



การพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะ  
กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

THE DEVELOPMENT OF SMALL-SCALE LABORATORY IN ELECTROCHEMISTRY TO  
IMPROVE THE CONCEPT OF ELECTROCHEMISTRY AND SCIENCE PROCESS SKILLS  
FOR HIGH SCHOOL

สุดสาคร หมายขม

การพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะ  
กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
ปีการศึกษา 2566  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THE DEVELOPMENT OF SMALL-SCALE LABORATORY IN ELECTROCHEMISTRY TO  
IMPROVE THE CONCEPT OF ELECTROCHEMISTRY AND SCIENCE PROCESS SKILLS  
FOR HIGH SCHOOL



SUTSAKON MAICHOM

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of MASTER OF EDUCATION  
(Chemistry)

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2023

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะ  
กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ของ

สุดสาคร หมายชม

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ..... ประธาน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศรีวิไล) (รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ลีกิจวัฒน์)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.อิทธิพล สังเวียนวงศ์)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
ผู้วิจัย	สุดสาคร หมายชม
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ ศรีวิไล

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ที่มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์และศึกษาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนดังกล่าว เมื่อพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนแล้วได้รับการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่ามีความเหมาะสมขององค์ประกอบชุดกิจกรรมอยู่ในระดับมากที่สุด จากนั้นนำบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ที่พัฒนาแล้วไปใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน พบว่า มีจำนวนนักเรียนที่มีคะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 ทั้งหมด 37 คน คิดเป็นร้อยละ 88.10 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ ประสิทธิภาพ นักเรียนร้อยละ 80 มีคะแนนแนวคิดเคมีไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 ที่กำหนดไว้ สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าซึ่งมีค่าความยากง่ายระหว่าง 0.42-0.84 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.22 ขึ้นไป และค่าความเชื่อมั่นมีค่า 0.61 และแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่าง 0.67-1.00 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่จัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน จำนวน 42 คน พบว่า นักเรียนที่เรียนโดยใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน วิชา เคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เฉลี่ย คิดเป็นร้อยละ 92.175 ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม

คำสำคัญ : เคมีไฟฟ้า, บทปฏิบัติการเคมี

Title	THE DEVELOPMENT OF SMALL-SCALE LABORATORY IN ELECTROCHEMISTRY TO IMPROVE THE CONCEPT OF ELECTROCHEMISTRY AND SCIENCE PROCESS SKILLS FOR HIGH SCHOOL
Author	SUTSAKON MAICHOM
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2023
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Piyarat Srivilai

The aim of this research is to develop a small-scale electrochemistry laboratory to encourage electrochemical concepts and scientific process skills in terms of efficiency and according to the criteria and to study the effectiveness of a small-scale electrochemistry laboratory. When the electrochemistry laboratory was developed and evaluated by three experts, and it was found that the suitability of the activity set and components was at the highest level. Then, a small-scale electrochemistry laboratory was used with a sample of students to find trends in the efficiency of the activity set. It was found that there were 37 students with a minimum score of not less than 60%, accounting for 88.10%, which met the criteria student performance of 80% had an electrochemistry concept score of not less than 60%, as specified. As for the instruments used in the research, it consisted of the science concepts of electrochemistry with a difficulty value of 0.42-0.84. The discriminant power value was from 0.22 and above, the confidence value was 0.61 and the scientific process skills assessment had a conformity index value between 0.67-1.00. The sample groups used in this research include Grade Five students learning with a small-scale electrochemistry laboratory for 42 people. It was found that students who studied a lesson on a small-scale electrochemistry laboratory in Chemistry Four and academic achievement after studying was higher than before, with a statistical significance of .05 and had an average scientific process skill score accounting for 92.175%, which was at an excellent level.

Keyword : Electrochemistry, Laboratory

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดีเนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาและการให้คำปรึกษาแนะแนวทางจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ลีกิจวัฒน์ ที่ให้ความกรุณาในการเป็นประธานในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.อิทธิพล สังเวียนวงศ์ ให้ความกรุณาในการเป็นกรรมการในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำต่างๆ เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วีณา เสียงเพราะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ ผู้ชี้แนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ขึ้นมา อาจารย์ ดร.ฐิติรัตน์ แม้นทิม อาจารย์ ดร.ชัชฎาภรณ์ พิณทอง และดร.โชติกุล รินลา ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ โดยได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณผู้อำนวยการสถานศึกษา และคณะครูอาจารย์ โรงเรียนที่ใช้เก็บข้อมูลวิจัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ดำเนินการทดลอง และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2566 ของโรงเรียนพรตพิทยพยัต ที่ให้ความร่วมมือในการหาคุณภาพของเครื่องมือ และให้ความร่วมมือในการดำเนินการทดลอง ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณกัลยาณมิตรทุกท่านที่อยู่เคียงข้างกันเสมอมาทั้งในยามทุกข์และสุข คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ สนับสนุนด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจตลอดมา คุณค่าและประโยชน์ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาครูอาจารย์ และผู้ให้ความรู้ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนประสิทธิ์ประสาทความรู้ทั้งปวงแก่ผู้วิจัย

สุดสาคร หมายชม

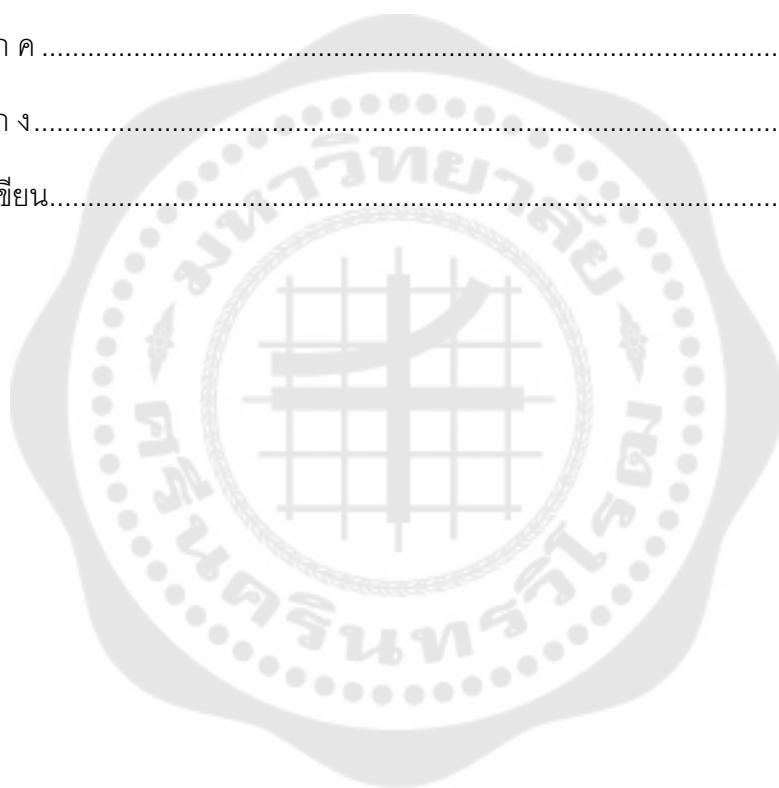
## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง .....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	4
ความสำคัญของการวิจัย .....	5
ขอบเขตการวิจัย .....	5
ประชากรที่ใช้ในการวิจัย.....	5
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย.....	5
ตัวแปรที่ศึกษา .....	6
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
กรอบแนวคิดในงานวิจัย.....	7
สมมติฐานในการวิจัย.....	7
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	9
1. การจัดการเรียนรู้ในวิชา เคมี เรื่อง เคมีไฟฟ้า.....	9
2. การพัฒนาบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์.....	17
3. ปฏิบัติการทดลองเคมีแบบย่อส่วน .....	22



4. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์และแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีไฟฟ้า.....	27
5. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์.....	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	40
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง .....	40
ประชากร .....	40
กลุ่มเลือกตัวอย่าง .....	40
ระยะเวลาในการวิจัย.....	40
การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	41
ขั้นตอนในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ....	41
วิธีการหาคุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน	42
ขั้นตอนในการสร้างบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน.....	44
วิธีการหาคุณภาพของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน.....	47
ขั้นตอนในการสร้างแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า .....	49
วิธีการหาคุณภาพของแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า .....	51
ขั้นตอนในการสร้างแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ .....	52
ขั้นตอนการหาคุณภาพของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์.....	56
การเก็บรวบรวมข้อมูล .....	58
การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	59
บทที่ 4 ผลการศึกษา .....	62
ผลการทดสอบสมมติฐานการวิจัย .....	62
บทที่ 5.....	66
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	66
สรุปผลการวิจัย.....	66

อภิปรายผลการวิจัย .....	67
ข้อเสนอแนะ .....	74
บรรณานุกรม .....	76
ภาคผนวก.....	81
ภาคผนวก ก .....	82
ภาคผนวก ข .....	88
ภาคผนวก ค .....	99
ภาคผนวก ง.....	104
ประวัติผู้เขียน.....	126



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แนวคิดที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีไฟฟ้า.....	31
ตาราง 2 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย.....	40
ตาราง 2 (ต่อ) .....	41
ตาราง 3 ตารางแสดงแบบแผนการการวิจัยแบบ One-Group Pretest-Posttest Design .....	58



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย .....	7
ภาพประกอบ 2 เซลล์เคมีไฟฟ้าที่สารทำปฏิกิริยากันแล้วให้พลังงานไฟฟ้า .....	14
ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างเซลล์อิเล็กโทรลิติก .....	15
ภาพประกอบ 4 เซลล์อิเล็กโทรลิติกทำทองแดงให้บริสุทธิ์.....	17



## บทที่ 1

### บทนำ

#### ภูมิหลัง

ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ส่งเสริมความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน ควรเป็นการเรียนการสอนที่ผู้เรียนได้เรียนรู้จากการมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อการเรียนการสอน จนเกิดการรับรู้ การคิด และการปฏิบัติซึ่งนำไปสู่การสรุปหรือการค้นพบองค์ความรู้ด้วยตัวเอง (ภพ เลหาไพบุลย์, 2542) การเรียนรู้ที่ผู้เรียนค้นพบความรู้ด้วยตนเอง เป็นการเรียนรู้ที่ยึดหลักการจัดการเรียนรู้ตามแนวทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) ที่ผู้เรียนต้องทำการจัดกระทำกับข้อมูล หรือสร้างประสบการณ์ต่างๆที่ได้จากการรับเข้ามา และสร้างความหมายให้กับสิ่งที่เรียนรู้ด้วยตนเองดังนั้นผู้เรียนจะต้องได้ลงมือปฏิบัติงานจริง โดยมีการปฏิสัมพันธ์กับสื่อ วัสดุ อุปกรณ์ หรือข้อมูล และสามารถจัดกระทำ ศึกษา สืบค้น วิเคราะห์ ทดลอง จนเกิดเป็นความรู้ความเข้าใจขึ้น พร้อมกับมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม การร่วมมือ การแลกเปลี่ยน ความรู้ความเข้าใจ ความคิด และ ประสบการณ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้เรียน และบุคคลอื่น ๆ เพื่อช่วยให้การเรียนรู้ของผู้เรียนมีความหลากหลายยิ่งขึ้น (ทีศนา แคมมณี, 2555)

การจัดการเรียนรู้วิชาเคมีจะเกิดประสิทธิภาพ และนักเรียนเข้าใจเนื้อหาของวิชาเคมีได้อย่างดีขึ้น จึงได้มีการพัฒนากระบวนการและวิธีการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีให้ประสบความสำเร็จซึ่งหนึ่งในแนวคิดที่ได้รับการยอมรับคือแนวคิดของJohnstone ที่นำเสนอในปีค.ศ. 1993 (Johnstone, 1993) เกี่ยวกับแนวคิดทางเคมี 3 ระดับ (three levels of representation) ที่มีจุดมุ่งหมายให้นักเรียนมีการรวบรวมความรู้ในสามระดับเข้าด้วยกันคือ 1) ความรู้ในระดับมหภาค (macroscopic) คือ การเรียนรู้ผ่านการผ่านการใช้ประสาทสัมผัส และการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาเคมี หรือการเรียนรู้ผ่านปฏิบัติการการทดลอง 2) ความรู้ในระดับสัญลักษณ์ (symbolic) และ 3) ความรู้ในระดับอนุภาค (microscopic) คือการเปลี่ยนแปลงในระดับอะตอมหรือโมเลกุล และการลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง (learning by practicing) เป็นการเรียนรู้วิชาเคมีในระดับมหภาคคือ นักเรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มีความสำคัญในการเสริมสร้าง และพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียน เนื่องจากจะทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้การลงมือทำ และการแก้ปัญหาในสถานการณ์จริงในชีวิตประจำวัน ทำให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตัวของนักเรียนเอง สามารถเข้าใจในเนื้อหาของวิชาเคมีได้อย่างถูกต้อง และสามารถแก้ไขปัญหาแนวคิดคลาดเคลื่อน นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาและเสริมสร้างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปพร้อมกัน และเป็นการสร้างเจตคติที่ดีต่อวิชาเคมีพร้อมทั้งทำให้นักเรียนสามารถ

เข้าใจธรรมชาติของวิชาเคมี จึงจำเป็นต้องจัดการเรียนการสอนในวิชาเคมีผ่านการลงมือทำการทดลองตามบทปฏิบัติการต่างๆที่เหมาะสมในบทเรียน แต่พบว่าการจัดการเรียนรู้ในวิชาเคมีไม่ประสบความสำเร็จตามที่ผู้สอนได้ตั้งเป้าหมายไว้เท่าที่ควรเนื่องจากวิชาเคมี มีเนื้อหาที่ค่อนข้างเป็นนามธรรม มีภาษาที่มีความจำเพาะ ต้องอาศัยจินตนาการในการเรียนรู้ ซึ่งทำให้เกิดแนวคิดคลาดเคลื่อน(misconception) ในหลายๆ หัวข้อ ได้แก่ ปริมาณสารสัมพันธ์ กรด -เบส อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเคมีไฟฟ้า โดยเฉพาะในเรื่อง เคมีไฟฟ้า ในหัวข้อ เซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรไลติก เช่น นักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนว่า อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านสารละลายและสะพานเกลือในเซลล์กัลวานิกได้ การแยกสลายด้วยไฟฟ้าสามารถทำได้ในสารบริสุทธิ์ที่หลอมละลายหรือสารละลายที่ประกอบไปด้วยตัวละลายเพียงชนิดเดียวเท่านั้น และปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นหัวข้อพื้นฐานที่สำคัญหัวข้อหนึ่งที่นักเรียนมักเกิดแนวคิดคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการจัดการเรียนรู้เนื่องจากเนื้อหาส่วนใหญ่ต้องใช้จินตนาการเป็นการคิดในระดับอนุภาค และใช้สัญลักษณ์ในการสื่อความหมายจึงทำให้นักเรียนไม่เข้าใจเท่าที่ควร(ญานี เชื้อเมืองพาน, 2021) ทำให้แนวคิดในวิชา เคมีไฟฟ้าคลาดเคลื่อน และในขณะเดียวกันก็ทำให้ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก็ต่ำด้วย เนื่องจากการเรียนรู้ของนักเรียนจะเกิดขึ้นพร้อมกัน ทั้งนี้เคมีไฟฟ้ายังมีความรู้ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างมาก ในระดับสถานศึกษา ครูผู้สอนโดยส่วนใหญ่ยังไม่สามารถจัดการเรียนรู้เรื่องเคมีไฟฟ้า ที่เชื่อมโยงความรู้ที่ได้รับกับสถานการณ์จริงได้ มักจะเน้นสอนทฤษฎีตามหนังสือเรียนรวมถึงการทดลองที่ไม่ได้ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ อันเนื่องมาจากอุปกรณ์และสารเคมีไม่เพียงพอ การเตรียมการทดลองที่มีขั้นตอนมากทำให้นักเรียนยังขาดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในขณะที่ปฏิบัติการทดลองอีกด้วย(เพชรวิไล ชัตติยวงษ์, 2557)

ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ในวิชาเคมีนอกจากจะเน้นการเรียนเนื้อหาแล้วยังต้องอาศัยการทดลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Experiment) เพื่อเป็นส่วนที่ส่งเสริมของการเรียนการสอน อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนการสอนด้วยการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ส่วนมากมีความยุ่งยากในการจัดเตรียมอุปกรณ์ ตัวอย่างเช่น การทดลองในเคมีไฟฟ้าต้องใช้สายไฟ คีมปากคีบ ปีกเกอร์ โวลต์มิเตอร์ ซึ่งเครื่องมือในการทดลองในโรงเรียนบางแห่งไม่มีความพร้อมต่อการใช้งานและยังใช้สารเคมีเป็นปริมาณมาก จนทำให้ผู้เรียนขาดโอกาสในการเรียนรู้จนเป็นสาเหตุให้ผู้เรียนเองขาดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในการฝึกปฏิบัติการทดลองไปด้วย ผู้วิจัยจึงได้เริ่มพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ตามแนวคิดของปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน เพื่อลดข้อจำกัดในเรื่องห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์การทดลอง สารเคมี ซึ่งต้องมีการลงทุนสร้าง

ห้องปฏิบัติการและค่าใช้จ่ายในการทำการทดลองสูง และครูผู้สอนยังต้องใช้เวลาในการเตรียมการทดลอง และการจัดการสารเคมีหลังจากการทดลองเสร็จ รวมทั้งมีความกังวลในเรื่องความเสี่ยงต่ออันตรายจากสารเคมีที่อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุ ได้ตลอดเวลา ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ครูไม่สามารถสอนการทดลองได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงเรียนขนาดกลาง ขนาดเล็ก และโรงเรียนที่อยู่ห่างไกลจากตัวเมือง ในทางกลับกัน หากครูสอนการทดลองโดยนักเรียนสามารถทำการทดลองด้วยตนเองได้ จะทำให้สามารถช่วยพัฒนาให้มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ แก่ไขสถานการณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพจากการสังเกตและการทดลองเชิงประจักษ์ที่ได้ทดลองด้วยตนเองทำให้เข้าใจหลักการและทฤษฎีต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว และยังเป็นการฝึกทักษะการสังเกต การจดบันทึก การทำงานตามขั้นตอน และการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเพื่อค้นหาคำตอบและสามารถเชื่อมโยงไปสู่ศาสตร์สาขาอื่นๆ (ยศวดี ฐิติวร, 2557)

จากการศึกษางานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่า ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน หรือ Small-Scale Chemistry Laboratory ผู้วิจัยจึงออกแบบบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน วิชา เคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี 4 ประกอบด้วย 4 การทดลอง ได้แก่ การทดลองตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวาเนเดียม การทดลองตอนที่ 2 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ การทดลองตอนที่ 3 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของเซลล์กัลวานิก และการทดลองตอนที่ 4 การแยกสลายสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟตด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นการรวมการทดลองที่ครอบคลุมเนื้อหาเคมีไฟฟ้าทั้งหมดไว้ได้ในบทปฏิบัติการทดลองเดียวเท่านั้น ทำให้ผู้เรียนได้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับการเปลี่ยนสีของสารประกอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน การเปลี่ยนแปลงในการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ เปรียบเทียบตัวรีดิวซ์ ตัวออกซิไดส์ การเกิดปฏิกิริยาในเซลล์กัลวานิก เซลล์อิเล็กโทรไลติกอย่างชัดเจน เกิดความเข้าใจในแนวคิดเคมีไฟฟ้าอย่างถูกต้อง และบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนมีรูปแบบการทดลองที่เน้นความประหยัด ปลอดภัย สะดวกและรวดเร็ว เป็นการใช้ทดลองสารเคมีปริมาณน้อยเป็นจำนวนหยด ถือว่าเป็นการประหยัด และลดใช้สารเคมี โอกาสที่ผู้เรียนผู้สอนจะสัมผัสกับสารเคมีระหว่างการทดลองต่ำกว่าในระดับที่เป็นอันตราย ไม่ร้ายแรงมาก เมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้น ก็สามารถแก้ไขสถานการณ์ได้รวดเร็วจึงเป็นการทดลองที่มีความปลอดภัยสูง รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็กลง ใช้เวลาในการทดลองน้อย สะดวกต่อการจัดเตรียมอุปกรณ์และทำความสะอาดอุปกรณ์หลังการทดลอง อีกทั้งยังลดภาระการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น ภาชนะที่ใช้เป็นจานสีเพียงชิ้นเดียว มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์เครื่องแก้ว นอกจากนี้ยังสามารถนำวัสดุ

ขนาดเล็กอื่นๆ ที่เป็นของใช้ในชีวิตประจำวัน มาดัดแปลงใช้ในการทดลอง (สมาคมเคมีแห่งประเทศไทย, 2558) จึงทำให้ผู้เรียนทุกคนมีโอกาสได้ทำการทดลอง ช่วยให้การเรียนเคมีน่าสนใจ การที่นักเรียนได้ทำการทดลองด้วยตนเองเพื่อสืบเสาะหาความรู้ ทำให้เกิดความสนใจอย่างแท้จริง ได้ฝึกทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ สามารถสังเกตผลการทดลองได้อย่างรวดเร็วและชัดเจน และผู้สอนจะคอยกระตุ้นด้วยคำถาม จึงทำให้เกิดพฤติกรรมความร่วมมือในชั้นเรียนมากขึ้น ผู้เรียนกล้าแสดงออกสิ่งที่ตนเองสงสัยและสิ่งที่ตนเองค้นพบ (สาลีณี อাজারีย์, 2552) โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนคิดแก้ปัญหาได้ทำและลงมือปฏิบัติรู้จักเชื่อมโยงการเรียนรู้และแสวงหาความรู้ด้วยตนเองมี โอกาสปฏิบัติงานร่วมกันขณะปฏิบัติการทดลองได้สัมผัส และรู้จักวิธีใช้อุปกรณ์ที่ง่ายและสะดวก ประหยัดสารเคมีและเวลาในการทำการทดลอง อีกทั้งยังมีความปลอดภัยที่สูง ผสมผสานทั้ง ทฤษฎีและปฏิบัติก่อให้เกิดทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่ว่าจะเป็นทักษะการจัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูล (Organizing and Communicating Data) จากการออกแบบตาราง บันทึกผลการทดลอง การบันทึกผลการทดลอง การนำเสนอข้อมูล ทักษะการทดลอง (Experimenting) จากการวางแผนการทดลองแบบ flow chart ใช้อุปกรณ์ และสารเคมีอย่าง ถูกต้องเหมาะสม ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (Interpreting and Making Conclusion) จากการอภิปรายผลการทดลองของข้อมูล และสรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จาก การทดลอง ทำให้กระตุ้นนักเรียนเกิดแนวคิด ก่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ และทักษะกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์ ส่งผลให้การเรียนดีขึ้น ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาบทปฏิบัติการทดลอง เคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายให้สูงมากยิ่งขึ้น

### ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. พัฒนารูปแบบปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
2. พัฒนาแนวคิดเคมีไฟฟ้า จากการใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน
3. ศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จากการใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน



## ความสำคัญของการวิจัย

เนื่องจากเรื่อง เคมีไฟฟ้า ที่เป็นเนื้อหาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เป็นเรื่องที่ยากสำหรับนักเรียน และในแต่ละบทปฏิบัติการทดลองขาดการเชื่อมโยง และต่อเนื่อง ดังนั้นเพื่อให้ นักเรียนสามารถเห็นความเชื่อมโยง สัมพันธ์และต่อเนื่องกันทั้ง 4 การทดลอง ได้แก่ การทดลอง ตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวาเนเดียม การทดลองตอนที่ 2 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ การทดลองตอนที่ 3 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของเซลล์กัลวานิก การทดลองตอนที่ 4 การแยกสลายสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟตด้วย กระแสไฟฟ้า ประหยัดเวลาทำการทดลอง และต้นทุนต่ำ ทำให้ผู้สอนในรายวิชา เคมี สามารถนำ บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนไปใช้ได้ง่ายและสะดวกขึ้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนา บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อพัฒนา แนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งทำความเข้าใจได้ยาก นักเรียนมี แนวคิดที่คลาดเคลื่อนอยู่เป็นจำนวนมาก และสามารถใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบ ย่อส่วนนี้ สำหรับการจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

## ขอบเขตการวิจัย

### ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 ของโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่ พิเศษ สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 2

### กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ กรุงเทพมหานคร ได้มาจากการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง จำนวน 1 ห้องเรียน เป็นนักเรียน 42 คน ที่ผู้วิจัยได้รับมอบหมายจากทางโรงเรียนให้รับผิดชอบสอน

### เนื้อหาที่นำมาใช้ในการวิจัย

บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอน ปลาย โดยมีเนื้อหา ที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. เลขออกซิเดชัน
2. ปฏิกิริยารีดอกซ์
3. เซลล์เคมีไฟฟ้า

#### 4. การแยกสลายสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า

##### ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย คือ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 ทั้งหมด 9 คาบเรียน คาบเรียนละ 50 นาที รวมการสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

##### ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ คือ การใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน
2. ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพพบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน แนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

##### นิยามศัพท์เฉพาะ

1. บทปฏิบัติการทดลองแบบย่อส่วน หมายถึง การลดปริมาณการใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อยมากในการทดลองแต่ยังให้ผลการทดลองที่ดี ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถรักษาสิ่งแวดล้อม ป้องกันการเกิดมลภาวะ โดยใช้สารเคมีในปริมาณน้อย แต่ยังคงมีคุณภาพ มีความเที่ยงตรงและแม่นยำสามารถลดปริมาณสารเคมีได้

2. บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน หมายถึง บทเรียนในวิชา เคมี โดยใช้บทปฏิบัติการทดลอง ประกอบด้วย เรื่อง เลขออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดอกซ์ เซลล์เคมีไฟฟ้าและการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้นมีทั้งหมด 4 การทดลอง คือ

การทดลองตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวาเนเดียม

การทดลองตอนที่ 2 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ

การทดลองตอนที่ 3 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของเซลล์กัลวานิก

การทดลองตอนที่ 4 การแยกสลายสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟตด้วยกระแสไฟฟ้า

3. แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า หมายถึง ความรู้อย่างถูกต้องเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้า เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ เรื่องการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวาเนเดียม การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสลายสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า สามารถวัดได้จากแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า

4. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถของผู้เรียนในด้านการคิด การปฏิบัติแบบวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้ในการแสวงหาความรู้หรือแก้ไขปัญหาอย่างมีระบบแบบแผน

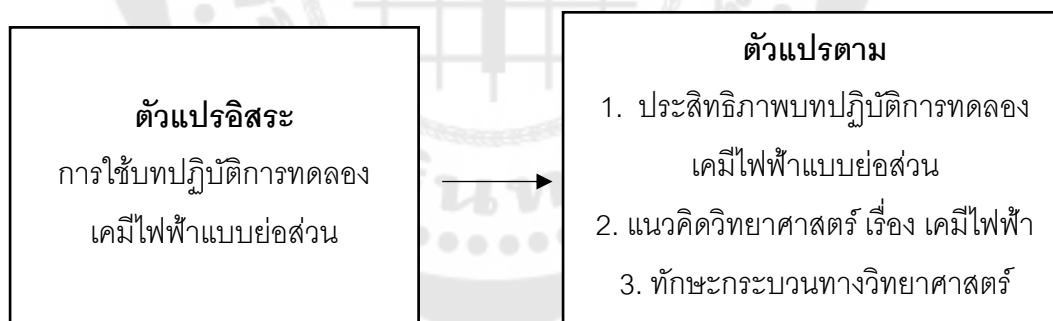
ในบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน สามารถวัดได้จากแบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ทักษะ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ทักษะการทดลอง หมายถึง ความสามารถในการตรวจสอบสมมติฐานของการทดลองเคมีไฟฟ้าที่ตั้งไว้โดยลงมือทำการทดลอง ตั้งแต่การออกแบบวิธีการทดลอง การปฏิบัติตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้ รวมถึงการใช้วัสดุอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง และการบันทึกผลการทดลอง

4.2 ทักษะการจัดกระทำข้อมูลและสื่อความหมายข้อมูล หมายถึงความสามารถในการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองเคมีไฟฟ้า และจากแหล่งอื่นที่มีข้อมูลอยู่แล้วมาจัดกระทำใหม่โดยอาศัยวิธีต่างๆ เช่น การจัดเรียงลำดับ การจัดแยกประเภท การคำนวณหาค่าใหม่ เป็นต้น เพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจความหมายของข้อมูลมากขึ้น

4.3 ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป หมายถึง ความสามารถในการบอกความหมายในข้อมูลที่ได้จัดกระทำ รวมทั้งความสามารถในการบอกความหมายของข้อมูลในเชิงสถิติ และสามารถลงข้อสรุปโดยการนำเอาความหมายของข้อมูลที่ได้ทั้งหมด สรุปให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ต้องการศึกษาในการทดลองเคมีไฟฟ้า

### กรอบแนวคิดในงานวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

### สมมติฐานในการวิจัย

1. บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 80 มีคะแนนแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60

2. แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3. นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อยู่ในระดับดีขึ้นไป



## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรม

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. การจัดการเรียนรู้ในวิชา เคมี เรื่อง เคมีไฟฟ้า
2. บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์
3. ปฏิบัติการทดลองเคมีแบบย่อส่วน
4. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์และแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีไฟฟ้า
5. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

#### 1. การจัดการเรียนรู้ในวิชา เคมี เรื่อง เคมีไฟฟ้า

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562) การจัดการเรียนรู้ในปัจจุบัน วิชา เคมี เรื่อง เคมีไฟฟ้า เป็นวิชาที่จัดอยู่ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ช่วงชั้นที่ 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ชื่อวิชา เคมี 4 เวลาเรียน 3 คาบ / สัปดาห์ / จำนวน 1.5 หน่วยกิต

##### 1.1 ผลการเรียนรู้

- 1.1.1 คำนวณเลขออกซิเดชันและระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์
- 1.1.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนการเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์
- 1.1.3 การทำการทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และการเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์
- 1.1.4 ดุลสมการรีดอกซ์ด้วยการใช้เลขออกซิเดชัน และวิธีครึ่งปฏิกิริยา
- 1.1.5 ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์
- 1.1.6 คำนวณศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า ชั่วฟ้า และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น
- 1.1.7 อธิบายหลักการทำงานและเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาของเซลล์ปฐมภูมิและทุติยภูมิ

1.1.8 ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า และอธิบายหลักการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะกรแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์และการป้องกันการกัดกร่อน ของโลหะ

## 1.2 การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

### 1.2.1 ผลการเรียนรู้ที่ทำการศึกษาวิจัย

- ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกริยารวม และแผนภาพเซลล์

- วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์

- ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์

- ดุลสมการรีดอกซ์ด้วยการใช้เลขออกซิเดชัน และวิธีครึ่งปฏิกิริยา

- ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกริยารวม และแผนภาพเซลล์

- คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า ชั่วไฟฟ้า และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

- ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า และอธิบายหลักการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์และการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ

### 1.2.2 จุดประสงค์การเรียนรู้

- คำนวณเลขออกซิเดชันของธาตุในสารประกอบและไอออนต่าง ๆ

- อธิบายความหมายของปฏิกิริยารีดอกซ์ และระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์จากเลขออกซิเดชันของสารในปฏิกิริยา

- อธิบายความหมายของครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน ตัวรีดิวซ์ และตัวออกซิไดส์

- วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน และระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์

- ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์

- คุณสมบัติการรีดออกซิโดยวิธีเลขออกซิเดชันและวิธีครึ่งปฏิกิริยา
- ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนด แคโทด และปฏิกิริยารวม เขียนแผนภาพครึ่งเซลล์และแผนภาพเซลล์
- ทดลองหาค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์โดยพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้า มาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชัน ระบุขั้วไฟฟ้า และเขียนปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดักชัน และปฏิกิริยารีดอกซ์ คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า
- อธิบายสาเหตุหรือภาวะที่ทำให้โลหะเกิดการผุกร่อนจากสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง และวิธีการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ ทดลองและอธิบายหลักการชุบโลหะโดยใช้เซลล์อิเล็กโทรลิติก ทดลองและอธิบายหลักการแยกสลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า อธิบายหลักการทำให้บริสุทธิ์(สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561)

### 1.2.3 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

- การสังเกต
- การตั้งสมมติฐาน
- การทดลอง
- การลงความเห็นจากข้อมูล
- การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

### 1.2.4 ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21

- การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ

1.2.5 จิตวิทยาศาสตร์ ความอยากรู้อยากเห็น การใช้วิจารณญาณ ความมุ่งมั่นอดทน ความรอบคอบ

## 1.3 เคมีไฟฟ้า

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ (2562) ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้านำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้หลากหลาย เช่น แบตเตอรี่ที่ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าและรถยนต์ การชุบโลหะ การแยกสลายสารเคมีด้วยไฟฟ้า เทคโนโลยีทางด้านเซลล์เคมีไฟฟ้ามีความก้าวหน้าอย่างมากที่จะนำไปสู่นวัตกรรมด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ซึ่งพลังงานไฟฟ้าอาจได้มาจากแหล่งต่างๆ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่ง

อาศัยพลังงานกลเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าแบบเตอริซึ่งอาศัยปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า การศึกษาเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีและพลังงานไฟฟ้าเรียกว่าเคมีไฟฟ้า (electrochemistry)

### เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์

พลังงานไฟฟ้าเกิดจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารเรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) การถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารพิจารณาได้จาก การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุในสารที่ทำปฏิกิริยาเคมีนั้น

เลขออกซิเดชันเป็นค่าที่แสดงประจุไฟฟ้าสมมติของไอออนหรืออะตอมของธาตุ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

1. อะตอมของธาตุอิสระทุกชนิดที่อยู่ในรูปอะตอมหรือโมเลกุล เช่น Ca, Fe, He, O<sub>2</sub>, และ S<sub>8</sub> อะตอมของธาตุเหล่านี้ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 0

2. ไอออนของธาตุมีเลขออกซิเดชันเท่ากับประจุของไอออนนั้น เช่น

Na<sup>+</sup> มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +1      Mg<sup>2+</sup> มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +2

Cl<sup>-</sup> มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -1      S<sup>2-</sup> มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2

3. ในสารประกอบ เลขออกซิเดชันของธาตุหมู่หลักมีค่าดังนี้

- ฟลูออรีน มีเลขออกซิเดชันเป็น -1 เสมอ

- ธาตุโลหะหมู่ IA (หมู่ 1) มีเลขออกซิเดชันเป็น +1 เสมอ

- ธาตุโลหะหมู่ IIA (หมู่ 2) มีเลขออกซิเดชันเป็น +2 เสมอ

- ธาตุหมู่ IIIA (หมู่ 3) มีเลขออกซิเดชันเป็น +3 เสมอ (ยกเว้น Tl มีเลขออกซิเดชันเป็น +3 หรือ +1 ก็ได้)

- ไฮโดรเจน มีเลขออกซิเดชันเป็น +1 เมื่อเกิดพันธะกับธาตุอโลหะ เช่น H<sub>2</sub>O NaOH และ มีเลขออกซิเดชันเป็น -1 เมื่อเกิดพันธะกับธาตุโลหะ เช่น NaH CaH<sub>2</sub>

- ออกซิเจน มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2 ในสารประกอบส่วนใหญ่ เช่น H<sub>2</sub>O NaOH

4. สารประกอบมีผลรวมของเลขออกซิเดชันเท่ากับ 0 เช่น NaCl โซเดียมมีเลขออกซิเดชันเป็น +1 ดังนั้นคลอรีนมีเลขออกซิเดชันเป็น -1

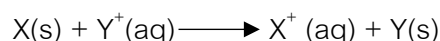
5. กลุ่มไอออนมีผลรวมของเลขออกซิเดชันเท่ากับประจุของกลุ่มไอออนนั้น เช่น ฟอสเฟต ไอออน (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) มีผลรวมของเลขออกซิเดชันของธาตุทุกตัวในกลุ่มไอออนเท่ากับ -3

เมื่อทราบเลขออกซิเดชันของธาตุทำให้สามารถระบุได้ว่าปฏิกิริยาใดเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุในสารที่ทำปฏิกิริยาเคมีกัน

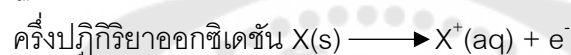


ในปฏิกิริยารีดอกซ์ สารที่มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ส่วนสารที่มีเลขออกซิเดชันลดลง ซึ่งเกิดจากการรับอิเล็กตรอน เรียกว่า ตัวออกซิไดส์ (oxidizing agent)

ถ้ากำหนดให้ X เป็นตัวรีดิวซ์ และ  $Y^+$  เป็นตัวออกซิไดส์ในปฏิกิริยารีดอกซ์ สามารถเขียน สมการเคมีของปฏิกิริยารีดอกซ์ได้ดังนี้



ปฏิกิริยารีดอกซ์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ครึ่งปฏิกิริยา คือ ครึ่งปฏิกิริยาที่ให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation half-reaction) และครึ่งปฏิกิริยาที่รับอิเล็กตรอน เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน (reduction half-reaction) เขียนแสดงได้ดังนี้

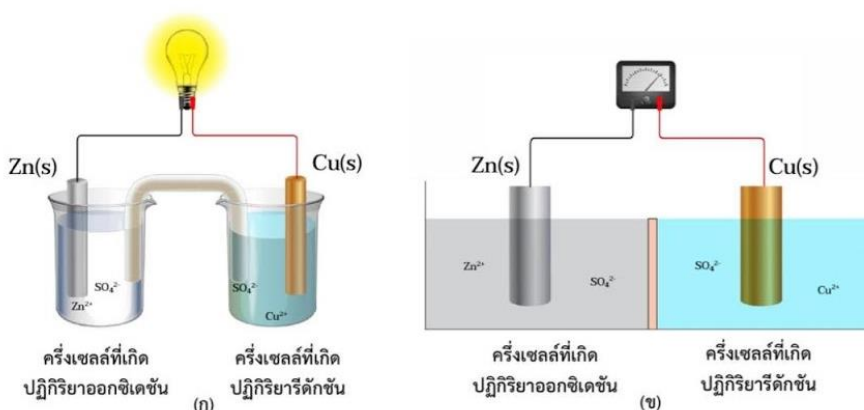


### เซลล์เคมีไฟฟ้า

เนื่องจากปฏิกิริยารีดอกซ์เป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสาร ดังนั้นปฏิกิริยารีดอกซ์จึงสามารถนำมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ โดยแยกให้ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และครึ่งปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นที่แต่ละขั้วไฟฟ้าในเซลล์เคมีไฟฟ้า (electrochemical cell) ทำให้ การถ่ายโอนอิเล็กตรอนไม่ได้เกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวสัมผัสของคู่สารที่ทำปฏิกิริยารีดอกซ์ จึงสามารถ นำอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟฟ้า โวลต์มิเตอร์ มาต่อระหว่างขั้วไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์จาก กระแสไฟฟ้าหรือวัดค่าความต่างศักย์ได้ ซึ่งปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (electrochemical reaction)

### องค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า

ปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะสังกะสี (Zn) กับสารละลายของคอปเปอร์(II)ไอออน ( $Cu^{2+}$ ) สามารถทำให้เป็นเซลล์เคมีไฟฟ้าได้ โดยการแยกครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะสังกะสี กับ ครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของคอปเปอร์(II)ไอออนให้เกิดขึ้นที่ต่างขั้วไฟฟ้ากันใน 2 ครึ่งเซลล์



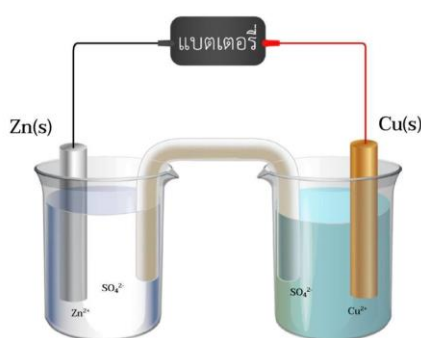
ภาพประกอบ 2 เซลล์เคมีไฟฟ้าที่สารทำปฏิกิริยากันแล้วให้พลังงานไฟฟ้า

จากภาพประกอบ 2 แต่ละครึ่งเซลล์ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์ในที่นี้โลหะสังกะสี (Zn) ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า แอโนด (anode) โดยมี สารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) เป็นอิเล็กโทรไลต์ ส่วนโลหะทองแดง (Cu) ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า ของครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เรียกว่า แคโทด (cathode) โดยมี สารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) เป็นอิเล็กโทรไลต์

ในขณะที่ปฏิกิริยารีดอกซ์ของ Zn และ  $\text{Cu}^{2+}$  ดำเนินไป ความเข้มข้นของ  $\text{Zn}^{2+}$  ในครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้นของ  $\text{Cu}^{2+}$  ในครึ่งเซลล์ที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันจะ ลดลง ทำให้ปริมาณไอออนบวกและไอออนลบในแต่ละครึ่งเซลล์ไม่สมดุลกัน ส่งผลให้ความสามารถ ในการเกิดปฏิกิริยาในแต่ละครึ่งเซลล์ลดลงอย่างรวดเร็ว จึงมีการใช้วัสดุที่มีอิเล็กโทรไลต์เข้มข้น เชื่อมต่อระหว่างครึ่งเซลล์เรียกว่า สะพานเกลือ (salt bridge) หรือใช้เยื่อ (membrane) ที่ยอมให้ไอออนแพร่ผ่านได้ คั้นระหว่างอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งการเคลื่อนที่ของไอออนจากสะพานเกลือหรือผ่านเยื่อ คั้น สามารถช่วยรักษาสมดุลระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบในแต่ละครึ่งเซลล์ได้

ดังนั้นองค์ประกอบสำคัญของเซลล์เคมีไฟฟ้าคือ ขั้วไฟฟ้าที่เป็นแอโนดและแคโทดอิเล็กโทรไลต์ และอาจเชื่อมต่อกันด้วยสะพานเกลือหรือเยื่อคั้น โดยที่แอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และแคโทด เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งเมื่อทำให้ครบวงจร อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากแอโนดไปยังแคโทด เซลล์เคมีไฟฟ้าที่ให้พลังงานไฟฟ้าเรียกว่าเซลล์กัลวานิก (galvanic cell) หรือเซลล์โวลตาอิก (voltaic cell) โดยมีแอโนดเป็นขั้วลบ แคโทดเป็นขั้วบวก และอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอก เซลล์จากแอโนดไปยังแคโทด ปฏิกิริยาเคมีในเซลล์กัลวานิกเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เอง (spontaneous reaction)

นอกจากเซลล์กัลวานิกแล้วยังมีเซลล์เคมีไฟฟ้าอีกประเภทหนึ่งที่เรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรลิติก (electrolytic cell) ซึ่งเป็นเซลล์ที่ต้องให้กระแสไฟฟ้าหรือพลังงานไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เอง (non spontaneous reaction) และปฏิกิริยารีดอกซ์ ที่เกิดขึ้นในเซลล์อิเล็กโทรลิติกจะเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิก เช่น เมื่อนำเซลล์กัลวานิกในรูป 11.1 มาต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ ระหว่างขั้วมากพอ โดยให้โลหะทองแดง (Cu) ต่อเข้ากับขั้วบวก และโลหะสังกะสี (Zn) ต่อเข้ากับ ขั้วลบ ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างเซลล์อิเล็กโทรลิติก

จากภาพประกอบ 3 ที่ขั้วลบ  $Zn^{2+}$  จะรับอิเล็กตรอนที่แคโทดเกิดเป็น Zn ส่วน Cu ที่ขั้วบวกจะให้ อิเล็กตรอนที่แอโนดเปลี่ยนเป็น  $Cu^{2+}$  ซึ่งเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิก โดยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาในเซลล์อิเล็กโทรลิติกต้องทำให้เกิดความต่างศักย์ มากกว่าค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิกของสารเดียวกัน จะเห็นว่า เซลล์เคมีไฟฟ้าทั้งในเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติก ขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์เรียกว่า แคโทด ส่วนขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเรียกว่า แอโนด เสมอ และเนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์อิเล็กโทรลิติกเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิก

### การแยกสลายด้วยไฟฟ้า

กระบวนการที่เกิดขึ้นในเซลล์อิเล็กโทรลิติกที่ทำให้ได้สารใหม่ เรียกว่า การแยกสลายด้วยไฟฟ้า หรือ อิเล็กโทรลิซิส (electrolysis) ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเพื่อผลิตสารเคมีที่ต้องการ ซึ่งไม่สามารถผลิตได้โดยง่ายด้วยวิธีอื่น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

### การแยกสลายโซเดียมคลอไรด์หลอมเหลวด้วยไฟฟ้า

โลหะโซเดียมและแก๊สคลอรีนสามารถเตรียมขึ้นโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าให้แก่โซเดียมคลอไรด์ หลอมเหลว ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันและออกซิเดชันที่ขั้วไฟฟ้า แคโทด โซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดปฏิกิริยารีดักชัน แอโนด คลอไรต์ไอออนเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โลหะโซเดียมและแก๊สคลอรีนเป็นสารที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีมาก จึงไม่สามารถเตรียมได้ จากกระบวนการถลุงแร่ที่ใช้ทั่วไปกับธาตุบางชนิด

### การแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า

การแยกสลายด้วยไฟฟ้าของสารละลายไอออนิก ในน้ำสามารถพิจารณาได้ ดังตัวอย่างการแยกสลาย สารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟตด้วยไฟฟ้า  $\text{CuSO}_4$  ในน้ำประกอบด้วย  $\text{Cu}^{2+}$   $\text{SO}_4^{2-}$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลาย สามารถพิจารณาการเกิดปฏิกิริยารีดักชันและออกซิเดชันโดยอาศัยค่า  $E^0$  จากค่า  $E^0$  แสดงว่า  $\text{Cu}^{2+}$  ในสารละลายรับอิเล็กตรอนได้ดีที่สุด ดังนั้นที่แคโทดจึงเกิดปฏิกิริยารีดักชันของ  $\text{Cu}^{2+}$  ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นไปได้ของ  $\text{Cu}^{2+}$   $\text{SO}_4^{2-}$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  ให้พิจารณาจากปฏิกิริยาครึ่งเซลล์รีดักชันที่มี  $\text{Cu}^{2+}$   $\text{SO}_4^{2-}$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  เป็นผลิตภัณฑ์ตามลำดับ ไม่มีปฏิกิริยารีดักชันที่ให้  $\text{Cu}^{2+}$  เป็นผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเหลือปฏิกิริยาที่ต้องพิจารณาจากค่า  $E^0$  แสดงว่า  $\text{H}_2\text{O}$  ให้อิเล็กตรอนได้ง่ายกว่า  $\text{SO}_4^{2-}$  ดังนั้นที่แอโนดจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ  $\text{H}_2\text{O}$

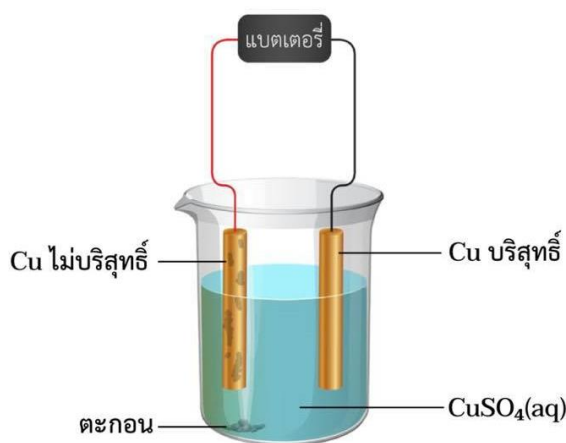
ดังนั้นการแยกสลายสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟตด้วยไฟฟ้า ต้องใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีอีเอ็มเอฟมากกว่า 0.89 โวลต์ จึงจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นว่า การแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดปฏิกิริยาที่ต่าง จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าของสารชนิดเดียวกันเมื่อหลอมเหลว เนื่องจากสารละลายมีน้ำที่อาจเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์แข่งขันกับไอออนที่มาจากการแตกตัวของสารนั้น ดังนั้นการพิจารณาว่าจะเกิดปฏิกิริยาใดที่แอโนดและแคโทดทำได้โดยเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชันของสาร ทุกชนิดในสารละลาย

### การทำโลหะให้บริสุทธิ์โดยใช้เซลล์อิเล็กโทรลิติก

หลักการของเซลล์อิเล็กโทรลิติกสามารถนำมาใช้ในการทำโลหะให้มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น เช่น ทองแดงที่ได้จากการถลุงสินแร่โดยทั่วไปมีความบริสุทธิ์ไม่เกินร้อยละ 99 โดยมีโลหะชนิดอื่น เจือปน เช่น สังกะสี เหล็ก เงิน ทอง ทำให้สมบัติบางประการของทองแดงด้อยลง เช่น นำไฟฟ้า นำความร้อนต่อการกัดกร่อนได้ไม่ตัวอย่างไรก็ตามสามารถทำให้ทองแดงมีความบริสุทธิ์ถึงร้อยละ 99.95 ได้ดังนี้

ให้ชั้นทองแดงที่ไม่บริสุทธิ์ต่อเข้ากับขั้วบวกและชั้นทองแดงที่บริสุทธิ์ต่อเข้ากับขั้วลบของ แบตเตอรี่ ชั้นโลหะทั้งสองจุ่มอยู่ในสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงที่มีศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมเข้าไป  $\text{Cu}^{2+}$  ในสารละลายจะรับอิเล็กตรอนจากขั้วลบเกิดเป็นทองแดงเกาะที่ขั้วทองแดง บริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้น ขณะเดียวกันที่ขั้วบวก Cu และโลหะเจือปนชนิดอื่น เช่น Fe Zn ซึ่งให้อิเล็กตรอน ได้ง่ายกว่า Cu จะเปลี่ยนเป็น  $\text{Fe}^{2+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  ลงสู่สารละลาย แต่  $\text{Fe}^{2+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  จะไม่เปลี่ยนกลับ ไปเป็น Fe และ Zn ที่ขั้วลบเนื่องจากรับอิเล็กตรอนได้ไม่ดีเท่า  $\text{Cu}^{2+}$  ส่วน Ag Au และ Pt ซึ่งเป็น ตัวรีดิวซ์ที่ไม่ดีเท่ากับ Cu จะค่อย ๆ หลุดออกจากขั้วบวกและตกอยู่ที่ก้นภาชนะในรูปของโลหะ ทำให้ที่ขั้วลบมีการสะสมของโลหะ Cu บริสุทธิ์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ



ภาพประกอบ 4 เซลล์อิเล็กโทรลิติกทำทองแดงให้บริสุทธิ์

## 2. การพัฒนาปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์

### 2.1 ความหมายของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

คำว่า “ปฏิบัติการ” ตามความหมายในพจนานุกรมไทยฉบับราชบัณฑิตยสถาน พุทธศักราช 2542 หมายถึง การทดลอง พิสูจน์ข้อเท็จจริงตามทฤษฎี แต่ยังไม่ได้ระบุความหมายที่ชัดเจนของคำว่า “บทปฏิบัติการ” แต่อย่างไรก็ตามยังมีนักการศึกษาหลายท่านให้ความหมายไว้ดังนี้

สกล ชูขันธิน (2553) บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ หมายถึง กิจกรรมหรือชุดปฏิบัติการทดลองที่เกี่ยวข้องกับความรู้วิทยาศาสตร์ที่มีจุดมุ่งหมายทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ โดยการลงมือกระทำการทดลองด้วยตนเอง เป็นการพิสูจน์หรือหาคำตอบที่ผู้เรียนได้ทำการตั้งสมมติฐาน แล้ววางแผนทดลองก่อนเพื่อทดสอบสมมติฐานของปัญหา ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจในเนื้อหาวิทยาศาสตร์จากคำแนะนำและช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดของผู้สอน

สุวิมล เขี้ยวแก้ว (2527) ได้ให้ความหมายไว้ว่า วิธีสอนด้วยการทดลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้ผู้เรียนมีเสรีภาพทางความคิด ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ให้บรรลุได้ตามเป้าหมาย ของหลักสูตรวิทยาศาสตร์

ทรงกลด ไบยา (2558) ได้ให้ความหมายไว้ว่า นวัตกรรมการเรียนการสอนที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้ตรงกับสมรรถนะของผู้เรียน โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาความรู้ผ่านการทำการทดลองและสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง

ยศวัต ลีติวร (2557) ได้ให้ความหมายไว้ว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ หมายถึง การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีปฏิบัติการทดลอง ซึ่งผู้เรียนจะได้รับประสบการณ์ตรงจากการลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงและค้นหาคำตอบตามหลักทฤษฎี

จากความหมายดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่าบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ หมายถึง สื่อในการสอนวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนด้วยการทดลองมีเป้าหมายที่สำคัญ เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มีความรู้ความเข้าใจมากยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้มาซึ่ง องค์ความรู้ด้วยตนเอง

## 2.2 การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

สุวัฒน์ นิยมคำ (2517) การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

1. การทดลองแบบไม่กำหนดทิศทาง (unstructured laboratory) คือ การทดลอง ที่ผู้สอนได้ตั้งปัญหาขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ค้นหาคำตอบด้วยตนเอง เพื่อส่งเสริมกระบวนการคิดของผู้เรียน โดยผู้เรียนเป็นผู้วางแผนการทดลองด้วยตัวเอง ได้แก่ การกำหนดขอบเขตของปัญหา การตั้งสมมติฐาน การออกแบบการทดลอง การลงมือทำการทดลอง และการสรุปและอภิปรายผลการทดลอง

2. การทดลองแบบสำเร็จรูป (structured laboratory) คือ การทดลองที่ผู้สอน เป็นผู้ตั้งปัญหาขึ้นและกำหนดวิธีแก้ปัญหาผ่านคำชี้แจงในคู่มือบทปฏิบัติการ มีการกำหนดวัตถุประสงค์ และวิธีการทดลองได้สำเร็จ ผู้เรียนเพียงปฏิบัติตามคำชี้แจงก็ได้คำตอบออกมา ดังนั้น การทดลองในรูปแบบนี้จึงไม่ส่งเสริมกระบวนการคิดของผู้เรียนเท่าที่ควร การจัดการเรียนการสอนบทปฏิบัติการทั้งสองรูปแบบ มีความแตกต่างกันตรงที่การจัดการเรียนการสอนบทปฏิบัติการแบบไม่กำหนดทิศทางผู้เรียนมีอิสระในการศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง ผู้สอนมีหน้าที่ช่วยให้คำแนะนำเล็กน้อย ดังนั้นการเรียนการสอนแบบไม่กำหนดทิศทางจะส่งเสริมผู้เรียนให้มีความสามารถในการ

คดีวิเคราะห์แก้ปัญหา ส่วนการจัดการเรียนการสอนแบบปฏิบัติการแบบกำหนดทิศทาง ผู้เรียนจะได้เรียนรู้วิธีการปฏิบัติจากผู้สอนหรือจากคู่มือปฏิบัติที่ผู้สอนจัดเตรียมไว้ จึงทำให้วิธีการสอนแบบกำหนดแนวทางไม่ส่งเสริมกระบวนการคิดให้กับผู้เรียนเท่าที่ควร

ภพ เลหาไพบูลย์ (2542) ได้แบ่งการเรียนการสอนแบบทดลองไว้ 3 แบบ คือ 1. การทดลองที่มีการควบคุม (Controlled experiments) เป็นการทดลองที่ควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้อง โดยควบคุมตัวแปรอื่น เหลือไว้เพียง 2 ตัวแปร คือตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม แล้ว ทดลองว่าเมื่อตัวแปรอิสระเปลี่ยนไป จะมีผลกระทบต่อตัวแปรตามอย่างไร

2. การทดลองที่เป็นการฝึกหัด (Laboratory exercises) เป็นการฝึกฝนการใช้เครื่องมือ ภายในห้องปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ผู้เรียนได้คุ้นเคยและมีทักษะการใช้เครื่องมือในบางกิจกรรมของการจัดการเรียนรู้ ออกแบบเพื่อให้ผู้เรียนได้เข้าใจในหลักการวิทยาศาสตร์ที่เรียน โดยผู้สอนจะเป็นผู้เตรียมวัสดุอุปกรณ์และมีการให้คำแนะนำในการทดลอง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์และคำตอบ

3. การทดลองที่เป็นงานปฏิบัติการ (Laboratory work) เป็นการทดลองในทางวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง โดยผู้เรียนจะเป็นผู้เริ่มและทำการทดลองโดยใช้ความคิดในระดับสูง ผู้เรียนจะได้ฝึกปฏิบัติ ในการกำหนดปัญหา หาวิธีการแก้ปัญหา สรุปผลการทดลอง ทำให้ผู้เรียนได้คิดอย่างพินิจวิเคราะห์ด้วยตนเองได้

จากการจัดการเรียนการสอนแบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดการเรียนรู้ โดยบทปฏิบัติการทดลองเคมีแบบย่อส่วน ทำการทดลองตามคู่มือบทปฏิบัติการทดลองเคมีแบบย่อส่วน ที่มีการกำหนดจุดมุ่งหมายการทดลอง หลักการ วิธีดำเนินการทดลองกำหนดไว้ให้ ผู้เรียนได้การออกแบบการทดลอง การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง สรุปและอภิปรายผลการทดลอง โดยมีผู้สอนเป็นผู้ชี้แนะแนวทางและให้คำปรึกษา

### 2.3 ขั้นตอนการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

สมจิต สวรรณไพบูลย์ (2526) ได้แบ่งขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนแบบทดลอง โดยการ ใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็น 3 ขั้น ดังนี้

ขั้นเตรียมการ : เป็นขั้นที่ครูทำการกระตุ้นทำให้นักเรียนเริ่มด้วยปัญหา เพื่อนำผู้เรียนเข้าสู่บทเรียน จากนั้นจึงร่วมกันสรุปปัญหาของนักเรียน สร้างตัวแปรการทดลอง เพื่อออกแบบการทดลอง และ พิสูจน์ผลการทดลอง ซึ่งควรจะมีการแบ่งกลุ่มผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้ทำการทดลองอย่างทั่วถึง นอกจากนี้อาจทำการตั้งสมมติฐานเพื่อคาดคะเนผลการทดลองล่วงหน้าไว้ด้วย

ขั้นตอนการทดลอง : ให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองจริง จากการวางแผนการทดลองที่ออกแบบไว้ก่อนลงมือทำการทดลอง โดยครูเป็นผู้คอยควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิดเพื่อให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ อย่างทั่วถึง และปลอดภัย

ขั้นสรุปและประเมินผลการทดลอง : ครูทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยในการพานักเรียนหาคำตอบ ร่วมกันอภิปรายผลการทดลอง โดยเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกลุ่มในห้องเรียน และทำการสรุป กิจกรรม อาจจะมีการประเมินการทำงานและความร่วมมือของกลุ่มผู้เรียนที่ได้ถูกแบ่งในขั้นตอนทำการทดลองด้วย

ยศวดี จิวติวร (2557) ได้แบ่งขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนแบบทดลอง โดยการใช้นวัตกรรมวิทยาศาสตร์เป็น 3 ขั้น ได้แก่

1. ขั้นตอนวางแผนก่อนการทดลอง เป็นขั้นตั้งสมมติฐานการทดลอง ระบุตัวแปรต้นที่ ต้องการศึกษาและควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องอื่นๆที่ไม่ได้สนใจส่งผลต่อตัวแปรตาม เพื่อให้ตัวแปรตามเป็นผลมาจากตัวแปรต้นมากที่สุด

2. ขั้นทำการทดลอง เป็นขั้นตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยเริ่มตั้งแต่การ ออกแบบ การทดลองเพื่อกำหนดวิธีทำการทดลอง ลงมือทำการทดลอง ตลอดไปจนการบันทึกผล

3. ขั้นตีความผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง เป็นการนำผลการ ทดลองมาจัดกระทำเพื่อให้ผลการทดลองอยู่ในรูปแบบที่สามารถสื่อสารได้ เช่น ตาราง ค่าทาง สถิติ แผนภูมิ แผนภาพ แล้วทำการสรุปความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ถูกศึกษา

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่าขั้นตอนในการจัดการเรียนการสอนบทปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ จะมีขั้นตอนการสอน 3 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นกระตุ้นการสนใจของผู้เรียน เพื่อให้เกิดคำถาม และชักจูงผู้เรียนด้วยปัญหา ขั้นลงมือปฏิบัติการทดลอง เพื่อดำเนินการหาคำตอบจากปัญหาของนักเรียน และขั้นสรุปและตีความผลการทดลอง

#### 2.4 ประโยชน์ของการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

บุญชม ศรีสะอาด (2541) ประโยชน์จากการจัดการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์มีดังนี้

1. ผู้สอนได้ทำการเลือกให้ความช่วยเหลือเฉพาะผู้เรียนที่ต้องการ
2. การจัดการเรียนการสอนในบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สามารถจัดการเรียน การสอนให้แก่ผู้เรียนได้ทั้งรายกลุ่มและรายบุคคล
3. ผู้เรียนสะดวกในการศึกษากิจกรรมตามความเหมาะสม จากช่องทางที่สะดวกได้ด้วยตนเอง



4. ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะกระบวนการแก้ปัญหา จากการเรียนรู้ที่ใช้การแก้ปัญหา ด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์

5. ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้รู้จักการสรุปเพื่อเชื่อมโยงไปสู่สถานการณ์อื่นๆ ใน ชีวิตประจำวัน

6. ความรู้ที่เกิดขึ้นเป็นความรู้ที่เกิดขึ้นจากการลงมือปฏิบัติของผู้เรียนโดยมีครูเป็นผู้ ชี้นำเท่านั้น

7. ส่งเสริมทักษะการทำงานของผู้เรียน เช่น ทักษะในการสื่อสาร และทักษะใน การ ทำงานเป็นกลุ่ม

8. พัฒนาความคิดและเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

สมจิต สวธน์ไพบูลย์ (2526) ประโยชน์จากการจัดการเรียนการสอนด้วยบท ปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์มีดังนี้

1. ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ ความรู้ ที่เกิดจากการลงมือปฏิบัติด้วยตัวเอง

2. ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ควบคู่กับเกิดทักษะการแสวงหาความรู้ด้วยวิธีการทาง วิทยาศาสตร์

3. เสริมสร้างทักษะการทำงานแบบนักวิทยาศาสตร์ อันได้แก่การทำงานร่วมกันและ การรับฟังความคิดเห็นที่แตกต่าง

4. ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ลงมือปฏิบัติ จึงก่อให้เกิดความ สนุกสนาน และ เกิดความกระตือรือร้นที่จะแสวงหาความรู้

5. ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้นำวิธีการแสวงหาความรู้ด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ ภาพ เลหาไพบูลย์ (2542) ได้ให้ประโยชน์จากการจัดการเรียนการสอนด้วยบท ปฏิบัติทาง วิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้

1. ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ ตรงความรู้ แนวคิด ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง และได้ ฝึกฝนการใช้ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา

2. ผู้เรียนได้ใช้ประสาทสัมผัสในการปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้

3. ผู้เรียนได้มีโอกาสค้นพบวิธีการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง

4. การเรียนรู้ที่เกิดขึ้นกับผู้เรียนนั้นเกิดขึ้นอย่างยาวนานและแท้จริง

5. ทำให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์และการเรียนวิทยาศาสตร์จาก ประโยชน์ของการจัดการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมา

ยศวดี ลีติวร (2557) การเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีประโยชน์ต่อผู้เรียน เปิดโอกาสให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ผูกการปฏิบัติที่เป็นขั้นเป็นตอน พัฒนาความคิดในการดำเนินการแก้ปัญหา การคิดริเริ่มสร้างสรรค์และพัฒนาการคิดแบบวิทยาศาสตร์ ส่งเสริมให้ผู้เรียนค้นพบองค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเอง

จากประโยชน์ของการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความรู้ที่มาจาก การลงมือปฏิบัติของผู้เรียนด้วยตนเอง และเสริมสร้างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ให้กับผู้เรียน

### 3. ปฏิบัติการทดลองเคมีแบบย่อส่วน

การปฏิบัติการเคมีย่อส่วน (Small-Scale Chemistry Laboratory) คือ วิธีการเรียนรู้เคมีที่มีประสิทธิภาพ และมีความปลอดภัยสูง ช่วยให้การทดลองทางเคมีเป็นเรื่องที่เข้าถึงได้ง่าย โดยอุปกรณ์ และวัสดุที่ใช้ในการปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์พลาสติกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งมีราคาถูกเมื่อ เทียบกับอุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลองเคมีทั่วไป อีกทั้งยังสามารถนำวัสดุขนาดเล็กอื่นๆ ที่เป็น ของใช้ในชีวิตรประจำวันมาดัดแปลงใช้ได้ด้วย ที่ผ่านมากการทดลองแบบนี้ได้รับการยอมรับอย่าง กว้างขวางในระดับนานาชาติ และมีการนำไปใช้กับโรงเรียนในหลายประเทศ ซึ่งเป็นความมุ่งมั่นที่ต้องการผลักดันให้เกิดนวัตกรรมใหม่ๆ ในการจัดการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์ให้สามารถลดข้อจำกัด ทั้งด้านค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์ราคาแพงและสารเคมีในปริมาณมาก ค่าใช้จ่ายในการจัดการกับ ของเสียที่เกิดจากการทดลอง และลดเวลาในการทำปฏิบัติการนั่นเอง นอกจากนี้ยังเป็นการทดลองเคมีอย่างปลอดภัยมากขึ้น และยังช่วยลดภาระให้ครูในการเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีอีกด้วย(สมาคมเคมีแห่งประเทศไทย, 2558)

การทดลองเคมีย่อส่วน คือ การลดปริมาณการใช้สารเคมีให้อยู่ในระดับที่น้อยมากในการทดลองแต่ยังให้ผลการทดลองที่ดี เรียกว่า microscale หรือ small scale chemistry ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถรักษาสิ่งแวดล้อม ป้องกันการเกิดมลภาวะ โดยใช้สารเคมีในปริมาณน้อยแต่ยังคงมีคุณภาพ มีความเที่ยงตรงและแม่นยำสามารถลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ได้ถึง 80-90%(Kelly, 2016) พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ (2546) กล่าวไว้ว่า เคมีย่อส่วนเป็นเรื่องใหม่ซึ่งจะเปิดโอกาสให้ ทุกคนได้เห็นและสัมผัส ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ สามารถนำผู้เรียนเข้าสู่การทดลองทางเคมี ช่วยให้การเรียนการสอนเคมีน่าสนใจ เข้าใจลึกซึ้ง มีความรู้ใฝ่เรียน และส่งเสริมกระบวนการคิดทางวิทยาศาสตร์ อีกทั้งประหยัดและปลอดภัย โดยมีรูปแบบหลักๆ คือ (1) ใช้สารเคมีน้อยลงถึง 1 ใน 1000 ของปริมาณที่ใช้กันในปฏิบัติการเคมีทั่วไป (2) เปลี่ยนจากการใช้

