

การทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมีของ LiSi/LiCl-KCl-MgO/FeS₂ เซลล์เดี่ยวสำหรับต้นแบบแบตเตอรี่ความร้อน

สันติธา รัตนพันธุ์^{1*} และ สมัญญา สงวนพรรค²

วันที่รับ 7 สิงหาคม 2563 วันที่แก้ไข 19 สิงหาคม 2563 วันตอบรับ 21 สิงหาคม 2563

บทคัดย่อ

แบตเตอรี่ความร้อน (Thermal Battery) ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อประยุกต์ใช้งานทางการทหารที่ต้องการความหนาแน่นเชิงกำลังสูง โดยอาศัยหลักการทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน แบตเตอรี่ความร้อน (Thermal Battery) ถูกออกแบบมาให้ใช้ได้เพียงครั้งเดียว แต่สามารถเก็บได้เป็นระยะเวลานานโดยไม่เกิดการคายประจุ (Self-Discharge) ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่คือปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ระหว่างขั้วไฟฟ้า (Electrode) และอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) นอกจากนั้นส่วนประกอบของเซลล์ในแบตเตอรี่ถือเป็นส่วนที่ต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากความสามารถในการกักเก็บพลังงานขึ้นอยู่กับชนิดและสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ในการทำขั้วแคโทด แอโนด และอิเล็กโทรไลต์ ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมีโดยการทดสอบแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ Half Cell ของขั้วแอโนด (Anode) ซึ่งสังเคราะห์ด้วยสาร Li/Si, Half Cell ของขั้วแคโทด (Cathode) ซึ่งสังเคราะห์ด้วยสาร FeS₂ เป็นหลัก และ Single Cell ซึ่งเป็นการประกอบขั้วแอโนด อิเล็กโทรไลต์ และขั้วแคโทดวางซ้อนกัน โดยนำไปทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมีด้วยเครื่องทดสอบ Charge-Discharge Test พบว่า มีค่าความต่างศักย์ (Voltage) ที่ขั้วแอโนดประมาณ 0.20 - 0.25 V ค่าความต่างศักย์ (Voltage) ที่ขั้วแคโทดประมาณ 1.6 - 1.8 V และมีความต่างศักย์ของเซลล์แบตเตอรี่ (Single Cell) 2.66 V

คำสำคัญ : ครึ่งเซลล์, เซลล์เดี่ยว, ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมี, แบตเตอรี่ความร้อน

¹ ส่วนงานวิศวกรรมวัสดุระเบิดและนิวเคลียร์ ชีวะ เคมี ฝ่ายวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ

² ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

* ผู้แต่ง, อีเมล: Santita.r@dti.or.th

Test of Electrochemical Performance LiSi/LiCl-KCl-MgO/FeS₂ Single Cell for a Thermal Battery Prototypel

Santita Rattanaphan ^{1*} and Samunya Sanguanpak ²

Received 7 August 2020, Revised 19 August 2020, Accepted 21 August 2020

Abstract

Thermal batteries are specially designed according to the requirements for such military applications which present the need for a high power density battery. Thermal batteries rely on an electrochemical cell to produce an electric energy from the energy released by a chemical reaction with electron transfer. A thermal battery is a non-rechargeable, single use battery that can be stored for a long time without self-discharge. The key composition of the performance of thermal batteries is the chemical reaction between an electrode and an electrolyte. The materials selected for anode, cathode, and electrolyte are also important for energy-stored capacity. In this work, the performance of electrochemical cell was investigated. The experiment was divided into 3 parts to investigate; (1) a half-cell reaction on anode which was synthesized from Li/Si; (2) a half-cell reaction on cathode which was synthesized from FeS₂; and (3) a single cell which composed of the anode, cathode, and electrolyte. The charge-discharge test was used to investigate the performance of set-up electrochemical cell. The results showed voltage of 0.20 - 0.25 V on the anode, voltage of 1.6 - 1.8 V on the cathode, and the voltage of 2.66 V for the single Cell.

