การพัฒนากล่องไฟประดิษฐ์ในการวัดกระแสไฟฟ้าของกัลวานิกเซลล์

จวงจันทร์ วุฒิพันธุ์, กนกอร ศรีจันทร์*, อัมรินทร์ มัคกิติกาล, สุจิตรา แก้วสระ, สกลวรรษ์ เพชรประกอบ และ ธนวัฒน์ จันทร์หนู

สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

***อีเมลผู้ประพันธ์บรรณกิจ:** kanokon.sr@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้คิดออกแบบและพัฒนากล่องไฟประดิษฐ์สำหรับปิดวงจรในการวัดกระแสไฟฟ้าของกัลวานิกเซลล์ โดยนำหลอดไฟขนาด 1.5 โวลต์ มาปิดวงจรเพื่อให้เกิดโหลดในการนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้ ทำให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงขณะทำการปิดวงจร โดยกล่องไฟประดิษฐ์ที่ผลิตขึ้นนั้นจะใช้ศึกษากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากกัลวานิกเซลล์ระหว่างสารละลาย $CuCl_2.2H_2O$ กับ $ZnCl_2.2H_2O$ ร่วมกับขั้วทองแดง และขั้วสังกะสี ในการทดลองอ่านค่ากระแสไฟฟ้าของกัลวานิกเซลล์ จะต้องมีการต่อวงจรเพื่ออ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ ซึ่งค่ากระแสที่อ่านได้คือ 10 μA หลังจากนั้นจะทำการปิดวงจรของปฏิกิริยา พบว่ากระแสไฟฟ้ามีค่าลดลงคือ 0 μA เป็นไปตามหลักทางทฤษฎี คือ ค่ากระแสไฟฟ้าหลังปิดวงจรจะต้องลดลง จากนั้นผู้วิจัยได้นำแนวทางนี้ใช้ในการเรียนการสอนตั้งแต่ปี 2566-ปัจจุบัน พบว่านักศึกษาสามารถทำปฏิบัติการไฟฟ้าเคมีได้ผลการทดลองตรงตามทฤษฎี

คำสำคัญ: กล่องไฟประดิษฐ์; การทดลองไฟฟ้าเคมี; กัลวานิกเซลล์; การต่อวงจร; ค่ากระแสไฟฟ้า

Development of an Artificial Light Box for Measuring Electric Current of Galvanic Cells

Juangjan Wudtipan, Kanokon Srijan*, Ammarin Makkitikran, Sujitra Kaewsara, Sakonwan Petprakob and Tanawat Jannoo

Division of Physical Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla 90110, Thailand

***Corresponding author's e-mail: kanokon.sr@psu.ac.th**

Abstract

This research designed and developed an artificial light box to close the circuit to measure the electric current of the galvanic cell. A 1.5-volt light bulb was used to close the circuit to create a load to use the generated electric current. This allowed the change to be seen while closing the circuit. The artificial light box produced will be used to study the electric current measured from the galvanic cell between $CuCl_2.2H_2O$ and $ZnCl_2.2H_2O$ solutions, along with copper and zinc terminals. In the experiment to read the electric current of the galvanic cell, the circuit must be connected to read the electric current generated with a multimeter. The read current value is 10 μA. After that, the reaction circuit will be closed. It was found that the electric current decreased to 0 μA. which is in accordance with the theory that the electric current after closing the circuit must decrease. The researcher then applied this approach in teaching from 2023 to the present. It was found that students were able to perform electrochemical experiments with experimental results consistent with the theory.

Keywords: Electrical box; Electrochemical lab; Galvanic cell; Circuit connection; Electric current value

