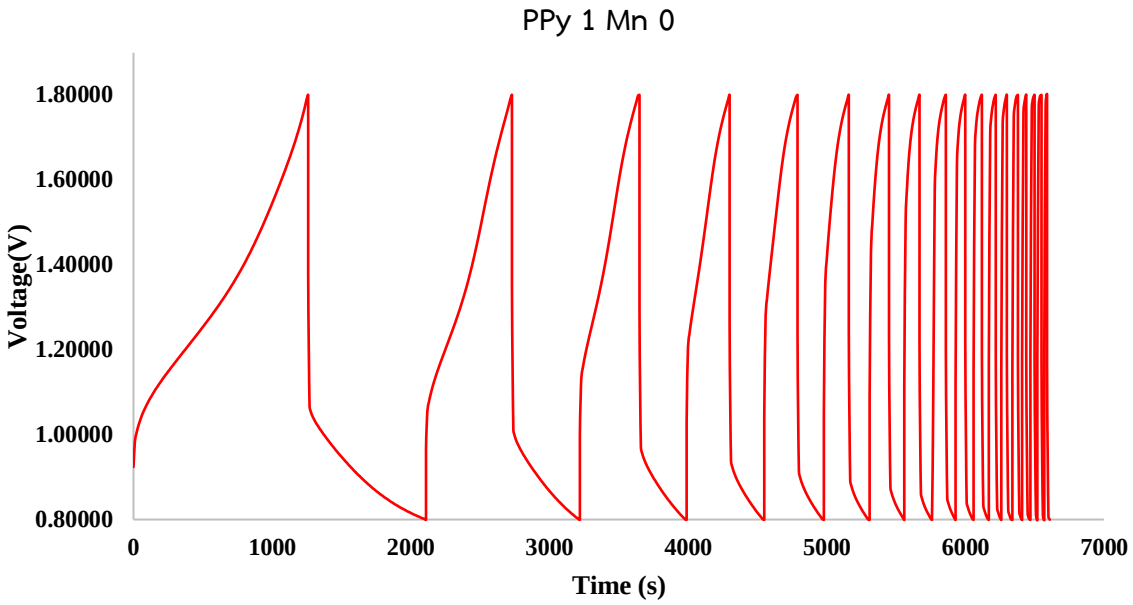
1) ขั้วแคโทดที่มีอัตราส่วนของแมงกานีสไดออกไซด์ อย่างเดียว ในระยะเวลา 20 รอบมีระยะเวลาการใช้งานได้ถึง 140,000 วินาที แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพต่อรอบการใช้งานได้สูงสุด ดังรูปที่ 4.8

2) ขั้วแคโทดที่มีอัตราส่วนของพอลิไพโรลอย่างเดียว สามารถให้ประสิทธิภาพต่อรอบที่สูงในช่วงแรก แต่เมื่อจำนวนรอบที่สูงขึ้นประสิทธิภาพต่อรอบมีค่าตกลง ดังรูปที่ 4.9 โดยแสดงระยะเวลาการใช้งาน 6,600 วินาที