Keywords : Half cell, Single cell, Electrochemical, Performance, Thermal battery

¹ NBC and Explosive Engineering Division - RNE Research & Development Department – RRD Defence Technology Institute

² National Metal and Materials Technology Center - MTEC National Science and Technology Development Agency

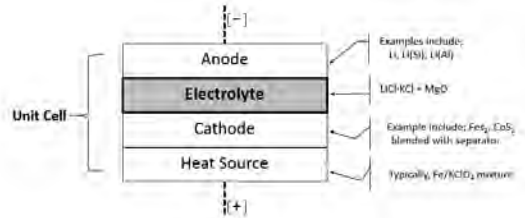
* Corresponding author, E-mail: santita.r@dti.or.th

1. บทนำและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานโดยการเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งอาศัยหลักการทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) การแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนขณะเกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดเป็นกระแสไฟฟ้า ในทางการทหารก็ได้มีการนำแบตเตอรี่มาประยุกต์ใช้แต่ค่อนข้างมีการใช้งานที่จำเพาะกว่าแบตเตอรี่ทั่วไป เรียกว่า แบตเตอรี่ความร้อน (Thermal Battery) จัดเป็นแบตเตอรี่ปฐมภูมิพร้อมใช้งาน (Primary Reserve Battery) สามารถใช้ได้ครั้งเดียว [1]

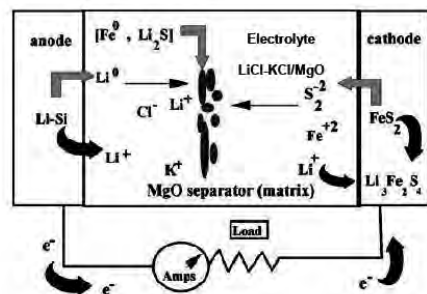
แบตเตอรี่ความร้อนได้นำมาประยุกต์ใช้งานทางการทหาร ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานให้กับอาวุธนิวเคลียร์ จรวดนำวิถีและนำไปประยุกต์ใช้กับทางการบิน เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกลที่ดียเยี่ยม [2] เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้เพียงครั้งเดียว ให้ความหนาแน่นเชิงกำลังสูง เนื่องจากแบตเตอรี่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงที่ระยะเวลาสั้นภายในไม่เกิน 100s ความหนาแน่นเชิงกำลังสูงจึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ นอกจากนั้น ยังมีความแข็งแรงทนทาน เก็บได้ระยะเวลายาวนานโดยไม่ต้องมีการบำรุงรักษา แต่อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ความร้อนยังคงมีข้อเสียคือเนื่องจากใช้ความร้อนในการทำงานส่งผลให้อุณหภูมิที่พื้นผิวแบตเตอรี่สูงมาก ($>230^{\circ}\text{C}$) และความดัน (Voltage Output) ของแบตเตอรี่ไม่เสถียรลดลงตามระยะเวลาการใช้งานโดยแบตเตอรี่ถูกกระตุ้นการทำงานด้วยความร้อน (Thermally Activate Batteries) เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้เฉื่อยต่อการนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิบรรยากาศ จึงต้องมีการกระตุ้นโดยใช้ความร้อนให้เกิดการลุกไหม้ Heat Plate จะทำหน้าที่ให้การเก็บรักษาความร้อนเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้การหลอมอิเล็กโทรไลต์เมื่ออุณหภูมิสูงพอที่จะหลอมเหลวสารอิเล็กโทรไลต์ (mp. $\text{LiCl-KCl } 352^{\circ}\text{C}$) [3] ประมาณ 500°C [2] อิเล็กโทรไลต์เกิดการหลอมเหลวและเริ่มเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนได้พลังงานไฟฟ้า และถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนและควบคุมระบบต่อไป

