

การพัฒนากระบวนการนำสังกะสีจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่

Development of Zinc Recovery from spent Zinc Carbon Batteries

โดย

นางสาวณัฐนิชา เกียรติศิริวัฒน์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

โครงการ การพัฒนากระบวนการนำสังกะสีจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่
Development of Zinc Recovery from spent Zinc Carbon Batteries

โดย นางสาวณัฐณิชา เกียรติศิริวัฒน์

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

- | | |
|--|------------------|
| 1. ศาสตราจารย์ ดร.บัญชา พูลโกคา | ประธานกรรมการ |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรณี ลีลาดี | กรรมการ |
| 3. ศาสตราจารย์ ดร.พัชณิตา ธรรมรงค์กิจ | อาจารย์ที่ปรึกษา |

รายงานฉบับนี้ ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี



(ศาสตราจารย์ ดร.พัชณิตา ธรรมรงค์กิจ)
อาจารย์ที่ปรึกษา



(รองศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ โฮვნ)
หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่ 27 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564

Project Title Development of Zinc Recovery from spent Zinc Carbon Batteries
Student Name Miss Natnicha Kiatsiriwatthana Student ID 6033029423
Advisor Name Professor Patchanita Thamyongkit, Ph.D.
Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2020

Abstract

Zinc metal from spent zinc-carbon batteries can be used as an anode electrode in zinc-ion batteries, in order to reduce heavy metal in the zinc-ion batteries that leads to environmental and health issues. Hence, this work attempts to recycle zinc metal from zinc-carbon batteries with a simple, efficient and cost effective strategy by using optimized amount of zinc-carbon powder and time in separating zinc metal from the spent zinc-carbon batteries with deionized water as criterias. Phase identification of solid residues was carried out using X-ray diffraction (XRD), while the quantitative analysis of zinc in the solutions was performed using Inductive coupled plasma- optical emission spectrometer (ICP-OES). Zinc recovery percentage from 5, 25 and 50 g of zinc-carbon powder was found to be 14, 11 and 8%, respectively. After that, the solution giving the optimized amount of zinc was subjected to electrodeposition of zinc on stainless and copper foils, which were tested as anodes in the zinc-ion batteries. The results showed that the zinc-coated copper foil demonstrated better performance than the zinc-coated stainless one by showing stable and higher capacity of 50 mAhg^{-1} at voltage of 1.00-1.75 V with current density of 0.1-0.5 A/g.

Keywords: Recycle, Zinc-carbon batteries, Zinc-ion batteries, Zinc anode

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.พัชณิดา ธรรมรงค์กิจ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะต่างๆ ทำให้ผู้วิจัยดำเนินงานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดจนโครงงานเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.ธีรนนท์ แทนคำ และรองศาสตราจารย์ ดร.รจนา พรประเสริฐสุข ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นอาจารย์หัวหน้าโครงการ การสะสมทางไฟฟ้าของโลหะสังกะสีรีไซเคิลจากแบตเตอรี่อัลคาไลน์และแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้ว ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้ข้อเสนอแนะ ทำให้ผู้วิจัยเข้าใจถึงกระบวนการทำงานและแก้ปัญหาต่างๆได้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ Dr. Jiaqian Qin สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการชุบสังกะสี รวมถึง น.ส.กิตติมา โล่ห์พิมาน ที่ช่วยสอนการชุบสังกะสีลงบนแผ่นสแตนเลส

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือ ในการทดสอบแบตเตอรี่

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มอบทุนโครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ เพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการจัดทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ พี่ๆ สมาชิกทุกคนในหน่วยปฏิบัติการวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี และสาขาวัสดุ ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญภาพ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญกราฟ.....	ก
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	1
1.4.1 การรีไซเคิลแบตเตอรี่.....	1
1.4.2 การสร้างขั้วแอโนดของแบตเตอรี่สังกะสีไอออน.....	2
1.4.3 แบตเตอรี่สังกะสีไอออนชนิดกระดุม	2
บทที่ 2 วิธีการทดลอง.....	3
2.1 สารเคมี วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	3
2.2 การแยกองค์ประกอบฐานสังกะสีออกจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้ว	3
2.3 การแยกโลหะสังกะสีออกจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้วด้วยกระบวนการละลายด้วยน้ำ	4
2.3.1 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในขั้นตอนการละลายด้วยน้ำ	4
2.3.2 การหาปริมาณสังกะสีคาร์บอนที่เหมาะสมในการทดลอง	4
2.4 การสะสมทางไฟฟ้าของสังกะสีเพื่อนำไปใช้เป็นขั้วแอโนดสังกะสีของแบตเตอรี่สังกะสีไอออน	4
2.4.1 การสะสมทางไฟฟ้าของสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิม.....	4
2.4.2 การสะสมทางไฟฟ้าของสังกะสีบนพอลิโพรพิลีน.....	5

2.5 การศึกษาทางเคมีไฟฟ้าเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการอัด-คายประจุ(charge-discharge)และรอบการใช้งาน (cycling performance) ของสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมและฟอยล์ทองแดงซึ่งเป็นขั้วแอโนดในแบตเตอรี่สังกะสีไอออนชนิดกระดุม.....	5
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	7
3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบฐานสังกะสีก่อนและหลังทำการละลายด้วยน้ำจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้ว.....	7
3.2 การสะสมทางไฟฟ้าของสังกะสีเพื่อนำไปใช้เป็นขั้วแอโนดสังกะสีของแบตเตอรี่สังกะสีไอออน	12
3.3 การศึกษาทางเคมีไฟฟ้าเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการอัด-คายประจุ (charge-discharge) และรอบการใช้งาน (cycling performance) ของสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมและฟอยล์ทองแดงซึ่งเป็นขั้วแอโนดในแบตเตอรี่สังกะสีไอออนชนิดกระดุม.....	14
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	18
เอกสารอ้างอิง.....	19
ประวัติผู้วิจัย.....	20

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1. ขั้นตอนการเลื่อยแปดเตอรี.....	3
รูปที่ 2. ส่วนประกอบของแปดเตอรีสังกะสีคาร์บอนหลังจากการแยก	3
รูปที่ 3. ผงของแปดเตอรีสังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้ว	4
รูปที่ 4. เซลล์เคมีไฟฟ้าสำหรับขั้นตอนการสะสมทางไฟฟ้า	5
รูปที่ 5. กระจายแบ่งแยกที่เห็นในสารละลายซิงค์ซัลเฟต.....	5
รูปที่ 6. ส่วนประกอบของแปดเตอรีสังกะสีไอออน.....	6
รูปที่ 7. เครื่องทดสอบแปดเตอรี	6
รูปที่ 8. XRD ของผงสังกะสีคาร์บอนที่ได้จากแปดเตอรีที่ใช้งานแล้ว	8
รูปที่ 9. XRD ของสารตกค้างของแข็งหลังจากละลายด้วยน้ำ.....	11
รูปที่ 10. สังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมจากการสะสมทางไฟฟ้าวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS	12
รูปที่ 11. สังกะสีบนพอลิโพรพิลีนจากการสะสมทางไฟฟ้าวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS.....	12
รูปที่ 12. ผลวิเคราะห์พื้นผิวพอลิโพรพิลีนที่ชุบด้วยสังกะสีด้วยเทคนิค SEM	13
รูปที่ 13. ผลวิเคราะห์พื้นผิวเหล็กกล้าไร้สนิมที่ชุบด้วยสังกะสีด้วยเทคนิค SEM	13
รูปที่ 14. ลักษณะ XRD ของสังกะสีแม่แบบ	13
รูปที่ 15. XRD ของสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมที่ชุบได้	14
รูปที่ 16. XRD ของสังกะสีบนพอลิโพรพิลีนที่ชุบได้	14
รูปที่ 17. กราฟการอัด-คายประจุของสังกะสีเคลือบบนเหล็กกล้าไร้สนิม	15
รูปที่ 18. กราฟการอัด-คายประจุของสังกะสีเคลือบบนพอลิโพรพิลีน	15
รูปที่ 19. ประสิทธิภาพการอัด-คายประจุของสังกะสีที่เคลือบบนเหล็กกล้าไร้สนิมใน 50 รอบ	16
รูปที่ 20. ประสิทธิภาพการอัด-คายประจุของสังกะสีที่เคลือบบนพอลิโพรพิลีนใน 50 รอบ.....	16
รูปที่ 21. ประสิทธิภาพการอัด-คายประจุของสังกะสีที่เคลือบบนพอลิโพรพิลีนใน 100 รอบ	17

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุที่ได้จากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้วด้วยเทคนิค XRF.....	7
ตารางที่ 2 สารละลายมาตรฐานในการทำ calibration curve.....	9
ตารางที่ 3 ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีด้วยเทคนิค ICP เพื่อใช้ปริมาณผงสังกะสีคาร์บอนในการสกัดด้วยน้ำ.....	10
ตารางที่ 4 ผลจากการวิเคราะห์ด้วย ICP ของเวลาที่ใช้ในการละลายผงสังกะสีคาร์บอนด้วยน้ำ.....	10

สารบัญกราฟ

หน้า

กราฟที่ 1 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานสังกะสี.....	9
กราฟที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ZnC (g) ที่ใช้กับปริมาณ Zn (g/L) ที่พบ.....	9
กราฟที่ 3 ความสัมพันธ์ของระยะเวลา (min) ที่ใช้กับปริมาณ Zn (g/L) ที่พบ.....	10

