ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

THE EFFECTS OF ONLINE INQUIRY - BASED LEARNING ON ELECTROCHEMISTRY CONCEPTS AND COLLABORATION SKILLS OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS

รสมา ลำพุทธา

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2563

ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

รสมา ลำพุทธา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรศึกษา
ศูนย์วิทยาศาสตรศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THE EFFECTS OF ONLINE INQUIRY - BASED LEARNING ON ELECTROCHEMISTRY CONCEPTS AND COLLABORATION SKILLS OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS

ROSSAMA LUMPUTHA

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF EDUCATION

(Science Education)

Science Education Center, Srinakharinwirot University

2020

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า
และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ของ

รสมา ลำพุทธา

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

.....

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรยา ดาสา)

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกรัตน์ ทานาค)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ณวรา สีที)

ชื่อเรื่อง	ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
ผู้วิจัย	รสมา ลำพุทธา
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรรยา ดาสา

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มที่ศึกษา คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนคณิตศาสตร์-วิทยาศาสตร์ จำนวน 21 คน ใช้วิธีการวิจัยแบบตามลำดับอธิบายผล โดยเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณเชื่อมต่อกับข้อมูลเชิงคุณภาพ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ จำนวน 5 แผน 2) แบบวัดแนวคิดสองลำดับขั้น เรื่องเคมีไฟฟ้า จำนวน 18 ข้อ (18 แนวคิด) มีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.22-0.61 ค่าอำนาจจำแนก (D) อยู่ระหว่าง 0.26-0.58 ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.92 3) แบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน ประเมิน 3 องค์ประกอบ และ 4) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างทักษะการทำงานร่วมกัน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ค่าพัฒนาการ และค่าขนาดอิทธิพล ผลการวิจัยพบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ เรื่องเคมีไฟฟ้า สามารถพัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนได้ โดยนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 46.0 คะแนน สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 (43.20 คะแนน) มีแนวคิดระดับถูกต้องบางส่วนขึ้นไป มากกว่าร้อยละ 60 จำนวน 11 แนวคิด มีทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับกลางร้อยละ 52.38 และระดับสูงร้อยละ 47.62 มีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันในภาพรวมอยู่ในระดับกลาง (N-gain = 0.59) ด้านการสร้างความเข้าใจร่วมกันในระดับสูง (N-gain = 0.74) ด้านการมีส่วนร่วม และด้านการกำกับการทำงานของกลุ่ม ในระดับกลาง (N-gain = 0.63 และ 0.47 ตามลำดับ) การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีอิทธิพลต่อทักษะการทำงานร่วมกันโดยภาพรวมในระดับสูง (d = 2.55) ด้านการสร้างความเข้าใจร่วมกัน ด้านการมีส่วนร่วม และด้านการกำกับการทำงานของกลุ่มในระดับกลาง (d = 1.61, 1.43 และ 1.39, ตามลำดับ) ข้อมูลเชิงคุณภาพระบุว่า นักเรียนสามารถพัฒนาแนวคิดได้ดีผ่านการลงมือปฏิบัติการทดลองร่วมกับการชมภาพหรือวิดีทัศน์ที่แสดงปรากฏการณ์ระดับจุลภาค และนักเรียนยังปรับพฤติกรรมการทำงานร่วมกัน โดยนักเรียนมีการสื่อสารอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นขณะทำงานร่วมกันและรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นมากขึ้น

คำสำคัญ : การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์, เคมีไฟฟ้า, แนวคิด, ทักษะการทำงานร่วมกัน

Title	THE EFFECTS OF ONLINE INQUIRY - BASED LEARNING ON ELECTROCHEMISTRY CONCEPTS AND COLLABORATION SKILLS OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS
Author	ROSSAMA LUMPUTHA
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2020
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Chanyah Dahsah

This research aims to study the effects of online inquiry-based learning on electrochemistry concepts and the collaboration skills of upper secondary school students. The participants were 21 Grade Eleven students in the Mathematics and Science stream. The explanatory sequential design was used by collecting and analyzing quantitative data, and then connected to the qualitative data. The research instruments were as follows: (1) five online inquiry-based learning lesson plans; (2) a two-tier diagnostic test included 18 items (18 concepts) on an electrochemistry topic, in which the difficulty level of the items was 0.22 to 0.61, the discrimination power of items was 0.26 to 0.58, and the test reliability was 0.92; (3) a collaboration skills observation form evaluating in three aspects; and (4) semi-structured interview for collaboration skills. The statistical analysis included average score, percentage, normalized gain, and effect size. The research finding indicated that online inquiry-based learning could enhance student understanding of the concepts of electrochemistry and collaboration skills. The average score of these concepts after learning were 46.0, which was higher than criteria of 60% (43.20), and more than 60% of the students were at a partial level and above in 11 concepts. For collaboration skills, 52.38% of students were at an intermediate level and 47.62% had a high level of collaboration skills. The class normalized gain was at a medium level in an overall (N- gain = 0.59), the building of shared understanding aspect was at a high level (N-gain = 0.74), while collectively contributing to and the regulating aspect were at a medium level (N-gain = 0.63 and 0.47, respectively). The online inquiry-based learning had a high impact on collaboration skills with effect size of 2.55 (d = 2.55), while building shared understanding, collectively contributing, and regulating aspect had a medium impact (d = 1.61, 1.43 and 1.39, respectively). The qualitative results suggested that students developed concepts more effectively by doing experiments and following microscopic images or videos. In addition, the collaboration behaviors of the students were also changed, students more communicate, discuss and exchange ideas while working together, and listen to the opinions of others.

Keyword : Online inquiry-based learning, Electrochemistry, Conceptual, Collaboration skills

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณา เอาใจใส่อย่างยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรยา ดาสา ที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ตลอดจนการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเมตตา อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิจัยตลอดมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เอกรัตน์ ทานาค ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานกรรมการสอบปากเปล่า และอาจารย์ ดร.ณวรา สีที กรรมการสอบปากเปล่า ที่ให้คำแนะนำที่มีคุณค่าในการปรับปรุงปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เอกรัตน์ ทานาค ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สลา สามิภักดิ์ อาจารย์ทรัพย์ทวี อภิญญาวาท และอาจารย์วรินทร์ สุขทวี ที่กรุณาตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัยตลอดจนให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาเครื่องมือวิจัยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคุณครูนันธิญา แก้ววิจิตร คุณครูธนกร สุขะ และคุณวทัญญู ยุคง นิสิตฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเก็บรวบรวมข้อมูลในการหาคุณภาพเครื่องมือ

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงเรียน และคุณครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนที่ผู้วิจัยปฏิบัติราชการ ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัย ขอขอบใจนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2563 ที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอบพระคุณคณาจารย์ เพื่อน พี่ น้อง เจ้าหน้าที่สาขาวิทยาศาสตรศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกท่านที่ให้กำลังใจ ความห่วงใย และให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัว ที่คอยให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยสามารถก้าวผ่านอุปสรรคจนประสบความสำเร็จด้วยความภาคภูมิใจ

รสมา ลำพุทธา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

ภูมิหลัง 1

คำถามของการวิจัย 4

ความมุ่งหมายของการวิจัย 4

ความสำคัญของการวิจัย 5

ขอบเขตของการวิจัย 5

นิยามศัพท์เฉพาะ 6

กรอบแนวคิดในการวิจัย 8

สมมุติฐานในการวิจัย 9

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

1. แนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า 11

1.1 ความหมายของแนวคิด 11

1.2 ความหมายของแนวคิดคลาดเคลื่อน 11

1.3 การจัดกลุ่มแนวคิด 12

1.4 แนวคิดและแนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียน เรื่อง เคมีไฟฟ้า 15

1.4.2 แนวคิดคลาดเคลื่อน เรื่อง เคมีไฟฟ้า 19
1.5 การวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า 20
1.6 แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า 25
2. ทักษะการทำงานร่วมกัน 31
2.1 ความหมายของทักษะการทำงานร่วมกัน 31
2.2 ความสำคัญของทักษะการทำงานร่วมกัน 32
2.3 องค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน 34
2.4 การวัดและประเมินผลทักษะการทำงานร่วมกัน 39
2.5 แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกัน 51
3. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ 56
3.1 ความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 56
3.2 เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 57
3.3 ลักษณะสำคัญของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ 59
3.4 ระดับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 61
3.5 รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 65
3.6 รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่พัฒนาแนวคิด 69
3.7 ข้อดี-ข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 73
3.8 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ 75
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 79
1. การกำหนดขอบเขตในการวิจัย 79
2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 80
2.1. หน่วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า 80
2.2 แบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า 91

2.3 แบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน 94
2.4 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง 96
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล 97
4. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล 99
5. สถิติที่ใช้ในการวิจัย 103
6. จริยธรรมวิจัย 106
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 108
1. ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้าของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย 108
2. ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย 122
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 135
สรุปผลการวิจัย 139
อภิปรายผลการวิจัย 140
ข้อเสนอแนะ 146
1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ 146
2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย 147
บรรณานุกรม 148
ภาคผนวก 166
ประวัติผู้เขียน 195

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 การจัดกลุ่มแนวคิด 4 กลุ่ม 12

ตาราง 2 กลุ่มแนวคิด 5 แนวคิด 13

ตาราง 3 การจัดกลุ่มแนวคิด 6 กลุ่ม 13

ตาราง 4 การเปรียบเทียบการจัดกลุ่มแนวคิด 14

ตาราง 5 ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เรื่อง เคมีไฟฟ้า ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 15

ตาราง 6 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดและประเมินทักษะในการทำงานร่วมกัน 39

ตาราง 7 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกัน 43

ตาราง 8 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันที่ปรับจาก สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) 48

ตาราง 9 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกัน (ต่อ) 63

ตาราง 10 เปรียบเทียบรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะกับ 5 ลักษณะสำคัญของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในชั้นเรียน 68

ตาราง 11 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ที่พัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกัน 78

ตาราง 12 ตารางแสดงแผนการจัดการเรียนรู้ ผลการเรียนรู้และจำนวนชั่วโมงจัดการเรียนรู้ 89

ตาราง 13 เกณฑ์การตรวจให้คะแนนแบบวัดแนวคิด 100

ตาราง 14 การจัดกลุ่มแนวคิด 101

ตาราง 15 ผลคะแนนจากแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังเรียน 109

ตาราง 16 จำนวนนักเรียนที่มีต่อแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า 18 แนวคิดหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ 110

ตาราง 17 นักเรียนที่มีทักษะการทำงานร่วมกันก่อนเรียนและหลังเรียนในระดับสูง กลาง และต่ำ 123

ตาราง 18 จำนวนและร้อยละของนักเรียนที่มีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันในระดับต่าง ๆ 124

ตาราง 19 พัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนรายบุคคลแบ่งตามทักษะการทำงานร่วมกันก่อนเรียนกลุ่มสูง กลาง และต่ำ..... 124

ตาราง 20 ค่าเฉลี่ยคะแนนทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน และค่า class normalize gain..... 125

ตาราง 21 ค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนตามองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน..... 125

ตาราง 22 ค่าเฉลี่ยคะแนนทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน และค่าขนาดอิทธิพล (Effect size)..... 126

ตาราง 23 ค่าขนาดอิทธิพลของทักษะการทำงานร่วมกันตามองค์ประกอบ..... 126

ตาราง 24 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน..... 191

ตาราง 25 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า จำนวน 36 ข้อ ... 192

ตาราง 26 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า จำนวน 36 ข้อ (ต่อ) 193

ตาราง 27 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (D) และค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า จำนวน 18 แนวคิด..... 194

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย 9
ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างแบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น (สนทยา บ้งพรม (2558, น. 126) 23
ภาพประกอบ 3 แสดงแผนผังแนวคิดเชิงประพจน์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า 92
ภาพประกอบ 4 แสดงแบบแผนการวิจัย 97
ภาพประกอบ 5 คำถามเกี่ยวกับการทำโลหะให้บริสุทธิ์ 113
ภาพประกอบ 6 วิดีทัศน์แสดงการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาค 113
ภาพประกอบ 7 แสดงคำตอบของนักเรียน S18 114
ภาพประกอบ 8 แสดงคำตอบของนักเรียน S12 114
ภาพประกอบ 9 การออกแบบกิจกรรมการทดลองของนักเรียน 115
ภาพประกอบ 10 การตอบคำถามอภิปรายผลกาทดลองในใบกิจกรรม 115
ภาพประกอบ 11 แสดงคำตอบของนักเรียน S11 116
ภาพประกอบ 12 แสดงคำตอบของนักเรียน S3 116
ภาพประกอบ 13 การออกแบบการทดลองและบันทึกผลการทดลอง 117
ภาพประกอบ 14 การตอบคำถามในใบกิจกรรม 117
ภาพประกอบ 15 การตอบคำถามในใบกิจกรรม 118
ภาพประกอบ 16 แสดงคำตอบของนักเรียน S18 118
ภาพประกอบ 17 การตอบคำถามในใบกิจกรรม 119
ภาพประกอบ 18 การตอบคำถามในใบกิจกรรม 120
ภาพประกอบ 19 แสดงคำตอบของนักเรียน S12 120
ภาพประกอบ 20 แสดงคำตอบของนักเรียน S8 120
ภาพประกอบ 21 การตอบคำถามในใบกิจกรรม 121

ภาพประกอบ 22 แสดงคำตอบของนักเรียน S17 122

ภาพประกอบ 23 แสดงคำตอบของนักเรียน S1 122

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันวิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญและเกี่ยวข้องกับทุกคนไม่ว่าจะเป็น เทคโนโลยี เครื่องมือ เครื่องใช้และผลผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันเหล่านี้ล้วนอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ร่วมกับความคิดสร้างสรรค์ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551, น. 75) สำหรับการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มุ่งเน้นให้นักเรียน ได้ทั้งกระบวนการและความรู้ จากวิธีการสังเกต การสำรวจตรวจสอบ การทดลองแล้วนำผลที่ได้มาจัดระบบเป็นหลักการ แนวคิด และองค์ความรู้ เพื่อให้นักเรียนได้ค้นพบความรู้ด้วยตนเองมากที่สุด (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560, น. 3) วิชาเคมีเป็นแขนงหนึ่งของวิชาวิทยาศาสตร์ที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน เช่น อาหาร ยารักษาโรค และในอุตสาหกรรมหลายประเภทได้อาศัยความรู้และหลักการของเคมีมาช่วยทำให้ประเทศมีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมและด้านเศรษฐกิจมากขึ้น (พวงลดา วรสาร, 2548, น. 2)

สำหรับประเทศไทยเนื้อหาเคมีอยู่ในสาระเพิ่มเติมของตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ พ.ศ.2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) โดยเนื้อหาสาระเชื่อมโยงความรู้และกระบวนการเรียนรู้เรียงลำดับตามระดับชั้น โดยมุ่งเน้นจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาความคิดที่เป็นเหตุเป็นผล คิดวิเคราะห์ คิดสร้างสรรค์ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะในศตวรรษที่ 21 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560, น. 1-3) ซึ่งเคมีไฟฟ้าเป็นหัวข้อหนึ่งในสาระเคมี ทั้งนี้จากงานวิจัยระบุว่าเคมีไฟฟ้ามีเนื้อหาค่อนข้างยากต่อการทำความเข้าใจของนักเรียนและยากต่อผู้สอนที่จะทำให้นักเรียนมีความเข้าใจในเรื่องนี้ (สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 1) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดของนักเรียนในเรื่อง เคมีไฟฟ้า พบว่า นักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนทั้งในแนวคิดหลักและแนวคิดย่อย ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ (Sanger & Greenbowe, 1997, p. 377) เซลล์กัลวานิก เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (ธิชานันท์ บุตรวิเศษ, 2555, น. 82; ธีรพงษ์ แสงสิทธิ์, 2555, น. 99-100; สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 36) การชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า และการป้องกันการกัดกร่อน (สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 36) สอดคล้องกับประสบการณ์ของผู้วิจัยเกี่ยวกับแนวคิดของนักเรียนในเรื่อง เคมีไฟฟ้า พบว่านักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านสารละลายในเซลล์เคมีไฟฟ้า นักเรียนมีความสับสนเกี่ยวกับขั้วไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้วไฟฟ้าในการแยกสารละลายด้วยไฟฟ้าว่าสารใดทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนแล้วเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้ว

แคโทด และสารใดให้อิเล็กตรอนแล้วเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด นอกจากนี้ เมื่อจัดกลุ่มคละความสามารถ นักเรียนจะนั่งทำงานกับกลุ่มด้วยความไม่สนิทใจและเรียกร้องกับครูเสมอให้จัดกลุ่มเองตามความสมัครใจ ในการทำงานกลุ่มนักเรียนที่เก่งจะมีบทบาทมากกว่านักเรียนที่อ่อนและจะทำงานเพียงคนที่เก่งเพราะคิดว่าเพื่อนจะทำไม่ได้ ซึ่งค่อนข้างสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า ที่พบว่า นักเรียนไม่ค่อยมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน นักเรียนจะจับกลุ่มกันเองกับเพื่อนสนิทหรือจับกลุ่มเฉพาะคนเก่ง คนที่ไม่เก่งมักจะได้อยู่ด้วยกัน การปฏิบัติกิจกรรมนักเรียนที่เก่งจะมีบทบาทส่วนนักเรียนที่อ่อนไม่ค่อยกล้าแสดงความคิดเห็น บางคนมักทำงานส่วนตัวมากกว่าทำงานกลุ่ม (พรทิพย์ เมืองแก้ว, 2553, น. 1-2; สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 1) จึงแสดงให้เห็นว่านอกจากนักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนในเรื่องเคมีไฟฟ้าแล้ว นักเรียนยังขาดทักษะการทำงานร่วมกัน

ทักษะการทำงานร่วมกัน หมายถึง ความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่สมาชิกทุกคนในกลุ่มมีการวางแผนและกำหนดเป้าหมายร่วมกัน รวบรวมข้อมูล ความรู้ ทรัพยากรและความเชี่ยวชาญจากแหล่งต่าง ๆ เคารพและยอมรับฟังความคิดเห็นร่วมกัน สามารถจัดการความขัดแย้ง มีส่วนร่วมในการรับผิดชอบและแบ่งหน้าที่ในการทำงานร่วมกันเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่วางไว้ (Scoular, Duckworth, Heard, & Ramalingam, 2020, p. 6; จิรัชยา มหาวรรณ์, 2552, น. 35) ซึ่งภาคีเพื่อทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Skills, 2019, p. 5) ได้ระบุทักษะการทำงานร่วมกัน (Collaboration Skills) เป็นทักษะหนึ่งในทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมที่ผู้เรียนต้องมีในศตวรรษที่ 21 ซึ่งเป็นทักษะพื้นฐานที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตในสังคม (Johnson, 1973, p. 1; รุจิรา เศารยะสกุล, ฐาปนี สีเฉลียว, และศรีสุดา สิงห์ชุม, 2561, น. 100) จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะการทำงานร่วมกันเพิ่มเติม พบว่า นักเรียนมีพฤติกรรมการเรียนแบบแข่งขัน (มนตรี จันตะมะ, สิรินภา กิจเกื้อกูล, และ มลิวรรณ นาคขุนทด, 2563, น. 144) เมื่อมอบหมายให้ทำงานเป็นกลุ่มนักเรียนจะเลือกจับกลุ่มกับเพื่อนที่ค่อนข้างเก่งหรือสนิทกัน โดยคนที่มีความสามารถในการเรียนอ่อนจะไม่มีใครเลือกเข้ากลุ่ม (วิทยา สัตย์จิตร, ดวงเดือน สุวรรณจินดา, และ ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์, 2563, น. 150) ไม่มีการแบ่งหน้าที่การทำงานของสมาชิกภายในกลุ่ม (นิตยา วงค์ใน, สมเกียรติ อินทสิงห์, และนทัต อัศภาภรณ์, 2563, น. 100) ซึ่งพรรณพนัชกร เจนธนวิทย์ (2554, น. 3) กล่าวว่า การไม่รู้จักช่วยเหลือซึ่งกันและกัน และไม่เข้าใจในการทำงานกลุ่มจะทำให้เกิดปัญหาในการอยู่ร่วมกันในสังคมเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา ผู้สอนจึงมีบทบาทสำคัญในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมร่วมกันเป็นกลุ่มและลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนได้มีโอกาสพัฒนาทักษะการ

ทำงานร่วมกับผู้อื่น มีความสัมพันธ์ที่ดีต่อเพื่อนในกลุ่ม เกิดการยอมรับคุณค่าและความสามารถของกันและกัน

จากการศึกษางานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาแนวคิดของนักเรียน เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะการทำงานร่วมกัน พบว่าการพัฒนาแนวคิดของนักเรียน เรื่องเคมีไฟฟ้า มีหลายรูปแบบ ได้แก่ การเรียนรู้จากการแก้ปัญหา (ธิชานันท์ บุตรวิเศษ, 2555, น. 5) การจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิด (นฤดล บรรจง, 2557, น. 65) การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Supasorn & Promarak, 2015, p. 5; วิลาสินี จันศรีใหม่, ภรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์, และสุภาพร ดาวัลย์, 2563, น. 63; สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 6) และการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการทำงานร่วมกัน ได้แก่ การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ (collaborative Learning) (กนกพร แสงสว่าง, 2540, น. 54; นรินทร์ กระพี้แดง, 2542, น. 77; ศิริพล แสนบุญส่ง, 2560, น. 227; สมศักดิ์ เกรัมย์, 2552, น. 27) รูปแบบการเรียนการสอนแบบ 4MAT (พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 76) และกระบวนการเรียนรู้แบบโพกิล (นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ, 2563, น. 99) หรือการเรียนรู้สืบเสาะแบบแนะนำเน้นกระบวนการ (Moog, Creegan, Hanson, Spencer, & Straumanis, 2006, p. 41) เมื่อสังเคราะห์รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกัน พบว่ามีรูปแบบที่สอดคล้องกัน คือ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ โดยที่กระบวนการสืบเสาะที่ใช้ในการส่งเสริมแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกันจะเน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง ได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ฝึกการแก้ปัญหาหรือหาคำตอบจากงานหรือสถานการณ์ปัญหาด้วยตนเอง และเน้นการมีปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่น มีการทำงานกลุ่มที่คละความสามารถและความถนัด ส่งเสริมให้มีการแสดงความคิดเห็น อภิปรายและสรุปความรู้ร่วมกัน โดยครูเป็นผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ของนักเรียนทั้งการจัดสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้และขณะปฏิบัติกิจกรรม และการปรับแนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียน (Supasorn & Promarak, 2015, p. 5; วิลาสินี จันศรีใหม่ และคนอื่น ๆ, 2563, น. 63; สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 6) จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงเลือกการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเพื่อพัฒนาแนวคิดของนักเรียน เรื่องเคมีไฟฟ้า เนื่องจากพบว่าวิธีการสอนดังกล่าวสามารถพัฒนาแนวคิดของนักเรียน (Supasorn & Promarak, 2015, p. 5; วิลาสินี จันศรีใหม่ และคนอื่น ๆ, 2563, น. 63; สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 6) และส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกัน (นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ , 2563, น. 99) ได้ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่หลักสูตรวิทยาศาสตร์ในหลาย ๆ ประเทศได้ส่งเสริมให้นำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ รวมถึงหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของประเทศไทยด้วย (จรรยา ดาสา, 2560, น. 123)

ด้วยสถานการณ์ปัจจุบัน ครูต้องปรับรูปแบบการเรียนรู้ในชั้นเรียนปกติเป็นการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ ทั้งนี้ครูจึงมีหน้าที่จัดเตรียมกิจกรรมและประสบการณ์การเรียนให้นักเรียนกับนักเรียน และนักเรียนกับครูได้มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันเช่นเดียวกับการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน เพื่อไม่ให้การเรียนการสอนออนไลน์เป็นเพียงการเรียนรู้ทางไกลผ่านอินเตอร์เน็ต แต่เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (จักรกฤษณ์ โพดาพล, 2563, ออนไลน์) และในปัจจุบันมีเครื่องมือเทคโนโลยีอย่าง Google for Education เข้ามาอำนวยความสะดวกในการเรียนการสอน ทำให้นักเรียนได้รับความรู้ที่สะดวกมากขึ้น และเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ สนับสนุนด้านการสื่อสาร การสร้างเครือข่าย และการสืบค้นข้อมูล (พรรณรัมภา ยิ่งเฮง, และณัฐพล รำไพ, 2563, น. 211) ดังนั้นผู้วิจัยสนใจที่จะจัดการเรียนรู้รูปแบบออนไลน์โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น (5E) ตามแนวทางของ(สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560, น. 55) เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ครูวิทยาศาสตร์มีความคุ้นเคยและเป็นแนวทางที่ช่วยพัฒนาแนวคิดและส่งเสริมทักษะที่สำคัญของผู้เรียนได้ โดยจะดำเนินการจัดการเรียนรู้ผ่าน Google apps for education เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำงานร่วมกัน สืบค้นข้อมูล ลงมือปฏิบัติกิจกรรม นำเสนอข้อมูล และมีการอภิปรายเพื่อสรุปเป็นองค์ความรู้ (วาสนา กีรติจำเริญ, และอิสรา พลนงค์, 2563, น. 41) โดยมีเป้าหมายเพื่อให้นักเรียน มีแนวคิดที่ถูกต้องในเรื่อง เคมีไฟฟ้า และมีทักษะการทำงานร่วมกัน ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญในชีวิตประจำวันและการเรียนรู้ในระดับที่สูงขึ้นต่อไป

คำถามของการวิจัย

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ สามารถส่งเสริมแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายได้หรือไม่ อย่างไร

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ความสำคัญของการวิจัย

1. นักเรียนมีแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า ที่ถูกต้อง สามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในชีวิตประจำวันและการศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น

2. นักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21

3. ผู้สอนและนักการศึกษาสามารถนำวิธีการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกันได้

4. ผู้สอนได้แนวทางการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ผ่านการเรียนรู้แบบสืบเสาะ หรือ การเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ใหม่สำหรับผู้สอนหลายท่าน

ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มที่ศึกษา

กลุ่มที่ศึกษาที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนคณิตศาสตร์-วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานคร เขต 2 จังหวัดกรุงเทพมหานคร ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 1 ห้องเรียน มีทั้งหมด 30 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกตามความสะดวก (Convenience sampling) ทั้งนี้ในการดำเนินการวิจัยมีนักเรียนที่เข้าร่วมกระบวนการวิจัยครบทุกขั้นตอนจำนวน 21 คน ดังนั้นผลการศึกษาในงานวิจัยนี้จึงมาจากกลุ่มที่ศึกษา 21 คน

ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษา

ดำเนินการทดลองในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 ใช้เวลาในการดำเนินการทดลองทั้งสิ้น 18 ชั่วโมงโดยแบ่งเป็นการชี้แจงรูปแบบการจัดการเรียนรู้ 1 ชั่วโมง ประเมินทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียน 2 ชั่วโมง ดำเนินการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ 13 ชั่วโมง เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้เสร็จสิ้น ดำเนินการวัดแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า ของนักเรียนหลังเรียนและประเมินทักษะการทำงานร่วมของนักเรียน 2 ชั่วโมง

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกเนื้อหาเรื่อง เคมีไฟฟ้า ตามตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ พ.ศ.2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ซึ่งมีเนื้อหาในเรื่องปฏิกิริยารีดอกซ์ ความสามารถในการเป็นรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของโลหะและไอออนของโลหะ เซลล์กัลวานิก การชุบโลหะ การแยกสารที่หลอมเหลวด้วยไฟฟ้า การแยกสารละลายด้วยไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์โดยใช้เซลล์อิเล็กโทรลิติก

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์

ตัวแปรตาม แนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะการทำงานร่วมกัน

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์** หมายถึง การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตโดยที่ครูเป็นผู้อำนวยความสะดวกแก่นักเรียน สนับสนุนให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเองและทำงานร่วมกับเพื่อนผ่าน Google apps for education ซึ่งในขั้นการจัดการเรียนรู้ใช้รูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น หรือ (5E) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560, น. 55) โดยมีรายละเอียดการจัดการเรียนรู้ในแต่ละขั้น ดังนี้

ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) ครูกระตุ้นความสนใจของนักเรียนโดยใช้กิจกรรมสั้น ๆ เช่น รูปภาพ วิดีทัศน์ และการสาธิตการทดลอง เพื่อนำเข้าสู่บทเรียนและใช้คำถามเพื่อตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน โดยนักเรียนร่วมแสดงความคิดเห็นโต้ตอบกับครูผ่านทาง google meet ของชั้นเรียน จากนั้นครูใช้คำถามกระตุ้นนักเรียนเพื่อนำไปสู่การทดลองเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้า และสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ เคมีไฟฟ้า เพื่อตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์

ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) นักเรียนทำกิจกรรมร่วมกันผ่านทาง google meet ของกลุ่ม โดยแบ่งบทบาทตามความสามารถของสมาชิกกลุ่ม ได้แก่ ผู้จัดการกลุ่ม ผู้ให้ข้อมูล ผู้บันทึกข้อมูล ผู้นำอภิปราย และผู้นำเสนอ นักเรียนแต่ละคนในกลุ่มจะช่วยกันสืบค้นข้อมูล ออกแบบการทดลองและทำการทดลองตามวัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีที่ตนเองได้รับ โดยสมาชิกแต่ละคนจะได้ทำการทดลองที่แตกต่างกัน เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนทุกคนได้ทำกิจกรรมเพื่อนำข้อมูลมาแลกเปลี่ยนกับสมาชิกกลุ่ม จากนั้นแต่ละคนบันทึกข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นข้อมูลและผลการทดลองลงในใบกิจกรรมที่อยู่ใน google document ของกลุ่ม โดยครูทำหน้าที่อำนวยความสะดวกโดยการเข้า google document และ google meet ของกลุ่ม ช่วยกระตุ้นการเรียนรู้ของกลุ่ม และตอบข้อซักถามที่นักเรียนสงสัย

ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) นักเรียนแต่ละคนนำผลการศึกษาและผลการทดลองที่ได้บันทึกไว้ใน google document ของกลุ่ม มาอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นร่วมกับสมาชิกในกลุ่มและสรุปองค์ความรู้ที่ได้ร่วมกันผ่านทาง google meet ของกลุ่ม จากนั้นนักเรียนทุกกลุ่มกลับเข้าสู่ google meet ของชั้นเรียนเพื่อนำเสนอผลการศึกษาและผลการทดลองแก่เพื่อนในชั้นเรียน ซึ่งครูจะสุ่มกลุ่มนำเสนอกลุ่มละ 1 ตัวอย่าง โดยครูทำหน้าที่อำนวยความสะดวกในการนำเสนอของนักเรียน เช่น นำเสนอ google document ที่บันทึกการทดลองของนักเรียนและอธิบายหลักการแนวคิดที่สำคัญเพิ่มเติมโดยใช้สื่อวิดีทัศน์ รูปภาพ เป็นต้น

ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) ครูนำเสนอสถานการณ์ใหม่ให้นักเรียนแต่ละคนนำแนวคิดเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้าที่ได้มาตอบคำถาม อภิปรายหาคำตอบร่วมกันผ่าน google meet ของกลุ่มและบันทึกลงใน google document ของกลุ่ม จากนั้นนักเรียนทุกกลุ่มกลับเข้าสู่ google meet ของชั้นเรียนเพื่อนำเสนอคำตอบร่วมกัน โดยครูสุ่มนำเสนอเพียง 1 กลุ่ม และอภิปรายร่วมกันเพื่อลงข้อสรุปที่ถูกต้อง

ขั้นประเมินความรู้ (Evaluation) นักเรียนแต่ละคนทบทวนสิ่งที่ได้เรียนรู้ และประเมินความรู้ของตนเองโดยการอภิปรายตอบคำถามผ่าน google meet ของชั้นเรียน หรือ Kahoot จากนั้นครูและนักเรียนเฉลยแบบทดสอบร่วมกันเพื่อตรวจสอบคำตอบที่ถูกต้อง

2. **แนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า** หมายถึง ความคิดที่แสดงออกถึงความเข้าใจในเรื่องเคมีไฟฟ้าที่มีต่อสิ่งหนึ่งสิ่งใด เช่น วัตถุ ปรากฏการณ์หรือเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งนักเรียนสามารถสรุปเป็นความหมายหรือคำจำกัดความของสิ่งนั้นโดยใช้ความรู้ เรื่องเคมีไฟฟ้า ซึ่งวัดได้จากแบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น (two tier diagnostic test) ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น สามารถตรวจให้คะแนนแต่ละข้อด้วยเกณฑ์ 0 – 4 คะแนนและแบ่งกลุ่มแนวคิดของนักเรียนเรียนได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ แนวคิดถูกต้อง แนวคิดถูกต้องบางส่วน แนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน แนวคิดคลาดเคลื่อน และไม่มีแนวคิด ตามแนวคิดของรันเนอร์ อับราฮัม กรีซบาวสกี และมาเรค (Renner, Abraham, Grzybowski, & Marek, 1990, p. 37) และไฮดาร์ (Haidar, 1997, p. 185)

3. **ทักษะการทำงานร่วมกัน** หมายถึง ความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่สมาชิกทุกคนในกลุ่มมีการวางแผนและกำหนดเป้าหมายร่วมกัน รวบรวมข้อมูล ความรู้ ทรัพยากรและความเชี่ยวชาญจากแหล่งต่าง ๆ เคารพและยอมรับฟังความคิดเห็นร่วมกัน สามารถจัดการความขัดแย้ง มีส่วนร่วมในการรับผิดชอบต่องานกลุ่ม และแบ่งหน้าที่ในการทำงานร่วมกันเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่วางไว้ โดยมี 3 องค์ประกอบ ได้แก่

1) การสร้างความเข้าใจร่วมกัน คือ นักเรียนสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือถ่ายทอดทัศนคติ สร้างความเข้าใจร่วมกันเพื่อประโยชน์หรือเป้าหมายของการทำงาน นำข้อมูล ความรู้ หรือทรัพยากรที่แตกต่างกันมารวมกันและระบุวิธีการใช้ทรัพยากรที่มีร่วมกันอย่างเหมาะสม กำหนดบทบาทและแบ่งงานที่เหมาะสมกับความสามารถหรือความเชี่ยวชาญของสมาชิกแต่ละคนในกลุ่ม

2) การมีส่วนร่วม คือ นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงานร่วมกันของกลุ่ม ยอมรับการมีส่วนร่วมของผู้อื่นหรือเข้าใจมุมมองของผู้อื่นในการทำงานหรือแก้ปัญหา มีส่วนร่วมในการรับผิดชอบต่องานกลุ่ม เข้าใจบทบาทของตนเองและบทบาทของผู้อื่น

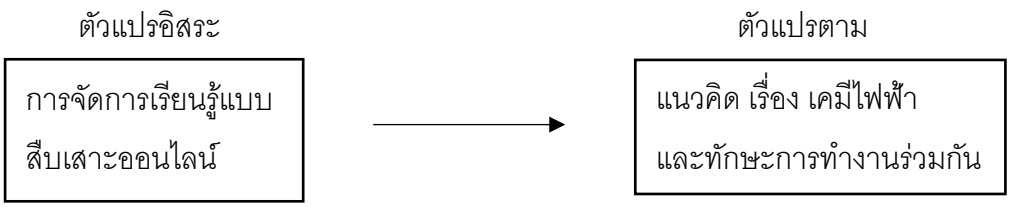
3) การกำกับการทำงานของกลุ่ม คือ นักเรียนประเมินตนเองและตรวจสอบการมีส่วนร่วมในการทำงานของตนเองเทียบกับความก้าวหน้าของงานกลุ่ม จัดการกับความคิดเห็นที่แตกต่างหรือความขัดแย้งที่เกิดขึ้นได้ ติดตามความคืบหน้าของงาน คอยกระตุ้นเตือนให้ผู้อื่นสื่อสารและปฏิบัติตามหน้าที่ตามความรับผิดชอบของตน และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมและการมีส่วนร่วมของตนเองให้เหมาะสมกับความต้องการของสมาชิกกลุ่ม

วัดได้จากแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกันโดยผู้สอนเป็นผู้ประเมิน ซึ่งปรับมาจาก สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) โดยมีรายละเอียดลักษณะของพฤติกรรมในแต่ละด้านครอบคลุมองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน 3 ด้าน 10 ข้อ และมีเกณฑ์การประเมิน 3 ระดับ ได้แก่ ระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ

กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากการศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ เพื่อพัฒนาแนวคิดของนักเรียนจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า นักเรียนที่เรียนผ่านการเรียนรู้แบบสืบเสาะมีแนวคิดหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 4) นอกจากนี้บางงานวิจัยระบุว่านักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงแนวคิดในภาพรวมหลังเรียนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 60 (ฑิฆัมพร โตสำลี, 2553, น. 62; รุ่งนภา เอียงอุบล, 2555, น. 79) และจากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันที่สอนด้วยการสืบเสาะแบบเน้นกระบวนการพบว่า นักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันในระดับดีเยี่ยม อยู่ในร้อยละ 93.58 (นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ, 2563, น. 99) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะสามารถพัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกันได้ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาการพัฒนาแนวคิดเรื่องเคมีไฟฟ้า และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น (5E) ตามแนวทางของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560, น. 55) เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับสถานการณ์ในปัจจุบันที่ผู้วิจัยจะต้องจัดการเรียนการสอนในรูปแบบออนไลน์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงปรับรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะจากในห้องเรียนปกติ เป็นการสอนแบบออนไลน์ โดยเรียกว่า การจัดการเรียนรู้สืบเสาะแบบออนไลน์ จึงสามารถสรุปเป็นกรอบแนวคิดการ

วิจัยได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์สามารถพัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกันได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย

สมมุติฐานในการวิจัย

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนแบบสืบเสาะออนไลน์มีแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60

2. จำนวนนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังเรียน เป็นแนวคิดถูกต้องบางส่วนขึ้นไปในทุกแนวคิดย่อย ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

3 จำนวนนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับสูง ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

4. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีค่าขนาดอิทธิพลต่อทักษะการทำงานร่วมกันหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในระดับสูง

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่อง ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

1. แนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า
    1.1 ความหมายของแนวคิด
    1.2 ความหมายของแนวคิดคลาดเคลื่อน
    1.3 การจัดกลุ่มแนวคิด
    1.4 แนวคิดและแนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียน เรื่อง เคมีไฟฟ้า
    1.5 การวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า
    1.6 แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า
2. ทักษะการทำงานร่วมกัน
    2.1 ความหมายของทักษะการทำงานร่วมกัน
    2.2 ความสำคัญของทักษะการทำงานร่วมกัน
    2.3 องค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน
    2.4 การวัดและประเมินผลทักษะการทำงานร่วมกัน
    2.5 แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาทักษะการทำงานร่วมกัน
3. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์
    3.1 ความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ
    3.2 เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ
    3.3 ลักษณะการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ
    3.4 ระดับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ
    3.5 รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ
    3.6 รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่พัฒนาแนวคิด
    3.7 ข้อดี-ข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ
    3.8 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์

1. แนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

1.1 ความหมายของแนวคิด

แนวคิด ตามราชบัณฑิตยสถาน (2536, น. 37) ตรงกับคำภาษาอังกฤษว่า “Concept” ซึ่งในภาษาไทยมีการใช้คำอื่นที่มีความหมายเดียวกัน เช่น มโนมติ (Concept) ความคิดรวบยอด สังกัป มโนทัศน์ หรือมโนภาพ (ภพ เลาหไพบูลย์, 2537, น. 3) ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้คำว่า “แนวคิด” โดยนักการศึกษามีการให้ความหมายของแนวคิดไว้แตกต่างกัน 2 กลุ่ม ดังนี้

แนวคิด หมายถึง ความรู้ความเข้าใจของบุคคลเกี่ยวกับสิ่งหนึ่งสิ่งใด เช่น สิ่งมีชีวิต วัตถุ สิ่งของ เหตุการณ์ เป็นต้น ซึ่งบุคคลสามารถสรุปลักษณะที่เหมือนกันหรือแยะแยะลักษณะที่แตกต่างของสิ่งนั้นได้ เพื่อให้ได้ข้อสรุปหรือคำจัดความของสิ่งนั้น (จิตตมาส สุขแสวง, 2549, น. 7; ชัยยันต์ ศรีเชียงหา, 2554, น. 26; ชื่นจิต แสนสุด, 2553, น. 10) แนวคิด มีลักษณะเป็นคำหรือกลุ่มคำไม่ใช่ความรู้ที่เป็นข้อเท็จจริงแต่เป็นความรู้ ความเข้าใจในภาพรวมขององค์ความรู้ ข้อเท็จจริง โดยมีการอธิบาย สรุป หรือใช้ตัวอย่างประกอบเพื่อแสดงความเข้าใจในเรื่องนั้นได้โดยอาศัยความรู้ ข้อเท็จจริงและประสบการณ์ทั้งทางตรงและทางอ้อม (นาตยา ปิลันธนานนท์, 2542, น. 5-8)

จากความหมายของแนวคิดข้างต้น สรุปว่า แนวคิด หมายถึง ความคิดที่แสดงออกถึงความเข้าใจที่มีต่อสิ่งหนึ่งสิ่งใด เช่น วัตถุ ปรากฏการณ์หรือเหตุการณ์ต่าง ๆ โดยอาศัยการสังเกต ประสบการณ์ ซึ่งบุคคลนั้นสามารถแยกแยะลักษณะร่วมหรือลักษณะสำคัญแล้วสรุปเป็นความหมายหรือคำจำกัดความของสิ่งนั้น

1.2 ความหมายของแนวคิดคลาดเคลื่อน

นักการศึกษาในต่างประเทศได้ให้คำที่แสดงถึงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนไว้แตกต่างกัน คือ Misconception (Griffiths & Preston, 1992, p. 611; Nakhleh, 1992, p. 191) alternative concepts (Fisher, 1985, น. 53) alternative frameworks (Driver & Easley, 1978, น. 62) children’ s science (Osborne, Bell, & Gilbert, 1983, p. 1) โดยความหมายของแนวคิดคลาดเคลื่อน คือ คำอธิบายแนวความคิดที่แสดงถึงความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องคลุมเครือ มีความหมายผิดไปจากแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับ (Fisher, 1985, p. 53; Griffiths & Preston, 1992, p. 611; ชัยยันต์ ศรีเชียงหา, 2554, น. 27; วรัญตี การะเกตุ, 2555, น. 28) ซึ่ง ปีเตอร์สัน ธรีกัสท์ และการ์เน็ท (Peterson, Treagust, & Garnett, 1989, p. 301) ได้ให้ความหมายเพิ่มเติมว่า แนวคิด

คลาดเคลื่อนเป็นแนวคิดที่แตกต่างไปจากแนวคิดที่ได้รับการยอมรับและความมุ่งหมายของวิทยาศาสตร์ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสอน

จากความหมายข้างต้น สรุปได้ว่า แนวคิดคลาดเคลื่อน หมายถึง ความรู้ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องคลุมเครือ หรือแตกต่างไปจากแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับ

1.3 การจัดกลุ่มแนวคิด

จากการศึกษางานวิจัย มีนักการศึกษาหลายท่านได้จัดกลุ่มแนวคิดไว้แตกต่างกัน โดยมีการแบ่งกลุ่มแนวคิดออกเป็น 3 4 5 และ 6 กลุ่ม ดังนี้

คอปแลนด์ (Copeland, 1984, p. 404) ได้จัดกลุ่มแนวคิดออกเป็น 3 กลุ่ม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กลุ่มที่ 1 แนวคิดถูกต้อง (Sound Understanding)

กลุ่มที่ 2 แนวคิดถูกต้องบางส่วน (Partial Understanding)

กลุ่มที่ 3 ไม่มีแนวคิด (No Understanding)

เชฟเปอร์ดและรันเนอร์ (Shepherd & Renner, 1982, p. 651) จัดกลุ่มแนวคิดออกเป็น 4 กลุ่ม ซึ่งเพิ่มแนวคิดคลาดเคลื่อน (Specific Misunderstanding) เข้ามาและเปลี่ยนกลุ่มไม่มีแนวคิด (No Understanding) เป็นกลุ่มไม่มีคำตอบ (No Response) ดังตาราง 1

ตาราง 1 การจัดกลุ่มแนวคิด 4 กลุ่ม

ระดับความเข้าใจ	เกณฑ์ที่ใช้
แนวคิดถูกต้อง (Sound Understanding)	คำตอบของนักเรียนแสดงถึงความเข้าใจทั้งหมดของแนวคิด
แนวคิดถูกต้องบางส่วน (Partial Understanding)	คำตอบของนักเรียนแสดงออกถึงแนวคิดที่ถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบแต่ไม่สมบูรณ์
แนวคิดคลาดเคลื่อน (Specific Misunderstanding)	คำตอบของนักเรียนแสดงออกถึงแนวคิดไม่ถูกต้อง
ไม่มีคำตอบ (No Response)	ตอบทวนคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม หรือตอบว่าไม่รู้

ที่มา : Shepherd and Renner (1982, p. 651) และ Marek (1986, p. 29)

ส่วน รันเนอร์และคนอื่น ๆ (Renner et al., 1990, p. 37) และไฮดาร์ (Haidar, 1997, p. 185) แบ่งกลุ่มแนวคิดออกเป็น 5 กลุ่ม โดยมีความคล้ายกับการแบ่งเป็น 3 กลุ่ม แต่เพิ่มแนวคิดคลาดเคลื่อน (Specific Misunderstanding) เช่นเดียวกับการแบ่ง 4 กลุ่ม และยังเพิ่มแนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding is a Specific Misconception) เข้ามา ดังตาราง 2

ตาราง 2 กลุ่มแนวคิด 5 แนวคิด

ระดับความเข้าใจ	เกณฑ์ที่ใช้
แนวคิดถูกต้อง (Sound Understanding)	คำตอบแสดงถึงความเข้าใจทั้งหมดของแนวคิด
แนวคิดถูกต้องบางส่วน (Partial Understanding)	คำตอบแสดงออกถึงแนวคิดที่ถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบแต่ไม่สมบูรณ์
แนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding is a Specific Misunderstanding)	คำตอบมีความเข้าใจแนวคิดบางส่วนแต่ยังมีความคลาดเคลื่อนบางส่วน
แนวคิดคลาดเคลื่อน (Specific Misunderstanding)	คำตอบแสดงออกถึงแนวคิดที่ไม่ถูกต้อง
ไม่มีแนวคิด (No Response)	นักเรียนไม่เข้าใจแนวคิด

ที่มา: Renner et al. (1990, p. 37) และ Haidar (1997, p. 185)

อับราฮัม กรีซบาวสกี รันเนอร์ และมาเรค (Abraham, Grzybowski, Renner, & Marek, 1992, p. 112) จัดแนวคิดออกเป็น 6 กลุ่ม คือ คล้ายกับการจัดกลุ่มแนวคิด 5 กลุ่ม โดยเพิ่มกลุ่มไม่มีคำตอบ (No Response) เข้ามา ดังตาราง 3

ตาราง 3 การจัดกลุ่มแนวคิด 6 กลุ่ม

ระดับความเข้าใจ	เกณฑ์ที่ใช้
แนวคิดถูกต้อง (Sound Understanding)	คำตอบแสดงถึงความเข้าใจทั้งหมดของแนวคิด
แนวคิดถูกต้องบางส่วน (Partial Understanding)	คำตอบแสดงออกถึงแนวคิดที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์
แนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding is a Specific Misunderstanding)	คำตอบมีความเข้าใจแนวคิดบางส่วนแต่ยังมีความคลาดเคลื่อนบางส่วน
แนวคิดคลาดเคลื่อน (Specific Misunderstanding)	คำตอบแสดงออกถึงแนวคิดที่ไม่ถูกต้อง

ตาราง 3 การจัดกลุ่มแนวคิด 6 กลุ่ม (ต่อ)

ระดับความเข้าใจ	เกณฑ์ที่ใช้
ไม่มีแนวคิด (No Response)	นักเรียนไม่เข้าใจแนวคิด
ไม่มีคำตอบ (No Response)	ตอบทวนคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม หรือตอบว่าไม่รู้

ที่มา: Abraham et al. (1992, p. 112)

จากการจัดกลุ่มแนวคิดทั้ง 4 รูปแบบ คือ 3 4 5 และ 6 กลุ่ม พบว่ามีบางองค์ประกอบเหมือนกันและบางองค์ประกอบแตกต่างกัน ซึ่ง สามารถแสดงได้ดังตาราง 4

ตาราง 4 การเปรียบเทียบการจัดกลุ่มแนวคิด

การจัดกลุ่มแนวคิด	Copeland (1984) (1984) 3 กลุ่ม	Marek (1986) (1986) 4 กลุ่ม	Shepherd and Renner (1982) (1982) 4 กลุ่ม	Renner et al. (1990) 5 กลุ่ม	Haidar (1997) 5 กลุ่ม	Abraham et al. (1992) 6 กลุ่ม
แนวคิดถูกต้อง	✓	✓	✓	✓	✓	✓
แนวคิดถูกต้องบางส่วน	✓	✓	✓	✓	✓	✓
แนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน	-	-	-	✓	✓	✓
แนวคิดคลาดเคลื่อน	-	✓	✓	✓	✓	✓
ไม่มีแนวคิด	✓	-	-	✓	✓	✓
ไม่มีคำตอบ	-	✓	✓	-	-	✓

- คือ ไม่พบการจัดกลุ่ม

จากตาราง 4 การเปรียบเทียบการจัดกลุ่มแนวคิดของนักการศึกษาข้างต้น ผู้วิจัยได้จัดกลุ่มแนวคิดออกเป็น 5 กลุ่ม ตามแนวคิดของ ไฮดาร์ รันเนอร์และคนอื่น ๆ (Haidar, 1997, p. 185; Renner et al., 1990, p. 37) เนื่องจากการจัดกลุ่มแนวคิดดังกล่าวมีความละเอียด มีเกณฑ์การจัดกลุ่มที่ชัดเจน ง่ายต่อการจัดกลุ่มแนวคิดของนักเรียน สอดคล้องกับงานวิจัยของ ภาธร พงศ์

ไพจิตร (2556, น. 27) สุวนิตย์ บุญเพ็ง (2558, น. 18) และวิไลพร แซ่ลิ้ม (2558, น. 24-25) ระบุว่า ในกลุ่มไม่มีแนวคิด หรือ กลุ่มไม่มีคำตอบ นั้นค่อนข้างใกล้เคียงกัน เพราะการที่นักเรียนตอบทวนคำถาม ไม่มีคำตอบ หรือ ตอบว่าไม่ทราบนั้น หมายความว่านักเรียนไม่มีแนวคิดในเรื่องนั้น ดังนั้น ในกลุ่มไม่มีคำตอบและกลุ่มไม่มีแนวคิด ควรจะจัดเป็นกลุ่มเดียวกัน ดังนั้นการแบ่งกลุ่มแนวคิดที่สามารถแบ่งได้มากที่สุด ควรจะแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ตามแนวคิดของ ไฮดาร์ รันเนอร์และคนอื่น ๆ (Haidar, 1997, p. 185; Renner et al., 1990, น. 37) ซึ่งประกอบด้วย 1) แนวคิดถูกต้อง 2) แนวคิดถูกต้องบางส่วน 3) แนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน 4) แนวคิดคลาดเคลื่อน และ 5) ไม่มีแนวคิด

1.4 แนวคิดและแนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียน เรื่อง เคมีไฟฟ้า

1.4.1 แนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

เนื้อหาเรื่อง เคมีไฟฟ้า จัดอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในสาระเคมี ซึ่งมีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมตามตัวชี้วัดและสาระแกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ทั้งหมด 9 ข้อ ดังตาราง 5 ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เรื่อง เคมีไฟฟ้า ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ตาราง 5 ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เรื่อง เคมีไฟฟ้า ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม
1. คำเลขออกซิเดชันและระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์	เคมีไฟฟ้าเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงระหว่างพลังงานไฟฟ้าและการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน ซึ่งเป็นเลขที่แสดงประจุไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าสมมติของอะตอมธาตุ เรียกปฏิกิริยาชนิดนี้ว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์
2. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์	ปฏิกิริยารีดอกซ์มีทั้งครึ่งปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน โดยตัวรีดิวซ์เป็นสารที่ให้อิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ส่วนตัวออกซิไดส์เป็นสารที่รับอิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันลดลง

ตาราง 5 ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เรื่อง เคมีไฟฟ้า ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (ต่อ)

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม
3. ทดลองและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์	การพิจารณาความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือ ตัวออกซิไดส์จากผลการทดลองของปฏิกิริยารีดอกซ์
4. ดุลสมการรีดอกซ์ด้วยการใช้เลขออกซิเดชันและวิธีครึ่งปฏิกิริยา	ปฏิกิริยารีดอกซ์เขียนแทนได้ด้วยสมการรีดอกซ์ซึ่งการดุลสมการรีดอกซ์ทำได้โดยการใช้เลขออกซิเดชันและวิธีครึ่งปฏิกิริยา
5. ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า และเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์	เซลล์เคมีไฟฟ้าประกอบด้วยแอโนด แคโทด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งอาจเชื่อมต่อกันด้วยสะพานเกลือ โดยที่แอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากแอโนดไปแคโทด เซลล์เคมีไฟฟ้าสามารถเขียนแสดงได้ด้วยแผนภาพเซลล์
6. คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าและปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น	ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์คำนวณได้จากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ถ้าค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นบวก แสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้นเองได้ ซึ่งทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า เรียกว่า เซลล์กัลวานิก ถ้าค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์เป็นลบ แสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ไม่สามารถเกิดเองได้ ต้องให้กระแสไฟฟ้าเข้าไปจึงจะเกิดปฏิกิริยา เรียกว่า เซลล์อิเล็กโทรลิติก
7. อธิบายหลักการทำงาน และเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาของเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ	เซลล์เคมีไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่มีทั้งเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ โดยภายในเซลล์ปฐมภูมิไม่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับด้วยการประจุไฟ จึงไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ส่วนภายในเซลล์ทุติยภูมิสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ด้วยการประจุไฟ จึงนำกลับมาใช้ได้อีก
8. ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า และอธิบายหลักการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์และการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ	เซลล์อิเล็กโทรลิติกสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งในชีวิตประจำวัน และในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น การชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์การป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ

ตาราง 5 ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เรื่อง เคมีไฟฟ้า ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (ต่อ)

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม
9. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน	ปฏิกิริยาเคมีหลายปฏิกิริยาที่พบในชีวิตประจำวันเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์เช่น ปฏิกิริยาการเผาไหม้ ปฏิกิริยาในเซลล์เคมีไฟฟ้า ซึ่งความรู้เรื่องเซลล์เคมีไฟฟ้าและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้า นำไปสู่นวัตกรรมด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

จากตาราง 5 ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม หน่วยการเรียนรู้เคมีไฟฟ้า มีขอบเขตเนื้อหาครอบคลุม 5 เรื่องตามหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2562, น. 79-154) ได้แก่ เลขออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดอกซ์ การดุลสมการรีดอกซ์ เซลล์เคมีไฟฟ้า ประโยชน์ของเซลล์เคมีไฟฟ้า และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเคมีไฟฟ้า ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาแนวคิดของนักเรียน 7 เนื้อหา ได้แก่ ปฏิกิริยารีดอกซ์ ความสามารถในการเป็นรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของโลหะและไอออนของโลหะ เซลล์กัลวานิก การชุบโลหะ การแยกสารที่หลอมเหลวด้วยไฟฟ้า การแยกสารละลายด้วยไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์โดยใช้เซลล์อิเล็กโทรลิติกซึ่งเป็นแนวคิดหลักในเรื่องเคมีไฟฟ้า ครอบคลุม 5 ผลการเรียนรู้ ดังนี้

1) คำนวณเลขออกซิเดชัน และระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

2) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์

3) ทดลอง และเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์

4) ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า และเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์

5) ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า และอธิบายหลักการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์และการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ

จากผลการเรียนรู้ 5 ผลการเรียนรู้ข้างต้นครอบคลุมแนวคิด 18 แนวคิดดังนี้

1) ปฏิกิริยารีดอกซ์ประกอบด้วยครึ่งปฏิกิริยารีดักชันและครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2) ปฏิกิริยารีดักชันคือปฏิกิริยาที่ตัวออกซิไดส์รับอิเล็กตรอนทำให้มีเลขออกซิเดชันลดลง

3) ปฏิกิริยาออกซิเดชันคือปฏิกิริยาที่ตัวรีดิวซ์ให้อิเล็กตรอนทำให้มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

4) ตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

5) ตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

6) ขั้วไฟฟ้าประกอบด้วยแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันและแอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

7) สะพานเกลือทำหน้าที่รักษาสมดุลในเซลล์เคมีไฟฟ้าโดยให้ไอออนบวกกับขั้วแคโทดและให้ไอออนลบกับขั้วแอโนด

8) เซลล์กัลวานิกประกอบด้วยขั้วแคโทดรับอิเล็กตรอนจากแอโนดและขั้วแอโนดให้อิเล็กตรอนกับแคโทด

9) แผนภาพเซลล์มีหลักการเขียนครึ่งเซลล์ออกซิเดชันไว้ทางด้านซ้าย เขียนแทนด้วย $A(s)|A^{+}(aq)$

- ครึ่งเซลลรีดักชันอยู่ด้านขวาเขียนแทนด้วย $B^{+}(aq)|B(s)$
- สะพานเกลือคั่นระหว่างสองครึ่งเซลล์เขียนแทนด้วย ||
- เขียนรวมแผนภาพเซลล์ได้เป็น $A(s)|A^{+}(aq)||\ B^{+}(aq)|B(s)$

หรือ $Pt(s)|A^{+}(aq),A^{2+}(aq)||\ B^{+}(aq)|B(s)$

10) เซลล์อิเล็กโทรลิติกประกอบด้วยขั้วแคโทดต่อกับขั้วลบและรับอิเล็กตรอนจากแบตเตอรี่และขั้วแอโนดต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่และให้อิเล็กตรอน

11) หลักการชุบโลหะสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต้องมีไอออนของโลหะที่ใช้ชุบ

12) หลักการชุบโลหะต่อโลหะที่ต้องการชุบเข้าขั้วลบของแบตเตอรี่และต่อโลหะที่ใช้ชุบเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่

13) การแยกสลายสารที่หลอมเหลวด้วยไฟฟ้ามีหลักการ คือ ไอออนลบเคลื่อนที่ไปให้อิเล็กตรอนที่แอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และไอออนบวกเคลื่อนที่ไปรับอิเล็กตรอนที่แคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

14) การแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้ามีหลักการคือ น้ำและไอออนลบเคลื่อนที่มาให้อิเล็กตรอนที่แอโนด สารที่มีค่า E^0 น้อยกว่าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

15) การแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้ามีหลักการ คือ น้ำและไอออนบวกเคลื่อนที่มารับอิเล็กตรอน สารที่มีค่า E^0 มากกว่าเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

16) การทำโลหะให้บริสุทธิ์มีหลักการคือ ต่อโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์เข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ ต่อโลหะที่บริสุทธิ์เข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่

17) การทำโลหะให้บริสุทธิ์มีหลักการคือ สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีไอออนเดียวกับไอออนของโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์

18) โลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์มีโลหะอื่นเจือปน โลหะที่มีค่า E^0 ต่ำกว่าจะกลายเป็นไอออนบวกอยู่ในสารละลายและโลหะที่มีค่า E^0 สูงกว่าจะกลายเป็นตะกอนอยู่ในสารละลาย

1.4.2 แนวคิดคลาดเคลื่อน เรื่อง เคมีไฟฟ้า

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดของนักเรียนในเรื่อง เคมีไฟฟ้า พบว่า มีงานวิจัยจำนวนไม่มากที่ได้กล่าวถึงแนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียนในเรื่องนี้

ธีรพงษ์ แสงสิทธิ์ (2555, น. 99-100) พบว่านักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนในหลักการเกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์กัลวานิก หลักการเกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์อิเล็กโทรลิติก และการวิเคราะห์ความเหมือนและความแตกต่างระหว่างเซลล์กัลวานิกกับเซลล์อิเล็กโทรลิติก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธิชานันท์ บุตรวิเศษ (2555, น. 82) และ สนทยา บ้งพรม (2558, น. 36) โดยสนทยา บ้งพรม ระบุว่า นักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนมากที่สุดในเรื่องเซลล์กัลวานิกและเซลล์ผลไม้ คิดเป็นร้อยละ 52.35 และยังมีแนวคิดคลาดเคลื่อนในเรื่องอื่น ๆ ได้แก่ การชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 47.41 และการป้องกันการผุกร่อนด้วยวิธีแคโทดิก คิดเป็นร้อยละ 43.33

นอกจากนี้ในงานวิจัยของ แซนเกอร์และกรีนบาวพ์ (Sanger & Greenbowe, 1997, p. 377) และศักดิ์ศรี สุภาษร (Supasorn, 2015, p. 13) ได้ระบุแนวคิดคลาดเคลื่อนในเรื่องไฟฟ้าเคมีของนักเรียนไว้ ดังนี้

- อิเล็กตรอนไหลผ่านสะพานเกลือและสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้ครบวงจร (Sanger & Greenbowe, 1997, p. 377)

- ไอออนบวกจะเคลื่อนที่ผ่านสะพานเกลือจากครึ่งเซลล์รีดักชันไปยังครึ่งเซลล์ออกซิเดชัน ในขณะที่ไอออนลบจะเคลื่อนที่ผ่านครึ่งเซลล์ออกซิเดชันมายังครึ่งเซลล์รีดักชัน ทำให้จำนวนไอออนบวกของโลหะเพิ่มขึ้นในครึ่งเซลล์รีดักชัน ในขณะที่ครึ่งเซลล์ออกซิเดชันลดลง (Supasorn, 2015, p. 13)

- เครื่องหมายบวกและลบที่กำหนดให้กับขั้วไฟฟ้าแสดงถึงประจุไฟฟ้า (Sanger & Greenbowe, 1997, p. 377)

- น้ำไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาอิเล็กโทรลิซิสของสารละลาย (Sanger & Greenbowe, 1997, p. 377)

- ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์เป็นค่าสัมบูรณ์และสามารถใช้เพื่อทำนายการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองได้ของแต่ละครึ่งเซลล์ (Sanger & Greenbowe, 1997, p. 377)

- ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออน (Sanger & Greenbowe, 1997, p. 377)

- จำนวนอะตอมที่เป็นกลางเพิ่มขึ้นในแอโนด ในขณะที่แคโทดลดลง (Supasorn, 2015, p. 13)

1.5 การวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

การวัดแนวคิดของนักเรียนช่วยให้ครูทราบแนวคิดเดิมของนักเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้ และแนวคิดของนักเรียนที่เกิดขึ้นหลังการจัดการเรียนรู้ ซึ่งช่วยให้ผู้สอนออกแบบการจัดการเรียนรู้เหมาะสมกับนักเรียนได้ (วิไลพร แซ่ลิ้ม, 2558, น. 19; โสภา อรุณใหม่, 2557, น. 10) การวัดแนวคิดที่พบมากในงานวิจัยมีหลายวิธี เช่น แบบวัดชนิดคำถามปลายเปิด แบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น แผนผังแนวคิด การสัมภาษณ์ เป็นต้น

1.5.1 แบบวัดแนวคิดชนิดคำถามปลายเปิด (Open-ended question)

แบบวัดแนวคิดชนิดคำถามปลายเปิด (Open-ended question) หรือแบบวัดอัตนัย มีลักษณะสำคัญ คือ นักเรียนได้แสดงความคิดอย่างอิสระตามความคิดและความเข้าใจของนักเรียนเอง เป็นการวัดความสามารถของนักเรียนในการสร้างแนวคิด รวบรวมแนวความคิดและเขียนแสดงออกของความคิดนั้น (ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น. 326-327) นอกจากนี้ยังสามารถสร้างข้อคำถามได้ง่ายและใช้เวลาน้อย (ศรวณีย์ ลาเต, 2553, น. 25) แต่แบบวัดนี้มีข้อจำกัดคือ นักเรียนใช้เวลาในการคิดและเขียนนาน อาจได้คำตอบไม่ตรงประเด็น ได้ข้อมูลที่หลากหลาย (ผ่องพรรณ ตรัยมงคลกูล, 2544, อ้างถึงในศรวณีย์ ลาเต, 2553, น. 25) นักเรียนอาจไม่อยากตอบ

คำถามยาว ๆ จึงควรแบ่งคำถามออกเป็นคำถามย่อย ๆ ไม่ควรถามคำถามที่กว้างเกินไป (วิไลพร แซ่ลิ้ม, 2558, น. 21) นอกจากนี้การตรวจให้คะแนนของแบบวัดนี้ยังไม่มีความเป็นธรรมและใช้เวลาในการตรวจค่อนข้างมาก (นันทยา ศรีขาว, 2556, น. 18) แบบวัดแนวคิดชนิดคำถามปลายเปิดได้ถูกนำไปใช้ในการวัดแนวคิดทางเคมีหลายงานวิจัย ตัวอย่างเช่น พรรณี อุดมโภชน์ (2554, น. 52) ประภัทสร บุญทวีกุลสวัสดิ์ (2553, น. 22) ฑิฆัมพร โตสำลี (2553, น. 30) ชัยยันต์ ศรีเชียงหา (2554, น. 59) และ ธีรพงษ์ แสงสิทธิ์ (2555, น. 40) ซึ่งธีรพงษ์ แสงสิทธ์ ได้ใช้แบบวัดแนวคิดชนิดคำถามปลายเปิด เพื่อศึกษาระดับความเข้าใจและลักษณะตัวแทนความคิด เรื่องเซลล์เคมีฟ้า โดยให้นักเรียนระบุคำตอบด้วยการเขียนอธิบายเหตุผลตามความเข้าใจของตนเอง

ตัวอย่างแบบวัดแนวคิดชนิดคำถามปลายเปิด (ธีรพงษ์ แสงสิทธิ์, 2555, น. 135)

- ให้นักเรียนอธิบายความเข้าใจเกี่ยวกับความหมาย องค์ประกอบ หลักการเกิดปฏิกิริยาภายในของเซลล์เคมีไฟฟ้าและการนำไปใช้ประโยชน์ของเซลล์เคมีไฟฟ้าแต่ละชนิด โดยให้นักเรียนเขียนข้อความ สี รูปภาพ ตาราง หรือแผนผัง เพื่ออธิบายคำตอบ ตามประเด็นที่กำหนด

1. เซลล์เคมีไฟฟ้า

1.1 ความหมาย	การจำแนกประเภท

1.5.2 แบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น (two tier diagnostic test)

แบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น (two tier diagnostic test) ประกอบด้วย 2 ส่วนดังนี้ ส่วนที่ 1 เป็นแบบเลือกตอบหลายตัวเลือก ส่วนที่ 2 เป็นส่วนอธิบายเหตุผลที่เลือกคำตอบส่วนที่ 1 โดยตัวเลือกในส่วนที่ 2 มาจากการให้นักเรียนตอบแบบวัดแนวคิดแบบคำถามปลายเปิด แล้วนำคำตอบที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนมาเป็นตัวเลือกที่ไม่ถูกต้องในส่วนที่ 2 (Treagust, 1988, p. 163) แบบวัดนี้มีข้อดีคือ สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ง่าย นักเรียนสามารถตอบได้ง่ายกว่าแบบวัดคำถามปลายเปิด (วิไลพร แซ่ลิ้ม, 2558, น. 22) ข้อจำกัดของแบบวัดนี้คือ การสร้างค่อนข้างยาก การสร้างคำตอบที่เป็นตัวลวงอาจสร้างจากแนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียนจากเอกสารงานวิจัยที่

เกี่ยวข้องหรือจากการสำรวจด้วยแบบวัดแนวคิดชนิดคำถามปลายเปิด (ขวัญฤทัย เที่ยงจันทราทิพย์, 2553, น. 14)

ทั้งนี้มีงานวิจัยจำนวนมากได้ใช้แบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้นใช้ในการสำรวจแนวคิดทางเคมี เช่น (วิไลพร แซ่ลิ้ม, 2558, น. 35) ได้ใช้แบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น เรื่อง เคมีพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต โดยส่วนแรกเป็นตัวเลือกคำตอบ และส่วนที่ 2 ให้นักเรียนเขียนอธิบายเหตุผลด้วยตนเอง เช่นเดียวกับ จุฑารัตน์ แตงอ่อน (2554, น. 43) อรวรรณ จันทร์ฟู (2554, น. 31) ธิชานันท์ บุตรวิเศษ (2555, น. 36) รุ่งนภา เอียงอุบล (2555, น. 38) นฤดล บรรจง (2557, น. 31) สนทยา บ้งพรม (2558, น. 36) และ ศักดิ์ศรี สุภาษร (Supasorn (2015, p. 4) ได้ใช้แบบวัดที่ประกอบด้วย 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นคำถามเกี่ยวกับเนื้อหาความรู้ซึ่งมีตัวเลือก และส่วนหลังเป็นเหตุผลอธิบายในการเลือกคำตอบโดยให้นักเรียนอธิบายอย่างอิสระ และให้นักเรียนใช้ภาษาของตนเองอธิบายในสิ่งที่นักเรียนเลือกในข้อนั้น ๆ สำหรับการวัดแนวคิดเรื่องไฟฟ้าเคมีมีงานวิจัยของ ธิชานันท์ บุตรวิเศษ (2555, น. 36) นฤดล บรรจง (2557, น. 31) สนทยา บ้งพรม (2558, น. 36) และ ศักดิ์ศรี สุภาษร (Supasorn, 2015, p. 4) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

- ธิชานันท์ บุตรวิเศษ (2555, น. 92) ได้ใช้แบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ซึ่งเป็นปรนัย และเขียนให้อธิบายเหตุผลเพิ่มเติม จำนวน 15 ข้อ ดังตัวอย่าง

คำถาม: ข้อความที่เกี่ยวกับเซลล์กัลวานิกต่อไปนี้ ข้อใดไม่ถูกต้อง

ก. ปฏิกิริยารีดักชันเกิดที่แคโทด

ข. แคโทดเป็นขั้วบวกและแอโนดเป็นขั้วลบ

ค. พลังงานไฟฟ้าถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี

ง. อิเล็กตรอนไหลผ่านจากวงจรภายนอกจากขั้วลบไปยังขั้วบวก

เหตุผล.....