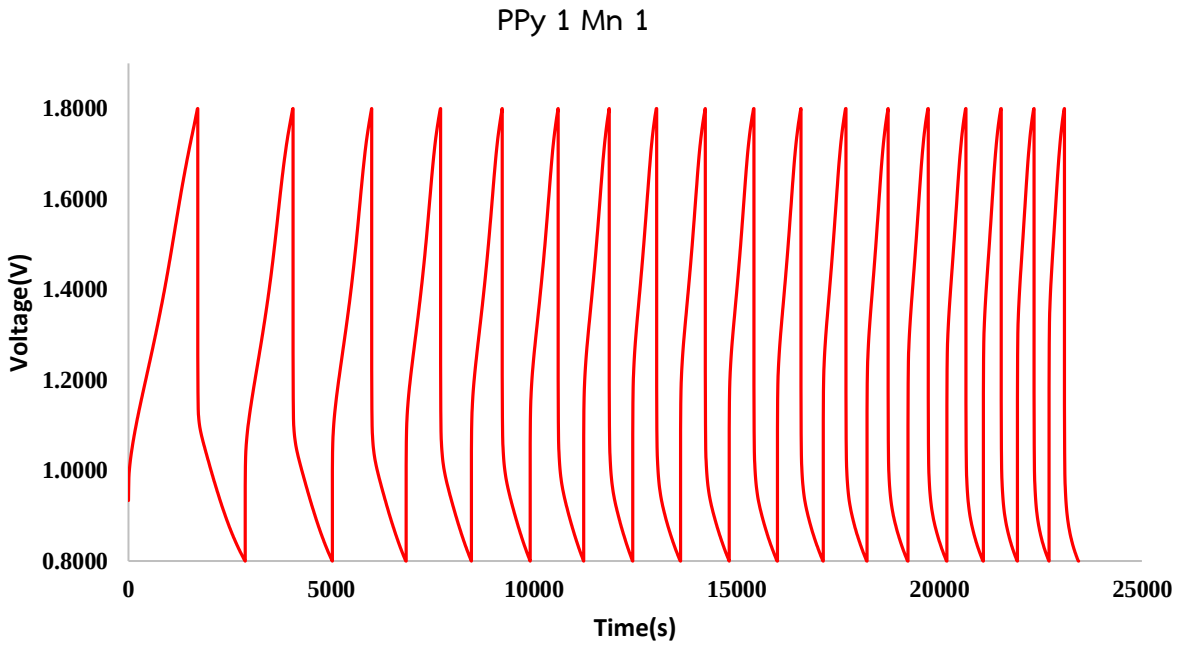
3) ขั้วแคโทดที่มีอัตราส่วนของพอลิไพโรล:แมงกานีสที่อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:4 ดังรูปที่ 4.10-4.12 ซึ่งการเติม แมงกานีสไดออกไซด์ จะช่วยไปปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิไพโรล โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ พอลิไพโรล : แมงกานีส 1:2 ให้ประสิทธิภาพต่อรอบการใช้งานอยู่ที่ 35,000 วินาที อัตราส่วนที่ให้ค่ารองลงมา คือ พอลิไพโรล: แมงกานีส 1:4 ให้ประสิทธิภาพต่อรอบการใช้งานอยู่ที่ 30,000 วินาที และอัตราส่วนของพอลิไพโรล: แมงกานีส 1:1 ให้ประสิทธิภาพต่อรอบการใช้งานอยู่ที่ 24,000 วินาที



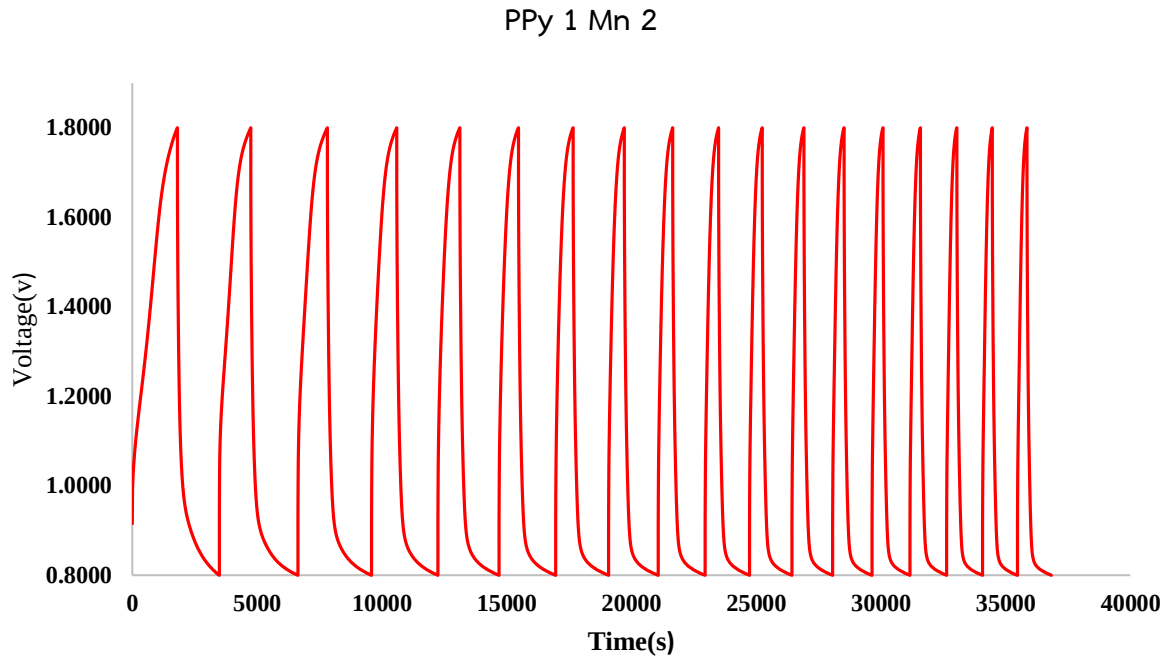
รูปที่ 4.8 การทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ที่ขั้วแคโทดเป็น แมงกานีสไดออกไซด์