บทนำ

ห้องปฏิบัติการเคมีทั่วไป หลักสูตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ให้บริการการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติการ หนึ่งในปฏิบัติการที่มีการเรียนการสอนคือ ปฏิบัติการเรื่องไฟฟ้าเคมี เป็นการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า (กัลวานิกเซลล์) เป็นเซลล์ที่ปฏิกิริยาเคมีระหว่างตัวนำ ที่ไม่เหมือนกัน เชื่อมต่อกันผ่านอิเล็กโทรไลต์และสะพานเกลือ ผลิตพลังงานไฟฟ้า สามารถขับเคลื่อนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันที่เกิดขึ้นเองได้ (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2558) โดยพื้นฐานแล้วเซลล์กัลวานิกจะปล่อยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์ พลังงานไฟฟ้าจะถูกใช้ไปหากนำต่อเข้ากับโหลดหรือตัวภาระทางไฟฟ้าเช่น หลอดไฟ ตัวต้านทาน เป็นต้น (ชาจิ, 2563). ในส่วนของการทดลองที่กล่าวถึงคือการศึกษากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากกัลวานิกเซลล์ระหว่างสารละลาย $CuCl_2.2H_2O$ กับ $ZnCl_2.2H_2O$ ร่วมกับขั้วทองแดง และขั้วสังกะสี ในการทดลองอ่านค่ากระแสไฟฟ้าของกัลวานิกเซลล์จะต้องมีการต่อวงจรเพื่ออ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ หลังจากนั้นจะทำการปิดวงจรของปฏิกิริยาเพื่อเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ปรากฏว่าค่ากระแสไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งไม่เป็นไปตามหลักทางทฤษฎี คือค่ากระแสไฟฟ้าหลังปิดวงจรจะต้องลดลง จากปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้จัดทำโครงการได้ร่วมกับนักวิทยาศาสตร์ประจำหลักสูตรเคมีและวิศวกรไฟฟ้าคิดและออกแบบกล่องไฟประดิษฐ์เพื่อปิดวงจรสำหรับใช้ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า เพื่อแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการวัดค่ากระแสไฟฟ้าหลังการใช้งาน หรือปิดวงจร โดยกล่องไฟประดิษฐ์ที่ผลิตขึ้นจะใช้หลอดไฟขนาด 1.5 โวลต์ต่อเข้าในวงจรของกล่องไฟประดิษฐ์เพื่อให้ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วถูกนำไปใช้สำหรับแสงสว่างของหลอดไฟ ส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าลดลง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี ดังนั้นกล่องไฟประดิษฐ์นี้จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อมุ่งเน้นให้นักศึกษาสามารถทำปฏิบัติการได้อย่างถูกต้อง ผลการทดลองเป็นไปตามทฤษฎี พัฒนาการเรียนการสอนรายวิชาปฏิบัติการให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างกล่องไฟประดิษฐ์ในการวัดกระแสไฟฟ้าของกัลป์วานิกเซลล์
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของกล่องไฟประดิษฐ์ในการวัดกระแสไฟฟ้าของกัลป์วานิกเซลล์
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกล่องไฟประดิษฐ์ในการวัดกระแสไฟฟ้าของกัลวานิกเซลล์ที่พัฒนาขึ้น

ระเบียบวิธีวิจัย

ออกแบบและสร้างกล่องไฟประดิษฐ์ในการวัดกระแสไฟฟ้าของกัลวานิกเซลล์

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กล่องสำหรับเก็บชุดหลอดไฟ ขนาด 13×8.5×4.5 เซนติเมตร
2. ปลั๊กไบดิ้งโพสท์เดี่ยวพลาสติก 12 mm ดำและแดง BDP-101-BK
3. TUW สายไฟ VSF 1 × 0.5 100 เมตร สีแดงและสีดำ
4. หลอดไฟขนาด 1.5 โวลต์
5. ขั้วยึดหลอดไฟ
6. สวิตซ์โยก 2 ขา ขันน็อต ON-OFF T701AW
7. หางปลาหุ้มกลมสีแดง RV 1.25-3
8. หางปลาหุ้มกลมสีน้ำเงิน RV 2-3
9. แผงความต้านทาน
10. ตะกั่วบัดกรี ขนาด 0.25 LB (1.2 mm) ULTRACORE

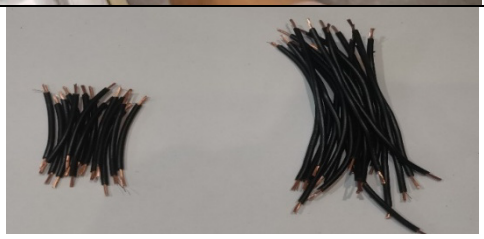
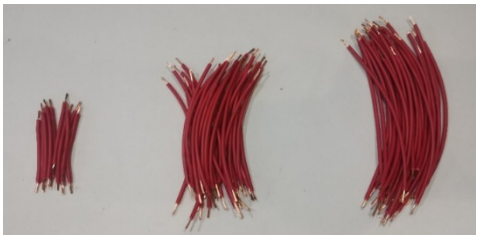
ประชากร/กลุ่มตัวอย่าง

