ผลการจัดการเรียนรู้เคมีที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาเรื่อง กรด-เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

EFFECTS OF CHEMISTRY TEACHING THROUGH CONCEPTUAL DEVELOPMENT WITH POLYA'S TECHNIQUE ON ACID-BASE FOR ELEVENTH GRADE STUDENTS

ฉัตรสุดา ขุนเพ็ง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2564

ผลการจัดการเรียนรู้เคมีที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาเรื่อง กรด-เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ฉัตรสุดา ขุนเพ็ง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการทางการศึกษาและการจัดการเรียนรู้
คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECTS OF CHEMISTRY TEACHING THROUGH CONCEPTUAL DEVELOPMENT WITH POLYA'S TECHNIQUE ON ACID-BASE FOR ELEVENTH GRADE STUDENTS

CHATSUDA KHUNPENG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF EDUCATION

(Educational Science & Learning Management)

Faculty of Education, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลการจัดการเรียนรู้เคมีที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาเรื่อง กรด-เบส
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ของ

ฉัตรสุดา ขุนเพ็ง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการทางการศึกษาและการจัดการเรียนรู้
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ ประทุมทอง)

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสาท เนืองเฉลิม)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธาวัลย์ หาญขจรสุข)

ชื่อเรื่อง	ผลการจัดการเรียนรู้เคมีที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาเรื่อง กรด-เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
ผู้วิจัย	ฉัตรสุดา ขุนเพ็ง
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเพ็ญ ประทุมทอง

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาก่อนและหลังเรียน 2) เปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาหลังเรียนกับเกณฑ์ร้อยละ 60 3) เปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาก่อนและหลังเรียน 4) เปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาหลังเรียนกับเกณฑ์ร้อยละ 60 และ 5) ศึกษาพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา แบบแผนที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบแผนการวิจัยที่มีกลุ่มทดลองกลุ่มเดียววัดสองครั้งและแบบแผนการวิจัยที่มีกลุ่มทดลองกลุ่มเดียวแบบอนุกรมเวลา กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนวังข่อยพิทยา ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 30 คน ที่ได้มาจากการสุ่มแบบแบ่งกลุ่มใช้ระยะเวลาในการวิจัย 24 คาบ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ 1) แผนการจัดการเรียนรู้ 2) แบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส และ 3) แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน คือ การทดสอบทีแบบไม่เป็นอิสระต่อกัน การทดสอบทีแบบ 1 กลุ่มตัวอย่าง และการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีการวัดซ้ำ ผลการวิจัยพบว่า 1) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความเข้าใจมโนทัศน์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 2) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความเข้าใจมโนทัศน์หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 3) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 4) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และ 5) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีจากการประเมินแต่ละครั้งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

คำสำคัญ : การพัฒนามโนทัศน์, เทคนิคของโพลยา, ความเข้าใจมโนทัศน์, ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี

Title	EFFECTS OF CHEMISTRY TEACHING THROUGH CONCEPTUAL DEVELOPMENT WITH POLYA'S TECHNIQUE ON ACID-BASE FOR ELEVENTH GRADE STUDENTS
Author	CHATSUDA KHUNPENG
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2021
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Wanphen Pratoomtong

The purposes are as follows: (1) to compare the pretest and posttest results involving a conceptual understanding of students learning through chemistry teaching and emphasizing Polya's technique; (2) to compare the posttest results and criteria (60%) involving a conceptual understanding of students learning through chemistry teaching and emphasizing Polya's technique; (3) to compare the pretest and posttest results involving problem-solving abilities in chemistry of students learning through chemistry teaching and emphasizing Polya's technique; (4) to compare the posttest results and criteria (60%) involving problem-solving abilities in chemistry of students learning through chemistry teaching and emphasizing Polya's technique; and (5) to study the development of problem-solving abilities in chemistry of students learning through chemistry teaching and emphasizing Polya's technique. The samples of the research included 30 eleventh grade students in the second semester of the 2020 academic year at Wangkhoi Pittaya School. The samples were obtained by cluster random sampling. The duration of the study was 24 periods.The research instruments were (1) lesson plans; (2) conceptual understanding on acid-base tests, and (3) problem-solving abilities in chemistry on the acid-base test. The hypotheses testing used a t-test for dependent samples, a t-test for One-Sample and One-Way ANOVA Repeated Measures. The results were: (1) students who learned through chemistry teaching and emphasizing Polya's technique had higher conceptual understanding than before instruction at a .01 level of significance; (2) students who learned through chemistry teaching and emphasizing Polya's technique had higher conceptual understanding than the criteria (60%) at a .01 level of significance; (3) students who learned through chemistry teaching and emphasizing Polya's technique had higher problem-solving abilities in chemistry than before instruction at a .01 level of significance; (4) students who learned through chemistry teaching and emphasizing Polya's technique had higher problem-solving abilities in chemistry than the criteria (60%) at a .01 level of significance; and (5) students who learned through chemistry teaching and emphasizing Polya's technique had different problem-solving abilities in chemistry from each assessment at a .01 level of significance.

Keyword : Conceptual development, Polya's technique, Conceptual understanding, Problem-solving abilities in chemistry

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ ประทุมทอง ที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา คอยให้ข้อเสนอแนะ ตรวจสอบข้อมูลและข้อบกพร่องต่าง ๆ ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ประสาท เนืองเฉลิม ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ และกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธาวัลย์ หาญขจรสุข ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะในการทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย ทวี ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.นิเวศน์ คำรัตน์ นายมนัส ชวดดา นางสาววันทนา กลิ่นรื่น และนางสาว ปฐมาภรณ์ กรโสภา ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณผู้อำนวยการโรงเรียนวังข่อยพิทยา โรงเรียนบ้านแก่งชัชวลิตวิทยา โรงเรียนทุ่งมนวิทยาคารและโรงเรียนตะคร้อพิทยา ที่ให้ความกรุณาและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลวิจัย รวมถึงขอบคุณนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ให้ความร่วมมือในการเรียนรู้และทดลองใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนครูโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ โรงเรียนวังข่อยพิทยา โรงเรียนสุโขทัย และโรงเรียนบ้านโป่งวัวแดง เพื่อนนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อนโรงเรียนสตรีนครสวรรค์และโรงเรียนนครสวรรค์ ที่ให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้าย ขอขอบพระคุณครอบครัว โดยเฉพาะพ่อ แม่ พี่สาวเป็นอย่างยิ่งที่ให้ความรัก ความเข้าใจ คอยช่วยเหลือสนับสนุนทุกอย่าง เป็นกำลังใจที่ดีที่ทำให้การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ฉัตรสุดา ขุนเพ็ง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

ภูมิหลัง 1

ความมุ่งหมายของงานวิจัย 5

ความสำคัญของการวิจัย 6

ขอบเขตของการวิจัย 6

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย 6

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย 6

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย 7

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย 7

ตัวแปรที่ศึกษา 7

นิยามศัพท์เฉพาะ 7

กรอบแนวคิดในงานวิจัย 15

สมมติฐานในงานวิจัย 16

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

1. การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ 19

1.1 การจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างมโนทัศน์ของบรูเนอร์ 19
1.2 การจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิก 21
1.3 การจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์ 26
1.4 การจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังทางปัญญา 28
1.5 การจัดการเรียนรู้โดยใช้การนำเสนอมโนทัศน์กว้างล่วงหน้า 30
1.6 การจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย 32
1.7 การจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย 34
1.8 การจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ 36
1.9 การจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย 40
1.10 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 44
2. เทคนิคของโพลยา 60
2.1 แนวคิดของโพลยา 60
2.2 กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้เทคนิคของโพลยา 61
2.3 บทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้ด้วยเทคนิคของโพลยา 63
3. การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา 66
3.1 ความหมายการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา 66
3.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของ โพลยา 67
4. ความเข้าใจมโนทัศน์ 75
4.1 ความหมายของมโนทัศน์ 75
4.2 ประเภทของมโนทัศน์ 77
4.3 แนวทางการพัฒนามโนทัศน์ 78
4.4 ประเภทของมโนทัศน์คลาดเคลื่อน 84
4.5 หลักการปรับมโนทัศน์คลาดเคลื่อน 86

4.6 ความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส 86
4.7 มโนทัศน์คลาดเคลื่อน เรื่อง กรด-เบส 94
4.8 การจัดกลุ่มมโนทัศน์ 104
4.9 แนวทางการวัดความเข้าใจมโนทัศน์ 106
5. ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา 110
5.1 ความหมายของการแก้ปัญหา 110
5.2 กระบวนการในการแก้ปัญหา 111
5.3 กระบวนแก้ปัญหาในรายวิชาเคมี 116
5.4 องค์ประกอบที่ช่วยในการแก้โจทย์ปัญหา 117
5.5 ความหมายของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา 119
5.6 แนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา 119
5.7 แนวทางการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา 124
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 129
6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ 129
6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคของโพลยา 133
6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเข้าใจมโนทัศน์ 135
6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี 139
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 142
1. การกำหนดประชากรและการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง 142
2. การกำหนดแบบแผนการวิจัย 142
3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 143
4. การดำเนินการวิจัย 161
5. การวิเคราะห์ข้อมูล 162

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 164
สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 164
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 165
ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบสของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา 165
ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด 166
ตอนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา 166
ตอนที่ 4 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด 169
ตอนที่ 5 ผลการศึกษาพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนา มโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา 170
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 173
สรุปผลการวิจัย 175
อภิปรายผลการวิจัย 176
ข้อเสนอแนะ 188
บรรณานุกรม 190
ภาคผนวก 199
ภาคผนวก ก 200

ภาคผนวก ข 202
ภาคผนวก ค 277
ภาคผนวก ง 286
ภาคผนวก จ 289
ภาคผนวก ฉ 305
ประวัติผู้เขียน 324

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 การเปรียบเทียบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น กับการจัด การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น 54

ตาราง 2 การสังเคราะห์ขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ 56

ตาราง 3 แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา 70

ตาราง 4 มโนทัศน์คลาดเคลื่อนเรื่องกรด-เบส 99

ตาราง 5 การกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ 109

ตาราง 6 ทักษะที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการคิด 112

ตาราง 7 เกณฑ์การประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา 127

ตาราง 8 แบบแผนการวิจัย One group pretest-posttest design 143

ตาราง 9 แบบแผนการวิจัย One group time series design 143

ตาราง 10 สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เรื่อง กรด-เบส 144

ตาราง 11 หัวข้อแผนการจัดการเรียนรู้และเวลาที่ใช้ 148

ตาราง 12 มโนทัศน์ย่อยและการแก้โจทย์ปัญหาในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ 148

ตาราง 13 จำนวนข้อจำแนกตามมโนทัศน์ย่อย เรื่อง กรด-เบส 151

ตาราง 14 การกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ 152

ตาราง 15 เกณฑ์คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ 154

ตาราง 16 จำนวนข้อจำแนกตามการแก้โจทย์ปัญหาในแต่ละหัวข้อเรื่อง 157

ตาราง 17 การกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา 157

ตาราง 18 เกณฑ์คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี 159

ตาราง 19 การเปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังเรียน 165

ตาราง 20 การเปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจมโนทัศน์หลังเรียนเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด 166

ตาราง 21 คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังเรียน เมื่อจำแนกตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา 167

ตาราง 22 การเปรียบเทียบคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังเรียน 168

ตาราง 23 การเปรียบเทียบคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีหลังเรียนเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด 169

ตาราง 24 ผลคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี จากการวัดซ้ำ 6 ครั้ง 170

ตาราง 25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี 171

ตาราง 26 การเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยรายคู่ 172

ตาราง 27 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด-เบส 278

ตาราง 28 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส 280

ตาราง 29 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส 282

ตาราง 30 ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส 283

ตาราง 31 ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส 285

ตาราง 32 การตรวจสอบ Normality 287

ตาราง 33 การตรวจสอบ Homogeneity 287

ตาราง 34 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 1 290

ตาราง 35 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 2 291

ตาราง 36 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 3 292

ตาราง 37 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 4 293

ตาราง 38 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 5 294
ตาราง 39 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 6 295
ตาราง 40 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 7 296
ตาราง 41 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 8 297
ตาราง 42 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 9 298
ตาราง 43 คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ของกลุ่มตัวอย่างการวิจัย 299
ตาราง 44 คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ของกลุ่มตัวอย่างการวิจัย 301
ตาราง 45 คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี จากการวัดซ้ำ 6 ครั้ง 303

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย 16
ภาพประกอบ 2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิกตามรูปแบบของคล้าก 24
ภาพประกอบ 3 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์ 28
ภาพประกอบ 4 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ 39
ภาพประกอบ 5 วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในห้องเรียน 49
ภาพประกอบ 6 ขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น 52
ภาพประกอบ 7 ขั้นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ 60
ภาพประกอบ 8 ขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา 69
ภาพประกอบ 9 ผังมโนทัศน์ เรื่อง กรด - เบส 90
ภาพประกอบ 10 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 1 290
ภาพประกอบ 11 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 2 291
ภาพประกอบ 12 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 3 292
ภาพประกอบ 13 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 4 293
ภาพประกอบ 14 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 5 294
ภาพประกอบ 15 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 6 295
ภาพประกอบ 16 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 7 296
ภาพประกอบ 17 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 8 297
ภาพประกอบ 18 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 9 298
ภาพประกอบ 19 การนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง 306

ภาพประกอบ 20 การนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส และ แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง (นักเรียนโรงเรียนบ้านแก่งชัชวลิตวิทยา ที่ผ่านการเรียนรู้เรื่อง กรด-เบส มาแล้ว) 306

ภาพประกอบ 21 การนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส และ แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง (นักเรียนโรงเรียนทุ่งมนวิทยาคาร ที่ผ่านการเรียนรู้เรื่อง กรด-เบส มาแล้ว) 307

ภาพประกอบ 22 การนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส และ แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง (นักเรียนโรงเรียนตะคร้อพิทยา ที่ผ่านการเรียนรู้เรื่อง กรด-เบส มาแล้ว) 307

ภาพประกอบ 23 การนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส และ แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส มาทดสอบก่อนเรียนกับกลุ่มตัวอย่าง 308

ภาพประกอบ 24 จัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ ร่วมกับเทคนิคของโพลยาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ทฤษฎีกรด-เบส 309

ภาพประกอบ 25 จัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ ร่วมกับเทคนิคของโพลยาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 การแตกตัวของกรด-เบส และน้ำ 310

ภาพประกอบ 26 จัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ ร่วมกับเทคนิคของโพลยาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 pH ของสารละลาย 311

ภาพประกอบ 27 จัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 ปฏิกิริยาระห่างกรด-เบส และสมบัติของเกลือ 312

ภาพประกอบ 28 จัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ ร่วมกับเทคนิคของโพลยาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 การไทเทรตและอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส 313

ภาพประกอบ 29 จัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ ร่วมกับเทคนิคของโพลยาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์ 314

ภาพประกอบ 30 การนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส และ แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส มาทดสอบหลังเรียนกับกลุ่มตัวอย่าง 315

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

เคมีเป็นแขนงหนึ่งของวิชาวิทยาศาสตร์ที่เป็นรากฐานที่สำคัญและจำเป็นต่อมนุษย์ เนื่องจากสิ่งต่าง ๆ ใกล้ตัวล้วนประกอบขึ้นจากอะตอมของธาตุต่าง ๆ ทั้งสิ้น โดยในยุคปัจจุบันการพัฒนาทางเคมีของประเทศได้ก้าวหน้าไปอย่างมาก ในส่วนของด้านการศึกษา ก็ถือว่ามีบทบาทสำคัญในการผลักดันประเทศให้เจริญทันโลก ซึ่งวิชาเคมี ถือว่าเป็นวิชาที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ถ้าเรามีความเข้าใจในวิชาเคมีก็จะสามารถเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ และความเป็นไปของสิ่งต่าง ๆ ในโลก (พิมพันธ์ เดชะคุปต์, 2550, น. 107-108) ดังนั้นการจัดการเรียนรู้จึงควรมีการเปลี่ยนแปลงให้เข้ากับสภาพแวดล้อม บริบททางสังคมและเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไป ครูต้องเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญให้นักเรียนได้เรียนจากสถานการณ์ในชีวิตจริงและเป็นผู้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560, น. 53) เกิดการรู้คิดเกี่ยวกับการคิดขั้นสูง การคิดเชิงวิพากษ์ การแก้ปัญหา การคิดสร้างสรรค์ เป็นต้น (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2558, น. 3)

จากรายงานสภาวะการศึกษาไทยที่สรุป วิเคราะห์ ประเมินผลการดำเนินการจัดการศึกษาในรอบปี 2561 และครึ่งปีแรกของปี 2562 พบว่าครูส่วนใหญ่เน้นสอนบรรยายตามตำราเพื่อให้นักเรียนท่องจำ ไม่ได้ฝึกการคิดวิเคราะห์หรือฝึกปฏิบัติ ซึ่งไม่ช่วยให้นักเรียนคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์และประยุกต์ใช้ได้ (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2562, น. 53) ประกอบกับการพิจารณาผลการทดสอบระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) พบว่า วิชาวิทยาศาสตร์มีคะแนนเฉลี่ยระดับประเทศต่ำที่สุด จากทั้งหมด 5 รายวิชา ซึ่งในสาระสารและสมบัติของสารมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับที่ต้องปรับปรุง เนื่องจากมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละต่ำกว่า 50 (สำนักทดสอบทางการศึกษา, 2561b, น. 1) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาแนวโน้มผลการทดสอบวิชาสามัญ 9 วิชา 3 ปีการศึกษาในรายวิชาเคมี พบว่า ในปีการศึกษา 2560 – 2562 มีคะแนนเฉลี่ยระดับประเทศเท่ากับ 27.34 27.43 และ 28.40 ตามลำดับ (สำนักทดสอบทางการศึกษา, 2560, น. 1; 2561a, น. 1; 2562, น. 1) และพบว่าทั้ง 3 ปีการศึกษา นักเรียนส่วนใหญ่มีคะแนนอยู่ในช่วง 20.01 – 30.00 จากคะแนนเต็ม 100 ทั้งนี้เนื่องมาจากวิชาเคมี เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติองค์ประกอบ โครงสร้างของสสารและการเปลี่ยนแปลงในสสาร (นงนิตย์ มรกต, 2550, น. 12) เนื้อหาจะเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสารใน 3 ระดับ คือระดับมหภาค ซึ่งเป็นปรากฏการณ์หรือพฤติกรรมของสารที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า ระดับจุลภาคเป็นปรากฏการณ์ของสารที่ไม่สามารถ

มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและในระดับสัญลักษณ์ เป็นการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของการอธิบายระดับมหภาคและระดับจุลภาค (รัตติยา นามงาม, 2558, น. 1-2) จึงยากต่อการทำความเข้าใจ นอกจากนี้ ยังเกิดจากการประสบปัญหาเรื่องของการคำนวณ (จรรยา ดาสา, 2553, น. 44)

เมื่อพิจารณาปัญหาจากประสบการณ์สอนของผู้วิจัยที่ได้สอนวิชาเคมีตั้งแต่ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 – 6 พบว่านักเรียนมักประสบปัญหาในการแก้โจทย์ปัญหา ไม่ว่าจะเป็นโจทย์ปัญหาที่ใช้เพียงการประยุกต์มโนทัศน์ไม่มีการคำนวณ และโจทย์ปัญหาที่มีการคำนวณ เพราะนักเรียนมีมโนทัศน์ที่ไม่สมบูรณ์ มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน นักเรียนไม่มีความเข้าใจอย่างแท้จริง จึงส่งผลให้มีปัญหาในการเรียนรู้ที่ต้องใช้ความคิดระดับสูงและส่งผลต่อเนื้อหาบทถัดไป โดยเฉพาะเรื่อง กรด-เบส ที่มีเนื้อหาผสมผสานทั้งหลักการ กฎ นำไปสู่การใช้ทักษะการคำนวณ และเนื้อหาในเรื่องดังกล่าวต้องใช้ความรู้เดิมของนักเรียนในเรื่องต่าง ๆ ที่เรียนผ่านมาแล้ว เช่น ปริมาณสารสัมพันธ์ สารละลายและสมดุลเคมี (ศิริธร อ่างแก้ว, 2559, น. 111) หากนักเรียนมีความเข้าใจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน จะเกิดอุปสรรคต่อการเรียนรู้ได้ (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2554, น. 44)

เมื่อศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่างานวิจัยของ สุภาพร อินบุญนะ (2541, น. 58-71) | มีนักเรียนจำนวนมากกว่าร้อยละ 50 มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องกรด-เบส ทุกมโนทัศน์ที่เลือกมาทำการศึกษา โดยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ คู่กรด-เบส มีร้อยละนักเรียนที่มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเท่ากับ 86.10 และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ pH กับความเป็นกรด-เบส มีร้อยละนักเรียนที่มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเท่ากับ 57.70 และงานวิจัยของ ลาติฟา (Lathifa, 2018, pp. 171-177) พบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเรื่องกรด-เบส จำนวน 45 ข้อ แบ่งเป็น สมบัติของกรด-เบส ทฤษฎีกรด-เบส ความแรงของกรด-เบส ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและค่า pH ของสารละลาย ตัวอย่างมโนทัศน์คลาดเคลื่อน เช่น สารละลายกรดเท่านั้นที่สามารถนำไฟฟ้าได้หรือเฉพาะกรดแก่และเบสแก่ที่สามารถนำไฟฟ้าได้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากนักเรียนไม่มีความรู้พื้นฐานเดิม ไม่มีทักษะการคำนวณและไม่สามารถนำไปประยุกต์ได้ นอกจากนี้ มัชตาร์ (Muchtar, 2012, p. 65) ที่ศึกษาเกี่ยวกับมโนทัศน์คลาดเคลื่อนในเรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 179 คนจากโรงเรียน 6 แห่งในเมดาน ผลปรากฏว่านักเรียนมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนจำนวน 15 ข้อ โดยจำนวนนักเรียนที่มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเมื่อจำแนกตามมโนทัศน์ย่อย เป็นดังนี้ ทฤษฎีกรด-เบส 22.07% ค่า pH pOH 43.58% การแตกตัวและความเป็นกรด-เบส 8.94% อินดิเคเตอร์ 6.15% และการไทเทรตกรดและเบส 9.50% ซึ่งพบว่าการทำความเข้าใจมโนทัศน์เรื่อง กรด-เบส อาจเกิดปัญหามาจากการใช้สัญลักษณ์และ

สูตรทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอยู่ในกระบวนการของการแก้โจทย์ปัญหา ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาควบคู่กันไป เนื่องจากความเข้าใจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนก็สามารถทำให้เกิดความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องด้วยการแก้โจทย์ปัญหาเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นการทำให้นักเรียนเกิดความรู้ ความเข้าใจจากประสบการณ์ตรง ได้คิดอย่างเป็นระบบ เชื่อมโยงทฤษฎีและการนำไปใช้ได้อย่างชัดเจน (วรัทยา มณีรัตน์, 2560, น. 299) จากการสำรวจกระบวนการแก้ปัญหาเคมีคำนวณของนักเรียน พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่จะมีปัญหาเกี่ยวกับการไม่เข้าใจว่าโจทย์ปัญหาต้องการอะไร หรือให้ข้อมูลอะไรมาบ้าง ตลอดจนการมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการคำนวณ ดังนั้นการส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะการแก้โจทย์ปัญหาจะต้องเริ่มต้นตั้งแต่การสอนให้นักเรียนเข้าใจในโจทย์ปัญหา การแก้โจทย์ปัญหาเคมีจึงต้องคำนึงถึงประเด็นที่สำคัญ 2 ประเด็น คือ นักเรียนต้องมีความเข้าใจในมโนทัศน์พื้นฐานที่สำคัญในเรื่องนั้น ๆ เป็นอย่างดีก่อนที่จะเริ่มฝึกทำโจทย์ปัญหา อีกประเด็นหนึ่งคือ นักเรียนจะต้องเข้าใจและวิเคราะห์โจทย์เชื่อมโยงกับมโนทัศน์มากกว่าการใช้สูตรในการคำนวณ ไม่ควรให้นักเรียนใช้สูตรโดยขาดความเข้าใจอย่างแท้จริง (จรรยา ดาสา, 2553, น. 44-48)

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ของ Buzan (1997, pp. 185-186); ชนาธิป พรกุล (2552, น. 19-24); ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 256-346); ชาตรี เกิดธรรม (2542, น. 23-25); ชูศิลป์ อัตชู (2550, น. 56-57); ทิศนา แขมมณี (2553, น. 30-31); ประสาท เนืองเฉลิม (2558, น. 147-148); พิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2555, น. 30); วิชัย วงศ์ใหญ่ และ มารุต พัฒผล (2562, น. 2-3); วีณา ประชากูล และ ประสาท เนืองเฉลิม (2553, น. 15-24); ศักดิ์ศรี ปาณะกุล, นิรมล ศตวุฒิ, และ ระวิวรรณ ศรีคร้ามครัน (2556, น. 133-138); สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560, น. 67-69); สมบัติ การจนารักพงค์, มานิก สว่างเพียร, และ บุญเจือ ดิษฐ์ไชยวงศ์ (2549, น. 12); สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ (2553, น. 15-32) พบว่า ส่วนใหญ่การจัดการเรียนรู้จะเริ่มต้นจากการนำเข้าสู่บทเรียน ด้วยการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจในประเด็นที่กำหนด หรืออาจมีการตรวจสอบความรู้เดิม จากนั้นให้นักเรียนเรียนรู้มโนทัศน์ ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การอภิปรายร่วมกัน แลกเปลี่ยนความคิดเห็น ทดลอง หรือครูเป็นผู้นำเสนอมโนทัศน์นั้น มีการลงข้อสรุปร่วมกันเพื่อยืนยันในสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้หรือมโนทัศน์ที่ถูกต้อง โดยการนำเสนอหน้าชั้นเรียน เมื่อนักเรียนมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องแล้วจึงขยายความคิดเพิ่มเติม เพื่อประยุกต์ใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ จากนั้นจึงทำการสรุปบทเรียนและประเมินผลว่านักเรียนมีความเข้าใจในมโนทัศน์อย่างไรบ้าง นอกจากนี้ สุพรรณี ชาญประเสริฐ (2556, น. 34-37) ได้กล่าวว่า การกระตุ้นให้นักเรียนได้ร่วมอภิปราย

เกี่ยวกับสิ่งที่ได้เรียนรู้ การนำเสนอ จะทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในมโนทัศน์ และการที่ครูสรุปปิดท้ายบทเรียนจะทำให้มโนทัศน์มีความหมายยิ่งขึ้น รวมทั้งการประเมินผลถือเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยในการตรวจสอบการเรียนรู้ของนักเรียน เมื่อนักเรียนเกิดความเข้าใจมโนทัศน์แล้ว สามารถนำมโนทัศน์ที่สรุปรวมไว้นั้นไปใช้เป็นพื้นฐานในการเรียนขั้นสูงและสามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ (พันธ์ ทองชุมนุม, 2547, น. 206) โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สังเคราะห์ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ขั้นสร้างมโนทัศน์ ขั้นยืนยันมโนทัศน์ ขั้นประยุกต์ ขั้นสรุปและประเมิน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กัลยา ภูทัตโต (2558, น. 1-7) ที่ได้ศึกษาผลของการใช้การเรียนรู้สืบเสาะหาความรู้แบบแนะนำเน้นกระบวนการที่มีต่อมโนทัศน์ทางเคมีและความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้แบบแนะนำเน้นกระบวนการ คือ การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนซึ่งเน้นพัฒนากระบวนการที่สำคัญ ได้แก่ กระบวนการคิด กระบวนการกลุ่ม กระบวนการแก้ปัญหาและกระบวนการประเมินค่า ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน คือ ขั้นระบุความต้องการที่จะเรียนรู้ ขั้นการเชื่อมโยงความเข้าใจเดิม ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นการสร้างมโนทัศน์ ขั้นการประยุกต์ความรู้เพื่อใช้ในการปฏิบัติ ขั้นการประยุกต์ความรู้เพื่อใช้ในบริบทใหม่ และขั้นสะท้อนความคิดกระบวนการ ผลการวิจัยสรุปได้ว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยของมโนทัศน์ทางเคมีคิดเป็นร้อยละ 76.67 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือร้อยละ 70 มีคะแนนเฉลี่ยของมโนทัศน์ทางเคมีหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จุดเด่นของการจัดการเรียนรู้ข้างต้น คือ การกระตุ้นความสนใจด้วยสิ่งเร้าเพื่อปรับโครงสร้างทางปัญญา โดยนำความเข้าใจเดิมมาเชื่อมโยงและนักเรียนลงมือสำรวจและค้นหาเพื่อสร้างความเข้าใจมโนทัศน์ จัดระเบียบการคิดใหม่ จากนั้นจึงมีการนำมโนทัศน์มาประยุกต์แก้ปัญหาเพื่อขยายความเข้าใจมโนทัศน์นั้น ๆ นอกจากนี้ การเปิดโอกาสให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กันตลอดเวลา และเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ซักถามโต้ตอบมาก ๆ จะช่วยพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ได้ (อาภรณ์ ใจเที่ยง, 2553, น. 62) จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ ที่มีขั้นตอนสอดคล้องกับนักการศึกษาหรือนักวิจัยหลาย ๆ ท่านนั้นสามารถพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามเรื่อง กรด-เบส มีทั้งภาคทฤษฎี ภาคปฏิบัติและภาคคำนวณ ซึ่งนักเรียนจะต้องให้ความสำคัญกับการแก้โจทย์ปัญหาเพื่อประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน ซึ่งจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยพบว่ากระบวนการแก้โจทย์ปัญหาตามเทคนิคของโพลยา เป็นกระบวนการที่มีขั้นตอน ดังนี้ ขั้นทำความเข้าใจปัญหา ขั้นวางแผนแก้ปัญหา ขั้นดำเนินการตามแผน และขั้นตรวจสอบผล

(Polya, 1957, pp. 16-17) ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนมีหลักคิด เข้าใจปัญหาอย่างถ่องแท้ มีการวางแผนและกำกับการทำงานอย่างต่อเนื่อง ได้ฝึกการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้คำตอบที่ถูกต้องหรือผลเฉลยที่เป็นเหตุเป็นผลจากการแก้ปัญหา (อัมพร ม้าคนอง, 2553, น. 41) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวรัทยา มณีรัตน์ (2560, น. 304) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาทักษะกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด – เบส โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า ทักษะกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาวิชาเคมี เรื่อง กรด – เบสมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาที่นำมาใช้ในการทำแบบฝึกหัด พบว่า ช่วยให้นักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอน มีการปรับขยายแนวคิดในการแก้ปัญหาและมีการตรวจสอบผลที่ได้ทำให้นักเรียนสามารถมองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและคำตอบที่ได้รับและสามารถพัฒนาความคิดของนักเรียนอย่างเป็นกระบวนการ

จากแนวคิด สภาพปัญหา และงานวิจัยดังกล่าว พบว่าการจัดการเรียนรู้ที่เน้นความเข้าใจมโนทัศน์และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี จะช่วยส่งเสริมกันและสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ในเรื่อง กรด-เบส ช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่แท้จริงและสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ ดังที่ เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์ (2546, น. 8) ได้กล่าวว่า ความเข้าใจเกี่ยวกับมโนทัศน์ นับเป็นพื้นฐานในการเข้าใจสิ่งต่าง ๆ รอบตัว ซึ่งจะช่วยให้สามารถพัฒนาการคิดในมิติอื่น ๆ ต่อไปได้ และดังที่ กรมวิชาการ (2544, น. 11) กล่าวว่า นักแก้โจทย์ปัญหาที่ดี คือ มีความเข้าใจในมโนทัศน์ ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการนำการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามาใช้ในการจัดการเรียนรู้รายวิชาเคมี เรื่อง กรด-เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยนำกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาตามเทคนิคของโพลยาไปสอดแทรกในขั้นที่ 4 คือ ขั้นประยุกต์ ของการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์โดยให้นักเรียนนำมโนทัศน์ที่สร้างขึ้นไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา เพื่อพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

2. เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด

3. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

4. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด

5. เพื่อศึกษาพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

ความสำคัญของการวิจัย

ผลการวิจัยในครั้งนี้ ทำให้ได้แนวทางสำหรับครูผู้สอนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมถึงผู้ที่สนใจที่ต้องการพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ของนักเรียนให้สมบูรณ์ หรือต้องการส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย นอกจากนี้ได้แนวทางสำหรับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาเพื่อนำมาต่อยอดในการจัดการเรียนรู้ หัวข้ออื่น ๆ ได้ต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 กลุ่มวิทยาเขตอัจฉราลัย มีที่ตั้งในบริเวณใกล้เคียงกัน เป็นโรงเรียนขนาดเล็กในสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษานครสวรรค์ ประกอบด้วย 3 โรงเรียน ได้แก่ โรงเรียนวังข่อยพิทยา โรงเรียนบ้านแก่งชัชวลิตวิทยา และโรงเรียนตะคร้อพิทยา จำนวน 3 ห้องเรียน 79 คน โดยทั้ง 3 ห้องเรียนมีลักษณะผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี คล้ายคลึงกัน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนวังข่อยพิทยา แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2563 ภาคเรียนที่ 2 จำนวน 1 ห้องเรียน นักเรียน 30 คน ที่ใช้วิธีการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster random sampling) โดยมีหน่วยการสุ่มเป็นห้องเรียน

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

การดำเนินการทดลอง ใช้เวลาในการทดลอง 24 คาบ คาบละ 60 นาที (รวมการทดสอบก่อนเรียนและทดสอบหลังเรียน) โดยทดสอบก่อนเรียน 3 คาบ ดำเนินการตามแผนการจัดการเรียนรู้ โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการจัดการเรียนรู้เอง จำนวน 6 แผนการจัดการเรียนรู้ คิดเป็น 6 ครั้ง 18 คาบ และทดสอบหลังเรียน 3 คาบ

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รายวิชา เคมี 4 (ว 32224) ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560)

ตัวแปรที่ศึกษา

1.ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1.1 การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

2.ตัวแปรตาม ได้แก่

2.1 ความเข้าใจมโนทัศน์

2.2 ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์** หมายถึง รูปแบบการสอนที่พัฒนามาจากทฤษฎีการจัดการเรียนรู้ต่าง ๆ ที่เน้นให้นักเรียนสร้างความเข้าใจในมโนทัศน์ที่ถูกต้องสมบูรณ์ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นที่ 1 นำเข้าสู่บทเรียน (Engage) เป็นขั้นตอนที่กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจในประเด็นที่กำลังจะเรียนรู้หรือตรวจสอบมโนทัศน์เดิม โดยครูมีบทบาทให้การสร้างสถานการณ์หรือกระตุ้นให้นักเรียนตั้งคำถามเกี่ยวกับสถานการณ์นั้น ๆ และนักเรียนมีบทบาทในการให้ความสนใจเกี่ยวกับสถานการณ์ที่ครูกำหนด โดยตั้งข้อสงสัยเกี่ยวกับสิ่งที่ครูนำเสนอ หรือ ถ่ายทอดมโนทัศน์เดิมออกมา

ขั้นที่ 2 สร้างมโนทัศน์ (Construct) เป็นขั้นการสร้างองค์ความรู้ โดยครูมีบทบาทเป็นผู้ถ่ายทอดหรือผู้อำนวยความสะดวกให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ตามความเหมาะสม เช่น การสาธิต การทดลอง การใช้สื่อต่าง ๆ และนักเรียนมีบทบาทในการสำรวจ วิเคราะห์ ศึกษาจากครูหรือศึกษาด้วยตนเอง

ขั้นที่ 3 ยืนยันมโนทัศน์ (Confirm) เป็นขั้นปรับมโนทัศน์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ โดยครูให้นักเรียนนำเสนอเกี่ยวกับสิ่งที่ได้เรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ จากนั้นครูจะเป็นผู้ชี้แนะให้นักเรียนได้มีโอกาสสร้างความเข้าใจในมโนทัศน์ให้ชัดเจนและนักเรียนมีบทบาทในการอภิปราย ซักถาม แลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันทั้งชั้นเรียน สร้างความเข้าใจที่ถูกต้องสมบูรณ์

ขั้นที่ 4 ประยุกต์ (Apply) เป็นขั้นการนำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้ผ่านการยืนยันแล้วว่ามีความถูกต้องสมบูรณ์ ไปใช้ในสถานการณ์ที่หลากหลายทำให้เกิดมโนทัศน์ที่กว้างขึ้น โดยครูมีบทบาทในการกำหนดสถานการณ์ต่าง ๆ และกระตุ้นให้นักเรียนได้นำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้มาถ่ายโยงกับสถานการณ์ใหม่และนักเรียนมีบทบาทในการนำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้มาขยายให้เกิดมโนทัศน์ที่กว้างขึ้น

ขั้นที่ 5 สรุปและประเมิน (Conclude and assess) เป็นขั้นการประเมินด้วยกระบวนการต่าง ๆ โดยครูและนักเรียนมีบทบาทในการช่วยกันสรุปเกี่ยวกับการนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ จากนั้นครูทำการประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนเพื่อทดสอบความเข้าใจของนักเรียนว่าบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

2. **เทคนิคของโพลยา** หมายถึง กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาที่คิดค้นโดย George Polya ซึ่งจะเน้นกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบ มีการวางแผน กำกับการทำงานอย่างต่อเนื่อง มีขั้นตอนที่ชัดเจน 4 ขั้นตอน (Polya, 1957, p. 20) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้น 1 ขั้นทำความเข้าใจปัญหา (Understanding the problem) เป็นการตีความโจทย์ถึงสิ่งที่โจทย์ให้มา สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขของปัญหา

ขั้น 2 ขั้นวางแผนแก้ปัญหา (Devising a plan) เป็นการวางแผนพิจารณาและหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่ได้จากการตีความโจทย์ เพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม

ขั้น 3 ขั้นดำเนินการตามแผน (Carrying out the plan) เป็นการลงมือปฏิบัติตามแผนที่วางไว้โดยมีการตรวจสอบแต่ละขั้นของการดำเนินงาน

ขั้น 4 ขั้นตรวจสอบผล (Looking back) เป็นการมองย้อนกลับเพื่อตรวจสอบคำตอบรวมถึงวิธีการแก้ปัญหา ให้สอดคล้องกับข้อมูลและเงื่อนไขของปัญหา พิจารณาความสมเหตุสมผลหรืออาจหาวิธีการอื่นที่ได้มาซึ่งคำตอบเช่นเดียวกัน

3. **การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา** หมายถึง รูปแบบการสอนที่เน้นให้นักเรียนสร้างความเข้าใจในมโนทัศน์ที่ถูกต้องสมบูรณ์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา ด้วยการสอดแทรกกระบวนการแก้ปัญหาอย่างมีลำดับขั้นตอน

มีการวางแผน กำกับการทำงานอย่างต่อเนื่องโดยใช้เทคนิคของโพลยา ซึ่งมีขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ดังนี้

