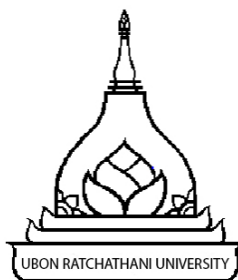


การสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อส่งเสริมความเข้าใจ
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง เซลล์กัลวานิก

มาลัย นามวงษ์

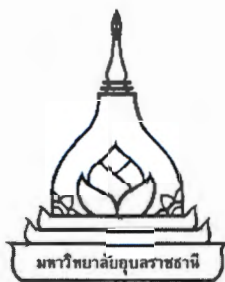
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



FABRICATION OF SIMPLE THREAD-BASED GALVANIC CELLS
FOR ENHANCING GRADE 11 STUDENTS' UNDERSTANDING
OF ELECTROCHEMISTRY

MALAI NAMWONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
MAJOR IN SCIENCE EDUCATION
FACULTY OF SCIENCE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2018
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์

เรื่อง การสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียน
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องเซลล์กลวานิก

ผู้วิจัย นางมาลัย นามวงษ์

คณะกรรมการสอบ

ดร.กุลธิดา นกุลธรรม

ประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสนอ ชัยรัมย์

กรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีม จารุจรัส

กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....เสนอ ชัยรัมย์.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสนอ ชัยรัมย์)

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชรีดา ปุกหุด)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2561

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสนอ ชัยรัมย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีม จารุจรัส และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มะลิวรรณ อมตรงไชย ที่ให้คำปรึกษา แนะนำอันมีคุณค่ายิ่ง ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะในการดำเนินงาน และการเขียนรายงานการวิจัย การแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ สนับสนุนให้กำลังใจ และความช่วยเหลือในการวิจัยแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ ดร.กุลธิดา นุกุลธรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสนอ ชัยรัมย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีม จารุจรัส ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ในโอกาสนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากโรงเรียนบ้านตาอุด ปีการศึกษา 2559 ที่ให้ความร่วมมือในการเป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่กรุณาให้ความรู้และสละเวลาให้คำปรึกษาชี้แนะในการศึกษาตลอดระยะเวลาการศึกษาในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีพร้อมทั้งให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมาทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีคุณค่าและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาในระดับปริญญาโท คุณค่าอันพึงมีจากการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบแต่คุณพ่อคุณแม่ และคุณครูที่เคารพอย่างสูงยิ่ง หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ด้วยความขอบคุณยิ่ง

มาลัย นามวงษ์

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง เซลล์กัลวานิก

ผู้วิจัย : มัลลย์ นามวงษ์

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิทยาศาสตร์ศึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสนอ ชัยรัมย์

คำสำคัญ : ชุดการทดลองอย่างง่าย, เซลล์กัลวานิก, เส้นด้าย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อ (1) สร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย และ (2) ศึกษาความเข้าใจจากการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านตาอุด จังหวัดศรีสะเกษ จำนวน 29 คน เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลประกอบด้วย (1) แบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบสามลำดับขั้น (2) แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน ในการวิจัยนี้ได้มีการสร้างเซลล์กัลวานิกด้วยเส้นด้ายที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า Cu, Ag, Zn, Pb, Sn, Fe, Al และ Mg โดยเส้นด้ายทำหน้าที่เป็นตัวรองรับปฏิกิริยาระหว่างแต่ละครึ่งเซลล์ และทำหน้าที่เป็นสะพานเกลือสำหรับอิเล็กโทรไลต์ ชุดการทดลองมีวิธีการสร้างที่ง่าย ใช้อุปกรณ์ที่หาง่ายและมีราคาถูก อีกทั้งยังใช้สารละลายและสารเคมีปริมาณน้อย โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ให้ผลที่ไม่แตกต่างกับทฤษฎีที่คำนวณจากสมการของเนิร์นสต์ และจากการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองพบว่า นักเรียนมีร้อยละของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนเป็น 19.31 และ 74.48 ตามลำดับ และมีความก้าวหน้าปฏิกิริยาอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อพิจารณาจากความเข้าใจของนักเรียน พบว่า หลังเรียนผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจถูกต้องและถูกต้องบางส่วน (SU+PU) เพิ่มขึ้นมา 58.62 ส่วนผลรวมร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจคลาดเคลื่อนและไม่มีความเข้าใจ (MU+NU) ลดลงไป 71.04 และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อชุดการทดลองอยู่ในระดับ “พึงพอใจมาก” ในทุกด้าน จากผลการวิจัยนี้จึงสามารถกล่าวได้ว่า ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายที่สร้างขึ้นสามารถพัฒนาความเข้าใจของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ABSTRACT

TITLE : FABRICATION OF SIMPLE THREAD-BASED USING GALVANIC CELLS FOR ENHANCING GRADE 11 STUDENTS' UNDERSTANDING OF ELECTROCHEMISTRY

AUTHOR : MALAI NAMWONG

DEGREE : MASTER OF SCIENE

MAJOR : SCIENCE EDUCATION

ADVISOR : ASST. PROF. SANOE CHAIRAM, Ph.D.

KEYWORDS : SIMPLE EXPERIMENTAL KIT, GALVANIC CELL, THREAD

The main purpose of this research were to (1) fabricate simple galvanic cells using cotton thread and (2) investigate students' conceptual understanding from learning with the simple galvanic cells using cotton thread. The samples were 29 11-grade students studying in Ta-ud School, Sisaket Province. The data collecting tools of the two experiments composed of (1) three-tier diagnostic test and (2) survey of students' attitudes. The simple galvanic cells contain various electrodes, including Cu, Ag, Zn, Pb, Sn, Fe, Al and Mg. The thread is not only used to be a support for reactions between each half-cell, but also a salt bridge for electrolyte. A simple method for construction of simple galvanic cells and a low cost, reducing use of chemicals and less waste generation. 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. The implementation of the simple thread-based using galvanic cells resulted that students' averaged percentages for each of the pretest and posttest were 19.31 and 74.48, respectively, in which the normalized gain was in the medium level. After the intervention, the total percentage of students in the partial and sound understanding (PU and SU) categories was increased by 58.62, while the total percentage of students in the mis- and no-understanding (MU and NU) decreased by 71.04. Students in groups rated "satisfy" in the survey of attitudes. All the results supported that the simple galvanic cells using cotton thread can effectively aid students to develop and retain their understanding.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 สมมติฐานการวิจัย	5
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไฟฟ้าเคมี (electrochemistry)	8
2.2 เซลล์กัลวานิก (galvanic cell)	10
2.3 ทฤษฎีการเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิซึม (Constructivism)	12
2.4 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)	14
2.5 การเรียนการสอนไฟฟ้าเคมี/เซลล์กัลวานิก	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย	28
3.2 การศึกษาผลจากการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย เรื่องเซลล์กัลวานิก	31
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล	33
3.4 การสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือ	33
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	37
3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	38
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 ผลจากการสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลป์วานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย	41
4.2 ผลการศึกษาผลจากการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย เรื่องเซลล์กัลวานิก	49
4.3 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่องเซลล์กัลวานิก จากชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย	61
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก	
ก ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก	73
ข แบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องเซลล์กัลวานิก	93
ค แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์กัลป์วานิก	102
ง คุณภาพของเครื่องมือ	105
จ การวิเคราะห์คะแนนของนักเรียน	109
ฉ ภาพประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย	120
ช บทความที่เผยแพร่ในวารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เพื่อการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	123
ประวัติผู้วิจัย	133

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	บทบาทของครูในการเรียนการสอนแบบ Inquiry Cycle (5Es) 18
2.2	บทบาทของนักเรียนในการเรียนการสอนแบบ Inquiry Cycle (5Es) 20
3.1	รูปแบบการวิจัย 32
3.2	เนื้อหาที่สอนวิชาเคมี หน่วยการเรียนรู้ไฟฟ้าเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิกสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 32
3.3	แนวทางในการจัดกลุ่มความเข้าใจของนักเรียนจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบปรนัย 4 ตัวเลือก 3 ลำดับขั้น (3-tier diagnostic test: TTDT) 37
4.1	การเปรียบเทียบชุดการทดลองแบบย่อส่วนกับชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย 42
4.2	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษและชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย 43
4.3	ผลเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลองกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากทฤษฎีคำนวณจากสมการเนิร์นสต์ของเซลล์ความเข้มข้น 47
4.4	คะแนนจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่อง เซลล์กัลวานิก (n=29) 50
4.5	ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจจำแนกตามคะแนนจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องเซลล์กัลวานิก (n = 29) 53
4.6	ผลการสำรวจความพึงพอใจในการเรียนเรื่องเซลล์กัลวานิกด้วยชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย 61
ง.1	ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องเซลล์กัลวานิก 106
ง.2	แสดงผลค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) รายข้อของแบบทดสอบวัดความเข้าใจ จำนวน 20 ข้อ 107
ง. 3	ผลการวิเคราะห์หาค่าความตรงเชิงเนื้อหาของแบบสำรวจความพึงพอใจ โดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง 108
จ.1	ผลการประเมินความเข้าใจก่อนเรียน เรื่องเซลล์กัลวานิก 110
จ.2	ผลการประเมินความเข้าใจหลังเรียน เรื่องเซลล์กัลวานิก 114
จ.3	ค่าความต่างของคะแนนวัดความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ เรื่องเซลล์กัลวานิก 118

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
จ.4	ค่าร้อยละของนักเรียนที่ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลถูก และตอบตัวเลือกและเหตุผลถูกต้องเรียนและหลังเรียน เรื่อง เซลล์กัลวานิก	119
ฉ.1	ขั้นตอนการเตรียมเส้นด้าย	121
ฉ.2	ขั้นตอนการมัดแผ่นโลหะเข้ากับปลายเส้นด้าย	121
ฉ.3	ขั้นตอนการหยดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ลงบนเส้นด้าย	121
ฉ.4	ขั้นตอนการทดลองวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า	122
ฉ.5	บรรยายภาคนขณะทำการทดลอง	122

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี	2
1.2 ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ	4
2.1 ขั้วไฟฟ้า A และขั้วไฟฟ้า B สัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ชนิดเดียวกัน ไม่มีสะพานเกลือ	9
2.2 ขั้วไฟฟ้า A และขั้วไฟฟ้า B สัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ต่างชนิดกัน ซึ่งอยู่ในภาชนะแยกกัน และเชื่อมต่อด้วยสะพานเกลือ	9
2.3 ส่วนประกอบเซลล์ไฟฟ้าเคมี เมื่อต่อครบวงจรทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ (ก) เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบไม่มีสะพานเกลือ (ข) เซลล์ไฟฟ้าเคมีเมื่อใช้แหล่งพลังงาน หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี (ค) เซลล์ไฟฟ้าเคมี เมื่อใช้แหล่งพลังงาน หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี	10
2.4 หลักการทำงานของเซลล์กัลวานิก	11
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลป์วานิกอย่างง่าย ที่ทำจากเส้นด้าย	29
3.2 ขั้นตอนการสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย (ครึ่งเซลล์ไฟฟ้าในภาพ ประกอบด้วย Cu, Ag, Zn, Pb, Sn, Fe, Al และ Mg)	30
3.3 เซลล์ความเข้มข้น CuSO_4	31
3.4 ตัวอย่างคำถามจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก 3 ลำดับชั้น (3-tier diagnostic test: TTDT)	35
4.1 ชุดการทดลองเซลล์กัลป์วานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย	41
4.2 เปรียบเทียบระหว่าง (ก) ชุดการทดลองแบบย่อส่วน (ข) ชุดการทดลองอย่างง่าย ที่ทำจากเส้นด้าย	43
4.3 ผลเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากทฤษฎี คำนวณจากสมการเนิร์นสต์	45
4.4 ผลเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจาก กระดาษกับชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย	46
4.5 เปรียบเทียบระหว่าง (ก) ชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ (ข) ชุดการทดลอง อย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย	47
4.6 เซลล์ความเข้มข้นที่มีขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะทองแดงในสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต	48

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4.7	การอธิบายปฏิกิริยาระดับจุลภาคสำหรับ $\text{Zn(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$ มัลติมิเตอร์แสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ที่ 0.93 โวลต์	48
4.8	คำถามที่ 2 จากแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่อง เซลล์กัลวานิก	56
4.9	คำถามที่ 7 จากแบบวัดความเข้าใจ เรื่อง เซลล์กัลวานิก	58

คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์และอักษรย่อ	ความหมาย
TTDT	3-tier diagnostic tests
PU	partial understanding
PUMU	partial understanding with specific misunderstanding
MU	misunderstanding
NU	no understanding
BSCS	Biological Science Curriculum Study
5Es	Engage, Explore, Explain, Elaborate and Evaluate

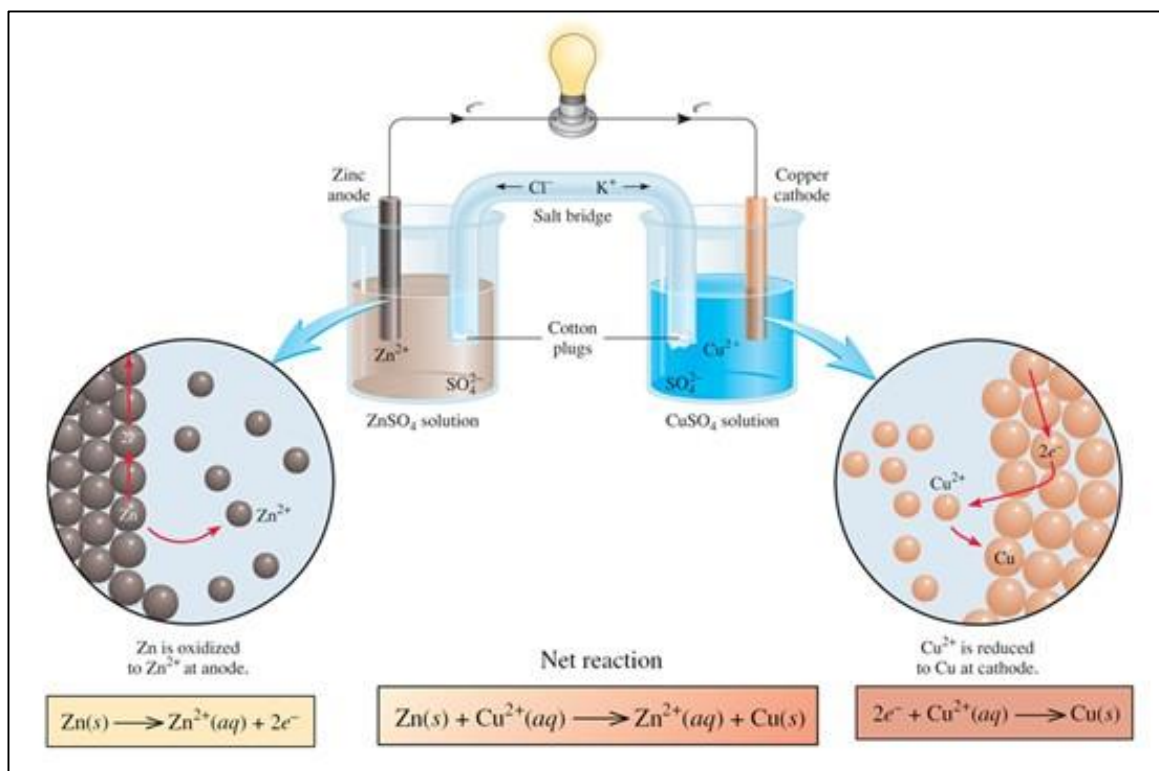
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไฟฟ้าเคมีมีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทั้งมวลรวมทั้งมนุษย์เราด้วย ไม่ว่าจะเป็นแบตเตอรี่ต่าง ๆ ที่เราใช้กันในชีวิตประจำวัน หรือกระบวนการสำคัญในร่างกายเรา (ศักดิ์ศรี สุภาพร, 2553) เครื่องอำนวยความสะดวกของมนุษย์ในปัจจุบัน เช่น ไฟฉาย วิทยุ นาฬิกา อุปกรณ์การสื่อสาร โทรศัพท์ คอมพิวเตอร์ และรถยนต์ จะทำงานได้ต้องมีแหล่งพลังงาน แหล่งพลังงานในอุปกรณ์เหล่านี้รู้จักกันในชื่อเรียกต่าง ๆ เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ เซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งสามารถให้พลังงานได้เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้เองแล้วทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสู่วงจรภายนอก (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2556) ปัจจุบันมีกลุ่มนักวิจัยกำลังพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ทั้งสะอาดและมีประสิทธิภาพสูง ที่เรียกว่า เซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งคาดการณ์ว่าจะเข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์ในอีกไม่นาน เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cells) คือ อุปกรณ์ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างเชื้อเพลิง เช่น แก๊สไฮโดรเจน เมทานอลหรือแก๊สชีวภาพ กับแก๊สออกซิเจน ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้นั้นต่างจากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปที่นอกจากจะมีประสิทธิภาพต่ำแล้วยังก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจกหรือแก๊สพิษอื่น ๆ เซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นเทคโนโลยีสะอาดสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องตราบเท่าที่มีการจ่ายเชื้อเพลิงให้กับระบบ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องยนต์ชนิดสันดาปถึง 1-3 เท่าตัว เซลล์เชื้อเพลิงสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ โทรคมนาคม หรือที่อยู่อาศัย (ดร.ณิ วัฒนศิริเวช และสุธี วัฒนศิริเวช, 2555) จะเห็นได้ว่าไฟฟ้าเคมีเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันและมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างมาก การศึกษาหลักการทำงานของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีจึงเป็นก้าวสำคัญในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาเครื่องมือเครื่องใช้ระบบเก็บสะสมพลังงาน และวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ

ไฟฟ้าเคมีเป็นเนื้อหาหนึ่งในวิชาเคมี เนื้อหาเคมีนั้นเข้าใจยากส่วนใหญ่เป็นนามธรรม หากผู้เรียนไม่ได้เห็นสิ่งที่เรียนนั้นมีลักษณะอย่างไรก็จะทำให้ผู้เรียนจินตนาการไม่ออก การเรียนเฉพาะคำอธิบายในระดับโมเลกุลและภาษาสัญลักษณ์ โดยไม่ได้เชื่อมโยงไปยังปรากฏการณ์ที่ผู้เรียนสังเกตเห็นได้ การเรียนรู้นั้นก็จะไม่เกิดความหมายกับผู้เรียน ดังนั้น จึงควรให้นักเรียนได้ทำการทดลองเพื่อให้เห็นภาพหรือเห็นการเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาค เพื่อเข้าใจแนวคิดที่เป็นนามธรรมของคำอธิบาย (พัชร รมพะยอม วิชัยดิษฐ์, 2558)



ภาพที่ 1.1 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

ที่มา: Chang and Overby (2011)

จากภาพที่ 1.1 การทดลองเรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี โดยการทดลองนี้เป็นเซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วยบีกเกอร์ 2 ใบ ใบหนึ่งบรรจุสารละลายซิงค์ (II) ซัลเฟต อีกใบหนึ่งบรรจุสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต บีกเกอร์แต่ละใบต่อกับขั้วซึ่งเป็นแท่งโลหะสังกะสีและทองแดง และสะพานเกลือ เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป ในระดับมหภาค นักเรียนจะสังเกตเห็นหลอดไฟสว่างขึ้น แท่งสังกะสีในสารละลายซิงค์ฝุกร่อน และเกิดตะกอนสีน้ำตาลเกาะที่แท่งทองแดง คำอธิบายในระดับอนุภาคของปฏิกิริยานี้คือโลหะสังกะสีถูกออกซิไดส์เป็นซิงค์ (II) ไอออนและคอปเปอร์ (II) ไอออนถูกรีดิวซ์เกิดเป็นโลหะคอปเปอร์ อิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่จากตัวรีดิวซ์ (Zn) ไปยังตัวออกซิไดส์ (Cu^{2+}) ส่วนภาษาสัญลักษณ์ที่เป็นสมการเคมีแสดงการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาที่ 1.1

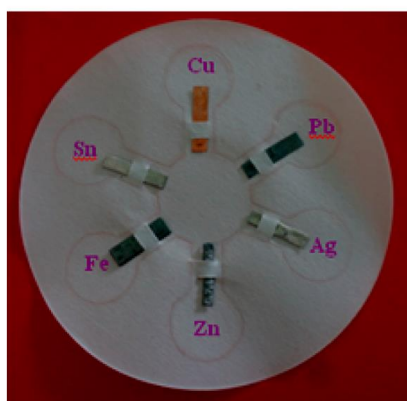


เนื่องจากผู้เรียนไม่ได้เห็นทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่เป็นสาเหตุของการเกิดปฏิกิริยาดังนั้น ในการจัดการเรียนการสอน ครูควรเชื่อมโยงแนวคิดทางเคมี 3 ระดับ โดยให้ผู้เรียนได้ทำการทดลองเพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาคก่อน แล้วใช้การตั้งคำถามเพื่อให้ผู้เรียนได้พยายาม

คิดหาเหตุผลว่าเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้นเพื่อยังเข้าสู่คำอธิบายระดับอนุภาค แล้วจึงค่อยนำเสนอภาษาสัญลักษณ์ที่เป็นสมการเคมีแสดงการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยา ควบคู่กับการใช้คำถามกระตุ้นการจัดการเรียนการสอนดังกล่าวจะทำให้ผู้เรียนได้เห็นตัวอย่างของเรื่องที่กำลังเรียน จะทำให้สิ่งที่กำลังเรียนนั้นมีความหมายกับผู้เรียน และทำให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดทางเคมีในระดับอนุภาค และภาษาสัญลักษณ์ได้ง่ายขึ้น (พัชรี ร่มพะยอม วิชัยดิษฐ, 2558) จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ไฟฟ้าเคมีจากต่างประเทศซึ่งมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศไทย โดยพบว่าไฟฟ้าเคมีเป็นหัวข้อหนึ่งของวิชาเคมีที่เนื้อหามีความซับซ้อนทำความเข้าใจได้ยาก นักเรียนมีความสับสนและไม่เข้าใจในปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่า “ปฏิกิริยารีดอกซ์” ที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนซึ่งเป็นนามธรรม มองไม่เห็น และยังมีความสับสนในการระบุขั้วแคโทดและขั้วแอโนด การดูแลสมการเคมีรวมถึงชนิดของเซลล์ไฟฟ้าเคมี (Acer and Tarhan, 2007) ครูผู้สอนโดยส่วนใหญ่ยังไม่สามารถจัดกิจกรรมการเรียนการสอนเรื่องไฟฟ้าเคมีที่เชื่อมโยงความรู้ที่ได้รับกับสถานการณ์จริงได้ มักจะเน้นสอนทฤษฎีตามหนังสือเรียน รวมถึงการทดลองที่ไม่ได้ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ อันเนื่องมาจากอุปกรณ์ไม่เพียงพอ ทำให้นักเรียนยังขาดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในขณะปฏิบัติกิจกรรม (วีรญาดา บางแบ่ง และคณะ, 2559) นอกจากนี้ Acer and Tarhan (2007) ยังให้ข้อเสนอแนะในการจัดการเรียนรู้ไฟฟ้าเคมีว่าครูผู้สอนต้องใช้เทคนิคและวิธีการสอนที่จะช่วยปรับปรุงการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาพัฒนาให้ผู้เรียนเกิดความคิดที่แสดงออกถึงความเข้าใจซึ่งจะส่งผลให้นักเรียนเกิดความรู้และความเข้าใจในพื้นฐานของวิทยาศาสตร์และเสริมสร้างกระบวนการคิดของนักเรียน มีกิจกรรมการทดลองที่ต้องทำความเข้าใจและใช้จินตนาการเนื่องจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นในระดับโมเลกุล และบางกิจกรรมต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี รวมทั้งสื่อการสอนอีกมากในการอธิบายเนื้อหาต่าง ๆ (กาญจนา วงศ์ไชยา, 2559) แสดงให้เห็นว่าการปฏิบัติการทดลองเป็นหัวใจสำคัญของวิชาเคมีที่จะช่วยให้ผู้เรียนได้มีประสบการณ์ตรงในการสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเองเป็นผู้ที่คิดเป็นทำเป็น และแก้ปัญหาได้ โดยครูเป็นผู้จัดประสบการณ์การเรียนรู้ให้แก่ผู้เรียน การปฏิบัติการทดลองจึงเป็นวิธีการสอนวิธีหนึ่งที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ แต่การทดลองบางการทดลองในบทเรียนผู้เรียนไม่ได้ปฏิบัติการทดลอง เนื่องจากมีข้อจำกัดหลายประการ เช่นสารเคมีมีราคาแพง (ประวิทย์ บึงสว่าง, 2547) มีงบประมาณจำกัดในการจัดซื้ออุปกรณ์และสารเคมี ทำให้อุปกรณ์และสารเคมีมีไม่เพียงพอกับการจัดการเรียนรู้ (กาญจนา วงศ์ไชยา, 2559)

จากการศึกษาค้นคว้าพบงานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างสื่อการสอนไฟฟ้าเคมีอยู่จำนวนหนึ่ง อาทิ เพชรวิไล ชัตติยวงษ์ และคณะ (2556) ได้พัฒนาเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ มีวิธีการสร้างที่ง่าย เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการสอนเคมีไฟฟ้าในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย การออกแบบครั้งนี้ใช้แนวคิดเคมีรักษ์สิ่งแวดล้อมคือ ลดปริมาณการใช้สารเคมี ทำให้ของเสียจากสารเคมีมีปริมาณน้อยลง และใช้เวลาในการทดลองน้อยลง แต่ยังคงรักษาภาวะที่สมบูรณ์ของการทดลองไว้ได้อย่าง

ต้นแบบ ในงานวิจัยนี้พัฒนาเซลล์กัลวานิกที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า Cu, Zn, Al, Mg และ Fe สะพานเกลือทำมาจากเส้นด้ายชนิดฝ้ายราคาถูก (ยาว 18 เซนติเมตร) ชุบด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับการทดลองแบบเดิม แต่ใช้ปริมาตรสารละลายอิเล็กโทรไลต์น้อยลง (2.00 มิลลิลิตร) จากการศึกษาพบภาวะที่เหมาะสมดังต่อไปนี้ ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมของแต่ละเซลล์ (0.01 โมลต่อลิตร) สารละลายที่ใช้ชุบสะพานเกลือ (โพแทสเซียมไนเตรต ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร) และศึกษาอายุการใช้งานของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในภาวะที่เหมาะสม (720 ชั่วโมง) ผลการทดลองที่ได้จากการสร้างเซลล์กัลวานิกเปรียบเทียบกับวิธีแบบเก่า เมื่อใช้ t -test ทดสอบศักย์ไฟฟ้าของวิธีทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($t_{stat} = 2.414$, $t_{critical} = 2.447$) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นอกจากนี้ Chatmontree et al. (2015) ได้สร้างเซลล์กัลวานิกที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษจากวัสดุที่มีราคาไม่แพงมาทดลองเรื่องเซลล์กัลวานิกในห้องปฏิบัติการ วัสดุประกอบด้วยกระดาษกรอง แผ่นโลหะ สารละลาย KNO_3 และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งกระดาษไม่ได้เป็นแค่ตัวรองรับการเกิดปฏิกิริยา แต่ยังทำหน้าที่เป็นสะพานเกลือได้อีกด้วย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกิจกรรมการเรียนการสอนเกี่ยวกับไฟฟ้าเคมี ซึ่งผู้วิจัยพิจารณาออกแบบชุดการทดลองอย่างง่ายจากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ ดังแสดงในภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ

การจัดการเรียนการสอนรายวิชาเคมี 4 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในปีการศึกษา 2558 พบว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี 4 โดยเฉลี่ย 2.75 (ฝ่ายวิชาการโรงเรียนบ้านตาอุด, 2558) อยู่ในเกณฑ์ต่ำ นักเรียนได้ระดับผลการเรียน 2.0 คิดเป็นร้อยละ 26.92 และจากการประเมินการเขียนรายงานการทดลองนักเรียนไม่สามารถอธิบายหรือเขียนสิ่งที่เกิดขึ้นได้ และขณะปฏิบัติกิจกรรมนักเรียนจะซักถามเพื่อให้ครูแนะนำตลอดเวลา นักเรียนส่วนใหญ่มักจะบ่นว่าไม่เข้าใจและเหนื่อยยาก

ประกอบกับโรงเรียนขาดสื่อและประสบการณ์ในการทำการทดลองที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ การสอนเรื่องไฟฟ้าเคมี ซึ่งมีสาเหตุมาจากโรงเรียนบ้านตาอุดเป็นโรงเรียนขยายโอกาสขนาดเล็ก ไม่มีงบประมาณและขาดอุปกรณ์ในการทดลอง ทำให้นักเรียนไม่ได้สัมผัสการทดลองโดยตรงด้วยตนเอง ส่วนใหญ่เป็นการเรียนจากการสาธิตการทดลองแทน ทำให้การจัดการเรียนการสอนเรื่องไฟฟ้าเคมีเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยากพอสมควร

จากสภาพปัญหาและแนวคิดดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนเรื่องเซลล์กัลวานิกให้ถูกต้อง โดยเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายและราคาถูก ทำได้ง่าย ใช้เวลาในการทดลองน้อยและปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองน้อย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

1.2.2 เพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) เรื่อง เซลล์กัลวานิก จากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

1.2.3 เพื่อสำรวจความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) เรื่องเซลล์กัลวานิก จากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนได้

1.3.2 นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) เรื่องเซลล์กัลวานิก จากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายมีความเข้าใจหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

1.3.3 นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) เรื่องเซลล์กัลวานิก จากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายอยู่ในระดับมาก

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.4.1.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านตาอุด อำเภอชุมขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาศรีสะเกษ เขต 3 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 1 ห้อง รวม 29 คน

1.4.1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านตาอุด อำเภอชุมขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาศรีสะเกษ เขต 3 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 ได้มาโดยเลือกแบบเจาะจง จำนวน 29 คน นักเรียนชายจำนวน 10 คน และนักเรียนหญิง 19 คน ผลการเรียนรู้เฉลี่ย (GPA) เท่ากับ 2.90

1.4.2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

1.4.2.1 ตัวแปรต้น (Independent Variables) คือ ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายที่สร้างขึ้นประกอบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) เรื่องเซลล์กัลวานิก

1.4.2.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables) ได้แก่

- 1) คะแนนวัดความเข้าใจของนักเรียนหลังเรียน
- 2) ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่องเซลล์กัลวานิก จากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

1.4.3 ระยะเวลาในการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการวิจัยในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดเวลาในการทดลองทั้งสิ้น จำนวน 8 คาบ

1.4.4 เนื้อหาในการวิจัย

เนื้อหาในการวิจัยเป็นเนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมเคมี 4 รหัสวิชา ว30224 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หน่วยการเรียนรู้ไฟฟ้าเคมี เรื่องเซลล์กัลวานิก ตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 โรงเรียนมีชุดการทดลองอย่างง่ายที่มีราคาต่ำกว่าชุดการทดลองมาตรฐาน ใช้ง่าย สะดวกต่อการจัดเตรียมอุปกรณ์เพื่อทำการทดลอง และมีขั้นตอนการทดลองที่เข้าใจง่าย และเพียงพอต่อจำนวนของนักเรียนในแต่ละห้องเรียน เพื่อเพิ่มอัตราส่วนการได้ทำการทดลองของนักเรียนให้มากขึ้น

1.5.2 นักเรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้องในเรื่อง เซลล์กัลวานิก เพื่อเป็นพื้นฐานในการเรียนเคมีที่สูงขึ้น รวมทั้งผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและคะแนนการสอบระดับชาติ (O-NET) สูงขึ้น เนื่องจากนักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง

1.5.3 นักเรียนสามารถเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการเรียนรู้ มีการคิดอย่างมีเหตุผลมากขึ้น

1.5.4 นักเรียนมีความพึงพอใจในการเรียนวิชาเคมี และมีเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ ทำให้เกิดความกระตือรือร้นที่จะเรียนรู้และทดลองวิทยาศาสตร์มากขึ้น

1.5.5 ครูได้แนวทางในการพัฒนาการจัดกระบวนการเรียนรู้ และสามารถนำวัสดุที่หาได้ง่าย หรือวัสดุในท้องถิ่นมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการจัดการเรียนการสอนตามความเหมาะสมกับบริบทของโรงเรียน

1.5.6 เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์พื้นฐานในการทำ ความเข้าใจโมเดลวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องต่อไป

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน ผู้วิจัยได้ให้ความหมายคำศัพท์เฉพาะสำหรับการวิจัย ดังนี้

1.6.1 ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย หมายถึงอุปกรณ์การทดลองที่ผู้วิจัยสร้างมาจากเส้นด้าย เพื่อให้ให้นักเรียนได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก และเซลล์ ความเข้มข้น

1.6.2 ความเข้าใจ (Understanding) หมายถึงความเข้าใจของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้ จากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย โดยจำแนกตามกลุ่มคำตอบตามกรอบแนวคิดของ Haidar (1997) ได้จำแนกความเข้าใจออกเป็น 5 กลุ่ม คือ ความเข้าใจถูกต้อง (scientific understanding, SU) ความเข้าใจถูกต้องบางส่วน (partial understanding, PU) ความเข้าใจถูกต้องกับคลาดเคลื่อนบางส่วน (partial understanding with specific misunderstanding, PUMU) ความเข้าใจคลาดเคลื่อน (misunderstanding, MU) และไม่มีความเข้าใจ (no understanding, NU)

1.6.3 นักเรียน หมายถึงนักเรียนที่กำลังศึกษาอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปี การ ศึกษา 2559 โรงเรียนบ้านตาอุด ตำบลตาอุด อำเภอชูขันธุ์ จังหวัดศรีสะเกษ

1.6.4 แบบทดสอบวัดความเข้าใจ หมายถึงข้อสอบแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก 3 ลำดับชั้น (3-tiers diagnostic test) เรื่อง เซลล์กัลวานิก โดยส่วนที่ 1 จะเป็นการเลือกคำตอบ ส่วนที่ 2 จะเป็นการเขียนเหตุผลของคำตอบ และส่วนที่ 3 จะเป็นการแสดงระดับความเชื่อมั่นของคำตอบ มี 5 ระดับ ได้แก่ (1) คาดเดา, (2) ไม่มั่นใจอย่างมาก, (3) ไม่มั่นใจ, (4) มั่นใจ และ (5) มั่นใจอย่างมาก

1.6.5 ความพึงพอใจของนักเรียน หมายถึงความรู้สึกนึกคิดของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่องเซลล์กัลวานิก จากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย ในด้านกิจกรรมการทดลอง ด้านกิจกรรมการเรียนการสอน และด้านครูผู้สอน ซึ่งแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์กัลวานิก จากชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย เป็นแบบ มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ตามวิธีของลิเคอร์ท (Likert) แบ่งความคิดเห็นออกเป็น 5 ระดับ คือ พึงพอใจมากที่สุด พึงพอใจมาก พึงพอใจปานกลาง พึงพอใจน้อย และพึงพอใจน้อยที่สุด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเกี่ยวกับการสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง เซลล์กัลวานิก ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อประกอบการวิจัย โดยนำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ไฟฟ้าเคมี (electrochemistry)

ไฟฟ้าเคมี (electrochemistry) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ 2 แบบ ได้แก่ ปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า และการเกิดกระแสไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมี ซึ่งปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าทุกปฏิกิริยาเกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอน เกิดผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน (Whitten et al., 2007) เซลล์ไฟฟ้าเคมี (electrochemical cell) คือ เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาเคมีกับกระแสไฟฟ้า องค์ประกอบหลักของเซลล์ไฟฟ้าเคมี ได้แก่

2.1.1 ขั้วไฟฟ้า (electrode)

ขั้วไฟฟ้าเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าได้อย่างน้อยสองขั้ว (ชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน) ขั้วไฟฟ้าส่วนใหญ่ทำมาจากโลหะและทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านโดยมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาหรือไม่เกิดปฏิกิริยา ขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เรียกว่า ขั้วแคโทด (cathode) ส่วนขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า ขั้วแอโนด (anode)

2.1.2 สารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte)

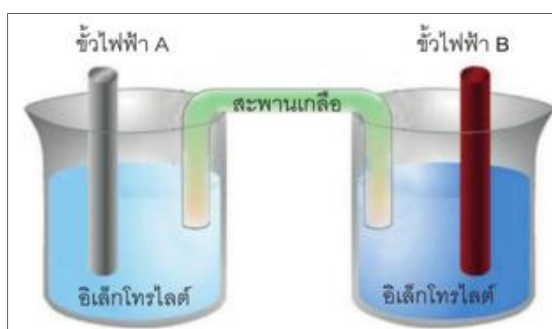
สารอิเล็กโทรไลต์เป็นสารที่นำไฟฟ้าได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของเกลือไอออนที่เป็นองค์ประกอบ สารอิเล็กโทรไลต์อาจอยู่ในสถานะใดก็ได้ ส่วนใหญ่เป็นสารละลายของเกลือไอออนิกที่ละลายในน้ำ เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ไฟฟ้าไอออนบวกและไอออนลบในสารอิเล็กโทรไลต์จะทำหน้าที่ปรับสมดุลของประจุในเซลล์ไฟฟ้าเคมี (Chang, 2012)

การสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีจะต้องมีบริเวณที่ขั้วไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์สัมผัสกันที่แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ชนิด เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ง่ายที่สุด จะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้ว และอิเล็กโทรไลต์ 1 ชนิด รายละเอียดดังภาพที่ 2.1