เครื่องแก้วมาเป็นอุปกรณ์ที่ทำด้วยพลาสติก และ (3) เป็นการสังเกตเปรียบเทียบตัวอย่างต่าง ๆ ที่หลากหลายได้อย่างรวดเร็ว และทำได้ทั้งสามเฟส คือ แก๊ส ของเหลว และของแข็ง

Singh (1999) กล่าวไว้ว่า Microscale chemistry เป็นปฏิบัติการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ป้องกันการเกิดมลภาวะผ่านกระบวนการใช้เครื่องแก้วขนาดเล็กและลดปริมาณการใช้สารเคมีซึ่งง่ายต่อการจัดการแต่ยังสามารถอธิบายหลักการทางเคมีได้การทดลองแบบไมโครสเกล (Microscale laboratory บางครั้งอาจเรียกว่า การทดลองแบบย่อส่วน (Small-scale experiment) คือการทำการทดลองให้มีขนาดเล็กลงจากการทดลองในระบบเก่า โดยการทดลองแบบเก่าจะใช้สารปริมาณมาก ใช้อุปกรณ์ขนาดใหญ่แต่เทคนิคไมโครสเกลจะใช้สารปริมาณน้อยและมีการดัดแปลงอุปกรณ์ที่ใช้ให้เหมาะสมทำให้ลดค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีลงได้มาก ลดอันตรายมีความปลอดภัย สำหรับครู-อาจารย์ นักเรียนและนักศึกษามากขึ้น โดยการทดลองแบบย่อส่วนมีข้อดี (พิทักษ์ อยู่มี, 2544) คือ (1) ประหยัดค่าใช้จ่าย (Cost) เคมีย่อส่วนสามารถทำให้ค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีและวัสดุอุปกรณ์รวมทั้งสารต่างๆ ที่ใช้ทำความสะอาดหลังการทดลอง เช่น น้ำที่ใช้ล้างเครื่องแก้ว กระดาษชำระสำหรับเช็ดอุปกรณ์ลดลง และยังมีผลทำให้สามารถใช้สารเคมีในการทดลองได้หลายชนิด (2) มีความปลอดภัย (Safety) เนื่องจากมีการใช้สารเคมีปริมาณน้อย จึงลดโอกาสการเกิดไฟไหม้ ระเบิดและการบาดเจ็บรุนแรงได้ และลดการเกิดมลภาวะที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อใช้สารเคมีปริมาณน้อย ของเสียจึงเกิดขึ้นน้อย และ (3) ประหยัดเวลา (Quickly) ทำให้ประหยัดเวลาทั้งในขั้นการเตรียมสาร เตรียมอุปกรณ์ ขั้นตอนการทดลอง และการทำความสะอาดหลังเสร็จสิ้นการทดลองสำหรับนักการศึกษาในประเทศไทยก็ได้มีการพัฒนาและวิจัยเกี่ยวกับการทดลองเคมีแบบย่อส่วนเช่นกัน โดยจะขอยกตัวอย่างบางกรณี ดังนี้

เยี่ยมศิริ มณีพิศมัย (2550) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบที่ใช้โดยทั่วไปกับบทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน ศึกษาเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อการทดลองเคมีแบบย่อส่วน โดยใช้บทปฏิบัติการการทดลองที่จัดทำขึ้นเป็นไปตามหลักสูตรมหาวิทยาลัยราชภัฏ วิชาปฏิบัติการเคมี 2 จำนวน 5 บทปฏิบัติการ และแบบที่ผู้วิจัยคิดค้น/ออกแบบขึ้นมา จำนวน 5 บทปฏิบัติการ โดยกลุ่มทดลองที่ใช้ เป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่เรียนวิชาปฏิบัติการเคมี 2 ในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม จำนวน 40 คน จากผลการวิจัยพบว่านักศึกษาที่เรียนโดยใช้บทปฏิบัติการแบบย่อส่วน มีเจตคติที่ดีต่อปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนเป็นส่วนใหญ่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาก่อนและหลังการใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วน และบทปฏิบัติการเคมีที่ใช้โดยทั่วไปสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

สาลินี อาจารย์ (2552) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการไมโครสเกลเรื่องเคมีไฟฟ้า ประกอบด้วย 4 บทเรียน คือ ปฏิกริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก เซลล์ความเข้มข้น และการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า โดยการทดลองไมโครสเกล ได้ทำการทดลองที่ใช้สารเคมีในปริมาณน้อยมาก จุดเด่นของการทดลองไมโครสเกล คือมีความปลอดภัย ลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ลดปริมาณสารตกค้างหลังการทดลอง และทำให้เวลาที่ใช้ในการทดลองน้อยลง หลังจากนำบทปฏิบัติการไมโครสเกลที่พัฒนาขึ้นมาทดลองใช้กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 3 (ป.วช.3) หลักสูตรเตรียมวิศวกรรมศาสตร์วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จำนวน 5 กลุ่ม กลุ่มละ 2 คน โดยใช้วิธีการสอนแบบ สืบเสาะหาความรู้ และจัดกิจกรรมเป็น 5 ขั้น (5 E) คือ ขั้นสร้างความสนใจ ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นขยายความรู้ และขั้นประเมินผลที่ได้พบว่าผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในบทเรียนที่ดียิ่งขึ้น เกิดทักษะการคิด ผู้วิเคราะห์ และมีเจตคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์

ศักดิ์ศรี สุภาธร (2554) ได้ปฏิบัติการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์แบบย่อส่วนและศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการเรียนวิชาเคมี เรื่อง เคมีอินทรีย์ จากการจัดการเรียนรู้ด้วยปฏิบัติการแบบย่อส่วนจำนวน 21 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน สูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีความก้าวหน้าทางการเรียนคิดเป็นร้อยละ 39.43 และนักเรียนมีคะแนนความรู้คงทนในการเรียนรู้จากการทดสอบหลังเรียนเสร็จแล้ว 2 สัปดาห์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน นอกจากนี้ นักเรียนยังมีความพึงพอใจต่อปฏิบัติการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์แบบย่อส่วนอยู่ในระดับมาก (mean 4.14, S.D. 0.33) แสดงว่า ปฏิบัติการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์แบบย่อส่วนมีประสิทธิภาพในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการเรียน

ศักดิ์ศรี สุภาธร (2554) ได้พัฒนาเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำ มีวิธีการสร้างที่ง่าย ไม่มีความซับซ้อน เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับการสอนเคมีไฟฟ้าในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย การออกแบบครั้งนี้ใช้แนวคิดเคมีรักษ์สิ่งแวดล้อม เพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมี ทำให้ของเสียจากการทดลองให้ปริมาณน้อยลง และใช้เวลาในการทำการทดลองน้อยลง แต่ยังคงรักษาสภาวะที่สมบูรณ์ของการทดลองไว้ได้อย่างดี ในงานวิจัยนี้พัฒนาเซลล์กัลวานิกที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า Cu, Zn, Al, Mg และ Fe สะพานเกลือทำมาจากเส้นด้ายชนิดผ้าชุบด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีความสอดคล้องกับการทดลองแบบเดิม แต่ใช้ปริมาตรสารละลายอิเล็กโทรไลต์น้อยลง (2.00 มิลลิลิตร) จากการศึกษาพบสภาวะที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมของแต่ละเซลล์ สารละลายที่ใช้ขุบสะพานเกลือ และศึกษาอายุการใช้งานของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในสถานะที่เหมาะสม(720 ชั่วโมง) ผลการทดลองที่ได้จากการสร้างเซลล์กัลวานิกเปรียบเทียบกับวิธีแบบเก่า เมื่อใช้ t-test ทดสอบศักยภาพไฟฟ้าของวิธีทั้งสองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $t = 2.447$ ) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การวิเคราะห์คะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน (ก่อนและหลังการใช้เซลล์ที่พัฒนาขึ้น ตามลำดับ) ได้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนมีค่าเท่ากับ 4.69 และ 8.15 โดยมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสำหรับคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนเป็นร้อยละ 34.89 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายตัวมีค่าเท่ากับร้อยละ 24.09 และ 15.82 สำหรับคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนตามลำดับ เมื่อใช้ t-test แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกันทดสอบคะแนนของการสอบทั้งสองครั้ง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $t_{\text{observed}} = 9.55$ ,  $t_{\text{critical}}$  ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้นักเรียนยังมีเจตคติที่ดีต่อการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วน และต้นทุนวิธีการนำเสนอนี้คาดว่าจะจะเป็นเครื่องมือในการสอนอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

สุภาพ ตาเมือง (2560) ได้พัฒนาการทดลองเคมีย่อส่วน เรื่อง สมดุลเคมีโดยทำการทดลองบนถาดหลุมแทนการใช้หลอดทดลอง ต้นทุนอุปกรณ์ในชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนนี้มีราคาต่อชุดประมาณ 315 บาท โดยยังไม่ได้รวมราคาสารเคมี อย่างไรก็ตาม สารเคมีที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นสารเคมีชุดเดียวกับในการทดลองแบบมาตรฐาน แต่ลดปริมาณลงอย่างน้อย 2 – 4 เท่า หรืออาจจะกล่าวได้ว่า สามารถลดต้นทุนในส่วนของสารเคมีได้อย่างน้อย 2 – 4 เท่านั่นเอง จากการศึกษาความเข้าใจในมิติจากการเรียนด้วยชุดการทดลองย่อส่วนต้นทุนต่างผ่านวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น แล้วพบว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มไม่มีความเข้าใจในมิติ (NU ร้อยละ 50.81) และกลุ่มความเข้าใจในมิติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU ร้อยละ 29.05) ซึ่งเป็นกลุ่มมโนคติที่มีความถูกต้องน้อยมาก อย่างไรก็ตาม หลังการเรียนด้วยชุดการทดลองย่อส่วน นักเรียนส่วนใหญ่สามารถพัฒนามาอยู่ในกลุ่มความเข้าใจในมิติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU ร้อยละ 33.78) และกลุ่มความเข้าใจในมิติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU ร้อยละ 29.46) ทั้งนี้ หลังเรียนผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจในมิติถูกต้องสมบูรณ์ และถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (SU+PU) เพิ่มขึ้นมา 51.48 ส่วนผลรวมร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจในมิติผิดและไม่มีความเข้าใจในมิติ (MU+NU) ลดลงไป 51.89 และนักเรียนยังมีเจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมีหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนด้วยชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ก็ยังอยู่ในระดับมากทั้งสองกรณี จึงสามารถกล่าวได้ว่า การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการ

ทดลองย่อยส่วนนี้สามารถทำให้นักเรียนเปลี่ยนแปลงจากความเข้าใจในมิติที่สอดคล้องกับมโนคติวิทยาศาสตร์น้อยไปสู่ความเข้าใจในมิติที่สอดคล้องกับมโนคติวิทยาศาสตร์มากขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้นักเรียนมีเจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมีไปในทางบวกมากขึ้น

ศักดิ์ศรี สุภาพร และคณะ (2562) ได้การพัฒนาชุดการทดลองเคมีย่อยส่วนแบบต้นทุนต่ำร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะเพื่อสนับสนุนความเข้าใจในมิติและการปรับเปลี่ยนมโนคติระดับโมเลกุลของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พัฒนาการทดลองเคมีย่อยส่วนต้นทุนต่ำ (LSCE) ร่วมกับแบบจำลองระดับอนุภาค (PLM) เพื่อสนับสนุนความเข้าใจในมิติและเมนทอลโมเดลระดับอนุภาคของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 3 ชุด สำหรับการพัฒนา LSCE จะเริ่มจากการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทดลองในสเกลมาตรฐาน จากนั้นจะเป็นการย่อยส่วนสารเคมีที่ใช้ลงไปอย่างน้อย 4 – 16 เท่า ตามหลักการทดลองแบบย่อยส่วนและเคมีสีเขียว โดยคงรายละเอียดของเนื้อหาเหมือนในการทดลองสเกลมาตรฐาน และประยุกต์ใช้อุปกรณ์ที่ใช้งานได้ง่ายขึ้น เสี่ยงต่อการแตกหรือชำรุดน้อยลง แต่ยังใช้งานซ้ำได้เหมือนอุปกรณ์มาตรฐาน นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนา PLM เพื่อเสริมความเข้าใจในมิติจาก LSCE แต่ละชุดจากนั้น จะเป็นการพัฒนาชุดการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยการทดลองเคมีย่อยส่วนต้นทุนต่ำร่วมกับแบบจำลองระดับอนุภาค เรียกว่า IL[LSCE+PLM] ซึ่งมีจำนวน 3 ชุด ประกอบด้วย (1) สมดุลเคมีและปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี (2) อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและปัจจัยที่มีผลต่ออัตรา และ (3) พันธะไอออนิกและสมบัติของสารไอออนิก จากการนำ IL[LSCE+PLM] แต่ละชุดไปจัดการเรียนรู้สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ชุดละ 1 ห้องเรียน และเก็บข้อมูลด้วยแบบวัดความเข้าใจในมิติก่อนเรียนและหลังเรียน ภาพวาดเมนทอลโมเดลความเข้าใจระดับอนุภาคก่อนเรียนและหลังเรียน และการสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างในกรณีที่น่าสนใจผลการวิจัยสำหรับ IL[LSCE+PLM] แต่ละชุดมีความสอดคล้องกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยพบว่า ก่อนเรียนด้วย IL[LSCE+PLM] นักเรียนมีร้อยละของคะแนนความเข้าใจในมิติจากแบบวัดความเข้าใจในมิติอยู่ระหว่าง 24 – 26 โดยที่นักเรียนส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 40) มีความเข้าใจในมิติและภาพวาดเมนทอลโมเดลจัดอยู่ในกลุ่มความเข้าใจในมิติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) ทั้งสองกรณี อย่างไรก็ตาม หลังจากเรียนด้วย IL[LSCE+PLM] แล้ว นักเรียนมีร้อยละของคะแนนความเข้าใจในมิติจากแบบวัดความเข้าใจในมิติพัฒนาขึ้นมาอยู่ระหว่าง 65 – 68 โดยที่นักเรียนส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 45) มีการปรับเปลี่ยนความเข้าใจในมิติและภาพวาดเมนทอลโมเดลมาอยู่ในกลุ่มความเข้าใจในมิติถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) ทั้งสองกรณี ทั้งนี้ นักเรียนมีความก้าวหน้าแบบปกติ (Normalized gain) อยู่ในระดับปานกลาง (ระหว่าง 0.54

- 0.58) และจากการวิเคราะห์ด้วยการทดสอบค่าที่แบบตัวอย่างไม่มีอิสระต่อกัน พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจในมิติหลังเรียนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งสามเรื่อง จะเห็นได้ว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มความเข้าใจในมิติที่สอดคล้องกับมโนคติวิทยาศาสตร์น้อย (PMU MU และ NU) และหลังเรียนนักเรียนมีการปรับเปลี่ยนไปอยู่ในกลุ่มความเข้าใจในมิติถูกต้องสมบูรณ์และถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (GU และ PU) โดยนักเรียนมีการปรับแก้จากความเข้าใจในมิติและภาพวาดเมนทอลโมเดลที่สอดคล้องกับมโนคติวิทยาศาสตร์น้อยไปสู่ความเข้าใจในมิติและภาพวาดเมนทอลโมเดลที่สอดคล้องกับมโนคติวิทยาศาสตร์มากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากการที่ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจในมิติที่ผิดหรือถูกต้องน้อย (PMU MU และ NU) หลังเรียนมีค่าลดลง ในขณะที่ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจในมิติที่ถูกต้องมาก (GU และ PU) มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่า IL[LSCE+PLM] สามารถสนับสนุนให้นักเรียนเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของข้อมูลเคมีระดับมหภาคที่สังเกตเห็นจากการทดลองและระดับสัญลักษณ์ที่เป็นการอธิบายผลการทดลองด้วยสัญลักษณ์หรือสมการเคมี เข้ากับข้อมูลระดับอนุภาคที่ได้จากการปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองระดับอนุภาค เกิดการบูรณาการเป็นความเข้าใจเคมีที่สมบูรณ์มากขึ้น และมีการปรับเปลี่ยนความเข้าใจในมิติและเมนทอลโมเดลระดับอนุภาคไปสู่ทิศทางที่สอดคล้องกับมโนคติทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากยังมีโรงเรียนจำนวนมากยังขาดความพร้อมด้านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะการทดลองเคมีในห้องเรียน รวมถึงความเสี่ยงต่ออันตรายอันเกิดจากสารเคมี ทำให้นักเรียนขาดทักษะการเรียนรู้ในการทดลองเคมี ซึ่งเป็นพื้นฐานความรู้ของวิทยาศาสตร์สาขาต่างๆ และการศึกษาระดับอุดมศึกษาในอนาคต ซึ่งการทดลองเคมีแบบย่อส่วนเป็นอีกหนึ่งกิจกรรมการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้มีการพัฒนาทางความคิดและการทดลองเคมีในโรงเรียนให้มีเพิ่มมากขึ้น และเป็นแนวทางในการส่งเสริมให้โรงเรียนอื่นๆ มีการสอนการทดลองที่มีประสิทธิภาพต่อไปด้วย โดยในปัจจุบันโรงเรียนควรมีการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในรูปแบบของการอภิปรายและการตั้งคำถามให้นักเรียนฝึกใช้ความคิดในการตอบคำถาม ดังนั้นการที่โรงเรียนระดับมัธยมศึกษาได้มีการใช้การทดลองเคมีแบบย่อส่วนในการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีจึงมีประโยชน์อย่างยิ่งทั้งในด้านการเรียนรู้เทคนิคและแนวคิดในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่นอกเหนือจากแบบเรียน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในเนื้อหาที่มีความเกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี

#### 4. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์และแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีไฟฟ้า

##### 4.1 ความหมายของแนวคิด

แนวคิด ภาษาอังกฤษใช้คำว่า Concept โดยนักการศึกษาหลายท่าน ใช้ชื่อเรียกที่หลากหลาย เช่น ความคิดรวบยอด (สุวัฒน์ นิยมคำ, 2517) มโนคติ (จินดารัตน์ แก้วพิกุล, 2554) หรือ สังกัป (มังกร, 2522) โดยนักการศึกษาได้ให้ความหมายของแนวคิดที่แตกต่างกัน โดยให้ความหมายว่าเป็น ภาพในใจ หรือแบบของความคิดที่เป็นตัวแทนสิ่งของทั้งประเภท (วิชัย , 2532; กันต์กนิษฐ์ , 2554) หรือเป็นมโนภาพที่เป็นนามธรรมที่ใช้แทนสิ่งของ สัตว์ วัตถุที่จัดไว้เป็น จำพวกเดียวกัน โดยมีการถือเอาลักษณะที่สำคัญเป็นเกณฑ์ (สุวัฒน์ , 2531; เกรียงศักดิ์ , 2549, สุรางค์ , 2550) หรือเป็นการอธิบายกลุ่มคำซึ่งแทนองค์ความรู้ที่ถูกสร้างขึ้นเกี่ยวกับสิ่งนั้นๆ (West and Prines, 1985) หรือเป็นการให้สัญลักษณ์กับสิ่งใดสิ่งหนึ่งตาม ประสบการณ์ที่ผู้้นั้นเคยได้รับรู้มา (Osborne and Cosgrove, 1983)

โดยสรุป แนวคิด หมายถึง ความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนในสิ่งใดสิ่งหนึ่งซึ่ง อาจจะสามารถอธิบาย บอกความสำคัญ จำแนกแยกแยะ ลักษณะร่วมที่มีเหมือนกัน และอธิบายลักษณะเปรียบเทียบความแตกต่างกันของสิ่งนั้นได้

#### 4.2 การเกิดแนวคิด

การทำให้เกิดแนวคิดได้นั้น ผู้เรียนจะต้องเข้าใจความหมายของสิ่งนั้นอย่างแท้จริงจนเกิด เป็นภาพจินตนาการขึ้น โดยมีประสบการณ์ตรงหรือประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรมของสิ่งนั้นอยู่ก่อนแล้วนั้น ซึ่งความสามารถในการใช้จินตนาการของบุคคลไม่เท่ากัน มีนักการศึกษาหลายท่านได้อธิบายการเกิดแนวคิด โดยกล่าวว่า การที่บุคคลจะเกิดแนวคิดในเรื่องใดนั้น บุคคลนั้นต้องเคยมีประสบการณ์ในการเรียนรู้ความจริง (facts) หลักการ (principles) ของเรื่องนั้นๆ มาก่อนแล้ว และจะต้องสามารถระลึกได้ว่า สิ่งนั้นมีลักษณะเฉพาะอย่างไรบ้าง โดยแยกแยะลักษณะเฉพาะของสิ่งนั้น ออกจากสิ่งอื่นได้อย่างชัดเจนซึ่งคุณลักษณะต่างๆจะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยคุณสมบัติการสังเกตเป็นอย่างดี หรือนักการศึกษาบางท่านได้อธิบายว่าบุคคลจะเกิดแนวคิด เมื่อได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าจะเกิดการรับสัมผัสหรือการเรียนรู้ขึ้น ประสบาสัมผัสแปลความหมาย โดยอาศัยประสบการณ์ของเดิมที่เกี่ยวข้องกับสิ่งเร้านั้นเป็นการรับรู้ที่มีความหมายและทำการเก็บการรับรู้ที่มีความหมายไว้ในความทรงจำ ต่อมาเมื่อได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าใหม่ ก็จะมีการรับรู้และเปรียบเทียบกับความรู้ที่มีอยู่เดิมแล้วแยกแยะลักษณะแตกต่างกันและสรุปรวบยอดลักษณะที่เหมือนกันของสิ่งเร้าได้กลายเป็นแนวคิดที่ถูกต้อง

Ausubel (1970) ได้สรุปการเกิดแนวคิด ดังนี้ การจะเกิดแนวคิดได้ ผู้เรียนจะต้องวิเคราะห์แยกแยะความแตกต่างของกระบวนการสิ่งเร้าก่อน จากนั้นเป็นขั้นตอนการตั้งสมมติฐาน โดยพิจารณาจากลักษณะร่วมของส่วนย่อยไปแล้วจึงสำรวจสมมติฐานที่สามารถรวมกลุ่มสิ่งเร้า



ซึ่งมีลักษณะบางประการร่วมกันได้ หากลักษณะเฉพาะของสิ่งเร้ามาสัมพันธ์กับแนวคิดของตนเอง แล้วแยกแยะความแตกต่างระหว่างแนวคิดที่รับมาใหม่กับแนวคิดที่มีอยู่แล้วเพื่อหาความสัมพันธ์กัน เมื่อมีอาจารย์ถึงขั้นนี้ ผู้เรียนจะสรุปครอบคลุมลักษณะเฉพาะของแนวคิดใหม่ให้ ครอบคลุมส่วนย่อยทั้งหมดในกลุ่มพร้อมทั้งหาสัญลักษณ์ทางภาษาเป็นแนวคิดที่รับมาใหม่ได้

การเกิดแนวคิดจะเกิดขึ้นเมื่อผู้เรียนต้องมีประสบการณ์เดิมเป็นพื้นฐานอยู่ก่อน ประกอบกับเมื่อมีสิ่งเร้าเข้ามา ผู้เรียนจะมีการรับสัมผัสและแปลความหมายเป็นการรับรู้โดยอาศัยประสบการณ์ ดีความหมายจนเข้าใจ จากนั้นผู้เรียนจะเก็บไว้ในความทรงจำ เมื่อมีสิ่งเร้าใหม่มากระตุ้นอีก ผู้เรียนเกิดการรับรู้ใหม่เปรียบเทียบการรับรู้เดิม และแยกแยะความต่างระหว่างการรับรู้ใหม่กับความรู้เดิม เพื่อหาความสัมพันธ์แล้วสรุปขอบเขตลักษณะที่เหมือนกันจัดเข้าเป็นหมวดหมู่ ทำให้เกิดแนวคิดขึ้น

#### 4.3 ประเภทของแนวคิด

มีนักการศึกษาได้จัดประเภทแนวคิดไว้ 5 ระดับ (Simpson and Marek, 1998) ดังนี้

1. แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (Sound Understanding: SU) หมายถึง ผู้เรียนที่มีแนวคิด สอดคล้องกับแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ทุกองค์ประกอบ

2. แนวคิดวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding: PU) หมายถึง ผู้เรียนที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ

3. แนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์บางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding and Misunderstanding : PU and MU) หมายถึง ผู้เรียนที่มีแนวคิดสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ แต่ผู้เรียนได้แสดงข้อความที่บ่งชี้แนวคิดที่คลาดเคลื่อนจากแนวคิดเชิง วิทยาศาสตร์

4. แนวคิดคลาดเคลื่อนจากแนวคิดวิทยาศาสตร์ (Complete Misunderstanding : CM) หมายถึง ผู้เรียนที่มีแนวคิดไม่สอดคล้องกับแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์

5. ไม่ตอบคำถาม (Without Answer: WA) หมายถึง ผู้เรียนที่ไม่ตอบคำถามใดๆ หรือไม่ อธิบายคำตอบ หรือทบทวนในลักษณะคำถามหรือไม่ตรงประเด็น

กาญจนา (2547) ได้จำแนก ชนิดของคำตอบหรือคำอธิบายแนวคิดที่แสดงถึง ความเชื่อหรือความรู้ความเข้าใจ แบ่งเป็นแนวคิดถูกต้อง และแนวคิดคลาดเคลื่อน ซึ่งแนวคิดคลาดเคลื่อนจะแบ่งได้เป็น แนวคิดที่ไม่สมบูรณ์ แนวคิดที่คลาดเคลื่อนบางส่วน และแนวคิดไม่ถูกต้อง

แนวคิดที่ถูกต้อง หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายแนวคิดที่แสดงถึงความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้องเป็นที่ยอมรับของนักวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการทำแบบสำรวจแนวคิด

สุพรรณษา หอมฤทธิ์ (2560) แนวคิดคลาดเคลื่อน หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายแนวคิดที่แสดงถึงความเชื่อ หรือความรู้ ความเข้าใจที่ยังไม่ถูกต้อง คลุมเครือ สับสน ไม่มีเหตุผลเพียงพอปราศจากความเข้าใจหรือไม่เป็นแนวคิดที่เป็นที่ยอมรับของนักวิทยาศาสตร์ ซึ่งแบ่งได้เป็น แนวคิดที่ไม่สมบูรณ์ หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายของแนวคิดที่แสดงถึงความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้องแต่อธิบายไม่สมบูรณ์ตามแนวคิดที่เป็นที่ยอมรับของนักวิทยาศาสตร์ แนวคิดที่คลาดเคลื่อนบางส่วน หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายแนวคิดที่แสดงถึง ความรู้ ความเข้าใจที่บางส่วนถูกต้อง บางส่วนคลาดเคลื่อน แนวคิดที่ไม่ถูกต้อง หมายถึง คำตอบหรือคำอธิบายแนวคิดที่แสดงถึงความรู้ ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง หรือไม่รู้ หรือจำไม่ได้

#### 4.4 วิธีวัดแนวคิด

วิธีการที่ใช้ในการวัดแนวคิดที่เป็นที่นิยมนั้นมีหลากหลายวิธีด้วยกัน เช่น แบบวัดแนวคิดชนิด เลือกตอบ แบบวัดแนวคิดชนิดคำถามปลายเปิด แบบวัดแนวคิดชนิดเลือกตอบแบบสองชั้นและการสัมภาษณ์โดยแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 แบบวัดแนวคิดชนิดเลือกตอบ ลักษณะทั่วไปคำถามแบบเลือกตอบประกอบด้วย ตัวเลือกที่เป็นคำตอบถูกและตัวเลือกที่เป็นตัวลวงและคำถามแบบเลือกตอบที่ตีนิยมนำใช้ตัวเลือกที่ใกล้เคียงกันดูเฝิน ๆ จะเห็นว่าทุกตัวเลือกนั้นถูกหมด เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดแนวคิดได้อย่างรวดเร็ว แต่จะต้องใช้เวลานานในการสร้างตัวลวงที่เหมาะสม ข้อดีของเครื่องมือชนิดนี้คือสามารถระบุความเข้าใจได้รวดเร็ว เหมาะกับกลุ่มตัวอย่างที่มีปริมาณมาก แต่เป็นเครื่องมือที่ใช้เวลาในการสร้าง เครื่องมือนาน (นุชลี, 2551; จินดา, 2554) เช่น งานวิจัยของจินดา (2554) เป็นตัวอย่างงานวิจัยที่วัดแนวคิดด้วยข้อสอบเลือกตอบ ใช้แบบสำรวจวัดแนวคิดที่ คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ชนิดถูก-ผิด จำนวน 30 ข้อ แล้วจึงนำคำตอบของนักเรียนมาทำการจัดเกณท์

4.4.2 แบบวัดแนวคิดชนิดคำถามปลายเปิด แบบวัดแนวคิดชนิดนี้จะถูกกำหนดสถานการณ์ หรือปัญหาเพื่อวัดความเข้าใจของนักเรียน แบบวัดแนวคิดชนิดนี้ไม่ได้กำหนดคำตอบไว้เพื่อเปิดโอกาสทำให้ผู้ตอบเขียนตอบอย่างอิสระด้วยความคิดของตนเอง แบบวัดชนิดนี้ประหยัดเวลาในการสร้าง แต่จะต้องระมัดระวังในการตรวจให้มากผู้ตอบจะต้องทำการคิดวิเคราะห์อย่างกว้างขวาง (จิตตมาส, 2549, วรวิทย์, 2552) เช่น งานวิจัยของ จิตตมาส (2549) ซึ่งได้ศึกษาแนวคิด เรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และพฤติกรรมของครูผู้สอน ด้วย

แบบวัดแนวคิดชนิดคำถามปลายเปิด จำนวน 28 ข้อ ใช้เวลา 100 นาที โดยวิเคราะห์เป็นร้อยละ แนวคิดที่ถูกต้อง แนวคิดที่ไม่สมบูรณ์ แนวคิดที่คลาดเคลื่อน และแนวคิดที่ไม่ถูกต้อง

4.4.3 แบบวัดแนวคิดชนิดเลือกตอบแบบสองชั้น แบบวัดแนวคิดชนิดนี้เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเป็นแบบวัดแนวคิดที่เน้นศึกษาความเข้าใจของผู้เรียนและกระตุ้นให้ผู้เรียนตอบคำถาม โดยใช้ความเข้าใจมากกว่าความจำ (Pienta, 2003) ลักษณะของแนวคิดชนิดนี้จะแบ่งเป็นสองส่วน โดยส่วนที่หนึ่งเป็นแบบวัดแนวคิดชนิดเลือกตอบที่มี 2, 3 หรือ 4 ตัวเลือกให้เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว และอีกส่วนหนึ่งจะเว้นให้ผู้เรียนแสดงแนวคิดเกี่ยวกับเหตุผลที่ผู้เรียนใช้ตอบคำถามในส่วนที่หนึ่ง (วรภกรณ์, 2547) ตัวอย่าง งานวิจัยที่วัดแนวคิดด้วยแบบวัดชนิดนี้ (กาญจนา, 2547; เยาวเรศ, 2549 ; วรภกรณ์, 2547) การจัดกลุ่มแนวคิดโดยใช้แบบวัดแนวคิดชนิดเลือกตอบและให้เหตุผล ที่เลือกตัวเลือกนั้น ถ้านักเรียนเลือกคำตอบถูกต้องพร้อมให้เหตุผลได้ถูกต้อง แสดงว่านักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้อง ถ้านักเรียนเลือกคำตอบได้ถูกต้องได้แต่กลับไม่สามารถอธิบายเหตุผลในการตอบ แสดงว่าผู้เรียนมีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์ ถ้านักเรียนเลือกคำตอบไม่ถูกต้อง และแสดงเหตุผลไม่ถูกต้องด้วย แสดงว่านักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อน หรือมีแนวคิดไม่ถูกต้อง หรือไม่มีแนวคิดนั้น

4.4.4 การสัมภาษณ์ การสัมภาษณ์เป็นวิธีการสื่อสารสองทางที่มีการสนทนาระหว่างผู้มีข้อมูล กับผู้ต้องการทราบข้อมูล เป็นการถาม-ตอบกันโดยตรง หากมีข้อสงสัยใด หรือเข้าใจไม่ชัดเจนก็ทำ ความเข้าใจจนชัดเจนในทันที การวัดแนวคิดสามารถใช้การสัมภาษณ์ หรือใช้แบบทดสอบร่วมกับการสัมภาษณ์ก็ได้ การสัมภาษณ์มีได้หลายลักษณะด้วยกัน