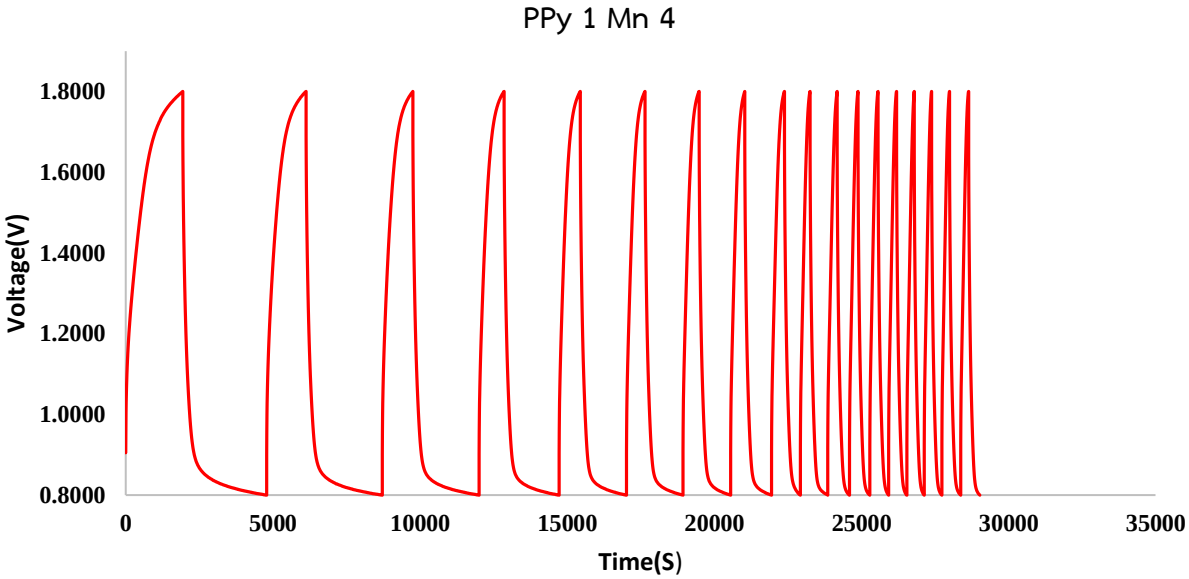
รูปที่ 4.9 การทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ที่ขั้วแคโทดเป็น พอลิไพโรล



รูปที่ 4.10 การทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ที่ขั้วแคโทดเป็น พอลิไพโรล: แมงกานีสไดออกไซด์ 1:1



