



ผลของความหนาแน่นกระแสที่มีต่อโครงสร้างของสังกะสีบนแผ่นทองแดง สำหรับใช้เป็นขั้วไฟฟ้า

Effect of Current Density on Zinc Morphology Deposited on Copper Plate for Using as an Electrode

ณัฐพร ชะบา (Nattaporn Chaba)*,** ดร.สุธาสิณี เนรมิตตกพงศ์ (Dr.Sutasinee Neramittagapong)¹***,***
ดร.อาทิตย์ เนรมิตตกพงศ์ (Dr.Arthit Neramittagapong)**,* **** ดร.นวกฤต เอื้ออนันต์ (Dr.Nawapak Eua-anant)*****

(Received: March 26, 2018; Revised: June 11, 2018; Accepted: June 16, 2018)

บทคัดย่อ

เตรียมขั้วไฟฟ้าด้วยวิธีการชุบโลหะสังกะสีบนแผ่นทองแดงโดยใช้สารละลายซิงค์ซัลเฟตความเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ การเตรียมขั้วได้ใช้ความหนาแน่นกระแสที่แตกต่างกันในช่วง 0.02 – 0.10 A/cm² โดยใช้เวลาในการชุบคงที่ 1 ชั่วโมง ตรวจสอบสัณฐานวิทยาและโครงสร้างผลึกของสังกะสีบนขั้วไฟฟ้าโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) และเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractometer; XRD) ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าความหนาแน่นกระแสมีผลต่อโครงสร้างการจัดเรียงตัวของสังกะสีที่เกาะบนแผ่นทองแดง ซึ่งความหนาแน่นกระแส 0.10 ทำให้เกิดโครงสร้างการจัดเรียงตัวของผลึกสังกะสีอย่างเป็นระเบียบ และนำขั้วสังกะสีที่เตรียมได้มาทดสอบประสิทธิภาพการทำงานในเซลล์แบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับขั้วแมงกานีสไดออกไซด์ที่เตรียมได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน และใช้สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์และซิงค์ออกไซด์เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ พบว่า เซลล์แบตเตอรี่สังกะสี-แมงกานีสไดออกไซด์ที่เตรียมได้สามารถอัดและคายประจุซ้ำได้ 100 รอบและสามารถเก็บประจุได้สูง 67 mAh และพบว่าขั้วสังกะสีที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบนั้นมีอายุการใช้งานนานกว่าขั้วสังกะสีที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ

ABSTRACT

Electrodes were prepared by an electroplating of zinc onto a copper plate using zinc sulfate with the concentration of 1.0 M as an electrolyte. The electroplating of zinc was used in various current density in the range of 0.02 – 0.10 A/cm² with the constant plating time of 1 hour. The morphology and structure of the prepared zinc electrodes were characterized using the scanning electron microscope (SEM) and x-ray diffractometer (XRD), respectively. It was found that the current density had effect to zinc morphology which deposited on copper plate. Furthermore, zinc electrode had tested the performance with MnO₂ electrode which was prepared by thermal pressing forming method in which KOH and were used as the electrolytes of a battery cell. The result was shown that the Zn-MnO₂ battery could be charged and discharged up to 100 cycles and could achieve the high capacity of 67 mAh. Moreover, zinc electrode which had an intensely arranged structure gave a long life cycle more than the zinc electrode which had a disordered structure.

คำสำคัญ: ขั้วสังกะสี แบตเตอรี่สังกะสี สัณฐานวิทยาผลึกสังกะสี

Keywords: Zinc electrode, Zinc battery, Zinc morphology

¹Correspondent author: sutasineene@kku.ac.th

* นักศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** นักวิจัย ศูนย์วิจัยด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและสารอันตราย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดที่กำลังได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด แต่แสงอาทิตย์มีเฉพาะเวลากลางวันเท่านั้น การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในช่วงกลางวันจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์กักเก็บพลังงานไว้ อุปกรณ์กักเก็บพลังงานที่นิยมใช้คือ แบตเตอรี่ ซึ่งเป็นการกักเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์ในรูปแบบพลังงานเคมีเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไป สำหรับแบตเตอรี่สังกะสีนั้นก็ได้รับความนิยมเป็นจำนวนมากที่จะนำมาใช้ในการกักเก็บพลังงาน เนื่องจากสังกะสีมีความเป็นพิษต่ำ หาได้ง่ายและมีราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ แต่แบตเตอรี่สังกะสีก็มีข้อจำกัดด้วยปัญหาการรกกิ่งก้านสาขาของสังกะสี หากมีการรกกิ่งก้านสาขายาวจนสัมผัสกับขั้วไฟฟ้าบวก จะทำให้เกิดการลัดวงจรและจะส่งผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่น้อยกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น [1-3] ในการเตรียมขั้วไฟฟ้าลบสังกะสี (Zn anode) สำหรับแบตเตอรี่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก หากขั้วสังกะสีที่เตรียมได้มีโครงสร้างลักษณะภายในของสังกะสีที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการรกกิ่งก้านสาขาของสังกะสี จะทำให้เซลล์แบตเตอรี่นั้นๆมีอายุการใช้งานได้นานขึ้น ซึ่งการเตรียมขั้วไฟฟ้านั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การอัดขึ้นรูปด้วยแรงดันหรือวิธีการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า แต่การขึ้นรูปด้วยแรงดันมีความยุ่งยากมากกว่าวิธีการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เนื่องจากต้องใช้ตัวเชื่อมประสานเพื่อให้สังกะสีจับยึดกันแน่น การใช้ตัวเชื่อมประสานมีข้อเสียคือทำให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าลดลง ส่วนใหญ่จึงใช้วิธีการเตรียมขั้วไฟฟ้าด้วยวิธีการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในการชุบโลหะมักเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดเบสหรือสารละลายเกลือ เช่น KOH, NaCl และ CuSO_4 เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการชุบโลหะด้วยไฟฟ้านั้นคือ ความหนาแน่นกระแส ความเข้มข้น และชนิดของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อรูปร่างลักษณะโครงสร้างโลหะ [4-5] สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงหรือมีความเป็นเบสเกินนั้นจะทำให้สังกะสีมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ นอกจากนั้นหากความหนาแน่นของกระแสสูงก็ส่งผลต่อการจัดเรียงตัวของโครงสร้างสังกะสีเช่นกัน [6] การชุบโลหะด้วยไฟฟ้าหลังจากการชุบมักพบว่าโครงสร้างของสังกะสีมีการรกกิ่งก้านสาขา หากขั้วสังกะสีที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีการชุบโลหะมีพื้นผิวไม่ราบเรียบมีการรกกิ่งก้านสาขา ขั้วนั้นไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นขั้วแบตเตอรี่เนื่องจากบริเวณปลายของกิ่งก้านสาขาจะมีความว่องไวในการรกกิ่งก้านสาขาของสังกะสีในขณะที่ทำการอัดและคายประจุ [7]