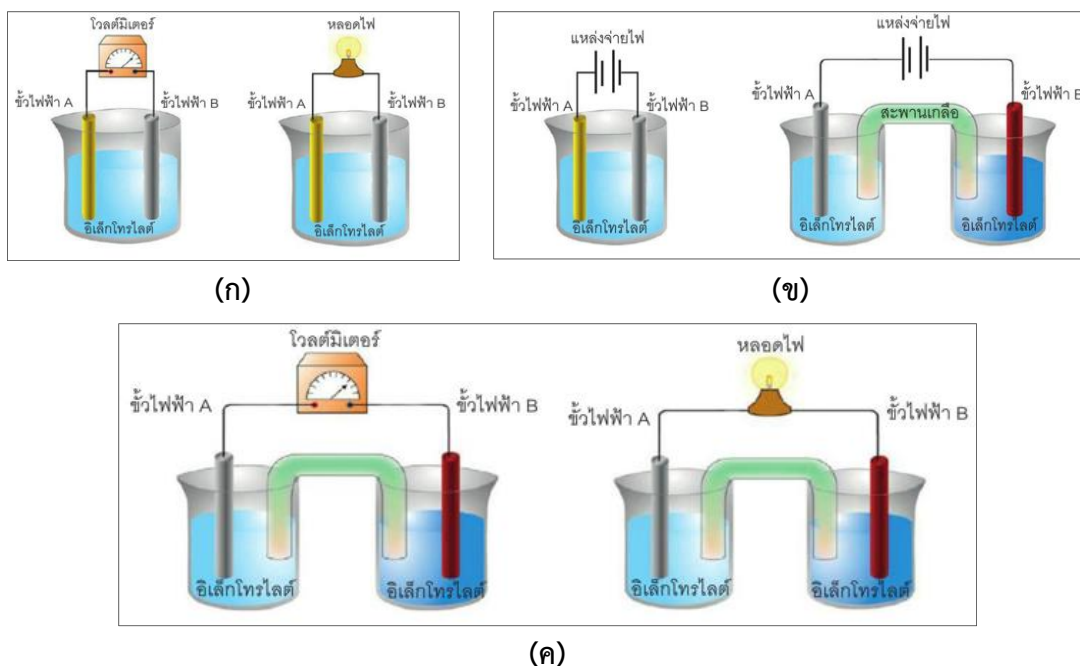
ภาพที่ 2.1 ขั้วไฟฟ้า A และขั้วไฟฟ้า B สัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ชนิดเดียวกัน ไม่มีสะพานเกลือ
ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2556: 24)

ส่วนเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีอิเล็กโทรไลต์ต่างชนิดกันจะเชื่อมต่อกันด้วยสะพานเกลือ รายละเอียดดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ขั้วไฟฟ้า A และขั้วไฟฟ้า B สัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ต่างชนิดกันซึ่งอยู่ในภาชนะแยกกัน และเชื่อมต่อด้วยสะพานเกลือ
ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2556: 24)

เมื่อต่อสายไฟฟ้าซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่านได้ง่าย ที่มีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนขึ้นกับสมบัติขั้วไฟฟ้า และอิเล็กโทรไลต์ที่มาสัมผัส การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่นำไปใช้ได้ในวงจรภายนอกหรือสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ เมื่อต่อสายไฟและอุปกรณ์ให้ครบวงจรสามารถตรวจสอบการไหลของกระแสไฟฟ้าหรือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนได้โดยใช้เครื่องมือวัด เช่น โวลต์มิเตอร์ หรือหลอดไฟฟ้า รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบเซลล์ไฟฟ้าเคมี เมื่อต่อครบวงจรทำให้ไอเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้
 (ก) เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบไม่มีสะพานเกลือ (ข) เซลล์ไฟฟ้าเคมีเมื่อใช้แหล่งพลังงาน
 หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี (ค) เซลล์ไฟฟ้าเคมีเมื่อใช้
 แหล่งพลังงาน หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี
 ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2556: 25)

2.1.3 ประเภทของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

เซลล์ไฟฟ้าเคมีสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.1.3.1 เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นเองแล้ว
 ทำให้มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น เช่น ถ่านไฟฉาย เซลล์แอลคาไลน์ เซลล์ปรอท เซลล์เงิน แบตเตอรี่

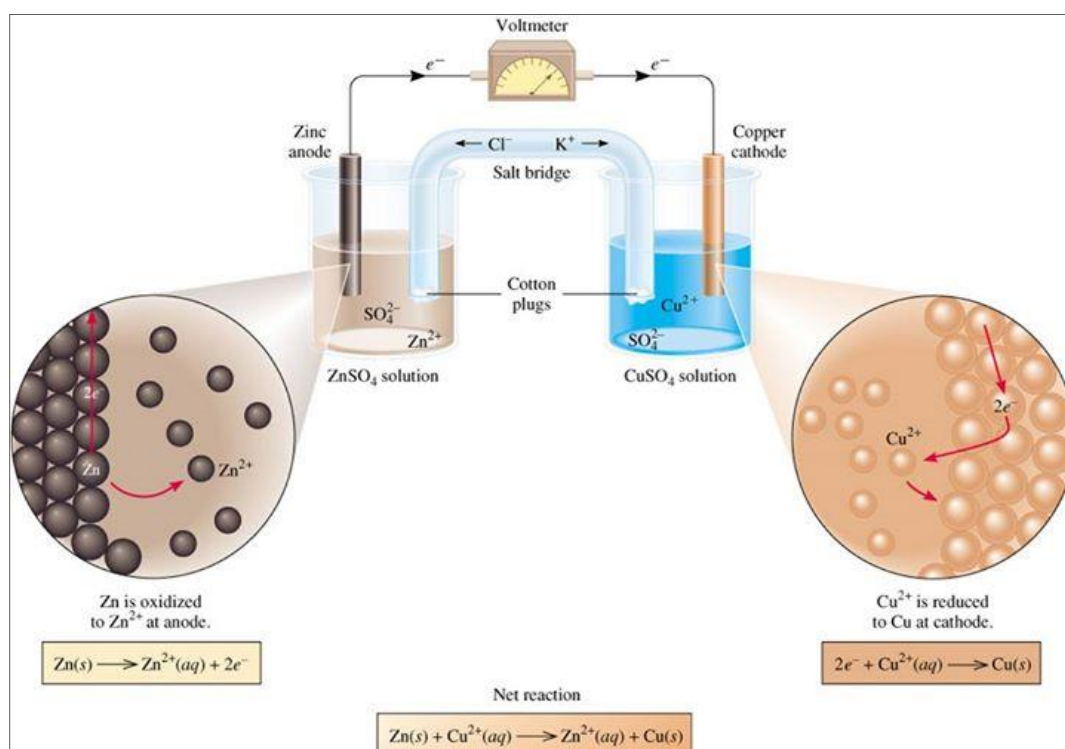
2.1.3.2 เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (electrolytic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ต้องใช้พลังงาน
 กระแสไฟฟ้าจากภายนอกเพื่อทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นเองไม่ได้ให้เกิดขึ้นได้ เช่น เซลล์แยกน้ำด้วย
 ไฟฟ้า การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

2.2 เซลล์กัลวานิก (galvanic cell)

เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) หรือเซลล์โวลตาอิก (voltaic cell) คือเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ผลิต
 พลังงานไฟฟ้าจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันที่เกิดขึ้นเองได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยา
 รีดักชันถูกแยกออกจากกัน โดยมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนผ่านวงจรภายนอก (Whitten et al., 2007)

2.2.1 การสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่าย

ครึ่งเซลล์ (half-cell) ประกอบด้วยโลหะ (ขั้วไฟฟ้า) จุ่มในสารละลายที่มีไอออนของโลหะนั้น พิจารณาภาพที่ 2.4 แสดงเซลล์กัลวานิกที่มีสองครึ่งเซลล์อยู่ในบีกเกอร์ที่แยกจากกัน ขั้วไฟฟ้าแต่ละครึ่งเซลล์เชื่อมต่อกันด้วยเส้นลวดตัวนำ โวลต์มิเตอร์ต่อในวงจรเพื่อวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง หรือต่อแอมมิเตอร์ในวงจร เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลในเซลล์ ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยารีดอกซ์ ที่เกิดขึ้นเองได้



ภาพที่ 2.4 หลักการทำงานของเซลล์กัลวานิก

ที่มา: Chang (2012)

เพื่อให้ครบวงจร สองครึ่งเซลล์จะต่อเชื่อมด้วยสะพานเกลือ (salt bridge) ซึ่งไอออนสามารถเคลื่อนที่ผ่านอย่างช้า ๆ สะพานเกลืออาจทำจากหลอดแก้วที่งอเป็นรูปตัวยู (U) ภายในหลอดแก้วบรรจุด้วยสารละลายเกลืออิ่มตัวใน 5% agar ที่ร้อนและปล่อยให้เย็น เมื่อของผสมเย็นมีลักษณะเป็นเจลและคงอยู่ในหลอดแก้วได้เมื่อคว่ำลงขณะใช้งาน (ดังภาพที่ 2.4) และไอออนสามารถเคลื่อนที่ผ่านเจลได้ สะพานเกลือทำหน้าที่ 3 อย่าง ดังนี้

- (1) เชื่อมสารละลายทั้งสองในครึ่งเซลล์เข้าด้วยกัน
- (2) ป้องกันการผสมกันของสารละลายในแต่ละครึ่งเซลล์

(3) รักษาความเป็นกลางของประจักษ์ในแต่ละครั้งเซลล์ขณะที่ไอออนเคลื่อนที่เข้าและออกจากสะพานเกลือ

2.3 ทฤษฎีการเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิซึม (Constructivism)

ทฤษฎี Constructivism มีหลักการสำคัญว่าในการเรียนรู้ผู้เรียนจะต้องเป็นผู้กระทำ (Active) และสร้างความรู้ มีรากฐานมาจาก 2 แหล่งคือ จากทฤษฎีพัฒนาการของ Piaget และ Vygotsky ดังนั้น ทฤษฎี Constructivism จึงแบ่งออกเป็น 2 ทฤษฎี คือ

(1) Cognitive constructivism หมายถึง ทฤษฎีการเรียนรู้พุทธิปัญญานิยมที่มีรากฐานมาจากทฤษฎีพัฒนาการของ Piaget ทฤษฎีนี้ถือว่าผู้เรียนเป็นผู้กระทำ (Active) และเป็นผู้สร้างความรู้ขึ้นในใจตนเอง ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมมีบทบาทในการก่อให้เกิดความไม่สมดุลทางพุทธิปัญญาขึ้นเป็นเหตุให้ผู้เรียนปรับความเข้าใจเดิมที่มีอยู่ให้เข้ากับข้อมูลข่าวสารใหม่จนกระทั่งเกิดความไม่สมดุลทางพุทธิปัญญา หรือเกิดความรู้ใหม่

(2) Social constructivism เป็นทฤษฎีที่มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีพัฒนาการของ Vygotsky ซึ่งถือว่าผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับผู้อื่น ในขณะที่ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมหรืองานในสถานะสังคม (Social context) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญและขาดไม่ได้ ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมทำให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจเดิมให้ถูกต้องหรือซับซ้อนกว้างขวางขึ้น (สุรางค์ โค้วตระกูล, 2554)

2.3.1 การออกแบบการสอนตามแนวทฤษฎีคอนสตรัคติวิซึม

ข้อตกลงเบื้องต้นของการออกแบบการสอนที่มีพื้นฐานจากทฤษฎีคอนสตรัคติวิซึม (Constructivism) Bednar et al. (1991) ได้ให้ข้อตกลงไว้ดังนี้

(1) การสร้างการเรียนรู้ (Learning Constructed) ความรู้จะถูกสร้างจากประสบการณ์ การเรียนรู้เป็นกระบวนการสร้างสิ่งที่แทนความรู้ (Representation) ในสมองที่ผู้เรียนเป็นผู้สร้างขึ้น

(2) การแปลความหมายของแต่ละคน (Interpretation personal) การเรียนรู้เป็นการแปลความหมายตามสภาพจริง (Real world) ของแต่ละคน “การเรียนรู้เป็นผลจากการแปลความหมายตามประสบการณ์ของแต่ละคน”

(3) การเรียนรู้เกิดจากการลงมือกระทำ (Learning active) การเรียนรู้เป็นการที่ผู้เรียนได้ลงมือกระทำซึ่งเป็นการสร้างความหมายที่พัฒนาโดยอาศัยพื้นฐานของประสบการณ์

(4) การเรียนรู้ที่เกิดจากการร่วมมือ (Learning Collaborative) ความหมายในการเรียนรู้เป็นการต่อรองจากแนวคิดที่หลากหลาย “การพัฒนาความคิดรวบยอดของตนเอง ได้มาจากการร่วมแบ่งปัน แนวคิดที่หลากหลายในกลุ่ม และในขณะเดียวกันก็ปรับเปลี่ยนการสร้างสิ่งที่แทนความรู้ในสมอง (Knowledge representation) ที่สนองตอบต่อแนวคิดที่หลากหลายนั้น หรืออาจกล่าวได้ว่า

ในขณะที่มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้โดยการอภิปรายเสนอความคิดเห็นที่หลากหลายของแต่ละคน ผู้เรียนจะมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างความรู้ของตนด้วยและสร้างความหมายของตนเองขึ้นมาใหม่” ซึ่งตรงกับแนวคิด Cunningham ที่กล่าวว่า “บทบาทของการศึกษา คือ การส่งเสริมให้เกิดความร่วมมือกับคนอื่นจากการร่วมแสดงแนวคิดที่หลากหลายที่จะทำให้เกิดปัญหาเฉพาะและนำไปสู่การเลือกจุดหรือสถานการณ์ที่พวกเขาจะยอมรับในระหว่างกัน”

(5) การเรียนรู้ที่เหมาะสม (Learning Situated) ควรเกิดขึ้นในสภาพชั้นเรียนจริง (Situating or anchored) “การเรียนรู้ต้องเหมาะสมกับบริบทของสภาพจริงหรือสะท้อนบริบทที่เป็นสภาพจริง”

(6) การทดสอบเชิงบูรณาการ (Testing Integrated) การทดสอบควรจะเป็นการบูรณาการเข้ากับการกิจกรรมการเรียน (Task) ไม่ควรเป็นกิจกรรมที่แยกออกจากบริบทการเรียนรู้ “การวัดการเรียนรู้เป็นวิธี การที่ผู้เรียนใช้โครงสร้างความรู้เป็นเครื่องมือในการส่งเสริมให้เกิดการคิดในเนื้อหาการเรียนรู้นั้น ๆ”

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2552) กล่าวว่า การเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิซึมเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในตัวของผู้เรียน ผู้เรียนเป็นผู้สร้าง (Construct) ความรู้ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่พบเห็นกับความรู้ความเข้าใจที่มีอยู่เดิม โดยผู้เรียนเสริมสร้างความรู้ผ่านกระบวนการทางจิตวิทยาด้วยตนเอง ผู้สอนไม่สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางปัญญาของผู้เรียนได้ แต่ผู้สอนช่วยปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางปัญญาได้ โดยการจัดสภาพการณ์ที่ทำให้เกิดภาวะไม่สมดุลขึ้น

วีณา ประชานุกุล และประสาธ เนืองเฉลิม (2554) ได้กล่าวถึงทฤษฎีการเรียนรู้ Constructivism ไว้ว่าเป็นความเชื่อพื้นฐานของการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองที่เป็นทฤษฎีทางด้านปรัชญาและจิตวิทยา เกี่ยวกับความรู้และการเรียนรู้ที่เชื่อว่าความรู้ไม่ได้เกิดจากการรับรู้เพียงอย่างเดียว แต่เป็นการสร้างความเข้าใจในความรู้จากประสบการณ์ โดยกระบวนการเรียนรู้ที่สามารถควบคุมได้ด้วยตนเองของแต่ละบุคคล การเรียนรู้เป็นทั้ง Personal และ Social process ที่บุคคลต้องเรียนรู้เพื่อปรับความรู้ความเข้าใจ โดยใช้ความรู้และประสบการณ์ที่มีอยู่เชื่อมโยงกับความรู้ใหม่อย่างมีความหมาย ทำให้เกิดกระบวนการปรับโครงสร้างทางสติปัญญา (Cognitive structure) ที่ใช้ทั้งกระบวนการดูดกลืน (Assimilation) และกระบวนการปรับให้เหมาะสม (Accommodation) ช่วยทำให้เกิดสภาวะสมดุล

2.3.2 การนำแนวคิดนี้ไปใช้ในงานของครู

การนำแนวคิดของ Constructivism ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนนั้น ครูจะเริ่มต้นจากการเสนอปัญหา หรือคำถาม ที่เป็นจุดเน้นของบทเรียน จากนั้นให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์ภายในระหว่างกันในกลุ่ม เพื่อแก้ปัญหา หรือตอบคำถามจนสำเร็จ โดยครูทำหน้าที่นำทางให้ต้องการตั้ง

คำถามและให้ตัวอย่าง เพื่อเสริมหรือตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียน (ประสาร มาลากุล ณ อยุธยา, 2541)

จากการศึกษาทฤษฎีคอนสตรัคติวิซึม สรุปได้ว่าเป็นทฤษฎีที่มีความเชื่อว่าการเรียนรู้จะเกิดขึ้นภายในตัวบุคคลซึ่งเป็นการที่ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเองโดยกระบวนการสร้างความรู้เกิดจากการดูดซับประสบการณ์ใหม่ที่ได้รับกับการปรับให้เหมาะสมโดยเชื่อมโยงกับความรู้เดิมที่มีอยู่เกิดเป็นองค์ความรู้ใหม่ขึ้นมา แต่ละบุคคลจะพยายามปรับแต่ละสถานการณ์ที่พบเจอให้เข้ากับสิ่งที่เคยพบเจอสร้างเป็นโครงสร้างทางปัญญา แต่ถ้าสิ่งนั้นเป็นสิ่งใหม่ไม่เหมือนประสบการณ์ที่เคยพบเจอก็จะสร้างเป็นความรู้ใหม่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยคิดว่าควรที่จะจัดกิจกรรมหรือประสบการณ์ให้กับผู้เรียนได้สร้างความรู้ใหม่พร้อมกับการทำให้ผู้เรียนได้เกิดเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้

2.4 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) เป็นนวัตกรรมที่สร้างขึ้นเพื่อฝึกกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบตามขั้นตอนสอดคล้องกับเนื้อหาสาระการเรียนรู้ของรายวิชาและสอดคล้องกับตัวชี้วัด เป็นการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนรู้จักศึกษาค้นคว้าหาความรู้และแก้ปัญหาด้วยตนเองอย่างมีกระบวนการโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งผู้สอนมีหน้าที่จัดบรรยากาศการสอนให้เอื้อต่อการเรียนรู้เป็นผู้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือให้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีประสิทธิภาพและผู้เรียนเกิดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพและผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างอิสระ

2.4.1 ความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

Hogan and Berkowitz (2000) กล่าวว่า การสืบเสาะหาความรู้เป็นกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ ใช้ศึกษาอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ซึ่งวางอยู่บนพื้นฐานของหลักฐานหรือเหตุผลต่าง ๆ และอีกความหมาย คือ เป็นกระบวนการที่นักเรียนใช้ในการค้นคว้า หาคำตอบอย่างมีระบบเพื่ออธิบายเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษากระบวนการสืบเสาะหาความรู้ในห้องเรียนวิทยาศาสตร์ในการจัดการเรียนการสอน ผู้สอนสามารถเลือกจัดให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ผ่านกระบวนการต่าง ๆ ในการสืบเสาะหาความรู้ตามบริบทของผู้สอน ผู้เรียน โรงเรียน และแหล่งการเรียนรู้ที่มีอยู่ตามความเหมาะสมโดยครูเป็นผู้สนับสนุนให้นักเรียนได้สำรวจปรากฏการณ์ต่าง ๆ และกระตุ้นให้นักเรียนสร้างความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง

สาขาชีววิทยา สสวท. (2550) กล่าวว่า การสืบเสาะหาความรู้ เป็นรูปแบบการเรียนการสอนที่ใช้ตามทฤษฎีการสร้างความรู้ (Constructivism) ซึ่งกล่าวไว้ว่าเป็นกระบวนการที่นักเรียนจะต้องสืบค้น เสาะหา สืบตรวจสอบ และค้นคว้าด้วยวิธีการต่าง ๆ จนทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจ และเกิดการรับรู้ความรู้นั้นอย่างมีความหมาย จึงจะสามารถสร้างเป็นองค์ความรู้ของนักเรียน

เอง และเก็บเป็นข้อมูลไว้ในสมองได้อย่างยาวนาน สามารถนำมาใช้ได้เมื่อมีสถานการณ์ใด ๆ มาเผชิญหน้า

สุวิทย์ มูลคำ และอรทัย มูลคำ (2545) ได้ให้ความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะว่าเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการฝึกให้ผู้เรียนศึกษาค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง โดยผู้สอนตั้งคำถามกระตุ้นให้ผู้เรียนใช้กระบวนการทางความคิดหาเหตุผลจนค้นพบความรู้ หรือแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่ถูกต้องด้วยตนเอง สรุปเป็นหลักการ กฎเกณฑ์ หรือวิธีการแก้ปัญหาและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการควบคุม ปรับปรุง เปลี่ยนแปลง หรือสร้างสรรค์สิ่งแวดล้อมในสภาพการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง

ศศิธร เวียงวะลัย (2556) ได้ให้ความหมายของการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ว่าเป็นการจัดกระบวนการเรียนรู้โดยให้ผู้เรียนค้นหาความจริงด้วยการแสวงหาความรู้ มุ่งส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ฝึกคิดหาเหตุผล ลงมือปฏิบัติ สำนวตรตรวจสอบ เน้นให้ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้ใหม่ สิ่งประดิษฐ์ใหม่ด้วยตนเอง ความรู้ที่ได้จะคงทนถาวรอยู่ในความทรงจำระยะยาว ครูไม่สามารถสร้างได้แต่ครูเป็นเพียงผู้จัดการให้เกิดประสบการณ์เรียนรู้

จากการศึกษาความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะสามารถสรุปได้ว่าเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนได้สืบเสาะหาความรู้หรือลงมือปฏิบัติด้วยตนเองอย่างมีกระบวนการ มีเหตุผลและสร้างองค์ความรู้ใหม่ได้ ซึ่งเป็นวิธีการสอนที่จะช่วยพัฒนากระบวนการคิดและการแก้ปัญหาของผู้เรียน โดยมีครูเป็นผู้จัดบรรยากาศในการเรียนให้เกิดประสบการณ์เรียนรู้ และกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสงสัย สนใจที่จะศึกษาค้นคว้า

2.4.2 กระบวนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5Es

นักการศึกษากลุ่ม BSCS (Biological Science Curriculum Study) ได้นำวิธีการสอนแบบ Inquiry มาใช้ในการพัฒนาหลักสูตรวิชาวิทยาศาสตร์ โดยเสนอขั้นตอนในการเรียนการสอนเป็น 5 ขั้นตอน เรียกว่า การเรียนการสอนแบบ Inquiry Cycle หรือ 5Es ได้แก่ Engage, Explore, Explain, Elaborate และ Evaluate กระบวนการเรียนการสอน ในแต่ละขั้นตอนการสอนของรูปแบบการเรียนการสอนแบบ Inquiry Cycle (5Es) ซึ่งมีขอบข่ายรายละเอียด ดังนี้

2.4.2.1 การสร้างความสนใจ (Engage)

การสร้างความสนใจเป็นการนำเข้าสู่บทเรียนหรือเรื่องที่สนใจ ซึ่งอาจเกิดขึ้นเองจากความสงสัยหรือความสนใจของตัวนักเรียนเอง หรือเกิดจากการอภิปรายภายในกลุ่ม เรื่องที่น่าสนใจอาจมาจากเหตุการณ์ที่กำลังเกิดขึ้นอยู่ในช่วงเวลานั้น หรือเป็นเรื่องที่เชื่อมโยงกับความรู้เดิมที่เพิ่งเรียนมาผ่านมาแล้วเป็นตัวกระตุ้นให้นักเรียนสร้างคำถาม กำหนดประเด็นที่จะศึกษา ในกรณีที่ยังไม่มีประเด็นที่น่าสนใจ ครูอาจจะจัดกิจกรรมหรือสถานการณ์เพื่อกระตุ้น ยั่วเย้า หรือท้าทายให้นักเรียนตื่นเต้น สงสัย อยากรู้ อยากเห็น หรือขัดแย้ง เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหา การศึกษา ค้นคว้า หรือการ

ทดลอง แต่ไม่ควรบังคับให้นักเรียนยอมรับประเด็นหรือปัญหาที่ครูกำลังสนใจ เป็นเรื่องที่จะศึกษา ทำได้หลายแบบ เช่น สาธิต ทดลอง นำเสนอข้อมูล เล่าเรื่อง/เหตุการณ์ ให้ค้นคว้า/อ่านเรื่อง อภิปราย/พูดคุย สนทนา ใช้เกม ใช้สื่อ วัสดุอุปกรณ์ สร้างสถานการณ์/ปัญหาที่น่าสนใจ ที่น่าสงสัยแปลกใจ

2.4.2.2 การสำรวจและค้นคว้า (Explore)

นักเรียนดำเนินการสำรวจ ทดลอง ค้นหา และรวบรวมข้อมูล วางแผน กำหนดการสำรวจตรวจสอบ หรือออกแบบการทดลอง ลงมือปฏิบัติ เช่น สังเกต วัด ทดลอง รวบรวมข้อมูล ข้อเสนอแนะ หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ

2.4.2.3 การอธิบาย (Explain)

นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและค้นคว้ามาวิเคราะห์ แปลผล สรุปและอภิปราย พร้อมทั้งนำเสนอผลงานในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นรูปวาด ตาราง แผนผัง ผลงานมีความหลากหลาย สนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือโต้แย้งกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ หรือไม่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่กำหนดไว้ โดยมีการอ้างอิงความรู้ประกอบการให้เหตุผลสมผล การลงข้อสรุปถูกต้องเชื่อถือได้ มีเอกสารอ้างอิงและหลักฐานชัดเจน

2.4.2.4 การขยายความรู้ (Evaborate)

1) ครูจัดกิจกรรมหรือสถานการณ์ เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ลึกซึ้งขึ้น หรือขยายกรอบความคิดกว้างขึ้นหรือเชื่อมโยงความรู้เดิมสู่ความรู้ใหม่หรือนำไปสู่การศึกษาค้นคว้า ทดลองเพิ่มขึ้น เช่น ตั้งประเด็นเพื่อให้นักเรียน ชี้แจงหรือร่วมอภิปรายแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ชักถามให้นักเรียนชัดเจนหรือกระจ่างในความรู้ที่ได้หรือเชื่อมโยงความรู้ที่ได้กับความรู้เดิม

2) นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรม เช่น อธิบายและขยายความรู้เพิ่มเติมมีความละเอียดมากขึ้น ยกสถานการณ์ ตัวอย่าง อธิบายเชื่อมโยงความรู้ที่ได้เป็นระบบและลึกซึ้งยิ่งขึ้น หรือสมบูรณ์ละเอียดขึ้น นำไปสู่ความรู้ใหม่หรือความรู้ที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น ประยุกต์ความรู้ที่ได้ไปใช้ในเรื่องอื่นหรือสถานการณ์อื่น ๆ หรือสร้างคำถามใหม่และออกแบบการสำรวจ ค้นหา และรวบรวมเพื่อนำไปสู่การสร้างความรู้ใหม่

2.4.2.5 การประเมิน (Evaluate)

1) นักเรียนระบุสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้ทั้งด้านกระบวนการและผลผลิต

2) นักเรียนตรวจสอบความถูกต้องของความรู้ที่ได้ เช่น วิเคราะห์วิจารณ์ แลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกัน คิดพิจารณาให้รอบคอบทั้งกระบวนการและผลงาน อภิปราย ประเมิน ปรับปรุง เพิ่มเติมและสรุป ถ้ายังมีปัญหา ให้ศึกษาทบทวนใหม่อีกครั้ง อ้างอิงทฤษฎีหรือหลักการและเกณฑ์ เปรียบเทียบผลกับสมมติฐาน เปรียบเทียบความรู้ใหม่กับความรู้เดิม

3) นักเรียนทราบจุดเด่น จุดด้อยในการศึกษาค้นคว้า หรือทดลองการพัฒนา รูปแบบการจัดกระบวนการเรียนรู้โดยวิธีการสืบเสาะและสืบสวนหาความรู้

กรมวิชาการ (2545) กล่าวว่า กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry process) ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

- (1) ขั้นสร้างความสนใจ (engagement)
- (2) ขั้นสำรวจและค้นหา (exploration)
- (3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (explanation)
- (4) ขั้นขยายความรู้ (elaboration)
- (5) ขั้นประเมิน (evaluation)

โดยสรุปการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) มีรูปแบบและขั้นตอนที่ชัดเจน โดยจัดการเรียนการสอนที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง และมีความสัมพันธ์กับการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามรูปแบบที่ทางสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้กำหนดขึ้นทั้งนี้ขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้การสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยขั้นสร้างความสนใจ ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นขยายความรู้ และขั้นประเมิน

2.4.3 บทบาทของครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5Es

2.4.3.1 บทบาทของครู

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546) ได้ให้ข้อเสนอสำหรับครูในการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ดังนี้

- 1) ครูจะต้องเป็นผู้คอยกระตุ้นให้นักเรียนได้คิด ได้ซักถาม ครูต้องพยายามสร้างแรงจูงใจให้เกิดในตัวนักเรียนเมื่อเขาสามารถทำงานสำเร็จ ครูจะต้องคอยเสริมแรงให้เกิดตลอดเวลา
- 2) ครูจะต้องเป็นผู้กำกับและจดระเบียบต่าง ๆ ของการทำกิจกรรมเพื่อฝึกให้นักเรียนทำงานอย่างมีระเบียบและดำเนินกิจกรรมอย่างถูกขั้นตอน
- 3) ครูจะต้องคอยสร้างบรรยากาศในชั้นเรียนให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นอยากคิดหาคำตอบของปัญหา
- 4) ครูจะต้องให้คำแนะนำหรือให้ข้อมูลแก่นักเรียนเมื่อเกิดความสงสัยและช่วยแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหา
- 5) ครูไม่ควรชี้แนะปัญหาให้กับนักเรียนโดยการบอกข้อเท็จจริง ควรใช้คำถามเพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหานั้น ๆ
- 6) ครูจะต้องไม่ด่วนสรุปข้อมูลด้วยตนเองควรเปิดโอกาสให้มีการอภิปรายซักถามเพื่อจะได้เกิดแนวคิดกว้างขวางยิ่งขึ้นแล้วจึงให้นักเรียนเป็นผู้สรุป

7) ครูจะต้องพยายามหาวิธีสอนหลาย ๆ วิธีมาช่วยในการสอนด้วยจะทำให้ นักเรียนมีความเข้าใจยิ่งขึ้น

2.4.3.2 บทบาทของนักเรียน

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546) ได้ให้ข้อเสนอ สำหรับนักเรียน ในการเรียนแบบสืบเสาะหาความรู้ไว้ดังนี้

- 1) พยายามค้นพบสิ่งที่เรียนรู้ด้วยตนเอง
- 2) ใช้หลักการต่าง ๆ ใช้ทักษะการสังเกต การใช้เครื่องมือ การดำเนินการ ทดลอง การบันทึกข้อมูล การอภิปรายและการสรุป ซึ่งนำไปสู่การคิดและหลักเกณฑ์ที่สำคัญของ บทเรียน

3) แสดงความรู้สึกและความคิดเห็นอย่างมีอิสระและมีเหตุผล

4) พุด ชักถามหรือโต้แย้งในสิ่งที่นักเรียนเชื่อมั่นและมีเหตุผล

ตามแนวความคิดของกลุ่ม BSCS (Biological Science Curriculum Study) กล่าวถึงบทบาทของครูและนักเรียนในการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ดังนี้ (Barman and Kotar, 1989)

ตารางที่ 2.1 บทบาทของครูในการเรียนการสอนแบบ Inquiry Cycle (5Es)

ขั้นตอน การเรียนการสอน	สิ่งที่ครูควรทำ	
	สอดคล้องกับ 5Es	ไม่สอดคล้องกับ 5Es
1) การสร้างความ สนใจ (Engage)	- สร้างความสนใจ - สร้างความอยากรู้อยากเห็น - ตั้งคำถามกระตุ้นให้นักเรียนคิด - ดึงเอาคำตอบที่ยังไม่ครอบคลุมสิ่งที่ นักเรียนรู้ หรือความคิดเกี่ยวกับความ คิดรวบยอด หรือเนื้อหาสาระ	- อธิบายความคิดรวบยอด - ให้คำจำกัดความและคำตอบ - สรุปประเด็นให้ - จัดคำตอบให้เป็นหมวดหมู่ - บรรยาย

ตารางที่ 2.1 บทบาทของครูในการเรียนการสอนแบบ Inquiry Cycle (5Es) (ต่อ)

ขั้นตอน การเรียนการสอน	สิ่งที่ครูควรทำ	
	สอดคล้องกับ 5Es	ไม่สอดคล้องกับ 5Es
2) การอธิบาย (Explain)	- ส่งเสริมให้นักเรียนอธิบายความคิดรวบยอดหรือแนวคิด หรือให้คำจำกัดความด้วยคำพูดของนักเรียนเอง - ให้นักเรียนแสดงหลักฐาน ให้เหตุผล และอธิบายให้กระจ่าง - ให้นักเรียนอธิบาย ให้คำจำกัดความ และชี้บอกส่วนประกอบต่าง ๆ ในแผนภาพ - ให้นักเรียนใช้ประสบการณ์เดิมของตนเป็นพื้นฐานในการอธิบายความคิดรวบยอดหรือแนวคิด	- ยอมรับคำอธิบายโดยไม่มีหลักฐานหรือให้เหตุผลประกอบ - ไม่สนใจคำอธิบายของนักเรียน - แนะนำนักเรียนโดยปราศจากการเชื่อมโยงแนวคิดหรือความคิดรวบยอดหรือทักษะ
3) การขยายความรู้ (Elaborate)	- คาดหวังให้นักเรียนได้ใช้ประโยชน์จากการชี้บอกส่วนประกอบต่าง ๆ ในแผนภาพ คำจำกัดความและการอธิบายสิ่งที่ได้เรียนรู้มาแล้ว - ส่งเสริมให้นักเรียนนำสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้ไปประยุกต์ใช้หรือขยายความรู้ และทักษะในสถานการณ์ใหม่ - ให้นักเรียนอธิบายอย่างหลากหลาย	- ให้คำตอบที่ชัดเจน - บอกนักเรียนเมื่อนักเรียนทำไม่ถูก - ใช้เวลามากในการบรรยาย - นำนักเรียนแก้ปัญหาทีละขั้นตอนอธิบายวิธีการแก้ปัญหา
4) การประเมินผล (Evaluate)	- สังเกตนักเรียนในการนำความคิดรวบยอดและทักษะใหม่ไปประยุกต์ใช้ - ประเมินความรู้และทักษะของนักเรียน - หาหลักฐานที่แสดงว่านักเรียนได้เปลี่ยนความคิด หรือพฤติกรรม	- ทดสอบคำนิยามศัพท์ และข้อเท็จจริง - ให้แนวคิดหรือความคิดรวบยอดใหม่ - ทำให้คลุ้มเครือ

ตารางที่ 2.1 บทบาทของครูในการเรียนการสอนแบบ Inquiry Cycle (5Es) (ต่อ)

ขั้นตอน การเรียนการสอน	สิ่งที่ครูควรทำ	
	สอดคล้องกับ 5Es	ไม่สอดคล้องกับ 5Es
5) การประเมินผล (Evaluate)	- ให้นักเรียนประเมินตนเองเกี่ยวกับการเรียนรู้และทักษะกระบวนการกลุ่ม - ถามคำถามปลายเปิด เช่น ทำไมนักเรียนจึงคิดเช่นนั้น มีหลักฐานอะไรนักเรียนเรียนรู้อะไรเกี่ยวกับสิ่งนั้น และจะอธิบายสิ่งนั้นอย่างไร	- ส่งเสริมการอภิปรายที่ไม่เชื่อมโยงความคิดรวบยอดหรือทักษะ

ตารางที่ 2.2 บทบาทของนักเรียนในการเรียนการสอนแบบ Inquiry Cycle (5Es)

ขั้นตอน การเรียนการสอน	สิ่งที่นักเรียนควรทำ	
	สอดคล้องกับ 5Es	ไม่สอดคล้องกับ 5Es
1) การสร้างความ สนใจ (Engage)	- ถามคำถาม เช่น ทำไมสิ่งนี้จึงเกิดขึ้นฉันได้เรียนรู้อะไรบ้างเกี่ยวกับสิ่งนี้ - แสดงความสนใจ	- ถามหาคำตอบที่ถูกต้อง - ตอบเฉพาะคำตอบที่ถูกต้อง - ยืนยันคำตอบหรือคำอธิบาย - มีวิธีการแก้ปัญหาเพียงวิธีเดียว
2) การสำรวจและ ค้นหา (Explore)	- คิดอย่างอิสระแต่อยู่ในขอบเขตของกิจกรรม - ทดสอบการคาดคะเนและสมมติฐาน - คาดคะเนและตั้งสมมติฐานใหม่ - พยายามหาทางเลือกในการแก้ปัญหาและอภิปรายทางเลือกเหล่านั้นกับคนอื่น - บันทึกการสังเกตและให้ข้อคิดเห็น - ลงข้อสรุป	- ให้คนอื่นคิดและสำรวจตรวจสอบ - ทำงานเพียงลำพังโดยมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นน้อยมาก - ปฏิบัติอย่างสับสนไม่มีเป้าหมายที่ชัดเจน - เมื่อแก้ปัญหาได้แล้วก็ไม่คิดต่อ