ส่วนประกอบของเซลล์เดี่ยว (Single Cell) แบตเตอรี่ความร้อน ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ขั้วไฟฟ้า (Electrode) ประกอบด้วยขั้วแอโนด (Anode) และขั้วแคโทด (Cathode) อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และ Heat Pellet ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่เซลล์ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเซลล์แบตเตอรี่ [3]

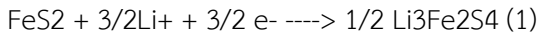
ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างสารตั้งต้นทำให้เลขออกซิเดชันมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้มีอะตอมของธาตุบางตัวสูญเสีย หรือได้รับอิเล็กตรอน เรียกปฏิกิริยาที่เกิดการเสียอิเล็กตรอนว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) จะเกิดที่ขั้วแอโนดของแบตเตอรี่ และเรียกปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอนว่า ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) จะเกิดที่ขั้วแคโทดของแบตเตอรี่ ซึ่งปฏิกิริยาเคมีที่กล่าวไปข้างต้นถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าและถูกเก็บสะสมในแบตเตอรี่เพื่อจ่ายออกมาเป็นกระแสไฟฟ้า สำหรับปฏิกิริยาเคมีของแบตเตอรี่ชนิด Li/FeS_2 โดยใช้ LiCl-KCl เป็นอิเล็กโทรไลต์เกิดปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วแอโนดและแคโทดแสดงในรูปที่ 2



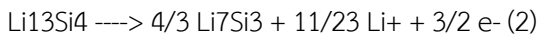
รูปที่ 2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์

ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์แบตเตอรี่ความร้อน (Thermal Battery) คือ ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน แสดงด้วยสมการเคมี ดังนี้

Reduction Reaction:



Oxidation Reaction:



2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 สารเคมี

1. Lithium, Li (99%, Aldrich) ขนาดอนุภาค 1-6 mm
2. Silicon, Si (99.5%, Alfa Aesar) ขนาดอนุภาค 45 μm (325 mesh)
3. Iron (II) Disulfide, FeS_2 (99.5%, Aldrich) ขนาดอนุภาค 45 μm (325 mesh)
4. Polyvinylidene Fluoride resin, PVDF (Aldrich) ความหนาแน่น 1.74 g/cm³
5. Lithium Chloride-Potassium Chloride, LiCl-KCl (Alfa Aesar) มีจุดหลอมเหลว 357 °C และขนาดอนุภาค 10 Mesh
6. Magnesium Oxide, MgO (99.95%, Alfa Aesar) ขนาดอนุภาค 45 μm (325 mesh)

2.2 เครื่องมืออุปกรณ์

1. Glove box ยี่ห้อ Inert รุ่น I-LAB 2GB
2. ตะแกรงร่อน ขนาด 149-44 μm (100-325 mesh)
3. เครื่องอัดโดรลิก แรงอัดสูงสุด 30 ตัน ยี่ห้อ MSK รุ่น YLJ-E30T
4. อลูมินาครุชีเบล
5. Hot Plate อุณหภูมิสูงสุด 300 °C ยี่ห้อ IKA

6. Charge-discharge Test ยี่ห้อ BK Precision รุ่น 8616 กำลัง 1200W ให้แรงดันไฟฟ้า (Operating Voltage) 0-500v และกระแสไฟฟ้า (Rated Current) 0-60A

2.3 ขั้นตอนการวิจัย

2.3.1 คำนวณเซลล์แบตเตอรี่

ประสิทธิภาพที่ต้องการของแบตเตอรี่ ต้องได้กระแสไฟฟ้าสูงสุด 30A ในเวลา 100s สามารถคำนวณค่าความจุ (Capacity) ของเซลล์แบตเตอรี่ตาม Faraday's Law ได้ดังสมการที่ (3)

$$Q = \frac{nF}{3600 \times Mw} \quad (3)$$

Q = Capacity (Ah/g)