จากการศึกษาพบว่า ซิงค์ซัลเฟตเป็นสารละลายเกลือชนิดหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับกระบวนการชุบสังกะสี เนื่องจากสามารถแตกตัวให้อิออนของสังกะสีทำให้ไม่เกิดการพร่องของสังกะสีในสารละลาย นอกจากนี้ความหนาแน่นของกระแสที่ใช้ในการชุบสังกะสียังถูกศึกษาอยู่ในช่วงแคบๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจเกี่ยวกับการเตรียมขั้วลบสังกะสีด้วยวิธีการชุบโลหะสำหรับใช้เป็นขั้วไฟฟ้า คณะผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของความหนาแน่นกระแสในช่วง $0.02 - 0.1 \text{ A/cm}^2$ ที่ใช้ชุบสังกะสีบนแผ่นทองแดงมีต่อโครงสร้างลักษณะภายในของสังกะสี โดยใช้สารละลายซิงค์ซัลเฟตเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เพื่อให้ได้ขั้วสังกะสีที่มีลักษณะราบเรียบและมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าลบ และนำมาทดสอบประสิทธิภาพพร้อมกับขั้วไฟฟ้าบวกที่เตรียมได้ เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของเซลล์แบตเตอรี่และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



วิธีการทดลอง

การเตรียมขั้วไฟฟ้าลสังกะสี (Zn anode)

เตรียมขั้วสังกะสีโดยวิธีการชุบโลหะ เตรียมแผ่นทองแดง ขนาด $2.5 \times 5 \text{ cm}^2$ ทำการชุบด้วยสังกะสี ที่ความหนาแน่นกระแส 0.02 0.04 0.06 0.08 และ 0.10 A/cm^2 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้ ZnSO_4 (RCI Labscan) เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้เครื่อง Power Supply (GPC-3030D) เป็นตัวจ่ายกระแส

การเตรียมขั้วแคโทดแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2 Cathode)

เตรียมขั้ว MnO_2 โดยวิธีการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน ซึ่งมีส่วนผสมของ MnO_2 ร้อยละ 60 ผงคาร์บอน ร้อยละ 20 และใช้ตัวเชื่อมประสานเป็นเทฟลอน (PTFE, Polytetrafluoroethylene) ร้อยละ 20 นำส่วนผสมทั้งหมดผสมกันโดยใช้ 2-โพรพานอล (2-propanol) ให้ส่วนผสมต่างๆกระจายตัวได้ดี ปั่นกวน 5 นาที แล้วเทลงบนแผ่นนิกเกิลโพลี ขนาด $2.5 \times 5 \text{ cm}^2$ ถูกใช้เป็นแผ่นรองรับ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะทำการขึ้นรูปขั้ว MnO_2 ด้วยวิธีการอัดด้วยความดันสูงและความร้อน (Hot Pressing) โดยใช้ความดัน 1200 psia ที่อุณหภูมิ 250°C เป็นเวลา 15 นาที

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของขั้ว

ขั้วสังกะสีและแมงกานีสไดออกไซด์ที่เตรียมได้ ถูกนำมาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD, PANalytical รุ่น EMPYREAN) และวิเคราะห์สัณฐานวิทยา (Morphology) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM, S-3000N, Hitachi, Japan) ทั้งก่อนและหลังการใช้งาน

การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แบตเตอรี่

ทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แบตเตอรี่ด้วยเครื่อง Battery Analyzer จากบริษัท NEWARE Technology Co., LTD ประเทศจีน โดยใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นสารผสมระหว่างสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH, RCI Labscan) ความเข้มข้น 6 M และซิงค์ออกไซด์ (ZnO , RCI Labscan) โดยมีความเข้มข้นของ ZnO เป็นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก การเตรียมเซลล์แบตเตอรี่โดยใช้ขั้วสังกะสีและขั้วแมงกานีสไดออกไซด์ที่เตรียมได้เป็นขั้วแอโนดและขั้วแคโทดตามลำดับ กำหนดระยะห่างระหว่างขั้วทั้งสอง คือ 3 cm. วัดความต่างศักย์ระหว่าง 0.6 ถึง 1.8 โวลต์ จำนวน 100 รอบ ต่อ 1 เซลล์ ซึ่งปล่อยประจุที่มีค่าความลึกของการปล่อยประจुर้อยละ 100 โดยค่าความลึกของการปล่อยประจุ (Depth Of Discharge, DOD) คือค่าที่บอกถึงความสามารถของแบตเตอรี่ในการนำเอาความจุที่มีอยู่ออกมาใช้งาน เช่น แบตเตอรี่เต็มความจุคือ ร้อยละ 100 แต่สามารถนำเอาออกมาใช้งานได้เพียงร้อยละ 20 ส่วนที่เหลือร้อยละ 80 เก็บสำรองไว้เพื่อรักษาแบตเตอรี่ไว้

ผลการทดลอง

ขั้ว Zn anode ที่ถูกเตรียมด้วยกระบวนการชุบโลหะ โดยใช้ ZnSO_4 ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่ความหนาแน่นกระแส 0.02 0.04 0.06 0.08 และ 0.10 A/cm^2 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ที่ความหนาแน่นกระแส 0.02 0.04 A/cm^2 สังกะสีที่เกาะบนแผ่นทองแดงมีลักษณะสีเทาดำผิวขรุขระคล้ายหยั่วน้ำมัน ที่ความหนาแน่นกระแส 0.08 0.06 A/cm^2 สังกะสีที่เกาะบนแผ่นทองแดงมีลักษณะสีเทาดำผิวขรุขระประปนกับสีเทามันวาวเรียบ และที่ความหนาแน่นกระแส 0.1 A/cm^2 สังกะสีที่เกาะบนแผ่นทองแดงมีลักษณะสีเทามันวาวเรียบสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากความหนาแน่นกระแสมีผลต่อการเกาะของสังกะสีบนแผ่นทองแดง ซึ่งที่ความหนาแน่นของกระแส 0.1 A/cm^2 เกิดการ

แตกตัวของไอออน Zn^{2+} ในสารละลายได้ดี ทำให้ไม่เกิดการพ่วงของสังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำให้ไอออนของ Zn^{2+} ที่เกาะบนแผ่นทองแดงมีเวลาจัดเรียงตัวได้อย่างสม่ำเสมอราบเรียบ

ขั้ว Zn anode ที่ถูกทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แบตเตอรี่ร่วมกับขั้ว MnO_2 cathode ถูกนำมาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของขั้ว Zn anode ด้วยเทคนิค XRD พบว่า ขั้ว Zn anode ที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีการชุบสังกะสีบนแผ่นทองแดงมีโครงสร้างผลึกของสังกะสีเกาะบนแผ่นทองแดง และพบฟีกของ $ZnMn_2O_4$ เกาะที่ขั้ว Zn anode หลังจากการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งเกิดจากการจับกันระหว่างไอออน Zn^{2+} และ $Mn_3O_4^{2+}$ ซึ่งเกิดจาก Mn_3O_4 ทำให้เกิดเป็น $ZnMn_2O_4$ [8] ดังภาพที่ 1 ซึ่งการเกิด $ZnMn_2O_4$ เกาะบนขั้ว Zn anode นั้นอาจส่งผลทำให้ในขณะทำการอัดประจุซ้ำนั้น โครงสร้างการจัดเรียงตัวของผลึกสังกะสีไม่สามารถจัดเรียงตัวอัดแน่นอย่างเป็นระเบียบได้เช่นเดิม

นอกจากนั้นได้นำแผ่นขั้ว Zn anode ทั้ง ที่ผ่านการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แบตเตอรี่แล้วไปทำการวิเคราะห์โครงสร้างลักษณะการจัดเรียงตัวภายในด้วยเทคนิค SEM พบว่า ขั้ว Zn Anode ที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอัดแน่นอย่างเป็นระเบียบในตอนแรกเมื่อนำมาทำการทดสอบประสิทธิภาพพบว่า โครงสร้างลักษณะภายในมีการจัดเรียงตัวเปลี่ยนไปซึ่งมีการจัดเรียงอัดแน่นแต่ไม่เป็นระเบียบเช่นเดิมดังภาพที่ 2 ซึ่งในขณะทำการอัดและคายประจุซ้ำจำนวน 100 รอบนั้น ขั้วสังกะสียังคงมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบราบเรียบนั้นเพราะในขั้นตอนเริ่มต้นอัดและคายประจุซ้ำสังกะสีมีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนไอออนในระนาบเดียวกันสม่ำเสมอทั่วทั้งระนาบทำให้มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบดังเดิมแต่ไม่อัดแน่นดังเดิมเนื่องจากการอัดและคายประจุซ้ำหลายๆรอบทำให้เกิดการรบกวนไอออนขณะเกิดการก่อผลึก ซึ่งต่างจากขั้ว Zn Anode ที่มีโครงสร้างภายในจัดเรียงตัวกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบ หลังการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แบตเตอรี่พบว่า มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวไม่ต่างไปจากเดิมดังภาพที่ 3 เนื่องจากในขั้นตอนเริ่มต้นอัดและคายประจุซ้ำสังกะสีมีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนไอออนในระนาบเดียวกันไม่สม่ำเสมอ ทำให้บริเวณที่มีกิ่งก้านสาขาออกออกมานั้นมีความว่องไวในการก่อผลึกมากกว่าบริเวณอื่น