ตารางที่ 2.2 บทบาทของนักเรียนในการเรียนการสอนแบบ Inquiry Cycle (5Es) (ต่อ)

ขั้นตอน การเรียนการสอน	สิ่งที่นักเรียนควรทำ	
	สอดคล้องกับ 5Es	ไม่สอดคล้องกับ 5Es
3) การอธิบาย (Explain)	- อธิบายการแก้ปัญหาหรือคำตอบที่ซับซ้อน - ฟังคำอธิบายของคนอื่นอย่างคิดวิเคราะห์ - ถามคำถามเกี่ยวกับสิ่งที่คนอื่นได้อธิบาย - ฟังและพยายามทำความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งที่ครูอธิบาย - อ้างอิงกิจกรรมที่ได้ปฏิบัติมาแล้ว - ใช้ข้อมูลที่ได้จากการบันทึก/สังเกตในการอธิบาย	- อธิบายโดยไม่มีการเชื่อมโยงกับประสบการณ์เดิม - ยกตัวอย่างที่ไม่เกี่ยวข้องกัน - ยอมรับคำอธิบายโดยไม่ให้เหตุผล - ไม่สนใจคำอธิบายของคนอื่นซึ่งมีเหตุผลพอที่จะเชื่อถือได้
4) การขยายความรู้ (Elaborate)	- นำการชี้บอกร่วมประกอบต่าง ๆ ในแผนภาพ คำจำกัดความ คำอธิบาย และทักษะไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ใหม่ที่คล้ายกับสถานการณ์เดิม - ใช้ข้อมูลเดิมในการถามคำถาม กำหนดจุดประสงค์ในการแก้ปัญหา ตัดสินใจ และออกแบบการทดลอง - ลงข้อสรุปอย่างสมเหตุสมผลจากหลักฐานที่ปรากฏ - บันทึกการสังเกตและอธิบาย - ตรวจสอบความเข้าใจกับเพื่อน ๆ	- ปฏิบัติโดยไม่มีความหมายชัดเจน - ไม่สนใจข้อมูลหรือหลักฐานที่มีอยู่ - อธิบายเหมือนกับที่ครูจัดเตรียมไว้หรือกำหนดให้

ตารางที่ 2.2 บทบาทของนักเรียนในการเรียนการสอนแบบ Inquiry Cycle (5Es) (ต่อ)

ขั้นตอน การเรียนการสอน	สิ่งที่นักเรียนควรทำ	
	สอดคล้องกับ 5Es	ไม่สอดคล้องกับ 5Es
5) การประเมินผล (Evaluate)	- ตอบคำถามปลายเปิด โดยใช้การสังเกต หลักฐานและคำอธิบายที่ยอมรับมาแล้ว - แสดงออกถึงความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความคิดรวบยอดหรือทักษะ - ประเมินความก้าวหน้าด้วยตนเอง - ถามคำถามเพื่อให้มีการตรวจสอบต่อไป	- ลงข้อสรุปโดยปราศจากหลักฐานหรือคำอธิบายที่เป็นที่ยอมรับมาแล้ว - ตอบแต่เพียงว่าถูกหรือผิด และอธิบายให้คำจำกัดความ/ความจำ - ไม่สามารถอธิบายเพื่อแสดงความเข้าใจด้วยคำพูดของตนเอง

กล่าวโดยสรุป บทบาทหน้าที่ของครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) นักเรียนต้องเป็นผู้สืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง ใช้ความคิดหาความสัมพันธ์ของสิ่งที่พบเห็น แสดงความคิดและอธิบายในเรื่องที่เรียน ส่วนบทบาทของครูในการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ต้องมีการสร้างสถานการณ์ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมต่าง ๆ ด้วยตัวนักเรียนเองเป็นผู้ถามคำถามต่าง ๆ ที่จะช่วยนำทางให้นักเรียนค้นหาความรู้

2.2.4 บรรยากาศการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้

อารี พันธมณี (2540) กล่าวว่า องค์ประกอบสำคัญในการทำให้เกิดบรรยากาศการเรียนการสอน คือ ครูผู้สอนและผู้เรียน ผู้สอนและผู้เรียนต่างมีบทบาทในการสร้างบรรยากาศ ครูจะเป็นผู้ริเริ่มสร้างบรรยากาศ ผู้เรียนเป็นผู้ตอบสนอง และเติมสีสันให้กับบรรยากาศการเรียนการสอนให้กันไปในรูปแบบต่าง ๆ กัน บรรยากาศการเรียนการสอนที่เป็นอิสระ ทำหาย ตื่นเต้น ปลอดภัยเป็นประชาธิปไตย ผู้สอนให้ความอบอุ่นทั้งทางกายและจิตใจสร้างความรู้สึกไว้วางใจให้กับผู้เรียน ผู้เรียนได้รับความเข้าใจเป็นมิตร เอื้ออาทร ห่วงใย ตลอดจนให้ความดูแล ช่วยเหลือ จะทำให้ผู้เรียนมีความกล้าและอยากเรียนรู้มากขึ้น บรรยากาศการเรียนการสอนที่มีการยอมรับ มองเห็นคุณค่าในตัวผู้เรียน ผู้เรียนเป็นบุคคลสำคัญ มีคุณค่า และสามารถเรียนได้ ผู้สอนควรแสดงความรู้สึกการยอมรับผู้เรียนอย่างจริงใจ กระตุ้นผู้เรียนให้ยอมรับกันเองและเชื่อมั่นว่าสามารถทำได้สำเร็จ

Massialas and Cox (1968) ได้กล่าวว่า ห้องเรียนที่เป็นแบบสืบเสาะหาความรู้ ควรจะมีลักษณะดังนี้

(1) ห้องเรียนต้องเป็นประชาธิปไตย เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นอย่างเต็มที่

(2) ปัญหาที่นำมาอภิปรายน่าสนใจที่จะขบคิด และสามารถตัดสินใจได้ ครูมีบทบาทเพียงกระตุ้นให้กิจกรรมการเรียนการสอนดำเนินไปด้วยดี

(3) ทุกคนในห้องเรียนต้องให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

จากการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารและบทความต่าง ๆ สรุปได้ว่า บรรยากาศการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ที่เอื้อต่อการพัฒนากระบวนการคิด ควรมีลักษณะดังนี้

(1) บรรยากาศภายในห้องเรียน

(1.1) เป็นบรรยากาศการโต้ตอบกันระหว่างครูกับนักเรียน และนักเรียนกับนักเรียนอย่างสร้างสรรค์ สมเหตุสมผล

(1.2) เป็นบรรยากาศที่นักเรียนรู้สึกอบอุ่นใจ ปลอดภัย ปราศจากการตำหนิ วิพากษ์วิจารณ์ความคิด ไม่มีการตัดสินว่าถูกหรือผิด

(1.3) บรรยากาศตื่นเต้น น่าสนใจ สนุกสนาน เพื่อให้การเรียนรู้เป็นแบบสร้างสรรค์และอิสระ

(1.4) นักเรียนสนใจ กระตือรือร้น ให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรม

(2) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูกับนักเรียน

(2.1) ครูเป็นกัลยาณมิตรกับนักเรียน เป็นกันเอง ให้กำลังใจแก่นักเรียน

(2.2) ครูใจกว้าง ให้นักเรียนโต้แย้งได้ ยอมรับฟังความคิดเห็นของนักเรียน

(2.3) ครูให้คำปรึกษา ชี้แนะ และช่วยเหลือนักเรียน

(3) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนกับนักเรียน

(3.1) ร่วมมือร่วมใจในการทำกิจกรรม ช่วยกันคิด ช่วยกันทำงาน ถ้อยทีถ้อยอาศัย

(3.2) อภิปรายซักถามแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันและโต้แย้งกันอย่างสร้างสรรค์

2.5 การเรียนการสอนไฟฟ้าเคมี/เซลล์กัลวานิก

ไฟฟ้าเคมีเป็นเนื้อหาหนึ่งที่นักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนหลายจุด และได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับไฟฟ้าเคมีหลายเรื่อง เช่น กาญจนา วงศ์ไชยา (2559) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อธิบาย-สังเกต-อธิบาย-อภิปราย เรื่องเซลล์กัลวานิก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เพื่อศึกษาความก้าวหน้าทางการเรียนและความก้าวหน้าของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และ

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นักเรียนมีความก้าวหน้าของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการเรียนทั้งชั้นเรียนในระดับปานกลาง ความสัมพันธ์ระหว่างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นความสัมพันธ์เชิงบวกอยู่ในระดับปานกลาง ผลการทำนาย-อธิบาย-สังเกต-อธิบาย-อภิปราย ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง และนักเรียนมีคะแนนในการทำนายสูงสุดและต่ำสุดในทักษะการอภิปราย

เพชรวิไล ชัตติยวงษ์ และคณะ (2556) ได้พัฒนาเซลล์กัลวานิกแบบย่อบางส่วนและต้นทุนต่ำ มีวิธีการสร้างที่ง่าย เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการสอนเคมีไฟฟ้าในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย การออกแบบครั้งนี้ใช้แนวคิดเคมีรักษ์สิ่งแวดล้อมคือ ลดปริมาณการใช้สารเคมี ทำให้ของเสียจากสารเคมีมีปริมาณน้อยลง และใช้เวลาในการทดลองน้อยลง แต่ยังคงรักษาภาวะที่สมบูรณ์ของการทดลองไว้ได้อย่างต้นแบบ ในงานวิจัยนี้พัฒนาเซลล์กัลวานิกที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า Cu, Zn, Al, Mg และ Fe สะพานเกลือทำมาจากเส้นด้ายชนิดฝ้ายราคาถูก (ยาว 18 เซนติเมตร) ขุดด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับการทดลองแบบเดิม แต่ใช้ปริมาตรสารละลายอิเล็กโทรไลต์น้อยลง (2.00 มิลลิลิตร) จากการศึกษาพบภาวะที่เหมาะสมดังต่อไปนี้ ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมของ แต่ละเซลล์ (0.01 โมลต่อลิตร) สารละลายที่ใช้ขุดสะพานเกลือ (โพแทสเซียมไนเตรด ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร) และศึกษาอายุการใช้งานของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในภาวะที่เหมาะสม (720 ชั่วโมง) ผลการทดลองที่ได้จากการสร้างเซลล์กัลวานิกเปรียบเทียบกับวิธีแบบเก่า เมื่อใช้ t-test ทดสอบศักย์ไฟฟ้าของวิธีทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($t_{stat} = 2.414$, $t_{critical} = 2.447$) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การวิเคราะห์คะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน (ก่อนและหลังการใช้เซลล์ที่พัฒนาขึ้น ตามลำดับ) พบว่า มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนมีค่าเท่ากับ 4.69 และ 8.15 ตามลำดับ โดยมีร้อยละความแตกต่างสำหรับคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนเท่ากับร้อยละ 34.89 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวมีค่าเท่ากับร้อยละ 24.09 และ 15.82 สำหรับคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนตามลำดับ เมื่อใช้ t-test แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกันทดสอบคะแนนของการสอบทั้งสองครั้ง พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($t_{observed} = 9.55$, $t_{critical} = 2.07$) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นอกจากนี้นักเรียนยังมีความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้นต่อการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อบางส่วนและต้นทุนต่ำ วิธีการนำเสนอนี้คาดว่าจะเป็เครื่องมือในการสอนที่มีประสิทธิภาพและมีประโยชน์ในการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

พรทิพย์ เมืองแก้ว (2553) ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องไฟฟ้าเคมีด้วยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือแบบการสร้างผลสัมฤทธิ์ของทีม แบบกลุ่มแข่งขัน แบบกลุ่มร่วมมือ และแบบต่อบทเรียน เพื่อสร้างแผนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือที่มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 75/75 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนลือคำหาญวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

ผลการศึกษาพบว่าผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น .05 คะแนนสอบหลังเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับดี ประสิทธิภาพของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เท่ากับ 81.12/75.44 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ นักเรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นร้อยละ 68.50 และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมืออยู่ในระดับมาก

รุ่งทิพย์ ศศิธร (2554) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือ ร่วมกับการใช้ชุดการเรียนรู้แบบ 5E พบว่า นักเรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์หลังเรียน (ค่าเฉลี่ย 21.85 และ SD 4.94) สูงกว่าก่อนเรียน (ค่าเฉลี่ย 9.72 และ SD 5.22) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยการสร้างความสนใจของนักเรียนด้วยใช้กิจกรรมทำนาย-ตั้งสมมติฐาน-ทดลอง-อธิบาย-อภิปราย (Pre-HEED) ทำให้นักเรียนมีแรงจูงใจในการหาคำตอบผ่านกระบวนการสืบเสาะ และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ อยู่ในระดับมาก

ศักดิ์ศรี สุภาธร (2559) ได้ศึกษาความเข้าใจโน้มนมติและเมนทอลโมเดลในเรื่องเซลล์กัลวานิก ก่อนและหลังเรียน โดยใช้การทดลองขนาดย่อมส่วนร่วมกับแบบจำลองขนาดเล็ก (Model Kit) ซึ่งในการเรียนรู้จะใช้การเรียนรู้แบบการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ พบว่าในการจัดกิจกรรมแบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพในการพัฒนานโน้มนมติและเมนทอลของนักเรียนได้ โดยมีการแบ่งระดับความเข้าใจเป็น 5 ระดับ คือ ไม่เข้าใจ (NU) เข้าใจคลาดเคลื่อน (MU) เข้าใจบางส่วนแต่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PMU) เข้าใจบางส่วนแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) และเข้าใจสมบูรณ์ (SU) โดยก่อนการเรียนรู้ นักเรียนจะมีมนติที่คลาดเคลื่อนมาก อยู่ในระดับ PMU และไม่เข้าใจ (NU) แต่หลังจากได้รับการเรียนรู้ ทำให้นักเรียนเปลี่ยนความเข้าใจไปอยู่ในระดับที่สูงขึ้น คือ ระดับความเข้าใจบางส่วนแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) และเข้าใจบางส่วนแต่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PMU) ตามลำดับ ซึ่งสามารถพัฒนาความเข้าใจโน้มนมติของนักเรียนได้

สาธิตี อาจารย์ (2552) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการไมโครสเกลเรื่องเคมีไฟฟ้า ประกอบด้วย 4 บทเรียน คือ ปฏิกริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก เซลล์ความเข้มข้น และการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า โดยการทดลองไมโครสเกลเป็นการทดลองที่ใช้สารเคมีในปริมาณน้อยมาก จุดเด่นของการทดลองไมโครสเกล คือมีความปลอดภัย ลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ลดปริมาณสารตกค้างหลังการทดลอง และทำให้เวลาที่ใช้ในการทดลองน้อยลง หลังจากนำบทปฏิบัติการไมโครสเกลที่พัฒนาขึ้นมาทดลองใช้กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 3 (ป.วช.3) หลักสูตรเตรียมวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จำนวน 5 กลุ่ม กลุ่มละ 2 คน โดยใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ และจัดกิจกรรมเป็น 5 ขั้น (5E) คือ ขั้นสร้างความสนใจ ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นขยายความรู้

และชั้นประเมินผลที่ได้พบว่าผู้เรียนมีความเข้าใจในบทเรียนดียิ่งขึ้น เกิดทักษะการคิดวิเคราะห์ และมีเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์

อัญชลี ชาทิมนตรี (2557) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้โดยการลงมือปฏิบัติจริงในเซลล์กัลวานิก ด้วยชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ เพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนในวิชาเคมี นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 35 คน โรงเรียนนาหนองพุ่มวิทยา อำเภอแก่งคร้อ จังหวัดชัยภูมิ ผลการวิจัยพบว่า จากข้อสอบวัดความเข้าใจชนิดตัวเลือกสี่ลำดับขั้น นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับเซลล์กัลวานิก หลังเรียน (เฉลี่ย 8.57) สูงกว่าก่อนเรียน (เฉลี่ย 3.77) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

อุบลวรรณ ไททอง (2554) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย เรื่องไฟฟ้าเคมี เพื่อพัฒนาทักษะการทางวิทยาศาสตร์และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 1 ห้อง 47 คน โรงเรียนมัธยมตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ผ่านเกณฑ์การประเมินสูงกว่าร้อยละ 60 โดยภาพรวมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนอยู่ในเกณฑ์ที่สูงถึงร้อยละ 75.81 โดยนักเรียนสามารถทำนาย ตั้งสมมติฐาน วางแผนการทดลอง สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง ได้ถูกต้องตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ โดยมีทักษะการสังเกตมากที่สุดแต่ทักษะการตีความหมายข้อมูล และลงข้อสรุปน้อยที่สุด นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ผลการศึกษาความก้าวหน้าทางการเรียนโดยวิธี average normalized gain, <g> พบว่านักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง แสดงว่าการได้ลงมือปฏิบัติทดลองทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาชัดเจนมากยิ่งขึ้นทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยสูงขึ้นด้วย

Chatmontree et al. (2015) ได้สร้างเซลล์กัลวานิกที่ประดิษฐ์จากกระดาษจากวัสดุที่มีราคาไม่แพงมาทดลองเรื่องเซลล์กัลวานิกในห้องปฏิบัติการ วัสดุประกอบด้วยกระดาษกรอง แผ่นโลหะสารละลาย KNO_3 และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งกระดาษไม่ได้เป็นแค่ตัวรองรับการเกิดปฏิกิริยา แต่ยังทำหน้าที่เป็นสะพานเกลือได้อีกด้วย สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกิจกรรมการเรียนการสอนเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้า ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการสร้างอุปกรณ์ที่เป็นสื่อการสอนที่ศึกษาปฏิกิริยาในเซลล์กัลวานิกขึ้นมา อุปกรณ์ชุดนี้สามารถใช้ศึกษาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิกเมื่อนำไปใช้แล้วนักเรียนจะต้องเกิดจินตนาการตามเหตุการณ์ที่สาธิตจากการใช้ชุดทดลองที่ออกแบบและสร้างขึ้น และคาดหวังว่านักเรียนจะเข้าใจในเนื้อหาเพิ่มมากขึ้นด้วย

Egged et al. (2015) ได้สร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่าย (Three-Part Galvanic Cell) ซึ่งประกอบด้วย (1) piece of paper with copper sulfate ทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด (2) piece of paper with sodium sulfate ทำหน้าที่เป็นสะพานเกลือ (ion bridge) ใช้ Na_2SO_4 เป็นอิเล็กโทรไลต์

(3) piece of magnesium ribbon ทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด นำสามส่วนนี้มาประกอบเข้ากับหลอด LED ด้วย conductive epoxy glue with silver เพื่อให้นักเรียนเข้าใจปฏิกิริยาที่เกิดระหว่างขั้วและการทำงานของเซลล์กัลวานิก ผลการทดลองพบว่า Three-Part Galvanic Cell ทำได้ง่าย ใช้เวลาน้อย และอุปกรณ์ที่ใช้ราคาถูกลง สามารถนำมาใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้การสอนเคมีไฟฟ้าได้ นักเรียนสามารถประกอบเซลล์กัลวานิก อย่างง่าย และอธิบายส่วนประกอบของเซลล์กัลวานิกได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเกี่ยวกับการสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย เพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง เซลล์กัลวานิก มีรายละเอียดการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 การสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายชนิดฝ้ายราคาถูก เพื่อใช้เป็นสื่อในการจัดการเรียนการสอนไฟฟ้าเคมี มีขั้นตอนดังนี้

3.1.1 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

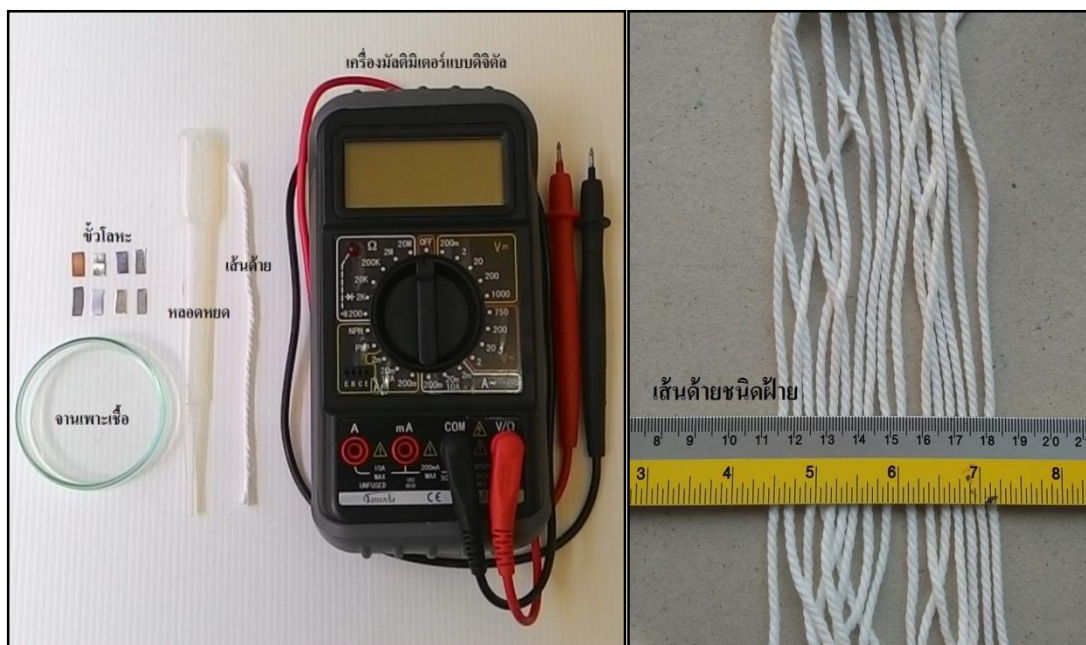
- 1) เส้นด้ายชนิดฝ้าย
- 2) หลอดหยดพลาสติก
- 3) แผ่นรองพลาสติก
- 4) เครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิทัล
- 5) กระดาษทรายเนื้อละเอียด
- 6) แผ่นทองแดง
- 7) แผ่นเงิน
- 8) แผ่นสังกะสี
- 9) แผ่นตะกั่ว
- 10) แผ่นดีบุก
- 11) แผ่นอะลูมิเนียม
- 12) แผ่นเหล็กหรือตะปู
- 13) แมกนีเซียม
- 14) จานเพาะเชื้อ

3.1.1.2 สารเคมี

- 1) สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) 1.0 M
- 2) สารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4) 1.0 M
- 3) สารละลายซิงค์ซัลเฟต (ZnSO_4) 1.0 M

- 4) สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) 1.0 M
- 5) สารละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟต (FeSO_4) 1.0 M
- 6) สารละลายเลด (II) ไนเตรต ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) 1.0 M
- 7) สารละลายทิน (II) คลอไรด์ (SnCl_2) 1.0 M
- 8) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) 1.0 M
- 9) สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) 1.0 M

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 วัสดุและอุปกรณ์การสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

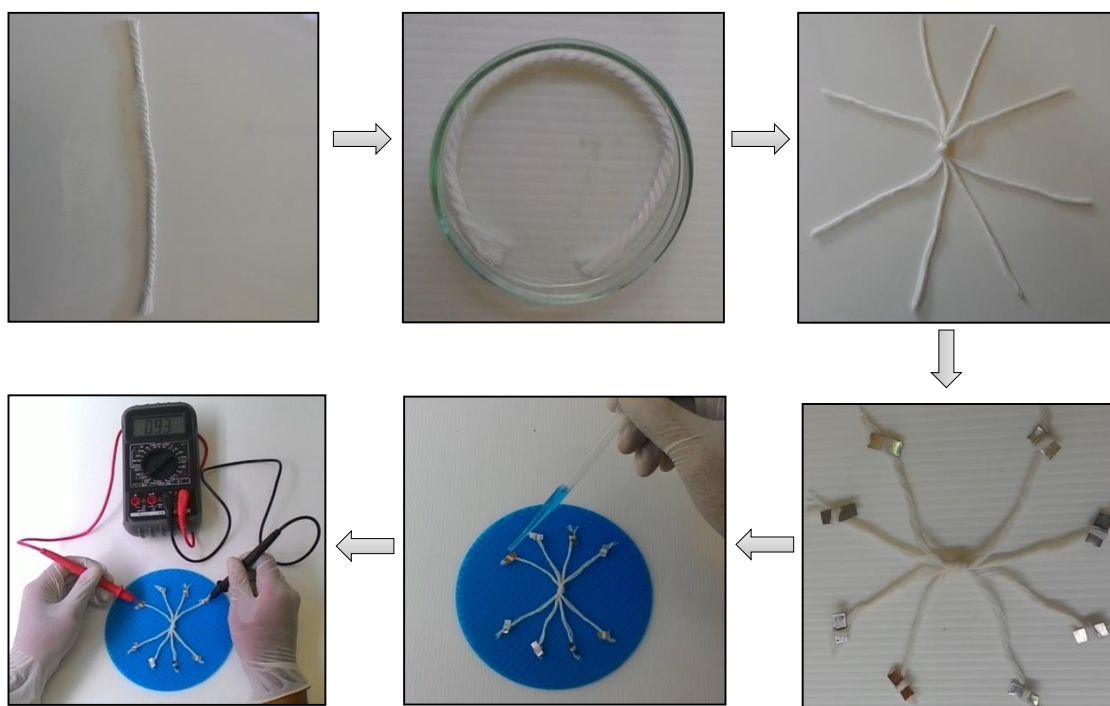
3.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.1.2.1 ตัดเส้นด้ายความยาวประมาณ 15 cm จำนวน 4 เส้น (ควรรนำเส้นด้ายแช่น้ำ 1 นาที เพื่อให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมเข้าเส้นด้ายได้ดีขึ้น)

3.1.2.2 นำเส้นด้าย 4 เส้นมารวมกันแล้วมัดกึ่งกลางของเส้นด้าย โดยแบ่งเส้นด้ายออกเป็น 8 เส้นเท่า ๆ กัน จากนั้นมัดแผ่นโลหะทองแดง เงิน สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม และแมกนีเซียมเข้ากับปลายเส้นด้ายแต่ละเส้น (ควรทำความสะอาดชิ้นโลหะด้วยกระดาษทรายก่อนนำไปใช้)

3.1.2.3 หยดสารละลาย KNO_3 เข้มข้น 1.0 M ลงบนตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นด้ายที่มัดรวมกันเพื่อให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมเข้าไปในเส้นด้าย หยดสารละลายที่มีไอออนของโลหะชนิดเดียวกันกับแผ่นโลหะลงไปบนเส้นด้ายตำแหน่งที่มัดติดกับแผ่นโลหะ จำนวน 1-2 หยด เช่น หยดสารละลาย CuSO_4 เข้มข้น 1.0 M ลงไปบนเส้นด้ายตำแหน่งที่มัดติดกับแผ่นโลหะทองแดง

3.1.2.4 วัดความต่างศักย์ระหว่างสองครึ่งเซลล์ที่สนใจ โดยใช้มัลติมิเตอร์ บันทึกศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้และทำการวัดศักย์ไฟฟ้าจนครบทุกเซลล์



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย (ครึ่งเซลล์ไฟฟ้าในภาพประกอบ ด้วย Cu, Ag, Zn, Pb, Sn, Fe, Al และ Mg)

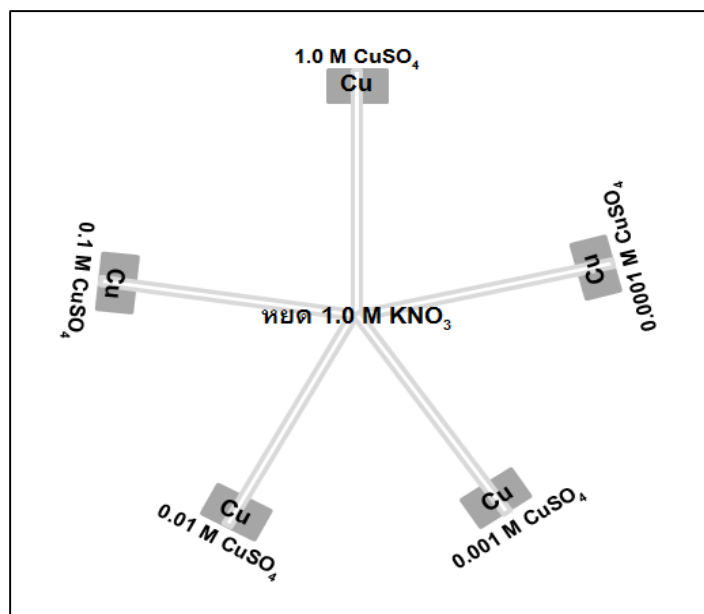
3.1.3 กรณีเซลล์ความเข้มข้น

3.1.3.1 ตัดเส้นด้ายความยาวประมาณ 15 cm จำนวน 3 เส้น (ควรนำเส้นด้ายแช่ในน้ำ 1 นาทีเพื่อให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมเข้าเส้นด้ายได้ดีขึ้น)

3.1.3.2 นำเส้นด้าย 3 เส้น มารวมกันแล้วมัดกึ่งกลางของเส้นด้ายโดยแบ่งเส้นด้ายออกเป็น 5 เส้นเท่า ๆ กัน จากนั้นมัดแผ่นโลหะทองแดงเข้ากับปลายเส้นด้ายแต่ละเส้น (ควรทำความสะอาดชิ้นโลหะด้วยกระดาษทรายก่อนนำไปใช้)

3.1.3.3 หยดสารละลาย KNO_3 เข้มข้น 1.0 M ลงบนตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นด้ายที่มัดรวมกันเพื่อให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมเข้าไปในเส้นด้าย แล้วหยดสารละลาย CuSO_4 เข้มข้น

0.0001 M, 0.001 M, 0.01 M, 0.1 M และ 1.0 M ตามลำดับ ลงบนเส้นด้ายแต่ละเส้นในตำแหน่งที่มัดติดกับแผ่นโลหะทองแดง จำนวน 1-2 หยด จากนั้นวัดความต่างศักย์ระหว่างสองครึ่งเซลล์ด้วยมัลติมิเตอร์บันทึกศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้และทำการวัดศักย์ไฟฟ้าจนครบทุกเซลล์ แสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 เซลล์ความเข้มข้น CuSO_4

3.2 การศึกษาผลจากการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเรื่องเซลล์กัลวานิก

การวิจัยเกี่ยวกับการสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องเซลล์กัลวานิก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 แบบแผนการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้มีแบบแผนการวิจัยเป็นแบบกลุ่มตัวอย่างเดียวโดยมีการวัดผลก่อนเรียนและหลังเรียน (One group pretest and posttest design) โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง รายละเอียดแบบแผนการวิจัยมีดังนี้

ตารางที่ 3.1 รูปแบบการวิจัย

ทดสอบก่อนเรียน	ทดลอง	ทดสอบหลังเรียน
O ₁	X	O ₂

เมื่อ O₁ แทนการวัดความเข้าใจก่อนเรียน (Pretest)

X แทน การเรียนด้วยชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

O₂ แทน การวัดความเข้าใจหลังเรียน (Posttest)

3.2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.2.1 ประชากร

ประชากรในการศึกษาค้นนี้คือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนบ้านตาอุด อำเภอขุขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ จำนวน 1 ห้อง มีนักเรียนทั้งหมด 29 คน

3.2.2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 29 คนที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนบ้านตาอุด อำเภอขุขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ ซึ่งได้ มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) นักเรียนชาย จำนวน 10 คน นักเรียนหญิง จำนวน 19 คน ผลการเรียนรู้เฉลี่ย (GPA) เท่ากับ 2.90

3.2.3 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยเป็นเนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติม เคมี 4 รหัสวิชา ว30224 หน่วยการเรียนรู้ ไฟฟ้าเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กระทรวงศึกษาธิการ ประกอบด้วยหัวข้อย่อย แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เนื้อหาที่สอนวิชาเคมีหน่วยการเรียนรู้ ไฟฟ้าเคมี เรื่องเซลล์กัลวานิกสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

เนื้อหา	จำนวนชั่วโมง
1 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก	3
2 การเขียนแผนภาพเซลล์	1
3 ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์และศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์	2
4 เซลล์ความเข้มข้น	2
รวม	8

3.3. เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัยสำหรับการวิจัยครั้งนี้ใน 2 ประเด็น ได้แก่

3.3.1 แบบทดสอบวัดความเข้าใจเรื่องเซลล์กลีวานิก เป็นแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก 3 ลำดับชั้น (3-tier diagnostic test: TTDT) จำนวน 10 ข้อ โดยชั้นที่ 1 จะเป็นการเลือกคำตอบ มีน้ำหนักคะแนนเป็น 1 คะแนน ชั้นที่ 2 จะเป็นการเขียนเหตุผลของคำตอบมีน้ำหนักคะแนนเป็น 1 คะแนน และชั้นที่ 3 จะเป็นการแสดงระดับความเชื่อมั่นของคำตอบ มีจำนวน 5 ระดับ ได้แก่ 1) คาดเดา 2) ไม่มั่นใจอย่างมาก 3) ไม่มั่นใจ 4) มั่นใจ และ 5) มั่นใจอย่างมาก ใช้สำหรับทดสอบก่อนเรียนและทดสอบหลังเรียน

3.3.2 แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่องเซลล์กลีวานิก จากชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย ซึ่งผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยศึกษาจากการสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจตามวิธีของลิเคิร์ท (Likert) ซึ่งประกอบด้วยรายการคำถาม 10 ข้อ 3 ด้าน ได้แก่ ด้านกิจกรรม การทดลอง 4 ข้อ (ข้อ 1-4) ด้านกิจกรรมการเรียนการสอน 4 ข้อ (ข้อ 5-8) และด้านครูผู้สอน 2 ข้อ (ข้อ 9-10)

3.4 การสร้างและหาคุณภาพของเครื่องมือ

3.4.1 แบบทดสอบวัดความเข้าใจ

ในการสร้างแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องเซลล์กลีวานิก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก 3 ลำดับชั้น (3-tier diagnostic test: TTDT) จำนวน 10 ข้อ โดยดำเนินการสร้างตามขั้นตอน ดังนี้

3.4.1.1 ศึกษาหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เกี่ยวกับคำอธิบายรายวิชา สาระการเรียนรู้ ผลการเรียนรู้ และจุดประสงค์การเรียนรู้

3.4.1.2 ศึกษาหลักการและวิธีการสร้างแบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก 3 ลำดับชั้น (3-tier diagnostic test: TTDT) จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบทดสอบ

3.4.1.3 สร้างแบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก 3 ลำดับชั้น (3-tier diagnostic test: TTDT) จำนวน 20 ข้อ โดยสร้างให้สอดคล้องพฤติกรรมที่ต้องการวัดทั้ง 4 จุดประสงค์

3.4.1.4 นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา โดยพิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและพฤติกรรมที่ต้องการวัด (Item Objective Concurrence Index: IOC) แล้วนำ

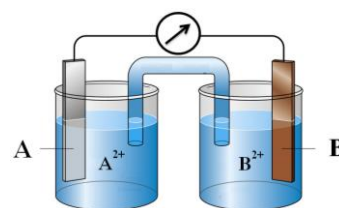
แบบทดสอบมาปรับปรุง แก้ไขตามข้อเสนอแนะ พบว่าข้อสอบมีค่า IOC มีค่าเท่ากับ 1 (ดังแสดงในภาคผนวก ง)

3.4.1.5 นำแบบทดสอบที่ปรับปรุงแก้ไขแล้ว จำนวน 20 ข้อ ไปทดสอบกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนบ้านตาอู๊ด อำเภอยะรัง จังหวัดศรีสะเกษจำนวน 25 คน ที่เคยเรียนไฟฟ้าเคมีผ่านมาแล้ว เพื่อวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) ระหว่าง 0.20-0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป ผลการวิเคราะห์พบว่าข้อสอบส่วนตัวเลือก มีค่าความยากง่าย (P) อยู่ระหว่าง 0.38 -0.73 และส่วนเหตุผล มีค่าความยากง่าย (P) อยู่ระหว่าง 0.23 - 0.62 ค่าอำนาจจำแนก (r) ข้อสอบส่วนตัวเลือก อยู่ระหว่าง 0.08-0.62 และส่วนเหตุผลมีค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.08 - 0.54 ผู้วิจัยคัดเลือกข้อสอบที่มีค่าความยากง่าย (P) ส่วนตัวเลือก อยู่ระหว่าง 0.54-0.72 และส่วนเหตุผล อยู่ระหว่าง 0.31-0.62 ค่าอำนาจจำแนกส่วนตัวเลือก อยู่ระหว่าง 0.31 - 0.62 และส่วนเหตุผล อยู่ระหว่าง 0.23 - 0.62 (ดังแสดงในภาคผนวก ง) โดยคัดเลือกข้อสอบฉบับจริง จำนวน 10 ข้อ

3.4.1.6 นำแบบทดสอบที่คัดเลือกไว้ จำนวน 10 ข้อ มาหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ โดยใช้สูตร (KR-20) ของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder - Richardson) โดยเกณฑ์ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบควรมีค่ามากกว่า 0.70 จึงจัดว่าแบบทดสอบนั้นเป็นแบบทดสอบที่ดี สามารถนำไปใช้ทดสอบได้ ในการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบครั้งนี้มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.81 จากนั้นนำแบบทดสอบไปใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

คำถามที่ 1

จากรูปแสดงปฏิกิริยาของเซลล์กัลวานิก ในเซลล์ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ $A(s)|A^{2+}(aq)$ กับ $B(s)|B^{2+}(aq)$ ข้อใดระบุขั้วไฟฟ้าและเขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ถูกต้อง



- ☐ ก. ขั้ว A เป็นขั้วแอโนด ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด : $A^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow A(s)$
- ☐ ข. ขั้ว A เป็นขั้วแคโทด ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด : $A(s) \rightarrow A^{2+}(aq) + 2e^-$
- ☐ ค. ขั้ว B เป็นขั้วแอโนด ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด : $B(s) \rightarrow B^{2+}(aq) + 2e^-$
- ☐ ง. ขั้ว B เป็นขั้วแคโทด ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด : $B^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow B(s)$

เหตุผลประกอบตัวเลือก

.....