- นฤดล บรรจง (2557, น. 86) ได้ใช้แบบวัดแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า ชนิดเลือกตอบแบบ 4 ตัวเลือก พร้อมให้เหตุผลในการเลือกตอบ จำนวน 15 ข้อ ดังตัวอย่าง

คำถาม: ปฏิกิริยาเคมีในข้อใดต่อไปนี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์อย่างแน่นอน

ก. เมื่อผสมสารละลายสองชนิดที่มีตะกอนเกิดขึ้น

ข. เมื่อกรดซัลฟิวริกแตกตัวเป็นไอออนในน้ำ

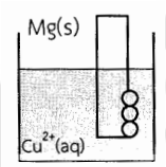
ค. เมื่อกรดซัลฟิวริกทำปฏิกิริยาสะเทินกับโซเดียมไฮดรอกไซด์

ง. เมื่อสารประกอบบางชนิดทำปฏิกิริยากับกรดแล้วมีแก๊สคลอรีนเกิดขึ้น

ตอบข้อ.....เพราะ.....

- สนทยา บ้งพรม (2558, น. 126) ได้ใช้แบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้นในการวัดแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า โดยขั้นที่หนึ่งเป็นแบบปรนัย 3 และ 4 ตัวเลือก ขั้นที่ 2 เป็นการให้เหตุผลแบบเขียนตอบและแบบปรนัย 3 และ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ดังตัวอย่าง

1. คำถาม: เมื่อจุ่มโลหะ Mg ลงในสารละลายที่มี Cu^{2+} ดังรูป ไอออน Cu^{2+} ในสารละลายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร



ก. เพิ่มขึ้น

ข. ลดลง

ค. เท่าเดิม

เหตุผลเพราะ

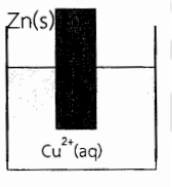
ก. Cu^{2+} เสียอิเล็กตรอนกลายเป็น Cu

ข. Cu ให้อิเล็กตรอนกลายเป็น Cu^{2+}

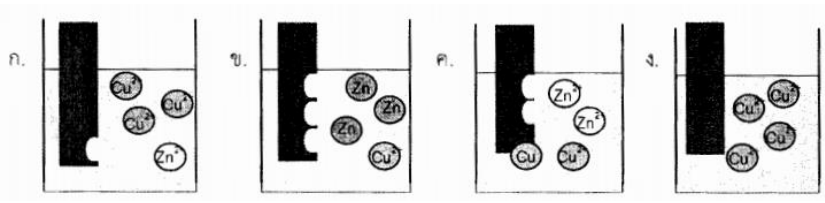
ค. Cu^{2+} รับอิเล็กตรอนกลายเป็น Cu

ง. Cu และ Cu^{2+} มีการให้และรับอิเล็กตรอนเท่ากัน

2. คำถาม: จากการทดลองการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของโลหะกับไอออนของโลหะในสารละลาย ดังรูป



โลหะและไอออนในสารละลายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังแผนภาพในข้อใด



เหตุผลที่ตอบเพราะ .....

ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างแบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น (สนทยา บ้งพรม (2558, น. 126)

- ศักดิ์ศรี สุภาษร (Supasorn, 2015, p. 4) ได้ใช้แบบวัดแนวคิดแบบสองชั้น 3 ตัวเลือกในการวัดแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า จำนวน 24 ข้อ โดยขั้นสองเป็นแบบอธิบายให้เหตุผลประกอบส่วนที่หนึ่ง ดังตัวอย่าง

คำถาม : จงพิจารณาสมการต่อไปนี้

$Fe(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Fe^{2+}(aq) + Cu(s)$

1.1 ข้อใดถูกต้อง

ก. $Fe^{2+}(aq)$ เป็นตัวรีดิวซ์ ส่วน $Cu^{2+}(aq)$ เป็นตัวออกซิไดส์

ข. $Cu^{2+}(aq)$ เป็นตัวรีดิวซ์ ส่วน Fe(s) เป็นตัวออกซิไดส์

ค. Fe(s) เป็นตัวรีดิว์ , while $Cu^{2+}(aq)$ เป็นตัวออกซิไดส์

1.2 จงอธิบายเหตุผลของคำตอบ

.....

1.5.3 แผนผังแนวคิด (Concept mapping)

แผนผังแนวคิดเป็นเครื่องมือวัดความรู้ความเข้าใจของนักเรียนช่วยให้เห็นแนวคิดอย่างชัดเจน โดยจะมีแนวคิดหลักและแนวคิดสำคัญที่เชื่อมโยงระหว่าง 2 แนวคิดนั้น (Novak, 1990, p. 942) ซึ่งสามารถวัดแนวคิดของนักเรียนว่ามีการเชื่อมโยงเรื่องต่าง ๆ อย่างไร (วิไลพร แซ่ลิ้ม, 2558, น. 22) แผนผังแนวคิดได้ถูกนำมาใช้ในการวัดแนวคิดทางเคมีหลายงานวิจัย ตัวอย่างเช่น (พรรณี อุดมโภชน์, 2554, น. 56) เรื่องการพัฒนาแนวคิด เรื่องพอลิเมอร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้แบบโครงการ ซึ่งเก็บข้อมูลโดยให้นักเรียนเขียนแผนผังแนวคิดหลังเรียน จากนั้นนำมาตรวจวิเคราะห์ส่วนประกอบเปรียบเทียบกับแผนผังแนวคิดมาตรฐานที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยมีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ประพจน์และลำดับขั้นเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีจำนวนประพจน์เท่ากับ มากกว่าและน้อยกว่าจำนวนประพจน์ของแผนผังมาตรฐาน กลุ่มที่มีจำนวนลำดับขั้นเท่ากับ มากกว่าและน้อยกว่าลำดับขั้นของแผนผังมาตรฐาน ส่วนการเชื่อมโยงระหว่างแนวคิดและตัวอย่างเป็นส่วนที่แสดงถึงความรู้และความคิดสร้างสรรค์เป็นพิเศษจึงไม่กำหนดเกณฑ์ในการวิเคราะห์

1.5.4 การสัมภาษณ์

การสัมภาษณ์เป็นเทคนิควิธีการที่มีการสนทนากันโดยตรง หากมีข้อสงสัยหรือคำถามใด คำตอบใดไม่ชัดเจนก็ทำซ้ำหรือทำความชัดเจนได้ และสามารถทำได้ทันที (บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2534, น. 53) เนื่องจากนักเรียนได้แสดงความคิดผ่านทางภาษาของตนเอง

(กุลธิดา สุวัชระกุลธร, 2556, น. 12) อาจมีการใช้การสัมภาษณ์ประกอบการทำแบบทดสอบอื่น ๆ เช่น ประเด็นที่นักเรียนเขียนอธิบายไม่ชัดเจน หรือนักเรียนในระดับประถมที่ยังไม่สามารถเขียนอธิบายเป็นข้อความยาว ๆ ได้ หรือนักเรียนที่มีความบกพร่องทางด้านภาษา (นิธิมา โกยสมบูรณ์, 2556, น. 32) นอกจากนี้ยังเป็นการข้อมูลที่ยืนยันว่านักเรียนเกิดแนวคิดจริง (มธุรินทร์ สุทธิเชษฐ์, 2556, น. 23) ข้อดีของการสัมภาษณ์คือ ได้รับคำตอบจากนักเรียนอย่างครบถ้วนทั้งจำนวนและลักษณะข้อมูลที่ต้องการ ข้อมูลที่ได้รับมีความคลาดเคลื่อนน้อย และเชื่อถือได้มาก ทำให้ได้ข้อเท็จจริงเพิ่มเติมจากที่ต้องการด้วยการสังเกตสีหน้า ท่าทาง และคำพูด (บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์, 2534, น. 66)

สำหรับการวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ใช้แบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น (two tier diagnostic test) (Supasorn, 2015, p. 4; ธิชานันท์ บุตรวิเศษ, 2555, น. 36; นฤดล บรรจง, 2557, น. 31; สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 36) ซึ่งประกอบด้วย 2 ลำดับขั้น ลำดับขั้นที่หนึ่งเป็นปรนัยแบบตัวเลือก และลำดับขั้นที่สองเป็นส่วนอธิบายให้เหตุผลประกอบ เนื่องจากสามารถล้วงลึกถึงความเข้าใจที่แท้จริงของนักเรียน ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้แบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น (two tier diagnostic test) โดยลำดับขั้นที่หนึ่งเป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือกและลำดับขั้นที่สองเป็นส่วนอธิบายให้เหตุผลประกอบ เนื่องจากแบบวัดลักษณะนี้สามารถวัดแนวคิดของนักเรียนจำนวนมากได้และเป็นการยืนยันว่านักเรียนมีความรู้ในเรื่องนั้นจริง (กุลธิดา สุวัชระกุลธร, 2556, น. 12)

1.6 แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

จากการศึกษางานวิจัยที่พัฒนาแนวคิด เรื่องไฟฟ้าเคมี พบรูปแบบที่ใช้ 3 รูปแบบ ดังนี้ การเรียนรู้จากการแก้ปัญหา การจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1.6.1 การเรียนรู้จากการแก้ปัญหา (Problem Centered Learning Model : PCLM)

การจัดการเรียนรู้ที่ใช้รูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหา หมายถึง กิจกรรมการเรียนรู้ที่ออกแบบกิจกรรมตามแนวคิดการสรรค์สร้างความรู้ (Constructivism) โดยนักเรียนได้ฝึกการแก้ปัญหาหรือหาคำตอบจากงานหรือสถานการณ์ปัญหาด้วยตนเอง ผ่านการมีปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่น ได้แสดงความคิดเห็น อภิปราย และสรุปความรู้ร่วมกัน (ธิชานันท์ บุตรวิเศษ, 2555, น.

5; เมธา สีหานาท, 2546, น. 6; สังวาล กลางประพันธ์, 2557, น. 7) ตามกรอบแนวคิดของวีทลีย์ (Wheatley, 1991, pp. 15-16) ซึ่งองค์ประกอบของรูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหามี 3 องค์ประกอบ คือ ชิ้นงาน การแก้ปัญหาเป็นกลุ่ม และการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น โดยมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ดังนี้

- ขั้นแรก ครูเลือกชิ้นงาน (task) ที่มีแนวโน้มจะทำให้เกิดปัญหาแก่นักเรียน อาจจะเป็นงานที่นักเรียนหามาและกระตุ้นให้นักเรียนสร้างแนวคิดด้วยตนเอง
- ขั้นที่สอง นักเรียนทำงานเป็นกลุ่มย่อย ระหว่างนี้ครูพยายามแนะแนวทางร่วมมือกันให้บรรลุเป้าหมาย จากนั้นนักเรียนร่วมกันสรุปแนวทางในการแก้ปัญหา
- ขั้นสุดท้าย ในชั้นเรียนร่วมกันนำเสนอความคิดเห็น กลุ่มต่าง ๆ ออกมาแสดงข้อสรุปต่อเพื่อน ๆ ในชั้น มีการอภิปรายร่วมกัน ครูมีบทบาทเป็นเพียงผู้อำนวยความสะดวกและพยายามส่งเสริมให้นักเรียนไปสู่เป้าหมาย

จากงานวิจัยของ ธิชานันท์ บุตรวิเศษ (2555, น. 75) ที่ได้ใช้การเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหา (Problem Centered Learning Model : PCLM) มาพัฒนาแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า พบว่า นักเรียนมีการพัฒนาแนวคิดมากขึ้นทุกแนวคิด โดยแนวคิดที่นักเรียนมีการพัฒนามากที่สุดคือแนวคิดเรื่อง การดุลสมการรีดอกซ์โดยใช้ครึ่งปฏิกิริยา และแนวคิดที่นักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มากที่สุด คือ แนวคิดเรื่องปฏิกิริยารีดักชัน เนื่องจากนักเรียนได้ค้นพบคำตอบของปัญหาด้วยตนเอง โดยครูควรเน้นการจัดเตรียมสิ่งแวดล้อมในการเรียนรู้ที่สนับสนุนกิจกรรมให้นักเรียนได้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นและแลกเปลี่ยนความรู้ในกลุ่มทำให้นักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น ซึ่งการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นร่วมกันจะทำให้นักเรียนมีการพัฒนาและขยายความคิดเห็นของตนเองให้กว้างขวางยิ่งขึ้นช่วยให้เกิดความเข้าใจแนวคิดมากขึ้น (สังวาล กลางประพันธ์, 2557, น. 141) แต่ถึงอย่างไรการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหายังมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการทำกิจกรรมในแต่ละขั้นตอน เพราะนักเรียนใช้เวลาในแต่ละขั้นมากทำให้กิจกรรมไม่เสร็จตามกำหนด (ธิชานันท์ บุตรวิเศษ, 2555, น. 75; สังวาล กลางประพันธ์, และไพศาล สุวรรณน้อย, 2558, น. 166)

1.6.2 การจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิด (Conceptual Change Approach)

การจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิด หมายถึง การที่นักเรียนเปลี่ยนแนวคิดเดิมให้ใกล้เคียงกับแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับในขณะนั้น เพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมายและเต็มศักยภาพ โดยครูต้องทำให้นักเรียนเกิดความไม่พอใจในแนวคิดเดิม และพบว่าแนวคิดใหม่สามารถอธิบายปัญหาที่เผชิญอยู่ได้ดีกว่าแนวคิดเดิม (ศาสตรา พรหมมาแดง, 2557, น. 15) หรือการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาแนวคิดอย่างมีกระบวนการ โดยให้นักเรียนได้สัมผัสกับประสบการณ์ตรงหรือของจริงให้มากที่สุด เพื่อให้นักเรียนได้เกิดเรียนรู้และพัฒนาแนวคิดที่แตกต่างไปจากแนวคิดหรือความคิดเห็นทางวิทยาศาสตร์ให้เป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Concepts) อันเป็นที่ยอมรับ (จตุพร พงศ์พีระ, 2560, น. 68)

การจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิดมี 2 วิธี คือ การจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิดของ ฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 1983, pp. 732-733) และการจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิดของ พอซเนอร์ สไตรค์ ฮิวสันและเกอร์ทอก (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982, p. 212) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิดของ ฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 1983, pp. 732-733) มีเงื่อนไข 3 ประการในการบูรณาการแนวคิดใหม่เข้ากับแนวคิดเดิม คือ

1. แนวคิดใหม่นักเรียนเข้าใจง่าย (Intelligible) คือ นักเรียนรู้ว่าแนวคิดใหม่หมายถึงอะไร นักเรียนสามารถพบแนวทางการบรรยายแนวคิดดังกล่าวได้

2. แนวคิดใหม่มีเหตุผลน่าเชื่อถือ (Plausible) คือ นักเรียนจะต้องเชื่อว่าแนวคิดใหม่เป็นความจริง แนวคิดใหม่เชื่อมโยงและสามารถสอดคล้องกับแนวคิดอื่น ๆ ที่นักเรียนยอมรับ

3. แนวคิดใหม่มีประโยชน์ต่อนักเรียน (Fruitful) คือ แนวคิดใหม่ต้องเข้าใจได้และมีเหตุผลก่อให้เกิดคุณค่าบางสิ่งบางอย่างและสามารถแก้ปัญหาอื่น ๆ ที่ไม่สามารถจะแก้ได้หรือชี้แนะความเป็นไปได้

ซึ่ง ฮิวสันและฮิวสัน (Hewson & Hewson, 1983, pp. 732-733) ได้เสนอการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย 4ขั้นตอน

1. การบูรณาการ (Integration) เพื่อบูรณาการแนวคิดใหม่กับแนวคิดเดิม เป็นการนำนักเรียนไปสู่การไม่ยอมรับแนวคิดของนักเรียนซึ่งพบมากในการสอนวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน

2. การแยกความแตกต่าง (Differentiation) เป็นการทำให้นักเรียนที่เชื่อว่าแนวคิดเดิมของตนเองในตอนแรกถูกต้อง เมื่อเจอสถานการณ์ใหม่มาอภิปราย แนวคิดเดิมของตนเองไม่สามารถที่จะอธิบายหรือตอบคำถามได้ เนื่องจากแนวคิดเดิมไม่สามารถเข้าใจ ไม่มีเหตุผลน่าเชื่อถือ และไม่มีประโยชน์ที่จะใช้อธิบายสถานการณ์หรือบริบทอื่น ๆ ได้

3. การแลกเปลี่ยน (Exchange) มีจุดมุ่งหมายเพื่อแลกเปลี่ยนแนวคิดที่มีอยู่เดิมกับแนวคิดใหม่ ซึ่งต้องทำให้นักเรียนไม่พอใจในแนวคิดเดิม และเชื่อว่าแนวคิดใหม่ไม่สามารถอธิบายได้มากกว่าแนวคิดเดิม

4. การเชื่อมประสานแนวคิด (Conceptual bridging) เพื่อสร้างบริบทที่เหมาะสมซึ่งแนวคิดเชิงนามธรรมสามารถเชื่อมโยงกับสถานการณ์ทั่วไปที่มีความหมาย ในการตั้งคำถามสามารถตอบได้โดยใช้แนวคิดที่เป็นนามธรรม ซึ่งจะช่วยสร้างบรรยากาศให้นักเรียนเข้าใจถึงแนวคิดใหม่ที่เป็นประโยชน์และน่าเชื่อถือ

การจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิดของ พอซเนอร์และคนอื่น ๆ (Posner et al., 1982, p. 212) ได้ออกแบบรูปแบบการเปลี่ยนแปลงแนวคิด ที่ช่วยอธิบายเงื่อนไขในการเปลี่ยนแนวคิดเดิมไปสู่แนวคิดใหม่ 4 ประการ ดังนี้

1. ความไม่พึงพอใจในความรู้เดิม (Dissatisfaction) คือการเปลี่ยนแปลงแนวคิดจะเกิดขึ้นได้เมื่อนักเรียนเห็นว่าความรู้หรือประสบการณ์เดิมไม่มีประโยชน์ และไม่ช่วยแก้ไขปัญหาหรืออธิบายเหตุการณ์ หรือสถานการณ์ที่ต้องการได้

2. ความเข้าใจในความรู้ใหม่ (Intelligibility) คือ การเปลี่ยนแปลงแนวคิดจะเกิดขึ้นเมื่อนักเรียนมีความเข้าใจในความรู้ใหม่

3. ความรู้ใหม่มีความเป็นไปได้ (Plausibility) คือ การเปลี่ยนแปลงแนวคิดจะเกิดขึ้นเมื่อนักเรียนเห็นว่าแนวคิดใหม่นี้ไปใช้ประโยชน์หรือแก้ปัญหาอื่น ๆ ได้

4. ความรู้ใหม่เป็นประโยชน์ (Fruitfulness) คือ แนวคิดใหม่สามารถอธิบายหรือแก้ปัญหาเดิมที่ความรู้เดิมไม่สามารถอธิบายหรือแก้ไขได้

จากงานวิจัยของ (นฤดล บรรจง, 2557, น. 65) ที่ได้ศึกษาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่องเคมีไฟฟ้า เมื่อใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนแนวคิดของ Posner et al. (1982) พบว่า นักเรียนมีแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้าได้ถูกต้องมากขึ้น และมีความเข้าใจแนวคิดคลาดเคลื่อนลดลงทุกแนวคิดที่ศึกษา อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้อภิปรายว่ายุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนแนวคิดสามารถพัฒนาแนวคิดของนักเรียนได้อย่างไร

1.6.3 การจัดการเรียนรู้ด้วยการสืบเสาะ

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ หมายถึง การให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ของตนเองเพื่อพัฒนาความรู้ ความเข้าใจในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทำให้นักเรียนเข้าใจถึงกระบวนการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ในการศึกษาสิ่งต่าง ๆ บนโลก (Colburn, 2000, p. 42; National Research Council, 1996, p. 23; กุศลิน มุสิกุล, 2557, น. 1; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560, น. 55-56) อัลเบอร์ตาเลิร์นนิง (Alberta Learning, 2004, p. 2) ระบุว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นกระบวนการที่นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ มีการกำหนดคำถามและวิธีการสำรวจตรวจสอบส่งผลให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจใหม่ ซึ่งความรู้นั้นช่วยให้นักเรียนตอบคำถามและพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาหรือสนับสนุนคำตอบของนักเรียนได้ โคลเบิร์น (Colburn, 2000, p. 42) อธิบายเพิ่มเติมถึงการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ คือ การสร้างบรรยากาศในห้องเรียนให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมปลายเปิด เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางและเน้นการฝึกปฏิบัติ สอดคล้องกับ สนทยา บ้งพรม (2558, น. 9) กล่าวว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ เป็นกระบวนการเรียนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองและสร้างองค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเองผ่านประสบการณ์ตรง มีการตั้งคำถาม การวางแผน การสำรวจตรวจสอบ กระบวนการแก้ปัญหา การสืบค้นข้อมูล การอภิปราย การสื่อสารความรู้เพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจทำให้เกิดการพัฒนาทักษะกระบวนทางด้านวิทยาศาสตร์ อย่างเป็นระบบและมีขั้นตอนต่อเนื่องกัน โดยรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่พบในงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาแนวคิดเรื่องเคมีไฟฟ้าเป็นแบบ 5 ขั้น หรือ 5E (Supasorn, 2015, p. 5; วิลาสินี จันศรีใหม่ และคนอื่น ๆ, 2563, น. 63; สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 6)

- ขั้นสร้างความสนใจ นักเรียนสร้างความสนใจโดยการดูวีดิโอ ดูรูปภาพ ดูของจริงจากการทำการทดลองในคาบเรียน จากนั้นให้นักเรียนสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น และกระตุ้นด้วยคำถามเชิงวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับเคมีไฟฟ้า เพื่อให้นักเรียนสงสัยและเกิดคำถาม เช่น

โลหะแต่ละชนิด (Mg, Fe, Al, Zn และ Cu) ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอออนของโลหะต่าง ๆ อย่างไร จากนั้นครูสรุปและเขียนคำตอบของนักเรียนบนกระดาน

- ขั้นสำรวจและค้นหา แบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม นักเรียนสำรวจและรวบรวมข้อมูลเพื่อตอบคำถาม โดยการวางแผนและดำเนินการทดลองตามวิธีและอุปกรณ์ที่จัดเตรียมไว้ให้ ครูเป็นเพียงผู้อำนวยความสะดวก

- ขั้นสร้างคำอธิบายและลงข้อสรุป นักเรียนกำหนดคำอธิบายตามข้อสรุปและความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการทดลองเพื่อตอบคำถาม โดยมีการวาดภาพ และให้นักเรียนดูสื่อ Animation เคลื่อนไหวในระดับจุลภาคเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดเพิ่มขึ้น

- ขั้นขยายความรู้ นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในระดับจุลภาคหรือระดับสัญลักษณ์ หรือสถานการณ์อื่น ๆ ต่อไป

- ขั้นการประเมินผล ประเมินความเข้าใจโดยการอภิปรายกลุ่มพร้อมกับแนวคิดที่ได้จากการทดลอง

ผลการวิจัยที่ได้ใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเพื่อพัฒนาแนวคิดของนักเรียนเรื่อง เคมีไฟฟ้า พบว่า นักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนลดลง (Supasorn, 2015, p. 5; วิลาสินี จันศรีใหม่ และคนอื่น ๆ, 2563, น. 63; สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 6) เนื่องจากกระบวนการเรียนรู้ด้วยรูปแบบนี้มีส่วนช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้มีโอกาสทำกิจกรรมด้วยตนเอง ได้รู้จักการค้นคว้าหาความรู้ฝึกคิดและแก้ปัญหาด้วยตนเองจากการลงมือปฏิบัติการทดลองจริง วางแผนการทดลองเพื่อหาคำตอบโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อธิบายและลงข้อสรุปความรู้ที่ได้รับ โดยในขั้นกิจกรรมการเรียนรู้นั้น ครูมีส่วนสำคัญช่วยในการส่งเสริม กระตุ้นด้วยคำถามทางวิทยาศาสตร์ คอยแนะนำในการดำเนินกิจกรรมของนักเรียน และสรุปองค์ความรู้ร่วมกับนักเรียน ทำให้เกิดการเชื่อมโยงความรู้ที่มีอยู่เดิมและความรู้ใหม่ที่ได้จากการเรียนรู้ผ่านกิจกรรม จนทำให้นักเรียนแก้ไขแนวคิดที่ผิดเกิดเป็นแนวคิดที่ถูกต้องที่เป็นที่ยอมรับของนักวิทยาศาสตร์ จนสามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองร่วมกับกิจกรรมการทดลองที่ได้ลงมือปฏิบัติ (สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 85) สอดคล้องกับ *ศักดิ์ศรี สุภาษร* (Supasorn, 2015, p. 13) และ วิลาสินี จันศรีใหม่ และคนอื่นๆ, (2563, น. 75) ซึ่งศักดิ์ศรี สุภาษร (Supasorn, 2015, น. 13) ได้เพิ่มเติมว่า การที่ครูเป็นผู้อำนวยความสะดวกช่วยเพิ่มความเข้าใจแนวคิดของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากนักเรียนได้รับความเข้าใจและแก้ไขแนวคิดคลาดเคลื่อนในขณะที่สนทนากับเพื่อนในกลุ่มและ

ประสบการณ์ของการทดลองนักเรียนได้รับข้อมูลที่เกี่ยวข้องโดยการสังเกตการทดลองนำไปสู่การเปลี่ยนแบบจำลองทางจิตของนักเรียน

รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เป็นแนวทางในการพัฒนาแนวคิดของนักเรียน เรื่อง เคมีไฟฟ้า ทั้งหมด 3 รูปแบบ ผู้วิจัยได้ศึกษารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยคำนึงถึงธรรมชาติของนักเรียนที่ผู้วิจัยต้องการศึกษา ซึ่งรูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิดไม่มีรูปแบบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ชัดเจน ทำให้ครูไม่สามารถจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงแนวคิดได้สมบูรณ์เท่าที่ควร (พรประสิทธิ์ ศรีสุพรรณ, 2553 น. 114 - 115) อีกทั้งรูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหายังมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการทำกิจกรรมในแต่ละขั้นตอน เพราะนักเรียนต้องใช้เวลาในแต่ละขั้นมากอาจทำให้กิจกรรมไม่เสร็จตามกำหนด เพราะการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนจะต้องคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการสอนเนื่องจากเนื้อหาที่นักเรียนต้องเรียนมีหลายหัวข้อ (ธิชานันท์ บุตรวิเศษ, 2555, น. 75; สังวาล กลางประพันธ์, และ ไพศาล สุวรรณน้อย, 2558, น. 166) ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยเลือกการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเพื่อพัฒนาแนวคิดของนักเรียน เรื่อง เคมีไฟฟ้า เนื่องจากพบว่าวิธีการสอนดังกล่าวสามารถพัฒนาแนวคิดของนักเรียนได้ โดยครูสามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง นักเรียนฝึกการแก้ปัญหาหรือหาคำตอบจากงานหรือสถานการณ์ปัญหาด้วยตนเอง ผ่านการมีปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่น มีการแสดงความคิดเห็น อภิปราย และสรุปความรู้ร่วมกัน นอกจากนี้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นแนวทางที่หลักสูตรวิทยาศาสตร์ของหลาย ๆ ประเทศ รวมถึงประเทศไทยได้ส่งเสริมให้นำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (จรรยา ดาสา, 2560, น. 123)

2. ทักษะการทำงานร่วมกัน

2.1 ความหมายของทักษะการทำงานร่วมกัน

การทำงานร่วมกัน ตรงกับคำภาษาอังกฤษว่า “Collaboration” โดยมีนักการศึกษาให้นิยามของการทำงานร่วมกันไว้ ดังนี้ การทำงานร่วมกัน คือ กิจกรรมที่ทำร่วมกันเพื่อไปสู่เป้าหมายเดียวกัน (Hesse, Care, Buder, Sassenberg, & Griffin, 2015, p. 38) หรือ การมีส่วนร่วมของบุคคลในความพยายามแก้ปัญหาร่วมกัน (Lai, 2011, p. 2; Roschelle & Teasley, 1995, p. 70) โดยโรสเชลล์และทีสลีย์ (Roschelle & Teasley, 1995, p. 70) ได้ให้ความหมายเพิ่มเติมว่า การทำงานร่วมกันเป็นกิจกรรมที่ต้องประสานร่วมมือกันเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน มีการสร้างและรักษาแนวคิดในการแก้ปัญหาร่วมกัน

สำหรับทักษะการทำงานร่วมกัน ตรงกับคำภาษาอังกฤษว่า “collaborative skills” (Ladd et al., 2014, p. 1; Putnam, Rynders, Johnson, & Johnson, 1989, น. 551) และ “collaboration skills” (Partnership for 21st Century Learning, 2019, p. 5) ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้คำว่า “ทักษะการทำงานร่วมกัน” (Collaboration skills) โดยภาคีเพื่อทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Learning, 2019, p. 5) และ มหาวิทยาลัยสแตรธไคลด์ (University of Strathclyde Glasgow, 2020) ได้ให้ความหมายของทักษะการทำงานร่วมกัน ไว้ว่า เป็นความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างมีประสิทธิภาพ มีความเคารพ ยืดหยุ่นและเต็มใจที่จะช่วยเหลือซึ่งกันและกัน มีความประนีประนอมต่อกัน สมาชิกทุกคนมีส่วนร่วมรับผิดชอบในการทำงานร่วมกันเพื่อให้บรรลุเป้าหมายเดียวกัน สอดคล้องกับจิรัชยา มหาวรรณ์ (2552, น. 35) ที่ได้ให้ความหมายของทักษะการทำงานร่วมกันว่า เป็นลักษณะของการปฏิบัติกิจกรรมของบุคคลในกลุ่ม มีการวางแผนและกำหนดเป้าหมายร่วมกัน ยอมรับฟังความคิดเห็นร่วมกันสมาชิก ใช้ความรู้ความสามารถปฏิบัติตามบทบาทหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายอย่างดี ซึ่งสคูลาร์และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, น. 6) ได้ให้ความหมายของทักษะการทำงานร่วมกันโดยเน้นเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรร่วมกัน ดังนี้ ทักษะการทำงานร่วมกัน คือ ความสามารถในการทำงานร่วมกันของผู้เรียนสองคนหรือมากกว่าขึ้นไปที่ได้รวบรวมความรู้ ทรัพยากรและความเชี่ยวชาญจากแหล่งต่าง ๆ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายร่วมกัน โดยการทำงานร่วมกันต้องมีความรับผิดชอบ มีการแบ่งหน้าที่ และสามารถจัดการความขัดแย้งภายในกลุ่มได้

จากความหมายของทักษะการทำงานร่วมกันข้างต้น สรุปได้ว่า ทักษะการทำงานร่วมกัน หมายถึงความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่สมาชิกทุกคนในกลุ่มมีการวางแผนและกำหนดเป้าหมายร่วมกัน รวบรวมข้อมูล ความรู้ ทรัพยากรและความเชี่ยวชาญจากแหล่งต่าง ๆ เคารพและยอมรับฟังความคิดเห็นร่วมกัน สามารถจัดการความขัดแย้ง มีส่วนร่วมในการรับผิดชอบและแบ่งหน้าที่ในการทำงานร่วมกันเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่วางไว้

2.2 ความสำคัญของทักษะการทำงานร่วมกัน

ทักษะการทำงานร่วมกัน (Collaboration Skills) เป็นทักษะหนึ่งที่ระบุไว้ในทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมที่นักเรียนต้องมีในศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Learning, 2019, p. 2) ซึ่งเป็นทักษะพื้นฐานที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต ส่งผลให้นักเรียนสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสังคมได้อย่างมีความสุข (Johnson, 1973, p. 1; รุจิรา เศารยะสกุล และคนอื่น ๆ,

2561, น. 100) จากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่านักเรียนยังขาดทักษะการทำงานร่วมกัน เช่น นักเรียนมีพฤติกรรมการเรียนแบบแข่งขัน (มนตรี จันตะมะ และคนอื่น ๆ, 2563, น. 144) เมื่อมอบหมายให้ทำงานเป็นกลุ่มนักเรียนจะเลือกจับกลุ่มกับเพื่อนที่ค่อนข้างเก่งหรือสนิทกัน โดยคนที่มีความสามารถในการเรียนอ่อนจะไม่มีใครเลือกเข้ากลุ่ม (วิทยา สัตย์จิตร และคนอื่น ๆ, 2563, น. 150) ไม่มีการแบ่งหน้าที่การทำงานของสมาชิกภายในกลุ่ม (นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ, 2563, น. 100) ซึ่ง พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์ (2554, น. 3) กล่าวว่า การไม่รู้จักช่วยเหลือซึ่งกันและกันและไม่เข้าใจในการทำงานกลุ่ม ทำให้เกิดปัญหาในการอยู่ร่วมกันในสังคมเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา ครูผู้สอนจึงมีบทบาทสำคัญในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมร่วมกันเป็นกลุ่มและลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนได้มีโอกาสพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่น มีความสัมพันธ์ที่ดีต่อเพื่อนในกลุ่ม เกิดการยอมรับคุณค่าและความสามารถของกันและกัน ซึ่ง มนัสรินทร์ บุญญคง, ดรุณี จำปาทอง, and อุมาพร หล่อสมฤดี (2561, น. 199) เพิ่มเติมว่า การให้นักเรียนมีโอกาสพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันกับผู้อื่นเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นและเป็นการพัฒนาด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้น เนื่องจากเป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนคอยช่วยเหลือซึ่งกันและกันในกลุ่ม ทั้งในด้านการเรียนและการทำงานร่วมกัน มีการวางแผนงาน ยอมรับฟังเห็นร่วมกันเพื่อเป้าหมายของกลุ่ม สอดคล้องกับ สุรชัย โฆษิตบวรชัย (2560) กล่าวว่า การพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานของการพัฒนาบุคคลให้มีความรู้ ความเข้าใจ เพื่อให้เกิดทักษะและความชำนาญ และทัศนคติที่ดีในการทำงานร่วมกับผู้อื่นจนกระทั่งประสบความสำเร็จทั้งของตนเองและของกลุ่ม จากที่กล่าวมา สามารถสรุปความสำคัญของทักษะของการทำงานร่วมกันคือ นักเรียนสามารถทำกิจกรรมร่วมกันเป็นกลุ่ม ได้เรียนรู้ทักษะด้านสังคมหรือมีมนุษยสัมพันธ์ร่วมกับผู้อื่น ฝึกให้นักเรียนมีความรับผิดชอบต่อตนเองและต่อกลุ่ม มีเจตคติที่ดีต่อเพื่อนร่วมชั้นเรียนและเพื่อนในกลุ่ม ฝึกให้นักเรียนได้พัฒนากระบวนการคิด ปลูกฝังค่านิยมในเรื่องความสามัคคีและการช่วยเหลือซึ่งกันและกัน (นรินทร์ กระพี้แดง, 2542, น. 56-57; สิทธิชัย ลายเสมา, 2557, น. 97-98)

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสรุปความสำคัญของทักษะการทำงานร่วมกันได้ว่า ทักษะการทำงานร่วมกันเป็นทักษะในศตวรรษที่ 21 ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต ส่งผลให้บุคคลสามารถอยู่ร่วมกันได้อย่างมีความสุข ทั้งในการเรียน การทำงาน และการใช้ชีวิตประจำวัน บุคคลที่มีทักษะการทำงานร่วมกันจะมีมนุษยสัมพันธ์ที่ดี ก่อให้เกิดความสามัคคี และยังช่วยพัฒนากระบวนการคิดและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

2.3 องค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน

งานวิจัยต่าง ๆ ได้ระบุองค์ประกอบของทักษะการทำงานโดยบางกลุ่มได้แบ่งองค์ประกอบตามบทบาทหน้าที่ แต่โดยส่วนใหญ่ได้ระบุองค์ประกอบตามพฤติกรรมที่พึงปฏิบัติ ดังนี้

การแบ่งองค์ประกอบตามบทบาทหน้าที่ มีดังนี้

พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์ (2554, น. 35) และ (สิทธิชัย ลายเสมา, 2557, น. 101) ได้สรุปองค์ประกอบของการทำงานร่วมกันให้มีประสิทธิภาพได้ 4 องค์ประกอบ ดังนี้

1) ด้านบทบาทของสมาชิกในกลุ่ม โดยสมาชิกกลุ่มจะแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล ยอมรับฟังความคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่ม เข้าใจบทบาทและรับผิดชอบงานที่ตนได้รับมอบหมายและปฏิบัติตามข้อตกลงของกลุ่ม

2) ด้านบทบาทผู้นำกลุ่ม ผู้นำกลุ่มจะต้องรู้และเข้าใจบทบาทของตนเอง มีทักษะในการวางแผนปฏิบัติงาน การจัดการความขัดแย้งของสมาชิกในกลุ่ม และสามารถเป็นผู้นำกลุ่มให้บรรลุเป้าหมาย

3) ด้านกระบวนการทำงาน มีกำหนดเป้าหมายและวางแผนร่วมกันก่อนปฏิบัติงาน การมอบหมายงานที่เหมาะสมกับสมาชิก การสื่อสารแลกเปลี่ยนแสดงความคิดเห็นที่เหมาะสม และการประเมินและพัฒนาผลงานอย่างเป็นระบบ

4) ด้านผลงานของกลุ่ม ผลงานของกลุ่มต้องถูกต้องตามจุดประสงค์ ผลงานมีลักษณะที่สร้างสรรค์ ผลงานเสร็จตามเวลาที่กำหนด และมีการเสนอผลงานได้อย่างชัดเจนมีประสิทธิภาพ

ในกลุ่มที่แบ่งตามลักษณะพฤติกรรมหรือความสามารถอันพึงประสงค์ในการทำงานร่วมกันในกลุ่ม มีดังนี้

ภาคีเพื่อทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Learning, 2019, p. 5) ได้ระบุองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกันไว้ 3 องค์ประกอบดังนี้

1) ความสามารถในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและแสดงความเคารพให้เกียรติทีมงานที่มีความหลากหลาย

2) ความยืดหยุ่นและประนีประนอมในการทำงานเพื่อบรรลุเป้าหมายร่วมกัน

3) ความรับผิดชอบต่องานที่ต้องทำร่วมกันและเห็นคุณค่าบทบาทของผู้ร่วมทีมคนอื่น ๆ

ลัดด์ (Ladd et al., 2014, pp. 13-14) ได้ระบุองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน ไว้ 4 องค์ประกอบดังนี้

1) ความจดจ่อในงาน (On task) นักเรียนมุ่งมั่นตั้งใจในการทำงาน

2) ความร่วมมือ (Cooperative) นักเรียนรับฟังความคิดเห็น แลกเปลี่ยนความคิดเห็นช่วยเหลือเพื่อนในกลุ่มเมื่อเพื่อนไม่เข้าใจ

3) การสนับสนุนและห่วงใย (Support and Concern) นักเรียนให้อภัยเพื่อนเมื่อปฏิบัติไม่ถูกต้อง และชื่นชมเมื่อเพื่อนปฏิบัติงานกลุ่มได้ดี

4) ความตระหนักรู้ (Conscientiousness) นักเรียนแบ่งงานอย่างเท่าเทียมและทำงานด้วยกันได้ถึงแม้จะมีความขัดแย้งเกิดขึ้นในกลุ่มโดยไม่มีการทะเลาะเบาะแว้งกัน

เฮสส์ (Hesse et al., 2015, p. 38) ได้ระบุองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกันไว้ 3 องค์ประกอบ ดังนี้

1) การสื่อสาร (Communication) แลกเปลี่ยนความรู้หรือความคิดเห็นเพื่อเพิ่มความเข้าใจให้กับผู้อื่น

2) ความร่วมมือ (Cooperation) เป็นการแบ่งงานกันทำตามที่ตกลง

3) การตอบสนอง (Responsiveness) หมายถึงการมีส่วนร่วมอย่างกระตือรือร้นและชาญฉลาด

ศิริพล แสนบุญส่ง (2560, น. 98) ได้สรุปองค์ประกอบของการทำงานร่วมกันเป็นทีม ไว้ 5 องค์ประกอบ ดังนี้

1) การมีเป้าหมายของในทีมชัดเจนไปในทางเดียวกัน ศึกษาค้นคว้าข้อมูลในเรื่องเดียวกัน

2) มีปฏิสัมพันธ์กันภายในทีม แลกเปลี่ยนเรียนรู้และอภิปรายโต้แย้งในการตัดสินใจร่วมกันช่วยเหลือกันในกรณีพบปัญหาหรืออุปสรรค

3) สมาชิกทุกคนต้องตั้งคำถามร่วมกันหาคำตอบด้วยการสื่อสารที่เปิดกว้าง ต้องฟังทุกคนที่พูดอย่างตั้งใจ สมาชิกทุกคนต้องเสนอความคิดเห็น และให้ความสำคัญกับความแตกต่างของสมาชิก

4) สมาชิกในทีมต้องมีเวลาเรียนรู้ และสามารถทำงานด้วยกัน

วราพร สิทธิ์พรสุวรรณ and ฉัตรวรรณ์ ลัญฉวรรธนะกร (2562, น. 8) ได้ระบุทักษะการทำงานร่วมกัน ไว้ 3 องค์ประกอบ ดังนี้

1) ด้านความสามารถในการทำงาน ประกอบด้วย การปฏิบัติงานของตนเองและของกลุ่มได้สำเร็จ การปฏิบัติงานกับบุคคลอื่นโดยไม่มีความขัดแย้ง การยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น

2) ด้านความรับผิดชอบในการทำงาน ประกอบด้วย การตั้งใจปฏิบัติงานตามที่ได้รับมอบหมาย ความพยายามในการปฏิบัติงานของตนเองและของกลุ่ม การปฏิบัติงานเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนด การยอมรับผลการปฏิบัติงาน ทั้งด้านดีและไม่ดี

3) ด้านความสามารถในการมีปฏิสัมพันธ์ ประกอบด้วย การใช้ภาษาในการสื่อสารทางบวก การใช้สีหน้าและท่าทางที่เหมาะสม การควบคุมอารมณ์ในการทำงานร่วมกัน การยินดีช่วยเหลือสมาชิกในกลุ่มด้วยเมื่อเกิดปัญหาหรืออุปสรรคด้วยความเต็มใจ

สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) ได้ระบุองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกันไว้ 3 องค์ประกอบและมีองค์ประกอบย่อย ดังนี้

1) การสร้างความเข้าใจร่วมกัน (Building shared understanding ประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่ การสื่อสารกับผู้อื่น การรวมทรัพยากรและข้อมูล และการเจรจาต่อรองบทบาทและความรับผิดชอบ

2) การมีส่วนร่วม (Collectively contributing) ประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่ การมีส่วนร่วมในกลุ่ม ยอมรับการมีส่วนร่วมของผู้อื่นและการมีส่วนร่วมกับบทบาทและความรับผิดชอบ

3) การกำกับการทำงานของกลุ่ม (regulation) ประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ ตรวจสอบการมีส่วนร่วมของตนเองเป็นไปอย่างสร้างสรรค์ แก้ไขความแตกต่าง รักษาความเข้าใจร่วมกัน ปรับพฤติกรรมและการมีส่วนร่วมในการทำงานร่วมกับผู้อื่น

โดยแต่ละองค์ประกอบมี รายละเอียดมีดังนี้

1) การสร้างสร้างความเข้าใจร่วมกัน คือ นักเรียนร่วมกันสำรวจปัญหาหรือเป้าหมายเพื่อสร้างความเข้าใจในงาน เห็นความสำคัญและความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น ตระหนักถึงความสำคัญของการมีปฏิสัมพันธ์ว่ามีผลต่อความสำเร็จของกลุ่ม รวบรวมข้อมูลและจัดการข้อมูลเพื่อสร้างความเข้าใจร่วมกัน ระบุสิ่งที่จำเป็นในการทำงานให้สำเร็จ และกำหนดบทบาทหน้าที่ที่เหมาะสมกับสมาชิกในกลุ่ม

2) การมีส่วนร่วม สมาชิกในกลุ่มแต่ละคนจำเป็นต้องมีส่วนร่วมในความรับผิดชอบที่ตกลงไว้กับกลุ่ม และรับรู้การมีส่วนร่วมของผู้อื่นเพื่อให้เกิดการทำงานร่วมกัน

3) การกำกับการทำงานกลุ่ม คือ การรักษากฎระเบียบของกลุ่ม มีการตรวจสอบการทำงาน ปรับพฤติกรรมและการมีส่วนร่วมของตนเองและสมาชิกในกลุ่ม เพื่อประโยชน์ที่ดีของกลุ่ม

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่ามีองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกันที่พบในงานวิจัยส่วนใหญ่ คือ การสร้างความเข้าใจร่วมกัน ความรับผิดชอบ การมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นและการสื่อสาร ตามลำดับ ดังนี้

1. การสร้างความเข้าใจร่วมกัน

- กำหนดเป้าหมายร่วมกัน (Scoular et al., 2020, pp. 6-11; พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 35; สิทธิชัย ลายเสมา, 2557, น. 101)
- วางแผนร่วมกันก่อนปฏิบัติงาน (พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 35; สิทธิชัย ลายเสมา, 2557, น. 101)
- มอบหมายงานที่เหมาะสมกับสมาชิกกลุ่มและเท่าเทียม (Hesse et al., 2015, p. 38; Ladd et al., 2014, pp. 13-14; Scoular et al., 2020, pp. 6-11)
- ประเมินและพัฒนาผลงานอย่างเป็นระบบ (พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 35; สิทธิชัย ลายเสมา, 2557, น. 101)

2 ความรับผิดชอบ

- เข้าใจบทบาทของตนเอง (Scoular et al., 2020, pp. 6-11; พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 35; สิทธิชัย ลายเสมา, 2557, น. 101)
- ปฏิบัติตามข้อตกลงของกลุ่ม (Scoular et al., 2020, pp. 6-11; พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 35; สิทธิชัย ลายเสมา, 2557, น. 101)
- มุ่งมั่นตั้งใจในการทำงานที่ได้รับมอบหมาย (Ladd et al., 2014, pp. 13-14; วราพร สิทธิ์พรสุวรรณ, และ ฉัตรวรรณ์ ลัญฉวรรธนะกร, 2562, น. 8)
- มีส่วนร่วมในการปฏิบัติงาน (Scoular et al., 2020, p. 6-11)
- ปฏิบัติงานเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนด (วราพร สิทธิ์พรสุวรรณ, และ ฉัตรวรรณ์ ลัญฉวรรธนะกร, 2562, น. 8)
- ยอมรับผลการปฏิบัติงานทั้งด้านดีและไม่ดี (วราพร สิทธิ์พรสุวรรณ, และ ฉัตรวรรณ์ ลัญฉวรรธนะกร, 2562, น. 8)

3. การมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น

- ให้อภัยเพื่อนเมื่อปฏิบัติไม่ถูกต้อง ชื่นชมเมื่อเพื่อปฏิบัติได้ดี (Ladd et al., 2014, pp. 13-14)

- ช่วยเหลือกันเมื่อพบปัญหาหรืออุปสรรค (Ladd et al., 2014, pp. 13-14; ศิริพล แสนบุญส่ง, 2560, น. 98)

- การควบคุมอารมณ์ในการทำงานร่วมกัน (วราพร สิทธิ์พรสุวรรณ, และ ฉัตรวรรณ์ ลัญฉวรรธนะกร, 2562, น. 8)

- ปรับพฤติกรรมเพื่อความต้องการของสมาชิกกลุ่ม (Scoular et al., 2020, pp. 6-11)

- จัดการความขัดแย้งของสมาชิกกลุ่ม (Ladd et al., 2014, pp. 13-14; Scoular et al., 2020, pp. 6-11; พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 35; วราพร สิทธิ์พรสุวรรณ, และ ฉัตรวรรณ์ ลัญฉวรรธนะกร, 2562, น. 8; สิทธิชัย ลายเสมา, 2557, น. 101)

- มีความยืดหยุ่นและประนีประนอมเพื่อบรรลุเป้าหมายร่วมกัน (Partnership for 21st Century Learning, 2019, p. 5)

4. การสื่อสาร

- แสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล (Hesse et al., 2015, p. 38; Ladd et al., 2014, pp. 13-14; Scoular et al., 2020, pp. 6-11; พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 35; ศิริพล แสนบุญส่ง, 2560, น. 98; สิทธิชัย ลายเสมา, 2557, น. 101)

- ยอมรับฟังความคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่ม (Hesse et al., 2015, p. 38; Ladd et al., 2014, pp. 13-14; Scoular et al., 2020, pp. 6-11; พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 35; วราพร สิทธิ์พรสุวรรณ, และฉัตรวรรณ์ ลัญฉวรรธนะกร, 2562, น. 8; ศิริพล แสนบุญส่ง, 2560, น. 98; สิทธิชัย ลายเสมา, 2557, น. 101)

- ใช้ภาษาสื่อสารทางบวก (วราพร สิทธิ์พรสุวรรณ, และฉัตรวรรณ์ ลัญฉวรรธนะกร, 2562, น. 8)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกันข้างต้นแล้วพบว่า งานของ สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) ได้ระบุองค์ประกอบไว้ค่อนข้างที่ครอบคลุมกับองค์ประกอบของการทำงานร่วมกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ระบุทักษะการทำงานร่วมกัน 3 องค์ประกอบ เช่นเดียวกับสคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) โดยแต่ละองค์ประกอบมีรายละเอียด ดังนี้

1) การสร้างความเข้าใจร่วมกัน คือ นักเรียนสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลหรือทัศนคติเพื่อสร้างความเข้าใจร่วมกันเกี่ยวกับประโยชน์หรือเป้าหมายของการทำงาน นำข้อมูลความรู้ หรือทรัพยากรที่แตกต่างกันมารวมกันและระบุวิธีการใช้ทรัพยากรที่มีร่วมกันอย่างเหมาะสม กำหนดบทบาทหน้าที่และแบ่งงานที่เหมาะสมกับความสามารถหรือความเชี่ยวชาญของสมาชิกแต่ละคนในกลุ่ม

2) การมีส่วนร่วม คือ นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงานร่วมกันของกลุ่ม ยอมรับการมีส่วนร่วมของผู้อื่นหรือเข้าใจมุมมองของผู้อื่นในการทำงานหรือแก้ปัญหา รับผิดชอบบทบาทของตนเองและเข้าใจบทบาทของผู้อื่น

3) การกำกับการทำงานกลุ่ม คือ นักเรียนมีการประเมินตนเองและตรวจสอบการมีส่วนร่วมในการทำงานของตนเองเทียบกับความก้าวหน้าของงานกลุ่ม จัดการกับความคิดเห็นที่แตกต่างหรือความขัดแย้งที่เกิดขึ้น ติดตามความคืบหน้าของงานกระตุ้นเตือนให้ผู้อื่นสื่อสารและปฏิบัติตามหน้าที่ตามความรับผิดชอบของตนเอง ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมและการมีส่วนร่วมของตนเองให้เหมาะสมกับความต้องการของสมาชิกกลุ่ม

2.4 การวัดและประเมินผลทักษะการทำงานร่วมกัน

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดและประเมินผลทักษะการทำงานร่วมกันแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกันและแบบประเมินทักษะการทำงานร่วมกัน โดยที่แบบสังเกตทักษะจะเป็นการประเมินโดยผู้สอนเป็นผู้ประเมินผู้เรียน ส่วนแบบประเมินทักษะจะมีทั้งผู้สอนเป็นผู้ประเมินผู้เรียน ผู้เรียนประเมินตนเอง หรือประเมินเพื่อน ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดและประเมินทักษะในการทำงานร่วมกัน

ผู้วิจัย	เครื่องมือที่ใช้ในการวัดทักษะการทำงานร่วมกัน		ผู้ประเมิน		
	แบบสังเกต	แบบประเมิน	ผู้สอน	ผู้เรียนประเมินตนเอง	เพื่อนในกลุ่ม
1. กนกพร แสงสว่าง (2540, น. 96)		✓		✓	
2. กฤษณา พงษ์วาปี (2550, น .71-72)	✓		✓		

ตาราง 6 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดและประเมินทักษะในการทำงานร่วมกัน (ต่อ)

ผู้วิจัย	เครื่องมือที่ใช้ในการวัดทักษะการทำงานร่วมกัน		ผู้ประเมิน		
	แบบสังเกต	แบบประเมิน	ผู้สอน	ผู้เรียนประเมินตนเอง	เพื่อนในกลุ่ม
3. สมศักดิ์ เกรัมย์ (2552, น .27)		✓	✓		
4.อาทิตยา จิตบาล (2553, น .36)	✓		✓		
5. พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์ (2554, น .66)		✓	✓		
6. สิทธิชัย ลายเสมา (2557, น .27)		✓	✓	✓	✓
7. ลัดด์ (Ladd et al., 2014, pp. 13-14)		✓	✓		
8. ศิริพล แสนบุญส่ง (2560, น .238)		✓		✓	✓
9. สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11)		✓	✓		
10. นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ (2563, น. 103)	✓		✓		