ขั้นที่ 1 นำเข้าสู่บทเรียน (Engage) เป็นขั้นตอนที่กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจในประเด็นที่กำลังจะเรียนรู้หรือตรวจสอบมโนทัศน์เดิม โดยครูมีบทบาทให้การสร้างสถานการณ์หรือกระตุ้นให้นักเรียนตั้งคำถามเกี่ยวกับสถานการณ์นั้น ๆ และนักเรียนมีบทบาทในการให้ความสนใจเกี่ยวกับสถานการณ์ที่ครูกำหนด โดยตั้งข้อสงสัยเกี่ยวกับสิ่งที่ครูนำเสนอ หรือ ถ่ายทอดมโนทัศน์เดิมออกมา โดยในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีกิจกรรมการนำเข้าสู่บทเรียน ได้แก่ การตรวจสอบมโนทัศน์เดิมด้วยการให้นักเรียนยกตัวอย่างสารละลายกรด เบสและกลางในชีวิตประจำวัน การเล่นเกมจับคู่เพื่อหาคู่กรด - เบส เกมการตอบคำถามเกี่ยวกับทฤษฎีกรด – เบส มีกิจกรรมที่กระตุ้นความสนใจของนักเรียนด้วยการให้นักเรียนตรวจสอบความเป็นกรด - เบสด้วยกระดาษลิตมัส การจัดประเภทสารละลายที่ไม่ทราบชื่อโดยใช้ความสว่างของหลอดไฟเป็นเกณฑ์ การสืบค้นสูตรเคมีของเหลือภายในเวลาที่กำหนด กิจกรรมตามล่าหาค่า pH ของน้ำสบู่ด้วยอินดิเคเตอร์ การจับคู่สารละลายบัฟเฟอร์และสังเกตสีของยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์เมื่อหยดลงไป รวมถึงการร่วมกันแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับความสามารถในการแตกตัวของสารละลายกรด - เบส และค่า pH ของสารละลายชนิดเดียวกันที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

ขั้นที่ 2 สร้างมโนทัศน์ (Construct) เป็นขั้นการสร้างองค์ความรู้ โดยครูมีบทบาทเป็นผู้ถ่ายทอดหรือผู้อำนวยความสะดวกให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ตามความเหมาะสม เช่น การสาธิต การทดลอง การใช้สื่อต่าง ๆ และนักเรียนมีบทบาทในการสำรวจ วิเคราะห์ ศึกษาจากครูหรือศึกษาด้วยตนเอง โดยในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีกิจกรรมการสร้างมโนทัศน์ ได้แก่ การให้นักเรียนทำการทดลอง บันทึกผลการทดลอง อภิปรายการทดลองร่วมกันภายในกลุ่มและสรุปผล มีการทดลอง เรื่องสมบัติบางประการของสารละลาย เรื่องการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ เรื่อง pH ของสารละลายจากสารที่ไม่ทราบค่า pH เรื่องปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ เรื่องปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟิวริกและแบเรียมไฮดรอกไซด์ เรื่องการไทเทรตและอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส ซึ่งจำลองให้นักเรียนเป็นนักเคมีวิเคราะห์มีภารกิจคือ หาความเข้มข้นของสารที่กำหนดให้ และเรื่องการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ นอกจากนี้มีการสำรวจ สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีกรด-เบส ในรูปแบบของแผนผังความคิด การศึกษาการแตกตัวของกรด-เบส ด้วยโปรแกรมสถานการณ์จำลอง PHET นำเสนอสมการการแตกตัวและในรูปแบบของกราฟ การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และค่า $[H_3O^+]$ pOH และค่า $[OH^-]$ เขียนออกมาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ การสืบค้นเกี่ยวกับ

ร้อยละการแตกตัว การเปรียบเทียบความสามารถในการแตกตัว ค่าคงที่ของการแตกตัว ในรูปแบบ Infographic การศึกษาวิธีการและผลของการไทเทรตหาจุดสมมูลจากวิดีทัศน์ด้วยตนเอง

ขั้นที่ 3 ยืนยันมโนทัศน์ (Confirm) เป็นขั้นปรับมโนทัศน์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ โดยครูให้นักเรียนนำเสนอเกี่ยวกับสิ่งที่ได้เรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ จากนั้นครูจะเป็นผู้ชี้แนะให้นักเรียนได้มีโอกาสสร้างความเข้าใจในมโนทัศน์ให้ชัดเจน นักเรียนมีบทบาทในการอภิปราย ซักถาม แลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันทั้งชั้นเรียน สร้างความเข้าใจที่ถูกต้องสมบูรณ์ โดยในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีกิจกรรมการยืนยันมโนทัศน์ ได้แก่ การนำเสนอผลการทดลอง นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายด้วยคำถาม จนได้มโนทัศน์ที่สมบูรณ์ มีการตรวจสอบมโนทัศน์ที่นักเรียนเข้าใจจากการทำกิจกรรมบัตรคำคู่กรด - เบส กิจกรรมการจับคู่ค่าpH หรือ pOH การทำใบงานโดยให้นักเรียนตรวจสอบของตนเองและเติมเต็มมโนทัศน์ให้สมบูรณ์ การร่วมกันถ่ายทอดมโนทัศน์ของตนเองด้วยการนำแผนผังความคิดไปติดรอบ ๆ ห้องเพื่อศึกษาร่วมกัน โดยมีครูเป็นผู้ให้คำแนะนำและตรวจสอบมโนทัศน์ให้ถูกต้อง รวมถึงการซักถามในประเด็นที่ยังไม่เข้าใจ

ขั้นที่ 4 ประยุกต์ (Apply) เป็นขั้นการนำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้ผ่านการยืนยันแล้วว่ามีความถูกต้องสมบูรณ์ ไปใช้ในสถานการณ์ที่หลากหลายทำให้เกิดมโนทัศน์ที่กว้างขึ้น โดยครูมีบทบาทในการกำหนดสถานการณ์ต่าง ๆ และกระตุ้นให้นักเรียนได้นำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้มาถ่ายโยงกับสถานการณ์ใหม่ นักเรียนมีบทบาทในการนำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้มาขยายให้เกิดมโนทัศน์ที่กว้างขึ้นด้วยเทคนิคของโพลยา ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 4 ขั้นตอน คือ

1) ขั้นทำความเข้าใจปัญหา (Understanding the problem) เป็นการตีความโจทย์ถึงสิ่งที่โจทย์ให้มา สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขของปัญหา

2) ขั้นวางแผนแก้ปัญหา (Devising a plan) เป็นการวางแผนพิจารณาและหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่ได้จากการตีความโจทย์ เพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม

3) ขั้นดำเนินการตามแผน (Carrying out the plan) เป็นการลงมือปฏิบัติตามแผนที่วางไว้โดยมีการตรวจสอบแต่ละขั้นของการดำเนินงาน หากนักเรียนไม่สามารถดำเนินการแก้ปัญหาได้ สามารถกลับไปวางแผนการแก้ปัญหาอีกครั้งและดำเนินการแก้ปัญหาจนได้คำตอบและทำการตรวจสอบผลในขั้นต่อไปตามลำดับ

4) ขั้นตรวจสอบผล (Looking back) เป็นการมองย้อนกลับเพื่อตรวจสอบคำตอบรวมถึงวิธีการแก้ปัญหา ให้สอดคล้องกับข้อมูลและเงื่อนไขของปัญหา พิจารณาความสมเหตุสมผลหรืออาจหาวิธีการอื่นที่ได้มาซึ่งคำตอบเช่นเดียวกัน

โดยในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีกิจกรรมการประยุกต์ ได้แก่ ครูกำหนดโจทย์ปัญหา เพื่อให้นักเรียนได้นำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ใช้ หรือนักเรียนตั้งโจทย์ปัญหาด้วยตนเองเพื่อให้ทุกกลุ่มเวียนกันแก้โจทย์ปัญหาซึ่งนักเรียนจะเรียนรู้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาด้วยเทคนิคของโพลยา จากตัวอย่างและจากแบบฝึกหัดในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ มีการนำเสนอกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียน หากมีนักเรียนคนใดที่มีกระบวนการแตกต่างจากเพื่อน ให้นำเสนอเพื่อเป็นแนวทางที่หลากหลาย จากนั้นสรุปสิ่งที่ได้จากการแก้โจทย์ปัญหาในแบบฝึกหัด นอกจากนี้ มีกิจกรรมกระตุ้นความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาด้วยการให้นักเรียนนำสถานการณ์ที่ตนเองคิดและกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของตนเองมาติดรอบ ๆ ชั้นเรียนเพื่อค้นหานักเรียนที่มีสถานการณ์และกระบวนการในการแก้โจทย์ปัญหาที่ดีที่สุดของชั้นเรียน

ขั้นที่ 5 สรุปและประเมิน (Conclude and assess) เป็นขั้นการประเมินด้วยกระบวนการต่าง ๆ โดยครูและนักเรียนมีบทบาทในการช่วยกันสรุปเกี่ยวกับการนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ จากนั้นครูทำการประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนเพื่อทดสอบความเข้าใจของนักเรียนว่าบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่ โดยในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีกิจกรรมการสรุปและประเมิน ได้แก่ การร่วมกันสรุปเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้และการนำมโนทัศน์ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา การเปิดโอกาสให้นักเรียนซักถามข้อสงสัยเกี่ยวกับการเรียนในครั้งนี้ การทำกิจกรรมเพื่อประเมินนักเรียนด้วยการเล่นเกมโดมิโนกรด - เบส เล่นเกม Bingo pH การจับฉลากชื่อสูตรเคมีเพื่อเรียงลำดับความเป็นกรด การจับฉลากชื่อเกลือเพื่อจัดกลุ่มใหม่โดยใช้สมบัติความเป็นกรด–เบสเป็นเกณฑ์ การจับคู่สารละลายที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน การทำรายงาน เกี่ยวกับสารต่าง ๆ ในร่างกายและในชีวิตประจำวันที่มีค่า pH ต่าง ๆ นอกจากนี้ให้นักเรียนตรวจสอบใบงานให้ครบถ้วนเพื่อที่ครูจะได้ให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียน

4. **ความเข้าใจมโนทัศน์** หมายถึง ความเข้าใจในความคิดรวบยอดเรื่อง กรด-เบส ที่ได้มาซึ่งกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ แล้วแทนด้วยข้อความที่ทำให้คนทั่วไปเข้าใจร่วมกันได้

แบ่งเป็นมโนทัศน์ย่อย ทั้งหมด 9 มโนทัศน์ย่อยดังนี้

มโนทัศน์ที่ 1 ทฤษฎีกรด-เบส

มโนทัศน์ที่ 2 คู่กรด-เบส

มโนทัศน์ที่ 3 การแตกตัวของกรด เบส

มโนทัศน์ที่ 4 การแตกตัวของน้ำ

มโนทัศน์ที่ 5 pH ของสารละลาย

มโนทัศน์ที่ 6 ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรดเบสของเกลือ

มโนทัศน์ที่ 7 การไทเทรต

มโนทัศน์ที่ 8 อินดิเคเตอร์

มโนทัศน์ที่ 9 สารละลายบัฟเฟอร์

ซึ่งสามารถวัดได้จากแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส เป็นแบบข้อคำถาม 2 ตอน (Two-tier diagnostic test) แบบปรนัย 4 ตัวเลือกพร้อมการอธิบายเหตุผลเพิ่มเติมเป็นแบบคำถามปลายเปิด จำนวน 20 ข้อ โดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา ตอนที่ 2 เป็นเหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ ซึ่งมีการกำหนดเกณฑ์ในการให้คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ ที่ประยุกต์มาจากการจัดกลุ่มมโนทัศน์ของเวสบรูคและมาริก (Westbrook และ Marek, 1992 อ้างถึงในไอนิง เจ๊ะเหลาะ, 2556, น. 33) และจาก สุภาพ ตาเมือง, กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา, และ ศักดิ์ศรี สุภาษร (2560, น. 7) แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มมโนทัศน์ ดังนี้

1) ความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (Complete Understanding : CU) คือ ให้คำตอบที่ถูกต้องและแสดงเหตุผลที่ถูกต้องสมบูรณ์ (3 คะแนน)

2) ความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding : PU) คือ ให้คำตอบที่ถูกต้องและแสดงเหตุผลที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์และไม่มีส่วนผิด (2.5 คะแนน)

3) ความเข้าใจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with Specific Alternative Conception : PS) คือ ให้คำตอบที่ถูกต้องแต่แสดงเหตุผลที่ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (2 คะแนน) ให้คำตอบที่ถูกต้องแต่แสดงเหตุผลไม่ถูกต้องแต่ยังมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ (1.5 คะแนน) ให้คำตอบที่ถูกต้องแต่ไม่แสดงเหตุผลหรือแสดงเหตุผลที่ไม่เกี่ยวข้องกับโจทย์ (1 คะแนน) หรือให้คำตอบที่ผิดแต่แสดงเหตุผลที่ถูกต้องสมบูรณ์ (2 คะแนน) ให้คำตอบที่ผิดแต่แสดงเหตุผลถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์และไม่มีส่วนผิด (1.5 คะแนน) และให้คำตอบที่ผิดแต่แสดงเหตุผลที่ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (1 คะแนน)

4) ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (Alternative Conception : AC) คือ ให้คำตอบที่ผิดและแสดงเหตุผลที่ไม่ถูกต้องทั้งหมดแต่ยังมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ (0.5 คะแนน)

5) ความไม่เข้าใจมโนทัศน์ (No Understanding : NU) คือ ให้คำตอบที่ผิดและไม่แสดงเหตุผลหรือแสดงเหตุผลที่ไม่เกี่ยวข้องกับโจทย์ (0 คะแนน)

5. มโนทัศน์คลาดเคลื่อน หมายถึง ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องของนักเรียน ในเรื่อง กรด-เบส มีลักษณะแตกต่างไปจากมโนทัศน์ที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับได้ แบ่งเป็นมโนทัศน์คลาดเคลื่อน ทั้งหมด 9 มโนทัศน์ย่อยดังนี้

มโนทัศน์ที่ 1 ทฤษฎีกรด-เบส มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ การแตกตัวเป็นไอออนของสารละลาย สมบัติการนำไฟฟ้า การพิจารณาไฮโดรเนียมไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลาย การเลือกใช้ทฤษฎีกรด-เบส การพิจารณาความเป็นกรด-เบสจากสูตรโมเลกุล

มโนทัศน์ที่ 2 คู่กรด-เบส มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการพิจารณาจากอะตอมไฮโดรเจน การพิจารณาจากการทำปฏิกิริยากันของสารตั้งต้น

มโนทัศน์ที่ 3 การแตกตัวของกรด เบส มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการพิจารณาความสามารถในการแตกตัวของกรด-เบส ความแรงของกรด-เบสจากไฮโดรเนียมไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออน การทำปฏิกิริยาหักล้างกันในสารละลายกรด-เบส

มโนทัศน์ที่ 4 การแตกตัวของน้ำ มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับค่าคงที่ในการแตกตัวของน้ำ ที่พิจารณาจากค่าคงที่ในการแตกตัวของกรดและค่าคงที่ในการแตกตัวของเบส

มโนทัศน์ที่ 5 pH ของสารละลาย มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการพิจารณาค่า pH จากไฮโดรเนียมไอออน ความแรงของกรด-เบส ที่พิจารณาจาก pH และ pOH ช่วงของค่า pH และ pOH การทดสอบความเป็นกรด-เบส ด้วยกระดาษลิตมัส

มโนทัศน์ที่ 6 ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรดเบสของเกลือ มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับสารที่ได้จากปฏิกิริยากรด-เบส ความแรงของกรด-เบสจากการทำปฏิกิริยา

มโนทัศน์ที่ 7 การไทเทรต มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับจุดสมมูล จุดยุติ การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการไทเทรตลงในอุปกรณ์วิทยาศาสตร์

มโนทัศน์ที่ 8 อินดิเคเตอร์ มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับหน้าที่และการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์

มโนทัศน์ที่ 9 สารละลายบัฟเฟอร์ มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับหน้าที่และส่วนประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์

6. **ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี** หมายถึง ความสามารถในการตระหนักถึงปัญหา ในรายวิชาเคมี เรื่อง กรด-เบส โดยใช้ศักยภาพในการวิเคราะห์ข้อความในโจทย์ปัญหาและใช้เทคนิคของโพลยา ในการแก้โจทย์ปัญหาเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่มีความสมเหตุสมผลข้อเท็จจริง ทักษะ มโนทัศน์และหลักการต่าง ๆ ทำการวัดด้วยแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส เป็นแบบอัตนัย จำนวน 10 ข้อ มีการกำหนดเกณฑ์ในการให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา โดยประยุกต์เกณฑ์การให้คะแนนตามแนวคิดของกรมวิชาการ (2544, น. 113-114) ซึ่งเป็นแบบรูบริคแยกเป็นแต่ละขั้นตอน (Analytic scoring rubric) ที่กำหนดน้ำหนักแต่ละขั้นตอนไม่เท่ากัน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นทำความเข้าใจปัญหา (Understanding the problem) เป็นการตีความโจทย์ถึงสิ่งที่โจทย์ให้มา สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขของปัญหา มีการให้คะแนน 3 ระดับ โดย 2 คะแนน คือ ทำความเข้าใจปัญหาได้ถูกต้อง สามารถระบุสิ่งที่โจทย์ถามและสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ ได้ถูกต้องครบถ้วน 1 คะแนน คือ ทำความเข้าใจปัญหาได้ถูกต้องบางส่วน สามารถระบุสิ่งที่โจทย์ถามและสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ ได้ถูกต้องบางส่วน 0 คะแนน คือ ไม่มีความเข้าใจปัญหา ไม่สามารถระบุสิ่งที่โจทย์ถามและสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ หรือระบุได้ไม่ถูกต้อง ขั้นนี้มีน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 1

ขั้นที่ 2 ขั้นวางแผนแก้ปัญหา (Devising a plan) เป็นการวางแผนพิจารณาและหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่ได้จากการตีความโจทย์ เพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม มีการให้คะแนน 3 ระดับ โดย 2 คะแนน คือ วางแผนการแก้ปัญหาได้ถูกต้อง มีลำดับขั้นตอน หรือในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาเชิงปริมาณ มีการเลือกสูตรเคมีและเขียนสมการเพื่อหาตัวแปรได้อย่างถูกต้องครบถ้วน 1 คะแนน คือ วางแผนการแก้ปัญหาได้ถูกต้องบางส่วน ไม่มีลำดับขั้นตอน หรือในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาเชิงปริมาณ มีการเลือกสูตรเคมีและเขียนสมการเพื่อหาตัวแปรได้อย่างถูกต้องบางส่วน 0 คะแนน คือ ไม่มีการวางแผนการแก้ปัญหา หรือในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาเชิงปริมาณ ไม่สามารถระบุสูตรเคมีและไม่เขียนสมการเพื่อหาตัวแปรหรือระบุได้ไม่ถูกต้อง ขั้นนี้มีน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 1

ขั้นที่ 3 ขั้นดำเนินการตามแผน (Carrying out the plan) เป็นการลงมือปฏิบัติตามแผนที่วางไว้โดยมีการตรวจสอบแต่ละขั้นของการดำเนินงาน หากนักเรียนไม่สามารถดำเนินการแก้ปัญหาได้ สามารถกลับไปวางแผนการแก้ปัญหาอีกครั้งและดำเนินการแก้ปัญหาจนได้คำตอบและทำการตรวจสอบผลในขั้นต่อไปตามลำดับ มีการให้คะแนน 3 ระดับ โดย 2 คะแนน คือ นำวิธีการแก้ปัญหามาดำเนินการได้ถูกต้อง มีการแสดงวิธีทำได้ถูกต้อง ครบถ้วน 1 คะแนน

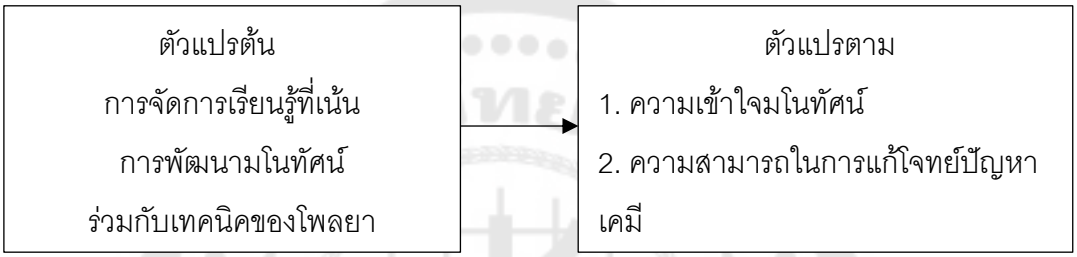
คือ นำวิธีการแก้ปัญหามาดำเนินการได้ถูกต้องบางส่วน มีการแสดงวิธีทำได้ถูกต้องบางส่วน 0 คะแนน คือ ไม่มีการนำวิธีการแก้ปัญหามาดำเนินการ ไม่มีการแสดงวิธีทำหรือแสดงได้ไม่ถูกต้อง ขั้นนี้มีน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 2

ขั้นที่ 4 ขั้นตรวจสอบผล (Looking back) เป็นการมองย้อนกลับเพื่อตรวจสอบคำตอบ หน่วยในการตอบ รวมถึงวิธีการแก้ปัญหา ให้สอดคล้องกับข้อมูลและเงื่อนไขของปัญหา พิจารณาความสมเหตุสมผลหรืออาจหาวิธีการอื่นที่ได้มาซึ่งคำตอบเช่นเดียวกัน มีการให้คะแนน 3 ระดับ โดย 2 คะแนน คือ มีการตรวจสอบผลของการแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างชัดเจนโดยคำนึงถึงความสมเหตุสมผล ในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาเชิงปริมาณ ระบุคำตอบในการแก้โจทย์ปัญหาและระบุหน่วยได้อย่างถูกต้อง สอดคล้องกับตัวแปร 1 คะแนน คือ มีการตรวจสอบผลของการแก้โจทย์ปัญหาบางส่วนโดยคำนึงถึงความสมเหตุสมผล ในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาเชิงปริมาณ ระบุคำตอบในการแก้โจทย์ปัญหาและระบุหน่วยได้ถูกต้องบางส่วน 0 คะแนน คือ ไม่มีการตรวจสอบผลของการแก้โจทย์ปัญหาโดยคำนึงถึงความสมเหตุสมผล ในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาเชิงปริมาณ ไม่ระบุคำตอบในการแก้โจทย์ปัญหาและไม่ระบุหน่วย หรือ ระบุได้ไม่ถูกต้อง ไม่สอดคล้องกับตัวแปร ขั้นนี้มีน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 1

กรอบแนวคิดในงานวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยในครั้งนี้เกิดจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความเข้าใจมโนทัศน์และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส พบว่า การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ ควรมีการกระตุ้นให้นักเรียนได้ร่วมอภิปรายเกี่ยวกับสิ่งที่ได้เรียนรู้ การนำเสนอ จะทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในมโนทัศน์ และการที่ครูสรุปปิดท้ายบทเรียนจะทำให้มโนทัศน์มีความหมายยิ่งขึ้น (สุพรรณี ชาญประเสริฐ, 2556, น. 34-37) ซึ่งเมื่อนักเรียนเกิดความเข้าใจมโนทัศน์แล้ว สามารถนำมโนทัศน์ที่สรุปรวมไว้นั้นไปใช้เป็นพื้นฐานในการเรียนขั้นสูงและสามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ (พันธ์ ทองชุมนุม, 2547, น. 206) ซึ่งเทคนิคการแก้ปัญหาของโพลยาช่วยให้นักเรียนมีหลักคิด เข้าใจปัญหาอย่างถ่องแท้ มีการวางแผนและกำกับการทำงานอย่างต่อเนื่อง ฝึกคิดแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นระบบ (อัมพร ม้าคนอง, 2553, น. 41) และเนื่องจากการจัดการเรียนรู้ในเรื่อง กรด - เบส มีเนื้อหาผสมผสานทั้งหลักการ กฎและการคำนวณ จึงควรส่งเสริมให้นักเรียนมีความเข้าใจมโนทัศน์และมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีไปพร้อม ๆ กัน ทำให้เกิดการนำขั้นตอนเทคนิคการแก้ปัญหาของโพลยามาสอดแทรกในขั้นประยุกต์ของการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ โดยให้นักเรียนนำมโนทัศน์ที่สร้างขึ้นไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา เนื่องจากความเข้าใจเกี่ยวกับ

มโนทัศน์ นับเป็นพื้นฐานในการเข้าใจสิ่งต่าง ๆ รอบตัว ซึ่งจะช่วยให้สามารถพัฒนาการคิดในมิติอื่น ๆ ต่อไปได้ (เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์, 2546, น. 8) และเพื่อมุ่งเน้นให้นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เนื่องจากความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ถือเป็นสิ่งจำเป็นในการเรียนรู้เรื่อง กรด-เบสอีกประการหนึ่งเช่นกัน เพราะความเข้าใจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน สามารถทำให้เกิดความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องได้ด้วยการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งเป็นการทำให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจจากประสบการณ์ตรง ได้คิดอย่างเป็นระบบ เชื่อมโยงทฤษฎีและการนำไปใช้ได้อย่างชัดเจน (วรัทยา มณีรัตน์, 2560, น. 299) โดยผู้วิจัย สามารถสรุปเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัยดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

สมมติฐานในงานวิจัย

1. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

2. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 60)

3. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

4. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 60)

5. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบสจากการประเมินแต่ละครั้งแตกต่างกัน

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์
    1.1 การจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างมโนทัศน์ของบรูเนอร์
    1.2 การจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิก
    1.3 การจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์
    1.4 การจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังทางปัญญา
    1.5 การจัดการเรียนรู้โดยใช้การนำเสนอมโนทัศน์กว้างล่วงหน้า
    1.6 การจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย
    1.7 การจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย
    1.8 การจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ
    1.9 การจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย
    1.10 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้
2. เทคนิคของโพลยา
    2.1 แนวคิดของโพลยา
    2.2 กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้เทคนิคของโพลยา
    2.3 บทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้ด้วยเทคนิคของโพลยา
3. การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา
    3.1 ความหมายการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา
    3.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา
4. ความเข้าใจมโนทัศน์
    4.1 ความหมายของมโนทัศน์
    4.2 ประเภทของมโนทัศน์
    4.3 แนวทางการพัฒนามโนทัศน์
    4.4 ประเภทของมโนทัศน์คลาดเคลื่อน
    4.5 หลักการปรับมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

4.7 ความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส

4.8 มโนทัศน์คลาดเคลื่อน เรื่อง กรด-เบส

4.9 การจัดกลุ่มมโนทัศน์

4.10 แนวทางการวัดความเข้าใจมโนทัศน์

5. ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

5.1 ความหมายของการแก้ปัญหา

5.2 กระบวนการในการแก้ปัญหา

5.3 กระบวนแก้ปัญหาในรายวิชาเคมี

5.4 องค์ประกอบที่ช่วยในการแก้โจทย์ปัญหา

5.5 ความหมายของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

5.6 แนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

5.7 แนวทางการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์

6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคของโพลยา

6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเข้าใจมโนทัศน์

6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี

1. การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์

นักการศึกษาหลายท่าน ได้กล่าวถึงการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ ไว้ดังนี้

1.1 การจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างมโนทัศน์ของบรูเนอร์

การจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างมโนทัศน์ของบรูเนอร์สามารถสรุปได้ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1.1.1 แนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างมโนทัศน์ของบรูเนอร์

ทิศนา แขมมณี (2553, น. 225) กล่าวว่า การเรียนรู้มโนทัศน์ของเรื่องใดเรื่องหนึ่งนั้น ทำได้โดยการกำหนดเกณฑ์จำแนกสิ่งที่ใช่และไม่ใช่ ด้วยคุณสมบัติเฉพาะของเรื่องนั้น ๆ

นอกจากนี้ ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 254-255) ได้กล่าวว่า การสร้างมโนทัศน์เริ่มต้นจากบรูเนอร์และคณะได้วิจัยกระบวนการคิดของมนุษย์เกี่ยวกับ การจัดประเภท ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญที่จะทำให้นักเรียนได้เข้าใจธรรมชาติของมโนทัศน์และการสร้างมโนทัศน์ โดยมีอยู่ทั้งสิ้น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นการก่อรูปมโนทัศน์ (The act of concept formation) เป็นการนำไปสู่การเรียนรู้มโนทัศน์ สร้างมโนทัศน์บางอย่างได้ก่อนจะรู้ว่ามโนทัศน์นั้น ๆ คืออะไร ด้วยการค้นหาแยกประเภท ขั้นต่อมาคือ ขั้นการรู้มโนทัศน์ (The act of concept attainment) เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นหลักสร้างมโนทัศน์แล้ว บอกให้ครูทราบว่ามโนทัศน์นั้น ๆ คืออะไร ยกตัวอย่างและบอกลักษณะพื้นฐาน คุณลักษณะของมโนทัศน์ได้ วิธีการที่จะรู้มโนทัศน์ด้วยวิธีต่าง ๆ มี 2 แบบด้วยกัน คือ ยุทธวิธีการคิดแบบเลือก (Selection thinking strategies) เป็นวิธีที่ครูไม่ระบุว่าตัวอย่างใด ใช่หรือไม่ใช่ นักเรียนจะจัดตัวอย่างมโนทัศน์ด้วยตนเอง เป็นยุทธวิธีที่จะทำให้นักเรียนได้ฝึกคิด ตัดสินใจด้วยตนเองอย่างมีคุณภาพมากขึ้นและยุทธวิธีการคิดแบบรับ (Reception thinking strategies) เป็นวิธีที่ครูระบุหรือแยกตัวอย่างไว้ให้แล้วอย่างชัดเจน นักเรียนมีบทบาทเพียงตอบตามเงื่อนไขที่ครูระบุ

1.1.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างมโนทัศน์ของบรูเนอร์

นักการศึกษา (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2561, น. 256-258; ทิศนา แขมมณี, 2553, น. 225-227) ได้กล่าวถึง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างมโนทัศน์ของบรูเนอร์ไว้หลากหลายรูปแบบ ดังนี้

ทิศนา แขมมณี (2553, น. 225-227) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างมโนทัศน์ของบรูเนอร์ มี 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 นักเรียนจำแนกจากข้อมูลที่ครูเตรียมให้ ซึ่งมีการเตรียมข้อมูล 2 ชุด โดยแบ่งเป็นตัวอย่างมโนทัศน์ที่ครูต้องการสอน และตัวอย่างมโนทัศน์ที่ครูไม่ต้องการสอน

โดยครูจะต้องหาตัวอย่างที่ครอบคลุมลักษณะของมโนทัศน์นั้น หากเป็นเรื่องที่มีความเป็นนามธรรม ยากต่อการทำความเข้าใจ อาจใช้วิธีการยกตัวอย่างเรื่องสั้นที่แต่งขึ้น

ขั้นที่ 2 ครูชี้แจงถึงกติกาในการเรียนให้นักเรียนเข้าใจ หรือสาธิตวิธีการให้นักเรียนเกิดความเข้าใจ

ขั้นที่ 3 ครูเสนอตัวอย่างมโนทัศน์ที่ต้องการสอนและตัวอย่างมโนทัศน์ที่ครูไม่ต้องการสอน อาจทำได้หลายแบบ ได้แก่

1) การนำเสนอข้อมูลที่ต้องการสอนหมดทั้งชุดแล้วตามด้วยการเสนอข้อมูลที่ไม่ใช่ตัวอย่างจนครบหมดชุด แล้วให้นักเรียนหาคุณสมบัติร่วมและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

2) การนำเสนอข้อมูลทั้งที่เป็นตัวอย่างและไม่เป็นตัวอย่างสลับกันไปจนครบ

3) การนำเสนอข้อมูลทั้งที่เป็นตัวอย่างและไม่เป็นตัวอย่าง อย่างละ 1 ข้อมูล แล้วเสนอทั้งหมดแบบทีละตัวอย่าง

4) การนำเสนอข้อมูลทั้งที่เป็นตัวอย่างและไม่เป็นตัวอย่าง อย่างละ 1 ข้อมูล จากนั้นเปิดโอกาสให้นักเรียนยกตัวอย่างที่เป็นตัวอย่างให้มากขึ้น

ขั้นที่ 4 นักเรียนบอกคุณสมบัติเฉพาะของตัวอย่างที่ต้องการสอน โดยทดสอบคำตอบด้วย หากไม่ถูกต้องจึงเปลี่ยนสมมติฐาน ทำให้ได้ค่อย ๆ เพื่อสร้างมโนทัศน์จากคุณสมบัติเฉพาะของสิ่งนั้น

ขั้นที่ 5 นักเรียนสรุปและสร้างคำจำกัดความของข้อมูลที่ต้องการสอน

ขั้นที่ 6 นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายถึงวิธีการที่ได้มาซึ่งคำตอบ เพื่อที่จะเรียนรู้เกี่ยวกับกระบวนการคิดของตนเอง

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 256-258) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างมโนทัศน์ของบรูเนอร์ที่แตกต่างออกไป โดยได้ลดความซ้ำซ้อนของบางขั้นตอน มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นเสนอข้อมูลและระบุชื่อมโนทัศน์ คือ ขั้นที่ครูเริ่มต้นด้วยการเสนอข้อมูลให้นักเรียนและแบ่งเป็น 2 พวก คือ ข้อมูลที่เป็นตัวอย่างทางบวก คือ ข้อมูลที่มีคุณลักษณะทั้งหมดของมโนทัศน์ และข้อมูลที่เป็นตัวอย่างทางลบ คือ ข้อมูลที่มีคุณลักษณะใดคุณลักษณะหนึ่งของมโนทัศน์หรือไม่มีคุณลักษณะใด ๆ ของมโนทัศน์อยู่เลยและระบุคำว่า “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” เพื่อให้นักเรียนตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่ครูต้องการสอน เพื่อทดสอบสมมติฐานและสรุปนิยามของมโนทัศน์

ขั้นที่ 2 ขั้นทดสอบความถูกต้องของมโนทัศน์ โดยให้นักเรียนระบุตัวอย่างที่ครูเสนอเพิ่มเติมว่าตัวอย่างใด “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” และบอกสมมติฐานระบุชื่อมโนทัศน์ ทบทวนนิยามคุณลักษณะของมโนทัศน์ตามที่ค้นพบ จากนั้นให้นักเรียนยกตัวอย่างมโนทัศน์ที่ใช่ หรือ ไม่ใช่ เพื่อทดสอบการเรียนมโนทัศน์ในเรื่องที่สอน เพื่อที่ครูจะได้ยืนยันสมมติฐาน ชื่อมโนทัศน์และคำนิยามมโนทัศน์

ขั้นที่ 3 อภิปรายวิธีการคิด เป็นการเสนอมโนทัศน์ของแต่ละคน ในการที่จะสรุปนิยามของมโนทัศน์ โดยมีการอภิปรายถึงบทบาทของสมมติฐานและคุณลักษณะของสมมติฐาน เพื่อให้ทราบถึงวิธีการในการคิดที่หลากหลาย เกิดการเปรียบเทียบว่าคิดด้วยขั้นตอนอย่างไรจึงจะมีประสิทธิภาพ และประยุกต์ใช้ต่อไปได้

ดังนั้นสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างมโนทัศน์ของบรูเนอร์ คือ การจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนใช้กระบวนการจัดประเภท ซึ่งขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างมโนทัศน์ของบรูเนอร์ มีอยู่หลายรูปแบบ โดยรวมแล้วจะเริ่มต้นจากการเตรียมข้อมูล การอธิบายกติกา การเสนอข้อมูล การให้นักเรียนบอกคุณสมบัติเฉพาะ การให้นักเรียนสรุปและให้คำจำกัดความ การอภิปรายถึงกระบวนการคิดของนักเรียน เพื่อเป็นการลดความซ้ำซ้อนของบางขั้นตอน ผู้วิจัยจึงสรุปขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ได้ 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 ขั้นนำเสนอข้อมูลและระบุชื่อมโนทัศน์ ขั้นที่ 2 ขั้นทดสอบความถูกต้องของมโนทัศน์และขั้นที่ 3 ขั้นวิเคราะห์ยุทธวิธีการคิด จะเห็นได้ว่า หากนักเรียนเรียนรู้ผ่านการจัดประเภทของมโนทัศน์ ยกตัวอย่างมโนทัศน์ บอกลักษณะพื้นฐานและคุณลักษณะของมโนทัศน์ด้วยยุทธวิธีการคิดของนักเรียนตามขั้นตอนต่าง ๆ จะช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างความเข้าใจและสร้างมโนทัศน์ได้ด้วยตนเอง

1.2 การจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิก

การจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิกสามารถสรุปได้ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1.2.1 แนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิก

การจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิก ซึ่งมีที่มาจากทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Meaningful learning theory) และการจัดเนื้อหาสาระก่อนเรียน (Advance organizer) เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้อย่างมีความหมายของออซุเบล ในปี ค.ศ. 1968 ซึ่งในสมองมีการจัดการความรู้ต่าง ๆ ที่เรียนรู้อย่างมีระบบในลักษณะที่เป็นโครงสร้างที่เรียกว่า “โครงสร้างทางปัญญา” ซึ่งมีการจัดลำดับความสัมพันธ์เชื่อมโยงจากมโนทัศน์ที่กว้าง ครอบคลุมจนถึงมโนทัศน์ย่อยที่เฉพาะเจาะจง ดังนั้นการเรียนรู้ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงควรจะเป็นการเรียนรู้อย่างมีความหมาย ที่นักเรียนสามารถนำการเรียนรู้ใหม่เข้าไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิม โดยนักเรียนจะต้องมีความรู้เดิมเพื่อเชื่อมโยงสิ่งใหม่ได้ จึงจะเกิดการเรียนรู้ โดยการเรียนรู้มี 4 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 การเรียนรู้โดยการรับอย่างมีความหมาย (Meaningful-reception) ครูเป็นผู้เสนอเนื้อหา และให้นักเรียนเชื่อมโยงสิ่งที่ครูเสนอเข้ากับข้อมูลที่มีอยู่ ประเภทที่ 2 การเรียนรู้โดยการค้นพบอย่างมีความหมาย (Meaningful-discovery) นักเรียนสืบค้นข้อมูลด้วยตนเอง ประเภทที่ 3 การเรียนรู้โดยการรับอย่างท่องจำ (Rote-reception) ครูเป็นผู้เสนอเนื้อหาเพื่อให้นักเรียนท่องจำ และประเภทที่ 4 การเรียนรู้โดยการค้นพบอย่างท่องจำ (Rote-discovery) นักเรียนเป็นผู้สืบค้นข้อมูลด้วยตนเองโดยอาจใช้การลองผิดลองถูกและจำโดยขาดการเชื่อมโยงกับโครงสร้างทางปัญญา ซึ่งต่อมาหลังจาก ค.ศ. 1968 - ค.ศ.1975 ได้เกิดแผนภาพในรูปแบบต่าง ๆ ขึ้นมากกว่า 20 ชนิด แล้วเรียกว่า ผังกราฟิก หรือ Graphic organizer (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2561, น. 260-261) ต่อมาได้มีการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิกขึ้นในปี ค.ศ. 1989 โดยโจนส์และคณะ ในปี ค.ศ. 1991 โดยคล้ากและในปี ค.ศ. 1992 โดยจอยส์และคณะ ตามลำดับ ซึ่งมีหลักการว่า กระบวนการเรียนรู้ มีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ 1) ความจำข้อมูล (Information storage) ประกอบด้วย ความจำจากการรู้สึกสัมผัส (Sensory memory) เก็บข้อมูลได้ประมาณ 10 วินาที ความจำระยะสั้น (Short-term memory) หรือความจำปฏิบัติการ (Working memory) เก็บข้อมูลได้ประมาณ 20 วินาที ซึ่งผ่านการตีความมาแล้ว ทำหน้าที่ในการคิด (Mental operation) และความจำระยะยาว (Long-term memory) เป็นความจำที่มีความคงทน มีขนาดความจุไม่จำกัด คงอยู่ได้เป็นเวลานาน เมื่อต้องการใช้จะสามารถเรียกคืนได้ ซึ่งมีลักษณะเป็นความจำเหตุการณ์ (Episodic memory) และลักษณะความจำความหมาย (Semantic memory) เกี่ยวกับข้อเท็จจริง มโนทัศน์ กฎ หลักการต่าง ๆ ซึ่งกระบวนการทางปัญญาเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการจำ ซึ่งคือองค์ประกอบสำคัญที่ 2) กระบวนการทางปัญญา ประกอบด้วย ความใส่ใจ (Attention) การรับรู้ (Perception) การทำซ้ำ (Rehearsal) การเข้ารหัส (Encoding) และการเรียกคืน (Retrieval) และองค์ประกอบที่ 3) เมตาคอคนิชัน (Metacognition) (ทิศนา แขมมณี, 2553, น. 232-234) ซึ่งจะเห็นได้ว่า การเรียนรู้ เป็นการสร้างความรู้ของแต่ละบุคคล โดยจะต้องใช้กระบวนการเรียนรู้อย่างมีความหมาย 4 ขั้นตอน คือ การเลือกรับข้อมูลที่สัมพันธ์กัน (Selecting relavant information) การจัดระเบียบข้อมูลเข้าสู่โครงสร้าง (Coherent structure) การบูรณาการข้อมูล (Integrating) และการเข้ารหัส (Encoding) เพื่อให้คงอยู่ในความจำระยะยาว เมื่อเกิดเหตุการณ์ขึ้นก็จะสามารถเรียกคืนได้ง่าย ด้วยเหตุนี้ การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนนำความรู้เดิมเชื่อมโยงกับความรู้ใหม่ โดยนำความเข้าใจนั้นมาสร้างมโนทัศน์ที่มีความหมายต่อตนเองขึ้น ซึ่งจะอยู่ในความจำระยะยาว เมื่อต้องการใช้จะสามารถเรียกคืนได้ (วีณา ประชากูล และ ประสาท เนืองเฉลิม, 2553, น. 137-138) ดังนั้น

การใช้ผังกราฟิกเป็นการที่ทำให้ครูได้มองเห็นวิธีคิดที่อยู่ภายในสมองของนักเรียน (ชนาธิป พรกุล, 2552, น. 26)

1.2.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิก

นักการศึกษา (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2561, น. 256-258; ทิศนา แขมมณี, 2553, น. 232-234; วีณา ประชากูล และ ประสาท เนืองเฉลิม, 2553, น. 19-24) ได้กล่าวถึง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิก ไว้หลากหลายรูปแบบ ดังนี้

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิกตามรูปแบบของโจนส์และคณะ

1) ครูนำเสนอตัวอย่างการจัดการข้อมูลที่มีอยู่ด้วยผังกราฟิกที่เหมาะสมกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์

2) ครูแสดงวิธีการสร้างผังกราฟิก

3) ครูชี้แจงเหตุผลของการใช้ผังกราฟิกนั้นและอธิบายวิธีการใช้

4) นักเรียนฝึกการสร้างและใช้ผังกราฟิกในการทำความเข้าใจเนื้อหาเป็นรายบุคคล

5) นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอผังกราฟิกของตนเอง

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิกตามรูปแบบของคล้าก

1) ขั้นก่อนสอน

1.1) ครูพิจารณาเนื้อหา สาระ รวมถึงวัตถุประสงค์ที่ต้องการสอน

1.2) ครูจัดทำผังกราฟิกเนื้อหาสาระนั้น ๆ

1.3) ครูเลือกผังกราฟิกที่เหมาะสมที่สุด

1.4) ครูคาดคะเนปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในการใช้ผังกราฟิก

2) ขั้นสอน

2.1) ครูนำผังกราฟิกที่เหมาะสมให้นักเรียนสังเกต

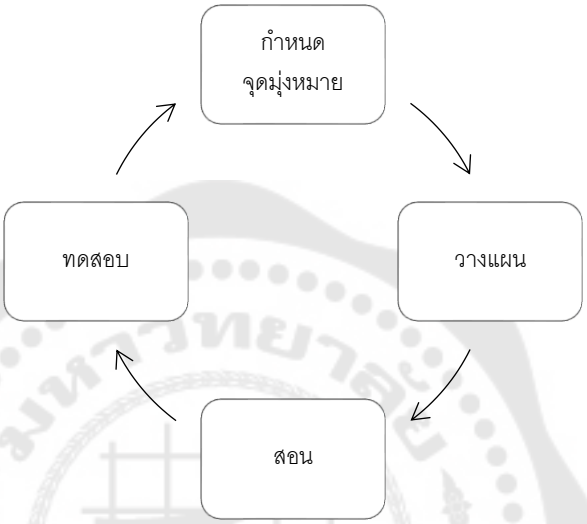
2.2) นักเรียนสังเกตผังกราฟิกและทำความเข้าใจเพื่อจัดทำกราฟิกของตนเอง

2.3) ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนถามข้อสงสัย และปรับความเข้าใจที่ผิดของนักเรียน หรือเติมเต็มความเข้าใจให้สมบูรณ์

2.4) ครูนำปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา ให้นักเรียนคิดเพิ่มเติม แล้วให้นักเรียนใช้ผังกราฟิกเป็นกรอบในการคิดแก้ปัญหา

2.5) ครูให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียน

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 263-264)ได้กล่าวถึง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิกตามรูปแบบของคล้าก ไว้อีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งกล่าวว่า ต้องทำเป็นกระบวนการที่ครบวงจร ตั้งแต่การกำหนดจุดมุ่งหมาย การวางแผน การสอนและการทดสอบ ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิกตามรูปแบบของคล้าก

ที่มา : ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์. (2561). 80 นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ. หน้า 264.

โดยรายละเอียดขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิกตามรูปแบบของคล้าก เป็นดังนี้

1) ขั้นกำหนดจุดมุ่งหมาย ครูแสดงจุดมุ่งหมายสำหรับการเรียน ให้นักเรียนทราบว่าเนื้อหานี้ต้องการให้นักเรียนคิดอะไร คิดอย่างไรและแสดงออกอย่างไรบ้าง ถือเป็นสิ่งที่สำคัญมากในกระบวนการจัดการเรียนรู้ เพราะหากนักเรียนไม่ทราบจุดมุ่งหมายของการสอนนักเรียนก็จะไม่ใช้ความพยายามที่จะเรียนรู้

2) ขั้นวางแผน ครูมีหน้าที่ในการวางแผนและออกแบบการจัดการเรียนรู้โดยต้องทำความเข้าใจให้ชัดเจนว่าต้องการให้นักเรียนเรียนรู้อะไร โดยใช้ผังกราฟิกเข้ามาช่วยให้นักเรียนคิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการใช้ผังกราฟิกจะช่วยให้นักเรียนคิดทำความเข้าใจใน

เนื้อหานั้นด้วยตนเองมีการคิดร่วมกันเป็นกลุ่ม ได้รับประสบการณ์ตรง สามารถประเมินผลและควบคุมการคิดได้

3) ขั้นสอน ครูต้องสาธิต ยกตัวอย่างการใช้ผังกราฟิกให้เห็นจริง จากนั้นให้นักเรียนได้ฝึกใช้ผังกราฟิก สามารถจัดกลุ่มย่อยให้นักเรียนช่วยกันคิด อภิปรายร่วมกัน

4) ขั้นทดสอบ ครูสามารถทำการทดสอบได้ใน 2 ลักษณะ คือ ประเมินความก้าวหน้า (Formative evaluation) โดยการเก็บรวบรวมผลงานการใช้ผังกราฟิกมาวิเคราะห์ให้เห็นถึงความเข้าใจและนำปัญหาต่าง ๆ มาแก้ไข อีกหนึ่งลักษณะ คือ ประเมินผลการเรียนรู้ (Summative evaluation) โดยใช้แบบทดสอบสัมฤทธิ์ผลทางการเรียนเมื่อสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิกตามรูปแบบของจอยส์และคณะ

1) ครูชี้แจงจุดมุ่งหมายของบทเรียน

2) ครูนำเสนอผังกราฟิกที่เหมาะสมกับเนื้อหา

3) ครูกระตุ้นให้นักเรียนใช้ความรู้เดิมเชื่อมโยงกับความรู้ใหม่

4) ครูเสนอเนื้อหาสาระที่ต้องการให้นักเรียนได้เรียนรู้

5) ครูเชื่อมโยงเนื้อหาสาระที่เรียนกับผังกราฟิกและให้นักเรียนจัดทำผังกราฟิกด้วยตนเอง

6) ครูให้ความรู้เชิงกระบวนการโดยชี้แจงเหตุผลในการใช้และวิธีใช้ผังกราฟิก

7) ครูและนักเรียนอภิปรายผลการใช้ผังกราฟิกกับเนื้อหา

8) ครูซักถาม เพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่กระจ่างขึ้น

ดังนั้นสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิก ยึดหลักการจากทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Meaningful learning theory) เพื่อนักเรียนสามารถนำการเรียนรู้ใหม่เข้าไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมและนำความรู้ความเข้าใจที่สร้างขึ้นมาเป็นตัวแทนทางความคิดที่มีความหมายต่อตนเองขึ้น โดยมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิก ไว้ 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) รูปแบบของโจนส์และคณะ 2) รูปแบบของคล้าก 3) รูปแบบของจอยส์และคณะ ซึ่งโดยภาพรวมแล้วการจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิก ควรเริ่มต้นจาก 1) ครูนำเสนอตัวอย่างผังกราฟิกที่เหมาะสมและนำเสนอเนื้อหาสาระที่ต้องการให้นักเรียนเกิดมโนทัศน์ 2) นักเรียนสร้างผังกราฟิกด้วยตนเอง 3) นักเรียนนำเสนอผังกราฟิกของตนเองเพื่ออภิปราย แลกเปลี่ยน ขยายความและคิดเพิ่มเติม และ 4) นักเรียนได้รับข้อมูลย้อนกลับ

1.3 การจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์

การจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์ สามารถสรุปได้ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1.3.1 แนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์

สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ (2553, น. 175-176) ได้กล่าวถึงแนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์ว่า เป็นการจัดความคิดอย่างเป็นระบบ โดยรวบรวมและจัดลำดับข้อเท็จจริงเข้ากรอบเป็นหมวดหมู่ เรียกว่า แผนภาพ ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่ชัดเจนเกิดเป็นความรู้ใหม่ขึ้น ทำให้จำเรื่องราวต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น ดีกว่าการอ่านหนังสือด้วยตนเองหลาย ๆ ครั้ง เพราะเป็นการบรรยายด้วยคำพูด แต่แผนภาพเป็นการจัดเรื่องราวในลักษณะคำ กลุ่มคำ สัญลักษณ์ เครื่องหมายหรือภาพทำให้นักเรียนจำเรื่องราวได้แม่นยำ ซึ่งในการจัดกรอบมโนทัศน์นั้นนักเรียนจะต้องอาศัยการดู การเขียน การอ่าน การฟังและการใช้มโนทัศน์ของสาระความรู้ ข้อเท็จจริงมาจัดทำเป็นการเสริมแรงในการเรียนทำให้การเรียนมีความหมายยิ่งขึ้น เกิดความเข้าใจเป็นมโนทัศน์

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 266-267) ได้กล่าวว่า เป็นการนำมโนทัศน์มาจัดให้สัมพันธ์กันจากมโนทัศน์ที่กว้าง ไปสู่มโนทัศน์ที่แคบและเฉพาะเจาะจงที่สุด โดยใช้การเชื่อมโยงมโนทัศน์เหล่านั้นด้วยเส้นและคำเชื่อม ซึ่งมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมายของออซุเบล มีแนวคิดที่ว่า ครูควรสอนในสิ่งที่สัมพันธ์กับความรู้เดิมของนักเรียน ความรู้เดิมที่มีอยู่นี้จะอยู่ในโครงสร้างของความรู้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สะสมอยู่ในสมอง มีการจัดระบบไว้อย่างดี มีการเชื่อมโยงระหว่างความรู้เดิมและความรู้ใหม่อย่างมีระดับชั้น ดังนั้นโครงสร้างของความรู้จะใช้เป็นกรอบมโนทัศน์และใช้บันทึกประสบการณ์ต่าง ๆ ที่ได้รับ โดยสามารถใช้กรอบมโนทัศน์ในการสำรวจความรู้พื้นฐานของนักเรียน ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงความสัมพันธ์ของมโนทัศน์ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในความคิดของนักเรียน ใช้ในการสรุปความหมายจากหนังสือเรียนทำให้ประหยัดเวลาในการอ่าน ใช้ในการสรุปความหมายจากการทำปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติ ซึ่งจากที่ได้กล่าวมา การจัดกรอบมโนทัศน์ถือว่าเป็นสิ่งที่ทำให้นักเรียนมีโครงสร้างความเข้าใจของตนเองที่ชัดเจนมีการจัดระเบียบความรู้ให้เป็นระบบและนำออกมาใช้ได้ง่าย

1.3.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 266-267) และ สุวิทย์ มูลคำ (2547, น. 193-194) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์ มีรายละเอียดดังนี้

1) ขั้นตรวจสอบมโนทัศน์พื้นฐาน ครูจะต้องทำการตรวจสอบมโนทัศน์พื้นฐานของนักเรียนเกี่ยวกับเรื่องที่จะให้นักเรียนเรียนรู้ ซึ่งอาจทำได้โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบหรือตั้งคำถามให้นักเรียนตอบ

2) ขั้นระบุมโนทัศน์พื้นฐานที่นักเรียนขาด โดยระบุมโนทัศน์พื้นฐานที่ยังไม่สมบูรณ์ของนักเรียน

3) ขั้นเสริมมโนทัศน์พื้นฐานให้นักเรียน โดยครูใช้วิธีการอธิบาย ในกรณีที่นักเรียนยังขาดมโนทัศน์พื้นฐาน

4) ขั้นเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนเกิดมโนทัศน์ ซึ่งควรประกอบด้วยขั้นตอนย่อย ๆ ดังนี้

4.1) นักเรียนระบุมโนทัศน์ที่สำคัญจากบทเรียนที่ศึกษา โดยนักเรียนจะได้รับความหมายของแต่ละมโนทัศน์จากการอธิบายเพิ่มเติมของครู

4.2) นักเรียนจัดลำดับมโนทัศน์ที่กว้างไปยังมโนทัศน์ที่เฉพาะเจาะจง

4.3) นักเรียนจัดกรอบมโนทัศน์ที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน

4.4) นักเรียนหาคำเชื่อมและทำการเชื่อมโยงมโนทัศน์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยให้เส้นโยงทุกเส้นมีคำเชื่อมบอกความหมายไว้

5) ขั้นสรุปด้วยกรอบมโนทัศน์ ซึ่งควรประกอบด้วยขั้นตอนย่อย ๆ ดังนี้

5.1) ครูคัดเลือกตัวอย่างกรอบมโนทัศน์เพื่อให้นักเรียนออกมานำเสนอ

5.2) นักเรียนที่เป็นตัวแทนออกมานำเสนอ

5.3) นักเรียนช่วยกันวิจารณ์ให้ข้อเสนอแนะ

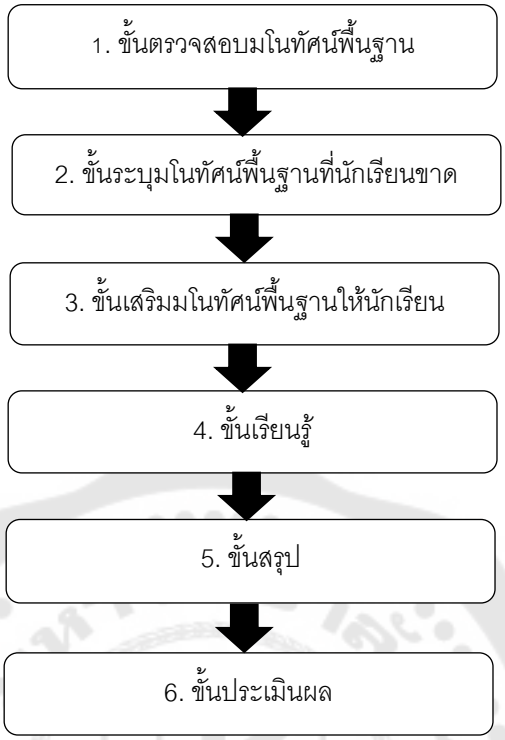
5.4) ครูและนักเรียนร่วมกันให้คะแนนและสรุปเนื้อหาจากกรอบมโนทัศน์ร่วมกัน

5.5) ครูเสนอกรอบมโนทัศน์ที่เตรียมมา

5.6) ครูและนักเรียนช่วยกันสรุป

6) ขั้นประเมินผล ครูและนักเรียนร่วมกันประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียน

สามารถสรุปขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์ ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์

ที่มา: สุวิทย์ มูลคำและอรทัย มูลคำ (2553). 21 วิธีจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนากระบวนการคิด. หน้า 194.

ดังนั้น สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์ มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมายของออซูเบล โดยยึดหลักว่า ครูควรสอนสิ่งที่สัมพันธ์กับความรู้เดิมของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนมีการจัดความคิดอย่างเป็นระบบ เป็นหมวดหมู่ เรียกว่า แผนภาพ ทำให้นักเรียนมีความสามารถในการจำเรื่องราวต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น ทำให้การเรียนมีความหมายยิ่งขึ้น เกิดความเข้าใจเป็นมโนทัศน์ขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์ 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตรวจสอบมโนทัศน์พื้นฐาน 2) ขั้นระบุมโนทัศน์พื้นฐานที่นักเรียนขาด 3) ขั้นเสริมมโนทัศน์พื้นฐานให้นักเรียน 4) ขั้นเรียนรู้ 5) ขั้นสรุป และ 6) ขั้นประเมินผล

1.4 การจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังทางปัญญา

การจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังทางปัญญา สามารถสรุปได้ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1.4.1 แนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังทางปัญญา

บูซาน (Buzan, 1997, pp. 49-53) ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 273) และสุวิทย์ มูลคำ (2547, น. 21) ได้กล่าวว่า แผนผังทางปัญญา ถูกพัฒนาโดย Tony Buzan เมื่อ ค.ศ. 1970 ซึ่งได้อธิบายว่าในสมองมนุษย์มีเซลล์ประสาทในสมองกว่าสิบล้านเซลล์ มีการโยงใยกันอยู่ในสมองอย่างไม่มีที่สิ้นสุด ซึ่งการทำงานในสมองมนุษย์เช่นนี้ เรียกว่า การคิดรอบทิศทาง (radiant thinking) ซึ่งเป็นโครงสร้างและกระบวนการที่อยู่ภายในสมอง อาศัยการทำงานประสานกันของสมองทั้งสองซีก สมองซีกขวามีความเกี่ยวข้องกับภาพสัญลักษณ์ จินตนาการ ส่วนสมองซีกซ้ายจะเกี่ยวกับการใช้เหตุผลและการคิดเชิงตรรกะ โดยแผนผังทางปัญญา (Mind mapping) เป็นการแสดงการเชื่อมโยงข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องใดเรื่องหนึ่งระหว่างมโนทัศน์หลัก มโนทัศน์รองและมโนทัศน์ย่อยที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน จึงเป็นเสมือนกระจกที่สะท้อนเงาการคิดรอบทิศทางของเราออกมาให้ได้รับรู้ ทำให้เข้าใจระบบความคิดของตนเองและทำให้เกิดอิสระในการคิด ซึ่งถือเป็นเครื่องมือที่ช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการคิดเพิ่มขึ้น โดยการสร้างแผนผังทางปัญญา จะมีองค์ประกอบย่อย ได้แก่

1) คำสำคัญ (Keyword) เป็นคำที่แสดงถึงสิ่งที่ต้องเชื่อมโยงหรือเกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ที่เป็นประเด็นหลัก

2) การเชื่อมโยง (Connect) เป็นสิ่งที่แสดงถึงความเชื่อมโยงของคำสำคัญที่ปรากฏบนแผนที่ ทำให้ความคิดมีความต่อเนื่องและมีคำสำคัญมีความหมายมากขึ้น

3) การเน้นความสำคัญ (emphasis) เป็นการลำดับความคิดให้เป็นระบบ รู้ถึงความสำคัญมากน้อยหรือลำดับก่อนหลัง อาจทำได้โดยการใช้ขนาดอักษรที่ต่างกัน หรือสีแตกต่างกัน

1.4.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังทางปัญญา

บูซาน (Buzan, 1997, pp. 185-186) และชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 273) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังทางปัญญาไว้ในลักษณะเดียวกัน ซึ่งมี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นเตรียมความพร้อม เป็นขั้นการสำรวจตนเองเกี่ยวกับทรัพยากรที่มีอยู่รอบ ๆ ตัว นำมาใช้ประโยชน์ได้ มีคุณภาพดี สะดวกสบายและสามารถสนับสนุนการแก้ปัญหาได้

2) ขั้นสร้างแผนผังทางปัญญา เป็นขั้นที่ดำเนินการสร้างแผนที่ความคิด ระดมความคิดให้ได้มากที่สุด โดยคำนึงถึงสิ่งที่ไม่ชอบซึ่งเป็นสิ่งที่ขัดขวางการแก้ปัญหาบ้าง สิ่งที่ชอบเป็นสิ่งที่ช่วยสนับสนุนในการแก้ปัญหา และการแก้ปัญหาเป็นการแยกแยะและดำเนินการวางแผนแก้ปัญหา

3) ขั้นการอภิปรายอย่างเป็นทางการ เป็นขั้นที่ได้นำแผนผังทางปัญญาที่สร้างขึ้นมาอภิปราย โดยเริ่มจากการนำเสนอประเด็นของสิ่งที่ไม่ชอบก่อน จากนั้นจึงกล่าวถึงสิ่งที่ชอบและแนวทางการแก้ไขตามลำดับ เพื่อเป็นการเลือกกระบวนการในการแก้ปัญหา

ดังนั้น สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังทางปัญญา ใช้หลักการทำงานในสมองมนุษย์แบบคิดรอบทิศทาง (Radiant thinking) ทำให้นักเรียนเข้าใจระบบความคิดของตนเอง โดยการสร้างแผนผังทางปัญญาขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นเตรียมความพร้อม 2) ขั้นสร้างแผนผังทางปัญญาและ 3) ขั้นการอภิปรายอย่างเป็นทางการ

1.5 การจัดการเรียนรู้โดยใช้การนำเสนอมโนทัศน์กว้างล่วงหน้า

การจัดการเรียนรู้โดยใช้การนำเสนอมโนทัศน์กว้างล่วงหน้า สามารถสรุปได้ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1.5.1 แนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้โดยใช้การนำเสนอมโนทัศน์กว้างล่วงหน้า

แนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้นี้ ได้มีนักการศึกษาหลายท่าน (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2561, น. 280; ทิศนา แขมมณี, 2553, น. 229-231; วีณา ประชากูล และ ประสาท เนืองเฉลิม, 2553, น. 14-17) สรุปแนวคิดสำคัญที่ใช้มาจากจอยส์และวีล ที่พัฒนาขึ้นตามแนวคิดของ ออซุเบล คือ การเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Meaningful verbal learning) ซึ่งออซุเบลเชื่อว่าการเรียนรู้จะมีความหมายเมื่อสิ่งที่เรียนรู้สามารถเชื่อมโยงกับความรู้เดิมของนักเรียน ดังนั้นครูจะต้องวิเคราะห์มโนทัศน์ย่อยของเนื้อหาสาระที่ต้องการสอน ทำผังมโนทัศน์ โดยหามโนทัศน์ที่กว้างและครอบคลุมมโนทัศน์ย่อยก่อน ซึ่งจะทำให้นักเรียนสามารถนำเนื้อหาสาระใหม่ไปเชื่อมโยงกับมโนทัศน์กว้างล่วงหน้า ซึ่งผลที่นักเรียนจะได้รับคือ เกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย เกิดมโนทัศน์ในเนื้อหาสาระที่เรียนและสามารถจัดโครงสร้างความรู้ด้วยตนเองและยังได้พัฒนาทักษะและอุปนิสัยในการคิดและเพิ่มพูนความใฝ่รู้

นอกจากนี้ สุรางค์ โคว้ตระกูล (2556, น. 219) ได้กล่าวถึงแนวคิดของออซุเบล ที่ใช้เป็นรากฐานของการจัดการเรียนรู้นี้ว่าแตกต่างกับแนวคิดของบรุนเนอร์ คือ ออซุเบลเน้นความสำคัญของครูเป็นหลัก ครูจะจัดระบบมโนทัศน์และสอนมโนทัศน์ใหม่ที่นักเรียนต้องเรียนรู้ การเรียนรู้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อสิ่งที่ครูสอนมีความหมายต่อตัวนักเรียน

1.5.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การนำเสนอมโนทัศน์กว้างล่วงหน้า

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การนำเสนอมโนทัศน์กว้างล่วงหน้า ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 ขั้นการเตรียมมโนทัศน์กว้าง ขั้นที่ 2 ขั้นการเสนอมโนทัศน์กว้าง ขั้นที่ 3 ขั้นเสนอเนื้อหาสาระใหม่ และขั้นที่ 4 ขั้นการจัดโครงสร้างความรู้ (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2561,

น. 280-281; ทิศนา แขมมณี, 2553, น. 229-231; วีณา ประชากูล และ ประสาท เนืองเฉลิม, 2553, น. 15-17) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ขั้นการเตรียมมโนทัศน์กว้าง ครูวิเคราะห์หามโนทัศน์ที่กว้างและครอบคลุมมโนทัศน์ทั้งหมด ซึ่งจะเป็นมโนทัศน์ที่สูงกว่า มีความเป็นนามธรรมมากกว่ามโนทัศน์ที่จะสอน ซึ่งเป็นการนำเสนอตัวอย่างการเรียน ไม่ใช่การนำเสนอภาพรวม การทบทวนมโนทัศน์เดิม การกระตุ้นให้นักเรียนถ่ายทอดมโนทัศน์เดิม ประสบการณ์เดิม รวมถึงบอกวัตถุประสงค์ในการจัดการเรียนรู้

2) ขั้นการเสนอมโนทัศน์กว้าง โดยครูบอกวัตถุประสงค์ในการจัดการเรียนรู้ ครูจึงทำการเสนอมโนทัศน์กว้าง เช่น วิธีการบรรยาย การนำเสนอแผนผังมโนทัศน์

3) ขั้นเสนอเนื้อหาสาระใหม่ ครูนำเสนอเนื้อหาสาระที่ต้องการสอน ตามวิธีการของครู โดยมีการเชื่อมโยงหรือกระตุ้นให้นักเรียนเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหาสาระใหม่กับมโนทัศน์ล่วงหน้า

4) ขั้นการจัดโครงสร้างความรู้ ครูกระตุ้นให้นักเรียนตื่นตัวในการจัดโครงสร้างความรู้ของนักเรียนด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การผสมผสานความรู้ ครูอธิบายภาพรวมเกี่ยวกับเรื่องที่เรียน สรุปคำนิยามให้กระทัดรัด ชัดเจน บอกความแตกต่างของสาระในแง่มุมต่าง ๆ อธิบายว่าเนื้อหาสาระที่เรียนสนับสนุนหรือส่งเสริมมโนทัศน์กว้างที่ให้ไว้ล่วงหน้า ยกตัวอย่างเพิ่มเติมจากสิ่งที่เรียน อธิบายแก่นสำคัญของสาระที่เรียนโดยใช้คำพูดของตนเอง และวิเคราะห์สาระในแง่มุมต่าง ๆ เป็นต้น

ดังนั้น การจัดการเรียนรู้โดยใช้การนำเสนอมโนทัศน์กว้างล่วงหน้า มีแนวคิดมาจากออซุเบล คือ การเรียนรู้อย่างมีความหมาย (Meaningful verbal learning) ที่เชื่อว่าการเรียนรู้จะมีความหมายเมื่อสิ่งที่เรียนรู้สามารถเชื่อมโยงกับความรู้เดิมของนักเรียน เน้นความสำคัญของครูกล่าวถึงมโนทัศน์ที่กว้างก่อนที่จะสอนเนื้อหาใหม่ จะช่วยให้นักเรียนนำเนื้อหาใหม่นั้นไปเชื่อมโยงกับมโนทัศน์กว้างที่ให้ไว้ล่วงหน้า ซึ่งจะทำให้การเรียนรู้ในขณะนั้นมีความหมายต่อนักเรียน ซึ่งขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การนำเสนอมโนทัศน์กว้างล่วงหน้า ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นการเตรียมมโนทัศน์กว้าง 2) ขั้นการเสนอมโนทัศน์กว้าง 3) ขั้นเสนอเนื้อหาสาระใหม่ และ 4) ขั้นการจัดโครงสร้างความรู้

1.6 การจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย

การจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย สามารถสรุปได้ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1.6.1 แนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย

มีนักการศึกษาหลายท่าน (ทิศนา แขมมณี, 2554, น. 37; สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ, 2553, น. 15-16) ได้กล่าวถึงแนวคิดสำคัญที่ใช้คือ สอนจากรายละเอียดปลีกย่อยหรือจากส่วนย่อยไปหาส่วนใหญ่หรือกฎเกณฑ์ มโนทัศน์ ข้อเท็จจริงหรือข้อสรุป โดยการเอาตัวอย่าง ข้อมูล เหตุการณ์ สถานการณ์หรือปรากฏการณ์ที่มีมโนทัศน์แฝงอยู่มาให้นักเรียนศึกษา สังเกต ทดลอง เปรียบเทียบหรือวิเคราะห์จนสามารถสรุปมโนทัศน์ได้ด้วยตนเองจนสามารถดึงมโนทัศน์ที่แฝงอยู่เพื่อไปใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ ต่อไป นอกจากนี้ยังช่วยให้นักเรียนได้พัฒนาทักษะการสังเกต คิดวิเคราะห์ เปรียบเทียบตามหลักวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญของการเรียนรู้และใช้ได้ดีกับการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยต้องอาศัยองค์ประกอบสำคัญ คือ ตัวอย่างข้อมูล สถานการณ์ที่เป็นลักษณะย่อย ๆ ของมโนทัศน์ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ องค์ประกอบอีกประการหนึ่ง คือ การวิเคราะห์ตัวอย่าง สถานการณ์ เพื่อสรุปมโนทัศน์ร่วมกันและองค์ประกอบสุดท้ายคือ การสรุปมโนทัศน์ที่ได้จากการวิเคราะห์

นอกจากนี้ ชนาธิป พรกุล (2552, น. 23) ได้กล่าวถึงบทบาทของครูว่า ก่อนที่จะใช้การจัดการเรียนรู้นี้ควรฝึกให้นักเรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์และคิดอย่างมีเหตุผล ควรมีการเลือกตัวอย่างที่ดีและมากพอที่จะทำให้นักเรียนวิเคราะห์ค้นพบมโนทัศน์ได้

1.6.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย

ศักดิ์ศรี ปาณะกุล และคนอื่น ๆ (2556, น. 133) และ สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ (2553, น. 15-16) กล่าวถึง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย ไว้ในลักษณะเดียวกัน คือ มี 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นเตรียมการ เป็นการเตรียมตัวนักเรียน เพื่อทบทวนความรู้เดิมหรือปูพื้นฐานความรู้ นอกจากนี้มีการจูงใจ กระตุ้นความสนใจที่จะเรียนในเนื้อหาต่อไปและบอกจุดประสงค์ที่จะเรียนด้วย

2) ขั้นเสนอตัวอย่าง เป็นขั้นที่ครูนำเสนอตัวอย่างข้อมูล สถานการณ์ให้นักเรียนได้สังเกตลักษณะและคุณสมบัติของตัวอย่าง เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบสรุปเป็นมโนทัศน์ ซึ่งในการเสนอตัวอย่างควรเสนอในหลาย ๆ ตัวอย่าง เพื่อให้นักเรียนสามารถสรุปเป็นมโนทัศน์ต่าง ๆ ได้

3) ขั้นเปรียบเทียบ เป็นขั้นที่ให้นักเรียนทำการสังเกต ค้นหา วิเคราะห์ รวบรวม เปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันขององค์ประกอบในตัวอย่าง แยกแยะข้อแตกต่างเพื่อให้มองเห็นความสัมพันธ์ในรายละเอียดที่เหมือนกันและแตกต่างกัน ซึ่งควรให้นักเรียนได้ร่วมกันคิดวิเคราะห์

เป็นกลุ่มย่อยเพื่อจะได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน ในขั้นนี้หากตัวอย่างที่ให้นักเรียนเป็นตัวอย่างที่ดี ครอบคลุมลักษณะสำคัญ ๆ ของมโนทัศน์ ก็ย่อมจะช่วยให้นักเรียนสามารถศึกษาและวิเคราะห์ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ได้รวดเร็ว หากนักเรียนไม่ประสบความสำเร็จ ครูอาจให้ข้อมูลเพิ่มเติม หรือใช้วิธีกระตุ้นให้นักเรียนได้คิดค้นโดยใช้การตั้งคำถาม ไม่ใช่การบอกคำตอบ

4) ขั้นสรุปกฎเกณฑ์ เป็นการให้นักเรียนนำเสนอข้อสังเกตต่าง ๆ จากตัวอย่างมาสรุปเป็นมโนทัศน์ด้วยตัวนักเรียนเอง

5) ขั้นนำไปใช้ เป็นขั้นที่ครูให้นักเรียนยกตัวอย่างจากประสบการณ์ของตนเองหรือครูเตรียมสถานการณ์ ตัวอย่างข้อมูลที่หลากหลายให้นักเรียนได้ฝึกการนำมโนทัศน์ไปใช้ ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น ส่งเสริมให้นักเรียนนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน รวมถึงมีการทดสอบความเข้าใจของนักเรียนว่านักเรียนสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาจากมโนทัศน์ที่ได้รับหรือไม่ สามารถทำแบบฝึกหัดได้หรือไม่ หรือประเมินว่านักเรียนสามารถมีการเรียนรู้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้หรือไม่

ชนาธิป พรกุล (2552, น. 14) และ ทิศนา แขมมณี (2554, น. 37-39) กล่าวถึงขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย ไว้ในลักษณะเดียวกันคือ มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นการเตรียมตัวอย่าง ครูหรือนักเรียนยกตัวอย่าง สถานการณ์ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ ซึ่งวิธีการจัดการเรียนรู้นี้เป็นวิธีการหลักที่จะทำให้นักเรียนเกิดมโนทัศน์ โดยการที่จะให้นักเรียนเกิดความคิดมากนั้นจะต้องให้ตัวอย่างที่ท้าทายความคิด ความสามารถของนักเรียน หรือให้ตัวอย่างที่น่าสนใจ มีความหลากหลาย ครอบคลุมเกี่ยวกับประเด็นลักษณะองค์ประกอบของมโนทัศน์นั้น ๆ ซึ่งการตั้งประเด็นคำถาม จะต้องตรงประเด็นและกระตุ้นความคิดของนักเรียน ทำให้นักเรียนต้องการหาคำตอบและเรียนรู้เพิ่มเติม

2) ขั้นศึกษาและวิเคราะห์หามโนทัศน์ที่แฝงอยู่ในตัวอย่างนั้น ครูควรใช้การกระตุ้นให้นักเรียนคิดค้น โดยตั้งประเด็นคำถาม ให้นักเรียนได้ร่วมกันคิด ร่วมกันวิเคราะห์เป็นกลุ่มย่อยเพื่อจะได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็น กระตุ้นให้มีการตรวจสอบความคิดในแต่ละกลุ่มย่อยอันจะนำไปสู่ความคิดที่รอบคอบและถูกต้อง แต่มีข้อจำกัดคือ นักเรียนที่เรียนรู้ช้ามักถูกครอบงำและถูกข่มโดยนักเรียนที่เรียนรู้ได้เร็วกว่า ดังนั้นครูควรให้เวลานักเรียนได้ลงมือคิดด้วยตนเองก่อนจึงอภิปรายกลุ่มย่อยและใช้เทคนิคต่าง ๆ ที่จะช่วยให้นักเรียนทุกคนมีส่วนร่วมอย่างทั่วถึง

3) ขั้นสรุปมโนทัศน์ที่ได้จากตัวอย่างและนำข้อสรุปไปใช้ ครูควรเตรียมตัวอย่างสถานการณ์ใหม่ ๆ ที่หลากหลายให้นักเรียนใช้ในการฝึกนำมโนทัศน์ไปใช้ หรือครูอาจให้นักเรียนช่วยกันยกตัวอย่างจากประสบการณ์ของนักเรียน ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนได้ใช้ความรู้ให้เกิด

ประโยชน์ต่อชีวิตอย่างแท้จริง และเกิดความเข้าใจที่แน่นขึ้น ลึกซึ้งขึ้นและเป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ใหม่ ๆ เพิ่มเติมขึ้นด้วย

ดังนั้น สรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย เป็นการสอนจากการเอาตัวอย่างสถานการณ์ที่มีมโนทัศน์แฝงอยู่มาให้นักเรียนศึกษา สังเกต ทดลอง วิเคราะห์จนสามารถสรุปมโนทัศน์ได้ด้วยตนเองและสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ ต่อไปได้ โดยต้องอาศัยองค์ประกอบสำคัญ คือ ตัวอย่างข้อมูล สถานการณ์ การวิเคราะห์ตัวอย่าง สถานการณ์และการสรุปมโนทัศน์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ได้ใน 2 ลักษณะ คือในลักษณะที่แบ่งตามองค์ประกอบสำคัญของการจัดการเรียนรู้ จะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นการเตรียมตัวอย่าง 2) ขั้นศึกษาและวิเคราะห์หามโนทัศน์ที่แฝงอยู่ในตัวอย่างนั้น และ 3) ขั้นสรุปมโนทัศน์ที่ได้จากตัวอย่างและนำข้อสรุปไปใช้ อีกในลักษณะหนึ่งคือ แบ่งขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ละเอียดและชัดเจนขึ้น จะแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นเตรียมการ 2) ขั้นเสนอตัวอย่าง 3) ขั้นเปรียบเทียบ 4) ขั้นสรุปกฎเกณฑ์ และ 5) ขั้นนำไปใช้ จะเห็นได้ว่าในการแบ่งขั้นการจัดการเรียนรู้ของแต่ละนักการศึกษานั้นคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ขั้นการเตรียมตัวอย่างสามารถลงรายละเอียดได้โดยแบ่งย่อยอีก 2 ขั้น คือ ขั้นเตรียมการและขั้นเสนอตัวอย่าง ขั้นศึกษาและวิเคราะห์หามโนทัศน์ที่แฝงอยู่ในตัวอย่างนั้น คือ ขั้นเปรียบเทียบ และสุดท้าย ขั้นสรุปมโนทัศน์ที่ได้จากตัวอย่างและนำข้อสรุปไปใช้ คือ ขั้นสรุปกฎเกณฑ์และขั้นนำไปใช้