n = Number of reacting

F = Faraday constant = 96500

Mw = Molecular weight

คำนวณหา Mw ของสารในสมการเคมีที่ (1) และ (2) ได้ดังนี้

$$\text{Li}_3\text{Fe}_2\text{S}_4 = 260.773 \text{ g/mol}$$

$$\text{Li}_7\text{Si}_3 = 132.34 \text{ g/mol}$$

$$\text{Li}_{13}\text{Si}_4 = 202.575 \text{ g/mol}$$

จากสมการเคมีที่ (1) และ (2) สามารถคำนวณหาความจุ (Capacity) โดยใช้สมการที่ (3) ได้ดังนี้

$$Q_{\text{Li}_3\text{Fe}_2\text{S}_4} = \frac{3 \times 96500}{3600 \times 260.773} = 0.308 \text{ Ah/g} \quad (4)$$

$$Q_{\text{Li}_{13}\text{Si}_4} = \frac{13 \times 96500}{3600 \times 202.575} = 1.72 \text{ Ah/g} \quad (5)$$

$$Q_{\text{Li}_7\text{Si}_3} = \frac{7 \times 96500}{3600 \times 132.84} = 1.41 \text{ Ah/g} \quad (6)$$

สามารถหาค่าความจุของ Oxidation Reaction (OX.) ได้ดังนี้

$$\Delta Q_{ox} = Q_{Li_{15}Si_4} - Q_{Li_7Si_3} \dots\dots\dots(7)$$

$$\Delta Q_{ox} = 1720 - 1410 = 310 \text{ mAh/g} \dots\dots\dots(8)$$

ประสิทธิภาพที่ต้องการของแบตเตอรี่ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 30 A ในเวลา 100 s สามารถคำนวณปริมาณสารที่ใช้ต่อเซลล์ได้จากสมการที่ (4) ปริมาณสาร LiSi สำหรับขั้วแอโนดดังนี้

$$LiSi = \frac{30 \text{ A} \cdot 100 \text{ s} \cdot 1 \text{ g}}{0.308 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s}} = 2.706 \text{ g} \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{และ... } LiSi = \frac{2.706 \text{ g}}{260.773} = 0.01 \text{ mol}$$

จาก Reduction Reaction ในสมการที่ (2) พบว่า 0.5 mol $Li_3Fe_2S_4$ ต้องใช้ FeS_2 1 mol และ 0.01 mol $Li_3Fe_2S_4$ ต้องใช้ FeS_2 ดังนี้

$$FeS_2 = \frac{1 \cdot 0.01}{0.5} = 0.02 \text{ mol}$$

$$FeS_2 = 0.02 \cdot 119.97 = 2.4 \text{ g}$$

2.3.2 การเตรียมเซลล์แบตเตอรี่

การเตรียมขั้วแอโนด (Anode) ผสมสาร Li/Si ในอัตราส่วน 44/56 โดยมวล [1] และผสมให้เข้ากัน ในอูลูมินาครุชชีเบล และเผาด้วยความร้อน 300°C บน Hot Plate ใน Glove Box เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นใช้ตะแกรงร่อนเพื่อไม่ให้อนุภาคจับตัวกันและทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้ปฏิกิริยาเคมีเสร็จสมบูรณ์ และนำไปอัดขึ้นรูปด้วยแรงอัด 3,000 psi ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm แสดงในตารางที่ 1

การเตรียมขั้วแคโทด (Cathode) ผสมสาร $FeS_2/LiCl-KCl-MgO/PVDF$ อัตราส่วน 70/27/3 โดยมวล จากการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้งอัตราส่วนดังกล่าวเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้ขั้วแคโทดสามารถอัดขึ้นรูปได้โดยไม่แตกและผสมให้เข้ากัน ในอูลูมินาครุชชีเบล จากนั้นบดผสมให้เข้ากันอีกครั้ง

แล้วใช้ตะแกรงร่อนและอัดขึ้นรูปด้วยแรงอัด 3,000 psi ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm แสดงในตารางที่ 1

การเตรียมอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ผสมสาร $LiCl-KCl/MgO$ ในอัตราส่วน 65/35 โดยมวล [1] และผสมให้เข้ากันในอูลูมินาครุชชีเบล และให้ความร้อนจากอุณหภูมิห้องจนถึง 125 °C ที่อัตรา 0.5 °C/min ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชม. เพื่อกำจัดความชื้น จากนั้นให้ความร้อนต่อจนถึง 500 °C ที่อัตรา 0.5 °C/min เป็นเวลา 15 ชั่วโมง เพื่อให้สารหลอมรวมตัวเข้ากัน และทิ้งไว้ให้เย็นใน Glove Box ก่อนเอาไปอัดขึ้นรูปเซลล์ด้วยแรงอัด 4,000 psi ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm แสดงในตารางที่ 1

2.3.3 การทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมี

การทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมี แสดงในรูปที่ 3 และ 4 มีขั้นตอน ดังนี้

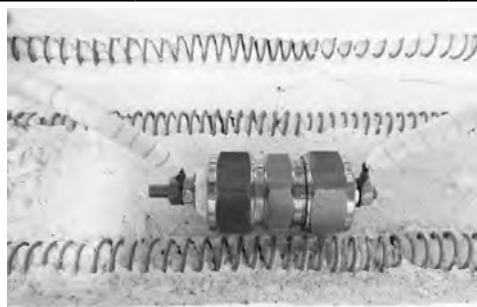
1. ประกอบเซลล์เทอร์มอลแบตเตอรี่ (Single Cell) ประกอบด้วยขั้วแอโนด อิเล็กโทรไลต์ และขั้วแคโทด เรียงซ้อนกันตามลำดับใน Single Cell Test
2. นำ Single Cell Test เข้าเตาเผา (Tube Furnace) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 °C เพื่อหลอมอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) โดยทำการเชื่อมต่อขั้วแบตเตอรี่เข้ากับเครื่อง Charge-discharge Test
3. ประกอบ Half Cell ขั้วแอโนด หรือขั้วแคโทด ที่ได้จากการขึ้นรูปในเซลล์ Swagelok โดยใช้ขั้วไฟฟ้าอีกฝั่งแทนด้วยขั้วมาตรฐาน และใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์มาตรฐาน โดยจำลองในสภาวะอุณหภูมิห้อง และเชื่อมต่อขั้วไฟฟ้ากับเครื่องทดสอบ Charge-Discharge Test แสดงในรูปที่ 5 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมี

3. ผลการวิจัย

ผลการทดสอบการอัดและคายประจุแบบใช้กระแสคงที่ด้วยเครื่อง Charge-discharge Test เพื่อดู

ตารางที่ 1 รายละเอียดการขึ้นรูปเซลล์

Cell	Composition (%wt)	Ø (mm)	นน./เซลล์ (g)	หนา (mm)	ρ (g/cm ³)	แรงอัด (psi)
Cathode	FeS ₂ /LiCl-KCl-MgO/PVDF = 70/27/3	20	0.5	2.00	2.80	3000
Electrolyte	LiCl-KCl/MgO = 65/35	20	0.5	1.70	1.75	4000
Anode	Li/Si = 44/56	20	0.5	2.16	1.00	3000
Single cell	Cat.+ Elec.+ An.	20	0.5	5.86	-	1000



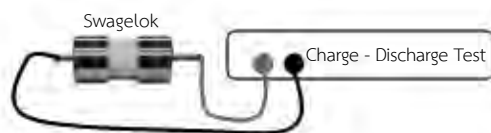
รูปที่ 3 การประกอบ Single Cell Test และการต่อวงจรการทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์

การเปลี่ยนแปลงของแรงดัน (Voltage) และความจุของแบตเตอรี่ (Capacity) แบ่งผลการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน คือ Half Cell ของขั้วแอโนด (Anode), Half cell ของขั้วแคโทด (Cathode) และ Single cell ตามลำดับ