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แบตเตอรี่ชนิดที่ไม่สามารถนำกลับมาอัดกระแสไฟฟ้าได้ใหม่ (non-rechargeable) หรือที่เรียกแบตเตอรี่ปฐมภูมิ (primary battery) เมื่อหมดอายุการใช้งานจะต้องถูกนำไปทิ้งเพราะไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมและปัญหาทางสุขภาพเพราะการกำจัดในปัจจุบันมีเพียงการนำไปฝังกลบ¹ ซึ่งหนึ่งในแบตเตอรี่ชนิดที่เป็น non-rechargeable คือแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอน (zinc-carbon battery) ที่มีส่วนประกอบของสังกะสีเป็นขั้วแอโนดและแมงกานีสไดออกไซด์และคาร์บอนเป็นขั้วแคโทดที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า แบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนถูกจัดให้เป็นขยะอันตรายพิเศษเนื่องจากมีส่วนประกอบของโลหะหลากหลายชนิดทั้งสังกะสี แมงกานีสและโลหะหนักที่เป็นพิษ² งานวิจัยนี้จึงต้องการนำแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนกลับมารีไซเคิลเพื่อลดปริมาณขยะนำไปสู่การลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างแบตเตอรี่ที่มีสังกะสีเป็นส่วนประกอบ โดยงานวิจัยนี้จะเน้นที่กระบวนการแยกโลหะสังกะสีออกจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนด้วยกระบวนการแยกโลหะด้วยน้ำ (hydrometallurgy) ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะมีกระบวนการที่ง่าย ประหยัด ใช้พลังงานต่ำ และปลดปล่อยแก๊สที่เป็นพิษต่ำเมื่อเทียบกับกระบวนการแยกโลหะด้วยความร้อน (pyrometallurgy)³ ในส่วนของแบตเตอรี่ที่มีสังกะสีและแมงกานีสเป็นส่วนประกอบ ผู้วิจัยจึงมีความต้องการแยกองค์ประกอบฐานสังกะสีจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนเพื่อนำกลับมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการทำขั้วแอโนดของแบตเตอรี่สังกะสีไอออนซึ่งเป็นแบตเตอรี่ชนิดอัดกระแสไฟฟ้าใหม่ได้มีความปลอดภัย ต้นทุนการผลิตต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม⁴

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อพัฒนากระบวนการและหาภาวะที่เหมาะสมในการนำกลับสังกะสีจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ผ่านการใช้งานไปใช้ใหม่เป็นขั้วแอโนดของแบตเตอรี่สังกะสีไอออน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้สถานะที่เหมาะสมในการนำกลับสังกะสีจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ผ่านการใช้งานแล้วและวัสดุที่มีประสิทธิภาพสำหรับการชุบสังกะสีซึ่งสามารถนำมาเป็นขั้วแอโนดของแบตเตอรี่สังกะสีไอออน

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.1 การรีไซเคิลแบตเตอรี่

ในปี ค.ศ. 2017 Abedin และคณะ⁵ ได้แยกสังกะสีและแมงกานีสออกจากผงแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วด้วยกระบวนการแยกโลหะด้วยน้ำ ซึ่งใช้ตัวกระทำการละลายคือกรดซัลฟิวริกและตัวรีดิวซ์คือกลูโคส โดยได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ของโลหะสังกะสีและแมงกานีสบริสุทธิ์สูงถึง 82.19 และ 86.54 ตามลำดับ

1.4.2 การสร้างขั้วแอโนดของแบตเตอรี่สังกะสีไอออน

ในปี ค.ศ. 2013 Alisa และคณะ⁶ ได้ศึกษาสัณฐานวิทยาของการแยกสารประกอบทางเคมีด้วยวิธีการสะสมทางไฟฟ้าของสังกะสีจากซิงค์ซัลเฟตบนพื้นผิวของทองแดง เมื่อใช้ความหนาแน่นของกระแส (current density) 0.02 A/cm^2 จะส่งผลให้สัณฐานวิทยาของสังกะสีมีผลดี และทำให้มีประสิทธิภาพประจุไฟฟ้า (charge efficiency) สูงถึง 95.2%

ในปี ค.ศ. 2019 Lolupiman และคณะ⁷ ได้ศึกษาการสะสมทางไฟฟ้าของสังกะสีและซิงค์ไททาเนียมไดออกไซด์บนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ถูกกัดกร่อนในกรดไฮดรอกซอลิก ใช้ความหนาแน่นของกระแส 0.02 A/cm^2 และทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้า พบว่าที่ความหนาแน่นของกระแส 500 mA/g specific capacity ที่ได้คือ 38 mAhg^{-1} จนถึง 20 cycles

1.4.3 แบตเตอรี่สังกะสีไอออนชนิดกระดุม

ในปี ค.ศ. 2019 Lolupiman และคณะ⁷ ได้ศึกษาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของสังกะสีและซิงค์ไททาเนียมไดออกไซด์บนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมสำหรับเป็นขั้วแอโนดในแบตเตอรี่สังกะสีไอออน โดยใช้แบตเตอรี่ชนิดกระดุมทำการทดลอง

บทที่ 2

วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ผงสังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้วจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอน ยี่ห้อ Panasonic ขนาด AA และผงสังกะสีคาร์บอนที่ได้จากโรงงาน

เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer) Rigaku smartlab 30kV พร้อมด้วยรังสี Cu $K\alpha$ ใช้ศึกษาโครงสร้างผลึกและชนิดของธาตุ

เครื่อง Inductive Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) รุ่น iCAP 6500 ใช้ศึกษาหาปริมาณธาตุในสารละลายตัวอย่าง

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) รุ่น JSM-IT200 ใช้ศึกษาขนาดอนุภาค พื้นผิว และชนิดของธาตุบนพื้นผิว

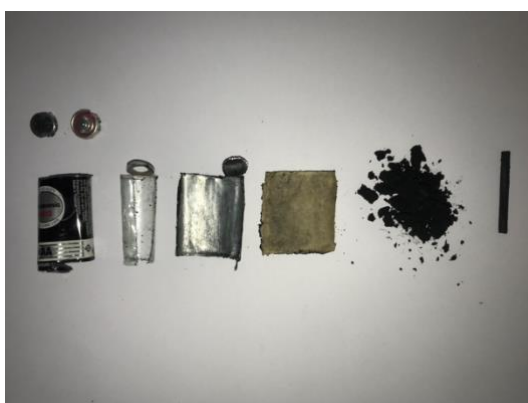
เครื่องทดสอบแบตเตอรี่ (battery testers) รุ่น BTS-4000 ใช้ในการทดสอบแบตเตอรี่ชนิดกระดุม

2.2 การแยกองค์ประกอบฐานสังกะสีออกจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้ว

แบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้วถูกนำมาเลื่อยที่ตำแหน่งหัวและท้ายเพื่อเอาผงของแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้วออกดังแสดงในรูปที่ 1 สามารถใช้มือแยกส่วนประกอบอื่นออกได้ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1. ขั้นตอนการเลื่อยแบตเตอรี่



รูปที่ 2. ส่วนประกอบของแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนหลังจากการแยก

2.3 การแยกโลหะสังกะสีออกจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้วด้วยกระบวนการละลายด้วยน้ำ

2.3.1 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในขั้นตอนการละลายด้วยน้ำ

นำขั้วแอโนดที่ได้จากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้วดังรูปที่ 3 มา 25 g ละลายด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน 100 mL กวนสารทิ้งไว้ 30, 60 และ 120 นาที โดยทำซ้ำอย่างละ 3 ครั้ง แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีด้วยเทคนิค Inductive coupled plasma- optical emission spectrometer (ICP-OES)



รูปที่ 3. ผงของแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้ว

2.3.2 การหาปริมาณสังกะสีคาร์บอนที่เหมาะสมในการทดลอง

นำขั้วแอโนดที่ได้จากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้วปริมาณ 5, 25 และ 50 g ละลายด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน (deionized water) 100 mL กวนสารทิ้งไว้ตามระยะเวลาที่เหมาะสมในหัวข้อ 2.3.1

จากนั้นนำสารละลายมาทำการกรองเพื่อกำจัดของแข็ง แล้วนำสารตกค้างที่เป็นของแข็งไปอบที่อุณหภูมิ 60°C ตามอุณหภูมิของเครื่องอบที่มีในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำของแข็งที่ได้ไปตรวจสอบชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเทคนิค X-ray diffractometer (XRD)

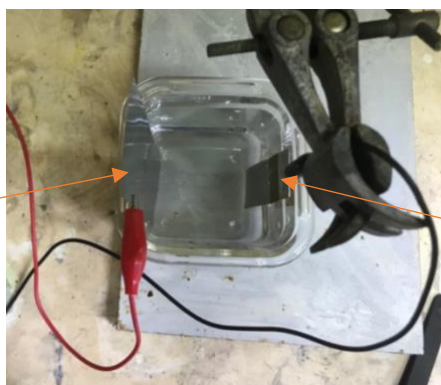
สารละลายที่ได้จากการละลายขั้วแอโนดของแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้วด้วยน้ำที่ปราศจากไอออน จะถูกนำไปวัดหาปริมาณสังกะสีด้วยเทคนิค ICP-OES และนำไปใช้ในขั้นตอนตามหัวข้อที่ 2.4

2.4 การสะสมทางไฟฟ้าของสังกะสีเพื่อนำไปใช้เป็นขั้วแอโนดสังกะสีของแบตเตอรี่สังกะสีไอออน