1.7 การจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย

การจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย สามารถสรุปได้ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1.7.1 แนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย

นักการศึกษาหลายท่าน ทิศนา แขมมณี (2553, น. 31-32) และสุวิทย์ มูลคำ และอรทัย มูลคำ (2553, น. 23-24) ได้กล่าวถึงแนวคิดสำคัญที่ใช้ คือ เป็นการสอนจากทฤษฎีหรือกฎไปสู่ตัวอย่างที่เป็นรายละเอียด ให้นักเรียนนำทฤษฎี หลักการ หลักเกณฑ์ กฎหรือข้อสรุปไปใช้ในสถานการณ์ที่หลากหลายตามวัตถุประสงค์ในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นลักษณะให้นักเรียนหาหลักฐานเหตุผลมาพิสูจน์ยืนยัน ทฤษฎี กฎเหล่านั้น การจัดการเรียนรู้เช่นนี้จะช่วยให้นักเรียนเป็นคนมีเหตุผล ไม่เชื่ออะไรง่าย ๆ มีความเข้าใจในกฎ ทฤษฎีเหล่านั้นอย่างลึกซึ้ง โดยองค์ประกอบที่สำคัญของการจัดการเรียนรู้ประเภทนี้ คือ 1) ทฤษฎี กฎ หลักการหรือข้อสรุป ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ 2) ตัวอย่างสถานการณ์ที่หลากหลาย 3) การฝึกนำทฤษฎี หลักการ กฎหรือข้อสรุปในเนื้อหาที่ต้องการให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ไปใช้สถานการณ์ที่หลากหลาย และ 4) ผลการเรียนรู้ของนักเรียนที่เกิดขึ้น

1.7.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย

สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ (2553, น. 24) กล่าวถึง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย ไว้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นกำหนดขอบเขตของปัญหา เป็นการนำเข้าสู่บทเรียน มีการกระตุ้นความสนใจของนักเรียนโดยการระบุปัญหา หรือสิ่งที่ต้องการสอนในแง่มุมของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในชีวิตและเหมาะสมกับวุฒิภาวะของนักเรียน จนนักเรียนสนใจที่จะหาคำตอบ

2) ขั้นแสดงและอธิบายทฤษฎี หลักการ เป็นการให้นักเรียนเกิดเรียนรู้ทฤษฎี หลักการที่ต้องการสอน

3) ขั้นใช้ทฤษฎี หลักการ เป็นการที่นักเรียนต้องแก้ปัญหาจากทฤษฎี หลักการที่ได้เรียนรู้มา โดยแสดง อธิบายหลักการ ทฤษฎีให้สอดคล้องกับปัญหานั้น ๆ

4) ขั้นตรวจสอบและสรุป เป็นการที่นักเรียนต้องตรวจสอบความถูกต้องความสมเหตุสมผลของทฤษฎี หลักการ กฎ หรือสรุป หรือมโนทัศน์ จากครู หนังสือ หรือการทดลอง เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่าถูกต้อง จึงจะสรุปเป็นความรู้ได้

5) ขั้นฝึกปฏิบัติ เมื่อนักเรียนเกิดความเข้าใจใน ทฤษฎี หลักการ กฎ ข้อสรุปหรือมโนทัศน์พอสมควรแล้ว ครูเสนอตัวอย่างใหม่ให้นักเรียนฝึกนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในตัวอย่างใหม่ ๆ ที่หลากหลาย

ทิศนา แขมมณี (2554, น. 31-32) กล่าวถึง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย ไว้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นถ่ายทอดความรู้ โดยครูเป็นผู้ถ่ายทอดทฤษฎี หลักการ กฎ ข้อสรุปที่ต้องการให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ตามความเหมาะสม

2) ขั้นให้ตัวอย่าง เป็นขั้นที่ครูเป็นผู้ให้ตัวอย่างสถานการณ์ที่หลากหลายที่สามารถนำมโนทัศน์ที่เรียนมาใช้

3) ขั้นฝึกปฏิบัติ เป็นขั้นที่ครูให้นักเรียนฝึกปฏิบัตินำความเข้าใจมโนทัศน์ที่เกิดขึ้นไปใช้ในสถานการณ์ใหม่

4) ขั้นวิเคราะห์และอภิปราย ครูให้นักเรียนวิเคราะห์และอภิปรายการเรียนรู้ที่เกิดขึ้น

5) ขั้นวัดและประเมิน ครูเป็นผู้วัดและประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียน

ศักดิ์ศรี ปาณะกุล และคนอื่น ๆ (2556, น. 133) กล่าวถึง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย ไว้ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นอธิบายปัญหา เป็นขั้นที่ครูแนะนำความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาหรือสถานการณ์ที่ครูกำหนดขึ้น

2) ขั้นอธิบายข้อสรุป เป็นการนำเอาข้อสรุป กฎ หรือนิยามมาอธิบายเพื่อเลือกใช้ในการแก้ปัญหา

3) ขั้นตกลงใจ เป็นขั้นที่นักเรียนได้ร่วมกันเลือกข้อสรุป กฎหรือนิยามที่จะใช้แก้ปัญหา

4) ขั้นพิสูจน์ นักเรียนพิสูจน์ข้อสรุป กฎหรือนิยามว่าเป็นความจริงหรือไม่ โดยมีครูเป็นผู้ชี้แนะ

ดังนั้น สรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย เป็นการสอนจากทฤษฎีหรือกฎไปสู่ตัวอย่างที่เป็นรายละเอียด เพื่อพิสูจน์ยืนยัน ทฤษฎี กฎเหล่านั้นและมีความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง โดยองค์ประกอบที่สำคัญของการจัดการเรียนรู้ประเภทนี้ คือ 1) ทฤษฎี กฎ หลักการหรือข้อสรุป 2) ตัวอย่างสถานการณ์ที่หลากหลาย 3) การฝึกนำทฤษฎี หลักการ กฎหรือข้อสรุปให้นักเรียนนำไปใช้สถานการณ์ที่หลากหลายและ 4) ผลการเรียนรู้ของนักเรียน สำหรับขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้นั้น มีหลายลักษณะ สำหรับการแบ่งขั้นตอนแบบ ศักดิ์ศรี ปาณะกุล และคนอื่น ๆ (2556, น. 133) จะเน้นไปที่การแก้ปัญหามากกว่าการพัฒนามโนทัศน์ แต่โดยรวมมีขั้นตอนที่คล้ายคลึงกัน สำหรับการแบ่งขั้นตอนของ สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ (2553, น. 24) และการแบ่งขั้นตอนของ ทิศนา แขมมณี (2554, น. 31-32)แตกต่างกันเพียงการแบ่งจำนวนขั้นตอน โดยลำดับขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้นั้น ยึดตามองค์ประกอบที่สำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย ทั้ง 4 องค์ประกอบ จึงสรุปได้ว่าขั้นตอนการจัดการเรียนรู้จะเริ่มต้นจากการถ่ายทอดความรู้ ทฤษฎี หลักการ กฎ มโนทัศน์ และให้ตัวอย่าง เพื่อฝึกปฏิบัติ นำใช้ในสถานการณ์ใหม่ จากนั้นจึงวิเคราะห์และอภิปรายการเรียนรู้ที่เกิดขึ้น สุดท้ายคือการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียน

1.8 การจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ

การจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ สามารถสรุปได้ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1.8.1 แนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ

นุชลี อุปภัย (2555, น. 175-176) ได้กล่าวถึงแนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบค้นพบว่า เป็นการสอนเนื้อหาสาระให้กับนักเรียน ไม่ใช่สร้างนักเรียนให้เป็นห้องสมุดเคลื่อนที่ในเนื้อหาสาระนั้น ๆ โดยต้องให้นักเรียนคิด พิจารณาเนื้อหาสาระต่าง ๆ มีส่วนร่วมในกระบวนการของการได้มาซึ่งมโนทัศน์ ไม่ใช่การรู้ผลลัพธ์ของมโนทัศน์นั้น ๆ

สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ (2553, น. 29-30) ได้กล่าวถึงกระบวนการเรียนรู้ว่า เน้นให้นักเรียนค้นหาคำตอบหรือสืบค้นหาความรู้ด้วยตนเอง ซึ่งครูเป็นผู้สร้างสถานการณ์ และนักเรียนเป็นผู้แก้ปัญหา ในการแก้ปัญหานั้นนักเรียนจะใช้กระบวนการที่ตรงกับธรรมชาติของวิชานั้น ๆ เช่น ในการแก้ปัญหาของวิชาเคมี จะใช้วิธีเดียวกันกับนักเคมีศึกษา การที่ครูจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนได้ใช้การคิดแบบอุปนัยและนิรนัยในเรื่องต่าง ๆ จะช่วยทำให้นักเรียนสามารถสังเคราะห์และสรุปเพื่อให้ได้ข้อค้นพบใหม่หรือเกิดมโนทัศน์ในเรื่องนั้น

สุรางค์ โควัตระกูล (2556, น. 323-324) ได้กล่าวถึง ความสำคัญของการเรียนรู้แบบค้นพบว่า เป็นการช่วยเพิ่มพูนสติปัญญาของนักเรียน เพราะจะต้องหาทางแก้ปัญหาและค้นพบสิ่งที่ต้องการจะเรียนรู้ด้วยตนเอง ทำให้การเรียนรู้มีความหมาย ช่วยให้จำได้ดีกว่าและนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้ดีกว่าการจัดการเรียนรู้แบบอื่น ๆ นอกจากนี้ยังช่วยทำให้นักเรียนภูมิใจว่าตนมีความสามารถในการเรียนรู้ด้วยตนเอง เกิดเป็นแรงเสริมภายใน นักเรียนอยากเรียนรู้มากขึ้น แต่การจัดการเรียนรู้นี้ก็มีข้อจำกัดคือ นักเรียนอาจค้นพบหลักการและสร้างมโนทัศน์ขึ้นแบบผิด ๆ เนื่องจากครูไม่มีเวลาที่จะแก้ไขได้ทันที และเป็นการเสียเวลาในการจัดการเรียนรู้

1.8.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ

สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ (2553, น. 30-32) ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ของการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย การจัดการเรียนรู้แบบนิรนัยและการจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ ไว้ดังนี้

การจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย เป็นวิธีการเรียนรู้จากส่วนย่อยไปหาส่วนรวม ซึ่งเริ่มต้นจากการนำตัวอย่างต่าง ๆ ไปใช้กับความรู้สึกนึกคิดและเหตุผลทางตรรกวิทยามาสนับสนุนให้ได้ข้อสรุปหรือกฎเกณฑ์

การจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย เป็นวิธีการเรียนรู้จากส่วนรวมไปยังส่วนย่อย โดยเป็นการพิสูจน์ จากการนำหลักการ ทฤษฎี กฎเกณฑ์ ไปทดลองหรือพิสูจน์ให้ได้ออกมาเป็นความคิดข้อสรุป หรือข้อค้นพบอื่น ๆ

การจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ เป็นวิธีการเรียนรู้ ที่นำการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัยและการจัดการเรียนรู้แบบนิรนัยมาใช้รวมกันเพื่อนำไปสู่การเรียนรู้แบบค้นพบโดยใช้การค้นหาคำตอบหรือมโนทัศน์ด้วยตนเอง จึงขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน โดยครูกระตุ้นและเร้าความสนใจของนักเรียนให้สนใจที่จะศึกษาบทเรียนนั้น

2) ขั้นเรียนรู้ ประกอบด้วย

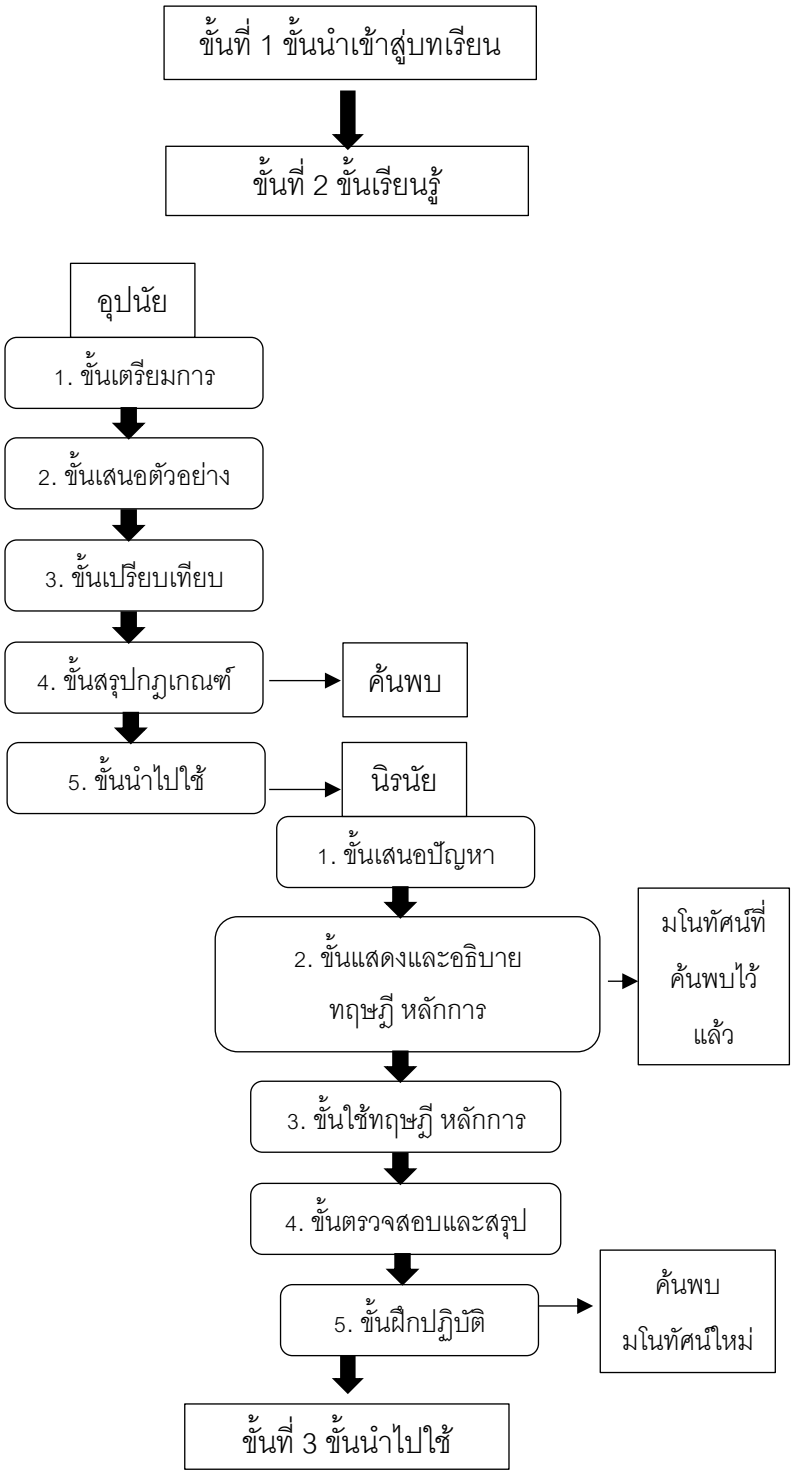
2.1) ครูใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัยในตอนแรก เพื่อให้นักเรียนค้นพบข้อสรุป

2.2) ครูใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย เพื่อให้นักเรียนนำข้อสรุปที่ได้ในตอนแรกไปใช้ เพื่อเรียนรู้หรือค้นพบข้อสรุปใหม่ในตอนที่ 2 โดยใช้เทคนิคการซักถาม โต้ตอบหรืออภิปรายเพื่อเป็นแนวทางในการค้นพบ

2.3) นักเรียนสรุปข้อค้นพบหรือมโนทัศน์ใหม่

3) ขั้นนำไปใช้ โดยครูให้นักเรียนนำเสนอแนวทางการนำข้อค้นพบที่ได้ไปใช้ในการแก้ปัญหา อาจจะใช้วิธีการให้ทำแบบฝึกหัดหรือแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อประเมินผลว่านักเรียนเกิดการเรียนรู้จริงหรือไม่

สามารถสรุปขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ

ที่มา: สุวิทย์ มูลคำและอรทัย มูลคำ (2553). 21 วิธีจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนากระบวนการคิด. หน้า 32.

ดังนั้น สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ มีแนวคิดมาจาก การนำวิธีการจัดการเรียนรู้ทั้ง 2 วิธี คือ วิธีแบบอุปนัยและนิรนัยมาใช้รวมกันเพื่อนำไปสู่การเรียนรู้แบบค้นพบที่ค้นหาคำตอบหรือมโนทัศน์ด้วยตนเอง ซึ่งมีขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ 3 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน 2) ขั้นเรียนรู้ ที่ประกอบด้วย การใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย เพื่อให้นักเรียนค้นพบข้อสรุป และการจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย เพื่อให้นักเรียนนำข้อสรุปที่ได้มาเรียนรู้หรือค้นพบข้อสรุปใหม่ และ 3) ขั้นนำไปใช้

1.9 การจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย

การจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย สามารถสรุปได้ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1.9.1 แนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย

นักการศึกษาหลายท่าน (ชนาธิป พรกุล, 2552, น. 19; ศักดิ์ศรี ปาณะกุล และคนอื่น ๆ, 2556, น. 137) ได้กล่าวถึง แนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย ว่าเน้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้อย่างทั่วถึง ซึ่งการให้นักเรียนร่วมกัน พูดคุย แลกเปลี่ยนข้อมูล ประสบการณ์ ความคิดเห็นต่าง ๆ จะช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ในเรื่องที่เรียนกว้างขึ้น จึงสามารถนำมาเป็นข้อสรุปของกลุ่มได้ โดยแบ่งเป็นกลุ่มเล็ก ๆ ประมาณ 4 – 8 คน โดยครูควรใช้โอกาสการทำอภิปราย ฝึกทักษะทางสังคม เช่น การแสดงความคิดเห็น มารยาทในการพูดและการฟัง

ทิศนา แขมมณี (2553, น. 347-352) ได้กล่าวถึงการจัดกลุ่มอภิปรายว่ามีหลายแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

1) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบกันเอง (Informal group discussion) จัดกลุ่มโดยจัดนักเรียนจำนวน 6-10 คน มีประธานที่นำการอภิปรายและกระตุ้นให้สมาชิกที่มีความสนใจในเรื่องเดียวกันมาพูดคุยแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ความคิดซึ่งกันและกันเพื่อหาข้อตกลงร่วมกันและหาข้อยุติในประเด็นต่าง ๆ

2) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบฟิลลิป 66 (Phillips 66 or buzz group) จัดกลุ่มโดยจัดนักเรียน 6 คนที่นั่งใกล้กันมารวมตัวกัน เพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับประเด็นปัญหาที่กลุ่มใหญ่กำหนดขึ้น กำหนดให้แลกเปลี่ยนคนละ 1 นาที รวมเป็นกลุ่มละ 6 นาที

3) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบซินดิเคต (Syndicate group) จัดกลุ่มโดยจัดนักเรียนประมาณ 6-10 คน มีการผลัดกันเป็นประธานและเลขานุการ ซึ่งนักเรียนที่รวมกลุ่มกันนี้จะมีความรู้ ประสบการณ์ที่ต่างกัน เพื่อให้ได้แลกเปลี่ยนกันในกลุ่มย่อยนี้จะได้ศึกษา พิจารณาประเด็นใดประเด็นหนึ่งที่กลุ่มใหญ่กำหนดขึ้น

4) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบระดมสมอง (Brainstorming group) จัดกลุ่มโดยจัดนักเรียนประมาณ 2-6 คน มีประธานคอยนำการอภิปรายและกระตุ้นให้สมาชิกในกลุ่มได้แสดงความคิดเห็นแบบไม่มีผิดหรือถูก ไม่มีการตัดสิน มีเลขานุการจดบันทึกความคิดเห็นภายในกลุ่ม โดยสมาชิกในกลุ่มจะเป็นผู้ที่มีความรู้ ประสบการณ์พอสมควรในประเด็นที่จะอภิปราย เพื่อที่จะแสวงหาความคิดสร้างสรรค์จากกลุ่ม

5) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบโต๊ะกลม (Round table group) จะมีลักษณะที่เหมือนกับการจัดกลุ่มอภิปรายแบบซินดิเคต (Syndicate group) ซึ่งเป็นการอภิปรายเพื่อพิจารณาประเด็นใดประเด็นหนึ่งที่กลุ่มใหญ่กำหนดขึ้น มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ความคิดเห็นของสมาชิกภายในกลุ่มเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อสรุป แต่การจัดกลุ่มในลักษณะนี้จะอยู่เป็นวงกลม ทุกคนจะมองเห็นซึ่งกันและกัน ปัจจุบัน ไม่จำเป็นที่จะต้องอยู่เป็นวงกลม สามารถจัดในลักษณะอื่นได้

6) การจัดกลุ่มอภิปรายเป็นคณะ (Panel discussion group) จัดกลุ่มโดยจัดนักเรียนประมาณ 3-6 คน มีครูเป็นผู้เชื่อมโยงความคิดเห็น คอยซักถามและจัดการเวลาที่ใช้ในการอภิปรายและสรุปผลการอภิปราย ซึ่งเป็นการจัดกลุ่มที่ให้ผู้เชี่ยวชาญในหัวข้อที่เป็นประเด็นผู้มีประสบการณ์และความคิดเห็นนั้นมาร่วมแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกัน

7) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบสัมมนา (Seminar group) จัดกลุ่มโดยจัดนักเรียนประมาณ 20 คนขึ้นไป มีครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ โดยนักเรียนที่เข้าร่วมจะได้ร่วมกันศึกษาหาความรู้ในประเด็นที่กำหนดขึ้น ซึ่งประเด็นมักจะกว้าง สามารถแบ่งข้อย่อยได้อีกจำนวนมาก เมื่อได้มีการประมวลความคิดเห็นแล้วจึงมีการสรุปเป็นข้อเสนอแนะ แนวทางการแก้ปัญหา

8) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบใกล้ชิด (Knee group) จัดกลุ่มโดยจัดนักเรียนประมาณ 3-5 คน เพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ประสบการณ์อย่างใกล้ชิดในลักษณะจับเข่าคุยกัน

9) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบฮัดเดิล (Huddle group) จัดกลุ่มโดยการสุ่ม เพื่อให้นักเรียนคละกันไปในแต่ละกลุ่มย่อย ให้พูดคุยแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ความคิดซึ่งกันและกันเพื่อหาข้อตกลงร่วมกันและหาข้อยุติในประเด็นต่าง ๆ

10) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบเวียนรอบวง (Circular response group) จัดกลุ่มโดยจัดนักเรียนไม่เกิน 10 คน นักเรียนแต่ละคนจะได้แสดงความคิดเห็น ภายในเวลา 1-2 นาที เวียนกันไปจนครบทุกคน หากนักเรียนคนใดต้อวการสนับสนุนหรือโต้แย้งเพิ่มเติม นักเรียนจะต้องรอจนกว่าจะถึงโอกาสของตน หากมีเวลาเหลือมากพอสามารถเริ่มการอภิปรายรอบที่ 2 ต่อไปเรื่อย ๆ

11) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบกลุ่มซ้อน (Fish bowl group) กลุ่มแบบนี้มีลักษณะเป็นกลุ่มซ้อนกันเป็น 2 วง กลุ่มวงในและกลุ่มวงนอก มีนักเรียนจำนวนเท่า ๆ กัน ในขณะที่นักเรียนกลุ่มวงในอภิปรายกันในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง นักเรียนกลุ่มวงนอกจะทำหน้าที่สังเกตการณ์ จุดประสงค์เพื่อให้ผู้สังเกตการณ์มีส่วนเกี่ยวข้องกับเรื่องที่อภิปราย อาจะมีการเปลี่ยนบทบาท จากสมาชิกวงนอกเข้าไปอยู่วงใน ซึ่งทำหน้าที่อภิปราย จากสมาชิกวงในออกมาอยู่วงนอก ซึ่งทำหน้าที่สังเกตการณ์

12) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบปุจฉาวิสัชนา (Questioning-answering) จัดกลุ่มโดยจัดนักเรียนประมาณ 6-8 คน มีครูเป็นผู้ดำเนินการอภิปราย ช่วยเชื่อมโยงความคิดเห็นของนักเรียนแต่ละกลุ่ม สรุปความคิดเห็นเพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจมโนทัศน์ในประเด็นที่เกิดขึ้นตามความต้องการและความสามารถของนักเรียน

1.9.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย

นักการศึกษาหลายท่าน (ชนาธิป พรกุล, 2552, น. 19; ทิศนา แขมมณี, 2553, น. 347-348; ศักดิ์ศรี ปาณะกุล และคนอื่น ๆ, 2556, น. 137-138) ได้กล่าวถึง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย ไว้หลากหลายรูปแบบ ดังนี้

ชนาธิป พรกุล (2552, น. 20) ได้กล่าวถึง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่

1) ขั้นการจัดกลุ่มนักเรียน

2) ขั้นกำหนดประเด็นในการอภิปราย ซึ่งครูและนักเรียนเป็นผู้กำหนดประเด็น

3) ขั้นการพูดคุยแลกเปลี่ยนความรู้ โดยนักเรียนร่วมกันแสดงความคิดเห็นตามประเด็นที่กำหนด

4) ขั้นสรุป นักเรียนสรุปสาระสำคัญของกิจกรรม

5) ขั้นประเมินผล มีการประเมินจากการสังเกตพฤติกรรมของผู้พูดและผู้ฟัง การใช้ภาษา การแสดงความคิดเห็น ความเชื่อมั่นในตนเอง มารยาทในการพูดและการฟัง อาจมีการทดสอบด้วยวาจาและข้อเขียน

ทิศนา แขมมณี (2553, น. 347-348) ได้กล่าวถึง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน โดยมีความแตกต่างจากขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ข้างต้นในขั้นที่ 4 คือ ขั้นสรุป ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นสรุปผลการอภิปรายและขั้นสรุปบทเรียน ดังนี้

1) ขั้นการแบ่งกลุ่ม โดยครูจัดนักเรียนออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ในจำนวนสมาชิกที่เหมาะสม หากจัดให้มีจำนวนสมาชิกที่น้อยเกินไป ภายในกลุ่มจะไม่ได้รับความคิดเห็นที่หลากหลายเท่าที่ควรและหากจัดให้มีจำนวนสมาชิกที่มากเกินไป จะทำให้นักเรียนบางคนไม่ได้แสดงความคิดเห็น ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มโดยวิธีการสุ่ม ในแต่ละกลุ่มนักเรียนจะมีการคละความสามารถ หรืออาจจัดนักเรียนเข้ากลุ่มจำแนกตามเพศ ความสนใจ หรือเลือกอย่างเจาะจงตามปัญหาที่มีขึ้นกับวัตถุประสงค์ของครูและสิ่งที่จะอภิปราย

2) ขั้นกำหนดประเด็นในการอภิปราย ซึ่งประเด็นในการอภิปราย อาจมาจากครูหรือนักเรียนก็ได้ โดยการอภิปรายในแต่ละครั้งไม่ควรมีประเด็นมากเกินไป เพราะจะทำให้นักเรียนอภิปรายไม่เต็มที่

3) ขั้นอภิปราย ในการจัดกลุ่มอภิปรายมีหลายแบบ ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ ควรมีการกำหนดบทบาทหน้าที่ที่จำเป็นในการอภิปราย และครูควรให้ความรู้ความเข้าใจแก่กลุ่มก่อนการอภิปราย

4) ขั้นสรุปผลการอภิปราย ในแต่ละกลุ่มจะต้องมีการสรุปผลการอภิปราย เพื่อให้ได้คำตอบตามประเด็นที่กำหนด ซึ่งหลังจากนั้นครูอาจให้แต่ละกลุ่มนำเสนอผลการอภิปรายแลกเปลี่ยนกัน

5) ขั้นสรุปบทเรียน ครูเชื่อมโยงสิ่งที่นักเรียนได้ร่วมกันคิดกับมโนทัศน์ที่กำลังเรียนรู้ เพื่อสรุปบทเรียน

6) ขั้นประเมิน ครูประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนด้วยวิธีการต่าง ๆ

ศักดิ์ศรี ปาณะกุล และคนอื่น ๆ (2556, น. 137-138) ได้กล่าวถึง ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน โดยได้แบ่งการอภิปรายเป็นช่วง ๆ คือ การอภิปรายตอนต้น การอภิปรายตอนกลางและการอภิปรายตอนสุดท้าย โดยทั้ง 5 ขั้นตอน เป็นดังนี้

1) ขั้นเตรียม โดยการแบ่งกลุ่มให้มีขนาดเหมาะสมและจัดที่นั่งให้ทุกคนมองเห็นหน้ากัน

2) ขั้นอภิปรายตอนต้น โดยให้นักเรียนแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์ ความคิดเห็นจากการระดมสมอง อภิปรายโต้ตอบกัน

3) ขั้นอภิปรายตอนกลาง เมื่อนักเรียนมีการอภิปรายกันแล้ว ก็นำข้อคิดเห็นที่ได้มาวิเคราะห์และตัดสินใจ

4) ขั้นอภิปรายตอนสุดท้าย เป็นขั้นการรวบรวมความคิดเห็นที่ได้ตัดสินใจเลือกเป็นคำตอบ และสรุปข้อค้นพบของกลุ่ม

5) ขั้นเสนอผลการอภิปรายต่อกลุ่มใหญ่ อาจเสนอในรูปของรายงาน บทบาทสมมติ สถานการณ์จำลองหรือรูปแบบอื่น ๆ ตามความเหมาะสม

ดังนั้นสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย มีแนวคิดสำคัญคือ เน้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็นและแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ในมโนทัศน์ โดยการจัดกลุ่มอภิปรายมีหลายแบบ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการจัดการเรียนรู้ ดังนี้ 1) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบกันเอง (Informal group discussion) 2) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบฟิลลิป 66 (Phillips 66 or buzz group) 3) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบซินดิเคต (Syndicate group) 4) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบระดมสมอง (Brainstorming group) 5) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบโต๊ะกลม (Round table group) 6) การจัดกลุ่มอภิปรายเป็นคณะ (Panel discussion group) 7) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบสัมมนา (Seminar group) 8) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบใกล้ชิด (Knee group) 9) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบฮัดเดิล (Huddle group) 10) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบเวียนรอบวง (Circular response group) 11) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบกลุ่มซ้อน (Fish bowl group) และ 12) การจัดกลุ่มอภิปรายแบบปุจฉาวิสัชนา (Questioning-answering) มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ หลากหลายรูปแบบ มีทั้งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน และประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ซึ่งแต่ละรูปแบบจะมีลำดับขั้นที่คล้ายคลึงกัน เพียงแต่มีการแบ่งระยะของขั้นที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งรูปแบบที่ครอบคลุมและชัดเจน คือ 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นการแบ่งกลุ่ม 2) ขั้นกำหนดประเด็นในการอภิปราย 3) ขั้นอภิปราย 4) ขั้นสรุปผลการอภิปราย 5) ขั้นสรุปบทเรียน และ 6) ขั้นประเมิน

1.10 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ สามารถสรุปได้ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1.10.1 แนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

นักการศึกษา ได้กล่าวถึงแนวคิดสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ สามารถสรุปได้ ดังนี้

ภพ เลาหไพบูลย์ (2542, น. 129-130) ได้กล่าวถึง หลักการของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ไว้ดังนี้

1) ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เช่น การสังเกต การเปรียบเทียบ การวัดการประมาณค่า การจำแนกประเภท การทดลอง การสื่อความหมายข้อมูล การลงความเห็นจากข้อมูล การวิเคราะห์ การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

2) เวลาไม่ใช่สิ่งสำคัญ จึงไม่ต้องเร่งรัดเวลาในสอนเพื่อให้สอนทันตามที่วางแผนไว้

3) ควรเลือกหนังสือเรียนและคู่มือที่มีการถามคำถามเป็นหลักไม่บอกคำตอบล่วงหน้า มีการตั้งปัญหาและเสนอแนวทางในการหาคำตอบ

4) นักเรียนควรมีความสนใจที่จะแสวงหาคำตอบ

5) เนื้อหาในการสืบเสาะหาความรู้ ไม่จำเป็นต้องต่อเนื่องจากเนื้อหาที่นักเรียนได้เรียนไปแล้ว

6) การเรียนการสอนเน้นคำถามว่า “ทำไม” ตัวอย่างคำถามเช่น “เราทราบได้อย่างไร” “เราพอใจกับข้อสันนิษฐานไหม” และ “เราพอใจกับข้อสรุปนี้ไหม” เป็นลักษณะของการสืบเสาะหาความรู้

7) ปัญหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ ต้องระบุให้ชัดเจน และแคบ เพื่อให้นักเรียนแก้ปัญหาในชั้นเรียนได้

8) จัดให้นักเรียนร่วมกันตั้งข้อสมมติฐาน เพื่อหาแนวทางในการสืบเสาะหาความรู้

9) นักเรียนควรเสนอแนวทางในการสืบค้นข้อมูล จากการอ่าน การสังเกตจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้ หรือแนวทางในการเก็บข้อมูลจากการทำการทดลอง

10) มีความร่วมมือในการประเมินแนวทางการปฏิบัติการ ระบุข้อสันนิษฐาน ข้อจำกัดและความยากให้ชัดเจนทุกครั้ง

11) นักเรียนช่วยกันเก็บข้อมูลในการทดสอบสมมติฐานเป็นรายบุคคล เป็นกลุ่มย่อยและทำทั้งห้องเรียน เพื่อทำการสำรวจและเก็บข้อมูล

12) นักเรียนสรุปข้อสมมติฐานเพื่อสร้างคำอธบายทางวิทยาศาสตร์ จากข้อมูลที่ได้มา

13) บทสรุปและคำอธิบายต่าง ๆ เป็นประโยชน์ในการนำไปสู่หัวข้อ เนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2545, น. 70) ได้กล่าวถึง หลักการของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ไว้ว่า เป็นใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการหาความรู้เป็นกระบวนการหลัก โดยนักเรียนจะต้องอาศัยปัจจัยสำคัญ ดังนี้

1) วิธีการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ขั้นตอนการหาความรู้โดยเริ่มตั้งแต่การระบุปัญหา การตั้งสมมติฐาน การออกแบบการทดลอง ทดลองการเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์และสรุปผล

2) ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ทักษะขั้นพื้นฐานและทักษะขั้นผสมผสาน ซึ่งเป็นทักษะทางปัญญาหรือทักษะการคิดในการค้นคว้าหาความรู้

3) เจตคติทางวิทยาศาสตร์

นอกจากนี้ยังใช้กระบวนการเสริม เป็นการอภิปรายระหว่างครูและนักเรียน โดยครูใช้การถามคำถาม ทั้งคำถามขั้นสูงและขั้นต่ำเพื่อนำไปสู่การระบุปัญหา ตั้งสมมติฐาน ออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ สรุปผลเพื่อให้ได้ข้อความรู้ด้วยตนเอง

จริยา สุจารีกุล (2551, น. 1) ได้กล่าวถึง หลักการของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ไว้ว่า เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้ใช้กระบวนการคิดและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยจิตวิทยาพื้นฐานของการเรียนรู้นี้ มีอยู่ 3 ประการ คือประการแรก นักเรียนจะเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น เมื่อได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับความรู้นั้น ประการที่สอง การเรียนรู้จะเกิดได้ดีที่สุดเมื่อสภาพแวดล้อมในการเรียนจูงใจให้นักเรียนอยากเรียนและมีกิจกรรมที่นำไปสู่การค้นคว้าทดลองและประการสุดท้าย การนำเสนอของครูจะต้องส่งเสริมให้นักเรียนรู้จักคิดด้วยตนเองให้มากที่สุด ทั้งนี้กิจกรรมที่จะทำต้องเชื่อมโยงกับความคิดเดิมที่นักเรียนมีอยู่ อีกทั้งนักเรียนมีความรู้และทักษะเพียงพอที่จะแสวงหาความรู้ใหม่

ทิศนา แขมมณี (2553, น. 141) ได้กล่าวถึง หลักการของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ไว้ว่า เป็นกระบวนการที่จำเป็นต่อการแสวงหาและศึกษาข้อความรู้ต่าง ๆ โดยคำถามที่เหมาะสม สามารถนำนักเรียนไปสู่การค้นพบข้อความรู้ใหม่ ๆ ได้ โดยหลักการของการจัดการเรียนรู้ มีดังนี้

1) ครูมีกระบวนการสอนหรือกิจกรรมการสอนที่กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความคิดวิเคราะห์ในเรื่องที่เรียน จนสามารถตั้งคำถามที่ต้องการจะสืบเสาะหาคำตอบด้วยตนเองได้

2) ครูมีเอกสารหรือสื่อการเรียนรู้ที่นักเรียนสามารถใช้ในการศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม เพื่อประกอบการคิดวิเคราะห์ในเรื่องนั้น ๆ

3) นักเรียนมีการศึกษาค้นคว้าหาความรู้หรือหาคำตอบ โดยใช้กระบวนการแสวงหาความรู้ที่เหมาะสม

4) ครูควรมีส่วนช่วยในการพัฒนาทักษะที่จำเป็นสำหรับนักเรียนในการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลหรือสร้างความรู้ที่มีความหมายต่อตัวนักเรียน เช่น ทักษะการสืบค้นหาแหล่ง

เรียนรู้หรือแหล่งข้อมูลการอ่าน การวิเคราะห์สิ่งที่อ่าน การสังเคราะห์ข้อมูล การสรุปข้อมูล การนำเสนอข้อมูล การอภิปรายและโต้แย้งทางวิชาการและการทำงานกลุ่ม เป็นต้น

5) ครูมีการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ทั้งในด้านพุทธิพิสัยและทักษะพิสัย

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2558, น. 343) ได้กล่าวถึง หลักการของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ไว้ว่า เป็นการสอนที่เน้นให้นักเรียน เรียนรู้และค้นพบความจริงต่าง ๆ ด้วยตนเอง โดยเริ่มต้นจากการพบปรากฏการณ์ธรรมชาติ อาจเป็นการตั้งคำถาม จากนั้นใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ทำการสืบเสาะหาความรู้ เช่น การสังเกต การวัด การคำนวณ การจำแนกประเภท การหาความสัมพันธ์ การจัดกระทำข้อมูลและสื่อความหมาย เป็นต้น เมื่อทำการสืบเสาะหาความรู้แล้วจึงได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ อาจเป็น ข้อเท็จจริง มโนมติ หลักการ กฎหรือทฤษฎี