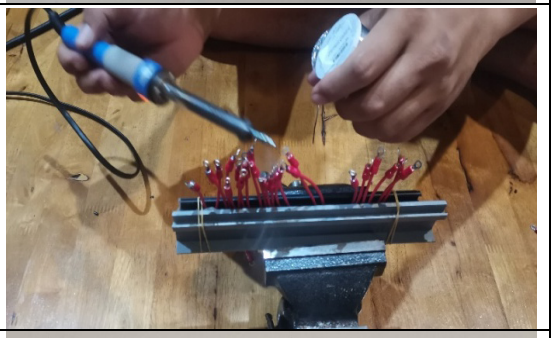
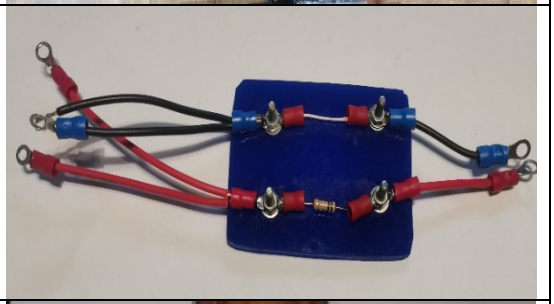
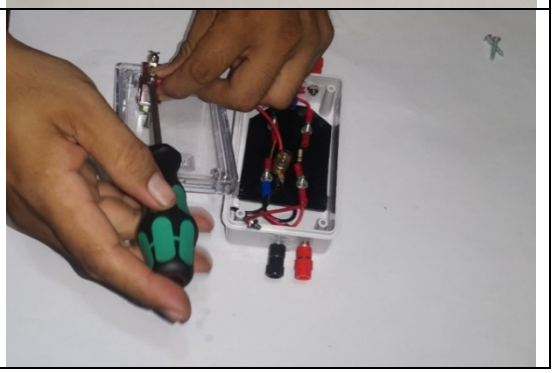
ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ รายงานผลการทดลองของนักศึกษารายวิชา 324-109 จำนวน 80 กลุ่ม โดยเลือกสุ่มรายงานผลการทดลองของนักศึกษาที่มีคะแนนอยู่ในช่วง 9-10 คะแนน จำนวน 20 กลุ่ม เป็นระยะเวลา 2 ปี

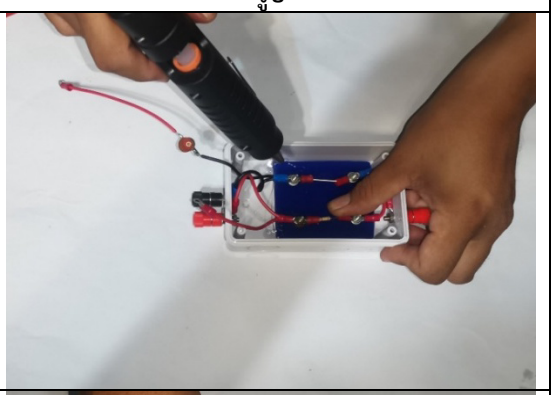
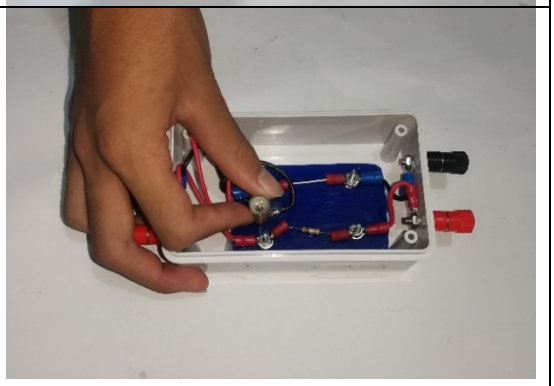
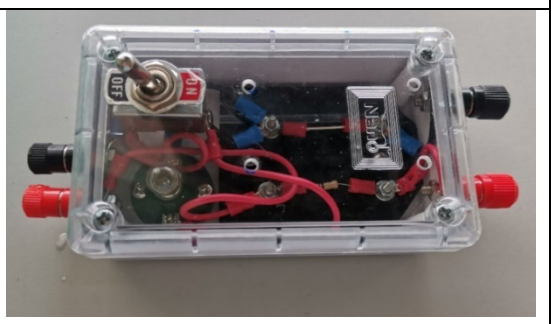
ขั้นตอนการทำ

