

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อะลูมิเนียมอากาศในสารละลายผสม ระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมคลอไรด์

Performance of Aluminum-Air Battery in Mixed Solutions between NaOH and NaCl

วิษชล มานาดิ¹ ชัยภัทร เครือหงส์^{2*} สายฝน เครือหงส์² อภิชาติ อัจฉนาเสียว² พนมกร ขวาของ²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*Corresponding Author, E-mail: chaikr@kku.ac.th, c.kruehong@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อะลูมิเนียมอากาศที่สัดส่วนการผสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกัน โดยทำการทดสอบและวิเคราะห์การกัดกร่อนตัวเองของขั้วอะลูมิเนียม และทดสอบทางเคมีไฟฟ้าในสารละลายผสมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อีกทั้งวิเคราะห์พื้นผิวของขั้วไฟฟ้าหลังการทดสอบด้วยเครื่อง SEM และ XRD ผลการทดสอบบ่งชี้ว่าการใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับโซเดียมคลอไรด์ช่วยลดการกัดกร่อนตัวเอง และช่วยเพิ่มความหนาแน่นพลังงานของแบตเตอรี่อะลูมิเนียมอากาศได้มากกว่าเซลล์ที่ใช้สารละลายต่างเพียงอย่างเดียวถึง 6 เท่า ซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของปฏิกิริยาที่คอยกัดกินขั้วอะลูมิเนียม และการลดลงของตะกอนคาร์บอเนตที่ขั้วอากาศ

คำสำคัญ : แบตเตอรี่อะลูมิเนียมอากาศ สารละลายผสม การกัดกร่อนตัวเอง ความหนาแน่นพลังงาน

Abstract

This research is aimed at studying the performance of aluminum-air battery at various mixed ratios of sodium hydroxide and sodium chloride solutions. The self-corrosion of Al anodes and electrochemical behavior of electrodes was tested in the mixed solutions at 25 °C. Surface Morphology and crystalline phases of the electrodes after the tests were characterized systematically by field emission scanning electron microscope and X-ray diffraction. The results indicate that the using of mixed solutions between sodium hydroxide and sodium chloride can significantly decrease the self-corrosion of Al anode and increase the energy density of aluminum-air battery by 6 folds compared with that of a conventional alkaline Al-air cell. These resulted from the decreasing of parasitic reaction at aluminum anode and the decreasing of carbonate precipitation at air electrode.

Keywords : aluminum-air battery, mixed solution, self-corrosion, energy density

1. บทนำ

แบตเตอรี่โลหะอากาศ (Metal-air batteries) นับเป็นทางเลือกใหม่ของแบตเตอรี่ซึ่งให้ความหนาแน่นพลังงานสูงและมีต้นทุนต่ำ [1] อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบาและมีการออกแบบที่ไม่ยุ่งยาก [2] โดยแบตเตอรี่โลหะอากาศแบบลิเทียม (Lithium-air batteries) มีแนวโน้มการเก็บรักษาพลังงานในยานพาหนะไฟฟ้าทางทฤษฎีมากกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน [3]-[5] แต่ลิเทียมเป็นธาตุที่มีปริมาณน้อยบนโลกซึ่งปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้งานในปริมาณมาก [6] อะลูมิเนียมจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจใช้ทดแทนลิเทียมเพื่อทำแบตเตอรี่โลหะอากาศ เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ไร้พิษภัย ต้นทุนน้อย และมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาในระดับปานกลาง [7] อีกทั้งในทางทฤษฎีมีความหนาแน่นพลังงานสูงถึง 8,100 วัตต์-ชั่วโมงต่อกรัม [8]

แบตเตอรี่อะลูมิเนียมอากาศจะผลิตพลังงานได้ต้องมีอิเล็กโทรไลต์เป็นตัวกลางระหว่างขั้วไฟฟ้าแคโทดกับแอโนด ซึ่งประเภทของอิเล็กโทรไลต์ในแบตเตอรี่อะลูมิเนียมอากาศโดยทั่วไปจะนิยมใช้ สารละลายต่าง [9] การใช้สารละลายต่างจะทำให้การนำไฟฟ้าที่ดีและสามารถละลายอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวได้ [10] อย่างไรก็ตามการใช้สารละลายต่างทำให้เกิดการกัดกร่อนสูงที่ขั้วอะลูมิเนียมจึงทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง [11] อีกทั้งยังทำให้เกิดผลิตภัณฑ์คาร์บอนหรือเรียกว่าสภาวะคาร์บอนชั่น (Carbonation) ที่ไปขัดขวางการแพร่ของอากาศที่ขั้วแคโทดทำให้ประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าลดลง [12] ในปัจจุบันการลดปัญหาการกัดกร่อนที่ขั้วอะลูมิเนียมในสารละลายต่างทำได้หลายวิธี ดังเช่น การนำโลหะผสมอะลูมิเนียมมาใช้แทนอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ [13] การใช้อะลูมิเนียมที่มีความละเอียดของเกรนในโครงสร้างสูง [11] และการนำเซรามิกมาเคลือบบนพื้นผิวอะลูมิเนียม [14] เป็นต้น วิธีเหล่านี้สามารถลดปัญหาการกัดกร่อนที่ขั้วอะลูมิเนียมได้จึงทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น สำหรับแนวทางในการลดการเกิดสภาวะคาร์บอนชั่นในปัจจุบันทำได้โดยลดความเข้มข้นของสารละลายต่างลงเพื่อ