ประสาท เนืองเฉลิม (2558, น. 133-156) ได้กล่าวถึง หลักการของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ไว้ว่า คือการมุ่งเน้นให้นักเรียนเข้าใจวิธีการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ มีการค้นคว้าและหาคำตอบอย่างเป็นระบบตั้งแต่การตั้งคำถาม ตั้งสมมติฐาน ทดลองและสรุปผล นอกจากนี้ยังเน้นให้นักเรียนเรียนรู้ผ่านประสบการณ์ตรง มีการสังเกต สัมผัส ทดลองและสรุปองค์ความรู้ด้วยตนเอง เน้นให้เข้าถึงการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ที่ใช้ศึกษาโลกรอบตัว เมื่อมีการค้นพบองค์ความรู้ใหม่ก็จะมีการนำเสนอและเผยแพร่แนวคิดผ่านสังคมวิทยาศาสตร์เช่นเดียวกัน ครูและนักเรียนเปรียบเสมือนอยู่ในสังคมแห่งการเรียนรู้ ซึ่งจะต้องการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และส่งผ่านความรู้จากรุ่นหนึ่งสู่รุ่นหนึ่งด้วยภาษาและวัฒนธรรมแบบวิทยาศาสตร์ นักเรียนจึงได้รับการคาดหวังว่าจะต้องมีพฤติกรรมคล้ายนักวิทยาศาสตร์ เช่น การตั้งคำถาม การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การสื่อสารและนำเสนอความรู้สู่สาธารณชน นอกจากนี้ยังต้องมีความซื่อสัตย์ ความรับผิดชอบ ความเป็นคนใจกว้าง ปรับความคิดของนักเรียนให้เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งของสังคมและผลผลิตทางวิทยาศาสตร์ก็ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสังคมตามมาเช่นกัน ซึ่งการจัดการเรียนรู้เช่นนี้ จะช่วยพัฒนามุมมองของนักเรียนให้เข้าใจมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ โดยมโนทัศน์ควรได้รับการปรับปรุงเมื่อมีข้อมูลใหม่หรือหลักฐานที่ชัดแจ้ง ไม่ใช่เป็นเพียงการนำเสนอข้อสรุปของนักวิทยาศาสตร์เมื่อมีการค้นพบความรู้ใหม่เท่านั้น หรือที่เรียกว่า Rhetoric of conclusion สิ่งเหล่านี้ทำให้นักเรียนไม่เห็นกระบวนการของวิทยาศาสตร์ เพียงแต่เห็นผลลัพธ์อันเกิดจากงานทางวิทยาศาสตร์ ด้วยเหตุนี้นักการศึกษาวิทยาศาสตร์จึงได้พัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้และผลักดันให้เห็นเป็นรูปธรรมผ่านห้องเรียนวิทยาศาสตร์ เพื่อเตรียมเยาวชนให้มีความพร้อมที่จะสามารถเรียนรู้และปรับตัวให้เข้ากับโลกแห่ง

การเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถพัฒนานักเรียนให้เข้าถึงความรู้อย่างเป็นขั้นเป็นตอน ดังนั้นวิทยาศาสตร์ควรได้รับการจัดการเรียนรู้ ในวิถีของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ ครูควรเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เรียนรู้จากห้องปฏิบัติการ อ่านรายงานวิจัย ศึกษาค้นคว้าจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลายแล้วนำความรู้ที่ได้มาอภิปรายร่วมกัน ซึ่งเป็นการพัฒนาจิตวิทยาศาสตร์ผ่านยุทธศาสตร์การสอนเพื่อสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ โดยการบูรณาการระหว่างการคิดและลงมือกระทำและการกระตุ้นความคิดขั้นสูงโดยการใช้คำถาม นำพานักเรียนไปสู่คุณลักษณะของผู้ที่ใฝ่รู้ในยุคโลกาภิวัฒน์

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560, น. 7) ได้กล่าวถึงหลักการของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ไว้ว่า เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ประกอบด้วยการให้เหตุผลเชิงตรรกะ (Logic) ข้อมูลหลักฐานเชิงประจักษ์ (Empirical evidence) จินตนาการและการคิดสร้างสรรค์ โดยเป็นการทำงานเพื่อสืบเสาะหาคำอธิบายสิ่งที่สนใจทั้งในส่วนตัวและร่วมกันของกลุ่มคนที่มีความสนใจเดียวกัน การสืบเสาะหาความรู้วิทยาศาสตร์เป็นการค้นหาคำตอบที่สนใจผ่านการทำงานอย่างเป็นระบบ รอบคอบ แต่มีอิสระและไม่เป็นลำดับขั้นที่ตายตัว ซึ่งเป็นวิธีการที่มากกว่า วิธีการทางวิทยาศาสตร์ หรือการทดลองทางวิทยาศาสตร์ โดยการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ จะมีลักษณะสำคัญที่ประกอบด้วย

1) คำถามที่สามารถหาคำตอบหรือตรวจสอบได้

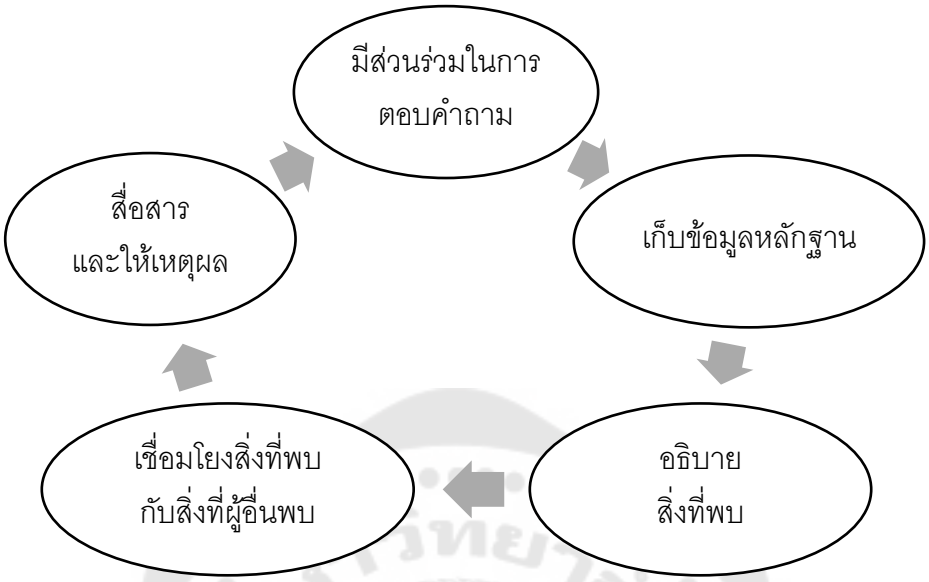
2) ข้อมูลหลักฐานทั้งเชิงประจักษ์และจากที่ผู้อื่นค้นพบ

3) การทำความเข้าใจ วิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ แล้วหาความสัมพันธ์ของข้อมูลและสร้างคำอธิบายเพื่อตอบคำถามที่สงสัย

4) การเชื่อมโยง เปรียบเทียบคำอธิบายของตนเองกับผู้อื่น

5) การสื่อสารคำอธิบายหรือสิ่งที่ค้นพบให้ผู้อื่นทราบ

โดยวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ในห้องเรียน ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 วัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในห้องเรียน

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 วิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. หน้า 7.

นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์ (2562, น. 6) ได้กล่าวถึง หลักการของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ไว้ว่า มีพื้นฐานทางจิตวิทยา 3 ประการ คือ 1) นักเรียนจะเกิดการเรียนรู้ได้ดี ก็ต่อเมื่อนักเรียนได้มีประสบการณ์ตรงกับการสืบเสาะหาความรู้นั้น ๆ ด้วยตนเองมากกว่าการได้รับความรู้จากการการบอก 2) สถานการณ์แวดล้อมในการเรียนรู้จะต้องกระตุ้นให้นักเรียนมีความอยากรู้และครูต้องจัดกิจกรรมที่จะนำไปสู่ความสำเร็จในการค้นคว้าทดลองจึงจะทำให้เกิดการเรียนรู้ที่ดี และ 3) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้จะต้องส่งเสริมให้นักเรียนรู้จักใช้ความคิดเชิงสร้างสรรค์ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงออกตามความคิดของตนเองมากที่สุด ซึ่งแนวคิดทั้ง 3 ประการมีความสอดคล้องกับทฤษฎีคอนสตรัคติวิสท์ (Constructivism) และสอดคล้องกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

1.10.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

สำหรับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่เลียนแบบการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบจะมีการเน้นการมีส่วนร่วมของนักเรียน เพื่อพัฒนามโนทัศน์ควบคู่กับทักษะกระบวนการ มีการผสมผสานขั้นตอนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

1) ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2558, น. 344-346); ชาตรี เกิดธรรม (2542, น. 23-25); ชูศิลป์ อัตชู (2550, น. 56-57); ประสาท เนืองเฉลิม (2558, น. 147-148); พิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2555, น. 30); สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560, น. 67); สมบัติ การจนารักพงศ์ และคนอื่น ๆ (2549, น. 12) ได้กล่าวถึงขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ไว้ใกล้เคียงกัน สรุปได้ดังนี้

1.1) ขั้นสร้างความสนใจ หรือ ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (Engagement) เป็นการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสงสัยและกำหนดประเด็นปัญหา ซึ่งเรื่องที่สนใจนั้นอาจเกิดจากความสงสัย ความสนใจของตนเอง หรือการอภิปรายภายในกลุ่ม ในขั้นนี้ควรมีการเชื่อมโยงประสบการณ์การเรียนรู้เดิมกับปัจจุบัน โดยกิจกรรมอาจจะประกอบไปด้วยการซักถามปัญหา การคาดคะเนคำตอบ การทบทวนความรู้เก่าเพื่อเชื่อมโยงไปสู่ความรู้ใหม่ การกำหนดกิจกรรมที่จะเกิดขึ้นและเป้าหมายที่ต้องการ

1.2) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) เป็นการวางแผนการสำรวจตรวจสอบและลงมือปฏิบัติเกี่ยวกับประเด็นที่นักเรียนสนใจ เป็นขั้นที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ใช้แนวความคิดที่มีอยู่แล้วมาจัดความสัมพันธ์กับหัวข้อที่กำลังจะเรียนให้เข้าเป็นหมวดหมู่ ให้นักเรียนวางแผนแนวทางในการสำรวจตรวจสอบด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์ ตั้งสมมติฐานกำหนดทางเลือกที่เป็นไปได้ ศึกษาหาข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงหรือแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลอย่างเพียงพอที่จะใช้ในขั้นต่อไปหรือนำไปสู่คำตอบหรือคำอธิบาย ซึ่งเป็นการสร้างและพัฒนาความคิดรวบยอด หากเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวกับการทดลอง การสำรวจ การสืบค้นด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งเทคนิคและความรู้ทางการปฏิบัติจะดำเนินไปด้วยตัวของนักเรียนเอง โดยครูทำหน้าที่เป็นเพียงผู้แนะนำและอำนวยความสะดวกหรือผู้เป็นเริ่มต้นในกรณีที่นักเรียนไม่สามารถหาจุดเริ่มต้นได้

1.3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) เป็นการนำข้อมูลและประจักษ์พยานที่รวบรวมได้จากการสำรวจค้นหามาพิจารณา วิเคราะห์ หาความสัมพันธ์ แปลความหมาย

ข้อมูลเชื่อมโยงสู่การสร้างคำอธิบายด้วยตนเองแล้วนำเสนอผลที่ได้ในรูปแบบต่าง ๆ โดยมีการอภิปรายซักถาม แลกเปลี่ยนเรียนรู้รวมถึงการโต้แย้งในองค์ความรู้ใหม่อย่างสร้างสรรค์ โดยอ้างอิงหลักฐาน ทฤษฎี หลักการกฎเกณฑ์หรือองค์ความรู้เดิมแล้วสรุป ซึ่งเป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ร่วมกันทั้งชั้นเรียน ซึ่งเป็นขั้นที่เกิดการปรับขยายโครงสร้างทางปัญญา จนสามารถกำหนดมโนทัศน์ตามความเข้าใจของตนเอง หรือเป็นการวางแนวคิดเกี่ยวกับบทเรียนด้วยความร่วมมือระหว่างนักเรียนและครู โดยเน้นให้ครูเป็นเพียงผู้ชี้แนะให้นักเรียนได้มีโอกาสในการพัฒนาความรู้ความเข้าใจในความคิดรวบยอดให้ชัดเจน โดยเชื่อมโยงประสบการณ์ความรู้เดิมและสิ่งที่เรียนรู้เข้าด้วยกัน

1.4) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) เป็นการขยายความคิดเพิ่มเติม นำมโนทัศน์ที่สร้างขึ้นไปเชื่อมโยงกับมโนทัศน์เดิม เพื่อเติมเต็มมโนทัศน์ใหม่ให้สมบูรณ์โดยการอธิบายและนำไปประยุกต์ใช้ในการอธิบายสถานการณ์อื่น ๆ ให้กว้างขึ้น หรือเปิดโอกาสให้นักเรียนที่ไม่เข้าใจได้ฝึกทักษะและปฏิบัติตามที่ต้องการ นอกจากนี้หากครูชี้แนะให้นักเรียนได้นำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน จะทำให้เกิดมโนทัศน์ กระบวนการและทักษะเพิ่มขึ้น

1.5) ขั้นประเมิน (Evaluation) เป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ตรวจสอบกระบวนการและผลการสำรวจตรวจสอบหรือองค์ความรู้ใหม่ โดยการประเมินผลด้วยตนเองถึงแนวความคิดที่ได้สรุปไว้แล้วว่าสอดคล้องหรือถูกต้องมากน้อยเพียงใด มีการยอมรับมากน้อยเพียงใด ข้อสรุปที่ได้จะนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาต่อไป ซึ่งนักเรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเกี่ยวกับการอธิบายความรู้ความเข้าใจของตนเองระหว่างการจัดการเรียนรู้ ซึ่งอาจเป็นการประเมินของตน ของเพื่อนร่วมชั้นเรียนหรือให้ครูประเมินนักเรียน โดยจะทำการประเมินต่อเนื่องทุกขั้นตอนตลอดกระบวนการด้วยวิธีที่หลากหลาย เพื่อปรับปรุงพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน

เมื่อสิ้นสุดขั้นประเมินแล้ว หากยังมีสิ่งที่ชวนสงสัยหรือน่าศึกษา ก็สามารถเข้าสู่วัฏจักรการเรียนรู้ใหม่ได้ตลอดเวลา หรือแม้ว่ายังดำเนินขั้นตอนไม่ครบ สามารถขึ้นต้นวัฏจักรใหม่เพื่อสืบเสาะเรื่องใหม่ ซ้อนในวัฏจักรเดิมได้ ดังภาพประกอบ 6

ภาพประกอบ 6 ขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น

ที่มา: สมบัติ การจนารักพงค์, มานิกสว่างเพียร และ บุญเจือ ดิษฐ์ไชยวงศ์. (2549). เทคนิคการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ 5E ที่เน้นพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง : กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์. หน้า 12.

2) ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น

ประสาท เนืองเฉลิม (2558, น. 148-150); วิชัย วงศ์ใหญ่ และ มารุต พัฒผล (2562, น. 2-3); สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560, น. 68-69) ได้กล่าวถึงการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้นที่แตกต่างไปจากแบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น คือ เพิ่มขั้นตอน 2 ขั้นตอน เพื่อป้องกันการละเลยในเรื่องความรู้เดิมของนักเรียนซึ่งทำให้ครูค้นพบว่านักเรียนต้องเรียนรู้อะไรก่อน ก่อนจะเรียนรู้ในมโนทัศน์ที่อยู่ในบทเรียนนั้น ๆ และนักเรียนควรได้รับการประเมินและขยายการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ เพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างลึกซึ้งและยั่งยืน

2.1) ขั้นตรวจสอบความรู้เดิม (Elicitation) เป็นการค้นหาและวินิจฉัยความรู้ที่ติดตัวมาของนักเรียน ซึ่งอาจเป็นความรู้ที่สนับสนุนหรือขัดขวางการเรียนรู้ที่กำลังจะเกิดขึ้น ครูจึงควรทำหน้าที่ในการตั้งคำถาม เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนได้แสดงความรู้เดิม ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำให้ครู

สามารถวางแผนการจัดการเรียนรู้ได้จากความรู้พื้นฐานของนักเรียน และสิ่งที่ควรเติมเต็มให้กับนักเรียนให้เหมาะสมกับความต้องการของนักเรียน

2.2) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) เป็นการนำเข้าสู่บทเรียนโดยมีครูเป็นผู้กระตุ้นให้นักเรียนสามารถกำหนดประเด็นที่จะศึกษา จากเรื่องที่นักเรียนสนใจที่เกิดจากความสงสัย เกิดจากการอภิปรายภายในกลุ่มซึ่งอาจมาจากเหตุการณ์หรือสถานการณ์ที่กำลังเกิดขึ้นในช่วงเวลานั้น เพื่อเป็นการเชื่อมโยงกับความรู้เดิม

2.3) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) เป็นขั้นที่ ครูกระตุ้นให้นักเรียนตรวจสอบปัญหาและรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง มีการวางแผนกำหนดแนวทางในการสำรวจตรวจสอบ ตั้งสมมติฐาน กำหนดทางเลือกเพื่อลงมือปฏิบัติร่วมกัน และเก็บรวบรวมข้อมูล หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลตัวอย่างเพียงพอ

2.4) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) เป็นการนำข้อมูล ข้อสนเทศที่ได้มาวิเคราะห์ แปลผลและนำเสนอผลที่ได้ในรูปแบบต่าง ๆ และอภิปรายผลโดยอ้างอิงประจักษ์พยานอย่างชัดเจนเพื่อนำเสนอมโนทัศน์ต่อไป

2.5) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) เป็นการนำมโนทัศน์ที่สร้างขึ้นไปเชื่อมโยงกับมโนทัศน์ที่ได้ค้นคว้าเพิ่มเติม หรือนำข้อสรุปไปใช้อธิบายสถานการณ์หรือเหตุการณ์อื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกัน ทำให้เกิดมโนทัศน์ที่กว้างขึ้น ครูควรมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมให้นักเรียนตั้งประเด็นเพื่ออภิปรายและแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2.6) ขั้นประเมิน (Evaluation) เป็นขั้นที่ครูต้องประเมินการเรียนรู้ ด้วยกระบวนการต่าง ๆ ที่หลากหลาย ถึงความรู้ที่นักเรียนได้รับ ว่าเป็นอย่างไร สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องอื่น ๆ ได้หรือไม่ ซึ่งควรได้รับการส่งเสริมให้นำความรู้ใหม่ไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมและสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่

2.7) ขั้นนำความรู้ไปใช้ (Extension) เป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้นำความรู้ที่เรียนมาใช้ในการแก้ปัญหาหรืออธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่อยู่นอกห้องเรียนหรืออยู่ในชีวิตจริงที่ไม่เคยเรียนรู้มาก่อน ครูจึงมีบทบาทในการกระตุ้นให้นักเรียนถ่ายโอนการเรียนรู้ระหว่างความรู้เดิมและความรู้ใหม่

การเปรียบเทียบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น กับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น ดังตาราง 1

ตาราง 1 การเปรียบเทียบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น กับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น	ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น
1. ขั้นสร้างความสนใจ หรือ ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (Engagement)	1. ขั้นตรวจสอบความรู้เดิม (Elicitation)
	2. ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement)
2. ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration)	3. ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration)
3. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป(Explanation)	4. ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation)
4. ขั้นขยายความรู้ (Elaboration)	5. ขั้นขยายความรู้ (Elaboration)
5. ขั้นประเมิน (Evaluation)	6. ขั้นประเมิน (Evaluation)
	7. ขั้นนำความรู้ไปใช้ (Extension)

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 วิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. หน้า 69.

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า หลักการของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ คือ การเน้นให้เข้าถึงกระบวนการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ โดยมีบทบาทในการค้นคว้าและหาคำตอบอย่างเป็นระบบเพื่อสร้างคำอธิบาย ตั้งแต่การตั้งคำถาม ตั้งสมมติฐาน ทดลองและสรุปผล จากนั้นนำความรู้ที่ได้มาอภิปรายร่วมกัน ซึ่งมีการกระตุ้นความคิดขั้นสูงโดยการใช้คำถาม เมื่อนักเรียนได้เรียนรู้ด้วยกระบวนการเช่นนี้แล้วจะช่วยยกระดับความเข้าใจในมโนทัศน์ของวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สมรรถนะทางวิทยาศาสตร์และแรงจูงใจใฝ่เรียนรู้สูงขึ้นและนำพานักเรียนไปสู่คุณลักษณะของผู้ที่ใฝ่รู้ในยุคโลกาภิวัตน์ โดยขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้มีการผสมผสานขั้นตอนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน แบ่งเป็นหลายรูปแบบ ได้แก่ 1) ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น มี 5 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นสร้างความสนใจ หรือ ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (Engagement) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration)และขั้นประเมิน (Evaluation) 2) ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น แตกต่างไป

จากแบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น คือ เพิ่มขั้นตอน 2 ขั้นตอน เพื่อป้องกันการละเลยในเรื่องความรู้เดิมของนักเรียนและให้นักเรียนได้รับการประเมินและขยายการเรียนรู้ ซึ่งมีขั้นตอน 7 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตรวจสอบความรู้เดิม (Elicitation) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) ขั้นประเมิน (Evaluation)และขั้นนำความรู้ไปใช้ (Extension)

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสังเคราะห์เพื่อสรุปเป็นขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ดังตาราง 2

ตาราง 2 การสังเคราะห์ขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์

การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์	**ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้**						
	ขั้นที่ 1	**ขั้นที่ 2**	**ขั้นที่ 3**	**ขั้นที่ 4**	**ขั้นที่ 5**	**ขั้นที่ 6**	**ขั้นที่ 7**
การสร้างมโนทัศน์	นำเสนอข้อมูลและระบุชื่อมโนทัศน์	ทดสอบความถูกต้องมโนทัศน์	วิเคราะห์ยุทธวิธีการคิด				
ผังกราฟิก	เสนอตัวอย่าง	สร้างผังกราฟิก	อภิปรายแลกเปลี่ยนขยายความ	รับข้อมูลย้อนกลับ	สรุป	ประเมิน	
การจัดกรอบมโนทัศน์	ตรวจสอบมโนทัศน์พื้นฐาน	ระบุมโนทัศน์พื้นฐานที่ขาด	เสริมมโนทัศน์พื้นฐานให้	เรียนรู้	สรุป	ประเมิน	
แผนผังทางปัญญา	เตรียมความพร้อม	สร้างแผนผังทางปัญญา	อภิปรายอย่างเป็นทางการ				
การนำเสนอมโนทัศน์กว้างล่วงหน้า	เตรียมมโนทัศน์กว้างและครอบคลุม	นำเสนอมโนทัศน์กว้าง	นำเสนอเนื้อหาสาระใหม่ของบทเรียน	จัดโครงสร้างความรู้			

(ต่อ) ตาราง 2

ผู้นำธรรมชาติที่มีหน้าที่พัฒนาหมู่บ้านศึกษา	ขั้นตอนการจัดตั้งเครือข่ายผู้นำธรรมชาติ						
	ขั้นที่ 1	ขั้นที่ 2	ขั้นที่ 3	ขั้นที่ 4	ขั้นที่ 5	ขั้นที่ 6	ขั้นที่ 7
ผู้นำกลุ่มเยาวชน	กลุ่ม	ผู้นำแบบเป็นทางการ	ผู้นำแบบไม่เป็นทางการ	ผู้นำแบบเป็นทางการ	ผู้นำแบบไม่เป็นทางการ	กลุ่ม	ผู้นำกลุ่มเยาวชน
ผู้นำกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร	กลุ่ม 5	ผู้นำแบบไม่เป็นทางการ	ผู้นำแบบเป็นทางการ	ผู้นำแบบไม่เป็นทางการ	ผู้นำแบบเป็นทางการ	กลุ่ม	ผู้นำกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร
ผู้นำกลุ่มเกษตรกร	กลุ่มอาชีพ	ผู้นำแบบไม่เป็นทางการ	ผู้นำแบบเป็นทางการ	ผู้นำแบบไม่เป็นทางการ	ผู้นำแบบเป็นทางการ	กลุ่ม	ผู้นำกลุ่มเกษตรกร
ผู้นำกลุ่มสตรี	กลุ่มสตรี	ผู้นำแบบไม่เป็นทางการ	ผู้นำแบบเป็นทางการ	ผู้นำแบบไม่เป็นทางการ	ผู้นำแบบเป็นทางการ	กลุ่ม	ผู้นำกลุ่มสตรี
ผู้นำกลุ่มผู้สูงอายุ	กลุ่มผู้สูงอายุ	ผู้นำแบบไม่เป็นทางการ	ผู้นำแบบเป็นทางการ	ผู้นำแบบไม่เป็นทางการ	ผู้นำแบบเป็นทางการ	กลุ่ม	ผู้นำกลุ่มผู้สูงอายุ
ผู้นำกลุ่มอาชีพ	กลุ่มอาชีพ	ผู้นำแบบไม่เป็นทางการ	ผู้นำแบบเป็นทางการ	ผู้นำแบบไม่เป็นทางการ	ผู้นำแบบเป็นทางการ	กลุ่ม	ผู้นำกลุ่มอาชีพ

จากตาราง 2 พบว่า การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ นั้นจะเริ่มต้นจากการ นำเข้าสู่บทเรียน ด้วยการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจในประเด็นที่กำหนด หรืออาจมีการตรวจสอบความรู้เดิม จากนั้นให้นักเรียนเรียนรู้มโนทัศน์ ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การอภิปรายร่วมกัน แลกเปลี่ยนความคิดเห็น ทดลอง หรือครูเป็นผู้นำเสนอมโนทัศน์นั้น จากนั้นจึงมีการลงข้อสรุปร่วมกันเพื่อยืนยันในสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้ โดยการนำเสนอหน้าชั้นเรียน เมื่อนักเรียนมีมโนทัศน์แล้วจึงขยายความคิดเพิ่มเติม เพื่อประยุกต์ใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ จากนั้นจึงทำการสรุปบทเรียน และประเมินผลนักเรียนว่านักเรียนมีความเข้าใจในมโนทัศน์อย่างไรบ้าง

จากการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี ดังที่นิวบูรี่ (Newbury, 1963, pp. 15-16) ได้กล่าวถึงการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี ว่า ในช่วงแรกของการจัดการเรียนรู้มักเริ่มต้นด้วยสัญชาตญาณของความอยากรู้ ซึ่งครูสามารถสร้างให้เกิดกับนักเรียนได้ เป็นการจุดประกายให้เกิดการเรียนรู้และในกิจกรรมการเรียนรู้นักเรียนควรได้รับการฝึกให้สามารถปฏิบัติการทดลองได้ นอกจากนี้ สุพรรณี ชาญประเสริฐ (2556, น. 34-37) ได้กล่าวว่า การศึกษาวิชาเคมี เป็นการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบโครงสร้างสมบัติและการเปลี่ยนแปลงของสาร โดยภาพรวมนักเรียนควรได้เรียนรู้มโนทัศน์เกี่ยวกับการวัดและการคำนวณทางเคมี เพราะฉะนั้นการจัดการเรียนรู้ควรให้เกิดความเข้าใจมโนทัศน์เคมี จึงจำเป็นอย่างยิ่งในการนำกิจกรรมการทดลอง สื่อต่าง ๆ มาประกอบการเรียนรู้เพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้น โดยเฉพาะเรื่องที่เป็นนามธรรม การจัดการเรียนรู้ที่ควรใช้คือ การแสดงแผนผัง การแสดงตัวอย่างจริงในชีวิตประจำวัน การอภิปรายถึงคุณลักษณะที่สำคัญ การนำเสนอด้วยวิธีการต่าง ๆ เมื่อนักเรียนเกิดความเข้าใจในมโนทัศน์หลักของเนื้อหาแล้ว ครูควรสรุปหรือปิดท้ายบทเรียน เพื่อให้มโนทัศน์ของบทเรียนมีความหมายยิ่งขึ้น ซึ่งควรทำในเวลาที่เหมาะสม สิ่งที่ช่วยส่งเสริมให้การสรุปมีประสิทธิภาพมากขึ้น คือ การกระตุ้นให้นักเรียนได้ร่วมอภิปรายเกี่ยวกับสิ่งที่ได้เรียนรู้ ซึ่งครูต้องช่วยเติมเต็มมโนทัศน์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งการเรียนรู้ไม่ควรสิ้นสุดหลังจากที่นักเรียนได้ทำงาน การประเมินผลถือเป็นสิ่งสำคัญเพื่อตรวจสอบว่าการเรียนรู้ของนักเรียนบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่และควรให้ผลสะท้อนกลับทันที

ในการจัดการเรียนรู้ที่ทำการศึกษา บางรูปแบบอาจไม่ครอบคลุมและบางรูปแบบพบว่ามีบางขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน ทำให้ต้องใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้มาก ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงปรับขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ใหม่ ให้เหมาะสมกับเนื้อหาวิชาเคมี เรื่องกรด-เบส ได้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์

ขั้นที่ 1 นำเข้าสู่บทเรียน (Engage) เป็นขั้นตอนที่กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจในประเด็นที่กำลังจะเรียนรู้หรือตรวจสอบความรู้พื้นฐานเดิม โดยครูมีบทบาทให้การสร้างสถานการณ์ หรือกระตุ้นให้นักเรียนตั้งคำถามเกี่ยวกับสถานการณ์นั้น ๆ และนักเรียนมีบทบาทในการให้ความสนใจเกี่ยวกับสถานการณ์ที่ครูกำหนด โดยตั้งข้อสงสัยเกี่ยวกับสิ่งที่ครูนำเสนอ หรือ ถ่ายทอดมโนทัศน์เดิมออกมา

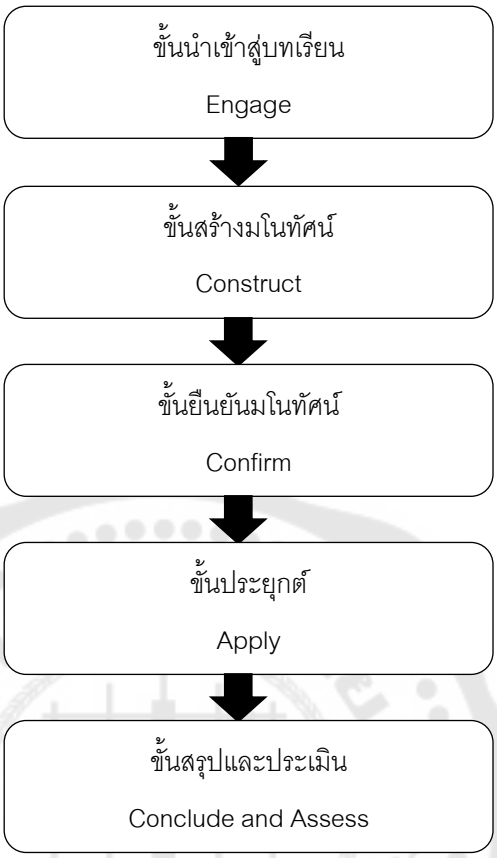
ขั้นที่ 2 สร้างมโนทัศน์ (Construct) เป็นขั้นการสร้างองค์ความรู้ โดยครูมีบทบาทเป็นผู้ถ่ายทอดหรือผู้อำนวยความสะดวกให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ตามความเหมาะสม เช่น การสาธิต การทดลอง การใช้สื่อต่าง ๆ และนักเรียนมีบทบาทในการสำรวจวิเคราะห์ ศึกษาจากครูหรือศึกษาด้วยตนเอง

ขั้นที่ 3 ยืนยันมโนทัศน์ (Confirm) เป็นขั้นปรับมโนทัศน์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ โดยครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอเกี่ยวกับสิ่งที่ได้เรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ จากนั้นครูจะเป็นผู้ชี้แนะให้นักเรียนได้มีโอกาสสร้างความเข้าใจในมโนทัศน์ให้ชัดเจน นักเรียนมีบทบาทในการอภิปราย ซักถาม แลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันทั้งชั้นเรียน สร้างความเข้าใจที่ถูกต้องสมบูรณ์

ขั้นที่ 4 ประยุกต์ (Apply) เป็นขั้นการนำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้ผ่านการยืนยันแล้วว่ามีความถูกต้องสมบูรณ์ ไปใช้ในสถานการณ์ที่หลากหลายทำให้เกิดมโนทัศน์ที่กว้างขึ้น โดยครูมีบทบาทในการกำหนดสถานการณ์ต่าง ๆ และกระตุ้นให้นักเรียนได้นำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้มาถ่ายโยงกับสถานการณ์ใหม่ นักเรียนมีบทบาทในการนำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้มาขยายให้เกิดมโนทัศน์ที่กว้างขึ้น

ขั้นที่ 5 สรุปและประเมิน (Conclude and Assess) เป็นขั้นการประเมินด้วยกระบวนการต่าง ๆ โดยครูและนักเรียนมีบทบาทในการช่วยกันสรุปเกี่ยวกับการนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ จากนั้นครูทำการประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนเพื่อทดสอบความเข้าใจของนักเรียนว่าบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

สามารถสรุปขั้นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ สำหรับงานวิจัยนี้ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 ขั้นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์

2. เทคนิคของโพลยา

2.1 แนวคิดของโพลยา

นักการศึกษาหลายท่าน (Polya, 1957, pp. 16-17; ฉวีวรรณ เศวตมาลย์, 2543, น. 55; นฤมล ฉิมงาม, 2558, น. 54-59; อัมพร ม้าคนอง, 2553, น. 41) ได้กล่าวถึงแนวคิดของโพลยา ไว้อย่างหลากหลาย โดยมาจาก George Polya หรือ นักคณิตศาสตร์ ที่เขียนหนังสือชื่อ How to Solve It ซึ่งนับว่ามีอิทธิพลต่อนักคณิตศาสตร์ศึกษาในปัจจุบัน สรุปได้ว่า สาระสำคัญของการทำคณิตศาสตร์ คือ การแก้ปัญหา โดยการสอนให้นักเรียนคิด คือ ความสำคัญเบื้องต้นและสาระที่ควรวางรากฐานอย่างมาก คือ “คิดอย่างไร” ถือเป็นการสืบเสาะและแก้โจทย์ปัญหาอย่างแท้จริง จะเน้นกระบวนการค้นพบมากกว่าการพัฒนาทักษะโดยเทคนิคนี้จะมี 4 ขั้นตอน เป็นตัวช่วยให้มองเห็นภาพรวมในการแก้ปัญหา นักเรียนมีหลักคิด เข้าใจปัญหาอย่างถ่องแท้ มีการวางแผนและกำกับการทำงานอย่างต่อเนื่อง ทำให้ได้คำตอบที่ถูกต้องหรือผลเฉลยที่เป็นเหตุ

เป็นผลจากการแก้ปัญหา ถือเป็นกระบวนการที่มีประโยชน์มาก เนื่องจากนับเป็นสิ่งที่ทั้งครูและนักเรียนคุ้นเคยและถูกใช้มานานมากในการสอนแก้ปัญหาเกี่ยวกับคณิตศาสตร์

2.2 กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้เทคนิคของโพลยา

โพลยา (Polya, 1957, pp. 16-17) ได้กล่าวถึงกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาไว้ 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การเข้าใจปัญหา (Understanding the problem) เป็นการทำความเข้าใจว่าสิ่งใดที่ต้องการทราบ อะไรคือข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา โดยเงื่อนไขดังกล่าวเป็นไปได้ที่จะสามารถแก้ปัญหาได้หรือไม่ เงื่อนไขดังกล่าวเพียงพอ/ซ้ำซ้อน/ขัดแย้งต่อการค้นพบคำตอบหรือไม่

ขั้นที่ 2 การวางแผนแก้ปัญหา (Devising a plan) โดยหาจุดเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลกับสิ่งที่ต้องการทราบ จากการพิจารณาองค์ประกอบของปัญหา หากไม่สามารถเชื่อมโยงได้ทันที ต้องวางแผนหาวิธีแก้ปัญหา โดยคิดว่า เราเคยพบปัญหานี้มาก่อนหรือไม่ หรือเคยพบปัญหาที่ลักษณะคล้าย ๆ กันนี้หรือไม่ ใช้หลักการหรือสูตรใดในการแก้ปัญหา โดยดูสิ่งที่ต้องการทราบและพยายามคิดหาวิธีการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 3 ขั้นดำเนินการตามแผน (Carrying out the plan) เป็นการปฏิบัติตามแผนที่วางไว้ โดยมีการตรวจสอบความถูกต้องในแต่ละขั้นตอน

ขั้นที่ 4 ขั้นการตรวจสอบ (Looking back) เป็นการตรวจสอบคำตอบที่ได้มาหรือหาวิธีการอื่นเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบเช่นเดียวกัน

ต่อมาได้มีนักการศึกษาหลายท่าน (กรมวิชาการ, 2540, น. 1; 2544, น. 38-39; ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2559, น. 70-71; พิมพันธ์ เดชะคุปต์, 2555, น. 30; สุวิทย์ มูลคำ, 2547, น. 144; อัมพร ม้าคนอง, 2553, น. 41) ได้กล่าวถึงรายละเอียดต่าง ๆ ตามกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้เทคนิคของโพลยา ไว้ใกล้เคียงกัน ซึ่งอ้างอิงจากหนังสือ How to solve it ของ George Polya สรุปออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้น 1 ขั้นทำความเข้าใจปัญหา เป็นการอ่านสถานการณ์ให้เข้าใจ เพื่อทำความเข้าใจสถานการณ์ที่เป็นปัญหานั้น ๆ หรือทำความเข้าใจในสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในปัญหา สรุป วิเคราะห์ แปลความ แล้วจำแนกเป็น 3 ข้อ คือ

1) สิ่งที่สถานการณ์ให้มา

2) สิ่งที่ต้องการให้หา

3) สถานการณ์มีการซ่อนเงื่อนไขในการแก้ไว้หรือไม่

จากนั้นนักเรียนสรุปปัญหาออกมาตามความเข้าใจของตนเอง อาจใช้การวาดรูป แยกเงื่อนไข สถานการณ์ออกเป็นประเด็น ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจมากขึ้น

ขั้น 2 ขั้นวางแผนแก้ปัญหา เป็นการวางแผนแก้ปัญหาโดยใช้ยุทธวิธีต่าง ๆ ตามความเหมาะสม ซึ่งเกิดจากนักเรียนมองเห็นความสำคัญของข้อมูลต่าง ๆ ในโจทย์ปัญหาอย่างชัดเจนมากขึ้น เกิดการค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่โจทย์ถามกับข้อมูลหรือสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ แยกแยะปัญหาออกเป็นประเด็น ๆ เพื่อสะดวกต่อการลำดับขั้นตอนในการแก้ปัญหาและวางแผนหาวิธีในการแก้ปัญหา เช่น การลองผิดลองถูก เป็นต้น หากไม่สามารถวางแผนได้ควรใช้หลักการของการวางแผนการแก้ปัญหา ดังนี้