จากการนำเอาขั้ว Zn anode ที่เตรียมได้ มาทำการทดสอบประสิทธิภาพ ร่วมกับขั้ว MnO_2 cathode นั้นพบว่า ผลของการจัดเรียงตัวของโครงสร้างภายในของสังกะสีมีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งหากขั้ว Zn anode ที่เตรียมได้จากการชุบโลหะร่วมกับสารละลาย $ZnSO_4$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่ความหนาแน่นกระแส $0.1 A/cm^2$ พบว่าลักษณะของสังกะสีที่เคลือบบนแผ่นทองแดงเป็นสีเทาหม่นวาวและมีการจัดเรียงตัวดังภาพที่ 4ก เมื่อนำไปทำการประกอบเซลล์แบตเตอรี่ร่วมกับขั้ว MnO_2 cathode พบว่าสามารถจ่ายกระแสในการอัดและคายประจุได้ถึง 100 mA และมีอายุการใช้งานนานถึง 29.31 ชั่วโมง ดังภาพที่ 5 นอกจากนี้ในการทดสอบประสิทธิภาพของรอบการอัดประจุซ้ำที่ 100 รอบ พบว่า ขั้วสังกะสีที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอัดแน่นอย่างเป็นระเบียบมีประสิทธิภาพในคายประจุไฟฟ้าสูงถึง 67 mAh ในรอบการทดสอบประสิทธิภาพในรอบแรก หลังจากผ่านการทดสอบประสิทธิภาพในรอบที่สองนั้นพบว่าประสิทธิภาพในการจุประจุลดลงจาก 67 เป็น 7 mAh ไปจนถึงการทดสอบประสิทธิภาพรอบที่ 100 หลังจากนั้นพบว่าเซลล์แบตเตอรี่นี้มีความเสถียรของประสิทธิภาพการใช้งาน ตั้งแต่รอบที่ 2 จนถึง รอบที่ 100 เมื่อทำการปล่อยประจุที่ DOD ร้อยละ 100 ดังภาพที่ 6

เมื่อนำเอาขั้ว Zn anode ที่เตรียมได้จากการชุบโลหะร่วมกับสารละลาย $ZnSO_4$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่ความหนาแน่นกระแส $0.02 A/cm^2$ พบว่าสังกะสีที่เคลือบบนแผ่นทองแดงมีสีเทาผิวขรุขระ ซึ่งมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวภายในกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบ ดังภาพที่ 4ข มาทำการประกอบเซลล์แบตเตอรี่ร่วมกับขั้ว MnO_2 cathode พบว่า สามารถจ่ายกระแสในการอัดและคายประจุได้ถึง 100 mA เช่นเดียวกับขั้ว Zn anode ที่โครงสร้างการจัดเรียงตัวภายในอย่างเป็นระเบียบ และมีอายุการใช้งานเพียง 11.42 ชั่วโมง ดังภาพที่ 7 สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของรอบการอัดประจุซ้ำที่ 100 รอบ พบว่า ขั้วสังกะสีที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบมี



ประสิทธิภาพในคาบประจุไฟฟ้าสูงถึง 43 mAh ในรอบการทดสอบประสิทธิภาพในรอบแรก หลังจากผ่านการทดสอบประสิทธิภาพในรอบที่สองนั้นพบว่าประสิทธิภาพในการจุประจุลดลงจาก 43 เป็น 6 mAh ไปจนถึงการทดสอบประสิทธิภาพรอบที่ 100 หลังจากนั้นพบว่าเซลล์แบตเตอรี่นี้มีความเสถียรของประสิทธิภาพการใช้งานไม่ต่างจากขั้วที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอัดแน่นอย่างเป็นระเบียบ เมื่อทำการ DOD ร้อยละ 100 ดังภาพที่ 8 การที่ประสิทธิภาพในการจุประจุลดลงอย่างมากรุนแรงนั้นเกิดจากการปล่อยประจุ DOD ร้อยละ 100 จนหมดทำให้ไม่เหลือประจุไว้รักษาเซลล์แบตเตอรี่ เมื่อทำการอัดและคายประจุซ้ำอีกรอบทำให้เซลล์ไม่สามารถฟื้นสภาพได้สมบูรณ์ดังเดิม เนื่องมาจากเกิดการทำให้ปฏิกิริยากันอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดการจับกันระหว่างไอออน Zn^{2+} และ $Mn_2O_4^{2+}$ เกิดเป็นสารประกอบอื่นที่มีความซับซ้อน ทำให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับมาเป็นสารตั้งต้นได้ยาก จึงทำให้ความสามารถในการจุของเซลล์แบตเตอรี่ลดลง

การที่ขั้วสังกะสีมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวที่ต่างกันนั้นส่งผลต่ออายุการใช้งานของเซลล์แบตเตอรี่ ขั้วสังกะสีที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบจะมีอายุการใช้งานสั้นกว่าขั้วสังกะสีที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอัดแน่นอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งมีอายุการใช้งานต่างกันถึง 18 ชั่วโมง เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานครบ 100 รอบ เท่ากัน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากขั้วสังกะสีที่มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบนั้นมีความว่องไวในการออกกึ่งก้านสาขาของสังกะสีมากกว่าขั้วสังกะสีที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ เพราะขั้วสังกะสีที่มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบทำให้ความเข้มข้นที่พื้นผิวขั้วในระยะเวลาเดียวกันมีความไม่สม่ำเสมอทำให้ง่ายต่อการออกกึ่งก้านสาขาของสังกะสีมากกว่าบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ เมื่อเกิดการออกกึ่งก้านสาขาของสังกะสีมากขึ้นเรื่อยๆ ไปสัมผัสกับขั้วบวกอีกฝั่งหนึ่งทำให้เซลล์แบตเตอรี่เกิดการลัดวงจรขึ้น