2.4.1 การสะสมทางไฟฟ้าของสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิม

สารละลายที่ได้จากขั้นตอนในหัวข้อ 2.3.2 ถูกนำไปใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ปริมาณ 150 mL ต่อการสะสมทางไฟฟ้าของสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมหนึ่งครั้ง โดยมีขั้วแคโทด คือ เหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 4 cm x 6 cm ขั้วแอโนด คือ เหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 5 cm x 8 cm โดยให้ความหนาแน่นของกระแส 0.02 A/cm² เป็นเวลา 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4

ขั้วแอโนด: เหล็กกล้าไร้สนิม



ขั้วแคโทด: เหล็กกล้าไร้สนิม

รูปที่ 4. เซลล์เคมีไฟฟ้าสำหรับขั้นตอนการสะสมทางไฟฟ้า

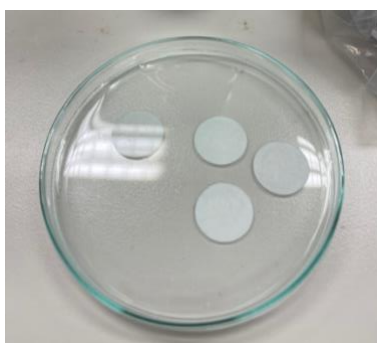
สำหรับการเตรียมขั้วก่อนนำมาใช้ในการทดลองเคมีไฟฟ้า เหล็กกล้าไร้สนิมถูกนำมาผ่านกระบวนการล้างคราบไขมัน (degreasing) และผ่านการกัดกร่อน (etching) เพื่อขจัดฟิล์มที่เคลือบบนแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยกรดไฮโดรคลอริก

2.4.2 การสะสมทางไฟฟ้าของสังกะสีบนฟอยล์ทองแดง

สารละลายที่ได้จากขั้นตอนในหัวข้อ 2.3.2 มี pH เท่ากับ 5 ถูกนำไปใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ปริมาณ 150 ml ต่อการสะสมทางไฟฟ้าของสังกะสีบนฟอยล์ทองแดงหนึ่งครั้ง โดยมีขั้วแคโทด คือ ฟอยล์ทองแดง ขนาด 4 cm x 6 cm ขั้วแอโนด คือ เหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 5 cm x 8 cm โดยให้ความหนาแน่นของกระแส 0.02 A/cm² เป็นเวลา 30 นาที

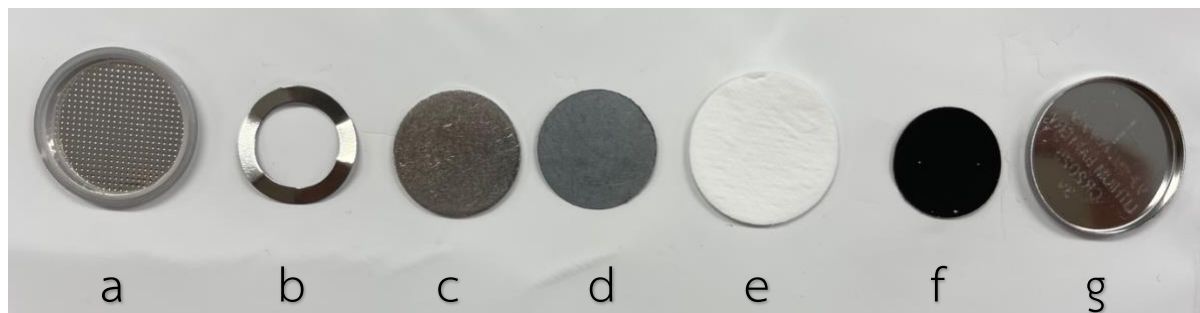
2.5 การศึกษาทางเคมีไฟฟ้าเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการอัด-คายประจุ (charge-discharge) และรอบการใช้งาน (cycling performance) ของสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมและฟอยล์ทองแดงซึ่งเป็นขั้วแอโนดในแบตเตอรี่สังกะสีไอออนชนิดกระดุม

แบตเตอรี่สังกะสีไอออนในการทดลองนี้ คือ แบตเตอรี่ประเภทกระดุม (coin cell) ขนาด 2025 ซึ่งเตรียมได้โดยนำกระดาษแบ่งแยก (separator) มาแช่ใน ZnSO₄ ที่มีความเข้มข้น 2 M เป็นเวลา 20 นาที ดังรูปที่ 5 จากนั้นนำแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมและฟอยล์ทองแดงที่ผ่านการชุบสังกะสีหลังจากถูกรอบให้แห้งไปกดทับแล้วจะให้เป็นรูปร่างกลม



รูปที่ 5. กระดาษแบ่งแยกที่แช่ในสารละลายซิงค์ซัลเฟต

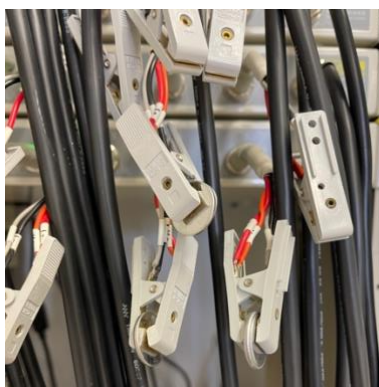
ส่วนประกอบต่าง ๆ ของแบตเตอรี่สังกะสีไอออนดังรูปที่ 6 ถูกนำมาประกอบกันโดยเรียงจากล่างขึ้นบนดังนี้ ฝาปิดด้านแอโนด สปริง แผ่นแทนที่ช่องว่าง ขั้วแอโนด กระจกแบ่งแยก ขั้วแคโทด และฝาปิดด้านแคโทด ตามลำดับ เมื่อประกอบเสร็จให้ใช้มือกดแล้วนำเข้าเครื่องอัดประกอบแบตเตอรี่ (battery crimper) เพื่อให้ฝาปิดทั้งสองด้าน ปิดสนิท



รูปที่ 6. ส่วนประกอบของแบตเตอรี่สังกะสีไอออน ได้แก่ a) ฝาปิดด้านแอโนด b) สปริง c) แผ่นแทนที่ช่องว่าง

d) ขั้วแอโนด e) กระจกแบ่งแยก f) ขั้วแคโทด และ g) ฝาปิดด้านแคโทด

แบตเตอรี่ที่ได้ถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพด้วยเครื่องทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7 โดยตั้งค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 1.00-1.75 V ต่อความหนาแน่นกระแส 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 A/g



รูปที่ 7. เครื่องทดสอบแบตเตอรี่

บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

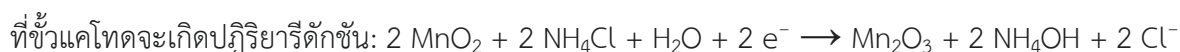
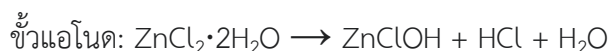
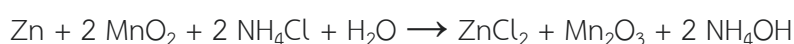
3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบฐานสังกะสีก่อนและหลังทำการละลายด้วยน้ำจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้ว

จากการแกะแบตเตอรี่สังกะสีไอออนที่ใช้แล้วได้ผงสังกะสีคาร์บอนออกมามีรูปที่ 3 ได้นำผงไปวิเคราะห์เพื่อหาชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่างนี้โดยอาศัยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ได้ผลดังตารางที่ 1 พบว่ามีปริมาณสังกะสีอยู่ 29.5 % w/w จากนั้นนำผงสังกะสีคาร์บอนมาทำการทดลอง 25 g แสดงว่าก่อนนำไปละลายด้วยน้ำจะมีปริมาณของสังกะสีในตัวอย่างอยู่ไม่น้อยกว่า 7.4 g

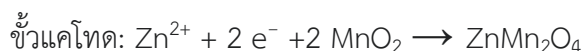
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณธาตุที่ได้จากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้วด้วยเทคนิค XRF

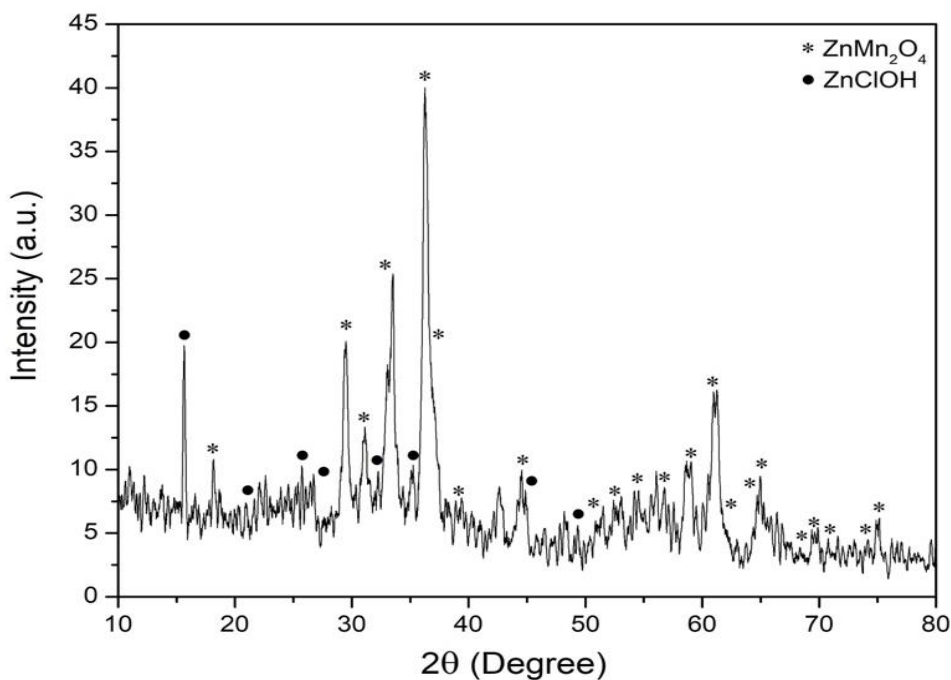
ชนิดของธาตุ	ปริมาณธาตุ (%w/w)
Mn	39.6
Zn	29.5
Cl	8.74

วิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสังกะสีได้ผลดังรูปที่ 8 ในผงสังกะสีคาร์บอนก่อนทำการละลายด้วยน้ำจะพบว่ามีพีคของ $ZnMn_2O_4$ และ $ZnClOH$ ซึ่งเกิดจากกระบวนการทำงานในแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนดังสมการ⁸



$ZnMn_2O_4$ ที่เกิดขึ้นมาจากการที่ Zn^{2+} เกิด intercalation กับ MnO_2 ที่ขั้วแคโทดดังสมการ⁸





รูปที่ 8. XRD ของผงสังกะสีคาร์บอนที่ได้จากแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีด้วยเทคนิค ICP-OES เริ่มจากการเตรียม stock solution สารมาตรฐาน สังกะสีจาก ZnSO_4 0.0373 g ที่ซึ่งมาได้ละลายในน้ำ 100 mL ซึ่งจะมีสังกะสีอยู่ 85.1 ppm โดยคำนวณได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนัก ZnSO}_4 = \frac{1 \text{ mol ZnSO}_4}{100 \text{ ml}} \times \frac{100 \text{ ml}}{1} \times \frac{287.54 \text{ g ZnSO}_4}{1 \text{ mol ZnSO}_4} = 28.758 \text{ g ZnSO}_4$$

$$1 \text{ M ZnSO}_4 = 28754 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 28754 \text{ ppm}$$

$$100 \text{ ppm} = 0.00348 \text{ M} = 0.1 \text{ g ZnSO}_4$$

$$\text{น้ำหนัก Zn} = \frac{65.4 \text{ g Zn}}{1 \text{ mol Zn}} \times \frac{1 \text{ mol Zn}}{1 \text{ mol ZnSO}_4} \times \frac{1 \text{ mol ZnSO}_4}{287.54 \text{ g ZnSO}_4} \times 0.1 \text{ g ZnSO}_4$$

$$= 0.0227 \text{ g Zn ใน } 100 \text{ ml} = 227 \text{ ppm Zn}$$

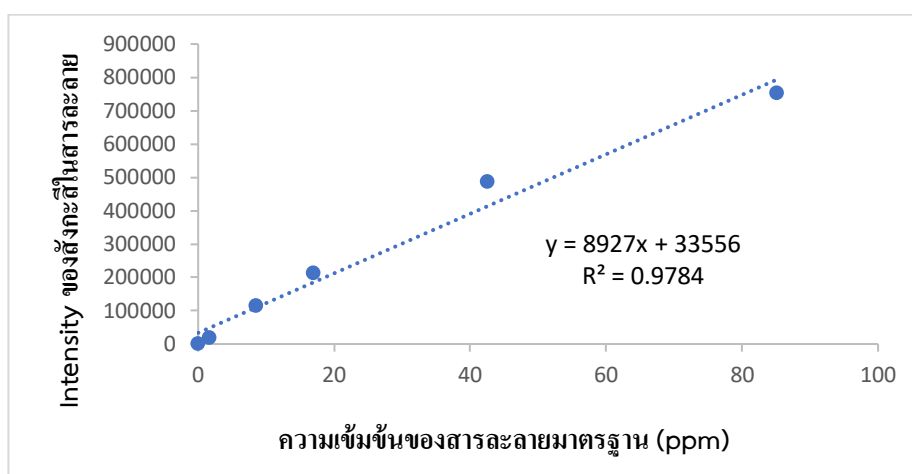
$$100 \text{ ppm Zn} = \frac{0.1 \text{ g ZnSO}_4 \times 100 \text{ ppm Zn}}{227 \text{ ppm Zn}} = 0.04405 \text{ g ZnSO}_4$$

$$\text{ZnSO}_4 \text{ ที่ซึ่งมา } 0.0373 \text{ g} = \frac{0.0373 \text{ g ZnSO}_4 \times 100 \text{ ppm Zn}}{0.04405 \text{ g ZnSO}_4} = 85.1 \text{ ppm}$$

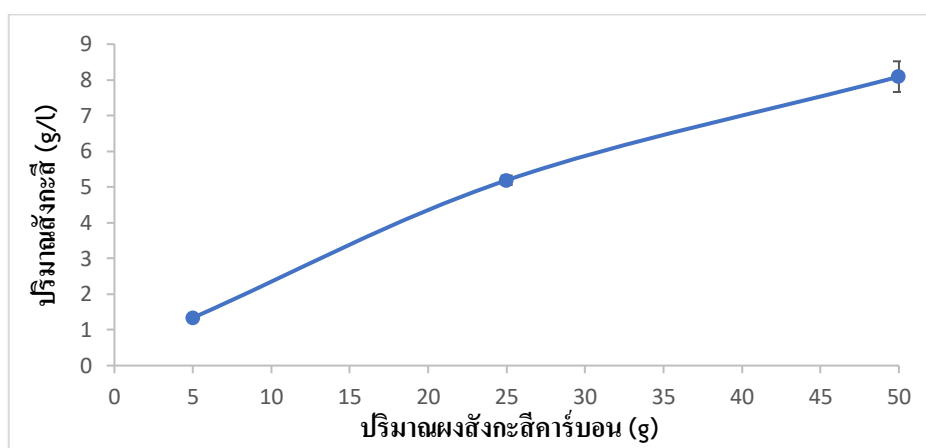
จากนั้นนำเอา stock solution มาเตรียมสารละลายมาตรฐานสังกะสี 5 ความเข้มข้นดังตารางที่ 2 เพื่อนำไปทำ calibration curve โดยทำการวัดความเข้มข้นของสังกะสีที่แต่ละระดับความเข้มข้น 3 ซ้ำโดยใช้น้ำกลั่นทำหน้าที่เป็น blank ซึ่งได้ผลออกมาดังกราฟที่ 1 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9784 มีค่าเข้าใกล้ 1 ถือว่ามีความน่าเชื่อถือจึงใช้ calibration curve ที่ได้เป็นตัวเทียบหาปริมาณสังกะสีเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการนำผงสังกะสีคาร์บอนมาทดสอบและหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนสารด้วยเทคนิค ICP-OES ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องออกมามีกราฟที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 สารละลายมาตรฐานในการทำ calibration curve

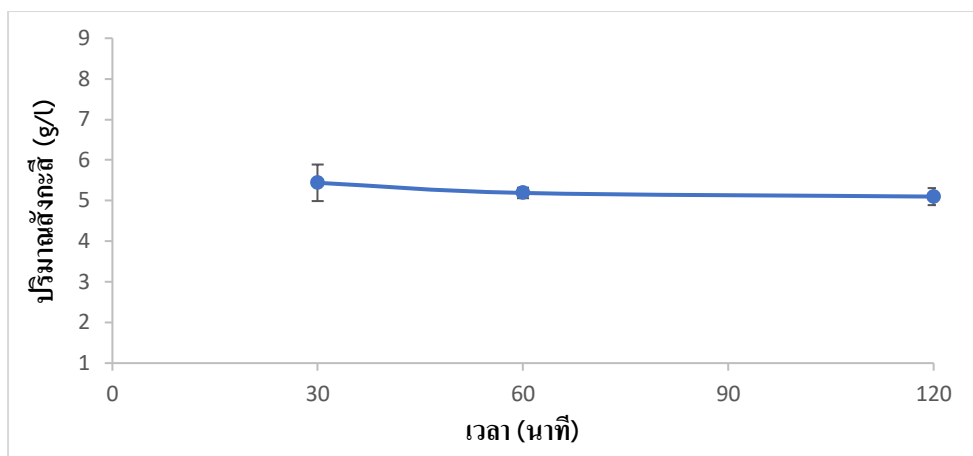
สารละลายมาตรฐานสังกะสี	ความเข้มข้น (ppm)
Standard-1	1.70
Standard-2	8.51
Standard-3	17.0
Standard-4	42.6
Standard-5	85.1



กราฟที่ 1 Calibration curve ของสารละลายมาตรฐานสังกะสี



กราฟที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ZnC (g) ที่ใช้กับปริมาณ Zn (g/L) ที่พบ



กราฟที่ 3 ความสัมพันธ์ของระยะเวลา (min) ที่ใช้กับปริมาณ Zn (g/L) ที่พบ

ตารางที่ 3 ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีด้วยเทคนิค ICP เพื่อใช้ปริมาณผงสังกะสีคาร์บอนในการสกัดด้วยน้ำ

ปริมาณสังกะสีคาร์บอนที่ใช้ (g)		ปริมาณเฉลี่ยของ Zn ที่พบ (g/L)	ปริมาณ Zn ที่พบ (g)	% โดยน้ำหนักเฉลี่ย (% w/w)
ครั้งที่ 1	5.25	1.34 ± 0.05	0.201	14
2	5.04			
3	5.09			
ครั้งที่ 1	25.15	5.19 ± 0.13	0.779	11
2	25.26			
3	25.15			
ครั้งที่ 1	50.15	8.09 ± 0.43	1.21	8
2	50.04			
3	50.03			

ตารางที่ 4 ผลจากการวิเคราะห์ด้วย ICP ของเวลาที่ใช้ในการละลายผงสังกะสีคาร์บอนด้วยน้ำ