#### 4.5 แนวคิดที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีไฟฟ้า

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ (2563) ได้นำเสนอดังนี้

ตาราง 1 แนวคิดที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมีไฟฟ้า

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	ความเข้าใจที่ถูกต้อง
ตัวออกซิไดส์เป็นสารที่เกิดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และตัวรีดิวซ์เป็นสารที่เกิดครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน	ตัวออกซิไดส์เป็นสารที่เกิดครึ่งปฏิกิริยารีดักชันและ ตัวรีดิวซ์เป็นสารที่เกิด ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	ความเข้าใจที่ถูกต้อง
อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านสารละลายในเซลล์เคมีไฟฟ้า	อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านลวดตัวนำแต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านสารละลายในเซลล์เคมีไฟฟ้า
แผนภาพเซลล์เขียนได้เฉพาะเซลล์กัลวานิก	แผนภาพเซลล์เขียนได้ทั้งเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติก
แผนภาพเซลล์อิเล็กโทรลิติกเหมือนกับแผนภาพเซลล์กัลวานิก	แผนภาพเซลล์อิเล็กโทรลิติกมีครึ่งเซลล์สลับด้านกันกับของเซลล์กัลวานิก
มีการปรับเปลี่ยนเครื่องหมายของค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดอกซ์สำหรับ $E^0_{\text{anode}}$ ในการคำนวณโดยใช้สมการ $E^0_{\text{cell}} = E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}}$ เนื่องจากปฏิกิริยาที่แอโนดเป็นออกซิเดชัน เช่น $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{s}) \quad E^0 = 0.34 \text{ V}$ $\text{Cu}(\text{s}) \longrightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \quad E^0 = -0.34 \text{ V}$	ถึงแม้ว่า $E^0$ ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะมีเครื่องหมายตรงข้ามกับ $E^0$ ของปฏิกิริยารีดอกซ์ แต่การคำนวณโดยใช้สมการ $E^0_{\text{cell}} = E^0_{\text{cathode}} - E^0_{\text{anode}}$ ค่า $E^0_{\text{cathode}}$ และ $E^0_{\text{anode}}$ เป็นค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดอกซ์เสมอ โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนเครื่องหมาย
เมื่อมีการคูณเลขสัมประสิทธิ์ของสมการของครึ่งเซลล์จะต้องมีการคูณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์นั้นด้วย เช่น $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{s}) \quad E^0 = 0.34 \text{ V}$ $3\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 6\text{e}^- \longrightarrow 3\text{Cu}(\text{s}) \quad E^0 = 1.02 \text{ V}$	เมื่อมีการคูณเลขสัมประสิทธิ์ของสมการของครึ่งเซลล์จะไม่มี การคูณ ค่า ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์นั้น แต่จะใช้ค่าเดิม เช่น $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}(\text{s}) \quad E^0 = 0.34 \text{ V}$ $3\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 6\text{e}^- \longrightarrow 3\text{Cu}(\text{s}) \quad E^0 = 0.34 \text{ V}$
แบตเตอรี่เกี่ยวข้องกับเซลล์กัลวานิกเท่านั้น เนื่องจากเป็นแหล่งให้พลังงานไฟฟ้า	แบตเตอรี่เกี่ยวข้องกับทั้งเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติก โดยในการประจุใหม่ในแบตเตอรี่ประเภทเซลล์ทุติยภูมิจะใช้หลักการของเซลล์อิเล็กโทรลิติก
ถ่านไฟฉายไม่ใช่แบตเตอรี่	ถ่านไฟฉายเป็นแบตเตอรี่ชนิดหนึ่ง

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	ความเข้าใจที่ถูกต้อง
กระบวนการกัดกร่อนหรือเกิดสนิมเกิดขึ้นกับเครื่องมือเครื่องใช้วัสดุอุปกรณ์ หรือสิ่งก่อสร้างที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบเท่านั้น	กระบวนการกัดกร่อนหรือเกิดสนิมเกิดขึ้นกับเครื่องมือ เครื่องใช้ วัสดุอุปกรณ์ หรือสิ่งก่อสร้างที่มีโลหะชนิดอื่นได้ด้วย เช่น เหล็ก สังกะสีทองแดง
สนิมมีลักษณะเป็นของแข็งสีน้ำตาลแดงเท่านั้น	สนิมอาจมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ เช่น สนิมของทองแดงมีสีเขียว
อิเล็กโทรไลต์มีสถานะของเหลวเท่านั้น	อิเล็กโทรไลต์มีสถานะอื่นได้เช่น พอลิเมอร์ อิเล็กโทรไลต์เป็นอิเล็กโทรไลต์แข็ง

## 5. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ภพ เลหาไพบูลย์ (2542) กล่าวว่า วิธีการประเภทหนึ่งที่จะได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์คือ การศึกษาค้นคว้าการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานตามขั้นตอน ของวิธีการทางวิทยาศาสตร์นั้น ถ้าหากจะประสบความสำเร็จหรือล้มเหลว ขึ้นอยู่กับความสามารถและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละคน ซึ่งเป็นกระบวนการทางปัญญา

### 5.1 ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

Anderson and Cockayne (1993) ได้ให้ความหมายว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง กระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้ในการแสวงหาความรู้ที่สำคัญ คือ กระบวนการนี้จะเกิดการสลับซับซ้อนในแต่ละส่วนบุคคล ทำให้เกิดพัฒนาการทางด้านสติปัญญา

พจน์ (2517) ได้ให้ความหมายว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง พฤติกรรมของมนุษย์ที่แสดงออกถึงความสามารถในการทำการสังเกต การวัด การบันทึกข้อมูล และสื่อความหมายการจัดกระทำกับข้อมูล การแปลความหมายข้อมูล การสรุป การสร้างสมมุติฐานและการออกแบบดำเนินการทดลองการคำนวณและทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่าง มิติ

ภพ เลหาไพบูลย์ (2542) ได้ให้ความหมายว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง พฤติกรรมที่เกิดขึ้นมาเนื่องจากการปฏิบัติและฝึกฝนความคิดอย่างมีระบบในระหว่างที่

ทำการทดลอง เช่น ฝึกการสังเกต การบันทึกข้อมูล การตั้งสมมติฐานและการทำการทดลอง เป็นต้น

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2545) ได้ให้ความหมายว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความชำนาญและความสามารถในการใช้การคิดเพื่อค้นหาความรู้รวมทั้งการแก้ปัญหา

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง การปฏิบัติการแบบวิทยาศาสตร์ ที่ผู้เรียนสามารถทำการสังเกต การวัด การบันทึกข้อมูลและสื่อความหมายการจัดกระทำกับข้อมูล การแปลความหมายข้อมูล การสรุป การสร้างสมมติฐานและการออกแบบดำเนินการทดลองการคำนวณและทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล เพื่อใช้ในการแสวงหาความรู้ หรือแก้ปัญหาอย่างมีระบบแบบแผน

## 5.2 ประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

นักการศึกษาวิทยาศาสตร์ของสมาคมอเมริกันเพื่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ (The American association for the advancement of science : AAAS) ได้จำแนกทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ไว้ 13 ทักษะ โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท (ภพ, 2542; พิมพันธ์, 2545) ดังนี้

5.2.1 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน (Basic science process skill) มี 8 ทักษะ ดังนี้

5.2.1.1 ทักษะการสังเกต (Observation) หมายถึง ความสามารถในการใช้ประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกัน ได้แก่ ตา หู จมูก ลิ้น และกายสัมผัส เข้าไปสัมผัสโดยตรงกับวัตถุ หรือปรากฏการณ์ต่างๆ เพื่อค้นหาข้อมูลที่เป็นรายละเอียดของสิ่งนั้นๆ โดยไม่ใช้ประสบการณ์และความคิดเห็นของผู้สังเกตไปในการเสนอข้อมูล ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับลักษณะและสมบัติของสิ่งที่สังเกต ซึ่งไม่สามารถระบุออกมาเป็นตัวเลขแสดงปริมาณพร้อมหน่วยวัดมาตรฐานได้ ข้อมูลที่บอกรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณโดยการคาดประมาณและบอกหน่วยวัดมาตรฐานได้ หรือเป็นข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการปฏิสัมพันธ์ของสิ่งนั้นกับสิ่งอื่น จะช่วยให้สังเกตครอบคลุมกับข้อมูลได้มากยิ่งขึ้น

5.2.1.2 ทักษะการวัด (Measurement) หมายถึง ความสามารถในการใช้เครื่องมือวัด หาปริมาณของสิ่งต่างๆ ออกเป็นตัวเลขได้แน่นอนที่เหมาะสมถูกต้อง โดยมีหน่วยกำกับเสมอรวมถึงความสามารถในการเลือกใช้เครื่องมือได้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด

5.2.1.3 ทักษะการคำนวณ (Using numbers) หมายถึง ความสามารถในการบวก ลบ คูณ หารหรือจัดกระทำกับตัวเลขที่แสดงค่าปริมาณของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ซึ่งได้จากการสังเกต การ

วัด การทดลองโดยตรงหรือจากแหล่งอื่น ทั้งนี้ตัวเลขที่นำมาคำนวณจะต้องมีการแสดงค่าปริมาณในหน่วยเดียวกันกับตัวเลขใหม่ที่ได้จากการคำนวณ จะช่วยสื่อความหมายได้ตรงตามที่ต้องการ และชัดเจนยิ่งขึ้น

5.2.1.4 ทักษะการจำแนกประเภท (Classification) หมายถึง ความสามารถในการจัดจำแนกหรือเรียงลำดับวัตถุหรือสิ่งที่อยู่ในปรากฏการณ์ต่างๆออกเป็นหมวดหมู่ โดยมีเกณฑ์ในการจัดจำแนก เกณฑ์ดังกล่าวอาจใช้ความเหมือน ความแตกต่างกัน หรือความสัมพันธ์อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยจัดสิ่งมีสมบัติบางประการร่วมกันให้อยู่กับกลุ่มเดียวกัน การจัดจำแนกประเภทอาจทำได้หลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้จำแนกอาจใช้เกณฑ์ที่กำหนดมาให้หรือใช้เกณฑ์ที่กำหนดขึ้นเอง และขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการจัดจำแนกเป็นหลัก

5.2.1.5 ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับสเปสและสเปสกับเวลา (Space/ space relationship and space/time relationship) หมายถึง ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ระหว่าง 2 มิติ กับ 3 มิติ สิ่งที่อยู่หน้ากระจกเงากับภาพที่ปรากฏในกระจกเงาจะเป็นซ้ายขวาของกันและกันอย่างไร ตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุหนึ่งกับอีกวัตถุหนึ่งการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุกับเวลาหรือสเปสของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา เช่น ความสามารถในการวาดรูป 3 มิติของวัตถุจริงทั่วไปได้ บอกจำนวนเส้นสมมาตรของรูป 2 มิติและระนาบสมมาตรของรูป 3 มิติได้ บอกความสัมพันธ์ระหว่างรูป 2 มิติและรูป 3 มิติได้ เป็นต้น

5.2.1.6 ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (Organizing data and communication) หมายถึง ความสามารถในการนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การวัด การทดลอง และจากแหล่งอื่นที่มีข้อมูลอยู่แล้วมาจัดกระทำใหม่โดยอาศัยวิธีต่างๆ เช่น การจัดเรียงลำดับ การจัดแยกประเภท การคำนวณหาค่าใหม่ เป็นต้น เพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจความหมายของข้อมูลมากขึ้น อาจนำเสนอ ในรูปของการเขียนบรรยาย สัญลักษณ์ สมการ แผนภาพ แผนภูมิ แผนที่ รูปภาพ ตาราง กราฟ เป็นต้น

5.2.1.7 ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (Inferring) หมายถึง ความสามารถในการอธิบายข้อมูลที่มีอยู่อย่างมีเหตุผลโดยอาศัยความรู้หรือประสบการณ์เดิมมาช่วย ข้อมูลที่มีอาจได้จาก การสังเกต การวัด หรือการทดลอง คำอธิบายนั้นเป็นสิ่งที่ได้จากความรู้ หรือประสบการณ์เดิมของผู้ สังเกตที่พยายามโยงบางส่วนของความรู้ หรือประสบการณ์เดิมให้มาสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตนเองมีอยู่

5.2.1.8 ทักษะการพยากรณ์ (Prediction) หมายถึง ความสามารถในการทำนายหรือ คาดคะเนสิ่งที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยการสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ

หลักการ กฎ หรือทฤษฎี ที่มีอยู่แล้วในเรื่องนั้น ๆ มาช่วยในการอธิบาย หรือคาดคะเนสิ่งที่เกิดขึ้น การพยากรณ์อาจทำได้ ภายในขอบเขตของข้อมูลที่ศึกษาและภายนอกขอบเขตของข้อมูลที่ทำการศึกษา และการทำนายจะถูกต้องหรือไม่ ก็ต้องอาศัยการตรวจสอบโดยการทดลองเพื่อนำผลการทดลองมายืนยัน

5.2.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ (Integrated science process Skills) มี 5 ทักษะ ดังนี้

5.2.2.1 ทักษะการตั้งสมมติฐาน (Formulating hypothesis) หมายถึง ความสามารถในการให้ข้อสรุปหรือคำอธิบายซึ่งเป็นคำตอบล่วงหน้าก่อนที่จะดำเนินการทดลอง เพื่อตรวจสอบ ความถูกต้องในเรื่องนั้น ๆ ต่อไป สมมติฐานเป็นข้อความที่แสดงการคาดคะเนซึ่งอาจเป็นข้อสรุป หรือข้อความที่แสดงความสัมพันธ์ที่คาดคะเนว่าจะเกิดขึ้นระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม ข้อความของสมมติฐานนี้สร้างขึ้นโดยอาศัยจากการสังเกตประกอบกับความรู้ประสบการณ์เดิมเป็นพื้นฐาน การคาดคะเนคำตอบที่คิดล่วงหน้านี้ยังไม่เป็นหลักการ กฎ หรือทฤษฎีมาก่อน ข้อความของสมมติฐานต้องสามารถทำการตรวจสอบโดยการทดลองและแก้ไขเมื่อมีความรู้ใหม่ได้

5.2.2.2 ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ (Defining operationaly) หมายถึง ความสามารถในการกำหนดความหมายและขอบเขตของคำหรือตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการศึกษาให้ เข้าใจตรงกัน สามารถสังเกตและทำการวัดได้คำนิยามเชิงปฏิบัติการที่เป็นความหมายของศัพท์เฉพาะควรเป็นภาษาง่าย ๆ ชัดเจนไม่กำกวม ระบุสิ่งที่สังเกตได้ และระบุการกระทำซึ่งอาจเป็น การวัด การทดสอบ การทดลองไว้ด้วย

5.2.2.3 ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร (Identifying and controlling variables) หมายถึง ความสามารถในการระบุว่าตัวแปรที่จะศึกษา ตัวแปรใดเป็นตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรที่ต้องควบคุมในสมมติฐานหนึ่ง ๆ หรือปรากฏการณ์หนึ่ง

ตัวแปรต้น หรือตัวแปรอิสระ (Independent variable) คือ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรที่สนใจทำการศึกษา เป็นตัวแปรที่ต้องการทดลองดูว่าจะให้เกิดผลเช่นไร

ตัวแปรตาม (Dependent variable) คือ ตัวแปรที่สนใจทำการศึกษา เป็นตัวแปรที่เป็นผลเนื่องมาจากตัวแปรต้น เมื่อตัวแปรต้นเปลี่ยน ตัวแปรตามก็จะเปลี่ยนตามไปด้วย

ตัวแปรควบคุม (Controlled variable) คือ ตัวแปรอื่น ๆ ที่ไม่ได้สนใจศึกษาแต่สามารถส่งผลต่อตัวแปรตามในขณะนั้นได้จึงต้องควบคุมให้คงที่



5.2.2.4 ทักษะการทดลอง (Experimenting) หมายถึง ความสามารถในการ ตรวจสอบสมมติฐานในการทดลองที่ตั้งไว้โดยลงมือทำการทดลอง ตั้งแต่การออกแบบวิธีการทดลอง การปฏิบัติตามขั้นตอนที่ออกแบบ รวมถึงการใช้วัสดุอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง และการบันทึกผลการทดลอง ในการทดลองประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

การออกแบบการทดลอง หมายถึง การวางแผนการทดลองก่อนที่จะลงมือทดลองจริง เพื่อกำหนดวิธีการทดลองซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดควบคุมตัวแปร อุปกรณ์หรือสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

การปฏิบัติการทดลอง หมายถึง การลงมือปฏิบัติการทดลองจริง

การบันทึกผลการทดลอง หมายถึง การจดบันทึกผลข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการสังเกต การวัด และอื่นๆ

5.2.2.5 ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (Interpreting data and conclusion) หมายถึง ความสามารถในการบอกความหมายของข้อมูลที่ได้ทำการจัดกระทำ และอยู่ในรูปแบบที่ใช้ในการสื่อความหมายของผู้เรียน ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบต่างๆ เช่น ตาราง กราฟ แผนภูมิ หรือรูปภาพ รวมถึงความสามารถ ในการบอกความหมายของข้อมูลในเชิงสถิติ และสามารถลงข้อสรุปโดยการนำเอาความหมายของ ข้อมูลได้ทั้งหมด สรุปให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ต้องการศึกษาภายใน ขอบเขตของการทดลองนั้น ๆ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561)

จากประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยได้ ดำเนินการทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจำนวน 3 ทักษะ คือ ทักษะ การทดลอง ทักษะการจัดกระทำข้อมูลและสื่อความหมายข้อมูล และทักษะการตีความหมาย ข้อมูลและลงข้อสรุป

### 5.3 ประเภทของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ภพ เลหาไพบูลย์ (2542) ได้กล่าวไว้ว่า การปฏิบัติการทดลองเป็นส่วนหนึ่งใน กระบวนการจัดการเรียนการสอน จึงไม่ควรมีการประเมินผลพฤติกรรมด้านความรู้ความคิดของ ผู้เรียนเท่านั้น แต่ควรที่จะประเมินผลพฤติกรรมด้านการปฏิบัติด้วย ซึ่งสามารถประเมินด้วยวิธีการ ดังนี้

1. การสังเกตพฤติกรรมขณะปฏิบัติการ เป็นการประเมินพฤติกรรมของผู้เรียนในด้าน ทักษะปฏิบัติการการดำเนินการทดลอง เทคนิคการทดลองต่างๆ การสังเกตผลการทดลองของ ผู้เรียน การแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่พบได้อย่างเหมาะสม การวัดผลโดยการสังเกตนี้ อาจจะมีปัญหา

อยู่บ้าง กล่าวคือ ผู้สอนจะต้องวัดผลการปฏิบัติของผู้เรียนพร้อมกับการสอนไปด้วย ประกอบกับจำนวนผู้เรียนในชั้นมีจำนวนมาก แต่ละคนอาจจะทำกิจกรรมต่าง ๆ ในเวลาเดียวกัน ทำให้ผู้สอนไม่สามารถสังเกตอย่างทั่วถึง

2. การตรวจจากรายงานผลการปฏิบัติการรายงานผลการปฏิบัติการสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของผู้ปฏิบัติการหลายด้าน เช่น การสังเกตและจดบันทึก การใช้ภาษาเพื่อสื่อความหมาย การจัดกระทำและนำเสนอข้อมูล การแปลความหมายของข้อมูลและการลงสรุปความถูกต้องของผลการทดลอง เป็นต้น

3. การสอบภาคปฏิบัติ เป็นการสอบปฏิบัติการโดยผู้สอนกำหนดการทดลองไว้ อาจจะเป็นการทดลองที่เคยทำมาแล้ว หรือกำหนดขึ้นมาใหม่ซึ่งอาจไม่เคยทำมาก่อน เพื่อเน้นการแก้ปัญหาของผู้เรียนแต่ละคนก็จะมีวิธีการทดลอง การแก้ไขปัญหาที่แตกต่างกันออกไป

นอกจากนี้การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ยังสามารถวัดได้จากแบบทดสอบอัตนัย โดยธรรมชาติของแบบทดสอบอัตนัยจะเป็นแบบทดสอบที่ให้ผู้ตอบสามารถตอบได้ อย่างอิสระตามความคิด ความเข้าใจของตนเอง โดยการเขียนบรรยาย หรือแสดงความคิดเห็น วิชาภักษ์ ในเหตุการณ์ต่าง ๆ เป็นการวัดความสามารถของผู้เรียนในการสร้างแนวคิดได้ แบบทดสอบอัตนัยแบ่ง ออกเป็น 2 แบบ (ภพ เลหาไพบุลย์, 2542) ดังนี้

1. แบบจำกัดขอบเขตในการตอบ (Restricted response question) เป็นแบบสอบถามที่เฉพาะเจาะจงให้ตอบเพียงสั้น ๆ มีการกำหนดแนวทางในการตอบค่อนข้างตายตัว ในแบบทดสอบชนิดนี้จะมีอิสระในการตอบ การแสดงความรู้ ความสามารถ และความคิดของผู้ตอบน้อยมาก

2. แบบไม่จำกัดขอบเขตในการตอบ (Unrestricted response question) เป็นแบบทดสอบที่เปิดโอกาสให้ผู้ตอบแสดงความคิดเห็น บรรยาย อภิปราย มีอิสระในการตอบคำถามได้อย่างเต็มที่ตามความสามารถ ตามทักษะในการสังเคราะห์ และการประเมินผลของตนเอง และเป็นการวัดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มักใช้กับนักศึกษาในระดับสูง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นทักษะทางปัญญา เพราะเป็นการทำงานของสมอง ดังนั้นการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นกระบวนการคิดนั้นผู้สอนจึงควรฝึกให้ผู้เรียนได้คิด โดยใช้คำถามกระตุ้นให้คิด คำถามต่าง ๆ ก็จะช่วยเพิ่มพูนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ประเภทต่าง ๆ (พิมพันธ์ เดชะคุปต์, 2545) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทดสอบ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ โดยใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการแบบอัตนัย เพื่อกระตุ้นกระบวนการคิดในทักษะ

กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาของผู้เรียน จำนวน 3 ทักษะ คือ ทักษะการทดลอง ทักษะการจัดกระทำข้อมูลและทักษะการลงข้อสรุป และทำการตรวจผลการปฏิบัติการจากแบบบันทึกผลการทดลองปฏิบัติการเคมีไฟฟ้าด้วย



### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

#### การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

##### ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 ของโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 2

##### กลุ่มเลือกตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ กรุงเทพมหานคร ได้มาจากการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง จำนวน 1 ห้องเรียน เป็นนักเรียน 42 คน ที่ผู้วิจัยได้รับมอบหมายจากทางโรงเรียนให้รับผิดชอบสอน

##### ระยะเวลาในการวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 ใช้เวลา 9 คาบเรียน คาบละ 50 นาที โดยแบ่งช่วงเวลาในการวิจัย ดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ครั้งที่	เนื้อหา	จำนวน คาบ
1	ทดสอบแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียน	1
2	ชี้แจงการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการทดลอง เคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน	2

ตาราง 3 (ต่อ)

ครั้งที่	เนื้อหา	จำนวนคาบ
3	นักเรียนวางแผนการทดลองแบบflow chart และออกแบบ ตารางบันทึกผลการทดลองเคมีไฟฟ้า	1
4	นักเรียนทำปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแล้วทำการบันทึก ผลการทดลอง	2
5	ครูและนักเรียนอภิปรายผลการทดลองร่วมกัน	1
6	ทดสอบแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หลังเรียน จากบท ปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน	2
รวม		9

### การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. แผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน
2. บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน
3. แบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า
4. แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

### ขั้นตอนในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

1. ศึกษาผลการเรียนรู้ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560 ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาระเคมี เพื่อวิเคราะห์หลักสูตร จุดประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหา และพฤติกรรมกรเรียนรู้ที่ต้องการวัด
2. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรายวิชา เคมี4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า หัวข้อเลขออกซิเดชัน ปฏิกริยารีดอกซ์ เซลล์เคมีไฟฟ้า และการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนเพื่อจัดการเรียนรู้ในเรื่อง เคมีไฟฟ้า ทำให้การจัดการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีความน่าสนใจ ให้นักเรียนสามารถพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า และเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

3. ศึกษาเนื้อหาเรื่อง เคมีไฟฟ้า จากหนังสือและเอกสารต่างๆ เพื่อกำหนดขอบเขตเนื้อหา โดยในการวิจัยครั้งนี้อ้างอิงเนื้อหาตามหนังสือเรียนรายวิชา เคมี 4 สำหรับนักเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยเนื้อหาในเรื่อง เคมีไฟฟ้า มีดังนี้

1. เลขออกซิเดชัน
2. ปฏิกิริยารีดอกซ์
3. เซลล์เคมีไฟฟ้า
4. การแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า

4. ดำเนินการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนผ่านวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ซึ่งใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ และทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน รวม 9 คาบ (คาบละ 50 นาที) โดยจัดกิจกรรมการเรียนรู้ผ่านวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นกระตุ้นความสนใจ โดยใช้สถานการณ์ในชีวิตประจำวัน ทบทวนเนื้อหาเรื่อง เคมีไฟฟ้า และชี้แจงการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจ นักเรียนออกแบบการทดลองโดยวาดออกมาเป็น Flow Chart และแบบตารางบันทึกผลการทดลองเคมีไฟฟ้านักเรียนปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแล้วทำการบันทึกผลการทดลอง อภิปรายผลการทดลองและลงข้อสรุปร่วมกัน และสรุปผลการทดลอง

ขั้นที่ 3 ขั้นอธิบาย ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปและอภิปรายผลการทดลอง คุณสมบัติการรีดอกซ์และอธิบายเกี่ยวกับการทำโลหะให้บริสุทธิ์

ขั้นที่ 4 ขั้นขยายความรู้ ให้นักเรียนนำความรู้จากการทดลองไปอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน หรือสถานการณ์ที่ครูกำหนด

ขั้นที่ 5 ขั้นประเมิน ทดสอบแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หลังเรียน จากบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

#### **วิธีการหาคุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน**

1. ขั้นตอนการหาคุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้

1.1 การประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนโดยผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้า แบบย่อส่วนเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่ง ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีวิเคราะห์ 1 ท่าน

ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมี ศึกษา 1 ท่าน และผู้สอนวิชาเคมี 1 ท่าน (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก) เพื่อพิจารณาองค์ประกอบของแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ที่มีลักษณะเป็นมาตรฐานค่า 5 ระดับ โดยกำหนดระดับความคิดเห็นแต่ละช่วง คะแนนมีความหมายดังนี้

ระดับคะแนน 5 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

ระดับคะแนน 4 ผลการประเมินอยู่ในระดับดี

ระดับคะแนน 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง

ระดับคะแนน 2 ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้

ระดับคะแนน 1 ผลการประเมินอยู่ในระดับควรปรับปรุง

นำคะแนนการประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มาหาค่าคะแนนเฉลี่ย โดยให้ความหมายของค่าเฉลี่ยแบ่งเป็นระดับดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51-5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.51-4.51 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.51-3.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.51-2.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

คะแนนเฉลี่ย 1.00-1.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

จากการนำแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนที่พัฒนาเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ตรวจสอบพิจารณา พบว่าความเหมาะสมขององค์ประกอบชุดกิจกรรม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 ซึ่งหมายความว่าแต่ละองค์ประกอบของแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนมีความเหมาะสมมากที่สุด (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข)

1.2. ประเมินความเที่ยงตรงของเนื้อหาโดยใช้ ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน โดยผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก) เพื่อพิจารณาความสอดคล้องและความเหมาะสมของข้อคำถามโดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับคือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ ไม่สอดคล้อง เพื่อปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน และนำผลการประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญแปลงเป็นคะแนนตามเกณฑ์คะแนน ดังนี้

สอดคล้องตรงตามวัตถุประสงค์ นำหนักคะแนน +1

ไม่แน่ใจว่าตรงตามวัตถุประสงค์ น้ำหนักคะแนน 0

ไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ น้ำหนักคะแนน -1

จากการดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้การหาค่าความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน โดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) พบว่าผลการประเมินความเที่ยงตรงตามเนื้อหาของแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน พบว่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) มีค่าระหว่าง 0.67-1.00 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข)

2. ดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน โดยได้ดำเนินการปรับปรุงผลการเรียนรู้และจุดประสงค์ให้ตรงกับจัดการเรียนรู้ ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ได้แก้ไขเนื้อหาในชั้นขยายความรู้ให้เหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น

3. นำแผนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนที่ปรับปรุงแล้วไปใช้กับนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 2

### ขั้นตอนในการสร้างบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ดังนี้

1.1 ศึกษาผลการเรียนรู้ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560 ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาระเคมี

1.2 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

1.3 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ทักษะการทดลอง ทักษะการจัดกระทำข้อมูลและสื่อความหมายข้อมูล และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

2. ศึกษา อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- เครื่องชั่งอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง



- เครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อน
- แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
- ไม้คินสอ
- สายไฟ
- หลอดทดลอง
- หลอดหยด
- แท่งแก้วคนสาร
- บีกเกอร์ 50 mL
- ไดโอดเปล่งแสง (light-emitting diode หรือ LED)
- เครื่องให้ความร้อน (Hotplate)
- แผ่นโลหะทองแดง (Cu)
- แผ่นโลหะสังกะสี (Zn)
- จานสี

## 2.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- ผงแอมโมเนียมเมตาวานาเดท ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ )
- สารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L
- สารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 0.10 mol/L
- สารละลายกรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) เข้มข้น 1 mol/L
- สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )
- สารละลายอิมิตัวของโพแทสเซียมไนเตรต ( $\text{KNO}_3$ )

3. การออกแบบและพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อใช้ทำการทดลองเคมีไฟฟ้า โดยการออกแบบอุปกรณ์การทดลอง ผู้วิจัย ได้เลือกใช้ จานสีเป็นภาชนะ ที่มี 8 ช่อง และช่องใหญ่ตรงกลาง 1 ช่องที่ เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย ราคาถูก สามารถใช้ซ้ำได้ และสารเคมีที่มีในห้องปฏิบัติการทั่วไป ซึ่งใช้ในปริมาณน้อย เหมาะสำหรับการจัดการเรียนการสอนเคมีไฟฟ้า

4. กำหนดโครงสร้างและองค์ประกอบของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีองค์ประกอบดังนี้ 1) ชื่อเรื่อง 2) จุดประสงค์การทดลอง 3) หลักการ 4) วัสดุและอุปกรณ์ 5) สารเคมี 6) วิธีการทำการทดลอง 7) วางแผนการทดลองแบบ Flow Chart การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง 8) คำถามท้ายการทดลอง และ 9) อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

5. นำบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท เพื่อตรวจสอบและนำข้อเสนอแนะต่างๆ มาปรับปรุงแก้ไขต่อไป

6. สร้างบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนโดย ประกอบด้วย 4 การทดลองดังนี้

การทดลองตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวานาเดียม

การทดลองตอนที่ 2 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ

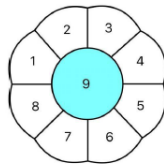
การทดลองตอนที่ 3 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของเซลล์กัลวานิก

การทดลองตอนที่ 4 การแยกสลายสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟตด้วยกระแสไฟฟ้า

7. นำบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ที่พัฒนาไว้เรียบร้อยแล้ว เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท เพื่อดำเนินการตรวจสอบพิจารณาความถูกต้องและความเหมาะสมของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

การทดลองตอนที่ 4 การแยกสลายสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ด้วยกระแสไฟฟ้า

1. หยดสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  จำนวน 20 หยด ลงในช่องที่ 9
2. ต่อสายไฟเข้ากับโวลต์มิเตอร์ จากนั้นจุ่มปลายโวลต์มิเตอร์ลงในสารละลายพร้อมกับสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น พร้อมบันทึกผลการทดลอง



วางแผนการทดลองแบบ Flow Chart การทดลองตอนที่ 4 การแยกสลายสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ด้วยกระแสไฟฟ้า

ออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองตอนที่ 4 การแยกสลายสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ด้วยกระแสไฟฟ้า

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. สารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L
2. สารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 0.10 mol/L
3. สารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น 1 mol/L
4. สารละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_4$
5. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn)
6. ผงแอมโมเนียมแวนาเดียม ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ )
7. สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต ( $\text{KNO}_3$ )
8. แผ่นโลหะสังกะสี (Zn) ขนาด 0.5 cm x 3 cm
9. แผ่นโลหะทองแดง (Cu) ขนาด 0.5 cm x 3 cm
10. โวลต์มิเตอร์
11. สายไฟ
12. หลอดทดลอง
13. ถ่านไฟฉาย 9 V
14. ไดโอดเปล่งแสง (light-emitting diode หรือ LED)
15. เครื่องให้ความร้อน (Hotplate)

วิธีการทดลอง

การทดลองตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวานาเดียม

1. นำสารละลาย  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  จำนวน 0.5 กรัม ละลายด้วยสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น 1 mol/L ปริมาตร 50 mL จนหมด
2. หยดสารละลายที่ได้จากข้อที่ 1 อย่างละ 10 หยด ลงในช่องที่ 1, 2 และ 3
3. หยดสารละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  จำนวน 3 หยด ลงในช่องที่ 2 แล้วใช้แท่งแก้วคน
4. เติมผงโลหะสังกะสี ลงในช่องที่ 3 แล้วใช้แท่งแก้วคน
5. นำสารละลาย  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  จำนวน 10 หยด เติมลงในหลอดทดลอง และเติมผงโลหะสังกะสี ใช้แท่งแก้วคน นำไปอุ่นในบีกเกอร์ แล้วเทสารละลายทั้งหมดลงในช่องที่ 4 บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น พร้อมบันทึกผลการทดลอง



ภาพประกอบ 5 ตัวอย่างบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

## วิธีการหาคุณภาพของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

ขั้นตอนการหาคุณภาพของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ผู้วิจัย  
ดำเนินการดังนี้

1. การประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน โดย  
ผู้เชี่ยวชาญดำเนินการดังนี้

1.1 การประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบ  
ย่อส่วน โดยผู้วิจัยนำบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3  
ท่าน (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก) เพื่อพิจารณาองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมี ที่มีลักษณะ  
เป็นมาตรฐานประมาณค่า 5 ระดับ โดยกำหนดระดับความคิดเห็นแต่ละช่วง คะแนนมีความหมายดังนี้

ระดับคะแนน 5 ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

ระดับคะแนน 4 ผลการประเมินอยู่ในระดับดี

ระดับคะแนน 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง

ระดับคะแนน 2 ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้

ระดับคะแนน 1 ผลการประเมินอยู่ในระดับควรปรับปรุง

นำคะแนนการประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้า  
แบบย่อส่วน วิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มาหาค่าคะแนนเฉลี่ย โดยให้ความหมายของ  
ค่าเฉลี่ยแบ่งเป็นระดับดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51-5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.51-4.51 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.51-3.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.51-2.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

คะแนนเฉลี่ย 1.00-1.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

จากการนำบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนที่พัฒนาเสนอต่อ  
ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ตรวจสอบพิจารณาทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ พบว่า ความเหมาะสมของ  
องค์ประกอบชุดกิจกรรม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.77 ซึ่งหมายความว่าแต่ละองค์ประกอบของบท  
ปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนมีความเหมาะสมมากที่สุด (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข)

2. ดำเนินการปรับปรุงบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนตามข้อเสนอแนะ  
และข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความเห็นในการปรับปรุงบทปฏิบัติการทดลอง  
เคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน สรุปได้ดังนี้ การกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ ความชัดเจนของคำถามท้าย

การทดลอง ความถูกต้องของภาษา การออกแบบและวางแผนการทดลอง โดยผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุง จุดประสงค์การเรียนรู้ให้ตรงตามเนื้อหา แก้ไขคำถามท้ายการทดลองให้นักเรียนเข้าใจง่ายขึ้น แก้ไขคำผิด จัดลำดับการออกแบบ ขั้นตอนการทดลอง และวางแผนการทดลองให้เหมาะสมยิ่งขึ้น นั่นคือ เพิ่มเติมคำชี้แจงให้กับนักเรียนในส่วนของวางแผนการทดลองแบบflow chart และการออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง

3. นำบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ไม่ได้เป็นกลุ่มตัวอย่าง เพื่อดำเนินการแก้ไขและปรับปรุงให้เหมาะสมกับนักเรียน โดยดำเนินการทดลองใช้กิจกรรมกับนักเรียนกลุ่มเล็กจำนวน 5 คน ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 2 เพื่อดูความเหมาะสมของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนที่ใช้และหาข้อบกพร่อง นำบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน โดยใช้การสัมภาษณ์ และสังเกตพฤติกรรมของนักเรียน แล้วนำข้อมูลต่างๆ มาปรับปรุงแก้ไข โดยนักเรียนระบุว่าบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนมีความเข้าใจง่าย และการทดลองมีความน่าสนใจทำให้กระตุ้นการอยากเรียนรู้ แต่ต้องการให้เพิ่มเนื้อหาให้มากขึ้นและใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย ดังนั้นผู้วิจัยจึงแก้ไขและปรับปรุงบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนโดยการเพิ่มเนื้อหาเพิ่มรูปภาพและวิธีการทดลองเพื่ออธิบายให้ชัดเจนขึ้น รวมทั้งจัดเรียงเนื้อหาและบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนให้นักเรียนเข้าใจง่ายขึ้น

4. นำบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองกลุ่มเล็กกับนักเรียน 10 คน ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 2 เพื่อดูความเหมาะสมของกิจกรรมที่ใช้และหาข้อบกพร่องของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ใช้การสัมภาษณ์ และสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่า นักเรียนกลุ่มละ 4-5 คนมีความเหมาะสมในการทำการทดลอง นักเรียนให้ความร่วมมือในการทำการทดลอง

5. นำบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนไปใช้กับนักเรียน 42 คน ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 2 เพื่อศึกษาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน จากการสังเกตการทำการทดลองของนักเรียน และหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน โดยใช้มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 80 มีคะแนนแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่องเคมีไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 โดยวัดจากแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังเรียน

## ขั้นตอนในการสร้างแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า

ขั้นตอนในการสร้างแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ผู้วิจัยดำเนินการ  
ดังนี้

1. ศึกษาผลการเรียนรู้ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560 ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาระเคมี เพื่อวิเคราะห์หลักสูตร จุดประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหา และพฤติกรรมกรการเรียนรู้ที่ต้องการวัดได้แก่

- 1.1 คำนวณเลขออกซิเดชันและระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์
- 1.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์
- 1.3 ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์
- 1.4 ดุลสมการรีดอกซ์ด้วยการใช้เลขออกซิเดชัน และวิธีครึ่งปฏิกิริยา
- 1.5 ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์
- 1.6 คำนวณศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า ชั่วฟ้าและ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น
- 1.7 ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้าและอธิบายหลักการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้ ในการชุบโลหะการแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้าการทำโลหะให้บริสุทธิ์และการป้องกันการกัดกร่อน ของโลหะ

2. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และการสร้างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

3. จัดทำตารางวิเคราะห์ข้อสอบ โดยแสดงความสัมพันธ์ของจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมกับ เนื้อหาวิชาที่ต้องการวัด นำมาสร้างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า

4. ออกแบบ แบบวัดแนวคิดชนิดเลือกตอบ ทั้งคำตอบและเหตุผล เป็นแบบวัดที่สามารถให้ข้อมูลได้เชิงคุณภาพและ ปริมาณ โดยสามารถเปลี่ยนข้อมูลเชิงคุณภาพเป็นข้อมูลเชิงปริมาณได้โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

ถ้านักเรียนตอบถูกต้องทั้ง 2 ส่วน คือ ทั้งส่วนของคำตอบและเหตุผล ถือว่านักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้องให้ 1 คะแนน

ถ้านักเรียนตอบถูกส่วนใดส่วนหนึ่งใน 2 ส่วน หรือตอบผิดทั้ง 2 ส่วน ถือว่านักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนให้ 0 คะแนน

ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบ แบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ทั้งหมดจำนวน 30 ข้อ จำนวน 5 หน้า ซึ่งเป็นไปตามผลการเรียนรู้ข้อที่ 1 จำนวน 4 ข้อ, ข้อที่ 2 จำนวน 4 ข้อ, ข้อที่ 3 จำนวน 4 ข้อ, ข้อที่ 4 จำนวน 4 ข้อ, ข้อที่ 5 จำนวน 5 ข้อ, ข้อที่ 6 จำนวน 5 ข้อ, และข้อที่ 7 จำนวน 4 ข้อ โดยให้นักเรียนเลือกตอบ ทั้งคำตอบและเหตุผล

5. นำแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ที่สร้างขึ้นไปหาคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข) พิจารณาความถูกต้องและความเหมาะสมในด้าน ต่าง ๆ

6. นำข้อเสนอนี้ที่ได้มาดำเนินการปรับปรุง แก้ไขจุดบกพร่อง

**แบบวัดแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า**

แบบวัดแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การพัฒนาปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้า เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย"

ชื่อ.....นามสกุล.....ชั้น.....เลขที่.....  
รหัสวิชา ว32224 วิชา เคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า สอบวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

**คำชี้แจง (สำหรับนักเรียน)**  
แบบวัดแนวคิดฉบับนี้ประกอบด้วยข้อคำถามสองชั้น(Two-tier) 20 ข้อ จำนวน 3 หน้า ให้เลือกคำตอบและให้แสดงเหตุผลประกอบคำตอบนั้น ตามข้อใดข้อต่อไปนี้

- ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย (✓) หน้าข้อความที่ถูกต้อง และทำเครื่องหมาย (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง
- การให้เหตุผลประกอบคำตอบ ให้นักเรียนเขียนเหตุผลในการอธิบายคำตอบที่นักเรียนได้เลือกตอบ
- แบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ครอบคลุมแนวคิดย่อย 4 แนวคิด ดังนี้
  - เลขออกซิเดชัน
  - ปฏิกิริยารีดอกซ์
  - เซลล์กัลวานิก
  - การแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า
- เวลาที่ใช้ในการทำแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า เวลา 1 ชั่วโมง (60 นาที)

คำสั่ง ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย (✓) หน้าข้อความที่ถูกต้อง และทำเครื่องหมาย (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบการคำตอบ

.....1. เลขออกซิเดชันของธาตุในสารประกอบ  $\text{KMnO}_4$  ประกอบไปด้วย  $\text{K} = +1$  ,  $\text{Mn} = +7$  ,  $\text{O} = -2$

.....

.....

.....2.  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{HCl} \rightarrow \text{KCl} + \text{CrCl}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2$  ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

.....

.....

ภาพประกอบ 6 ตัวอย่างแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า

## วิธีการหาคุณภาพของแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า

ขั้นตอนการหาคุณภาพของแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้

1. ประเมินความเที่ยงตรงของเนื้อหาโดยใช้ ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า โดยผู้วิจัยนำแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก) เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อคำถาม โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับคือ สอดคล้อง ไม่น่าใจ ไม่สอดคล้อง เพื่อปรับปรุง แบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า และนำผลการประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญแปลงเป็นคะแนนตามเกณฑ์คะแนน ดังนี้

สอดคล้องตรงตามวัตถุประสงค์	น้ำหนักคะแนน +1
ไม่น่าใจว่าตรงตามวัตถุประสงค์	น้ำหนักคะแนน 0
ไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์	น้ำหนักคะแนน -1

จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้การหาค่าความสอดคล้องของแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า โดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง ผู้วิจัยพบว่าผลการประเมินความเที่ยงตรงตามเนื้อหาของแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน พบว่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) มีค่าระหว่าง 0.33 - 1.00 โดยมีแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) มากกว่า 0.5 จำนวน 25 ข้อ น้อยกว่า 0.5 จำนวน 5 ข้อ จากนั้นปรับปรุงแก้ไขข้อสอบที่ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องไม่ถึง 0.50 เพื่อรวมเป็นทั้งหมด 30 ข้อ เพื่อนำไปทดลองกับนักเรียนที่ไม่ได้เป็นกลุ่มเป้าหมาย (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข)

2. ดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน โดยมีการปรับปรุงข้อคำถามให้เป็นเชิงบวก เพื่อให้นักเรียนเกิดแนวคิดที่ถูกต้อง แก้ไขสถานการณ์ในแบบวัดเพื่อให้ นักเรียนเข้าใจคำถามได้ง่ายขึ้น

3. นำแบบประเมินที่ปรับปรุงแล้วไปทดลองกับนักเรียนที่ไม่ได้เป็นกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 2 จำนวน 75 คน

4. จากการนำแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ที่มีจำนวนทั้งหมด 30 ข้อ ใช้กับกลุ่มทดลองมาตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และดำเนินการหาค่าความยากง่าย (p) อำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า เป็นรายข้อ โดยแบบวัด

แนวคิดที่ผ่านการคัดเลือกมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.43-0.80 และค่าอำนาจจำแนกค่าตั้งแต่ 0.22 ขึ้นไป โดยข้อสอบที่เลือกไว้มี 20 ข้อ ซึ่งการคัดเลือกข้อสอบนั้นนอกจากจะใช้ค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนกเป็นเกณฑ์แล้วผู้วิจัยยังคำนึงถึงจุดประสงค์การเรียนรู้ด้วย

5. วิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่น ( $r_{tt}$ ) ของแบบประเมินโดยใช้สูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของครอนบาคแอลฟา (Cronbach's alpha ( $\alpha$ ) reliability coefficient) พบว่า ความเชื่อมั่นได้เท่ากับ 0.61

6. นำแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ที่หาคุณภาพแล้วจำนวน 20 ข้อ ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

### ขั้นตอนในการสร้างแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

1. ศึกษาผลการเรียนรู้ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560 ของกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาระเคมี เพื่อวิเคราะห์หลักสูตร จุดประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหา และพฤติกรรมกรเรียนรู้ที่ต้องการวัด

2. ศึกษาคู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ วิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

3. จัดทำแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และออกแบบการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ทักษะ ดังนี้

3.1 ทักษะการทดลอง 3 รายการ ประกอบไปด้วย

3.1.1 การวางแผนการทดลองแบบflow chart โดยการเรียงลำดับ แยกประเภท หรือจัดทำใหม่ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ชัดเจน และถูกต้อง โดยมีเกณฑ์การประเมินดังนี้

เกณฑ์การประเมิน	ระดับการประเมิน
วางแผนการทดลองแบบflow chart โดยการเรียงลำดับ แยกประเภท หรือคำนวณหาค่าใหม่ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ชัดเจน และถูกต้องทุกครั้ง	4
วางแผนการทดลองแบบflow chart โดยการเรียงลำดับ แยกประเภท หรือคำนวณหาค่าใหม่ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ชัดเจน และถูกต้องบ่อยครั้ง	3
วางแผนการทดลองแบบflow chart โดยการเรียงลำดับ แยกประเภท หรือคำนวณหาค่าใหม่ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ชัดเจน และถูกต้องบางครั้ง	2
วางแผนการทดลองแบบflow chart โดยการเรียงลำดับ แยกประเภท หรือคำนวณหาค่าใหม่ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ไม่ชัดเจน แต่ไม่ถูกต้อง	1



### 3.1.2 ใช้อุปกรณ์ สารเคมี อย่างถูกต้องและเหมาะสม โดยมีเกณฑ์การประเมินดังนี้

เกณฑ์การประเมิน	ระดับการประเมิน
ใช้อุปกรณ์ สารเคมี อย่างถูกต้องเหมาะสม และใช้อย่างถูกวิธีทุกครั้ง	4
ใช้อุปกรณ์ สารเคมี อย่างถูกต้องเหมาะสม และใช้อย่างถูกวิธีบ่อยครั้ง	3
ใช้อุปกรณ์ สารเคมี อย่างถูกต้องเหมาะสม และใช้อย่างถูกวิธีบางครั้ง	2
ใช้อุปกรณ์ สารเคมีได้ แต่ไม่เหมาะสม และใช้อย่างไม่ถูกวิธี	1

### 3.1.3 การปฏิบัติการทดลอง ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้อย่างถูกต้อง ทันเวลา คล่องแคล่ว และเหมาะสม โดยมีเกณฑ์การประเมินดังนี้

เกณฑ์การประเมิน	ระดับการประเมิน
ทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้อย่างถูกต้อง ทันเวลา คล่องแคล่ว และเหมาะสมทุกครั้ง	4
ทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ อย่างถูกต้อง ทันเวลา คล่องแคล่ว และเหมาะสมบ่อยครั้ง	3
ทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้อย่างถูกต้องทันเวลาลา คล่อง และเหมาะสมบางครั้ง	2
ทดลองเป็นไปตามขั้นตอน ไม่ถูกต้อง ไม่ทันเวลา ไม่คล่องแคล่ว และไม่เหมาะสม	1

### 3.2 ทักษะการจัดกระทำข้อมูลและสื่อความหมายข้อมูล 3 รายการประกอบไปด้วย

#### 3.2.1 การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองบันทึกผลที่เหมาะสมกับข้อมูล โดยมีเกณฑ์การประเมินดังนี้

เกณฑ์การประเมิน	ระดับการประเมิน
ออกแบบตารางบันทึกผลที่เหมาะสมกับข้อมูลทุกครั้ง	4
ออกแบบตารางบันทึกผลที่เหมาะสมกับข้อมูลบ่อยครั้ง	3
ออกแบบตารางบันทึกผลที่เหมาะสมกับข้อมูลเป็นบางครั้ง	2
ออกแบบตารางบันทึกผลไม่เหมาะสมกับข้อมูล	1

### 3.2.2 การบันทึกผลการทดลองได้ถูกต้อง โดยมีเกณฑ์การประเมินดังนี้

เกณฑ์การประเมิน	ระดับการประเมิน
บันทึกผลคล่องแคล่ว ถูกต้อง ทุกครั้ง	4
บันทึกผลคล่องแคล่ว ถูกต้อง บ่อยครั้ง	3
บันทึกผลคล่องแคล่ว ถูกต้อง บางครั้ง	2
บันทึกผลไม่คล่องแคล่ว ถูกต้อง บางส่วน	1

### 3.2.3 การนำเสนอข้อมูลอธิบายเหตุผลในการเลือกการนำเสนอได้อย่างชัดเจน และตรงประเด็น โดยมีเกณฑ์การประเมินดังนี้

เกณฑ์การประเมิน	ระดับการประเมิน
อธิบายเหตุผลในการเลือกการนำเสนอได้อย่างชัดเจน และตรงประเด็น ทุกครั้ง	4
อธิบายเหตุผลในการเลือกการนำเสนอได้อย่างชัดเจน และตรงประเด็น บ่อยครั้ง	3
อธิบายเหตุผลในการเลือกการนำเสนอได้ชัดเจน และตรงประเด็น บางครั้ง	2
อธิบายเหตุผลในการเลือกการนำเสนอไม่ชัดเจน และไม่ตรงประเด็น	1

## 3.3 ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป 4 รายการ ประกอบไปด้วย

### 3.3.1 การอธิบายผลการทดลอง อธิบายผลและข้อมูลได้อย่างชัดเจน และตรงประเด็น โดยมีเกณฑ์การประเมินดังนี้

เกณฑ์การประเมิน	ระดับการประเมิน
อธิบายผลและข้อมูลได้อย่างชัดเจน และตรงประเด็นทุกครั้ง เพิ่มความเห็นข้อมูลอย่างมีเหตุผลทุกครั้ง	4
อธิบายผลและข้อมูลได้ค่อนข้างชัดเจน และตรงประเด็นบ่อยครั้ง เพิ่มความเห็นข้อมูลอย่างมีเหตุผลบ่อยครั้ง	3
อธิบายผลและข้อมูลได้ค่อนข้างชัดเจน และตรงประเด็นบางครั้ง เพิ่มความเห็นข้อมูลอย่างมีเหตุผลบางครั้ง	2
อธิบายผลและข้อมูลได้ไม่ชัดเจน และไม่ตรงประเด็น เพิ่มความเห็นข้อมูล หรือมักเพิ่มความเห็นข้อมูลอย่างไม่มีเหตุผล	1

## 3.3.2 การแปลความหมายข้อมูลได้อย่างถูกต้องเหมาะสม โดยมีเกณฑ์การประเมิน

ดังนี้

เกณฑ์การประเมิน	ระดับการประเมิน
การแปลความหมายข้อมูลได้อย่างถูกต้องเหมาะสมทุกครั้ง	4
การแปลความหมายข้อมูลได้ถูกต้องเหมาะสมบ่อยครั้ง	3
การแปลความหมายข้อมูลได้อย่างถูกต้องเหมาะสมบางครั้ง	2
การแปลความหมายข้อมูลไม่ถูกต้อง และไม่เหมาะสม	1

## 3.3.3 บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างมีเหตุผลและถูกต้อง โดยมีเกณฑ์

การประเมินดังนี้

เกณฑ์การประเมิน	ระดับการประเมิน
บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างมีเหตุผลและถูกต้องทุกครั้ง	4
บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างมีเหตุผลและถูกต้องบ่อยครั้ง	3
บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างมีเหตุผลและถูกต้องบางครั้ง	2
บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลอย่างมีเหตุผล แต่ไม่ถูกต้อง	1

## 3.3.4 การสรุปผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง โดยมีเกณฑ์การประเมินดังนี้

เกณฑ์การประเมิน	ระดับการประเมิน
สรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง	4
สรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างถูกต้องบ่อยครั้ง	3
สรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างถูกต้องบางครั้ง	2
สรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ไม่ถูกต้อง	1

โดยกำหนดเกณฑ์การสรุปผลการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ดังนี้

ร้อยละคะแนนที่ได้	ระดับของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
90-100	ดีเยี่ยม
80-89	ดีมาก
70-79	ดี
60-69	ค่อนข้างดี
50-59	พอใช้
ต่ำกว่า 50	ควรปรับปรุง

4. นำแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเกณฑ์การประเมินของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างไว้เรียบร้อยแล้ว เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท เพื่อดำเนินการตรวจสอบ พิจารณาความถูกต้อง และความเหมาะสมในด้านต่างๆ

5. นำข้อเสนอแนะที่ได้มาดำเนินการปรับปรุง แก้ไขจุดบกพร่อง โดยได้ปรับปรุงแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ให้มีการรวมการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นแต่ละด้าน และรวมการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ทั้งหมด

#### แบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์

ชื่อ..... ชั้น..... เลขที่.....

คำชี้แจง ให้พิจารณาข้อความต่อไปนี้แล้วให้ระดับคะแนนที่ตรงกับกรปฏิบัติของนักเรียนตามความจริง

ระดับคะแนน 4 หมายถึง ดีมาก 3 หมายถึง ดี  
2 หมายถึง พอใช้ 1 หมายถึง ควรปรับปรุง

รายการประเมิน	ระดับการประเมิน				รวม
	4	3	2	1	
<b>1. ทักษะการทดลอง</b>					
1.1 วางแผนการทดลองแบบflow chart โดยการเรียงลำดับ แยกประเภท หรือจัดทำใหม่ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ชัดเจน และถูกต้อง					
1.2 ใช้อุปกรณ์ สารเคมี อย่างถูกต้องและเหมาะสม					
1.3 การปฏิบัติการทดลอง ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้อย่างถูกต้อง ทันเวลา คล่องแคล่ว และเหมาะสม					
<b>2. ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล</b>					
2.1 การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองบันทึกผลที่เหมาะสมกับข้อมูล					
2.2 การบันทึกผลการทดลองได้ถูกต้อง					
2.3 การนำเสนอข้อมูลอธิบายเหตุผลในการเลือกการนำเสนอได้อย่างชัดเจน และตรงประเด็น					
<b>3. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป</b>					
3.1 การอภิปรายผลการทดลอง อธิบายผลและข้อมูลได้อย่างชัดเจน และตรงประเด็น					
3.2 การแปลความหมายข้อมูลได้อย่างถูกต้องเหมาะสม					
3.3 บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างมีเหตุผลและถูกต้อง					
3.4 การสรุปผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง					
<b>ผลประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์</b>					

สรุปผลการประเมิน  ดีเยี่ยม  ดีมาก  ดี  ค่อนข้างดี  พอใช้  ควรปรับปรุง

ภาพประกอบ 7 ตัวอย่างแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า

#### ขั้นตอนการหาคุณภาพของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

1. ประเมินความเที่ยงตรงของเนื้อหาโดยใช้ ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยผู้วิจัยนำแบบประเมินทักษะกระบวนการทาง

วิทยาศาสตร์ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก) เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อคำถาม โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับคือ สอดคล้อง ไม่น่าสนใจ ไม่สอดคล้อง เพื่อปรับปรุงแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และนำผลการประเมินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญแปลงเป็นคะแนนตามเกณฑ์คะแนน ดังนี้

สอดคล้องตรงตามวัตถุประสงค์ น้ำหนักคะแนน +1

ไม่น่าสนใจว่าตรงตามวัตถุประสงค์ น้ำหนักคะแนน 0

ไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ น้ำหนักคะแนน -1

จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้การหาค่าความสอดคล้องของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง ผู้วิจัยพบว่าผลการประเมินความสอดคล้องของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน พบว่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) มีค่าระหว่าง 0.67-1.00 จำนวน 10 ข้อ จากนั้นปรับปรุงแก้ไขรายการประเมินในข้อที่ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องไม่ถึง 0.50 จำนวน 2 ข้อ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข)

2. ดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน โดยได้ทำการปรับปรุง แก้ไขการใช้ภาษาให้เข้าใจง่าย และแก้ไขเกณฑ์การประเมินให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

3. นำแบบประเมินที่ปรับปรุงแล้วไปทดลองกับนักเรียนที่ไม่ได้เป็นกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนมัธยมศึกษา สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 2 เพื่อดำเนินการแก้ไขและปรับปรุงให้เหมาะสมกับนักเรียน โดยดำเนินการทดลองใช้แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์กับนักเรียนกลุ่มเล็กจำนวน 5 คน เพื่อดูความเหมาะสมของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้และหาข้อบกพร่อง นำบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน โดยใช้การสัมภาษณ์ และสังเกตพฤติกรรมของนักเรียน แล้วนำข้อมูลต่างๆ มาปรับปรุงแก้ไข โดยได้เพิ่มเติมคำแนะนำในการประเมินข้อ ใช้อุปกรณ์ สารเคมี อย่างถูกต้องและเหมาะสม การปฏิบัติการทดลอง ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้อย่างถูกต้อง ทันเวลา คล่องแคล่ว และเหมาะสม โดยครูผู้สอนจะต้องทำการประเมินจากการปฏิบัติจริงในห้องปฏิบัติการทดลอง

### แบบแผนการทดลอง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งทำการทดลองตามแบบแผนการทดลอง One-Group Pretest-Posttest Design เนื่องจากประกอบไปด้วยกลุ่มตัวอย่างเพียง 1 กลุ่ม ที่เป็นกลุ่มทดลองซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง คือ กลุ่มนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ทำการทดสอบก่อนการทดลองด้วยเครื่องมือวัด และทำการทดลองในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ เมื่อทดลองเสร็จแล้ว จึงดำเนินการทดสอบหลังการทดลองด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการวัดอย่างเดียวกันกับการทดสอบก่อนการทดลอง ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลต่างระหว่างคะแนน (พรณี ลีกิจวัฒน์, 2556)

ตาราง 4 ตารางแสดงแบบแผนการการวิจัยแบบ One-Group Pretest-Posttest Design

กลุ่ม	สอบก่อนเรียน	การทดลอง	สอบหลังเรียน
E	T <sub>1</sub>	X	T <sub>2</sub>

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการอธิบายแบบแผนการการวิจัย

E	แทน	กลุ่มทดลอง
T <sub>1</sub>	แทน	การทดสอบก่อนเรียน
T <sub>2</sub>	แทน	การทดสอบหลังเรียน
X	แทน	การจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัย ได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามลำดับดังนี้

1. เลือกนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง ในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 2 โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง และเป็นนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 42 คน

2. ดำเนินการทดสอบก่อนเรียน (Pretest) กับนักเรียน โดยใช้แบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า จำนวน 20 ข้อ ใช้เวลา 2 คาบเรียน (100 นาที)

3. ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ใช้เวลา 6 คาบเรียน (คาบเรียนละ 50 นาที)

4. เมื่อดำเนินการจัดการเรียนรู้จนสิ้นสุด จึงทำการทดสอบหลังเรียน(Posttest)ประเมินผลแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้เกณฑ์การประเมินและมาตรฐานค่าที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น

5. นำคะแนนที่ได้จากการตรวจแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มาทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติ และนำผลคะแนนจากการประเมิน มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์เพื่อสรุปผลทักษะที่นักเรียนได้รับและทดสอบสมมติฐานต่อไป



ภาพประกอบ 8 การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย

#### การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ดำเนินการศึกษาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน โดยผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์ดังนี้ คือ นักเรียนร้อยละ 80 มีคะแนนแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60

2. วิเคราะห์คะแนนแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า โดยใช้คะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งมีเกณฑ์การประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาทำการเปรียบเทียบและสรุปผลการประเมินที่นักเรียนได้รับ โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test dependent sample

3. วิเคราะห์คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จากการทำปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน และการรายงานผลบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน โดยใช้วิธีการทางสถิติพื้นฐาน

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล มีดังต่อไปนี้

#### 4.1 สถิติพื้นฐาน

##### 4.1.1 การหาค่าเฉลี่ย (Mean) คำนวณจากสูตร (พรรรณี ลีกิจวัฒน์, 2556)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ  $\bar{X}$  แทน ค่าเฉลี่ย

$\sum X$  แทน ผลรวมของคะแนนในชุดข้อมูล

$n$  แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

##### 4.1.2 การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของคะแนนจากสูตรคำนวณ (พรรรณี ลีกิจวัฒน์, 2556)

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

เมื่อ  $S$  แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$n$  แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

$X$  แทน คะแนนแต่ละตัวในชุดข้อมูล

$\bar{X}$  แทน ค่าเฉลี่ยของคะแนนในชุดข้อมูล

#### 4.2 สถิติที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

##### 4.2.1 วิเคราะห์หาค่าความสอดคล้องด้านความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของการเรียนจากสูตร (พรรรณี ลีกิจวัฒน์, 2556)

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ  $IOC$  แทน ดัชนีความสอดคล้อง

$\sum R$  แทน ผลรวมรายข้อตามดุลยพินิจของผู้เชี่ยวชาญ

$n$  แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

##### 4.2.2 หาค่าความยากง่าย (p) และหาค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า โดยคำนวณจากสูตร (พรรรณี ลีกิจวัฒน์, 2559: 207)

$$p = \frac{R_H + R_L}{2n}$$

$$r = \frac{P_H - P_L}{2n}$$

เมื่อ  $p$  แทน ค่าความยากง่าย

$r$  แทน ค่าอำนาจจำแนก

$R_H$  แทน จำนวนผู้ตอบถูกของข้อนี้ในกลุ่มสูง



$R_L$	แทน	จำนวนผู้ตอบถูกของข้อนั้นในกลุ่มต่ำ
$n$	แทน	จำนวนผู้ตอบในแต่ละกลุ่ม(ซึ่งมีจำนวนเท่ากัน)

4.2.3 การวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า โดยการใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (ล้วน สายยศ, 2543, น. 215)

	$r_{tt}$	=	$\frac{k}{n-1} \left( 1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right)$
เมื่อ	$r_{tt}$	แทน	ความเชื่อถือได้ของเครื่องมือวัด
	$k$	แทน	จำนวนข้อของเครื่องมือวัด
	$\sum$	แทน	ผลรวม
	$p$	แทน	สัดส่วนของผู้ตอบถูกในแต่ละข้อ
	$q$	แทน	สัดส่วนของผู้ตอบผิดในแต่ละข้อ
	$S^2$	แทน	ความแปรปรวนของคะแนนทั้งฉบับ

#### 4.3 สถิติที่ใช้ตรวจสอบสมมติฐาน

การตรวจสอบสมมติฐานสำหรับเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน คำนวณ จากสูตร t-test for Dependent Sample (พรณี ลีกิจวัฒน์, 2556)

	$t$	=	$\frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n \sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}}$
	$df$	=	$n - 1$
เมื่อ	$t$	แทน	ค่าสถิติที่จะเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเพื่อ ทราบความมีนัยสำคัญ
	$D$	แทน	ค่าผลต่างระหว่างคู่คะแนน
	$\sum D$	แทน	ผลรวมของผลต่างระหว่างคะแนนแต่ละคู่
	$\sum D^2$	แทน	ผลรวมของผลต่างระหว่างคะแนนแต่ละคู่ยกกำลังสอง

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

การวิจัยเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยโดยการศึกษิตตามขบวนการและขั้นตอนต่างๆ จนกระทั่งให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์และ ผู้วิจัยเสนอสมมติฐานของการวิจัย ดังนี้

สมมติฐานข้อ 1 บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 80 มีคะแนนแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60

สมมติฐานข้อ 2 แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

สมมติฐานข้อ 3 นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อยู่ในระดับดีขึ้นไป

#### ผลการทดสอบสมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานข้อ 1 บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 80 มีคะแนนแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60

ผู้วิจัยได้พัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อพัฒนาแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากนั้นนำไปใช้ทดสอบกับ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยจัดการเรียนรู้ที่ใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน วิชาเคมี 4 โดยหาประสิทธิภาพของชุดกิจกรรมดังกล่าว โดยหาประสิทธิภาพจากคะแนนจากการแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า จากการศึกษาผลการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถแปลผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามสมมติฐานได้ดังต่อไปนี้

ตาราง 4 แสดงค่าร้อยละของคะแนนคำถามท้ายการทดลอง และร้อยละคะแนนเฉลี่ยจากแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	คะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60	ค่าร้อยละ
แบบวัดแนวคิดเคมีไฟฟ้า	42	20	14.36	2.80	37	88.10

จากตาราง 4 พบว่า ในคะแนนจากการแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ซึ่งเป็นแบบปรนัย จำนวน 20 ข้อ คะแนนรวม 20 คะแนน นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 14.36 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 71.80 โดยมีจำนวนนักเรียนที่มีคะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 หรือ 12 คะแนน ทั้งหมด 37 คน คิดเป็นร้อยละ 88.10 จึงสรุปได้ว่า บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนเพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้า และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์คือ นักเรียนร้อยละ 80 มีคะแนนแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 ที่กำหนดไว้ เนื่องจากนักเรียนมีความสนใจและให้ความร่วมมือในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เป็นอย่างดี การใช้ปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เป็นกิจกรรมที่เหมาะสมต่อการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ส่งผลให้นักเรียนได้รับความรู้ จึงทำให้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข)

**สมมติฐานข้อ 2 แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05**

ผู้วิจัยได้ทำการวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนก่อนจัดการเรียนรู้ด้วยแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีจำนวน 20 ข้อ แล้วจัดการเรียนรู้ด้วย บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน และวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ควบคู่กัน จากนั้นผู้วิจัยได้นำคะแนนแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย มาศึกษาเปรียบเทียบโดยใช้วิธีทางสถิติแบบ T-test dependent sample ปรากฏผลดังแสดงในตาราง