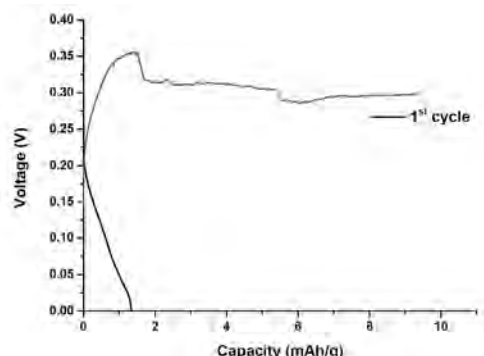
จากการทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้า Half Cell ของขั้วแอโนด (Anode) ที่ผ่านการสังเคราะห์ด้วยสาร LiSi_{3.18} แสดงในรูปที่ 6 พบว่า สามารถวัดค่าความต่างศักย์ (Voltage) ที่ขั้วได้ประมาณ 0.20-0.25 V โดยเริ่มจากการอัดประจุ (Charge) ตั้งแต่ 0.1-0.35 V เมื่อถึงแรงดันไฟฟ้าที่ 0.35 V ค่าเริ่มลดลงแสดงว่าเซลล์เริ่มเสื่อม อาจเกิดจากไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit) กันของขั้วในส่วนคายประจุ (Discharge) สามารถวัดค่าได้โดยค่าจะลดลงต่ำกว่า 0.2 V และเป็น 0 V เท่ากับที่ชาร์จได้ 0.35V ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่อิเล็กโทรไลต์



รูปที่ 4 การให้ความร้อนเซลล์แบตเตอรี่ใน Tube Furnace

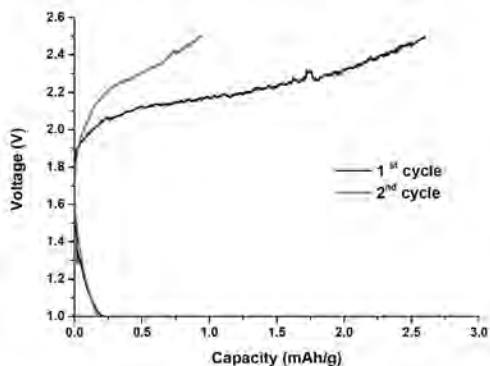


รูปที่ 5 การต่อวงจร Half Cell กับเครื่องทดสอบ Charge-discharge test



รูปที่ 6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ (Half Cell) ของขั้วแอโนด (Anode) LiSi_{3.18}

เริ่มกลับมาแข่งตัวอีกครั้งจึงไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีและศักย์ไฟฟ้าจึงลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นยังพบว่าค่าโวลต์ที่เก็บประจุและคายประจุมีค่าต่างกัน แสดงให้เห็นถึงค่าความต้านทานภายในเซลล์สูง อาจเกิดจากขั้นตอนการสังเคราะห์สารยังหลอมรวมตัวกันไม่ดี

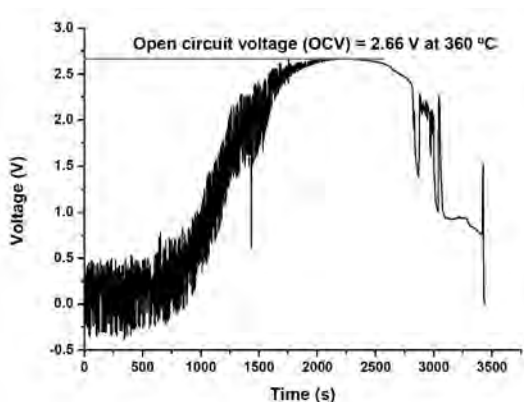


รูปที่ 7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ (Half Cell) ของขั้วแคโทด (Cathode)

จากการทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้า Half Cell ของขั้วแคโทด (Cathode) ที่ผ่านการสังเคราะห์ด้วย $\text{FeS}_2/\text{LiCl-KCl-MgO/PVDF}$ แสดงในรูปที่ 7 พบว่าสามารถวัดค่าความต่างศักย์ (Voltage) ที่ขั้วได้ประมาณ 1.6-1.8 V โดยเริ่มจากการอัดประจุ (Charge) ตั้งแต่ 1.0-2.5 V และคายประจุ (Discharge) ที่ช่วงศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์ยังไม่ดี ผลอาจจะมีปัจจัยการสังเคราะห์สารที่อาจจะยังไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันและสภาวะการจำลองในอุณหภูมิห้องที่ต่างจากสภาวะการใช้งานจริงส่งผลให้ความต้านทานภายในเซลล์ยังคงมีค่าสูง

จากการทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้า Full cell ของแบตเตอรี่ความร้อนในรูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ของศักย์ไฟฟ้า (Voltage) เทียบกับระยะเวลา

เนื่องจากการใช้งานจริงของแบตเตอรี่ความร้อนมีความต้องการใช้งานอยู่ที่ระยะเวลา 100s เพื่อให้ได้กระแสสูงสุดที่ 30A เวลาจึงมีความสำคัญในการใช้งานเพื่อให้ฮีลิกโทรไลต์ยังคงหลอมเหลวและสามารถจ่ายกระแสได้ตามต้องการ พบว่าช่วงแรกของการทดสอบค่าศักย์ไฟฟ้ายังคงไม่สม่ำเสมอเกิดจากอุณหภูมิยัง



รูปที่ 8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์เดี่ยว (Full Cell) ของแบตเตอรี่ความร้อน (Thermal battery)

ไม่ถึงจุดหลอมเหลว (Melting Point) ของฮีลิกโทรไลต์ ปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์จึงไม่เกิดที่ ค่าที่ได้จึงยังไม่เสถียร และเมื่อผ่านไปช่วงเวลาประมาณ 2000s อุณหภูมิถึงจุดที่ฮีลิกโทรไลต์หลอมเหลวอย่างสมบูรณ์ เส้นกราฟจึงเริ่มเรียบสม่ำเสมอ สามารถอ่านค่าความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ได้ 2.66 V เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 2750 s พบว่าค่าความต่างศักย์ (Voltage) ลดลงอย่างรวดเร็ว เกิดจากไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit) เนื่องจากชั้นของฮีลิกโทรไลต์ที่หลอมเหลวบางเกินไปส่งผลทำให้ขั้วไฟฟ้าอาจเกิดการสัมผัสกันได้ หรืออาจเกิดช่องว่างขึ้นระหว่างเซลล์ส่งผลให้วงจรทำงานได้ไม่เต็มที่ ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้แปรผันโดยตรงกับกระแสไฟฟ้า จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าต่ำมาก ส่งผลให้เข็มแอมมิเตอร์ได้กระแสไฟฟ้าต่ำไปด้วย

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมีของเซลล์แบตเตอรี่ความร้อน (Thermal Battery) โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ Half Cell ของขั้วแอโนด (Anode) ซึ่งสังเคราะห์ด้วยสาร Li/Si Half Cell ของขั้วแคโทด (Cathode) ซึ่งสังเคราะห์ด้วยสาร FeS_2 เป็นหลัก โดยทำการทดสอบทั้ง 2 ขั้วไฟฟ้า (Half Cell) จะจำลองการทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิห้องและ Single cell ซึ่งเป็นการประกอบขั้วแอโนด ฮีลิกโทรไลต์ และขั้วแคโทดวางซ้อนกัน และนำไปทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมีด้วยเครื่องทดสอบ