ลดการเกิดก๊าซไฮโดรเจนและทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานของขั้วสูงขึ้นแต่วิธีการนี้ทำให้ความหนาแน่นกำลังของแบตเตอรี่ลดลง [15] Lei Wang และคณะ [16] ได้เสนอแนวทางในการลดความเข้มข้นของต่างโดยการใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายต่างร่วมกับแอลกอฮอล์พบว่าสามารถลดการสลายตัวของขั้วและเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อะลูมิเนียมอากาศได้ แต่แนวคิดดังกล่าวยังมีข้อจำกัดบางประการเนื่องจากสารละลายที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสมจะมีความต้านทานของสารละลายที่เพิ่มขึ้น [16] จากงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในสารละลายต่างจะขึ้นกับสองปัจจัย คือ ความเข้มข้นของสารละลายต่างและส่วนผสมที่ใช้ในเซลล์แบตเตอรี่ สำหรับงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การลดความเข้มข้นของสารละลายต่างโดยการผสมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เนื่องจากสารละลาย NaCl เป็นสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ดี และไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ขั้วบวก

งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการลดการกัดกร่อนของขั้วอะลูมิเนียมและการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ขั้วแคโทดเพื่อเพิ่มระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่โดยการใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลาย NaCl มาเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ยังไม่เคยมีการทดลองในลักษณะดังกล่าวมาก่อน ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่าแบตเตอรี่อะลูมิเนียมอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเนื่องจากการกัดกร่อนที่ขั้วลดลง อีกทั้งสามารถลดการเกิดผลิตภัณฑ์ที่ขั้วบวกได้

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมแผ่นอะลูมิเนียมและแผ่นแกรไฟต์

เตรียมแผ่นอะลูมิเนียม (บริษัทอินเตอร์เอ็ดดูเคชั่นซัพพลายส์จำกัด ประเทศไทย) และแผ่นแกรไฟต์ (ห้างหุ้นส่วนจำกัดบีแอนด์บีอินเตอร์โปรดักส์ ประเทศไทย) ให้ได้ขนาดตามต้องการแล้วนำมาเคลือบด้านหลังด้วยกาวอีพอกซีจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง ขัดผิวด้านหน้าด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1,000 แล้วจึงล้างทำความสะอาดพื้นผิวด้วยเอทานอลในอ่างอัลตราโซนิคส์ (Ultrasonic cleaner) เป็นเวลา 3 นาที ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เก็บไว้ในโถสุญญากาศ

2.2 การทดสอบการกัดกร่อนขั้ว

นำแผ่นอะลูมิเนียมบริสุทธิ์เตรียมตามข้อ 2.1 ขนาด 1.5 x 1.5 เซนติเมตร นำไปชั่งน้ำหนักก่อนการทดสอบแล้ว แช่ในสารละลายที่ค่าสัดส่วนโดยปริมาตรของสารละลาย NaOH กับ NaCl เท่ากับ 1:0 1:1 1:99 และ 0:1 เป็นเวลา 40 นาที ทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาน้ำหนักที่หายไปจากการกัดกร่อน จากนั้นนำค่าน้ำหนักที่หายไป เวลาที่ใช้ และขนาดของชิ้นงานมาใช้คำนวณหาอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานที่สารละลายผสมสัดส่วนต่างๆ