สรุป

เมื่อนำเอาขั้วสังกะสีที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวภายในที่แตกต่างกันมาทำการประกอบเซลล์แบตเตอรี่ทำให้ทราบว่า โครงสร้างการจัดเรียงตัวภายในของขั้ว Zn anode มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งหากขั้วสังกะสีมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบจะทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานกว่าขั้วสังกะสีที่มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ สำหรับการชุบสังกะสีบนแผ่นทองแดง ร่วมกับสารละลาย $ZnSO_4$ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่ความหนาแน่นกระแส 0.1 A/cm² เหมาะสำหรับการเตรียมขั้ว Zn anode เพื่อให้ได้ขั้วสังกะสีที่มีโครงสร้างภายในเรียงอัดแน่นอย่างเป็นระเบียบ เนื่องจากบริเวณพื้นผิวของขั้วสังกะสีมีความราบเรียบสม่ำเสมอ ทำให้ความหนาแน่นของไอออนมีความสม่ำเสมอที่ระนาบเดียวกันเมื่อเทียบกับขั้วสังกะสีที่มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบซึ่งมีพื้นผิวไม่สม่ำเสมอทำให้บริเวณที่มีความสูงยื่นออกมามีความว่องไวในการออกกึ่งก้านสาขาของสังกะสีมากกว่าขั้วที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็นขั้วลบในการศึกษาเซลล์แบตเตอรี่ต่อไป

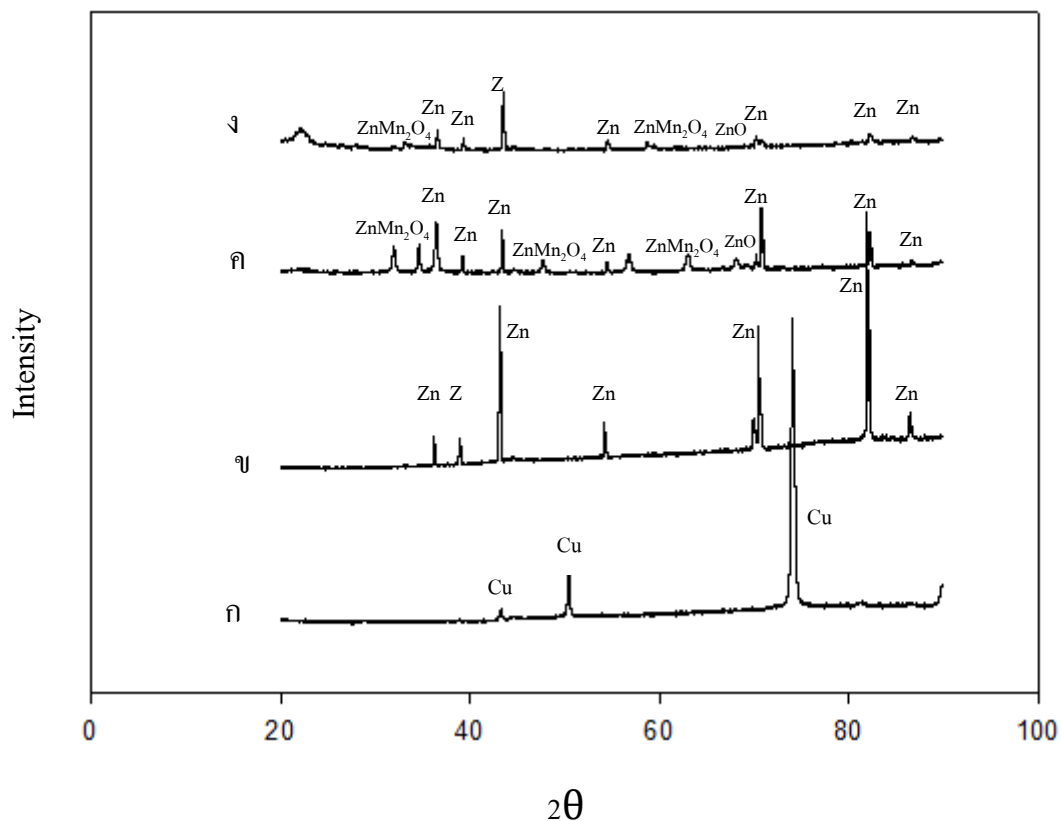
กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2557 กระทรวงพลังงาน และขอขอบคุณเงินทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทางวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2558 รหัสทุน 58142102 มหาวิทยาลัยขอนแก่น