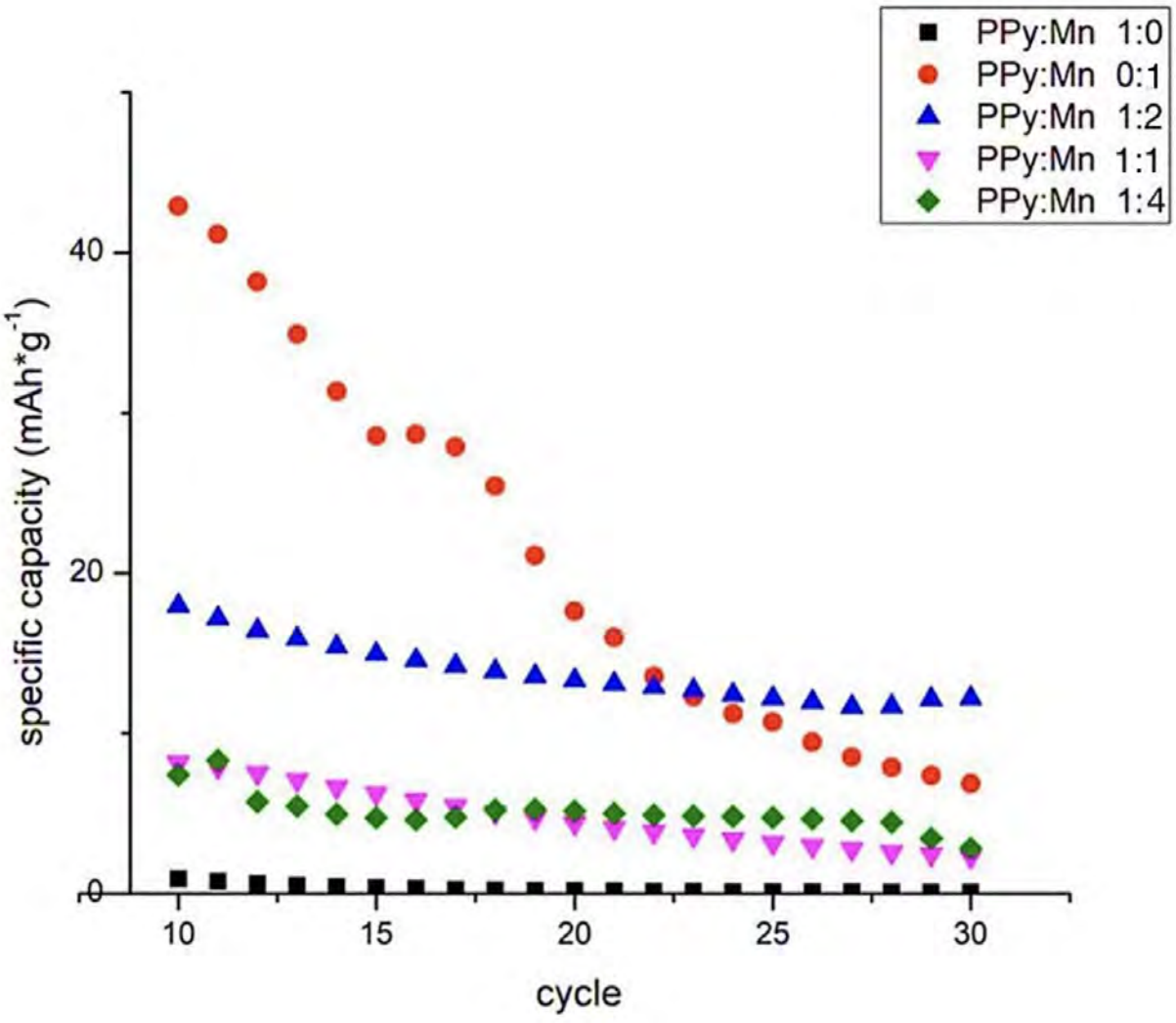
รูปที่ 4.11 การทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ที่ขั้วแคโทดเป็น พอลิไพโรล: แมงกานีสไดออกไซด์ 1:2