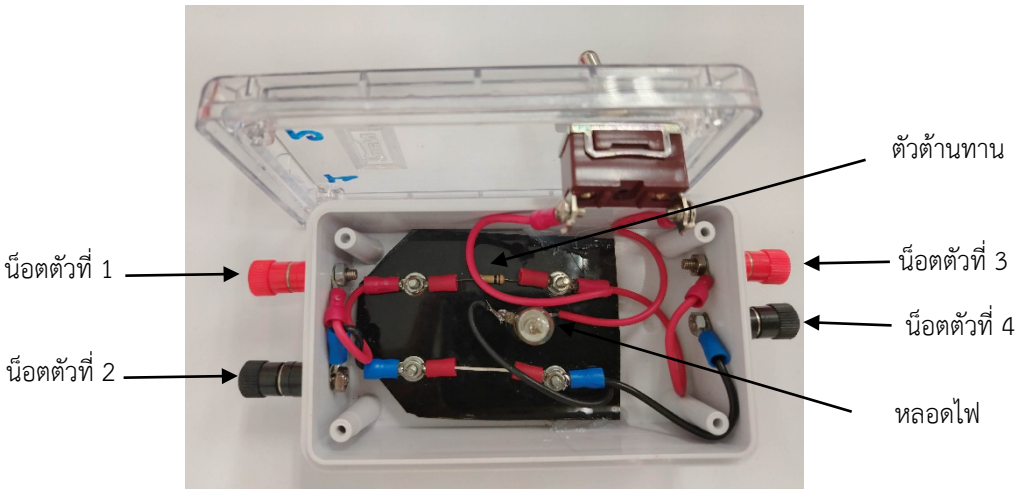
ผู้วิจัยได้ทำการเตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทำกล่องไฟประดิษฐ์ และมีขั้นตอนการทำกล่องไฟประดิษฐ์ทำแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงขั้นตอนการทำกล่องไฟประดิษฐ์

ลำดับที่	ขั้นตอนการทำ	รูป
1	วัดขนาด ระบุตำแหน่ง และเจาะรูกล่องใส่อุปกรณ์	
2	ตัดสายไฟขนาดต่างๆให้ได้จำนวนที่ต้องการและปอกฉนวน	 

ลำดับที่	ขั้นตอนการทำ	รูป
3	ย้ำหัวสายด้วยหางปลาหุ้มกลม	
4	บัดกรีด้วยตะกั่วให้แข็งแรง	
5	ต่อสายไฟเข้ากับแผงความต้านทาน	
6	ประกอบสวิทช์โยก 2 จังหวะเข้ากับฝากล่องให้เรียบร้อย	

ลำดับที่	ขั้นตอนการทำ	รูป
7	ประกอบอุปกรณ์ปลั๊กต่าง ๆ กับกล่อง	
8	ประกอบสายไฟเข้ากับหลอดไฟและอุปกรณ์ต่างๆให้เรียบร้อยทุกจุด	
9	ประกอบฝากล่องให้เรียบร้อย	