ระยะเวลาที่ใช้ (min)	น้ำหนักที่ชั่ง (g)		ปริมาณสังกะสีที่พบ (g)	ค่าเฉลี่ยปริมาณสังกะสีที่พบ (g/L)
30	ครั้งที่ 1	25.03	0.82	5.44 ± 0.45
	2	25.06		
	3	25.07		
60	ครั้งที่ 1	25.15	0.78	5.19 ± 0.13
	2	25.26		
	3	25.15		
120	ครั้งที่ 1	25.07	0.77	5.10 ± 0.21
	2	25.09		
	3	25.08		

จากผลการทดลองเมื่อพิจารณากราฟที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสังกะสีคาร์บอนที่ใช้และปริมาณสังกะสีที่พบและตารางที่ 3 จะได้ว่าในการใช้ผงสังกะสีคาร์บอน 5, 25 และ 50 g สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การกลับคืนมาได้ 14, 11 และ 8% ตามลำดับ คำนวณได้ดังนี้

จากข้อมูล XRF ในผงสังกะสีคาร์บอน 100 g จะมีสังกะสีอยู่ 29.5 g

ปริมาณสังกะสีคาร์บอนที่ซื้อมา คือ 25 g แสดงว่ามีสังกะสีอยู่ 7.4 g

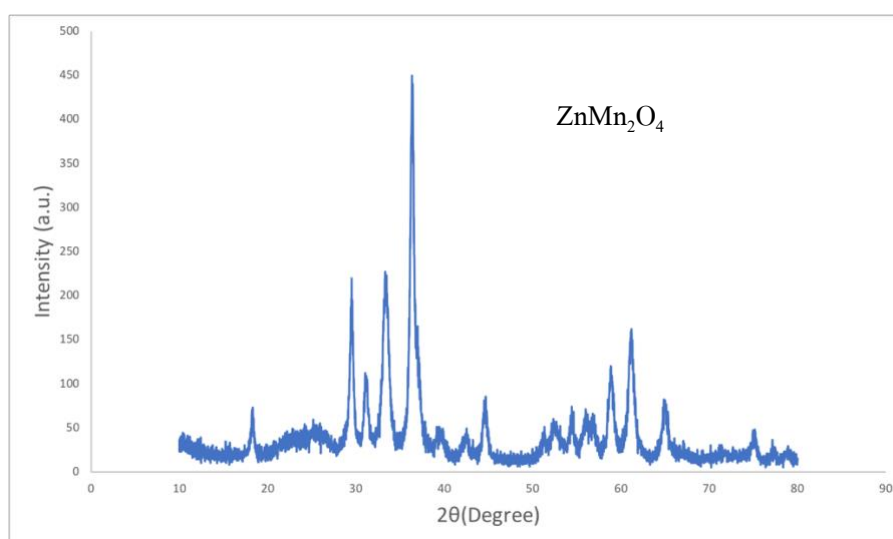
ผ่านการละลายด้วยน้ำเมื่อนำสารละลายไปวัดด้วย ICP พบว่าในสารละลาย 150ml มีสังกะสีอยู่ 5.19 g/คิดได้เป็น 0.779 g

$$\text{การคำนวณเปอร์เซ็นต์การกลับคืน คือ } \frac{0.779 \text{ g}}{7.4 \text{ g}} \times 100 = 10.52\% = 11\%$$

ถึงแม้การใช้ผงสังกะสีคาร์บอน 5 g จะให้เปอร์เซ็นต์การกลับคืนมามากที่สุดแต่เมื่อดูปริมาณสังกะสีที่ออกมาแล้วนั้นยังถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการใช้ 25 g ที่ให้เปอร์เซ็นต์การกลับคืนมาใกล้เคียงกันและได้ปริมาณสังกะสีที่มากกว่าอยู่ที่ 0.779 g และเมื่อเทียบกับการใช้ผงสังกะสีคาร์บอนที่ 50 g พบว่าถึงแม้จะได้ปริมาณสังกะสีที่มากที่สุดแต่เปอร์เซ็นต์การกลับคืนน้อยที่สุดจึงสรุปได้ว่าปริมาณสังกะสีคาร์บอนที่ใช้มีผลต่อปริมาณสังกะสีที่พบ ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าปริมาณผงสังกะสีคาร์บอนที่เหมาะสมคือ 25 g

เมื่อพิจารณากราฟที่ 3 ความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่ใช้กับปริมาณสังกะสีที่พบควบคู่กับตารางที่ 4 จะเห็นว่าที่ระยะเวลา 30, 60 และ 120 นาที พบปริมาณสังกะสี 0.82, 0.78 และ 0.77 g ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่ามีความแตกต่างที่น้อย แสดงได้ว่าระยะเวลาในการตั้งกวนสารทิ้งไว้นั้นไม่มีผลกระทบมากต่อปริมาณสังกะสีที่ได้ ในการทดลองนี้จึงใช้เวลาที่ 60 นาที เพราะมี error bar และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดที่ 0.13 แสดงว่ามีการเกาะกลุ่มกันในระดับที่ดีและยอมรับได้

สังกะสีคาร์บอน 25 g เมื่อนำไปละลายด้วยน้ำและกรองแยกของแข็งออกมา สารตกค้างที่เป็นของแข็งจะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตรวจสอบชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเทคนิค XRD ผลที่ได้ออกมาดังรูปที่ 9 เมื่อนำไปเทียบกับรูปที่ 8 จะเห็นว่าพีคที่ได้นั้นมีลักษณะคล้ายคลึงพีคของ ZnMn_2O_4 แสดงให้เห็นว่าส่วนที่เป็นสารละลายนั้นคือ ZnCl_2 ที่ได้จากขั้วแอโนดของแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอน

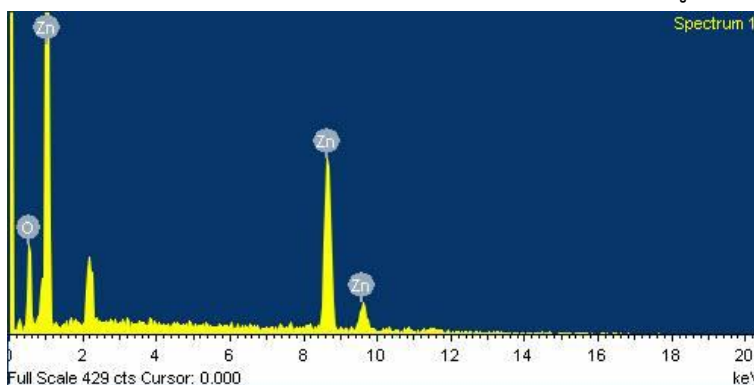


รูปที่ 9. XRD ของสารตกค้างของแข็งหลังจากละลายด้วยน้ำ

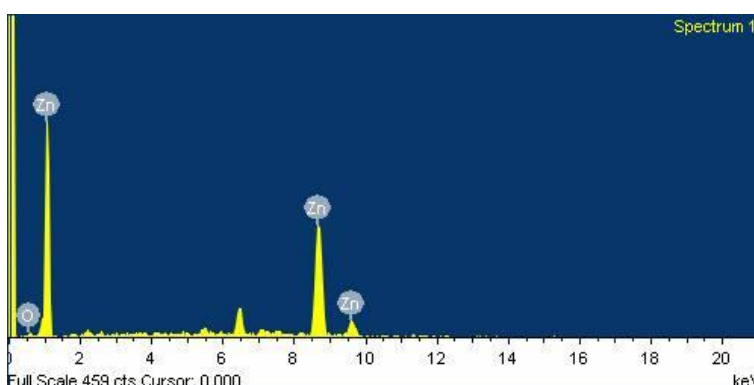
3.2 การสะสมทางไฟฟ้าของสังกะสีเพื่อนำไปใช้เป็นขั้วแอโนดสังกะสีของแบตเตอรี่สังกะสีไอออน

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการสะสมทางไฟฟ้าคือ สารละลายที่ได้หลังจากผงสังกะสีคาร์บอน 25 g ถูกละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 100 mL กวนสารละลายทิ้งไว้ 60 นาที เซลล์เคมีไฟฟ้าที่ใช้เป็นระบบ 2 ขั้วได้แก่ขั้วแคโทด ในการทดลองนี้ใช้ทดลองบนวัสดุ 2 ชนิดคือ เหล็กกล้าไร้สนิมและพอลิโพรพิลีนเนื่องจากมีเสถียรภาพทางไฟฟ้า (electrochemical stability) และการนำไฟฟ้า (conductivity) ที่ดี⁹ ขั้วแอโนดคือ เหล็กกล้าไร้สนิมเพราะมีคุณสมบัติทนการกัดกร่อนทำให้ทนต่อการเกิดปฏิกิริยา ในการทดลองผู้วิจัยให้ค่าความหนาแน่นของกระแสคงที่ที่ 0.02 A/cm^2 เป็นเวลา 30 นาที เนื่องจากเป็นค่าความหนาแน่นที่ให้ผลทางสัณฐานวิทยาของสังกะสีมีผลดีและทำให้มีประสิทธิภาพประจุไฟฟ้า (charge efficiency) สูง^{6, 7}

ผลจากการศึกษาสัณฐานวิทยาและชนิดของธาตุบนเหล็กกล้าไร้สนิมและพอลิโพรพิลีนที่ใช้ไฟฟ้าให้เกิดการสะสมทางไฟฟ้าด้วยเทคนิคการวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรย์สเปกโตรสโคปี (energy-dispersive X-ray spectroscopy: EDS) ยืนยันได้ว่าธาตุที่อยู่บนผิวของพอลิโพรพิลีนและเหล็กกล้าไร้สนิมคือสังกะสีเป็นหลัก ดังรูปที่ 10 และ 11