รูปที่ 4.12 การทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ที่ขั้วแคโทดเป็น พอลิไพโรล: แมงกานีสไดออกไซด์ 1:4

4.3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่เมื่อใช้งานระยะเวลายาว (Cycle retention)

เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่เมื่อใช้งานระยะเวลายาว โดยเปรียบเทียบระหว่างความจุไฟฟ้าต่อจำนวนรอบของการทำงานของแบตเตอรี่ จากกราฟที่ 4.13 จะสังเกตได้ว่า ผลการทำงานของแบตเตอรี่สามารถทำงานในการอัดและคายประจุได้มากถึง 30 รอบ โดยมีการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่ที่ขั้วแคโทดที่ประกอบด้วยพอลิไพโรลและแมงกานีสไดออกไซด์ที่อัตราส่วนต่างๆ ดังนี้ พอลิไพโรล, พอลิไพโรล 1 ต่อ แมงกานีสไดออกไซด์ 1, พอลิไพโรล 1 ต่อ แมงกานีสไดออกไซด์ 2, พอลิไพโรล 1 ต่อแมงกานีสไดออกไซด์ 4 และ แมงกานีสไดออกไซด์ส ผลคือเมื่อจำนวนการทำงานของแบตเตอรี่ผ่านไป 30 รอบ จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ที่ขั้วแคโทดประกอบด้วยพอลิไพโรลและแมงกานีสไดออกไซด์ที่อัตราส่วน 1:2 ให้ประสิทธิภาพความจุไฟฟ้าที่สูงกว่าอัตราส่วนที่มี แมงกานีสไดออกไซต์อย่างเดียว ซึ่งมีค่าการปล่อยประจุสูงที่สุดในระยะแรกและค่อยๆ ลดลงมาจนน้อยกว่าในรอบที่ 25 ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่เมื่อใช้ระยะเวลายาว

ตารางที่ 4.2 เสถียรภาพในการเก็บประจุ

อัตราส่วนโมล	จำนวนรอบ		เสถียรภาพในการเก็บประจุ (%)
	10	30	
พอลิไพโรล : แมงกานีสไดออกไซด์ 1:2	18.0	12.20	67.80
พอลิไพโรล : แมงกานีสไดออกไซด์ 1:4	7.44	2.83	38.06
พอลิไพโรล : แมงกานีสไดออกไซด์ 1:1	8.19	2.30	28.10
พอลิไพโรล : แมงกานีสไดออกไซด์ 0:1	42.90	6.87	16.03
พอลิไพโรล : แมงกานีสไดออกไซด์ 1:0	0.94	0.09	9.60

เสถียรภาพในการเก็บประจุของขั้วแคโทดที่อัตราส่วนของพอลิไพโรล: แมงกานีสไดออกไซด์ต่างๆ โดยเปรียบเทียบตั้งแต่รอบการอัดและคายประจุที่ 10 จนถึง รอบที่ 30 ดังตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าขั้วแคโทดเมื่อผ่านการใช้งานไป 30 รอบ สังเกตได้ว่าที่อัตราส่วนระหว่าง พอลิไพโรล: แมงกานีส 1:2 สามารถคงเสถียรภาพในการเก็บประจุที่สูงที่สุด คือ คงไว้ที่ 67.80 %

