การสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อศึกษาไฟฟ้าเคมี

มาลัย สว่างภพ[1] ปุริม จารุจำรัส[2] มะลิวรรณ อมตธงไชย[2]
สุภาพ ตาเมือง[2] และเสนอ ชัยรัมย์[2*]

[1]หลักสูตรวิทยาศาสตร์ศึกษา และ [2]ภาควิชาเคมีและศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วารินชำราบ อุบลราชธานี 34190
[*]E-mail: sanoe.c@ubu.ac.th

รับบทความ: 17 มีนาคม 2560 ยอมรับตีพิมพ์: 10 ตุลาคม 2560

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของบทความวิจัยนี้คือสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย ชุดอุปกรณ์นี้ประกอบด้วยแผ่นโลหะ (ทองแดง เงิน สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม และแมกนีเซียม) สารละลายโลหะและสารละลายโพแทสเซียมไนเตรตทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า ไอออนของโลหะ และอิเล็กโทรไลต์ ตามลำดับ ในบทความงานวิจัยนี้ นอกจากเส้นด้ายทำหน้าที่เป็นตัวรองรับปฏิกิริยาระหว่างแต่ละครึ่งเซลล์แล้ว ยังทำหน้าที่เป็นสะพานเกลือสำหรับอิเล็กโทรไลต์ด้วย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ให้ผลที่ไม่แตกต่างกับทฤษฎีที่คำนวณจากสมการของเนินสท์ ชุดอุปกรณ์นี้ยังสามารถศึกษาผลของความเข้มข้นที่มีต่อแรงเคลื่อนทางไฟฟ้าได้อีกด้วย ชุดอุปกรณ์นี้สามารถนำไปประยุกต์เป็นสื่อการสอนเคมีไฟฟ้าสำหรับนักเรียนในระดับมัธยมศึกษา เนื่องจากง่ายต่อการสร้างเซลล์กัลวานิก

คำสำคัญ: เซลล์กัลวานิก เส้นด้าย ไฟฟ้าเคมี ชั้นมัธยมศึกษา

Fabrication of Simple Galvanic Cells Using Cotton Thread to Investigate Electrochemistry

Malai Sawangpop[1], Purim Jarujamrus[2], Maliwan Amatatongchai[2], Suparb Tamuang[2] and Sanoe Chairam[2*]

[1]Program of Science Education, and [2]Department of Chemistry, and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

[*]E-mail: sanoe.c@ubu.ac.th

Received: 17 March 2017 Accepted: 10 October 2017

Abstract

The main purpose of this research article was to fabricate simple galvanic cells using cotton thread. This device contains various metal strips (Cu, Ag, Zn, Pb, Sn, Fe, Al and Mg), metal solutions, and potassium nitrate solution serving as electrodes, metal ions, and electrolyte, respectively. In this article, cotton thread is not only used to be a support for reactions between each half-cell, but also a salt bridge for electrolyte. The results showed that the observed cell potentials, E_{cell} (Obsd) were slightly different from the theoretical cell potentials, E_{cell} (Theor), calculated from the Nernst equation. This device also can be used to investigate the effect of concentrations on the electromotive force (emf). This device can be applied as a teaching tool of electrochemistry for students at the secondary school level because of an easy way to fabricate galvanic cells.

Keywords: Galvanic cell, Cotton thread, Electrochemistry, Secondary school

บทนำ

เคมีไฟฟ้า (electrochemistry) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ 2 แบบ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าและการเกิดกระแสไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมี ซึ่งปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าทุกปฏิกิริยาเกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอน เกิดผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (Whitten et al., 2007) เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาเคมีกับกระแสไฟฟ้า เรียกว่า เซลล์ไฟฟ้าเคมี (electrochemical cell) เซลล์ไฟฟ้าเคมีประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า (electrode) และสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ขั้วไฟฟ้าเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าได้ดีอย่างน้อยสองขั้ว (ชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน) ขั้วไฟฟ้าส่วนใหญ่ทำมาจากโลหะและทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านโดยมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิ-