จากตาราง 6 พบว่า งานวิจัยจาก 7 ใน 10 งานวิจัยได้ใช้แบบประเมินทักษะการทำงานร่วมกันเป็นเครื่องมือในการวัดทักษะการทำงานร่วมกัน โดยผู้สอนเป็นผู้ประเมินผู้เรียน (Ladd et al., 2014, pp. 13-14; Scoular et al., 2020, pp. 6-11; พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 66; สมศักดิ์ เกรัมย์, 2552, น. 27) นอกจากนี้ยังมีแบบประเมินที่ผู้เรียนประเมินตนเอง (กนกพร แสงสว่าง, 2540, น. 96) หรือผู้เรียนประเมินตนเองและประเมินเพื่อน (ศิริพล แสนบุญส่ง, 2560, น. 238) หรือรวมทั้ง 3 อย่างคือผู้สอนประเมินผู้เรียน ผู้เรียนประเมินตนเองและประเมินเพื่อน (สิทธิชัย ลายเสมา, 2557, น. 27) และอีก 3 งานวิจัยได้ใช้แบบสังเกตทักษะการทำงาน

ร่วมกัน โดยผู้สอนเป็นผู้ประเมิน (กฤษณา พงษ์วาปี, 2550, น. 71-72; นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ, 2563, น. 103; อาทิตยา จิตบาล, 2553, น. 36)

สำหรับเกณฑ์การประเมิน งานวิจัยส่วนใหญ่ใช้เกณฑ์การประเมิน 4 ระดับ คือ ระดับ 1 - 4 (กฤษณา พงษ์วาปี, 2550, น. 71-72; นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ, 2563, น. 103; พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 66; สมศักดิ์ เกรัมย์, 2552, น. 27; สิทธิชัย ลายเสมา, 2557, น. 353-357; อาทิตยา จิตบาล, 2553, น. 46-47) ดังนี้

4 หมายถึง ปฏิบัติได้ดีที่สุด/มากที่สุด/ดีมาก/ดีเยี่ยม

3 หมายถึง ปฏิบัติได้ดี/มาก/ดี

2 หมายถึง ปฏิบัติได้พอใช้

1 หมายถึง ต้องปรับปรุง/น้อย

งานวิจัยของ ลัดด์ (Ladd et al., 2014, pp. 13-14) ได้ใช้เกณฑ์ 4 ระดับ คือ ระดับ 0-3 ดังนี้

3 หมายถึง แทบจะตลอดเวลา

2 หมายถึง เคยเป็นบางครั้ง

1 หมายถึง แทบจะไม่เคย และ

0 หมายถึง ไม่เคย

ส่วนงานวิจัยที่พบว่าใช้เกณฑ์ในการประเมินเพียง 3 ระดับ คือ งานวิจัยของ กนกพร แสงสว่าง (2540, น. 96) ได้กำหนดระดับคุณภาพ 3 ระดับ ได้แก่

3 หมายถึง ปฏิบัติไม่ต่ำกว่า 3 ครั้ง

2 หมายถึง ปฏิบัติ 1-2 ครั้ง

1 หมายถึง ปฏิบัติไม่ต่ำกว่า 3 ครั้ง

และงานวิจัยที่ใช้เกณฑ์การประเมิน 5 ระดับ คือ งานวิจัยของ ศิริพล แสนบุญส่ง (2560, น. 238) ได้กำหนดระดับคุณภาพ 5 ระดับ ได้แก่

5 หมายถึง ดีมาก

4 หมายถึง ดี

3 หมายถึง ปานกลาง

2 หมายถึง พอใช้ และ

1 หมายถึง ปรับปรุง

สำหรับงานวิจัยของ สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, p. 6-11) ได้ออกแบบการวัดระดับพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันเพื่อสนับสนุนความเข้าใจในทักษะและวิธีการพัฒนาจากความเข้าใจขั้นต้นไปสู่ขั้นสูง โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมิน 5 ระดับ ดังนี้

High	หมายถึง ระดับสูง
Mid-high	หมายถึง ก่อนระดับสูง
Medium	หมายถึง ระดับกลาง
Mid-Low	หมายถึง ก่อนระดับต่ำ
Low	หมายถึง ระดับต่ำ

โดยสคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, p. 6-11) ได้ระบุพฤติกรรมในแต่ละระดับ ดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกัน

องค์ประกอบหลัก	องค์ประกอบย่อย	ระดับการพัฒนา				
		High	Mid-High	Medium	Mid-Low	Low
1) การสร้างความเข้าใจร่วมกัน	ด้านที่ 1.1 สื่อสารกับผู้อื่น		ผู้เรียนอำนวยความสะดวกและรักษาการสื่อสารที่เกี่ยวข้องกับงานและมีประสิทธิผลภายในกลุ่มตลอดการทำงาน	ผู้เรียนมีการให้เหตุผลอภิปรายโต้ตอบในหลากหลายมุมมอง	ผู้เรียนถามคำถามหรือขอคำชี้แจงจากสมาชิกโดยสื่อสารแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับงานและอภิปรายโต้ตอบกับสมาชิกภายในกลุ่ม	ผู้เรียนสื่อสารแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเมื่อถูกถามหรือบอกให้พูด
	ด้านที่ 1.2 รวมทรัพยากรและข้อมูล		ผู้เรียนรวบรวมและทบทวน / สำรวจทรัพยากรและข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ในกลุ่ม		ผู้เรียนระบุข้อมูลไม่ครบถ้วนและรวมทรัพยากรและข้อมูลบางอย่างไว้กับผู้อื่น	ผู้เรียนแบ่งปันทรัพยากรหรือข้อมูลกับผู้อื่นเมื่อถูกถาม
	ด้านที่ 1.3 เจรจาต่อรองบทบาทและความรับผิดชอบ		ผู้เรียนต่อรองบทบาทที่ตรงกับความเชี่ยวชาญหรือทักษะที่สมาชิกในกลุ่มจัดให้ ผู้เรียนใช้การจัดสรรบทบาทเพื่อเสนอกลยุทธ์แผนงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายร่วมกัน		ผู้เรียนมีการเจรจาต่อรองบทบาท แต่ไม่คำนึงถึงความเชี่ยวชาญในข้อมูลหรือทักษะที่มีของสมาชิกคนอื่นๆ ในกลุ่ม	ผู้เรียนยอมรับบทบาทและความรับผิดชอบที่ได้รับมอบหมาย

ตาราง 7 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกัน (ต่อ)

องค์ประกอบหลัก	องค์ประกอบย่อย	ระดับการพัฒนา				
		High	Mid-High	Medium	Mid-Low	Low
2. การมีส่วนร่วม	ด้านที่ 2.1 มีส่วนร่วมในกลุ่ม	ผู้เรียนลองใช้กลยุทธ์ทางเลือกเพื่อให้ไปถึงเป้าหมายสุดท้ายแม้ในสถานการณ์หรือปัญหาที่ยากลำบาก	ผู้เรียนมีส่วนร่วมตลอดทั้งงานและมองไปจนถึงเป้าหมายสุดท้ายหรือพยายามหาแนวทางแก้ไขหลายครั้งในการทำงานกลุ่ม		ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการทำงานตลอดงานทั้งหมด ผู้เรียนรักษากลยุทธ์เดียวตลอดทั้งงาน ผู้เรียนร่วมมือเพื่อบรรลุเป้าหมายอย่างตรงไปตรงมา	ผู้เรียนลงมือปฏิบัติงานแต่อาจไม่ถึงจุดสิ้นสุดของงานทั้งหมด
	ด้านที่ 2.2 ยอมรับการมีส่วนร่วมของผู้อื่น			ผู้เรียนรับทราบว่าผู้อื่นอาจมีมุมมองที่แตกต่างกันและจากมุมมองเหล่านี้การมีส่วนร่วมของผู้อื่นอาจเป็นประโยชน์ต่อกลุ่มโดยรวม เข้าใจการมีส่วนร่วมของผู้อื่นในงานของตนเอง	ผู้เรียนเข้าใจว่าผู้อื่นอาจมีมุมมองทางเลือก รับฟังและรับทราบมุมมองของผู้อื่น	ผู้เรียนรับทราบบทบาทของผู้อื่นในงาน

ตาราง 7 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกัน (ต่อ)

องค์ประกอบหลัก	องค์ประกอบย่อย	ระดับการพัฒนา				
		High	Mid-High	Medium	Mid-Low	Low
	ด้านที่ 2.3 มีส่วนร่วมกับบทบาทและความรับผิดชอบเป็นไปตามแผนเพื่อบรรลุเป้าหมายร่วมกัน	ผู้เรียนติดตามการมีส่วนร่วมของบทบาทเพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการผู้อื่นในงาน มีส่วนร่วมในการรับผิดชอบงาน	ผู้เรียนมีความรับผิดชอบต่องานที่ได้รับและเข้าใจบทบาทและประโยชน์ของ		ผู้เรียนแสดงความเต็มใจและพร้อมที่จะมีส่วนร่วมในกลุ่ม รับผิดชอบต่อการทำงานที่กำหนดบทบาทและให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานแต่ละงาน	ผู้เรียนปฏิบัติตามความรับผิดชอบที่เกี่ยวข้องกับบทบาทของตน เช่น ปฏิบัติตามคำแนะนำง่าย ๆ ที่ชัดเจน
3. การกำกับการทำงานกลุ่ม	ด้านที่ 3.1 มั่นใจว่าการมีส่วนร่วมของตนเองเป็นไปอย่างสร้างสรรค์	ผู้เรียนมั่นใจในคุณภาพและการมีส่วนร่วมของตนเองว่ามีส่วนร่วมกับกลุ่มได้ดีเพียงใด ประสานงานกันและสะท้อนให้เห็นถึงความสร้างสรรค์ของการมีส่วนร่วมของกลุ่ม		ผู้เรียนระบุจุดแข็งและจุดอ่อนของตนเองที่สัมพันธ์กับความก้าวหน้าของงานกลุ่ม	ผู้เรียนสะท้อนถึงคุณภาพและความเกี่ยวข้องของผลงานของตนเอง	ผู้เรียนสามารถระบุการมีส่วนร่วมของตนเองได้

ตาราง 7 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกัน (ต่อ)

องค์ประกอบหลัก	องค์ประกอบย่อย	ระดับการพัฒนา				
		High	Mid-High	Medium	Mid-Low	Low
	ด้านที่ 3.2 แก้ไขความแตกต่าง	ผู้เรียนแก้ไขความแตกต่างอธิบายและแสดงเหตุผลความเข้าใจนำไปสู่การทำงานร่วมกันที่เหมาะสม	ผู้เรียนจัดการกับความขัดแย้งโดยการอภิปรายโต้เถียงในมุมมองของพวกเขา	ผู้เรียนพยายามอย่างสร้างสรรค์ แต่ไม่ประสบความสำเร็จในการแก้ไขความแตกต่าง	ผู้เรียนอภิปรายความแตกต่างของความคิดเห็นหรือมุมมองกับผู้อื่นและพิจารณามุมมองของผู้อื่นอย่างรอบคอบ พวกเขาแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับความแตกต่าง แต่ไม่สามารถแก้ไขได้	
	ด้านที่ 3.3 รักษาความเข้าใจร่วมกัน	ผู้เรียนติดตามความคืบหน้าของกลุ่มอย่างต่อเนื่องติดตามความก้าวหน้าของงานเป็นประจำจากสมาชิกในกลุ่มและให้ข้อมูลเกี่ยวกับความก้าวหน้าของตนเองสามารถปรับตัวและยืดหยุ่นเจรจาต่อรองบทบาทหรือกลยุทธ์ และทำหน้าที่ปรับความเข้าใจร่วมกันในกรณีที่จำเป็น	ผู้เรียนให้ข้อมูลเกี่ยวกับความก้าวหน้าของตนเองของกลุ่มเมื่อถูกถาม ให้คำแนะนำเพื่อเจรจาต่อรองบทบาทหรือกลยุทธ์ตามความเหมาะสมและระบุข้อบกพร่องในความเข้าใจร่วมกัน	ผู้เรียนทำหน้าที่รักษาความเข้าใจร่วมกันเช่นการย้ำหรือสรุปเป้าหมายกลยุทธ์และบทบาทในงานที่ซับซ้อนมากขึ้น	ผู้เรียนทำหน้าที่รักษาความเข้าใจร่วมกันโดยการย้ำเป้าหมายกลยุทธ์และบทบาทในงาน	

ตาราง 7 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกัน (ต่อ)

องค์ประกอบหลัก	องค์ประกอบย่อย	ระดับการพัฒนา				
		High	Mid-High	Medium	Mid-Low	Low
	ด้านที่ 3.4 ปรับพฤติกรรมและการมีส่วนร่วมเพื่อผู้อื่น	ผู้เรียนระบุพฤติกรรมและรูปแบบการสื่อสาร และระดับความซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับสมาชิกในกลุ่ม	ผู้เรียนปรับเปลี่ยนการมีส่วนร่วมของตนเพื่อผู้อื่นและปรับแต่งการสื่อสารให้เหมาะกับความต้องการของสมาชิกกลุ่มอื่น	ผู้เรียนต้องการความคิดเห็นจากผู้อื่นหรือการร้องขออย่างชัดเจนก่อนที่จะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการสื่อสารของตน		

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดทักษะการทำงานร่วมกันของผู้เรียนเป็น 3 องค์ประกอบ คือ การสร้างความเข้าใจร่วมกัน การมีส่วนร่วม และการกำกับการทำงานของกลุ่ม โดยเลือกใช้แบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกันโดยผู้สอนเป็นผู้ประเมินผู้เรียน ที่ปรับมาจาก สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) โดยมีรายละเอียดลักษณะของพฤติกรรมในแต่ละด้านครอบคลุมองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน 3 องค์ประกอบ 10 ข้อ และเลือกใช้แบบสังเกตเป็นแบบมาตรประมาณค่า 3 ระดับ เนื่องจากสามารถแยกพฤติกรรมได้ชัดเจนกว่า 5 ระดับ เพราะในสคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) พบว่าไม่สามารถแยก 5 ระดับได้ในทุกองค์ประกอบ โดยแต่ละระดับมีความหมายดังนี้

3 คะแนน หมายถึง ระดับสูง

2 คะแนน หมายถึง ระดับกลาง

1 คะแนน หมายถึง ระดับต่ำ

แบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกันมีระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกัน ดังตาราง 8

ตาราง 8 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันที่ปรับจาก สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11)

องค์ประกอบ	ระดับพัฒนาการ		
	ระดับสูง (3 คะแนน)	ระดับกลาง (2 คะแนน)	ระดับต่ำ (1 คะแนน)
1. การสร้างความเข้าใจร่วมกัน (Building shared understanding)			
1.1 สื่อสารกับผู้อื่น	นักเรียนมีการให้เหตุผลอภิปรายโต้ตอบในหลากหลายมุมมอง	นักเรียนถามคำถามหรือขอคำชี้แจงจากสมาชิกโดยสื่อสารแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับงานและอภิปรายโต้ตอบกับสมาชิกภายในกลุ่ม	นักเรียนสื่อสารแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเมื่อถูกถามหรือบอกให้พูด
1.2 รวมทรัพยากรและข้อมูล	นักเรียนรวบรวมและทบทวน สำรวจ / ทรัพยากรและข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ในกลุ่ม	นักเรียนระบุข้อมูลไม่ครบถ้วนและรวมทรัพยากรและข้อมูลบางอย่างไว้กับผู้อื่น	นักเรียนแบ่งปันทรัพยากรหรือข้อมูลกับผู้อื่นเมื่อถูกถาม

ตาราง 8 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันที่ปรับจาก สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) (ต่อ)

องค์ประกอบ	ระดับพัฒนาการ		
	ระดับสูง (3 คะแนน)	ระดับกลาง (2 คะแนน)	ระดับต่ำ (1 คะแนน)
1.3 เจรจาต่อรองบทบาทและความรับผิดชอบ	นักเรียนต่อรองบทบาทที่ตรงกับความเชี่ยวชาญหรือทักษะที่สมาชิกในกลุ่มจัดให้ นักเรียนใช้การจัดสรรบทบาทเพื่อเสนอกลยุทธ์ แผนงาน / เพื่อให้บรรลุเป้าหมายร่วมกัน	นักเรียนมีการเจรจาต่อรองบทบาท แต่ไม่คำนึงถึงความเชี่ยวชาญในข้อมูลหรือทักษะที่มีของสมาชิกคนอื่นๆ ในกลุ่ม	นักเรียนยอมรับบทบาทและความรับผิดชอบที่ได้รับมอบหมาย
2. การมีส่วนร่วม (Collectively contributing)			
2.1 มีส่วนร่วมในกลุ่ม	นักเรียนมีส่วนร่วมตลอดทั้งงานและมองไปจนถึงเป้าหมายสุดท้ายหรือพยายามหาแนวทางแก้ไขหลายครั้งในการทำงานกลุ่ม	นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงานตลอดงานทั้งหมด นักเรียนรักษากลยุทธ์เดียวตลอดทั้งงาน นักเรียนร่วมมือเพื่อบรรลุเป้าหมายอย่างตรงไปตรงมา	นักเรียนลงมือปฏิบัติงานแต่อาจไม่ถึงจุดสิ้นสุดของงานทั้งหมด
2.2 ยอมรับการมีส่วนร่วมของผู้อื่น	นักเรียนรับทราบว่าผู้อื่นอาจมีมุมมองที่แตกต่างกันและจากมุมมองเหล่านี้การมีส่วนร่วมของผู้อื่นอาจเป็นประโยชน์ต่อกลุ่มโดยรวม เข้าใจการมีส่วนร่วมของผู้อื่นในงานของตนเอง	นักเรียนเข้าใจว่าผู้อื่นอาจมีมุมมองทางเลือก รับฟังและรับทราบมุมมองของผู้อื่น	นักเรียนรับทราบบทบาทของผู้อื่นในงาน

ตาราง 8 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันที่ปรับจาก สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) (ต่อ)

องค์ประกอบ	ระดับพัฒนาการ		
	ระดับสูง (3 คะแนน)	ระดับกลาง (2 คะแนน)	ระดับต่ำ (1 คะแนน)
2.3 มีส่วนร่วมกับบทบาทและความรับผิดชอบ	นักเรียนติดตามการมีส่วนร่วมของบทบาทเพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการเป็นไปตามแผนเพื่อบรรลุเป้าหมายร่วมกัน	นักเรียนมีความรับผิดชอบต่องานที่ได้รับและเข้าใจบทบาทและประโยชน์ของผู้อื่นในงาน มีส่วนร่วมในการรับผิดชอบงาน	นักเรียนปฏิบัติตามความรับผิดชอบที่เกี่ยวข้องกับบทบาทของตนเช่นปฏิบัติตามคำแนะนำง่าย ๆ ชัดเจน
3. การกำกับการทำงานของกลุ่ม (Regulation)			
3.1 มั่นใจว่าการมีส่วนร่วมของตนเองเป็นไปอย่างสร้างสรรค์	นักเรียนมั่นใจในคุณภาพและการมีส่วนร่วมของตนเองว่ามีส่วนร่วมกับกลุ่มได้ดีเพียงใด ประสานงานกันและสะท้อนให้เห็นถึงความสร้างสรรค์ของการมีส่วนร่วมของกลุ่ม	นักเรียนระบุจุดแข็งและจุดอ่อนของตนเองที่สัมพันธ์กับความก้าวหน้าของงานกลุ่ม	นักเรียนสามารถระบุการมีส่วนร่วมของตนเองได้
3.2 แก้ไขความแตกต่าง	นักเรียนแก้ไขความแตกต่างอธิบายและแสดงเหตุผลความเข้าใจนำไปสู่การทำงานร่วมกันที่เหมาะสม	นักเรียนจัดการกับความขัดแย้งโดยการอภิปรายโต้เถียงในมุมมองของพวกเขา	นักเรียนอภิปรายความแตกต่างของความคิดเห็นหรือมุมมองกับผู้อื่นและพิจารณามุมมองของผู้อื่นอย่างรอบคอบ พวกเขาแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับความแตกต่าง แต่ไม่สามารถแก้ไขได้

ตาราง 8 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันที่ปรับจาก สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) (ต่อ)

องค์ประกอบ	ระดับพัฒนาการ		
	ระดับสูง (3 คะแนน)	ระดับกลาง (2 คะแนน)	ระดับต่ำ (1 คะแนน)
3.3 รักษาความเข้าใจร่วมกัน	นักเรียนติดตามความก้าวหน้าของกลุ่มอย่างต่อเนื่อง ติดตามความก้าวหน้าของงานเป็นประจำจากสมาชิกในกลุ่มและให้ข้อมูลเกี่ยวกับความก้าวหน้าของตนเองสามารถปรับตัวและยืดหยุ่นเจรจาต่อรองบทบาทหรือกลยุทธ์ และทำหน้าที่ปรับความเข้าใจร่วมกันในกรณีที่จำเป็น	นักเรียนให้ข้อมูลเกี่ยวกับความก้าวหน้าของตนเองและของกลุ่มเมื่อถูกถาม ให้คำแนะนำเพื่อเจรจาต่อรองบทบาทหรือกลยุทธ์ตามความเหมาะสม และระบุข้อบกพร่องในความเข้าใจร่วมกัน	นักเรียนทำหน้าที่รักษาความเข้าใจร่วมกันโดยการย้ำเป้าหมายกลยุทธ์และบทบาทในงาน
3.4 ปรับพฤติกรรมและการมีส่วนร่วมเพื่อผู้อื่น	นักเรียนระบุพฤติกรรมและรูปแบบการสื่อสารของสมาชิกภายในกลุ่มในระดับที่ซับซ้อนได้	นักเรียนปรับเปลี่ยนการมีส่วนร่วมของตนเพื่อผู้อื่นและปรับแต่งการสื่อสารให้เหมาะกับความต้องการของสมาชิกกลุ่ม	นักเรียนต้องการความคิดเห็นจากผู้อื่นหรือการร้องขออย่างชัดเจนก่อนที่จะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการสื่อสารของตน

2.5 แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกัน

แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกัน จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่พบ มีดังนี้ การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ (collaborative Learning) (กนกพร แสงสว่าง, 2540, น. 54; นรินทร์ กระพี้แดง, 2542, น. 77; ศิริพล แสนบุญส่ง, 2560, น. 227; สมศักดิ์ เกรัมย์, 2552, น. 27) รูปแบบการเรียนการสอนแบบ 4MAT (พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 76) และกระบวนการเรียนรู้แบบโพกิล (นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ, 2563, น. 99) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ

การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ หมายถึง วิธีการสอนที่นักเรียนทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มเล็ก ๆ เพื่อมุ่งสู่เป้าหมายเดียวกัน คุณลักษณะที่สำคัญของการเรียนรู้แบบร่วมมือคือความสำเร็จของนักเรียนคนหนึ่งสามารถช่วยให้นักเรียนคนอื่น ๆ ประสบความสำเร็จได้ (Slavin, 1982, p. 7) นอกจากนี้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ ยังเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่แบ่งผู้เรียนออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ โดยสมาชิกในกลุ่มมีความสามารถแตกต่างกัน (กนกพร แสงสว่าง, 2540, น. 54; ศิริพล แสนบุญส่ง, 2560, น. 17; สมศักดิ์ เกรัมย์, 2552, น. 27) ทั้งในด้านความสามารถ ความสนใจ เพศ และอื่น ๆ (กนกพร แสงสว่าง, 2540, น. 54) โดยแต่ละคนจะมีบทบาทหน้าที่และความรับผิดชอบที่ต้องพึ่งพาอาศัยกัน เน้นกระบวนการร่วมมือกันมากกว่าการแข่งขัน เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งให้ผู้เรียนเป็นแหล่งเรียนรู้ให้แก่กันและกัน ร่วมมือกัน แลกเปลี่ยนความคิดเห็น ช่วยเหลือซึ่งกันและกัน และเรียนรู้วิธีการทำงานร่วมกัน ผลสำเร็จของสมาชิกแต่ละคนถือว่าเป็นผลสำเร็จของกลุ่ม (สมศักดิ์ เกรัมย์, 2552, น. 27) หรือเป็นการจัดกิจกรรมที่ให้ผู้เรียนมีการพึ่งพาอาศัยกันในการเรียนรู้ เพื่อศึกษาค้นคว้าแก้ปัญหาในสิ่งที่สนใจเหมือนกันโดยการสร้างชิ้นงานหรือทำโครงงานแล้วนำเสนอข้อมูลความรู้ที่ได้จากการศึกษาจากสิ่งแวดล้อมทางการเรียนที่ผู้สอนได้จัดเตรียมไว้ให้ ทำให้เกิดการบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ (ศิริพล แสนบุญส่ง, 2560, น. 17) จากการวิจัยพบว่าการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ สามารถพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันได้ในระดับดี (ศิริพล แสนบุญส่ง, 2560, น. 237; สมศักดิ์ เกรัมย์, 2552, น. 27) หรือพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันให้สูงขึ้น (กนกพร แสงสว่าง, 2540, น. 54; นรินทร์ กระพี้แดง, 2542, น. 80) เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือทำให้นักเรียนทุกคนได้มีโอกาสทำงานกลุ่ม ส่งเสริมให้สมาชิกในกลุ่มตระหนักเห็นความสำคัญของตน มีเจตนาที่ดี มีความตั้งใจ มีความกระตือรือร้นในการปฏิบัติงานตามบทบาทหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย มีความสัมพันธ์ที่ดีต่อกัน ร่วมมือและประสานงานกันอย่างเข้าใจ (นรินทร์ กระพี้แดง, 2542, น. 80; สมศักดิ์ เกรัมย์, 2552, น. 27) นอกจากนี้การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือยังทำให้นักเรียนมองเห็นเป้าหมายหรือความสำเร็จร่วมกัน ทำให้เกิดการช่วยเหลือกันอย่างเต็มกำลังความสามารถ ทำให้ปฏิสัมพันธ์ภายในกลุ่มเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและจริงจังเพราะเมื่อนักเรียนได้เผชิญปัญหาด้วยตนเอง จำเป็นที่จะต้องใช้ทักษะการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ไขปัญหาต่าง ๆ จึงจะทำให้กลุ่มประสบความสำเร็จได้ (นรินทร์ กระพี้แดง, 2542, น. 80)

ทั้งนี้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือมีเทคนิคที่หลากหลาย งานวิจัยส่วนหนึ่งได้ใช้ กระบวนการเรียนการสอนแบบจิกซอว์ (JIGSAW) ในการส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกัน เช่น กนกพร แสงสว่าง (2540, น. 54) และ นรินทร์ กระพี้แดง (2542, น. 81) ที่ได้จัดการ

เรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้เทคนิคจิกซอว์(JIGSAW) พบว่า นักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อนักเรียนได้เรียนรู้โดยเทคนิคจิกซอว์ นักเรียนทุกคนมีบทบาทหน้าที่ที่จะต้องรับผิดชอบเป็นรายบุคคลและต่อส่วนรวมร่วมกัน ซึ่งการที่นักเรียนแต่ละคนมีบทบาทหน้าที่แตกต่างกันไปแต่ละกิจกรรม เป็นการช่วยฝึกทักษะการทำงานร่วมกันให้เป็นไปอย่างมีระบบ และเมื่อสับเปลี่ยนบทบาทหน้าที่ของแต่ละคนตามลักษณะกิจกรรมที่จัด ทำให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นร่วมกันในการปฏิบัติหน้าที่ของแต่ละคนให้มีประสิทธิภาพ (กนกพร แสงสว่าง, 2540, น. 64-65) สอดคล้องกับ (นรินทร์ กระพี้แดง, 2542, น. 81) กล่าวว่า การเรียนแบบร่วมมือโดยใช้เทคนิคจิกซอว์ เป็นการเรียนที่เน้นให้ผู้เรียนได้มีโอกาสปฏิบัติงานในลักษณะกระบวนการกลุ่ม ซึ่งทุกคนมีเป้าหมายร่วมกัน มีบทบาทอย่างเสมอภาคกันภายในกลุ่ม ทุกคนมีบทบาทของตนเองอย่างเต็มที่เพื่อผลสำเร็จของตนเองและกลุ่ม ดังนั้น บทบาทการทำงานร่วมกันของสมาชิกกลุ่มจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ ส่งผลต่อการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันของผู้เรียนทุกคน

2.5.2 การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT

การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT หมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่คำนึงถึงรูปแบบการเรียนรู้ของนักเรียน 4 แบบที่แตกต่างกัน ได้แก่ นักเรียนที่มีจินตนาการเป็นหลัก นักเรียนที่เรียนรู้ด้วยการวิเคราะห์และการเก็บรายละเอียดเป็นหลัก นักเรียนที่เรียนรู้ด้วยสามัญสำนึกหรือประสาทสัมผัส นักเรียนที่เรียนด้วยการรับรู้จากประสบการณ์รูปธรรมไปสู่การลงมือปฏิบัติ (พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 5) เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนาสมองซีกซ้าย-ซีกขวาอย่างสมดุลกัน เพื่อให้สอดคล้องกับธรรมชาติของสมองและความต้องการของนักเรียนอย่างเหมาะสม (เนาวรัตน์ โตประศรี & สถาพร ขันโต, 2555, น. 64; พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 5) ซึ่งมีขั้นตอนการสอน 8 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นที่ 1 สร้างประสบการณ์ ขั้นที่ 2 วิเคราะห์ประสบการณ์ ขั้นที่ 3 ปรับประสบการณ์ ขั้นที่ 4 พัฒนาความคิดรวบยอด ขั้นที่ 5 ลงมือปฏิบัติจากกรอบความคิดที่กำหนด ขั้นที่ 6 สร้างชิ้นงานตามความถนัดและสนใจ ขั้นที่ 7 วิเคราะห์คุณค่าและประยุกต์ใช้ ขั้นที่ 8 การแลกเปลี่ยนประสบการณ์เรียนรู้กับผู้อื่น (McCarthy, 1982, p. 23; เจษฎา ราษฎร์นิยม, สุเมธพงศ์ จงรักษา, อารยา ลี, และมนมนัส สุดสิ้น, 2562, น. 28; เนาวรัตน์ โตประศรี, และ สถาพร ขันโต, 2555, น. 64) จุดเด่นของการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT คือ การสอนเน้นให้นักเรียนได้พัฒนาบนพื้นฐานทฤษฎีพหุปัญญา โดยใช้สมองซีกซ้ายและซีกขวาอย่างสมดุล และคำนึงถึงความสามารถในการเรียนรู้ที่แตกต่างกันในหลายด้าน เช่น กล้าแสดงความคิดเห็น กล้าพูด มี

ความคิดสร้างสรรค์ มีความกระตือรือร้นในการเรียน ได้ฝึกทักษะที่เรียนผ่านประสบการณ์ตรงและการลงมือปฏิบัติอย่างต่อเนื่องได้ตรงตามความสามารถและความถนัด และความสนใจตามศักยภาพ นักเรียนที่เรียนเก่งและเรียนอ่อนสามารถทำงานร่วมกัน ช่วยกันแก้ปัญหา และเรียนรู้อย่างมีความสุข (พัชรี เทพสุริบูรณ์, จิต นวนแก้ว, และสุมาลี เลี่ยมทอง, 2562, น. 171) พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์ (2554, น. 76) ได้จัดการเรียนรู้แบบ 4MAT เพื่อศึกษาทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่า ในภาพรวม นักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับดี เนื่องจากครูสามารถจัดบทบาทหน้าที่ในการทำงานเพื่อการเรียนรู้ให้มีระเบียบเป็นระบบมากขึ้น นักเรียนได้ฝึกปฏิบัติตรงตามความสามารถ ความถนัดและความสนใจ นักเรียนที่เรียนดีและเรียนอ่อนสามารถทำงานร่วมกัน โดยให้นักเรียนมีโอกาสทำกิจกรรมร่วมกันเป็นกลุ่มและลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง นักเรียนเข้าใจและรู้บทบาทหน้าที่ของตนเอง ทั้งการเป็นผู้นำและผู้ตามที่ดี ช่วยกันวางแผนการทำงานร่วมกัน ซึ่งเป็นการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่น

2.5.3 การจัดการเรียนรู้แบบโพกิล

การจัดการเรียนรู้แบบโพกิล (Process-oriented guided-inquiry learning หรือ POGIL) หรือการเรียนรู้สืบเสาะแบบแนะนำเน้นกระบวนการ คือ กลยุทธ์และปรัชญาการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง นักเรียนทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มเล็ก ๆ ในกิจกรรมที่ออกแบบมาเป็นพิเศษตามวงจรการเรียนรู้ (Moog et al., 2006, p. 41) โดยครูทำหน้าที่อำนวยความสะดวกออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้เป็นไปตามกระบวนทัศน์วงจรการเรียนรู้ (Moog & Spencer, 2008, p. 3) หรือการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นพัฒนากระบวนการที่สำคัญ ได้แก่ กระบวนการคิด กระบวนการกลุ่ม กระบวนการแก้ปัญหา และกระบวนการประเมินค่า (Moog & Spencer, 2008, p. 3; กัลยา ภูทัตโต, 2559, น. 6) การจัดการเรียนรู้แบบโพกิล ถูกพัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัย Stony Brook ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยประยุกต์การจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะแนะแนวทาง (Guided - inquiry) ร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือ (Hanson, 2006, p. 31) ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ดังนี้ 1. ขั้นระบุความต้องการ 2. ขั้นเชื่อมโยงความรู้เดิม 3. ขั้นสำรวจค้นคว้า 4. ขั้นการสร้างแนวคิด 5. ขั้นประยุกต์ความรู้เพื่อการปฏิบัติ 6. ขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในบริบทใหม่ และ 7. ขั้นสะท้อนความคิดกระบวนการ (Hanson, 2006, p. 29; กัลยา ภูทัตโต, 2559, น. 6) นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ (2563, น. 106) ได้จัดการเรียนรู้แบบโพกิล ผลการศึกษาพบว่าการเรียนรู้แบบโพกิลสามารถส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกันโดยภาพรวมอยู่ในระดับดีเยี่ยม เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบโพกิลทั้ง 7 ขั้นตอนช่วยส่งเสริมการทำกิจกรรมกลุ่ม และ ใน

ขั้นตอนที่ 7 นักเรียนได้มีโอกาสประเมินและสะท้อนผลการเรียนรู้ของกลุ่ม สมาชิกแต่ละคนในกลุ่มมีบทบาทหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้กระบวนการเรียนรู้แบบโพกิลมีจุดเด่นที่แตกต่างจากการเรียนรู้แบบสืบเสาะทั่วไป คือ การมุ่งเน้นพัฒนากระบวนการคิด กระบวนการการแก้ปัญหา กระบวนการประเมินค่า และในขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ขั้นที่ 3 ถึงขั้นที่ 7 ได้ผนวกการเรียนรู้แบบร่วมมือ ในการวิจัยพบว่าเมื่อสังเกตนักเรียนที่เป็นคนเก่งประจำกลุ่ม นักเรียนที่เก่งจะคอยช่วยเหลือนักเรียนที่อ่อนของกลุ่มทำให้นักเรียนสามารถช่วยกันเรียนรู้ก่อให้เกิดการสร้างแนวคิดด้วยความเข้าใจของตนเองเพิ่มมากขึ้น (กัลยา ภูทัตโต, 2559, น. 59-60) แต่ถึงอย่างไรการนำกระบวนการเรียนรู้แบบโพกิลมาใช้ในการจัดการเรียนรู้อาจใช้เวลากันต่อเนื่องหลายแผน และควรมีการแบ่งขั้นตอนและเวลาอย่างเหมาะสมโดยคำนึงถึงธรรมชาติของการเรียนรู้ของนักเรียนเป็นหลัก (นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ, 2563, น. 106)

จากการจัดการเรียนรู้ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกัน ดังนี้

1. ควรจัดกลุ่มนักเรียนโดยคละความสามารถออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ เพื่อให้นักเรียนได้ทำงานร่วมกัน มีการพึ่งพาอาศัยกัน ปฏิบัติตามบทบาทหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของกลุ่ม

2. ในการจัดกลุ่มควรคำนึงถึงความสามารถและความถนัดของนักเรียนแต่ละบุคคล เพื่อให้นักเรียนสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีความสุข

3. ควรให้นักเรียนแต่ละกลุ่มได้เรียนรู้ด้วยตนเอง โดยครูทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก

จากการศึกษารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกัน พบว่ามีรูปแบบที่สอดคล้องกัน คือ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ โดยที่กระบวนการสืบเสาะที่ใช้นอกจากจะเน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ฝึกการแก้ปัญหาหรือหาคำตอบจากงานหรือสถานการณ์ปัญหาด้วยตนเอง ยังต้องเน้นการมีปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่น โดยการทำงานกลุ่มที่คละความสามารถและความถนัด และส่งเสริมให้มีการแสดงความคิดเห็น อภิปรายและสรุปความรู้ร่วมกัน โดยครูเป็นผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ของนักเรียนทั้งการจัดสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้และขณะปฏิบัติกิจกรรม และการปรับแนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียน อย่างไรก็ตามเนื่องจากสถานการณ์ปัจจุบัน ครูจะต้องปรับรูปแบบการเรียนรู้เป็นการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบออนไลน์ ดังนั้นในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ ในการพัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกันของผู้เรียน

3. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์

3.1 ความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ

การสืบเสาะ (inquiry) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560, น. 55-56) การสืบเสาะหาความรู้ (ชื่นจิต แสนสุด, 2553, น. 7) การสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (กุศลิน มุสิกุล, 2557, น. 1) ทางด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาใช้ ในความหมายเดียวกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้คำว่า “การสืบเสาะ” โดยราชบัณฑิตยสถานได้ให้ความหมายของการสืบเสาะไว้ว่า สืบเสาะ คือ ค้นหา แสวงหา (ราชบัณฑิตยสถาน, 2554)

สำหรับในงานวิจัยทางการศึกษาได้ให้ความหมายของการสืบเสาะไว้ ดังนี้

การสืบเสาะ หมายถึง วิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Lederman, 2009, pp. 1-4) และสร้างคำอธิบายโดยอยู่บนพื้นฐานของหลักฐานที่ได้จากการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ (National Research Council, 2000, p. 23)

สำหรับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ คือ การให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ของตนเองเพื่อพัฒนาความรู้ ความเข้าใจในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทำให้นักเรียนเข้าใจถึงกระบวนการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ในการศึกษาสิ่งต่าง ๆ บนโลก (Colburn, 2000, p. 42; National Research Council, 1996, p. 23; กุศลิน มุสิกุล, 2557, น. 1; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560, น. 55-56)

อัลเบอร์ตาเลิร์นนิง (Alberta Learning, 2004, p. 2) ระบุว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นกระบวนการที่นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ มีการกำหนดคำถามและวิธีการสำรวจตรวจสอบส่งผลให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจใหม่ ซึ่งความรู้นั้นช่วยให้นักเรียนตอบคำถามและพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาหรือสนับสนุนคำตอบของนักเรียนได้ โคลเบิร์น (Colburn, 2000, p. 42) อธิบายเพิ่มเติมถึงการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ คือ การสร้างบรรยากาศในห้องเรียนให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมปลายเปิด เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางและเน้นการฝึกปฏิบัติ สอดคล้องกับ ภพ เลาหไพบูลย์ (2542, น. 123) ได้ระบุความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ คือ การสอนที่เน้นกระบวนการแสวงหาความรู้ ซึ่งช่วยให้นักเรียนได้ค้นพบความรู้ต่าง ๆ ครูทำหน้าที่คล้ายผู้ช่วยในการเรียนรู้ของนักเรียน โดยครูต้องมีการเตรียมสภาพแวดล้อมในห้องเรียนให้เหมาะสมกับการเรียนรู้ของนักเรียน และ สุวิมล เขี้ยวแก้ว (2527, น. 76) ที่ได้ให้ความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ หมายถึง การสอนที่ครูจัดกิจกรรมหรือสถานการณ์ให้นักเรียนได้วางแผน กำหนดวิธีการในการค้นหาความรู้ด้วยตนเอง โดยอาศัยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการคิดของนักเรียนเอง

การสอนที่ครูจัดกิจกรรมหรือสถานการณ์ที่ช่วยให้นักเรียนค้นหาความรู้ได้อย่างมีหลักการและเหตุผล สามารถวางแผนและกำหนดวิธีการค้นหาความรู้ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางความคิดด้วยตนเอง โดยไม่ต้องคอยรับฟังคำบรรยายของครูเพียงอย่างเดียว

จากความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะข้างต้น สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ หมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ มีการลงมือแสวงหาความรู้ต่าง ๆ ด้วยตนเองโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางความคิดเพื่อพัฒนาความรู้ ความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และทำให้นักเรียนเข้าใจถึงวิธีการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ โดยครูมีหน้าที่อำนวยความสะดวกและสร้างบรรยากาศในห้องเรียนให้เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้ของนักเรียน

3.2 **เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ**

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่นำมาใช้ในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของหลาย ๆ ประเทศ ซึ่งในประเทศสหรัฐอเมริกา และ ประเทศไทย ได้ระบุเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ผ่านการสืบเสาะไว้ในหลักสูตรการศึกษาของประเทศอย่างชัดเจน ดังนี้

สำนักมาตรฐานการศึกษาวิทยาศาสตร์แห่งชาติอเมริกา (NSES) ได้กำหนดมาตรฐานการเรียนรู้ขั้นพื้นฐานที่ต้องการให้เกิดขึ้นกับนักเรียนชั้น ม.3 - ม.6 (Grades 9 -12) เมื่อผ่านการเรียนรู้แบบสืบเสาะไว้ดังนี้ (National Research Council, 2000, p. 19)

1. ระบุคำถามและแนวคิดที่เป็นแนวทางในการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์
2. ออกแบบและปฏิบัติการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ได้
3. ใช้เทคโนโลยีและคณิตศาสตร์เพื่อพัฒนาการสำรวจตรวจสอบและการสื่อสาร
4. กำหนดและแก้ไขคำอธิบายและแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์โดยใช้ตรรกะและหลักฐาน
5. รับรู้และวิเคราะห์คำอธิบายทางเลือกและแบบจำลอง
6. สื่อสารและปกป้องข้อโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์

สำหรับประเทศไทยหลักสูตรมุ่งหวังให้นักเรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นเชื่อมโยงความรู้และกระบวนการ มีทักษะที่จำเป็นในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ โดยใช้กระบวนการ

สืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย และกำหนดคุณภาพของนักเรียนเมื่อเรียนจบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ดังนี้ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560, น. 11)

1. ระบุปัญหา ตั้งคำถามที่จะสำรวจตรวจสอบโดยอยู่บนพื้นฐานของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ สามารถสำรวจตรวจสอบหรือศึกษาค้นคว้าได้อย่างครอบคลุมและเชื่อถือได้ โดยกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ตั้งสมมติฐานที่เป็นไปได้และตัดสินใจเลือกตรวจสอบสมมติฐานนั้น

2. ออกแบบวิธีตรวจสอบตามสมมติฐานกำหนดได้ โดยเลือกวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือและวิธีการค้นคว้าได้อย่างเหมาะสมทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ มีการบันทึกผลอย่างเป็นระบบ

3. ตรวจสอบสมมติฐานจากการวิเคราะห์ แปลความหมายข้อมูลและประเมินความสอดคล้องของข้อสรุป จากนั้นให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงวิธีการสำรวจตรวจสอบ

4. จัดกระทำข้อมูลและนำเสนอข้อมูลด้วยเทคนิควิธีที่เหมาะสม โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจและมีหลักฐานอ้างอิงหรือทฤษฎีรองรับ สื่อสารแนวคิดที่ค้นพบผ่านการพูด การเขียน มีเหตุผลและยอมรับว่าความรู้ทางวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้

5. เห็นคุณค่าและพอใจในการค้นพบองค์ความรู้ หรือผลการแก้ปัญหา สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่น มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นโดยใช้เหตุผลและข้อมูลอ้างอิง รู้จักยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น

จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า เป้าหมายการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะของประเทศสหรัฐอเมริกา และ ประเทศไทย มีความสัมพันธ์กัน คือ มุ่งเน้นให้นักเรียนสามารถระบุคำถามหรือปัญหา ออกแบบวิธีการและปฏิบัติการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ สามารถวิเคราะห์ แปลความหมายข้อมูล จัดกระทำข้อมูลและนำเสนอข้อมูลโดยใช้วิธีที่เหมาะสมและมีหลักฐานอ้างอิง สามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการสำรวจตรวจสอบและสื่อสารแนวคิดให้ผู้อื่นรับรู้ สามารถแสดงความคิดเห็นโดยมีข้อมูลหลักฐานอ้างอิงและยอมรับฟังความคิดเห็นผู้อื่น

จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนได้เป็นผู้ลงมือปฏิบัติ คิดวางแผน ออกแบบกิจกรรม เปิดโอกาสนักเรียนได้อธิบาย อภิปราย รวมทั้งสรุปและประเมินสิ่งที่ได้เรียนรู้ร่วมกัน (วรัญตี การะเกตุ, 2555, น. 91) ช่วยให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนภายในกลุ่ม ซึ่งการได้ลงมือปฏิบัติการทดลอง

มีผลให้นักเรียนสนใจและเข้าใจในเรื่องที่เรียนมากยิ่งขึ้น (กมลนุช ไชยมัชชิม & เสนอ ชัยรัมย์, 2557, น. 174) ช่วยให้นักเรียนกำหนดคำถาม สมมติฐาน ระบุตัวแปร นำเสนอข้อมูลและผลการสืบค้นได้ถูกต้อง ช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้วิธีการค้นหาความรู้และแก้ปัญหาด้วยตนเอง (ธนัทพงษ์ วังทะพันธ์, ชลทิพย์ จันทร์จำปา, และวนิดา วอนสวัสดิ์, 2561, น. 351-352) ช่วยส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน และส่งเสริมให้นักเรียนมีการคิดวิเคราะห์และสังเคราะห์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Hsiao et al., 2017, p. 3412) และทำให้นักเรียนสามารถอภิปรายโต้แย้งเกี่ยวกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ตามหลักฐานอ้างอิงและนักเรียนรับรู้ว่าความรู้ทางวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแปลงได้หากมีคำอธิบายพร้อมหลักฐานเชิงประจักษ์ที่มากกว่า (Nuangchalerm, 2014, pp. 66-67) จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะสามารถทำให้นักเรียนบรรลุตามเป้าหมายที่ได้กำหนดคุณภาพของนักเรียนไว้ในหลักสูตรของประเทศไทยและของประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะยังช่วยพัฒนานักเรียนในอีกหลายด้าน เช่น แนวคิด (Trundle, Atwood, Christopher, & Sackes, 2010, p. 469; ชื่นจิต แสนสุด, 2553, p. 136) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (ธนัทพงษ์ วังทะพันธ์ et al., 2561, น. 352) ทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ (Qing, Jing, & Yan, 2010, p. 4602) เจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์ (Sesen & Tarhan, 2013, p. 413) ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (ฤดีรัตน์ สาระบุตร, สิทธิศักดิ์ จุลศิริพงษ์, และวาสนา กีรติจำเริญ, 2557, น. 74) เป็นต้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะสามารถพัฒนานักเรียนได้ตามเป้าหมายที่หลักสูตรได้ระบุไว้ และยังส่งเสริมแนวคิด ทักษะ เจตคติทางวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียนได้อีกด้วย

3.3 ลักษณะสำคัญของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

สภาวิจัยแห่งชาติของประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดลักษณะการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะในห้องเรียนต้องประกอบด้วย 5 ลักษณะ ดังนี้ (National Research Council, 2000, p. 24-27)

1. นักเรียนมีส่วนร่วมในคำถามเชิงวิทยาศาสตร์(Learner engages in scientifically oriented question) คำถามเชิงวิทยาศาสตร์ คือ คำถามที่นำไปสู่การสำรวจตรวจสอบและรวบรวมข้อมูล อาจเกี่ยวข้องกับวัตถุ สิ่งมีชีวิต หรือปรากฏการณ์ในธรรมชาติ ซึ่งเมื่อนักเรียนมีข้อสงสัยมักถามว่า “ทำไม” ควรเปลี่ยนจาก “ทำไม” เป็น “อย่างไร" ซึ่งเป็นลักษณะของคำถามที่ดีนำไปสู่การค้นพบความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้มากกว่า ครูจึงมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นให้นักเรียนสร้างคำถาม และคำถามต้องเป็นคำถามที่มีความหมายสำหรับนักเรียน

2. นักเรียนให้ความสำคัญกับข้อมูลหลักฐานทางวิทยาศาสตร์(Learner gives priority to evidence in responding to question) สิ่งที่ทำให้การเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์แตกต่างจากการเรียนรู้แบบอื่น คือ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้มาจากการสำรวจตรวจสอบหรือการทดลอง โดยมีข้อมูลหรือหลักฐานเชิงประจักษ์ ซึ่งอาจมีการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น กล้องจุลทรรศน์ แว่นขยาย หรือคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการเก็บข้อมูล การสืบเสาะหาความรู้ในห้องเรียน นักเรียนต้องนำข้อมูลต่าง ๆ มาอธิบายหรือตอบคำถามที่ศึกษา ครูควรชี้แนะนักเรียนให้เข้าใจว่าการอธิบายสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยใช้ความเชื่อส่วนตัว ความเข้าใจผิด การคาดเดา ความเชื่อทางศาสนาสามารถเกิดขึ้นได้และมีความสำคัญต่อสังคม แต่ไม่ใช่คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เนื่องจากไม่มีหลักฐานที่เชื่อได้สนับสนุน

3. นักเรียนสร้างคำอธิบายจากหลักฐานที่ปรากฏ (Learner formulates explanations from evidence) ในการสืบเสาะเน้นการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปสู่การสร้างคำอธิบายหรือคำตอบของปัญหา การอธิบายบอกให้ทราบถึงเหตุผลและแสดงถึงความสัมพันธ์ของเหตุผล ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของหลักฐานและการโต้แย้งที่มีเหตุผล ในการให้เหตุผลเชิงวิเคราะห์นั้นนักเรียนต้องสามารถนำข้อมูลมาจำแนก วิเคราะห์ ลงความเห็นและทำนาย การอธิบายจึงเป็นการทำความเข้าใจความรู้ใหม่ซึ่งต่อยอดจากความรู้เดิมของนักเรียน

4. นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายเข้ากับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Learner connects explanations to scientific knowledge) โดยนักเรียนมีการประเมินคำอธิบายของตนกับคำอธิบายอื่น ๆ สามารถปรับปรุง แก้ไข หรือตัดคำอธิบายนั้นทิ้งเมื่อพบว่ายังไม่มีเหตุผลหรือข้อมูลเชิงประจักษ์ที่เพียงพอ และเปิดโอกาสให้มีการประเมินคำอธิบายซึ่งกันและกัน จึงทำให้การสืบเสาะค้นหาทางวิทยาศาสตร์แตกต่างจากการสืบเสาะค้นหาของศาสตร์อื่น ๆ ในการประเมินนิยมใช้คำถาม เช่น หลักฐานที่มีอยู่สนับสนุนคำอธิบายที่สร้างขึ้นหรือไม่ อย่างไร คำอธิบายตอบคำถามอย่างเพียงพอ หรือไม่ มีคำอธิบายที่สมเหตุสมผลอื่นหรือไม่จากหลักฐานที่มีอยู่ การอธิบายจะส่งเสริมให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการสนทนา เปรียบเทียบและตรวจสอบผลงานของนักเรียนกับครู ในการประเมินดังกล่าวนักเรียนต้องนำผลการทดลองมาเชื่อมโยงกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยคำอธิบายต้องมีความถูกต้องและสอดคล้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ได้รับการยอมรับแล้ว

5. นักเรียนสื่อสารและแสดงให้เห็นถึงความสมเหตุสมผลของคำอธิบาย (Learner communicates and justifies explanations) เมื่อนักวิทยาศาสตร์สร้างคำอธิบายจะต้องมีการสื่อสารและนำเสนอการค้นพบของตนในรูปแบบที่ผู้อื่นสามารถทำตามได้ เช่นเดียวกับการสอนในห้องเรียนที่ให้นักเรียนได้มีโอกาสนำเสนอผลการศึกษาค้นคว้า ตอบข้อซักคำถาม และ

ตรวจสอบข้อมูลการให้เหตุผลที่ผิดพลาด ชี้ให้เห็นถึงข้อมูลที่ไม่มีหลักฐานสนับสนุน สามารถวิจารณ์ และรับคำวิจารณ์และเกิดแนวคิดหรือมุมมองอื่นในการปรับปรุงแก้ไขการอธิบายหรือการสำรวจตรวจสอบ คำอธิบายที่สร้างขึ้นสามารถนำมาแบ่งปันและตั้งคำถามหรือเสริมสร้างความเชื่อมั่นที่นักเรียนได้ทำระหว่างหาหลักฐานความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่และระหว่างสร้างคำอธิบายที่นำเสนอ เป็นผลให้นักเรียนสามารถแก้ไขข้อขัดแย้งและทำให้ข้อโต้แย้งที่ยึดถือเชิงประจักษ์เป็นจริงได้

3.4 ระดับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ

นักการศึกษาหลายท่านได้แบ่งระดับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออกเป็น 3 และ 4 ระดับโดยใช้บทบาทของครูผู้สอนและนักเรียนในการมีส่วนร่วมในกิจกรรม ดังนี้

3.4.1 ระดับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 3 ระดับ

ชวาบ (Schwab, 1965, อ้างถึงในประสาท เนืองเฉลิม, 2558, น. 140-141) แบ่งวิธีการสอนแบบสืบเสาะเป็น 3 ระดับ พิจารณาจากบทบาทของครูและนักเรียนในการเรียนการสอน ดังนี้

- การสืบเสาะแบบชี้แนะ (Guided Inquiry) เป็นวิธีการเรียนการสอนที่ครูดำเนินการเป็นส่วนใหญ่ เช่น กำหนดปัญหา เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง นักเรียนปฏิบัติการทดลองตามวิธีที่ครูกำหนดไว้ จากนั้นนักเรียนนำเสนอข้อมูล และสรุปผลการทดลอง ครูนำการอภิปรายโดยใช้คำถามเพื่อช่วยนักเรียนไปสู่ข้อสรุปหรือแนวคิดหลักของบทเรียน

- การสืบเสาะแบบกึ่งชี้แนะหรือแบบประยุกต์ (Less guided inquiry or modified inquiry) เป็นวิธีการจัดการเรียนการสอนที่ครูเป็นผู้กำหนดปัญหา ตั้งคำถามกับนักเรียน เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ตั้งสมมติฐาน วางแผนการทดลอง ทำการทดลอง สรุปผลการทดลอง และนำเสนอแนวทางวิธีแก้ปัญหาด้วยตนเองอาจเป็นกลุ่มหรือรายบุคคล

- การสืบเสาะแบบอิสระ (Free inquiry) เป็นวิธีการเรียนการสอนด้วยเทคนิคและวิธีการสอนที่หลากหลาย นักเรียนเป็นผู้กำหนดปัญหา วางแผนการทดลอง ดำเนินการทดลองตลอดจนสรุปผลการทดลองด้วยตนเอง นักเรียนมีอิสระอย่างเต็มที่ในการศึกษาตามความสนใจ ซึ่งอาจทำงานเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่มก็ได้ ครูเป็นเพียงผู้กระตุ้นเท่านั้น

3.4.2 ระดับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 4 ระดับ

นักการศึกษาส่วนใหญ่แบ่งระดับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็น 4 ระดับ เป็นการสืบเสาะแบบยืนยัน การสืบเสาะแบบนำทาง การสืบเสาะแบบชี้แนะ และ การสืบเสาะแบบ

เปิด (Bell et al., 2005, pp. 30-33; Lederman, 2009, pp. 1-4; Tafoya et al., 1980, pp. 46-47; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557, น. 4) สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การสืบเสาะแบบยืนยัน (Confirmed Inquiry) ครูกำหนดคำถามหรือปัญหา ขั้นตอน วิธีการและอุปกรณ์ เครื่องมือในการสำรวจตรวจสอบในกิจกรรมให้ และแนะนำนักเรียนระหว่างปฏิบัติกิจกรรม นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมเพื่อยืนยันความรู้หรือแนวคิดที่ถูกค้นพบมาแล้ว

2. การสืบเสาะแบบนำทาง (Directed Inquiry) ครูกำหนดคำถามหรือปัญหา ขั้นตอน วิธีการสำรวจตรวจสอบในกิจกรรม นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมตามวิธีที่กำหนด รวบรวมข้อมูลและสรุปผลด้วยตนเอง

3. การสืบเสาะแบบชี้แนะ (Guided Inquiry) ครูกำหนดคำถามหรือปัญหาให้ แต่นักเรียนเป็นผู้กำหนดวิธีการและวิธีแก้ปัญหาของตนเอง เลือกวัสดุ อุปกรณ์ จัดระเบียบข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผลด้วยตนเอง

4. การสืบเสาะแบบเปิด (Open Inquiry) นักเรียนกำหนดคำถามหรือปัญหาด้วยตนเอง คิดวิธีการและวิธีการแก้ปัญหา วิเคราะห์และสรุปผลด้วยตนเอง

สำหรับ โคลเบิร์น (Colburn, 2000, p. 42) ได้แบ่งวิธีการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะโดยยึดผู้เรียนเป็นสำคัญได้ 4 ระดับ เช่นเดียวกัน แต่มีการเรียกชื่อและรายละเอียด ที่แตกต่างออกไป ดังนี้

1. การสืบเสาะเชิงโครงสร้าง (Structured inquiry) ครูกำหนดปัญหามาให้นักเรียนสำรวจรวมถึงมีขั้นตอนและเครื่องมือให้กับนักเรียน นักเรียนต้องค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหรือเก็บรวบรวมข้อมูลที่น่าเชื่อถือ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะแบบนี้คล้ายกับกิจกรรมที่มีอยู่ในหนังสือเรียนทั่วไป นักเรียนมีหน้าที่เพียงสังเกตและรวบรวมข้อมูลเท่านั้น

2. การสืบเสาะแบบชี้แนะแนวทาง (Guided inquiry) ครูกำหนดวัสดุอุปกรณ์และแนวทางในการตรวจสอบ นักเรียนกำหนดปัญหาและค้นพบองค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเอง

3. การสืบเสาะแบบค้นพบ (Open inquiry) วิธีการจัดการเรียนรู้นี้คล้ายการสืบเสาะแบบชี้แนะแนวทางแต่นักเรียนเป็นผู้ออกแบบวิธีสำรวจตรวจสอบด้วยตนเอง

4. วัฏจักรการเรียนรู้ (Learning cycle) นักเรียนเป็นผู้กระตุ้นให้เกิดแนวคิดใหม่โดยนำแนวคิดของตนเองไปประยุกต์ใช้ในบริบทที่แตกต่างกัน

ซึ่งระดับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะของนักการศึกษาทั้งหมดมีความคล้ายคลึงกันและแตกต่างกันดังรายละเอียดในตาราง 9

ตาราง 9 ระดับการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกัน (ต่อ)

ระดับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ	Schwab, (1965)	Colburn (2000)	Tafoya, Sunal, and Knecht (1980)	Lederman (2009)	Bell, Smetana, and Binns (2005)	สสวท. (2557)
ครูกำหนดคำถามหรือปัญหา ขั้นตอน วิธีการและอุปกรณ์ เครื่องมือในการสำรวจตรวจสอบในกิจกรรม และแนะนำนักเรียนระหว่างปฏิบัติกิจกรรม	การสืบเสาะแบบชี้แนะ (Guided Inquiry)	การสืบเสาะเชิงโครงสร้าง (Structured inquiry)	การสืบเสาะแบบยืนยัน (Confirmed Inquiry)	การสำรวจ (Exploration)	การสืบเสาะแบบยืนยัน (Confirmed Inquiry)	การสืบเสาะแบบยืนยัน (Confirmed Inquiry)
ครูกำหนดคำถามหรือปัญหา ขั้นตอน วิธีการสำรวจตรวจสอบในกิจกรรม นักเรียนทำกิจกรรมตามวิธีที่กำหนด รวบรวมข้อมูลและสรุปผลด้วยตนเอง		การสืบเสาะแบบชี้แนะแนวทาง (Guided inquiry)	การสืบเสาะแบบมีโครงสร้าง (Structure Inquiry)	การสืบเสาะแบบนำทาง (Direct Inquiry)	การสืบเสาะแบบนำทาง (Directed Inquiry)	การสืบเสาะหาความรู้แบบนำทาง (Directed Inquiry)
ครูกำหนดคำถามหรือปัญหา แต่นักเรียนกำหนดวิธีแก้ปัญหาของตนเอง เลือกวัสดุ อุปกรณ์ จัดระเบียบข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผลด้วยตนเอง	การสืบเสาะแบบกึ่งชี้แนะหรือแบบประยุกต์ (Less guided inquiry or modified inquiry)	การสืบเสาะแบบค้นพบ (Open inquiry)	การสืบเสาะแบบชี้แนะแนวทาง (Guided Inquiry)	การสืบเสาะแบบชี้แนะแนวทาง (Guided Inquiry)	การสืบเสาะแบบชี้แนะแนวทาง (Guided Inquiry)	การสืบเสาะหาความรู้แบบชี้แนะ (Guided Inquiry)
นักเรียนกำหนดคำถามหรือปัญหาด้วยตนเอง คิดวิธีการและวิธีการแก้ปัญหา วิเคราะห์และสรุปผลด้วยตนเอง	การสืบเสาะแบบอิสระ (Free inquiry)	วัฏจักรการเรียนรู้ (Learning cycle)	การสืบเสาะแบบเปิด (Open Inquiry)	การสืบเสาะแบบเปิด(Open-ended Inquiry)	การสืบเสาะแบบเปิด (Open Inquiry)	การสืบเสาะหาความรู้แบบเปิด (Open Inquiry)