.....

.....

ระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก

- ☐ คาดเดา ☐ ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ ไม่มั่นใจ ☐ มั่นใจ ☐ มั่นใจอย่างมาก

ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างคำถามจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบสามลำดับขั้น

3.4.2 แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์กัลวานิก

ในการสร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์กัลวานิก มีลักษณะเป็นแบบวัดมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ตามแนวคิดของลิเคิร์ท (Likert) ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างตามขั้นตอน ดังนี้

3.4.2.1 ศึกษาการสร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจตามวิธีของลิเคิร์ท (Likert) (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ, 2538)

3.4.2.2 สร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์กัลวานิก จำนวน 10 ข้อ ลักษณะคำตอบเป็น 5 ระดับ โดยมีเกณฑ์ในการให้คะแนน ดังนี้

มากที่สุด ให้คะแนนเท่ากับ 5

มาก ให้คะแนนเท่ากับ 4

ปานกลาง ให้คะแนนเท่ากับ 3

น้อย ให้คะแนนเท่ากับ 2

น้อยที่สุด ให้คะแนนเท่ากับ 1

ในการแปลความหมายของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ พิจารณาค่าเฉลี่ย

ดังนี้

4.51 – 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด

3.51 – 4.50 หมายถึง ระดับมาก

2.51 – 3.50 หมายถึง ระดับปานกลาง

1.51 – 2.50 หมายถึง ระดับน้อย

1.00 – 1.50 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

3.4.2.3 นำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน พิจารณาตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ตลอดจนการใช้ภาษาในแต่ละข้อสอบถาม โดยหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ผลจากการประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน และนำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

3.4.2.4 จัดทำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยต่อไป

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 29 คน ตามขั้นตอนดังนี้

3.5.1 นักเรียนทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจก่อนเรียน เรื่อง เซลล์กลีวา

3.5.2 นักเรียนทำกิจกรรมการเรียนรู้ตามที่ระบุไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ โดยผู้วิจัยมีการสังเกตบรรยากาศในการจัดการเรียนรู้ขณะทำกิจกรรม

3.5.3 นักเรียนทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจหลังเรียน เรื่อง เซลล์กลีวานิก และตอบแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่องเซลล์กลีวานิก

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 ความเข้าใจของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง เซลล์กลีวานิก

3.6.1.1 วิเคราะห์ความเข้าใจของนักเรียน เรื่องเซลล์กลีวานิก จากแบบทดสอบวัดความเข้าใจ โดยจำแนกความเข้าใจของนักเรียนจากการวิเคราะห์แบบวัดความเข้าใจทั้งส่วนของตัวเลือก และส่วนของการแสดงเหตุผล จำแนกความเข้าใจของนักเรียนออกเป็นกลุ่ม โดยจำแนกตามเกณฑ์ของ Haidar (1997) และดัดแปลงจาก Harika et al. (2012) ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ได้แก่ ความเข้าใจถูกต้อง (SU) ความเข้าใจถูกต้องบางส่วน (PU) ความเข้าใจถูกต้องและคลาดเคลื่อนบางส่วน (PUMU) ความเข้าใจคลาดเคลื่อน (MU) และไม่มีความเข้าใจ (NU) ในส่วนของการแสดงระดับความเชื่อมั่นของคำตอบ จัดกลุ่มของคำตอบออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ระดับความเชื่อมั่น 1 - 3 หมายถึง นักเรียนไม่มีความมั่นใจในคำตอบ และกลุ่มที่ 2 ระดับความเชื่อมั่น 4 - 5 หมายถึง นักเรียนมีความมั่นใจในคำตอบ

ตารางที่ 3.3 แนวทางในการจัดกลุ่มความเข้าใจของนักเรียนจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจ แบบปรนัย 4 ตัวเลือก 3 ลำดับชั้น (3-tier diagnostic test: TTDT)

กลุ่มความเข้าใจ	ตัวเลือก	เหตุผล	ระดับความเชื่อมั่น	แปลผล	คะแนน
ความเข้าใจถูกต้อง (SU)	ถูกต้อง	ถูกต้องสมบูรณ์	มั่นใจ	CCC	2
ความเข้าใจถูกต้องบางส่วน (PU)	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ไม่มั่นใจ	CCU	2
	ถูกต้อง	ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (ไม่มีส่วนผิด)	มั่นใจ	CCU	2
ความเข้าใจถูกต้องและคลาดเคลื่อนบางส่วน (PUMU)	ถูกต้อง	ผิด	มั่นใจ	CIC	1
	ผิด	ถูกต้องสมบูรณ์	มั่นใจ	ICC	1
เข้าใจคลาดเคลื่อน (MU)	ผิด	ผิด	มั่นใจ	IIC	0
ไม่มีความเข้าใจ (NU)	ถูกต้อง	ผิด	ไม่มั่นใจ	CIU	1
	ผิด	ถูกต้อง	ไม่มั่นใจ	ICU	1
	ผิด	ผิดหรือไม่ตอบ	ไม่มั่นใจ	IIU	0

3.6.1.2 ความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่องเซลล์กลีวานิก เป็นการวิเคราะห์แบบสำรวจความพึงพอใจของนักเรียนหลังเรียน โดยรายงานเป็นระดับ (5 ระดับ)

3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.1 สถิติพื้นฐาน

3.7.1.1 ร้อยละ (percentage) โดยใช้สูตรดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2535)

$$P = \frac{f}{N} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ P แทน ร้อยละ

f แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงเป็นร้อยละ

N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

3.7.1.2 ค่าเฉลี่ย (Mean) โดยใช้สูตร (ประภาพันธุ์ เส็งวงศ์, 2550)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (3.2)$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

$\sum x$ แทน ผลรวมคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม

n แทน จำนวนคนในกลุ่ม

3.7.1.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยใช้สูตร (ประภาพันธุ์ เส็งวงศ์, 2550)

$$SD = \sqrt{\frac{n \sum X^2 - (\sum X)^2}{n(n-1)}} \quad (3.3)$$

เมื่อ SD แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X แทน คะแนนแต่ละตัว

$\sum$ แทน ผลรวม

n แทน จำนวนคะแนนในกลุ่ม

3.7.2 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของเครื่องมือ

3.7.2.1 การทดสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Validity) โดยใช้สูตรดัชนีความสอดคล้อง (IOC) (บุญชม ศรีสะอาด, 2545)

$$IOC = \frac{\sum R}{n} \quad (3.4)$$

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้

$\sum R$ แทน ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

n แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

3.7.2.2 ค่าความยากง่ายของแบบทดสอบ ใช้สูตรดังนี้ (วาโร เพ็งสวัสดิ์, 2545)

$$P = \frac{P_H + P_L}{N_H + N_L} \quad (3.5)$$

เมื่อ P แทน ค่าความยากง่าย

H แทน จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง

L แทน จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ

3.7.2.3 ค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ ใช้สูตรดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2543) โดยมี

$$r = \frac{R_H + R_L}{N_H} \quad (3.6)$$

เมื่อ r แทน อำนาจจำแนก

H แทน จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มสูง

L แทน จำนวนผู้ตอบถูกในกลุ่มต่ำ

N แทน จำนวนผู้ตอบถูกทั้งหมดในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ

3.7.2.4 การวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับของแบบทดสอบอิงกลุ่มด้วยวิธีของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน ใช้สูตร KR-20 (รัตนะ บัวสนธ์, 2552)

$$r_{tt} = \frac{k}{k-1} \left\{ 1 - \frac{\sum pq}{s_t^2} \right\} \quad (3.7)$$

เมื่อ r_{tt} แทน สัมประสิทธิ์ของความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ

K แทน จำนวนข้อคำถาม

p แทน สัดส่วนของผู้ที่ตอบถูก

q แทน สัดส่วนของผู้ที่ตอบผิด ($1-p$)

s_t^2 แทน ความแปรปรวนของคะแนนรวม

$\sum$ แทน ผลรวม

สูตรการหาค่าความแปรปรวนของคะแนน

$$s_t^2 = \frac{n \sum X^2 - (\sum X)^2}{n(n-1)} \quad (3.8)$$

เมื่อ n แทน จำนวนผู้เข้าสอบ

X แทน คะแนนที่นักเรียนคนหนึ่ง ๆ ทำได้

3.7.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองวิธี การทดสอบค่าสถิติที (t-test for Independent sample) (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2550) ดังนี้

$$t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (3.9)$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

เมื่อ t แทน ค่าสถิติทดสอบที

S_p^2 แทน ความแปรปรวนร่วม

S_1^2, S_2^2 แทน ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1, 2

n_1, n_2 แทน ความแปรปรวนร่วม

df แทน ชั้นแห่งความเป็นอิสระ มีค่าเท่ากับ $n_1 + n_2 - 2$

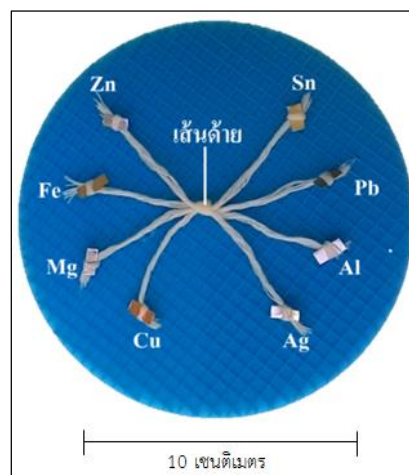
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิจัยเกี่ยวกับการสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องเซลล์กัลวานิก สามารถนำเสนอผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

4.1 ผลจากการสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายที่สร้างขึ้นประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าโลหะทองแดง เงิน สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม และแมกนีเซียม โดยใช้เส้นด้ายทำหน้าที่เป็นตัวรองรับปฏิกิริยาระหว่างแต่ละครึ่งเซลล์ และทำหน้าที่เป็นสะพานเกลือ มีสารละลายโพแทสเซียมไนเตรดทำหน้าที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในสะพานเกลือ ชุดการทดลองแสดงในภาพที่ 4.1



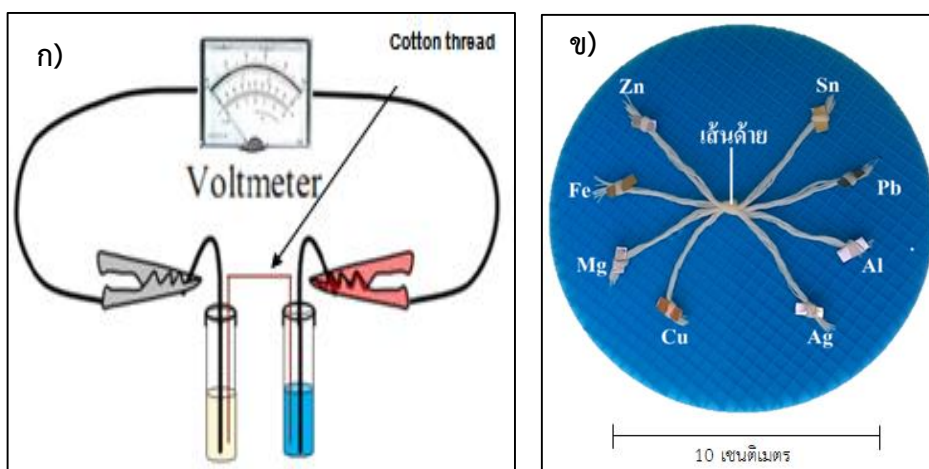
ภาพที่ 4.1 ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

จากการเปรียบเทียบชุดการทดลองแบบย่อส่วนกับชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย สามารถแสดงผลในด้านต่าง ๆ รวมทั้งการวิเคราะห์ต้นทุนของชุดการทดลองโดยไม่ได้รวมราคาสารเคมีและสารละลาย ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบชุดการทดลองแบบย่อส่วนกับชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

รายการ/การทดลอง		ชุดการทดลอง			ลดลง			
		แบบย่อส่วน		ทำจากเส้นด้าย				
ต้นทุนของชุดอุปกรณ์		ไม่น้อยกว่า 40.5 บาท		1 บาท	81 เท่า			
เวลาที่ใช้ในการทดลอง		ไม่มีข้อมูล		10 นาที	-			
ความเข้มข้นของสารละลาย		0.01 M		1.00 M	-			
ปริมาตรของสารละลาย		4.00 มิลลิลิตร		0.03 - 0.06 มิลลิลิตร	-			
ที่	ชุดการทดลองแบบย่อส่วน				ชุดการทดลองที่ทำจากเส้นด้าย			
	รายการ	จำนวน	ราคา (บาท)		รายการ	จำนวน	ราคา (บาท)	
			หน่วย ละ	รวม			หน่วย ละ	รวม
1	ขวดแก้ว 10 มล.	2 ขวด	20	40	เส้นด้าย	1 เส้น	0.5	0.5
2	เส้นด้าย	1 เส้น	0.5	0.5	-	-	-	-
รวม				40.5	รวม			0.5

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายมีความประหยัดกว่าชุดการทดลองแบบย่อส่วนในหลายด้าน ได้แก่ (1) ต้นทุนอุปกรณ์ซึ่งมีราคา 0.5 บาท ประหยัดกว่าชุดการทดลองแบบย่อส่วนอย่างน้อยประมาณ 81 เท่า วัสดุที่ใช้เป็นเส้นด้ายชนิดฝ้ายที่มีราคาถูก โดยสามารถใช้เส้นด้าย 1 เส้น แทนขวดขนาดเล็กได้ถึง 2 ขวด ในขณะที่ชุดทดลองแบบย่อส่วนต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาแพงและมีอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งยังเสี่ยงต่อการแตกชำรุด สำหรับชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย นอกจากเส้นด้ายทำหน้าที่เป็นตัวรองรับการเกิดปฏิกิริยาแล้วยังทำหน้าที่เป็นสะพานเกลืออีกด้วย ทำให้ลดค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์ในการทดลอง (2) ใช้เวลาต่อหนึ่งการทดลองน้อย อีกทั้งยังสามารถทดลองได้มากกว่า 1 เซลล์ต่อหนึ่งการทดลอง (ขึ้นอยู่กับจำนวนชั่วโมง) ทำให้มีเวลาสำหรับการอภิปรายมากขึ้น และ (3) ใช้สารละลายในปริมาตรที่ลดลง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีและลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการทดลอง ทั้งนี้ ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายสามารถลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ลงไปได้ แต่ยังสามารถสาธิตหรือแสดงผลการทดลองได้อย่างชัดเจนและมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบระหว่าง (ก) ชุดการทดลองแบบย่อส่วน (ข) ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

เปรียบเทียบรายละเอียดปริมาณของวัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลองของชุดการทดลองประดิษฐ์จากกระดาษและชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย ดังแสดงในตารางที่ 4.2

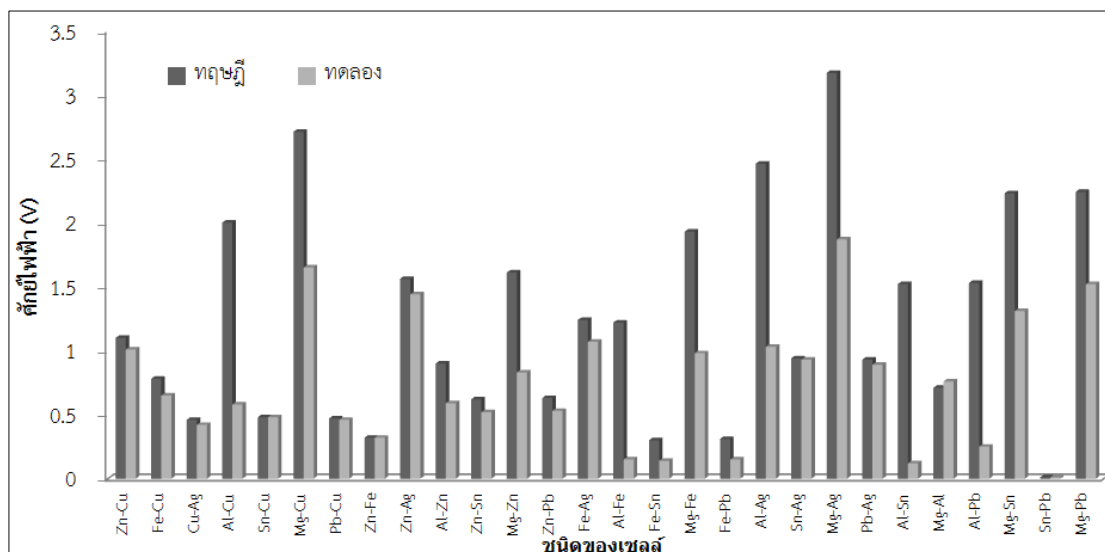
ตารางที่ 4.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษและชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

ชุดการทดลองประดิษฐ์มาจากกระดาษ		ชุดการทดลองทำจากเส้นด้าย	
รายการ	จำนวน	รายการ	จำนวน
1) วัสดุอุปกรณ์		1) วัสดุอุปกรณ์	
1.1) กระดาษกรอง	1 แผ่น	1.1) เส้นด้าย ยาว 15 cm	4 เส้น
1.2) เทียนไข	1 เล่ม	2) สารเคมี	
1.3) เครื่องให้ความร้อน	1 เครื่อง	2.1) แผ่นโลหะ Cu	1 ชิ้น
1.4) แม่พิมพ์กระดาษ	1 อัน	2.2) แผ่นโลหะ Zn	1 ชิ้น
2) สารเคมี		2.3) แผ่นโลหะ Ag	1 ชิ้น
2.1) แผ่นโลหะ Cu	1 ชิ้น	2.4) แผ่นโลหะ Pb	1 ชิ้น
2.2) แผ่นโลหะ Zn	1 ชิ้น	2.5) แผ่นโลหะ Sn	1 ชิ้น
2.3) แผ่นโลหะ Ag	1 ชิ้น	2.6) แผ่นโลหะ Al	1 ชิ้น
2.4) แผ่นโลหะ Pb	1 ชิ้น	2.7) แผ่นโลหะ Mg	1 ชิ้น

ตารางที่ 4.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษและชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย (ต่อ)

ชุดการทดลองประดิษฐ์มาจากกระดาษ		ชุดการทดลองทำจากเส้นด้าย	
รายการ	จำนวน	รายการ	จำนวน
2.5) แผ่นโลหะ Sn	1 ชิ้น	2.8) แผ่นโลหะ Fe	1 ชิ้น
2.6) แผ่นโลหะ Fe	1 ชิ้น	2.9) สารละลาย KNO_3 1.0 M	-
2.7) สารละลาย KNO_3 1.0 M	2 หยด	2.10) สารละลาย CuSO_4 1.0 M	2 หยด
2.8) สารละลาย CuSO_4 1.0 M	2 หยด	2.11) สารละลาย MgSO_4 1.0 M	2 หยด
2.9) สารละลาย SnCl_2 1.0 M	2 หยด	2.12) สารละลาย ZnSO_4 1.0 M	2 หยด
2.10) สารละลาย ZnSO_4 1.0 M	2 หยด	2.13) สารละลาย AgNO_3 1.0 M	2 หยด
2.11) สารละลาย AgNO_3 1.0 M	2 หยด	2.14) สารละลาย FeSO_4 1.0 M	2 หยด
2.12) สารละลาย FeSO_4 1.0 M	2 หยด	2.15) สารละลาย $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1.0 M	2 หยด
2.13) สารละลาย $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1.0 M	2 หยด	2.16) สารละลาย SnCl_2 1.0 M	2 หยด
		2.17) สารละลาย $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 1.0 M	2 หยด

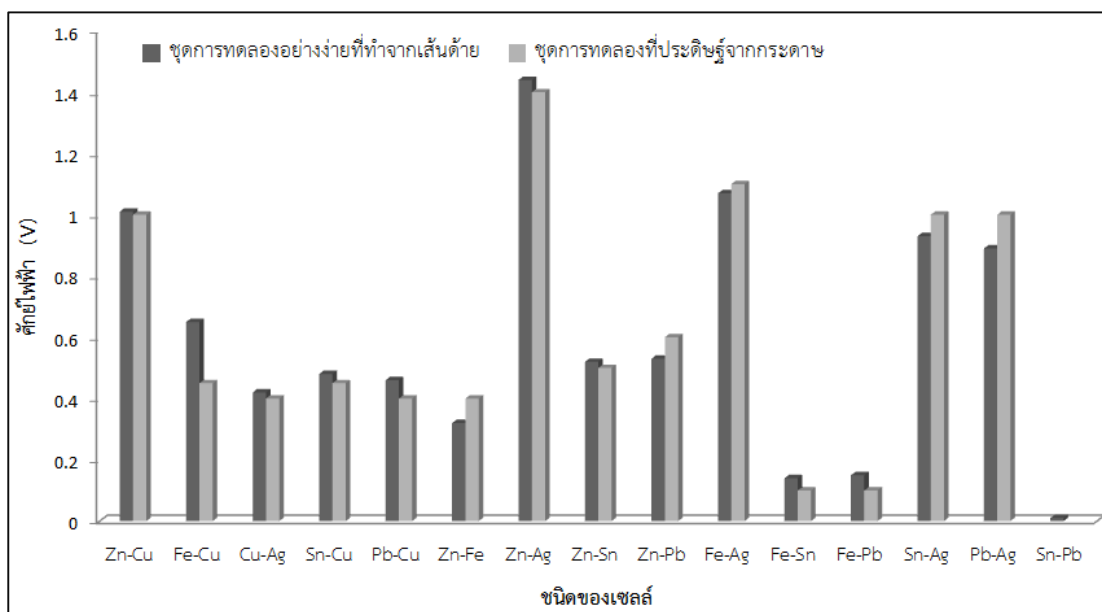
จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายหนึ่งการทดลองสามารถทำการทดลองให้ได้จำนวน 28 คู่เซลล์ ประกอบด้วยขั้วโลหะ Cu, Zn, Ag, Pb, Sn, Al, Mg และ Fe ทำการทดลองได้จำนวนมาก (ขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วโลหะที่ใช้ในการทดลอง) ในขณะที่ชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษมีพื้นที่จำกัดทำให้ทำการทดลองได้น้อยกว่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในส่วน of วัสดุที่ใช้สร้างชุดทดลอง ได้แก่ กระดาษกรอง เส้นด้าย จะเห็นได้ว่า (1) เส้นด้ายสามารถแบ่งเป็น แฉกได้ง่ายตามจำนวนของขั้วโลหะที่ใช้ในการทดลอง ในขณะที่ชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษต้องใช้เทียนไข (wax) วาดรูปแนกบนกระดาษกรอง (2) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่หยดลงบนเส้นด้ายจะซึมอยู่ภายในเส้นด้ายไม่ซึมผ่านไปที่อื่น ในขณะที่ชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษต้องใช้เทียนไข (wax) ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีขั้วละลายซึมวาดรูปแนกบนกระดาษกรองแล้วนำไปหลอมด้วยความร้อนกันไม่ให้สารละลายที่มีขั้วซึมผ่านได้ (3) เส้นด้ายมีความสามารถในการดูดซึมสารละลายได้ดีกว่ากระดาษ จึงมีอายุการใช้งานของสารละลายอิเล็กโทรไลต์นานกว่า จุดเด่นของเส้นด้าย คือ ไม่ต้องใช้เทียนไข (wax) สารละลายเคลื่อนที่บนเส้นด้ายแบบไม่แพร่กระจาย ใช้ปริมาณน้อยกว่ากระดาษ ชุดการทดลองที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ มีวิธีการสร้างที่ง่ายจึงทำให้ใช้เวลาในการทดลองน้อยลง อีกทั้งในหนึ่งการทดลองสามารถทดลองได้หลายคู่เซลล์ ทำให้สามารถลดต้นทุนได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ผลเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากทฤษฎีคำนวณจากสมการเนินสต์

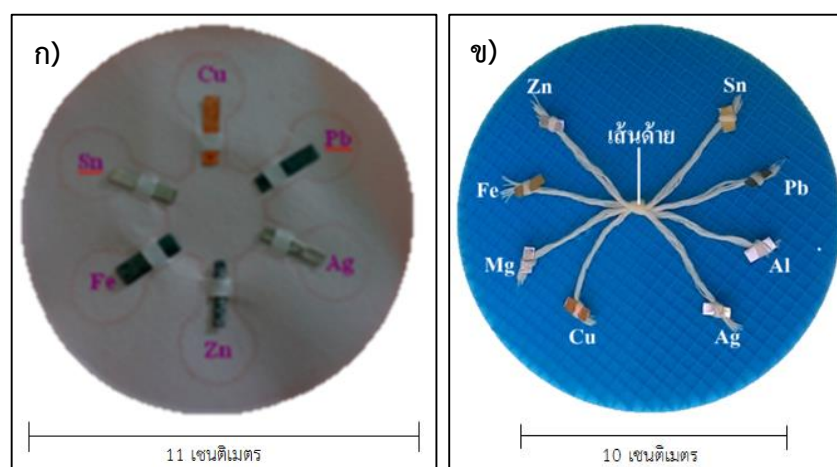
จากภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายกับค่าที่ได้จากทฤษฎีคำนวณจากสมการเนินสต์ เมื่อใช้ t -test ทดสอบศักย์ไฟฟ้าของวิธีทั้งสอง จำนวน 28 เซลล์ พบว่า ศักย์ไฟฟ้าของวิธีทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($t_{\text{stat}} = 2.696$, $t_{\text{critical}} = 2.015$) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่า ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายสามารถสาธิตหรือแสดงผลการทดลองได้อย่างชัดเจนและมีประสิทธิภาพ ส่วนคู่เซลล์ไฟฟ้าที่มี Mg และ Al เป็นองค์ประกอบมีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและธรรมชาติของแผ่นโลหะอิเล็กโทรด ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าโลหะ Mg และ Al เป็นโลหะธาตุหมู่หลัก (main group) หรือธาตุแพรพรีเซนเตทีฟ (representative element) โลหะเหล่านี้มักจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์รีดักชันต่ำ Mg มีค่า $E^0 = -2.36$ V ส่วน Al มีค่า $E^0 = -1.66$ V ดังนั้น โลหะทั้งสองจึงมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ง่ายและกลายเป็นชั้นโลหะออกไซด์ เช่น MgO และ Al_2O_3 ที่เคลือบเป็นชั้นบาง ๆ ปกคลุมอยู่บนผิวโลหะที่ใช้เป็นอิเล็กโทรด (Chatmontree et al., 2015) ทำให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนสูง

สำหรับการนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษกับชุดการทดลองที่สร้างขึ้น ดังแสดงผลในภาพที่ 4.4



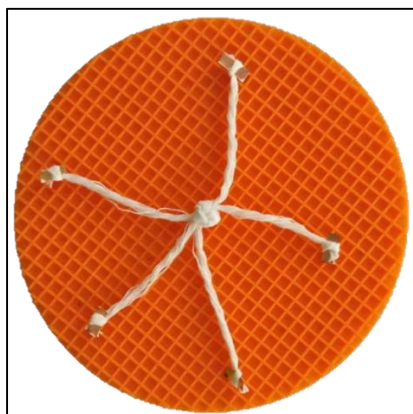
ภาพที่ 4.4 ผลเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษกับชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

จากภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าของชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษกับชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย โดยใช้ t -test ทดสอบศักย์ไฟฟ้าของวิธีทั้งสอง จำนวน 15 เซลล์ พบว่า ศักย์ไฟฟ้าของวิธีทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($t_{\text{stat}} = 0.234$, $t_{\text{critical}} = 2.052$) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงว่า ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายสามารถสาธิตหรือแสดงผลการทดลองได้อย่างชัดเจนและมีประสิทธิภาพ ชุดการทดลองแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบระหว่าง (ก) ชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ (ข) ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

การประยุกต์ใช้ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย มาศึกษาเซลล์ความเข้มข้น ผู้วิจัยได้สร้างเซลล์ความเข้มข้นที่มีขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะทองแดงในสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ที่มีความเข้มข้น 0.0001 M, 0.001 M, 0.01 M, 0.1 M และ 1.0 M ตามลำดับ ทำการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองครึ่งเซลล์ จำนวน 4 คู่เซลล์ ชุดการทดลองแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 เซลล์ความเข้มข้นที่มีขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะทองแดงในสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต

นำเซลล์ความเข้มข้นที่สร้างขึ้นไปทำการทดลองวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากทฤษฎีคำนวณจากสมการเนิร์นสต์ แสดงในตารางที่ 4.3

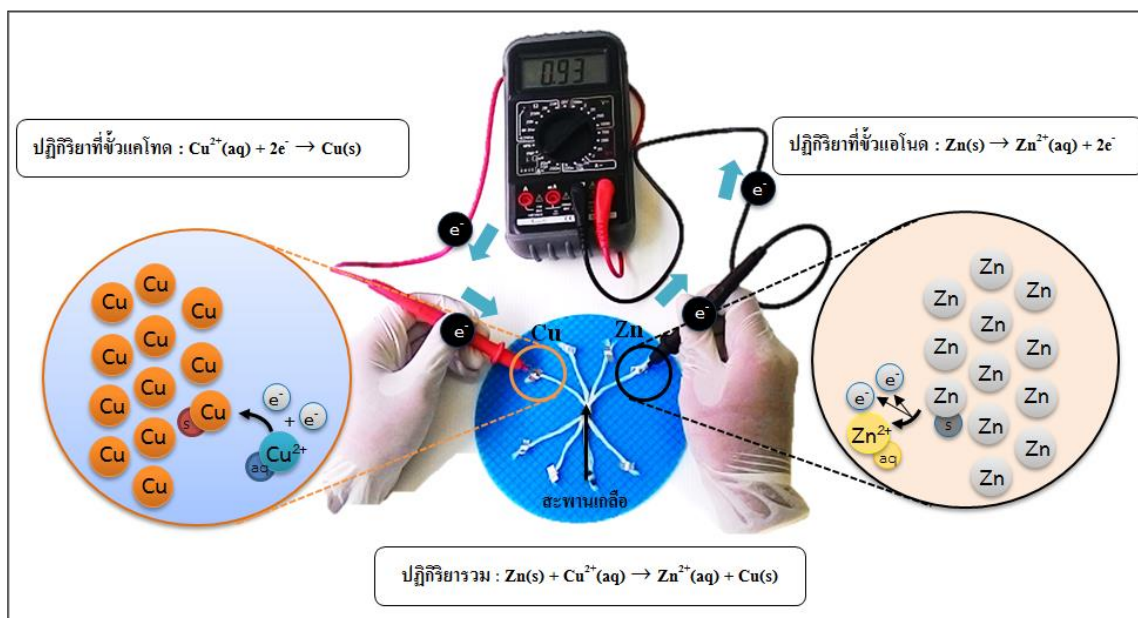
ตารางที่ 4.3 ผลเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดลองกับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากทฤษฎีคำนวณจากสมการเนิร์นสต์ของเซลล์ความเข้มข้น

เซลล์	$E_{\text{cell}} / \text{V}$	
	การทดลอง	ทฤษฎี
$\text{Cu(s)} \text{Cu}^{2+}(\text{aq}, 0.1 \text{ M}) \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \text{Cu(s)}$	0.024	0.029
$\text{Cu(s)} \text{Cu}^{2+}(\text{aq}, 0.01 \text{ M}) \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \text{Cu(s)}$	0.068	0.059
$\text{Cu(s)} \text{Cu}^{2+}(\text{aq}, 0.001 \text{ M}) \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \text{Cu(s)}$	0.108	0.089
$\text{Cu(s)} \text{Cu}^{2+}(\text{aq}, 0.0001 \text{ M}) \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \text{Cu(s)}$	0.127	0.118

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้จากเซลล์ความเข้มข้นที่มีขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะทองแดงในสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ที่มีความเข้มข้น 0.0001 M 0.001 M 0.01 M 0.1 M และ 1.0 M ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงกันกับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากทฤษฎีคำนวณจากสมการเนิร์นสต์

อย่างไรก็ตาม ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ยังมีข้อดี คือ อุปกรณ์ที่ใช้สามารถหาได้ง่าย ต้นทุนต่ำ เนื่องจากวัสดุคือ เส้นด้าย มีราคาถูก นอกจากชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้มีต้นทุนต่ำแล้ว ยังใช้สารเคมีในปริมาณน้อย ทำให้ของเสียจากการทิ้งสารเคมีมีปริมาณน้อยลง ทั้งนี้ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายยังสามารถสาธิตหรือแสดงผลการทดลองได้ และมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับค่าที่คำนวณจากทฤษฎี

นอกจากนี้ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายที่สร้างขึ้นนี้ ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้อย่างดีโดยอาศัยการอธิบายปฏิกิริยาระดับจุลภาค (submicroscopic level) ดังแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 การอธิบายปฏิกิริยาระดับจุลภาคสำหรับ $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$
มัลติมิเตอร์แสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ที่ 0.93 โวลต์

จากภาพที่ 4.6 เป็นแผนภาพแสดงปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในระดับจุลภาค ช่วยให้นักเรียนเข้าใจในปรากฏการณ์ทางเคมีในระดับจุลภาคและช่วยให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดทางเคมีที่เป็นนามธรรมมากยิ่งขึ้น

4.2 ผลการศึกษาผลจากการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย เรื่องเซลล์กัลวานิก

ผลการวิจัยในครั้งนี้ ประกอบด้วย (1) คะแนนความเข้าใจ เรื่อง เซลล์กัลวานิก (2) เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง เซลล์กัลวานิก (3) การจำแนกนักเรียนตามกลุ่มความเข้าใจจากแบบวัดความเข้าใจ เรื่อง เซลล์กัลวานิก และ (4) ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์กัลวานิก จากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

4.2.1 คะแนนความเข้าใจ เรื่องเซลล์กัลวานิก

จากการวิเคราะห์คะแนนจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องเซลล์กัลวานิก ครอบคลุม 4 จุดประสงค์ ได้แก่ (1) ต่เซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทด และเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ (2) เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้ (3) อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) โดยการเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้ และ (4) ใช้ค่า (E^0) ของครึ่งเซลล์คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ ผลวิจัยแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 คะแนนจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องเซลล์กัลวานิก (n=29)

จุดประสงค์ (คะแนนเต็ม)	ก่อนเรียน			หลังเรียน			ความก้าวหน้า		
	mean	SD	%	mean	SD	%	%	<g>	ความ หมาย
1) ต่เซลล์กัลวานิกจากครึ่ง เซลล์ที่กำหนดให้พร้อมทั้งบอก ขั้วแอโนด ขั้วแคโทด									
และเขียนสมการแสดงปฏิกิริยา ได้ (6)	1.07	0.96	17.82	4.48	1.53	74.71	56.89	0.69	ปาน กลาง
- ตัวเลือก (3)	1.07	0.96	35.63	2.66	0.61	88.51	52.88	0.82	สูง
- เหตุผล (3)	0.00	0.00	0.00	1.83	1.07	60.92	60.92	0.61	ปาน กลาง
2) เขียนแผนภาพเซลล์กัล วานิกได้ (4)	0.76	0.87	18.97	2.97	1.09	74.14	55.17	0.68	ปาน กลาง
- ตัวเลือก (2)	0.76	0.87	37.93	1.72	0.53	86.21	48.28	0.78	สูง
- เหตุผล (2)	0.00	0.00	0.00	1.24	0.74	62.07	62.07	0.62	ปาน กลาง
3) อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้า มาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) โดยการเปรียบเทียบกับ									
ครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้ (4)	0.93	0.88	23.28	2.66	1.29	66.38	43.10	0.56	ปาน กลาง
- ตัวเลือก (2)	0.93	0.88	46.55	1.59	0.68	79.31	32.76	0.61	ปาน กลาง
- เหตุผล (2)	0.00	0.00	0.00	1.07	0.80	53.45	53.45	0.53	ปาน กลาง
4) ใช้ค่า (E^0)ของครึ่งเซลล์ คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้า มาตรฐานของเซลล์และทำนาย									
การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ (6)	1.10	1.26	18.39	4.79	1.52	79.89	53.45	0.53	ปาน กลาง
- ตัวเลือก (3)	0.90	0.86	29.89	2.83	0.47	94.25	61.50	0.75	สูง
- เหตุผล (3)	0.21	0.56	6.90	1.97	1.18	65.52	64.36	0.92	สูง
5) รวม (20)	3.86	2.60	19.31	14.90	4.19	74.48	58.62	0.63	ปาน กลาง
- ตัวเลือก (10)	3.66	2.25	36.55	8.79	1.59	87.93	55.17	0.68	ปาน กลาง
- เหตุผล (10)	0.21	0.55	2.07	6.10	2.86	61.03	51.38	0.81	สูง

จากตารางที่ 4.4 พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจก่อนเรียน เรื่อง เซลล์กัลวานิก โดยรวมเป็นร้อยละ 19.31 (mean 3.86 และ SD 2.60) จำแนกเป็นคะแนนส่วนของตัวเลือกร้อยละ