ตาราง 5 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า วิชาเคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า ก่อนเรียนกับหลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการทดลอง เคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	S.D.	t	df	p
ก่อนเรียน	42	20	6.45	3.52			
หลังเรียน	42	20	14.36	2.80	-21.19*	41	.000

\*\*ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า วิชาเคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า การเรียนก่อนเรียนของนักเรียนมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.45 และ 3.52 ตามลำดับ จากนั้นจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน วิชา เคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า แล้ววัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน วิชา เคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า โดยใช้แบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ฉบับเดียวกันกับการทดสอบก่อนเรียน พบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.36 และ 2.80 ตามลำดับ สถิติทดสอบ t-test มีค่าเท่ากับ -21.19 ค่าองศาอิสระเท่ากับ 41 เลขนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .000 ซึ่งน้อยกว่า .05 แสดงว่า นักเรียนที่เรียนโดยใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน วิชา เคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อ 2

**สมมติฐานข้อ 3 นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อยู่ในระดับดีขึ้น**

ผู้วิจัยได้ทำการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน วิชา เคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า นักเรียนได้ วางแผนการทดลองแบบ flow chart โดยการเรียงลำดับ แยกประเภทหรือคำนวณหาค่าใหม่ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ชัดเจน และถูกต้อง ใช้อุปกรณ์ สารเคมี อย่างถูกต้องเหมาะสม และใช้อย่างถูกวิธี ทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้อย่างถูกต้อง ทันเวลา คล่องแคล่ว และเหมาะสม ซึ่งส่วนนี้สอดคล้องกับ ทักษะการทดลอง การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง การนำเสนอข้อมูล ส่วนนี้สอดคล้องกับ ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล และการอภิปรายผลการทดลอง การแปลความหมายข้อมูล บอกความสัมพันธ์ของข้อมูล และสรุปความสัมพันธ์ของข้อมูล ซึ่งส่วนนี้สอดคล้องกับ ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุปผู้วิจัย จึงได้ทำการประเมินทักษะการทดลอง ทักษะการจัดกระทำข้อมูลและสื่อความหมายข้อมูล และ

ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ซึ่งทำประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ที่กล่าวมา ผ่านการลงมือปฏิบัติการทดลองในห้องเรียน และรายงานผลการทดลองของนักเรียน โดยทักษะการทดลอง ทำการประเมินนักเรียนรายบุคคลผ่านการวางแผนทดลองแบบ flow chart การใช้อุปกรณ์ สารเคมีและการปฏิบัติการทดลอง ในระหว่างการปฏิบัติการทดลองทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล ทำการประเมินนักเรียนผ่านการออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง การบันทึกผลการทดลอง และการนำเสนอข้อมูลในชั้นเรียน ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป ทำการประเมินนักเรียนผ่าน การอภิปรายผลการทดลอง การแปลความหมายข้อมูลบอกความสัมพันธ์ของข้อมูล และการการสรุปผลการทดลองจากรายงานผลบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน การใช้แบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมาศึกษาคะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าร้อยละ แสดงดังตาราง

ตาราง 6 แสดงคะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าร้อยละ และระดับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมและจำแนกเป็นรายด้าน

การทดสอบ	คะแนนเต็ม	n	$\bar{x}$	S.D.	ระดับ
ทักษะการทดลอง	12	42	11.26	1.17	ดีเยี่ยม
ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล	12	42	11.10	1.12	ดีเยี่ยม
ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	16	42	14.55	1.35	ดีเยี่ยม
รวมทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์	40	42	36.87	2.55	ดีเยี่ยม

จากตาราง พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน วิชา เคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมเฉลี่ยเท่ากับ 36.87 คิดเป็นร้อยละ 92.175 ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม โดยประกอบไปด้วยคะแนนทักษะการทดลอง เฉลี่ยเท่ากับ 11.26 คิดเป็นร้อยละ 93.83 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลเฉลี่ยเท่ากับ 11.10 คิดเป็นร้อยละ 92.50 ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม และคะแนนทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป เฉลี่ยเท่ากับ 14.55 คิดเป็นร้อยละ 90.94 ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยเรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย หลังจากได้ผลดำเนินงานแล้ว สามารถสรุปผลการดำเนินงาน โดยแบ่งหัวข้อในการสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อพัฒนาแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สรุปผลได้ดังนี้

1. บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ คือ มีจำนวนนักเรียนที่มีคะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 หรือ 12 คะแนน ทั้งหมด 37 คน คิดเป็นร้อยละ 88.10 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ประสิทธิภาพที่นักเรียนร้อยละ 80 มีคะแนนแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่องเคมีไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

2. แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้แบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ฉบับเดียวกันกับการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่า มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน วิชา เคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมเฉลี่ยเท่ากับ 36.87 คิดเป็นร้อยละ 92.175 ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม โดยประกอบไปด้วย คะแนนทักษะการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 11.26 คิดเป็นร้อยละ 93.83 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูลเฉลี่ยเท่ากับ 11.10 คิดเป็นร้อยละ 92.50 ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม และคะแนนทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป เฉลี่ยเท่ากับ 14.55 คิดเป็นร้อยละ 90.94 ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม

## อภิปรายผลการวิจัย

จากการพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อพัฒนาแนวคิดเคมีไฟฟ้า และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สามารถอภิปรายผลการศึกษาได้ดังนี้

**การอภิปรายผลของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 80 มีคะแนนแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60**

บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีจำนวนนักเรียนที่มีคะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 หรือ 12 คะแนน ทั้งหมด 37 คน คิดเป็นร้อยละ 88.10 มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ เนื่องจากเหตุผลต่อไปนี้

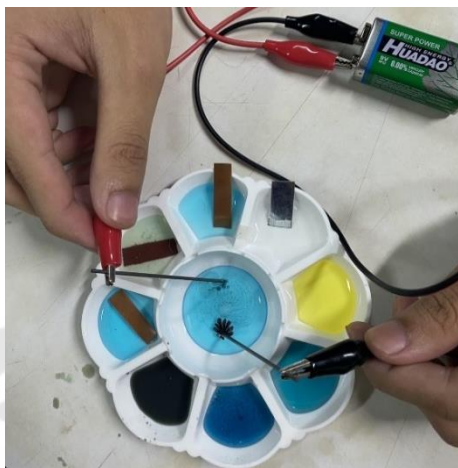
**ประการแรก** บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อพัฒนาแนวคิดเคมีไฟฟ้า และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ได้ดำเนินการสร้างอย่างเป็นระบบ ได้แก่ การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ศึกษาผลการเรียนรู้ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560 ของกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาระเคมี ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กับเรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน วิเคราะห์ขอบเขตของเนื้อหา กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ และจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับเนื้อหา รายวิชา เคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า โดยคำนึงถึงความเหมาะสมของเนื้อหา ภาษาที่ใช้ และรูปแบบของบทปฏิบัติการ ได้ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีวิเคราะห์ 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมี ศึกษา 1 ท่าน และผู้สอนวิชาเคมี 1 ท่าน เพื่อพิจารณาองค์ประกอบของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน และนำข้อบกพร่องของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นนำบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ดังกล่าวไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ครั้งที่ 1 กลุ่มเล็ก 5 คน เพื่อศึกษาความเหมาะสมขององค์ประกอบบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน และนักเรียนกลุ่มใหญ่จำนวน 20 คน เพื่อหาข้อบกพร่อง และแก้ไขข้อบกพร่องของชุดกิจกรรม พบว่า นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้เป็นอย่างดีและบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีประสิทธิภาพดังนั้นการพัฒนาบทปฏิบัติการทดลอง

เคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อพัฒนาแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย อย่างมีระบบและขั้นตอน และลำดับการทดลองให้เข้าใจง่าย ในเนื้อหาของเคมีไฟฟ้า จึงส่งผลให้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนมีประสิทธิภาพ

**ประการที่สอง** การจัดการเรียนการสอนวิชาเคมีมักประสบปัญหาหลายด้าน เช่น สื่อการเรียนการสอนไม่เพียงพอที่ใช้ในการเรียน ระยะเวลาที่ใช้ในการสอนไม่เพียงพอกับเนื้อหาที่กำหนดให้เรียน โดยเฉพาะการทำการทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองไม่เพียงพอ ครูขาดเทคนิคและวิธีการสอนที่หลากหลาย ในการจัดการเรียนการสอนในรายวิชา เคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า ตามหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 4 มีหัวข้อทั้งหมด 5 หัวข้อ ซึ่งมีการทำกิจกรรมการทดลองทั้งหมด 5 การทดลอง แทรกตามเนื้อหา ผู้วิจัยได้พัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่ประกอบไปด้วย 4 การทดลอง คือการทดลองตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวานาเดียม การทดลองตอนที่ 2 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ การทดลองตอนที่ 3 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของเซลล์กัลวานิก การทดลองตอนที่ 4 การแยกสลายสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟตด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งการทดลองทั้งหมด สามารถทำปฏิบัติการทดลองได้ครั้งเดียว ภายในเวลาเรียน 2 คาบ ทำให้นักเรียนเกิดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่องเคมีไฟฟ้า ได้อย่างถูกต้อง ไม่คลาดเคลื่อน เห็นภาพรวมการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ตั้งแต่แรกที่เริ่มจาก การทดลองตอนที่ 1 นักเรียนจะเข้าใจการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ที่เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวานาเดียม มีการเปลี่ยนแปลง วานาเดียมไอออน  $V^{5+}$  ให้สารละลายสีเหลือง,  $V^{4+}$  ให้สารละลายสีฟ้า,  $V^{3+}$  ให้สารละลายสีเขียวแกมน้ำเงิน และ  $V^{2+}$  ให้สารละลายสีม่วง ดังภาพประกอบ 9 การทดลองตอนที่ 2 เมื่อนำโลหะสังกะสี จุ่มลงในสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต แผ่นโลหะสังกะสีเกิดการผุกร่อน มีตะกอนสีดำมาเกาะ สารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟตมีสีฟ้าจางลง และเมื่อนำโลหะทองแดงจุ่มลงในสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ไม่พบการเปลี่ยนแปลง ทำให้นักเรียนเห็นการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ชัดเจนจากผลการทดลอง และยังสามารถเปรียบเทียบความสามารถในการให้อิเล็กตรอนและรับอิเล็กตรอนของ การทดลองตอนที่ 3 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ เพียงแค่นักเรียนเมื่อนำโลหะสังกะสีเป็นขั้วแอโนด จุ่มลงในสารละลายซิงค์ซัลเฟต นำโลหะทองแดงเป็นขั้วแคโทด จุ่มลงในสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต พบว่าไดโอดเปล่งแสงสว่างขึ้น การทดลองตอนที่ 4 ในการแยกสลายสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ที่ขั้วแคโทด เกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงมาเกาะ และที่ขั้วแอโนด เกิดฟองแก๊สเกิดขึ้น จากการทดลองทั้งหมดในครั้งเดียว



นักเรียนจึงเห็นการเปลี่ยนแปลง ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าตั้งแต่ต้น และเห็นความแตกต่างของการเกิดปฏิกิริยาของเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรไลติกได้ทำให้เกิดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่องเคมีไฟฟ้าอย่างถูกต้อง(สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2562, 2565)



ภาพประกอบ 9 การทดลองในบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

**ประการที่สาม** ในการทำการทดลองผ่านบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายนี้ ได้พัฒนาบทปฏิบัติการที่มีรูปแบบการทดลองที่เน้นความประหยัด โดยปกติแล้วในการทำการทดลอง เคมีไฟฟ้า ต้องใช้อุปกรณ์เครื่องแก้ว อาทิเช่น บีกเกอร์ จำนวนมาก ที่มีราคาสูง ผู้วิจัยได้ดัดแปลงเป็นการใช้จานสี ที่มีราคาชิ้นละ 10 บาท โวลมิเตอร์ ดัดแปลงเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสง ราคาเพียง 3 บาท และใช้ปริมาณสารเคมีในการทำการทดลองทั้งหมดเพียง 7 มิลลิลิตรต่อ 4 การทดลอง ถือว่าเป็นการประหยัด โอกาสที่ผู้เรียนผู้สอนจะสัมผัสกับสารเคมี ระหว่างการทดลองต่ำกว่าในระดับที่เป็นอันตราย ไม่ร้ายแรงมาก เมื่อเกิดอุบัติเหตุขึ้นก็สามารถแก้ไขสถานการณ์ได้รวดเร็ว จึงเป็นการทดลองที่มีความปลอดภัยสูง ทำให้ผู้เรียนทุกคนมีโอกาสได้ทำการทดลอง ช่วยให้การเรียนเคมีน่าสนใจ การที่นักเรียนได้ทำการทดลองด้วยตนเองเพื่อสืบเสาะหาความรู้ ทำให้เกิดความสนใจอย่างแท้จริงได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สามารถสังเกตผลการทดลองได้อย่างรวดเร็วและชัดเจน รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็กลง ใช้เวลาในการทดลองน้อย สะดวกต่อการจัดเตรียมอุปกรณ์และทำความสะอาดอุปกรณ์หลังการทดลอง อีกทั้งยังลดภาระการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น

จากข้อมูลทีกล่าวมาข้างต้นเป็นเหตุผลที่สอดคล้องกับผลการวิจัยในครั้งนี้คือบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีจำนวนนักเรียนที่มีคะแนนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 หรือ 12 คะแนน ทั้งหมด 37 คน คิดเป็นร้อยละ 88.10 มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ ที่กำหนดไว้ตามสมมติฐานข้อที่ 1

**การอภิปรายผลของแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05**

แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเหตุผลต่อไปนี้

**ประการแรก** การดำเนินการสร้าง เพื่อส่งเสริมแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เป็นไปตามขั้นตอนที่เหมาะสม กล่าวคือบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีเนื้อหาเป็นไปตามผลการเรียนรู้และครอบคลุมตามขอบเขตเนื้อหาที่กำหนดตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 การจัดเรียงเนื้อหาที่เหมาะสม นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ดังกล่าวได้ศึกษาเนื้อหาเรื่อง เคมีไฟฟ้า ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองตามทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) เนื่องจากนักเรียนได้ลงมือทำปฏิบัติการทดลองเองในการนำความรู้ ไปใช้ในบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน 4 การทดลอง คือ การทดลองตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวาเนเดียม การทดลองตอนที่ 2 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ การทดลองตอนที่ 3 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของเซลล์กัลวานิก การทดลองตอนที่ 4 การแยกสลายสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟตด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งนักเรียนจำเป็นต้องเข้าใจหลักการของ เลขออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดอกซ์ เซลล์เคมีไฟฟ้า และเซลล์อิเล็กโทรไลติก แล้วนำความรู้ไปประยุกต์ในการทำการทดลองในบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ส่งผลให้นักเรียนเกิดความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง เคมีไฟฟ้า และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ ดังนั้นจึงทำให้นักเรียนมีแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (ญาณี เชื้อเมืองพาน, 2021) ที่ได้สร้างบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

วิชาเคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.5 ทั้งนี้เพราะการจัดการเรียนการสอนนั้นเน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองตามแบบแผนขั้นตอนที่ผู้วิจัยได้ออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพของนักเรียน และเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนนั้นได้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ตลอดจนมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ร่วมกันทำกิจกรรมกลุ่ม มีการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ วิเคราะห์ แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติการทดลอง จึงทำให้ได้บทปฏิบัติการที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ มีเนื้อหาสาระที่มีความชัดเจน และมีลำดับขั้นตอนของการปฏิบัติการทดลองที่แน่ชัด อุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการทดลองสามารถประยุกต์จากชีวิตประจำวันมาใช้ หาได้ง่าย ราคาไม่สูงตลอดจน มีวิธีการทดลองที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน และมีรูปภาพประกอบทั้งอุปกรณ์ ขั้นตอนการทดลอง ตลอดจนข้อความท้ายบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ที่เป็นแนวทางในการลงข้อสรุปขององค์ความรู้ที่ได้เจนนมากขึ้น จึงทำให้ผู้เรียนมีการสร้างองค์ความรู้ที่คงทนอย่างแท้จริงด้วยตนเอง

**ประการที่สอง** แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า วิชาเคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 การเรียนรู้แบบปกติอาจจะไม่เพียงพอที่จะทำให้ผู้เรียนเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าไปในทิศทางที่ดีขึ้นได้ ผู้สอนจำเป็นต้องทำความเข้าใจสิ่งที่นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อน และจัดการเรียนรู้ที่หลากหลายและเปิดโอกาสให้นักเรียนได้อภิปรายเพื่อได้แจ้งความเข้าใจของตนเองโดยมีผู้สอนคอยชี้แนะให้นักเรียนมีความเข้าใจไปในทิศทางที่ดีขึ้นนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศักดิ์ดีศรี สุภาพร และคณะ (2562) ได้พัฒนาชุดการทดลองเคมีย่อส่วนแบบต้นทุนต่ำร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะเพื่อสนับสนุนความเข้าใจมนมิตและการปรับเปลี่ยนมนมิตระดับโมเลกุลของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจมนมิตหลังเรียนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นเป็นเหตุผลที่สอดคล้องกับผลการวิจัยในครั้งนี้คือ แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้าของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2

การอภิปรายผลของนักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมและรายด้านทั้ง 3 ด้านคือ ทักษะการทดลอง ทักษะการจัดกระทำข้อมูลและสื่อความหมายข้อมูล และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป อยู่ในระดับดีขึ้นไป

นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมและรายด้านทั้ง 3 ด้านคือ ทักษะการทดลอง ทักษะการจัดกระทำข้อมูล และสื่อความหมายข้อมูล และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป อยู่ในระดับดีขึ้นไป ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเหตุผลต่อไปนี้

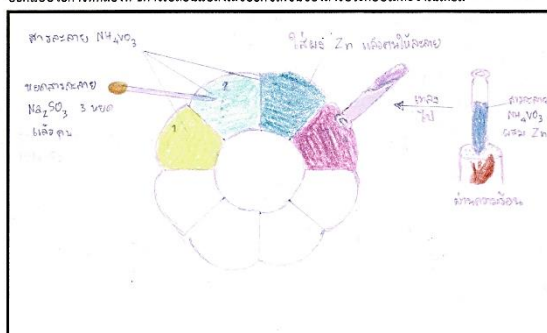
**ประการแรก** บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เป็นการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการปฏิบัติการทดลอง ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการจัดการเรียนรู้อบรมปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน โดยผู้เรียนลงมือทำการทดลองด้วยตนเองตามเอกสารประกอบปฏิบัติการทดลอง ที่ให้เรียนได้วางแผนการทดลองแบบ Flow Chart ด้วยตนเองก่อนทำการทดลองจากวิธีการทดลอง การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองให้เหมาะสมเพื่อบันทึกผลจากการทำการทดลองเคมีไฟฟ้า ได้เลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ และสารเคมี ที่ใช้ในการทดลองจากที่ผู้วิจัยได้เตรียมไว้ให้ คำถามท้าทายการทดลองที่จะนำไปสู่การอภิปรายและสรุปผลการทดลองด้วยตนเองที่ถูกต้อง การเรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เนื่องจากนักเรียนได้เริ่มจากการวางแผนและออกแบบการทดลองจากวิธีการทดลองในบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ได้ลงมือปฏิบัติการทดลอง บันทึกผลและสรุปผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง ตอบคำถามท้าทายการทดลองด้วยตนเองทั้งหมด ช่วยให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรง และได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ ด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนได้รับทั้งความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นผลให้ นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ยศวดี ลีติวร (2557) ที่ได้พัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟซิส เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรี ซึ่งผู้เรียนจะได้รับประสบการณ์ตรงในการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงตามหลักทฤษฎีซึ่งจะพัฒนาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ พัฒนาความสามารถในการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์ ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความคิดแบบวิทยาศาสตร์ได้ ตลอดจนพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ พบว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟซิส มีประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**ประการที่สอง** บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีวิธีการทดลองที่ช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ตั้งแต่วิธีการทดลอง การบันทึกผลการทดลอง การสรุปและอภิปรายผลการทดลอง ขณะทำการทดลองผู้เรียนได้ฝึก

ปฏิบัติการใช้อุปกรณ์และเครื่องมืออย่างถูกต้อง ได้ทำการทดลองอย่างเป็นขั้นตอน และรู้จักการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า การบันทึกผลการทดลอง การสรุปและอภิปรายผลการ เช่น การสังเกต และจดบันทึก การใช้ภาษาเพื่อสื่อความหมาย การจัดกระทำและนำเสนอข้อมูล การแปลความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป ความถูกต้องของผลการทดลอง เป็นต้น การทดลองของผู้เรียนสามารถสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของผู้เรียนหลายด้าน ซึ่งการปฏิบัติการทดลอง วางแผนการทดลอง ออกแบบการทดลองและเขียนรายงานผลการทดลองส่งในแต่ละบทปฏิบัติการจะเป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดวิเคราะห์ และช่วยเพิ่มพูนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ผกาพรรณ กลางชมภู (2561) ที่ได้พัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาฟอกขาวของคริสตอลไวโอเลตในสารละลายเบส โดยใช้เครื่องตรวจวัดชนิด PEDD เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางการเรียนของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่านักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมีที่ระดับนัยสำคัญ .01 นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากในกิจกรรมได้มีการออกแบบให้นักเรียนได้พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นรายทักษะ นักเรียนได้ทำการวางแผนการทดลองด้วยตนเองล่วงหน้า ทำให้นักเรียนได้ทำความเข้าใจและลำดับขั้นตอนการทดลองมาก่อนทำให้นักเรียนสามารถทำการทดลองได้อย่างคล่องแคล่วและถูกต้อง นอกจากนี้นักเรียนมีเวลาพิจารณาปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการทดลองและเตรียมการแก้ปัญหาล่วงหน้าซึ่งเป็นการปลูกฝังและพัฒนานิสัยนักวิทยาศาสตร์ ในบทปฏิบัติการเคมีที่พัฒนาขึ้นนี้มุ่งเน้นให้นักเรียนนำผลการทดลองมาแปลผล และนักเรียนสามารถสร้างความสัมพันธ์ได้อย่างถูกต้อง จะทำให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของกราฟผลการทดลองเพื่อช่วยในการสรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเหตุผลที่สอดคล้องกับผลการวิจัยในครั้งนี้คือ นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน มีทักษะการทดลอง ทักษะการจัดกระทำข้อมูลและสื่อความหมายข้อมูล และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป อยู่ในระดับดีขึ้นไป

ออกแบบวิธีการทดลองที่ 1 การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวานาเดียม



ออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1 การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวานาเดียม

ข้อที่	สารละลายที่เติม	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น			
		สี	กลิ่น	ฟองแก๊ส	ตะกอน
1	-	น้ำขุ่น	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
2	$\text{Na}_2\text{SO}_4$ 3 มล	ขุ่น	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
3	ผง Zn	ขุ่น	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
4	ผง Zn + ชิ้นตะกั่ว ควาเวียง	ขุ่น	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

ภาพประกอบ 10 รายงานผลปฏิบัติการเคมีไฟฟ้าของนักเรียน

## ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาค้นคว้าและดำเนินการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้และการศึกษาวิจัย ดังนี้

### 1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1 ครูสามารถนำบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่อง เคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในวิชาเคมีไฟฟ้าได้ตามความเหมาะสมกับอุปกรณ์การทดลองที่มี ภายในห้องปฏิบัติการของโรงเรียนได้

1.2 ในการทำปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน ครูสามารถปรับเปลี่ยนวัสดุและสารเคมีที่มี ใช้ในการทำทดลองได้อย่างเหมาะสม อาทิเช่น การใช้โลหะแมกนีเซียม แทนโลหะสังกะสี การใช้สารละลายอิมิตัวโซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) แทนสารละลายโพแทสเซียมไนเตรต ( $\text{KNO}_3$ ) การแยกสลายสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ( $\text{KI}$ ) แทนสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) เป็นต้น

1.3 ควรทำการศึกษาวิจัยการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนในเนื้อหาวิชาเคมีส่วนอื่นๆ เนื่องจากการทดลองเคมีย่อส่วนมีความประหยัด ปลอดภัยและง่ายสามารถเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำการทดลองเคมีด้วยตนเองได้

## 2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรนำรูปแบบการวิจัยนี้ไปใช้ในการวิจัยโดยใช้หัวข้อหลักอื่น วิชาอื่น หรือระดับชั้นอื่น ตามความเหมาะสม

2.2 ควรทำการศึกษาวิจัยการจัดการเรียนรู้ โดยใช้บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนต่อ ทักษะในศตวรรษที่ 21 ในด้านอื่น เช่น ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ เป็นต้น

2.3 จากการพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อพัฒนาแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่านักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมและรายด้านทั้ง 3 ด้านคือ ทักษะการทดลอง ทักษะการจัดกระทำข้อมูลและสื่อความหมายข้อมูล และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป อยู่ในระดับดีมาก เพื่อให้ให้นักเรียนมีการพัฒนาแนวคิดวิชาเคมี และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในด้านต่างๆ ได้ดีขึ้น เช่น ทักษะกระบวนการแสวงหาความรู้ ทักษะกระบวนการคิด ทักษะการสังเกต ทักษะการใช้จำนวน เป็นต้น จึงควรมีการพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วนที่สามารถประยุกต์ให้ใช้ในการพัฒนาแนวคิดวิชาเคมี และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในด้านต่างๆ ที่มากขึ้น

## บรรณานุกรม

- Anderson, S. C., & Cockayne, S. (1993). *Clinical chemistry : concepts and applications*: Philadelphia : W. B. Saunders.
- Ausubel, D. P. (1970). *Theory and problems of child development / : David P. Ausubel, Edmund V. Sullivan* (2nd ed.): New York : Grune & Stratton.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of chemical education*, 70(9), 701.
- Kelly, R. M. A., S. . (2016). Insights into how students learn the difference between a weak acid & a strong acid from cartoon tutorials employing visualizations. *Journal of Chemical Education*, 6, 1010-1019.
- Pienta, N. J. (2003). Chemical Education: Towards Research-Based Practice (Gilbert, John K Jong, Onno De Justi, Rosaria Treagust, David Van Driel, Jan H.). *Journal of Chemical Education*, 80(12), 1387.
- Singh, M. M., Szanfran, Z. & Pike, R. M. (1999). Microscale Chemistry & Green Chemistry: Complementary Pedagogies. *Journal of Chemical Education*, 12(76), 1684-1686.
- จินดารัตน์ แก้วพิกุล. (2554). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีและความสามารถด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปลี่ยนแปลงแนวความคิด และการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้น. วิทยานิพนธ์ (กศ.ม. (การมัธยมศึกษา)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2554.  
[http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Sec\\_Ed/Jindarat\\_K.pdf](http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Sec_Ed/Jindarat_K.pdf)  
[http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc\\_library=SWU01&local\\_base=SWU01&doc\\_number=000334092&sequence=000001&line\\_number=0001&func\\_code=DB\\_RECORDS&service\\_type=MEDIA](http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc_library=SWU01&local_base=SWU01&doc_number=000334092&sequence=000001&line_number=0001&func_code=DB_RECORDS&service_type=MEDIA)
- ญาณี เตื่อเมืองพาน. (2021). การสร้างบทปฏิบัติการทดลองแบบย่อส่วนวิชา เคมี เรื่อง ไฟฟ้าเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *Journal of Educational Review Faculty of Education in MCU*, 8(1), 69-85.
- ทรงกลด ไบยา. (2558). การพัฒนานบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี. วิทยานิพนธ์



(กศ.ม. (ชีววิทยา)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2558.

[http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Bio/Songklod\\_B.pdf](http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Bio/Songklod_B.pdf)

ทศนา แคมมณี. (2555). 14 วิธีสอนสำหรับครูมืออาชีพ (พิมพ์ครั้งที่ 11). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุญชม ศรีสะอาด. (2541). การพัฒนาการสอน (พิมพ์ครั้งที่ 2..): กรุงเทพฯ : ชมรมเด็ก.

ผกาพรรณ กลางชมภู. (2561). การพัฒนาทปฏิบัติการเคมี เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาฟอกจางสีของคริสตอลไวโอเล็ตในสารละลายเบส โดยใช้เครื่องตรวจวัดชนิด PEDD เพื่อศึกษาประสิทธิผลทางการเรียนของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปรินูญานินพนธ์ (กศ.ม. (เคมี)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2561.

พรพรรณ อุดมกาญจนันท์. (2546). เปิดโลกเคมี : ปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนสำหรับมัธยมศึกษาตอนปลายฉบับคู่มือครู: กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้จัดจำหน่าย.

พรณี ลีกิจวัฒน์. (2556). การวิจัยทางการศึกษา (พิมพ์ครั้งที่ 8, [ฉบับพิมพ์ซ้ำ]).: กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์. (2545). พฤติกรรมการสอนวิทยาศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 1.): กรุงเทพฯ : สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ พว.

เพชรวิไล ชัตติยวงษ์. (2557). การพัฒนาชุดการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วนและต้นทุนต่ำเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการสอนเคมีไฟฟ้า. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 5, ฉบับที่ 2 (ก.ค.-ธ.ค. 2557), หน้า 146-154.

ภพ เลหาไพบูลย์. (2542). แนวการสอนวิทยาศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 3 (ฉบับปรับปรุง)..): กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.

ภพ เลหาไพบูลย์. (2542). แนวการสอนวิทยาศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 3 (ฉบับปรับปรุง)). กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

ยศวดี รัฐิวิร. (2557). การพัฒนาทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องเทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อศึกษาประสิทธิผลการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรี. ปรินูญานินพนธ์ (กศ.ม. (เคมี)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2557.

[http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Chem/Yotwadee\\_T.pdf](http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Chem/Yotwadee_T.pdf)

[http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc\\_library=SWU01&local\\_base=SWU01&doc\\_number=000386479&sequence=000001&line\\_number=0001&func\\_code=D\\_B\\_RECORDS&service\\_type=MEDIA](http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc_library=SWU01&local_base=SWU01&doc_number=000386479&sequence=000001&line_number=0001&func_code=D_B_RECORDS&service_type=MEDIA)

เยี่ยมศิริ มณีพิศมัย. (2550). การสร้างบทปฏิบัติการเคมีบนพื้นฐานของการลดมลพิษและเพิ่มความปลอดภัยจากการใช้สารเคมีสำหรับนักศึกษา มหาวิทยาลัยจันทรเกษม. วารสารจันทรเกษมสาร ปีที่ 13, ฉบับที่ 24 (ม.ค.-มิ.ย. 2550), หน้า 55-60.

ล้วน สายยศ. (2543). เทคนิคการวัดผลการเรียนรู้ (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ศักดิ์ศรี สุภาธร และคณะ. (2562). การพัฒนาชุดการทดลองเคมีย่อบนแบบต้นทุ่นเข้าร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะเพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเดลและการปรับเปลี่ยนโมเดลระดับโมเลกุลของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ศักดิ์ศรี สุภาธร. (2554). การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีแบบสืบเสาะเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการปรับปรุงปฏิบัติการในรายวิชาปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ : รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ = *Development of an exemplary inquiry-based experiment as a model for improving organic chemistry laboratory*: อุบลราชธานี : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สกล ชูขันธิน. (2553). การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาคารย์. ปริญญาานิพนธ์ (กศ.ม. (การมัธยมศึกษา)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2553.

[http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Sec\\_Ed/Sakol\\_K.pdf](http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Sec_Ed/Sakol_K.pdf)

[http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc\\_library=SWU01&local\\_base=SWU01&doc\\_number=000313341&sequence=000001&line\\_number=0001&func\\_code=DB\\_RECORDS&service\\_type=MEDIA](http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc_library=SWU01&local_base=SWU01&doc_number=000313341&sequence=000001&line_number=0001&func_code=DB_RECORDS&service_type=MEDIA)

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ วิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.).

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2562). คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 4: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.).

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2565). รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 4 (3): สกสศ. ลาดพร้าว.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2562). หนังสือเรียน

### รายวิชาเพิ่มเติม

วิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1 ตามผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551  
กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2563). คู่มือครูรายวิชา  
เพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1 ตามผลการเรียนรู้กลุ่ม  
สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตร  
แกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. สืบค้นจาก

<https://www.scimath.org/ebook-chemistry/item/8292-4-1>

สมจิต สวธนไพบุลย์. (2526). การพัฒนาการสอนของครูวิทยาศาสตร์: กรุงเทพฯ : ภาควิชาหลักสูตร  
และการสอน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

สมาคมเคมีแห่งประเทศไทย. (2558). <https://chemsocthai.org/>

สาลินี อาจารย์. (2552). การพัฒนาหลักสูตรวิชาเคมีที่ใช้การทดลองด้วยเทคนิคไมโครสเกลสำหรับ  
นักศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ. ปริญญาานิพนธ์ (กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา)) --  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2552.