สรุปได้ว่า นักการศึกษาส่วนใหญ่ส่วนใหญ่แบ่งเป็น 4 ระดับ แต่แตกต่างจาก โคลเบิร์น (Colburn, 2000, p. 42) คือ ระดับที่ 4 ของโคลเบิร์นเป็นวัฏจักรการเรียนรู้ (Learning cycle) โดยนักเรียนเป็นผู้กระตุ้นให้เกิดแนวคิดใหม่ โดยนำแนวคิดของตนเองไปประยุกต์ใช้ในบริบทที่แตกต่างกัน แต่ ชวาบ (Schwab, 1965, อ้างถึงในประสาท เนืองเฉลิม, 2558, น. 140-141) ได้แบ่งระดับจากการจัดการเรียนรู้เป็น 3 ระดับ โดยระดับที่ครูมีบทบาทในการกำหนดปัญหา อุปกรณ์ เครื่องมือในการสำรวจตรวจสอบในกิจกรรมให้ นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมเพื่อยืนยันความรู้ที่มีหรือสรุปผลด้วยตนเอง ถือว่าเป็นการสืบเสาะแบบชี้แนะ (Guided Inquiry)

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 4 ระดับ ตามที่นักการศึกษาส่วนใหญ่ได้ระบุไว้ โดยพิจารณาจากบทบาทของครูและนักเรียนที่มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

1. การสืบเสาะแบบยืนยัน (Confirmed Inquiry) ในระดับนี้ครูจะมีบทบาทในกิจกรรมมากกว่านักเรียน โดยครูกำหนดคำถามหรือปัญหา ขั้นตอน วิธีการและอุปกรณ์ เครื่องมือในการสำรวจตรวจสอบในกิจกรรม และแนะนำนักเรียนระหว่างปฏิบัติกิจกรรม นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมเพื่อยืนยันความรู้หรือแนวคิดที่ถูกค้นพบมาแล้ว

2. การสืบเสาะแบบนำทาง (Directed Inquiry) ในระดับนี้ครูจะลดบทบาทลงมา โดยทำหน้าที่กำหนดคำถามหรือปัญหา ขั้นตอน วิธีการในกิจกรรม และนักเรียนทำกิจกรรมตามวิธีที่กำหนด รวบรวมข้อมูลและสรุปผลด้วยตนเอง

3. การสืบเสาะแบบชี้แนะ (Guided Inquiry) ในระดับนี้นักเรียนกำหนดวิธีการของตนเอง เลือกวัสดุ อุปกรณ์ จัดระเบียบข้อมูล วิเคราะห์และสรุปผลด้วยตนเอง ครูมีบทบาทเพียงกำหนดคำถามหรือปัญหาให้เท่านั้น

4. การสืบเสาะแบบเปิด (Open Inquiry) เป็นระดับที่นักเรียนมีบทบาทมากที่สุด คือ นักเรียนกำหนดคำถามหรือปัญหา คิดวิธีการและวิธีการแก้ปัญหา วิเคราะห์และสรุปผลด้วยตนเอง

จากที่กล่าวมาข้างต้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกระดับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะแบบนำทาง (Directed Inquiry) เนื่องจากครูยังมีบทบาทในการกำหนดคำถามหรือปัญหา ขั้นตอนในการทำกิจกรรมและอุปกรณ์ เครื่องมือในการสำรวจตรวจสอบ นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมตามที่กำหนด แต่นักเรียนเป็นผู้รวบรวมข้อมูลและสรุปผลด้วยตนเอง

3.5 รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ

นักวิทยาศาสตรศึกษาหลายท่านได้แนะนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะตั้งแต่ 3 ขั้น 4 ขั้น 5 ขั้น 6 ขั้นและ 7 ขั้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

คาร์พลัสและบัทส์ (Karplus & Butts, 1977, pp. 173-174) คารพลัส (Karplus, 1977, p. 173-174) นำเสนอรูปแบบวัฏจักรการเรียนรู้เพื่อใช้ปรับปรุงหลักสูตรวิทยาศาสตร์สหรัฐอเมริกา ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การสำรวจ (Exploration) นักเรียนได้รับการกระตุ้นให้มีความสนใจในสถานการณ์ใหม่ผ่านการกระทำและผลของการกระทำของนักเรียน ในขั้นนี้นักเรียนอาจถูกทำให้อยู่ในสภาวะไม่สมดุลโดยอาศัยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

2. การสร้างแนวคิด (concept introduction) นักเรียนมีการสร้างแนวคิดให้เหตุผลประกอบการสำรวจตรวจสอบในขั้นนี้อาจได้รับคำแนะนำจากครู ตำราเรียน ภาพยนตร์หรือสื่ออื่น ๆ

3. การประยุกต์ใช้แนวคิด (concept application) นักเรียนใช้แนวคิดกับสถานการณ์ที่คุ้นเคย และหรือนำแนวคิดไปใช้อธิบายสถานการณ์ใหม่เพิ่มเติม

โคเฮนและโฮรัค (Cohen; & Horak, 1989, pp. 114-120; แสงประสิทธิ์, 2558, น. 17) ได้แบ่งขั้นตอนวัฏจักรการเรียนรู้ออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การสำรวจ (Exploration) การแสดงออก (Expression) การให้นิยามหรือชื่อ (Labeling) การนำไปใช้ (Application) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การสำรวจ (Exploration) ขั้นนี้นักเรียนได้ปฏิบัติกิจกรรมเพื่อให้เกิดประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม และได้แนวคิดที่สำคัญ โดยครูเป็นผู้สาธิต ให้ชมภาพยนตร์ การอ่านและการบรรยาย เป็นต้น เพื่อจูงใจให้นักเรียนมีความสนใจ

2. การแสดงออก (Expression) ขั้นนี้เปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงออกถึงความเข้าใจที่ได้จากขั้นสำรวจ ซึ่งขั้นนี้มีวัตถุประสงค์ คือ ช่วยให้นักเรียนทบทวนถึงสิ่งที่ได้จากขั้นสำรวจและนำมาสร้างรูปแบบแนวคิดเพื่อนำเสนอ และเพื่อเป็นข้อมูลให้ครูได้ทราบถึงความเข้าใจและความพร้อมของนักเรียนในการเรียนขั้นให้นิยามต่อไป

3. การให้นิยามหรือชื่อ (Labeling) ขั้นนี้ครูต้องมีการให้ตัวอย่างเกี่ยวกับแนวคิดหรือกระบวนการเพิ่มเติม เพื่อช่วยให้นักเรียนได้ความหมายมากขึ้นจากประสบการณ์และการแสดงออกที่ผ่านมา

4. การนำไปใช้ (Application) ขั้นนี้เปิดโอกาสให้นักเรียนนำแนวคิดหรือกระบวนการที่ได้ไปใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งการนำไปใช้ซ้ำช่วยให้นักเรียนได้ใช้นิยามหรือชื่อในบริบทที่เหมาะสมและช่วยให้นักเรียนจดจำแนวคิดหรือกระบวนการได้นานขึ้น

สำหรับประเทศไทยนั้น สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546, น. 13) ได้ใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบ Inquiry cycle (5E) ซึ่งมีความสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ด้วยวัฏจักรการสืบเสาะ (learning cycle) ที่นำเสนอโดยนักการศึกษากลุ่มโครงการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์สาขาชีววิทยาของสหรัฐอเมริกา (Biological Science Curriculum Study) หรือ BSCS ที่แบ่งขั้นตอนของกระบวนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะออกเป็น 5 ขั้นตอน หรือ 5E โดยใช้ชื่อว่า The BSCS 5E Instructional Model (Bybee et al., 2006, p. 2) ได้แก่ ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (Engagement) ขั้นสำรวจ (Exploration) ขั้นอธิบาย (Explanation) ขั้นขยายความรู้ (Expansion) ขั้นประเมินผล (Evaluation) ที่ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นสร้างความสนใจ (engagement) เป็นการนำเข้าสู่บทเรียน โดยครูสามารถจัดกิจกรรมหรือสถานการณ์ที่น่าสนใจ เช่น การใช้สื่อ เกม วัสดุอุปกรณ์ การเล่าเรื่อง การสาธิตการทดลอง เพื่อกระตุ้น จูงใจ หรือท้าทายให้นักเรียนตื่นเต้น สงสัยใคร่รู้ เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหา การศึกษาค้นคว้า หรือการทดลอง

2. ขั้นสำรวจและค้นหา (exploration) นักเรียนวางแผนแนวทางสำรวจ โดยตั้งสมมติฐานคาดคะเนทางเลือกที่เป็นไปได้ และลงมือเก็บรวบรวมข้อมูล

3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (explanation) นักเรียนนำข้อมูลมาวิเคราะห์ แปลผล และสรุปผลให้ถูกต้อง มีหลักฐานและเอกสารอ้างอิง และนำเสนอผลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ตารางแผนผัง ภาพวาด เป็นต้น

4. ขั้นขยายความรู้ (elaboration) ครูกำหนดกิจกรรมหรือสถานการณ์ที่ส่งเสริมให้นักเรียนนำความรู้หรือข้อสรุปที่ได้ไปอธิบายสถานการณ์อื่น ๆ หรือสร้างคำถามใหม่ เพื่อให้นักเรียนออกแบบวิธีการและรวบรวมข้อมูล นำไปสู่การสร้างความรู้ใหม่ เพื่อให้นักเรียนมีความรู้และแนวคิดที่กว้างขึ้น

5. ขั้นประเมินความรู้ (evaluation) นักเรียนทบทวนสิ่งที่ได้เรียนรู้ทั้งหมดและควรตรวจสอบความรู้ที่ได้ โดยร่วมกันวิเคราะห์ อภิปรายแลกเปลี่ยนความรู้ร่วมกัน หากพบปัญหาควร

ศึกษาทบทวนใหม่อีกครั้งและอ้างอิงทฤษฎีหรือหลักฐาน เพื่อเปรียบเทียบความรู้ใหม่กับความรู้เดิม ทำให้นักเรียนทราบถึงจุดเด่น และข้อจำกัดในการศึกษาค้นคว้าของตนเอง

ต่อมาอาเธอร์ ไฮเซนคราฟ ได้เพิ่ม 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตรวจสอบความรู้เดิม (Elicit) และขั้นนำความรู้ไปใช้ (Extend) เข้าไปในวัฏจักการเรียนรู้แบบ 5E และเรียกว่า วัฏจักรการเรียนรู้แบบ 7E (Eisenkraft, 2003, p. 56) โดยมุ่งเน้นการถ่ายโอนการเรียนรู้และให้ความสำคัญเกี่ยวกับการตรวจสอบความรู้เดิมของผู้เรียน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้สอนในการจัดการเรียนรู้ในบทเรียนนั้น จากที่กล่าวมาพบว่าลำดับขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบ 5E และ 7E มีความคล้ายคลึงกันมาก แตกต่างกันเพียงขั้นตรวจสอบความรู้เดิม (Elicit) และขั้นนำความรู้ไปใช้ (Extend) ซึ่งในแต่ละขั้นจะอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

1. ขั้นตรวจสอบความรู้เดิม (Elicitation) ในขั้นนี้ครูตั้งประเด็นปัญหาหรือคำถามเพื่อตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน ทำให้ทราบพื้นฐานของนักเรียนแต่ละคนและยังสามารถวางแผนการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะกับกับความต้องการของนักเรียน

2. ขั้นเร้าความสนใจ (Engagement) ครูมีหน้าที่เร้าความสนใจนักเรียนหรือกระตุ้นให้นักเรียนคิดและนำเข้าสู่เนื้อหาบทเรียนหรือเรื่องที่สนใจ โดยอาจใช้เหตุการณ์ที่กำลังเกิดขึ้นหรือเชื่อมโยงกับความรู้เดิมที่เพิ่งเรียน เพื่อชักจูงให้นักเรียนอยากเกิดการเรียนรู้ ครูอาจกำหนดประเด็นที่ศึกษาแก่นักเรียนหรือให้ศึกษาจากสื่อต่าง ๆ เช่น อินเตอร์เน็ต วารสาร หนังสือพิมพ์ เป็นต้น

3. ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) นักเรียนทำความเข้าใจประเด็นหรือคำถามที่สนใจ วางแผนกำหนดแนวทางตรวจสอบและเก็บรวบรวมข้อมูล โดยครูคอยส่งเสริมให้นักเรียนปฏิบัติด้วยตนเอง

4. ขั้นอธิบาย (Explanation) นักเรียนวิเคราะห์ แปลผลและสรุปผลข้อมูลที่ได้ มานำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ เช่น กราฟ แผนภาพ แผนภูมิ รูปภาพ หรือสื่ออื่น ๆ เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของข้อมูล จากนั้นอภิปรายผล โดยมีการอ้างอิงหลักฐานเพื่อนำเสนอแนวคิดต่อไป ทำให้นักเรียนเกิดองค์ความรู้ใหม่

5. ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) ขั้นนี้นักเรียนต้องทำความเข้าใจแนวคิดเพิ่มเติมและขยายแนวคิดให้กว้างขึ้น มีการนำความรู้ไปอธิบายในสถานการณ์หรือเหตุการณ์อื่น ๆ ทำให้เกิดการเชื่อมโยงเรื่องราวต่าง ๆ ครูมีหน้าที่จัดกิจกรรมหรือสถานการณ์เพื่อขยายกรอบแนวคิดของนักเรียนให้มีความรู้มากขึ้นและสอดคล้องกับประสบการณ์เดิม

6. ขั้นนำความรู้ไปใช้ (Extension) ขั้นนี้เปิดโอกาสให้นักเรียนนำความรู้ที่ได้ไปปรับประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมในสถานการณ์ใหม่และเป็นประโยชน์ในชีวิตประจำวัน เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมาย โดยครูทำหน้าที่คอยกระตุ้นให้นักเรียนนำความรู้เดิมไปเชื่อมโยงเพื่อสร้างความรู้ใหม่และสามารถถ่ายโอนความรู้ได้

7. ขั้นประเมินผล (Evaluation) เป็นการประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนตามจุดประสงค์ของบทเรียนด้วยวิธีต่าง ๆ

ทรงพล ผดุงพัฒนากูล (2561, น. 51) ศึกษาลำดับขั้นการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทั้ง 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) การจัดการเรียนรู้แบบ 3 ขั้นตอน 2) การจัดการเรียนรู้แบบ 4 ขั้นตอน 3) การจัดการเรียนรู้แบบ 5 ขั้น หรือแบบ 5E และ 4) การจัดการเรียนรู้แบบ 7 ขั้น หรือแบบ 7E มาเปรียบเทียบกับ 5 ลักษณะสำคัญในการสืบเสาะในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ ดังตารางที่ 10 พบว่าการจัดการเรียนรู้แบบ 4 ขั้นตอน 5E และ 7E มีความครอบคลุมทั้ง 5 ลักษณะสำคัญมากกว่าการจัดการเรียนรู้แบบ 3 ขั้นตอน และการจัดการเรียนรู้แบบ 5 ขั้นและ 7 ขั้นมีความคล้ายคลึงกันมาก แตกต่างกันเพียงในการจัดการเรียนรู้แบบ 7E ได้เพิ่มขั้นตรวจสอบความรู้เดิม (Elicit) และขั้นนำความรู้ไปใช้ (Extend) เข้ามา เพื่อเป็นการตรวจสอบความรู้เดิม หรือความรู้พื้นฐานของผู้เรียน รวมทั้งประยุกต์ใช้ความรู้ ความเข้าใจในสถานการณ์ใหม่ ดังนั้นขึ้นอยู่กับครูผู้สอนว่าจะเลือกการจัดการเรียนรู้รูปแบบใด (สุทธิดา จำรัส, 2557, น. 9-10)

ตาราง 10 เปรียบเทียบรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะกับ 5 ลักษณะสำคัญของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในชั้นเรียน

ลักษณะสำคัญของการสอนแบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์	รูปแบบ 3 ขั้นตอน	รูปแบบ 4 ขั้นตอน	รูปแบบ 5 ขั้น หรือ 5E	รูปแบบ 7 ขั้น หรือ 7E
1. นักเรียนมีส่วนร่วมในคำถามเชิงวิทยาศาสตร์	ขั้นการสำรวจ (Exploration)	ขั้นการสำรวจ (Exploration)	ขั้นสร้างความสนใจ (engagement)	ขั้นตรวจสอบความรู้เดิม (Elicitation) ขั้นเร้าความสนใจ (Engagement)
2. นักเรียนให้ความสำคัญกับข้อมูลหลักฐานในการตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์		ขั้นการแสดงออก (Expression)	ขั้นสำรวจและค้นหา (exploration)	ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration)

ตาราง 10 เปรียบเทียบรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะกับ 5 ลักษณะสำคัญของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในชั้นเรียน (ต่อ)

ลักษณะสำคัญของการสอนแบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์	รูปแบบ 3 ขั้นตอน	รูปแบบ 4 ขั้นตอน	รูปแบบ 5 ขั้น หรือ 5E	รูปแบบ 7 ขั้น หรือ 7E
3. นักเรียนสร้างคำอธิบายจากหลักฐานที่ปรากฏ	ขั้นการสร้างแนวคิด (concept introduction)	ขั้นการให้นิยามหรือชื่อ (Labeling)	ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (explanation)	ขั้นอธิบาย (Explanation)
4. นักเรียนเชื่อมโยงคำอธิบายเข้ากับความรู้ทางวิทยาศาสตร์	ขั้นการประยุกต์ใช้แนวคิด (concept application)	ขั้นการนำไปใช้ (Application)	ขั้นขยายความรู้ (elaboration)	ขั้นขยายความรู้ (Elaboration)
5. นักเรียนสื่อสารและแสดงให้เห็นถึงความสมเหตุสมผลของคำอธิบาย			ขั้นประเมินความรู้ (evaluation)	ขั้นนำความรู้ไปใช้ (Extension) ขั้นประเมินผล (Evaluation)

ที่มา : ทรงพล ผดุงพัฒนากูล, 2561, น. 51

จากการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แต่ละรูปแบบเน้นให้นักเรียนสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

3.6 รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่พัฒนาแนวคิด

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่พัฒนาแนวคิด พบว่ามี 2 รูปแบบ ดังนี้

3.6.1. รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น หรือ 5E

หลักการสำคัญในการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาแนวคิดของนักเรียน คือ นักเรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริง มีส่วนร่วมในการปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง (ชื่นจิต แสนสุด , 2553, น. 136) โดยครูช่วยอำนวยความสะดวกและดูแลความปลอดภัยให้กับนักเรียน แนะนำ

และช่วยตอบคำถามหากนักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแนวคิดนั้น วิธีการนี้ช่วยให้นักเรียนสนุกกับการเรียนวิทยาศาสตร์ เข้าใจเนื้อหาและใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และแนวคิดในสถานการณ์จริง (Akar, 2005, p. 59) งานวิจัยต่าง ๆ ระบุว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้นหรือ 5E ช่วยพัฒนาแนวคิดของนักเรียนให้ดีขึ้น (Ceylan & Geban, 2009, p. 41; Supasorn & Promarak, 2015, p. 31) ซึ่งสามารถสรุปเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้นที่ดีเพื่อพัฒนาแนวคิดได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นเร้าความสนใจ (Engagement) ครูสร้างความสนใจนักเรียนโดยใช้คำถามกระตุ้นเพื่อดึงเอาความรู้เดิมของนักเรียนออกมา หรือใช้คำถามที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวันของนักเรียน พร้อมทั้งมีการสื่อที่หลากหลายเพื่อเร้าความสนใจกระตุ้นให้นักเรียนอยากรู้อยากเห็น เช่น รูปภาพ การสาธิตการทดลองง่าย ๆ การยกตัวอย่างสถานการณ์ในปัจจุบัน การใช้ภาพเคลื่อนไหว การใช้เกมหรือบัตรคำ โมเดล เป็นต้น

ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) นักเรียนวางแผนปฏิบัติการทดลอง มีการแบ่งหน้าที่รับผิดชอบภายในกลุ่ม ควรมีการวาดรูปเพื่ออธิบายขั้นตอนปฏิบัติการทดลอง โดยครูควรดูแลนักเรียนอย่างใกล้ชิดเพื่อฟังนักเรียนพูดคุยกันและดูการปฏิบัติกิจกรรมของนักเรียน คอยให้คำแนะนำหรือคำปรึกษาเมื่อนักเรียนเกิดข้อสงสัยโดยไม่บอกคำตอบนักเรียน ควรเน้นย้ำเรื่องอันตรายจากสารเคมีที่ใช้ขณะทำกิจกรรมและควรกำหนดเวลาในการปฏิบัติกิจกรรมให้ชัดเจน

ขั้นที่ 3 ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) นักเรียนอภิปรายร่วมกันภายในกลุ่มเพื่อสรุปผลการปฏิบัติกิจกรรมตามความเข้าใจของนักเรียนก่อน จากนั้นออกมานำเสนอหน้าชั้นเรียนเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนในกลุ่มอื่น ครูช่วยปรับการใช้คำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ให้แก่นักเรียนและถามคำถามนักเรียนเพื่อให้นักเรียนอภิปรายผลและแสดงหลักฐานที่ได้จากการสำรวจและค้นหาออกมา หากมีนักเรียนที่ไม่มีส่วนร่วมอาจถามคำถามนักเรียนเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนตื่นตัว

ขั้นที่ 4 ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) ครูใช้คำถามนำเพื่อให้นักเรียนได้นำแนวคิดหรือขยายแนวคิดที่ได้เรียนรู้มาไปใช้อธิบายสถานการณ์หรือเหตุการณ์อื่น ๆ จัดให้นักเรียนทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มกระตุ้นให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นและแลกเปลี่ยนแนวคิดของตนเอง

ขั้นที่ 5 ขั้นประเมินผล (Evaluation) ครูสามารถประเมินนักเรียนได้หลากหลายวิธีตลอดทุกขั้นตอนของการเรียนรู้ เช่น การถามคำถามปลายเปิด การทำแบบฝึกหัด

การทำแบบทดสอบ การเล่นเกม และการเขียนอนุทินบันทึกสิ่งที่ได้เรียนรู้เพื่อตรวจสอบว่านักเรียนได้เรียนรู้หรือค้นพบความรู้ที่ได้ครอบคลุมแนวคิดนั้น ๆ

นอกจากนี้ ประภัทสร บุญทวีกุลสวัสดิ์ (2553, น. 198) กล่าวว่าการที่นักเรียนมีแนวคิดที่ดีขึ้น เป็นผลมาจากการการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1) การใช้คำถามกระตุ้นนักเรียน

2) การยกตัวอย่างจากเรื่องใกล้ตัวในชีวิตประจำวัน

3) การให้นักเรียนเปรียบเทียบลักษณะความเหมือน ความแตกต่างของเรื่องที่เรียน

4) การให้นักเรียนวาดภาพ ประกอบการบรรยาย และสรุปความรู้

5) การเชื่อมโยงความรู้ที่ได้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน

6) การให้ใบความรู้ และใบงานต่าง ๆ เพิ่มเติมแก่นักเรียน

7) การทำการทดลองอย่างง่ายในชั้นเรียน

3.6.2 รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 7 ขั้นตอน หรือ 7E

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 7 ขั้นหรือ 7E มีความคล้ายคลึงกันกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้นหรือ 5E โดยมีการเพิ่มขั้นตอนการตรวจสอบความรู้เดิมและการนำความรู้ไปใช้เข้ามา (Eisenkraft, 2003, p. 56) เพื่อเป็นการตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน และนำแนวคิดที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ใหม่หรือในชีวิตประจำวันของนักเรียน งานวิจัยต่างระบุว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 7 ขั้น หรือ 7E ทำให้นักเรียนมีแนวคิดที่ดีขึ้นกว่าการสอนในรูปแบบบรรยาย (GÖK, 2014, p. 310; Marfilinda, Rossa, Jendriadi, & Apfani, 2020, pp. 83-85) นอกจากนี้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 7 ขั้น หรือ 7E เน้นให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง และมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ ทำให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดีขึ้น(Adesoji & Idika, 2015, p. 15; มุทิตา พูนวิเชียร, ปิยนุช คะเณมา, และบุษรา ยงคำชา, 2561, น. 122) ซึ่งสามารถสรุปเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 7 ขั้น หรือ 7E ได้ดังนี้ (GÖK, 2014, p. 314; Marfilinda et al., 2020, pp. 81-82; นิตยา ม่วงพะเนาว์ และวาสนา กีรติจำเริญ, 2561, น. 43-44; สุนิสา ช้างพาลี, 2560, น. 81)

ขั้นที่ 1 ตรวจสอบความรู้เดิม (Elicitation) ครูใช้คำถามหรือรูปภาพเพื่อตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน และนำไปเชื่อมโยงกับความรู้ใหม่

ขั้นที่ 2 เร้าความสนใจ (Engagement) ครูเร้าความสนใจของนักเรียนโดยใช้คำถามจากเหตุการณ์หรือสถานการณ์ รูปภาพ สื่อวีดีทัศน์ การสาธิตหรือการทดลองง่าย ๆ เพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียนให้อยากเรียนรู้และหาคำตอบ

ขั้นที่ 3 สำรวจและค้นหา (Exploration) มีการใช้ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนเพื่อให้นักเรียนสำรวจและค้นหา นักเรียนทำงานเป็นกลุ่มร่วมกันวางแผนการสำรวจตรวจสอบ ดำเนินการทดลอง สืบเสาะหาความรู้และหาคำตอบด้วยตนเอง

ขั้นที่ 4 อธิบาย (Explanation) นักเรียนอภิปรายผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบ ตีความข้อมูลและลงข้อสรุปร่วมกัน อาจสรุปในรูปของแผนผังแนวคิด แบบจำลองและโปสเตอร์รวมถึงแผนภูมิ KWL โดยครูทำหน้าที่อำนวยความสะดวกให้แก่นักเรียน

ขั้นที่ 5 ขยายความรู้ (Elaboration) ครูกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการคิดและนำความรู้ที่สร้างขึ้นใหม่ไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมเพื่อเติมความรู้ความเข้าใจให้กว้างขวางและลึกซึ้งยิ่งขึ้น หรือนักเรียนใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในการตอบคำถามเสนอแนวทางแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบ หรือประยุกต์ใช้ความรู้เชื่อมโยงไปสู่สถานการณ์ใหม่หรือปรากฏการณ์อื่น ๆ

ขั้นที่ 6 ประเมินผล (Evaluation) การประเมินผลสามารถประเมินได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ครูประเมินนักเรียน นักเรียนตนเอง หรือนักเรียนประเมินนักเรียน เพื่อให้ทราบถึงความรู้ ความเข้าใจ และความสามารถของนักเรียนด้วยการใช้คำถาม ทำแบบทดสอบ ประเมินการปฏิบัติกิจกรรมในแต่ละขั้นตอน เพื่อนักเรียนจะได้ทราบความก้าวหน้าของตนเองด้วย

ขั้นที่ 7 นำความรู้ไปใช้ (Extension) ครูกระตุ้นให้นักเรียนนำแนวคิดที่ได้จากการเรียนรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน โดยอาจยกสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน เพื่อให้นักเรียนเชื่อมโยงความรู้ไปสู่การแก้ปัญหา

จากข้างต้น รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ช่วยพัฒนาแนวคิดของนักเรียนควรมีลักษณะที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ โดยเรียนรู้ด้วยตนเองผ่านประสบการณ์จริง นักเรียนมีส่วนร่วมในการปฏิบัติกิจกรรมสำรวจตรวจสอบ ครูมีหน้าที่คอยอำนวยความสะดวก ดูแลความปลอดภัยและให้คำแนะนำแก่นักเรียน ซึ่งวิธีการสอนแบบสืบเสาะที่พัฒนาแนวคิดของนักเรียน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ครูควรใช้คำถาม หรือสื่อการสอนที่หลากหลาย เช่น รูปภาพ การสาธิตการทดลองง่าย ๆ การยกตัวอย่าง ภาพเคลื่อนไหว เกม บัตรคำ โมเดลหรือสื่อวีดีทัศน์ เป็นต้น มากระตุ้นความสนใจของนักเรียนเพื่อให้เกิดความอยากรู้อยากเห็นและอยากหาคำตอบในเรื่องที่สนใจ

2. ครูจัดกลุ่มให้นักเรียนทำงานร่วมกัน มีการแบ่งหน้าที่กันภายในกลุ่ม เพื่อให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ทุกคน เช่น การวางแผนปฏิบัติการทดลอง การดำเนินการทดลอง การอภิปรายตีความหมายและลงข้อสรุป และนำเสนอหน้าชั้นเรียน เป็นต้น จากนั้นร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อสรุปและแนวคิดนั้น ๆ

3. นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา หรือใช้ในชีวิตประจำวัน หรือนำไปเชื่อมโยงกับสถานการณ์อื่น ๆ

4. การประเมินว่านักเรียนมีแนวคิดนั้นสามารถประเมินได้ทั้งครูและนักเรียน โดยการใช้วิธีที่หลากหลาย เช่น การใช้คำถาม การทำแบบฝึกหัดหรือแบบทดสอบ การเล่นเกม และการเขียนอนุทินบันทึกการเรียนรู้ เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกการจัดการเรียนรู้รูปแบบ 5 ขั้น หรือ 5E ตามแนวทางของ สสวท.คือ 1) ขั้นสร้างความสนใจ (engagement) 2) ขั้นสำรวจและค้นหา (exploration) 3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (explanation) 4) ขั้นขยายความรู้ (elaboration) 5) ขั้นประเมินความรู้ (evaluation) เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 7 ขั้น มีข้อจำกัดด้านเวลาในการจัดการเรียนรู้ เพราะแต่ละขั้นต่างมีความสำคัญซึ่งต้องใช้เวลาสอนมากขึ้น อีกทั้งรูปแบบ 5E มีการจัดการเรียนรู้ที่ครอบคลุม 5 ลักษณะสำคัญของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์แล้ว และเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่คุณครูส่วนใหญ่คุ้นเคย สามารถช่วยให้ครูวางแผนการจัดการเรียนรู้ได้ง่าย และจากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ระบุอย่างชัดเจนว่า การจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบ 5 ขั้นสามารถพัฒนาแนวคิดเรื่อง ไฟฟ้าเคมี (สนทยา บังพรม, 2558, น. 36) และช่วยส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกัน (นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ, 2563, น. 106) ซึ่งเป็นจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ได้

3.7 ข้อดี-ข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ

จากการศึกษางานวิจัยที่ใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ สามารถสรุปข้อดีและข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ได้ดังนี้

ข้อดีของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ

1. นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ตลอดเวลา เปิดโอกาสให้นักเรียนได้พัฒนาแนวคิด ฝึกสังเกต และสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (ชนธิชา ปะนัดโส, 2555, น. 86; พิไลวรรณ พรรณขาม, กิตติมา พันธ์พฤกษา, และภัทรภร ชัยประเสริฐ, 2562, น. 233; ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น. 156)

2. นักเรียนเกิดความคงทนในความรู้ (ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น. 156; รุ่งทิพย์ ศศิธร, 2556, น. 35; รุ่งนภา เอียงอุบล, 2555, น. 80)

3. นักเรียนเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้ (จารุวรรณ จันทมัตตุการ, เชษฐ์ ศิริสวัสดิ์, และปริญญา ทองสอน, 2562, น. 88; ชนธิชา ปะนัดโส, 2555, น. 86; ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น. 157)

4. นักเรียนสามารถเรียนรู้แนวคิด และหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้เร็วขึ้น (ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น. 157)

5. นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ (นิติธรรม จันทร์แจ่ม, นพมณี เชื้อวัชรินทร์, & สพลณภัทร์ ศรีแสนยงค์, 2558, น. 79; ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น. 157; อาดีละห์ เจ๊ะแม, ณัฐนี โมพันธ์, และมัฮดี แวดราแม, 2561, น. 21)

6. ส่งเสริมให้นักเรียนกล้าคิด กล้าตัดสินใจ กล้าแสดงออก เรียนรู้อย่างเป็นระบบและหลากหลาย ทั้งการสังเกต การสำรวจตรวจสอบ ค้นคว้าหาความรู้ การอภิปราย การสรุปความและประมวลความรู้ที่ได้นำเสนอหน้าชั้นเรียน (นิติธรรม จันทร์แจ่ม และคนอื่น ๆ, 2558, น. 79)

7. ช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ง่ายขึ้น (อาดีละห์ เจ๊ะแม และคนอื่น ๆ, 2561, น. 20)

8. ช่วยให้พัฒนาการทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนอยู่ในระดับสูง (อาดีละห์ เจ๊ะแม คนอื่น ๆ, 2561, น. 20)

9. ช่วยให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์หลังเรียนอยู่ในระดับค่อนข้างดี (Sesen & Tarhan, 2013, p. 432; อาดีละห์ เจ๊ะแม และคนอื่น ๆ, 2561, น. 21)

ข้อจำกัดของการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้

1. ใช้เวลาในการจัดการเรียนการสอนค่อนข้างมาก (จารุวรรณ จันทมัตตุการ และคนอื่น ๆ, 2562, น. 90; ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น. 157; รุ่งนภา เอียงอุบล, 2555, น. 108)

2. หากครูควบคุมพฤติกรรมนักเรียนมาก จะทำให้นักเรียนไม่มีโอกาสสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง (ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น. 157)

3. หากเนื้อหาวิชาค่อนข้างยากและนักเรียนเป็นผู้มีระดับสติปัญญาต่ำ จะส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองได้ (ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น. 157)

4. การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้นักเรียนจะต้องเป็นผู้ค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองเป็นหลัก ดังนั้นหากนักเรียนขาดการกระตือรือร้น ขาดการขวนขวาย และไม่มีความใฝ่รู้ย่อมส่งผลกระทบต่อการเรียนเป็นอย่างมาก แต่ถ้านักเรียนมีความสนใจใฝ่เรียนรู้ และกระตือรือร้นใน

การทำกิจกรรมก็จะทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ ถึงแม้ว่าจะเป็นนักเรียนที่มีผลการเรียนต่ำมาก่อนก็สามารถเกิดการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี (รุ่งทิพย์ ศศิธร, 2556, น. 36)

5. หากจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะไปนาน ๆ อาจทำให้นักเรียนมีความสนใจศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองลดลง (ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น. 157)

6. ครูไม่มีทักษะในการออกแบบและจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (รุ่งนภา เอียงอุบล, 2555, น. 108) เนื่องจากบทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้มีอิทธิพลต่อการเรียนรู้ของนักเรียน (กมลนุช ไชยมัชชิม, และเสนอ ชัยรัมย์, 2557, น. 174)

7. ครูที่มีภาระงานในโรงเรียนมาก อาจส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในเตรียมการสอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ และครูควรมีเวลาในการสะท้อนผลการสอนของตนเองเพื่อพัฒนาการสอนให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง (รุ่งนภา เอียงอุบล, 2555, น. 108)

3.8 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์

การจัดการเรียนรู้ออนไลน์ (Online Learning) เป็นนวัตกรรมทางการศึกษารูปแบบหนึ่งที่ปรับเปลี่ยนจากรูปแบบการเรียนการสอนแบบเดิมไปสู่รูปแบบใหม่โดยใช้เทคโนโลยีทางการสื่อสารผ่านช่องทางอินเตอร์เน็ต (Worathan Tecnology, 2020) หรือการจัดการเรียนการสอนที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนกับครูที่นำเสนอผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยใช้เว็บเบราว์เซอร์มาจัดระบบในการเรียนการสอนและส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้ ช่วยแก้ปัญหาของการเรียนการสอนทางด้านสถานที่ และเวลา สามารถเลือกเรียนทั้งที่ครูเตรียมไว้ให้ และเลือกเรียนจากเว็บไซต์การศึกษาอื่น ๆ ภายใต้เนื้อหาเดียวกัน (เกียรติชัย เพ็ญวิจิตร, 2560, น. 18) การจัดการเรียนรู้ออนไลน์ในปัจจุบันได้พัฒนามาจากการประชุมทางคอมพิวเตอร์ในยุคแรก ซึ่งต่อมามีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาสังคมออนไลน์และชุมนุมแห่งการเรียนรู้ออนไลน์ (online learning community) (Swan, Garrison, & Richardson, 2009, p. 45) การเรียนการสอนออนไลน์ (Online learning) เหมือนกับการเรียนการสอนในชั้นเรียนตรงที่ครูผู้สอนจะต้องจัดเตรียมกิจกรรมและประสบการณ์การเรียนให้กับนักเรียน และการเรียนการสอนที่ดีนั้น นักเรียนและครูควรมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน (จักรกฤษณ์ โพดาพล, 2563) ยิ่งนักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับครูมาก ยิ่งได้รับประสบการณ์การเรียนรู้นั้นมากขึ้น ไม่เพียงเท่านั้น นักเรียนที่มีปฏิสัมพันธ์กับครูมากกว่า จะมีผลการเรียนที่ดีกว่านักเรียนที่มีปฏิสัมพันธ์น้อยกว่า (Community College Resarch Center, 2013, p. 1) ทั้งนี้ความท้ายทายของการจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีสารสนเทศเพียงอย่างเดียว แต่การเตรียมตัวของนักเรียนและครูก็มีส่วนสำคัญที่จำเป็นต้องปรับ

มุมมอง แนวความคิด วิธีการเรียนการสอนให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น (วิทยา วาโย, อภิรดี เจริญนุกูล, ฉัตรสุดา กานกายันต์, และจรรยา คนใหญ่, 2563, น. 290) มีงานวิจัยที่ได้ใช้การจัดการเรียนรู้ออนไลน์มาใช้ในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ที่เรียกว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ ดังนี้

เซกเกอร์ และคนอื่น ๆ (Sekeres, Coiro, Castek, & Guzniczak, 2014, p. 44) ได้จัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์โดยครูกำหนดสถานการณ์มาให้เป็นหัวข้อ จากนั้นให้นักเรียนสืบเสาะผ่านหน้าเว็บไซต์ที่ครูรวบรวมลิงก์ไว้มากมายที่ได้คัดสรรมาแล้วเกี่ยวกับหัวข้อที่กำหนด โดยนักเรียนทำงานเป็นคู่ มีการอ่านหน้าเว็บไซต์ การคิดและการพูดคุยอภิปรายกับคู่ของตนเอง ซึ่งผลการวิจัย พบว่า การสืบเสาะแบบออนไลน์ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนทำงานร่วมกัน ทำให้นักเรียนสามารถกำกับตนเองมากขึ้น และเป็นผู้ฟัง ผู้พูดและผู้ทำงานร่วมกันที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ไทยพรศรี และ วรรณพิรุณ (Thaiposri & Wannapiroon, 2015, pp. 2143-2144) ได้จัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นเตรียมการ ขั้นการจัดการเรียนรู้ และขั้นการวัดและประเมินผล โดยนักเรียนใช้เครือข่ายสังคมเพื่อสื่อสารและทำงานร่วมกันในระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้ ผ่านคลาวด์คอมพิวติ้ง เพื่อรวบรวมจัดการแบ่งปันข้อมูลและนำเสนอข้อมูล ผลการวิจัย ระบุว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ช่วยให้นักเรียนได้รับความรู้เนื้อหาที่ดีขึ้น และมีทักษะทางเทคนิคมากกว่านักเรียนในชั้นเรียนปกติ นักเรียนส่วนใหญ่แสดงความคิดเห็นเชิงบวกและเจตคติที่ดีต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์

วชิรพร ดิษฐสมบูรณ์ (2559, น. 85-87) ได้จัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะบนเฟซบุ๊ก พบว่านักเรียนมีผลการเรียนสูงขึ้น เนื่องจากการเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นการเรียนรู้ที่นักเรียนค้นคว้า และสร้างความรู้ด้วยตนเอง นักเรียนสามารถจดจำการเรียนรู้และความรู้ที่เกิดขึ้นได้ นอกจากนี้การเรียนการสอนแบบสืบเสาะบนเฟซบุ๊ก เป็นการจัดการเรียนการสอนโดยให้นักเรียนเป็นหลัก ครูควรอำนวยความสะดวกให้แก่นักเรียน เพื่อให้นักเรียนเรียนรู้ด้วยตนเองและเป็นผู้เสริมแรงให้มีเรียนอยากมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม

กล่าวโดยสรุป การสืบเสาะออนไลน์ คือ การจัดการเรียนรู้ผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตโดยที่ครูเป็นผู้อำนวยความสะดวกให้แก่นักเรียน สนับสนุนให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเองและทำงานร่วมกับเพื่อน

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มาพัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนผ่าน Google apps for education โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น (5E) ตามแนวทางของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560, น. 55) ดังนี้

ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) ครูกระตุ้นความสนใจของนักเรียนโดยใช้กิจกรรมสั้น ๆ เช่น รูปภาพ วิดีทัศน์ และการสาธิตการทดลอง เพื่อนำเข้าสู่บทเรียนและใช้คำถามเพื่อตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน โดยนักเรียนร่วมแสดงความคิดเห็นโต้ตอบกับครูผ่านทาง google meet ของชั้นเรียน จากนั้นครูใช้คำถามกระตุ้นนักเรียนเพื่อนำไปสู่การทดลองเกี่ยวกับ เคมีไฟฟ้า และสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ เคมีไฟฟ้า เพื่อตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์

ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) นักเรียนทำกิจกรรมร่วมกันผ่านทาง google meet ของกลุ่ม โดยแบ่งบทบาทตามความสามารถของสมาชิกกลุ่ม ได้แก่ ผู้จัดการกลุ่ม ผู้ให้ข้อมูล ผู้บันทึกข้อมูล ผู้นำอภิปราย และผู้นำเสนอ นักเรียนแต่ละคนในกลุ่มจะช่วยกันสืบค้นข้อมูล ออกแบบการทดลองและทำการทดลองตามวัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีที่ตนเองได้รับ โดยสมาชิกแต่ละคนจะได้ทำการทดลองที่แตกต่างกัน เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนทุกคนได้ทำกิจกรรมเพื่อนำข้อมูลมาแลกเปลี่ยนกับสมาชิกกลุ่ม จากนั้นแต่ละคนบันทึกข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นข้อมูลและผลการทดลองลงในใบกิจกรรมที่อยู่ใน google document ของกลุ่ม โดยครูทำหน้าที่อำนวยความสะดวกโดยการเข้า google document และ google meet ของกลุ่ม ช่วยกระตุ้นการเรียนรู้ของกลุ่ม และตอบข้อซักถามที่นักเรียนสงสัย

ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) นักเรียนแต่ละคนนำผลการศึกษาและผลการทดลองที่ได้บันทึกไว้ใน google document ของกลุ่ม มาอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นร่วมกับสมาชิกในกลุ่มและสรุปองค์ความรู้ที่ได้ร่วมกันผ่านทาง google meet ของกลุ่ม จากนั้นนักเรียนทุกกลุ่มกลับเข้าสู่ google meet ของชั้นเรียนเพื่อนำเสนอผลการศึกษาและผลการทดลองแก่เพื่อนในชั้นเรียน ซึ่งครูจะสุ่มกลุ่มนำเสนอกลุ่มละ 1 ตัวอย่าง โดยครูทำหน้าที่อำนวยความสะดวกในการนำเสนอของนักเรียน เช่น นำเสนอ google document ที่บันทึกการทดลองของนักเรียนและอธิบายหลักการแนวคิดที่สำคัญเพิ่มเติมโดยใช้สื่อวิดีทัศน์ รูปภาพ เป็นต้น

ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) ครูนำเสนอสถานการณ์ใหม่ให้นักเรียนแต่ละคนนำแนวคิดเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้าที่ได้มาตอบคำถาม อภิปรายหาคำตอบร่วมกันผ่าน google meet ของกลุ่มและบันทึกลงใน google document ของกลุ่ม จากนั้นนักเรียนทุกกลุ่มกลับเข้าสู่ google

meet ของชั้นเรียนเพื่อนำเสนอคำตอบร่วมกัน โดยครูสุ่มนำเสนอเพียง 1 กลุ่ม และอภิปรายร่วมกันเพื่อลงข้อสรุปที่ถูกต้อง

ขั้นประเมินความรู้ (Evaluation) นักเรียนแต่ละคนทบทวนสิ่งที่ได้เรียนรู้ และประเมินความรู้ของตนเองโดยการอภิปรายตอบคำถามผ่าน google meet ของชั้นเรียน หรือ Kahoot จากนั้นครูและนักเรียนเฉลยแบบทดสอบร่วมกันเพื่อตรวจสอบคำตอบที่ถูกต้อง

โดยแต่ละขั้นตอนสามารถพัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกัน ได้ดังตาราง 11

ตาราง 11 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ที่พัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกัน

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	แนวคิด				การทำงานร่วมกัน		
	ตรวจสอบความรู้เดิม	แก้แนวคิดคลาดเคลื่อน	สร้างแนวคิดที่ถูกต้อง	ขยายแนวคิดเป็นแนวคิดที่สมบูรณ์	การสร้างความเข้าใจร่วมกัน	การมีส่วนร่วม	การกำกับการทำงานของกลุ่ม
ขั้นสร้างความสนใจ	✓						
ขั้นสำรวจและค้นหา		✓			✓	✓	✓
ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป			✓		✓	✓	✓
ขั้นขยายความรู้				✓	✓	✓	✓
ขั้นประเมินความรู้			✓				

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. การกำหนดขอบเขตในการวิจัย
2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล
5. สถิติที่ใช้ในการวิจัย
6. จริยธรรมวิจัย

1. การกำหนดขอบเขตในการวิจัย

กลุ่มศึกษา

กลุ่มศึกษาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนคณิตศาสตร์-วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษากรุงเทพมหานครเขต 2 จังหวัดกรุงเทพมหานคร ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 1 ห้องเรียน มีทั้งหมด 30 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกตามความสะดวก (Convenience sampling) โดยนักเรียนสมัครใจเข้าร่วมวิจัยจำนวน 30 คน แต่มีนักเรียนที่เข้าร่วมวิจัยตลอดการดำเนินการทดลองวิจัยจำนวน 21 คน และกลุ่มที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นนักเรียนที่มีความพร้อมในการเรียนออนไลน์ ทั้งอุปกรณ์ในการเรียนและสัญญาณอินเตอร์เน็ต

โรงเรียนที่ผู้วิจัยสอนเป็นโรงเรียนขนาดใหญ่ มีนักเรียนจำนวน 1,338 คน ข้าราชการครูในโรงเรียนประกอบด้วยผู้อำนวยการ 1 คน รองผู้อำนวยการ 3 คน ครูที่รับราชการจำนวน 74 คน โดยครูที่อยู่ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมี 15 คน ซึ่งสอนในวิชาเคมี 2 คน นักเรียนที่เรียนแผนการเรียนคณิตศาสตร์-วิทยาศาสตร์ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มี 2 ห้องเรียน ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มี 1 ห้องเรียน และระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มี 2 ห้องเรียน ซึ่งงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกศึกษานักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เนื่องจากเนื้อหาในเรื่องเคมีไฟฟ้าที่ผู้วิจัยจะศึกษาอยู่ในระดับชั้นนี้ และผู้วิจัยเป็นผู้รับผิดชอบสอน

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ดำเนินการทดลองในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 ใช้เวลาในการดำเนินการทดลองทั้งสิ้น 18 ชั่วโมงโดยแบ่งเป็นการชี้แจงรูปแบบการจัดการเรียนรู้ 1 ชั่วโมง ประเมินทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียน 2 ชั่วโมง ดำเนินการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ 13 ชั่วโมง เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้เสร็จสิ้น ดำเนินการวัดแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า ของนักเรียนหลังเรียนและประเมินทักษะการทำงานร่วมของนักเรียน 2 ชั่วโมง

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกเนื้อหาเรื่อง เคมีไฟฟ้า ตามตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ซึ่งมีเนื้อหา 7 เรื่อง ดังนี้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2562, น. 83-147)

1) ปฏิกิริยารีดอกซ์
2) ความสามารถในการเป็นรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของโลหะและไอออนของโลหะ
3) เซลล์กัลวานิก
4) การชุบโลหะ
5) การแยกสลายสารที่หลอมเหลวด้วยไฟฟ้า
6) การแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า
7) การทำโลหะให้บริสุทธิ์โดยใช้เซลล์อิเล็กโทรลิติก

2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยของผู้วิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียน โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ ผู้วิจัยใช้เครื่องมือในการวิจัยซึ่งประกอบไปด้วย หน่วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า แบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า แบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน และแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับทักษะการทำงานร่วมกัน

2.1. หน่วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า

ในการออกแบบหน่วยการเรียนรู้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ผู้วิจัยดำเนินการ ดังนี้

2.1.1 กำหนดขอบเขตเนื้อหา เรื่อง เคมีไฟฟ้า

กำหนดเนื้อหา โดยการศึกษาจากตัวชี้วัดแกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) วิเคราะห์แนวคิดสำคัญ ศึกษาแนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียนเรื่อง เคมีไฟฟ้า ดังนี้

1. ศึกษาตัวชี้วัดสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ พุทธศักราช 2551(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) พบว่า แนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า อยู่ในสาระเคมี ข้อ 2) เข้าใจการเขียนและดุลสมการเคมี ปริมาณสารสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลในปฏิกิริยาเคมี สมบัติและปฏิกิริยาของกรด-เบส ปฏิกิริยารีดอกซ์และเซลล์เคมีไฟฟ้า รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ ซึ่งมีผลการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้อง 9 ข้อ ดังนี้ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560, น. 163-165)

1) คำนวณเลขออกซิเดชัน และระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

2) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ เขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์

3) ทดลอง เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์

4) ดุลสมการรีดอกซ์ด้วยเลขออกซิเดชันและวิธีครึ่งปฏิกิริยา

5) ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า และสมการเคมีปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์

6) คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์และระบุประเภทของเซลล์เคมีไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้า และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

7) อธิบายหลักการทำงาน และเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาของเซลล์ปฐมภูมิและเซลล์ทุติยภูมิ

8) ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า และอธิบายหลักการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์และการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ

9) สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเซลล์เคมีไฟฟ้าในชีวิตประจำวัน

2. วิเคราะห์แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับเรื่องเคมีไฟฟ้า จากหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2562, น. 83-147) มีดังนี้

1) ปฏิกิริยารีดอกซ์ประกอบด้วยครึ่งปฏิกิริยารีดักชันและครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2) ปฏิกิริยารีดักชันคือปฏิกิริยาที่ตัวออกซิไดส์รับอิเล็กตรอนทำให้มีเลขออกซิเดชันลดลง

3) ปฏิกิริยาออกซิเดชันคือปฏิกิริยาที่ตัวรีดิวซ์ให้อิเล็กตรอนทำให้มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

4) ตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

5) ตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

6) ขั้วไฟฟ้าประกอบด้วยแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชันและแอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

7) สะพานเกลือทำหน้าที่รักษาสมดุลในเซลล์เคมีไฟฟ้าโดยให้ไอออนบวกกับขั้วแคโทดและให้ไอออนลบกับขั้วแอโนด

8) เซลล์กัลวานิกประกอบด้วยขั้วแคโทดรับอิเล็กตรอนจากแอโนดและขั้วแอโนดให้อิเล็กตรอนกับแคโทด

9) แผนภาพเซลล์มีหลักการเขียนครึ่งเซลล์ออกซิเดชันไว้ทางด้านซ้าย เขียนแทนด้วย $A(s)|A^{+}(aq)$

- ครึ่งเซลล์รีดักชันอยู่ด้านขวาเขียนแทนด้วย $B^{+}(aq)|B(s)$
- สะพานเกลือคั่นระหว่างสองครึ่งเซลล์เขียนแทนด้วย ||
- เขียนรวมแผนภาพเซลล์ได้เป็น $A(s)|A^{+}(aq)||B^{+}(aq)|B(s)$

  หรือ $Pt(s)|A^{+}(aq),A^{2+}(aq)||B^{+}(aq)|B(s)$

10) เซลล์อิเล็กโทรลิติกประกอบด้วยขั้วแคโทดต่อกับขั้วลบและรับอิเล็กตรอนจากแบตเตอรี่และขั้วแอโนดต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่และให้อิเล็กตรอน

11) หลักการชุบโลหะสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต้องมีไอออนของโลหะที่ใช้ชุบ

12) หลักการชุบโลหะต่อโลหะที่ต้องการชุบเข้าขั้วลบของแบตเตอรี่และต่อโลหะที่ใช้ชุบเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่

13) การแยกสลายสารที่หลอมเหลวด้วยไฟฟ้ามีหลักการ คือ ไอออนลบเคลื่อนที่ไปให้อิเล็กตรอนที่แอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และไอออนบวกเคลื่อนที่ไปรับอิเล็กตรอนที่แคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

14) การแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้ามีหลักการคือ น้ำและไอออนลบเคลื่อนที่มาให้อิเล็กตรอนที่แอโนด โดยสารที่มีค่า E^0 น้อยกว่าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

15) การแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้ามีหลักการ คือ น้ำและไอออนบวกเคลื่อนที่มารับอิเล็กตรอน โดยสารที่มีค่า E^0 มากกว่าเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

16) การทำโลหะให้บริสุทธิ์มีหลักการคือ ต่อโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์เข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ ต่อโลหะที่บริสุทธิ์เข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่

17) การทำโลหะให้บริสุทธิ์มีหลักการคือ สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีไอออนเดียวกับไอออนของโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์

18) โลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์มีโลหะอื่นเจือปน โลหะที่มีค่า E^0 ต่ำกว่าจะกลายเป็นไอออนบวกอยู่ในสารละลายและโลหะที่มีค่า E^0 สูงกว่าจะกลายเป็นตะกอนอยู่ในสารละลาย

3. ศึกษาแนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียน จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่านักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเซลล์กัลวานิก เซลล์อิเล็กโทรไลต์ การชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า การกัดกร่อนและการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ มีประเด็นหัวข้อดังนี้

1) หลักการเกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์กัลวานิก (Sanger & Greenbowe, 1997, p. 377; Supasorn, 2015, p. 13; ธิชานันท์ บุตรวิเศษ, 2555, น. 82; ธีรพงษ์ แสงสิทธิ์, 2555, น. 99-100; สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 36)

2) หลักการเกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์อิเล็กโทรลิติก (Sanger & Greenbowe, 1997, p. 377; Supasorn, 2015, p. 13; ธิชานันท์ บุตรวิเศษ, 2555, น. 82; ธีรพงษ์ แสงสิทธิ์, 2555, น. 99-100; สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 36)

3) การวิเคราะห์ความเหมือนและความแตกต่างระหว่างเซลล์กัลวานิกกับเซลล์อิเล็กโทรลิติก (ธิชานันท์ บุตรวิเศษ, 2555, น. 82; ธีรพงษ์ แสงสิทธิ์, 2555, น. 99-100; สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 36)

4) การชุบโลหะ (สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 36)

5) การป้องกันการกัดกร่อนด้วยวิธีแคโทดิก (สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 36)

4. สรุปผลการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า สำหรับจัดการเรียนรู้ในหน่วยการเรียนรู้นี้ ได้เป็น 5 ผลการเรียนรู้ ได้แก่

1) คำนวณเลขออกซิเดชัน และระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

2) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์

3) ทดลอง และเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์

4) ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า และสมการเคมีปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์

5) ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า และอธิบายหลักการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์และการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ

2.1.2 กำหนดรูปแบบการจัดการเรียนรู้ สำหรับการพัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกัน

กำหนดรูปแบบการจัดการเรียนรู้ โดยการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกันจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ซึ่งจากการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า พบว่ามีหลากหลายรูปแบบ เช่น การเรียนรู้จากการแก้ปัญหา (ธิชานันท์ บุตรวิเศษ, 2555, น. 5) การจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติ (นฤดล บรรจง, 2557, น. 65) การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Supasorn, 2015, p. 5; วิลาสินี จันศรีใหม่ และคนอื่น ๆ, 2563, น. 63; สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 6)

2. ศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกัน จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกัน ได้แก่ การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ (collaborative Learning) (กนกพร แสงสว่าง, 2540, น. 54; นรินทร์ กระพี้แดง, 2542, น. 77; ศิริพล แสนบุญส่ง, 2560, น. 227; สมศักดิ์ เกรัมย์, 2552, น. 27) รูปแบบการเรียนการสอนแบบ 4MAT (พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์, 2554, น. 76) และกระบวนการเรียนรู้แบบโพกิล (นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ, 2563, น. 99) หรือการเรียนรู้สืบเสาะแบบแนะนำเน้นกระบวนการ (Hanson, 2006, p. 41)

3. ระบุรูปแบบการจัดการเรียนรู้ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกัน คือ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะโดยใช้วัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น (5E) ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560, น. 55)

2.1.3 ออกแบบหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์

เนื่องจากในการจัดการเรียนรู้ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในประเทศไทย ทางกระทรวงศึกษาธิการและโรงเรียนได้กำหนดให้จัดการเรียนรู้ในรูปแบบออนไลน์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบสืบเสาะออนไลน์ จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยเลือกใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มาพัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียน สนับสนุนให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเองและทำงานร่วมกับเพื่อนผ่าน Google apps for education โดยขั้นการจัดการเรียนรู้ใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้นของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560, น. 55) โดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ดังหน้า 6

2.1.4 ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สำหรับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์

ในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้สำหรับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ ผู้วิจัยได้ใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้วัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น ของสสวท. โดยมีรายละเอียดการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

1. กำหนดเนื้อหาสำหรับแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ จากการวิเคราะห์แนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ที่สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า จำนวน 5 ผลการเรียนรู้ สามารถกำหนดเนื้อหาสำหรับแผนการจัดการเรียนรู้ ได้ 7 หัวข้อ ดังนี้

1) ปฏิกิริยารีดอกซ์

- เคมีไฟฟ้า เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้า โดยปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ ประกอบด้วยครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวรีดิวซ์และครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของตัวออกซิไดซ์

- ปฏิกิริยาที่สารให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยสารที่ให้อิเล็กตรอนกับสารอื่น แล้วมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เรียกว่า ตัวรีดิวซ์

- ปฏิกิริยาที่สารรับอิเล็กตรอน เรียกว่า ปฏิกิริยารีดักชัน โดยสารที่รับอิเล็กตรอนจากสารอื่น แล้วมีเลขออกซิเดชันลดลง เรียกว่า ตัวออกซิไดส์

- ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันจัดเป็นครึ่งปฏิกิริยา เมื่อรวมทั้งสองปฏิกิริยาเข้าด้วยกันจะได้ปฏิกิริยาที่เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์

- เลขออกซิเดชันเป็นค่าแสดงประจุไฟฟ้าสมมติของไอออนหรืออะตอมของธาตุโดยคำนวณจากการรับหรือจ่ายอิเล็กตรอน หรือใช้พันธะร่วมกัน ซึ่งการเขียนเลขออกซิเดชันจะเขียนเครื่องหมาย + หรือ – ไว้หน้าตัวเลขเสมอ

2) ความสามารถในการเป็นรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของโลหะและไอออนของโลหะ

- ในการพิจารณาความสามารถในการให้และรับอิเล็กตรอน สามารถสังเกตได้จากปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ (สารละลาย) โดยถ้ามีปฏิกิริยาเกิดขึ้นแสดงว่าโลหะนั้นเป็นโลหะที่ให้อิเล็กตรอนหรือเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าโลหะของไอออน และไอออนของโลหะในสารละลายเป็นไอออนที่รับอิเล็กตรอนหรือเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดีกว่าไอออนของโลหะที่ใช้เป็นโลหะ

3) เซลล์เคมีไฟฟ้า

- องค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าที่แอโนดและแคโทด และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทั้งนี้อาจเชื่อมต่อด้วยสะพานเกลือหรือเยื่อคั่น โดยที่แอโนดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและแคโทดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน เมื่อทำให้ครบวงจรอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทด

- สะพานเกลือทำมาจากสารละลายอิ่มตัวของเกลือบางชนิด เช่น KCl KNO_3 NH_4NO_3 หรือเกลือชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และไอออนบวกกับไอออนลบของสารละลายที่ใช้ทำสะพานเกลือควรมีความสามารถในการเคลื่อนที่ในสารละลายใกล้เคียงกัน

- เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) เป็นเซลล์เคมีไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไปเซลล์กัลวานิกจะประกอบด้วย 2 ครึ่งเซลล์ต่อกัน และเชื่อมด้วยสะพานเกลือที่ต่อไว้ในสารละลาย โดยมีแอโนดเป็นขั้วลบเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แคโทดเป็นขั้วบวกเกิดปฏิกิริยารีดักชัน มีอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านวงจรภายนอกเซลล์จากขั้วลบไปยังขั้วบวก เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองได้ (spontaneous reaction)

- เซลล์อิเล็กโทรลิติก (electrolytic cell) คือ เซลล์เคมีไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเคมี เกิดจากการผ่านไฟฟ้ากระแสตรงลงในสารละลายที่อยู่ในเซลล์แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้ (non spontaneous reaction) โดยมีแคโทดเป็นขั้วลบเกิดปฏิกิริยารีดักชัน และแอโนดเป็นขั้วบวกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

- แผนภาพเซลล์ (cell notation) สามารถแสดงองค์ประกอบและหน้าที่ของสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมีของเซลล์เคมีไฟฟ้า โดยเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันไว้ทางด้านซ้าย และครึ่งเซลล์ปฏิกิริยารีดักชันไว้ทางด้านขวาโดยมีเส้นคู่ขนาน (||) แสดงการแยกกันระหว่างแต่ละครึ่งเซลล์ ในแต่ละครึ่งเซลล์ใช้เส้น (|) คั่นระหว่างสารที่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) คั่นสารในครึ่งเซลล์ที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน แผนภาพเซลล์ที่สมบูรณ์ควรระบุความเข้มข้นของสารละลายและความดันของแก๊ส