36.55 (mean 3.66 และ SD 2.25) และส่วนของการแสดงผลร้อยละ 2.07 (mean 0.21 และ SD 0.55) จะเห็นได้ว่านักเรียนมีคะแนนก่อนเรียนในส่วนของตัวเลือกสูงกว่าส่วนของการแสดงผล อย่างไรก็ตาม หลังจากการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจหลังเรียนโดยรวมเป็นร้อยละ 74.48 (mean 14.90 และ SD 4.19) จำแนกเป็นคะแนนส่วนของตัวเลือกร้อยละ 87.93 (mean 8.79 และ SD 1.59) และส่วนการแสดงผลร้อยละ 61.03 (mean 6.10 และ SD 2.86) จะเห็นได้ว่านักเรียนยังมีคะแนนหลังเรียนในส่วนของตัวเลือกสูงกว่าส่วนของการแสดงผล แต่มีน้ำหนักใกล้เคียงกันมากกว่าคะแนนก่อนเรียน และเมื่อพิจารณาร้อยละความก้าวหน้าทางการเรียน พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนจริง (% actual gain) โดยรวมเป็นร้อยละ 58.62 จำแนกเป็นส่วนของตัวเลือกร้อยละ 55.17 และส่วนของการแสดงผลร้อยละ 51.38 ในกรณีที่พิจารณาความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ (normalized learning gain) หรือค่า $\langle g \rangle$ พบว่า นักเรียนมีค่า $\langle g \rangle$ โดยรวมเป็น 0.63 จำแนกเป็นค่า $\langle g \rangle$ ส่วนของตัวเลือก 0.68 ซึ่งจัดอยู่ใน “ความก้าวหน้าปานกลาง” และค่า $\langle g \rangle$ ส่วนของการแสดงผล 0.81 ซึ่งจัดอยู่ใน “ความก้าวหน้าสูง” โดยมีความก้าวหน้าทางการเรียนในส่วนของเหตุผลสูงกว่าส่วน of ตัวเลือก

จากตารางที่ 4.4 เมื่อจำแนกความเข้าใจเรื่อง เซลล์กัลวานิก ออกเป็น 4 จุดประสงค์ ได้แก่ (1) ต่เซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ (2) เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้ (3) อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) โดยการเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้ และ (4) ใช้ค่า (E^0) ของครึ่งเซลล์คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ จะพบว่า นักเรียนมีร้อยละของคะแนนก่อนเรียนสูงที่สุดในจุดประสงค์ (3) อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) โดยการเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้ (ร้อยละ 23.28) ส่วนจุดประสงค์ (1) ต่เซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ (ร้อยละ 17.82) จุดประสงค์ (2) เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้ (ร้อยละ 18.97) และจุดประสงค์ (4) ใช้ค่า (E^0) ของครึ่งเซลล์คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ (ร้อยละ 18.39) มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ นักเรียนมีร้อยละของคะแนนก่อนเรียนความเข้าใจในส่วนตัวเลือกสูงกว่าความเข้าใจในส่วนของเหตุผล ทั้ง 4 จุดประสงค์ อย่างไรก็ตาม หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย พบว่า นักเรียนมีร้อยละของคะแนนหลังเรียนสูงที่สุดในจุดประสงค์ (4) ใช้ค่า (E^0) ของครึ่งเซลล์คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ (ร้อยละ 79.89) ส่วนจุดประสงค์ (1) ต่เซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ (ร้อยละ 74.71) และจุดประสงค์ (2) เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้

(ร้อยละ 74.14) มีค่าใกล้เคียงกัน และจุดประสงค์ (3) อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) โดยการเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้ (ร้อยละ 66.38) ทั้งนี้ นักเรียนมีร้อยละของคะแนนหลังเรียนความเข้าใจในส่วนตัวเลือก (ร้อยละ 87.93) สูงกว่าความเข้าใจในส่วนของเหตุผล (ร้อยละ 61.03) ทั้ง 4 จุดประสงค์ นักเรียนมีร้อยละความก้าวหน้าทางการเรียนจริง (% actual gain) ของแต่ละจุดประสงค์การเรียนรู้เป็น 56.89 55.17 43.10 และ 53.45 ตามลำดับ และมีความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ หรือ $\langle g \rangle$ เป็น 0.69 0.68 0.56 และ 0.53 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ใน “ความก้าวหน้าปานกลาง” ทุกจุดประสงค์การเรียนรู้ อย่างไรก็ตาม จุดประสงค์ (1) ต่อเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ เป็นจุดประสงค์ที่นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนจริง (56.89) และความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ (0.69) สูงที่สุด ส่วนจุดประสงค์ (4) ใช้ค่า (E^0) ของครึ่งเซลล์คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ ที่นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนจริง (53.45) และความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ (0.53) ต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากการทดลองยังไม่มีส่วนที่เกี่ยวข้องกับใช้ค่า (E^0) ของครึ่งเซลล์คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์มากเท่าที่ควร ซึ่งสอดคล้องกับที่อิทธิมา อวณะจิ และศักดิ์ศรี สุภาพร (2558) และพนัสดา มาตราข และคณะ (2559) ที่รายงานผลการวิจัยเอาไว้ว่า การทดลองที่เกี่ยวข้องกับสมดุลเคมีที่สามารถสาธิตการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตผลได้ชัดเจนจะสามารถทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับมโนคติในการทดลองนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.2 การจำแนกกลุ่มความเข้าใจของนักเรียน เรื่อง เซลล์กัลวานิก

จากการจัดกลุ่มนักเรียนโดยอาศัยคำตอบจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจในส่วนของตัวเลือก เหตุผลและระดับความมั่นใจเป็นเกณฑ์ สามารถจำแนกนักเรียนออกเป็นกลุ่มความเข้าใจ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจจำแนกตามคะแนนจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องเซลล์กัลวานิก ($n = 29$)

เซลล์กัลวานิก (ความถี่ = จำนวนข้อ x จำนวนคน)	กลุ่มความเข้าใจ				
	SU	PU	PUMU	MU	NU
ก่อนเรียน (10x29)	0.69	1.38	4.48	25.17	68.28
1 ต่อเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ (3x29)	0.00	0.00	3.45	21.84	74.71
2 เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้ (2x29)	0.00	0.00	3.45	15.52	81.03
3 อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) โดยการเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้ (2x29)	0.00	0.00	10.34	31.03	58.62
4 ใช้ค่า (E^0) ของครึ่งเซลล์คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ (3x29)	2.30	4.60	2.30	31.03	59.77
หลังเรียน (10x29)	45.52	15.17	16.90	7.93	14.48
1 ต่อเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ (3x29)	49.43	12.64	12.64	6.90	18.39
2 เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้ (2x29)	41.38	17.24	24.14	8.62	8.62
3 อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) โดยการเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้ (2x29)	39.66	13.79	18.97	13.79	13.79
4 ใช้ค่า (E^0) ของครึ่งเซลล์คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ (3x29)	48.28	17.24	14.94	4.60	14.94
เปลี่ยนแปลง (10x29)	44.83	13.79	12.42	-17.24	-53.8
1 ต่อเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ (3x29)	49.43	12.64	9.19	-14.94	-56.32

ตารางที่ 4.5 ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจจำแนกตามคะแนนจากแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องเซลล์กัลวานิก ($n = 29$) (ต่อ)

เซลล์กัลวานิก (ความถี่ = จำนวนข้อ $\times$ จำนวนคน)	กลุ่มความเข้าใจ				
	SU	PU	PUMU	MU	NU
2 เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้ (2×29)	41.38	17.24	20.69	-6.9	-72.41
3 อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) โดยการเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้ (2×29)	39.66	13.79	8.63	-17.24	-44.83
4 ใช้ค่า (E^0) ของครึ่งเซลล์คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ (3×29)	45.98	12.64	12.64	-26.43	-44.83

หมายเหตุ: * เครื่องหมาย + และ - แสดงถึง การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงตามลำดับ

จากตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาจำแนกร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจก่อนเรียนพบว่า ลำดับร้อยละของนักเรียนในกลุ่มไม่มีความเข้าใจ (NU) จากมากที่สุดไปน้อยที่สุด เป็นจุดประสงค์ (2) เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้ (ร้อยละ 81.03) จุดประสงค์ (1) ต่อเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ (ร้อยละ 74.71) จุดประสงค์ (4) ใช้ค่า (E^0) ของครึ่งเซลล์คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ (ร้อยละ 59.77) และจุดประสงค์ (3) อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) โดยการเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้ (ร้อยละ 58.62) ตามลำดับ แสดงว่านักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่มี ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์กัลวานิก เมื่อพิจารณาร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจหลังเรียน พบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจต่าง ๆ เป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้น โดยหลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มไม่มีความเข้าใจ (NU) ลดลงเป็นอย่างมากในทุกจุดประสงค์การเรียนรู้และมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจถูกต้อง (SU) และกลุ่มความเข้าใจถูกต้องบางส่วน (PU) เพิ่มขึ้นในทุกจุดประสงค์ นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่าทุกจุดประสงค์การเรียนรู้ยังมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจถูกต้อง (SU) สูงกว่าในกลุ่มความเข้าใจถูกต้องและคาดเคลื่อนบางส่วน (PUMU) สูงกว่ากลุ่มความเข้าใจคลาดเคลื่อน (MU) และสูงกว่ากลุ่มไม่มีความเข้าใจ (NU) แต่ในทุกจุดประสงค์ยังคงมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจถูกต้องและคาดเคลื่อนบางส่วน (PUMU) อยู่พอสมควร (ร้อยละ 24.77 - 31.08) อย่างไรก็ตาม ผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจถูกต้องและความเข้าใจถูกต้อง

บางส่วน (SU+PU) มีค่าสูงกว่าผลรวมร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจคลาดเคลื่อนและไม่มี ความเข้าใจ (NU+MU) ในทุกจุดประสงค์อีกด้วย โดยทุกจุดประสงค์ มีผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความ เข้าใจถูกต้องและความเข้าใจถูกต้องบางส่วน (SU+PU) สูงกว่าร้อยละ 50 แสดงให้เห็นว่าชุด การทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายที่สร้างขึ้นในการวิจัยครั้งนี้มีประสิทธิภาพในการ พัฒนาความเข้าใจของนักเรียนและสนับสนุนให้นักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจจากผิดหรือ คลาดเคลื่อนไปทิศทางที่ถูกต้องมากขึ้น

เมื่อพิจารณาจุดประสงค์ (1) ต่อเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้พร้อมทั้งบอก ขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ (คำถามที่ 1-3) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากนักเรียนได้ปฏิบัติการทดลองด้วยชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำ จากเส้นด้ายด้วยตนเอง และเมื่อพิจารณาคำถามที่ 2 จะเห็นว่าหลังเรียนนักเรียนมีร้อยละในกลุ่ม ความเข้าใจถูกต้อง (SU) มากที่สุด (mean 49.43)

เมื่อพิจารณาจุดประสงค์ (3) อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) โดย การเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้ (คำถามที่ 6-7) พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงน้อย ที่สุด ทั้งนี้อาจไม่มีการทดลองที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์ดังกล่าว และเมื่อพิจารณาคำถามที่ 7 จะเห็น ได้ว่าหลังเรียนนักเรียนมีร้อยละในกลุ่มความเข้าใจถูกต้อง (SU) น้อยที่สุด (mean 39.66)

4.2.3.1 ตัวอย่างความเข้าใจของนักเรียนที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดและน้อยที่สุดหลัง การจัดการเรียนรู้

- 1) ความเข้าใจของนักเรียนที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด (คำถามที่ 2)

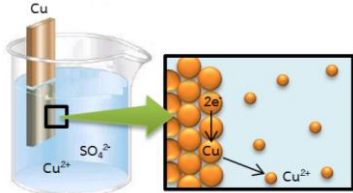
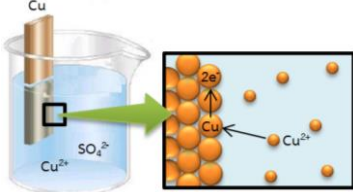
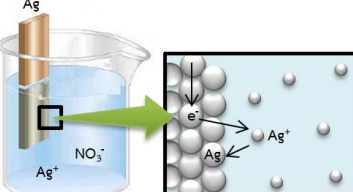
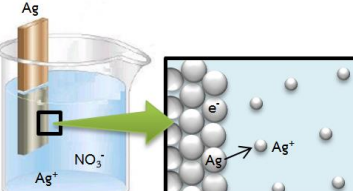
คำถามที่ 2

ในการทดลองนำครึ่งเซลล์ $\text{Cu(s)}|\text{Cu}^{2+}(\text{aq}, 1 \text{ mol/dm}^3)$ กับครึ่งเซลล์ $\text{Ag(s)}|\text{Ag}^+(\text{aq}, 1 \text{ mol/dm}^3)$

มาต่อ

เป็นเซลล์กัลวานิก ปรากฏว่าเข็มโวลต์มิเตอร์เบนเข้าหาขั้ว Ag แผนภาพใดที่แสดงปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดที่เกิดขึ้นจาก

การทดลอง

ตัวเลือก		% pretest	% posttest
ก.		17.24	3.45
ข.		6.90	3.45
ค.		62.07	93.10
ง.		13.79	0.00

ภาพที่ 4.8 คำถามที่ 2 จากแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องเซลล์กัลวานิก

จากภาพที่ 4.8 แสดงคำถามที่ 2 ของแบบวัดความเข้าใจในจุดประสงค์ต่อเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้ สถานการณ์ในคำถามข้อนี้เป็นการทดลองต่อเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ $\text{Cu(s)}|\text{Cu}^{2+}(\text{aq}, 1 \text{ mol/dm}^3)$ กับครึ่งเซลล์ $\text{Ag(s)}|\text{Ag}^+(\text{aq}, 1 \text{ mol/dm}^3)$ แล้วให้นักเรียนทำนายแผนภาพที่แสดงปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดที่เกิดขึ้นจากการทดลอง เมื่อพิจารณาคำตอบของนักเรียนเฉพาะส่วนแรกที่เป็นแบบปรนัย (first-tier) พบว่า นักเรียน จำนวน 27 คน คิดเป็นร้อยละ 93.10 เลือกคำตอบที่ถูกต้องคือ

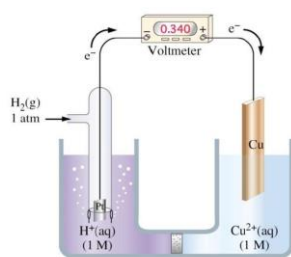
ข้อ ค และเมื่อพิจารณาคำตอบของนักเรียน พบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในกลุ่มความเข้าใจถูกต้อง (SU) ร้อยละ 68.69 นักเรียนส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ เช่น นักเรียนคนที่ 13 ได้เขียนเหตุผลเพื่อสนับสนุนคำตอบที่เลือกไว้ว่า

“เชื่อมโวลต์มิเตอร์เบนเข้าหาขั้ว Ag แสดงว่าขั้วไฟฟ้า Ag เกิดปฏิกิริยารีดักชันเป็นตัวรับ e^- อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ออกจากขั้วไฟฟ้า Cu ของเซลล์กัลวานิกไปยังขั้วไฟฟ้า Ag”

เมื่อพิจารณาคำถามที่ 2 หลังเรียน พบว่า นักเรียนเลือกคำตอบถูกต้องและสามารถให้เหตุผลได้ถูกต้อง ซึ่งนักเรียนมีความเข้าใจมากกว่าข้อสอบข้ออื่น ๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะคำถามที่ 2 เป็นคำถามที่ถามเกี่ยวกับความเข้าใจที่มีสถานการณ์ใกล้เคียงกับกิจกรรมการทดลอง “การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิกด้วยชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย” อีกทั้งข้อสอบนี้เป็นรูปภาพแสดงปฏิกิริยาในระดับจุลภาคทำให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้น นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจเกี่ยวกับปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิกได้ถูกต้องมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของวรวัฒน์ จิราธิวัฒนาณกุล และคณะ (2558) ที่กล่าวว่าการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการสืบเสาะหาความรู้ (5Es) โดยให้นักเรียนลงมือปฏิบัติกิจกรรมการทดลองจะช่วยกระตุ้นความสนใจและความสงสัยของนักเรียน นักเรียนสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเองเพื่อค้นหาคำตอบ มีการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม รวมทั้งมีการอภิปรายผลการทดลองแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกัน เพื่อนำไปสู่การลงข้อสรุปแนวคิดร่วมกันของนักเรียน และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของเบญจพร อินทรสด (2554) ที่กล่าวไว้ว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สืบเสาะแบบชี้แนะแนวทางได้ ลงมือกระทำกิจกรรมต่าง ๆ ด้วยตนเองหรือการปฏิบัติจริง ได้เรียนรู้ด้วยวิธีการที่หลากหลาย ได้ศึกษาค้นคว้าจากประสบการณ์ตรงอย่างเป็นรูปธรรมและมีครูคอยส่งเสริมการเรียนรู้ให้นักเรียนมีโอกาสรบปรุงความรู้และความเข้าใจของตนเองเพิ่มมากขึ้น

2) ความเข้าใจของนักเรียนที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด (คำถามที่ 7)

คำถามที่ 7



ครึ่งเซลล์ไฟฟ้าประกอบด้วยแท่งโลหะทองแดงจุ่มในสารละลาย Zn^{2+} เข้มข้น 1 M และอีกครึ่งเซลล์ประกอบด้วยแท่ง Pt จุ่มในสารละลาย Zn^{2+} เข้มข้น 1 M ซึ่งมีแก๊สไฮโดรเจนความดัน 1 atm เมื่อต่อครึ่งเซลล์ไฟฟ้าปรากฏว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็น +0.34 V ค่าศักย์ไฟฟ้า (E^0) ของโลหะทองแดงมีค่ากี่โวลต์

ตัวเลือก	% pretest	% posttest
ก. 0.00 โวลต์	13.79	3.45
ข. +0.34 โวลต์	51.73	79.31
ค. -0.34 โวลต์	34.48	10.34
ง. +0.76 โวลต์	0.00	6.90

ภาพที่ 4.9 คำถามที่ 7 จากแบบวัดความเข้าใจ เรื่อง เซลล์กัลวานิก

จากภาพที่ 4.9 แสดงคำถามที่ 7 ของแบบวัดความเข้าใจ ในจุดประสงค์ (3) อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) โดยการเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้ สถานการณ์ในข้อนี้เกี่ยวข้องกับการทดลองต่อครึ่งเซลล์ $\text{Cu(s)} | \text{Cu}^{2+}(\text{aq}, 1\text{M})$ กับครึ่งเซลล์ครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน แล้วทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ได้เท่ากับ +0.34 V โดยให้นักเรียนหาค่าศักย์ไฟฟ้า (E^0) ของโลหะทองแดง เมื่อพิจารณาคำตอบของนักเรียนเฉพาะส่วนแรกที่เป็นปรนัย (first-tier) พบว่า หลังเรียนนักเรียน จำนวน 23 คน คิดเป็นร้อยละ 79.31 เลือกคำตอบที่ถูกต้องคือ +0.34 โวลต์ และเมื่อพิจารณาคำตอบของนักเรียนพบว่า นักเรียนมีความเข้าใจในกลุ่มความเข้าใจถูกต้อง (SU) ร้อยละ 31.03 นอกจากนี้ยังมีนักเรียนที่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (MU) จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 10.34 เช่น นักเรียนคนที่ 12 ได้เขียนอธิบายเพื่อสนับสนุนคำตอบที่เลือกไว้ว่า

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร } E_{\text{cell}}^0 &= E_{\text{cathode}}^0 - E_{\text{anode}}^0 \\
 \text{แทนค่า } +0.34 \text{ V} &= 0.00 \text{ V} - E_{\text{anode}}^0 \\
 E_{\text{anode}}^0 &= -0.34 \text{ V}
 \end{aligned}$$

จากตัวอย่างเหตุผลข้างต้นที่นักเรียนเขียนอธิบายเพื่อสนับสนุนตัวเลือกคำถามที่ 7 จะเห็นได้ว่านักเรียนจำสูตรการคำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้าได้และทราบค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน แต่ไม่สามารถระบุได้ว่าครึ่งเซลล์ที่ต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนมาตรฐานเป็นขั้วแคโทดหรือขั้วแอโนด นอกจากนี้ยังมีนักเรียน จำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 20.69 มีความไม่เข้าใจ (NU) เช่น นักเรียนคนที่ 17 ได้เขียนอธิบายเพื่อสนับสนุนคำตอบที่เลือกไว้ว่า

จากสูตร	E_{cell}^0	=	$E_{\text{cathode}}^0 - E_{\text{anode}}^0$
แทนค่า	+ 0.34 V	=	$E_{\text{cathode}}^0 - 0.00 \text{ V}$
	E_{cathode}^0	=	- 0.34 V

จากตัวอย่างเหตุผลข้างต้นที่นักเรียนเขียนอธิบายเพื่อสนับสนุนตัวเลือกคำถามที่ 7 จะเห็นได้ว่านักเรียนจำสูตรการคำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้าได้ สามารถระบุได้ว่าครึ่งเซลล์ที่ต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนมาตรฐานเป็นขั้วแคโทดหรือขั้วแอโนด และทราบค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน แต่กลับไม่สามารถแก้สมการหาคำตอบได้ถูกต้อง

จากข้อมูลดังกล่าวเป็นหลักฐานที่บ่งชี้ให้เห็นว่านักเรียนไม่มีพื้นฐานในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้อง นักเรียนสามารถเขียนสูตรคำนวณและแทนค่าในสมการได้ถูกต้อง แต่ไม่สามารถคิดคำนวณได้ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้นักเรียนยังไม่เข้าใจเกี่ยวกับการใช้ค่า (E^0) ของครึ่งเซลล์คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ในระดับความเข้าใจถูกต้องมากเท่าที่ควร อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาสาเหตุที่ทำให้นักเรียนไม่เข้าใจและคลาดเคลื่อนในเรื่องดังกล่าว พบว่า นักเรียนไม่มีพื้นฐานการคำนวณและพิสูจน์ไม่ได้เน้นและยกตัวอย่างการคำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ ดังนั้นครูควรต้องปรับทักษะพื้นฐานการคำนวณและฝึกทำโจทย์ เพื่อไม่ให้เกิดการคำนวณเป็นอุปสรรคในการเรียน ซึ่งสอดคล้องกับ ธันยาภรณ์ เจริญทองอินทร์ (2553) ที่มีการศึกษาพบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีปัญหาในการบวก ลบ คูณ หาร หรือการย้ายข้างสมการ จึงส่งผลให้หัวข้อที่มีเนื้อหาที่เกี่ยวกับการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย มีความก้าวหน้าทางการเรียนไม่สูงนัก และยังสอดคล้องกับเกษศิริรินทร์ พลหาญ (2559) พบว่านักเรียนมีความเข้าใจในระดับแนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน เนื่องจากแบบทดสอบที่เกี่ยวกับการอธิบายความหมายของค่าคงที่การเพิ่มขึ้นของจุดเดือด (K_b) และค่าคงที่การลดลงของจุดเยือกแข็ง (K_f) ต้องอาศัยความเข้าใจและการวิเคราะห์โจทย์ปัญหา ซึ่งนักเรียนส่วนใหญ่มักจะมีปัญหาในการวิเคราะห์โจทย์ไม่เป็น แทนค่าในสูตรไม่ถูกต้อง แม้ว่าจะจำสูตรการคำนวณได้ แต่ใช้สูตรไม่เป็น จึงไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้

4.2.3.2 กรณีศึกษานักเรียนที่มีคะแนนความเข้าใจที่น่าสนใจ

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจในระดับความเข้าใจถูกต้องมากขึ้น แต่จากผลการวิจัยพบว่า มีนักเรียนบางคน เมื่อพิจารณาคะแนนจากแบบวัดความเข้าใจก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่องเซลล์กลวานิก (ภาคผนวก จ) สามารถแยกพิจารณาเป็นรายกรณี ดังนี้

นักเรียนคนที่ 7 ได้คะแนนหลังเรียนเท่ากับ 11 ซึ่งเป็นคะแนนที่ได้จากการตอบตัวเลือกถูก 9 คะแนน มีคะแนนจากส่วนของเหตุผล 2 คะแนน จากการศึกษาข้อมูลของนักเรียนในกรณีที่น่าสนใจ พบว่า นักเรียนคนที่ 7 เป็นนักเรียนที่อ่านไม่คล่อง เขียนไม่คล่อง ขาดความมั่นใจในการเขียนอธิบายเหตุผล เช่น การตอบคำถามที่ 2 และ 8 พบว่า นักเรียนตอบตัวเลือกและเหตุผลถูกเนื่องจากคำถามที่ 2 เป็นคำถามที่มีสถานการณ์ใกล้เคียงกับการทดลองด้วยชุดการทดลองเซลล์กลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย ทำให้นักเรียนทำคะแนนข้อนี้ได้ และเมื่อพิจารณาคำถามที่ 8 ซึ่งเป็นคำถามที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้า (E^0) จากการสังเกตพฤติกรรมในชั้นเรียน พบว่า นักเรียนมีพื้นฐานในการคำนวณคณิตศาสตร์จึงทำให้นักเรียนสามารถตอบคำถามข้อนี้ได้ถูกต้องทั้งส่วนของตัวเลือกและเหตุผล

นักเรียนคนที่ 10 ได้คะแนนหลังเรียน 4 คะแนน เป็นคะแนนที่ได้จากการตอบตัวเลือกถูก ไม่มีคะแนนจากส่วนของเหตุผล เมื่อพิจารณาการตอบในส่วนของการแสดงเหตุผล พบว่า นักเรียนเขียนแสดงเหตุผลทุกข้อแต่ไม่ถูกต้อง จากการสังเกตพบว่า นักเรียนมีความตั้งใจและพยายามทำข้อสอบ จากการศึกษาข้อมูลของนักเรียน พบว่า นักเรียนมีปัญหาการอ่านไม่คล่อง เขียนไม่คล่อง ทำให้นักเรียนได้คะแนนต่ำ

นักเรียนคนที่ 9 และคนที่ 11 ได้คะแนนหลังเรียน 5 และ 6 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งเป็นคะแนนที่ได้จากส่วนของตัวเลือก ไม่มีคะแนนจากส่วนของเหตุผล จากการสังเกตและศึกษาข้อมูลของนักเรียนกลุ่มนี้ พบว่า เป็นนักเรียนที่ไม่สนใจเรียน ไม่ช่วยเพื่อนทำงานแต่นั่งมองเพื่อนเฉย ๆ อีกทั้งยังขาดเรียนบ่อย ๆ เรียนไม่ทันเพื่อน ส่งผลให้นักเรียนไม่มีความรู้และความเข้าใจในเรื่องที่ครูสอน ผู้วิจัยจึงสอบถามถึงสาเหตุที่ไม่แสดงเหตุผล นักเรียนให้ความเห็นว่า “ผมไม่รู้ว่าจะเขียนอะไรดี เพราะผมไม่ได้เข้าเรียน”

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นบ่งชี้ให้เห็นว่านักเรียนตอบคำถามจากการคาดเดา ซึ่งแบบวัดความเข้าใจสามลำดับขั้นในส่วนที่ 2 (second tier) การแสดงเหตุผลสามารถช่วยตรวจสอบและจัดกลุ่มความเข้าใจของนักเรียนได้มากขึ้น สอดคล้องกับ Harika and et al. (2012) ที่กล่าวว่าแบบทดสอบแบบสามลำดับขั้น เป็นเครื่องมือสำหรับตรวจสอบข้อมูลความเข้าใจผิด ช่วยให้ผู้วิจัยจัดประเภทความเข้าใจผิดได้ว่าเป็นกลุ่มที่ขาดความรู้หรือคาดเดา การขาดความเชื่อมั่น หรือกลุ่มเข้าใจผิด

4.3 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่องเซลล์กลวานิก จากชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

จากการสำรวจความพึงพอใจของนักเรียนที่เรียนด้วยชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย เรื่อง เซลล์กลวานิก แสดงผลในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการสำรวจความพึงพอใจในการเรียนเรื่องเซลล์กลวานิกจากชุดการทดลองเซลล์กลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

รายการ	$\bar{X}$	SD	ระดับ
ก) ด้านกิจกรรมการทดลอง	4.60	0.49	มาก
1 ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายมีความน่าสนใจ	4.52	0.48	มาก
2 ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายสามารถทำได้ง่าย	4.79	0.46	มาก
3 ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น	4.62	0.50	มาก
4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนเพียงพอกับนักเรียน	4.48	0.51	มาก
ข) ด้านกิจกรรมการเรียนการสอน	4.57	0.53	มาก
5 ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน แลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันในระหว่างเรียน	4.69	0.52	มาก
6 ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และกระตุ้นให้นักเรียนคิดอย่างมีเหตุผล	4.55	0.57	มาก
7 นักเรียนมีการพัฒนาทักษะการทำการทดลอง	4.45	0.54	มาก
8 เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำการทดลองด้วยตนเอง	4.59	0.50	มาก
ค) ด้านครูสอน	4.55	0.52	มาก
9 ครูผู้สอนเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ปรึกษาและซักถามข้อสงสัยในการทดลอง	4.48	0.50	มาก
10 ครูผู้สอนให้ความสนใจในการตอบคำถามแก่นักเรียนเมื่อเกิดข้อสงสัย	4.62	0.49	มาก
รวม	4.58	0.51	มาก

จากตารางที่ 4.6 พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ย 4.58 (SD 0.51) ซึ่งอยู่ในระดับ “พึงพอใจมาก” โดยมีความพึงพอใจในทุกด้านใกล้เคียงกัน โดยมีลำดับความพึงพอใจมากที่สุดในด้านกิจกรรมการทดลอง แสดงว่าชุดการทดลองเซลล์กลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้มีความน่าสนใจ ผู้เรียนทำได้ง่าย ทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น

เมื่อพิจารณารายด้านจะเห็นได้ว่า ด้านกิจกรรมการทดลอง (ข้อที่ 1-4) นักเรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ย 4.60 (SD 0.49) ซึ่งอยู่ในระดับ “พึงพอใจมาก” โดยมีลำดับความพึงพอใจจากมากที่สุดในข้อที่ 2 ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายสามารถทำได้ง่าย แสดงว่าชุดการทดลองในการวิจัยครั้งนี้ทำได้ง่าย นักเรียนสามารถสร้างชุดการทดลองได้ด้วยตนเองได้ง่าย มีความน่าสนใจและช่วยให้นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก สอดคล้องกับอัญชลี ชาติมนตรี (2557) ที่กล่าวถึงการเรียนรู้โดยการลงมือปฏิบัติจริง สามารถช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยช่วยกระตุ้นการคิดอย่างมีเหตุผลเพื่อแก้ปัญหาในห้องปฏิบัติการ

เมื่อพิจารณาด้านกิจกรรมการเรียนการสอน (ข้อที่ 5-8) พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ย 4.57 (SD 0.53) โดยมีลำดับความพึงพอใจจากมากที่สุดในข้อที่ 5 ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน แลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันในระหว่างเรียน แสดงว่าชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้สามารถทำให้นักเรียนสนใจ ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนและมีโอกาสแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างสมาชิกในกลุ่ม อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาด้านครูผู้สอน พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจเฉลี่ย 4.55 (SD 0.52) โดยมีลำดับความพึงพอใจจากมากที่สุดในข้อที่ 10 ครูผู้สอนให้ความสนใจในการตอบคำถามแก่นักเรียนเมื่อเกิดข้อสงสัย ซึ่งบทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติศึกษาความรู้ด้วยตนเอง ครูคอยให้คำปรึกษาชี้แนะ และช่วยเหลือนักเรียน ทำให้บรรยากาศการเรียนการสอนในชั้นเรียนเอื้อต่อการพัฒนากระบวนการคิด สอดคล้องกับงานวิจัยของวิภารัตน์ เสนาผล (2555) พบว่าการตั้งคำถามและการแนะนำของครู นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้เคมีในหัวข้ออื่น ๆ ที่มีความสอดคล้องกับหัวข้อที่กำลังทำกิจกรรม และสอดคล้องกับกมลนุช ไชยมัชฌิม และเสนอ ชัยรัมย์ (2557) ที่ว่าบทบาทครูเป็นส่วนสำคัญในการจัดการเรียนรู้ โดยครูจะต้องให้ความสนใจและสามารถตอบคำถามนักเรียนเมื่อนักเรียนเกิดความสงสัย ซึ่งทำให้นักเรียนเรียนรู้ได้อย่างมีความสุขกับกิจกรรมและสนใจที่จะเรียนรู้มากขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเกี่ยวกับการสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีการสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเกี่ยวกับการสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องเซลล์กัลวานิก สามารถสรุปผลการวิจัยจำแนกตามประเด็นในวัตถุประสงค์การวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ผลจากการสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

จากการสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย เพื่อประยุกต์ใช้ในการศึกษาไฟฟ้าเคมี พบว่า จากการทดลองวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์กัลวานิกที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า Cu, Ag, Zn, Al, Fe, Sn, Mg และ Pb สามารถวัดศักย์ไฟฟ้าได้ทั้งหมด 28 คู่เซลล์ และค่าศักย์ไฟฟ้าจากการทดลองมีผลใกล้เคียงกับเซลล์ที่สภาวะมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนไฟฟ้าเคมี เพื่อให้ นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองศึกษาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก ทั้งนี้ ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายมีต้นทุนต่ำ ทำได้ง่าย ใช้ปริมาณสารเคมีในการทดลองน้อย ทำให้ประหยัดสารเคมี แต่ยังสามารถสาธิตหรือแสดงผลการทดลองได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อศึกษาเซลล์ความเข้มข้น โดยใช้ขั้วไฟฟ้า Cu ที่มีความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างกัน ผลการวัดศักย์ไฟฟ้าพบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันกับทฤษฎี

5.1.2 การส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องเซลล์กัลวานิก จากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

ผลจากการนำชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายไปจัดการเรียนรู้สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องเซลล์กัลวานิก พบว่า คะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้เรื่องเซลล์กัลวานิก จากชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย มีผลให้นักเรียนมีความเข้าใจเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แบบทดสอบวัดความเข้าใจในชั้นที่ 3 (third-tier) แสดง

ระดับความเชื่อมั่นสำหรับตัวเลือกที่ตอบ สามารถอธิบายถึงความเข้าใจของนักเรียนในเนื้อหานั้น ๆ ได้ว่าคำตอบที่นักเรียนเลือกตอบมาจากความรู้หรือการเดาคำตอบ

5.1.3 ความพึงพอใจของนักเรียน เรื่องเซลล์กัลวานิก

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้เรื่อง เซลล์กัลวานิก จากชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเฉลี่ย 4.58 (SD 0.51) ซึ่งอยู่ในระดับ “พึงพอใจมาก” โดยมีลำดับความพึงพอใจมากที่สุดในด้านกิจกรรมการทดลอง แสดงว่าชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้สามารถทำให้นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนเรื่องเซลล์กัลวานิก นักเรียนมีความกระตือรือร้นอยากรู้ อยากเรียนและมีเจตคติที่ดีต่อวิชาเคมีมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยในการจัดการเรียนรู้

5.2.1.1 ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย สามารถนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้เรื่องไฟฟ้าเคมี สำหรับโรงเรียนที่ขาดแคลนวัสดุ/อุปกรณ์และสารเคมีในการทดลองและสามารถพัฒนาให้เข้ากับกิจกรรมการเรียนรู้และบริบทของโรงเรียนได้

5.2.1.2 การสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย ในขั้นตอนก่อนนำไปมัดติดกับแผ่นโลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า ควรนำเส้นด้ายชุบน้ำพอลิเมอร์ ๑ ขั้นตอนนี้ช่วยทำให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมเข้าไปในเส้นด้ายได้ง่ายขึ้น

5.2.1.3 สำหรับโลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าต้องใช้กระดาษทรายขัดให้สะอาด เช็ดและล้างขั้วไฟฟ้าให้สะอาดทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารละลายต่างชนิดกัน

5.2.1.4 สำหรับผู้ที่วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัด ควรสวมถุงมือยางขณะทดลอง ระมัดระวังอย่าให้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตสัมผัสผิวหนัง เพราะจะทำให้ผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทำความสะออดยาก โลหะหนักอันตรายโดยเฉพาะตะกั่วให้ทิ้งลงในขวดทิ้งสารเพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธีต่อไป

5.2.1.5 ก่อนทำการทดลอง ครูควรแนะนำการให้นักเรียนรู้จักการใช้เครื่องมือต่าง ๆ อย่างถูกต้องและปลอดภัยก่อนทำการทดลอง

5.2.1.6 การสอนโดยใช้ชุดการทดลองอย่างง่าย เป็นการเรียนการสอนที่มุ่งให้ผู้เรียนเรียนโดยการกระทำหรือปฏิบัติจริง เป็นการนำรูปธรรมมาอธิบายเป็นนามธรรม เข้าใจเนื้อหาที่เข้าใจยากที่ไม่สามารถอธิบายให้เข้าใจได้ทันที เนื่องจากนักเรียนสร้างความรู้ด้วยตนเอง ส่งผลให้หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่ถูกต้อง ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไป ครูผู้สอนควรออกแบบกิจกรรมโดยเปิดโอกาสให้นักเรียนมีทางเลือกได้ศึกษาในสิ่งที่นักเรียนสนใจ

5.2.1.7 การใช้แบบทดสอบแบบปรนัย 4 ตัวเลือก 3 ลำดับขั้น (TTDT) เป็นการวัดผลและประเมินผลที่ดี เป็นเครื่องมือศึกษาความเข้าใจของนักเรียน ตรวจสอบความรู้ ความเข้าใจ

5.2.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อทำการวิจัยครั้งต่อไป สำหรับผู้ที่สนใจในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและทำวิจัยในประเด็นต่อไปนี้

5.2.2.1 ควรมีการศึกษาวิจัย เพื่อพัฒนาความเข้าใจของนักเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้กับนักเรียนในช่วงชั้นอื่น ๆ และกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่น ๆ

5.2.2.2 การใช้แบบทดสอบวัดความเข้าใจแบบสามลำดับขั้น (3-tier diagnostic tests) เป็นแบบวัดที่เน้นศึกษาความเข้าใจของนักเรียน ช่วยให้ผู้สอนสามารถจัดกลุ่มความเข้าใจและสามารถส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนให้เพิ่มขึ้น สามารถสร้างและพัฒนาแบบทดสอบแล้วนำไปใช้ในเนื้อหาอื่น ๆ ได้ต่อไป