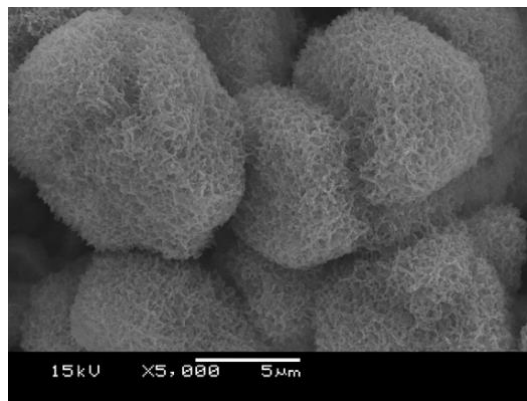


รูปที่ 10. สังกะสีบนพอลิโพรพิลีนจากการสะสมทางไฟฟ้าวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS

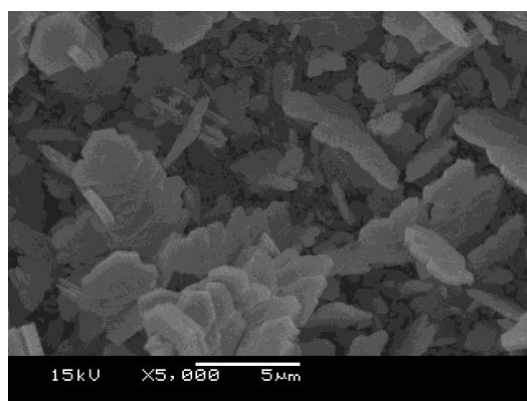


รูปที่ 11. สังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมจากการสะสมทางไฟฟ้าวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS

การศึกษาสัณฐานวิทยาของสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมและพอลิโพรพิลีนที่กำลังขยาย 5000 เท่า 5 ไมครอน ลักษณะของสังกะสีบนพอลิโพรพิลีนวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM ดังรูปที่ 12 มีลักษณะเป็นก้อนกลมพื้นผิวไม่เรียบมีความเป็นรูจิ้งจาคว่าสามารถจุประจุได้มากกว่าสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมดังรูปที่ 13 ที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างผลึกหกเหลี่ยม (hexagonal close-packed) ตามโครงสร้างของสังกะสีในทางทฤษฎีและมีพื้นผิวเรียบ

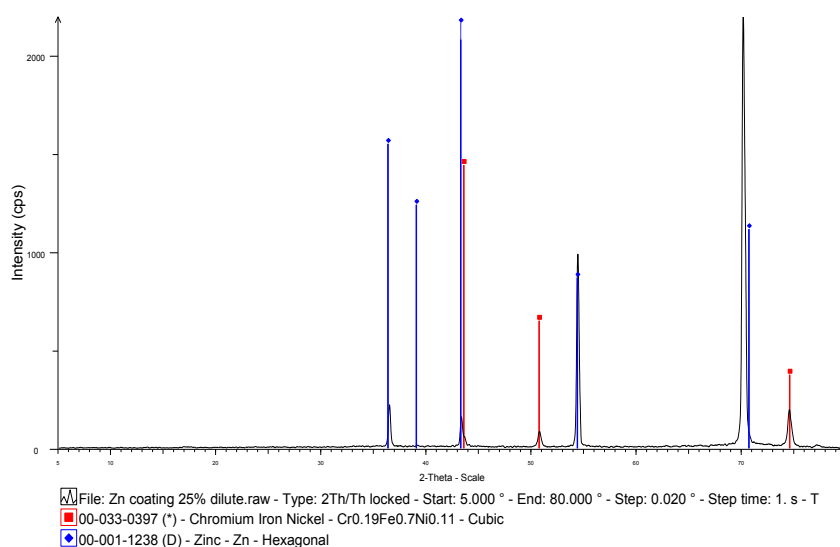


รูปที่ 12. ผลวิเคราะห์พื้นผิวฟอยล์ทองแดงที่ชุบด้วยสังกะสีด้วยเทคนิค SEM

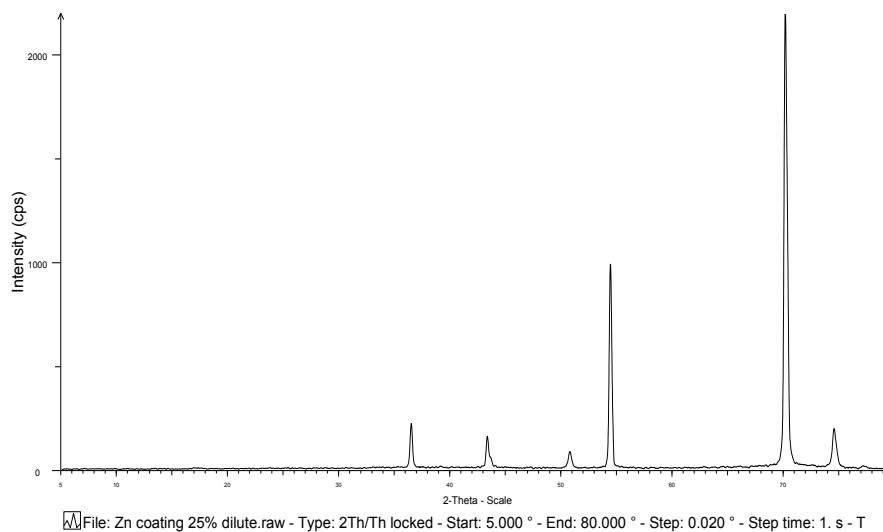


รูปที่ 13. ผลวิเคราะห์พื้นผิวเหล็กกล้าไร้สนิมที่ชุบด้วยสังกะสีด้วยเทคนิค SEM

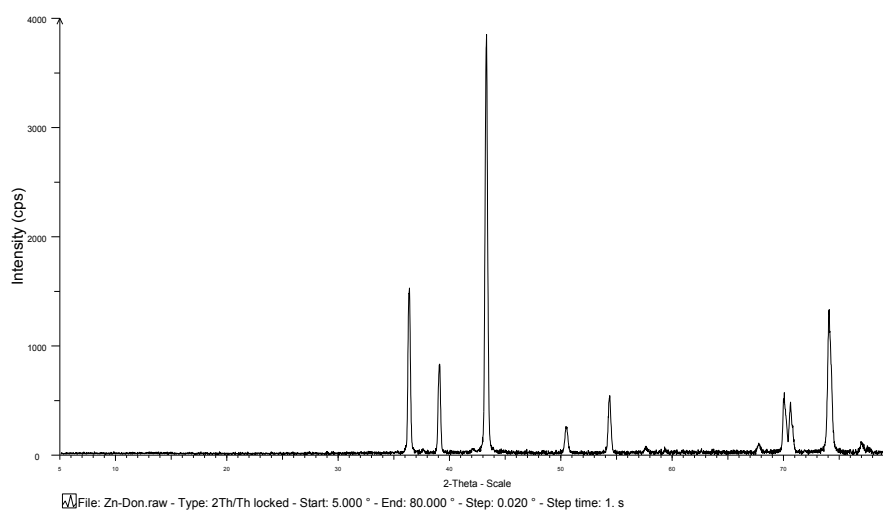
หลังการชุบสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมและทองแดง ตรวจสอบเพื่อความแน่นอนว่าที่ชุบได้นั้นคือสังกะสีโดยใช้เทคนิค XRD เทียบกับ XRD ของสังกะสีแม่แบบดังรูปที่ 14 วิเคราะห์ออกมาเทียบพบว่าลักษณะพีคของสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมดังรูปที่ 15 และลักษณะพีคของสังกะสีบนฟอยล์ทองแดงดังรูปที่ 16 เกิดพีคขึ้นที่ตำแหน่งที่เป็นสังกะสีตาม XRD ของแม่แบบ