4) การชุบโลหะ

- การชุบโลหะ (electroplating) หรือการเคลือบผิวของวัสดุด้วยโลหะ เพื่อป้องกันการเกิดสนิมหรือตบแต่งพื้นวัสดุให้สวยงาม มีหลักการดังนี้

- ต่อวัตถุที่ต้องการชุบกับขั้วลบของแบตเตอรี่ และให้โลหะที่ใช้ชุบต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ ซึ่งทำให้วัตถุที่ต้องการชุบเป็นแคโทด และโลหะที่ใช้ชุบเป็นแอโนด

- สารละลายอิเล็กโทรไลต์ต้องมีไอออนของโลหะที่ใช้ชุบ ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้ปฏิกิริยาดำเนินไปทิศทางเดียว

5) การแยกสลายสารไอออนิกหลอมเหลวด้วยไฟฟ้า

- เมื่อสารประกอบไอออนิกหลอมเหลวจะแยกออกมาเป็นไอออนบวกและไอออนลบ

- ไอออนบวกจะเคลื่อนที่ไปรับอิเล็กตรอนด้านขั้วลบ หรือขั้วแคโทด

- ไอออนลบจะเคลื่อนที่ไปจ่ายอิเล็กตรอนให้ด้านขั้วบวก หรือขั้วแอโนด

6) การสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า

- เมื่อสารประกอบละลายน้ำจะแยกออกมาเป็นไอออนบวกและไอออนลบ

- ไอออนบวกจะเคลื่อนที่ไปรับอิเล็กตรอนด้านขั้วลบ หรือขั้วแคโทด นอกจากนี้น้ำยังสามารถเคลื่อนที่มารับอิเล็กตรอนได้ ในการพิจารณาว่าจะเกิดปฏิกิริยาใดนั้น ให้สังเกตที่ E^0 ด้านนี้ สารที่มี E^0 มากกว่าจะเป็นสารที่รับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า ที่แคโทดจึงเกิดปฏิกิริยารีดักชัน แล้วเกิดสารนั้นขึ้น

- ไอออนลบจะเคลื่อนที่ไปจ่ายอิเล็กตรอนให้ด้านขั้วบวก หรือขั้วแอโนด และน้ำยังสามารถเคลื่อนที่มาจ่ายอิเล็กตรอนได้ ในการพิจารณาว่าจะเกิดปฏิกิริยาใดนั้น ให้สังเกตที่ E^0 ด้านนี้ สารที่มีค่า E^0 น้อยกว่าจะเป็นสารที่จ่ายอิเล็กตรอนได้ดีกว่า ที่แอโนดจึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเกิดสารนั้นขึ้น

7) การทำโลหะให้บริสุทธิ์โดยใช้เซลล์อิเล็กโทรลิติก

การทำโลหะให้บริสุทธิ์โดยใช้เซลล์อิเล็กโทรลิติก เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้ในการกำจัดมลทินที่ติดมาจากการถลุงแร่ เป็นการทำให้โลหะที่ได้มามีความบริสุทธิ์มากขึ้น เรียกกระบวนการนี้ว่า electrorefining ซึ่งมีหลักการ ดังนี้

- นำโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์ต่อเข้ากับแอโนด (ขั้วบวก)

- นำโลหะที่บริสุทธิ์ต่อเข้ากับขั้วแคโทด (ขั้วลบ)

- สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้จะเป็นไอออนตัวเดียวกับไอออนของโลหะที่ขั้วแอโนดหรือโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์

- ผ่านกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไป และให้ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่เหมาะสมสำหรับการทำโลหะนั้น ๆ ให้บริสุทธิ์

โลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์จะมีโลหะอื่นเจือปนอยู่เล็กน้อย ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

- โลหะเจือปนที่เป็นโลหะที่มีค่า E^0 ต่ำกว่าโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์ โลหะพวกนี้จะถูกออกซิไดส์เป็นไอออนบวกในสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้น

- โลหะเจือปนที่เป็นโลหะที่มีค่า E^0 สูงกว่าโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์ โลหะพวกนี้จะถูกออกซิไดส์ได้ยาก จึงถูกผลักออกมาเป็นตะกอนโลหะที่ก้นบีกเกอร์

2. ระบุหัวข้อ วัตถุประสงค์ และระยะเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ จากแนวทางการจัดการเรียนรู้ในคู่มือครู สสวท. ได้กำหนดเวลาเรียนในผลการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้าไว้ทั้งหมด

9 ผลการเรียนรู้เป็น 30 ชั่วโมง (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560, น. 120) ซึ่งเวลาเรียนใน 5 ผลการเรียนรู้ ใน 7 หัวข้อ ที่ผู้วิจัยสนใจศึกษา มี 13 ชั่วโมง ซึ่งสามารถจัดเป็นแผนการเรียนรู้ได้ 5 แผนการเรียนรู้ โดยในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ มีหัวข้อ ผลการเรียนรู้ และเวลาเรียน ดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 ตารางแสดงแผนการจัดการเรียนรู้ ผลการเรียนรู้และจำนวนชั่วโมงจัดการเรียนรู้

แผนที่	เรื่อง	ผลการเรียนรู้	ชั่วโมง
1	ปฏิกิริยารีดอกซ์	- คำนวณเลขออกซิเดชัน และระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ - วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์	3
2	ความสามารถในการเป็นรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของโลหะและไอออนของโลหะ	ทดลอง และเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดส์ และเขียนแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์	3
3	เซลล์เคมีไฟฟ้า	ระบุองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า และสมการเคมีปฏิกิริยาที่แอโนดและแคโทด ปฏิกิริยารวม และแผนภาพเซลล์	3
4	เซลล์อิเล็กโทรไลต์	ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า และอธิบายหลักการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์และการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ	3
5	การชุบโลหะ	ทดลองชุบโลหะและแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า และอธิบายหลักการทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโลหะ การแยกสารเคมีด้วยกระแสไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์และการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ	1

3. ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ โดยในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้มีองค์ประกอบดังนี้ สาระเคมี ผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระสำคัญ/ความคิดรวบยอด

เนื้อหาสาระ กิจกรรมการเรียนรู้ ใบงานหรือชิ้นงาน วัสดุอุปกรณ์/สื่อและแหล่งเรียนรู้ และการวัดและประเมินผล

4. นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุง

5. นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ปรับปรุงแล้วเสนอผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ความถูกต้องเหมาะสมของการใช้ภาษา ความสอดคล้องของผลการเรียนรู้/จุดประสงค์การเรียนรู้กับกิจกรรมการเรียนรู้ ขั้นตอนและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item objective congruency; IOC) ของหน่วยการเรียนรู้กับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหาและแผนการจัดกิจกรรม พบว่าค่า IOC ในแต่ละส่วนอยู่ในช่วง 0.67-1.00 ซึ่งสามารถนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ได้ จากนั้นปรับปรุงรูปแบบและแผนการจัดการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญในส่วนต่าง ๆ

6. นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านการตรวจสอบผู้เชี่ยวชาญ และปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปนำร่องกับกลุ่มนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 25 คน จำนวน 2 แผน ซึ่งแผนที่ 1 มีลักษณะที่เน้นจัดกิจกรรมการทดลอง และแผนที่ 2 มีลักษณะสืบค้นความรู้ร่วมกับสมาชิกในกลุ่ม

จากการนำร่องทดลองจัดการเรียนรู้แผนที่ 1 พบว่า ขั้นสร้างความสนใจ ควรปรับลดเวลาจาก 20 นาทีเป็น 15 นาที เพื่อให้มีเวลาในการทำกิจกรรมในขั้นอื่น ๆ ขั้นสำรวจและค้นหา ควรปรับเวลาในการทำกิจกรรมเป็น 40 นาทีเพื่อให้นักเรียนมีเวลาในการปฏิบัติการทดลอง ในการชี้แจงการทำใบกิจกรรมที่อยู่ใน google document ครูควรเปิดใบกิจกรรมให้นักเรียนดูและอธิบายรายละเอียดของใบกิจกรรม จากนั้นเน้นให้นักเรียนแบ่งบทบาทภายในกลุ่มของตนเองให้ครบ และเน้นให้นักเรียนออกแบบการทดลองก่อนทำการทดลอง จากนั้นลงมือทำการทดลองและบันทึกผลที่เกิดขึ้นในใบกิจกรรมตามที่ตนเองรับผิดชอบ กรณีที่นักเรียนพิมพ์สมการได้ช้าแนะนำให้นักเรียนเขียนลงในกระดาษและถ่ายภาพเพื่อนำมาใส่ใน google document แทน ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ควรสุ่มกลุ่มตัวอย่างออกมานำเสนอผลการศึกษาค้นคว้าเพื่อกระชับเวลา และควรปรับคำถามในการอภิปรายผลการทดลองให้มีจำนวนน้อยลงเพื่อกระชับเวลา ส่วนขั้นขยายความรู้และขั้นประเมินความรู้ควรปรับลดเวลาเช่นกัน

จากการนำร่องทดลองจัดการเรียนรู้แผนที่ 2 พบว่า ขั้นสำรวจและค้นหา ควรปรับเวลาในการทำกิจกรรมจากเดิม 30 นาที เป็น 35 นาทีเพื่อให้นักเรียนมีเวลาในการทำกิจกรรมมากขึ้น ในกรณีที่นักเรียนพิมพ์สมการได้ช้าแนะนำให้นักเรียนเขียนในกระดาษและถ่ายภาพเพื่อนำมาใส่ใน google document แทน ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ครูอาจเป็นผู้นำเสนอหน้าจอแทนนักเรียน

เพื่อให้นักเรียนที่เป็นผู้นำเสนอทำหน้าที่อธิบายให้เพื่อน ๆ ฟังเพื่อกระชับเวลา หรือครูอาจชี้แจงให้นักเรียนที่เป็นผู้นำเสนอเตรียมข้อมูลให้พร้อม นักเรียนใช้เวลาในการตอบคำถามในใบกิจกรรมนาน ครูชี้แจงให้นักเรียนแบ่งกันบันทึกผลในข้อที่ตนเองรับผิดชอบ และขั้นประเมินความรู้มีการปรับลดเวลาเป็น 10 นาที เพื่อให้มีเวลาในการทำกิจกรรมในขั้นอื่น

7. นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วนำไปใช้กับกลุ่มศึกษา

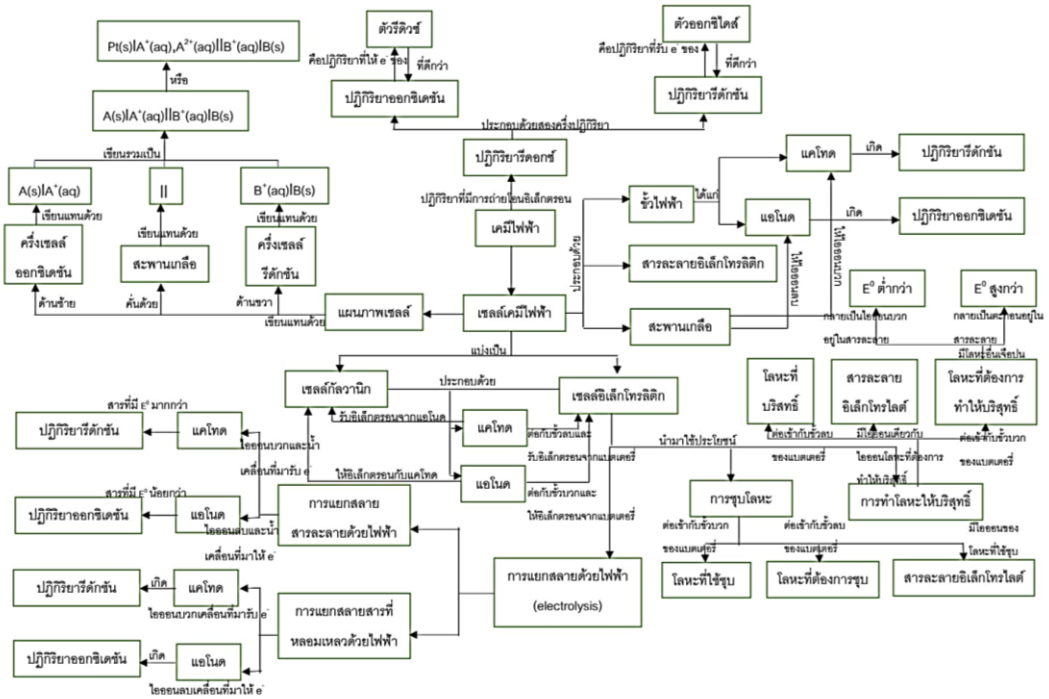
2.2 แบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

ในการสร้างและหาคุณภาพแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ผู้วิจัยดำเนินการสร้างตามขั้นตอน ดังนี้

2.2.1 ศึกษาหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับ 5 ผลการเรียนรู้ จากนั้นผู้วิจัยระบุเนื้อหาและแนวคิดที่เกี่ยวข้องที่ต้องการวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ตามหนังสือเรียนรายวิชาเคมี เพิ่มเติม เคมี เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 – 6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2562, น. 79-154) จากนั้นได้จัดทำแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ (ความรู้เชิงประพจน์) และได้สร้างแผนผังแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อให้มั่นใจว่าแบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้นที่สร้างขึ้นสามารถครอบคลุมแนวคิดทั้งหมดที่ต้องการวัดได้ โดยในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ให้ผู้เชี่ยวชาญที่เชี่ยวชาญเนื้อหาในรายวิชาเคมีระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายเป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องของแนวคิด และความสอดคล้องกับแผนผังแนวคิดโดยแนวคิดที่ได้จัดทำ มีทั้งหมด 18 แนวคิด ดังภาพประกอบ 3

2.2.2 ศึกษาหนังสือและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบวัดแนวคิดและเทคนิคการเขียนข้อคำถาม

จากที่ผู้วิจัยศึกษาการสร้างแบบวัดแนวคิดมีทั้งปลายเปิด (open ended question) และแบบทดสอบเลือกตอบสองชั้น (two-tier multiple-choice test) ผู้วิจัยเลือกสร้างแบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น (two tier diagnostic test) โดยลำดับขั้นที่หนึ่งเป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือกและลำดับขั้นที่สองเป็นส่วนอธิบายให้เหตุผลประกอบ เนื่องจากแบบวัดลักษณะนี้สามารถวัดแนวคิดของนักเรียนจำนวนมากได้และเป็นการยืนยันว่านักเรียนมีความรู้ในเรื่องนั้นจริง (กุลธิดา สุวัชระกุลธร, 2556, น. 12)



ภาพประกอบ 3 แสดงแผนผังแนวคิดเชิงประพจน์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า

2.2.3 ดำเนินการสร้างแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า พร้อมทั้งกำหนดแนวคำตอบที่ถูกต้องสอดคล้องกับแนวคิดวิทยาศาสตร์

ในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบข้อสอบ เพื่อวัดแต่ละแนวคิด จำนวน 18 แนวคิด โดยสร้างแนวคิดละ 2 ข้อ รวม 36 ข้อ โดยใช้แบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น โดยลำดับชั้นที่หนึ่งเป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือกและลำดับชั้นที่สองเป็นส่วนอธิบายให้เหตุผลประกอบ ดังตัวอย่าง

จากปฏิกิริยาต่อไปนี้ $Sn(s) + Pb^{2+}(aq) \longrightarrow Sn^{2+}(aq) + Pb(s)$ สารหรือไอออนใดเป็นตัวรีดิวซ์

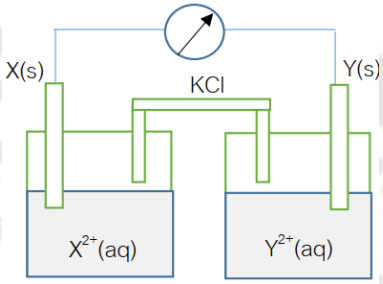
ก. $Sn(s)$ ข. $Pb^{2+}(aq)$

ค. $Sn^{2+}(aq)$ ง. $Pb(s)$

เหตุผลที่ตอบเพราะ.....

2.2.4 นำแบบวัดแนวคิดที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของเนื้อหา แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.2.5 นำแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่แก้ไขแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องของลักษณะการใช้คำถาม ตัวเลือกและคำตอบกับผลการเรียนรู้ ความถูกต้องด้านภาษา เพื่อปรับปรุงแก้ไข วิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ผลการประเมิน พบว่าแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้าที่มีความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 0.67-1.00 ในทุกข้อ จึงสรุปได้ว่าแบบวัดที่ได้สร้างขึ้นมานั้นสามารถนำไปใช้ได้ทุกข้อและได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมข้อความในตัวเลือกตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญในบางข้อเพื่อให้สมบูรณ์ถูกต้องมากขึ้น เช่น ในการทดลองการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างครึ่งเซลล์ X(s) I X^{2+}(aq) กับครึ่งเซลล์ Y(s) I Y^{2+}(aq) ดังแผนภาพ ไอออนในสะพานเกลือมีทิศทางการเคลื่อนที่อย่างไร



ก. K^+ เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า X(s) เปลี่ยนเป็น ทั้ง K^+ และ NO_3^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า X(s)

ข. Cl^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า X(s) เปลี่ยนเป็น ทั้ง K^+ และ NO_3^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า Y(s)

ค. K^+ และ Cl^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า X(s) เปลี่ยนเป็น K^+ เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า X(s) และ NO_3^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า Y(s)

ง. K^+ และ Cl^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า Y(s) เปลี่ยนเป็น K^+ เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า Y(s) และ NO_3^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า X(s)

2.2.6 นำแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ที่คัดเลือกไปทดลองใช้ (try out) กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมายที่ผ่านการเรียนเรื่อง เคมีไฟฟ้ามาแล้ว จำนวน 92 คน เพื่อวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (D) ของข้อความเป็นรายข้อของแบบวัดแนวคิดโดยตรวจและรวบรวมคะแนนทุกข้อของนักเรียนแต่ละคนเข้าด้วยกัน แล้วนำมาเรียงลำดับคะแนนของผู้ที่ตอบได้คะแนนสูงสุดถึงต่ำสุดและแบ่งเป็นกลุ่มสูง-กลุ่มต่ำ โดยใช้สูตรของวิทนีย์และซาเบอร์ ควบคู่กับเทคนิค 25% แล้วนำคะแนนแต่ละข้อไปทดสอบหาค่าอำนาจ

จำแนก (D) เพื่อคัดข้อคำถามที่มีค่าความยากง่าย (p) ระหว่าง 0.20 – 0.80 และมีค่าอำนาจจำแนก (D) ตั้งแต่ระดับ 0.20 ขึ้นไป (ณัฐรินีย์ อภิวงศ์งาม, 2554, น. 99) ซึ่งแบบวัดแนวคิดแต่ละข้อมีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.14 – 0.61 ค่าอำนาจจำแนก (D) อยู่ระหว่าง -0.10 – 0.58 ซึ่งนำไปใช้ได้ 26 ข้อ และใช้ไม่ได้ 10 ข้อ

2.2.7 ทำการคัดเลือกแบบวัดแนวคิดมา 18 ข้อ ข้อละ 1 แนวคิด มาปรับปรุงแก้ไขเกี่ยวกับภาษา แนวคำตอบให้มีความครอบคลุม และตรวจสอบความชัดเจนของแบบวัดแนวคิดมา 18 ข้อ เสนอให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตรวจสอบความเหมาะสมของภาษาอีกครั้งซึ่งแบบวัดแนวคิดทั้ง 18 ข้อ มีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.22-0.61 ค่าอำนาจจำแนก (D) อยู่ระหว่าง 0.26-0.58 ค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิดทั้งฉบับ เท่ากับ 0.92 นำแบบวัดแนวคิดที่ได้รับความเห็นชอบไปดำเนินการเก็บข้อมูลกับนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา

2.3 แบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน

ในการสร้างและหาคุณภาพแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน ผู้วิจัยดำเนินการสร้างตามขั้นตอน ดังนี้

2.3.1 ศึกษาองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน เพื่อมากำหนดขอบข่าย โครงสร้างของแบบประเมิน โดยศึกษาจากงานวิจัยต่าง ๆ

จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ สามารถสรุปองค์ประกอบที่สำคัญของทักษะการทำงานร่วมกันได้ 3 องค์ประกอบ คือ การสร้างความเข้าใจร่วมกัน การมีส่วนร่วม และการกำกับการทำงานกลุ่มโดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) การสร้างสร้างความเข้าใจร่วมกัน คือ นักเรียนร่วมกันสำรวจปัญหาหรือเป้าหมายเพื่อสร้างความเข้าใจในงาน เห็นความสำคัญและความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น ตระหนักถึงความสำคัญของการมีปฏิสัมพันธ์ว่ามีผลต่อความสำเร็จของกลุ่ม รวบรวมข้อมูลและจัดการข้อมูลเพื่อสร้างความเข้าใจร่วมกัน ระบุสิ่งที่จำเป็นในการทำงานให้สำเร็จ และกำหนดบทบาทหน้าที่ที่เหมาะสมกับสมาชิกในกลุ่ม

2) การมีส่วนร่วม สมาชิกในกลุ่มแต่ละคนจำเป็นต้องมีส่วนร่วมในความรับผิดชอบที่ตกลงไว้กับกลุ่ม และรับรู้การมีส่วนร่วมของผู้อื่นเพื่อให้เกิดการทำงานร่วมกัน

3) การกำกับการทำงานกลุ่ม คือ การรักษากฎระเบียบของกลุ่ม มีการตรวจสอบการทำงาน ปรับพฤติกรรมและการมีส่วนร่วมของตนเองและสมาชิกในกลุ่ม เพื่อประโยชน์ที่ดีของกลุ่ม

2.3.2 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการวัดและประเมินทักษะการทำงานร่วมกัน

จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและประเมินผลทักษะการทำงานร่วมกันแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ แบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน และแบบประเมินทักษะการทำงานร่วมกัน โดยที่แบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกันจะเป็นการประเมินโดยผู้สอนเป็นผู้ประเมินนักเรียน ส่วนแบบประเมินทักษะการทำงานร่วมกันจะมีทั้งผู้สอนเป็นผู้ประเมินนักเรียน นักเรียนประเมินตนเองหรือประเมินเพื่อน ซึ่งผู้วิจัยจะเลือกใช้แบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกันโดยผู้สอนเป็นผู้ประเมินนักเรียน ที่ปรับมาจาก สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) โดยมีรายละเอียดลักษณะของพฤติกรรมในแต่ละด้านครอบคลุมองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน 3 องค์ประกอบ 10 ข้อ โดยมีแบบมาตรประมาณค่า 3 ระดับ คือ ระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ

2.3.3 สร้างแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน

ผู้วิจัยใช้วิธีการสังเกตโดยตรงซึ่งเป็นการสังเกตพฤติกรรมขณะที่นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการสอน โดยผู้วิจัยได้กำหนดลักษณะของพฤติกรรมในแต่ด้าน ซึ่งประกอบด้วยลักษณะที่ครอบคลุมองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ จำนวน 10 ข้อ และมีเกณฑ์การประเมิน 3 ระดับ ที่ปรับมาจาก สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) ดังตาราง 8 ในบทที่ 2 หน้า 48 - 51

2.3.4 นำแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกันที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ

ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ทำการประเมินเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินทักษะการทำงานร่วมกัน และความเหมาะสมของข้อคำถาม จากนั้นนำข้อคิดเห็นที่ได้มาวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ซึ่งในทุกข้อมีค่าความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 0.67-1.00 และปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังตัวอย่าง

องค์ประกอบการสร้างความเข้าใจร่วมกัน ด้านการสื่อสารกับผู้อื่น ผู้เชี่ยวชาญให้ปรับคำในเกณฑ์ระดับสูงและระดับกลาง ดังนี้

ระดับสูง :นักเรียนมีการให้เหตุผลอภิปรายโต้ตอบในหลากหลายมุมมองเปลี่ยนเป็นนักเรียนมีการถามเพื่อให้แสดงเหตุผลของคำตอบหรือมุมมองที่ได้รับ

ระดับกลาง : นักเรียนถามคำถามหรือขอคำชี้แจงจากสมาชิกโดยสื่อสารแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับงานและอภิปรายโต้ตอบกับสมาชิกภายในกลุ่ม เปลี่ยนเป็น

นักเรียนถามคำถามหรือขอคำชี้แจงจากสมาชิกคนอื่น ๆ โดยสื่อสารแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในงานที่เกี่ยวข้องและโต้ตอบเพื่อมีส่วนร่วมกับสมาชิกภายในกลุ่ม

2.3.5 นำแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกันที่ได้ปรับปรุงแก้ไขแล้วเสนอต่อที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เพื่อพิจารณาความเหมาะสม แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.3.6 นำแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกันมาใช้กับกลุ่มศึกษา

2.4 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

ในการสร้างและหาคุณภาพแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน ผู้วิจัยดำเนินการสร้างตามขั้นตอน ดังนี้

2.4.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับทักษะการทำงานร่วมกันเพื่อสร้างแนวคำถามแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดความหมายของทักษะการทำงานร่วมกันและใช้เกณฑ์การประเมินตามงานวิจัยของ สคูลาร์ และคนอื่น ๆ (Scoular et al., 2020, pp. 6-11) ซึ่งได้ระบุองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกันเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่การสร้างความเข้าใจร่วมกัน (Building shared understanding การมีส่วนร่วม (Collectively contributing) และการกำกับการทำงานของกลุ่ม (regulation)

2.4.2 นำแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเสนอให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสม

2.4.3 ปรับปรุงแก้ไขแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

2.4.4 นำแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างที่แก้ไขแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน โดยประเมินความคิดเห็นเกี่ยวกับองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกันและความเหมาะสมของข้อคำถาม จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) พบว่าแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างมีค่า IOC เท่ากับ 0.67-1.00 จากนั้นปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญโดยเขียนข้อคำถามให้อยู่ในรูปประโยคคำถามและถามให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นในการทำงานร่วมกัน เช่น นักเรียนมีการสื่อสารแลกเปลี่ยนความคิดเห็นหรืออภิปรายโต้แย้งกันในกลุ่มเกี่ยวกับเรื่องงาน เปลี่ยนเป็น นักเรียนมีการสื่อสารแลกเปลี่ยนความคิดเห็นหรืออภิปรายโต้แย้งกันในกลุ่มขณะทำงาน หากสมาชิกในกลุ่มไม่สื่อสาร หรือสื่อสารไม่เข้าใจ นักเรียนจะทำอย่างไร

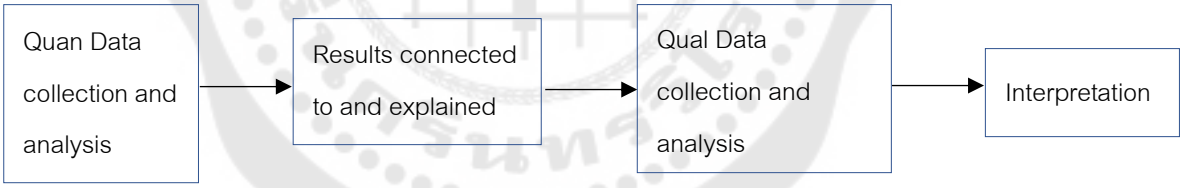
2.4.5 นำแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างที่ได้ปรับปรุงแก้ไขแล้วเสนอต่อที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เพื่อพิจารณาความเหมาะสม แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.4.6 นำแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างมาใช้กับกลุ่มที่ศึกษาหลังการจัดการเรียนรู้

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

แบบแผนงานวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการวิจัยแบบตามลำดับอธิบายผล (The explanatory sequential design) (Creswell & Clark, 2018, p. 66) ก่อนเรียนผู้วิจัยเก็บข้อมูลเชิงปริมาณด้วยแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกันเพื่อประเมินทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียน หลังเรียนผู้วิจัยเก็บข้อมูลเชิงปริมาณโดยการวัดแนวคิดของนักเรียนด้วยแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า และประเมินทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนด้วยแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพโดยจัดกลุ่มแนวคิดของนักเรียนออกเป็น 5 กลุ่ม สังเกตพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของนักเรียนจากวิดีโอที่บันทึกไว้ และการสัมภาษณ์นักเรียน จากนั้นจึงแปลผลโดยใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพมาเชื่อมต่อและอธิบายข้อมูลเชิงปริมาณ ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แสดงแบบแผนการวิจัย

เมื่อ	Quan Data collection and analysis	แทน	การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์จากการประเมินทักษะการทำงานร่วมกันก่อนและหลังเรียนและการวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้าหลังเรียน

Qual Data collection and analysis	แทน	การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์จากแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับทักษะการทำงานร่วมกัน การสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน และจัดกลุ่มแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า
Results connected to and explained	แทน	การนำข้อมูลเชิง คุณภาพไปเชื่อมต่อและอธิบายร่วมกับข้อมูลเชิงปริมาณ
Interpretation	แทน	การตีความและสรุปผล

การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลมีขั้นตอน ดังนี้

1. ผู้วิจัยได้เตรียมการก่อนเก็บข้อมูลวิจัย ดังนี้

1.1 สร้าง google classroom ของชั้นเรียน ห้องประชุม google meet ของชั้นเรียน และห้องประชุม google meet ของกลุ่ม จากนั้นเพิ่มนักเรียนเข้าชั้นเรียนและจัดนักเรียนเข้า google meet ของกลุ่มตามความสมัครใจของนักเรียน

1.2 สร้างใบกิจกรรมผ่าน google document จากนั้นเพิ่มนักเรียนเข้าใบกิจกรรมตามกลุ่ม และพิมพ์ชื่อสมาชิกกลุ่มให้นักเรียนเพื่อประหยัดเวลา

1.3 จัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับทำกิจกรรมการทดลองและจัดส่งให้นักเรียนทางบ้านหรือให้นักเรียนมารับที่โรงเรียน

2. ชี้แจงให้นักเรียนทราบถึงขอบเขตการวิจัยในครั้งนี้ว่าเป็นการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ และสร้างข้อตกลงเบื้องต้นในการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนเข้าใจตรงกัน และให้นักเรียนลงนามเข้าร่วมวิจัย โดยนักเรียนสามารถขอถอนสิทธิเข้าร่วมได้ตลอดเวลา และผู้วิจัยจะไม่นำข้อมูลของนักเรียนที่ถอนสิทธิมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลวิจัย และผู้วิจัยจะปิดข้อมูลต่าง ๆ เป็นความลับ

3. ปฐมนิเทศแนะนำผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ การมอบหมายงาน วิธีการส่งงาน ช่องทางการสื่อสาร ลงทะเบียนเข้าเรียนใน google classroom google meet และ google document และอธิบายวิธีการใช้งาน

application นี้แก่นักเรียน จากนั้นจัดกลุ่มนักเรียนออกเป็นกลุ่ม ๆ ละ 5 คน ตามความสมัครใจของนักเรียน โดยมีเงื่อนไขต้องคละความสามารถในกลุ่ม กำหนดบทบาทหน้าที่ภายในกลุ่มตามความสามารถและความถนัดของนักเรียน

4. ประเมินทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนก่อนเริ่มเรียนรู้ในหน่วยการเรียนรู้สืบเสาะออนไลน์โดยสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ระหว่างที่นักเรียนเรียนรู้เคมีไฟฟ้า ในแผนการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 1 แผน จากวิดีโอที่บันทึกไว้ระหว่างการเรียนรู้และวิเคราะห์หลังสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ โดยใช้เครื่องมือแบบสังเกตพฤติกรรมทักษะการทำงานร่วมกัน

5. ดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 – 5 เป็นแผนที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการสอนเองกับนักเรียนที่เป็นกลุ่มศึกษา และบันทึกการเรียนรู้ทั้งในชั้นเรียนและกลุ่มย่อย

6. หลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ดำเนินการทดสอบแนวคิดของนักเรียนหลังเรียนโดยใช้เครื่องมือแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

7. ประเมินทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนหลังเรียน โดยการสังเกตพฤติกรรมการทำงานร่วมกันระหว่างที่นักเรียนเรียนรู้เคมีไฟฟ้าในแผนการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 1 แผน หลังจากเรียนรู้ในหน่วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์เสร็จสิ้น โดยใช้เครื่องมือแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน

8. สัมภาษณ์นักเรียน 6 คน จากผลการประเมินทักษะการทำงานร่วมกัน โดยเลือกจากนักเรียนในกลุ่มที่มีพัฒนาการระดับสูง กลาง กลุ่มละ 3 คน เนื่องจากไม่มีนักเรียนคนใดที่มีพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับต่ำจึงไม่ได้สัมภาษณ์นักเรียนกลุ่มนี้

9. ในการรวบรวมและวิเคราะห์จะเก็บข้อมูลของนักเรียนเป็นความลับโดยการใช้รหัสหรือชื่อแทนข้อมูลจริงของกลุ่มศึกษา

10. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้

4. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยครั้งนี้มีการกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

1. แนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

1) ตรวจให้คะแนนแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น (two tier diagnostic test) หลังการจัดการเรียนรู้ จำนวน 18 ข้อ คะแนนรวมทั้งฉบับ 72 คะแนน ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดสมมติฐานว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการ

เรียนแบบสืบเสาะออนไลน์มีแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 โดยใช้เกณฑ์การตรวจให้คะแนนดังตาราง 13

ตาราง 13 เกณฑ์การตรวจให้คะแนนแบบวัดแนวคิด

คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน	
	ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2
4	ถูก 1 คะแนน	3 คะแนน อธิบายคำตอบที่แสดงความเข้าใจแนวคิดถูกต้อง
3	ถูก 1 คะแนน	2 คะแนน อธิบายคำตอบที่แสดงความเข้าใจแนวคิดถูกต้องบางส่วน
	ผิด 0 คะแนน	3 คะแนน อธิบายคำตอบที่แสดงความเข้าใจแนวคิดถูกต้อง
2	ถูก 1 คะแนน	1 คะแนน อธิบายคำตอบที่แสดงความเข้าใจแนวคิดถูกต้องบางส่วน แต่ยังมีความเข้าใจแนวคิดคลาดเคลื่อน
	ผิด 0 คะแนน	2 คะแนน อธิบายคำตอบที่แสดงความเข้าใจแนวคิดถูกต้องบางส่วน
1	ถูก 1 คะแนน	0 คะแนน อธิบายคำตอบที่แสดงความเข้าใจไม่สอดคล้องกับแนวคิดที่ถูกต้อง หรือไม่ตอบหรือตอบทวนคำถาม
	ผิด 0 คะแนน	1 คะแนน อธิบายคำตอบที่แสดงความเข้าใจแนวคิดถูกต้องบางส่วน แต่ยังมีความเข้าใจแนวคิดคลาดเคลื่อน
0	ผิด 0 คะแนน	0 คะแนน อธิบายคำตอบที่แสดงความเข้าใจไม่สอดคล้องกับแนวคิดที่ถูกต้อง หรือไม่ตอบหรือตอบทวนคำถาม

2) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังเรียนเทียบกับเกณฑ์สูงกว่าค่าเฉลี่ยร้อยละ 60 โดยใช้ร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

1) วิเคราะห์คำตอบเป็นรายข้อแปลผลจากคำตอบและจัดกลุ่มแนวคิดโดยปรับจากเกณฑ์ของ ไฮดาร์ และรันเนอร์และคนอื่น ๆ (Haidar, 1997, p. 185; Renner et al., 1990, น. 37) ซึ่งแบ่งรายละเอียดของการจัดกลุ่มแนวคิด 5 กลุ่ม ดังตาราง 14

ตาราง 14 การจัดกลุ่มแนวคิด

กลุ่มแนวคิด	เกณฑ์การให้คะแนน
แนวคิดถูกต้อง (Sound Understanding)	ส่วนที่ 1 ถูกต้อง ส่วนที่ 2 อธิบายคำตอบที่แสดงความเข้าใจแนวคิดถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์
แนวคิดถูกต้องบางส่วน (Partial Understanding)	ส่วนที่ 1 ถูกต้อง ส่วนที่ 2 อธิบายคำตอบที่แสดงความเข้าใจแนวคิดถูกต้องบางส่วนแต่ยังอธิบายไม่ครบถ้วนสมบูรณ์
แนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with misunderstanding)	ส่วนที่ 1 ถูกต้อง ส่วนที่ 2 อธิบายคำตอบที่แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจแนวคิดคลาดเคลื่อน ส่วนที่ ไม่ถูกต้อง 1 ส่วนที่ 2 อธิบายคำตอบที่แสดงความเข้าใจแนวคิดถูกต้องโดยไม่มีแนวคิดคลาดเคลื่อน
แนวคิดคลาดเคลื่อน (Complete Misunderstanding)	ส่วนที่ 1 ไม่ถูกต้อง ส่วนที่ 2 อธิบายคำตอบที่แสดงความเข้าใจไม่สอดคล้องกับแนวคิดที่ถูกต้อง
ไม่มีแนวคิด (No Understanding)	ส่วนที่ 1 ไม่ถูกต้อง ส่วนที่ 2 ไม่ตอบหรือตอบทวนคำถาม

2) หาค่าร้อยละของจำนวนนักเรียนในแต่ละกลุ่มแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังการจัดการเรียนรู้เพื่อพิจารณาว่าในแต่ละข้อคำถาม นักเรียนกลุ่มศึกษาส่วนใหญ่มีแนวคิดเป็นอย่างไร สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดสมมติฐานจำนวนนักเรียนที่ได้รับกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ มีแนวคิดที่ถูกต้องบางส่วนขึ้นไป หลังเรียนไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 เนื่องจากงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาแนวคิดของนักเรียน พบว่า จำนวนนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้มีแนวคิดถูกต้องบางส่วนขึ้นไปหลังเรียนไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 (รุ่งนภา เอียงอุบล, 2555, น. 48)

2. ทักษะการทำงานร่วมกัน

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

1) ตรวจให้คะแนน วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนทักษะการทำงานร่วมกันก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน 3 องค์ประกอบจำนวน 10 ข้อ แต่ละ

ข้อมีคะแนน 3 ระดับ คือ ระดับสูง (3 คะแนน) ระดับกลาง (2 คะแนน) และระดับต่ำ (1 คะแนน) รวมคะแนน 30 คะแนน จากนั้นแบ่งกลุ่มทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

10 – 16 คะแนน	แปลว่า มีทักษะการทำงานร่วมกันระดับต่ำ
17 – 23 คะแนน	แปบว่า มีทักษะการทำงานร่วมกันระดับกลาง
24 – 30 คะแนน	แปลว่า มีทักษะการทำงานร่วมกันระดับสูง

2) วิเคราะห์หาค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกัน (Normalized-gain) (ชมพู สุรกาญจนชาติ, 2557, น. 107) เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาการของทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน ออกเป็น 3 ระดับ (ชมพู สุรกาญจนชาติ, 2557, น. 107) ดังนี้

$<g> \leq 0.3$	แปลว่า พัฒนาการระดับต่ำ
$0.3 \leq <g> \leq 0.7$	แปลว่า พัฒนาการระดับกลาง
$<g> \geq 0.7$	แปลว่า พัฒนาการระดับสูง

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดสมมติฐานว่าจำนวนนักเรียนมีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับสูง ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

2) วิเคราะห์หาค่าขนาดอิทธิพล (Effect Size: d) เพื่อเปรียบเทียบทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้และหลังการจัดการเรียนรู้ (ชมพู สุรกาญจนชาติ, 2557, น. 108) โดยมีเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

1.80 ขึ้นไป	แปลว่า	อิทธิพลระดับสูง
1.79-0.21	แปลว่า	อิทธิพลระดับต่ำ
0-0.20	แปลว่า	อิทธิพลระดับต่ำ

3) สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดสมมติฐานค่าขนาดอิทธิพลต่อทักษะการทำงานร่วมกันหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในระดับสูง

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

สังเกตพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของนักเรียนจากวิดีโอที่บันทึกไว้เพื่อประเมินทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนและจัดกลุ่มนักเรียนที่มีพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกัน

ในระดับสูง กลาง และต่ำ พบว่านักเรียนมีพัฒนาการระดับสูงและกลาง และไม่มีนักเรียนคนใดที่มีพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันในระดับต่ำ จากนั้นสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างนักเรียนที่มีพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันระดับสูงและกลาง กลุ่มละ 3 คน และนำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์มาถอดเทปอย่างละเอียดและและจัดหมวดหมู่คำตอบของนักเรียนเพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลเชิงปริมาณในการแปลค่าทักษะการทำงานร่วมกัน

5. **สถิติที่ใช้ในการวิจัย**

5.1 **สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล**

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้สถิติการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1) สถิติพื้นฐานเพื่อวิเคราะห์ผลคะแนนที่ได้จากจากใช้แบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า และแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน โดยใช้สถิติ (ชูศรี วงศ์รัตนะ, 2560, น. 37)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) โดยคำนวณจากสูตร

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

เมื่อ $\overline{X}$ แทน คะแนนค่าเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

n แทน จำนวนนักเรียนที่ศึกษา

2) สถิติสำหรับการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยคำนวณจากสูตร (ชูศรี วงศ์รัตนะ, 2560, น. 77)

$$S = \sqrt{\frac{N\sum X^2-(\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ S แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum X$ แทน ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

$(\sum X)^2$ แทน ผลรวมของข้อมูลทั้งหมดยกกำลังสอง

$\sum X^2$ แทน ผลรวมของแต่ละข้อมูลยกกำลังสอง

n แทน จำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง

5.2 สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

1) การตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้แบบวัดแนวคิดและแบบประเมินทักษะการทำงานร่วมกัน โดยคำนวณจากสูตร (พรรณี ลีกิจวัฒนะ , 2550, น. 106)

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

เมื่อ IOC แทน ความสอดคล้องของเครื่องมือกับเนื้อหา

$\sum R$ แทน ผลรวมคะแนนของผู้เชี่ยวชาญ

n แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

2) การตรวจสอบความยากง่าย (p) ของแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า คำนวณคำนวณโดยใช้สูตรของวิทนีย์และซาเบอร์ (D.R. Whitney and D.L. Sabers) และเทคนิค 25% ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้ (ล้วน สายยศ & อังคณา สายยศ, 2538, น. 209-211)

$$P_E = \frac{S_U + S_L - (2NX_{min})}{2N(X_{max} - X_{min})}$$

เมื่อ P_E แทน ดัชนีความยากง่าย

S_U แทน ผลรวมของคะแนนกลุ่มเก่ง

S_L แทน ผลรวมของคะแนนกลุ่มอ่อน

N แทน จำนวนผู้เข้าสอบของกลุ่มเก่งหรือกลุ่มอ่อน (เฉพาะกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง)

X_{max} แทน คะแนนที่นักเรียนทำได้สูงสุด

X_{min} แทน คะแนนที่นักเรียนทำได้ต่ำสุด

3) การตรวจสอบค่าอำนาจจำแนก (D) ของแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า คำนวณโดยใช้สูตรของวิทนีย์และซาเบอร์ (D.R. Whitney and D.L. Sabers) และเทคนิค 25% ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้ (ล้วน สายยศ & อังคณา สายยศ, 2538, น. 201)

$$D = \frac{S_U - S_L}{n(X_{max} - X_{min})}$$

เมื่อ D แทน ค่าอำนาจจำแนก

S_U แทน ผลรวมของคะแนนกลุ่มเก่ง

S_L แทน ผลรวมของคะแนนกลุ่มอ่อน

X_{max} แทน คะแนนที่นักเรียนทำได้สูงสุด

X_{min} แทน คะแนนที่นักเรียนทำได้ต่ำสุด

n แทน จำนวนผู้เข้าสอบของกลุ่มเก่งหรือกลุ่มอ่อน

4) การตรวจสอบค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิด โดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbrach' s Alpha Coefficient; α) ที่มีค่าความเชื่อมมั่นอยู่ในระดับ 0.5 ขึ้นไป (พรรณี ลีกิจวัฒนะ, 2550, น. 110) โดยคำนวณจากสูตร ดังนี้

$$\alpha = \frac{n}{n-1}\left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_x^2}\right]$$

เมื่อ α แทน ค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิด

n แทน จำนวนข้อของแบบวัด

S_i^2 แทน ความแปรปรวนของคะแนนแต่ละข้อ

S_x^2 แทน ความแปรปรวนของคะแนนรวม

5.3 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

1) สถิติวิเคราะห์หาค่าพัฒนาการของทักษะการทำงานร่วมกัน (Normalized gain) ของนักเรียนทั้งห้องและรายบุคคลเพื่อเปรียบเทียบพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันก่อนเรียนและหลังเรียน (ชมพู สุรกาญจนชาติ, 2557, น. 107)

$$\langle g \rangle = \frac{(\text{คะแนนวัดหลังเรียน} - \text{คะแนนวัดก่อนเรียน})}{(\text{คะแนนเต็ม} - \text{คะแนนวัดก่อนเรียน})}$$

2) สถิติวิเคราะห์หาค่าขนาดอิทธิพล (Effect Size: d) เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาการของทักษะการทำงานร่วมกันของผู้เรียนก่อนการจัดการเรียนรู้และหลังการจัดการเรียนรู้ (ชมพู สุรกาญจนชาติ, 2557, น. 108)

สูตรค่าขนาดอิทธิพล (Effect Size: d)

$$d = \frac{(\text{ค่าเฉลี่ยของคะแนนหลังเรียน} - \text{ค่าเฉลี่ยของคะแนนก่อนเรียน})}{(\text{ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน})}$$

เกณฑ์ที่ใช้ในการแปลผลขนาดอิทธิพล (ชมพู สุรกาญจนชาติ, 2557, น. 108)

1.80 ขึ้นไป	แปลว่า	อิทธิพลระดับสูง
1.79 - 0.21	แปลว่า	อิทธิพลระดับปานกลาง
0 – 0.20	แปลว่า	อิทธิพลระดับต่ำ

6. จริยธรรมวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิจัยใต้หลักจริยธรรมวิจัย ตามหลักการ 3 ประการ ได้แก่ 1) หลักความเคารพในบุคคล 2) หลักคุณประโยชน์ไม่ก่อให้เกิดอันตราย 3) หลักความยุติธรรม โดยมีหลักการดังนี้

1) หลักความเคารพในบุคคล (Refect for Person)

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะชี้แจงข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัยให้กับผู้เข้าร่วมวิจัยอย่างชัดเจนและให้ผู้เข้าร่วมวิจัยลงนามยินยอมในการเข้าร่วมวิจัย เคารพในการตัดสินใจของผู้เข้าร่วมวิจัยโดยผู้เข้าร่วมการวิจัยสามารถขอถอนสิทธิการเข้าร่วมได้ตลอดเวลา กล่าวคือ ผู้วิจัยไม่นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมวิจัยที่ถอนสิทธิ์มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลวิจัย อีกทั้งในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยจะปิดข้อมูลต่าง ๆ เป็นความลับ โดยการใช้รหัสหรือชื่อแทนข้อมูลจริงของกลุ่มศึกษา เพื่อปกป้องข้อมูลและจะเก็บรักษาข้อมูลไว้ให้เป็นความลับ (ธาดา สืบหลินวงศ์, พรรณแข มไหสวริยะ, & สุธี พานิชกุล, 2550, น. 4-5)

2) หลักคุณประโยชน์ไม่ก่ออันตราย (Beneficence, Non-Maleficence)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกัน และแนวคิดเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้าอย่างครอบคลุมและเลือกรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่จะเกิดประโยชน์สูงสุดแก่นักเรียน ซึ่งนักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการ

เรียนรู้เนื้อหาแนวคิดครอบคลุมตามหลักสูตรเช่นเดียวกับนักเรียนกลุ่มอื่น ๆ ซึ่งประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการวิจัยจะเป็นประโยชน์ให้กับครูผู้สอน นักเรียน และนักการศึกษา ในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาแนวคิดและทักษะการทำงานร่วมกันต่อไป (ธาดา สืบหลินวงศ์ et al., 2550, น. 5-6)

3) **หลักยุติธรรม** (Justice)

ในงานวิจัยนี้จะนึกถึงหลักความยุติธรรมและความเสมอภาค ไม่แสวงหาผลประโยชน์จากการทำวิจัยเพียงเพื่อความก้าวหน้าทางวิชาการ นักเรียนทุกคนในห้องเรียนที่เป็นกลุ่มศึกษาสามารถเลือกที่จะเข้าร่วมหรือไม่เข้าร่วมในการวิจัยได้อย่างเสมอภาค และได้รับรู้ถึงสิทธิและบทบาทของตนเองก่อนดำเนินการวิจัย จะคำนึงถึงประโยชน์ของผู้ที่มีส่วนร่วมในงานวิจัยไม่แบ่งแยกบุคคลหรือกลุ่มคนที่อาจได้ประโยชน์จากความก้าวหน้าของการวิจัย (ธาดา สืบหลินวงศ์ et al., 2550, น. 5-6)

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และเพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งในบทนี้จะนำเสนอผลการวิจัย เป็น 2 ประเด็น ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ 1) ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย และ 2) ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีสมมติฐานวิจัย 4 ข้อ ดังนี้ 1) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 2) จำนวนนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังเรียนเป็นแนวคิดถูกต้องบางส่วนขึ้นไปทุกแนวคิดย่อย ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 3) จำนวนนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับสูง ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60 และ 4) การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีค่าขนาดอิทธิพลต่อทักษะการทำงานร่วมกันหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในระดับสูง ดังนี้

1. ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้าของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากการวิเคราะห์แนวคิดของนักเรียนจำนวน 21 คน ที่เรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ตามวัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 1 คือ ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จากการวัดแนวคิดของนักเรียนโดยใช้แบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ซึ่งเป็นแบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น (two tier diagnostic test) จำนวน 18 ข้อ และตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์ 0 – 4 คะแนน รวมคะแนนเต็ม 72 คะแนน และหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 60 ได้ผลดังตาราง 15

ตาราง 15 ผลคะแนนจากแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังเรียน

การทดสอบ	N	คะแนนเต็ม	เกณฑ์	Min	Max	$\bar{X}$	S.D.
หลังเรียน	21	72	43.20	31.0	63.0	46.00	10.67

จากตาราง 15 พบว่า คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์หลังเรียนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.00 คะแนน ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 คือ 43.20 คะแนน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 ที่ระบุว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า มีคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60

จากนั้นได้ทำการตรวจวิเคราะห์แนวคิดของนักเรียนตามเกณ์ 5 ระดับ ได้แก่ แนวคิดถูกต้อง (SU) แนวคิดถูกต้องบางส่วน (PU) แนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PU & SM) แนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) และไม่มีแนวคิด (NU) ในแต่ละแนวคิด จำนวน 18 แนวคิด พบว่า แนวคิดที่นักเรียนมีแนวคิดถูกต้อง (SU) มากที่สุด คือ การต่อขั้วโลหะในการทำโลหะให้บริสุทธิ์ จำนวน 15 คน คิดเป็น ร้อยละ 71.43 รองลงมา คือ สาระละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับการทำโลหะให้บริสุทธิ์ จำนวน 14 คน คิดเป็น ร้อยละ 66.67 แนวคิดที่นักเรียนมีแนวคิดถูกต้องบางส่วน (PU) มากที่สุด คือ ครึ่งเซลล์ในปฏิกิริยารีดอกซ์ จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 76.19 รองลงมา คือ การเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้าและการต่อขั้วโลหะในการชุบโลหะ เท่ากัน จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 61.90 แนวคิดที่นักเรียนมีแนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (PU & MU) มากที่สุด คือ การเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า และการเกิดสารอิเล็กโทรไลต์จากโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์ เท่ากัน จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 52.38 รองลงมา คือ การให้/รับอิเล็กตรอนที่ขั้วของเซลล์กัลวานิก จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 47.62 แนวคิดที่นักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (SM) มากที่สุด คือ การเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า จำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 42.86 รองลงมา คือ ตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 38.09 และไม่มีแนวคิดใดที่นักเรียนไม่มีแนวคิด (NU) ดังแสดงในตาราง 16

ตาราง 16 จำนวนนักเรียนที่มีต่อแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า 18 แนวคิดหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์

แนวคิด	กลุ่มคำตอบตามแนวคิด คน (ร้อยละ)				
	SU	PU	PU&SM	SM	NU
1. ครึ่งเซลล์ในปฏิกิริยารีดอกซ์	0	16*	4	1	0
	(0.00)	(76.19)	(19.05)	(4.76)	(0.00)
2. ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน	7*	5	7*	2	0
	(33.33)	(23.81)	(33.33)	(9.53)	(0.00)
3. ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน	8	9*	3	1	0
	(38.09)	(42.86)	(14.29)	(4.76)	(0.00)
4. ตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยา	2	4	7	8*	0
ออกซิเดชัน	(9.53)	(19.05)	(33.33)	(38.09)	(0.00)
5. ตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยา	0	11*	5	5	0
รีดักชัน	(0.00)	(52.38)	(23.81)	(23.81)	(0.00)
6. ขั้วไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า	7*	6	5	3	0
	(33.33)	(28.57)	(23.81)	(14.29)	(0.00)
7. หน้าที่ของสะพานเกลือ	3	2	9*	7	0
	(14.29)	(9.52)	(42.86)	(33.33)	(0.00)
8. การให้/รับอิเล็กตรอนที่ขั้วของเซลล์	6	5	10*	0	0
กัลวานิก	(28.57)	(23.81)	(47.62)	(0.00)	(0.00)
9. หลักการเขียนแผนภาพเซลล์	10*	8	3	0	0
	(47.62)	(38.09)	(14.29)	(0.00)	(0.00)
10. การให้/รับอิเล็กตรอนที่ขั้วของ	8	11*	0	2	0
เซลล์อิเล็กโทรลิติก	(38.09)	(52.38)	(0.00)	(9.53)	(0.00)
11. สารละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับ	12*	1	5	3	0
การชุบโลหะ	(57.14)	(4.76)	(23.81)	(14.29)	(0.00)
12. การต่อขั้วโลหะในการชุบโลหะ	6	13*	2	0	0
	(28.57)	(61.90)	(9.53)	(0.00)	(0.00)
13. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแต่ละขั้วไฟฟ้า	6	7*	5	3	0
ของการแยกสลายสารที่หลอมเหลว	(28.57)	(33.33)	(23.81)	(14.29)	(0.00)
ด้วยไฟฟ้า					

ตาราง 16 จำนวนนักเรียนที่มีต่อแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า 18 แนวคิดหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ (ต่อ)

แนวคิด	กลุ่มคำตอบตามแนวคิด คน (ร้อยละ)				
	SU	PU	PU&SM	SM	NU
14. การเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า	1 (4.76)	13* (61.90)	2 (9.53)	5 (23.81)	0 (0.00)
15. การเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า	0 (0.00)	1 (4.76)	11* (52.38)	9 (42.86)	0 (0.00)
16. การต่อขั้วโลหะในการทำโลหะให้บริสุทธิ์	15* (71.43)	0 (0.00)	2 (9.52)	4 (19.05)	0 (0.00)
17. สาระละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับการทำโลหะให้บริสุทธิ์	14* (66.67)	0 (0.00)	6 (28.57)	1 (4.76)	0 (0.00)
18. การเกิดสารอิเล็กโทรไลต์จากโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์	9 (42.86)	0 (0.00)	11* (52.38)	1 (4.76)	0 (0.00)

หมายเหตุ : * หมายถึง ร้อยละสูงสุดในแนวคิดนั้น ๆ

จากตารางที่ 16 พบว่า นักเรียนมีแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า ในแต่ละแนวคิดอยู่ในระดับถูกต้องบางส่วนขึ้นไป อยู่ระหว่างร้อยละ 4.76 - 90.47 โดยมีแนวคิดที่อยู่ในระดับถูกต้องบางส่วนขึ้นไปมากกว่า ร้อยละ 60 จำนวน 11 แนวคิด และ 7 แนวคิดอยู่ในระดับถูกต้องบางส่วนน้อยกว่าร้อยละ 60 ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อ 2 ที่ระบุว่า จำนวนนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังเรียนเป็นแนวคิดถูกต้องบางส่วนขึ้นไปในทุกแนวคิดย่อยมากกว่าร้อยละ 60

แนวคิดที่นักเรียนมีแนวคิดอยู่ในระดับถูกต้องบางส่วนขึ้นไปมากกว่าร้อยละ 60 มี 11 แนวคิด ดังนี้

1. ครึ่งเซลล์ในปฏิกิริยารีดอกซ์
2. ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน
3. ขั้วไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า
4. หลักการเขียนแผนภาพเซลล์

5. การให้/รับอิเล็กตรอนที่ขั้วของเซลล์อิเล็กโทรลิติก

6. สารละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับการชุบโลหะ

7. การต่อขั้วโลหะในการชุบโลหะ

8. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแต่ละขั้วไฟฟ้าของการแยกสลายสารที่หลอมเหลวด้วยไฟฟ้า

9. การเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า

10. การต่อขั้วโลหะในการทำโลหะให้บริสุทธิ์

11. สาระละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับการทำโลหะให้บริสุทธิ์

แนวคิดที่นักเรียนมีแนวคิดอยู่ในระดับถูกต้องบางส่วนขึ้นไป น้อยกว่าร้อยละ 60 มี 7 แนวคิด ดังนี้

1. ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน

2. ตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

3. ตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน

4. หน้าที่ของสะพานเกลือ

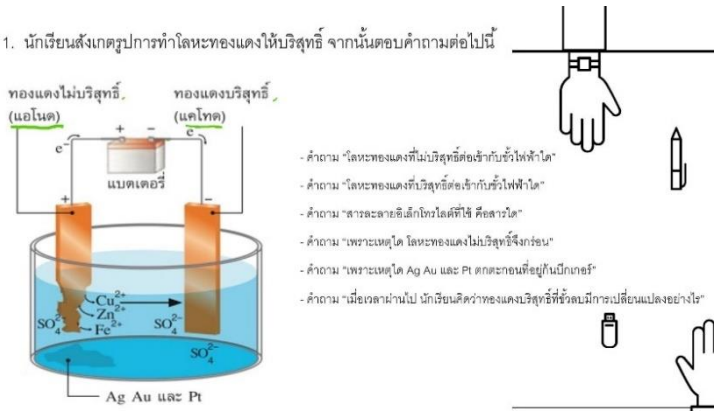
5. การให้/รับอิเล็กตรอนที่ขั้วของเซลล์กัลวานิก

6. การเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า

7. การเกิดสารอิเล็กโทรไลต์จากโลหะที่ต้องการทำให้บริสุทธิ์ในการทำโลหะให้บริสุทธิ์

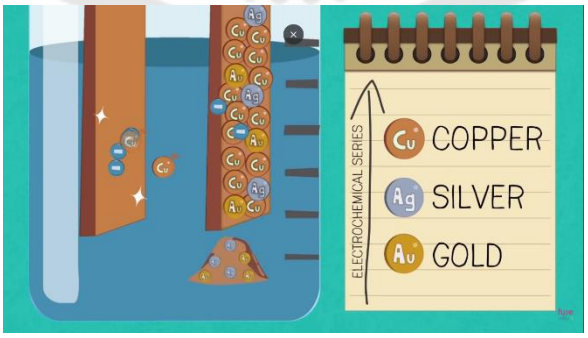
เมื่อพิจารณาแนวคิดที่นักเรียนมีแนวคิดถูกต้อง (SU) มากที่สุด คือ การต่อขั้วโลหะในการทำโลหะให้บริสุทธิ์ สารละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับการทำโลหะให้บริสุทธิ์ และสารละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับการชุบโลหะ คิดเป็นร้อยละ 71.43 66.67 และ 57.14 ตามลำดับ พบว่ากิจกรรมการเรียนรู้ของทั้งสามแนวคิดมี 2 ลักษณะ ดังนี้

1. อภิปรายแนวคิดโดยใช้ภาพและวิดีทัศน์ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาค ตัวอย่างเช่น แนวคิดเรื่องการต่อขั้วโลหะให้บริสุทธิ์ ครูใช้คำถามนำเข้าสู่เรื่องการทำโลหะให้บริสุทธิ์ โดยนักเรียนสังเกตภาพการทำโลหะให้บริสุทธิ์และอภิปรายร่วมกับครูและเพื่อนใน google meet ของชั้นเรียน ดังแสดงในภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 คำถามเกี่ยวกับการทำโลหะให้บริสุทธิ์

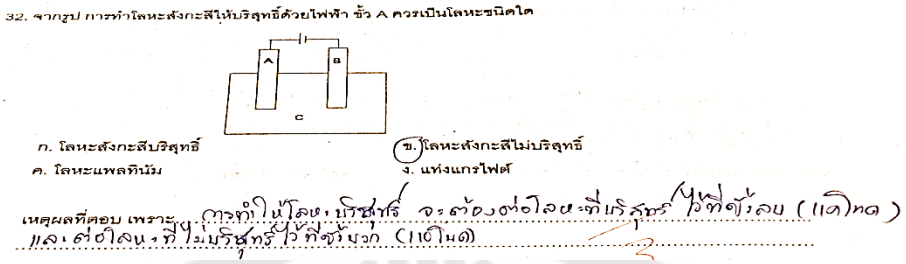
จากการอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียนโดยครูสุ่มนักเรียนแต่ละกลุ่มตอบคำถามเกี่ยวกับการทำโลหะทองแดงให้บริสุทธิ์โดยไม่ได้บันทึกลงในใบกิจกรรม เนื่องจากเหลือเวลาในการทำกิจกรรมน้อย พบว่าตัวแทนนักเรียนทุกกลุ่มตอบหลักการทำโลหะทองแดงให้บริสุทธิ์ได้ถูกต้อง คือ โลหะทองแดงที่ไม่บริสุทธิ์ต่อเข้ากับขั้วแอโนด โลหะทองแดงบริสุทธิ์ต่อเข้ากับขั้วแคโทด สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้คือ สารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต แต่นักเรียนไม่สามารถตอบได้ว่าเพราะเหตุใดโลหะทองแดงไม่บริสุทธิ์จึงกร่อน และเพราะเหตุใด Ag Au และ Pt ตกตะกอนอยู่ที่ก้นบีกเกอร์ ครูจึงอธิบายแนวคิดการทำโลหะทองแดงให้บริสุทธิ์พร้อมกับชมวิดีทัศน์ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาค ดังแสดงในภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 วิดีทัศน์แสดงการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาค

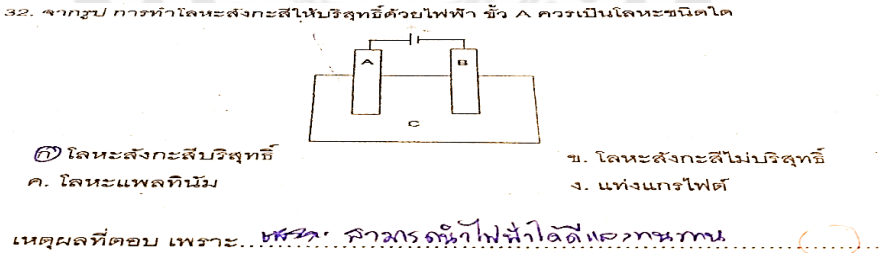
ที่มา : https://www.youtube.com/watch?v=qqmKqpA61GI

เมื่อทำการวัดแนวคิดของนักเรียน พบว่านักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้อง (ร้อยละ 71.43) โดยสามารถอธิบายว่า การทำโลหะให้บริสุทธิ์จะต้องต่อโลหะที่บริสุทธิ์ไว้ที่ขั้วลบ (แคโทด) และต่อโลหะที่ไม่บริสุทธิ์ไว้ที่ขั้วบวก (แอโนด) แสดงให้เห็นว่านักเรียนเข้าหลักการทำโลหะให้บริสุทธิ์ ดังแสดงในภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แสดงคำตอบของนักเรียน S18

อย่างไรก็ตาม ยังพบว่านักเรียนส่วนหนึ่ง(ร้อยละ 19.05) มีแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการต่อโลหะในการทำโลหะให้บริสุทธิ์โดยนักเรียนมีแนวคิดว่าควรต่อโลหะที่บริสุทธิ์ที่ขั้วแอโนด ซึ่งอาจเกิดจากนักเรียนไม่ทราบสัญลักษณ์ของแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าว่าขั้วใดคือขั้วบวก (แอโนด) และขั้วลบ (แคโทด) จึงทำให้นักเรียนต่อโลหะไม่ถูกต้อง ดังแสดงในภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงคำตอบของนักเรียน S12

2. ทำการทดลอง โดยการออกแบบการทดลองด้วยตนเองและชมวิดีทัศน์ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาค ตัวอย่างเช่น แนวคิดสารละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับการชุบโลหะ นักเรียนทำกิจกรรมการทดลองโดยใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่เหมือนกัน โดยแต่ละคนจะออกแบบการทดลองของตนเอง ซึ่งมีวิธีการที่แตกต่างกันออกไป และบันทึกผลลงในใบกิจกรรมที่อยู่ใน

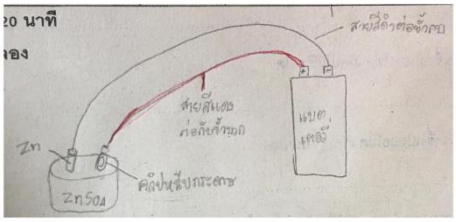
google document จากนั้นจะนำผลการทดลองที่ได้มาอภิปรายร่วมกันและตอบคำถามการทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบ 9

ออกแบบการทดลองของคนที่ 3

ตารางบันทึกผลการทดลองของคนที่ 3

ขั้วไฟฟ้า	โลหะ	ผลการสังเกต
ขั้วบวก(แอโนด)	Zn	มีตะกอนสารสีดำมาเกาะ
ขั้วลบ(แคโทด)	Fe	เกิดฟองแก๊สและมีสารสีดำมาเกาะ

ออกแบบการทดลองของคนที่ 4



ภาพประกอบ 9 การออกแบบกิจกรรมการทดลองของนักเรียน

อย่างไรก็ตามหลังจากที่นักเรียนทำการทดลอง พบว่า นักเรียนสามารถตอบคำถามได้ถูกต้อง แต่ในการสรุปผลการทดลองนักเรียนบางกลุ่มไม่ได้สรุปหลักการ เช่น ในแนวคิดชุบโลหะสังกะสีด้วยไฟฟ้า ดังภาพประกอบ 10 ครูจึงเพิ่มเติมแนวคิดส่วนนี้ให้นักเรียนโดยการเปิดวิดีทัศน์การชุบทองให้นักเรียนชมเพื่อให้นักเรียนได้เห็นการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาค และเข้าใจหลักการชุบโลหะมากขึ้น

อภิปรายผลการทดลอง

1. โลหะที่ต้องการชุบและโลหะที่ใช้ชุบในการทดลองนี้คืออะไร

ตอบ โลหะที่ต้องการชุบคือ Fe และโลหะที่ใช้ชุบคือ Zn

2. สารที่มาเกาะบนคลิปหนีบกระดาษคืออะไร

ตอบ Zn (สังกะสี)

3. โลหะที่ต้องการชุบและที่ใช้ชุบควรต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าใดตามลำดับ

ตอบ ที่ต้องการชุบต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าลบ(แคโทด) โลหะที่ใช้ชุบต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าบวก(แอโนด)

4. ที่ขั้วลบซึ่งเป็นแคโทด เกิดปฏิกิริยาใด

ตอบ ปฏิกิริยารีดักชัน

5. ที่ขั้วบวกซึ่งเป็นแอโนด เกิดปฏิกิริยาใด

ตอบ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

6. เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง

ตอบ $Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$ --- ขั้วลบ(แคโทด)

$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$ --- ขั้วบวก(แอโนด)

7. ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เปลี่ยนแปลงหรือไม่ เพราะเหตุใด

ตอบ ไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากที่แคโทด Zn^{2+} ในสารละลายรับอิเล็กตรอนกลายเป็นโลหะZnเคลือบบนคลิปหนีบกระดาษ ในขณะที่แอโนด โลหะZn จะให้อิเล็กตรอนกลายเป็น Zn^{2+} ในสารละลาย ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

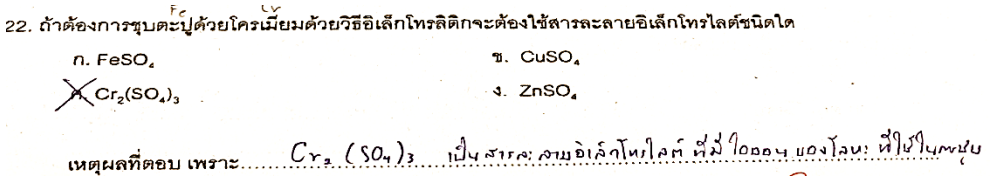
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำโลหะทั้งสองชิ้นจุ่มในสารละลาย $ZnSO_4$

สังกะสีจะถ่ายโอนอิเล็กตรอนให้กับคลิปหนีบกระดาษ ทำให้สังกะสีเกิดการกร่อน และคลิปหนีบกระดาษมีของแข็งสีดำมาเกาะ

ภาพประกอบ 10 การตอบคำถามอภิปรายผลกาทดลองในใบกิจกรรม

เมื่อวัดแนวคิดของนักเรียนในเรื่องการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดสารละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับการชุบโลหะที่ถูกต้อง (ร้อยละ 57.14) โดยมีแนวคิดว่า ควรใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีไอออนของโลหะที่ใช้ชุบ ดังแสดงในภาพประกอบ 11


22. ถ้าต้องการชุบตะปูด้วยโครเมียมด้วยวิธีอิเล็กโทรลิติกจะต้องใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดใด

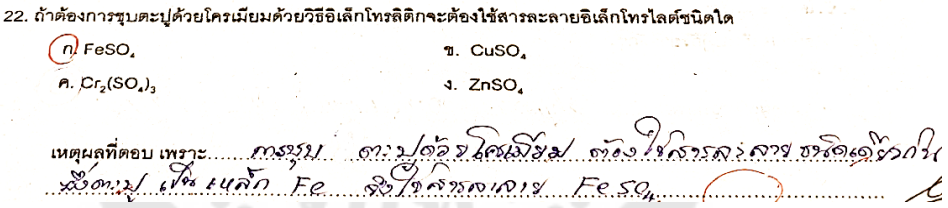
ก. $FeSO_4$ ข. $CuSO_4$

X $Cr_2(SO_4)_3$ ง. $ZnSO_4$

เหตุผลที่ตอบ เพราะ $Cr_2(SO_4)_3$ เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่มีไอออนของโลหะที่ใช้ในการชุบ

ภาพประกอบ 11 แสดงคำตอบของนักเรียน S11

อย่างไรก็ตามยังพบแนวคิดคลาดเคลื่อน (ร้อยละ 14.29) โดยนักเรียนมีแนวคิดว่าควรใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีไอออนเดียวกับโลหะที่ต้องการชุบ ดังภาพประกอบ 12 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นักเรียนทราบว่าต้องใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีไอออนชนิดเดียวกับสารในระบบสารใดสารหนึ่งซึ่งนักเรียนสับสนระหว่างโลหะที่ต้องการชุบและโลหะที่ใช้ชุบ จึงทำให้นักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น


22. ถ้าต้องการชุบตะปูด้วยโครเมียมด้วยวิธีอิเล็กโทรลิติกจะต้องใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดใด

ก. $FeSO_4$ ข. $CuSO_4$

ค. $Cr_2(SO_4)_3$ ง. $ZnSO_4$

เหตุผลที่ตอบ เพราะ การชุบ ตะปูด้วยโครเมียม ต้องใช้สารละลาย ชนิดเดียวกัน เพื่อตะปู เป็น เหล็ก Fe ดังนั้นสารละลาย $FeSO_4$

ภาพประกอบ 12 แสดงคำตอบของนักเรียน S3

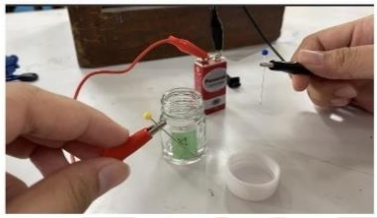
จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่ส่งเสริมให้นักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้องมี 2 ลักษณะ ได้แก่ 1)กิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้รูปภาพและวิดีทัศน์ที่แสดงปรากฏการณ์ระดับจุลภาคประกอบการอภิปรายแนวคิด และ 2) กิจกรรมที่นักเรียนลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองต่อด้วยการชมวิดีทัศน์ที่อธิบายปรากฏการณ์ระดับจุลภาค

สำหรับแนวคิดที่นักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) มากที่สุด คือการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า ตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และหน้าที่ของสะพานเกลือ คิดเป็นร้อยละ 42.86 38.09 และ 33.33 ตามลำดับ พบว่า กิจกรรมการ

เรียนรู้ของทั้งสามแนวคิดมี 2 ลักษณะ คือ กิจกรรมที่นักเรียนปฏิบัติการทดลอง และกิจกรรมที่นักเรียนศึกษาจากวิดีทัศน์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. กิจกรรมปฏิบัติการทดลอง ตัวอย่างเช่นแนวคิดการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า การจัดการเรียนรู้ในแนวคิดนี้ประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ การแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้าสำหรับนักเรียนกลุ่มเลขคี่ 1,3, 5 และการแยกสลายสารละลาย $CuCl_2$ ด้วยไฟฟ้าสำหรับนักเรียนกลุ่มเลขคู่ 2,4,6 ซึ่งนักเรียนแต่ละคนในกลุ่มได้ทำกิจกรรมการทดลองจากอุปกรณ์และสารเคมีที่เหมือนกัน นักเรียนออกแบบการทดลองตามวิธีการทดลองของตนเองและบันทึกผลลงในใบกิจกรรมที่อยู่ใน google document ดังภาพประกอบ 13

ออกแบบการทดลองของคนที่ 2



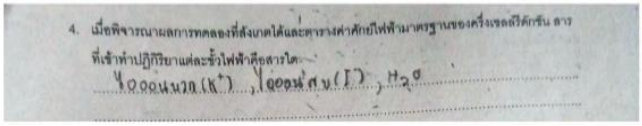
ตารางบันทึกผลการทดลองของคนที่ 2

ขั้วไฟฟ้า	ผลการสังเกต
ขั้วบวก	สารละลายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง/น้ำตาล เกิดรอยไหม้บริเวณปลายเข็ม
ขั้วลบ	สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู เกิดฟอง แก๊สและเกิดรอยไหม้บริเวณปลายเข็ม

ภาพประกอบ 13 การออกแบบการทดลองและบันทึกผลการทดลอง

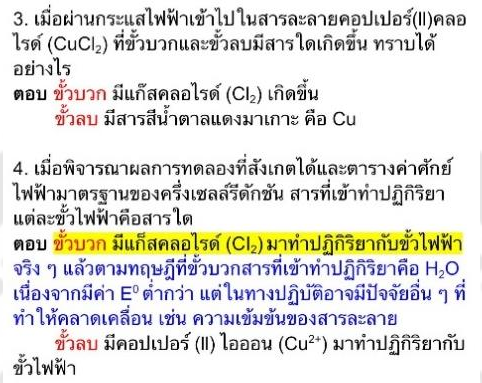
จากการพิจารณาใบกิจกรรมการแยกสลายสารละลาย KI ด้วยไฟฟ้า พบว่า นักเรียนพิจารณาสารที่เข้าทำปฏิกิริยาแต่ละขั้วไฟฟ้าไม่ถูกต้อง เนื่องจากนักเรียนไม่ได้พิจารณาตารางค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ของสารหรือนักเรียนอาจไม่เข้าใจข้อคำถาม ซึ่งครูได้เข้าแก้ไขแนวคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนเมื่อสิ้นสุดการนำเสนอในขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ดังภาพประกอบ 14

4. เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่สังเกตได้และตารางค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชัน สารที่เข้าทำปฏิกิริยาแต่ละขั้วไฟฟ้าคือสารใด



ภาพประกอบ 14 การตอบคำถามในใบกิจกรรม

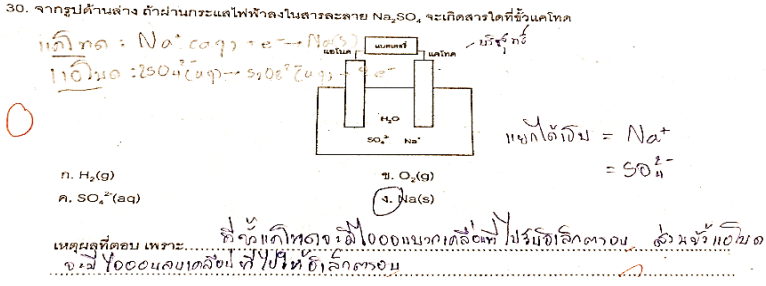
จากการพิจารณาใบกิจกรรมการแยกสลายสารละลาย $CuCl_2$ ด้วยไฟฟ้า พบว่านักเรียนพิจารณาสารที่เข้าทำปฏิกิริยาคลาดเคลื่อน เนื่องจากในการทดลอง ขั้วบวกมีฟองแก๊สคลอรีนเกาะที่ลวดทองแดงเมื่อนักเรียนมองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีขาว และขั้วลบมีทองแดงมาเกาะ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ไม่เป็นไปตามทฤษฎี ครูจึงอธิบายเพิ่มเติมเพื่อแก้ไขแนวคิดกับนักเรียนว่าที่ขั้วบวกสารที่เข้าทำปฏิกิริยาคือ น้ำ เนื่องจากมีค่า E^0 ต่ำกว่า ซึ่งในทางปฏิบัติอาจมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้คลาดเคลื่อน เช่น ความเข้มข้นของสารละลาย ดังภาพประกอบ 15


3. เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายคอปเปอร์(II)คลอไรด์ ($CuCl_2$) ที่ขั้วบวกและขั้วลบมีสารใดเกิดขึ้น ทราบได้อย่างไร
ตอบ ขั้วบวก มีแก๊สคลอไรด์ (Cl_2) เกิดขึ้น
ขั้วลบ มีสารสีน้ำตาลแดงมาเกาะ คือ Cu

4. เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่สังเกตได้และตารางค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชัน สารที่เข้าทำปฏิกิริยาแต่ละขั้วไฟฟ้าคือสารใด
ตอบ ขั้วบวก มีแก๊สคลอไรด์ (Cl_2) มาทำปฏิกิริยากับขั้วไฟฟ้าจริง ๆ แล้วตามทฤษฎีที่ขั้วบวกสารที่เข้าทำปฏิกิริยาคือ H_2O เนื่องจากมีค่า E^0 ต่ำกว่า แต่ในทางปฏิบัติอาจมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้คลาดเคลื่อน เช่น ความเข้มข้นของสารละลาย
ขั้วลบ มีคอปเปอร์ (II) ไอออน (Cu^{2+}) มาทำปฏิกิริยากับขั้วไฟฟ้า

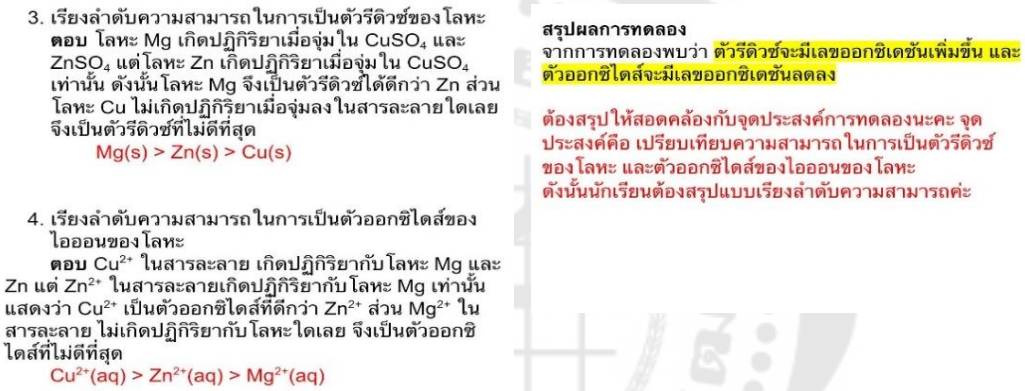
ภาพประกอบ 15 การตอบคำถามในใบกิจกรรม

เมื่อวัดแนวคิดของนักเรียนเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า พบว่า นักเรียนเกือบทั้งหมดแนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อน (ร้อยละ 52.38) และมีแนวคิดคลาดเคลื่อน (ร้อยละ 42.86) ดังภาพประกอบ 16 ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนไม่ได้นำค่า E^0 มาพิจารณาสารที่เกิดปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้า สอดคล้องกับคำตอบที่คลาดเคลื่อนในใบกิจกรรม



ภาพประกอบ 16 แสดงคำตอบของนักเรียน S18

สำหรับแนวคิดตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การจัดการเรียนรู้ในแนวคิดนี้เป็นกิจกรรมการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของโลหะและไอออนของโลหะ ซึ่งนักเรียนแต่ละคนในกลุ่มได้ทำกิจกรรมการทดลองจากอุปกรณ์และสารเคมีที่แตกต่างกัน และออกแบบการทดลองตามวิธีการทดลองของตนเองและบันทึกผลลงในใบกิจกรรมที่อยู่ใน google document ดังภาพประกอบ 17 ซึ่งพบว่านักเรียนสรุปผลการทดลองไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์การทดลองที่ให้เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ แต่นักเรียนเข้าใจนิยามว่าตัวรีดิวซ์จะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น และตัวออกซิไดส์จะมีเลขออกซิเดชันลดลง


3. เรียงลำดับความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ของโลหะ
ตอบ โลหะ Mg เกิดปฏิกิริยาเมื่อจุ่มใน $CuSO_4$ และ $ZnSO_4$ แต่โลหะ Zn เกิดปฏิกิริยาเมื่อจุ่มใน $CuSO_4$ เท่านั้น ดังนั้นโลหะ Mg จึงเป็นตัวรีดิวซ์ได้ดีกว่า Zn ส่วนโลหะ Cu ไม่เกิดปฏิกิริยาเมื่อจุ่มลงในสารละลายใดเลย จึงเป็นตัวรีดิวซ์ที่ไม่ดีที่สุด
$Mg(s) > Zn(s) > Cu(s)$

4. เรียงลำดับความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ของไอออนของโลหะ
ตอบ Cu^{2+} ในสารละลาย เกิดปฏิกิริยากับโลหะ Mg และ Zn แต่ Zn^{2+} ในสารละลายเกิดปฏิกิริยากับโลหะ Mg เท่านั้น แสดงว่า Cu^{2+} เป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่า Zn^{2+} ส่วน Mg^{2+} ในสารละลาย ไม่เกิดปฏิกิริยากับโลหะใดเลย จึงเป็นตัวออกซิไดส์ที่ไม่ดีที่สุด
$Cu^{2+}(aq) > Zn^{2+}(aq) > Mg^{2+}(aq)$

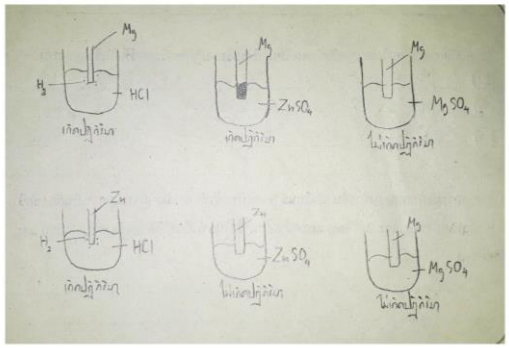
สรุปผลการทดลอง
จากการทดลองพบว่า ตัวรีดิวซ์จะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น และตัวออกซิไดส์จะมีเลขออกซิเดชันลดลง

ต้องสรุปให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การทดลองนะคะ จุดประสงค์คือ เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ของโลหะ และตัวออกซิไดส์ของไอออนของโลหะ ดังนั้นนักเรียนต้องสรุปแบบเรียงลำดับความสามารถค่ะ

ภาพประกอบ 17 การตอบคำถามในใบกิจกรรม

ในขั้นขยายความรู้ ครูนำเสนอสถานการณ์ให้นักเรียนออกแบบการทดลองความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ของโลหะและตัวออกซิไดส์ของไอออนของโลหะจากตารางบันทึกผลที่กำหนดให้ จากนั้นให้นักเรียนเขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแต่ละคู่สารและเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ พบว่า นักเรียนสามารถวาดรูปออกแบบการทดลองได้ถูกต้อง เขียนสมการแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นได้ถูกต้อง สามารถเรียงลำดับความสามารถได้ถูกต้อง แต่นักเรียนเขียนไอออนและสถานะของสารไม่ถูกต้อง ดังภาพประกอบ 18

"โลหะแมกนีเซียม (Mg) โลหะสังกะสี(Zn) กับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) และสารละลายซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$)"



ตอบ 2.1 ปฏิกิริยารีดอกซ์ของโลหะ Mg จุ่มใน HClบ

2.2 ปฏิกิริยารีดอกซ์ของโลหะ Mg จุ่มใน $ZnSO_4$

2.3 ปฏิกิริยารีดอกซ์ของโลหะ Zn จุ่มใน HCl

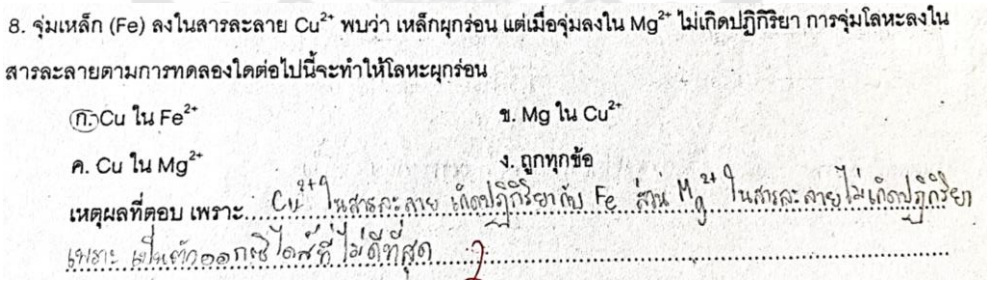
3. จากการผลการทดลองข้างต้น นักเรียนสามารถเรียงลำดับความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์ของ $H^+(aq)$ $Mg^{2+}(aq)$ และ $Zn^{2+}(aq)$ และความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ของ $H_2(g)$ Mg(s) และ Zn(s) ได้อย่างไร

ความสามารถในการเป็นตัวออกซิไดส์: H(g)>Zn(s)>Mg(s)

ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์: Mg(s) >Zn(s)>H(g)

ภาพประกอบ 18 การตอบคำถามในใบกิจกรรม

เมื่อวัดแนวคิดของนักเรียนเกี่ยวกับตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (ร้อยละ 38.09) และ มีแนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วน (ร้อยละ 33.33) ดังภาพประกอบ 19 และ ภาพประกอบ 20 ที่แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดซ์



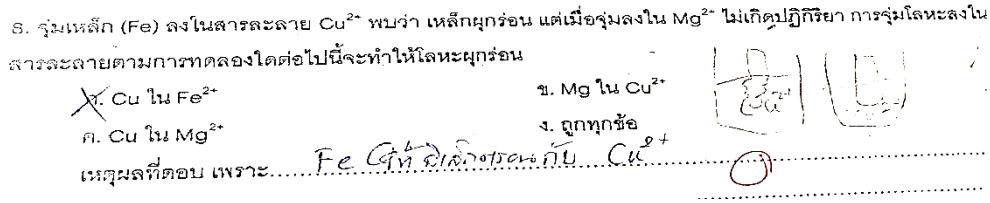
8. จุ่มเหล็ก (Fe) ลงในสารละลาย Cu^{2+} พบว่า เหล็กผุกร่อน แต่เมื่อจุ่มลงใน Mg^{2+} ไม่เกิดปฏิกิริยา การจุ่มโลหะลงในสารละลายตามการทดลองใดต่อไปนี้จะทำให้โลหะผุกร่อน

ก. Cu ใน Fe^{2+} ข. Mg ใน Cu^{2+}

ค. Cu ใน Mg^{2+} ง. ถูกทุกข้อ

เหตุผลที่ตอบ เพราะ Cu^{2+} ในสารละลาย เกิดปฏิกิริยากับ Fe ส่วน Mg^{2+} ในสารละลายไม่เกิดปฏิกิริยา เพราะ เป็นเพราะออกซิไดซ์ที่ไม่ดีที่สุด

ภาพประกอบ 19 แสดงคำตอบของนักเรียน S12



8. จุ่มเหล็ก (Fe) ลงในสารละลาย Cu^{2+} พบว่า เหล็กผุกร่อน แต่เมื่อจุ่มลงใน Mg^{2+} ไม่เกิดปฏิกิริยา การจุ่มโลหะลงในสารละลายตามการทดลองใดต่อไปนี้จะทำให้โลหะผุกร่อน

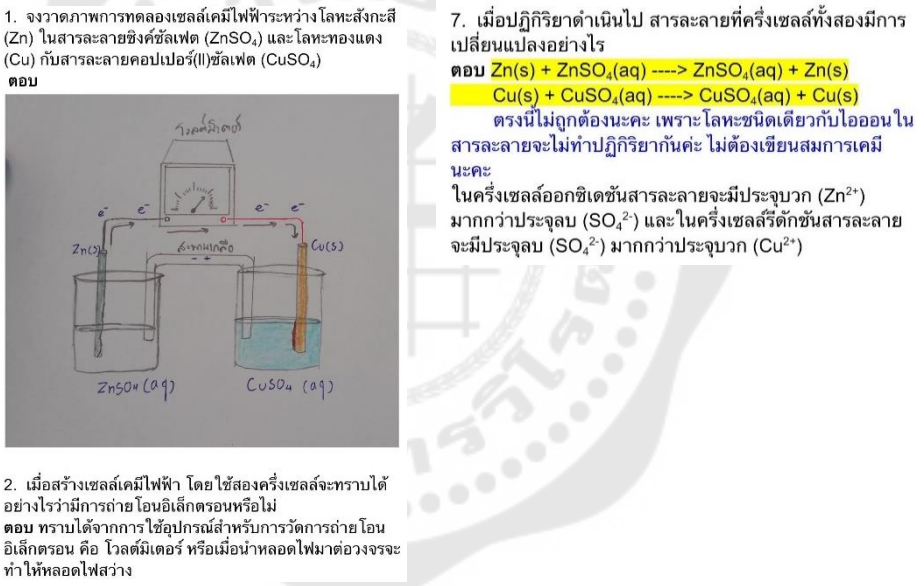
ก. Cu ใน Fe^{2+} ข. Mg ใน Cu^{2+}

ค. Cu ใน Mg^{2+} ง. ถูกทุกข้อ

เหตุผลที่ตอบ เพราะ Fe ดูดให้อิเล็กตรอนกับ Cu^{2+}

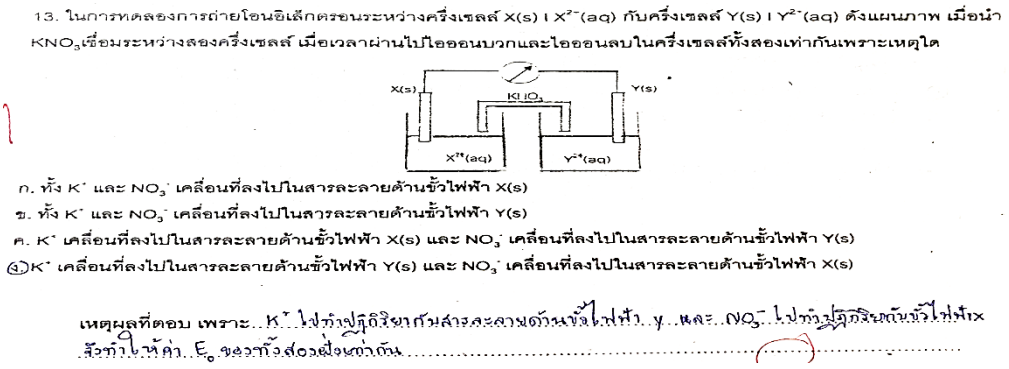
ภาพประกอบ 20 แสดงคำตอบของนักเรียน S8

2. การศึกษาจากสื่อวิดีทัศน์ด้วยตนเอง ในแนวคิดหน้าที่ของสะพานเกลือ การจัดการเรียนรู้ในแนวคิดนี้จัดกิจกรรมให้นักเรียนศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้า การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์เคมีไฟฟ้า จากสื่อวิดีทัศน์ โดยให้นักเรียนวาดภาพองค์ประกอบของเซลล์เคมีไฟฟ้าและอภิปรายตอบคำถามร่วมกันในใบกิจกรรม google document จากการตรวจใบกิจกรรมของนักเรียน พบว่า นักเรียนกลุ่มหนึ่งระบุการเปลี่ยนแปลงของสารละลายในครึ่งเซลล์ทั้งสองไม่ถูกต้อง โดยนักเรียนเขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแทน ครูจึงเพิ่มเติมความรู้ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับการทดลองการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์เคมีไฟฟ้าจากสื่อวิดีทัศน์เซลล์กัลวานิกที่แสดงปรากฏการณ์ระดับจุลภาคอีกครั้งพร้อมอธิบายประกอบเพื่อให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้น ดังภาพประกอบ 21 หลังเรียนนักเรียนสามารถอธิบายหน้าที่ของสะพานเกลือได้ว่า “ช่วยรักษาสมดุลระหว่างไอออนบวกและไอออนลบในแต่ละครึ่งเซลล์”



ภาพประกอบ 21 การตอบคำถามในใบกิจกรรม

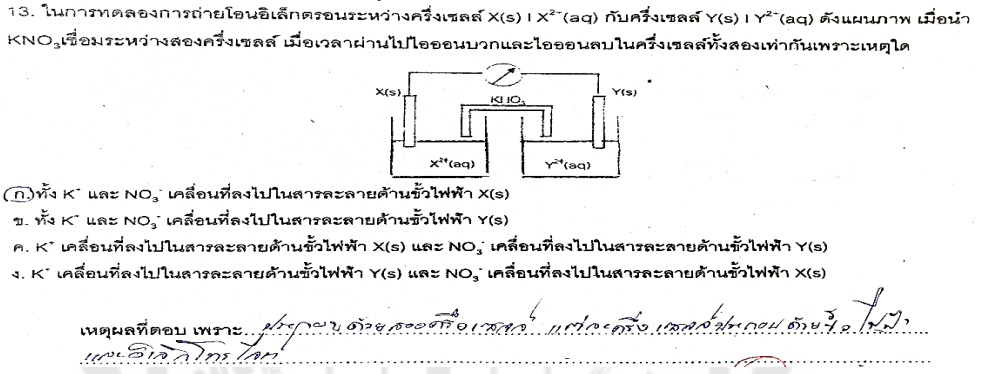
อย่างไรก็ตามเมื่อวัดแนวคิดของนักเรียนเกี่ยวกับหน้าที่ของสะพานเกลือ พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ มีแนวคิดถูกต้องบางส่วนและแนวคิดคลาดเคลื่อน (ร้อยละ 42.86) และ มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (ร้อยละ 33.33) โดยนักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่สามารถอธิบายหน้าที่ของสะพานเกลือในการรักษาสมดุลไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้ ดังภาพประกอบ 22 และภาพประกอบ 23


13. ในการทดลองการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างครึ่งเซลล์ X(s) I X^{2+}(aq) กับครึ่งเซลล์ Y(s) I Y^{2+}(aq) ดังแผนภาพ เมื่อนำ KNO_3เชื่อมระหว่างสองครึ่งเซลล์ เมื่อเวลาผ่านไปไอออนบวกและไอออนลบในครึ่งเซลล์ทั้งสองเท่ากันเพราะเหตุใด

ก. ทั้ง K^+ และ NO_3^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า X(s)
ข. ทั้ง K^+ และ NO_3^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า Y(s)
ค. K^+ เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า X(s) และ NO_3^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า Y(s)
ง. K^+ เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า Y(s) และ NO_3^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า X(s)

เหตุผลที่ตอบ เพราะ K^+ ไปทำปฏิกิริยากับสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า Y และ NO_3^- ไปทำปฏิกิริยากับขั้วไฟฟ้าX ทำให้ค่า E_o ของทั้งสองฝั่งเท่ากัน

ภาพประกอบ 22 แสดงคำตอบของนักเรียน S17


13. ในการทดลองการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างครึ่งเซลล์ X(s) I X^{2+}(aq) กับครึ่งเซลล์ Y(s) I Y^{2+}(aq) ดังแผนภาพ เมื่อนำ KNO_3เชื่อมระหว่างสองครึ่งเซลล์ เมื่อเวลาผ่านไปไอออนบวกและไอออนลบในครึ่งเซลล์ทั้งสองเท่ากันเพราะเหตุใด

ก. ทั้ง K^+ และ NO_3^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า X(s)
ข. ทั้ง K^+ และ NO_3^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า Y(s)
ค. K^+ เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า X(s) และ NO_3^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า Y(s)
ง. K^+ เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า Y(s) และ NO_3^- เคลื่อนที่ลงไปในสารละลายด้านขั้วไฟฟ้า X(s)

เหตุผลที่ตอบ เพราะ ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ แต่ละครึ่งเซลล์ประกอบด้วย ไอออน และอิเล็กโทรไลท์

ภาพประกอบ 23 แสดงคำตอบของนักเรียน S1

จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ ที่สามารถพัฒนาแนวคิดของนักเรียนให้มีแนวคิดถูกต้องมากที่สุดคือ มี 2 ลักษณะ 1) การอภิปรายร่วมกันโดยใช้ภาพและสื่อวิดีทัศน์ที่แสดงปรากฏการณ์ระดับจุลภาค และ 2) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองต่อด้วยการชมสื่อวิดีทัศน์ที่อธิบายปรากฏการณ์ระดับจุลภาค ส่วนการชมสื่อวิดีทัศน์เพียงอย่างเดียวหรือการทำการทดลองเพียงอย่างเดียวไม่สามารถพัฒนาแนวคิดของนักเรียนให้เป็นแนวคิดที่ถูกต้องได้

2. ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

การวิเคราะห์ผลการประเมินทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนจำนวน 21 คน ที่เรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ตามวัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 2 คือ การศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้น

มัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งได้จากการประเมินนักเรียนตามสภาพจริงด้วยการสังเกตพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของนักเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ และวิเคราะห์โดยใช้เกณฑ์รูบริคที่ได้พัฒนาขึ้น

ผลการวิเคราะห์ระดับความสามารถของนักเรียนเป็น 3 กลุ่ม คือ สูง กลาง ต่ำ พบว่าก่อนเรียนนักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับต่ำ 16 คน คิดเป็นร้อยละ 76.19 นักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันในระดับกลาง 5 คน คิดเป็นร้อยละ 23.81 และไม่มีนักเรียนคนใดที่มีทักษะการทำงานร่วมกันในระดับสูง หลังเรียนนักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันในระดับกลาง 11 คน คิดเป็นร้อยละ 52.38 นักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันในระดับสูง 10 คน คิดเป็นร้อยละ 47.62 และไม่มีนักเรียนคนใดที่มีทักษะการทำงานร่วมกันในระดับต่ำ ดังตาราง 17

ตาราง 17 นักเรียนที่มีทักษะการทำงานร่วมกันก่อนเรียนและหลังเรียนในระดับสูง กลาง และต่ำ

	จำนวนนักเรียน	จำนวนนักเรียนในระดับพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกัน (ร้อยละ)		
		ต่ำ (ช่วงคะแนน 10 - 16)	กลาง (ช่วงคะแนน 17 - 23)	สูง (ช่วงคะแนน 24-30)
ก่อนเรียน	21	16 (76.19)	5(23.81)	0
หลังเรียน	21	0	11 (52.38)	10(47.62)

จากตารางแสดงให้เห็นว่าหลังจากนักเรียนได้เรียนรู้ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ทำให้นักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันในระดับกลางและระดับสูงเพิ่มขึ้น และไม่มีนักเรียนคนใดที่มีทักษะการทำงานร่วมกันในระดับต่ำ

เมื่อพิจารณาค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนเป็นรายบุคคล พบว่านักเรียนจำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 76.19 ของนักเรียนทั้งหมดมีค่า N-gain อยู่ระหว่าง 0.33-0.69ซึ่งอยู่ในระดับกลาง และนักเรียนจำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 23.81 ของนักเรียนทั้งหมด มีค่า N-gain อยู่ระหว่าง 0.71-0.90 อยู่ในระดับสูง ซึ่งไม่ตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าจำนวนนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับสูง คิดเป็นร้อยละ 60 ดังตาราง 18

ตาราง 18 จำนวนและร้อยละของนักเรียนที่มีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันในระดับต่าง ๆ

ระดับ (N-gain)	จำนวนนักเรียน	ร้อยละ
ต่ำ $\langle g \rangle \leq 0.3$	0	0
กลาง $0.3 < \langle g \rangle \leq 0.7$	16	76.19
สูง $\langle g \rangle \geq 0.7$	5	23.81
รวม	21	100

เมื่อวิเคราะห์พัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนรายบุคคลหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ แบ่งตามกลุ่มระดับทักษะการทำงานร่วมกันก่อนเรียน คือ กลุ่มต่ำ จำนวน 16 คน และกลุ่มกลาง จำนวน 5 คน พบว่า นักเรียนกลุ่มต่ำมีพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันในระดับกลาง จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 81.25 และในระดับสูงจำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 18.75 ส่วนนักเรียนกลุ่มกลางมีพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันในระดับกลาง จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 60.00 และในระดับสูงจำนวน 2คน คิดเป็นร้อยละ 40.00แสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ทำให้ทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนเพิ่มขึ้นในระดับกลางและระดับสูงในนักเรียนที่มีทักษะการทำงานร่วมกันทั้งกลุ่มต่ำและกลุ่มกลาง ทั้งนี้เนื่องจากก่อนเรียนไม่มีนักเรียนในกลุ่มสูง จึงไม่สามารถระบุได้ว่านักเรียนในกลุ่มสูงมีระดับพัฒนาการเพิ่มขึ้นหรือไม่ ดังตาราง 19

ตาราง 19 พัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนรายบุคคลแบ่งตามทักษะการทำงานร่วมกันก่อนเรียนกลุ่มสูง กลาง และต่ำ

ก่อนเรียน	กลุ่มต่ำ			กลุ่มกลาง		
	ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ	กลาง	สูง
ระดับพัฒนาการ	-	0.63 0.59 0.50 0.47 0.47 0.56 0.40 0.63 0.47 0.47 0.67 0.57 0.67	0.73 0.71 0.90	-	0.33 0.50 0.69	0.73 0.83
รวม (คน)	-	13	3	-	3	2
ร้อยละ	-	81.25	18.75	-	60.00	40.00

เมื่อวิเคราะห์ทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนโดยภาพรวมพบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนของทักษะการทำงานร่วมกัน ($\overline{X}$ = 23.48) สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนของทักษะการทำงานร่วมกัน ($\overline{X}$ = 13.95) และมีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันทั้งห้องเรียน (Class normalized, N-gain) เท่ากับ 0.59 ซึ่งอยู่ในระดับกลาง แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ทำให้นักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันสูงขึ้นในระดับกลาง ดังตาราง 20

ตาราง 20 ค่าเฉลี่ยคะแนนทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน และค่า class normalize gain

ค่าสถิติ	คะแนนทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนจำนวน 21 คน (n = 21)		Class normalized N-gain	แปลผล
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	0.59	ระดับกลาง
ค่าเฉลี่ย	13.95	23.48		
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.958	2.750		

สำหรับค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนตามองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน ผลการวิเคราะห์ พบว่า องค์ประกอบที่นักเรียนมีพัฒนาการในระดับสูง (N-gain = 0.74) คือ การสร้างความเข้าใจร่วมกัน องค์ประกอบที่นักเรียนมีพัฒนาการในระดับกลาง คือ การมีส่วนร่วม (N-gain = 0.63) และการกำกับการทำงานของกลุ่ม (N-gain 0.47) ดังตาราง 21

ตาราง 21 ค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนตามองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน

องค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน	คะแนนเฉลี่ยทักษะการทำงานร่วมกัน		N-gain	แปลผล
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
การสร้างความเข้าใจร่วมกัน	4.43	7.81	0.74	ระดับสูง
การมีส่วนร่วม	4.29	7.24	0.63	ระดับกลาง
การกำกับการทำงานของกลุ่ม	5.24	8.43	0.47	ระดับกลาง

จากตาราง 21 แสดงให้เห็นว่า จำนวนนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันในระดับสูงเพียงร้อยละ 23.81 ซึ่งไม่ตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบด้านการมีส่วนร่วมและด้านการกำกับการทำงานของกลุ่ม มีค่าพัฒนาการอยู่ในระดับกลาง

เมื่อวิเคราะห์ค่าขนาดอิทธิพลต่อทักษะการทำงานร่วมกัน หลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ตามสมมติฐานข้อที่ 3 พบว่า ค่าขนาดอิทธิพลโดยภาพรวมมีค่าเท่ากับ 2.55 (d = 2.55) อยู่ในระดับสูง ดังตาราง 22 แสดงว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีผลต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนสูง ตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ตาราง 22 ค่าเฉลี่ยคะแนนทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน และค่าขนาดอิทธิพล (Effect size)

ค่าสถิติ	คะแนนทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนจำนวน 21 คน (n = 21)		Effect size	แปลผล
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	2.55	สูง
ค่าเฉลี่ย	13.95	23.48		
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.958	2.750		

สำหรับค่าขนาดอิทธิพลที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันพิจารณาตามองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน ผลการวิเคราะห์ พบว่า การสร้างความเข้าใจร่วมกัน การมีส่วนร่วม และการกำกับการทำงานของกลุ่มมีผลต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนในระดับกลางทั้งสามองค์ประกอบ ซึ่งมีค่าขนาดอิทธิพลเท่ากับ 1.61 1.43 และ 1.39 ตามลำดับ ดังตาราง 23

ตาราง 23 ค่าขนาดอิทธิพลของทักษะการทำงานร่วมกันตามองค์ประกอบ

องค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ยทักษะการทำงานร่วมกัน		S.D.	Effect size (d)	แปลผล
		ก่อนเรียน	หลังเรียน			
การสร้างความเข้าใจร่วมกัน	9	4.43	7.81	2.10	1.61	ระดับกลาง
การมีส่วนร่วม	9	4.29	7.24	2.07	1.43	ระดับกลาง
การกำกับการทำงานของกลุ่ม	12	5.24	8.43	2.29	1.39	ระดับกลาง

จากตารางที่ 23 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์สามารถพัฒนาองค์ประกอบด้านการสร้างความเข้าใจร่วมกันได้มากที่สุด รองลงมาคือการมีส่วนร่วม และการกำกับการทำงานของกลุ่มต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับค่าพัฒนาการ ที่พบว่า การสร้างความเข้าใจรวมกันมีค่าพัฒนาการในระดับสูง การมีส่วนร่วมและการกำกับการทำงานของกลุ่มมีค่าพัฒนาการในระดับกลาง

เมื่อพิจารณาลักษณะการทำงานร่วมกันของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนตามองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 การสร้างความเข้าใจร่วมกัน จากการสังเกตพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของนักเรียนสามารถจำแนกได้ 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 นักเรียนสื่อสารกับผู้อื่นตลอดการทำงาน ก่อนเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ ตัวอย่างพฤติกรรม นักเรียนจะสื่อสารเจรจาแบ่งหน้าที่ในการทำงาน พฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออก ดังตัวอย่างการสนทนา

S19: “เราหาข้อ 1 นะ”

S18: “เราหาข้อ 4”

S15: “หาข้อ 2”

จากประโยคสนทนานี้เป็นลักษณะการทำงานที่ชวนให้สมาชิกในกลุ่มแบ่งงานกันก่อนเริ่มงานของกลุ่ม จากนั้นนักเรียนจะทำงานตามที่ตนเองได้รับมอบหมาย เช่น การสืบค้นข้อมูลการตอบคำถามในใบกิจกรรม และแบ่งปันข้อมูลที่สืบค้นได้แก่สมาชิกกลุ่มได้ทราบร่วมกัน ดังตัวอย่างการสนทนาจากนักเรียน “ใครได้คำตอบแล้วพิมพ์บอกได้เลย” ซึ่งนักเรียนมีการสืบค้นข้อมูลแล้วพิมพ์แบ่งปันให้สมาชิกกลุ่มได้ทราบร่วมกันในแชท แต่มีบางกลุ่มที่สื่อสารข้อมูลที่สืบค้นได้แก่สมาชิกในกลุ่มทันทีทำให้สามารถทบทวนคำตอบไปพร้อม ๆ กัน

กลุ่มที่ 2 นักเรียนสื่อสารกับผู้อื่นเมื่อถูกถามหรือบอกให้พูด ตัวอย่างพฤติกรรม คือ นักเรียนไม่มีส่วนร่วมในการเจรจาแบ่งงาน นักเรียนมักจะรับทำงานในส่วนที่เหลือจากที่สมาชิกคนอื่นเลือกไปแล้ว ดังตัวอย่างการสนทนา

S19: “เราหาข้อ 1นะ”

S18: “เราหาข้อ 4”

S15: “หาข้อ 2”

S16: “หาข้อ 5” เหลือข้อ 3 ไว้ให้ S30 ละกัน

ตอนเริ่มงาน กลุ่มนี้มีการเจรจาแบ่งงานกันทำแต่มีสมาชิกในกลุ่ม 1 คนที่เงียบ ขณะที่สมาชิกคนอื่น เจรจาแบ่งงานกันทำให้ S30 ไม่มีส่วนร่วมในส่วนนี้ นอกจากนี้นักเรียนบางกลุ่มไม่มีการเจรจาแบ่งงานกันต่างคนต่างทำงานแล้วจึงนำข้อมูลที่สืบค้นได้มาแบ่งปันกัน สำหรับการรวบรวมข้อมูลบางครั้งนักเรียนไม่ได้ทบทวนข้อมูลที่สืบค้นได้ เนื่องจากไม่มีเวลาเหลือเพียงพอในการทบทวนตรวจสอบคำตอบอีกครั้ง แต่มีบางกลุ่มตรวจสอบและทบทวนข้อมูลที่สืบค้นได้ เนื่องจากทำงานเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด

หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ พบว่า กลุ่มที่ 1 นักเรียนสื่อสารกับผู้อื่นตลอดการทำงาน นักเรียนมีการสื่อสารกันตลอดการทำงานในหลายช่องทาง ทั้งการสื่อสารด้วยการพูดคุย การสื่อสารผ่านกล่องข้อความ และมีนักเรียนกลุ่มที่ 2 ที่สื่อสารกับผู้อื่นเมื่อถูกถามหรือบอกให้พูดลดลง แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีการสื่อสารขณะทำงานร่วมกันเพิ่มขึ้นหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ลักษณะการทำงานร่วมกันของนักเรียนหลังเรียน พบว่า กลุ่มที่ 1นักเรียนสื่อสารกับผู้อื่นตลอดการทำงาน มีการแบ่งหน้าที่ในการทำงานและยึดหน้าที่นั้นเป็นหลักตลอดจนจบการทำงาน พฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออก เช่น นักเรียนมีการแบ่งงานกันให้ตรงตามความสามารถของตนเอง ดังตัวอย่างการสนทนา

S13: S12 หาข้อมูลนะ

S12: เรียบร้อยแล้ว เตรียมนำเสนอเลย

นักเรียนหลายกลุ่มมีการแบ่งหน้าที่การทำงานไว้ตั้งแต่เริ่มเรียนสืบเสาะออนไลน์ ซึ่งครูผู้สอนได้ให้อิสระในการแบ่งหน้าที่ของนักเรียน เมื่อเริ่มงานนักเรียนจึงทำงานได้ทันทีและรวดเร็วขึ้น แต่มีนักเรียนบางกลุ่มแบ่งหน้าที่การทำงานโดยไม่คำนึงถึงความถนัดของสมาชิกในกลุ่ม เป็นการมอบหมายโดยบังคับให้สมาชิกในกลุ่มทำหน้าที่นั้น ดังตัวอย่างการสนทนาของนักเรียนกลุ่มหนึ่ง

S20: ใครจะเป็นคนนำเสนอ

สมาชิกในกลุ่มเงียบ

S20: โอเค S17 นำเสนอนะ

S17: เดี๋ยว นำเสนออะไร

S2: โอเค ตามนั้นให้ S17

นอกจากนี้มีนักเรียนเงียบขณะที่สมาชิกในกลุ่มมอบหมายหน้าที่กัน แสดงให้เห็นว่านักเรียนยอมรับหน้าที่ที่เพื่อนมอบหมายให้ จากนั้นนักเรียนทุกคนจะทำตามหน้าที่ที่ตนเองได้รับมอบหมาย โดยรวบรวมข้อมูลจากหลายแหล่งข้อมูล มีการทบทวนและอภิปรายกันเพื่อคัดเลือกข้อมูลที่น่าสนใจและน่าเชื่อถือมานำเสนอให้ครูและสมาชิกในชั้นเรียนฟัง ดังตัวอย่างการสนทนาจากนักเรียนกลุ่มหนึ่ง

S3: เอาเรื่องอะไรดี

S4: ใครสืบค้นเรื่องอะไรได้หามาเลย หามาคนละ 1เรื่อง แล้วค่อยมาดูว่าจะเอาอันไหนนำเสนอ

โดยก่อนเรียน พบนักเรียนที่มีพฤติกรรมตามกลุ่มที่ 1 คือนักเรียนสื่อสารกับผู้อื่นตลอดการทำงาน จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 52.38 และกลุ่มที่ 2 คือนักเรียนสื่อสารกับผู้อื่นเมื่อถูกถามหรือบอกให้พูด จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 47.62 หลังเรียนมีนักเรียนกลุ่มที่ 1 จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 71.43และกลุ่มที่ 2จำนวน 6คน คิดเป็นร้อยละ 28.57 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ทำให้นักเรียนมีการสื่อสารกับผู้อื่นมากขึ้น รู้จักแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบแก่สมาชิกทุกคนในกลุ่ม และมีการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นต่อข้อมูลที่สืบค้นมา สอดคล้องกับค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันด้านการสร้างความเข้าใจร่วมกันอยู่ในระดับสูง

องค์ประกอบที่ 2 การมีส่วนร่วม จากการสังเกตพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของนักเรียนสามารถจำแนกนักเรียนได้ 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงาน ตัวอย่างพฤติกรรมก่อนเรียน คือ นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงานกับสมาชิกในกลุ่ม เมื่อนักเรียนช่วยกันสืบค้นข้อมูลและตรวจสอบข้อมูลหากพบว่าคำตอบที่สืบค้นมาไม่ตรงกัน นักเรียนจะอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน ดังตัวอย่างการสนทนาของนักเรียน

S18: S2 หาคำตอบได้เท่าใด

S2: +4

S18: เราได้ -4

ทั้ง S2 และ S18 มีการอธิบายวิธีคิดของตนเองให้สมาชิกในกลุ่มฟัง เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและเป็นการทบทวนข้อมูลที่หามาได้ให้ถูกต้องก่อนนำเสนอแก่กลุ่มอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าเมื่อนักเรียนมีความคิดเห็นที่แตกต่างกันเกิดขึ้น นักเรียนจะมีการอภิปรายในมุมมองของตนเองและรับฟังมุมมองของผู้อื่น ซึ่งพฤติกรรมเหล่านี้พบค่อนข้างน้อยในการทำงานร่วมกันของนักเรียน ซึ่งพบว่ามีนักเรียนจำนวน 4คน คิดเป็นร้อยละ 19.05 เพราะนักเรียนส่วนใหญ่จะยอมรับคำตอบที่สมาชิกในกลุ่มสืบค้นมา ทำให้ไม่มีความแตกต่างทางความคิดเห็นเกิดขึ้น

ส่วนกลุ่มที่ 2 นักเรียนไม่มีส่วนร่วมในการทำงาน ตัวอย่างพฤติกรรมก่อนเรียน คือ นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงานค่อนข้างน้อย โดยจะทำงานส่วนที่ตนเองรับผิดชอบเสร็จแต่ไม่มีส่วนร่วมในการอภิปรายคำตอบร่วมกับสมาชิกในกลุ่ม นอกจากนี้นักเรียนบางคนทำงานส่วนที่ตนเองได้รับมอบหมายไม่สำเร็จและเงียบหายไปจนสมาชิกในกลุ่มต้องมาช่วยกันทำงานเพื่อให้เสร็จตามเป้าหมาย

หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ พบว่า นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงานกลุ่มเพิ่มขึ้น นักเรียนกลุ่มนี้จะปฏิบัติตามหน้าที่ที่ตนได้รับมอบหมาย พยายามช่วยกันสืบค้นข้อมูล มีการวางแผนการทำงานและติดตามความก้าวหน้าของสมาชิกกลุ่มอยู่เสมอ ทำให้นักเรียนสามารถทำงานเสร็จได้ทันเวลาและมีเวลาเหลือในการทบทวนข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาก่อนนำเสนอ นอกจากนี้นักเรียนยังมีการซ้อมนำเสนอกับสมาชิกในกลุ่มเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนนำเสนอจริงในชั้นเรียน เมื่อนักเรียนสื่อสารขณะทำงานร่วมกันอาจทำให้นักเรียนเกิดความคิดเห็นที่ไม่ตรงกันกับข้อมูลที่สืบค้นได้ทำให้เกิดการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นเพิ่มขึ้นดังตัวอย่างความคิดเห็นจากนักเรียน S19

“ถ้าคำตอบที่หามาไม่ตรงกัน หนูไม่ขัดข้องอะไรเลยค่ะ ดีด้วยซ้ำที่บางครั้งเพื่อนยังให้ความสำคัญกับข้อมูลที่เราค้นคว้ามาแล้วช่วยกันวิเคราะห์ถึงความถูกต้องของข้อมูล หากมันผิดแล้วเพื่อนสามารถหาข้อมูลที่ถูกต้องมาได้ หนูก็ยินดีที่จะเปลี่ยนคำตอบนั้นตามที่เพื่อนบอกค่ะ”

นอกจากนี้การทำงานที่สมาชิกมีส่วนร่วมและช่วยกันทำงานในกลุ่มทำให้นักเรียนมีความสุขในการทำงานร่วมกับผู้อื่น ดังตัวอย่างส่วนหนึ่งจากการสอบถามนักเรียน S7

“งานชิ้นนี้หนูมีความรู้สึกว่าเป็นงานที่มั่นใจที่สุดในทุกงานที่ผ่านมา และรู้สึกว่าเป็นงานที่มีความสุขที่สุดจริง ๆ เพราะเป็นงานที่ทุกคนร่วมมือกันช่วยกันเต็มที่ แบ่งหน้าที่ก็ช่วยกันเต็มที่สุดความสามารถ รู้สึกดีมากกับงานชิ้นสุดท้าย”

โดยก่อนเรียนมีนักเรียนกลุ่มที่ 1 คือ นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงาน จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 52.38 และกลุ่มที่ 2 คือ นักเรียนไม่มีส่วนร่วมในการทำงานจำนวน 10คน คิดเป็นร้อยละ 47.62 หลังเรียนมีนักเรียนกลุ่มที่ 1จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 71.43 และกลุ่มที่ 2 จำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 28.57 ซึ่งพบว่านักเรียนมีพฤติกรรมในทางบวกจำนวนเพิ่มขึ้นมากขึ้น เช่นเดียวกับองค์ประกอบที่ 1แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ทำให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงานร่วมกับผู้อื่น มีการยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น สอดคล้องกับค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันด้านการมีส่วนร่วมในระดับกลาง

องค์ประกอบที่ 3 การกำกับการทำงานของกลุ่ม จากการสังเกตพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของนักเรียนสามารถจำแนกนักเรียนได้ 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 นักเรียนปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานของตนเอง เมื่อเกิดความขัดแย้งขึ้นในกลุ่ม ตัวอย่างพฤติกรรมก่อนเรียน คือในการทำงานกลุ่มนักเรียนบางกลุ่มมีความคิดเห็นที่ขัดแย้งไม่ตรงกัน ซึ่งความขัดแย้งที่เกิดขึ้นของนักเรียนกลุ่มนี้เกิดจากข้อมูลที่สืบค้นมาไม่ตรงกันทำให้เกิดการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกัน นอกจากนี้พฤติกรรมในการทำงานร่วมกันของนักเรียนก็อาจส่งผลต่อความขัดแย้งที่เกิดขึ้นในกลุ่มได้ หากสมาชิกไม่สบายใจพฤติกรรมการทำงานของนักเรียดังตัวอย่างการสนทนาจากนักเรียน S10

“ที่เงียบ ๆ หยุดทำงานอื่นได้แล้ว มาช่วยกันทำงานก่อน”

จากการสอบถามนักเรียน นักเรียนระบุว่า มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานของตนเองทันทีเมื่อคิดว่าสมาชิกคนอื่นจะไม่สบายใจ และมีนักเรียนที่ไม่ทราบว่าพฤติกรรมการทำงานของตนเองส่งผลต่อความไม่สบายใจของสมาชิกในกลุ่มอย่างไร ต้องมีการเปิดใจพูดคุยกันถึงจะมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม

ส่วนกลุ่มที่ 2 นักเรียนไม่ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของตนเอง เมื่อนักเรียนทำให้สมาชิกในกลุ่มไม่สบายใจ เช่น การไม่สื่อสารกับสมาชิกในกลุ่มในการอภิปราย

แลกเปลี่ยนความคิดเห็น การไม่รับผิดชอบงานส่วนของตนเองให้สำเร็จ นักเรียนจะไม่ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานของตนเองทำได้เพียงขอโทษสมาชิกกลุ่ม

นอกจากนี้การสื่อสารกันตลอดเวลาทำให้สามารถติดตามความก้าวหน้าในการทำงานของสมาชิกกลุ่มและงานของกลุ่มได้ หากการทำงานไม่มีความคืบหน้าสมาชิกในกลุ่มสามารถกระตุ้นให้การทำงานดำเนินต่อไปได้ ดังตัวอย่างการสนทนาจากนักเรียน

“ทำถึงข้อไหนแล้ว”

“หาคำตอบได้ยัง”

“มีใครทำข้อ 3 ได้บ้าง”

“เหลือเวลาอีก 1 นาทีนะ”

แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความพยายามในการทำงานให้สำเร็จตามเป้าหมายและตามเวลาที่กำหนด หากนักเรียนสื่อสารกันน้อยหรือไม่สื่อสารขณะทำงานร่วมกันจะไม่สามารถทราบความก้าวหน้าของงานกลุ่มได้ และการติดตามการทำงานของสมาชิกในกลุ่มบางครั้งอาจไม่ได้รับการตอบกลับในทันที ดังตัวอย่างการสนทนาจากนักเรียน S6

“S7 ได้คำตอบหรือยัง”