5.2.2.3 อาจนำวัสดุที่หาได้ง่ายมาใช้ในการทำการทดลอง แล้วนำอุปกรณ์ชุดดังกล่าวไปทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความชัดเจนของการทดลองให้เหมาะสมกับนักเรียนและตรวจสอบผลความถูกต้องเทียบกับค่ามาตรฐาน

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- กมลนุช ไชยมีขมิ้ม และเสนอ ชัยรัมย์. “การส่งเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง โพรตีนโดยใช้กระบวนการสืบเสาะแบบแนะนำ”, วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้. 5(2): 165-175; มิถุนายน, 2557.
- กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ. หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2545. กรุงเทพฯ: องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์ (ร.ส.พ.), 2545.
- กาญจนา วงศ์ไชยา. ผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย เรื่อง เซลล์กลลวานิก เพื่อพัฒนาทักษะการทางวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2559.
- เกษม สาหร่ายทิพย์. สถิติประยุกต์สำหรับการวิจัย. นครสวรรค์: นิวเสรินคร, 2540.
- เกษศิริพันธ์ พลหาญ. การใช้กระตักน้ำสุญญากาศแทนแคลอริมิเตอร์เพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2559.
- ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์. 80 นวัตกรรมจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ. กรุงเทพฯ: แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตปอโปเรชั่น, 2552.
- ชูศรี วงศ์รัตน์. เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย. นนทบุรี: ไทเนรมิตกิจอินเตอร์โปรเกรสซิฟ, 2550.
- ดรุณี วัฒนศิริเวช และสุธี วัฒนศิริเวช. “เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cells) เทคโนโลยีพลังงานสะอาดเพื่อโลกสีเขียว”, นิตยสารวิทยาศาสตร์โรงเรียน. 1(2): 5; เมษายน, 2555.
- ธัญญภัทร์ เขียวทองอินทร์. “การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบที่ไฟว์กระดาช”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาคเหนือ. 3: 256-263, มีนาคม, 2554.
- บุญชม ศรีสะอาด. หลักการวิจัยเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น, 2535.
- _____. การวิจัยเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น, 2543.
- _____. การวิจัยเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น, 2545.
- เบญจพร อินทรสด, กานต์ตะรัตน์ วุฒิสเลา และอริสรา อีสสระรี่. “การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและมโนคติที่คลาดเคลื่อน เรื่องรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ด้วยการสืบเสาะแบบแนะนำกับการสืบเสาะสำเร็จรูป”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภาคเหนือ. 3(พิเศษ): 233-244; กันยายน, 2554.
- ประภาพรรณ เสี่ยงวงศ์. การพัฒนานวัตกรรมการเรียนรู้ด้วยวิธีวิจัยในชั้นเรียน. กรุงเทพฯ: อี.เค.บุ๊คส์, 2550.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ประวิทย์ บึงสว่าง. การพัฒนาการเรียนการสอนวิชาเคมีที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญโดยใช้สื่อ
มัลติมีเดียเพื่อการศึกษาการทดลองทางเคมี. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขาธิการสภา
การศึกษา, 2547.
- ประสาร มาลากุล ณ อยุธยา. “แนวคิดร่วมสมัยเกี่ยวกับการเรียนการสอน”, วารสารเกษมบัณฑิต
ปริทัศน์. 3(1): 1-6; มิถุนายน, 2541.
- โรงเรียนบ้านตาอุด. รายงานผลการเรียนปีการศึกษา 2558. ศรีสะเกษ: โรงเรียนบ้านตาอุด, 2558.
- พนัสดา มาตราข, สุภาพ ตาเมือง และศักดิ์ศรี สุภาพสร. “การพัฒนาความเข้าใจโมเดลวิทยาศาสตร์
เรื่อง สมดุลเคมีด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้นผสมผสานกับเทคนิคทำนาย-
สังเกต-อธิบายในชั้นสร้างความสนใจ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5”, ใน
การประชุมวิชาการงานเกษตรแฟร์ ครั้งที่ 4. น.356-366. สกลนคร:
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตสกลนคร, 2559.
- พรทิพย์ เมืองแก้ว. การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเรื่องไฟฟ้า
เคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2553.
- พัชรี รมพยอม วิชัยดิษฐ์. “ธรรมชาติของวิชาเคมี และการจัดการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับ
ธรรมชาติของวิชา”, วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการ
เรียนรู้. 31(2), มิถุนายน, 2558.
- เพชรวิไล ชัตติยวงษ์ และคณะ. “การพัฒนาชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ
เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการสอนเคมีไฟฟ้า”, วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี
และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้. 5(2): 146-154, กันยายน, 2557.
- รุ่งทิพย์ ศศิธร. การเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องเซลล์ไฟฟ้าเคมีด้วยการเรียนรู้แบบร่วมมือกับ
ชุดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ 5E. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต:
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2554.
- รัตนะ บัวสนธ์. วิจัยเชิงคุณภาพทางการศึกษา. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- วรวัฒน์ จิราธิวัฒนากุล และคณะ. การพัฒนาแนวคิดของนักเรียนที่มีความสามารถพิเศษทาง
วิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยใช้วัฏจักรการ
เรียนรู้แบบ 5 ขั้นร่วมกับการสร้างมโนภาพพลวัต. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุน
สนับสนุนการวิจัย, 2558.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- วโร เฟิงส์วส์ดี. การวิจัยในชั้นเรียน. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น, 2545.
- วิภารัตน์ เสนาผล. การพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องเคมีอินทรีย์ โดยใช้การเรียนรู้แบบสืบเสาะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555.
- วีณา ประชาณุกุล และประสาธน์ เนืองเฉลิม. รูปแบบการเรียนการสอน. มหาสารคาม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2554.
- วีรณดา บางแบ่ง, ดวงฤทัย ศรีแดง และอรพรรณ ทองประสงค์. “การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่องไฟฟ้าเคมี เพื่อส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6”, ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54. น.42-49. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2559.
- ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ, 2538.
- ศศิธร เวียงวะลัย. การจัดการเรียนรู้. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พรินติ้งเฮาส์, 2556.
- ศักดิ์ศรี สุภาจร. (2553). “ไฟฟ้าเคมี”, ไฟฟ้าเคมีเชิงบูรณาการ (Integrated Electrochemistry. <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/12/6/CD/electrochem/index.htm>. 17 พฤษภาคม, 2561.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2545). “ชีววิทยา”, รูปแบบการเรียนการสอนที่พัฒนากระบวนการคิดระดับสูงวิชาชีววิทยาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. <http://biology.ipst.ac.th/?p=688>. 17 พฤษภาคม, 2561.
- สุวิทย์ มูลคำ และอรทัย มูลคำ. 21 วิธีจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนากระบวนการคิด. กรุงเทพฯ: ดวงกมลสมัย, 2545.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542. กรุงเทพฯ: องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์ (ร.ส.พ.), 2546.
- _____. หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 4. กรุงเทพฯ: องค์การการค้าของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมสวัสดิการและสวัสดิภาพครูและบุคลากรทางการศึกษา (สกสค.), 2556.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สาลินี อาจารย์. **การพัฒนาหลักสูตรวิชาเคมีที่ใช้การทดลองด้วยเทคนิคไมโครสเกล สำหรับ นักศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษาดุษฎบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2552.**
- สุภาพ ตาเมือง, กานต์ตระกูล วุฒิสเลา และศักดิ์ศรี สุภาจร. “ชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วน ต้นทุนต่ำเพื่อสนับสนุนความเข้าใจในโมติ เรื่องสมดุลเคมี สำหรับนักเรียนระดับ มัธยมศึกษาปีที่ 5”, วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการ เรียนรู้. 8(2): 379-397; ธันวาคม, 2560.
- สุรางค์ ไคว์ตระกูล. **จิตวิทยาการศึกษา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.**
- อัญชลี ขาติมนตรี. **การเรียนรู้โดยการลงมือปฏิบัติจริงในเซลล์กัลวานิกด้วยชุดการทดลองที่ ประดิษฐ์มาจากกระดาษเพื่อส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนในวิชาเคมี. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2557.**
- อารี พันธมณี. **ความคิดสร้างสรรค์กับการเรียนรู้. กรุงเทพฯ: ต้นอ้อแกรมมี, 2540.**
- อุบลวรรณ ใต้ทอง. **ผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายเรื่องไฟฟ้าเคมีเพื่อพัฒนา ทักษะการทางวิทยาศาสตร์และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 6. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2554.**
- อิทธิมาธิ์ อาแวกะจิ และศักดิ์ศรี สุภาจร. “การพัฒนาความเข้าใจในโมติวิทยาศาสตร์ เรื่อง สมดุล เคมีด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-และ อธิบายในชั้นขยายความรู้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5”, ใน การประชุมวิชาการ ม.อบ.วิจัย ครั้งที่ 9. น.388-398. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2558.
- Acer, B. and Tarhan, L. “Effect of Cooperative Learning Strategies on Students Understanding of Concepts in Electrochemistry”, **International Journal of Science and Mathematics Education.** 5: 349-373; June, 2007.
- Barman, C. R. and Kotar, M. “The Learning Cycle”, **Science and Children.** 26(7): 30-32; April, 1989.
- Bednar, A. and et al. **Theory into practice: How do we link?. New York: McGraw-Hill Inc., 1991**

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Chatmontree, A. and et al. “Student Fabrication and Use of Simple, Low-Cost, Paper-Based Galvanic Cells To Investigate Electrochemistry”, **Journal of Chemical Education**. 92(6): 1044-1048; May, 2015.
- Chang, R. and Overby, J. **General Chemistry**. New York: McGraw-Hill Inc., 2011.
- Chang, R. **Chemistry**. New York: McGraw-Hill, 2012.
- Jong, O., Blonder, R., and Oversby, J. (2013). “Chemistry Education”, **How to Balance Chemistry Education Between Observing Phenomena and Thinking in Models**. file:///C:/Users/Administrator/Downloads/ChStudy-bookDeJongetal-kopie.pdf. 17 พฤษภาคม, 2561.
- Eggen, P. O. and Skaugrud, B. “An Easy To-Assemble Three-Part Galvanic Cell”, **Journal Chemical Education**. 92(6): 1053-1055; April, 2015.
- Haidar, A. H. “Prospective Chemistry Teacher Conceptions of the Conservation of Matter and Related Concepts”, **Journal of Research in Science Teaching**. 34(2): 181-197; December, 1997.
- Hogan, K. and Berkowitz, A. R. “Teachers as Inquiry Learners”, **Journal of Science Teacher Education**. 11(1): 1-25; February, 2000.
- Harika, O. A., Ceyhan, C. and Christine, M. “A three-tier diagnostic test to assess pre-service teachers’ misconceptions about global warming, greenhouse effect, ozone layer depletion, and acid rain”, **International Journal of Science Education**. 11(34): 1667-1686; May, 2012.
- Whitten, K. W., and et al. **Chemistry**. Canada: Nelson Education, Ltd., 2007.

ภาคผนวก

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ รายวิชาเคมี 4 รหัสวิชา ว 30224 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
 หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าเคมี เรื่อง การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก เวลา 3 ชั่วโมง
 ครูผู้สอน นางมาลัย นามวงษ์ สอนวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

สาระสำคัญ

เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) เป็นเซลล์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่เกิดจากการเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า องค์ประกอบของเซลล์กัลวานิกประกอบด้วยครึ่งเซลล์ที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างกัน และเชื่อมวงจรภายในให้ครบวงจรโดยใช้สะพานเกลือต่อไว้ระหว่างสารละลายในแต่ละครึ่งเซลล์

มาตรฐานการเรียนรู้

มาตรฐาน ว 3.2 เข้าใจหลักการและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร การเกิดสารละลาย การเกิดปฏิกิริยาเคมี มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้อุปกรณ์และเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้น ๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ด้านความรู้ (Knowledge)

1.1 ต่เซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้ พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้

2. ด้านกระบวนการ (Process)

2.1 ทำการทดลองการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก

3. ด้านเจตคติ (Attitude)

3.1 ใฝ่เรียนรู้

3.2 มุ่งมั่นในการทำงาน

สาระการเรียนรู้

การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นที่ 1 สร้างความสนใจ (engagement) ดำเนินกิจกรรมดังต่อไปนี้

1.1 ครูให้นักเรียนช่วยกันระดมความคิดหรือประเด็นที่น่าสนใจจากการชมวิดีโอ เรื่อง ปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอน และร่วมกันตอบคำถามกระตุ้นความสนใจ ดังนี้

ซั้วแอโนด (แนวการตอบ Zn)

ซั้วแคโทด (แนวการตอบ Cu)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (แนวการตอบ Zn^{2+} กับ Cu^{2+})

สะพานเกลือ (แนวการตอบ ทำจากกระดาษกรองชุบด้วย KNO_3)



ที่มา: <https://www.youtube.com/watch?v=At-uml1cZeU>

ขั้นที่ 2 สำรวจและค้นหา (exploration) ดำเนินกิจกรรมดังต่อไปนี้

2.1 ครูแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม ๆ ละ 3-4 คน แต่ละกลุ่มมีนักเรียนเก่ง ปานกลาง อ่อน คละกัน ให้นักเรียนทำกิจกรรมการทดลองตามใบกิจกรรมที่ 3.1 พร้อมทั้งให้สมาชิกกำหนดหน้าที่กันเองในกลุ่ม เช่น

คนที่ 1 อ่านขั้นตอนการทดลองและบอกวิธีการทดลองตามลำดับ

คนที่ 2 ดำเนินการทดลองและจัดเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

คนที่ 3 รับอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทดลอง

คนที่ 4 บันทึกข้อมูลและผลการทดลอง

2.2 นักเรียนอ่านคำชี้แจง คำแนะนำและขั้นตอนการทำกิจกรรมให้เข้าใจก่อนการทำกิจกรรม

2.3 นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมตามขั้นตอนในใบกิจกรรม บริหารจัดการเวลาในการทำกิจกรรมอย่างเคร่งครัด นักเรียนบันทึกผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และตอบคำถามท้ายการทดลอง ครูคอยสังเกตพฤติกรรมการทำงานระหว่างการทำกิจกรรมและคอยให้คำแนะนำแก่นักเรียน

2.4 นักเรียนรายงานผลการทดลองตามรูปแบบของแผนผังรูปตัวยู (science process skills) เขียนบนกระดานปอนด์แล้วนำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียน

2.5 ครูและนักเรียนเดินพิจารณาผลงานของกลุ่มอื่นๆ โดยแต่ละกลุ่มจะต้องมีตัวแทนนำเสนอผลงานของกลุ่มตนเอง ตอบคำถามและข้อสงสัยของสมาชิกกลุ่มอื่น ๆ

ขั้นที่ 3 อธิบายและลงข้อสรุป (explanation) ดำเนินกิจกรรมดังต่อไปนี้

3.1 ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถาม ดังนี้

- ถ้านักเรียนต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างครึ่งเซลล์แต่ละคู่ จะมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเกิดขึ้นหรือไม่ ทราบได้อย่างไร

- นักเรียนคิดว่าครึ่งเซลล์ $\text{Cu(s)}|\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ กับครึ่งเซลล์ $\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ มาต่อกัน ครึ่งเซลล์ใดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ครึ่งเซลล์ใดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน และที่ขั้วไฟฟ้าหรือสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร

- นักเรียนคิดว่าสะพานเกลือทำหน้าที่อย่างไร

3.2 ครูให้นักเรียนดูวิดีโอ เรื่อง การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจนได้ข้อสรุป ดังนี้

- เมื่อต่อเซลล์กัลวานิกครบวงจรแล้วเข็มของมิเตอร์เบนไปจากขีดศูนย์ แสดงว่าเกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอนและมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น

- เมื่อต่อครึ่งเซลล์ $\text{Cu(s)}|\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ กับครึ่งเซลล์ $\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ ให้ครบวงจร พบว่าเข็มของมิเตอร์เบนเข้าหาขั้วทองแดง แสดงว่าขั้วสังกะสีให้อิเล็กตรอนแก่ $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ ที่อยู่รอบ ๆ ขั้วทองแดงมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสังกะสีกับ $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$

- เมื่อสังกะสีให้อิเล็กตรอนเกิดเป็น $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ ผิวของสังกะสีจะกร่อนไป อิเล็กตรอนจากขั้วสังกะสีจึงเคลื่อนผ่านลวดตัวนำไปยังขั้วทองแดง ทำให้สารละลายสีฟ้ามีสีจางลง ดังนั้นในครึ่งเซลล์ $\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และในครึ่งเซลล์ $\text{Cu(s)}|\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน

- เมื่อนำสองครึ่งเซลล์มาต่อให้ครบวงจรแล้วมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรในครึ่งเซลล์ที่เกิด ปฏิกิริยารีดักชันมีไอออนบวกในสารละลายลดลง ไอออนบวกจากสะพานเกลือจึงเคลื่อนลงไปแทนที่ ขณะเดียวกันไอออนลบจากสารละลายจะแพร่ผ่านสะพานไอออนเพื่อรักษาสมดุลทางไฟฟ้า ส่วนในครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีไอออนบวกในสารละลายเพิ่มขึ้น ไอออนลบจากสะพานเกลือจึงเลื่อนลงมาในสารละลาย และขณะเดียวกันไอออนบวกจากสารละลายก็จะแพร่ผ่านสะพานเกลือเพื่อรักษาสมดุลทางไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นพร้อมกันตลอดเวลา ดังนั้นสะพานเกลือจึงทำหน้าที่รักษาสสมดุลระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบในเซลล์

3.3 ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเขียนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการทดลองระหว่างครึ่งเซลล์ $\text{Cu(s)}|\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ กับครึ่งเซลล์ $\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ บนกระดาน ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้าจากทฤษฎีที่คำนวณจากสมการเนิร์นส์ ($E_{\text{cell}}^0 = +1.10\text{V}$)

ขั้นที่ 4 ขยายความรู้ (elaboration) ดำเนินกิจกรรมดังต่อไปนี้

4.1 ครูให้นักเรียนศึกษาใบความรู้ที่ 3.1 และหนังสือเรียนเพิ่มเติม เล่ม 4 สสวท. แล้วตอบคำถามในใบงานที่ 3.1

4.2 ครูและนักเรียนร่วมกันเฉลยคำตอบใบงานที่ 3.1 และครูตอบข้อซักถามนักเรียนที่ยังไม่เข้าใจ

ขั้นที่ 5 ประเมินผล (evaluation) ดำเนินกิจกรรมดังต่อไปนี้

5.1 นักเรียนสรุปแผนผังมโนทัศน์ปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก

สื่อและแหล่งการเรียนรู้

1. เอกสาร หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 4 สสวท.
2. ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย
3. ใบความรู้ที่ 3.1 เซลล์กัลวานิก
4. ใบกิจกรรมที่ 3.1 ปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก
5. ใบงานที่ 3.1 เซลล์กัลวานิก
6. ใบงานที่ 3.2 สรุปแผนผังเซลล์กัลวานิก
7. วิดีโอการสอน เรื่อง ปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอน
8. แบบบันทึกกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (แผนผังรูปตัวยู)
9. แบบบันทึกผลการประเมินพฤติกรรมด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์
10. ห้องสมุด อินเทอร์เน็ต
11. อุปกรณ์และสารเคมี ดังต่อไปนี้

รายการ	จำนวน/กลุ่ม
สารเคมี	
1. สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) 1.0 M	2 ml
2. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) 1.0 M	1 ml
3. สารละลายซิงค์ซัลเฟต (ZnSO_4) 1.0 M	1 ml
4. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) 1.0 M	1 ml
5. สารละลายไอรอน (II) ซัลเฟต (FeSO_4) 1.0 M	1 ml
6. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) 1.0 M	1 ml
7. สารละลายเลด (II) ไนเตรต ($\text{Pb(NO}_3)_2$) 1.0 M	1 ml
8. สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) 1.0 M	1 ml
9. สารละลายทิน (II) คลอไรด์ (SnCl_2) 1.0 M	1 ml
อุปกรณ์	
1. แผ่นทองแดง ขนาด 0.5 cm X 1.0 cm	1 ชิ้น
2. แผ่นแมกนีเซียม ขนาด 0.5 cm X 1.0 cm	1 ชิ้น
3. แผ่นอะลูมิเนียม ขนาด 0.5 cm X 1.0 cm	1 ชิ้น
4. แผ่นตะกั่ว ขนาด 0.5 cm X 1.0 cm	1 ชิ้น
5. แผ่นเงิน ขนาด 0.5 cm X 1.0 cm	1 ชิ้น
6. แผ่นสังกะสี ขนาด 0.5 cm X 1.0 cm	1 ชิ้น
7. แผ่นดีบุก ขนาด 0.5 cm X 1.0 cm	1 ชิ้น
8. แผ่นเหล็กหรือตะปูเหล็ก ขนาด 0.5 cm X 1.0 cm	1 ชิ้น
9. โวลต์มิเตอร์	1 เครื่อง
10. เส้นด้าย ขนาด 15 cm	4 เส้น
11. แผ่นรองพลาสติก	1 อัน
12. กระดาษทราย ขนาด 0.5 X 1.0 cm	1 ชิ้น
13. จานเพาะเชื้อ	1 ชิ้น
14. หลอดหยด	9 ชิ้น

การวัดและประเมินผล

การวัดและประเมินผล	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การประเมินผล
1. ด้านความรู้ (Knowledge) 1.1 ต่อเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้ พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียน สมการแสดงปฏิกิริยาได้	ประเมินผลจากการตรวจกิจกรรมการเรียนรู้	- ใบงานที่ 3.1-3.2	ทำคะแนนร้อยละ 70 ขึ้นไป
2. ด้านกระบวนการ (Process) 2.1 ทำการทดลองการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก	ประเมินผลจากการรายงานผล การทดลองตามรูปแบบแผนผังรูปตัวยู	แบบประเมินกระบวนการทางวิทยาศาสตร์(แผนผังรูปตัวยู)	ทำคะแนนร้อยละ 70 ขึ้นไป
3. ด้านเจตคติ (Attitude) 3.1 ใฝ่เรียนรู้ 3.2 มุ่งมั่นในการทำงาน	สังเกตพฤติกรรมระหว่างเรียน	แบบประเมินด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์	มีคะแนนคุณลักษณะอันพึงประสงค์ในระดับปานกลางขึ้นไป

บันทึกผลหลังการสอน

1. บันทึกผลการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

2. ปัญหา/อุปสรรค/แนวทางแก้ไข

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ครูผู้สอน

(ลงชื่อ)

(นางมาลัย นามวงษ์)

ตำแหน่ง ครู

แบบประเมินรายงานการทดลองรูปแบบแผนผังรูปตัวยู

ทักษะ กระบวนการทาง วิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน			
	4	3	2	1
1. ทักษะการ ตั้งสมมติฐาน	ตั้งสมมติฐานชัดเจน สอดคล้องกับเนื้อหา และสามารถ ตรวจสอบได้	ตั้งสมมติฐานไม่ ชัดเจน แต่ สอดคล้องกับเนื้อหา และสามารถตรวจ สอบได้	ตั้งสมมติฐานไม่ ชัดเจน ไม่สอดคล้อง กับเนื้อหา แต่สามารถ ตรวจสอบได้	ตั้งสมมติฐานไม่ ชัดเจน ไม่สอดคล้อง กับเนื้อหา และไม่สามารถ ตรวจสอบได้
2. ทักษะการ กำหนดและควบคุมตัวแปร	กำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัว แปรควบคุมได้ ถูกต้องและสมบูรณ์	กำหนดตัวแปรต้น และตัวแปรตามได้ ถูกต้อง แต่ระบุตัว แปรควบคุมไม่ สมบูรณ์	กำหนดตัวแปรต้น และตัวแปรตามได้ ถูกต้อง แต่ระบุตัว แปรควบคุมไม่ ถูกต้อง	กำหนดตัวแปรต้น หรือตัวแปรตาม อย่างใดอย่างหนึ่ง ได้ถูกต้อง

แบบประเมินรายงานการทดลองรูปแบบแผนผังรูปตัวยู (ต่อ)

ทักษะ กระบวนการทาง วิทยาศาสตร์	ระดับคะแนน			
	4	3	2	1
3. ทักษะการออกแบบและวางแผนการทดลอง	ออกแบบและวางแผนการทดลองได้ถูกต้องและสมบูรณ์ เลือกใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ได้เหมาะสม	ออกแบบและวางแผนการทดลองได้ถูกต้อง แต่ยังไม่สมบูรณ์ เลือกใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ได้เหมาะสม	ออกแบบและวางแผนการทดลอง ไม่ถูกต้อง เลือกใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ได้เหมาะสม	ออกแบบและวางแผนการทดลอง ไม่ถูกต้อง และเลือกใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ไม่เหมาะสม
4. ทักษะการออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลอง	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองได้อย่างสมบูรณ์	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองได้สอดคล้องกับการทดลองแต่ไม่สมบูรณ์	ออกแบบตารางหรือบันทึกผลการทดลองไม่สอดคล้องกับการทดลองอย่างใดอย่างหนึ่ง	ออกแบบตารางและบันทึกผลการทดลองไม่สอดคล้องกับการทดลอง
5. ทักษะการแปลความหมายข้อมูล	แปลความหมายข้อมูลหรือบรรยายลักษณะข้อมูลได้ถูกต้องครบถ้วน ชัดเจนและรัดกุม	แปลความหมายข้อมูลหรือบรรยายลักษณะข้อมูลได้ถูกต้องครบถ้วน แต่ไม่ชัดเจนรัดกุม	แปลความหมายข้อมูลหรือบรรยายลักษณะข้อมูลได้ถูกต้องบางส่วน	แปลความหมายข้อมูลหรือบรรยายลักษณะข้อมูลไม่ถูกต้อง
6. ทักษะการสรุปผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	ลงข้อสรุปและอภิปรายผลสอดคล้องกับข้อมูล และครอบคลุมเนื้อหา	ลงข้อสรุปและอภิปรายผลสอดคล้องกับข้อมูล แต่ไม่ครอบคลุมเนื้อหา	ลงข้อสรุปหรืออภิปรายผลสอดคล้องกับข้อมูลแต่ไม่ครอบคลุมเนื้อหา	ลงข้อสรุปและอภิปรายผลไม่สอดคล้องกับข้อมูลและไม่ครอบคลุมเนื้อหา

เกณฑ์การให้คะแนนคุณลักษณะอันพึงประสงค์

1. ใฝ่เรียนรู้

คะแนน/ ความหมาย	คุณลักษณะที่ปรากฏให้เห็น
3/ดีมาก	ตั้งใจเรียน เอาใจใส่ และมีความพยายามในการเรียนรู้ มีส่วนร่วม และเข้าร่วมกิจกรรมในการเรียนรู้ต่าง ๆ เป็นประจำ
2/ดี	ตั้งใจเรียน เอาใจใส่ และมีความพยายามในการเรียนรู้ มีส่วนร่วม และเข้าร่วมกิจกรรมในการเรียนรู้ต่าง ๆ บ่อยครั้ง
1/พอใช้	ตั้งใจเรียน เอาใจใส่ และมีความพยายามในการเรียนรู้ มีส่วนร่วม และเข้าร่วมกิจกรรมในการเรียนรู้ต่าง ๆ เป็นบางครั้ง
0/ควรปรับปรุง	ไม่ตั้งใจเรียน

2. มุ่งมั่นในการทำงาน

คะแนน/ ความหมาย	คุณลักษณะที่ปรากฏให้เห็น
3/ดีมาก	ตั้งใจเรียนและรับผิดชอบในการปฏิบัติงานกลุ่มที่ได้รับมอบหมาย ให้สำเร็จ ลุล่วงมีการปรับปรุงและพัฒนาการทำงานให้ดีขึ้นด้วยตนเอง
2/ดี	ตั้งใจเรียนและรับผิดชอบในการปฏิบัติงานกลุ่มที่ได้รับมอบหมาย ให้สำเร็จ ลุล่วงมีการปรับปรุงและพัฒนาการทำงานให้ดีขึ้น
1/พอใช้	ตั้งใจเรียนและรับผิดชอบในการปฏิบัติงานกลุ่มที่ได้รับมอบหมาย ให้สำเร็จ ลุล่วง
0/ควรปรับปรุง	ไม่ตั้งใจและรับผิดชอบในการปฏิบัติงานกลุ่มที่ได้รับมอบหมาย

ใบความรู้ที่ 3.1 เซลล์กัลวานิก	รายวิชาเคมี 4 รหัสวิชา ว 30224
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าเคมี	ผู้สอน นางมาลัย นามวงษ์

เซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical cell) คือ อุปกรณ์ทางเคมีที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมี แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าเกิดจากสารเคมีทำปฏิกิริยากันในเซลล์ แล้วเกิดกระแสไฟฟ้า เช่น ถ่านไฟฉาย เซลล์อัลคาไลน์ เซลล์ปรอท เซลล์เงิน แบตเตอรี่
2. เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมีเกิดจากการผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารเคมีที่อยู่ในเซลล์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

ส่วนประกอบของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

1. ขั้วไฟฟ้า ซึ่งมี 2 ชนิด คือ
 - ก. ขั้วแอโนด (Active electrode) ได้แก่ ขั้วโลหะทั่วไป เช่น Zn Cu Pb ขั้วพวกนี้บางครั้งโอกาสจะเข้าไปมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาด้วย
 - ข. ขั้วแคโทด (Inert electrode) คือ ขั้วที่ไม่มีส่วนร่วมใด ๆ ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น Pt C (แกรไฟต์)

ในเซลล์ไฟฟ้าหนึ่งๆ จะต้องประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วเสมอ คือ

 1. ขั้วแอโนด (Anode) คือ ขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
 2. ขั้วแคโทด (Cathode) คือ ขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน
2. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) คือ สารที่สถานะเป็นของเหลว นำไฟฟ้าได้ เพราะมีไอออนบวกและลบเคลื่อนที่ไปมา อิเล็กโทรไลต์มี 2 ชนิด คือ
 - ก. สารประกอบไอออนิกหลอมเหลว เช่น $\text{NaCl(s)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$
 - ข. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น สารละลายกรด เบส และเกลือ

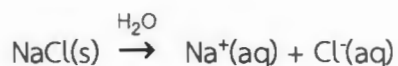
สารละลายกรด

$$\text{HCl(g)} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{H}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$$

สารละลายเบส

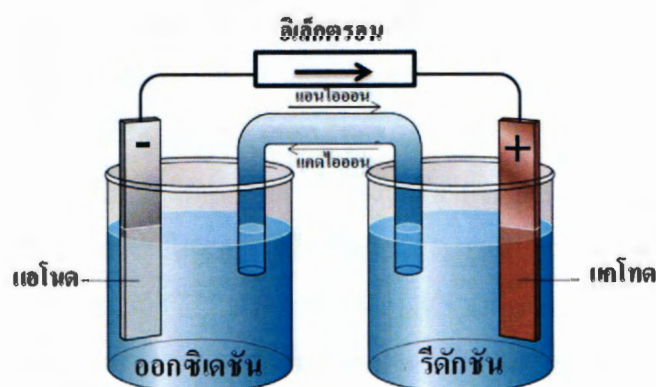
$$\text{NaOH(s)} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$$

สารละลายเกลือ



เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell)

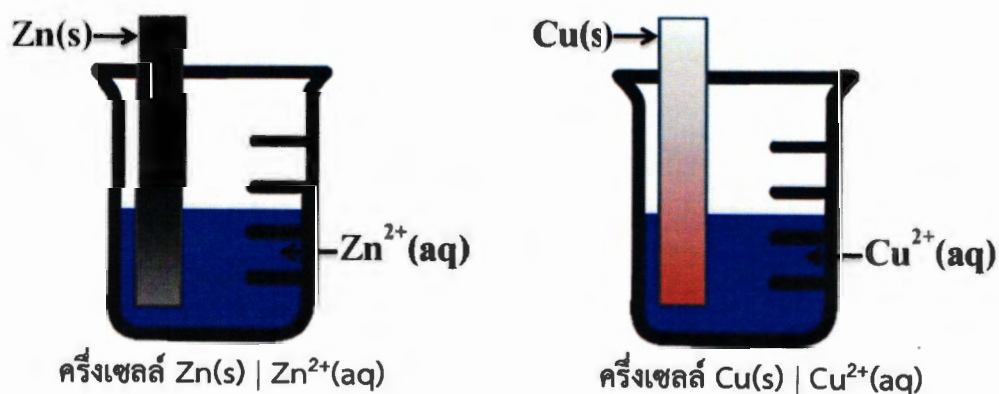
เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไปประกอบด้วยครึ่งเซลล์สองครึ่งเซลล์มาต่อเข้าด้วยกัน และเชื่อมวงจรภายในให้ครบวงจรโดยใช้สะพานเกลือต่อไว้ระหว่างสารละลายในแต่ละครึ่งเซลล์



รูปที่ 1 แสดงอิเล็กตรอนไหลในเซลล์จากขั้วแอโนด (-) ไปยังขั้วแคโทด (+) อิเล็กตรอนเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด และอิเล็กตรอนไหลเข้าหาขั้วแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

ครึ่งเซลล์ (Half cell)

ครึ่งเซลล์ (Half cell) คือ ระบบที่มีสารจุ่มอยู่ในไอออนของสารนั้น ถ้าสารที่จุ่มเป็นโลหะก็ใช้โลหะนั้นเป็นขั้ว เช่น Zn(s) จุ่มใน $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ โดย Zn(s) ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 2 แสดงครึ่งเซลล์สังกะสีและครึ่งเซลล์ทองแดง

ถ้าสารที่จุ่มเป็นแก๊สหรือไอออนของสารในรูปสารละลายจะต้องใช้ขั้วเฉื่อย เช่น ขั้ว Pt หรือขั้ว C (แกรไฟต์) เป็นขั้วแทน เช่น

1. แก๊ส $H_2(g)$ จุ่มใน $H^+(aq)$ โดยมี Pt(s) เป็นขั้ว
2. แก๊ส $Cl_2(g)$ จุ่มใน $Cl^-(aq)$ โดยมี Pt(s) เป็นขั้ว
3. $Fe^{2+}(aq)$ จุ่มในสารละลาย $Fe^{3+}(aq)$ โดยมี Pt(s) เป็นขั้ว

สะพานเกลือ (Salt bridge) หรือสะพานไอออน

สะพานเกลือ (Salt bridge) คือ ตัวเชื่อมต่อวงจรภายในของแต่ละครึ่งเซลล์เข้าด้วยกันให้ครบวงจรไอออนในแต่ละครึ่งเซลล์สามารถไหลผ่านสะพานเกลือนี้ได้ สะพานเกลือเป็นตัวกันไม่ให้สารละลายในครึ่งเซลล์ทั้งสองผสมกัน

สมบัติของสารที่ใช้ทำสะพานเกลือ

1. เป็นสารประกอบไอออนิกที่ละลายน้ำแตกตัวเป็นไอออนได้ดี มีปริมาณไอออนเกิดขึ้นมาก
2. ไอออนต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารใด ๆ ในสารละลายของครึ่งเซลล์ทั้งสอง
3. ไอออนบวกและลบที่แตกตัวได้จากสารต้องมีความสามารถในการเคลื่อนที่เร็วใกล้เคียงกัน
4. สารที่ใช้ทำสะพานไอออนมีหลายชนิด เช่น KNO_3 , KCl และ NH_4Cl
5. ต้องเป็นสารละลายอิ่มตัว ประกอบด้วยไอออนมาก

หน้าที่ของสารที่ใช้ทำสะพานเกลือ

1. ทำให้ครบวงจรไฟฟ้า เพราะเชื่อมทั้งสองเซลล์เข้าด้วยกัน
2. รักษาสมดุลระหว่างไอออนบวกและไอออนลบของสารละลายอิเล็กโทรไลต์แต่ละครึ่งเซลล์ตลอดเวลาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิก โดยไอออนบวกและไอออนลบจะเคลื่อนที่จากสะพานเกลือลงสู่สารละลายในแต่ละครึ่งเซลล์ เพื่อให้ประจุในแต่ละครึ่งเซลล์สมดุล

ลักษณะสำคัญของเซลล์กัลวานิก

1. กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นไฟฟ้ากระแสตรง คือ กระแสอิเล็กตรอน
2. อิเล็กตรอนจะไหลจากครึ่งเซลล์ที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำไปสู่ครึ่งเซลล์ที่มีศักย์ไฟฟ้าสูง
3. เซลล์กัลวานิกต่างชนิดกันจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ต่างกัน และจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับครึ่งเซลล์ที่นำมาต่อกัน
4. เซลล์กัลวานิกที่มีขั้วว่องไวในครึ่งเซลล์ที่แอโนด (ขั้วลบ) โลหะนั้นจะสึกกร่อนและมวลลดลง เพราะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้อิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนบวก ส่วนขั้วแคโทด (ขั้วบวก) จะมีมวลมากขึ้นเพราะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (รับอิเล็กตรอน)
5. ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิกมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

6. เมื่อเกิดอิเล็กทรอนิกส์ไหลนาน ๆ ในวงจรของเซลล์กัลวานิก จะเกิดการสะสมประจุในครึ่งเซลล์ กล่าวคือ ครึ่งเซลล์แอโนดที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดการสะสมประจุบวก และครึ่งเซลล์แคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน จะเกิดการสะสมประจุลบ ทั้งนี้เนื่องจากสะพานไอออนไม่สามารถรักษาภาวะสมดุลของประจุไว้ได้ทัน ทำให้อิเล็กตรอนไหลในวงจรลดลงเป็นผลให้ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ลดลงด้วย และเมื่อแต่ละครึ่งเซลล์สะสมประจุจนถึงขีดหนึ่งจะไม่มีอิเล็กตรอนไหลออกนอกวงจร ขณะนั้นเข็มโวลต์มิเตอร์จะชี้ที่เลขศูนย์ ทั้งนี้เพราะขณะนั้นเกิดภาวะสมดุลเคมีขึ้นในแต่ละครึ่งเซลล์นั้น