1) โจทย์ปัญหานี้ เคยพบมาก่อนหรือไม่ มีลักษณะคล้ายคลึงกับโจทย์ปัญหาที่เคยทำมาแล้วอย่างไร

2) เคยพบโจทย์ปัญหาลักษณะนี้เมื่อไร และใช้วิธีการใดในการแก้ปัญหา

3) หากอ่านโจทย์แล้วไม่เข้าใจ ควรอ่านทบทวนอีกครั้งและวิเคาะห์ความแตกต่างของปัญหาจากโจทย์นี้และปัญหาที่เคยแก้มาก่อน

ขั้น 3 ขั้นดำเนินการตามแผน เป็นการแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้เพื่อให้ได้คำตอบของปัญหาด้วยการรู้จักเลือกวิธีการคิดคำนวณ สมบัติ กฎ หรือสูตรที่เหมาะสมมาใช้และควรตรวจสอบความถูกต้องของแต่ละขั้นตอน วิเคราะห์ลักษณะที่ต้องเพิ่มเพื่อใช้ในการกำกับการทำงานตามแผนที่วางไว้

ขั้น 4 ขั้นตรวจสอบผล เป็นการตรวจสอบโดยมองย้อนกลับหรือตรวจสอบแต่ละขั้นตอน เพื่อให้แน่ใจว่าผลลัพธ์ที่ได้ถูกต้องสมบูรณ์ โดยการพิจารณาและตรวจดูผลลัพธ์ถูกต้องและมีเหตุผลที่น่าเชื่อถือหรือไม่ ตลอดจนการขยายความคิดจากผลหรือคำตอบที่ได้และการวิเคราะห์หาวิธีการอื่นในการแก้ปัญหาเพื่อดูว่าผลลัพธ์ที่ได้ตรงกันหรือไม่ หรืออาจใช้การประมาณค่าของคำตอบอย่างคร่าว ๆ

สรุปได้ว่ากระบวนการในการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา มีด้วยกัน 4 ขั้นตอน คือ ขั้น 1 ขั้นทำความเข้าใจปัญหา (Understanding the problem) เป็นการตีความโจทย์ถึงสิ่งที่โจทย์ให้มา สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขของปัญหา ขั้น 2 ขั้นวางแผนแก้ปัญหา (Devising a plan) เป็นการวางแผนพิจารณาและหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่ได้จากการตีความโจทย์เพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม ขั้น 3 ขั้นดำเนินการตามแผน (Carrying out the plan) เป็นการลงมือปฏิบัติตามแผนที่วางไว้โดยมีการตรวจสอบแต่ละขั้นของการดำเนินงานและขั้น 4 ขั้นตรวจสอบผล (Looking back) เป็นการมองย้อนกลับเพื่อตรวจสอบคำตอบรวมถึงวิธีการ

แก้ปัญหา ให้สอดคล้องกับข้อมูลและเงื่อนไขของปัญหา พิจารณาความสมเหตุสมผลหรืออาจหาวิธีการอื่นที่ได้มาซึ่งคำตอบเช่นเดียวกัน

2.3 บทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้ด้วยเทคนิคของโพลยา

นักการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ ได้กล่าวถึงบทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้ด้วยเทคนิคของโพลยา ไว้อย่างหลากหลาย ดังนี้

โพลยา (Polya, 1957, p. 20) ผู้คิดค้นกระบวนการแก้โจทย์ปัญหา ได้กล่าวถึงบทบาทของครู ว่า การแก้ปัญหาถือเป็นทักษะในทางปฏิบัติที่เกิดขึ้นได้จากการลอกเลียนและฝึกฝนจนเกิดการเรียนรู้ ครูมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียน ซึ่งจะต้องปลูกฝังให้นักเรียนสนใจในปัญหาและเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ลอกเลียนและฝึกฝนตาม ครูควรให้อิสระในการคิดแก่นักเรียน เมื่อนักเรียนต้องการความช่วยเหลือก็ควรช่วยเหลืออย่างพอดี ให้พยายามเข้าใจปัญหาและวางแผนการดำเนินการแก้ปัญหาด้วยตนเอง อย่างไรก็ตามในการให้ความช่วยเหลือนักเรียนเพื่อให้นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหามากขึ้น คือ การใช้คำถามและการให้คำแนะนำ เช่น สิ่งใดที่เราไม่ทราบ สิ่งใดที่จำเป็นในการแก้โจทย์ปัญหา สิ่งใดที่โจทย์ต้องการทราบ เคยเจอปัญหาในลักษณะเดียวกันนี้หรือไม่ ซึ่งคำถามเหล่านี้จะช่วยให้นักเรียนสามารถอภิปรายปัญหาได้ คำถามที่ใช้ควรเป็นคำถามทั่ว ๆ ไป ใช้ได้กับปัญหาทุกประเภทแล้วค่อย ๆ ถามคำถามที่เฉพาะเจาะจงและเป็นรูปธรรมมากขึ้น สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึง คือ ปัญหานั้น ๆ เป็นปัญหาที่ให้ค้นหา หรือ เป็นปัญหาที่ให้พิสูจน์ ซึ่งต้องใช้คำถามที่แตกต่างกันออกไป สำหรับในการใช้คำถามและการให้คำแนะนำแก่นักเรียน มีจุดมุ่งหมาย 2 ประการ คือ ช่วยให้นักเรียนแก้ปัญหาตรงหน้าได้และช่วยพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาได้ในอนาคตด้วยตนเอง ดังนั้นครูจึงควรใช้คำถามและให้คำแนะนำเป็นประจำและชี้นำให้นักเรียนฝึกตั้งคำถาม แสดงความคิดเห็นบ่อย ๆ ทำให้นักเรียนได้ซึมซับจนมีไหวพริบและสามารถแก้ปัญหาด้วยตนเองได้ เมื่อนักเรียนแก้ปัญหาได้แล้วครูก็ควรเพิ่มระดับความสามารถขึ้นเล็กน้อย จนนักเรียนได้รับสิ่งสำคัญที่มากกว่าความรู้เกี่ยวกับคณิตศาสตร์ นั่นคือความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

นอกจากนี้ กรมวิชาการ (2540, น. 5-6) ได้กล่าวถึงบทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้ด้วยเทคนิคของโพลยา โดยแสดงรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการแก้โจทย์ปัญหาดังนี้

ขั้นที่ 1 การเข้าใจปัญหา ครูควรสอนให้นักเรียนอ่านสถานการณ์ให้เข้าใจ แล้วให้นักเรียนพิจารณาดูว่าสถานการณ์ให้รายละเอียดอะไรบ้าง จากนั้นจึงจำแนกสถานการณ์เป็น

1) สิ่งที่สถานการณ์ให้มา

2) สิ่งที่ต้องการให้หา

3) ในสถานการณ์มีการซ่อนเงื่อนไขในการแก้ปัญหาไว้หรือไม่ และนักเรียนสามารถเดาหรือคาดคะเนคำตอบที่เป็นไปได้ ได้หรือไม่

ขั้นที่ 2 การวางแผนแก้ปัญหา สถานการณ์ที่กำหนดให้จะมีวิธีแก้ปัญหามากมาย ครูอาจยกตัวอย่างแสดงวิธีการแก้ปัญหาแต่ละวิธีให้นักเรียนดู เพื่อเป็นแนวทางให้นักเรียน นักเรียนบางคนอาจมีวิธีแก้ปัญหาแตกต่างไปจากที่ครูเสนอแนะได้ ดังนั้น ครูจึงไม่เน้นการตรวจคำตอบเพียงอย่างเดียว แต่จะต้องดูกระบวนการในการแก้ปัญหาของนักเรียน ซึ่งในการจัดการเรียนรู้แต่ละครั้งจะต้องมีการสรุปเพื่อปลูกฝังให้นักเรียนรู้จักคิดวางแผนก่อนลงมือทำทุกครั้ง ซึ่งแนวทางในการแก้ปัญหานั้นมีหลายวิธี นักเรียนจึงจะต้องรู้จักเลือกวิธีแก้ปัญหาที่ง่าย กระชับ สะดวกที่สุด

ขั้นที่ 3 ขั้นดำเนินการตามแผน ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เลือกยุทธวิธีที่เหมาะสมกับตัวนักเรียนเองตามความสามารถ ไม่จำกัดว่ายุทธวิธีใดที่ถูกต้องที่สุด ซึ่งบางสถานการณ์อาจใช้หลายยุทธวิธีได้ หากสถานการณ์ที่มีการคำนวณ เมื่อนักเรียนวางแผนหายุทธวิธีที่เหมาะสมและชัดเจนแล้ว มักจะมีปัญหาที่การคำนวณเท่านั้น แต่หากนักเรียนไม่สามารถหายุทธวิธีได้ ครูควรให้แรงเสริมทางบวก เพื่อให้นักเรียนมีกำลังใจ บางสถานการณ์ที่ต้องการคำอธิบายครูอาจช่วยเาริมโดยการจัดกิจกรรมที่กระตุ้นการใช้ความคิดของนักเรียนเอง ฝึกฝนการสร้างโจทย์ที่ต้องตัดสินใจและต้องการคำอธิบาย

ขั้นที่ 4 ขั้นการตรวจสอบ ครูจะต้องพิจารณากระบวนการในการแก้ปัญหา ไม่ควรให้ความสำคัญเพียงคำตอบที่ถูกต้องเท่านั้น โดยครูอาจใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนได้ทบมวนมองย้อนกลับเพื่อตรวจสอบในขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้ทำมาเพื่อพิจารณาถึงความสมเหตุสมผลของคำตอบ การใช้ข้อมูลและเงื่อนไขที่โจทย์ให้มา หายุทธวิธีในการแก้ปัญหาอื่นเพิ่มเติม

ครูอาจมีบทบาทในการฝึกทักษะในการแก้ปัญหาหรือฝึกการสร้างโจทย์ปัญหาโดยอาศัยสถานการณ์จากสภาพแวดล้อม จากกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตจริง รวมทั้งดัดแปลงจากปัญหาเดิมเพื่อให้เกิดความเคยชินจากกระบวนการเหล่านี้

กรมวิชาการ (2544, น. 70-72)ได้กล่าวถึงบทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้ด้วยเทคนิคของโพลยาอย่างละเอียดตั้งแต่การเตรียมการก่อนการจัดการเรียนรู้ไปจนถึงขณะปฏิบัติตามกระบวนการแก้โจทย์ปัญหา ดังนี้

1) การเตรียมการจัดการเรียนรู้แก้ปัญหา มีข้อควรคำนึง ดังนี้

1.1) ก่อนแก้ปัญหา

1.1.1) ครูควรอธิบายให้มองเห็นความสำคัญของการอ่านโจทย์ คิดขณะอ่าน

1.1.2) ครูควรกระตุ้นให้นักเรียนสนใจกับข้อมูลต่าง ๆ ในโจทย์ปัญหาและพยายามทำความเข้าใจแต่ละประโยคของโจทย์

1.1.3) เปิดโอกาสให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นว่าจะใช้วิธีการใดในการแก้ปัญหา ในกรณีที่นักเรียนตอบผิด ครูควรให้กำลังใจและเวลาคิดกับนักเรียน

1.1.4) ควรทดลองแก้โจทย์ปัญหานั้นก่อน เตรียมคำถามและวิธีการที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการแก้โจทย์ปัญหานั้น

1.2) ระหว่างการแก้ปัญหา

1.2.1) ควรตระหนักในจุดอ่อนของนักเรียนในการแก้ปัญหา

1.2.2) ช่วยเสนอแนะวิธีแก้ปัญหาในกรณีที่นักเรียนมีปัญหา ทำไม่ได้

1.2.3) ช่วยกระตุ้นให้ใช้วิธีการคิดที่แตกต่างจากวิธีที่ใช้

1.2.4) ให้ตรวจทานงานที่ทำหลังจากทำเสร็จแล้ว

1.3) หลังการแก้ปัญหา

1.3.1) ควรเปิดโอกาสให้แสดงวิธีทำ อธิบายแนวคิดตลอดจนบอกคำตอบ

1.3.2) ควรถามว่านักเรียนใช้ความรู้อะไรบ้างในการแก้ปัญหาข้อนี้

2) ปฏิบัติตามขั้นตอนของการแก้ปัญหา 4 ขั้นตอน

2.1) การทำความเข้าใจปัญหา ครูควรกระตุ้นให้นักเรียนอ่านโจทย์ปัญหาแล้วถามคำถามว่านักเรียนเข้าใจโจทย์ปัญหาเพียงใด โจทย์กำหนดอะไรมาให้ โจทย์ต้องการให้หาอะไร ในกรณีที่ทำงานเป็นกลุ่ม สมาชิกในกลุ่มอาจจะช่วยกันตั้งคำถามเพื่อให้เข้าใจมากขึ้น นอกจากนี้อาจจะเปลี่ยนโจทย์ปัญหาเป็นคำพูดของตนเอง

2.2) การวางแผนการแก้ปัญหา ครูควรกระตุ้นให้นักเรียนพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลในโจทย์ปัญหา และถามว่าเคยเห็นโจทย์ลักษณะนี้มาก่อนหรือไม่ ถ้าเคยใช้วิธีการใด โดยให้บอกยุทธวิธีการแก้ปัญหานั้น

2.3) การดำเนินการตามแผน เมื่อนักเรียนวางแผนการแก้ปัญหาแล้ว ควรได้รับการกระตุ้นจากครู ให้ลงมือแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ ถ้าแผนที่วางไว้ใช้ไม่ได้ ควรกระตุ้นให้ใช้วิธีใหม่และให้คำแนะนำในกรณีที่นักเรียนต้องการความช่วยเหลือ

2.4) การตรวจสอบผล/คำตอบ ขั้นตอนนี้มีความสำคัญในการแก้ปัญหา เพราะ เป็นการตรวจสอบความเข้าใจ ความเป็นเหตุเป็นผลของคำตอบที่ได้ ครูอาจจะถามให้นักเรียนอธิบายวิธีการทำและวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งจะมีหลายวิธี

สรุปได้ว่า บทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้ด้วยเทคนิคของโพลยา โดยรวมนั้น คือ ครูควรเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เรียนรู้การแก้โจทย์ปัญหาได้ด้วยตนเอง หายุทธวิธีตามความเหมาะสมและสะดวกของนักเรียนแต่ละคน ครูเป็นเพียงผู้อำนวยการเรียนรู้ ไม่ควรยึดติดกับคำตอบสุดท้ายของนักเรียน ควรเน้นกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการจัดกิจกรรมสร้างสถานการณ์ที่เอื้อให้นักเรียนได้ฝึกทักษะการแก้ปัญหา หรือ การสร้างโจทย์ปัญหา

3. การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

3.1 ความหมายการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

นักการศึกษาหลายท่าน ได้เสนอการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ ไม่ว่าจะเป็น การจัดการเรียนรู้โดยใช้การสร้างมโนทัศน์ของบรูเนอร์ การจัดการเรียนรู้โดยใช้ผังกราฟิก การจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์ การจัดการเรียนรู้โดยใช้แผนผังทางปัญญา การจัดการเรียนรู้โดยใช้การนำเสนอมโนทัศน์กว้างล่วงหน้า การจัดการเรียนรู้แบบอุปนัย การจัดการเรียนรู้แบบนิรนัย การจัดการเรียนรู้แบบค้นพบ การจัดการเรียนรู้แบบอภิปรายกลุ่มย่อย และการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้

ซึ่งในงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สังเคราะห์การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ขึ้นจากบูซาน (Buzan, 1997, pp. 185-186); ชนาธิป พรกุล (2552, น. 19-24); ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 256-346); ชาตรี เกิดธรรม (2542, น. 23-25); ชูศิลป์ อัตชู (2550, น. 56-57); ทิศนา แขมมณี (2553, น. 225-348; 2554, น. 30-31); (ประสาท เนืองเฉลิม, 2558, น. 147-148); พิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2555, น. 30); วิชัย วงศ์ใหญ่ และ มารุต พัฒผล (2562, น. 2-3); วีณา ประชากูล และ ประสาท เนืองเฉลิม (2553, น. 15-24); ศักดิ์ศรี ปาณะกุล และคนอื่น ๆ (2556, น. 133-138); สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560, น. 67-69); สมบัติ การจนารักพงศ์ และคนอื่น ๆ (2549, น. 12); สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ (2553, น. 15-32) เพื่อให้เหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมี เรื่องกรด-เบส และยกระดับ

ความเข้าใจมโนทัศน์ ดังที่ เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์ (2546, น. 8)ได้กล่าวว่า ความเข้าใจเกี่ยวกับมโนทัศน์ นับเป็นพื้นฐานในการเข้าใจสิ่งต่าง ๆ รอบตัว ซึ่งจะช่วยให้สามารถพัฒนาการคิดในมิติอื่น ๆ ต่อไปได้ สอดคล้องกับธรรมชาติของเนื้อหาเรื่อง กรด-เบส ที่มีเนื้อหาผสมผสานทั้งหลักการกฎ นำไปสู่การใช้ทักษะการคำนวณ (ศิริธร อ่างแก้ว, 2559, น. 111) จึงต้องนำกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้เทคนิคของโพลยามาสอดแทรกเพื่อให้นักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นระบบที่เน้นกระบวนการค้นพบที่มีลำดับขั้นตอนในการแก้ปัญหา

ดังนั้น การจัดการเรียนรู้ที่เน้นพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา จึงหมายถึง รูปแบบการสอนที่เน้นให้นักเรียนสร้างความเข้าใจในมโนทัศน์ที่ถูกต้องสมบูรณ์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา ด้วยการสอดแทรกกระบวนการแก้ปัญหาอย่างมีลำดับขั้นตอน มีการวางแผน กำกับการทำงานอย่างต่อเนื่องโดยใช้เทคนิคของโพลยา

3.2 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

ผู้วิจัยได้สังเคราะห์ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา โดยกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาจะถูกสอดแทรกในขั้นที่ 4 คือ ขั้นประยุกต์ของการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์เพื่อให้นักเรียนนำมโนทัศน์ที่สร้างขึ้นไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา จึงสามารถสรุปขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา ดังนี้

ขั้นที่ 1 นำเข้าสู่บทเรียน (Engage) เป็นขั้นตอนที่กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจในประเด็นที่กำลังจะเรียนรู้หรือตรวจสอบความรู้พื้นฐานเดิม โดยครูมีบทบาทให้การสร้างสถานการณ์ หรือกระตุ้นให้นักเรียนตั้งคำถามเกี่ยวกับสถานการณ์นั้น ๆ และนักเรียนมีบทบาทในการให้ความสนใจเกี่ยวกับสถานการณ์ที่ครูกำหนด โดยตั้งข้อสงสัยเกี่ยวกับสิ่งที่ครูนำเสนอ หรือถ่ายทอดมโนทัศน์เดิมออกมา

ขั้นที่ 2 สร้างมโนทัศน์ (Construct) เป็นขั้นการสร้างองค์ความรู้ โดยครูมีบทบาทเป็นผู้ถ่ายทอดหรือผู้อำนวยความสะดวกให้นักเรียนได้เรียนรู้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ตามความเหมาะสม เช่น การสาธิต การทดลอง การใช้สื่อต่าง ๆ และนักเรียนมีบทบาทในการสำรวจ วิเคราะห์ ศึกษาจากครูหรือศึกษาด้วยตนเอง

ขั้นที่ 3 ยืนยันมโนทัศน์ (Confirm) เป็นขั้นปรับมโนทัศน์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ โดยครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอเกี่ยวกับสิ่งที่ได้เรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ จากนั้นครูจะเป็นผู้ชี้แนะให้

นักเรียนได้มีโอกาสสร้างความเข้าใจในมโนทัศน์ให้ชัดเจน นักเรียนมีบทบาทในการอภิปราย ซักถาม แลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันทั้งชั้นเรียน สร้างความเข้าใจที่ถูกต้องสมบูรณ์

ขั้นที่ 4 ประยุกต์ (Apply) เป็นขั้นการนำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้ผ่านการยืนยันแล้วว่ามีความถูกต้องสมบูรณ์ ไปใช้ในสถานการณ์ที่หลากหลายทำให้เกิดมโนทัศน์ที่กว้างขึ้น โดยครูมีบทบาทในการกำหนดสถานการณ์ต่าง ๆ และกระตุ้นให้นักเรียนได้นำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้มาถ่ายโยงกับสถานการณ์ใหม่ นักเรียนมีบทบาทในการนำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้มาขยายให้เกิดมโนทัศน์ที่กว้างขึ้นด้วยเทคนิคของโพลยา ซึ่งมีกระบวนการ คือ

1. ขั้นทำความเข้าใจปัญหา (Understanding the problem) เป็นการตีความโจทย์ ถึงสิ่งที่โจทย์ให้มา สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขของปัญหา

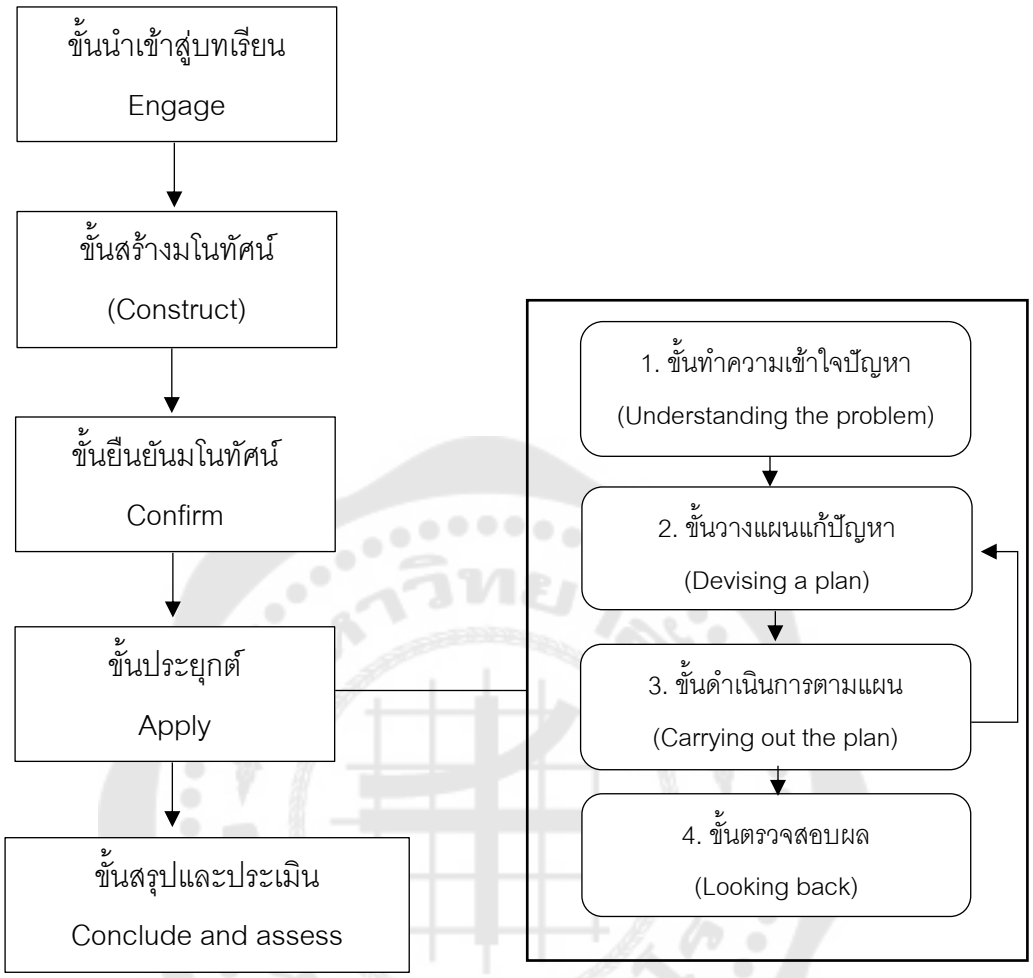
2. ขั้นวางแผนแก้ปัญหา (Devising a plan) เป็นการวางแผนพิจารณาและหาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่ได้จากการตีความโจทย์ เพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม

3. ขั้นดำเนินการตามแผน (Carrying out the plan) เป็นการลงมือปฏิบัติตามแผนที่วางไว้โดยมีการตรวจสอบแต่ละขั้นของการดำเนินงาน หากนักเรียนไม่สามารถดำเนินการแก้ปัญหาได้ สามารถกลับไปวางแผนการแก้ปัญหาอีกครั้ง และดำเนินการแก้ปัญหาจนได้คำตอบและทำการตรวจสอบผลในขั้นต่อไปตามลำดับ

4. ขั้นตรวจสอบผล (Looking back) เป็นการมองย้อนกลับเพื่อตรวจสอบคำตอบ รวมถึงวิธีการแก้ปัญหา ให้สอดคล้องกับข้อมูลและเงื่อนไขของปัญหา พิจารณาความสมเหตุสมผลหรืออาจหาวิธีการอื่นที่ได้มาซึ่งคำตอบเช่นเดียวกัน

ขั้นที่ 5 สรุปและประเมิน (Conclude and assess) เป็นขั้นการประเมินด้วยกระบวนการต่าง ๆ โดยครูและนักเรียนมีบทบาทในการช่วยกันสรุปเกี่ยวกับการนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ จากนั้นครูทำการประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนเพื่อทดสอบความเข้าใจของนักเรียนว่าบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

สามารถสรุปเป็นแผนภาพ ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 ขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสังเคราะห์แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา ดังตาราง 3

ตาราง 3 แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา	**แนวทางของกิจกรรม**	**บทบาทของครู**	**บทบาทของนักเรียน**
1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (Engage)	- ใช้สถานการณ์ในชีวิตประจำวันให้เหมาะสมกับวุฒิภาวะของนักเรียน หรือ วิดีทัศน์ในการกระตุ้นความสนใจในประเด็นที่ต้องการให้เกิดการเรียนรู้ - ใช้คำถาม หรือแบบทดสอบ ในการตรวจสอบมโนทัศน์เดิมของนักเรียน	- ชี้แจงวัตถุประสงค์ให้แก่นักเรียน - สร้างสถานการณ์ที่ท้าทายความคิดความสามารถของนักเรียน - ซักถามความรู้และประสบการณ์ของนักเรียนเกี่ยวกับเรื่องที่จะสอน - กระตุ้นให้นักเรียนแสดงมโนทัศน์เดิมออกมา โดยใช้คำถาม หรือแบบทดสอบ - วิเคราะห์สิ่งที่ควรเติมเต็มมโนทัศน์ให้นักเรียนและ	- วางแผนการเรียนให้บรรลุวัตถุประสงค์ - แสดงความสนใจตั้งข้อสงสัยเกี่ยวกับสิ่งที่ครูนำเสนอ - ถ่ายทอดประสบการณ์หรือมโนทัศน์เดิมด้วยการตอบคำถาม หรือทำแบบทดสอบ

ตาราง 3 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา	แนวทางของกิจกรรม	บทบาทของครู	บทบาทของนักเรียน
		วางแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	
2. ขั้นสร้างมโนทัศน์ (Construct)	- จัดกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้เรียนรู้อย่างตื่นตัว เช่น การทดลอง - จัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กันทางสังคม หรือมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อ วัสดุ อุปกรณ์ ข้อมูลต่าง ๆ - จัดกิจกรรมที่เน้นให้นักเรียนสร้างมโนทัศน์ด้วยตนเอง	- กระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันคิดแลกเปลี่ยนเรียนรู้อภิปรายร่วมกันจนสามารถสร้างมโนทัศน์ด้วยตนเองได้ - เป็นผู้อำนวยความสะดวกให้นักเรียน ให้นักเรียนมีแนวทางในการสร้างมโนทัศน์ - ถ่ายทอดมโนทัศน์โดยเชื่อมโยงกับมโนทัศน์เดิมของนักเรียน เช่น การสาธิต	- เชื่อมโยงมโนทัศน์เดิมและทำความเข้าใจมโนทัศน์ - ลงมือปฏิบัติกิจกรรม ศึกษาหาข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ลองผิดลองถูกจนเกิดความเข้าใจ - พูดคุยแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันแสดงความคิดเห็นตามประเด็นที่กำหนดจนสามารถสร้างมโนทัศน์ด้วยตนเอง

ตาราง 3 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา	แนวทางของกิจกรรม	บทบาทของครู	บทบาทของนักเรียน
		การยกตัวอย่างมโนทัศน์ การใช้เทคนิคการซักถามเพื่อนำไปสู่การอธิบายทฤษฎี หลักการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมโนทัศน์ที่กำลังสอน	
3. ขั้นยืนยันมโนทัศน์ (Confirm)	- เน้นการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกัน เช่น ใช้การอภิปราย การนำเสนอ บทบาทสมมติ สถานการณ์จำลอง โดยเลือกให้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์	- ชี้แนะให้นักเรียนมีโอกาสสร้างความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องสมบูรณ์ - ซักถาม ขยายความเพิ่มเติม และแก้ไขความเข้าใจผิด หรือมโนทัศน์คลาดเคลื่อน - ยืนยันความถูกต้อง สมบูรณ์ของมโนทัศน์	- นำเสนอเกี่ยวกับสิ่งที่ได้เรียนรู้ร่วมกัน - อภิปราย ซักถาม แลกเปลี่ยนเรียนรู้เพื่อสรุปนิยามมโนทัศน์และปรับมโนทัศน์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ - ยกตัวอย่างเพิ่มเติมของมโนทัศน์

ตาราง 3 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา	แนวทางของกิจกรรม	บทบาทของครู	บทบาทของนักเรียน
			- ค้นคว้าเพิ่มเติมหากยังมีความเข้าใจมโนทัศน์ที่ผิด
4. ขั้นประยุกต์ (Apply) 4.1) ทำความเข้าใจปัญหา 4.2) วางแผนแก้ปัญหา 4.3) ดำเนินตามแผน 4.4) ตรวจสอบผล	- นำมโนทัศน์มาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา หรือสถานการณ์อื่น ๆ เพื่อขยายความคิดเพิ่มเติม - แก้โจทย์ปัญหาโดยใช้เทคนิคของโพลยา	- กำหนดโจทย์ปัญหา หรือสถานการณ์ให้นักเรียนนำมโนทัศน์มาประยุกต์ใช้ - ชี้แนะให้นักเรียนเห็นความสำคัญของการวิเคราะห์โจทย์ปัญหา - กระตุ้นให้นักเรียนมีนิสัยวางแผนก่อนลงมือทำและไม่เน้นผลลัพธ์ของคำตอบแต่เน้นกระบวนการ - ยกตัวอย่าง	- นำมโนทัศน์ที่ถูกต้องมาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้เทคนิคของโพลยาเริ่มต้นจากการตีความโจทย์ปัญหา วางแผนแก้โจทย์ปัญหา ดำเนินการตามแผน หากไม่สามารถดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาได้จึงกลับไปเริ่มวางแผนแก้ปัญหาอีกครั้งหนึ่งเมื่อแก้โจทย์ปัญหาได้

ตาราง 3 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา	แนวทางของกิจกรรม	บทบาทของครู	บทบาทของนักเรียน
		วิธีการแก้ปัญหาที่หลากหลาย ไม่จำกัดวิธีใดวิธีหนึ่งเพื่อเป็นแนวทางให้แก่นักเรียน - ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือกรณีนักเรียนมีปัญหา	แล้วจึงตรวจสอบผลเพื่อพิจารณาความถูกต้องของผลลัพธ์และความสมเหตุสมผล - สรุปสิ่งที่ได้จากการแก้โจทย์ปัญหาในแต่ละครั้ง
5. ขั้นสรุปและประเมิน (Conclude and assess)	- สรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้ด้วยการอภิปรายซักถาม - ประเมินผลด้วยกระบวนการต่าง ๆ เช่น แบบฝึกหัด แบบทดสอบ หรือใช้คำถาม	- กระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันสรุปเกี่ยวกับการนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาหรือสถานการณ์อื่น ๆ - วัดและประเมินสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้และให้ข้อมูลย้อนกลับ	- ร่วมกันอภิปรายสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้และนำข้อสรุปไปเป็นพื้นฐานในการเรียนครั้งต่อไป - ถ่ายทอดสิ่งที่ได้เรียนรู้ หรือแสดงพฤติกรรมเพื่อให้ข้อมูลแก่ครูในการวัดและประเมินผล เช่น ตอบคำถาม ทำแบบฝึกหัด ทำแบบทดสอบ

4. ความเข้าใจมโนทัศน์

4.1 ความหมายของมโนทัศน์

นักการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ ได้กล่าวถึง ความหมายของมโนทัศน์ ไว้อย่างหลากหลาย ดังนี้

กู๊ด (Good, 1973 อ้างถึงในพันธ์ ทองชุมนุม, 2547, น. 197) ได้ให้ความหมายของมโนทัศน์ไว้ว่า เป็นความเห็นหรือลักษณะของส่วนประกอบหรือลักษณะร่วมที่สามารถแยกออกเป็นกลุ่มเป็นพวกได้ หรืออาจกล่าวว่าเป็นสัญลักษณ์เชิงความคิดทั่วไปหรือเชิงนามธรรมที่เกี่ยวกับสถานการณ์ ปรากฏการณ์ วัตถุ ในอีกความหมายหนึ่งคือ เป็นความรู้สึกนึกคิด ความเห็นหรือภาพความคิด

เดอ เซคโก (De Cecco, 1968, p. 388) ได้ให้ความหมายของมโนทัศน์ไว้ว่า เป็นกลุ่มของเหตุการณ์หรือสิ่งแวดล้อมที่มีลักษณะบางประการหรือหลายประการร่วมกันอยู่

ภพ เลาหไพบูลย์ (2537, น. 2) ได้ให้ความหมายของมโนทัศน์ ว่า มโนทัศน์ คือ หนึ่งในความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ได้มาจากกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งความรู้วิทยาศาสตร์ มีหลายเป็นเภท ได้แก่ ข้อเท็จจริงวิทยาศาสตร์ (Scientific facts) มโนทัศน์ (Concept) หลักการ (Principles) กฎ (Laws) สมมติฐานทางวิทยาศาสตร์ (Scientific hypotheses) และทฤษฎี (Theories) ดังนั้น มโนทัศน์ (Concept) จึงมีความหมายว่า เรื่องของแต่ละบุคคล ที่เกิดจากการสังเกตวัตถุหรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ ให้เกิดการรับรู้ และนำการรับรู้มาสัมพันธ์กับประสบการณ์เดิม ทำให้เกิดเป็นความเข้าใจเกี่ยววัตถุหรือประสบการณ์นั้น ซึ่งมโนทัศน์เดียวกับ ความคิดรวบยอด สังกัป มโนมติ หรือมโนภาพ

สุวิทย์ มูลคำ (2545, น. 10) ได้ให้ความหมายของมโนทัศน์ ว่า มโนทัศน์ คือ ความคิด ความเข้าใจจากการสรุปเกี่ยวกับเรื่องใดเรื่องหนึ่ง ที่เกิดจากการสังเกตหรือได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับสิ่งนั้นหรือเรื่องนั้น ซึ่งการที่จะทำให้เกิดความเข้าใจสิ่งต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้นจะใช้คุณลักษณะที่คล้ายคลึงกัน จัดเข้ากลุ่มเดียวกัน ดังนั้น มโนทัศน์จะทำให้เราสามารถจำแนกสิ่งใหม่ ๆ และเข้าใจได้รวดเร็วตามประสบการณ์ของเราที่ผ่านมา

เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์ (2546, น. 2-5)ได้ให้ความหมายของมโนทัศน์ ว่า มโนทัศน์ คือ ภาพในความคิดที่เปรียบเสมือนภาพตัวแทน หมวดหมู่ของวัตถุ สิ่งของ แนวคิดหรือประสบการณ์ ซึ่งมีลักษณะทั่ว ๆ ไปคล้ายกัน มักจะถูกแทนที่ด้วยคำหรือข้อความ ตามบริบททางภาษาที่คนในสังคมสามารถเข้าใจร่วมกันได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการคิดถึงหรือจินตนาการถึง

บางสิ่งหรือการเกิดแนวคิดหรือเกิดความเข้าใจต่อเรื่องใดเรื่องหนึ่งในความคิดของเรา มโนทัศน์มีความหมายเดียวกับคำว่า Concept ในภาษาอังกฤษ

พันธ์ ทองชุมนุม (2547, น. 6) ได้ให้ความหมายของมโนทัศน์ สรุปได้เป็น 2 ประเด็น ดังนี้

1) มโนทัศน์ที่หมายถึง การสังเคราะห์ (Synthesis) หมายถึง การนำข้อมูลที่มีความสัมพันธ์มาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดความหมายที่บุคคลพึงเข้าใจได้

2) มโนทัศน์ที่หมายถึง ผลของการใช้ความคิดอย่างมีเหตุมีผล มีการใช้จินตนาการอย่างรอบคอบ ก่อให้เกิดการเรียนรู้หรือรู้แจ้งอย่างลึกซึ้ง (Insight)

จากความหมายของมโนทัศน์ 2 นัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ความหมายของมโนทัศน์มีความหมายที่ค่อนข้างกว้างและอาจจะมีความหมายที่แตกต่างไปตามเนื้อหาแต่ละสาขาวิชาโดยเฉพาะอย่างยิ่งมโนทัศน์ในทางวิทยาศาสตร์นั้นจะมีความซับซ้อนและยากต่อการทำความเข้าใจ โดยรวมแล้ว คือ ความคิดหลักหรือความคิดโดยสรุปต่อสิ่งของหรือปรากฏการณ์ใด ๆ ที่อาจจะถูกต้องหรือคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ซึ่งจัดเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ประเภทหนึ่ง

อาภรณ์ ใจเที่ยง (2553, น. 62-63) ได้ให้ความหมายของมโนทัศน์ไว้ดังนี้ มโนทัศน์ หรือ ความคิดรวบยอด เป็นการนำประสบการณ์ที่เหมือนกันมาจัดเข้าด้วยกันอย่างมีระบบระเบียบ เกิดเป็นประเภทของประสบการณ์หรือหน่วยของความคิด ซึ่งเป็นความเข้าใจในขั้นสุดท้ายที่มีต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งภายในระยะเวลาหนึ่งและอาจเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อมีประสบการณ์มากขึ้น หรือวุฒิภาวะเพิ่มขึ้น

สุรางค์ โคว้ตระกูล (2556, น. 327) ได้ให้ความหมายของมโนทัศน์ไว้ว่า มโนทัศน์ หรือ ความคิดรวบยอด เป็นนามธรรมที่ใช้แทนสัตว์ วัตถุ สิ่งของที่จัดไว้ในจำพวกเดียวกัน โดยถือเอาลักษณะที่สำคัญหรือวิกฤติเป็นเกณฑ์

ชนาธิป พรกุล (2557, น. 123) ได้ให้ความหมายของมโนทัศน์ ว่า มโนทัศน์ คือ ข้อความที่แสดงแก่นของเรื่องใดเรื่องหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการรวบรวมลักษณะเฉพาะของเรื่องนั้น โดยเป็นการจัดลักษณะที่เหมือน ๆ กันของสิ่งของ เหตุการณ์ ประสบการณ์ พฤติกรรมและสิ่งที่เป็นนามธรรม เข้าด้วยกันอย่างมีระเบียบขึ้นเป็นหน่วยความคิด ประเภท หมู่