กิริยาหรือไม่เกิดปฏิกิริยา ขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เรียกว่า ขั้วแคโทด (cathode) ส่วนขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า ขั้วแอโนด (anode) สารอิเล็กโทรไลต์เป็นสารที่นำไฟฟ้าได้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของเกลือไอออนที่เป็นองค์ประกอบ สารอิเล็กโทรไลต์อาจอยู่ในสถานะใดก็ได้ ส่วนใหญ่เป็นสารละลายของเกลือไอออนิกที่ละลายในน้ำ เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ไฟฟ้า ไอออนบวกและไอออนลบในสารอิเล็กโทรไลต์จะทำหน้าที่ปรับสมดุลของประจุในเซลล์ไฟฟ้าเคมี (Chang, 2012)

เซลล์ไฟฟ้าเคมีสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) บางครั้งเรียกว่า เซลล์โวลตาอิก (voltaic cell) และเซลล์อิเล็กโทรไลต์ (electrolytic cell) เซลล์กัลวานิกหรือเซลล์โวลตาอิกเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นเองแล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ส่วนเซลล์อิเล็กโทรไลต์เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ต้องใช้พลังงานภายนอก (กระแสไฟฟ้า) เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี (Whitten et al., 2007)

โดยทั่วไปเซลล์กัลวานิกหรือเซลล์โวลตาอิก คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันที่เกิดขึ้นได้เอง ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันถูกแยกออกจากกันโดยมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนผ่านวงจรภายนอก ตัวอย่างเซลล์กัลวานิกที่รู้จักกันดี ได้แก่ ถ่านไฟฉายที่ใช้ในกระบอกไฟฉาย วิทยุพกพา กล้องถ่ายรูป ของเล่น และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เซลล์กัลวานิกมีหลายแบบตามชนิดของโลหะและไอออนของโลหะ เซลล์แดเนียล (Daniel cell) เป็นเซลล์ที่นิยมนำมาสร้างเป็นแบบสำหรับการศึกษา เพราะมีราคาถูก ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ที่มีขั้วไฟฟ้าเป็นแท่งสังกะสีจุ่มในสารละลาย $ZnSO_4$ เข้มข้น 1.0 M และครึ่งเซลล์ที่มีขั้วไฟฟ้าเป็นแท่งทองแดงจุ่มในสารละลาย $CuSO_4$ เข้มข้น 1.0 M ครึ่งเซลล์ทั้งสองเชื่อมต่อกันด้วยเส้นลวดตัวนำ เราสามารถวัดความต่างศักย์ได้โดยใช้โวลต์มิเตอร์ (Suwannapruek, 2014) ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ (cell potential) เป็นการวัดความแตกต่างระหว่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว (แอโนดและแคโทด) ของเซลล์ ซึ่งศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แทนด้วย E^0_{cell} โดยศักย์ของแต่ละขั้วไฟฟ้าหมายถึงศักย์ในการเกิดรีดักชันของขั้วไฟฟ้านั้น เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน (standard reduction potentials) ซึ่งเขียนเป็น E^0_{red} ส่วนศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ E^0_{cell} หมายถึงศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของปฏิกิริยาที่แคโทด E^0_{red}(แคโทด) ลบศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของปฏิกิริยาที่แอโนด E^0_{red}(แอโนด) ดังในสมการที่ (1)

$$E^0_{cell} = E^0_{red}(\text{แคโทด}) - E^0_{red}(\text{แอโนด}) \text{ - - - (1)}$$

สำหรับการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษา Eggen et al. (2012) พัฒนาอุปกรณ์เพื่อนำมาใช้สำหรับการจัดเรียนการสอนไฟฟ้าเคมี เช่น การสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่าย ทำได้ง่าย และวัสดุอุปกรณ์ราคาถูก นักเรียนสามารถฝึกสร้างเซลล์กัลวานิกได้เอง และสามารถนำมาอธิบายองค์ประกอบของเซลล์กัลวานิกให้นักเรียนเข้าใจได้มากขึ้น ต่อมา Khattiyavong et al. (2014) พัฒนาเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ มีวิธีการสร้างที่ง่าย เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการสอนเคมีไฟฟ้าในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เมื่อเร็ว ๆ นี้ Chatmontree et al. (2015) ได้พัฒนาเซลล์กัลวานิกโดยเน้นการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริงด้วยชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ สามารถส่งเสริมความรู้ความเข้าใจของนักเรียนในวิชาเคมี