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการเตรียมวัสดุเชิงประขั้วแคโทด พอลิไพโรล/แมงกานีสไดออกไซด์ที่อัตราส่วนพอลิไพโรล: แมงกานีส ดังนี้ 1:0, 1:1, 1:2, 1:4 และ 0:1 ด้วยวิธีการอิเล็กโทรดิโพสิต เพื่อนำไปใช้เป็นแบตเตอรี่ทุติยภูมิ โดยใช้กระแสไฟฟ้าในการฝังตัวทางเคมไฟฟ้าที่ 8 มิลลิแอมแปร์ เป็นเวลา 900 วินาที ในการฝังตัวทางเคมีไฟฟ้าของพอลิไพโรล/แมงกานีสไดออกไซด์ และการฝังตัวทางเคมีไฟฟ้าร่วมกันระหว่างแมงกานีสไดออกไซด์และ พอลิไพโรล โดยนำมาประกอบเป็นเซลล์แบตเตอรี่โดยมีขั้วแอโนดเป็นโลหะสังกะสี และใช้เจลอิเล็กโทรไลต์เป็นซิงค์ซัลเฟส ที่ 3 โมล โดยมีกระดาษกรองเป็นตัวกั้น (separator) และห่อด้วยเทปใส โดยผลการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าเคมี ในการเก็บประจุไฟฟ้าเคมีของระบบแบตเตอรี่สังกะสี พอลิไพโรล/แมงกานีสไดออกไซด์ ศึกษาประสิทธิภาพการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าแคโทดจากวัสดุเชิงประกอบของ พอลิไพโรล/แมงกานีสไดออกไซด์ ที่สังเคราะห์ได้โดยจากการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าเคมีด้วยเทคนิคไซคลิกโวททาเมทรี พบว่าวัสดุเชิงประกอบของแมงกานีสไดออกไซด์ให้ผลดีที่สุด จึงมีการเติมแมงกานีสไดออกไซด์ลงไปจะช่วยไปปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิไพโรลให้ดียิ่งขึ้น และจากการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าเคมีด้วยเทคนิคกัลล์วาโนสแตติก ชาร์จ ดีสชาร์จ เพื่อเปรียบเทียบการอัดและการคายประจุของกระแสไฟฟ้า พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ พอลิไพโรลต่อแมงกานีสไดออกไซด์ที่ 1:2 เนื่องจากเมื่อผ่านการใช้งานไป 30 รอบ ยังคงสามารถคงเสถียรภาพในการเก็บประจุไว้ได้ถึง 67.80 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในการทดสอบควรมีการทดสอบสมบัติ การโค้งงอของขั้วแคโทด เพื่อให้ได้ผลที่สามารถสรุปได้ว่าขั้วแคโทดนี้สามารถโค้งงอและยังคงประสิทธิภาพไว้ดังเดิม

2) ควรทำการทดสอบทางสัณฐานวิทยาโดยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อหาความสอดคล้องทางสัณฐานวิทยากับประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] ณปภัช พิมพ์ดี.เซลล์ไฟฟ้าเคมี [ออนไลน์] แหล่งที่มา : https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7181-2017-06-05-14-40-23 [มีนาคม 2019]

[2] ผศ. ผกาวดี แก้วกันเนตร.เซลล์เชื้อเพลิง [ออนไลน์] แหล่งที่มา : https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7156-fuel-cells [มิถุนายน 2017]

[3] BrunoScrosati และคณะ. Rechargeable lithium cells *Modern Batteries (Second Edition) An Introduction to Electrochemical Power Sources*, 1997, 198-242.

[4] Ning Zhang และคณะ. Rechargeable aqueous zinc-manganese dioxide batteries with high energy and power densities. *Nature Communications*, 2017, 1-9.

[5] B.N. Grgur และคณะ. Polypyrrole as possible electrode materials for the aqueous-based Rechargeable zinc batteries. *Electrochemical Acta 53*, 2008, 4627-4632.

[6] R.Bagherzadeh และคณะ. Electrospun conductive nanofibers for electronics. *Electrospun Nanofibers Woodhead Publishing Series in Textiles*, 2017, 467-519.

[7] Jiaqi wang และคณะ, A flexible,electrochromic,rechargeable Zn//PPy battery with a shot circuit chromatic warning function. *Journal of Materials Chemistry A*, 2018, 11113-11118.

[8] AimeiWu และคณะ, Polyaniline and polypyrrole oxygen electrodes. *SyntheticMetals*, 2007, 303-310.

[9] R.K.Sharma et al, Manganese oxide embedded polypyrrole nanocomposites for electrochemical supercapacitor. *Electrochemical Acta 53*, 2008, 7690-7695.