2.3 การทดสอบทางเคมีไฟฟ้า

การทดสอบทางเคมีไฟฟ้าเพื่อศึกษาพฤติกรรมของ ขั้วอะลูมิเนียมและขั้วอากาศทดสอบด้วยวิธี โพลาริเซชัน โดยใช้เครื่อง โปเทนชิโอสแตท ยี่ห้อ Gamry รุ่น reference 600 (R600) การทดสอบนี้จะต่อเซลล์แบบ 3 ขั้วไฟฟ้า และทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) โดยการทดสอบพฤติกรรมของขั้วอะลูมิเนียมทำโดยใช้ แผ่นอะลูมิเนียมขนาด 0.5 x 1 เซนติเมตรเป็นขั้วไฟฟ้า ทำงาน แผ่นแกรไฟต์ขนาด 1 x 1 เซนติเมตรเป็น ขั้วไฟฟ้าตรงข้าม และซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) อิเล็กโทรดเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ในการทดลอง ทุกครั้งจะนำขั้วอะลูมิเนียมไปแช่ด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 4 โมลาร์ 20 นาที แล้วล้างด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่จะใช้ในการศึกษา ก่อนที่จะนำมาทดสอบ ศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิดและทดสอบโพลาริเซชัน จากนั้นทำการทดสอบโดยแปรค่าสารละลายผสมระหว่าง NaOH 4 โมลาร์ กับ NaCl 4 โมลาร์ ที่สัดส่วน 1:0 และ 1:1 เพื่อ ศึกษาพฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าในสารละลาย นั้นๆ สำหรับการทดสอบพฤติกรรมของขั้วอากาศจะนำ แผ่นแกรไฟต์ขนาด 0.5 x 1 เซนติเมตรมาใช้เป็นขั้วทำงาน โดยต่อเซลล์แบบ 3 ขั้วไฟฟ้าเช่นเดียวกัน

2.4 การทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

การทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อะลูมิเนียม อากาศจะวิเคราะห์ด้วยวิธีกลาวโนสแตติก การทดสอบนี้ต่อ เซลล์แบบ 2 ขั้วไฟฟ้า โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียมขนาด 0.5 x 1 เซนติเมตรเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน และแผ่นแกรไฟต์ขนาด

1 x 1 เซนติเมตรเป็นขั้วไฟฟ้าตรงข้าม ควบคุมกระแสคงที่ ที่ 1.0 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร ทำการทดสอบที่ อุณหภูมิห้อง โดยใช้สารละลายผสมระหว่าง NaOH 4 โมลาร์ กับ NaCl 4 โมลาร์ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แปร ค่าสัดส่วนสารละลาย NaOH กับ NaCl ที่ 1:0 1:1 และ 1:99 เพื่อหาศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ ระยะเวลาที่ขั้วสามารถ ปลดปล่อยกระแสไฟฟ้า ความจุของพลังงาน และความหนาแน่นพลังงาน

2.5 การทดสอบลักษณะทางกายภาพ

การทดสอบลักษณะทางกายภาพของขั้วก่อนและหลังการ ทดลองอาศัยการวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (scanning electron microscope—SEM) รุ่น LEO 1450 VP บริษัท LEO

2.6 การทดสอบโครงสร้างผลึก

โครงสร้างผลึกบนพื้นผิวขั้วอากาศวิเคราะห์ด้วย เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (Bruker D8 Advance XRD, Germany) ด้วยการฉายรังสีของ Cu และ K α ตั้งแต่ ช่วง 20° ถึง 40° ที่ 40 กิโลโวลต์ 40 มิลลิแอมป์

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 อัตราการกัดกร่อนของขั้วอะลูมิเนียม

อัตราการกัดกร่อนของขั้วอะลูมิเนียมเป็นการ ทดสอบสภาพของขั้วอะลูมิเนียมในขณะที่ไม่มีภาระจ่าย กระแสในวงจร การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบเพื่อ ศึกษาเสถียรภาพของขั้วอะลูมิเนียมในช่วงเวลาที่แบตเตอรี่ ไม่เกิดการใช้งาน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อะลูมิเนียมจะทำ ปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกิดก๊าซไฮโดรเจนซึ่ง เป็นปฏิกิริยาที่คอยกัดกินขั้วอะลูมิเนียมเสมือนตัวปรสิตที่ ดำรงชีพอยู่ได้โดยการแย่งแย่งอาหารในร่างกายของสัตว์ ต่างๆ [15] ดังแสดงในสมการที่ (1)



ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นตัวชี้วัดความสามารถในการ กัดกร่อนขั้วอะลูมิเนียมที่ทำให้สภาพขั้วอะลูมิเนียม เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบ

การกัดกร่อนของขั้วอะลูมิเนียมในสารละลาย NaOH สารละลาย NaCl และสารละลายผสมระหว่างสารละลาย NaOH กับสารละลาย NaCl ผลการศึกษาบ่งชี้ว่าขั้วอะลูมิเนียมในสารละลาย NaCl มีการกัดกร่อนเกิดขึ้นน้อยที่สุด ส่วนสารละลาย NaOH เกิดการกัดกร่อนที่รุนแรงที่สุดและเกิดก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณมาก สำหรับการใช้สารละลายผสมระหว่าง NaOH กับ NaCl ที่สัดส่วน 1:99 พบว่าสามารถลดอัตราการกัดกร่อนได้มากถึง 12 เท่า เมื่อเทียบกับการใช้สารละลาย NaOH เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้อัตราการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลายผสมระหว่าง NaOH กับ NaCl ที่สัดส่วน 1:99 มีค่าต่ำกว่าการใช้สารละลายผสมระหว่าง NaOH กับแอลกอฮอล์ หรือ โลหะผสมอะลูมิเนียมในสารละลาย NaOH ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนั้นสารละลาย NaOH ผสมกับสารละลาย NaCl สามารถช่วยลดอัตราการกัดกร่อนที่ขั้วอะลูมิเนียมได้ ทำให้ขั้วอะลูมิเนียมคงสภาพการใช้งานได้นานยิ่งขึ้น