ได้เป็นอย่างดี

ปัจจุบันเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้เป็นอุปกรณ์ในการศึกษาไฟฟ้าเคมีในโรงเรียนยังคงใช้ชุดอุปกรณ์และสารเคมีที่มีราคาแพง วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ทดลองจะกลายเป็นของเสีย หากไม่มีระบบการกำจัดที่ดีจะกลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่นักวิจัยจะต้องศึกษาเพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาเหล่านี้ เช่น ประยุกต์ใช้วัสดุอุปกรณ์ทางเลือกที่หาได้ง่ายและราคาถูก ลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ให้น้อย ลดการใช้สารเคมีที่อาจทำให้เกิดอันตรายกับนักเรียน ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย (cotton thread) เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนสำหรับการทดลองไฟฟ้าเคมี เซลล์กัลวานิกที่ทำจากเส้นด้ายนี้นอกจากจะขั้นตอนในการสร้างขึ้นที่ง่ายแล้วยังมีต้นทุนต่ำ ใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อยและปลอดภัยกับนักเรียนด้วย และน่าจะเป็นที่สนใจสำหรับครูเคมีในการนำไปเป็นสื่อการสอนสำหรับจัดการเรียนการสอนไฟฟ้าเคมีในระดับชั้นมัธยมศึกษา

วัสดุ/อุปกรณ์ และสารเคมี

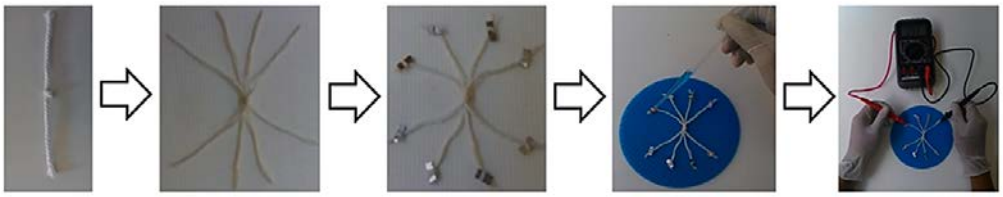
วัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยเส้นด้าย แผ่นโลหะทองแดง เงิน สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม และแมกนีเซียม สำหรับทำขั้วไฟฟ้า เครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล กระดาษทรายเนื้อละเอียดสำหรับขัดและทำความสะอาดแผ่นโลหะ หลอดหยดพลาสติก แผ่นรองพลาสติก เครื่องแก้วสำหรับเตรียมสารละลาย สารเคมีที่ใช้เตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์และสารละลายที่ใช้คู่กับขั้วไฟฟ้าโลหะ ได้แก่ KNO_3 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ $ZnSO_4 \cdot H_2O$ $AgNO_3$ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ $Pb(NO_3)_2$ $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ $MgSO_4$ และ $Al_2(SO_4)_3$

การสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายมีขั้นตอนในการสร้างดังนี้ ตัดเส้นด้ายความยาวประมาณ 15 cm จำนวน 4 เส้น มัดกึ่งกลางของเส้นด้าย โดยแบ่งเส้นด้ายออกเป็น 8 เส้นเท่า ๆ กัน จากนั้นมัดแผ่นโลหะทองแดง เงิน สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม และแมกนีเซียมเข้ากับปลายเส้นด้ายแต่ละเส้น หยดสารละลาย KNO_3 เข้มข้น 1.0 M ลงบนตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นด้ายที่มัดรวมกันเพื่อให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมเข้าไปในเส้นด้าย หยดสารละลายที่มีไอออนของโลหะชนิดเดียวกันกับแผ่นโลหะลงไปบนเส้นด้ายตำแหน่งที่มัดติดกับแผ่นโลหะ จำนวน 2 หยด เช่น หยดสารละลาย $CuSO_4$ เข้มข้น 1.0 M ลงไปบนเส้นด้ายตำแหน่งที่มัดติดกับแผ่นโลหะทองแดง วัดความต่างศักย์ระหว่างสองครึ่งเซลล์ที่สนใจโดยใช้มัลติมิเตอร์บันทึกศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้และวัดศักย์ไฟฟ้าจนครบทุกเซลล์ (ภาพที่ 1)