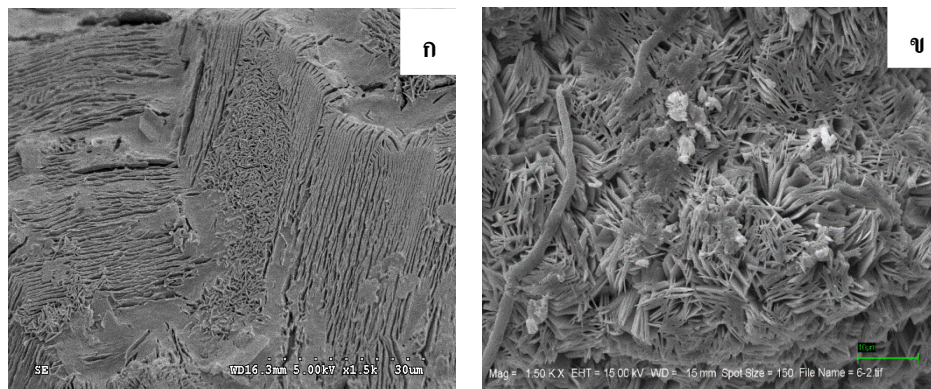
เอกสารอ้างอิง

1. Ito Y, Wei X, Desai D, Steingart D, Banerjee S. An indicator of zinc morphology transition in flowing alkaline electrolyte. J Power Sources. 2012 Aug 1;211:119–128.

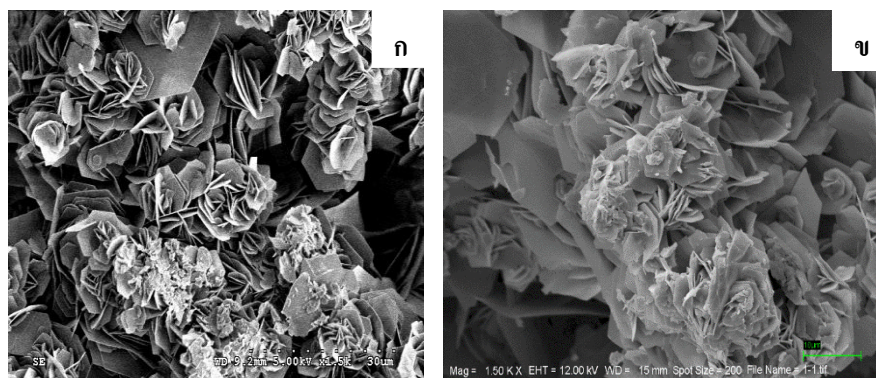
2. Ito Y, Nyce M, Plivelich R, Klein M, Steingart D, Banerjee S. Zinc morphology in zinc–nickel flow assisted batteries and impact on performance. *J Power Sources*. 2011 Feb 15;196(4):2340–2345.
3. Pai Y-H, Lin G-R. Electrochemical behavior of Zn anodes in Zn/air batteries for nano-roughened ZnO structure synthesis. In: 2010 3rd International Nanoelectronics Conference (INEC). 2010. p. 503–504.
4. Mouanga M, Ricq L, Douglade J, Berçot P. Corrosion behaviour of zinc deposits obtained under pulse current electrodeposition: Effects of coumarin as additive. *Corros Sci*. 2009 Mar;51(3):690–698.
5. Kei N, E. Chassaing, Michel R. In situ concentration measurements around the transition between two dendritic growth regimes. *Electrochimica Acta* 56 (2011) 5464–5471.
6. John W. Diggle and A. Damjanovic. The Electrocrystallization of Zinc Dendrites in High-Purity and Inhibitor Doped Alkaline Zincate Solutions. *J. Electrochem. Soc.* 1970 volume 117, issue 1, 65-687
7. Sharifi B, Mojtahedi M, Goodarzi M, Vahdati Khaki J. Effect of alkaline electrolysis conditions on current efficiency and morphology of zinc powder. *Hydrometallurgy*. 2009 Oct;99(1–2):72–76.
8. Ingale ND, Gallaway JW, Nyce M, Couzis A, Banerjee S. Rechargeability and economic aspects of alkaline zinc–manganese dioxide cells for electrical storage and load leveling. *J Power Sources*. 2015 Feb 15;276: 7–18.



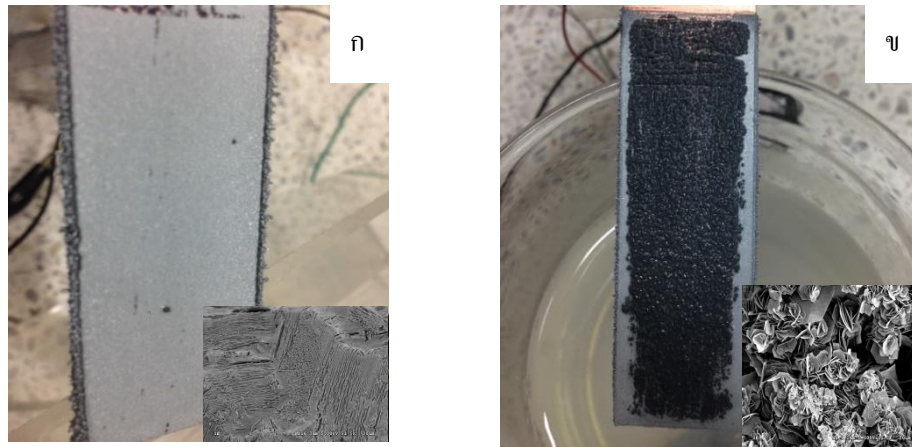
ภาพที่ 1 โครงสร้างพื้นผิวของขั้วไฟฟ้าวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ก) แผ่นทองแดงก่อนทำการชุบสังกะสี ข) ขั้ว Zn anode ที่เตรียมได้จากกระบวนการชุบสังกะสีบนแผ่นทองแดง ค) ขั้ว Zn anode มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอัดแน่นอย่างเป็นระเบียบหลังการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แบตเตอรี่ ง) ขั้ว Zn anode มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบหลังการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แบตเตอรี่