ตารางที่ 1 อัตราการกัดกร่อนของขั้วอะลูมิเนียมที่สารละลายต่างๆ

สารละลาย (4 M)	สัดส่วน	น้ำหนักที่สูญเสีย (mg)	อัตราการกัดกร่อน ($\text{mg cm}^{-2} \text{h}^{-1}$)
NaCl	0:1	0.2	0.10
NaOH	1:0	35.2	17.51
NaOH+NaCl	1:1	23.0	11.44
NaOH+NaCl	1:99	2.9	1.44
NaOH ethanol-10%water*	-	-	5.34
NaOH**	1:0	-	13.19

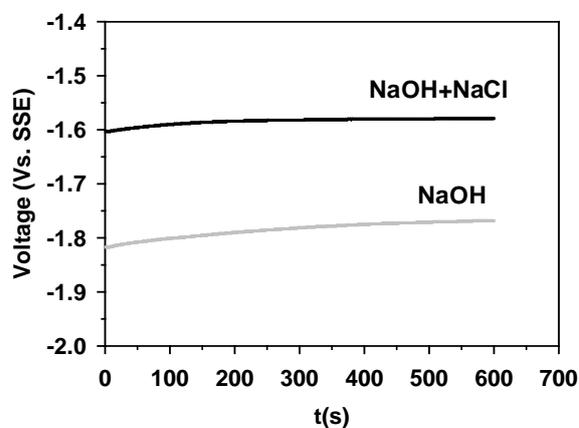
* อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ 99.9% [16]

** โลหะผสมอะลูมิเนียม [17]

3.2 เสถียรภาพของขั้วอะลูมิเนียม

ขั้วอะลูมิเนียมในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ผสมระหว่าง NaOH กับ NaCl (1:1) ให้ศักย์ไฟฟ้าวงจรถัดที่คงที่และมีเสถียรภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลาย NaOH เพียงอย่างเดียวดังแสดงในรูปที่ 1

สารละลาย NaOH ส่งผลต่อศักย์ไฟฟ้าวงจรถัดของขั้วอะลูมิเนียมโดยจะทำให้ศักย์ไฟฟ้ามีความเป็นลบสูงเนื่องจากพื้นผิวของอะลูมิเนียมในสารละลาย NaOH มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาที่สูงกว่าสารละลายชนิดอื่น สำหรับพื้นผิวอะลูมิเนียมในสารละลายผสมระหว่าง NaCl กับ NaOH ศักย์ไฟฟ้าที่ได้มีค่าเป็นลบต่ำกว่าสารละลาย NaOH สามารถอธิบายได้จากการลดลงของไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลายทำให้พื้นผิวของอะลูมิเนียมทำปฏิกิริยาได้น้อยลง และหากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าวงจรถัดที่เวลา 600 วินาทีเทียบกับที่เวลาเริ่มต้นพบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรถัดของขั้วอะลูมิเนียมในสารละลาย NaOH และสารละลายผสมระหว่าง NaOH กับ NaCl มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.05 และ 0.02 โวลต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าวงจรถัดของขั้วอะลูมิเนียมในสารละลายผสมมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการทดสอบในสารละลาย NaOH และบ่งชี้ว่าพื้นผิวของขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียมมีความเสถียรในสารละลายผสมมากกว่าสารละลาย NaOH



รูปที่ 1 ศักย์ไฟฟ้าวงจรถัดของขั้วอะลูมิเนียมในสารละลายผสม 1:1 (สีดำ) และ NaOH (สีเทา)

3.3 พฤติกรรมทางเคมีไฟฟ้าของขั้วในสารละลายผสม

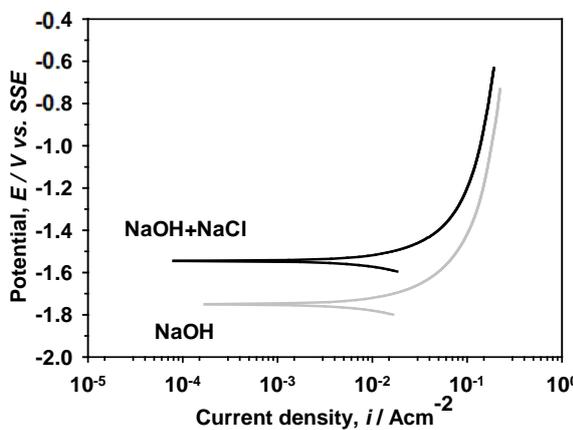
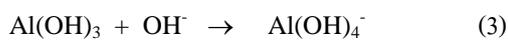
3.3.1 ขั้วอะลูมิเนียม (aluminum anode)