Charge - discharge Test โดยการจำลองสภาวะการหลอมเหลวอิเล็กโทรไลต์ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 °C ผลการทดสอบพบว่า ค่าความต่างศักย์ (Voltage) ที่ขั้วแอโนดได้ประมาณ 0.20-0.25V ค่าความต่างศักย์ (Voltage) ที่ขั้วแคโทดได้ประมาณ 1.6-1.8V และความต่างศักย์ของเซลล์แบตเตอรี่ (Single Cell) ได้ 2.66V แสดงให้เห็นว่าเซลล์แบตเตอรี่มีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเคมีต่ำอาจมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ซึ่งพบว่าความต้านทานภายในเซลล์แบตเตอรี่สูง อาจมีผลมาจากการสังเคราะห์เซลล์ที่สารไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันดีพอหรืออุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมอิเล็กโทรไลต์อาจจะยังไม่เพียงพอ จึงทำให้ปฏิกิริยาภายในเซลล์ที่เกิดขึ้นได้ไม่ดีและหากผู้วิจัยทำการทดลองมากกว่า 2 Cycle อาจจะช่วยให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

จากการวิจัยสมบัติทางไฟฟ้าเคมีของเซลล์แบตเตอรี่ความร้อน (Thermal Battery) ยังพบปัญหาและประเด็นทางวิชาการที่น่าสนใจในการศึกษาและพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยในอนาคต ดังนี้

1. การเลือกวิธีการสังเคราะห์เซลล์แบตเตอรี่เป็นปัจจัยส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์ เพื่อให้สารได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กและเป็นเนื้อเดียวกัน
2. หลังการสังเคราะห์สารควรทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้น เช่น ด้วยเทคนิค SEM, XRD เป็นต้น เพื่อตรวจสอบผลึกโครงสร้างของสารที่สังเคราะห์ และการกระจายตัวของเนื้อสาร
3. การหลอมอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) มีส่วนสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ ควรทำการทดสอบเบื้องต้นถึงช่วงอุณหภูมิและระยะเวลาที่อิเล็กโทรไลต์หลอมเหลวอย่างสมบูรณ์

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนขอขอบคุณนายสุวิชา จันทน์กะพ้อ ส่วนงานวิจัยพลังงานทดแทน สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ ในการอำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำขณะทำการทดสอบ

ครั้งนี้ และขอขอบคุณ ผศ.ดร.นงลักษณ์ มีทอง อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น และทีม ในการให้คำแนะนำและแนวทางวิจัย รวมถึงให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือในการทดสอบและการนำเสนอผลการทดสอบที่ทำให้บทความวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.A. Guidotti and P. Masset. "Thermal activated (thermal) battery technology Part I. Overview," Journal of Power Sources, vol. 161, pp. 1443-1449, July 2006.
- [2] I. Y. Kim, S. P. Woo et. al. "Binder-Free Cathode for Thermal Batteries Fabricated Using FeS₂ Treated Metal Foam," Front. Chem, January 2020.
- [3] A.S.Basin, A.B. Kaplun, A.B. Meshalkin and N.F.Uvarov, "The LiCl-KCl Binary System," Russian Journal of Inorganic Chemistry, vol. 53, No.9, pp. 1509-1511, July 2008.
- [4] Ronald A. Guidotti. "Thermally-Related Safety Issues Associated with Thermal Batteries," Sandia National Laboratories, June 2006.
- [5] Patrick Masset, Ronald A. Guidotti, "Thermal activated (thermal) battery technology Part II. Molten salt electrolytes," Journal of Power Sources, vol. 164, pp. 397-414, October 2006.
- [6] Patrick Masset, Ronald A. Guidotti, "Thermal activated ("thermal") battery technology Part III: FeS₂ Cathode material," Journal of Power Sources, vol. 177, pp. 595-609, November 2007.
- [7] CRC Handbook of Chemistry, and Physics, 70th Edition, Weast, R. C., Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, p. D-221, 1989.
- [8] T. Yu, Z. Yu et. al. "Electrochemical Performances and Air Stability of Fe-doped CoS₂ Cathode Materials for Thermal Batteries," International Journal of Electrochemical Science, Vol. 13, pp. 7590 – 7597, July 2018.
- [9] C. F. Chen, H. Y. Li and C. W. Hong. "Molecular Dynamics Analysis of High-temperature Molten-salt Electrolytes in Thermal Batteries" Tech Science Press, Vol.46, no.3, pp.145-163, 2015