รูปที่ 14. ลักษณะ XRD ของสังกะสีแม่แบบ



รูปที่ 15. XRD ของสังกะสีเคลือบบนเหล็กกล้าไร้สนิมที่ชุบได้

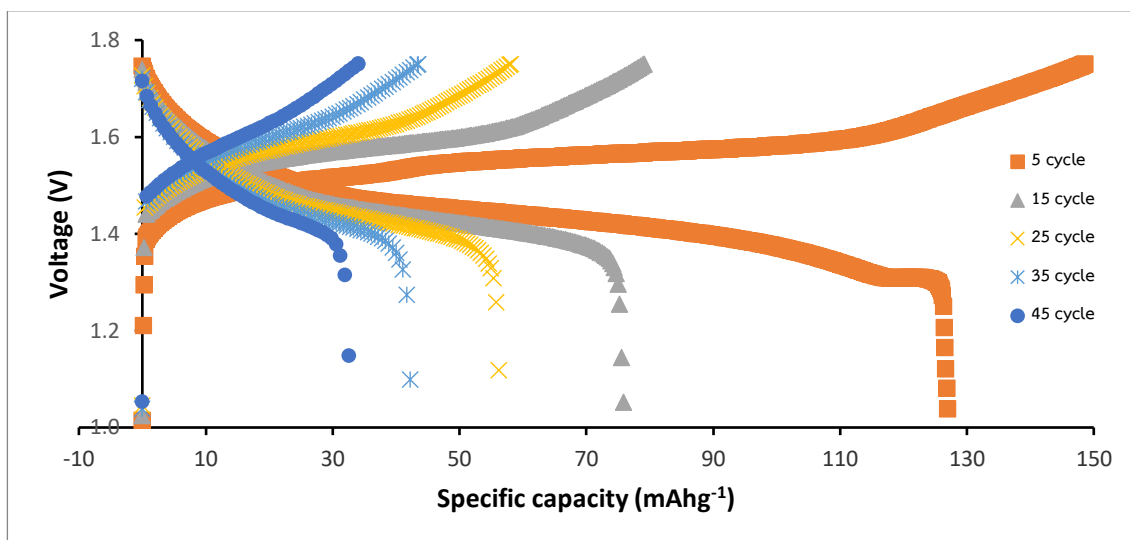


รูปที่ 16. XRD ของสังกะสีเคลือบบนพอลิโพรพิลีนที่ชุบได้

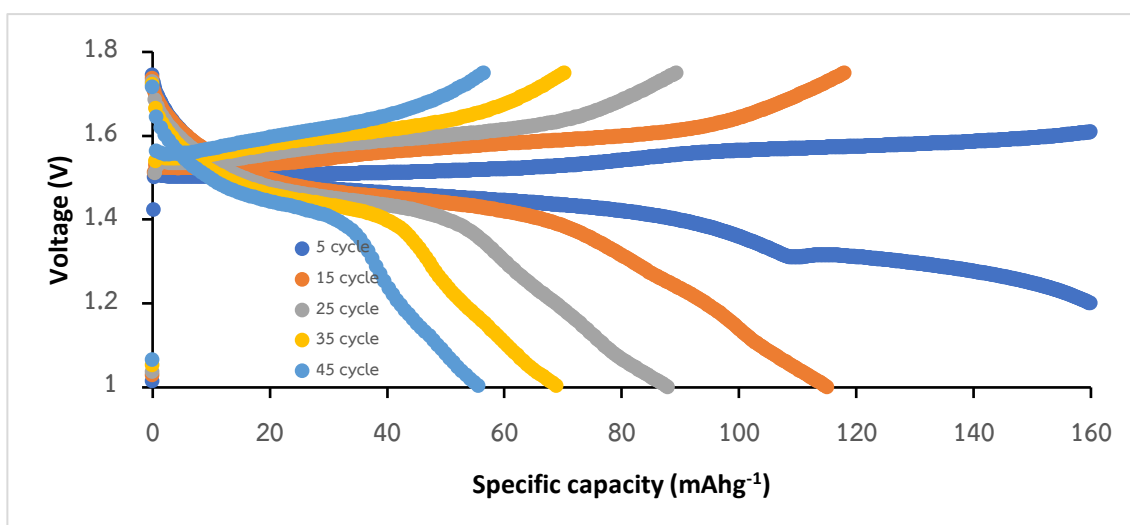
3.3 การศึกษาทางเคมีไฟฟ้าเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการอัด-คายประจุ (charge-discharge) และรอบในการใช้งาน (cycling performance) ของสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมและพอลิโพรพิลีนซึ่งเป็นขั้วแอโนดในแบตเตอรี่สังกะสีไอออนชนิดกระดุม

รูปที่ 17 และรูปที่ 18 แสดงประสิทธิภาพของการอัดและคายประจุของสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมและพอลิโพรพิลีน ตามลำดับด้วยเทคนิคกัลวานอสแตติกชาร์จ/ดิสชาร์จ (Galvanostatic charge-discharge) โดยให้กระแสไฟฟ้า 0.15, 0.30, 0.45, 0.60 และ 0.75 mA ความต่างศักย์ระหว่าง 1.00 V ถึง 1.75 V พบว่าสังกะสีที่ชุบบนพอลิโพรพิลีนนั้นมีค่าความจุจำเพาะ (specific capacity) มากกว่าสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิม เช่นในรอบที่ 5 สังกะสีที่ชุบบนเหล็กกล้าไร้สนิมมีค่าความจุจำเพาะอยู่ต่ำกว่า 150 mAhg^{-1} ในขณะที่สังกะสีที่ชุบบนพอลิโพรพิลีน

มีค่าความจุจำเพาะอยู่มากกว่า 150 mAhg^{-1} แสดงให้เห็นว่าการชุบสังกะสีบนฟอยล์ทองแดงจะให้ประสิทธิภาพในการอัดและคายประจุมากกว่า

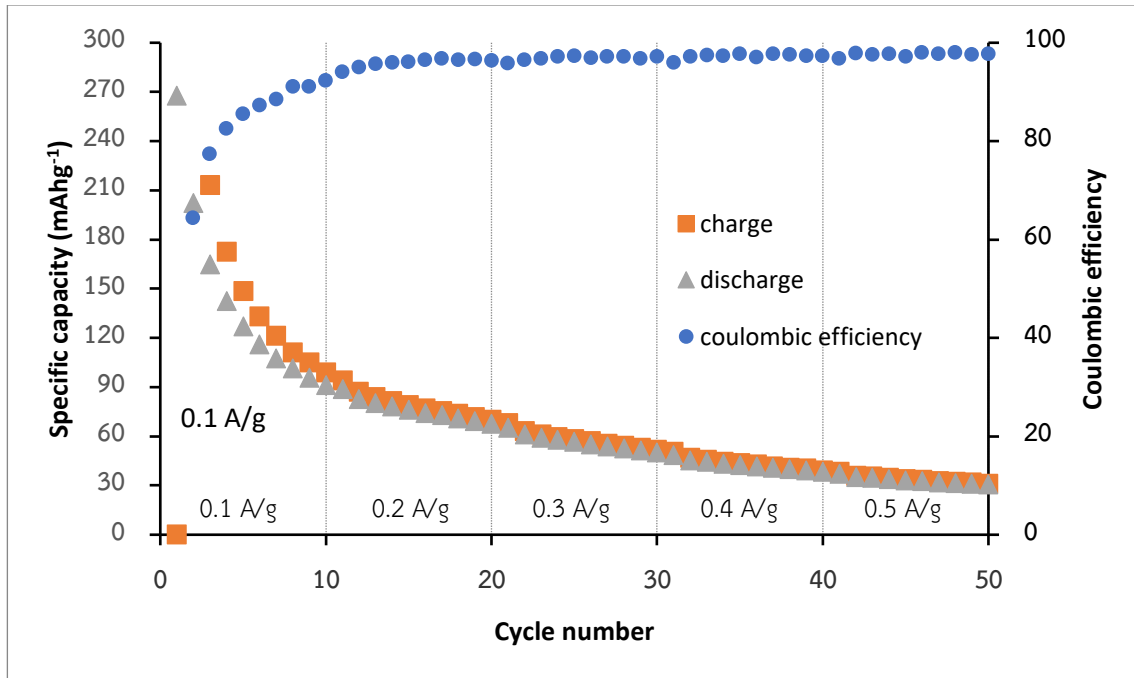


รูป 17. กราฟการอัด-คายประจุของสังกะสีเคลือบบนเหล็กกล้าไร้สนิม

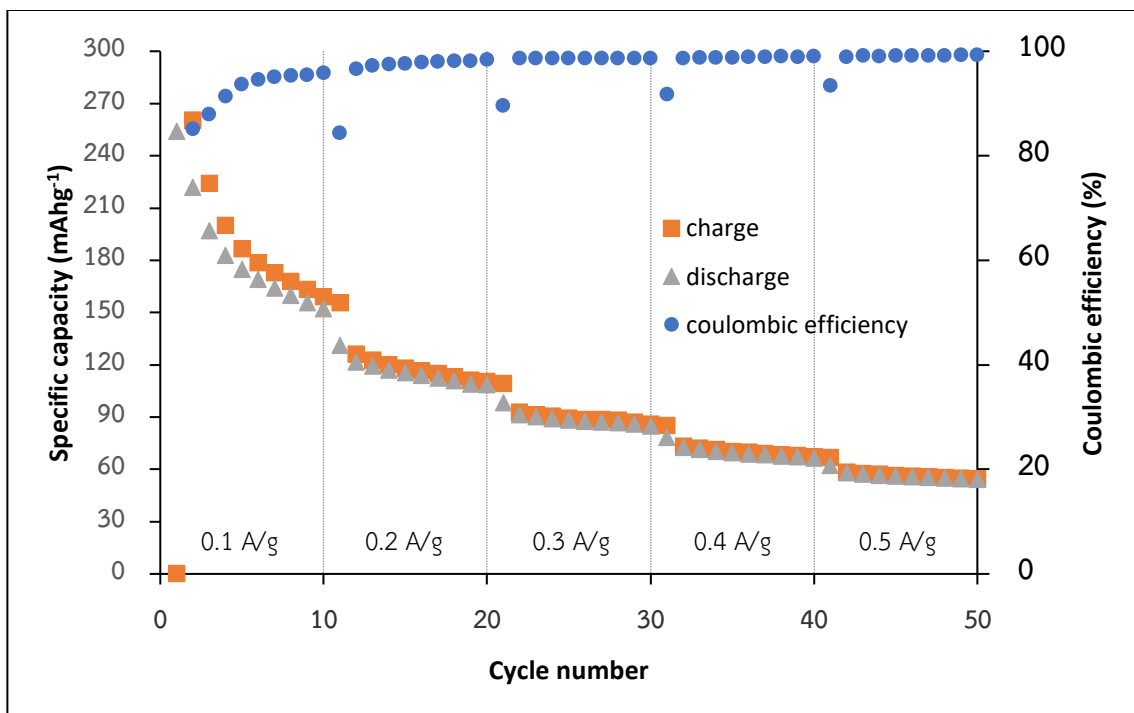


รูปที่ 18. กราฟการอัด-คายประจุของสังกะสีเคลือบบนฟอยล์ทองแดง

Cycling performance ของสังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมและฟอยล์ทองแดงดูได้จากรูปที่ 19 และ 20 โดยให้ความหนาแน่นกระแส 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 A/g สังเกตได้ว่าใน 50 รอบช่วง 10 รอบแรกจะเกิดการ self-discharge ทำให้ค่าความจุจำเพาะลดลงอย่างรวดเร็วแล้วจะเริ่มลดลงอย่างคงที่จนถึง 50 cycles ในทั้งเหล็กกล้าไร้สนิมและฟอยล์ทองแดง สังกะสีบนเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นจะมีค่าความจุของการคายประจุคงที่ (stable discharge capacity) เฉลี่ยอยู่ 30 mAhg^{-1} ส่วนสังกะสีบนฟอยล์ทองแดงนั้นจะมีค่าความจุของการคายประจุคงที่อยู่ที่ 50 mAhg^{-1} โดยมีประสิทธิภาพในการอัด-คายประจุ (coulombic efficiency) เฉลี่ยอยู่ 94% และ 96% ตามลำดับ