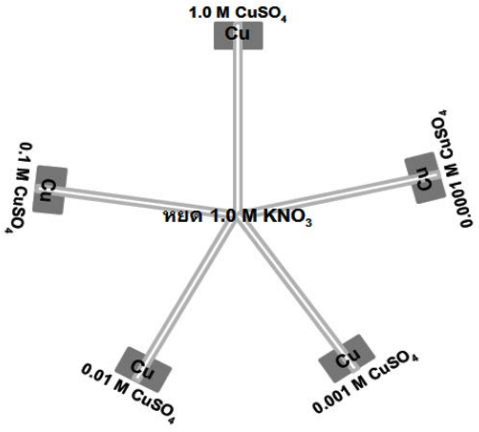
เซลล์ความเข้มข้น (concentration cell)

การสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อศึกษาเซลล์ความเข้มข้นมีขั้นตอนเช่นเดียวกับเซลล์กัลวานิก แต่แบ่งเส้นด้ายจำนวนที่น้อยกว่า เช่น แบ่งเส้นด้ายออกเป็น 5 เส้น เลือกครึ่งเซลล์ขั้วไฟฟ้าที่สนใจมา 1 ชนิด เช่น เซลล์ความเข้มข้นของทองแดง จากนั้นมัดแผ่นโลหะทองแดงเข้ากับปลายเส้นด้ายแต่ละเส้น หยดสารละลาย KNO_3 เข้มข้น 1.0 M ลงบนเส้นด้ายให้ซึมเข้าไปในเส้นด้ายทั้งหมด แล้วหยดสารละลาย $CuSO_4$ เข้มข้น 0.0001 M, 0.0010 M, 0.0100 M, 0.1000 M และ 1.0000 M



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย (ครึ่งเซลล์ไฟฟ้าในภาพประกอบด้วย Cu Ag Zn Pb Sn Fe Al และ Mg

ตามลำดับ ลงบนเส้นด้ายแต่ละเส้นในตำแหน่งที่มัดติดกับแผ่นโลหะทองแดง จำนวน 2 หยด (ภาพที่ 2) จากนั้นวัดความต่างศักย์ระหว่างสองครึ่งเซลล์ด้วยมัลติมิเตอร์ บันทึกศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้และวัดศักย์ไฟฟ้าจนครบทุกเซลล์ความเข้มข้น



ภาพที่ 2 เซลล์ความเข้มข้นของ $CuSO_4$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้แสดงดังในภาพที่ 1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วยเส้นด้าย (ความยาว 15 เซนติเมตร) มีราคาถูก และใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ปริมาณน้อยที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า Cu Ag Zn Pb Sn Fe Al และ Mg จะเห็นได้ว่าวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้หาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดและมีราคาถูก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Eggen and Skaugrud (2012) สร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่าย Three-part galvanic cell ซึ่งนักเรียนสามารถทำได้ง่าย ใช้เวลาในการทดลองน้อยและอุปกรณ์ที่ใช้สร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายมีราคาถูก ในทำนองเดียวกัน Khattiyavong et al. (2014) ได้พัฒนาชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า Cu Zn Al Mg และ Fe ซึ่งสะพานเกลือทำจากเส้นด้ายราคาถูก (ความยาว 18 เซนติเมตร) ชุบกับการละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งใช้ปริมาตรสารละลายอิเล็กโทรไลต์น้อยลง (2.00 mL) เหมาะสำหรับใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับสอนเคมีไฟฟ้าในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย นอกจากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้มีต้นทุนต่ำแล้ว ยังใช้สารเคมีในปริมาณน้อย ทำให้ของเสียจากการทิ้งสารเคมีมีปริมาณน้อยลง