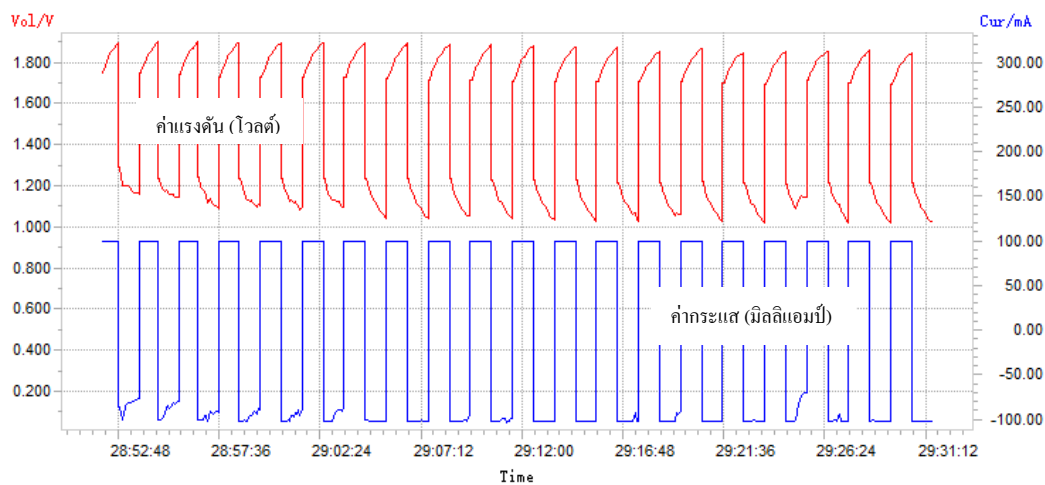
ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ขั้ว Zn anode ที่เตรียมได้จากการชุบโลหะร่วมกับสารละลาย ZnSO_4 ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่ความหนาแน่นกระแส 0.1 A/cm^2 ด้วยเทคนิค SEM กำลังขยาย 1500 เท่า ก) ขั้ว Zn anode มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอัดแน่นอย่างเป็นระเบียบก่อนการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แบตเตอรี่ ข) ขั้ว Zn anode มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวอัดแน่นอย่างเป็นระเบียบหลังการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แบตเตอรี่



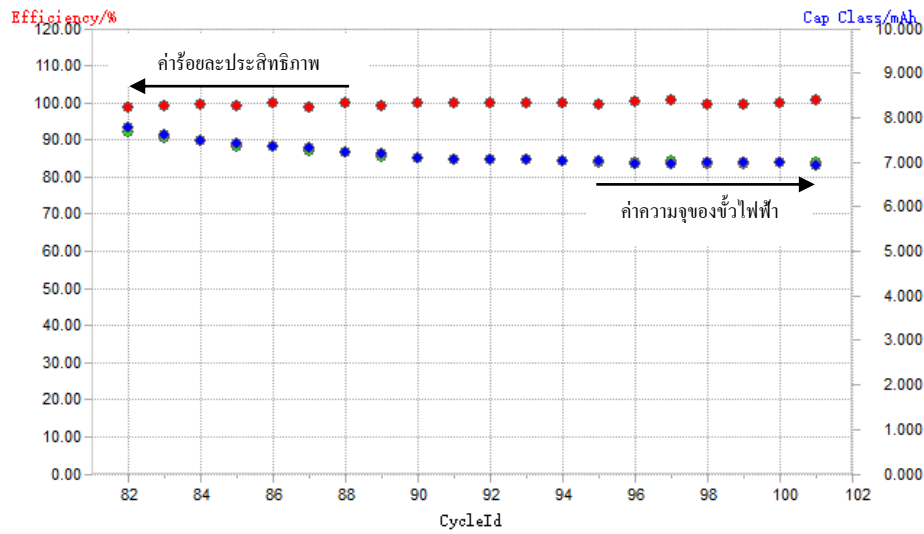
ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ขั้ว Zn Anode ที่เตรียมได้จากการชุบโลหะร่วมกับสารละลาย ZnSO_4 ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่ความหนาแน่นกระแส 0.02 A/cm^2 ด้วยเทคนิค SEM กำลังขยาย 1500 เท่า ก) ขั้ว Zn anode มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบก่อนการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แบตเตอรี่ ข) ขั้ว Zn anode มีโครงสร้างการจัดเรียงตัวกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบหลังการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แบตเตอรี่