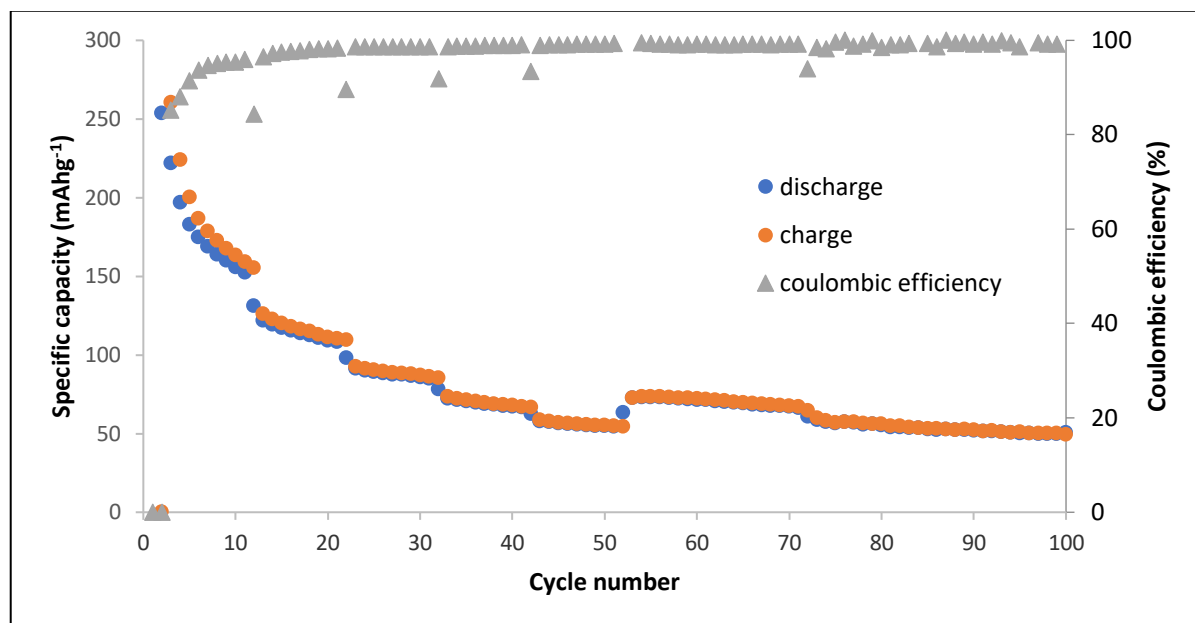
รูปที่ 19. ประสิทธิภาพการอัด-คายประจุของสังกะสีเคลือบบนเหล็กกล้าไร้สนิมใน 50 รอบ



รูปที่ 20. ประสิทธิภาพการอัด-คายประจุของสังกะสีเคลือบบนฟอยล์ทองแดงใน 50 รอบ

จากรูป 20 และ 21 เมื่อสังเกตกราฟประสิทธิภาพในการอัด-คายประจุจะพบว่าในทุกการเริ่มอัดและคายประจุช่วงแรกนั้นประสิทธิภาพจะต่ำซึ่งสาเหตุอาจมาจากการเกิด solid electrolyte interphase (SEI) ทำให้ส่วนหนึ่งของประจุถูกนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของการอัด-คายประจุต่ำลง และจากรูปที่ 21 เมื่อนำสังกะสีบนฟอยล์ทองแดงมาศึกษาดูประสิทธิภาพต่อจนถึง 100 รอบ พบว่ายังคงมีค่าความจุ

คงที่อยู่ที่ 50 mAhg^{-1} แสดงให้เห็นว่าสังกะสีที่เคลือบบนฟอยล์ทองแดงนั้นมีประสิทธิภาพในการกักเก็บประจุที่ดีในระดับหนึ่ง บ่งบอกได้ว่าสังกะสีที่สกัดออกมาได้นั้นมีความสามารถในการเป็นขั้วแอโนดในแบตเตอรี่สังกะสีไอออน



รูปที่ 21. ประสิทธิภาพการอัด-คายประจุของสังกะสีเคลือบบนฟอยล์ทองแดงใน 100 รอบ

บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

ในการนำกลับสังกะสีจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนที่ใช้แล้วกลับมาใช้เป็นขั้วแอโนดสำหรับแบตเตอรี่สังกะสีไอออนผู้วิจัยสามารถหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกองค์ประกอบฐานสังกะสีจากแบตเตอรี่สังกะสีคาร์บอนด้วยวิธีการละลายด้วยน้ำ คือ ใช้ปริมาณผงสังกะสีคาร์บอน 25 g ในน้ำปราศจากไอออน 100 mL ระยะเวลาที่ใช้ในการตั้งกวนสารละลายทิ้งไว้ คือ 60 นาที โดยพบว่าได้เปอร์เซ็นต์การกลับคืนมาของธาตุสังกะสีเท่ากับ 11% สารละลายที่ได้จากขั้นตอนการละลายด้วยน้ำสามารถเกิดการสะสมทางไฟฟ้า ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสังกะสีบนพอลิโพรพิลีนสามารถทำหน้าที่เป็นแอโนดในแบตเตอรี่ชนิดสังกะสีไอออนที่แสดงประสิทธิภาพสูงกว่าในกรณีที่ใช้สังกะสีเคลือบบนเหล็กกล้าไร้สนิมโดยให้ค่าความจุคงที่อยู่ที่ 50 mAhg^{-1} จนถึง 100 รอบ จากงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าสามารถนำสังกะสีมาใช้เป็นขั้วแอโนดสำหรับแบตเตอรี่สังกะสีไอออนได้ ซึ่งหากตะกอนที่เหลือเป็นคาร์บอนผสมกับ ZnMn_2O_4 จึงมีความน่าสนใจที่จะนำไปศึกษาเป็นแอโนดของแบตเตอรี่แบบอัดประจุซ้ำได้ชนิดลิเทียมไอออน นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการประยุกต์ด้านอื่นๆ เช่นเป็นตัวเร่งเชิงแสงในการพอกจากสีเมทิลีนบลูซึ่งอาจมีประโยชน์ในงานด้านการดูดซับน้ำที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์หรือโลหะหนัก รวมถึงใช้ในงานบำบัดน้ำเสียต่างๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Freitas, M.B.J., de Pietre, M. Electrochemical recycling of the zinc from spent Zn–MnO₂ batteries. *J. Power Sources*. **2004**, 128, 343–349. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2003.09.054>.
2. Bartolozzi, M. The recovery of metals from spent alkaline-manganese batteries: a review of patent literature. *Resour. Conserv. Recycl.* **1990**, 4 (3), 233–240. [https://doi.org/10.1016/0921-3449\(90\)90004-N](https://doi.org/10.1016/0921-3449(90)90004-N).
3. Yazici, E.Y., Deveci, H. Extraction of metals from waste printed circuit boards(WPCBs) in H₂SO₄-CuSO₄-NaCl solution. *Hydromet.* **2013**, 139, 30e38.
4. Chaun, X. Zinc-ion batteries: Materials, mechanisms, and applications. *Materials Science and Engineering R Reports*. **2018**, 135, 58-84.
5. Abedin, M.R., Abedin, S., Mahbub, H., Deb, N., Khan, M.S. A hydrometallurgical aproch to recover zinc and manganese from spent Zn-C batteries. *Materials Science Forum*. **2017**, 886, 117-121.
6. Alisa, N., Mohamad, A,A. Morphology study of electrodeposited zinc from zinc sulfat solutions as anode for zinc-air and zinc-carbon batteries. *Journal of King Saud University – Engineering Science*. **2013**, 27, 43-48.
7. Lolupiman, K., Wangyao, P., Qin, J. Electrodeposition of Zn/TiO₂ composite coatings for anode materials of zinc-ion battery. *Journal of metals, meterials and minerals*. **2019**, 29 (4) , 120- 126.
8. Lorca, S., Santos, F., Romero, A.J.F. Review of the use of GPEs in zinc-base batteries. A step closer to wearable electronic gadgets and smart textiles. *Polymers*. **2020**, 12, 2812
9. Zhu, P., Gastol, D., Marshall, J., Sommerville, R., Goodship, V., Kendrick, E. A review of current collectors for ithium-ion batteries. *Journal of Power Source*. **2021**, 485
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.229321>

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวณัฐนิชา เกียรติศิริวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 26 เดือนกันยายน พ.ศ.2540 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอุดรพิทยานุกูล จังหวัดอุดรธานี เมื่อปีการศึกษา 2558 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2560 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 172/10 ตำบลหนองหาน อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี รหัสไปรษณีย์ 41130 อีเมล natnichakiatsiriwatthana@gmail.com