การประยุกต์ใช้ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายในการทดลองวัดศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิกซึ่งประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า Cu Ag Zn Pb Sn Fe Al และ Mg โดยใช้มัลติมิเตอร์ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองครึ่งเซลล์ที่วัดได้ทั้งหมดมีจำนวน 28 คู่เซลล์ หลังจากนำค่าที่ได้จากการทดลองด้วยชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายมาเปรียบเทียบกับค่าทฤษฎีที่คำนวณจากสมการเนินสท์

(Nernst equation) พบว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกัน (ตาราง 1) ยกเว้นคู่เซลล์ไฟฟ้าที่มี Mg และ Al เป็นองค์ประกอบ ต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดมีค่าแตกต่างจากค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี Chatmon-tree et al. (2015) ได้ให้ความเห็นไว้ว่า นอกจากความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ใช้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแผ่นโลหะอิเล็กโทรดที่ใช้ด้วย เป็นที่ทราบกันดีว่า โลหะ Mg และ Al เป็นโลหะธาตุหมู่หลัก (main group) หรือธาตุเรพรีเซนเตทีฟ (representative element) โลหะเหล่านี้มักจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์รีดักชันต่ำ Al มีค่า E^0 = -2.36 V ส่วน Al มีค่า E^0 = -1.66 V ดังนั้นโลหะทั้งสองจึงมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ง่าย และกลายเป็นชั้นโลหะออกไซด์ เช่น MgO และ Al_2O_3 ที่เคลือบเป็นชั้นบาง ๆ ปกคลุมอยู่บนผิวของแผ่นโลหะที่ใช้เป็นอิเล็กโทรด

การประยุกต์ใช้เซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายมาศึกษาเซลล์ความเข้มข้น ผู้วิจัยได้สร้างเซลล์ความเข้มข้นที่มีขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะทองแดงในสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0.0001 M, 0.0010 M, 0.0100 M, 0.1000 M และ 1.0000 M ตามลำดับ (ภาพที่ 2) ผู้วิจัยวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองครึ่งเซลล์ จำนวน 4 คู่เซลล์ นำค่าศักย์ไฟฟ้าจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่คำนวณจากสมการเนินสท์ตามสมการที่ (2) ได้ผลดังในตาราง 2

$$E_{cell} = E^0_{cell} - \frac{0.05915}{n} \log Q \quad \text{- - - (2)}$$

เมื่อ E_{cell} คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ไม่ใช่สภาวะมาตรฐาน

ตาราง 1 เปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการทดลองกับทฤษฎีที่คำนวณจากสมการเนินสท์