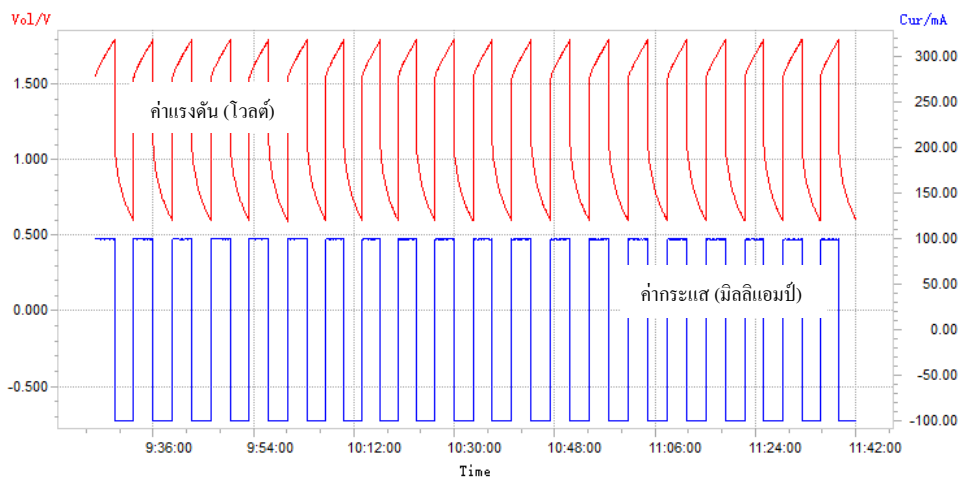
ภาพที่ 4 ขั้ว Zn anode เตรียมจากกระบวนการชุบโลหะ ก) ขั้ว Zn anode ที่เตรียมได้จากการชุบโลหะร่วมกับสารละลาย ZnSO_4 ความเข้มข้น 1 โมลลาร์ ที่ความหนาแน่นกระแส 0.1 A/cm^2 ที่โครงสร้างการจัดเรียงตัวอัดแน่นอย่างเป็นระเบียบ ข) ขั้ว Zn anode ที่เตรียมได้จากการชุบโลหะร่วมกับสารละลาย ZnSO_4 ความเข้มข้น 1 โมลลาร์ ที่ความหนาแน่นกระแส 0.02 A/cm^2 ที่มีโครงสร้างภายในจัดเรียงตัวกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบ



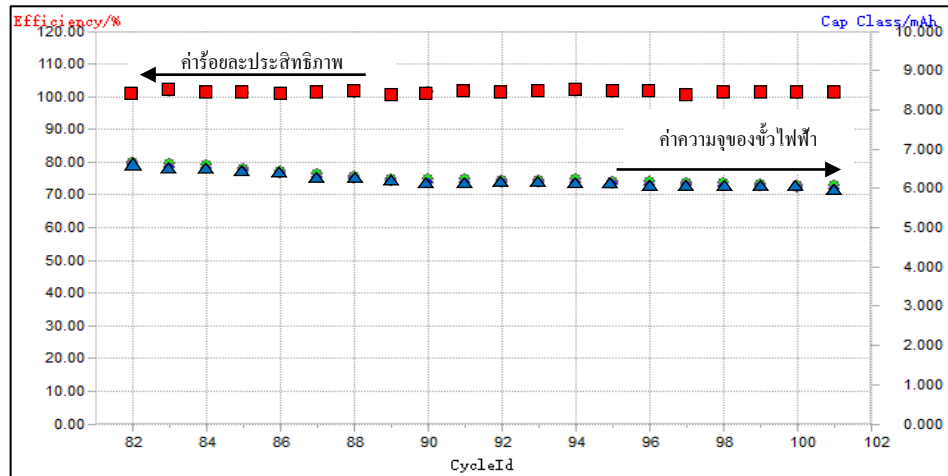
ภาพที่ 5 การทดสอบการอัดประจุและคายประจุด้วยกระแส 100 mA ที่ DOD ร้อยละ 100 ของขั้ว Zn anode ที่เตรียมได้จากการชุบโลหะร่วมกับสารละลาย ZnSO_4 ความเข้มข้น 1 โมลลาร์ ที่ความหนาแน่นกระแส 0.1 A/cm^2 ที่มีการจัดเรียงตัวอัดแน่นอย่างเป็นระเบียบ ร่วมกับขั้ว MnO_2 cathode



ภาพที่ 6 การทดสอบประสิทธิภาพขั้ว Zn anode ที่เตรียมได้จากการชุบโลหะร่วมกับสารละลาย ZnSO_4 ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่ความหนาแน่นกระแส 0.1 A/cm^2 ที่มีการจัดเรียงตัวอัดแน่นอย่างเป็นระเบียบ ร่วมกับขั้ว MnO_2 cathode การอัดประจุและคายประจุซ้ำด้วยกระแส 100 mA ที่ DOD ร้อยละ 100 จำนวน 100 รอบ



ภาพที่ 7 การทดสอบการอัดประจุและคายประจุซ้ำด้วยกระแส 100 mA ที่ DOD 100% ของขั้ว Zn anode ที่เตรียมได้จากการชุบโลหะร่วมกับสารละลาย ZnSO_4 ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่ความหนาแน่นกระแส 0.02 A/cm^2 มีการจัดเรียงตัวกระจัดกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบ ร่วมกับขั้ว MnO_2 cathode



ภาพที่ 8 การทดสอบประสิทธิภาพขั้ว Zn anode ที่เตรียมได้จากการชุบโลหะร่วมกับสารละลาย ZnSO_4 ความเข้มข้น 1 โมลลาร์ ที่ความหนาแน่นกระแส 0.02 A/cm^2 ที่มีการจัดเรียงตัวการจัดกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบ ร่วมกับขั้ว MnO_2 cathode การอัดประจุและคายประจุซ้ำด้วยกระแส 100 mA ที่ DOD 100% จำนวน 100 รอบ

หมายเหตุ

- คือ ค่าร้อยละของประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าที่ผ่านการทดสอบแล้ว (%Efficiency)
- ▲ คือ ค่าความจุของขั้วไฟฟ้าขณะที่ทำการอัดประจุ(Capacity of charge) มีหน่วยเป็น mAh
- คือค่าความจุของขั้วไฟฟ้าขณะที่ทำการคายประจุ(Capacity of discharge) มีหน่วยเป็น mAh