นอกจากนี้นักเรียนประเมินตนเองและตรวจสอบการมีส่วนร่วมในการทำงานของตนเองเทียบกับความก้าวหน้า พบว่า นักเรียนจำนวน 18 คนคิดเป็นร้อยละ 85.71 มีส่วนร่วมทำให้งานสำเร็จตามเป้าหมายโดยทำงานของตนเองให้เสร็จ นักเรียนจำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 14.29 สามารถระบุจุดแข็งและจุดอ่อนในการทำงาน ดังตัวอย่าง

“มีส่วนร่วม เพราะบางข้อที่เพื่อนไม่ทำก็ต้องมาทำให้เพื่อให้งานเสร็จตามเวลา”

หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ พบว่า นักเรียนมีการรักษาความเข้าใจของกลุ่มโดยการให้ข้อมูลการทำงานของตนเองแก่สมาชิกในกลุ่มและติดตามความก้าวหน้าของกลุ่มอย่างต่อเนื่อง ดังตัวอย่างจากนักเรียน

S1 ได้รับหน้าที่เป็นคนนำเสนอข้อมูล ได้ช่วยทบทวนข้อมูลที่สมาชิกในกลุ่มสืบค้นและสอบถามสมาชิกในกลุ่มว่าค้นหาข้อมูลถึงไหนแล้ว

S14 ได้ติดตามความก้าวหน้าการทำงานของสมาชิก โดยถามสมาชิกว่าทำได้หรือไม่ หากทำไม่ได้จะเข้าไปช่วยเพื่อให้งานของกลุ่มสำเร็จตามเป้าหมาย

ขณะทำงานร่วมกันมีนักเรียนบางกลุ่มไม่มีความขัดแย้งเกิดขึ้นในการทำงานเลย เนื่องจากนักเรียนมียอมรับคำตอบที่สมาชิกในกลุ่มสืบค้นมาหรือคำตอบที่สืบค้นได้ตรงกัน แต่มีนักเรียนบางกลุ่มมีความคิดเห็นที่ขัดแย้งไม่ตรงกันซึ่งส่วนใหญ่เป็นเรื่องของการสืบค้นข้อมูล นักเรียนจะมีการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและรับฟังความคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่ม จากนั้นช่วยกันพิจารณาคัดเลือกข้อมูลโดยใช้เหตุผลประกอบ ดังตัวอย่างการสนทนาของนักเรียน

S18: เราเอาอะไร

S20: เลือกเอาจะเอาอะไร

S17: แล้วเอาของใคร เอาอันนี้ไหมเป็นของมหาวิทยาลัยต่างประเทศ ข้อมูลคล้ายกับโครงงาน ถ้าเราเอาไปผสมกับโครงงานแล้วทำต่อ

S20: เราทำงานตรงนี้ให้เสร็จก่อน ถ้าเป็นของ S4 น่าสนใจ

S17: มันเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน เอาไหม

S20: เอาไหมของ S2 เดี๋ยวอ่านข้อมูลให้ฟัง

นอกจากนี้พฤติกรรมในการทำงานร่วมกันของนักเรียนก็อาจส่งผลต่อความขัดแย้งที่เกิดขึ้นในกลุ่มได้หากสมาชิกในกลุ่มไม่สบายใจพฤติกรรมการทำงานของนักเรียน จากการสอบถามนักเรียนพบว่า นักเรียนจำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 52.38 มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานของตนเองทันทีเมื่อคิดว่าสมาชิกคนอื่นไม่สบายใจ นักเรียนจำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 42.86 ไม่ทราบว่าพฤติกรรมการทำงานของตนเองส่งผลต่อความไม่สบายใจของสมาชิกในกลุ่มอย่างไร ต้องเปิดใจพูดคุยกันถึงจะปรับเปลี่ยนพฤติกรรม และมีนักเรียนจำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 4.76 ที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานของตนเอง สมาชิกในกลุ่มต้องยอมรับว่าบางสิ่งไม่สะดวกที่จะเปลี่ยน นอกจากนี้นักเรียนประเมินตนเองและตรวจสอบการมีส่วนร่วมในการทำงานของตนเองเทียบกับความก้าวหน้า พบว่า นักเรียนจำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 85.71 มั่นใจว่าตนเองมีส่วนร่วมทำให้งานสำเร็จและการร่วมมือของทุกคนภายในกลุ่มสามารถช่วยให้งานสำเร็จตามเป้าหมาย นักเรียนจำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 14.29 ไม่มั่นใจในการมีส่วนร่วมของตนเองมีส่วนช่วยให้งานสำเร็จเพราะได้ช่วยงานเล็กน้อย โดยก่อนเรียนและหลังเรียนมีนักเรียนกลุ่มที่ 1 คือ นักเรียนปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของตนเองเมื่อเกิดความขัดแย้งขึ้น

ในกลุ่ม จำนวน 19 คน คิดเป็นร้อยละ 90.48และกลุ่มที่ 2 คือนักเรียนปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของตนเองเมื่อเกิดความขัดแย้งขึ้นในกลุ่ม จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 9.52เท่ากัน ซึ่งถือว่านักเรียนส่วนใหญ่มีพฤติกรรมอันพึงประสงค์ในการทำงานร่วมกัน และแม้ว่าจำนวนนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนไม่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม แต่หลังเรียนนักเรียนมีการอภิปรายโต้แย้งในประเด็นที่เห็นต่างกัน สามารถจัดการกับความคิดเห็นที่แตกต่างและรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นมากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันด้านนี้ยังคงอยู่ในระดับกลาง แต่ก็มีค่าที่ต่ำกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ

กล่าวโดยสรุป การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์สามารถพัฒนาพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของนักเรียนทั้ง 3 องค์ประกอบดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 การสร้างความเข้าใจร่วมกัน นักเรียนมีพฤติกรรมการทำงานร่วมกันจำแนกได้ 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 นักเรียนสื่อสารกับผู้อื่นตลอดการทำงาน ก่อนเรียนมีนักเรียนจำนวน 11 คนคิดเป็นร้อยละ 52.38 หลังเรียนมีนักเรียนจำนวน 15คน คิดเป็นร้อยละ 71.43 และกลุ่มที่ 2 นักเรียนสื่อสารกับผู้อื่นเมื่อถูกถามหรือบอกให้พูด ก่อนเรียนมีนักเรียนจำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 47.62 หลังเรียนมีนักเรียนจำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 28.57

องค์ประกอบที่ 2 การมีส่วนร่วม นักเรียนมีพฤติกรรมการทำงานร่วมกันจำแนกได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงาน ก่อนเรียนมีนักเรียนจำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 52.38 หลังเรียนมีนักเรียนจำนวน 15คน คิดเป็นร้อยละ 71.43 ส่วนกลุ่มที่ 2นักเรียนไม่มีส่วนร่วมในการทำงาน ก่อนเรียนมีนักเรียนจำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 47.62 หลังเรียนมีนักเรียนจำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 28.57

องค์ประกอบที่ 3 การกำกับการทำงานของกลุ่ม จากการสังเกตพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของนักเรียนสามารถจำแนกนักเรียนได้ 2กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1นักเรียนปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานของตนเอง ส่วนกลุ่มที่ 2 นักเรียนไม่ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของตนเอง โดยก่อนเรียนและหลังเรียนมีนักเรียนกลุ่มที่ 1 จำนวน 19 คน คิดเป็นร้อยละ 90.48 และกลุ่มที่ 2 จำนวน 2 คน คิดเป็นร้อยละ 9.52 เท่ากัน อย่างไรก็ตามเมื่อสังเกตพฤติกรรมการทำงานจะพบว่าพฤติกรรมของนักเรียนเป็นไปทางบวกเพิ่มขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์สามารถส่งเสริมให้นักเรียนปรับพฤติกรรมการทำงานร่วมกันในทางบวกเพิ่มขึ้นทั้ง 3 องค์ประกอบ คือ นักเรียนมีการสื่อสารอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับผู้อื่นมากขึ้น มีส่วนร่วมในการทำงาน และยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น เพื่อรักษาความเข้าใจของกลุ่ม

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการวิจัยแบบตามลำดับอธิบายผล (The explanatory sequential design) โดยเก็บข้อมูลเชิงปริมาณและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณเชื่อมต่อกับข้อมูลเชิงคุณภาพ เพื่อพัฒนาแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ สามารถสรุปผลการวิจัยดังนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิดเรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. เพื่อศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

สมมติฐานในการวิจัย

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60

2. จำนวนนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังเรียน เป็นแนวคิดถูกต้องบางส่วนขึ้นไปในทุกแนวคิดย่อย ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

3. จำนวนนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับสูง ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

4. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีค่าขนาดอิทธิพลต่อทักษะการทำงานร่วมกันหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอยู่ในระดับสูง

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มที่ศึกษา

กลุ่มที่ศึกษาที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนคณิตศาสตร์-วิทยาศาสตร์ จำนวน 1 ห้องเรียน มีทั้งหมด 30 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกตามความ

สะดวก (Convenience sampling) ทั้งนี้ในการดำเนินการวิจัยมีนักเรียนที่เข้าร่วมกระบวนการวิจัยครบทุกขั้นตอนจำนวน 21 คน ดังนั้นผลการศึกษาในงานวิจัยนี้จึงมาจากกลุ่มที่ศึกษาจำนวน 21 คน

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัยในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 ใช้เวลาดำเนินการทั้งสิ้น 18 ชั่วโมงโดยแบ่งเป็นการชี้แจงรูปแบบการจัดการเรียนรู้ 1 ชั่วโมง ประเมินทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียน 2 ชั่วโมง ดำเนินการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ 13 ชั่วโมง เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้เสร็จสิ้น ดำเนินการวัดแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า ของนักเรียนหลังเรียนและประเมินทักษะการทำงานร่วมของนักเรียน 2 ชั่วโมง

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกเนื้อหาเรื่อง เคมีไฟฟ้า ตามตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ซึ่งมีเนื้อหาในเรื่องปฏิกิริยารีดอกซ์ ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของโลหะและไอออนของโลหะ เซลล์กัลวานิก การชุบโลหะ การแยกสารที่หลอมเหลวด้วยไฟฟ้า การแยกสารละลายด้วยไฟฟ้า การทำโลหะให้บริสุทธิ์โดยใช้เซลล์อิเล็กโทรลิติก

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ จำนวน 5 แผน ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00

2. แบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า จำนวน 18 ข้อ ซึ่งแต่ละข้อมีค่าความยากง่ายอยู่ในช่วง 0.22-0.61 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ในช่วง 0.26-0.58 และมีค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ เท่ากับ 0.92

3. แบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน ประกอบด้วยองค์ประกอบของทักษะการทำงานร่วมกัน 3 ด้าน 10 ข้อ โดยมีแบบมาตรประมาณค่า 3 ระดับ คือ ระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00

4. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างทักษะการทำงานร่วมกัน ประกอบด้วย 10 ข้อคำถาม ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเองโดยดำเนินขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ผู้วิจัยได้เตรียมการก่อนเก็บข้อมูลวิจัย ดังนี้

1.1 สร้าง google classroom ของชั้นเรียน ห้องประชุม google meet ของชั้นเรียนและของกลุ่ม จากนั้นเพิ่มนักเรียนเข้าชั้นเรียนและจัดนักเรียนเข้า google meet ของกลุ่มตามความสมัครใจของนักเรียน

1.2 สร้างใบกิจกรรมผ่าน google document และเพิ่มนักเรียนเข้าใบกิจกรรมตามกลุ่ม พร้อมพิมพ์ชื่อสมาชิกกลุ่มให้นักเรียนเพื่อประหยัดเวลา

1.3 จัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับทำกิจกรรมการทดลองและจัดส่งให้นักเรียนทางบ้านหรือให้นักเรียนมารับที่โรงเรียน

2. การเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัย

2.1 ชี้แจงให้นักเรียนทราบถึงขอบเขตการวิจัยในครั้งนี้ว่าเป็นการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ สร้างข้อตกลงเบื้องต้นในการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนเข้าใจตรงกัน และให้นักเรียนลงนามเข้าร่วมวิจัย โดยนักเรียนสามารถขอถอนสิทธิเข้าร่วมได้ตลอดเวลา ซึ่งผู้วิจัยจะไม่นำข้อมูลของนักเรียนที่ถอนสิทธิมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลวิจัย และผู้วิจัยจะปิดข้อมูลต่าง ๆ เป็นความลับ

2.2 ประเมินทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนก่อนเริ่มเรียนรู้ในหน่วยการเรียนรู้สืบเสาะออนไลน์โดยสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ระหว่างที่นักเรียนเรียนรู้เคมีไฟฟ้า ในแผนการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 1 แผน จากวิดีโอที่บันทึกไว้ระหว่างการเรียนรู้และวิเคราะห์หลังสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ โดยใช้เครื่องมือแบบสังเกตพฤติกรรมทักษะการทำงานร่วมกัน

2.3 ปฐมนิเทศแนะนำผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้และการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ การมอบหมายงาน วิธีการส่งงาน ช่องทางการสื่อสาร ลงทะเบียนเข้าเรียนใน google classroom google meet และ google document และอธิบายวิธีการใช้งาน application นี้แก่นักเรียน จากนั้นจัดกลุ่มนักเรียนออกเป็นกลุ่ม ๆ ละ 5 คน ตามความสมัครใจของนักเรียน โดยมีเงื่อนไขต้องคละความสามารถในกลุ่ม กำหนดบทบาทหน้าที่ภายในกลุ่มตามความสามารถและความถนัดของนักเรียน

2.4 ดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 - 5 เป็นแผนที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการสอนเองกับนักเรียนที่เป็นกลุ่มที่ศึกษา และบันทึกการเรียนรู้ทั้งในชั้นเรียนและกลุ่มย่อย รวม 13 ชั่วโมง

2.5 ทดสอบแนวคิดของนักเรียนหลังเรียนด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ โดยใช้เครื่องมือแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

2.6 ประเมินทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนหลังเรียนด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ โดยการสังเกตพฤติกรรมการทำงานร่วมกันระหว่างที่นักเรียนเรียนรู้เคมีไฟฟ้าในแผนการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 1 แผน โดยใช้เครื่องมือแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน

2.7 สัมภาษณ์นักเรียน 6 คน จากผลการประเมินทักษะการทำงานร่วมกัน โดยเลือกจากนักเรียนในกลุ่มที่มีพัฒนาการระดับสูง และระดับกลาง กลุ่มละ 3 คน เนื่องจากไม่มีนักเรียนคนใดที่มีพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับต่ำจึงไม่ได้สัมภาษณ์นักเรียนกลุ่มนี้ตามที่ได้วางแผนไว้

2.8 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อทดสอบสมมติฐานและอภิปรายผลการวิจัยที่ตั้งไว้ ทั้งนี้ในการรวบรวมและวิเคราะห์ได้เก็บข้อมูลของนักเรียนเป็นความลับโดยการใช้รหัสหรือชื่อแทนข้อมูลจริงของกลุ่มศึกษา

การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้จัดกระทำและวิเคราะห์ผล ดังนี้

1. แนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

1.1. ตรวจให้คะแนนจากแบบวัดแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า ซึ่งเป็นแบบวัดวินิจฉัยแบบสองชั้น โดยลำดับชั้นที่หนึ่งเป็นปรนัย 4 ตัวเลือก และลำดับชั้นที่สองเป็นส่วนอธิบายเหตุผลประกอบ จำนวน 16 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน คะแนนรวมทั้งฉบับ 72 คะแนน โดยใช้เกณฑ์การตรวจให้คะแนนดังตาราง 13 หน้า 100 ในบทที่ 3

1.2 วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากคะแนนสอบทั้งฉบับของนักเรียนทั้งกลุ่มหลังเรียน เพื่อเปรียบเทียบกับคะแนนเกณฑ์ร้อยละ 70

1.3 จัดกลุ่มแนวคิดของนักเรียน 5 กลุ่ม โดยใช้เกณฑ์ในตาราง 14 หน้า 101 ในบทที่ 3 จากนั้นคำนวณหาร้อยละของจำนวนนักเรียนที่มีกลุ่มแนวคิดลักษณะต่าง ๆ โดยจำแนกเป็นรายข้อ เพื่อพิจารณาว่าแต่ละข้อคำถาม นักเรียนกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีแนวคิดในเรื่องเคมีไฟฟ้า อย่างไร

2. ทักษะการทำงานร่วมกัน

2.1 วิเคราะห์และให้คะแนนทักษะการทำงานร่วมกันก่อนและหลังเรียน ของนักเรียน จากแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน โดยใช้เกณฑ์ในตาราง 8 หน้า 48 – 51

2.2 จัดระดับทักษะการทำงานร่วมกัน สูง กลาง และต่ำ และเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนและร้อยละของนักเรียนที่มีทักษะการทำงานร่วมกันในแต่ละระดับก่อนและหลังเรียน โดยใช้สถิติร้อยละ

2.3 หาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และหาค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันโดยภาพรวมของนักเรียนรายบุคคล และในภาพรวมและรายองค์ประกอบของนักเรียนทั้งกลุ่มโดยใช้สถิติสูตรค่าพัฒนาการของผู้เรียน (Normalized - gain)

2.4 หาค่าขนาดอิทธิพลต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนทั้งกลุ่มโดยภาพรวมและรายองค์ประกอบ โดยใช้สถิติสูตรขนาดอิทธิพล (Effect size: d)

สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยและผลการวิจัย สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ มีผลต่อแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า ดังนี้

1.1 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ส่งผลให้คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนของนักเรียนเท่ากับ 46.0 คะแนนจากคะแนนเต็ม 72.0 คะแนน ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1

1.2 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ส่งผลให้นักเรียนมีแนวคิด ระดับถูกต้องบางส่วนขึ้นไป อยู่ระหว่างร้อยละ 4.76 – 90.47 โดยนักเรียนมีแนวคิดที่ระดับถูกต้องบางส่วน ร้อยละ 60.00 ขึ้นไปจำนวน 11 แนวคิด และน้อยกว่าร้อยละ 60.00 จำนวน 7 แนวคิด ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อ 2 ที่ระบุว่า จำนวนนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า หลังเรียนเป็นแนวคิดถูกต้องบางส่วนขึ้นไปในทุกแนวคิดย่อย ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

2. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีผลต่อการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกัน ดังนี้

2.1 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ทำให้นักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันในระดับกลางและระดับสูงเพิ่มขึ้น โดยก่อนเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์นักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันในระดับต่ำ 16 คน คิดเป็นร้อยละ 76.19 และระดับกลาง 5 คน คิดเป็นร้อยละ 23.81 และไม่มีนักเรียนคนใดที่มีทักษะการทำงานร่วมกันในระดับสูง หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์นักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันในระดับกลาง 11

คน คิดเป็นร้อยละ 52.38 และในระดับสูง 10 คน คิดเป็นร้อยละ 47.62 และไม่มีนักเรียนคนใดที่มีทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับต่ำ

2.2 นักเรียนมีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันเฉลี่ยในภาพรวมอยู่ในระดับกลาง (N-gain = 0.59) ด้านการสร้างความเข้าใจร่วมกันในระดับสูง (N-gain = 0.74) ด้านการมีส่วนร่วมในระดับกลาง (N-gain = 0.63) และด้านการกำกับการทำงานของกลุ่มในระดับกลาง (N-gain = 0.47) โดยมีนักเรียนจำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 23.81 ของนักเรียนทั้งหมดมีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันในระดับสูง และมีนักเรียนจำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 76.19 มีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันในระดับกลาง ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3 ที่ระบุว่า จำนวนนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับสูง ไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

2.3 ค่าขนาดอิทธิพลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันโดยภาพรวมมีค่าเท่ากับ 2.55 (d = 2.55) ซึ่งมีค่าอิทธิพลในระดับสูง เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 4 ที่ระบุว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีค่าขนาดอิทธิพลต่อทักษะการทำงานร่วมกันหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอยู่ในระดับสูง ทั้งนี้ค่าขนาดอิทธิพลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันในแต่ละด้านอยู่ในระดับกลาง ดังนี้ ด้านการสร้างความเข้าใจร่วมกัน (d = 1.61) ด้านการมีส่วนร่วม (d = 1.43) และด้านการกำกับการทำงาน (d = 1.39)

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิดเรื่องเคมีไฟฟ้า และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย อภิปรายผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้าของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากการศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า ของนักเรียน พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 46.0 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 คือ 43.20 คะแนน แสดงให้เห็นการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์สามารถพัฒนาแนวคิดของนักเรียนได้เช่นเดียวกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะในห้องเรียน (Supasorn, 2015,

p. 1; สนทยา บ้งพรหม, 2558 น. 78) ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ได้เปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (ชนธิชา ปะนัดโส , 2555, น. 86) ได้แก่ การสำรวจตรวจสอบ ค้นคว้าหาความรู้ การอภิปรายและสรุปความรู้ (นิติธรรม และคนอื่น ๆ, 2558, น. 79) นอกจากนี้ครูผู้สอนยังมีส่วนสำคัญในการกระตุ้นคำถามทางวิทยาศาสตร์ คอยให้คำแนะนำนักเรียนในการดำเนินกิจกรรมและสรุปความรู้ร่วมกับนักเรียน (สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 85) ให้นักเรียนได้คิดและตั้งคำถามเกี่ยวกับโลกธรรมชาติและเสริมสร้างการเรียนรู้ของนักเรียนในห้องเรียนวิทยาศาสตร์ และอำนวยความสะดวกให้แก่นักเรียนได้พบความรู้วิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง (Nuangchalerm, 2014, p. 69) ซึ่งจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงความรู้ที่มีอยู่เดิมและความรู้ใหม่ที่ได้จากการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมจนทำให้นักเรียนเกิดแนวคิดที่ถูกต้องได้ (สนทยา บ้งพรม, 2558, น. 85) ซึ่งสอดคล้องกับวิธีการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

ขั้นสร้างความสนใจ ครูได้ใช้กิจกรรมสั้น ๆ เช่น การชมวิดีทัศน์ รูปภาพ และการสาธิตการทดลองมากระตุ้นความสนใจของนักเรียน และใช้คำถามตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียนและนำเข้าสู่บทเรียนผ่านทาง Google meet ชั้นเรียน สอดคล้องกับภาธร พงศ์ไพจิตร (2556, น. 104) ได้กล่าวว่า การนำเข้าสู่บทเรียนด้วยวิดีทัศน์ รูปภาพ และการสาธิตการทดลองสามารถกระตุ้นความสนใจในการเรียนรู้ของนักเรียนได้ นอกจากนี้การใช้คำถามสามารถตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียนได้ ดังที่รุ่งนภา เอียงอุบล (2554, น. 106) กล่าวว่า การใช้คำถามสามารถดึงความรู้เดิมของนักเรียนออกมาได้ และสามารถกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ได้ (นภาพร เกตทอง, 2554, น. 108)

ขั้นสำรวจและค้นหา ในขั้นนี้นักเรียนได้ทำกิจกรรมร่วมกันเป็นกลุ่มผ่าน google meet ของกลุ่ม นักเรียนมีการแบ่งหน้าที่ในการทำกิจกรรม เช่น ผู้จัดการกลุ่ม ผู้บันทึกข้อมูล ผู้นำเสนอข้อมูล ผู้นำอภิปราย ก่อนเริ่มทำการทดลองนักเรียนจะออกแบบการทดลองและทำการทดลองด้วยตนเอง ถ้าเป็นการทดลองที่สมาชิกในกลุ่มได้สารเคมีและอุปกรณ์ต่างกัน นักเรียนจะเปิดกล้องเพื่อให้สมาชิกในกลุ่มได้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นพร้อมกัน ในแผนการเรียนที่ 1 นักเรียนใช้เวลาในการทำกิจกรรมค่อนข้างมากทั้งการปฏิบัติการทดลอง การแบ่งปันผลการทำลอง ทำให้บันทึกข้อมูลในใบกิจกรรมไม่ทัน ทั้งนี้อาจเป็นปกติของการจัดการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ที่นักเรียนยังไม่คุ้นชินกับการเรียนในรูปแบบนี้ สอดคล้องกับสนทยา บ้งพรม (2558, น. 78) นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าในแผนถัดไปนักเรียนสามารถจัดการกับเวลาได้ดีมากขึ้น แต่ก็ยังมีนักเรียนบางกลุ่มที่ยังทำงานช้าไม่เสร็จตามเวลาที่กำหนด ทำให้ครูต้องพิจารณาว่าให้เวลาในการ

ทำกิจกรรมของนักเรียนเพียงพอหรือไม่ ดังที่สัณหวัช สอนท่าโก (2550, น. 62) กล่าวว่าครูควรให้เวลาแก่นักเรียนในการคิดและทำกิจกรรมและไม่ควรเร่งรัดนักเรียนและคาดหวังคำตอบในทันที ดังนั้นหากหมดเวลาขณะที่นักเรียนทำการทดลอง ครูจะให้นักเรียนไปบันทึกผลการทดลองของตนเองนอกเวลา นอกจากนักเรียนจะได้ทำกิจกรรมการทดลองแล้ว ในขั้นนี้นักเรียนยังได้สืบค้นข้อมูล และอภิปรายคำตอบร่วมกับสมาชิกในกลุ่ม เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยวิธีการหลากหลาย สอดคล้องกับที่ รุ่งนภา เอียงอุบล (2555, น. 106) ได้กล่าวไว้ว่า การที่นักเรียนมีโอกาสทำกิจกรรมที่หลากหลายทั้งการทดลอง การสืบค้น การอภิปราย การรวบรวมข้อมูล สามารถกระตุ้นความสนใจในการเรียนรู้ได้มากขึ้น จากที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า ขั้นสำรวจและค้นหาเป็นขั้นที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมการทดลองด้วยตนเอง และมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกับสมาชิกในกลุ่ม ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (ฑิฆัมพร โตสำลี, 2553, น. 79)

ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป นักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทดลองใน google meet ของกลุ่ม เพื่อตอบคำถามการทดลองและสรุปผลการทดลองร่วมกัน จากนั้นจะอภิปรายร่วมกันใน google meet ชั้นเรียน ซึ่งครูจะสุ่มกลุ่มตัวอย่างนักเรียนที่แตกต่างกันกลุ่มละ 1 อย่างนำเสนอในชั้นเรียน เนื่องจากเวลามีจำกัด และเพื่อให้นักเรียนได้เห็นการทดลองที่หลากหลายและประหยัดเวลาในการทำกิจกรรมขั้นต่อไป (โพธิศักดิ์ โพธิเสน, 2558, น. 108) ซึ่งจากการสังเกตพบว่าระหว่างการอภิปรายในกลุ่มนักเรียนมีการตรวจสอบข้อมูล ให้เหตุผล และยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุนันทา กองตาพันธุ์ (2556, น. 114) อย่างไรก็ตามการเรียนรู้แบบออนไลน์ทำให้ครูเข้าไปมีส่วนร่วมในการอภิปรายกับนักเรียนทุกกลุ่มได้ในเวลาที่น้อย ดังนั้นเมื่อมีการอภิปรายในภาพรวม หากพบแนวคิดคลาดเคลื่อนครูจะแก้ไขทันทีและอภิปรายเพิ่มเติมทันทีหลังจากที่นักเรียนนำเสนอเสร็จสิ้น เนื่องจากเนื้อหาเรื่อง เคมีไฟฟ้า มีความเป็นนามธรรมสูง ครูจึงนำสื่อวิดีทัศน์ที่แสดงปรากฏการณ์ระดับมหภาคและระดับจุลภาคมาเปิดอธิบายเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากสื่อเป็นสิ่งที่ช่วยให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น (สุนันทา กองตาพันธุ์, 2556, น. 114)

ขั้นขยายความรู้ ครูนำเสนอสถานการ์ใหม่ให้นักเรียนนำคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ได้มาตอบคำถามร่วมกันในใบกิจกรรม ซึ่งอยู่ใน google document ของกลุ่ม และอภิปรายร่วมกันผ่าน google meet พบว่านักเรียนช่วยกันและทำกิจกรรมได้เสร็จภายในเวลาที่กำหนด จากนั้นครูสุ่มนักเรียน 1 กลุ่มเพื่อนำเสนอผลการศึกษาและอภิปรายร่วมกัน พบว่านักเรียนสามารถตอบคำถามได้ถูกต้อง สอดคล้องกับสุวิทย์ คงภักดี (2553, น. 161) กล่าวว่า ในขั้นนี้นักเรียนได้นำ

ความรู้ใหม่จากขั้นอธิบายและลงข้อสรุปไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมที่มีอยู่ และนำไปประยุกต์ใช้อธิบายปรากฏการณ์อื่นที่เกี่ยวข้อง ทำให้เกิดความคงทนในการเรียนรู้เมื่อความรู้ใหม่ที่ได้มามีความสอดคล้องกับประสบการณ์เดิมและอธิบายปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องได้ดี

ขั้นประเมินความรู้ นักเรียนทุกคนทำแบบทดสอบหลังเรียนผ่าน google form และ kahoot พบว่านักเรียนให้ความสนใจกับการทำแบบทดสอบใน kahoot มากกว่า เนื่องจากมีการประกาศลำดับคะแนน จากการประเมินความรู้ของนักเรียนพบว่า นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดผ่านเกณฑ์ร้อยละ 60 เป็นส่วนใหญ่ มีเพียงเรื่องตัวรีดิวซ์และออกซิไดซ์ ที่นักเรียนยังคงสับสนเกี่ยวกับความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และออกซิไดซ์

ทั้งนี้จากการสังเกตการเรียนรู้ของนักเรียน พบว่า ลักษณะการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาให้นักเรียนมีแนวคิดถูกต้องมากที่สุด คือ 1) การจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนกับครู และนักเรียนกับนักเรียนได้อภิปรายแนวคิดร่วมกันโดยใช้ภาพและสื่อวิดีทัศน์ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาค และ 2) การปฏิบัติกิจกรรมการทดลองโดยนักเรียนแต่ละคนในกลุ่มได้ออกแบบการทดลองของตนเองและทำการทดลองตามที่ออกแบบไว้ นำข้อมูลที่ได้มาอภิปรายและลงข้อสรุปร่วมกัน ต่อด้วยการชมสื่อวิดีทัศน์ที่แสดงปรากฏการณ์ระดับจุลภาคเพื่อให้นักเรียนได้เข้าใจมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ราฮาย เอฟเฟนดี และออกทาเวียนา (Rahayu, Effendy, & Octaviana, 2016, pp. 203-204) พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะส่งเสริมให้นักเรียนมีความสามารถในการคิด เนื่องจากนักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ เช่น การทดลอง และได้รับความรู้จากการค้นพบแนวคิดที่สำคัญด้วยตนเอง นอกจากนี้การใช้แอนิเมชั่นและวิดีทัศน์ยังช่วยเพิ่มความเข้าใจของนักเรียนในระดับจุลภาค ระดับมหภาค และสัญลักษณ์ ช่วยเติมเต็มแนวคิดของนักเรียนให้สมบูรณ์ เพื่อเลี่ยงหลีกแนวคิดคลาดเคลื่อน

2. ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากการศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียน พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับต่ำ (n = 16, 76.19%) และระดับกลาง (n = 5, 23.81%) และไม่มีนักเรียนคนใดมีทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับสูง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของนักเรียนก่อนเรียน พบว่า นักเรียนมีการสื่อสารกับผู้อื่นน้อยหรือจะสื่อสารเมื่อบอกให้พูด เมื่อนักเรียนมีการสื่อสารน้อยหรือไม่สื่อสารทำให้มีส่วนร่วมในการทำงานค่อนข้างน้อยหรืออาจไม่มีส่วนร่วมในการทำงาน สอดคล้องกับงานวิจัย

ของ วราพร สิทธิ์พรสุวรรณ และฉัตรวรรณ์ ลัญฉวรรธนะกร (2562, น. 11) ที่ได้เก็บข้อมูลจากผลการสังเกตทักษะการทำงานร่วมกันครั้งแรก พบว่า ขณะที่นักเรียนทำงานร่วมกัน นักเรียนส่วนใหญ่ยังทำกิจกรรมร่วมกับสมาชิกในกลุ่มได้ไม่ดีนัก บางคนไม่ช่วยเพื่อนในการทำงาน

หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ พบว่านักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับกลาง (n = 11, 52.38%) และในระดับสูง (n = 10, 47.62%) เพิ่มขึ้น และมีค่าพัฒนาการทักษะการทำงานร่วมกันอยู่ในระดับกลาง (N-gain = 0.59) แสดงว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ช่วยส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนได้ (Lai, 2011, p. 19) ปูตรี อังไกรโตะและอลิมา (Putri, Anggraito, & Alimah, 2018, p. 144) ระบุว่า กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะชี้แนะจะช่วยให้นักเรียนทำงานร่วมกับสมาชิกในกลุ่มได้ดี ถ้านักเรียนมีปฏิสัมพันธ์และแลกเปลี่ยนข้อมูลกับสมาชิกผ่านกลุ่มย่อย ซึ่งการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์มีขั้นตอนที่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดทักษะการทำงานร่วมกัน 3 ขั้น คือ ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป และขั้นขยายความรู้ มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นสำรวจและค้นหา เป็นขั้นที่สำคัญที่ส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันครบทั้ง 3 องค์ประกอบ ครูผู้สอนได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมร่วมกันเป็นกลุ่ม เช่น ทำการทดลอง สืบค้นข้อมูล เป็นต้น และนักเรียนแต่ละคนได้เรียนรู้จากการปฏิบัติจริงด้วยตนเองที่บ้าน สอดคล้องกับนิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ (2563, น. 107) กล่าวว่า การดำเนินกิจกรรมกลุ่ม ควรส่งเสริมให้นักเรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์ตรงและรู้จักกำหนดบทบาทหน้าที่ ให้สมาชิกทุกคนมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมและทำงานอย่างเป็นระบบ ในขั้นนี้นักเรียนได้ทำงานร่วมกันผ่านทาง google meet ของกลุ่ม ซึ่งการทำงานร่วมกันให้สำเร็จนักเรียนต้องสื่อสารกับสมาชิกกลุ่ม ก่อนเริ่มทำกิจกรรมนักเรียนมีการเจรจากำหนดหน้าที่และภาระงาน วางแผนการทำงาน จากนั้นปฏิบัติตามหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย สอดคล้องกับมนตรี จันตะมะ, และคนอื่น ๆ (2563, น. 154) ที่ระบุว่าในการหาข้อมูลควรให้นักเรียนกำหนดบทบาทหน้าที่ก่อนทำกิจกรรมเพื่อให้สมาชิกสามารถช่วยงานกลุ่มได้เต็มที่ ในการทำกิจกรรมการทดลองนักเรียนแต่ละคนจะทำการทดลองตามวัสดุอุปกรณ์ที่ตนเองได้รับและมีนักเรียนบางกลุ่มทำการทดลองของตนเองให้สมาชิกในกลุ่มดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไปพร้อม ๆ กัน จากนั้นบันทึกผลการทดลองลงในใบกิจกรรมที่อยู่ใน google document เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลของกันและกัน บางกลุ่มมีการสื่อสารแบ่งปันข้อมูลที่ได้จากการทดลองและได้จากการสืบค้นข้อมูลทันที หากข้อมูลคำตอบไม่ตรงกันนักเรียนจะอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและรับฟังความคิดเห็นของสมาชิกกลุ่มทันที ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้ข้อมูลต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน และมีการคัดเลือกข้อมูลที่น่าเชื่อถือ

มานำเสนอแก่สมาชิกในชั้นเรียน นอกจากนี้นักเรียนยังสามารถติดตามความก้าวหน้าการทำงานของสมาชิกและงานของกลุ่มผ่านใบกิจกรรมใน google document หากพบข้อมูลส่วนใดที่ยังไม่เรียบร้อยนักเรียนจะช่วยกันทำให้สมบูรณ์เพื่อรักษาคะแนนของกลุ่ม สอดคล้องกับปิยนันท์ บุญโพธิ์ และนิลมณี พิทักษ์ (2554, น. 116) ที่ระบุว่าในการทำงานกลุ่มนักเรียนทุกคนจะให้ความร่วมมือกันและรับผิดชอบต่องานของตนเองเพราะต้องการให้คะแนนของกลุ่มสูงกว่ากลุ่มอื่น ทั้งนี้นักเรียนมีการปรับตัวในการทำงานร่วมกับผู้อื่น และยอมรับฟังคำตอบที่สมาชิกในกลุ่มสืบค้นมาหรือคำตอบที่สืบค้นมาได้ตรงกัน จึงไม่ค่อยพบการแก้ไขความขัดแย้งหรือกำกับการทำงานของกลุ่ม ทำให้ทักษะการทำงานร่วมกันองค์ประกอบด้านการกำกับการทำงานของกลุ่มมีค่าพัฒนาการและค่าอิทธิพลน้อยกว่าองค์ประกอบอื่น

ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป เป็นขั้นที่นักเรียนมีพฤติกรรมการทำงานคล้ายคลึงกับขั้นสำรวจและค้นหา กล่าวคือ นักเรียนบันทึกผลลงในใบกิจกรรมเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลแก่สมาชิกกลุ่มแล้วอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับผลการทดลองและผลการสืบค้นข้อมูลผ่านทาง google meet ของกลุ่ม ระหว่างการทำกิจกรรม พบว่า เมื่อสมาชิกในกลุ่มไม่สามารถอภิปรายผลการทดลองของตนเองได้ สมาชิกคนอื่นจะเข้ามาช่วยเติมคำตอบให้สมบูรณ์ก่อนนำเสนอ ซึ่งการที่นักเรียนสามารถติดตามตรวจสอบการทำงานของสมาชิกในกลุ่มทำให้นักเรียนสามารถช่วยเหลือสมาชิกในกลุ่มได้ทันทีเมื่อจำเป็น (Johnson, & Johnson, 2003, p. 343)

ขั้นขยายความรู้ ในขั้นนี้นักเรียนได้ทำกิจกรรมร่วมกันอีกครั้งโดยครูผู้สอนนำเสนอสถานการณ์ใหม่ให้นักเรียนนำความรู้ที่ได้มาช่วยกันหาคำตอบผ่านทาง google meet ของกลุ่ม อย่างไรก็ตาม จากการสังเกตพบว่า ในขั้นนี้นักเรียนมีเวลาในการทำกิจกรรมน้อยเมื่อเทียบกับขั้นสำรวจและค้นหา ทำให้การแสดงพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของนักเรียนบางอย่างจึงไม่เด่นชัด นักเรียนแต่ละกลุ่มต้องช่วยกันทำงานให้เสร็จตามเวลาที่กำหนด

จากการสังเกตพฤติกรรมการทำงานร่วมกัน พบว่า นักเรียนบางกลุ่มมีการสื่อสารไม่ตลอดทั้งงานเพราะต่างคนต่างเงียบไปค้นหาคำตอบ แต่มีนักเรียนส่วนใหญ่ที่สื่อสารกันตลอดการทำงานทำให้นักเรียนในกลุ่มมีส่วนร่วมในการทำงานตลอดเวลา มีการทบทวนคำตอบที่สืบค้นได้ไปพร้อม ๆ กัน และมีการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทันทีเมื่อมีความคิดเห็นที่ไม่ตรงกัน ซึ่งสะท้อนว่านักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกันตามที่ลาย (Lai, 2011, p. 25) ระบุไว้ว่า เมื่อนักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมอย่างกระตือรือร้นแสดงว่านักเรียนมีทักษะการทำงานร่วมกัน ดังนั้นในการพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนจึงควรให้เวลากับนักเรียนในการทำกิจกรรมเพื่อแสดง

พฤติกรรมเหล่านั้นออกมาให้ได้มากที่สุด และควรให้นักเรียนได้ฝึกจากการปฏิบัติอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ (นิตยา วงค์ใน และคนอื่น ๆ, 2563, น. 107)

อย่างไรก็ตามผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีต่อทักษะการทำงานแบบร่วมมือในงานวิจัยนี้ต่ำกว่าผลที่เกิดขึ้นในงานวิจัยของปูทรี อังไกรโตะและอลิมา (Putri et al., 2018, p. 144) ที่ได้จัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะชี้แนะ (Guided inquiry) และนิตยา วงค์ใน, และคนอื่น ๆ (2563, น. 99) ที่ใช้กระบวนการเรียนรู้แบบโพกิล ซึ่งทั้งสองงานนั้นได้จัดการเรียนรู้ในห้องเรียนปกติ แต่จากการสัมภาษณ์นักเรียน นักเรียนระบุว่า การทำงานร่วมกันด้วยการสืบเสาะแบบออนไลน์ นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กันภายในกลุ่มเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นอาจจะเป็นไปได้ว่าในงานวิจัยนี้และงานวิจัยก่อนหน้าวัดองค์ประกอบการทำงานแบบร่วมมือที่แตกต่างกันจึงทำให้ผลที่ได้แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทั้งแบบห้องเรียนปกติและในห้องเรียนออนไลน์สามารถพัฒนาทักษะการทำงานแบบร่วมมือได้

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ที่มีประสิทธิภาพ ต้องส่งเสริมให้นักเรียนได้ทำการทดลองและทำกิจกรรมด้วยตนเอง ดังนั้นครูผู้สอนต้องเตรียมอุปกรณ์ชุดอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้แก่นักเรียนก่อนเริ่มเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์

1.2 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ต้องใช้กิจกรรมที่ต่างกันเพื่อกระตุ้นให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ซึ่งจะใช้เวลาค่อนข้างนาน ดังนั้นผู้สอนจะต้องกำหนดแนวทาง และช่องทางในการสื่อสารที่ให้สมาชิกในกลุ่มสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างสะดวก และให้นักเรียนแต่ละคนรับผิดชอบเฉพาะส่วนและกระตุ้นการทำงานของนักเรียนเป็นระยะ

1.3 ก่อนเรียนเข้าบทเรียนเรื่องเคมีไฟฟ้า ครูควรทบทวนความรู้เดิมของนักเรียนในเรื่องการเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก การเขียนสมการไอออนิก การดุลสมการ และเลขออกซิเดชัน เนื่องจากเป็นความรู้พื้นฐานในการเรียนเรื่องเคมีไฟฟ้า ซึ่งผู้วิจัยพบว่านักเรียนยังไม่สามารถเขียนสมการการแตกตัว การดุลสมการ และการเรียกชื่อสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้ถูกต้อง

1.4 การส่งเสริมทักษะการทำงานร่วมกันต้องให้เวลาที่เพียงพอกับนักเรียนในการทำงานแลกเปลี่ยนสื่อสารรักษาความเข้าใจร่วมกัน รวมถึงปรับพฤติกรรมของตนเองเพื่อให้บรรลุ

เป้าหมายของกลุ่ม ดังนั้นการจัดการเรียนรู้จะต้องจัดกิจกรรมและเวลาให้เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนของการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนสามารถแสดงพฤติกรรมเหล่านั้นออกมาได้

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย

2.1 จากข้อมูลที่ได้จากการวิจัยพบว่าหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์สามารถพัฒนาแนวคิดของนักเรียนได้ แต่ยังคงพบแนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียนอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแนวคิด เรื่อง การเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และหน้าที่ของสะพานเกลือ ในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษากลยุทธ์หรือเทคนิคการสอนเพิ่มเติมมาใช้ในการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์เพื่อแก้ไขแนวคิดคลาดเคลื่อนของนักเรียน

2.2 แบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า มีลักษณะเป็นปรนัยแบบ 2 ลำดับขั้น โดยขั้นที่ 1 เป็นแบบตัวเลือก ขั้นที่ 2 เป็นการให้อธิบายเหตุผลของคำตอบ ซึ่งยากที่นักเรียนจะเขียนอธิบายเหตุผลให้ครบถ้วนสมบูรณ์ ในงานวิจัยครั้งต่อไปอาจจะเลือกใช้การอธิบายเหตุผล เป็นแบบเลือกตอบ

2.3 จากผลการวิจัยพบว่าทักษะด้านการกำกับการทำงานของกลุ่มยังมีค่าพัฒนาการที่ต่ำ ดังนั้นงานวิจัยครั้งต่อไปอาจจะศึกษารูปแบบหรือเทคนิคการเรียนรู้ที่ส่งเสริมด้านการกำกับการทำงานของกลุ่มในการจัดการเรียนรู้ออนไลน์

2.4 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างการวิจัยครั้งนี้ไม่มีนักเรียนก่อนเรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ในกลุ่มสูง ทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่าผลของการจัดการเรียนรู้สามารถพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนในกลุ่มสูงได้ ดังนั้นน่าจะต้องมีการศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ของนักเรียนในกลุ่มสูงเพิ่มเติม

บรรณานุกรม

Abraham, M. R., Grzybowski, E. B., Renner, J. W., & Marek, E. A. (1992). Understandings and misunderstandings of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of research in science teaching,* 29(2), 105-120.

Adesoji, F. A., & Idika, M. I. (2015). Effects of 7E Learning Cycle Model and Case-Based Learning Strategy on Secondary School Students' Learning Outcomes in Chemisry. *Journal of the International Society for Teacher Education,* 19(1), 7-17.

Akar, E. (2005). *Effectiveness of 5E Learning Cycle Model on Students' Understanding of Acid-Base Concepts.* (Master of Science). Middle East Technical University.

Alberta Learning. (2004). *Focus on inquiry : a teacher's guide to implementing inquiry-based learning*. Alberta: Alberta, Canada.

Bell, R. L., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying Inquiry Instruction: Assessing the Inquiry Level of Classroom Activities. *Science Teacher,* 72(7), 30-33.

Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Scotter, P. V., Westbrook, A. L., Landes, N., & Carlson, J. (2006). *The BSCS 5E Instruction Model: Origins and Effectiveness.* A Report Prepared for the office of science Education and National Institutes of Health.

Ceylan, E., & Geban, O. (2009). Facilitating Conceptual Change in Understanding State of Matter and Solubility Concepts by Using 5E Learning Cycle Model. *Hacettepe University Journal of Education,* 36, 41-50.

Colburn, A. (2000). An Inquiry Primer. *Science Scope*, 42-44.

Community College Resarch Center. (2013, April). Creating an Effective Online Instructor Presence. *Teachers College, Columbia University*

Copeland, R. W. (1984). *How Children Learn Mathematics: Teaching Implications of Piaget's Research* (4th ed.): Macmillan.

Creswell, J. W., & Clark, V. L. P. (2018). *Designing and Conducting Mixed Methods Research* (3 nd). Los Angeles: SAGE Publications, Inc.

Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and Paradigms: a Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students. *Studies in Science Education,* 5(1), 61-84.

Eisenkraft, A. (2003). Expanding the 5E Model: A proposed 7E model emphasizes "transfer of learning" and the importance of eliciting prior understanding. *THe Science Teacher,* 70(6), 56-59.

Fisher, K. M. (1985). A misconception in biology: Amino acids and translation. *Journal of research in science teaching,* 22(1), 53-62.

GÖK, G. (2014). *The Effect of 7E Learning Cycle Instruction on 6th Grade Students' Conceptual Understanding of Human Body Systems, Self-Regulation* (DOCTOR OF PHILOSOPHY). MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY.

Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992, August). Grade‐12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of research in science teaching,* 29(6), 611-628.

Haidar, A. H. (1997). Prospective chemistry teachers' conceptions of the conservation of matter and related concepts. *Journal of research in science teaching,* 34(2), 181-197.

Hanson, D. M. (2006). *Instructor's Guide to Process Oriented Guided Inquiry Learning*. Stony Brook University: Pacific Crest.

Hesse, F., Care, E., Buder, J., Sassenberg, K., & Griffin, P. (2015). A Framework for Teachable Collaborative Problem Solving Skills. In P. Griffin & E. Care *Assessment and Teaching of 21st Century Skills Methods and Approach*: Springer, Dordrecht.

Hewson, M. G., & Hewson, P. W. (1983). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning. *Journal of research in science teaching,* 20(8), 731-743.

Hsiao, H.-S., Chen, J.-C., Hong, J.-C., Chen, P.-H., Lu, C.-C., & Chen, S. Y. (2017). A five-stage Prediction-observation-explanation inquiry-based Learning Model to improve Students' Learning Performance in Science Courses. *Journal of Mathematics Science and Technology Education,* 13(7), 3393-3416.

Johnson, D. W. (1973). *Interpersonal Skills for Cooperative Work*. Retrived from https://eric.ed.gov/?id=ED078911

Johnson, H., และ Hyde, J. (2003). Towards modeling individual and collaborative construction of jigsaws using task knowledge structures (TKS). *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), 10*(4), 339-387.

Karplus, R., & Butts, D. P. (1977). Science teaching and the development of reasoning. *Journal of research in science teaching,* 14(2), 169-175.

Ladd, G. W., Kochenderfer-Ladd, B., Visconti, K. J., Ettekal, I., Sechler, C. M., & Cortes, K. I. (2014). Grade-School Children's Social Collaborative Skills: Links With Partner Preference and Achievement. *SAGE Journals,* 51(1), 152-183.

Lai, E. R. (2011). *Collaborative: A Literature Review*. Retrived from https://images.pearsonassessments.com/images/tmrs/Collaboration-Review.pdf

Lederman, J. S. (2009). Teaching scientific inquiry: Exploration, directed, guided, and opened-ended levels. *National geographic science: Best practices and research base*, 8-20.

Marek, E. (1986). Understandings and Misunderstandings of Biology Concepts. *The American Biology Teacher,* 48(1), 37-40.

Marfilinda, R., Rossa, R., Jendriadi, J., & Apfani, S. (2020). The Effect of 7E Learning Cycle Model toward Students' Learning Outcome of Basic Science Concept. *JOURNAL OF TEACHING AND LEARNING IN ELEMENTARY EDUCATION (JTLEE),* 3(1), 77-87.

McCarthy, B. (1982). Improving Staff Development Through CBAM and 4Mat. *Educational Leadership*.

Moog, R. S., Creegan, F. J., Hanson, D. M., Spencer, J. N., & Straumanis, A. R. (2006). Process-oriented guided inquiry learning: POGIL and the POGIL project. *Metropolitan Universities,* 17(4), 41-52.

Moog, R. S., & Spencer, J. N. (2008). POGIL: An Overview. In R. S. Moog & J. N. Spencer *Process Oriented Guided Inquiry Learning (POGIL)* (Chapter 1 pp. 1-13): American Chemical Society.

Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education,* 69(3), 191-196.

National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, D.C: National Academy Press.

National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards : A Guide for Teaching and Learning* Washington, DC: The National Academies Press.

Novak, J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of research in science teaching,* 27(10), 937-949.

Nuangchalerm, P. (2014). Inquiry-based Learning in China: Lesson learned for School Science Practices. *Asian Social Science,* 10(13), 64-71.

Osborne, R. J., Bell, B. F., & Gilbert, J. K. (1983). Science teaching and children's views of the world. *European Journal of Science Education,* 5(1), 1-14.

Partnership for 21st Century Learning. (2019). Framework for 21st Century Learning Definitions. Retrieved from https://www.battelleforkids.org/learning-hub/learning-hub-item/framework-for-21st-century-learning-definitions

Peterson, R. F., Treagust, D. F., & Garnett, P. (1989). Development and application of a diagnostic instrument to evaluate grade-11 and -12 students' concepts of covalent bonding and structure following a course of instruction. *Journal of research in science teaching,* 26(4), 301-314.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education,* 66(2), 211-227.

Putnam, J. W., Rynders, J. E., Johnson, R. T., & Johnson, D. W. (1989, April). Collaborative Skill Instruction for Promoting Positive Interactions between Mentally Handicapped and Nonhandicapped Children. *SAGE Journals,* 55(6), 550-557.

Putri, F. A., Anggraito, Y. U., & Alimah, S. (2018). The Effectiveness of Guided Inquiry Strategy on Students' Collaborative Skill. *Journal of Biology Education,* 7(2), 144-150.

Qing, Z., Jing, G., & Yan, W. (2010). Promoting preservice teachers' critical thinking skills by inquiry-based chemical experiment. *Procedia Social and Behavioral Sciences* 2, 4567-4603.

Renner, J. W., Abraham, M. R., Grzybowski, E. B., & Marek, E. A. (1990). Understandings and misunderstandings of eighth graders of four physics concepts found in textbooks. *Journal of research in science teaching,* 27(1), 35-54.

Roschelle, J., & Teasley, S. D. (1995). The Construction of Shared Knowledge in Collaborative Problem Solving. In C. O. Malley *Computer Supported Collaborative Learning* (Vol. 128, pp. 69-97). Berlin, Heidelberg: Springer.

Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (1997). Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. *Journal of research in science teaching,* 34(4), 377-398.

Scoular, C., Duckworth, D., Heard, J., & Ramalingam, D. (2020). *Collaboration: Skill Development Framework*. Retrived from https://research/acer/edu.au/ar_misc/42

Sekeres, D. C., Coiro, J., Castek, J., & Guzniczak, L. A. (2014). Wondering + online inquiry = learning. *Phi Delta Kappan,* 96(3), 44-48.

Sesen, B. A., & Tarhan, L. (2013). Inquiry-Based Laboratory Activities in Electrochemistry: High School Students' Achievements and Attitudes. *Research in Science Education,* 43(413-435).

Shepherd, D. L., & Renner, J. W. (1982). Student Understandings and Misunderstandings of States of Matter and Density Changes. *School Science and Mathematics,* 82(8), 650-665.

Slavin, R. E. (1982). *Cooperative Learning: Student Teams*: National Education Association of the United Sates.

Supasorn, S. (2015). Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit. *Chemistry Education Research and Practice,* 16, 393-407.

Supasorn, S., & Promarak, V. (2015). Implementation of 5E inquiry incorporated with analogy learning approach to enhance conceptual understanding of chemical reaction rate for grade 11 students. *Chemistry Education Research and Practice,* 16(1), 121-132.

Swan, K., Garrison, D. R., & Richardson, J. C. (2009). *A Constructivist Approach to Online Learning: The Community of Inquiry Framework* Information Technology and Constructivism in Higher Education: Progressive Learning Frameworks. Hershey,: PA: IGI Global.

Tafoya, E., Sunal, D. W., & Knecht, P. (1980). Assessing inquiry potential: A tool for curriculum decision makers. *School Science and Mathematics,* 80(1), 43-48.

Thaiposri, P., & Wannapiroon, P. (2015). Enhancing students' critical thinking skills through teaching and learning by inquiry-based learning activities using social network and cloud computing. *Social and Behavioral Sciences,* 174, 2137-2144.

Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education,* 10(2), 159-169.

Trundle, K. C., Atwood, R. K., Christopher, J. E., & Sackes, M. (2010). The Effect of Guided Inquiry-Based Instruction on Middle School Students' Understanding of Lunar Concepts. *Research in Science Education,* 40, 451-478.University of Strathclyde Glasgow. (2020). Teamwork & Collaboration Skills. Retrived from https://www.strath.ac.uk/professionalservices/careers/skills/peopleskills/teamworkcollaborationskills/

Wheatley, G. H. (1991). Constructivist Perspectives on Science and Mathematics Learning. *Science Education,* 75(1), 9-21.

Worathan Tecnology. (2020). การเรียนการสอนออนไลน์คือ ? สืบค้นจาก https://www.worathan.co.th/การเรียนการสอนออนไลน์

กนกพร แสงสว่าง. (2540). การศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการทำงานร่วมกันในวิชา ส305 โลกของเรา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่สอนโดยการเรียนแบบ

ร่วมมือโดยใช้เทคนิคจิกซอว์ กับการสอนตามปกติ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพฯ.

กมลนุช ไชยมัชชิม, & เสนอ ชัยรัมย์. (2557). การส่งเสริมความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง สารชีวโมเลกุล โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้. หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 5(2), 165-175.

กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551.

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

กฤษณา พงษ์วาปี. (2550). การศึกษาความสามารถในการอ่าน และเขียนภาษาไทยและทักษะการทำงานร่วมกัน ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โดยรูปแบบการสอน *CIRC.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, นครราชสีมา.

กัลยา ภูทัตโต. (2559). ผลของการใช้การเรียนรู้สืบสอบแบบแนะนำเน้นกระบวนการที่มีต่อมโนทัศน์ทางเคมีและความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. *An Online Journal of Education,* 11(1), 266-281.

กุลธิดา สุวัชระกุลธร. (2556). การพัฒนาแนวคิดและการถ่ายโอนแนวคิดเรื่องแสงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้น. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กุศลิน มุสิกุล. (2557). การสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์(Scientific Inquiry). สืบค้นจาก http://earlychildhood.ipst.ac.th/wp-content/uploads/sites/25/2014/09/sience_knowled_search.pdf

เกียรติชัย เพ็ญวิจิตร. (2560). ผลการจัดการเรียนรู้ด้วยบทเรียน เรื่อง คลื่น โดยใช้โปรแกรมกูเกิ้ลไซต์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, นครสวรรค์.

ขวัญฤทัย เที่ยงจันทราทิพย์. (2553). การพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับระบบต่อมไร้ท่อและความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จตุพร พงศ์พีระ. (2560). รูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

จรรยา ดาสา. (2560, กรกฎาคม-ธันวาคม). การสืบเสาะวิทยาศาสตร์ในมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ของประเทศสหรัฐอเมริกา. มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 8(2), 124-132.

จักรกฤษณ์ โพดาพล. (2563). การจัดการเรียนรู้ออนไลน์ : วิถีที่เป็นไปทางการศึกษา. สืบค้นจาก https://gsmis.snru.ac.th/e-thesis/file_att1/20180119554212281 42_ref.pdf

จารุวรรณ จันทมัตตุการ, เชษฐ์ ศิริสวัสดิ์, & ปริญญา ทองสอน. (2562, ตุลาคม-ธันวาคม). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาวิชาเคมี เรื่อง ของแข็ง ของเหลว แก๊ส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ระหว่างการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น (5E) ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาและการจัดการเรียนรู้แบบปกติ. ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 21(4), 72-92.

จิตตมาส สุขแสวง. (2549). การศึกษาแนวคิดของนักเรียน และพฤติกรรมการสอนของครู เรื่อง กรด-เบส ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จิรัชยา มหาวรรณ์. (2552). ผลการใช้กิจกรรมการเรียนแบบร่วมมือเทคนิคกลุ่มการแข่งขันที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนธรรมาราชศึกษา จังหวัดเชียงใหม่(วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพฯ.

จุฑารัตน์ แตงอ่อน. (2554). การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือเพื่อพัฒนาแนวคิด เรื่องสมบัติของสาร ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เจษฎา ราษฎร์นิยม, สุเมธพงศ์ จงรักษา, อารยา ลี, & มนมนัส สุดสิ้น. (2562, กันยายน-ธันวาคม). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดวิเคราะห์ เรื่องพันธุศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT และการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ผังมโนมติรูปตัววี. ครุศาสตร์อุตสาหกรรม, 18(3), 25-35.

ชนธิชา ปะนัดโส. (2555). การจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีสืบเสาะหาความรู้ที่มีผลต่อความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง สารและสมบัติของสาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชมพู สุรกาญจนชาติ. (2557). ผลของการให้คำปรึกษาระดับประกาศนียบัตรโดยใช้บรรณบำบัดที่มีต่อการเรียนรู้แบบนำตนเองของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 2 วิทยาลัยเทคโนโลยีปัญญาภิวัฒน์. (ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ. (การวิจัยและพัฒนาศักยภาพมนุษย์).

ชัยยันต์ ศรีเชียงหา. (2554). การพัฒนาแนวคิดเรื่องสมดุลเคมีและเจตคติต่อวิชาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชื่นจิต แสนสุด. (2553). การพัฒนาแนวคิด ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อการเรียนการสอนพันธุกรรมของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ด้วยวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชูศรี วงศ์รัตนะ. (2560). เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย (พิมพ์ครั้งที่ 13). กรุงเทพฯ ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ฑิฆัมพร โตสำลี. (2553). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ที่มีการเพิ่มระดับการสืบเสาะหาความรู้เรื่องพันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทรงพล ผดุงพัฒนากูล. (2561). ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะของนักศึกษาครูเคมีก่อนและหลังการฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู. วิทยาศาสตร์ มศว, 34(1), 225-246.

ธนัทพงษ์ วังทะพันธ์, ชลทิพย์ จันทร์จำปา, & วนิดา วอนสวัสดิ์. (2561). การศึกษา ลิพิด โปรตีน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5*E*) เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 2). สืบค้นจาก http://journalgrad.ssru.ac.th/index.php/miniconference/article/view/1730

ธาดา สืบหลินวงศ์, พรรณแข มไหสวริยะ, & สุธี พานิชกุล. (2550). แนวทางจริยธรรมการทำวิจัยในคนในประเทศไทย พ.ศ. 2550. กรุงเทพฯ: ชมรมจริยธรรมการทำวิจัยในคนในประเทศไทย.

ธิชานันท์ บุตรวิเศษ. (2555). การพัฒนามโนมติและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องไฟฟ้าเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้รูปแบบจากการแก้ปัญหา. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ธีรพงษ์ แสงสิทธิ์. (2555). การศึกษาตัวแทนความคิด ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี ด้วยการสร้างโมเดล *Clay animation* ร่วมกับการเปรียบเทียบ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นภาพร เกตทอง. (2554). *การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีและความสามารถในการเรียนรู้ด้วยการนำตนเองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบแก้ปัญหากับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้.* (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ).

นรินทร์ กระพี้แดง. (2542). ผลของการเรียนแบบร่วมมือโดยใช้เทคนิคจิกซอว์ ที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ระบอบประชาธิปไตย ในรายวิชา ส402 สังคมศึกษา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน จังหวัดขอนแก่น. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นฤดล บรรจง. (2557). ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้ยุทธศาสตร์การเปลี่ยนแปลงมโนมติ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นันทยา ศรีขาว. (2556). การพัฒนาแนวคิดและเจตคติต่อวิชาเคมีเรื่องเคมีอินทรีย์ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นาตยา ปิลันธนานนท์. (2542). การเรียนรู้ความคิดรวบยอด = *Concept learning*. กรุงเทพฯ: แม็ค.