เซลล์	E_{cell} (การทดลอง)/V	E_{cell} (ทฤษฎี)/V
$Sn\|Sn^{2+}\|\|Cu^{2+}\|Cu$	0.48	0.48
$Mg\|Mg^{2+}\|\|Cu^{2+}\|Cu$	1.65	2.71
$Pb\|Pb^{2+}\|\|Cu^{2+}\|Cu$	0.46	0.47
$Zn\|Zn^{2+}\|\|Cu^{2+}\|Cu$	1.01	1.10
$Fe\|Fe^{2+}\|\|Cu^{2+}\|Cu$	0.65	0.78
$Cu\|Cu^{2+}\|\|Ag^{+}\|Ag$	0.42	0.46
$Al\|Al^{3+}\|\|Cu^{2+}\|Cu$	0.58	2.00
$Zn\|Zn^{2+}\|\|Fe^{2+}\|Fe$	0.32	0.32
$Zn\|Zn^{2+}\|\|Ag^{+}\|Ag$	1.44	1.56
$Al\|Al^{3+}\|\|Zn^{2+}\|Zn$	0.59	0.90
$Zn\|Zn^{2+}\|\|Sn^{2+}\|Sn$	0.52	0.62
$Mg\|Mg^{2+}\|\|Zn^{2+}\|Zn$	0.83	1.61
$Zn\|Zn^{2+}\|\|Pb^{2+}\|Pb$	0.53	0.63
$Fe\|Fe^{2+}\|\|Ag^{+}\|Ag$	1.07	1.24
$Al\|Al^{3+}\|\|Fe^{2+}\|Fe$	0.15	1.22
$Fe\|Fe^{2+}\|\|Sn^{2+}\|Sn$	0.14	0.30
$Mg\|Mg^{2+}\|\|Fe^{2+}\|Fe$	0.98	1.93
$Fe\|Fe^{2+}\|\|Pb^{2+}\|Pb$	0.15	0.31
$Al\|Al^{3+}\|\|Ag^{+}\|Ag$	1.03	2.46
$Sn\|Sn^{2+}\|\|Ag^{+}\|Ag$	0.93	0.94
$Mg\|Mg^{2+}\|\|Ag^{+}\|Ag$	1.87	3.17
$Pb\|Pb^{2+}\|\|Ag^{+}\|Ag$	0.89	0.93
$Al\|Al^{3+}\|\|Sn^{2+}\|Sn$	0.12	1.52
$Mg\|Mg^{2+}\|\|Al^{3+}\|Al$	0.76	0.71
$Al\|Al^{3+}\|\|Pb^{2+}\|Pb$	0.25	1.53
$Mg\|Mg^{2+}\|\|Sn^{2+}\|Sn$	1.31	2.23
$Sn\|Sn^{2+}\|\|Pb^{2+}\|Pb$	0.009	0.01
$Mg\|Mg^{2+}\|\|Pb^{2+}\|Pb$	1.52	2.24

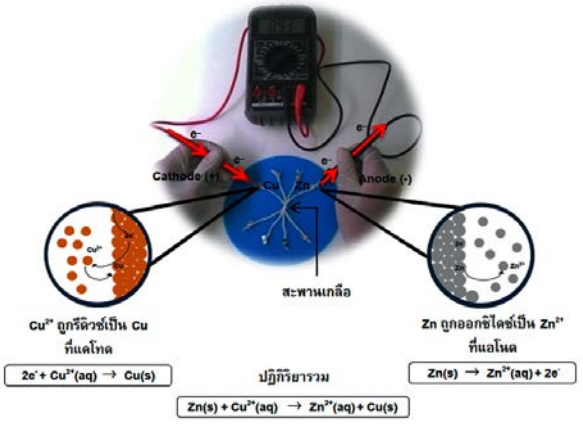
E^0_{cell} คือ ศักย์ไฟฟ้าที่สภาวะมาตรฐาน
n คือจำนวนโมลของอิเล็กตรอนที่ถ่ายโอนในคู่เซลล์ปฏิกิริยา
Q คือ อัตราส่วนผลคูณความเข้มข้น

ตาราง 2 เปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วของเซลล์ความเข้มข้นจากการทดลองกับทฤษฎีที่คำนวณจากสมการเนินสท์

เซลล์	E_{cell} (การทดลอง)/V	E_{cell} (ทฤษฎี)/V
$Cu\|Cu^{2+}(0.1000\ M)\|\|Cu^{2+}\|Cu$	0.024	0.029
$Cu\|Cu^{2+}(0.0100\ M)\|\|Cu^{2+}\|Cu$	0.068	0.059
$Cu\|Cu^{2+}(0.0010\ M)\|\|Cu^{2+}\|Cu$	0.108	0.089
$Cu\|Cu^{2+}(0.0001\ M)\|\|Cu^{2+}\|Cu$	0.127	0.118

ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้เป็นอย่างดีโดยอาศัยการอธิบายปฏิกิริยาระดับจุลภาค (submicroscopic level) (ภาพที่ 3)

ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้มีข้อดีคือ มีต้นทุนต่ำ เนื่องจากวัสดุคือเส้นด้ายมีราคาถูก และใช้สารเคมีในปริมาณน้อย เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง สามารถวัดค่าศักย์ไฟฟ้าได้หลายคู่เซลล์ นอกจากนี้สารเคมีที่เป็นของเสียจากการทดลองมีปริมาณน้อยลง ทำให้ปลอดภัยกับนักเรียน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้น่าจะเป็นที่น่าสนใจสำหรับครูสำหรับนำไปใช้เป็นสื่อการสอนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าเคมีได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 3 การอธิบายปฏิกิริยาระดับจุลภาคสำหรับ $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$ มัลติมิเตอร์แสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ที่ 0.93 โวลต์

สรุปผลการวิจัย

ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายที่สร้างขึ้นนี้ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าโลหะทองแดง เงิน สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม และแมกนีเซียม วัดค่าศักย์ไฟฟ้าได้จำนวน 28 คู่เซลล์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองศึกษาเซลล์ความเข้มข้นได้ เมื่อเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎีที่คำนวณจากสมการเนินสท์ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการศึกษาเซลล์ไฟฟ้าเคมีได้ นอกจากนี้เซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายยังมีต้นทุนต่ำ วัสดุหาได้ง่ายในท้องตลาด การทดลองทำได้ง่ายไม่ยุ่งยากใช้เวลาทดลองภายใน 1

ชั่วโมง นอกจากนี้ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้ใช้สารเคมีปริมาณน้อยและคำนึงถึงความปลอดภัยของนักเรียนเป็นสำคัญ

ข้อเสนอแนะ

เซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย สามารถนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้เรื่องไฟฟ้าเคมี สำหรับโรงเรียนที่ขาดแคลนวัสดุ/อุปกรณ์และสารเคมีในการทดลอง สามารถพัฒนาให้เข้ากับการเรียนรู้และบริบทของโรงเรียนได้ ก่อนนำไปมัดติดกับแผ่นโลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า ควรนำเส้นด้ายชุบน้ำพอหมาด ๆ ขั้นตอนนี้ช่วยทำให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมเข้าไปในเส้นด้ายได้ง่ายขึ้น โลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าต้องใช้กระดาษทรายขัดให้สะอาด เช็ดและล้างขั้วไฟฟ้าให้สะอาดทุกครั้งเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารละลายต่างชนิดกัน สำหรับผู้ที่วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ ควรสวมถุงมือยางขณะทดลอง ระวังอย่าให้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตสัมผัสผิวหนัง เพราะจะทำให้ผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทำความสะอาดยาก โลหะหนักอันตรายโดยเฉพาะตะกั่วให้ทิ้งลงในขวดทิ้งสารเพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธีต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุนจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ตามแผนดำเนินงานโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ระยะที่ 3 (พ.ศ. 2556–2561) ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี (PERCH-CIC) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ และขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

Brosmer, J. L., and Peters, D. G. (2012). Galvanic cells and the determination of equilibrium content. **Journal of Chemical Education** 89(6): 763–766.

Chang, R. (2012). **Chemistry**. 10th ed. Bangkok: McGraw-Hill.

Chatmontree, A., Chairam, S., Supasorn, S., Amatatongchai, M., Jarujamrus, P., Tamuang, S., and Somsook, E. (2015). Student fabrication and use of simple, low-cost, paper-based galvanic cells to investigate electrochemistry. **Journal of Chemical Education** 92(6): 1044–1048.

Eggen, P. O., and Skaugrud, B. (2015). An easy to-assemble three-part galvanic cell. **Journal of Chemical Education** 92(6): 1053–1055.

Khattiyavong, P., Jarujamrus, P., Supasorn, S., and Kulsing, C. (2014). The development of small scale and low-cost galvanic cells as a teaching tool for electrochemistry. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 5(2): 146–154.

Suwannapruek, R. (2014). **General Chemistry 2**. Bangkok: Witayaphat.

Whitten, K. W., Davis, R. E., Peck, L. M., and Stanley, G. G. (2007). **Chemistry**. 8th ed. Belmont, USA: Thomson Brooks/Cole.