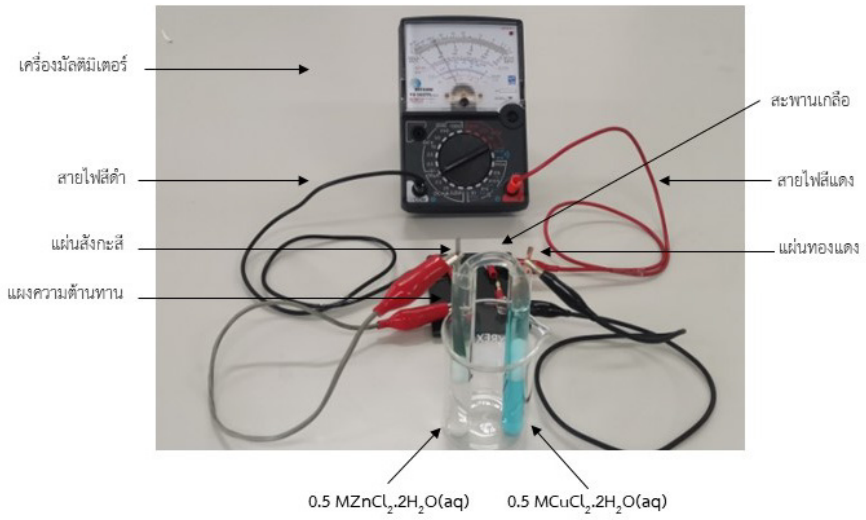
ภาพที่ 1 แสดงองค์ประกอบภายในกล่องไฟประดิษฐ์

2. การทดสอบประสิทธิภาพของกล่องไฟประดิษฐ์ในการวัดกระแสไฟฟ้าของกัลวานิกเซลล์

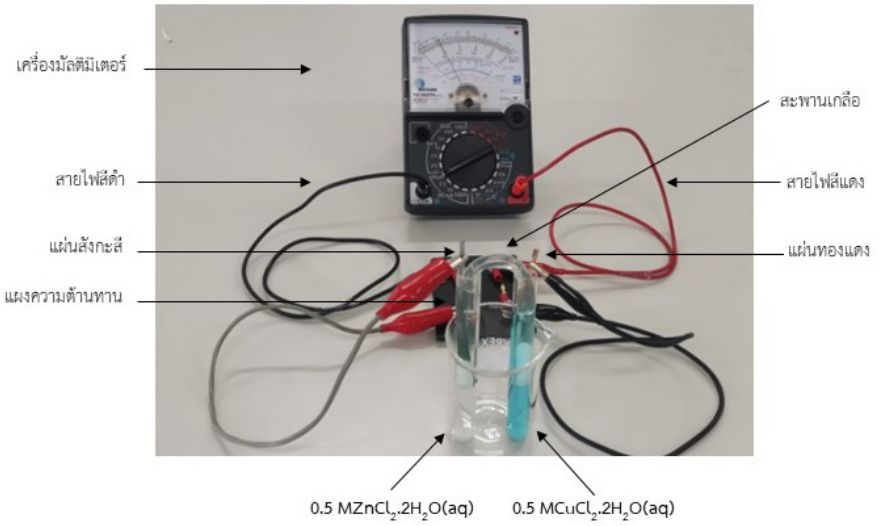
กล่องไฟประดิษฐ์จะนำมาทดสอบวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากกัลวานิกเซลล์ระหว่างสารละลาย $CuCl_2.2H_2O$ กับ $ZnCl_2.2H_2O$ ร่วมกับขั้วทองแดง และขั้วสังกะสี ในการทดลองอ่านค่ากระแสไฟฟ้าของกัลวานิกเซลล์ จะต้องมีการต่อวงจรเพื่ออ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ หลังจากนั้นจะทำการปิดวงจรของปฏิกิริยาเพื่อเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ซึ่งค่ากระแสที่อ่านได้คือ 10 μA หลังจากนั้นจะทำการปิดวงจรของปฏิกิริยา พบว่ากระแสไฟฟ้ามีค่าลดลง

2.1 วิธีการวัดค่ากระแสไฟฟ้าแบบเดิม

1. บรรจุสารละลาย 5 มิลลิลิตร ของ 0.5 M $CuCl_2$ และ 0.5 M $ZnCl_2$ ลงในหลอดทดลองหลอดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
2. ทำความสะอาดแผ่นโลหะทองแดงและสังกะสี โดยขัดด้วยกระดาษทราย และล้างน้ำ
3. ใส่ขั้วทองแดงในสารละลาย $CuCl_2.2H_2O$ และใส่ขั้วสังกะสีในสารละลาย $ZnCl_2.2H_2O$ ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยา และวัดค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ด้วยมัลติมิเตอร์
4. ปรับปุ่มของเครื่อง multimeter ไปที่ตำแหน่ง 50 ไมโครแอมแปร์ สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้า
5. ทำการปิดวงจรด้วยสายไฟเป็นเวลา 5 นาที และวัดค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์อีกครั้ง ดังภาพที่ 2