กิจกรรมที่ 3.1 ปฏิบัติการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก	รายวิชาเคมี 4 รหัสวิชา ว 30224
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าเคมี	ผู้สอน นางมาลัย นามวงษ์

การปฏิบัติ

ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มศึกษาวิธีการทดลอง ร่วมกันอภิปรายตั้งสมมติฐาน แบ่งหน้าที่รับผิดชอบ ดำเนินการทดลอง บันทึกผลการทดลอง อภิปรายสรุปผลการทดลองร่วมกัน แล้วตอบคำถามท้ายการทดลองให้เรียบร้อย และนำเสนอผลการทดลองตามแบบบันทึกแผนผังรูปตัวยู

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิกได้
2. บอกทิศทางการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก
3. บอกได้ว่าครึ่งเซลล์ใดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือปฏิกิริยารีดักชันได้
4. บอกหน้าที่ของสะพานเกลือได้

สารเคมีและอุปกรณ์

สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) 1.0 M
2. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) 1.0 M
3. สารละลายซิงค์ซัลเฟต (ZnSO_4) 1.0 M
4. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) 1.0 M
5. สารละลายไอรอน (II) ซัลเฟต (FeSO_4) 1.0 M
6. สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) 1.0 M
7. สารละลายเลด (II) ไนเตรต ($\text{Pb(NO}_3)_2$) 1.0 M
8. สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) 1.0 M
9. สารละลายทิน (II) คลอไรด์ (SnCl_2) 1.0 M

อุปกรณ์

1. โลหะทองแดง (Cu) แมกนีเซียม (Mg) อะลูมิเนียม (Al) ตะกั่ว (Pb) เงิน (Ag) สังกะสี (Zn) ดีบุก (Sn) และเหล็กหรือตะปูเหล็ก (Fe) ขนาด 0.5 cm X 1.0 cm
2. เครื่องโวลต์มิเตอร์และสายไฟฟ้าพร้อมที่เสียบ
3. เส้นด้าย
4. แผ่นรองพลาสติก

5. กระดาษทราย

6. จานเพาะเชื้อ

7. หลอดหยด

คำแนะนำเกี่ยวกับการทดลอง

1. ใช้กระดาษทรายขัดชิ้นโลหะให้สะอาด
2. สังเกตลักษณะของชิ้นโลหะและสีของสารละลายก่อนทำการทดลอง

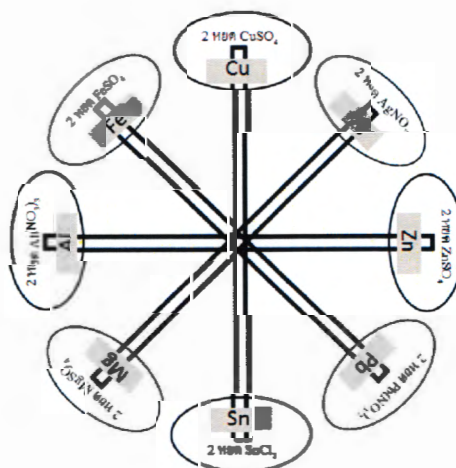
วิธีการทดลอง

1. ตัดเส้นด้าย ความยาวประมาณ 15 cm จำนวน 4 เส้น (ควรนำเส้นด้ายแช่น้ำ 1 นาที เพื่อให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมเข้าไปในเส้นด้ายได้ดีขึ้น) รวมเส้นด้าย 4 เส้นเข้าด้วยกันแล้วมัดกึ่งกลางของเส้นด้าย แบ่งเส้นด้ายออกเป็น 8 ส่วนเท่าๆ กัน ดังภาพข้างล่าง

2. นำแผ่นโลหะทองแดง (Cu) เงิน (Ag) สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) ดีบุก (Sn) อะลูมิเนียม (Al) แมกนีเซียม (Mg) และเหล็ก (Fe) มัดเข้ากับปลายเส้นด้ายแต่ละเส้น

3. หยดสารละลายโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) เข้มข้น 1.0 M ลงบนเส้นด้ายให้ซึมเข้าไปในเส้นด้ายทั้งหมด แล้วหยดสารละลายที่มีไอออนของโลหะชนิดเดียวกันกับแผ่นโลหะลงบนเส้นด้ายตำแหน่งที่มัดติดกับแผ่นโลหะ จำนวน 1-2 หยด เช่น หยดสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (CuSO_4) เข้มข้น 1.0 M ลงไปบนเส้นด้ายตำแหน่งที่มัดติดกับแผ่นโลหะทองแดง (Cu)

4. วัดความต่างศักย์ระหว่างสองครึ่งเซลล์ โดยแตะขั้วของมัลติมิเตอร์เข้ากับแผ่นโลหะ ขั้วละ 1 แผ่น ทดลองสลับขั้วของโวลต์มิเตอร์ อย่างน้อย 2 ครั้ง สลับขั้วของโวลต์มิเตอร์ สังเกตทิศทางการเบนของเข็มโวลต์มิเตอร์และอ่านค่าความต่างศักย์ บันทึกศักย์ไฟฟ้าเมื่อความต่างศักย์ที่อ่านได้มีค่าเป็นบวก ทำการวัดศักย์ไฟฟ้าซ้ำแต่เปลี่ยนคู่ของโลหะจนครบทุกคู่



คำถามท้ายการทดลอง

1. เมื่อต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างครึ่งเซลล์แต่ละคู่ มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเกิดขึ้นหรือไม่ ทราบได้อย่างไร

.....

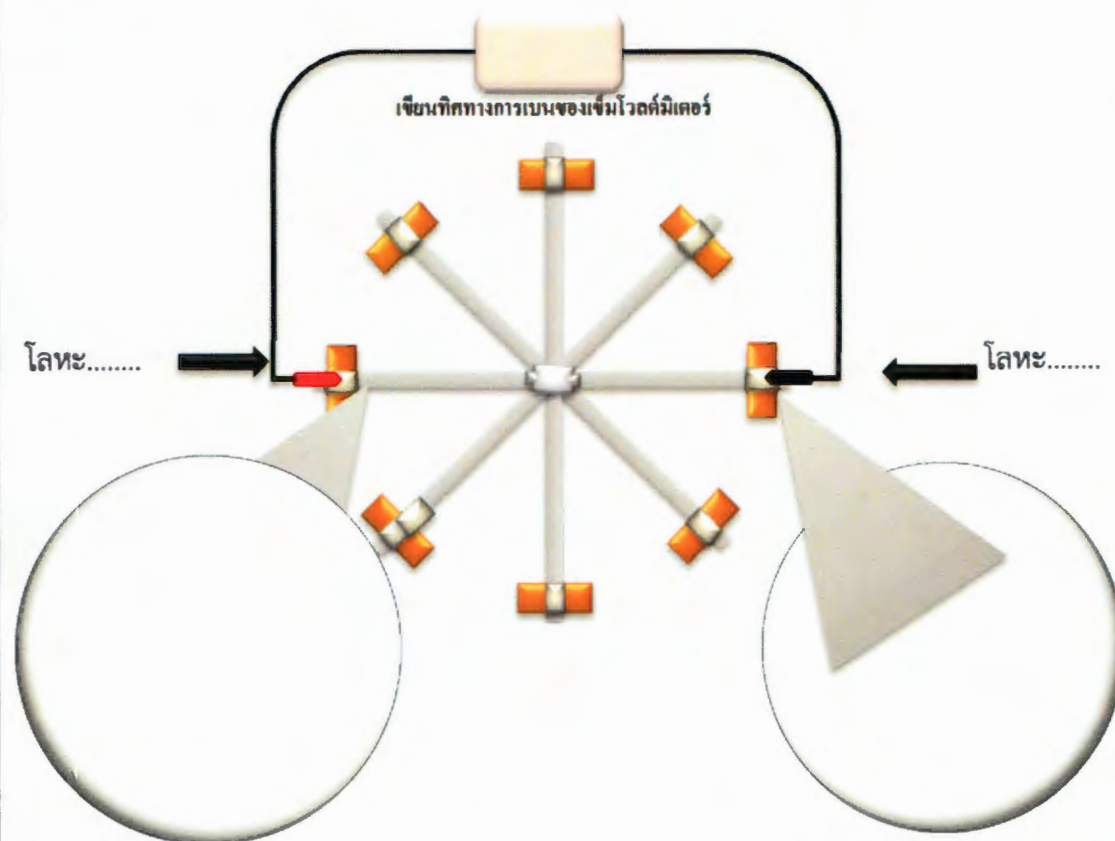
2. นักเรียนคิดว่าสะพานเกลือทำหน้าที่อย่างไร

.....

.....

....

3. เมื่อพิจารณาครึ่งเซลล์คู่ระหว่างขั้วทองแดงกับขั้วสังกะสี ให้นักเรียนเขียนรูปภาพแสดงปฏิกิริยาของเซลล์กัลวานิก



ขั้ว.....

ปฏิกิริยา :

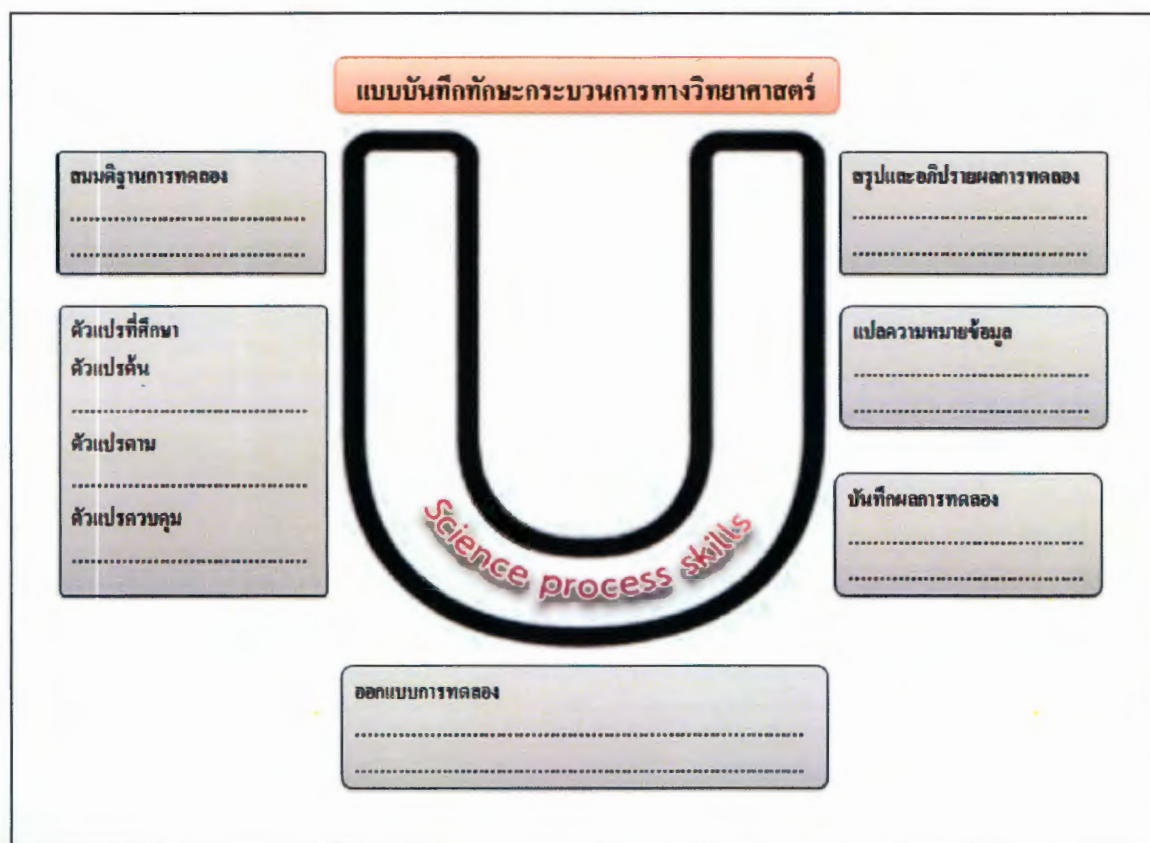
สมการ :

ขั้ว.....

ปฏิกิริยา :

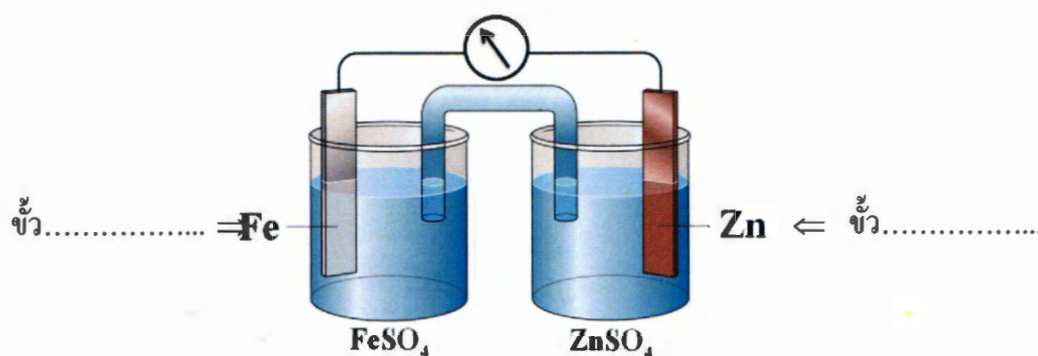
สมการ :

สมการปฏิกิริยารีดอกซ์ :



ใบงานที่ 3.1 เซลล์กัลวานิก	รายวิชาเคมี 4 รหัสวิชา ว 30224
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าเคมี	ผู้สอน นางมาลัย นามวงษ์
ชื่อ..... ชั้น.....เลขที่.....	

1. จากรูปจงเติมข้อความในช่องว่างให้สมบูรณ์



การนำครึ่งเซลล์ $\text{Fe(s)}|\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ มาต่อกับครึ่งเซลล์ $\text{Zn(s)}|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ และทำให้ครบวงจร พบว่าเข็มโวลต์มิเตอร์เบนจากขีดศูนย์ไปทางครึ่งเซลล์.....(อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ออกจากขั้วไฟฟ้า.....ของเซลล์กัลวานิกไปยังขั้วไฟฟ้า.....) แสดงว่า ครึ่งเซลล์.....

เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เขียนสมการได้ดังนี้..... ดังนั้นครึ่งเซลล์..... จึงเกิดปฏิกิริยารีดักชัน เขียนสมการได้ดังนี้..... ปฏิกิริยารีดอกซ์ของเซลล์ที่เกิดขึ้นนี้ เขียนสมการแสดงได้ดังนี้.....

2. สะพานเกลือทำหน้าที่

คือ.....

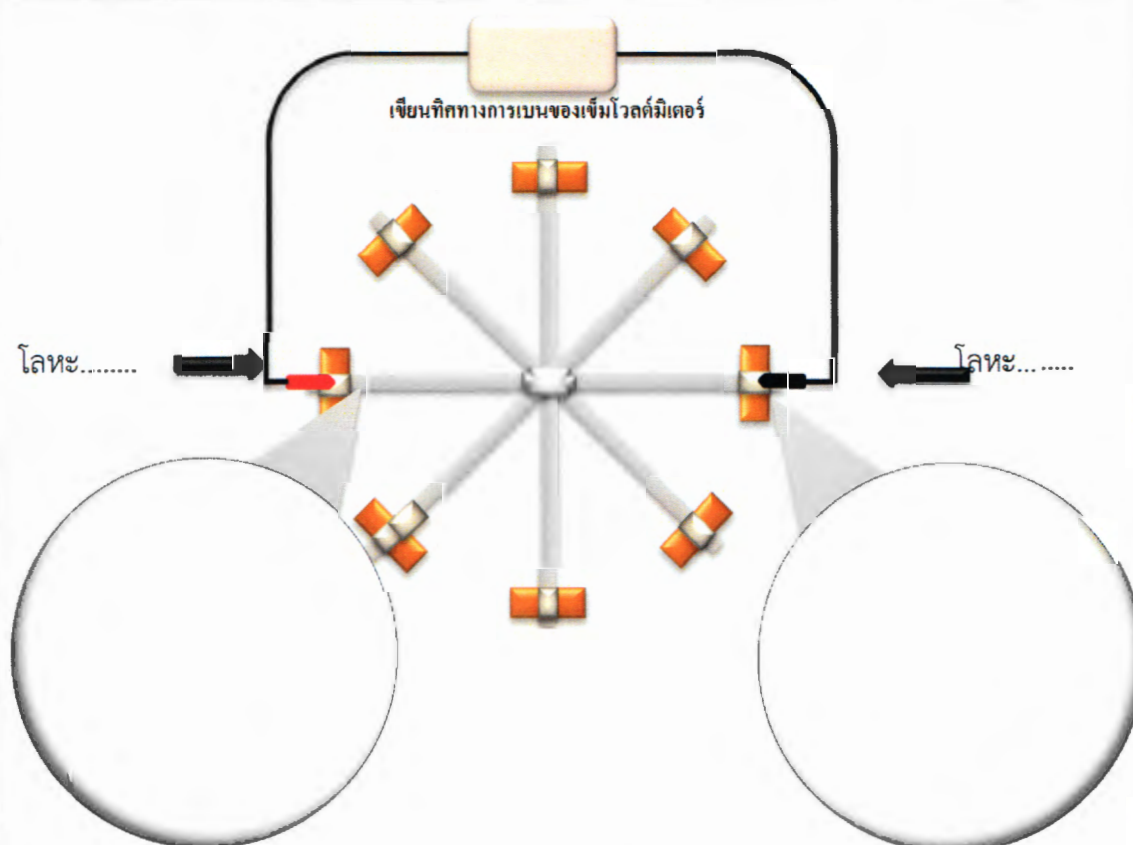
3. อิเล็กตรอนจะไหลจากศักย์ไฟฟ้าที่มีลักษณะอย่างไร

4. อิเล็กตรอนจะหยุดไหลเมื่อ

ใบงานที่ 3.2 สรุปแผนผังเซลล์กัลวานิก	รายวิชาเคมี 4 รหัสวิชา ว 30224
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าเคมี	ผู้สอน นางมาลัย นามวงษ์
ชื่อ..... ชั้น.....	
เลขที่.....	

คำชี้แจง: จากสถานการณ์ที่กำหนดให้นักเรียนเติมข้อความและวาดภาพปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิกให้สมบูรณ์

เมื่อต่อครึ่งเซลล์ $A(s)|A^{2+}(aq)$ กับครึ่งเซลล์ $B(s)|B^{2+}(aq)$ พบว่าเข็มมิเตอร์เบนไปทางขั้ว A



ขั้ว.....

ปฏิกิริยา :

สมการ :

สมการปฏิกิริยารีดอกซ์ :

ขั้ว.....

ปฏิกิริยา :

สมการ :

ภาคผนวก ข
แบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่องเซลล์กลีวานิก



แบบทดสอบวัดความเข้าใจ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ไฟฟ้าเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ รายวิชาเคมี 4 รหัสวิชา ว30224 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

- คำชี้แจง : 1. แบบทดสอบเป็นแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก 3 ลำดับชั้น จำนวน 10 ข้อ มี 3 ส่วน ดังนี้
- ส่วนที่ 1 ตอบตัวเลือก จำนวน 4 ตัวเลือก
 - ส่วนที่ 2 เหตุผลแบบปลายเปิดที่สนับสนุนการตอบตัวเลือกในส่วนที่ 1
 - ส่วนที่ 3 แสดงระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก จำนวน 5 ระดับ
2. เขียนเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในช่อง ☐ ตัวเลือกที่นักเรียนคิดว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องเพียงข้อเดียวในส่วนที่ 1 พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบตัวเลือกในส่วนที่ 2 อย่างละเอียด และทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในช่อง ☐ ที่ตรงกับระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือกเพียงระดับเดียวในส่วนที่ 3
3. หากต้องการเปลี่ยนคำตอบให้ขีดเครื่องหมาย (X) แล้วจึงเลือกคำตอบที่ถูกต้องใหม่
4. ห้ามนักเรียนทดเลขลงในแบบทดสอบ

ตัวอย่าง ข้อ 00. โมเลกุลของไนโตรเจน (N_2) อะตอมทั้งสองสร้างพันธะกันแบบใด

- ☐ ก. พันธะเดี่ยว
- ☐ ข. พันธะคู่
- ☒ ค. พันธะสาม
- ☐ ง. พันธะโลหะ

ระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก

- ☐ คาดเดา
- ☐ ไม่มั่นใจอย่างมาก
- ☒ ไม่มั่นใจ
- ☐ มั่นใจ
- ☐ มั่นใจอย่างมาก

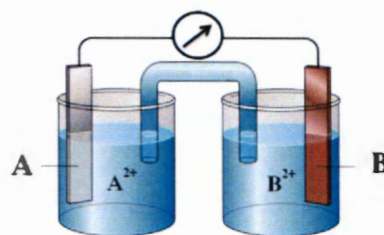
เหตุผลประกอบตัวเลือก



เนื่องจากโมเลกุลของไนโตรเจน (N_2) ใช้วาเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่

คำถามที่ 1

จากรูปแสดงปฏิกิริยาของเซลล์กัลวานิก ในเซลล์ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ $A(s)|A^{2+}(aq)$ กับ $B(s)|B^{2+}(aq)$ ข้อใดระบุขั้วไฟฟ้าและเขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ถูกต้อง



- ☐ ก. ขั้ว A เป็นขั้วแอโนด ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด : $A^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow A(s)$
- ☐ ข. ขั้ว A เป็นขั้วแคโทด ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด : $A(s) \rightarrow A^{2+}(aq) + 2e^-$
- ☐ ค. ขั้ว B เป็นขั้วแอโนด ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด : $B(s) \rightarrow B^{2+}(aq) + 2e^-$
- ☐ ง. ขั้ว B เป็นขั้วแคโทด ปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด : $B^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow B(s)$

เหตุผลประกอบตัวเลือก

.....

.....

.....

.....

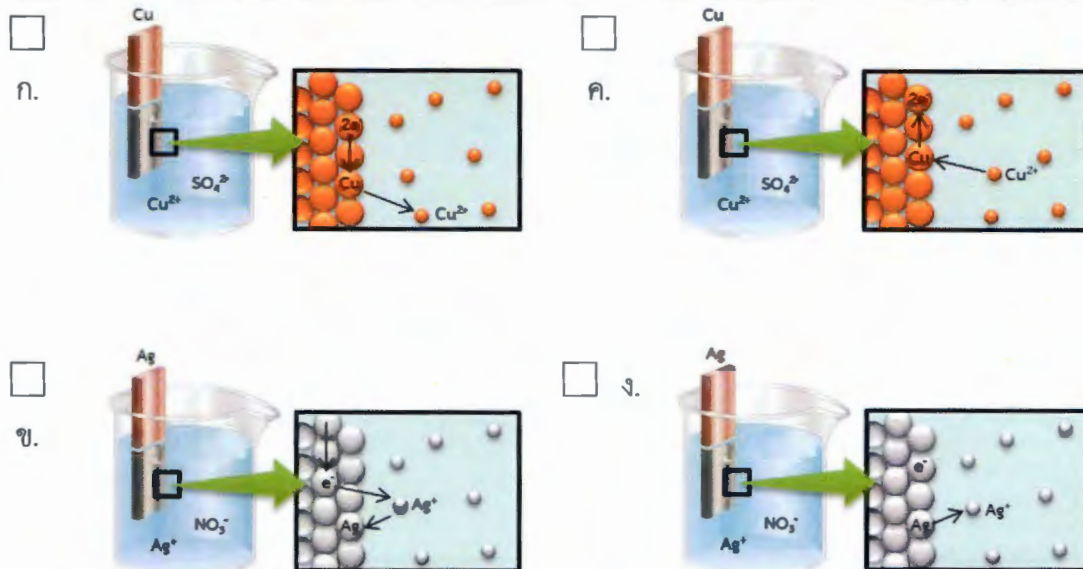
.....

.....ระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก

- ☐ คาดเดา ☐ ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ ไม่มั่นใจ ☐ มั่นใจ ☐ มั่นใจอย่างมาก

คำถามที่ 2

ในการทดลองนำครึ่งเซลล์ $Cu(s)|Cu^{2+}(aq, 1 \text{ mol/dm}^3)$ กับครึ่งเซลล์ $Ag(s)|Ag^+(aq, 1 \text{ mol/dm}^3)$ มาต่อเป็นเซลล์กัลวานิก ปรากฏว่าเข็มโวลต์มิเตอร์เบนเข้าหาขั้ว Ag แผนภาพใดที่แสดงปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดที่เกิดขึ้นจากการทดลอง



เหตุผลประกอบตัวเลือก

.....

.....

.....

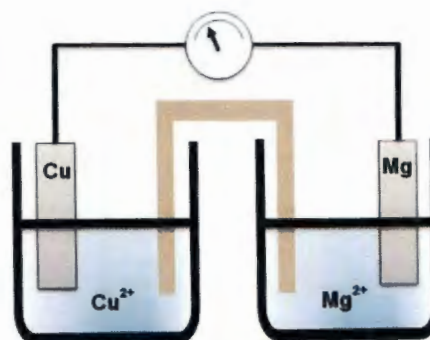
.....

.....ระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก

☐ คาดเคา ☐ ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ ไม่มั่นใจ ☐ มั่นใจ ☐ มั่นใจอย่างมาก

คำถามที่ 3

ภาพเซลล์กัลวานิกนี้ ในเซลล์ประกอบด้วยครึ่งเซลล์
หนึ่งมีโลหะ Cu จุ่มในสารละลาย Cu^{2+} และอีกครึ่ง
เซลล์หนึ่งมีโลหะ Mg จุ่มในสารละลาย Mg^{2+} ข้อใด
เขียนปฏิกิริยาของเซลล์ที่เกิดขึ้นได้ถูกต้อง



- ☐ ก. $\text{Mg(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$
- ☐ ข. $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Mg(s)} + \text{Cu(s)}$
- ☐ ค. $\text{Cu(s)} + \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Mg(s)}$
- ☐ ง. $\text{Mg(s)} + \text{Cu(s)} \rightarrow \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu}^{2+}(\text{aq})$

เหตุผลประกอบตัวเลือก

.....

.....

.....

.....

ระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก

☐ คาดเดา ☐ ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ ไม่มั่นใจ ☐ มั่นใจ ☐ มั่นใจอย่างมาก

คำถามที่ 4

พิจารณาปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิกต่อไปนี้



ข้อใดเขียนแผนภาพของเซลล์กัลวานิกได้ถูกต้อง

- ☐ ก. $\text{Ag}^+(\text{aq})|\text{Ag(s)}||\text{Sn(s)}|\text{Sn}^{2+}(\text{aq})$ ☐ ค. $\text{Ag(s)}|\text{Ag}^+(\text{aq})||\text{Sn}^{2+}(\text{aq})|\text{Sn(s)}$
- ☐ ข. $\text{Sn}^{2+}(\text{aq})|\text{Sn(s)}||\text{Ag(s)}|\text{Ag}^+(\text{aq})$ ☐ ง. $\text{Sn(s)}|\text{Sn}^{2+}(\text{aq})||\text{Ag}^+(\text{aq})|\text{Ag(s)}$

เหตุผลประกอบตัวเลือก

.....

.....

.....

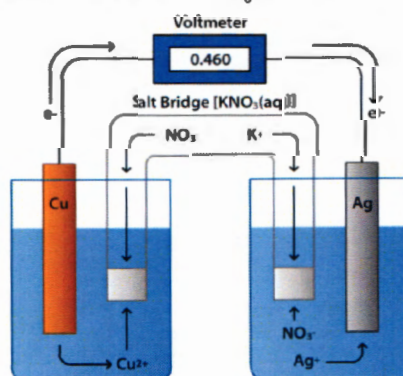
.....

ระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก

☐ คาดเดา ☐ ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ ไม่มั่นใจ ☐ มั่นใจ ☐ มั่นใจอย่างมาก

คำถามที่ 5

ในการต่อครึ่งเซลล์ดังรูป ข้อใดเขียนแผนภาพเซลล์ได้ถูกต้อง



☐ ก. $\text{Ag}^+(\text{aq})|\text{Ag}(\text{s})||\text{Cu}^{2+}(\text{aq})|\text{Cu}(\text{s})$
☐ ข. $\text{Ag}(\text{s})|\text{Ag}^+(\text{aq})||\text{Cu}^{2+}(\text{aq})|\text{Cu}(\text{s})$
☐ ค. $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})|\text{Cu}(\text{s})||\text{Ag}(\text{s})|\text{Ag}^+(\text{aq})$
☐ ง. $\text{Cu}(\text{s})|\text{Cu}^{2+}(\text{aq})||\text{Ag}^+(\text{aq})|\text{Ag}(\text{s})$

เหตุผลประกอบตัวเลือก

.....

.....

.....

ระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก

☐ คาดเดา

☐ ไม่มั่นใจอย่างมาก

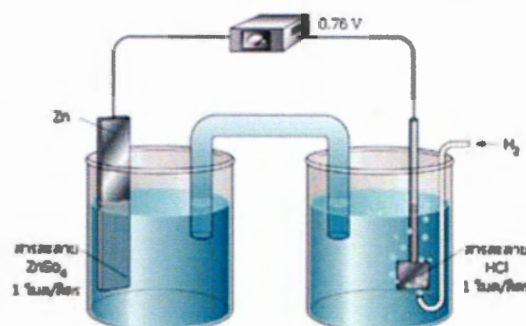
☐ ไม่มั่นใจ

☐ มั่นใจ

☐ มั่นใจอย่างมาก

คำถามข้อที่ 6

เมื่อต่อครึ่งเซลล์ $\text{Zn}(\text{s})|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ กับ
ขั้วไฟฟ้า H_2 ดังรูป ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง


☐ ก. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากครึ่งเซลล์ $\text{Zn}(\text{s})|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ สู่ขั้วไฟฟ้า H_2
☐ ข. ครึ่งเซลล์ $\text{Zn}(\text{s})|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ รับอิเล็กตรอนได้ดีกว่าขั้วไฟฟ้า H_2
☐ ค. ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเองได้

☐ ง. ครึ่งเซลล์ $\text{Zn}(\text{s})|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์ (E°) เป็นลบ

เหตุผลประกอบตัวเลือก

.....

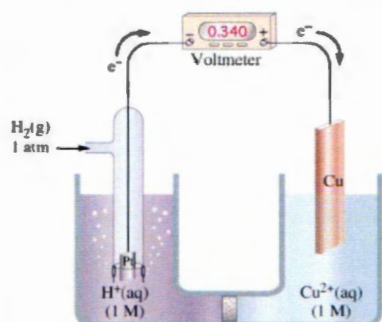
.....

.....

ระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก

☐ คาดเดา ☐ ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ ไม่มั่นใจ ☐ มั่นใจ ☐ มั่นใจอย่างมาก

คำถามที่ 7



ครึ่งเซลล์ไฟฟ้าประกอบด้วยแท่งโลหะทองแดงจุ่มในสารละลาย Cu^{2+} เข้มข้น 1 M และอีกครึ่งเซลล์ประกอบด้วยแท่ง Pt จุ่มในสารละลาย H^+ เข้มข้น 1 M ซึ่งมีแก๊สไฮโดรเจนความดัน 1 atm เมื่อต่อครึ่งเซลล์ไฟฟ้า ปรากฏว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็น +0.34 V ค่าศักย์ไฟฟ้า (E^0) ของโลหะทองแดงมีค่ากี่โวลต์

☐ ก. 0.00 โวลต์ ☐ ค. +0.34 โวลต์

☐ ข. -0.34 โวลต์ ☐ ง. +0.76 โวลต์

เหตุผลประกอบตัวเลือก

.....

.....

.....

ระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก

☐ คาดเดา ☐ ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ ไม่มั่นใจ ☐ มั่นใจ ☐ มั่นใจอย่างมาก

คำถามที่ 8

กำหนดค่า E^0 ของปฏิกิริยาดังนี้



ปฏิกิริยาใดเกิดขึ้นเองไม่ได้



เหตุผลประกอบตัวเลือก

.....

.....

.....

.....

ระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก

☐ คาดเดา ☐ ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ ไม่มั่นใจ ☐ มั่นใจ ☐ มั่นใจอย่างมาก

คำถามที่ 9

กำหนดข้อมูลให้ดังนี้



ข้อสรุปในข้อใดไม่ถูกต้อง

☐ ก. ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E°) ของปฏิกิริยา (3) มีค่าเท่ากับ +1.90 โวลต์

☐ ข. ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ (E°_{cell}) ของปฏิกิริยามีค่าเป็นลบปฏิกิริยาเกิดขึ้นเองไม่ได้

☐ ค. การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริง เขียนสมการแสดงได้ดังนี้ $\text{A}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{B(s)} \rightarrow \text{A(s)} + 2\text{B}^+(\text{aq})$

☐ ง. ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E°) ของปฏิกิริยา (2) สูงกว่าปฏิกิริยา (3)

จึงเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

เหตุผลประกอบตัวเลือก

.....

.....

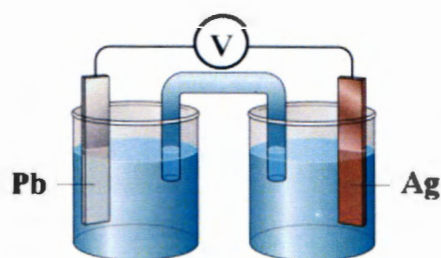
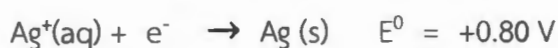
.....

ระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก

☐ คาดเดา ☐ ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ ไม่มั่นใจ ☐ มั่นใจ ☐ มั่นใจอย่างมาก

คำถามที่ 10

เมื่อนำครึ่งเซลล์ $\text{Pb(s)}|\text{Pb}^{2+}(\text{aq})$ กับครึ่งเซลล์
 $\text{Ag(s)}|\text{Ag}^+(\text{aq})$ มาต่อเป็นเซลล์กัลวานิกดังรูป ศักย์ไฟฟ้า
 มาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) เป็นดังนี้



ข้อสรุปใดไม่ถูกต้อง

- ☐ ก. ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์นี้ (E^0_{cell}) มีค่าเท่ากับ +0.67 โวลต์
- ☐ ข. โลหะตะกั่ว (Pb) ให้อิเล็กตรอน เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- ☐ ค. ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเองได้ เนื่องจากค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ (E^0_{cell}) ของปฏิกิริยามีค่าเป็นบวก
- ☐ ง. โลหะเงิน (Ag) เป็นขั้วแคโทด เพราะค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) สูงกว่า

เหตุผลประกอบตัวเลือก

.....

.....

.....

.....