[http://thesis.swu.ac.th/swudis/Sci\\_Ed/Salinee\\_A.pdf](http://thesis.swu.ac.th/swudis/Sci_Ed/Salinee_A.pdf)

[http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc\\_library=SWU01&local\\_base=SWU01  
&doc\\_number=000303439&sequence=000001&line\\_number=0001&func\\_code=D  
B\\_RECORDS&service\\_type=MEDIA](http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc_library=SWU01&local_base=SWU01&doc_number=000303439&sequence=000001&line_number=0001&func_code=D_B_RECORDS&service_type=MEDIA)

สุพรรณษา หอมฤทธิ์. (2560). การศึกษาแนวคิดคลาดเคลื่อนและการขาดความรู้ เรื่อง แรงและกฎการ  
เคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จังหวัดสิงห์บุรี โดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัย  
ลำดับขั้น. วารสารวิจัยทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่  
11, ฉบับที่ 2 (ก.พ.-ก.ค. 2560), หน้า 220-231.

สุภาพ ตาเมือง. (2560). ชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำเพื่อสนับสนุนความเข้าใจในมิติ  
เรื่อง สมดุลเคมี สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์  
เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 8, ฉบับที่ 2 (ก.ค.-ธ.ค. 2560), หน้า 379-  
397.

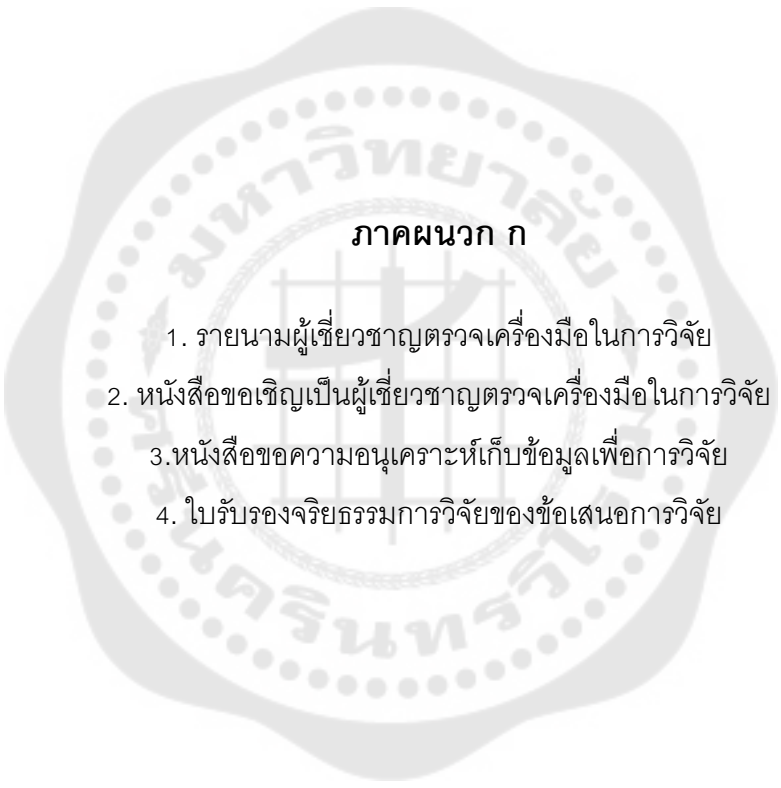
สุวัฒน์ นิยมคำ. (2517). การสอนวิทยาศาสตร์แบบพัฒนาความคิด: กรุงเทพฯ : วัฒนาพานิช.

สุวิมล เขี้ยวแก้ว. (2527). การสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา: ปัตตานี : ภาควิชาวิทยาศาสตร์

ทั่วไป มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.







ภาคผนวก ก

1. รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือในการวิจัย
2. หนังสือขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือในการวิจัย
3. หนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย
4. ใบรับรองจริยธรรมการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย

## รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือในการวิจัย

### ด้านเคมีวิเคราะห์

อ.ดร.ฐิติรัตน์ แม่นทิม

อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

### ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา

อ.ดร.ชัชฎาภรณ์ พิณทอง

อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

### ด้านการสอนวิชาเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ดร.โชติกุล รินลา

ครูวิทย์ฐานะ ชำนาญการ โรงเรียนชัยใหญ่วิทยาคม





## บันทึกข้อความ

ส่วนงาน งานบริหารและธุรการ บัณฑิตวิทยาลัย โทร. 15644  
 ที่ อว 8718.1/1798 วันที่ 4 กรกฎาคม 2565  
 เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ  
 เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เนื่องด้วย นายสุตสาคร หมายชม นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญาโท เรื่อง "การพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าเพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้า และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย" โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศรีวิไล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ อาจารย์ ดร.ชัชฎาภรณ์ พินทอง และอาจารย์ ดร.ฐิติรัตน์ แม้นทิม เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจ 1) บทปฏิบัติการเคมีไฟฟ้า 2) แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และ 3) แบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับบุคลากรของท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป สามารถสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ โทร. 096 926 1626

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้นายสุตสาคร หมายชม และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

(รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพงศ์ วัฒนานนท์สกุล)  
 รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน รักษาการแทน  
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



ที่ อว 8718/1797



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ  
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

4 กรกฎาคม 2565

เรื่อง ขออนุมัติเคราะห้เชิงบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ  
เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนชัยใหญ่วิทยาคม

เนื่องด้วย นายสุตสาคร หมายชม นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าเพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้า และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย” โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศรีวิไล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายโชติกุล รินลา เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจ 1) บทปฏิบัติการเคมีไฟฟ้า 2) แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และ 3) แบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับบุคลากรของท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขออนุมัติเคราะห้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้นายสุตสาคร หมายชม และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพงษ์ วัฒนานนท์สกุล)

รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน รักษาการแทน

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 096 926 1626

ที่ อว 8718/1804



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ  
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

4 กรกฎาคม 2565

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย  
เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนพรตพิทยพยัต

เนื่องด้วย นายสุตสาคร หมายชม นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญาโท เรื่อง “การพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าเพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้า และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย” โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ศรีวิไล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

ในการนี้ นิสิตขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูล โดยใช้ 1) แบบทดสอบ เรื่อง บทปฏิบัติการเคมีไฟฟ้า 2) แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ 3) แบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์ และ 4) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้า กับ นักเรียนระดับมัธยมศึกษา ชั้นปีที่ 5 – 6 จำนวน 227 คน เพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัย และขอใช้สถานที่โรงเรียนของท่าน ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2565 ถึงเดือนสิงหาคม 2565 ทั้งนี้ นิสิตจะเป็นผู้ประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาขอความอนุเคราะห์ และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพงศ์ วัฒนานนท์สกุล)

รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน รักษาการแทน

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 096 926 1626



หนังสือรับรองจริยธรรมการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย  
เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมการวิจัยและไบนินยอม

หมายเลขข้อเสนอการวิจัย SWUEC-G-136/2565E

ข้อเสนอการวิจัยนี้และเอกสารประกอบของข้อเสนอการวิจัยตามรายการแสดงด้านล่าง ได้รับการพิจารณาจาก คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒแล้ว คณะกรรมการ มีความเห็นว่าข้อเสนอการวิจัยที่จะดำเนินการมีความสอดคล้องกับหลักจริยธรรมสากล ตลอดจนกฎหมาย ข้อบังคับและ ข้อกำหนดภายในประเทศ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยตามข้อเสนอการวิจัยนี้ได้

ชื่อโครงการวิจัยเรื่อง: การพัฒนาปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าเพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ชื่อผู้วิจัยหลัก: นาย สุตสาคร หมายชน

สังกัด: คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารที่รับรอง: 1. แบบเสนอโครงการวิจัย  
2. โครงการวิจัย  
3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย  
4. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

เอกสารที่พิจารณาทบทวน

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1. แบบเสนอโครงการวิจัย                      | ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 18 มีนาคม 2565 |
| 2. โครงร่างการวิจัย                         | ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 18 มีนาคม 2565 |
| 3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย          | ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 18 มีนาคม 2565 |
| 4. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย | ฉบับที่ 2 วัน/เดือน/ปี 18 มีนาคม 2565 |

(ลงชื่อ).....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทันตแพทย์หญิงณปภา เอี่ยมจิระกุล)

กรรมการและเลขานุการคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

(ลงชื่อ).....

(แพทย์หญิงสุรีพร ภัทรสุวรรณ)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/E/G-136/2565

วันที่ให้การรับรอง : 18/03/2565

วันหมดอายุใบรับรอง : 18/03/2566



### ภาคผนวก ข

ผลการประเมินเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย  
และหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

ตาราง 7 แสดงค่าความเหมาะสมขององค์ประกอบของบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบ  
ย่อยส่วน

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	$\bar{X}$	SD	ระดับความ เหมาะสม
	1	2	3				
1. การทดลองในบทปฏิบัติการ ทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อยส่วนมี ความเหมาะสมกับเนื้อหา	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
2. หลักการของบทปฏิบัติการ ทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อยส่วน สามารถนำมาใช้ได้จริง	5	4	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
3. เป้าหมายของบทปฏิบัติการ ทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อยส่วนมี ความเหมาะสมกับวัยของนักเรียน	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
4. เป้าหมายของบทปฏิบัติการ ทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อยส่วนมี ความสอดคล้องกับเนื้อหา	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
5. เป้าหมายของบทปฏิบัติการ ทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อยส่วนมี ประโยชน์ต่อนักเรียน	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
6. จุดประสงค์ของบทปฏิบัติการ ทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อยส่วนมี ความชัดเจนและเป็นไปได้	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
7. จุดประสงค์ของบทปฏิบัติการ ทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อยส่วน มี ความเหมาะสมกับวัยของนักเรียน	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
8. จุดประสงค์ของบทปฏิบัติการ ทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อยส่วนมี ประโยชน์ต่อนักเรียน	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
9. เนื้อหาของบทปฏิบัติการทดลอง เคมีไฟฟ้าแบบย่อยส่วนมีความ เหมาะสมกับวัยของนักเรียน	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด

ตาราง 7 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	$\bar{x}$	SD	ระดับความ เหมาะสม
	1	2	3				
10. เนื้อหาของบทปฏิบัติการทดลอง เคมีไฟฟ้าแบบยอส์ส่วนมีประโยชน์กับ นักเรียน	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
11. เนื้อหาของบทปฏิบัติการทดลอง เคมีไฟฟ้าแบบยอส์ส่วนครอบคลุมความรู้ที่ ผู้เรียนควรได้รับ	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
12. เนื้อหาของบทปฏิบัติการทดลอง เคมีไฟฟ้าแบบยอส์ส่วนมีการเรียงลำดับที่ เหมาะสม	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
13. เนื้อหาของบทปฏิบัติการทดลอง เคมีไฟฟ้าแบบยอส์ส่วนเหมาะสมกับนำไปใช้ ปฏิบัติจริง	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
14. บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบ ยอส์ส่วน มีการจัดลำดับขั้นตอนที่เหมาะสม	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
15. บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบ ยอส์ส่วน นำไปสู่การบรรลุจุดประสงค์	5	5	4	14	4.67	0.58	มากที่สุด
16. ระยะเวลาที่ใช้บทปฏิบัติการทดลอง เคมีไฟฟ้าแบบยอส์ส่วนมีความเหมาะสม	5	4	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
17. ความถูกต้องของภาษา	3	4	4	11	3.67	0.58	มาก
18. การใช้สีสັນ ขนาดตัวอักษร และภาพที่ เหมาะสม	4	3	4	11	3.67	0.58	มาก
19. การประเมินผลของบทปฏิบัติการ ทดลองเคมีไฟฟ้าแบบยอส์ส่วน ครอบคลุมสิ่ง ที่ต้องการประเมิน	5	4	4	13	4.33	0.58	มาก
20. การประเมินผลของบทปฏิบัติการ ทดลองเคมีไฟฟ้าแบบยอส์ส่วน มีความเป็นไป ได้ในการนำไปปฏิบัติจริง	5	4	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
ความเหมาะสมขององค์ประกอบของบทปฏิบัติการทดลอง เคมีไฟฟ้าแบบยอส์ส่วนเฉลี่ย					4.77	0.20	มากที่สุด

ตาราง 8 แสดงค่าความเหมาะสมขององค์ประกอบของแผนการจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการทดลอง  
เคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	X	SD	ระดับความ เหมาะสม
	1	2	3				
<b>ความเหมาะสมของเนื้อหา</b>							
1. ความถูกต้องของเนื้อหา	4	5	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
2. ความครอบคลุมของเนื้อหา	3	5	5	13	4.33	1.15	มาก
3. ความถูกต้องของภาษา	4	4	5	13	4.33	0.58	มาก
4. ความชัดเจนของตัวอักษร	4	5	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
5. ความเหมาะสมของตัวอักษร	4	5	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
6. ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษา	4	4	5	13	4.33	0.58	มาก
<b>ความเหมาะสมของกิจกรรมการเรียนรู้</b>							
7. ความครอบคลุมของเนื้อหา	4	5	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
8. ความครอบคลุมของจุดประสงค์ การเรียนรู้	4	5	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
9. ระยะเวลาที่ใช้ในกิจกรรมการ เรียนรู้	4	4	4	12	4.00	0.00	มาก
<b>ความเหมาะสมของการวัดประเมินผล</b>							
10. ความครอบคลุมของเนื้อหา	3	5	5	13	4.33	1.15	มาก
11. ความครอบคลุมของ จุดประสงค์การเรียนรู้	3	5	4	12	4.00	1.00	มาก
12. เกณฑ์การวัดผลเชื่อถือได้	3	4	5	12	4.00	1.00	มาก
<b>รวม</b>					<b>4.39</b>	<b>0.70</b>	<b>มาก</b>

ตาราง 9 แสดงค่าความสอดคล้อง (IOC) ขององค์ประกอบของแผนการจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการ  
ทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
<b>ด้านจุดประสงค์</b>						
1. จุดประสงค์สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้	1	1	1	2	0.67	ใช้ได้
2. จุดประสงค์สอดคล้องกับผลการเรียนรู้	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
3. จุดประสงค์สอดคล้องกับสาระการเรียนรู้	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4. จุดประสงค์สอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
5. สอดคล้องกับเนื้อหา	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
<b>ด้านเนื้อหา</b>						
6. เนื้อหามีความถูกต้องครบถ้วน	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
7. เนื้อหามีความต่อเนื่องสอดคล้องกัน	1	0	1	2	0.67	ใช้ได้
8. เนื้อหามีความเหมาะสมกับระยะเวลาที่กำหนด	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
9. เนื้อหามีความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
10. เนื้อหามีความกระชับเหมาะสมกับกิจกรรม	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
11. เนื้อหาเหมาะสมกับผู้เรียน	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
12. เนื้อหาที่น่าสนใจ	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
<b>ด้านการใช้ภาษา</b>						
13. ใช้ภาษาที่สื่อสารได้เข้าใจง่าย	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
14. ความถูกต้องในการใช้ภาษา	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
15. ภาษาเหมาะสมกับระดับของนักเรียน	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
<b>ด้านกิจกรรมที่ส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</b>						
16. สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
17. สอดคล้องเหมาะสมกับเนื้อหา	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
18. ความยากง่ายเหมาะสมกับระดับของนักเรียน	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
19. กิจกรรมมีความเหมาะสมกับระยะเวลา	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
20. การเรียงลำดับของกิจกรรมมีความเหมาะสม	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
<b>ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)</b>					<b>0.93</b>	<b>ใช้ได้</b>



ตาราง 10 แสดงค่าความสอดคล้อง (IOC) แบบวัดแนวคิทธิวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า

ข้อ	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
1	-1	+1	+1	1.00	0.33	ตัดทิ้ง
2	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
5	-1	+1	+1	1.00	0.33	ตัดทิ้ง
6	0	+1	+1	2.00	0.67	ใช้ได้
7	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
8	-1	+1	+1	1.00	0.33	ตัดทิ้ง
9	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
10	0	+1	+1	2.00	0.67	ใช้ได้
11	0	+1	+1	2.00	0.67	ใช้ได้
12	0	+1	+1	2.00	0.67	ใช้ได้
13	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
14	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
15	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
16	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
17	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
18	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
19	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
20	-1	+1	+1	1.00	0.33	ตัดทิ้ง
21	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
22	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
23	-1	+1	+1	1.00	0.33	ตัดทิ้ง
24	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
25	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
26	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้

ตาราง 10 (ต่อ)

ข้อ	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
27	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
28	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
29	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้
30	+1	+1	+1	3.00	1.00	ใช้ได้



ตาราง 11 แสดงค่าความสอดคล้อง (IOC) แบบประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์

ทักษะกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์	รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การ พิจารณา
		1	2	3			
ทักษะการทดลอง	1.1 การออกแบบวิธีการ ทดลอง โดยการเรียงลำดับ แยกประเภท หรือจัดทำใหม่ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ชัดเจน และถูกต้อง	1	0	1	2	0.67	ใช้ได้
	1.2 การวางแผนการทดลอง โดยกำหนด อุปกรณ์ สารเคมี อย่างถูกต้อง เหมาะสม และใช้อย่างถูกต้อง	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
	1.3 การปฏิบัติการทดลอง ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ทันเวลา ใช้อุปกรณ์และ สารเคมีอย่างถูกต้อง คล่องแคล่ว และเหมาะสม	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
ทักษะการจัดกระทำ และสื่อความหมาย ข้อมูล	2.1 การออกแบบตาราง บันทึกผลการทดลองบันทึก ผลที่เหมาะสมกับข้อมูล	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
	2.2 การบันทึกผลการ ทดลองคล่องแคล่ว ถูกต้อง และนำข้อมูลมาจากหลาย แหล่ง	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
	2.3 การนำเสนอข้อมูล อธิบายเหตุผลในการเลือก การนำเสนอได้อย่างชัดเจน และตรงประเด็น	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 11 (ต่อ)

ทักษะกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์	รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การ พิจารณา
		1	2	3			
ทักษะการ ตีความหมายข้อมูล และลงข้อสรุป	3.1 การอภิปรายผลการ ทดลอง อธิบายผลและข้อมูล ได้อย่างชัดเจน และตรง ประเด็น	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
	3.2 การแปลความหมาย ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
	3.3 ความสัมพันธ์ของข้อมูล ได้อย่างมีเหตุผลและถูกต้อง	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
	3.4 การสรุปผลการทดลอง สรุป บอกความสัมพันธ์ของ ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 12 แสดงค่าผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่น ( $r_p$ ) ของแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

ข้อที่	p	r	ความหมาย	ข้อที่เลือก
1	0.87	0.19	ง่ายมาก ต่ำมาก	
2	0.80	0.35	ค่อนข้างง่าย สูง	✓
3	0.76	0.37	ค่อนข้างง่าย สูง	✓
4	0.77	0.25	ค่อนข้างง่าย ปานกลาง	✓
5	0.60	0.15	ยากพอเหมาะ ต่ำ	✓
6	0.76	0.51	ค่อนข้างง่าย สูงมาก	✓
7	0.85	0.23	ง่ายมาก ปานกลาง	
8	0.76	0.30	ค่อนข้างง่าย สูง	✓
9	0.71	0.39	ค่อนข้างง่าย สูง	✓
10	0.80	0.52	ค่อนข้างง่าย สูงมาก	✓
11	0.73	0.51	ค่อนข้างง่าย สูงมาก	✓
12	0.73	0.53	ค่อนข้างง่าย สูงมาก	✓
13	0.45	0.34	ยากพอเหมาะ สูง	✓
14	0.80	0.22	ค่อนข้างง่าย ปานกลาง	✓
15	0.71	0.19	ค่อนข้างง่าย ต่ำ	
16	0.87	0.25	ง่ายมาก ปานกลาง	
17	0.79	0.15	ค่อนข้างง่าย ต่ำ	
18	0.80	0.31	ค่อนข้างง่าย สูง	✓
19	0.65	0.44	ค่อนข้างง่าย สูงมาก	✓
20	0.65	0.14	ค่อนข้างง่าย ต่ำ	
21	0.84	0.24	ค่อนข้างง่าย ปานกลาง	✓
22	0.75	0.05	ค่อนข้างง่าย ต่ำมาก	
23	0.92	0.21	ง่ายมาก ปานกลาง	
24	0.80	-0.02	ค่อนข้างง่าย ต่ำมาก	
25	0.95	0.15	ง่ายมาก ต่ำ	
26	0.45	0.25	ยากพอเหมาะ ปานกลาง	✓

ตาราง 12 (ต่อ)

ข้อที่	p	r	ความหมาย	ข้อที่เลือก
27	0.43	0.30	ยากพอเหมาะ สูง	✓
28	0.80	0.38	ค่อนข้างง่าย สูง	✓
29	0.80	0.38	ค่อนข้างง่าย สูง	✓
30	0.71	0.28	ค่อนข้างง่าย ปานกลาง	✓

#### หมายเหตุ

ข้อสอบที่ผ่านการคัดเลือกมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.43-0.80 และค่าอำนาจจำแนกค่าตั้งแต่ 0.22 ขึ้นไป ซึ่งการคัดเลือกข้อสอบนั้นนอกจากจะใช้ค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนกเป็นเกณฑ์แล้วผู้วิจัยยังคำนึงถึงจุดประสงค์การเรียนรู้ด้วย โดยข้อสอบที่เลือกไว้มี 20 ข้อ และนำไปหาความเชื่อมั่นได้เท่ากับ 0.61



ตาราง 13 แสดงคะแนนแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ก่อนเรียนและหลังเรียนบทปฏิบัติการ ทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

เลขที่	คะแนนก่อนเรียน (20 คะแนน)	คะแนนหลังเรียน (20 คะแนน)	D	D <sup>2</sup>
1	8	15	7	49
2	12	18	6	36
3	3	11	8	64
4	6	13	7	49
5	4	10	6	36
6	4	15	11	121
7	6	17	11	121
8	7	16	9	81
9	2	9	7	49
10	10	14	4	16
11	11	16	5	25
12	3	15	12	144
13	6	18	12	144
14	5	12	7	49
15	9	17	8	64
16	14	16	2	4
17	2	7	5	25
18	4	12	8	64
19	5	12	7	49
20	5	14	9	81
21	11	16	5	25
22	8	18	10	100
23	13	15	2	4
24	7	15	8	64
25	12	19	7	49



ตาราง 137 (ต่อ)

เลขที่	คะแนนก่อนเรียน (20 คะแนน)	คะแนนหลังเรียน (20 คะแนน)	D	D <sup>2</sup>
26	9	18	9	81
27	5	14	9	81
28	3	13	10	100
29	13	19	6	36
30	3	11	8	64
31	2	13	11	121
32	6	12	6	36
33	6	14	8	64
34	1	12	11	121
35	4	15	11	121
36	5	13	8	64
37	3	14	11	121
38	5	15	10	100
39	10	18	8	64
40	4	12	8	64
41	11	18	7	49
42	4	12	8	64
X	6.452381	14.35714	-	-
SD	3.52138	2.800883	-	-
ร้อยละ	32.2619	71.78571	-	-

ตาราง 14 แสดงคะแนนคะแนนทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ จากบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน

เลขที่	ทักษะการทดลอง (12 คะแนน)	ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (12 คะแนน)	ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (16 คะแนน)	รวม (40 คะแนน)	ร้อยละ
1	11	10	14	35	87.5
2	12	12	16	40	100
3	12	9	13	34	85
4	10	12	12	34	85
5	12	11	13	36	90
6	12	12	15	39	97.5
7	9	10	14	33	82.5
8	12	12	16	40	100
9	12	12	16	40	100
10	11	10	14	35	87.5
11	12	12	16	40	100
12	12	9	13	34	85
13	10	12	16	38	95
14	12	11	13	36	90
15	12	12	15	39	97.5
16	12	10	14	36	90
17	12	12	16	40	100
18	11	12	12	35	87.5
19	12	10	14	36	90
20	12	12	16	40	100
21	12	9	13	34	85
22	10	12	16	38	95

ตาราง 14 (ต่อ)

เลขที่	ทักษะการ ทดลอง (12 คะแนน)	ทักษะการจัดกระทำ และสื่อความหมาย ข้อมูล (12 คะแนน)	ทักษะการ ตีความหมายข้อมูล และลงข้อสรุป (16 คะแนน)	รวม (40 คะแนน)	ร้อยละ
23	12	11	13	36	90
24	12	12	15	39	97.5
25	12	10	14	36	90
26	10	12	16	38	95
27	11	12	16	39	97.5
28	8	10	14	32	80
29	12	12	16	40	100
30	12	9	13	34	85
31	10	12	16	38	95
32	12	11	13	36	90
33	12	12	15	39	97.5
34	8	10	14	32	80
35	12	12	16	40	100
36	12	12	16	40	100
37	11	10	14	35	87.5
38	12	12	16	40	100
39	12	9	13	34	85
40	10	12	16	38	95
41	12	11	13	36	90
42	9	12	15	34	85
X	11.26	11.10	14.55	36.86	92.15
SD	1.17	1.12	1.35	2.55	2.55
ร้อยละ	93.85	92.46	90.92	92.15	92.15



## แผนการจัดการเรียนรู้

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2

เรื่อง ปฏิบัติการทดลองไฟฟ้าเคมี

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

รหัสวิชา ว32224

รายวิชา เคมี 4

เวลาเรียน 3 คาบ (150 นาที)

ครูผู้สอน นายสุตสาคร หมายชม

### 1. ผลการเรียนรู้

1. คำนวณเลขออกซิเดชันและระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์
2. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์
3. ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์
4. ดูลสมการรีดอกซ์วิธีการพิจารณาใช้เลขออกซิเดชัน และวิธีครึ่งปฏิกิริยา
5. ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์
6. คำนวณศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้า และ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น
7. ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้าและอธิบายหลักการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้ ในการชุบโลหะการแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้าการทำโลหะให้บริสุทธิ์และการป้องกันการกัดกร่อน ของโลหะ

### 2. จุดประสงค์การเรียนรู้

#### 2.1 ด้านความรู้

1. อธิบายความหมายของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดักชัน ปฏิกิริยารีดอกซ์ ตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ และการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันได้
2. อธิบายการต่อเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้ พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนด ขั้วแคโทดและบอกสมการแสดงปฏิกิริยาได้
3. ทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้
4. อธิบายหลักการการทำงานของเซลล์กัลวานิกได้
5. อธิบายหลักการของการแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า พร้อมทั้งเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้

## 2.2 ด้านทักษะกระบวนการ

1. ทดลองการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า
2. การจัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า
3. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุปปฏิบัติการทดลอง การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า

## 2.3 ด้านคุณลักษณะ

1. ใช้วิจารณ์งานพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า
2. มีความเข้าใจและมีส่วนร่วม ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า
3. มีความรอบคอบในการทดลอง การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า

## 3. สารสำคัญ/ความคิดรวบยอด

เคมีไฟฟ้าเป็นการศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้า โดยปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารเรียกว่า ปฏิริยารีดอกซ์ ประกอบด้วยครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวรีดิวซ์ซึ่งให้อิเล็กตรอน และครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของตัวออกซิไดส์ซึ่งรับอิเล็กตรอน ความสามารถในการให้หรือรับอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์สังเกตได้จากการทดลอง การดุลสมการรีดอกซ์ทำได้โดยวิธีพิจารณาเลขออกซิเดชันหรือวิธีครึ่งปฏิกิริยา

เซลล์เคมีไฟฟ้าประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์ซึ่งอาจเชื่อมต่อกันแต่ละครึ่งเซลล์ด้วยสะพานเกลือหรือเยื่อ โดยขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเรียกว่า แอโนด และขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันเรียกว่า แคโทด เซลล์เคมีไฟฟ้าสามารถเขียนแสดงได้ด้วยแผนภาพเซลล์

ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์คำนวณได้จากค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ถ้ามีค่าเป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้นได้เองซึ่งพบในเซลล์กัลวานิก แต่ถ้ามีค่าเป็นลบแสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ไม่สามารถเกิดได้เอง ต้องมีการให้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายนอกจึงจะเกิดปฏิกิริยาซึ่งพบในเซลล์อิเล็กโทรลิติก

ความรู้เกี่ยวกับเซลล์เคมีไฟฟ้าทั้งเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรลิติกสามารถนำไปใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ การชุบโลหะ การแยกสลายด้วยไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์ การป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ และการพัฒนาเทคโนโลยีที่นำไปสู่นวัตกรรมด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

#### 4. สารการเรียนรู้

ปฏิกิริยารีดอกซ์เป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสาร ดังนั้น ปฏิกิริยารีดอกซ์จึงสามารถนำมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ โดยแยกให้ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน และครึ่งปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นที่แต่ละขั้วไฟฟ้าในเซลล์เคมีไฟฟ้า (electrochemical cell) ทำให้การถ่ายโอนอิเล็กตรอนไม่ได้เกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวสัมผัสของคู่สารที่ทำปฏิกิริยารีดอกซ์ จึงสามารถนำอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟฟ้า โวลต์มิเตอร์ มาต่อระหว่างขั้วไฟฟ้าเพื่อใช้ประโยชน์จากกระแสไฟฟ้าหรือวัดค่าความต่างศักย์ได้ ซึ่งปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้าเรียกว่า ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (electrochemical reaction)

#### 5. คุณลักษณะอันพึงประสงค์

- 5.1 ซื่อสัตย์สุจริต
- 5.2 มีวินัย
- 5.3 ใฝ่เรียนรู้
- 5.4 มุ่งมั่นในการทำงาน
- 5.5 มีจิตสาธารณะ

#### 6. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้

##### ขั้นที่ 1 ขั้นสร้างความสนใจ

1. นักเรียนนั่งตามกลุ่มที่แบ่งมาล่วงหน้าตามที่ครูได้มอบหมาย
2. ครูให้นักเรียนดู Tesla Model Y เปิดตัวรถยนต์ไฟฟ้า 100% อย่างเป็นทางการในไทย



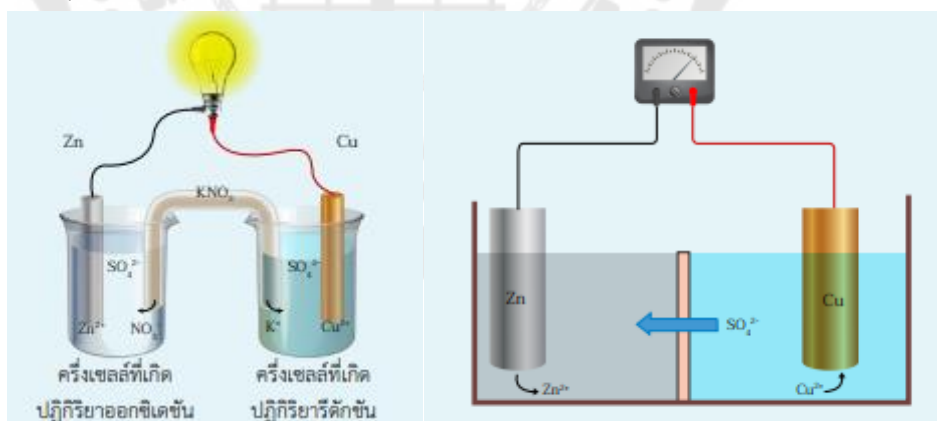
3. นักเรียนและครูร่วมกันวิเคราะห์การทำงานของรถยนต์ไฟฟ้า ที่เปลี่ยนแปลงจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงไฟฟ้าได้อย่างไร
4. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายการเกิดไฟฟ้า



5. ให้นักเรียนทำแบบวัดแนวคิดไฟฟ้าเคมี ก่อนเรียน
6. ครูยกตัวอย่างแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ รวมทั้งที่ได้จากปฏิกิริยาเคมี เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ ถ่านไฟฉาย เพื่อชี้ให้เห็นว่าปฏิกิริยาเคมีสามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้และการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีและพลังงานไฟฟ้าเรียกว่า เคมีไฟฟ้า
7. ครูและนักเรียน ร่วมกันสรุปว่าพลังงานไฟฟ้าเกิดจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารเรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์โดยการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุในสารที่ทำปฏิกิริยาเคมีนั้น
8. ครูและนักเรียน อภิปรายเกี่ยวกับข้อกำหนดและวิธีการหาเลขออกซิเดชันของธาตุและให้ความรู้เพิ่มเติมว่าในสารประกอบ ธาตุที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีมากกว่าจะมีเลขออกซิเดชันเป็นค่าลบ จากนั้นแสดงการคำนวณเลขออกซิเดชัน



9. ครูให้นักเรียนพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันในปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ตัวอย่างปฏิกิริยาในหนังสือเรียนเพื่อระบุว่า ปฏิกิริยาใดเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์
10. ครูร่วมแสดงความคิดเห็นว่า ความหมายของตัวรีดิวซ์ ตัวออกซิไดส์ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน และให้นักเรียนระบุตัวรีดิวซ์ ตัวออกซิไดส์ในปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะสังกะสีกับสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต พร้อมทั้งเขียนสมการครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ครึ่งปฏิกิริยารีดักชันและปฏิกิริยารีดอกซ์เพื่อให้เห็นว่า การรวมครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันจะได้สมการรีดอกซ์ที่อยู่ในรูปของสมการไอออนิกสุทธิ
11. ครูใช้คำถามนำว่า จากที่ทราบแล้วว่ากระแสไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน นักเรียนคิดว่าการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารในปฏิกิริยารีดอกซ์เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าหรือไม่อย่างไร เพื่อนำเข้าสู่เซลล์เคมีไฟฟ้าและปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า
12. ครูใช้คำถามกระตุ้นเกี่ยวกับเซลล์เคมีไฟฟ้า โดยใช้รูป เพื่อให้นักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งแอโนดและแคโทด ทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน หน้าที่ของสะพานเกลือหรือเยื่อ และการรักษาสมดุลของไอออนบวกและไอออนลบในแต่ละครึ่งเซลล์