ก่อนปิดวงจร



หลังปิดวงจร

ภาพที่ 2 แสดงการวัดค่ากระแสไฟฟ้าก่อนและหลังปิดวงจรแบบเดิม

2.1 วิธีการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยใช้กล่องไฟประดิษฐ์

1. บรรจุสารละลาย 5 มิลลิลิตร ของ 0.5 M $CuCl_2$ และ 0.5 M $ZnCl_2$ ลงในหลอดทดลองหลอดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

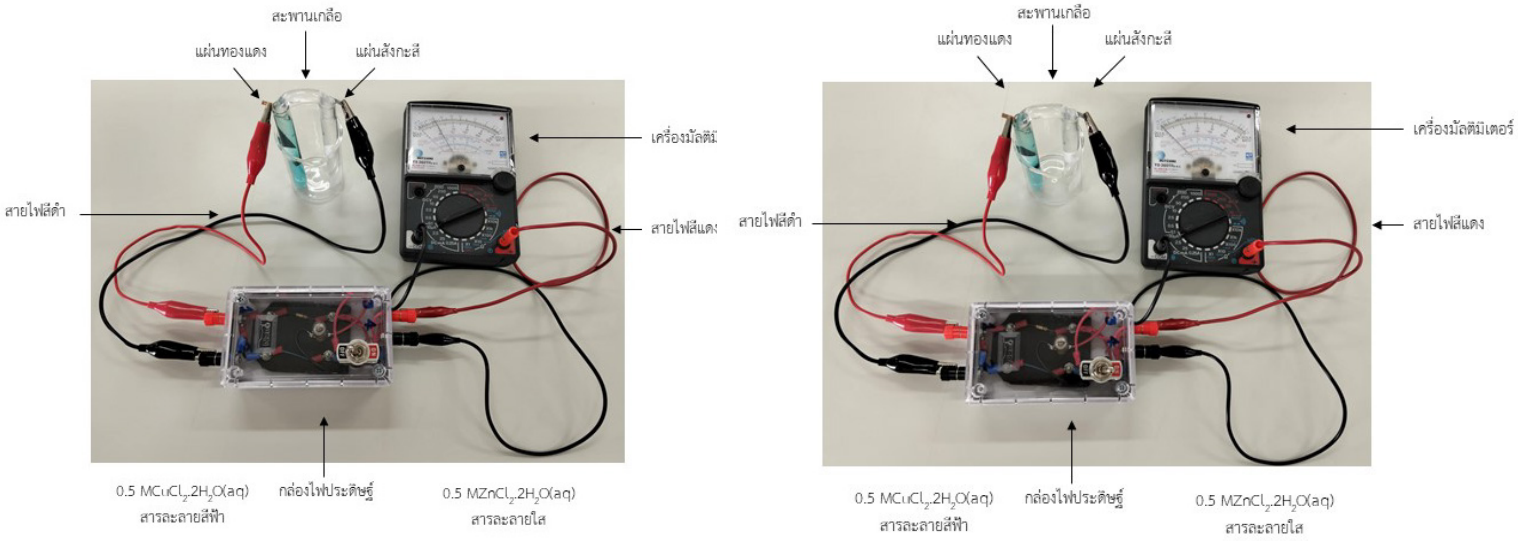
2. ทำความสะอาดแผ่นโลหะทองแดงและสังกะสี โดยขัดด้วยกระดาษทราย และล้างน้ำ

3. ใส่ขั้วทองแดงในสารละลาย $CuCl_2.2H_2O$ และใส่ขั้วสังกะสีในสารละลาย $ZnCl_2.2H_2O$ ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยา และวัดค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ด้วยมัลติมิเตอร์

4. ปรับปุ่มของเครื่อง multimeter ไปที่ตำแหน่ง 50 ไมโครแอมแปร์ สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้า

5. ทำให้เป็นวงจรปิดโดยต่อปลายทั้งสองของเครื่อง multimeter (ต่อแบบอนุกรมกับวงจร) เข้ากับกล่องไฟประดิษฐ์ สวิตช์อยู่ ที่ตำแหน่ง off อ่านและบันทึกปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตโดยเซลล์กัลวานิก

6. ปิดวงจรโดยการสับสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง on (กระแสไฟฟ้าจะผ่านไปยังหลอดไฟในกล่อง) อ่านค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง ดังภาพที่ 3



ก่อนปิดวงจร **หลังปิดวงจร**

ภาพที่ 3 แสดงการวัดค่ากระแสไฟฟ้าก่อนและหลังปิดวงจรโดยใช้กล่องไฟประดิษฐ์

3. การประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกล่องไฟประดิษฐ์

แสดงให้เห็นว่าค่ากระแสไฟฟ้าวิธีการเดิมค่าที่ได้ทั้งก่อนและหลังปิดวงจรมีค่าเท่ากัน แต่เมื่อใช้กล่องไฟประดิษฐ์ในการปิดวงจร ค่าที่ได้จะมีค่าลดลงโดยการสุ่มผลการทดลองนักศึกษา 20 กลุ่ม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าวิธีการเดิมและวิธีการใช้กล่องไฟประดิษฐ์

จำนวนครั้ง	ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ (μA) ± SD					
	วิธีการเดิม			วิธีการใช้กล่องไฟประดิษฐ์		
	ค่ากระแสไฟฟ้าก่อนปิดวงจร	ค่ากระแสไฟฟ้าหลังปิดวงจร	ค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อไม่มีสะพานเกลือ	ค่ากระแสไฟฟ้าก่อนปิดวงจร	ค่ากระแสไฟฟ้าหลังปิดวงจร	ค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อไม่มีสะพานเกลือ
1	10 ± 0.00	9.9 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
2	10 ± 0.00	9.8 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
3	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
4	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
5	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
6	10 ± 0.00	9.6 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
7	10 ± 0.00	9.5 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
8	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00

จำนวนครั้ง	ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ (μA) ± SD					
	วิธีการเดิม			วิธีการใช้กล่องไฟประดิษฐ์		
	ค่ากระแสไฟฟ้าก่อนปิดวงจร	ค่ากระแสไฟฟ้าหลังปิดวงจร	ค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อไม่มีสะพานเกลือ	ค่ากระแสไฟฟ้าก่อนปิดวงจร	ค่ากระแสไฟฟ้าหลังปิดวงจร	ค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อไม่มีสะพานเกลือ
9	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
10	10 ± 0.00	9.5 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
11	10 ± 0.00	9.9 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
12	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
13	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
14	10 ± 0.00	9.7 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
15	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
16	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
17	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
18	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
19	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00
20	10 ± 0.00	10 ± 0.18	0 ± 0.00	10 ± 0.00	0 ± 0.00	0 ± 0.00

ตารางที่ 3 แสดงผลความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนรายวิชา 324-109 จำนวน 7 คน

อาจารย์	ความพึงพอใจวิธีการเดิม			ความพึงพอใจหลังใช้กล่องไฟประดิษฐ์		
	มาก	ปานกลาง	น้อย	มาก	ปานกลาง	น้อย
คนที่ 1			/	/		
คนที่ 2			/	/		
คนที่ 3			/	/		
คนที่ 4			/	/		
คนที่ 5			/	/		
คนที่ 6			/	/		
คนที่ 7			/	/		

จากตารางที่ 3 แบบสำรวจความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนรายวิชา 324-109 จำนวน 7 คน โดยใช้วิธีการรวบรวมข้อมูลแบบการแจกแจงความถี่ แสดงให้เห็นถึงความพึงพอใจของอาจารย์ในการใช้วิธีการเดิม พึงพอใจน้อย จำนวน 7 คน และหลังใช้กล่องไฟประดิษฐ์ พบว่าอาจารย์ทุกท่านมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก จำนวน 7 คน

ผลการวิจัย

กล่องไฟประดิษฐ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเมื่อนำมาทดสอบค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากกัลวานิกเซลล์จำนวน 20 ตัวอย่าง ก่อนและหลังการปิดวงจรด้วยกล่องไฟประดิษฐ์ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงถึงการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิกจำนวน 20 ตัวอย่าง วิธีการเดิมและหลังใช้กล่องไฟประดิษฐ์