รูปที่ 2 แสดงแอมโพลิตาโนแกรมของขั้วอะลูมิเนียมในสารละลาย เมื่อพิจารณาเส้นกราฟแอมโพลิตาโนแกรมของขั้วอะลูมิเนียมพบว่าสารละลายผสมมีค่า

ศักย์การกัดกร่อนเป็นลบต่ำกว่าเนื่องจากในระบบมีสารละลาย NaCl ทำให้ความเข้มข้นของด่างลดลงและเกิดผลิตภัณฑ์อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ [18] ดังสมการที่ (2)



อย่างไรก็ตามศักย์การกัดกร่อนในสารละลายผสมมีค่าใกล้เคียงกับในสารละลาย NaOH อีกทั้งแนวโน้มของเส้นกราฟมีความคล้ายคลึงกัน เนื่องจากได้รับอิทธิพลของสารละลาย NaOH ทำให้ฟิล์มไฮดรอกไซด์ที่ขั้วอะลูมิเนียมเกิดการสลายตัวดังสมการที่ (3)



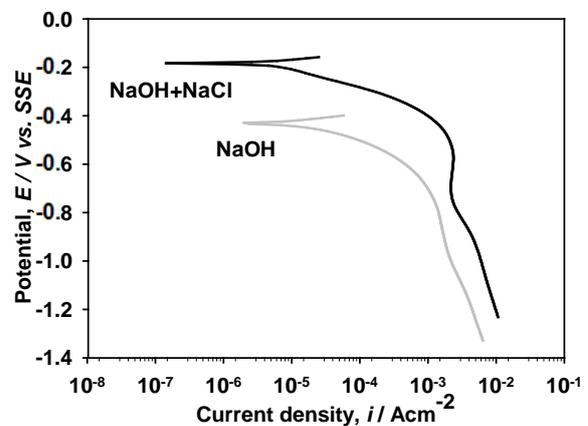
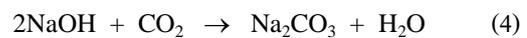
รูปที่ 2 แอโนดิกโพลาไรเซชันของขั้วอะลูมิเนียมในสารละลายผสม 1:1 (สีดำ) และ NaOH (สีเทา)

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นกระแสพบว่าในสารละลายผสมระหว่าง NaOH กับ NaCl (1:1) มีค่ากระแสที่ใกล้เคียงกับสารละลาย NaOH ดังนั้นความว่องไวของการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของขั้วอะลูมิเนียมในสารละลายดังกล่าวจึงมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการเพิ่มค่าศักย์แอโนดิกทั้งกรณีของสารละลาย NaOH และสารละลายผสมพบว่าความหนาแน่นของกระแสถูกจำกัดด้วยค่ากระแสค่าหนึ่ง (limiting current platform) ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวมักพบในสารละลายที่เป็นด่าง [13]

3.3.2 ขั้วอากาศ (Air cathode)

รูปที่ 3 แสดงกราฟแคโทดิกโพลาไรเซชันของแผ่นแกรไฟต์ที่ใช้เป็นขั้วอากาศในสารละลายผสมเปรียบเทียบกับ NaOH พบว่าความหนาแน่นกระแสของขั้วอากาศในสารละลายผสมมีค่าความหนาแน่นกระแสมากกว่า NaOH บ่งบอกได้ถึงความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนของก๊าซออกซิเจนที่ขั้วอากาศในสารละลายผสมที่มีค่ามากกว่า ซึ่งผลดังกล่าวตรงข้ามกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นที่ขั้วอะลูมิเนียมแอโนด (รูปที่ 2)

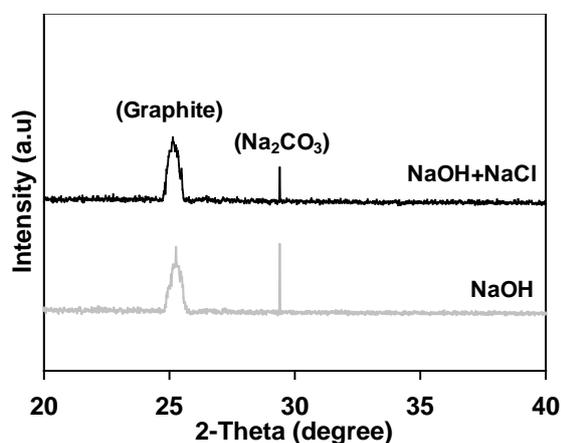
ในสารละลายด่างที่ขั้วอากาศจะมีปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นผลิตภัณฑ์คาร์บอเนต [19] ดังแสดงในสมการที่ (4) การใช้สารละลายผสมจะเป็นการลดความเข้มข้นของด่างทำให้เกิดการเกิดผลิตภัณฑ์คาร์บอเนตที่พื้นผิวส่งผลให้ความหนาแน่นกระแสของขั้วอากาศในสารละลายผสมมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งการเกิดผลิตภัณฑ์คาร์บอเนตที่พื้นผิวแกรไฟต์สามารถยืนยันได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD



รูปที่ 3 แคโทดิกโพลาไรเซชันของขั้วอากาศในสารละลายผสม 1:1 (สีดำ) และ NaOH (สีเทา)

รูปที่ 4 แสดงการตรวจสอบผลิตภัณฑ์คาร์บอเนตที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของแกรไฟต์ที่ใช้เป็นขั้วอากาศด้วยเครื่อง XRD ผลการทดสอบพบว่าค่าสัญญาณที่บ่งบอกถึงการเกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์คาร์บอเนตบนพื้นผิวของแกรไฟต์ที่ใช้เป็นขั้วอากาศในสารละลายด่างจะมีค่าสูงกว่าในสารละลาย

ผสม ผลึกคาร์บอนดังกล่าวจะส่งผลให้ความสามารถในการรับออกซิเจนของขั้วอากาศลดลง จึงทำให้การรับอิเล็กตรอนบนพื้นผิวลดลงตามไปด้วย แต่สำหรับการละลายผสมระหว่าง NaOH กับ NaCl (1:1) นั้น พบว่าการลดปริมาณของสารละลายต่างได้มีส่วนช่วยในการแก้ไขการก่อตัวของผลึกโซเดียมคาร์บอเนตที่พื้นผิวของแกรไฟต์ได้อย่างชัดเจน ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนที่ลดลงจะลดการเกิดผลึกโซเดียมคาร์บอเนตที่พื้นผิวแต่ไม่ได้ลดความสามารถในการทำงานของไอออนในสารละลายเนื่องจากปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนที่ลดลงในสารละลายผสมจะถูกชดเชยด้วยปริมาณคลอไรด์ไอออนที่เพิ่มขึ้น

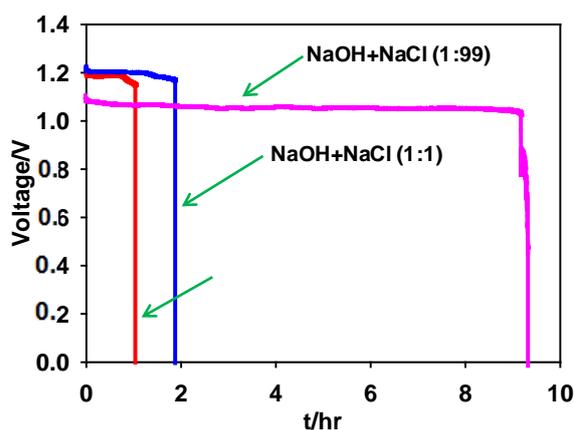


รูปที่ 4 XRD ของแผ่นแกรไฟต์ที่ใช้เป็นขั้วอากาศหลังจากทดสอบด้วยวิธีกัลวานอสแตติกที่ความหนาแน่นกระแส 1.0 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 10 นาที สารละลายผสม (สีดำ) และ NaOH (สีเทา)

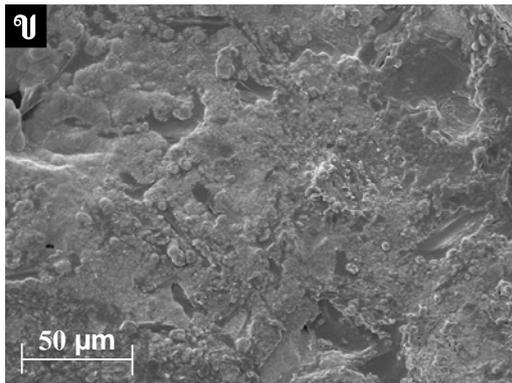
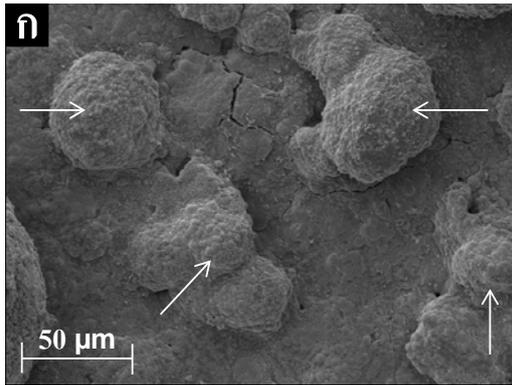
3.4 ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อะลูมิเนียมอากาศ

จากรูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลาย NaOH กับสารละลายผสมระหว่าง NaOH กับ NaCl (1:1) โดยควบคุมให้ขั้วอะลูมิเนียมปลดปล่อยพลังงานที่ความหนาแน่นกระแสเท่ากับ 1.0 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตรพบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่จะให้ระยะเวลาในการปลดปล่อยพลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งค่าความหนาแน่นพลังงานในสารละลาย NaOH เท่ากับ

23.73 วัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ส่วนในสารละลายผสมมีค่าเท่ากับ 29.71 วัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม แต่เมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนของสารละลาย NaCl ขึ้นเป็น 1:99 พบว่าค่าความหนาแน่นพลังงานสูงขึ้นเท่ากับ 145.66 วัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัมซึ่งสูงขึ้นเป็น 6 เท่า เมื่อเทียบกับสารละลาย NaOH นอกจากนี้เมื่อนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบเป็นเวลา 10 นาที มาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าเมื่อทิ้งให้สารละลายที่ใช้แห้งอยู่บนพื้นผิวของขั้วไฟฟ้า สภาพพื้นผิวของขั้วอะลูมิเนียมที่ผ่านการทดสอบในสารละลาย NaOH มีสารผลิตภัณฑ์ปกคลุมอยู่ทั่วทั้งพื้นผิวและพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ปกคลุมอยู่มีรูปร่างคล้ายฟองก๊าซซึ่งน่าจะเกิดจากการก่อตัวของก๊าซไฮโดรเจน (ลูกศรสีขาว) ดังรูปที่ 6ก แต่สำหรับในสารละลายผสมพบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพน้อยกว่าในสารละลาย NaOH ดังรูปที่ 6ข เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของสารละลาย NaCl ที่สูงขึ้นจะช่วยชะลอการเข้าทำปฏิกิริยาของไฮดรอกไซด์ไอออนที่คอยกัดกินเนื้ออะลูมิเนียมและลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น (สมการที่ (1)) ส่งผลให้พื้นผิวของอะลูมิเนียมสามารถจ่ายอิเล็กตรอนได้ดีขึ้น ระยะเวลาการปลดปล่อยพลังงานของแบตเตอรี่จึงสูงขึ้น



รูปที่ 5 พฤติกรรมการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าที่ความหนาแน่นกระแสเท่ากับ 1.0 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 6 ลักษณะทางกายภาพ (SEM) ของซั้วอะลูมิเนียม หลังจากการทดสอบวิธีกลาวโนสแตติกและปล่อยให้สารละลายแห้งอยู่บนพื้นผิว (ก) ใน NaOH และ (ข) สารละลายผสม (1:1)

จากงานวิจัยสามารถสรุปคุณสมบัติของเซลล์แบตเตอรี่อะลูมิเนียมอากาศในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2 จากค่าที่แตกต่างกันนี้เป็นการชี้ชัดว่าประเภทของสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้าซึ่งบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของซั้วอะลูมิเนียมแอโนดและซั้วอากาศ เมื่อพิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้าจากการทดลองพบว่าการใช้ซั้วอะลูมิเนียมในสารละลายผสมมีค่าศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกับสารละลาย NaOH แต่สารละลายผสมมีความสามารถในการรักษาสภาพของพื้นผิวอะลูมิเนียมได้มากกว่าแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการทำงานของซั้วอะลูมิเนียมแอโนดและซั้วอากาศในสารละลายผสมมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสารละลาย NaOH

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเซลล์แบตเตอรี่อะลูมิเนียมอากาศ

สารละลายอิเล็กโทรไลต์	ค่าศักย์ไฟฟ้า (V)	เวลา (hr)	ความจุพลังงาน (mAh g ⁻¹)	ความหนาแน่นพลังงาน (Wh/kg)
NaOH	1.182	1.04	20.08	23.73
NaOH+NaCl (1:1)	1.198	1.89	24.81	29.71
NaOH+NaCl (1:99)	1.061	9.39	137.28	145.66

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบอัตราการกัดกร่อนและเสถียรภาพของซั้วอะลูมิเนียม พฤติกรรมเคมีไฟฟ้าของซั้วแอโนดและแคโทด รวมถึงประสิทธิภาพของการปลดปล่อยพลังงานของซั้วอะลูมิเนียมในสารละลาย NaOH เปรียบเทียบกับสารละลายผสมระหว่าง NaOH และ NaCl พบว่าในสารละลายผสมอัตราการกัดกร่อนตัวเองที่ซั้วอะลูมิเนียมมีค่าต่ำกว่าสารละลาย NaOH ถึง 12 เท่า ทำให้ซั้วอะลูมิเนียมมีเสถียรภาพมากกว่าโดยที่พฤติกรรมเคมีไฟฟ้าของซั้วอะลูมิเนียมในสารละลายผสมมีค่าใกล้เคียงกับสารละลาย NaOH นอกจากนี้ออกซิเจนในสารละลายผสมสามารถรับอิเล็กตรอนที่ซั้วอากาศได้ดีกว่าสารละลาย NaOH จากพฤติกรรมทั้งหมดทำให้สารละลายผสม (1:99) มีค่าความหนาแน่นพลังงานเพิ่มขึ้นจากระบบที่ใช้สารละลาย NaOH ถึง 6 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแบตเตอรี่อะลูมิเนียมอากาศที่เพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนบ่มเพาะนักวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M.A. Rahman, X. Wang and C. Wen, "High energy density metal-air batteries: a review," Journal of The