นิตยา ม่วงพะเนาว์, & วาสนา กีรติจำเริญ. (2561). ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (7E) ร่วมกับผังมโนทัศน์. วิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 29(3), 40-49.

นิตยา วงค์ใน, สมเกียรติ อินทสิงห์, & นทัต อัศภาภรณ์. (2563, กันยายน-ธันวาคม). ผลการใช้กระบวนการเรียนรู้แบบโพกิลที่มีต่อมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และทักษะการท างานแบบร่วมมือของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4. ราชภัฏเชียงใหม่, 21(3), 99-109.

นิติธรรม จันทร์แจ่ม, นพมณี เชื้อวัชรินทร์, & สพลณภัทร์ ศรีแสนยงค์. (2558). การศึกษาผลการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการสอนโดยใช้รูปแบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5E) ร่วมกับการเรียนแบบเชิงรุก (Active Learning) : กรณีศึกษาโรงเรียนดัดดรุณี จังหวัดฉะเชิงเทรา. การศึกษาและการพัฒนาสังคม, 11(2), 71-82.

นิธิมา โกยสมบูรณ์. (2556). การพัฒนาแนวคิดเรื่องดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ของนักเรียนที่มีวุฒิภาวะไม่สมวัยชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 โดยการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เนาวรัตน์ โตประศรี, & สถาพร ขันโต. (2555, มกราคม-มีนาคม). ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง เศษส่วนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT ศึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 6(1).

บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์. (2534). เทคนิคการสร้างเครื่องมือรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิจัย (พิมพ์ครั้งที่ 3 ฉบับปรับปรุงใหม่). นครปฐม: คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

ประภัทสร บุญทวีกุลสวัสดิ์. (2553). การพัฒนาแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง การรับรู้และตอบสนองโดยใช้วิธีการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์แบบ 5*Es*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

ประสาท เนืองเฉลิม. (2558). การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิยะนันท์ บุญโพธิ์, และ นิลมณี พิทักษ์. (2554, ตุลาคม-ธันวาคม). การพัฒนาทักษะการทำงานกลุ่มโดยใช้การสอนแบบร่วมมือกันเรียนรู้ด้วยเทคนิคจิ๊กซอว์ร่วมกับผังความคิดของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ศึกษาศาสตร์) ระดับประถมศึกษา. *วารสารศึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษาปีที่ 5, 4*(4), 110-118.

พรทิพย์ เมืองแก้ว. (2553). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.

พรรณรัมภา ยิ่งเฮง, และ ณัฐพล รำไพ. (2020). การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้แบบผสมผสานผ่านเทคโนโลยีคลาวด์ตามแนวคิดจินตวิศวกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์เชิงนวัตกรรมของผู้เรียนระดับอุดมศึกษา. *NRRU Community Research Journal, 14*(3), 208-221.

พรรณพนัชกร เจนธนวิทย์. (2554). ผลการสอนโดยใช้รูปแบบการเรียนการสอนแบบ 4*MAT* เรื่อง เศรษฐศาสตร์การบริโภค และความพอเพียง รายวิชาสังคมศึกษา 2 ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนปากช่อง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, กรุงเทพฯ.

พรรณี ลีกิจวัฒนะ. (2550). วิธีการวิจัยทางการศึกษา (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พรรณี อุดมโภชน์. (2554). การพัฒนาแนวคิด เรื่อง พอลิเมอร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้แบบโครงการ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พวงลดา วรสาร. (2548). ผลการใช้แผนผังมโนมติในกิจกรรมการเรียนรู้วิชาเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. (รายงานการศึกษาอิสระปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

พัชรี เทพสุริบูรณ์, จิต นวนแก้ว, & สุมาลี เลี่ยมทอง. (2562, มกราคม-มิถุนายน). การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ความหลากหลายทางชีวภาพที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ 5E เสริมด้วยเทคนิค 4MAT. ศึกษาศาสตร์ มสธ., 12(1).

พิไลวรรณ พรรณขาม, กิตติมา พันธ์พฤกษา, & ภัทรภร ชัยประเสริฐ. (2562, ตุลาคม-ธันวาคม). ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ที่เน้นการคิดอย่างมีวิจารณญาณเรื่อง เคมีอินทรีย์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. ศึกษาศาสตร์ มหาทยาลัยนเรศวร, 21(4), 224-238.

โพธิศักดิ์ โพธิเสน. (2558). *การพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่ใช้แบบจำลองเป็น*

ฐาน. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร). สืบค้นจาก https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI=10.14457/KU.the.2015.73

ภพ เลาหไพบูลย์. (2537). แนวการสอนวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

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

ภาธร พงศ์ไพจิตร. (2556). การพัฒนาความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ฮอร์โมน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับเทคนิคการเรียนแบบร่วมมือ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มธุรินทร์ สุทธิเชษฐ์. (2556). การพัฒนาแนวคิดและเจตคติต่อการจัดการเรียนรู้เรื่องพันธะเคมีของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ที่มีการเพิ่มระดับการสืบเสาะหาความรู้. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มนตรี จันตะมะ, สิรินภา กิจเกื้อกูล, & มลิวรรณ นาคขุนทด. (2563, มกราคม-มิถุนายน). การจัดการเรียนรู้โดยใช้วิจัยเป็นฐานที่ส่งเสริมสมรรถนะการประเมินและออกแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และทักษะการท างานร่วมกันเป็นทีม เรื่อง การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของพืชดอกส าหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, 14(1), 141-157.

มนัสรินทร์ บุญญคง, ดรุณี จำปาทอง, & อุมาพร หล่อสมฤดี. (2561, มกราคม - มิถุนายน). ผลการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิคกลุ่มการแข่งขันเรื่องทวีปอเมริกาเหนือที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะการทำงานร่วมกัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัยสตูล. ศึกษาศาสตร์ มสธ., 11(1).

มุทิตา พูนวิเชียร, ปิยนุช คะเณมา, & บุษรา ยงคำชา. (2561). ผลการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้นที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาและการคิดวิเคราะห์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. ศึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 12(1), 113-125.

เมธา สีหานาท. (2546). ผลการใช้กิจกรรมการเรียนการสอนตามทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์และความสามารถในการถ่ายโยงการเรียนรู้ของนักเรียน

ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2554). พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน "สืบเสาะ". สืบค้นจาก https://dictionary.orst.go.th/

รุ่งทิพย์ ศศิธร. (2556). การเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ด้วยการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับชุดการเรียนรู้แบบ 5*E*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.

รุ่งนภา เอียงอุบล. (2555). การพัฒนาแนวคิดเรื่องกรดและเบสของนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รุจิรา เศารยะสกุล, ฐาปนี สีเฉลียว, & ศรีสุดา สิงห์ชุม. (2561, พฤษภาคม-สิงหาคม). ผลการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือตามรูปแบบ แอล.ที เพื่อพัฒนาทักษะการทำงานเป็นทีมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม (ฝ่ายมัธยม). เทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสารคาม, 1(2), 98-105.

ฤดีรัตน์ สาระบุตร, สิทธิศักดิ์ จุลศิริพงษ์, & วาสนา กีรติจำเริญ. (2557, พฤษภาคม-สิงหาคม). ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น. ราชพฤกษ์, 12(2), 70-76.

ล้วน สายยศ, & อังคณา สายยศ. (2538). เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

วชิรพร ดิษฐสมบูรณ์. (2559). การจัดการเรียนสอนแบบสืบเสาะบนเฟซบุ๊กที่มีต่อผลการเรียนรู้และเจตคติวิทยาศาสตร์ของเยาวชน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

วรัญตี การะเกตุ. (2555). การพัฒนาแนวคิด เรื่อง สารและสมบัติของสาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้แบบไม่กำหนดแนวทาง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วราพร สิทธิ์พรสุวรรณ, & ฉัตรวรรณ์ ลัญฉวรรธนะกร. (2562). ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีการสอนแบบคาเริสเซิลร่วมกับเกมการศึกษาที่มีต่อทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียน

ประถมศึกษาปีที่ 1. *An Online Journal of Education,* 14(1), 1-15. Retrived from https://so01.tci-thaijo.org/index.php/OJED/article/view/183795

วาสนา กีรติจำเริญ, และ อิสรา พลนงค์. (2020). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการสื่อสารและการนำเสนอของนักศึกษาระดับปริญญาตรีโดยใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5E กับวิธีการสอนโดยใช้ปรากฏการณ์เป็นฐาน. *วารสารชุมชนวิจัย มหาวิทยาราชภัฏนครราชสีมา, 14*(1), 29-43.

วิทยา สัตย์จิตร, ดวงเดือน สุวรรณจินดา, & ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์. (2563, มกราคม-มิถุนายน). ผลการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบซิปปาร่วมกับการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค STAD ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ และความสามารถในการทำงานเป็นกลุ่ม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 กลุ่มโรงเรียนเครือข่ายเกาะกลางคลองยาง จังหวัดกระบี่. ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 20(1), 147-161.

วิทยา วาโย, อภิรดี เจริญนุกูล, ฉัตรสุดา กานกายันต์, & จรรยา คนใหญ่. (2563, พฤษภาคม-สิงหาคม). การเรียนการสอนแบบออนไลน์ภายใต้สถานการณ์แพร่ระบาดของไวรัส COVID-19 : แนวคิดและการประยุกต์ใช้จัดการเรียนการสอน. ศูนย์อนามัยที่ 9, 14(34), 285-298.

วิลาสินี จันศรีใหม่, ภรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์, & สุภาพร ดาวัลย์. (2563, กรกฎาคม). การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5Es) เพื่อพัฒนาแนวคิดในระดับจุลภาค เรื่อง เซลล์กัลวานิก ผ่านการสร้างชิ้นงานภาพเคลื่อนไหว (Stop motion). สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยทักษิณ, 9, 58-78.

วิไลพร แซ่ลิ้ม. (2558). การพัฒนาแนวคิดใหม่ในหน่วยการเรียนรู้เรื่องเคมีพื้นฐานของสิ่งมีชีวิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบบริบทเป็นฐาน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศรวณีย์ ลาเต. (2553). การพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความหลากหลายทางชีวภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวทฤษฎีสรรคนิยมและการใช้แหล่งการเรียนรู้ในท้องถิ่น. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศาสตรา พรหมมาแดง. (2557). ผลการจัดการเรียนรู้เพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติของนักเรียนชั้นมัธยมึกษาปีที่ 4 เรื่อง ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส โดยใช้ยุทธศาสตร์การสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ศิริพล แสนบุญส่ง. (2560). การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนแบบโครงงานเป็นฐานผ่านสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้บนคลาวด์คอมพิวติง เพื่อส่งเสริมผลงานสร้างสรรค์ และทักษะ

การทำงานร่วมกันเป็นทีมของนักศึกษาระดับปริญญาตรี. (วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2546). การจัดสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). ความเข้าใจคลาดเคลื่อนในการจัดห้องเรียนแบบสืบเสาะและแนวทางปรับความเข้าใจ. นิตยสาร สสวท., 42(190), 3-8.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์ วิชาเคมี ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2562). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุนันทา กองตาพันธ์. (2556). *การพัฒนาการรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง สารเคมีและปฏิกิริยาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร).

สุวิทย์ คงภักดี. (2553). *ผลของการสอนดาราศาสตร์แบบสืบเสาะ โดยใช้นวัตกรรมแบบจำลองระบบโลก ดวงจันทร์ ดวงอาทิตย์ (EMS-Model).* (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.

สนทยา บ้งพรม. (2558). การพัฒนาความเข้าใจมโนมติวิทยาศาสตร์ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคทำนาย - สังเกต - อธิบาย ในขั้นขยายความรู้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.

สมศักดิ์ เกรัมย์. (2552). การศึกษาทักษะการงานร่วมกัน โดยใช้การเรียนแบบร่วมมือเรื่องระบอบการปกครอง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. (วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, บุรีรัมย์.

สังณหวัช สอนท่าโก. (2550). *การคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 ที่เรียนวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีสืบเสาะหาความรู้ โดยเสริมกิจกรรมการคิดอย่างมีวิจารณญาณ.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่). สืบค้นจาก https://search.lib.cmu.ac.th/search/?searchtype=.&searcharg=b1412675

สังวาล กลางประพันธ์. (2557). ผลการเรียนรู้ เรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ใช้รูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหา. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สังวาล กลางประพันธ์, & ไพศาล สุวรรณน้อย. (2558, เมษายน-มิถุนายน). ผลการเรียนรู้ เรื่อง กรด - เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากการใช้รูปแบบการเรียนรู้จากการแก้ปัญหา. ศึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 9(2), 161-167.

สิทธิชัย ลายเสมา. (2557). ระบบการเรียนรู้ร่วมกันด้วยทีมเสมือนจริงในสภาพแวดล้อมการเรียนแบบภควันตภาพโดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และทักษะการทำงานร่วมกัน. (วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

สุทธิดา จำรัส. (2557). การสอนวิทยาศาสตร์ [เอกสารประกอบการสอน]. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุนิสา ช้างพาลี. (2560). การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น โดยใช้ชุดปฏิบัติการเคมีแบบย่อส่วนเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสรรค์, นครสรรค์.

สุรชัย โฆษิตบวรชัย. (2560). ทักษะการทำงานเป็นทีม เพื่อผลงานที่ดีเลิศ. สืบค้นจาก https://stepplustraining.com/ทักษะการทำงานเป็นทีม

สุวนิตย์ บุญเพ็ง. (2558). การพัฒนาแนวคิดเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับตัวแทนความคิดที่หลากหลาย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุวิมล เขี้ยวแก้ว. (2527). การสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา. ปัตตานี : : ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

แสงประสิทธิ์, พ. (2558). ผลการใช้วัฏจักรการเรียนรู้ 5*E* ที่เสริมกิจกรรม 4*S* เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนไม่เน้นวิทยาศาสตร์. (ปริญญานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

โสภา อรุณใหม่. (2557). การศึกษาแนวคิด เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดการเรียนรู้ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้น. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรวรรณ จันทร์ฟู. (2554). การศึกษาแนวคิดเรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เมื่อเรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรักติวิซึม. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อาดีละห์ เจ๊ะแม, ณัฐนี โมพันธ์, & มัฮดี แวดราแม. (2561, มกราคม-มิถุนายน). ผลของการจัดการเรียนรู้โดยการสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ที่มีต่อความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 5(1), 11-23.

อาทิตยา จิตบาล. (2553). การใช้กิจกรรมการเรียนการสอนแบบพหุปัญญาเพื่อเพิ่มพูนความสามารถในการอ่าน การเขียนภาษาอังกฤษและทักษะการทำงานร่วมกันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายนามผู้เชี่ยวชาญ

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

1. รองศาสตราจารย์ ดร.เอกรัตน์ ทานาค	ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สลา สามิภักดิ์	สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. อาจารย์ทรัพย์ทวี อภิญญาวาท	สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ ยานนาเวศ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
4. อาจารย์วรินทร์ สุขทวี	สาขาวิชาเคมี โรงเรียนแก้งคร้อวิทยา จังหวัดชัยภูมิ

ภาคผนวก ข

- แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า
- ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน
- ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า
- ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (D) และค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า

แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะออนไลน์

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี **รายวิชาเคมี 4 ว32224**

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 **เวลา 3 คาบ(180 นาที)**

****

1. สาระเคมี

เข้าใจการเขียนและดุลสมการเคมี ปริมาณสารสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลในปฏิกิริยาเคมี สมบัติและปฏิกิริยาของกรด- เบส ปฏิกิริยารีดอกซ์และเซลล์เคมีไฟฟ้า รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

2. ผลการเรียนรู้

2.1 คำนวณเลขออกซิเดชัน และระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

2.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันและระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ทดลองเปรียบเทียบระหว่างปฏิกิริยารีดอกซ์และนอนปฏิกิริยารีดอกซ์ (P)

3.2 ระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์จากเลขออกซิเดชันของสารในปฏิกิริยา (K)

3.3 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน และระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ รวมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน (K)

3.4 นักเรียนมีความสนใจ กระตือรือร้นในการเรียน และสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ (A)

4. สาระสำคัญ/ความคิดรวบยอด

เคมีไฟฟ้า เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้า โดยปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์ ประกอบด้วยครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวรีดิวซ์และครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของตัวออกซิไดซ์

ปฏิกิริยาที่สารให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยสารที่ให้อิเล็กตรอนกับสารอื่น แล้วมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น เรียกว่า ตัวรีดิวซ์

ปฏิกิริยาที่สารรับอิเล็กตรอน เรียกว่า ปฏิกิริยารีดักชัน โดยสารที่รับอิเล็กตรอนจากสารอื่น แล้วมีเลขออกซิเดชันลดลง เรียกว่า ตัวออกซิไดส์

ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันจัดเป็นครึ่งปฏิกิริยา เมื่อรวมทั้งสองปฏิกิริยาเข้าด้วยกันจะได้ปฏิกิริยาที่เรียกว่า ปฏิกิริยารีดอกซ์

5. เนื้อหาสาระ

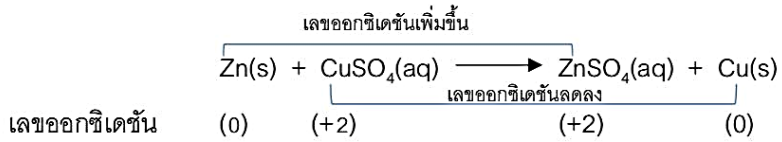
การพิจารณาว่าปฏิกิริยาใดเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์สามารถพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุในสารที่ทำปฏิกิริยาเคมีกัน เช่น ปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคลเซียมคลอไรด์และโซเดียมคาร์บอเนต

$$CaCl_2(aq) + Na_2CO_3(aq) \longrightarrow CaCO_3(s) + 2NaCl(aq)$$

เลขออกซิเดชัน (+2)(-1) (+1)(+4)(-2) (+2)(+4)(-2) (+1)(-1)

ปฏิกิริยานี้ไม่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากธาตุทุกชนิดในปฏิกิริยาเคมีไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยานอนรีดอกซ์

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะสังกะสีกับสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต



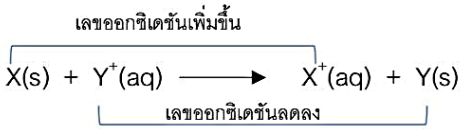
ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากมีธาตุที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน โดย Zn มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ส่วน Cu มีเลขออกซิเดชันลดลง

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

ถ้ากำหนดให้ สมการเคมีของปฏิกิริยารีดอกซ์

$$X(s) + Y^+(aq) \longrightarrow X^+(aq) + Y(s)$$

เมื่อพิจารณาสมการเคมีของปฏิกิริยารีดอกซ์ข้างต้น



พบว่า โลหะ X(s) มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น +1 โลหะ X(s) จึงเป็นตัวรีดิวซ์ ส่วนสาร $Y^+(aq)$ มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันลดลงจาก +1 เป็น 0 สาร $Y^+(aq)$ จึงเป็นตัวออกซิไดส์

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

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน $X(s) \longrightarrow X^{+}(aq) + e^{-}$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน $Y^{+}(aq) + e^{-} \longrightarrow Y(s)$

ดังนั้นเมื่อพิจารณาปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะสังกะสีกับสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ดังสมการ

$$Zn(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$$

เมื่อพิจารณาสมการเคมีของปฏิกิริยารีดอกซ์ข้างต้น

เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

$$Zn(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$$

เลขออกซิเดชันลดลง

พบว่า โลหะ Zn(s) มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น +2 โลหะ Zn(s) จึงเป็นตัวรีดิวซ์ ส่วนสาร Cu^{2+} (aq) มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันลดลงจาก +2 เป็น 0 สาร Cu^{2+} (aq) จึงเป็นตัวออกซิไดส์

สามารถเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ได้ดังนี้

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน $Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^{-}$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน $Cu^{2+}(aq) + 2e^{-} \longrightarrow Cu(s)$

จะเห็นว่า สารที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุองค์ประกอบจะไม่นำมาเขียนในครึ่งปฏิกิริยา ในที่นี้จึงไม่เขียน SO_4^{2-} เนื่องจากทั้ง S และ O ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน

เมื่อพิจารณาปฏิกิริยารีดอกซ์ข้างต้น พบว่า โลหะ Zn(s) ให้อิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอนกลายเป็น Zn^{2+}(aq) ส่วนสาร Cu^{2+}(aq) รับอิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน กลายเป็น โลหะ Cu(s) แสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์นี้มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน

การพิจารณาการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของโลหะแมกนีเซียมกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

$$Mg(s) + HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$$

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสมการรีดอกซ์ที่เกิดขึ้น

เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

$$Mg(s) + HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$$

เลขออกซิเดชันลดลง

พบว่า โลหะ Mg(s) มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น +2 โลหะ Mg(s) จึงเป็นตัวรีดิวซ์ ส่วนสาร $H^+(aq)$ มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันลดลงจาก +1 เป็น 0 สาร $H^+(aq)$ จึงเป็นตัวออกซิไดส์

สามารถเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ได้ดังนี้

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน $Mg(s) \longrightarrow Mg^{2+}(aq) + 2e^-$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน $2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$

จะเห็นว่า สารที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุองค์ประกอบจะไม่นำมาเขียนในครึ่งปฏิกิริยา ในที่นี้จึงไม่เขียน Cl^- เนื่องจากทั้ง Cl ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน

เมื่อพิจารณาปฏิกิริยารีดอกซ์ข้างต้น พบว่า โลหะ Mg(s) ให้อิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอนกลายเป็น $Mg^{2+}(aq)$ ส่วนสาร $H^+(aq)$ รับอิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน กลายเป็นแก๊ส $H_2(g)$ แสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์นี้มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน

6. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นสร้างความสนใจ (15 นาที)

1. ครูนำเข้าสู่บทเรียนโดยครูสาธิตการทดลองปฏิกิริยาระหว่างโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตกับน้ำตาลกลูโคส จากนั้นถามคำถามนักเรียนว่า
   - สารละลายสีม่วงที่อยู่ในบีกเกอร์คืออะไร (โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต)
   - ลูกอมมีส่วนผสมของอะไร (น้ำตาล)
   - เมื่อนำลูกอมลงไปคนในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในบีกเกอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร (สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเปลี่ยนสี)
   - นักเรียนทราบหรือไม่ว่า เมื่อนำลูกอมคนในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนสีได้อย่างไร
2. ครูอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการสาธิตการทดลอง การที่สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเปลี่ยนสี มีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้

$$\overset{+7}{MnO_4^-}(aq) + e^- \longrightarrow \overset{+6}{MnO_4^{2-}}(aq)$$

สีม่วง สีเขียว

$\overset{+7}{MnO_4^-}(aq) + 2e^- \longrightarrow \overset{+5}{MnO_4^{3-}}(aq)$

สีม่วง สีน้ำเงิน

$\overset{+6}{MnO_4^{2-}}(aq) + 2H_2O(l) + 2e^- \longrightarrow \overset{+4}{MnO_2}(s) + 4OH^-(aq)$

สีเขียว สีเหลือง

3. ครูอธิบายนักเรียนว่า ปฏิกิริยาที่ธาตุมีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์
4. ครูใช้คำถามเพื่อนำเข้าสู่การทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ว่า ปฏิกิริยาเคมีทุกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น นักเรียนคิดว่ามีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันหรือไม่ อย่างไร

ขั้นสำรวจและค้นหา (40 นาที)

1. นักเรียนแบ่งกลุ่ม ๆ ละ 5 คน จากนั้นจัดแบ่งหน้าที่ภายในกลุ่มตามความสามารถและความถนัดของนักเรียน เช่น ผู้จัดการกลุ่ม ผู้บันทึก ผู้นำเสนอ ผู้ให้ข้อมูล ผู้นำอภิปราย โดยให้ทุกคนมีส่วนร่วมในการรับผิดชอบงานของกลุ่มร่วมกัน เพื่อทำการทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยขณะทำการทดลองนักเรียนเข้าร่วมการประชุมกลุ่มย่อยผ่าน google meet ของกลุ่มตนเอง
2. ก่อนทำการทดลอง ครูนำอภิปรายก่อนการทดลองดังนี้

   - จุดประสงค์การทดลอง คือ ทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ และระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์จากเลขออกซิเดชันของสารในปฏิกิริยา

   - ชี้แจงให้นักเรียนทราบว่าในการทดลองนักเรียนแต่ละคนในกลุ่มจะได้รับวัสดุ สารเคมีที่ครูเตรียมไว้ให้ไม่เหมือนกัน ดังตาราง นักเรียนแต่ละคนในกลุ่มทำการทดลอง จากนั้นนำผลการทดลองของตนเองมาบันทึกลงในใบกิจกรรมที่อยู่ใน google document ของกลุ่มตนเอง

   - ชี้แจงให้นักเรียนทราบว่าขณะทำการทดลอง นักเรียนควรสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในสารละลายและชิ้นโลหะ เพื่อระบุชนิดของสารที่เกิดขึ้น

คนที่ 1	สารละลาย $CuSO_4$ ปริมาตร 5 mL	โลหะ Zn ขนาด 1x3 c.m. 1 แผ่น	กระดาษทราย 2x2 c.m. 1 แผ่น
คนที่ 2	สารละลาย HCl ปริมาตร 5 mL	โลหะ Mg ขนาด 1x3 c.m. 1 แผ่น	กระดาษทราย 2x2 c.m. 1 แผ่น
คนที่ 3	สารละลาย CH_3COOH ปริมาตร 5 mL	ผง $CaCO_3$ 0.1 กรัม	-

คนที่ 4	สารละลาย $CaCl_2$ ปริมาตร 1 mL	สารละลาย Na_2CO_3 ปริมาตร 1 mL	-
คนที่ 5	สารละลาย $Pb(NO_3)_2$ ปริมาตร 1 mL	สารละลาย KI ปริมาตร 1 mL	-

3. นักเรียนออกแบบการทดลองและทำการทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์
4. นักเรียนแต่ละคนบันทึกผลการทดลองลงในตารางบันทึกผลในใบกิจกรรมที่ 1 การทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งอยู่ใน google document ของกลุ่มตนเอง

แนวคำตอบ

ระบบที่ทดสอบ	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
Zn ใน $CuSO_4$	มีของแข็งสีน้ำตาลเกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เมื่อเขี่ยของแข็งสีน้ำตาลแดงออก พบว่าแผ่นโลหะกร่อนและบางลง สารละลายสีฟ้าจางลงเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 – 2 นาที
Mg ใน HCl	เกิดฟองแก๊สขึ้น ชิ้นโลหะมีขนาดเล็กลง
$CH_3COOH + CaCO_3$	เกิดฟองแก๊สขึ้น ชิ้น $CaCO_3$ มีขนาดเล็กลง
$CaCl_2 + Na_2CO_3$	เกิดตะกอนสีขาวขุ่น
$KI + Pb(NO_3)_2$	เกิดตะกอนสีเหลือง

ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (80 นาที)

1. นักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทดลองในกลุ่มย่อย google meet ของตนเอง จากคำถามการทดลองต่อไปนี้

   - คำถาม “การทดสอบ Zn ใน $CuSO_4$ เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร”

   แนวคำตอบ มีของแข็งสีน้ำตาลเกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เมื่อเขี่ยของแข็งสีน้ำตาลแดงออก พบว่าแผ่นโลหะกร่อนและบางลง สารละลายสีฟ้าจางลงเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 – 2 นาที

   - คำถาม “เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Zn ใน $CuSO_4$”

   แนวคำตอบ $Zn(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$

- คำถาม “จากสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Zn ใน $CuSO_4$ ธาตุแต่ละชนิดมีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงอย่างไร”

แนวคำตอบ $Zn(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$

(0) (+2) (+2) (0)

- คำถาม “การทดสอบ Mg ใน HCl เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร”

แนวคำตอบ เกิดฟองแก๊สขึ้น ชิ้นโลหะมีขนาดเล็กลง

- คำถาม “เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Mg ใน HCl”

แนวคำตอบ $Mg(s) + HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$

- คำถาม “จากสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Mg ใน HCl ธาตุแต่ละชนิดมีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงอย่างไร”

แนวคำตอบ $Mg(s) + HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$

(0) (+1)(-1) (+2)(-1) (0)

- คำถาม “การทดสอบ $CaCO_3$ กับ CH_3COOH เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร”

แนวคำตอบ เกิดฟองแก๊สขึ้น ชิ้น $CaCO_3$ มีขนาดเล็กลง

- คำถาม “เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง $CaCO_3$ กับ CH_3COOH”

แนวคำตอบ

$CaCO_3(s) + CH_3COOH(aq) \longrightarrow (CH_3COO)_2Ca(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

- คำถาม “จากสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง $CaCO_3$ กับ CH_3COOH ธาตุแต่ละชนิดมีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงอย่างไร”

แนวคำตอบ

$CaCO_3(s) + CH_3COOH(aq) \longrightarrow (CH_3COO)_2Ca(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

(+2)(+4)(-2) (-4)(+1)(+4)(-2)(-2)(+1) (-4)(+1)(+4)(-2)(-2)(+2) (+1)(-2) (+4)(-2)

- คำถาม “การทดสอบ $CaCl_2$ กับ Na_2CO_3 เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร”

แนวคำตอบ เกิดตะกอนสีขาวขุ่น

- คำถาม “เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง $CaCl_2$ กับ Na_2CO_3”

แนวคำตอบ $CaCl_2(aq) + Na_2CO_3(aq) \longrightarrow CaCO_3(s) + 2NaCl(aq)$

- คำถาม “จากสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง $CaCl_2$ กับ Na_2CO_3 มีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงอย่างไร”

แนวคำตอบ $CaCl_2(aq) + Na_2CO_3(aq) \longrightarrow CaCO_3(s) + 2NaCl(aq)$

(+2)(-1) (+1)(+4)(-2) (+2)(+4)(-2) (+1)(-1)

- คำถาม “การทดสอบ KI กับ $Pb(NO_3)_2$ เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร”

แนวคำตอบ เกิดตะกอนสีเหลือง

- คำถาม “เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง KI กับ $Pb(NO_3)_2$”

แนวคำตอบ $2KI(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \longrightarrow PbI_2(s) + 2KNO_3(aq)$

- คำถาม “จากสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง KI กับ $Pb(NO_3)_2$ มีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงอย่างไร”

แนวคำตอบ $2KI(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \longrightarrow PbI_2(s) + 2KNO_3(aq)$

(+1)(-1) (+2)(+5)(-2) (+2)(-1) (+1)(+5)(-2)

- คำถาม จากปฏิกิริยาทั้ง 5 ปฏิกิริยา ปฏิกิริยาใดเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เพราะเหตุใด

แนวคำตอบ ปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสีกับสารละลาย $CuSO_4$ และโลหะแมกนีเซียมกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

2. นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอข้อมูลการทดลอง อภิปรายผลการทดลองและสรุปผลการทดลองของกลุ่มตนเองแก่เพื่อนกลุ่มอื่น ผ่านทาง google meet กลุ่มใหญ่ จากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันสรุปสิ่งที่เรียนรู้ ซึ่งได้ข้อสรุปดังนี้

ปฏิกิริยารีดอกซ์ เป็นปฏิกิริยาที่มีธาตุมีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน

3. ครูเพิ่มเติมความรู้ให้แก่นักเรียนว่า ปฏิกิริยาที่ธาตุทุกธาตุไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน เรียกว่า ปฏิกิริยานอนรีดอกซ์

4. ครูอธิบายว่า เมื่อทราบเลขออกซิเดชันของธาตุทำให้สามารถระบุได้ว่าปฏิกิริยาใดเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุในสารที่ทำปฏิกิริยากัน เช่น ปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคลเซียมคลอไรด์และโซเดียมคาร์บอเนต

$CaCl_2(aq) + Na_2CO_3(aq) \longrightarrow CaCO_3(s) + 2NaCl(aq)$

เลขออกซิเดชัน (+2)(-1) (+1)(+4)(-2) (+2)(+4)(-2) (+1)(-1)

ปฏิกิริยานี้ไม่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากธาตุทุกชนิดในปฏิกิริยาเคมีไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยานอนรีดอกซ์

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะสังกะสีกับสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต

เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

$Zn(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$

เลขออกซิเดชันลดลง

เลขออกซิเดชัน (0) (+2) (+2) (0)

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากมีธาตุที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน โดย Zn มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ส่วน Cu มีเลขออกซิเดชันลดลง

5. ครูอธิบายความหมายของตัวรีดิวซ์ ตัวออกซิไดส์ ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน ดังนี้ ในปฏิกิริยารีดอกซ์ สารที่มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ส่วนสารที่มีเลขออกซิเดชันลดลง ซึ่งเกิดจากการรับอิเล็กตรอน เรียกว่า ตัวออกซิไดส์ (Oxidizing agent)

ถ้ากำหนดให้ สมการเคมีของปฏิกิริยารีดอกซ์

$$X(s) + Y^{+}(aq) \longrightarrow X^{+}(aq) + Y(s)$$

เมื่อพิจารณาสมการเคมีของปฏิกิริยารีดอกซ์ข้างต้น

เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

$$X(s) + Y^{+}(aq) \longrightarrow X^{+}(aq) + Y(s)$$

เลขออกซิเดชันลดลง

พบว่า โลหะ X(s) มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น +1 โลหะ X(s) จึงเป็นตัวรีดิวซ์ ส่วนสาร $Y^{+}(aq)$ มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันลดลงจาก +1 เป็น 0 สาร $Y^{+}(aq)$ จึงเป็นตัวออกซิไดส์

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

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน $X(s) \longrightarrow X^{+}(aq) + e^{-}$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน $Y^{+}(aq) + e^{-} \longrightarrow Y(s)$

ดังนั้นเมื่อพิจารณาปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะสังกะสีกับสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ดังสมการ

$$Zn(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$$

เมื่อพิจารณาสมการเคมีของปฏิกิริยารีดอกซ์ข้างต้น

เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

$$Zn(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow ZnSO_4(aq) + Cu(s)$$

เลขออกซิเดชันลดลง

พบว่า โลหะ Zn(s) มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น +2 โลหะ Zn(s) จึงเป็นตัวรีดิวซ์ ส่วนสาร $Cu^{2+}(aq)$ มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันลดลงจาก +2 เป็น 0 สาร $Cu^{2+}(aq)$ จึงเป็นตัวออกซิไดส์

สามารถเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ได้ดังนี้

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน $Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$

จะเห็นว่า สารที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุองค์ประกอบจะนำมาเขียนหรือไม่นำมาเขียนในครึ่งปฏิกิริยาก็ได้ ในที่นี้จึงไม่เขียน SO_4^{2-} เนื่องจากทั้ง S และ O ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน

เมื่อพิจารณาปฏิกิริยารีดอกซ์ข้างต้น พบว่า โลหะ Zn(s) ให้อิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน กลายเป็น $Zn^{2+}(aq)$ ส่วนสาร $Cu^{2+}(aq)$ รับอิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน กลายเป็น โลหะ Cu(s) แสดงว่าปฏิกิริยารีดอกซ์นี้มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน 2 อิเล็กตรอน

6. นักเรียนแต่ละคนพิจารณาการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของโลหะแมกนีเซียมกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เพื่อระบุตัวรีดิวซ์ ตัวออกซิไดส์ และครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน เพื่อให้ได้ข้อสรุป ดังนี้

$$Mg(s) + HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$$

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสมการรีดอกซ์ที่เกิดขึ้น

เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น

$$Mg(s) + HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$$

เลขออกซิเดชันลดลง

พบว่า โลหะ Mg(s) มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น +2 โลหะ Mg(s) จึงเป็นตัวรีดิวซ์ ส่วนสาร $H^+(aq)$ มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันลดลงจาก +1 เป็น 0 สาร $H^+(aq)$ จึงเป็นตัวออกซิไดส์

สามารถเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน ได้ดังนี้

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน $Mg(s) \longrightarrow Mg^{2+}(aq) + 2e^-$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน $2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$

จะเห็นว่า สารที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุองค์ประกอบจะนำมาเขียนหรือไม่นำมาเขียนในครึ่งปฏิกิริยาก็ได้ ในที่นี้จึงไม่เขียน Cl^- เนื่องจากทั้ง Cl ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน

7. นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งได้ข้อสรุป ดังนี้

- การพิจารณาว่าปฏิกิริยาใดเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์สามารถพิจารณาได้จากการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุในสารที่ทำปฏิกิริยาเคมีกัน

- สารที่มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ตัวรีดิวซ์ (reducing agent)

- สารที่มีเลขออกซิเดชันลดลง ซึ่งเกิดจากการรับอิเล็กตรอน เรียกว่า ตัวออกซิไดส์ (oxidizing agent)

- ปฏิกิริยารีดอกซ์ประกอบด้วย 2 ครึ่งปฏิกิริยา คือ ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน

- ครึ่งปฏิกิริยาที่ให้อิเล็กตรอน เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation half-reaction)

- ครึ่งปฏิกิริยาที่รับอิเล็กตรอน เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction half-reaction)

ขั้นขยายความรู้ (35 นาที)

1. ครูนำเสนอสถานการณ์ใหม่ให้นักเรียนแต่ละคนนำคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ได้มาตอบคำถามแลกเปลี่ยนคำตอบร่วมกันในใบกิจกรรมที่ 2 ปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งอยู่ใน google document ของกลุ่มตนเอง และอภิปรายร่วมกันผ่าน google meet โดยมีรายละเอียดดังนี้

- คำถาม "ให้นักเรียนออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะจากปฏิกิริยา $Cu(s) + 2Ag^{+}(aq) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s)$ โดยนักเรียนสามารถเขียนรูปแบบ Flow chart วาดภาพ หรือรูปแบบอื่น ๆ ที่เข้าใจง่ายเพิ่มเติมได้"

- คำถาม "จากสมการเคมีในข้อ 1 โลหะทองแดง (Cu) กับไอออนของโลหะ Ag^{+} ในสารละลายมีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงอย่างไร

แนวคำตอบ โลหะทองแดง (Cu) มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น 2 กลายเป็น $Cu^{2+}(aq)$

ไอออนของโลหะ Ag^{+} มีเลขออกซิเดชันลดลง 1 กลายเป็น Ag(s)

- คำถาม "ระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ พร้อมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์"

แนวคำตอบ ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน $Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^{-}$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน $Ag^{+}(aq) + e^{-} \longrightarrow Ag(s)$

ตัวรีดิวซ์ คือ Cu ตัวออกซิไดส์ คือ Ag^{+}

- คำถาม "ปฏิกิริยารีดอกซ์มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนกี่อิเล็กตรอน"

แนวคำตอบ 2 อิเล็กตรอน

- คำถาม “จงพิจารณาปฏิกิริยาต่อไปนี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์หรือไม่ เพราะเหตุใด”

$Cu^{2+}(aq) + S^{2-}(aq) \longrightarrow CuS(s)$

แนวคำตอบ ไม่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุ

$N_2H_4(aq) + O_2(g) \longrightarrow N_2(g) + H_2O(l)$

แนวคำตอบ เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากเลขออกซิเดชันของธาตุมีการเปลี่ยนแปลง

$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 2OH^-(aq) \longrightarrow 2CrO_4^{2-}(aq) + H_2O(l)$

แนวคำตอบ ไม่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุ

$2HCl(aq) + Na_2CO_3(aq) \longrightarrow 2NaCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

แนวคำตอบ ไม่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุ

2. ครูสุ่มนักเรียนบางกลุ่มนำเสนอข้อมูลการตอบคำถามในใบกิจกรรมที่ 2 แก่เพื่อนกลุ่มอื่น ผ่านทาง google meet กลุ่มใหญ่

ขั้นประเมินความรู้ (10 นาที)

1. นักเรียนทุกคนทำแบบทดสอบหลังเรียนเรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ ที่อยู่ใน google form จากนั้นนักเรียนและครูร่วมกันเฉลยแบบทดสอบ

7. ใบงานหรือชิ้นงาน

7.1 ใบกิจกรรมที่ 1 การทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์

7.2 ใบกิจกรรมที่ 2 ปฏิกิริยารีดอกซ์

8. วัสดุอุปกรณ์/สื่อและแหล่งเรียนรู้

8.1 สารเคมี

- สารละลายคอปเปอร์(II) ซัลเฟต ($CuSO_4$) 0.10 mol/L 5 mL
- สารละลาย HCl 0.10 mol/L 5 mL
- สารละลาย CH_3COOH 0.10 mol/L ปริมาตร 5 mL
- สารละลาย $CaCl_2$ 0.10 mol/L ปริมาตร 1 mL
- สารละลาย Na_2CO_3 0.10 mol/L ปริมาตร 1 mL

- สารละลาย $Pb(NO_3)_2$ 0.10 mol/L ปริมาตร 1 mL
- สารละลาย KI 0.10 mol/L ปริมาตร 1 mL
- ผง $CaCO_3$ 0.1 กรัม

8.2 วัสดุอุปกรณ์

- หลอดทดลอง 1 หลอด
- กระดาษทราย ขนาด 2 cm x 2 cm
- แท่งแก้วคน 1 อัน
- แผ่นโลหะสังกะสี ขนาด 1 cm x 3 cm
- แผ่นโลหะแมกนีเซียม ขนาด 1 cm x 3 cm

8.3 สื่อและแหล่งการเรียนรู้

- หนังสือเรียนรายวิชาเคมีเพิ่มเติม เล่ม 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สสวท.
- ใบกิจกรรมที่ 1 การทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์อยู่ใน google document (https://bit.ly/3peaN9s)
- ใบกิจกรรมที่ 2 ปฏิกิริยารีดอกซ์ ใน google document (https://bit.ly/3adQ9lr)
- แบบทดสอบหลังเรียนใน google form (https://forms.gle/1MhuEFEkCDJsaVpx5)
- google meet กลุ่มใหญ่ ห้องเคมี ม.5/1 https://meet.google.com/izq-tbge-phk

รายละเอียด google meet และ link ใบกิจกรรมของนักเรียนแต่ละกลุ่ม ดังตาราง

กลุ่ม	link google meet	link ใบกิจกรรมที่ 1	link ใบกิจกรรมที่ 2
กลุ่มที่ 1	https://meet.google.com/vrp-wfjo-fab	https://bit.ly/3jGrpp2	https://bit.ly/3qaAvwO
กลุ่มที่ 2	https://meet.google.com/jhb-ybiw-ybw	https://bit.ly/2NoxNFI	https://bit.ly/2Zdb5Te
กลุ่มที่ 3	https://meet.google.com/jmz-wgck-tse	https://bit.ly/379TG2u	https://bit.ly/3d4eXhN
กลุ่มที่ 4	https://meet.google.com/xxk-dxct-iyv	https://bit.ly/2MRN5CW	https://bit.ly/3775Xoe
กลุ่มที่ 5	https://meet.google.com/rvt-mrac-tpi	https://bit.ly/377TmB5	https://bit.ly/374vfDC
กลุ่มที่ 6	https://meet.google.com/pdr-xhvi-noy	https://bit.ly/2NjYJpQ	https://bit.ly/3rMU5j7

9. การวัดและประเมินผล

จุดประสงค์การเรียนรู้	**การวัดและประเมินผล**		
	วิธีการวัด	**เครื่องมือวัด**	**เกณฑ์**
1) ด้านความรู้ความเข้าใจ	- ความถูกต้องของใบกิจกรรมที่ 2 ปฏิกิริยารีดอกซ์และแบบทดสอบเรื่องปฏิกิริยารีดอกซ์	- ใบกิจกรรมที่ 2 ปฏิกิริยารีดอกซ์ -แบบทดสอบเรื่องปฏิกิริยารีดอกซ์	- นักเรียนตอบคำถามถูกต้องร้อยละ 60 ของนักเรียนทั้งหมด
2) ทักษะ/กระบวนการ	- ความถูกต้องของใบกิจกรรมที่ 1 การทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์	- ใบกิจกรรมที่ 1 การทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์	- นักเรียนทำการทดลองถูกต้องร้อยละ 80 ของนักเรียนทั้งหมด
3) เจตคติคุณลักษณะที่พึงประสงค์	- สังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้	- แบบสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้	- นักเรียนพฤติกรรมการเรียนรู้อยู่ในระดับ ดี จำนวนร้อยละ 60

เฉลย

ใบกิจกรรมที่ 1 การทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะ

สมาชิกในกลุ่ม..... ชั้น ม.....

1. ชื่อ.....นามสกุล..... เลขที่.....หน้าที่.....
2. ชื่อ.....นามสกุล..... เลขที่.....หน้าที่.....
3. ชื่อ.....นามสกุล..... เลขที่.....หน้าที่.....
4. ชื่อ.....นามสกุล..... เลขที่.....หน้าที่.....
5. ชื่อ.....นามสกุล..... เลขที่.....หน้าที่.....
6. ชื่อ.....นามสกุล..... เลขที่.....หน้าที่.....

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์
2. ระบุปฏิกิริยาที่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์จากเลขออกซิเดชันของสารในปฏิกิริยา

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

สารละลาย $CuSO_4$ ปริมาตร 5 mL	โลหะ Zn ขนาด 1x3 c.m. 1 แผ่น	กระดาษทราย 2x2 c.m. 1 แผ่น
สารละลาย HCl ปริมาตร 5 mL	โลหะ Mg ขนาด 1x3 c.m. 1 แผ่น	กระดาษทราย 2x2 c.m. 1 แผ่น
สารละลาย CH_3COOH ปริมาตร 5 mL	ผง $CaCO_3$ 0.1 กรัม	-
สารละลาย $CaCl_2$ ปริมาตร 1 mL	สารละลาย Na_2CO_3 ปริมาตร 1 mL	-
สารละลาย $Pb(NO_3)_2$ ปริมาตร 1 mL	สารละลาย KI ปริมาตร 1 mL	-

เวลาทำกิจกรรม 30 นาที

วิธีการทดลอง

(ในการออกแบบวิธีการทดลอง นักเรียนสามารถเขียนเป็นรูป flow chart วาดภาพ หรือรูปแบบอื่น ๆ ที่เข้าใจง่ายเพิ่มเติมได้)

การทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2

การทดลองที่ 3

การทดลองที่ 4

การทดลองที่ 5

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ระบบที่ทดสอบ	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
Zn ใน $CuSO_4$	มีของแข็งสีน้ำตาลเกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เมื่อเขี่ยของแข็งสีน้ำตาลแดงออก พบว่าแผ่นโลหะกร่อนและบางลง สารละลายสีฟ้าจางลงเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 – 2 นาที
Mg ใน HCl	เกิดฟองแก๊สขึ้น ชิ้นโลหะมีขนาดเล็กลง
$CH_3COOH + CaCO_3$	เกิดฟองแก๊สขึ้น ชิ้น $CaCO_3$ มีขนาดเล็กลง
$CaCl_2 + Na_2CO_3$	เกิดตะกอนสีขาวขุ่น
$KI + Pb(NO_3)_2$	เกิดตะกอนสีเหลือง

อภิปรายผลการทดลอง

1. การทดสอบ Zn ใน $CuSO_4$ เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

   มีของแข็งสีน้ำตาลเกาะบนแผ่นโลหะส่วนที่จุ่มอยู่ในสารละลาย เมื่อเขี่ยของแข็งสีน้ำตาลแดงออก พบว่าแผ่นโลหะกร่อนและบางลง สารละลายสีฟ้าจางลงเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 – 2 นาที

2. เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Zn ใน $CuSO_4$

   $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

3. จากสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Zn ใน Cu^{2+} ธาตุแต่ละชนิดมีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงอย่างไร

   $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

   (0) (+2) (+2) (0)

4. การทดสอบ Mg ใน HCl เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

   เกิดฟองแก๊สขึ้น ชิ้นโลหะมีขนาดเล็กลง

5. เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Mg ใน HCl

   $Mg(s) + HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$

6. จากสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Mg ใน HCl ธาตุแต่ละชนิดมีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงอย่างไร

   $Mg(s) + HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$

   (0) (+1)(-1) (+2)(-1) (0)

7. การทดสอบ $CaCO_3$ กับ CH_3COOH เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

   เกิดฟองแก๊สขึ้น ชิ้น $CaCO_3$ มีขนาดเล็กลง

8. เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง $CaCO_3$ กับ CH_3COOH

   $CaCO_3(s) + CH_3COOH(aq) \longrightarrow (CH_3COO)_2Ca(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

9. จากสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง $CaCO_3$ กับ CH_3COOH ธาตุแต่ละชนิดมีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงอย่างไร

   $CaCO_3(s) + CH_3COOH(aq) \longrightarrow (CH_3COO)_2Ca(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

   (+2)(+4)(-2) (-4)(+1)(+4)(-2)(-2)(+1) (-4)(+1)(+4)(-2)(-2)(+2) (+1)(-2) (+4)(-2)

10. การทดสอบ $CaCl_2$ กับ Na_2CO_3 เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

    เกิดตะกอนสีขาวขุ่น

11. เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง $CaCl_2$ กับ Na_2CO_3

$CaCl_2(aq) + Na_2CO_3(aq) \longrightarrow CaCO_3(s) + 2NaCl(aq)$

12. จากสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง $CaCl_2$ กับ Na_2CO_3 ธาตุแต่ละชนิดมีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงอย่างไร

$CaCl_2(aq) + Na_2CO_3(aq) \longrightarrow CaCO_3(s) + 2NaCl(aq)$

$(+2)(-1) \quad (+1)(+4)(-2) \quad (+2)(+4)(-2) \quad (+1)(-1)$

13. การทดสอบ KI กับ $Pb(NO_3)_2$ เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

เกิดตะกอนสีเหลือง

14. เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง KI กับ $Pb(NO_3)_2$

$2KI(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \longrightarrow PbI_2(s) + 2KNO_3(aq)$

15. จากสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง KI กับ $Pb(NO_3)_2$ ธาตุแต่ละชนิดมีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงอย่างไร

$2KI(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \longrightarrow PbI_2(s) + 2KNO_3(aq)$

$(+1)(-1) \quad (+2)(+5)(-2) \quad (+2)(-1) \quad (+1)(+5)(-2)$

สรุปผลการทดลอง

ปฏิกิริยารีดอกซ์ เป็นปฏิกิริยาที่มีธาตุมีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน

เฉลย

ใบกิจกรรมที่ 2 ปฏิกิริยารีดอกซ์

สมาชิกในกลุ่ม..... ชั้น ม.....

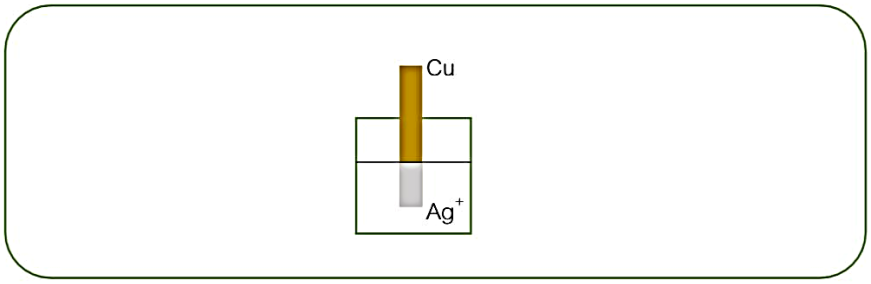
1. ชื่อ.....นามสกุล..... เลขที่.....หน้าที่.....
2. ชื่อ.....นามสกุล..... เลขที่.....หน้าที่.....
3. ชื่อ.....นามสกุล..... เลขที่.....หน้าที่.....
4. ชื่อ.....นามสกุล..... เลขที่.....หน้าที่.....
5. ชื่อ.....นามสกุล..... เลขที่.....หน้าที่.....
6. ชื่อ.....นามสกุล..... เลขที่.....หน้าที่.....

สถานการณ์ใหม่

เวลาทำกิจกรรม 40 นาที

1. ให้นักเรียนออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างโลหะกับไอออนของโลหะจากปฏิกิริยา $Cu(s) + 2Ag^{+}(aq) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s)$

โดยนักเรียนสามารถเขียนรูปแบบ Flow chart วาดภาพ หรือรูปแบบอื่น ๆ ที่เข้าใจง่ายเพิ่มเติมได้



2. จากสมการเคมีในข้อ 1 โลหะทองแดง (Cu) กับไอออนของโลหะ Ag^{+} ในสารละลาย มีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงอย่างไร

โลหะทองแดง (Cu) มีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น 2 กลายเป็น $Cu^{2+}(aq)$

ไอออนของโลหะ Ag^{+} มีเลขออกซิเดชันลดลง 1 กลายเป็น $Ag(s)$

3. ระบุตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ พร้อมทั้งเขียนครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของปฏิกิริยารีดอกซ์

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน $Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^{-}$

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน $Ag^{+}(aq) + e^{-} \longrightarrow Ag(s)$

ตัวรีดิวซ์ คือ Cu ตัวออกซิไดส์ คือ Ag^{+}

4. ปฏิกิริยารีดอกซ์มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนกี่อิเล็กตรอน

2 อิเล็กตรอน

5. จงพิจารณาปฏิกิริยาต่อไปนี้เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์หรือไม่ เพราะเหตุใด

5.1 $Cu^{2+}(aq) + S^{2-}(aq) \longrightarrow CuS(s)$

ไม่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุ

5.2 $N_2H_4(aq) + O_2(g) \longrightarrow N_2(g) + H_2O(l)$

เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากเลขออกซิเดชันของธาตุมีการเปลี่ยนแปลง

5.3 $Cr_2O_7^{2-}(aq) + 2OH^-(aq) \longrightarrow 2CrO_4^{2-}(aq) + H_2O(l)$

ไม่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุ

5.4 $2HCl(aq) + Na_2CO_3(aq) \longrightarrow 2NaCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

ไม่เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุ

เฉลย

แบบทดสอบ เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์

1. ข้อใดต่อไปนี้ ไม่ใช่ ปฏิกิริยารีดอกซ์

ก. $N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2NH_3(g)$

ข. $Mg(s) + 2HCl \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$

ค. $Na_2SO_4(aq) + BaCl_2(aq) \longrightarrow BaSO_4(s) + 2NaCl(aq)$

ง. $Cu(s) + 2H_2SO_4(aq) \longrightarrow CuSO_4(aq) + 2H_2O(l) + SO_2(g)$

2. สารที่ขีดเส้นใต้ในข้อใดเป็นตัวออกซิไดส์

ก. $\underline{Zn(s)} + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$

ข. $\underline{2Ag^{+}(aq)} + Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2Ag(s)$

ค. $\underline{2Al(s)} + 6H^{+}(aq) \longrightarrow 2Al^{3+}(aq) + 3H_2(s)$

ง. $\underline{Mg(s)} + Cl_2(g) \longrightarrow Mg^{2+}(aq) + 2Cl^{-}(aq)$

3. พิจารณาปฏิกิริยารีดอกซ์ที่กำหนดให้ต่อไปนี้ $Ni(s) + 2H^{+}(aq) \longrightarrow Ni^{2+}(aq) + H_2(g)$

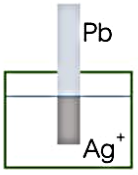
ข้อสรุปใดถูกต้อง

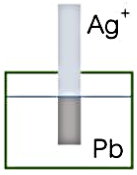
ก. Ni ถูกรีดิวซ์ ข. H^{+} เกิดปฏิกิริยารีดักชัน

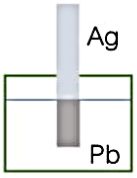
ค. H^{+} ถูกออกซิไดส์ ง. Ni เป็นตัวออกซิไดส์

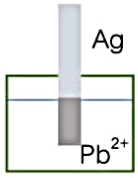
4. จากปฏิกิริยารีดอกซ์ $Pb(s) + 2Ag^{+}(aq) \longrightarrow Pb^{2+}(aq) + 2Ag(s)$

ข้อใดออกแบบการทดลองได้ถูกต้อง

ก. 

ข. 

ค. 

ง. 

ตาราง 24 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสังเกตทักษะการทำงานร่วมกัน

องค์ประกอบ	ข้อ	ความสอดคล้องเชิงเนื้อหา					ความเหมาะสมด้านภาษาและการนำไปใช้				
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	IOC	แปลผล	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	เฉลี่ย	แปลผล
1. การสร้างความ	1.1	0	1	1	0.67	สอดคล้อง	4	4	4	4	เหมาะสม
เข้าใจร่วมกัน	1.2	1	1	1	1	สอดคล้อง	4	4	5	4.33	เหมาะสม
(Building shared	1.3	1	0	1	0.67	สอดคล้อง	5	4	5	4.67	เหมาะสม
understanding)											
2. การมีส่วนร่วม	2.1	1	0	1	0.67	สอดคล้อง	4	4	4	4	เหมาะสม
(Collectively	2.2	1	1	0	0.67	สอดคล้อง	4	4	4	4	เหมาะสม
contributing)	2.3	1	1	0	0.67	สอดคล้อง	4	4	3	3.67	เหมาะสม
3. การกำกับการ	3.1	1	0	1	0.67	สอดคล้อง	5	4	3	4	เหมาะสม
ทำงานของกลุ่ม	3.2	1	0	1	0.67	สอดคล้อง	5	4	4	4.33	เหมาะสม
(Regulation)	3.3	1	1	1	1	สอดคล้อง	4	4	4	4	เหมาะสม
	3.4	1	0	1	0.67	สอดคล้อง	5	4	5	4.67	เหมาะสม

ตาราง 25 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า จำนวน 36 ข้อ

ข้อ	ความสอดคล้องเชิงเนื้อหา					ความเหมาะสมด้านภาษาและการนำไปใช้				
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	IOC	แปลผล	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	เฉลี่ย	แปลผล
1	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
2	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
3	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
4	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
5	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
6	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
7	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
8	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	4	4.67	เหมาะสม
9	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	4	4.67	เหมาะสม
10	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
11	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
12	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
13	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
14	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	4	4.67	เหมาะสม
15	1	0	1	0.67	สอดคล้อง	5	3	5	4.33	เหมาะสม
16	1	0	1	0.67	สอดคล้อง	5	3	5	4.33	เหมาะสม
17	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
18	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	4	4.67	เหมาะสม

ตาราง 26 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดแนวคิด เรื่องเคมีไฟฟ้า จำนวน 36 ข้อ (ต่อ)

ข้อ	ความสอดคล้องเชิงเนื้อหา					ความเหมาะสมด้านภาษาและการนำไปใช้				
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	IOC	แปลผล	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	เฉลี่ย	แปลผล
19	1	0	1	0.67	สอดคล้อง	5	4	5	4.67	เหมาะสม
20	1	0	1	0.67	สอดคล้อง	5	4	5	4.67	เหมาะสม
21	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
22	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
23	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
24	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	4	4.67	เหมาะสม
25	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
26	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
27	1	0	1	0.67	สอดคล้อง	5	3	5	4.33	เหมาะสม
28	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
29	1	0	1	0.67	สอดคล้อง	5	5	1	3.67	เหมาะสม
30	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
31	1	0	1	0.67	สอดคล้อง	5	2	5	4	เหมาะสม
32	1	1	0	0.67	สอดคล้อง	5	5	3	4.33	เหมาะสม
33	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
34	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
35	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม
36	1	1	1	1	สอดคล้อง	5	5	5	5	เหมาะสม

ตาราง 27 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (D) และค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิด เรื่อง เคมีไฟฟ้า จำนวน 18 แนวคิด

แนวคิด	p	D
1. ครึ่งเซลล์ในปฏิกิริยารีดอกซ์	0.42	0.38
2. ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน	0.38	0.53
3. ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน	0.36	0.51
4. ตัวรีดิวซ์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน	0.22	0.32
5. ตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่าจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน	0.28	0.33
6. ขั้วไฟฟ้าของเซลล์เคมีไฟฟ้า	0.33	0.50
7. หน้าที่ของสะพานเกลือ	0.23	0.36
8. การให้/รับอิเล็กตรอนที่ขั้วของเซลล์กัลวานิก	0.28	0.43
9. หลักการเขียนแผนภาพเซลล์	0.31	0.39
10. การให้/รับอิเล็กตรอนที่ขั้วของเซลล์อิเล็กโทรไลต์	0.35	0.58
11. สารละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับการชุบโลหะ	0.40	0.46
12. การต่อขั้วโลหะในการชุบโลหะ	0.28	0.42
13. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแต่ละขั้วไฟฟ้าของการแยกสลายสารที่หลอมเหลวด้วยไฟฟ้า	0.25	0.30
14. การเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดของการแยกสลายสารที่หลอมเหลวด้วยไฟฟ้า	0.61	0.26
15. การเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทดในการแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า	0.27	0.36
16. การต่อขั้วโลหะในการทำโลหะให้บริสุทธิ์	0.26	0.28
17. สารละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับการทำโลหะให้บริสุทธิ์	0.34	0.37
18.การเกิดสารอิเล็กโทรไลต์จากโลหะที่ต้องทำให้บริสุทธิ์	0.30	0.48

ค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.22 – 0.61 ค่าอำนาจจำแนก (D) อยู่ระหว่าง 0.26 – 0.58 ค่าความเชื่อมั่นของแบบวัด 0.92

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Rossama Lumputha
วัน เดือน ปี เกิด	2 กันยายน 2534
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ศษ.บ. การสอนวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	146 ถ.สาธุประดิษฐ์ แขวงทุ่งวัดดอน เขตสาทร กรุงเทพมหานคร
ผลงานตีพิมพ์	-
รางวัลที่ได้รับ	-