จำนวนตัวอย่าง	ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ วิธีการเดิม		ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ หลังใช้กล่องไฟประดิษฐ์	
	ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ ก่อนปิดวงจร (μA) ± SD	ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ หลังปิดวงจร (μA) ± SD	ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ ก่อนปิดวงจร (μA) ± SD	ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์ หลังปิดวงจร (μA) ± SD
1	10 ± 0.00	9.9 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
2	10 ± 0.00	9.8 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
3	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
4	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
5	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
6	10 ± 0.00	9.6 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
7	10 ± 0.00	9.5 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
8	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
9	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
10	10 ± 0.00	9.5 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
11	10 ± 0.00	9.9 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
12	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
13	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
14	10 ± 0.00	9.7 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
15	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
16	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
17	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
18	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
19	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00
20	10 ± 0.00	10 ± 0.18	10 ± 0.00	0 ± 0.00

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นค่าการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเดิมและหลังการใช้กล่องไฟประดิษฐ์พบว่า วิธีการเดิมสามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่สร้างจากระบบกัลวานิกเซลล์ทั้งก่อนและหลังการปิดวงจรได้ค่า 10 μA เท่ากัน แต่เมื่อใช้กล่องไฟประดิษฐ์มาปิดวงจรพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้หลังจากปิดวงจรมีค่าเท่ากับ 0 μA เมื่อนำมาคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) มีค่าเท่ากับ 0 และมีค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าของเซลล์ก่อนปิดวงจร หลังปิดวงจรมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10 และ 0 ตามลำดับ ซึ่งค่า SD ที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

คือจะต้องไม่เกิน 0.5 (ปรีดี นุกุลสมปรารถนา, 2021) ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์หลังปิดวงจรเมื่อใช้กล่องไฟประดิษฐ์ให้ผลการทดลองที่ถูกต้องและสอดคล้องตามทฤษฎี

สรุปผลการวิจัย

กล่องไฟประดิษฐ์สำหรับการทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้าของกัลวานิกเซลล์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอนปฏิบัติการไฟฟ้าเคมีให้นักศึกษา โดยแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปิดวงจร คือค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้ก่อนปิดวงจรมีค่า 10 μA และเมื่อปิดวงจรค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้มีค่า 0 μA ทำให้นักศึกษาเข้าใจปฏิบัติการได้ดียิ่งขึ้นเพราะผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลทางทฤษฎีที่ควรจะเป็น และจากการสำรวจความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนพบว่าอาจารย์ทุกท่านมีความพึงพอใจมากคิดเป็น 100% กับการใช้กล่องไฟประดิษฐ์ในการทดลองเพราะให้ผลการทดลองที่ตรงตามทฤษฎี

อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

กล่องไฟประดิษฐ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการทำปฏิบัติการรายวิชา 324-109 และ 325-105 ได้จริง ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องตามหลักทฤษฎี คือค่ากระแสไฟฟ้าหลังจากปิดวงจรมีค่าลดลง โดยก่อนปิดวงจรจะอ่านค่ากระแสไฟฟ้าได้เท่ากับ 10 μA และหลังปิดวงจรมีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0 μA ทำให้นักศึกษาสามารถทำปฏิบัติการได้อย่างถูกต้องและเข้าใจได้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูลผลการทดลองที่สอดคล้องกับหลักการตามทฤษฎี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ผศ.ดร.อุไรวรรณ ศิริมหาชัย ที่ปรึกษา และ หลักสูตรเคมี สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในการสนับสนุนสิ่งอำนวยความสะดวกและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สนับสนุนทุนโครงการพัฒนาคนพัฒนางานประจำ จนเสร็จสิ้นโครงการ

เอกสารอ้างอิง

ซาจิ. (2563). *วงจรไฟฟ้าเบื้องต้น.* สืบค้นจาก https://shorturl.at/XNXmj

ปรีดี นุกุลสมปรารถนา. (2564). *จำนวน Sample Size ที่เหมาะกับการทำ Research.* สืบค้นจาก https://www.popticles.com/marketing/research-sample-size

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2558). *หนังสือปฏิบัติการเคมีมูลฐานไฟฟ้าเคมี.* สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Moore, W. J., Stanitski, L. C., Jurs, C. P. (2005). *The Molecular Science* (2nd eds.). California, United States of America.