ระดับความเชื่อมั่นประกอบตัวเลือก

☐ คาดเดา ☐ ไม่มั่นใจอย่างมาก ☐ ไม่มั่นใจ ☐ มั่นใจ ☐ มั่นใจอย่างมาก

ภาคผนวก ค

แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์กลีวานิก
จากชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

**แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน
ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้เรื่องเซลล์กลีวานิกจากชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย**

คำชี้แจง

1. แบบสอบถามฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความคิดเห็นและความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์กลีวานิก จากชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย ในรายวิชาเคมี 4 รหัสวิชา ว30224 เพื่อนำผลการประเมินไปใช้พัฒนาและปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนของนักเรียนต่อไป โดยผลการประเมินจะไม่มีผลต่อผลการเรียนของนักเรียนแต่อย่างใด โดยแบ่งเกณฑ์การประเมินได้ 5 ระดับ ดังนี้

- ค่าคะแนน 5 นักเรียนพึงพอใจมากที่สุด
 ค่าคะแนน 4 นักเรียนพึงพอใจมาก
 ค่าคะแนน 3 นักเรียนพึงพอใจปานกลาง
 ค่าคะแนน 2 นักเรียนพึงพอใจน้อย
 ค่าคะแนน 1 นักเรียนพึงพอใจน้อยที่สุด

2. กรุณาตอบแบบสอบถามให้ตรงกับความคิดเห็นของนักเรียนมากที่สุด เกี่ยวกับสิ่งที่เกิดขึ้นกับกิจกรรมนี้ โดยให้นักเรียนทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่นักเรียนเห็นว่าตรงกับความรู้สึกของนักเรียนเพียงช่องเดียว/คำถามเท่านั้น

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของนักเรียน

เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้

รายการประเมิน	ความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
ก) ด้านกิจกรรมการทดลอง					
1) ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายมีความน่าสนใจ					
2) ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายสามารถทำได้ง่าย					
3) ชุดการทดลองอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น					
4) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนเพียงพอกับนักเรียน					

รายการประเมิน	ความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
ข) ด้านกิจกรรมการเรียนการสอน					
5) ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน แลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันในระหว่างเรียน					
6) ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และกระตุ้นให้นักเรียนคิดอย่างมีเหตุผล					
7) นักเรียนมีการพัฒนาทักษะการทำการทดลอง					
8) เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำการทดลองด้วยตนเอง					
ค) ด้านครูสอน					
9) ครูผู้สอนเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ปรึกษาและซักถามข้อสงสัยในการทดลอง					
10) ครูผู้สอนให้ความสนใจในการตอบคำถามแก่นักเรียนเมื่อเกิดข้อสงสัย					
ขอขอบคุณที่ตอบแบบประเมินฯ					

ภาคผนวก ง
คุณภาพของเครื่องมือ

ตารางที่ ง.1 ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่อง เซลล์กัลวานิก

จุดประสงค์	ข้อที่	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	แปลผล
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3		
1) ต่อเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้ พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาได้	1	1	1	1	1	ใช้ได้
	2	1	1	1	1	ใช้ได้
	3	1	1	1	1	ใช้ได้
	4	1	1	1	1	ใช้ได้
	5	1	1	1	1	ใช้ได้
2) เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้	6	1	1	1	1	ใช้ได้
	7	1	1	1	1	ใช้ได้
	8	1	1	1	1	ใช้ได้
	9	1	1	1	1	ใช้ได้
	10	1	1	1	1	ใช้ได้
3) อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E^0) โดยการเปรียบเทียบกับครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐานได้	11	1	1	1	1	ใช้ได้
	12	1	1	1	1	ใช้ได้
	13	1	1	1	1	ใช้ได้
	14	1	1	1	1	ใช้ได้
	15	1	1	1	1	ใช้ได้
4) ใช้ค่า (E^0) ของครึ่งเซลล์คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้	16	1	1	1	1	ใช้ได้
	17	1	1	1	1	ใช้ได้
	18	1	1	1	1	ใช้ได้
	19	1	1	1	1	ใช้ได้
	20	1	1	1	1	ใช้ได้

ตารางที่ ง.2 แสดงผลค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) รายข้อของแบบทดสอบวัด
ความเข้าใจ จำนวน 20 ข้อ

ข้อ	ลำดับชั้น	p	r	หมายเหตุ	ข้อ	ลำดับชั้น	p	r	หมายเหตุ
1	ตัวเลือก	0.62	0.31	ใช้ได้	11	ตัวเลือก	0.69	0.46	ใช้ได้
	เหตุผล	0.46	0.15	ปรับปรุง		เหตุผล	0.54	0.62	ใช้ได้
2	ตัวเลือก	0.42	0.38	ใช้ได้	12	ตัวเลือก	0.50	0.38	ใช้ได้
	เหตุผล	0.31	0.31	ใช้ได้		เหตุผล	0.46	0.31	ใช้ได้
3	ตัวเลือก	0.42	0.38	ใช้ได้	13	ตัวเลือก	0.69	0.31	ใช้ได้
	เหตุผล	0.35	0.23	ใช้ได้		เหตุผล	0.62	0.46	ใช้ได้
4	ตัวเลือก	0.72	0.33	ใช้ได้	14	ตัวเลือก	0.65	0.38	ใช้ได้
	เหตุผล	0.58	0.54	ใช้ได้		เหตุผล	0.46	0.31	ใช้ได้
5	ตัวเลือก	0.54	0.15	ปรับปรุง	15	ตัวเลือก	0.65	0.38	ใช้ได้
	เหตุผล	0.35	0.23	ใช้ได้		เหตุผล	0.31	0.31	ใช้ได้
6	ตัวเลือก	0.69	0.31	ใช้ได้	16	ตัวเลือก	0.73	0.08	ปรับปรุง
	เหตุผล	0.42	0.23	ใช้ได้		เหตุผล	0.46	0.15	ปรับปรุง
7	ตัวเลือก	0.54	0.31	ใช้ได้	17	ตัวเลือก	0.54	0.46	ใช้ได้
	เหตุผล	0.38	0.31	ใช้ได้		เหตุผล	0.46	0.31	ใช้ได้
8	ตัวเลือก	0.58	0.08	ปรับปรุง	18	ตัวเลือก	0.69	0.62	ใช้ได้
	เหตุผล	0.50	0.08	ปรับปรุง		เหตุผล	0.50	0.54	ใช้ได้
9	ตัวเลือก	0.54	0.31	ใช้ได้	19	ตัวเลือก	0.54	0.31	ใช้ได้
	เหตุผล	0.35	0.08	ปรับปรุง		เหตุผล	0.50	0.38	ใช้ได้
10	ตัวเลือก	0.62	0.15	ปรับปรุง	20	ตัวเลือก	0.38	0.46	ใช้ได้
	เหตุผล	0.46	0.00	ปรับปรุง		เหตุผล	0.23	0.31	ใช้ได้

หมายเหตุ: ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบโดยใช้สูตร KR-20 ของ Kuder Richardson มีค่าเท่ากับ

0.81

ตารางที่ ง.3 ผลการวิเคราะห์หาค่าความตรงเชิงเนื้อหาของแบบสำรวจความพึงพอใจ โดยใช้
ดัชนีความสอดคล้อง

รายการความคิดเห็น	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	แปลผล
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3		
1) สอดคล้องกับวัตถุประสงค์	1	1	1	1	เหมาะสม
2) เนื้อหารายละเอียดครอบคลุม	1	1	1	1	เหมาะสม
3) จำนวนข้อมีความเหมาะสม	1	1	1	1	เหมาะสม
4) ภาษาเข้าใจง่ายเหมาะสมกับระดับ ของนักเรียน	1	1	1	1	เหมาะสม
5) ความถูกต้องของการใช้ภาษา	1	1	1	1	เหมาะสม

ภาคผนวก จ
การวิเคราะห์คะแนนของนักเรียน

ตารางที่ จ.1 ผลการประเมินความเข้าใจก่อนเรียน เรื่องเซลล์กลาวิก (ต่อ)

ข้อ	รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
3	กลุ่มความเข้าใจ	กข	กข	กข	กข	PU&MU	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข
	คำตอบ	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	เหตุผล	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ความมั่นใจ	2	2	1	3	1	2	1	2	5	4	4	3	2	2	2	3	4	1	2	2	3	3	2	3	4	2	1	3	3
4	แปลผล	กข	กค	กค	กข	กข	กค	กข	กข	กข	กข	กข	กค	กค	กค	กค	กข	กข	กข	กค	กข	กข	กข	กค	กค	กค	กค	กข	กข	กข
	กลุ่มความเข้าใจ	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	PU&MU	กข	กข	กข	กข
	คำตอบ	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	เหตุผล	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	ความมั่นใจ	4	3	2	3	3	4	3	4	4	2	4	2	2	2	1	1	3	1	3	3	3	3	2	2	3	2	3	2	4
	แปลผล	กค	กค	กค	กข	กข	กค	กค	กค	กค	กข	กค	กค	กค	กข	กค	กข	กข	กข	กค	กข	กข	กข	กข	กข	กค	กค	กค	กค	กค
	กลุ่มความเข้าใจ	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	กข	PU&MU
	คำตอบ	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
6	เหตุผล	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ความมั่นใจ	4	1	4	3	2	2	3	2	4	4	2	1	4	2	3	2	4	2	4	4	4	1	4	2	2	4	1	2	4
	แปลผล	กค	กค	กค	กค	กข	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค	กค

ตารางที่ จ.1 ผลการประเมินความเข้าใจก่อนเรียน เรื่องเซลล์กลไก (ต่อ)

ข้อ	รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
9	ความ มั่นใจ	4	4	4	1	1	4	1	4	2	4	3	4	4	1	1	1	1	1	2	4	1	2	2	2	2	1	4	1	
	แปลผล	IC	IC	CIC	III	III	IC	III	IC	III	IC	III	IC	IC	IC	IC	III	III	IC	IC	III	IC	III	III	III	III	III	IC	III	
	กลุ่ม ความ เข้าใจ	MU	MU	PU&MU	NU	NU	MU	NU	MU	NU	MU	NU	MU	MU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	MU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	MU	NU	
10	เหตุผล	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	ความ มั่นใจ	4	1	2	2	1	3	4	2	5	3	4	2	1	3	4	3	4	1	3	2	3	1	1	4	1	1	3	2	1
	แปลผล	CIC	III	CCU	CIC	III	III	IC	CIC	IC	III	IC	CIC	CIC	CCU	CCU	IC	III	IC	III	III	III	III	III	IC	III	CIC	III	IC	CCU
	กลุ่ม ความ เข้าใจ	MU	MU	PU&MU	NU	PU&MU	NU	NU	NU	MU	MU	NU	NU	NU	MU	MU	NU	NU	MU	NU	NU	NU	NU	PU&MU	MU	NU	NU	MU	NU	NU

หมายเหตุ: SU คือ เข้าใจถูกต้อง, PU คือ เข้าใจถูกต้องบางส่วน, PU&MU เข้าใจถูกต้องและเข้าใจคลาดเคลื่อนบางส่วน,
MU คือ เข้าใจคลาดเคลื่อน, NU คือ ไม่มีความเข้าใจ

ตารางที่ จ.2 ผลการประเมินความเข้าใจหลังเรียน เรื่องเซลล์กลวอนิก

ข้อ	รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	คำตอบ	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	เหตุผล	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1
	ความมั่นใจ	4	4	5	3	4	4	4	5	4	4	4	4	5	5	5	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3	4	4	5	4
	แปลผล	CCC	III	CCC	CCC	CCC	CIC	CIC	CCC	III	CIC	III	CIC	CIC	CCC	CCC	CIC	CIC	CIC	CIC	CIC	III	CIC	CCC	CCC	CIC	CIC	CCC	CIC	CCC
	กลุ่มความเข้าใจ	SU	MU	SU	PU	SU	PU&MU	PU&MU	SU	MU	PU&MU	MU	PU&MU	SU	SU	SU	SU	NU	PU	NU	SU	NU	NU	SU	SU	NU	PU&MU	SU	PU&MU	SU
2	คำตอบ	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	เหตุผล	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	ความมั่นใจ	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4	3	4	3	3	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	5
	แปลผล	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	III	CIC	III	CCC	CCC	CCC	CCC	CIC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC
	กลุ่มความเข้าใจ	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	MU	PU&MU	MU	SU	SU	SU	SU	PU	PU&MU	PU	PU	SU	SU	PU	SU	SU	PU	SU	SU	SU	SU
3	คำตอบ	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
	เหตุผล	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1
	ความมั่นใจ	5	4	5	3	3	4	3	4	5	3	4	3	5	4	5	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	4	4	3	4
	แปลผล	CCC	CIC	CCC	CCC	CIC	CCC	CIC	III	CIC	III	CIC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CIC	CIC	CIC	CIC	CIC	CIC	III	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC
	กลุ่มความเข้าใจ	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	MU	PU&MU	MU	SU	SU	SU	SU	PU	PU&MU	PU	PU	SU	SU	PU	SU	SU	PU	SU	SU	SU	SU

ตารางที่ จ.2 ผลการประเมินความเข้าใจหลังเรียน เรื่องหลักกลไก (ต่อ)

ข้อ	รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
3	กลุ่มความเข้าใจ	SU	PU&MU	SU	PU	NU	SU	NU	SU	MU	PU&MU	NU	PU&MU	PU	SU	SU	NU	NU	NU	SU	NU	NU	NU	NU	SU	PU	MU	SU	PU	SU
	คำตอบ	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	เหตุผล	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1
	ความมั่นใจ	4	4	5	5	4	4	4	4	4	5	4	3	3	5	5	3	4	3	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4	4
4	แปลผล	CC	CCC	CCC	CC	CCC	CC	CC	CC	CC	CC	CC	CC	CC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCU	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCU	CCC	CCC	CCC	CCC
	กลุ่มความเข้าใจ	PU&MU	SU	SU	PU&MU	SU	PU&MU	PU&MU	PU&MU	MU	MU	PU&MU	NU	SU	SU	SU	PU	SU	NU	SU	SU	PU	SU	PU&MU	PU	SU	NU	PU&MU	PU&MU	SU
	คำตอบ	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
	เหตุผล	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
5	ความมั่นใจ	5	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	3	3	4
	แปลผล	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC
	กลุ่มความเข้าใจ	SU	PU&MU	SU	SU	SU	MU	SU	SU	MU	PU&MU	MU	PU	PU&MU	SU	PU	PU&MU	SU	PU&MU	PU&MU	SU	NU	NU	SU	PU	PU	PU&MU	PU	PU	SU
	คำตอบ	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
6	เหตุผล	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1
	ความมั่นใจ	5	4	5	4	3	5	3	5	4	4	4	5	4	4	5	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4
	แปลผล	CC	CCC	CCC	CC	CCC	CCU	CCU	CC	CC	CC	CC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC

ตารางที่ จ.2 ผลการประเมินความเข้าใจหลังเรียน เรื่องเซลล์กลวานิก (ต่อ)

ข้อ	รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
6	กลุ่มความเข้าใจ	PU&MU	SU	SU	PU	SU	SU	NU	PU&MU	PU&MU	MU	MU	SU	SU	SU	SU	PU	SU	MU	SU	SU	PU&MU	NU	PU	MU	SU	PU&MU	SU	PU	SU
	คำตอบ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
	เหตุผล	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
	ความมั่นใจ	4	3	5	3	3	4	3	4	4	3	4	5	5	4	3	4	4	3	4	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4
7	แปลผล	CC	CCU	CCC	CCU	CCU	CC	CCU	CC	CC	III	CC	III	CCC	CCC	III	CCC	CCC	III	CCC	CCC	CCU	CCU	CC	III	CCU	CCC	CCU	CCC	CCC
	กลุ่มความเข้าใจ	PU&MU	PU	SU	PU	PU&MU	NU	PU&MU	PU&MU	PU&MU	NU	PU&MU	MU	SU	SU	NU	SU	NU	SU	MU	SU	PU	PU&MU	PU	MU	NU	SU	NU	SU	SU
	คำตอบ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	เหตุผล	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1
8	ความมั่นใจ	4	4	5	5	4	3	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	3	4	4
	แปลผล	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	III	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCU	CCC	CCC	III	CCU	CCC	CCC	CCC	CCC
	กลุ่มความเข้าใจ	SU	SU	SU	SU	SU	PU	SU	SU	PU&MU	MU	PU&MU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	SU	NU	NU	NU	SU	MU	NU	SU	NU	SU	SU
	คำตอบ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	เหตุผล	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1
	ความมั่นใจ	5	4	5	3	4	3	3	4	4	4	4	5	4	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	4	4	3	4	3	5
	แปลผล	CC	CCC	CCC	CCU	CCC	CCC	CC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC	CCC

ตารางที่ จ.2 ผลการประเมินความเข้าใจหลังเรียน เรื่องเซลล์กลวามิก (ต่อ)

ข้อ	รายการ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
9	กลุ่มความเข้าใจ	PU&MU	SU	SU	NU	SU	PU	NU	SU	PU&MU	PU&MU	PU&MU	SU	SU	PU	NU	PU	PU	SU	SU	PU	PU	NU	PU	SU	PU&MU	PU	PU&MU	PU	SU
	คำตอบ	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	เหตุผล	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1
	ความมั่นใจ	5	4	5	4	3	3	4	4	4	4	4	5	4	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	4	5
10	แปลผล	CCC	CCC	CCC	CCC	NU	CU	CU	CCC	IC	IC	CU	CCC	CCC	CU	CU	CU	CU	CU	CU	CU	CU	CCC	CCC	CCC	CCC	CU	CCC	CCC	CCC
	กลุ่มความเข้าใจ	SU	SU	SU	SU	NU	PU	PU&MU	SU	MU	MU	PU&MU	SU	SU	CU	CU	CU	PU	PU&MU	NU	PU	CU	NU	SU	SU	PU&MU	SU	NU	SU	SU

หมายเหตุ: SU คือ เข้าใจถูกต้อง, PU คือ เข้าใจถูกต้องบางส่วน, PU&MU เข้าใจถูกต้องและเข้าใจคลาดเคลื่อนบางส่วน, MU คือ เข้าใจคลาดเคลื่อน, NU คือ ไม่มีความเข้าใจ

ตารางที่ จ.3 ค่าความต่างของคะแนนวัดความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อน และ
หลัง การจัดการเรียนรู้ เรื่องเซลล์กลวานิก

นักเรียนคนที่	คะแนนความเข้าใจ (คะแนนเต็ม 20 คะแนน)		คะแนนผลต่าง
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	
1	1	16	15
2	6	16	10
3	11	20	9
4	5	16	11
5	3	18	15
6	5	18	13
7	3	11	8
8	2	15	13
9	0	5	5
10	1	4	3
11	3	6	3
12	4	16	12
13	9	19	10
14	7	20	13
15	7	17	10
16	5	16	11
17	0	14	14
18	3	15	12
19	5	17	12
20	2	17	15
21	1	10	9
22	3	14	11
23	4	16	12
24	2	12	10
25	5	15	10
26	4	15	11

ตารางที่ จ.3 ค่าความต่างของคะแนนวัดความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและ
หลังการจัดการเรียนรู้ เรื่องเซลล์กลวานิก (ต่อ)

นักเรียนคนที่	คะแนนความเข้าใจ (คะแนนเต็ม 20 คะแนน)		คะแนนผลต่าง
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	
27	4	16	12
28	1	18	17
29	6	20	14

ตารางที่ จ.4 ค่าร้อยละของนักเรียนที่ตอบตัวเลือกถูก ตอบเหตุผลถูก และตอบตัวเลือกและ
เหตุผลถูก ก่อนเรียนและหลังเรียน

ข้อที่	ร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจ					
	ตอบตัวเลือกถูก		ตอบเหตุผลถูก		ตอบตัวเลือกและเหตุผลถูก	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
1	17.24	86.21	0.00	48.28	0.00	48.28
2	58.62	93.10	0.00	86.21	0.00	86.21
3	24.14	86.21	0.00	51.72	0.00	48.28
4	37.93	93.10	0.00	58.62	0.00	58.62
5	37.93	79.31	0.00	65.52	0.00	58.62
6	48.28	79.31	0.00	58.62	0.00	58.62
7	44.83	79.31	0.00	48.28	0.00	48.28
8	34.48	93.10	6.90	68.97	6.90	68.97
9	20.69	100.00	0.00	62.07	0.00	62.07
10	34.48	89.66	13.79	65.52	13.79	65.52
เฉลี่ย	35.86	87.93	2.07	61.38	2.07	60.35

ภาคผนวก ฉ

ภาพประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่าย
ที่ทำจากเส้นด้าย



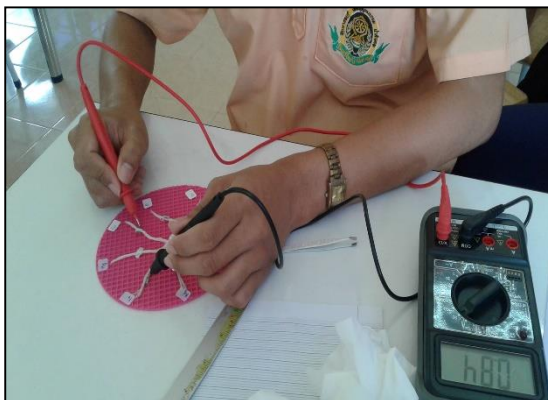
ฉ.1 ขั้นตอนการเตรียมเส้นด้าย



ฉ.2 ขั้นตอนการมัดแผ่นโลหะเข้ากับปลายเส้นด้าย



ฉ.3 ขั้นตอนการหยดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ลงบนเส้นด้าย



ฉ.4 ขั้นตอนการทดลองวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า



ฉ.5 บรรยากาศขณะทำการทดลอง

ภาคผนวก ข

บทความที่เผยแพร่ในวารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม
เพื่อการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



Research Unit on Science, Technology
and Environment for Learning
STEL
Faculty of Science
Sinakharinwirot University

หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
โทรศัพท์ 02-649-5000 ต่อ 18306 โทรสาร 02-260-0127

ที่ STEL075/2560

10 ตุลาคม 2560

เรื่อง ตอบรับการลงบทความตีพิมพ์ในวารสาร (ต้นฉบับที่ 011-60)

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสนอ ชัยรัมย์

ตามที่ท่านมีความประสงค์ส่งบทความ เรื่อง “การสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อศึกษาไฟฟ้าเคมี” ของ มาลัย สว่างภพ ปุริม จารุจรัส มะลิวรรณ อมตธงไชย สุภาพ ตามเมือง และเสนอ ชัยรัมย์ เพื่อเผยแพร่ในวารสารของหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นั้น บัดนี้บทความของท่านได้ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้ว มีมติรับและจะดำเนินการลงตีพิมพ์บทความเรื่องนี้ในวารสารฯ เล่ม 8 ฉบับ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2560)

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ
บรรณาธิการ JSTEL

วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (2560)

การสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อศึกษาไฟฟ้าเคมี

มาลัย สว่างภพ¹ ปุริม จารุจรัส² มะลิวรรณ อมตงไชย²
สุภาพ ตาเมือง² และเสนอ ชัยรัมย์^{2*}

¹หลักสูตรวิทยาศาสตรศึกษา และ ²ภาควิชาเคมี 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) สารละลายโลหะและสารละลายโพแทสเซียมไนเตรดทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า ไอออนของโลหะ และอิเล็กโทรไลต์ ตามลำดับ ในบทความงานวิจัยนี้ นอกจากเส้นด้ายทำหน้าที่เป็นตัวรองรับปฏิกิริยาระหว่างแต่ละครึ่งเซลล์แล้ว ยังทำหน้าที่เป็นสะพานเกลือสำหรับอิเล็กโทรไลต์ด้วย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ให้ผลที่ไม่แตกต่างกับทฤษฎีที่คำนวณจากสมการของเนิร์นสต์ ชุดอุปกรณ์นี้ยังสามารถศึกษาผลของความเข้มข้นที่มีต่อแรงเคลื่อนทางไฟฟ้าได้อีกด้วย ชุดอุปกรณ์นี้สามารถนำไปประยุกต์เป็นสื่อการสอนเคมีไฟฟ้าสำหรับนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาเนื่องจากง่ายต่อการสร้างเซลล์กัลวานิก

คำสำคัญ: เซลล์กัลวานิก เส้นด้าย ไฟฟ้าเคมี ชั้นมัธยมศึกษา

Fabrication of Simple Galvanic Cells Using Cotton Thread to Investigate Electrochemistry

**Malai Sawangpop¹, Purim Jarujamrus², Maliwan Amatatongchai²,
Suparb Tamuang² and Sanoë Chairam^{2*}**

¹Program of Science Education, and ²Department of Chemistry, Faculty of Science,
Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

*E-mail: sanoë.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) ขั้วไฟฟ้าเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าได้อย่างน้อยสองขั้ว (ชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน) ขั้วไฟฟ้าส่วนใหญ่

ทำมาจากโลหะและทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านโดยมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาหรือไม่เกิดปฏิกิริยา 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 วิชูปกพา กล้องถ่ายรูป ของเล่น และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เซลล์กัลวานิกมีหลายแบบตามชนิดของโลหะและไอออนของโลหะ เซลล์แดเนียล (Daniel cell) เป็นเซลล์ที่นิยมนำมาสร้างเป็นแบบสำหรับ

การศึกษา เพราะมีราคาถูก ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ที่มีขั้วไฟฟ้าเป็นแท่งสังกะสีจุ่มในสารละลาย ZnSO_4 เข้มข้น 1.0 M และครึ่งเซลล์ที่มีขั้วไฟฟ้าเป็นแท่งทองแดงจุ่มในสารละลาย CuSO_4 เข้มข้น 1.0 M ครึ่งเซลล์ทั้งสองเชื่อมต่อกันด้วยเส้นลวดตัวนำ เราสามารถวัดความต่างศักย์ได้โดยใช้โวลต์มิเตอร์ (Suwannapruet, 2014) ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ (cell potential) เป็นการวัดความแตกต่างระหว่างศักย์ของขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว (แอโนดและแคโทด) ของเซลล์ ซึ่งศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แทนด้วย E_{cell}^0 โดยศักย์ของแต่ละขั้วไฟฟ้าหมายถึงศักย์ในการเกิดรีดักชันของขั้วไฟฟ้านั้น เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐาน (standard reduction potentials) ซึ่งเขียนเป็น E_{red}^0 ส่วนศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ E_{cell}^0 หมายถึงศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของปฏิกิริยาที่แคโทด E_{red}^0 (แคโทด) ลบศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของปฏิกิริยาที่แอโนด E_{red}^0 (แอโนด) ดังในสมการที่ (1)

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

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) ได้พัฒนาเซลล์กัลวานิก โดยเน้นการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริงด้วย

ชุดการทดลองที่ประดิษฐ์มาจากกระดาษ สามารถส่งเสริมความรู้ความเข้าใจของนักเรียนในวิชาเคมีได้เป็นอย่างดี

ปัจจุบันเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้เป็นอุปกรณ์ในการศึกษาไฟฟ้าเคมีในโรงเรียนยังคงใช้ชุดอุปกรณ์และสารเคมีที่มีราคาแพง วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ทดลองจะกลายเป็นของเสีย หากไม่มีระบบการกำจัดที่ดีจะกลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่นักวิจัยจะต้องศึกษาเพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาเหล่านี้ เช่น ประยุกต์ใช้วัสดุอุปกรณ์ทางเลือกที่หาได้ง่ายและราคาถูก ลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ให้น้อย ลดการใช้สารเคมีที่อาจทำให้เกิดอันตรายกับนักเรียน ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย (cotton thread) เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนสำหรับการทดลองไฟฟ้าเคมี เซลล์กัลวานิกที่ทำจากเส้นด้ายนี้นอกจากจะขั้นตอนในการสร้างขึ้นที่ง่ายแล้วยังมีต้นทุนต่ำ ใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อยและปลอดภัยกับนักเรียนด้วย และน่าจะเป็นที่สนใจสำหรับครูเคมีในการนำไปเป็นสื่อการสอนสำหรับการจัดการเรียนการสอนไฟฟ้าเคมีในระดับชั้นมัธยมศึกษา

วัสดุ/อุปกรณ์ และสารเคมี

วัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยเส้นด้าย แผ่นโลหะทองแดง เงิน สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม และแมกนีเซียม สำหรับทำขั้วไฟฟ้า เครื่องมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล กระดาษทรายเนื้อละเอียดสำหรับขัดและทำความสะอาดแผ่นโลหะ หลอดหยดพลาสติก แผ่นรองพลาสติก เครื่องแก้วสำหรับเตรียมสารละลาย สารเคมีที่ใช้เตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์และสารละลายที่ใช้คู่กับขั้วไฟฟ้าโลหะ ได้แก่ KNO_3

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ AgNO_3 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ $\text{Pb(NO}_3)_2$ $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ MgSO_4 และ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

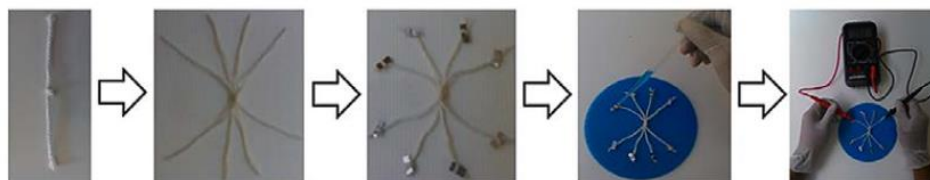
การสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย

ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายมีขั้นตอนในการสร้างดังนี้ ตัดเส้นด้ายความยาวประมาณ 15 cm จำนวน 4 เส้นมัดกึ่งกลางของเส้นด้าย โดยแบ่งเส้นด้ายออกเป็น 8 เส้นเท่า ๆ กัน จากนั้นมัดแผ่นโลหะทองแดง เงิน สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม และแมกนีเซียมเข้ากับปลายเส้นด้ายแต่ละเส้น หยดสารละลาย KNO_3 เข้มข้น 1.0 M ลงบนตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นด้ายที่มีตรววมกันเพื่อให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมเข้าไปในเส้นด้าย หยดสารละลายที่มีไอออนของโลหะชนิดเดียวกันกับแผ่นโลหะลงไปในบนเส้นด้ายตำแหน่งที่มัดติดกับแผ่นโลหะ จำนวน 2 หยด เช่น หยดสารละลาย CuSO_4 เข้มข้น 1.0 M ลงไปในบนเส้นด้ายตำแหน่งที่มัดติดกับแผ่นโลหะทองแดง วัดความต่างศักย์ระหว่างสองครึ่งเซลล์ที่สนใจโดยใช้มัลติมิเตอร์บันทึกศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้และวัดศักย์ไฟฟ้าจนครบทุกเซลล์ (ภาพที่ 1)

เซลล์ความเข้มข้น (concentration cell)

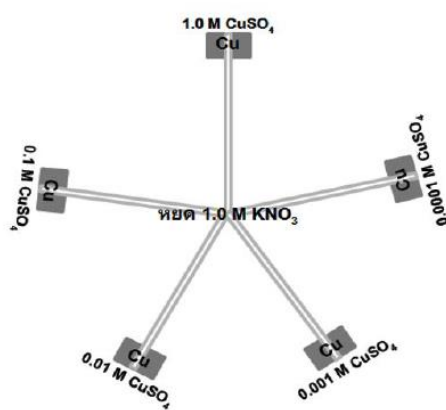
การสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายเพื่อศึกษาเซลล์ความเข้มข้นมีขั้นตอนเช่นเดียวกับเซลล์กัลวานิก แต่แบ่งเส้นด้ายจำนวนที่น้อยกว่า เช่น แบ่งเส้นด้ายออกเป็น 5 เส้น เลือกครึ่งเซลล์ขั้วไฟฟ้าที่สนใจมา 1 ชนิด เช่น เซลล์ความเข้มข้นของทองแดง จากนั้นมัดแผ่นโลหะทองแดงเข้ากับปลายเส้นด้ายแต่ละเส้น หยดสารละลาย KNO_3 เข้มข้น 1.0 M

วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (2560)



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

ลงบนเส้นด้ายให้ซึมเข้าไปในเส้นด้ายทั้งหมด แล้วหยดสารละลาย CuSO_4 เข้มข้น 0.0001 M, 0.0010 M, 0.0100 M, 0.1000 M และ 1.0000 M ตามลำดับ ลงบนเส้นด้ายแต่ละเส้นในตำแหน่งที่มิดชิดกับแผ่นโลหะทองแดง จำนวน 2 หยด (ภาพที่ 2) จากนั้นวัดความต่างศักย์ระหว่างสองเครื่องเซลล์ด้วยมัลติมิเตอร์ บันทึกศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้และวัดศักย์ไฟฟ้าจนครบทุกเซลล์ความเข้มข้น



ภาพที่ 2 เซลล์ความเข้มข้นของ CuSO_4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การสร้างชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้แสดงดังในภาพที่ 1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วยเส้นด้าย (ความยาว 15 เซนติเมตร) มีราคาถูก และใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ปริมาณน้อยที่ประกอบด้วยขั้วไฟ

ฟ้า Cu Ag Zn Pb Sn Fe Al และ Mg จะเห็นได้ว่าวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้หาซื้อได้ง่ายในห้องตลาด และมีราคาถูก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Eggen and Skaugrud (2012) สร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่าย Three-part galvanic cell ซึ่งนักเรียนสามารถทำได้ง่าย ใช้เวลาในการทดลองน้อยและอุปกรณ์ที่ใช้สร้างเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายมีราคาถูก ในทำนองเดียวกัน Khattiyavong et al. (2014) ได้พัฒนาชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วน และต้นทุนต่ำที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 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 ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองเครื่องเซลล์ที่วัดได้ทั้งหมดมีจำนวน 28 คู่เซลล์ หลัง

จากนำค่าที่ได้จากการทดลองด้วยชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายมาเปรียบเทียบกับค่าทฤษฎีที่คำนวณจากสมการเนินสต์ (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) หรือธาตุเรพรีเซนต์ (representative element) โลหะเหล่านี้มักจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์รีดักชันต่ำ Al มีค่า $E^0 = -2.36$ V ส่วน Al มีค่า $E^0 = -1.66$ V ดังนั้นโลหะทั้งสองจึงมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ง่ายและกลายเป็นชั้นโลหะออกไซด์ เช่น MgO และ Al_2O_3 ที่เคลือบเป็นชั้นบาง ๆ ปกคลุมอยู่บนผิวของแผ่นโลหะที่ใช้เป็นอิเล็กโทรด

การประยุกต์ใช้เซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายมาศึกษาเซลล์ความเข้มข้น ผู้วิจัยได้สร้างเซลล์ความเข้มข้นที่มีขั้วไฟฟ้าเป็นโลหะทองแดงในสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 0.0001 M, 0.001 M, 0.0100 M, 0.1000 M และ 1.0000 M ตามลำดับ (ภาพที่ 2) ผู้วิจัยวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองครึ่งเซลล์ จำนวน 4 คู่เซลล์ นำค่าศักย์ไฟฟ้าจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่คำนวณจากสมการเนินสต์ตามสมการที่ (2) ได้ผลดังในตาราง 2

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

เมื่อ E_{cell} คือ ศักย์ไฟฟ้าที่ไม่ใช่สภาวะมาตรฐาน

ตาราง 1 เปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการทดลองกับทฤษฎีที่คำนวณจากสมการเนินสต์

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_{cell}^0 คือ ศักย์ไฟฟ้าที่สภาวะมาตรฐาน

n คือจำนวนโมลของอิเล็กตรอนที่ถ่ายโอนในคู่เซลล์ปฏิกิริยา

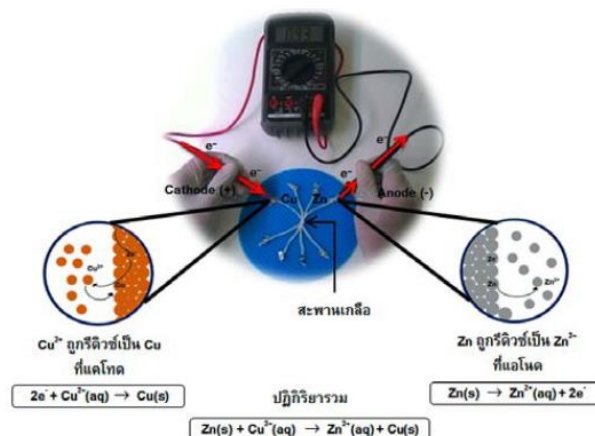
Q คือ อัตราส่วนผลคูณความเข้มข้น

ตาราง 2 เปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วของเซลล์ความเข้มข้นจากการทดลองกับทฤษฎีที่คำนวณจากสมการเนิร์นสต์

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

ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้เป็นอย่างดีโดยอาศัยการอธิบายปฏิกิริยาระดับจุลภาค (submicroscopic level) (ภาพที่ 3)

ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้มีข้อดีคือ มีต้นทุนต่ำ เนื่องจากวัสดุคือเส้นด้ายมีราคาถูก และใช้สารเคมีใน



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

ปริมาณน้อย เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง สามารถวัดค่าศักย์ไฟฟ้าได้หลายคู่เซลล์ นอกจากนี้สารเคมีที่เป็นของเสียจากการทดลองมีปริมาณน้อยลง ทำให้ปลอดภัยกับนักเรียน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้จะเป็นที่น่าสนใจสำหรับครูสำหรับนำไปใช้เป็นสื่อการสอนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าเคมีได้เป็นอย่างดี

สรุปผลการวิจัย

ชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่

ทำจากเส้นด้ายที่สร้างขึ้นนี้ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าโลหะทองแดง เงิน สังกะสี ตะกั่ว ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม และแมกนีเซียม วัดค่าศักย์ไฟฟ้าได้จำนวน 28 คู่เซลล์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองศึกษาเซลล์ความเข้มข้นได้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎีที่คำนวณจากสมการเนิร์นสต์ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการศึกษาเซลล์ไฟฟ้าเคมีได้ นอกจากนี้เซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายยังมีต้นทุนต่ำ วัสดุหาได้ง่ายในท้องตลาด การทดลอง

ลองทำได้ง่ายไม่ยุ่งยากใช้เวลาทดลองภายใน 1 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้ายนี้ใช้สารเคมีปริมาณน้อยและคำนึงถึงความปลอดภัยของนักเรียนเป็นสำคัญ

ข้อเสนอแนะ

เซลล์กัลวานิกอย่างง่ายที่ทำจากเส้นด้าย สามารถนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้เรื่องไฟฟ้าเคมี สำหรับโรงเรียนที่ขาดแคลนวัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีในการทดลอง สามารถพัฒนาให้เข้ากับการเรียนรู้และบริบทของโรงเรียนได้ ก่อนนำไปติดตั้งกับแผ่นโลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า ควรนำเส้นด้ายชุบน้ำพอลิเมอร์ ๑ ชั้นตอนนี้ช่วยทำให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึมเข้าไปในเส้นด้ายได้ง่ายขึ้น โลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าต้องใช้กระดาษทรายขัดให้สะอาด เช็ดและล้างขั้วไฟฟ้าให้สะอาดทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารละลายต่างชนิดกัน สำหรับผู้ที่วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์ ควรสวมถุงมือยางขณะทดลอง ระมัดระวังอย่าให้สารละลายซิลเวอร์ในเตรตสัมผัสผิวหนัง เพราะจะทำให้ผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทำความสะอาดยาก โลหะหนักอันตรายโดยเฉพาะตะกั่วให้ทิ้งลงในขวดทิ้งสารเพื่อนำไปกำจัดอย่างถูกวิธีต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุนจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ตามแผนดำเนินงานโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สควท.) ระยะที่ 3 (พ.ศ. 2556–2561) และขอขอบคุณคณาจารย์เคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหา-

วิทยาลัยอุบลราชธานี

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., Supasom, S., Amatongchai, 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., Supasom, 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. (in Thai)
- Suwannapruet, R. (2014). **General Chemistry 2**. Bangkok: Witayaphat. (in Thai)
- Whitten, K. W., Davis, R. E., Peck, L. M., and Stanley, G. G. (2007). **Chemistry**. 8th ed. Belmont, USA: Thomson Brooks/Cole.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางมาลัย นามวงษ์
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2549-พ.ศ.2553 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี พ.ศ.2554-2556 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ประกาศนียบัตรบัณฑิตวิชาชีพครู พ.ศ.2556-2558 มหาวิทยาลัยปทุมธานี ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาบริหารการศึกษา (M.Ed.)
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2554-ปัจจุบัน
ตำแหน่ง	ครู
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนบ้านตาอุด อำเภออุทุมพรพิสัย จังหวัดศรีสะเกษ