- Electrochemical Society, Vol. 160, No. 10, pp. A1759-A1771, 2013.
- [2] J. Chen and F. Cheng, "Combination of lightweight elements and nanostructured materials for batteries," *Accounts of Chemical Research*, Vol. 42, No. 6, pp. 713–723, 2009.
- [3] P.G. Bruce, S. Freunberger, L.J. Hardwick and J.M. Tarascon, "Li-O₂ and Li-S batteries with high energy storage," *Nature Materials*, Vol. 11, pp. 19–30, 2012.
- [4] G. Girishkumar, B. McCloskey, A.C. Luntz, S. Swanson and W. Wilcke, "Lithium-air battery: promise and challenges," *The Journal of Physical Chemistry Letters*, Vol. 1, pp. 2193–2203, 2010.
- [5] J.S. Lee, S.T. Kim, R. Cao, N.S. Choi, M. Liu, K.T. Lee and J. Cao, "Metal-air batteries with high energy density: Li-air versus Zn-air," *Advanced Energy Materials*, Vol. 1, pp. 34–50, 2011.
- [6] L. Fan and H. Lu, "The effect of grain size on aluminum anodes for Al-air batteries in alkaline electrolytes," *Journal of Power Sources*, Vol. 284, pp. 409–415, 2015.
- [7] S. Yang and H. Knickle, "Design and analysis of aluminum/air battery system for electric vehicles," *Journal of Power Sources*, Vol. 112, pp. 162–173, 2002.
- [8] X. Zhang and S.H. Yang, "Novel operation and control of an electric vehicle aluminum/air battery system," *Journal of Power Sources*, Vol. 128, pp. 331–342, 2004.
- [9] D. Gelman, I. Lasman and S. Elfimchev, "Aluminum corrosion mitigation in alkaline electrolytes containing hybrid inorganic/organic inhibitor system for power sources applications," *Journal of Power Sources*, Vol. 285, pp. 100–108, 2015.
- [10] D. Linden and T.B. Reddy, "Handbook of Batteries," McGraw-Hill, Vol. 3, pp. 38.30, 2001.
- [11] L. Fan, H. Lu and J. Leng, "Performance of fine structured aluminum anodes in neutral and alkaline electrolytes for Al-air batteries," *Electrochimica Acta*, Vol. 165, pp. 22–28, 2015.
- [12] Q. Li and N.J. Bjerrum, "Aluminum as anode for energy storage and conversion: a review," *Journal of Power Sources*, Vol. 110, No. 1, pp. 1–10, 2002.
- [13] J. Ma, J. Wen, J. Gao and Q. Li, "Performance of Al–0.5 Mg–0.02 Ga–0.1 Sn–0.5 Mn as Anode for Al-Air Battery," *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 161, pp. A376–A380, 2014.
- [14] R. Mori, "A new structured aluminium–air secondary battery with a ceramic aluminium ion conductor," *Royal Society of Chemistry*, Vol. 3, pp. 11547–11551, 2013.
- [15] L. Wang, W. Wang, G. Yang, D. Liu, J. Xuan, H. Wang, M. K.H. Leung and F. Liu, "A hybrid aluminum/hydrogen/air cell system," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol 38, No. 34, pp. 14801–14809, 2013.
- [16] M. Jingling, W. Jiuba, Z. Hongxi and Q. Li, "Electrochemical performances of Al-0.5Mg-0.1Sn-0.02In alloy in different solutions for Al-air battery," *Journal of Power Sources*, Vol. 293, pp. 592–598, 2015.
- [17] J. Ma, J. Wen, J. Gao and Q. Li, "Performance of Al–1Mg–1Zn–0.1Ga–0.1Sn as anode for Al-air battery," *Electrochimica Acta*, Vol. 129, pp. 69–75, 2014.
- [18] M. Tamez and J.H. Yu, "Aluminum–Air Battery," *Journal of Chemical Education*, Vol. 84, No. 12, pp. 1936A–1936B, 2007.
- [19] M. Hyland, "Light Metals 2015," *Proceedings of the symposia sponsored by the TMS Aluminum Committee at the TMS 2015 Annual Meeting and Exhibition*, pp. 149, 2015.