## ชั้นสอนที่ 2 ชั้นสำรวจและค้นหา

1. นักเรียนวางแผนการทดลองโดยวาดออกมาเป็น Flow Chart และแบบตารางบันทึกผลการทดลองไฟฟ้าเคมี
2. นักเรียนปฏิบัติการทดลองไฟฟ้าเคมี โดยได้กล่าวถึงจุดประสงค์ของการทดลองครั้งนี้ และอธิบายปฏิบัติการทดลอง และข้อควรระวังระหว่างปฏิบัติการทดลอง โดยประกอบด้วย

3. การทดลองตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวานาเดียม

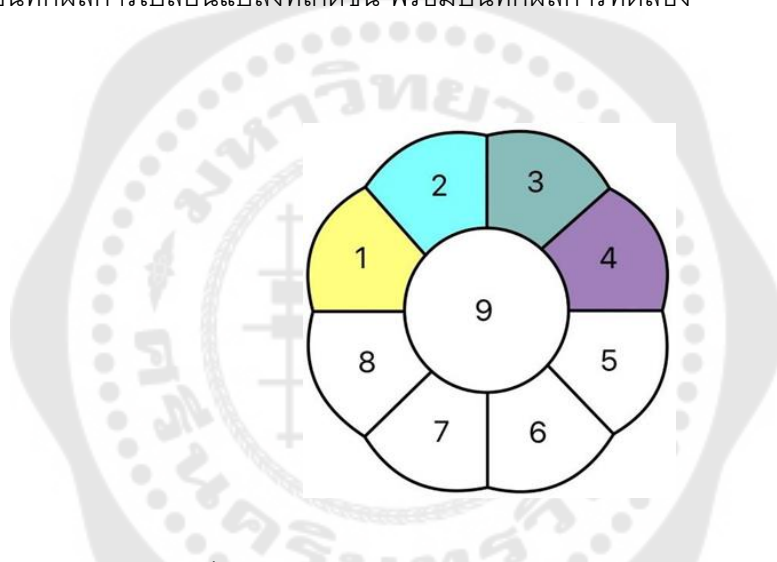
3.1 นำสารละลาย  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  จำนวน 0.5 กรัม ละลายด้วยสารละลาย  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เข้มข้น 1 mol/L ปริมาตร 50 mL จนหมด

3.2 หยดสารละลายที่ได้จากข้อที่ 3.1 อย่างละ 10 หยด ลงในช่องที่ 1, 2 และ 3

3.3 หยดสารละลาย  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  จำนวน 3 หยด ลงในช่องที่ 2 แล้วใช้แท่งแก้วคน

3.4 เติมผงโลหะสังกะสี ลงในช่องที่ 3 แล้วใช้แท่งแก้วคน

3.5 นำสารละลาย  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  จำนวน 10 หยด เติมลงในหลอดทดลอง และเติมผงโลหะสังกะสี ใช้แท่งแก้วคน นำไปอุ่นในบีกเกอร์ แล้วเทสารละลายทั้งหมดลงในช่องที่ 4 บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น พร้อมบันทึกผลการทดลอง



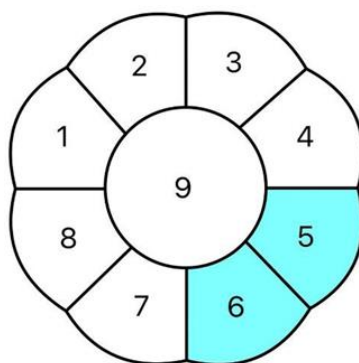
4. การทดลองตอนที่ 2 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ

4.1 ตัดแผ่นโลหะ Zn และโลหะ Cu ขนาด  $0.5 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$  อย่างละชิ้นต่อกลุ่ม และใช้กระดาษทรายขัดแผ่นโลหะให้สะอาด

4.2 เตรียมสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L ปริมาตร 100 mL โดยชั่ง  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  2.50 g ละลายใน น้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 mL

4.3 หยดสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 0.10 mol/L จำนวนอย่างละ 10 หยด ลงในจานสี่ช่องที่ 5 และ 6

4.4 นำแผ่นโลหะ Mg จุ่มลงในสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) ช่องที่ 5 และโลหะ Cu จุ่มลงใน สารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) ช่องที่ 6 บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น พร้อมบันทึกผลการทดลอง



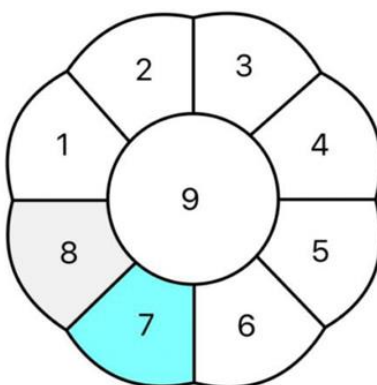
5. การทดลองตอนที่ 3 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของเซลล์กัลวานิก

5.1 ตัดแผ่นโลหะ Zn และโลหะ Cu ขนาด  $0.5 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$  และใช้กระดาษทรายขัดแผ่นโลหะให้สะอาด

5.2 จุ่มแผ่นโลหะ Cu ลงในช่องที่ 7 ที่มีสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4$ ) 10 หยด และจุ่มแผ่นโลหะ Zn ลงในช่องที่ 8 ที่มีสารละลายซิงค์ซัลเฟต ( $\text{ZnSO}_4$ ) 10 หยด

5.3 นำกระดาษกรองที่ชุบสารละลายอิ่มตัวของ  $\text{KNO}_3$  เป็นสะพานเกลือโดยวางพาดระหว่างช่อง 7 และ 8 ให้ปลายกระดาษจุ่มลงในสารละลาย

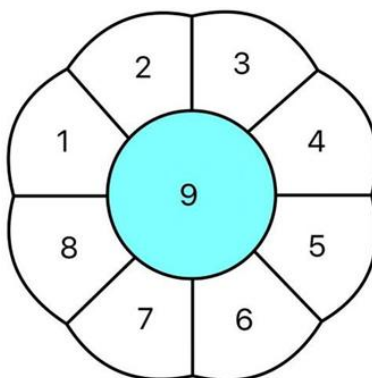
5.4 ต่อแผ่นโลหะ Zn และโลหะ Cu เข้ากับ ไดโอดเปล่งแสง (light-emitting diode หรือ LED) สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น พร้อมบันทึกผลการทดลอง



6. การทดลองตอนที่ 4 การแยกสลายสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ด้วยกระแสไฟฟ้า

6.1 หยดสารละลาย  $\text{CuSO}_4$  จำนวน 20 หยด ลงในช่องที่ 9

6.2 ต่อสายไฟเข้ากับไส้ดินสอด และต่อเข้ากับแบตเตอรี่ จากนั้นจุ่มปลายไส้ดินสอดทั้งสองลงในสารละลายพร้อมกับสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น พร้อมบันทึกผลการทดลอง



### ขั้นที่ 3 อธิบายและสรุป

1. เมื่อนักเรียนปฏิบัติกาทดลองไฟฟ้าเคมีเรียบร้อยแล้ว ให้นักเรียนร่วมกันนำเสนอผลการทดลอง สรุปและอภิปรายผลการทดลอง และสรุปผลการทดลองให้เรียบร้อย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองตอนที่ 1 การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของสารประกอบโลหะวานเดียม

ช่องที่	สารที่เติม	การเปลี่ยนแปลง	วานเดียมไอออน
1	-	สารละลายสีเหลือง	$V^{5+}$
2	สารละลาย $Na_2SO_3$	สารละลายสีฟ้า	$V^{4+}$
3	ผง Zn	สารละลายสีเขียวแกมน้ำเงิน	$V^{3+}$
4	ผง Zn และให้ความร้อน 5 นาที	สารละลายสีม่วง	$V^{2+}$

การทดลองตอนที่ 2 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ

โลหะ	สารละลาย	การเปลี่ยนแปลง
สังกะสี (Zn)	$CuSO_4$	โลหะสังกะสี เกิดการผุกร่อนมีของแข็ง มีสีดมีสีดำมาเกาะบนผิวโลหะสังกะสี และสารละลายสีฟ้าจางลง
ทองแดง (Cu)	$CuSO_4$	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

## การทดลองตอนที่ 3 การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของเซลล์กัลวานิก

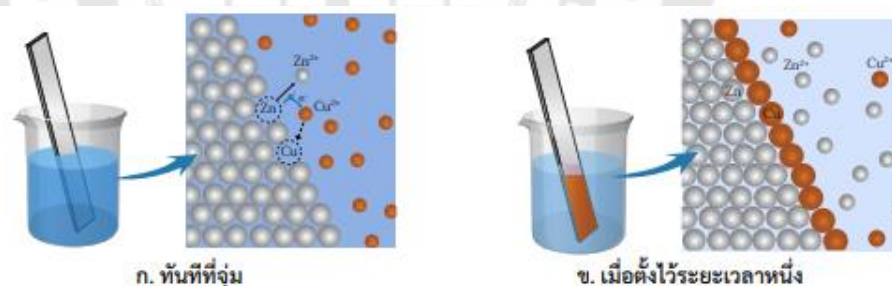
โลหะ	ขั้วไฟฟ้า	การเปลี่ยนแปลง	ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
สังกะสี (Zn)	ขั้วแอโนด (-)	โลหะสังกะสีเกิดการผุกร่อน	$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$
ทองแดง (Cu)	ขั้วแคโทด (+)	มีตะกอนสีน้ำตาลมาเกาะที่แท่งทองแดงสารละลายสีฟ้าจางลง	$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$

## การทดลองตอนที่ 4 การแยกสลายสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ด้วยกระแสไฟฟ้า

ขั้วไฟฟ้า	การเปลี่ยนแปลง
แกรไฟต์ (Cu), ขั้วแคโทด (-)	เกิดตะกอนสีน้ำตาลน้ำตาลแดงของโลหะทองแดง Cu ไปเกาะที่ขั้วไฟฟ้า $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$
แกรไฟต์ (Cu), ขั้วแอโนด (+)	เกิดฟองแก๊สขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า $H_2O(l) \rightarrow 1/2 O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^-$

2. ครูชี้ให้เห็นว่า เลขออกซิเดชันของธาตุ มีได้หลายค่า จากนั้นให้นักเรียนพิจารณาเลขออกซิเดชันของธาตุอื่น ๆ

3. ครูใช้ภาพ ก,ข และใช้คำถามกระตุ้นนักเรียนว่า 2 ภาพนี้ แตกต่างกันอย่างใด โดยใช้รูปประกอบดังนี้



4. นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ที่สรุปได้จากการทดลองสอดคล้องกับตาราง หรือไม่ จากนั้นให้นักเรียนพิจารณาความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของโลหะและไอออนของโลหะอื่น ๆ ในตาราง เพื่อให้ได้ข้อสังเกตเกี่ยวกับแนวโน้มว่า ธาตุโลหะหมู่หลักเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าธาตุโลหะทรานซิชัน ในขณะที่ไอออนของธาตุโลหะทรานซิชันเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่าไอออนของธาตุโลหะหมู่หลัก

5. ครูอธิบายการต่อเครื่องเซลล์ในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันของครึ่งเซลล์ทองแดงและสังกะสี จากนั้นใช้คำถามว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้มีเครื่องหมายเป็นบวกหรือลบมีความสัมพันธ์กับปฏิกิริยาในแต่ละครึ่งเซลล์อย่างไร ซึ่งควรได้คำตอบว่า ถ้ามีเครื่องหมายเป็นบวก

แสดงว่าครึ่งเซลล์ที่สนใจเกิดปฏิกิริยารีดักชัน และถ้ามีเครื่องหมายเป็นลบแสดงว่าครึ่งเซลล์ที่สนใจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

6. โครงสร้างเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้าของสารละลายและเซลล์กัลวานิก

#### ขั้นที่ 4 ขยายความรู้

1. ครูและนักเรียน นำสมการเคมีจากการทดลอง มาหาหลักการดุลสมการเคมี ซึ่งเป็นการเติมเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เพื่อให้ผลรวมของจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละชนิด และประจุไฟฟ้ารวมในด้านซ้ายเท่ากับด้านขวาของสมการ จากนั้นครูเชื่อมโยงเข้าสู่การดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชันและวิธีครึ่งปฏิกิริยา

2. ครูใช้ตัวอย่าง 3-5 ตัวอย่าง ให้นักเรียนดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชัน และแบบครึ่งปฏิกิริยา จากตัวอย่างที่ง่ายไปหายาก

**เพิ่มขึ้น 6**

$$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{S}(\text{aq}) \longrightarrow 2\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{S}(\text{s})$$

**ลดลง 6**

จากตัวอย่าง 3 ดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีครึ่งปฏิกิริยาได้ดังนี้

$$\text{Al}(\text{s}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + \text{Zn}(\text{s})$$

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุเพื่อกำหนดครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน

$$\text{Al}(\text{s}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + \text{Zn}(\text{s})$$

เลขออกซิเดชัน	0	+2	+3	0
ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน	$\text{Al}(\text{s}) \longrightarrow \text{Al}^{3+}(\text{aq})$			
ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน	$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Zn}(\text{s})$			

**ขั้นที่ 1** ดุลจำนวนอะตอมของแต่ละธาตุและผลรวมประจุไฟฟ้าในแต่ละครึ่งปฏิกิริยา โดยมีลำดับดังนี้

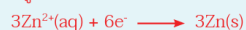
ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน	
ดุลจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H	$\text{Al}(\text{s}) \longrightarrow \text{Al}^{3+}(\text{aq})$
ดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม $\text{H}_2\text{O}$	ไม่มี O จึงไม่ต้องเติม $\text{H}_2\text{O}$
ดุลจำนวนอะตอม H โดยเติม $\text{H}^+$	ไม่มี H จึงไม่ต้องเติม $\text{H}^+$
ดุลจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม $e^-$	$\text{Al}(\text{s}) \longrightarrow \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3e^-$
ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน	
ดุลจำนวนอะตอมที่ไม่ใช่ O และ H	$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \longrightarrow \text{Zn}(\text{s})$
ดุลจำนวนอะตอม O โดยเติม $\text{H}_2\text{O}$	ไม่มี O จึงไม่ต้องเติม $\text{H}_2\text{O}$
ดุลจำนวนอะตอม H โดยเติม $\text{H}^+$	ไม่มี H จึงไม่ต้องเติม $\text{H}^+$
ดุลจำนวนประจุไฟฟ้า โดยเติม $e^-$	$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2e^- \longrightarrow \text{Zn}(\text{s})$

**ขั้นที่ 2** ทำจำนวนอิเล็กตรอนในแต่ละครึ่งปฏิกิริยาให้เท่ากัน โดยคูณด้วยตัวเลขที่เหมาะสม ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนเต็มทีน้อยที่สุด

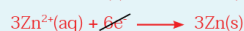
**ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน** คูณด้วย 2 เพื่อให้มี  $6e^-$  เท่ากับครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน



**ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน** คูณด้วย 3 เพื่อให้มี  $6e^-$  เท่ากับครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน



**ขั้นที่ 3** รวมสองครึ่งปฏิกิริยาเข้าด้วยกันแล้วหักล้างจำนวนอิเล็กตรอน โมเลกุล หรือไอออน ที่เหมือนกัน ออกทั้งสองด้านด้วยจำนวนที่เท่ากัน



3. ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อสรุปขั้นตอนการดุลสมการรีดอกซ์โดยวิธีเลขออกซิเดชันโดยมีข้อสังเกตว่า การดุลสมการจะมีรายละเอียดในบางขั้นตอนเพิ่มขึ้นตามความซับซ้อนของปฏิกิริยารีดอกซ์

4. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับการทำโลหะให้บริสุทธิ์โดยยกตัวอย่างการทำทองแดงให้บริสุทธิ์

### ขั้นที่ 5 ขั้นประเมินผล

1. ครูให้นักเรียนตอบคำถามท้ายผลการทดลองให้ครบถ้วน
2. ครูให้นักเรียนตรวจสอบการบันทึกผลการทดลอง การสรุปผลการทดลอง และคำถามท้ายผลการทดลองให้ครบถ้วน
3. ครูประเมินผลทักษะทางวิทยาศาสตร์ การทดลอง การจัดทำ และ การตีความหมาย ข้อมูลลงข้อสรุปปฏิบัติการทดลอง ของนักเรียนจากรายงานผลการทดลอง
4. ครูให้นักเรียนทำแบบวัดแนวคิดไฟฟ้าเคมีหลังเรียน

## 7. สื่อ/อุปกรณ์/แหล่งเรียนรู้

### 7.1 สื่อ

1. บทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้า
2. หนังสือเรียนวิชารายวิชาเพิ่มเติม เคมี 4

### 7.2 แหล่งการเรียนรู้

1. [proj14.ipst.ac.th](http://proj14.ipst.ac.th) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)
2. <https://www.youtube.com/@proj14.66>
3. เว็บไซต์ที่ให้บริการค้นหาข้อมูล เช่น <https://iupac.org/> ,

<https://www.scimath.org/lesson-chemistry>,

<https://chem.flas.kps.ku.ac.th/SLIDE/SLIDE-01403115-ORGANIC-53.pdf> เป็นต้น

## 8. การวัดและประเมินผล

สิ่งที่ต้องการวัดและประเมิน	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การประเมิน
<p><b>8.1 ด้านความรู้</b></p> <p>1. อธิบายความหมายของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดักชัน ปฏิกิริยารีดอกซ์ ตัวรีดิวซ์ และตัวออกซิไดส์ และการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันได้</p> <p>2. อธิบายการต่อเซลล์กัลวานิกจากครึ่งเซลล์ที่กำหนดให้ พร้อมทั้งบอกขั้วแอโนดขั้วแคโทด และบอกสมการแสดงปฏิกิริยาได้</p> <p>3. ทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้</p> <p>4. อธิบายหลักการการทำงานของเซลล์กัลวานิกได้</p> <p>5. อธิบายหลักการของการแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า พร้อมทั้งเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้</p>	<p>-แบบวัดแนวคิด ไฟฟ้าเคมี -รายงานผลปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้า</p>	<p>- แบบวัดแนวคิด เคมีไฟฟ้า</p>	<p>- แบบวัดแนวคิดไฟฟ้า เคมีถูกต้องร้อยละ 60</p>
<p><b>8.2 ด้านทักษะกระบวนการ</b></p> <p>1. ทดลองการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า</p> <p>2. การจัดกระทำ และสื่อความหมายข้อมูลเกี่ยวกับ การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า</p> <p>3. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุปปฏิบัติการทดลอง การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิกิริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า</p>	<p>-รายงานผลปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้า</p>	<p>-แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</p>	<p>ผ่านเกณฑ์กำหนดร้อยละ 70</p>



สิ่งที่ต้องการวัดและประเมิน	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การประเมิน
<p><b>8.3 ด้านคุณลักษณะ (จิตวิทยาาสตร์)</b></p> <p>1. ใช้วิจารณญาณ พิจารณาการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิกริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า</p> <p>2. มีความเข้าใจและมีส่วนร่วม ในการอภิปรายการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิกริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า</p> <p>3. มีความรอบคอบในการทดลอง การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ปฏิกริยารีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า</p>	<p>- สังเกต</p> <p>- ประเมินสภาพจริง</p>	<p>-แบบประเมินคุณลักษณะ</p>	<p>ผ่านเกณฑ์กำหนดร้อยละ 70</p>

## แบบวัดแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า

แบบวัดแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาบทปฏิบัติการทดลองเคมีไฟฟ้าแบบย่อส่วน เพื่อส่งเสริมแนวคิดเคมีไฟฟ้าและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย”

ชื่อ.....นามสกุล.....ชั้น.....เลขที่.....  
รหัสวิชา ว32224 วิชา เคมี 4 เรื่อง เคมีไฟฟ้า สอบวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

### คำชี้แจง (สำหรับนักเรียน)

แบบวัดแนวคิดฉบับนี้ประกอบไปด้วยข้อคำถามสองชั้น(Two-tier) 20 ข้อ จำนวน 3 หน้า ให้เลือกคำตอบและให้แสดงเหตุผลประกอบคำตอบนั้น ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

- ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย (✓) หน้าข้อความที่ถูกต้อง และทำเครื่องหมาย (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง
- การให้เหตุผลประกอบคำตอบ ให้นักเรียนเขียนเหตุผลในการอธิบายคำตอบที่นักเรียนได้เลือกตอบ
- แบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ครอบคลุมแนวคิดย่อย 4 แนวคิด ดังนี้
  - เลขออกซิเดชัน
  - ปฏิกิริยารีดอกซ์
  - เซลล์กัลวานิก
  - การแยกสารละลายด้วยกระแสไฟฟ้า
- เวลาที่ใช้ในการทำแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า เวลา 1 ชั่วโมง (60 นาที)

คำสั่ง ให้นักเรียนทำเครื่องหมาย (✓) หน้าข้อความที่ถูกต้อง และทำเครื่องหมาย (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบการคำตอบ

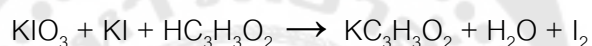
.....1. เลขออกซิเดชันของธาตุในสารประกอบ  $\text{KMnO}_4$  ประกอบไปด้วย  $\text{K} = +1$ ,  $\text{Mn} = +7$ ,  $\text{O} = -2$

.....  
.....

.....2.  $K_2Cr_2O_7 + HCl \rightarrow KCl + CrCl_3 + H_2O + Cl_2$  ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

.....3. ในการทดลองนำโลหะสังกะสี(Zn) จุ่มลงในสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ( $CuSO_4$ ) เป็นเวลา 2 นาที ผลปรากฏว่าโลหะสังกะสีเกิดการผุกร่อน และสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต( $CuSO_4$ ) มีสีจาง แสดงว่า Zn เป็นตัวรีดิวซ์  $Cu^{2+}$  เป็นตัวออกซิไดส์

.....4. ผลรวมของสัมประสิทธิ์จำนวนโมล ของปฏิกิริยารีดอกซ์นี้ มีค่าเท่ากับ 24



.....5.  $Fe + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + MnSO_4 + KHSO_4 + H_2O$  ปฏิกิริยารีดอกซ์นี้ มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน 4 ตัว

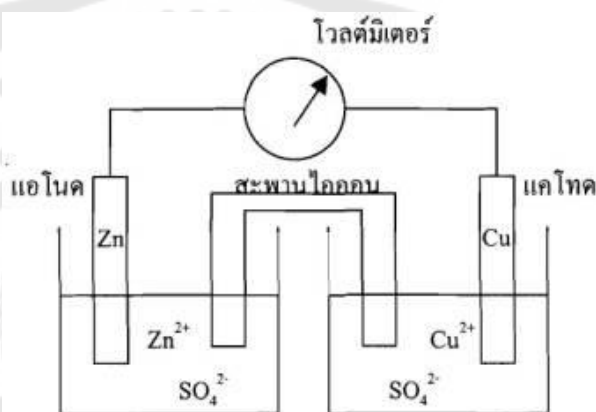
.....6. จากปฏิกิริยา  $3Cl_2 + 6NaOH \rightarrow 5NaCl + NaClO_3 + 3H_2O$  แก๊ส  $Cl_2$  ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์

.....7.  $2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{OCl}^- + \text{OH}^- \rightarrow 2\text{CrO}_4^{2-} + 3\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$  สามารถดุลสมการโดยมี

ครึ่งปฏิกิริยาดังนี้ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน :  $2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CrO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ + 6\text{e}^-$

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน :  $3\text{OCl}^- + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 3\text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$

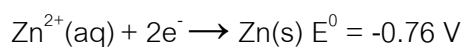
ข้อมูลใช้ตอบคำถามข้อ 8 - 11



.....8. ขั้วไฟฟ้าด้านโลหะสังกะสีเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ขั้วไฟฟ้าด้านโลหะทองแดงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

.....9. จากการทดลองนี้ โลหะทองแดงเกิดการผุกร่อน และโลหะสังกะสีพอกหนาขึ้น และสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต( $\text{CuSO}_4$ ) มีสีจางลง

.....10. กำหนดให้  $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}(\text{s}) \quad E^{\circ} = 0.34 \text{ V}$



ปฏิกิริยารีดอกซ์ของการทดลองนี้ สามารถเกิดขึ้นเองได้

.....

.....

.....

.....

.....11. ปฏิกิริยารีดอกซ์ของการทดลองนี้ คือ  $\text{Cu}(\text{s}) + \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn}(\text{s})$

.....

.....

.....

.....

.....12. ปฏิกิริยา  $\text{B}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{B} \quad E = -0.5 \text{ V}$  และ  $\text{C}^{3+} + 3\text{e}^{-} \rightarrow \text{C} \quad E = 0.1 \text{ V}$

สามารถเกิดขึ้นได้เอง โดยมีสมการรวมเป็น  $3\text{B}^{2+} + 2\text{C}^{3+} \rightarrow 3\text{B} + 2\text{C}$

.....

.....

.....

.....13. จากปฏิกิริยา  $\text{Zn}(\text{s}) + \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Pb}(\text{s}) \quad E^{\circ} = 0.63 \text{ V}$

แผนภาพเซลล์คือ  $\text{Zn}(\text{s})|\text{Zn}^{2+}(\text{aq})||\text{Pb}^{2+}(\text{aq})|\text{Pb}(\text{s})$

.....

.....

.....

.....14. การแยกสลายด้วยไฟฟ้า ไอออนบวกจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแคโทด ไอออนลบจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนด

.....

.....

.....

### ข้อมูลใช้ตอบคำถามข้อ 15 – 18

ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน( $E^0$ ) ที่ 298 K ที่ใช้ในการพิจารณาคำตอบ มีดังนี้

ปฏิกิริยาครึ่งเซลล์รีดักชัน	$E^0$ (V)
$S_2O_8^{2-}(aq) + 2e^- \rightarrow 2SO_4^{2-}(aq)$	2.01
$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	1.23
$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$	0.34
$SO_4^{2-}(aq) + 4H^+(aq) + 2e^- \rightarrow SO_2(g) + 2H_2O(l)$	0.20
$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$	-0.83

.....15. จะต้องใช้ความต่างศักย์ 0.89 V เท่านั้นในการแยกสารละลาย  $CuSO_4$  ด้วยกระแสไฟฟ้า

.....16. เมื่อทำการแยกสารละลาย  $CuSO_4$  ด้วยกระแสไฟฟ้า  $Cu^{2+}$  จะไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วแคโทด และ  $SO_4^{2-}$  จะไปให้อิเล็กตรอนที่ขั้วแอโนด

.....17. ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการแยกสารละลาย  $CuSO_4$  ด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ขั้วแคโทดคือโลหะคอปเปอร์ และขั้วแอโนดคือ  $H^+$  และ แก๊สออกซิเจน

.....18. ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นจากการแยกสารละลาย  $CuSO_4$  ด้วยกระแสไฟฟ้า คือ

$$2Cu^{2+}(aq) + 2H_2O(l) \rightarrow 2Cu(s) + O_2(g) + 4H^+(aq)$$

.....19. ในการชุบโลหะเงินด้วยไฟฟ้าสิ่งที่ต้องการชุบควรต่ออยู่ที่ขั้วแอโนด โลหะเงินเป็นขั้วแคโทด และใช้สารละลายซิลเวอร์ไอออน( $Ag^+$ ) เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์

.....20. การป้องกันโลหะไม่ให้เกิดสนิม สามารถทำได้โดยให้โลหะเป็นขั้วแคโทดอยู่เสมอ



เกณฑ์การประเมิน	ร้อยละ 90 – 100	ดีเยี่ยม
	ร้อยละ 80 – 89	ดีมาก
	ร้อยละ 70 – 79	ดี
	ร้อยละ 60 – 69	ค่อนข้างดี
	ร้อยละ 50 – 59	พอใช้
	ร้อยละ ต่ำกว่า 50	ควรปรับปรุง

### เกณฑ์การประเมินทักษะทางวิทยาศาสตร์

รายการประเมิน	ระดับการประเมิน			
	4	3	2	1
<b>ทักษะการทดลอง</b>				
วางแผนการทดลอง	วางแผนการทดลองแบบflow chart โดยการเรียงลำดับ แยกประเภท หรือ คำนวณหาค่าใหม่ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ชัดเจน และถูกต้องทุกครั้ง	วางแผนการทดลองแบบflow chart โดยการเรียงลำดับ แยกประเภท หรือ คำนวณหาค่าใหม่ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ชัดเจน และถูกต้อง บ่อยครั้ง	วางแผนการทดลองแบบflow chart โดยการเรียงลำดับ แยกประเภท หรือ คำนวณหาค่าใหม่ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ชัดเจน และถูกต้อง บางครั้ง	วางแผนการทดลองแบบflow chart โดยการเรียงลำดับ แยกประเภท หรือ คำนวณหาค่าใหม่ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น ไม่ชัดเจน แต่ไม่ถูกต้อง
ใช้อุปกรณ์สารเคมี	ใช้อุปกรณ์สารเคมี อย่างถูกต้องเหมาะสม และใช้อย่างถูกวิธีทุกครั้ง	ใช้อุปกรณ์สารเคมี อย่างถูกต้อง เหมาะสม และใช้อย่างถูกวิธีบ่อยครั้ง	ใช้อุปกรณ์สารเคมี อย่างถูกต้อง เหมาะสม และใช้อย่างถูกวิธีบางครั้ง	ใช้อุปกรณ์สารเคมี ได้ แต่ไม่เหมาะสม และใช้อย่างไม่ถูกวิธี
การปฏิบัติการทดลอง	ทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ อย่างถูกต้อง ทันเวลา คล่องแคล่ว และเหมาะสมทุกครั้ง	ทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ อย่างถูกต้อง ทันเวลา คล่องแคล่ว และเหมาะสมบ่อยครั้ง	ทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ อย่างถูกต้อง ทันเวลา คล่องแคล่ว และเหมาะสมบางครั้ง	ทดลองเป็นไปตามขั้นตอน ไม่ถูกต้อง ไม่ทันเวลา ไม่คล่องแคล่ว และไม่เหมาะสม



รายการประเมิน	ระดับการประเมิน			
	4	3	2	1
<b>ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล</b>				
การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง	ออกแบบตารางบันทึกผลที่เหมาะสมกับข้อมูลทุกครั้ง	ออกแบบตารางบันทึกผลที่เหมาะสมกับข้อมูลบ่อยครั้ง	ออกแบบตารางบันทึกผลที่เหมาะสมกับข้อมูลเป็นบางครั้ง	ออกแบบตารางบันทึกผลไม่เหมาะสมกับข้อมูล
การบันทึกผลการทดลอง	บันทึกผลคล่องแคล่ว ถูกต้อง ทุกครั้ง	บันทึกผลคล่องแคล่ว ถูกต้อง บ่อยครั้ง	บันทึกผลคล่องแคล่ว ถูกต้อง บางครั้ง	บันทึกผลไม่คล่องแคล่ว ถูกต้อง บางส่วน
การนำเสนอข้อมูล	อธิบายเหตุผลในการเลือกการนำเสนอได้อย่างชัดเจน และตรงประเด็นทุกครั้ง	อธิบายเหตุผลในการเลือกการนำเสนอได้อย่างชัดเจน และตรงประเด็นบ่อยครั้ง	อธิบายเหตุผลในการเลือกการนำเสนอได้ชัดเจน และตรงประเด็น บางครั้ง	อธิบายเหตุผลในการเลือกการนำเสนอไม่ชัดเจน และไม่ตรงประเด็น
<b>ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป</b>				
การอภิปรายผลการทดลอง	อธิบายผลและข้อมูลได้อย่างชัดเจน และตรงประเด็นทุกครั้ง เพิ่มความเห็น ข้อมูลอย่างมีเหตุผลทุกครั้ง	อธิบายผลและข้อมูลได้ค่อนข้างชัดเจน และตรงประเด็น บ่อยครั้ง เพิ่มความเห็น ข้อมูล อย่างมีเหตุผล บ่อยครั้ง	อธิบายผลและข้อมูลได้ค่อนข้างชัดเจน และตรงประเด็น บางครั้ง เพิ่มความเห็น ข้อมูลอย่างมีเหตุผล บางครั้ง	อธิบายผลและข้อมูลได้ไม่ชัดเจน และไม่ตรงประเด็น เพิ่มความเห็น ข้อมูล หรือมักเพิ่มความเห็น ข้อมูล อย่างไม่มีเหตุผล
การแปลความหมายข้อมูล	การแปลความหมายข้อมูลได้อย่างถูกต้องเหมาะสมทุกครั้ง	การแปลความหมายข้อมูลได้ถูกต้องเหมาะสมบ่อยครั้ง	การแปลความหมายข้อมูลได้อย่างถูกต้องเหมาะสม บางครั้ง	การแปลความหมายข้อมูลไม่ถูกต้อง และไม่เหมาะสม
ความสัมพันธ์ของข้อมูล	บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างมีเหตุผลและถูกต้องทุกครั้ง	บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างมีเหตุผลและถูกต้อง บ่อยครั้ง	บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างมีเหตุผลและถูกต้อง บางครั้ง	บอกความสัมพันธ์ของข้อมูลอย่างมีเหตุผล แต่ไม่ถูกต้อง
การสรุปผลการทดลอง	สรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง	สรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างถูกต้องบ่อยครั้ง	สรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างถูกต้อง บางครั้ง	สรุปความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ไม่ถูกต้อง

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สุดสาคร หมายชม
วัน เดือน ปี เกิด	10 Sep 1991
สถานที่เกิด	แพร่