สุคนธ์ สินธพานนธ์ (2561, น. 28) ได้ให้ความหมายของมโนทัศน์ว่า เป็นความเข้าใจของบุคคลหนึ่ง ๆ จากการสรุปลักษณะที่เหมือนหรือต่างกันของคุณสมบัติของสิ่งของหรือ

เหตุการณ์นั้น ๆ ได้ โดยมโนทัศน์เป็นคำศัพท์ที่มาจากภาษาอังกฤษว่า Concept มีใช้กันในภาษาไทยหลายคำด้วยกัน คือ ความคิดรวบยอด สังกัป มโนมติ มโนภาพ

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า มโนทัศน์ สามารถเรียกได้หลายแบบ เช่น Concept ความคิดรวบยอด สังกัป มโนมติ หรือมโนภาพ โดยมโนทัศน์เป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ประเภทหนึ่งที่ได้มาซึ่งกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ที่เกิดจากการสังเกต การรับรู้ แล้วนำมาจัดลักษณะสิ่งที่เหมือน ๆ กันและนำมาสัมพันธ์กับประสบการณ์เดิม เกิดเป็นความเข้าใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่งในความคิดเรา แล้วแทนด้วยคำหรือข้อความที่ทำให้คนทั่วไปเข้าใจร่วมกันได้

4.2 ประเภทของมโนทัศน์

นักการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ ได้กล่าวถึง ประเภทของมโนทัศน์ ไว้อย่างหลากหลาย ซึ่งมีเกณฑ์ในการจำแนกที่แตกต่างกันออก ได้แก่ การใช้คำจำกัดความ การรับรู้มโนทัศน์ ลักษณะของมโนทัศน์ โดยแสดงรายละเอียดดังนี้

เฮ้าส์ (Hulse 1980 อ้างถึงใน ปรียาพร วงค์อนุตรโรจน์ (2553, น. 121)ได้กล่าวถึงประเภทของมโนทัศน์ ไว้ 2 ประเภท โดยใช้การให้คำจำกัดความเป็นเกณฑ์ ดังนี้

1) มโนทัศน์ที่ให้คำจำกัดความได้ชัด (Welldefined concept) เป็นมโนทัศน์ที่สามารถให้คำจำกัดความเฉพาะ โดยมีคุณลักษณะที่เป็นไปตามกฎบางกฎ

2) มโนทัศน์ที่ให้คำจำกัดความไม่เด่นชัด (Ill-defined concept) เป็นรายการสิ่งของวัตถุหรือเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ถือว่าเทียบเท่ากับมโนทัศน์

สมิทและเรแกน (Smith และ Regan, 2005, p. 80) ได้กล่าวถึงประเภทของมโนทัศน์ไว้ 2 ประเภท โดยใช้การรับรู้มโนทัศน์เป็นเกณฑ์ ดังนี้

1) มโนทัศน์เชิงรูปธรรม (concrete concept) คือ มโนทัศน์ที่จำแนกได้โดยประสาทสัมผัสทั้ง 5 ได้แก่ การได้ยิน การมองเห็น การลิ้มรส การได้กลิ่น และการสัมผัส

2) มโนทัศน์เชิงนิยาม (defined concept) คือ มโนทัศน์ที่ไม่สามารถที่จำแนกได้โดยประสาทสัมผัสทั้ง 5 จะจำแนกได้จากคำนิยาม

ลอว์สัน (Lawson, 2000, p. 997) ได้กล่าวถึงประเภทของมโนทัศน์ ไว้ 3 ประเภท โดยใช้การรับรู้มโนทัศน์เป็นเกณฑ์เช่นเดียวกับสมิทและเรแกน โดยแตกต่างกันตรงที่การประเภทของลอร์สัน มีเรื่องของข้อจำกัดมาเกี่ยวข้อง ดังนี้

1) มโนทัศน์เชิงพรรณนา (Descriptive concept) เป็นมโนทัศน์ที่สามารถรับรู้ได้จากประสาทสัมผัสทั้ง 5 และรวบรวมคุณสมบัติที่ได้จัดเป็นมโนทัศน์

2) มโนทัศน์เชิงทฤษฎี (Theoretical concept) เป็นมโนทัศน์ที่ไม่สามารถรับรู้ได้จากประสาทสัมผัสทั้ง 5 แต่ใช้ทฤษฎี แนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ยอมรับได้ในการรับรู้

3) มโนทัศน์เชิงสอดแทรก (Intermediate concept) เป็นมโนทัศน์ที่ไม่สามารถรับรู้ได้จากประสาทสัมผัสทั้ง 5 แต่สามารถรับรู้ได้ โดยมีข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาในสถานการณ์นั้น ๆ

ภพ เลาหไพบูลย์ (2537, น. 2) ได้จัดประเภทของมโนทัศน์ออกเป็น 3 ประเภทโดยใช้ลักษณะของมโนทัศน์เป็นเกณฑ์ ดังนี้

1) มโนทัศน์เกี่ยวกับการแบ่งประเภท (Classificational concepts) เป็นมโนทัศน์ที่ใช้ในการอธิบายคุณลักษณะของปรากฏการณ์หนึ่ง ๆ

2) มโนทัศน์ทางทฤษฎี (Theoretical concepts) เป็นมโนทัศน์ที่ใช้ในการอธิบายคุณลักษณะของปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถสังเกตได้โดยตรงทั้งหมด จากความเข้าใจของตนเองโดยอาศัยหลักฐานที่มีเหตุผลสนับสนุน

3) มโนทัศน์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ (Correlational concepts) เป็นมโนทัศน์ที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล เพื่อใช้ในการพยากรณ์ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ประเภทของมโนทัศน์ มีการจัดประเภทที่แตกต่างกันตามเกณฑ์ของนักการศึกษา ได้แก่ การใช้คำจำกัดความ การรับรู้มโนทัศน์ ลักษณะของมโนทัศน์ ในการวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษามโนทัศน์เรื่อง กรด-เบส ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสารใน 3 ระดับ คือ ระดับมหภาค ระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ โดยมีมโนทัศน์ผสมผสานทั้งหลักการ กฎ นำไปสู่การใช้ทักษะการคำนวณ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เกณฑ์ในการจัดประเภทของมโนทัศน์โดยใช้ลักษณะของมโนทัศน์เป็นเกณฑ์ ตามแนวคิดของ ภพ เลาหไพบูลย์ (2537, น. 2) โดยแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ มโนทัศน์เกี่ยวกับการแบ่งประเภท (Classificational concepts) มโนทัศน์ทางทฤษฎี (Theoretical concepts) และมโนทัศน์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ (Correlational concepts)

4.3 แนวทางการพัฒนามโนทัศน์

นักการศึกษาหลายท่าน (เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์, 2546, น. 16-17; ชนาธิป พรกุล , 2557, น. 123; สุวิทย์ มูลคำ, 2545, น. 10) ได้กล่าวถึงกระบวนการสร้างมโนทัศน์ โดยสรุปคือการสร้างมโนทัศน์นั้นเป็นกระบวนการที่สมองรับข้อมูลเข้ามาแล้วแยกแยะ จัดระเบียบข้อมูลที่ซับซ้อนเป็นหมวดหมู่ ซึ่งสมองจะจัดหมวดหมู่มโนทัศน์อย่างเป็นลำดับขั้น (Hierarchy) โดยมีการจัดแบ่งรายละเอียดภายในมโนทัศน์หนึ่งให้เป็นมโนทัศน์ย่อย ๆ อีกมากมายเชื่อมโยงกันเพื่อให้ง่ายต่อการบันทึกเป็นความจำและนำกลับมาใช้ เมื่อมีการเก็บรวบรวมสิ่งที่สังเกตเกี่ยวกับ

สิ่งนั้นก็จะเกิดมโนทัศน์ที่มองเห็นเป็นภาพรวม เมื่อสมองรับข้อมูลใหม่ที่คล้ายคลึงก็จะเกิดเป็นความเข้าใจได้ง่ายขึ้น ซึ่งหากสมองจัดระเบียบสิ่งต่าง ๆ ได้ดีมากเท่าไรก็จะสามารถรับรู้เรื่องราวต่าง ๆ ได้ชัดเจนมากขึ้น ดังที่ ปรียาพร วงค์อนุตรโรจน์ (2553, น. 124) ได้กล่าวถึงการเรียนรู้มโนทัศน์ของนักเรียนว่าเกิดจาก การสร้างจินตนาการ ซึ่งความสามารถในการสร้างจินตนาการเป็นการนำไปสู่ความเข้าใจ นักเรียนแต่ละคนอาจมีความเข้าใจไม่เหมือนกัน นักเรียนจะสามารถสร้างมโนทัศน์ได้ก็ต่อเมื่อนักเรียนสามารถแยกแยะและสามารถสรุปรวบยอด (Generalization) มีรายละเอียด ดังนี้

1) การแยกแยะ (Discrimination) คือ การระบุคุณสมบัติของวัตถุหรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นว่าหมายถึงอะไร เป็นอย่างไร

2) การสรุปรวบยอด (Generalization) คือ การเอาสิ่งต่าง ๆ ที่จัดเข้าเป็นหมู่ของความคิดรวบยอดมาสัมพันธ์กัน

นอกจากสมองมีการสร้างมโนทัศน์แล้ว พบว่ามโนทัศน์ที่เกิดขึ้นในตัวนักเรียนนั้นมีปัจจัยบางประการ ที่ส่งผลให้การสร้างมโนทัศน์ของแต่ละบุคคลนั้นแตกต่างกันออกไป โดยมีนักการศึกษาหลายท่าน ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างมโนทัศน์ ดังนี้

สุชา จันทร์เอม (2527, น. 187) กล่าวว่ามโนทัศน์จะสร้างได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังต่อไปนี้

1) อายุ มีผลต่อการมองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดของสิ่งของหรือวัตถุต่าง ๆ คนที่มีอายุมากมักจะเห็นความสัมพันธ์ได้ดี

2) ระดับสติปัญญา มีผลต่อการมองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างแนวคิดของสิ่งของหรือวัตถุต่าง ๆ คนที่มีระดับสติปัญญามาก จะมองเห็นความสัมพันธ์ได้เร็ว

3) ความพร้อมของสิ่งแวดล้อม เป็นรากฐานในการแยกแยะความเหมือนหรือความแตกต่างของสิ่งของหรือวัตถุที่พบใหม่กับสิ่งที่มีอยู่ก่อนแล้ว

4) จินตภาพ มีผลต่อความสามารถในการแยกแยะ จัดหมวดหมู่ของสิ่งของหรือวัตถุต่าง ๆ ผู้ที่มีจินตภาพดีจะสามารถแยกแยะ จัดหมวดหมู่ได้ดี

5) ความจำ การจดจำลักษณะต่าง ๆ ได้ดีจะสร้างมโนทัศน์ได้ดี

6) ภาษา เป็นสื่อกลางในการถ่ายทอดทางความคิด หากใช้ภาษาในการสื่อสารได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ ย่อมทำให้เกิดมโนทัศน์ได้ถูกต้องและรวดเร็วกว่า

นอกจากนี้ พันธ์ ทองชุมนุม (2547, น. 202-206) ยังพบว่าในการจัดการเรียนรู้ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างมโนทัศน์ของนักเรียน คือ

1) สภาพพร้อมของนักเรียนทั้งสภาพร่างกาย จิตใจและสติปัญญา

2) ประสบการณ์และมโนทัศน์เดิมที่นักเรียนมีอยู่ก่อนแล้ว ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการเรียนระดับสูงมากยิ่งขึ้น

3) แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ หากนักเรียนมีความที่จะเรียนรู้เป็นตัวกระตุ้นอยู่อย่างสม่ำเสมอ จะทำให้นักเรียนมีการฝึกฝนในที่สุดก็จะเกิดมโนทัศน์ดังกล่าวขึ้นได้

เนื่องจากมโนทัศน์มีความแปรผันตรงกับความรู้และประสบการณ์ กล่าวคือ ถ้ามีความรู้มาก มโนทัศน์ก็จะกว้างและมีโอกาสถูกต้องมาก ในทางกลับกันถ้ามีความรู้และประสบการณ์น้อย มโนทัศน์ก็จะคับแคบ มีโอกาสผิดพลาดมาก การสร้างมโนทัศน์จึงมีผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียน เพราะว่าการเรียนรู้เริ่มต้นจากการสัมผัสรับรู้ประสบการณ์ต่าง ๆ เป็นเบื้องต้นและเมื่อได้รับรู้จากสิ่งที่มีลักษณะร่วมกัน มีความสัมพันธ์กันเพิ่ม นักเรียนสามารถสรุปเป็นมโนทัศน์ได้ เมื่อนักเรียนรู้มากและสะสมมโนทัศน์ไว้มาก จะทำให้นักเรียนนำมโนทัศน์ที่สะสมไว้ไปใช้เป็นพื้นฐานในการเรียนขั้นสูงและนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้

ดังนั้น แนวทางการพัฒนามโนทัศน์ ที่ครูควรคำนึงในการจัดการเรียนรู้ ตามที่นักการศึกษาหลายท่าน ได้กล่าวไว้ เป็นดังนี้

เดอ เซคโก (De Cecco, 1974 อ้างถึงใน ปรียาพร วงค์อนุตรโรจน์, 2553, น. 133-135) ได้กล่าวถึงแนวทางการพัฒนามโนทัศน์ ไว้เพื่อนำไปปฏิบัติ ดังนี้

1) ครูกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเกี่ยวกับพฤติกรรมที่นักเรียนจะต้องแสดงออก ซึ่งครูควรมีวิธีบอกความต้องการเพื่อจัดการเรียนรู้ในขั้นต่อไป และให้นักเรียนแสดงความสามารถของตน ประเมินถึงมโนทัศน์ว่าสมบูรณ์หรือไม่ อย่างไร ซึ่งนักเรียนควรได้รับการวัดผลด้วยตนเองเพื่อเป็นการเสริมแรง

2) ลดคุณลักษณะของมโนทัศน์ที่ซับซ้อน และเน้นคุณลักษณะที่สำคัญให้ชัดเจน โดยก่อนการจัดการเรียนรู้ จะต้องมีการวิเคราะห์มโนทัศน์ กำหนดและบอกคุณลักษณะ จำนวนของคุณลักษณะที่ต้องการเน้นก่อน

3) ครูควรอธิบายด้วยคำพูดเพิ่มเติมเพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่มากขึ้น

4) การแสดงตัวอย่างมโนทัศน์ที่มีความสัมพันธ์และไม่สัมพันธ์กันให้แก่นักเรียน เพราะการเรียนรู้มโนทัศน์จะเริ่มจากการเดาก่อน และทดสอบการเดาด้วยตัวอย่าง ซึ่งต้องเปลี่ยนแปลงการเดาจนสามารถสร้างมโนทัศน์ที่ถูกต้องขึ้นได้

5) การเสนอตัวอย่างแต่ละตัวอย่างในเวลาใกล้เคียงกัน

6) การเสนอตัวอย่างที่มีความสัมพันธ์กัน เพื่อเน้นการสรุปความคิดทั่วไป

7) ทดสอบการเรียนรู้มโนทัศน์ของนักเรียน จากการนำตัวอย่างใหม่ของมโนทัศน์ที่มีความสัมพันธ์และไม่มีความสัมพันธ์ โดยให้นักเรียนเลือกมโนทัศน์ที่มีความสัมพันธ์

8) ให้นักเรียนให้คำนิยามของมโนทัศน์นั้น

9) ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ตอบสนอง และให้การเสริมแรงในการตอบสนองที่ถูกต้องของนักเรียน

อาภรณ์ ใจเที่ยง (2553, น. 62-63) ได้กล่าวถึง แนวทางการพัฒนามโนทัศน์ว่า นักเรียนและครูควรจะมีปฏิสัมพันธ์กันตลอดเวลา ครูต้องเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ซักถามโต้ตอบมาก ๆ และให้กำลังใจ เป็นการเสริมแรงทุกระยะ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนทัศน์ ซึ่งสามารถสรุปได้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

1) ครูชี้แจงวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมกับนักเรียน เพื่อเป็นแนวทางการประเมินผล และให้นักเรียนวางแผนการประเมินผลการเรียนของตนเอง ซึ่งจะเป็นการเสริมแรงทางบวกของนักเรียนด้วย

2) ตรวจสอบความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้ในการเรียนของนักเรียน

3) เสนอตัวอย่างมโนทัศน์ทั้งที่ใช่และไม่ใช่คละปนกันไป โดยให้นักเรียนวิเคราะห์ลักษณะของมโนทัศน์ด้วยตนเอง

4) นักเรียนสังเกต พิจารณา วิเคราะห์ เปรียบเทียบ ลักษณะของตัวอย่างเพื่อเลือกตัวอย่างที่เป็นมโนทัศน์ออกมา

5) นักเรียนสรุปลักษณะของมโนทัศน์หรือให้ความหมายมโนทัศน์ที่เรียน

6) เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ซักถามข้อสงสัยและให้แรงเสริมแก่นักเรียน เช่น การชมเชย การให้กำลังใจ

นอกจากนี้ สุรางค์ โควัตระกูล (2556, น. 326-327) ได้กล่าวถึง แนวทางการพัฒนามโนทัศน์ ตามหลักของ ออซุเบล กานเย่และคลอสไมเออร์ ดังนี้

แนวทางการพัฒนามโนทัศน์ตามหลักของออซุเบล (Ausubel,1968 อ้างถึงใน สุรางค์ โควัตระกูล, 2556, น. 327-328) ได้กล่าวไว้ว่า หลักการจัดการเรียนรู้ให้เกิดการพัฒนามโนทัศน์ ที่แบ่งออกเป็น 2 อย่าง คือ

การเรียนรู้มโนทัศน์จากประสบการณ์ของการเรียนรู้ หรือ Concept formation หมายถึง เป็นการเรียนรู้โดยการค้นพบหรือใช้วิธีอุปมาน (Inductive process)

การเรียนรู้มโนทัศน์แบบอนุมาน หรือ Concept assimilation เป็นการเรียนรู้โดยทราบคำจำกัดความของมโนทัศน์ พร้อมยกตัวอย่างของมโนทัศน์และคุณลักษณะวิกฤติ (Critical attributes) ของมโนทัศน์นั้น

หลักการจัดการเรียนรู้ของออซุเบล คือ การเริ่มด้วยมโนทัศน์ที่มีความหมายกว้างและมีคุณลักษณะวิกฤติที่สามารถครอบคลุมมโนทัศน์ย่อยออกไปหลาย ๆ ชนิด หรือวิธี Top-down เน้นให้นักเรียนทราบถึงคุณลักษณะวิกฤติของมโนทัศน์และจัดกลุ่มที่พร้อมทั้งให้ตัวอย่างสิ่งเร้าที่มีคุณลักษณะเหมือนกับมโนทัศน์และสรุปลักษณะเด่นหรือวิกฤติของมโนทัศน์ย่อย

ในขณะที่แนวทางการพัฒนามโนทัศน์ตามหลักของกานเย่ (Gagne, 1977 อ้างถึงในสุรางค์ โคว้ตระกูล, 2556, น. 328) ใช้วิธีที่ตรงข้ามกับออซุเบล คือมีแนวทางว่าควรเริ่มจากมโนทัศน์เพื่อจะได้ใช้เป็นพื้นฐานที่จะสร้างกฎ หรือหลักการที่จะเรียนรู้มโนทัศน์ที่กว้างหรือสูงขึ้น โดยมองเห็นความสัมพันธ์ของมโนทัศน์เฉพาะกับมโนทัศน์รวม หรือเรียกว่า Bottom-up model

นอกจากนี้ คลอสไมเออร์ (Kleausmeior, 1969 อ้างถึงในสุรางค์ โคว้ตระกูล, 2556, น. 328) ได้ศึกษาการเรียนรู้มโนทัศน์ของนักเรียนกลุ่มหนึ่งในโรงเรียนและติดตามผลระยะยาว พบว่า แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนามโนทัศน์ ควรเรียนตามขั้นพัฒนาของสติปัญญาและแบ่งหลักการจัดการเรียนรู้ออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1) หลักการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนามโนทัศน์ขั้นรูปธรรมและขั้นเหมือน (Concrete / Indentity level processes)

1.1) แสดงตัวอย่างซึ่งอาจจะเป็นของจริงหรือรูปภาพ พร้อมกับมีของที่เหมือนกับตัวอย่างไว้หลาย ๆ อย่าง และขณะเดียวกันมีของที่ไม่ใช่ตัวอย่างเพื่อให้นักเรียนได้เห็นความแตกต่าง

1.2) ในขณะที่แสดงตัวอย่างให้นักเรียนดู ครูจะต้องบอกชื่อมโนทัศน์พร้อม ๆ กับตัวอย่าง

1.3) ครูต้องบอกข้อมูลย้อนกลับให้นักเรียนทันทีว่าคำตอบของนักเรียนถูกหรือผิด หากนักเรียนตอบผิดก็จะต้องบอกให้ทราบ

1.4) หากมีความจำเป็นที่จะต้องจัดการเรียนรู้ซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 1 ก็ควรทำเพื่อความแน่ใจว่านักเรียนได้เรียนรู้มโนทัศน์ที่ครูตั้งใจจะสอน

2) หลักการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนามโนทัศน์ประเภทการจัดกลุ่มขั้นต้น (Beginning classificatory level)

2.1) ครูยกตัวอย่างมโนทัศน์ที่ต้องการจะเสนอพร้อมกับสิ่งที่ไม่ใช่ตัวอย่าง ประมาณ 2-3 ชนิด

2.2) ช่วยหรือแนะให้นักเรียนใช้วิธีอนุมานหรืออุปมาน เพื่อจะหาคุณลักษณะพิเศษ

2.3) ลองให้นักเรียนให้คำจำกัดความมโนทัศน์ด้วยตนเอง แม้จะไม่สมบูรณ์ก็ตาม

2.4) ให้นักเรียนระบุมโนทัศน์โดยใช้คุณลักษณะวิกฤติที่นักเรียนค้นพบเป็นเกณฑ์

3) หลักการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนามโนทัศน์ขั้นที่มีวุฒิภาวะและขั้นสูง (Mature classificatory and formal level)

3.1) เตรียมตัวนักเรียนให้มีความสนใจและใส่ใจในมโนทัศน์ที่จะเรียนรู้ โดยบอกชื่อมโนทัศน์ที่จะเรียน

3.2) ให้ตัวอย่างและสิ่งที่ไม่ใช่ตัวอย่างของมโนทัศน์ที่จะให้นักเรียนเรียนรู้พร้อมกับให้สิ่งที่ไม่ใช่ตัวอย่าง

3.3) ช่วยให้นักเรียนใช้ความคิดตั้งคำถามที่จะทำได้ สามารถบอกมโนทัศน์ที่จะเรียนรู้ได้

3.4) ช่วยนักเรียนใช้คำจำกัดความของมโนทัศน์และคุณลักษณะที่สำคัญ หรือวิกฤติของมโนทัศน์โดยคำพูดของนักเรียนเอง แต่ในขั้นนี้ครูควรจะตั้งความคาดหวังไว้ว่า นักเรียนจะสามารถรวมคุณลักษณะทั้งหมดไว้ในคำจำกัดความได้

3.5) ครูควรพยายามให้นักเรียนมีโอกาสใช้มโนทัศน์ที่เรียนรู้แล้วในการแก้ปัญหาต่อไป

3.6) ครูควรบอกให้นักเรียนทราบมโนทัศน์ที่นักเรียนให้มานั้นผิดหรือถูก

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ในการสร้างมโนทัศน์นั้นเกิดจากสมองรับข้อมูลเข้ามาแล้วจัดระเบียบอย่างเป็นลำดับขั้น แล้วนำมโนทัศน์ย่อย ๆ อีกมากมายเชื่อมโยงกัน เกิดมโนทัศน์ที่มองเห็นเป็นภาพรวม โดยมีปัจจัยบางประการ ที่ส่งผลให้การสร้างมโนทัศน์ของแต่ละบุคคลนั้นแตกต่างกันออกไป เช่น อายุ ระดับสติปัญญา ความพร้อมของสิ่งแวดล้อม จินตภาพ ความจำ ภาษา ดังนั้น นักเรียนควรมีสภาพพร้อมทั้งสภาพร่างกาย จิตใจและสติปัญญา

มีประสบการณ์และมโนทัศน์เดิมอย่างเพียงพอ และมีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์เพื่อเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดมโนทัศน์ได้ นอกจากนี้ยังพบว่า มโนทัศน์ที่เกิดในตัวบุคคลสามารถพัฒนาได้ โดยมีแนวทางในการพัฒนา คือ ครูควรแจ้งจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมเพื่อเป็นแนวทางการประเมินผล มีการตรวจสอบความรู้พื้นฐานของนักเรียนก่อน ในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ครูควรจะมีปฏิสัมพันธ์กันตลอดเวลา นักเรียนได้ซักถาม มีการแสดงตัวอย่างมโนทัศน์ ให้นักเรียนสังเกตความสัมพันธ์ของมโนทัศน์โดยได้รับการเสริมแรงอยู่เสมอ และครูบอกข้อมูลย้อนกลับเพื่อให้นักเรียนได้ประเมินตนเอง

4.4 ประเภทของมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

นักการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ ได้กล่าวถึง ประเภทของมโนทัศน์คลาดเคลื่อนไว้อย่างหลากหลาย โดยแสดงรายละเอียดดังนี้

National Research Council (1997, pp. 20-21) ได้กล่าวถึงประเภทของมโนทัศน์คลาดเคลื่อนไว้ 5 ประเภทโดยใช้การส่งผลกระทบต่อการเรียนรู้ของนักเรียนเป็นเกณฑ์ ดังนี้

1) อุปาทาน (Preconceived notion) คือ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนพบได้ทั่วไปซึ่งพบได้จากประสบการณ์ในชีวิตประจำวัน

2) ความเชื่อที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ (Nonscientific belief) เกิดจากการเรียนรู้จากแหล่งข้อมูลที่ไม่ใช่แหล่งเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทำให้เป็นอุปสรรคในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

3) ความเข้าใจผิดเกี่ยวกับมโนทัศน์ (Conceptual misunderstanding) เกิดขึ้นเมื่อนักเรียนได้เรียนรู้ในวิถีทางที่ไม่ได้เป็นการกระตุ้นให้เผชิญกับสิ่งผิดปกติและความเชื่อที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ไม่มีน้ำหนักเพียงพอ ทำให้นักเรียนเกิดความสับสน สร้างแบบจำลองที่ผิด เกิดความไม่มั่นใจในมโนทัศน์ดังกล่าว

4) มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเนื่องจากภาษา (Vernacular misconception) เกิดขึ้นจากการใช้คำพูดที่มีความหมายแตกต่างออกไปจากบริบทของวิทยาศาสตร์

5) มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับข้อเท็จจริง (Factual misconception) เกิดจากความเชื่อที่ฝังลึกในบุคคลนั้น ๆ หรือจากการเรียนรู้ที่ผิดในวัยเด็กที่ไม่ได้รับการแก้ไขมโนทัศน์ให้ถูกต้อง

วชิร ศรีคุ้ม (2561, น. 5-7) ได้กล่าวถึงประเภทของมโนทัศน์คลาดเคลื่อนไว้ 5 ประเภทโดยใช้การส่งผลกระทบต่อการเรียนรู้ของนักเรียนเป็นเกณฑ์เช่นเดียวกัน แต่มีการให้นิยามประเภทที่ของโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

1) มโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่มาจากประสบการณ์เดิม (Preconceived notion) เป็นสิ่งที่พบได้บ่อยครั้ง เพราะมีรากฐานมาจากประสบการณ์ในชีวิตประจำวันของนักเรียนเอง

2) มโนทัศน์คลาดเคลื่อนจากความเชื่อที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ (Nonscientific belief) เป็นมโนทัศน์ที่ดูเหมือนจะเกี่ยวข้องกับความรู้วิทยาศาสตร์ แต่ไม่ได้เชื่อมโยงแนวคิดอย่างเป็นเหตุเป็นผล จึงเรียกว่า วิทยาศาสตร์เทียม (Psudu science) เป็นเรื่องที่เชื่อตาม ๆ กันมา ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในระยะยาวได้

3) มโนทัศน์คลาดเคลื่อนในข้อเท็จจริง (Factual misconcept) เป็นมโนทัศน์ที่เกิดจากการได้รับข้อมูลที่ผิดพลาด โดยมากมักเกิดในวัยเด็ก ซึ่งนักเรียนไม่ได้มีโอกาสใช้องค์ความรู้ดังกล่าว จนกระทั่งเติบโตขึ้นและมีเหตุการณ์ที่ต้องใช้มโนทัศน์ดังกล่าวในการอธิบายเรื่องต่าง ๆ โดยทั่วไป

4) มโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่เกิดจากภาษา (Vernacular misconception) เป็นมโนทัศน์ที่พบได้บ่อยในโรงเรียน เพราะส่วนมากมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์จะอธิบายโดยใช้คำศัพท์ทางวิชาการที่เป็นภาษาสากลหรือคำเทคนิค ซึ่งเมื่อแปลเป็นภาษาไทยอาจทำให้เกิดความสับสน มโนทัศน์คลาดเคลื่อนประเภทนี้มักไม่เป็นอุปสรรคต่อการเรียนรู้ในระยะยาว แต่จะเป็นปัญหาในการสื่อสารระหว่างครูและนักเรียน หรือในระหว่างนักเรียนด้วยกัน

5) มโนทัศน์คลาดเคลื่อนจากความเข้าใจผิด (Conceptual misunderstanding) เป็นมโนทัศน์ที่เกิดจากการจัดการเรียนรู้ที่ไม่ได้กระตุ้นให้นักเรียนได้เปรียบเทียบหรือเกิดจากความขัดแย้งใหม่กับมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเดิมของนักเรียน จนทำให้นักเรียนสร้างคำอธิบายที่คลาดเคลื่อนไปจากความจริง เพราะดูง่ายและชัดเจนกว่า หากครูจัดการเรียนรู้โดยไม่พยายามสำรวจและกระตุ้นให้นักเรียนเห็นความขัดแย้งของมโนทัศน์เดิมกับหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ ผลก็คือนักเรียนมักสร้างมโนทัศน์คลาดเคลื่อนจากฐานมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเดิม ซึ่งเข้าใจได้ง่ายกว่าในมุมของนักเรียน

สรุปได้ว่า ประเภทของมโนทัศน์คลาดเคลื่อน สามารถจำแนกโดยใช้การส่งผลกระทบต่อการเรียนรู้ของนักเรียนเป็นเกณฑ์ แบ่งออกเป็น 1) มโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่มาจากประสบการณ์เดิมหรืออุปาทาน 2) มโนทัศน์คลาดเคลื่อนจากความเชื่อที่ไม่เป็นวิทยาศาสตร์ 3) มโนทัศน์คลาดเคลื่อนในข้อเท็จจริงหรือความเข้าใจผิดเกี่ยวกับมโนทัศน์ 4) มโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่เกิดจากภาษา และ 5) มโนทัศน์คลาดเคลื่อนจากความเข้าใจผิดหรือมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับข้อเท็จจริง

4.5 หลักการปรับมโนทัศน์คลาดเคลื่อน

วชิร ศรีคุ้ม (2561, น. 7) ได้กล่าวถึงหลักการปรับมโนทัศน์คลาดเคลื่อน ที่ครูสามารถใช้เป็นแนวปฏิบัติในการพัฒนาแนวคิดคลาดเคลื่อนหรือหลีกเลี่ยงการสร้างมโนทัศน์คลาดเคลื่อนได้ดังนี้

1) ครูควรคาดคะเนหรือศึกษาล่วงหน้า เกี่ยวกับมโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่มักพบได้ในการจัดการเรียนรู้เรื่องนั้น ๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการระบุมโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่อาจจะพบได้

2) ครูควรกระตุ้นให้นักเรียนมีโอกาสทบทวนและอภิปรายมโนทัศน์ของตนเองกับคนอื่นโดยอ้างอิงจากหลักฐานหรือข้อมูลที่นำมาอธิบายมโนทัศน์

3) ครูควรคำนึงและพิจารณาวิธีการ กลยุทธ์หรือกลวิธีการจัดการเรียนรู้ที่จะแก้ไขหรือช่วยให้นักเรียนเข้าใจมโนทัศน์ที่มักจะคลาดเคลื่อนให้ถูกต้อง

4) ครูควรสร้างโอกาสในการทบทวนมโนทัศน์ที่มักคลาดเคลื่อนอย่างสม่ำเสมอด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การตั้งคำถาม การให้นักเรียนเขียนตอบในสถานการณ์อื่น

5) ครูควรทดสอบมโนทัศน์ของนักเรียน เมื่อได้เรียนรู้ผ่านไประยะหนึ่ง

สรุปได้ว่า หลักการปรับมโนทัศน์คลาดเคลื่อน ที่ครูควรใช้เป็นแนวปฏิบัติอันดับแรก คือ การศึกษามโนทัศน์คลาดเคลื่อนล่วงหน้า เพื่อออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนทบทวนและอภิปรายมโนทัศน์ของตนเอง ทบทวนมโนทัศน์ที่มักคลาดเคลื่อนอย่างสม่ำเสมอ โดยใช้กลวิธีการจัดการเรียนรู้ที่จะแก้ไขหรือช่วยให้นักเรียนเข้าใจมโนทัศน์ที่มักจะคลาดเคลื่อนให้ถูกต้องและควรทดสอบมโนทัศน์ของนักเรียนเป็นระยะ

4.6 ความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562, น. 1-78) ได้จัดเนื้อหาเรื่อง กรด-เบส ไว้ครอบคลุม 9 หัวข้อ ดังนี้

1) ทฤษฎีกรด-เบส มีมโนทัศน์เกี่ยวกับเรื่องนี้ คือ ตัวอย่างสารในชีวิตประจำวันที่มีสมบัติเป็นกรด เช่น น้ำมะนาว น้ำส้มสายชู น้ำอัดลม ส่วนสารในชีวิตประจำวันที่มีสมบัติเป็นเบส เช่น แอมโมเนีย โซดาไฟ ปูนขาว ซึ่งการจะระบุว่าสารใดเป็นกรดหรือเบส สามารถพิจารณาได้ตามทฤษฎีกรด-เบสต่าง ๆ ดังนี้ ทฤษฎีกรด-เบส ของ อาร์เรเนียส ให้นิยามว่า กรด คือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออน เบส คือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน ทฤษฎีกรด-เบส ของ เบรินสเตด-ลาวรี ให้นิยามว่า กรด คือ สารที่ให้โปรตอนแก่สารอื่น เบส คือ สารที่รับโปรตอนจากสารอื่น ทฤษฎีกรด-เบส ของ ลิวอิส ให้นิยามว่า สารที่สามารถรับคู่อิเล็กตรอน เบส คือ สารที่สามารถให้คู่อิเล็กตรอน นอกจากนี้เมื่อสังเกตสมการเคมีที่มี H_3O^+

เป็นผลิตภัณฑ์จะมี H_2O เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาเนื่องจากเกิดการรวมตัวของ H^+ และเกิดเป็น H_2O

2) คู่กรด-เบส มีมโนทัศน์เกี่ยวกับเรื่องนี้ คือ ปฏิกิริยากรด - เบส ตามทฤษฎีของเบรินสเตด-ลาวรี เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ทำให้ได้คู่กรด-เบส 2 คู่ โดยคู่กรด-เบส เป็นคู่ของสารตั้งต้นกับผลิตภัณฑ์ที่มีโปรตอนต่างกัน 1 โปรตอน ซึ่งเมื่อกรดมีการให้โปรตอนไปแล้ว ส่วนของกรดที่เหลือ เรียกว่า คู่เบสของกรด จะทำหน้าที่เป็นเบส หรือ กล่าวคือ คู่เบสของกรดเบรินสเตดลาวรี คือ โมเลกุลหรือไอออนที่เหลืออยู่หลังจากกรดเสียโปรตอนไปแล้ว ในทางตรงกันข้ามเมื่อเบสรับโปรตอนแล้วจะได้คู่กรดของเบส ซึ่งทำหน้าที่เป็นกรด

3) การแตกตัวของกรด เบสและน้ำ มีมโนทัศน์เกี่ยวกับเรื่องนี้ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของสารที่เป็นไอออน จะทำให้สารละลายนั้นนำไฟฟ้าได้ โดยกรด-เบส แต่ละชนิดแตกตัวเป็นไอออนแตกต่างกัน กรดแก่และเบสแก่จะแตกตัวเป็นไอออนในน้ำได้สมบูรณ์ ซึ่งความสามารถในการแตกตัวของกรดและเบสสัมพันธ์กับค่า pH โดยสารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากัน กรดที่แตกตัวได้ดีกว่าจะมีค่า pH ต่ำกว่าและเบสที่แตกตัวได้ดีกว่ามี pH สูงกว่าและนอกจากนี้กรดจะมีค่า pH น้อยกว่า 7 ส่วนเบสมีค่า pH มากกว่า 7 ในการแตกตัวของกรดอ่อน สำหรับการแตกตัวของกรดอ่อน สามารถเขียนได้โดยแสดงค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา ซึ่งเรียกว่าค่าคงที่การแตกตัวของกรดและมีสัญลักษณ์เป็น K_a กรดแต่ละชนิดมีค่า K_a ไม่เท่ากันจึงแตกตัวได้ไม่เท่ากัน หรืออาจกล่าวได้ว่า กรดมีความแรงไม่เท่ากัน โดยกรดที่มีค่า K_a มากกว่าจะแตกตัวได้มากกว่าและเป็นกรดที่แรงกว่า ในขณะที่การแตกตัวของเบสอ่อน สามารถเขียนได้โดยแสดงค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา ซึ่งเรียกว่า ค่าคงที่การแตกตัวของเบสและมีสัญลักษณ์เป็น K_b เบสแต่ละชนิดมีค่า K_b ไม่เท่ากันจึงแตกตัวได้ไม่เท่ากัน หรืออาจกล่าวได้ว่า เบสมีความแรงไม่เท่ากัน โดยเบสที่มีค่า K_b มากกว่าจะแตกตัวได้มากกว่าและเป็นเบสที่แรงกว่า ค่าคงที่การแตกตัวของกรดและเบสเป็นค่าเฉพาะไม่ขึ้นกับความเข้มข้นซึ่งในการเปรียบเทียบความแรงของกรดและเบสได้ ในขณะที่ร้อยละการแตกตัวของกรดและเบสเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้น นอกจากนี้กรดที่มีค่า K_a สูงกว่าจะมีค่า K_b ของคู่เบสต่ำกว่า

4) สมบัติกรด-เบสของเกลือ มีมโนทัศน์เกี่ยวกับเรื่องนี้ คือ เกลือที่ได้จากการสะเทินของกรดแก่ด้วยเบสอ่อน เมื่อละลายในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้ สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด ส่วนเกลือที่ได้จากการสะเทินของกรดอ่อนด้วยเบสแก่ เมื่อละลายในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส

5) pH ของสารละลายกรดและเบส มีมโนทัศน์เกี่ยวกับเรื่องนี้ คือ pH เป็นค่าที่ใช้บอกความเป็นกรด-เบสของสารละลาย โดยบอกอยู่ในรูปความเข้มข้นของ H_3O^+ ซึ่งหาได้จาก pH มีค่าเท่ากับ $-\log[H_3O^+]$ โดย pH มีค่าน้อยกว่า 0 หรือมากกว่า 14 ได้ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ H_3O^+ ในสารละลายที่ความเข้มข้นของ H_3O^+ มีค่ามาก หรือ pH มีค่าน้อย หมายถึงมีความเป็นกรดมาก สารละลายที่ความเข้มข้นของ OH^- มีค่ามาก หรือ pH มีค่ามาก หมายถึงมีความเป็นเบสมาก ส่วน pOH เป็นค่าที่สามารถบอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายได้เช่นเดียวกับค่า pH โดยบอกในรูปของความเข้มข้น OH^- ซึ่งหาได้จาก pOH มีค่าเท่ากับ $-\log[OH^-]$ ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับ pOH ของสารละลายใด ๆ ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่า $[H_3O^+][OH^-] = Kw = 1.0 \times 10^{-14}$

6) ปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดและเบส มีมโนทัศน์เกี่ยวกับเรื่องนี้ คือ เมื่อกรดทำปฏิกิริยากับเบสจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกลือและน้ำ โดยเมื่อกรดแก่ทำปฏิกิริยากับเบสแก่ จะได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นกลาง กรดอ่อนทำปฏิกิริยากับเบสแก่ จะได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส กรดแก่ทำปฏิกิริยากับเบสอ่อน จะได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด

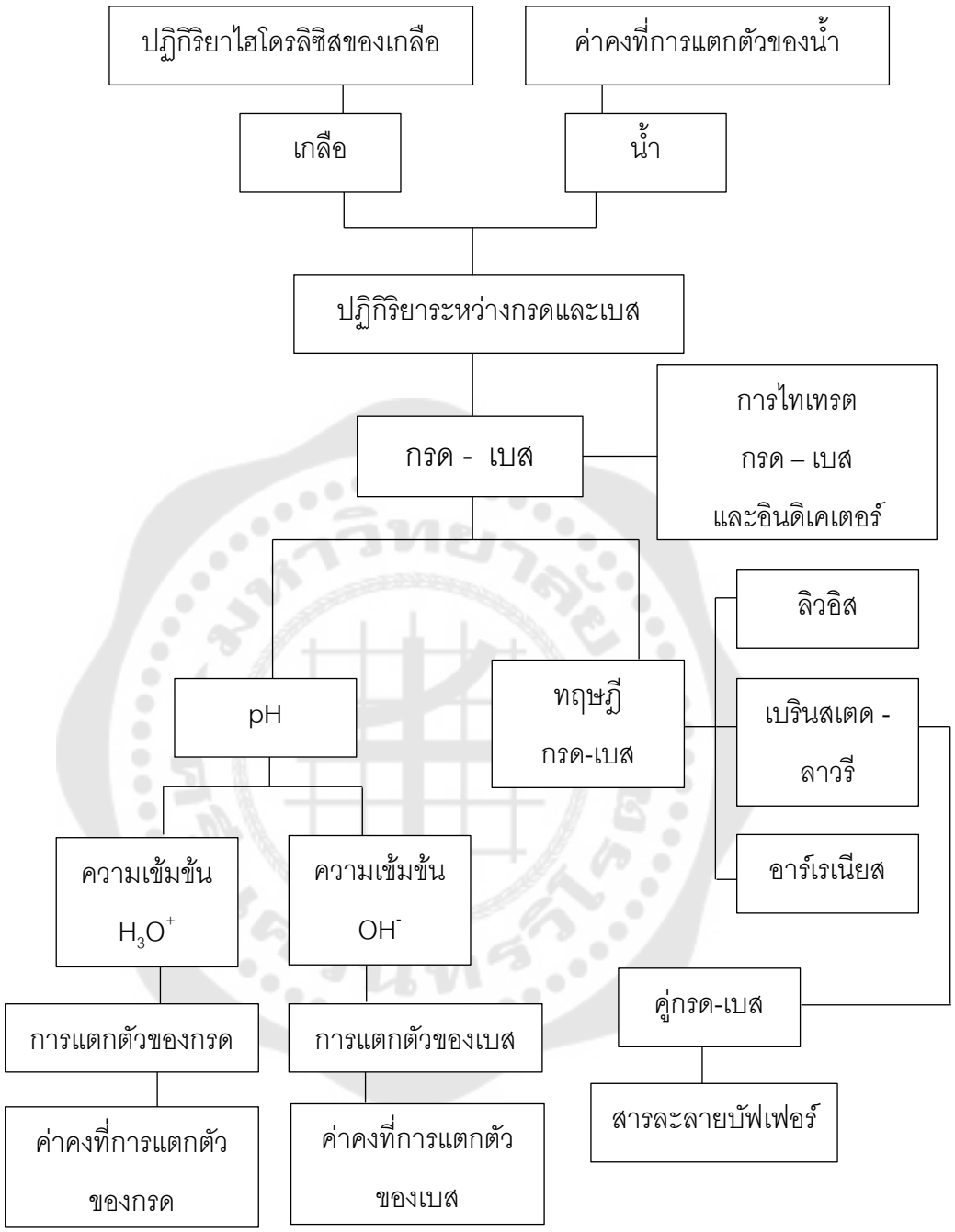
7) การไทเทรตกรด-เบส มีมโนทัศน์เกี่ยวกับเรื่องนี้ คือ ปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดและเบสสามารถนำมาใช้หาความเข้มข้นของสารละลายที่ไม่ทราบความเข้มข้น โดยใช้วิธีการที่เรียกว่า การไทเทรต ซึ่งเป็นการติดตามปริมาณสารชนิดใดชนิดหนึ่งที่เติมลงไปทำปฏิกิริยากับสารอีกชนิดหนึ่ง จนถึงจุดที่สารทั้งสองทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่าจุดสมมูล โดยใช้สารละลายมาตรฐานที่ทราบปริมาณหรือความเข้มข้นแน่นอนทำปฏิกิริยากับสารละลายอีกชนิดหนึ่งที่ต้องการหาความเข้มข้น โดยจุดที่จำนวนโมลของ H^+ พอดีกับจำนวนโมลของ OH^- ที่เรียกว่าจุดสมมูลจะหาได้จากการติดตามค่า pH ซึ่งจุดสมมูลของการไทเทรตมี pH ต่างกันขึ้นอยู่กับความแรงของกรดและเบสที่นำมาทำปฏิกิริยากัน การใช้ pH meter ติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH เพื่อหาจุดสมมูลอาจทำได้ไม่สะดวกเนื่องจากไม่มีเครื่องมือหรือขาดทักษะการใช้ในทางปฏิบัติการไทเทรต จึงนิยมใช้วิธีการเติมอินดิเคเตอร์ที่มีช่วง pH ของการเปลี่ยนสีใกล้เคียงกับจุดสมมูล ซึ่งจุดที่เกิดการเปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์ระหว่างการไทเทรตเรียกว่า จุดยุติ ส่วนอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส คือ สารที่ใช้ตรวจสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลาย สีของอินดิเคเตอร์ที่ปรากฏ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ HIn และ In^- ในสารละลาย การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ H_3O^+ ในสารละลายจะทำให้สมดุลถูกรบกวนรวมทั้งความเข้มข้นของ HIn และ In^- ด้วยสีของอินดิเคเตอร์ที่ปรากฏจะขึ้นอยู่กับ [HIn] และ $[In^-]$ ในสารละลาย โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

ของ H_3O^+ ในสารละลายจะทำให้สมดุลถูกรบกวน และความเข้มข้นของ HIn และ In^- จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

8) สารละลายบัฟเฟอร์ มีมโนทัศน์เกี่ยวกับเรื่องนี้ คือ สารที่มีสมบัติในการควบคุม pH ของสารละลายไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อมีการเติมกรด เบส หรือน้ำลงไปเล็กน้อย เรียกว่า บัฟเฟอร์ ซึ่งแบ่งออกเป็นบัฟเฟอร์กรด คือ สารละลายที่มีกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อนชนิดนั้น ส่วนบัฟเฟอร์เบส คือ สารละลายที่มีเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนชนิดนั้น เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปมาก สารละลายบัฟเฟอร์ไม่สามารถควบคุม pH ได้ เนื่องจากความเข้มข้นของกรดหรือเบสส่งผลต่อความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์

9) การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส มีมโนทัศน์เกี่ยวกับเรื่องนี้ คือ ความรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยาระหว่างกรดและเบส การไทเทรตกรด-เบส และสารละลายบัฟเฟอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ เช่น การแก้ปัญหาดินเปรี้ยว โดยการโรยผงแคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับ H_2SO_4 ส่งผลให้ดินเป็นกรดลดลง การวิเคราะห์ปริมาณกรดในอาหาร ตัวอย่างการวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกในน้ำผักหรือผลไม้โดยนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน NaOH การควบคุม pH ของสารละลายในร่างกายและในธรรมชาติ ตัวอย่างไบคาร์บอเนต บัฟเฟอร์ H_2CO_3/HCO_3^- ควบคุม pH ในเลือดให้อยู่ที่ 7.3-7.4 เมื่อร่างกายมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกิดระหว่างการออกกำลังกาย หรือการรับประทานอาหารที่เป็นกรดสูง กระบวนการกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ทำให้เกิดฝนกรด โดยใช้น้ำทะเลซึ่งมี HCO_3^- และ CO_3^{2-} ในกระบวนการ FGD (Flue gas desulfurization) ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสมบัติเป็นกลาง

จากเนื้อหาเรื่อง กรด- เบส ทั้ง 9 หัวข้อ สามารถสรุปผังมโนทัศน์ เรื่อง กรด - เบส ดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 ผังมโนทัศน์ เรื่อง กรด - เบส

จากการศึกษามโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ผู้วิจัยจึงกำหนดมโนทัศน์ ออกเป็น 9 มโนทัศน์ย่อย ได้แก่ 1) ทฤษฎีกรด-เบส 2) คู่กรด-เบส 3) การแตกตัวของกรด เบส 4) การแตกตัวของน้ำ 5) pH ของสารละลาย 6) ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรดเบสของเกลือ 7) การไทเทรต 8) อินดิเคเตอร์ และ 9) สารละลายบัฟเฟอร์

1) มโนทัศน์ เรื่อง ทฤษฎีกรด-เบส

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ สารละลายที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนและสามารถนำไฟฟ้าได้ โดยสารละลายที่แตกตัวเป็นไอออนได้มาก เรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ ซึ่งจะนำไฟฟ้าได้ดี สารละลายที่แตกตัวเป็นไอออนได้น้อย เรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อน ซึ่งจะนำไฟฟ้าได้ไม่ดี ส่วนสารละลายนอนอิเล็กโทรไลต์ คือ สารละลายที่ละลายน้ำแล้วไม่แตกตัวเป็นไอออน ซึ่งจะไม่นำไฟฟ้า สารละลายมีสมบัติเป็นได้ทั้ง กรด เบส และกลาง โดยการจะระบุว่าสารใดเป็นกรดหรือเบส สามารถพิจารณาได้ตามทฤษฎีกรด-เบสต่าง ๆ ดังนี้ ทฤษฎีกรด-เบส ของอาร์เรเนียส ให้นิยามว่า กรด คือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออน เบส คือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน ทฤษฎีกรด-เบสของ เบรินสเตด-ลาวรี ให้นิยามว่า กรด คือ สารที่ให้โปรตอนแก่สารอื่น เบส คือ สารที่รับโปรตอนจากสารอื่น ทฤษฎีกรด-เบส ของ ลิวอิส ให้นิยามว่า สารที่สามารถรับคู่อิเล็กตรอน เบส คือ สารที่สามารถให้คู่อิเล็กตรอน นอกจากนี้เมื่อสังเกตสมการเคมีที่มี H_3O^+ เป็นผลิตภัณฑ์จะมี H_2O เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาเนื่องจาก เกิดการรวมตัวของ H^+ และ เกิดเป็น H_2O

2) มโนทัศน์ เรื่อง คู่กรด-เบส

ตามทฤษฎีกรด-เบส ของเบรินสเตด-ลาวรี เมื่อกรดหรือเบสละลายน้ำหรือทำปฏิกิริยากับสารอื่นจะมีการถ่ายโอนโปรตอนระหว่างสารตั้งต้นที่เป็นกรดและเบส เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นโมเลกุลหรือไอออนที่เป็นคู่กรด-เบสกันจะมีโปรตอนต่างกัน 1 โปรตอน ซึ่งเมื่อกรดมีการให้โปรตอนไปแล้ว ส่วนของกรดที่เหลือ เรียกว่า คู่เบสของกรด จะทำหน้าที่เป็นเบส หรือกล่าวคือ คู่เบสของกรดเบรินสเตดลาวรี คือ โมเลกุลหรือไอออนที่เหลืออยู่หลังจากกรดเสียโปรตอนไปแล้ว ในทางตรงกันข้ามเมื่อเบสรับโปรตอนแล้วจะได้คู่กรดของเบส ซึ่งทำหน้าที่เป็นกรด

3) มโนทัศน์ เรื่อง การแตกตัวของกรด เบส

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกตัวของสารที่เป็นไอออน จะทำให้สารละลายนั้นนำไฟฟ้าได้ โดยกรด-เบส แต่ละชนิดแตกตัวเป็นไอออนแตกต่างกัน กรดแก่และเบสแก่จะแตกตัวเป็นไอออนในน้ำได้สมบูรณ์ ซึ่งความสามารถในการแตกตัวของกรดและเบสสัมพันธ์กับค่า pH โดยสารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากัน กรดที่แตกตัวได้ดีกว่าจะมีค่า pH ต่ำกว่าและเบสที่แตกตัวได้ดีกว่ามี pH สูงกว่า นอกจากนี้กรดจะมีค่า pH น้อยกว่า 7 ส่วนเบสมีค่า pH มากกว่า 7 ในการแตกตัวของกรดอ่อน สำหรับการแตกตัวของกรดอ่อน สามารถเขียนได้โดยแสดงค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา ซึ่งเรียกว่า ค่าคงที่การแตกตัวของกรดและมีสัญลักษณ์เป็น K_a กรดแต่ละชนิดมีค่า K_a

ไม่เท่ากันจึงแตกตัวได้ไม่เท่ากันหรืออาจกล่าวได้ว่า กรดมีความแรงไม่เท่ากัน โดยกรดที่มีค่า K_a มากกว่าจะแตกตัวได้มากกว่าและเป็นกรดที่แรงกว่า ในขณะที่การแตกตัวของเบสอ่อน สามารถเขียนได้โดยแสดงค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา ซึ่งเรียกว่า ค่าคงที่การแตกตัวของเบสและมีสัญลักษณ์เป็น K_b เบสแต่ละชนิดมีค่า K_b ไม่เท่ากันจึงแตกตัวได้ไม่เท่ากันหรืออาจกล่าวได้ว่าเบสมีความแรงไม่เท่ากัน โดยเบสที่มีค่า K_b มากกว่าจะแตกตัวได้มากกว่าและเป็นเบสที่แรงกว่า ค่าคงที่การแตกตัวของกรดและเบสเป็นค่าเฉพาะไม่ขึ้นกับความเข้มข้นซึ่งในการเปรียบเทียบความแรงของกรดและเบสได้ ในขณะที่ร้อยละการแตกตัวของกรดและเบสเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้น นอกจากนี้กรดที่มีค่า K_a สูงกว่าจะมีค่า K_b ของคู่เบสต่ำกว่า

4) มโนทัศน์ เรื่อง การแตกตัวของน้ำ

น้ำเป็นโมเลกุลโคเวเลนต์ที่มีขั้ว เป็นตัวทำละลายที่ดี โดยน้ำบริสุทธิ์จะแตกตัวเป็นไอออนได้น้อยมาก ซึ่งจะแตกตัวให้ H_3O^+ และ OH^- ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ (K_w) มีค่าคงที่เสมอ โดย $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ สารละลายกรดหรือสารละลายเบสที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ค่า $[H_3O^+][OH^-]= 1.0 \times 10^{-14}$ การรบกวนสมดุลน้ำโดยการเติมกรด เป็นการเพิ่ม $[H_3O^+]$ ซึ่งจะไปรวมตัวกับ OH^- เกิดเป็นโมเลกุลของน้ำ สมดุลจะเลื่อนไปทางซ้าย ณ สมดุลใหม่ $[OH^-]$ ในสารละลายจะลดลง $[H_3O^+]$ จะเพิ่มขึ้น แต่ค่า K_w ยังคงเท่าเดิม การรบกวนสมดุลน้ำโดยการเติมเบส เป็นการเพิ่ม $[OH^-]$ ซึ่งจะไปรวมตัวกับ H_3O^+ เกิดเป็นโมเลกุลของน้ำ สมดุลจะเลื่อนไปทางซ้าย ณ สมดุลใหม่ $[H_3O^+]$ ในสารละลายจะลดลง $[OH^-]$ จะเพิ่มขึ้น แต่ค่า K_w ยังคงเท่าเดิม

5) มโนทัศน์ เรื่อง pH ของสารละลาย

pH เป็นค่าที่ใช้บอกความเป็นกรด-เบสของสารละลาย โดยบอกอยู่ในรูปความเข้มข้นของ H_3O^+ ซึ่งหาได้จาก pH มีค่าเท่ากับ $-\log[H_3O^+]$ โดย pH มีค่าน้อยกว่า 0 หรือมากกว่า 14 ได้ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ H_3O^+ ในสารละลายที่ความเข้มข้นของ H_3O^+ มีค่ามาก หรือ pH มีค่าน้อย หมายถึง มีความเป็นกรดมาก สารละลายที่ความเข้มข้นของ OH^- มีค่ามาก หรือ pH มีค่ามาก หมายถึง มีความเป็นเบสมาก ส่วน pOH เป็นค่าที่สามารถบอกความเป็นกรด-เบสของสารละลายได้เช่นเดียวกับค่า pH โดยบอกในรูปของความเข้มข้น OH^- ซึ่งหาได้จาก pOH มีค่าเท่ากับ $-\log[OH^-]$ ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับ pOH ของสารละลายใด ๆ ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่า $[H_3O^+][OH^-]= Kw = 1.0 \times 10^{-14}$

6) มโนทัศน์ เรื่อง ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรดเบสของเกลือ

เมื่อกรดทำปฏิกิริยากับเบสจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกลือและน้ำ โดยเมื่อกรดแก่ทำปฏิกิริยากับเบสแก่ จะได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นกลาง กรดอ่อนทำปฏิกิริยากับเบสแก่ จะได้

สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส กรดแก่ทำปฏิกิริยากับเบสอ่อน จะได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด โดยเกลือที่ได้จากการสะเทินของกรดแก่ด้วยเบสอ่อน เมื่อละลายในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส ได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด ส่วนเกลือที่ได้จากการสะเทินของกรดอ่อนด้วยเบสแก่ เมื่อละลายในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส

7) มโนทัศน์ เรื่อง การไทเทรต

ปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดและเบสสามารถนำมาใช้หาความเข้มข้นของสารละลายที่ไม่ทราบความเข้มข้น โดยใช้วิธีการที่เรียกว่า การไทเทรต ซึ่งเป็นการติดตามปริมาณสารชนิดใดชนิดหนึ่งที่เติมลงไปทำปฏิกิริยากับสารอีกชนิดหนึ่ง จนถึงจุดที่สารทั้งสองทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่าจุดสมมูล โดยใช้สารละลายมาตรฐานที่ทราบปริมาณหรือความเข้มข้นแน่นอนทำปฏิกิริยากับสารละลายอีกชนิดหนึ่งที่ต้องการหาความเข้มข้น โดยจุดที่จำนวนโมลของ H^+ พอดีกับจำนวนโมลของ OH^- ที่เรียกว่าจุดสมมูล จะหาได้จากการติดตามค่า pH ซึ่งจุดสมมูลของการไทเทรตมี pH ต่างกันขึ้นอยู่กับความแรงของกรดและเบสที่นำมาทำปฏิกิริยากัน การใช้ pH meter ติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH เพื่อหาจุดสมมูลอาจทำได้ไม่สะดวกเนื่องจากไม่มีเครื่องมือหรือขาดทักษะการใช้ในทางปฏิบัติการไทเทรต จึงนิยมใช้วิธีการเติมอินดิเคเตอร์ที่มีช่วง pH ของการเปลี่ยนสีใกล้เคียงกับจุดสมมูล ซึ่งจุดที่เกิดการเปลี่ยนสีอินดิเคเตอร์ระหว่างการไทเทรตเรียกว่า จุดยุติ

8) มโนทัศน์ เรื่อง อินดิเคเตอร์

อินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส คือ สารที่ใช้ตรวจสอบความเป็นกรด-เบสของสารละลาย สีของอินดิเคเตอร์ที่ปรากฏ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ HIn และ In^- ในสารละลาย การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ H_3O^+ ในสารละลายจะทำให้สมดุลถูกรบกวนรวมทั้งความเข้มข้นของ HIn และ In^- ด้วย สีของอินดิเคเตอร์ที่ปรากฏจะขึ้นอยู่กับ [HIn] และ [In^-] ในสารละลาย โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ H_3O^+ ในสารละลายจะทำให้สมดุลถูกรบกวนและความเข้มข้นของ HIn และ In^- จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

9) มโนทัศน์ เรื่อง สารละลายบัฟเฟอร์

สารที่มีสมบัติในการควบคุม pH ของสารละลายไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อมีการเติมกรด เบส หรือน้ำลงไปเล็กน้อย เรียกว่า บัฟเฟอร์ ซึ่งแบ่งออกเป็นบัฟเฟอร์กรด คือ สารละลายที่มีกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อนชนิดนั้น บัฟเฟอร์เบส คือ สารละลายที่มีเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนชนิดนั้น เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปมาก สารละลายบัฟเฟอร์ไม่สามารถควบคุม pH ได้ เนื่องจากความเข้มข้นของกรดหรือเบสส่งผลต่อความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์

สมบัติเฉพาะของสารละลายบัฟเฟอร์เป็นประโยชน์ต่อการควบคุม pH ของระบบในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

4.7 มโนทัศน์คลาดเคลื่อน เรื่อง กรด-เบส

สุภาพร อินบุญนะ (2541, น. 74-100) พบว่ามโนทัศน์คลาดเคลื่อนในเรื่อง กรด-เบส ดังนี้ สารละลายที่มีสมบัติเป็นกลางทุกชนิด ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ เนื่องจาก ไม่มีไอออนบวกและไอออนลบ (ไม่มี H_3O^+ และ OH^-) จึงทำให้มีประจุไฟฟ้ารวมเป็นศูนย์ ซึ่งไม่เพียงพอต่อการนำไฟฟ้า ดังนั้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทุกชนิด จึงมีสมบัติเป็นกรดหรือเบสเท่านั้น ซึ่งสารละลายกรด จะมีเฉพาะ H_3O^+ และไม่มี OH^- ในขณะที่สารละลายเบส จะมีเฉพาะ OH^- และไม่มี H_3O^+

เมื่อพิจารณากรด-เบส ตามทฤษฎีของอาร์รีเนียสแล้ว นักเรียนมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อน คือ กรด เป็นสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไอออนบวก ส่วนเบสเป็นสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้อิเล็กตรอน หรือมีความเข้าใจว่า เบส เป็นสารที่เมื่อละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ จึงมี OH^- เท่านั้นที่อยู่ในสารละลาย นอกจากนี้กรด-เบส ตามทฤษฎีของเบรินสเตด-ลาวรี นักเรียนมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อน คือ กรด เป็นสารที่เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้ว มี H เพิ่มขึ้นในสูตรเคมี เบส เป็นสารที่เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้ว มี H ลดลงในสูตรเคมีและพบว่านักเรียนพิจารณากรด-เบส โดยไม่คำนึงถึงทฤษฎีต่าง ๆ จึงทำให้มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนว่า การเป็นกรดในทฤษฎีใดทฤษฎีหนึ่งแล้ว จะต้องเป็นกรดในทฤษฎีอื่น ๆ ด้วย เช่น CH_3COOH เป็นกรดในทฤษฎีเบรินสเตด-ลาวรี เช่นเดียวกับการเป็นกรดในทฤษฎีอาร์รีเนียส นอกจากนี้คู่กรด-เบส จะต้องมีอะตอมไฮโดรเจนต่างกัน 1 ตัว

สำหรับการแตกตัวของกรด สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด คือ สารที่ H_3O^+ กับ OH^- ทำปฏิกิริยาหักล้างกันแล้ว OH^- หมดไป เหลือแต่ H_3O^+ โดยสารละลายที่มี H_3O^+ น้อยกว่าแสดงว่าตัวถูกละลายมีความสามารถในการแตกตัวมากกว่า แสดงว่ามีกรดอยู่น้อย เพราะ H_3O^+ เป็นกรด สารละลายที่มีความเข้มข้นของ H_3O^+ มากหรือ pH มีค่ามาก จะหมายถึง มีความเป็นกรดมาก ซึ่งจะแบ่งออกเป็น กรดแก่และกรดอ่อน โดยกรดอ่อน จะไม่แตกตัวหรือมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนอีกลักษณะหนึ่ง ว่ากรดอ่อน HA เมื่อแตกตัว จะแตกตัวออกเป็น 2 ส่วน คือ $H^+ + A^-$ อย่างละครึ่งหนึ่ง จำนวนโมลของ H^+ และ A^- จึงเป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนโมล HA การแตกตัวของเบสก็พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเช่นกัน คือสารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส คือ สารที่ H_3O^+ กับ OH^- ทำปฏิกิริยาหักล้างกันแล้ว H_3O^+ หมดไป เหลือแต่ OH^- โดยสารละลายที่มี OH^- น้อยกว่า แสดงว่าตัวถูกละลายมีความสามารถในการแตกตัวมากกว่า แสดงว่ามีเบสอยู่น้อย เพราะ OH^- เป็นเบส ซึ่งจะแบ่งออกเป็น เบสแก่และเบสอ่อน เบสแก่ MOH เมื่อแตกตัว จะแตกตัวออกเป็น 2 ส่วน คือ $M^+ + OH^-$

อย่างละครึ่งหนึ่ง จำนวนโมลของ M^+ และ OH^- จึงเป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนโมล MOH ส่วนสารละลายที่มีสมบัติเป็นกลาง คือ สารที่มีความเข้มข้นของ H_3O^+ เท่ากับความเข้มข้นของ OH^- จึงทำปฏิกิริยาหักล้างกันหมดพอดี

จิตตมาส สุขแสวง (2549, น. 163-186) พบว่ามโนทัศน์คลาดเคลื่อนในเรื่อง กรด-เบส ดังนี้ สารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่ อิเล็กโทรไลต์อ่อน และนอนอิเล็กโทรไลต์ มีทั้งโมเลกุลและไอออนอยู่ในสารละลาย นอกจากนี้ยังพบว่า กรดแก่มีความแรงของกรดน้อยกว่ากรดอ่อน และในการไทเทรตกรด-เบส จะต้องใส่สารละลายมาตรฐานลงในขวดรูปชมพู่และใส่สารละลายตัวอย่างในบิวเรตต์ สารละลายที่ทำให้ pH เปลี่ยนไปเมื่อเติมกรดแก่หรือเบสแก่ลงไป เรียกว่าสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมจากกรดแก่และเกลือของกรดแก่นั้น

ฮามีด๊ะ มูสอ (2555, น. 64-68) พบว่ามโนทัศน์คลาดเคลื่อนในเรื่อง กรด-เบส ดังนี้ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ สารที่แตกตัวเป็นไอออนบวกและลบได้ โดยอะตอม H_2O หันเข้าหาไอออนบวกและไอออนลบของสารที่แตกตัว การจำแนกสารตามทฤษฎีกรด-เบส มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนว่า กรด คือ สารที่มีไอออน H_3O^+ หรือ H^+ มากกว่า OH^- ส่วนเบส คือ สารที่มีไอออน OH^- มากกว่า H_3O^+ หรือ H^+ ทั้งนี้สารละลายที่ความเข้มข้นของ H_3O^+ มีค่ามาก หรือ pH มีค่ามาก จะหมายถึงมีความเป็นกรดมาก

จิณห์นิภา นาคะเสนีย์ (2558, น. 70-83) พบว่า นักเรียนไม่สามารถเลือกใช้ทฤษฎีกรด-เบส ในการอธิบายความเป็นกรด-เบส ของสารต่าง ๆ ให้เหมาะสมตามบริบทได้ ไม่มีการพิจารณาข้อมูลตามที่ให้มาในสมการ จึงไม่สามารถเลือกใช้ทฤษฎีให้เหมาะสม ส่งผลให้พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน ดังนี้ กรด คือ สารที่แตกตัวเป็นไอออนได้ H^+ ,แตกตัวเป็นไอออนได้หรือเป็นสารที่มีหมู่โลหะผสมอยู่หรือมีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ เบส คือ สารที่มีหมู่โลหะผสมอยู่หรือมีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ,สารที่แตกตัวเป็นไอออนได้ OH^- นอกจากนี้ยังพบว่า นักเรียนอธิบายความเป็นกรด-เบสโดยใช้เหตุผลอื่น ๆ พบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน เช่น กรด คือ สารที่มี H มากกว่า ส่วนเบส คือ สารที่มีประจุลบ ไม่นำไฟฟ้า

รัตติยา นามงาม (2558, น. 101-126) พบว่ามโนทัศน์คลาดเคลื่อนในเรื่อง กรด-เบส ดังนี้ นักเรียนมีความเข้าใจว่า กรดและเบสมีคุณสมบัติตรงข้ามกัน เช่น กรด สามารถนำไฟฟ้าได้ แต่เบสไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ กรดมีความอันตรายมากกว่าเบส สมบัติอื่น ๆ ของกรดตามความเข้าใจของนักเรียน คือ กรดทุกชนิดเป็นสารอันตราย มีพิษ มีรสขม มีฤทธิ์กัดกร่อน ละลายโลหะและเผาไหม้ผิวหนังได้ การทดสอบกรด-เบส สามารถทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส โดยกรดเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน เบสเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินเป็นสีแดง

ตัวอย่างเบส เช่น C_2H_5OH และ CH_3OH เพราะในสูตรโมเลกุลมี OH เป็นองค์ประกอบ จึงเข้าใจว่าสามารถแตกตัวเป็น OH^- ได้ สำหรับสารที่มีฤทธิ์เป็นกลาง จะไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้เมื่อละลายน้ำ เช่น เกลือทุกชนิดเป็นกลางหรือไม่มีค่า pH ไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้เมื่อละลายน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่ามโนทัศน์คลาดเคลื่อนว่า กรดมีไฮโดรเจนไอออน เบสมีไฮดรอกไซด์ไอออน ซึ่งความแรงของกรดขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอม H ความแรงของเบสขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุล OH^- ซึ่งกรดจะมีทั้งกรดแก่และกรดอ่อน มีสมบัติแตกต่างกันออกไป กรดแก่จะเผาไหม้ได้มากกว่ากรดอ่อน กัดกร่อนวัสดุได้เร็วมากกว่ากรดอ่อน กรดแก่เป็นกรดที่เข้มข้น ไม่แตกตัวในน้ำเพราะพันธะภายในโมเลกุลแข็งแรงกว่ากรดอ่อน จึงเกิดปฏิกิริยาได้ยาก สำหรับเบสแก่และเบสอ่อนก็จะมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่คล้าย ๆ กัน

หน่วยวัดความเป็นกรด คือ pH เมื่อ pH มีค่ามากขึ้น ความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้น โดย pH ของกรดอ่อน มีค่าอยู่ระหว่าง 0-7 และ pH ของกรดแก่มีค่าอยู่ระหว่าง 7-14 หรืออาจกล่าวได้ว่า กรดแก่มี pH ที่สูงกว่ากรดอ่อน หน่วยวัดความเป็นเบส คือ pOH เมื่อ pOH มีค่ามากขึ้น ความเป็นเบสจะเพิ่มขึ้นโดย pOH ของเบสอ่อนมีค่าอยู่ระหว่าง 0-7 และ pOH ของเบสแก่มีค่าอยู่ระหว่าง 7-14 เบสไม่อันตราย สารละลายกรดและเบสที่มี pH ต่างกันจะมีสีต่างกัน

กรดและเบส เมื่อเกิดปฏิกิริยากัน จะเกิดจากกรดแก่ทำปฏิกิริยากับเบสแก่เท่านั้น หรือกรดอ่อนทำปฏิกิริยากับกรดอ่อนเท่านั้น ซึ่งจะทำให้ได้สารละลายที่เป็นกลาง เนื่องจากไม่มีทั้งไฮโดรเจนไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนในสารละลาย โดยสิ่งที่บอกถึงปฏิกิริยาเคมีหรือความแรงของกรด-เบส คือ ฟองหรือการเกิดฟองและมีความเข้าใจว่าน้ำเป็นตัวทำละลายและไม่สามารถทำปฏิกิริยากับกรด-เบสได้ อินดิเคเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบความเป็นกลางในปฏิกิริยากรด-เบส ช่วยในการทำให้สารละลายเป็นกลาง ส่วนสารละลายที่ประกอบด้วย เกลือกับเกลือของเบสอ่อน เรียกว่า บัฟเฟอร์

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561, น. 10-86) พบว่ามโนทัศน์คลาดเคลื่อนในเรื่อง กรด-เบส ดังนี้ กรด คือ สารที่มี H ในสูตรโมเลกุล ส่วนเบส คือ สารที่มี OH^- ในสูตรโมเลกุล ซึ่งกรดทุกชนิดจะให้ H^+ แต่ H^+ และ H_3O^+ ในน้ำเป็นสารต่างชนิดกัน ในเรื่องของคู่กรด-เบส มีความเข้าใจว่าสารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยากันเป็นคู่กรด-เบสกัน สำหรับสารละลายกรด-เบส ค่า pH มาก หมายถึง การมีความเข้มข้นของ H_3O^+ มากและค่า pH มีค่าน้อยกว่า 0 หรือมากกว่า 14 ไม่ได้ สารที่สามารถควบคุม pH ได้ คือ สารละลายบัฟเฟอร์ ควบคุม pH ได้แม้กระทั่งการเติมกรดหรือเบสลงไปมาก ซึ่งเตรียมได้จากการผสมกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อนหรือเบสอ่อนและเกลือของเบสอ่อนเท่านั้น สำหรับการไทเทรต จุดสมมูลของการไทเทรตมี pH

เป็นกลาง โดยจุดสมมูลและจุดยุติเป็นจุดเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบมโนทัศน์คลาดเคลื่อน ว่าในการเกิดปฏิกิริยากรดอ่อนกับสารละลายเบส เมื่อนำมาไทเทรตจะใช้ปริมาตรของสารละลายเบสที่เติมลงไปในปฏิกิริยาน้อยกว่ากรดแก่ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน เพราะ กรดอ่อนแตกตัวได้น้อย

มัชตาร์ (Muchtar, 2012, pp. 65-74) พบว่ามโนทัศน์คลาดเคลื่อนในเรื่อง กรด-เบส จำนวน 15 ข้อ ดังนี้ 1) สารประกอบที่ในสูตรโมเลกุลมี H เป็นองค์ประกอบคือ กรด 2) ทฤษฎีกรด-เบส 1 ทฤษฎี สามารถอธิบายปฏิกิริยากรด-เบสได้ทั้งหมด 3) กรดโพลิโปรติก มีความแรงเท่ากับกรดมอนอโปรติก 4) การคำนวณค่า pH ใช้สูตร $pH=-\log[H_3O^+]$, $[H_3O^+]$ จากตัวถูกละลาย 5) อุณหภูมิไม่มีผลต่อระบบสมดุลในกรดหรือเบส 6) สารละลายที่มี pH = 0 จะไม่มี H_3O^+ และ OH^- 7) สารละลายที่มี pH = 0 มีเบส 10^{-14} M 8) สารละลายที่มีค่า pH = 0 มี $[H_3O^+]$ = 0 M 9) กรดที่มีการเจือจางจะมี pOH เพิ่มขึ้น 10) ค่า K_a เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเจือจาง 11) เมื่อค่า K_a ลดลง ความเข้มข้นของ H_3O^+ จะเพิ่มขึ้น 12) อินดิเคเตอร์กรด-เบส เปลี่ยนสีที่ค่า pH>7,pH<7 และไม่เปลี่ยนสีที่ pH=7 13) อินดิเคเตอร์กรด-เบส เป็นตัวเร่งของปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส 14) สารละลายที่มีความเข้มข้น ปริมาตรและจำนวนไฮโดรเจนในสูตรเคมี เท่ากันจะมีค่า pH เท่ากัน 15) สารละลายที่มีจุดสมมูลเท่ากันจะมีค่า pH เท่ากัน

ลาติฟา (Lathifa, 2018, pp. 170-177) พบว่ามโนทัศน์คลาดเคลื่อนในเรื่องกรด-เบส ซึ่งจำแนกเป็นเรื่องสมบัติของกรด-เบส ทฤษฎีกรด-เบส ความแรงของกรด-เบส ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส และค่า pH ของสารละลาย โดยพบมโนทัศน์คลาดเคลื่อนจำนวน 45 หัวข้อ เรื่องสมบัติของกรด-เบส มีดังนี้ 1) สารละลายกรดเท่านั้นที่สามารถนำไฟฟ้าได้ 2) เฉพาะกรดแก่และเบสแก่ที่สามารถนำไฟฟ้าได้ 3) สารละลายเบสเท่านั้นที่สามารถนำไฟฟ้าได้ 4) สารละลายกรดไม่สามารถทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมได้ เรื่อง ทฤษฎีกรด-เบส มีดังนี้ 1) กรด คือ สารประกอบที่มี H ในสูตรโมเลกุล 2) เบส คือ สารประกอบที่มี OH ในสูตรโมเลกุล 3) ในทฤษฎีอาร์รีเนียส กรด คือสารประกอบที่ให้โปรตอน 4) ในทฤษฎีอาร์รีเนียส เบส คือ สารประกอบที่รับโปรตอน 5) ในทฤษฎีอาร์รีเนียส กรด คือ สารประกอบที่รับคู่อิเล็กตรอน 6) ในทฤษฎีอาร์รีเนียส เบส คือ สารประกอบที่ให้คู่อิเล็กตรอน 7) ในทฤษฎีเบรินสเตดลาวรี กรด คือ สารประกอบที่ให้คู่อิเล็กตรอน 8) ในทฤษฎีเบรินสเตดลาวรี เบส คือ สารประกอบที่รับคู่อิเล็กตรอน เรื่องคู่กรด-เบส มีดังนี้ 1) คู่กรด คือ กรดที่เมื่อกรดทำปฏิกิริยากับเบส คู่เบส คือ เบสที่เมื่อกรดทำปฏิกิริยากับกรด ความแรงของกรด-เบส มีดังนี้ 1) กรดตามทฤษฎีของลิวอิส คือ สารประกอบที่แตกตัวให้ H^+ เบสตามทฤษฎีของลิวอิส คือ สารประกอบที่แตกตัวให้ OH^- 2) กรดตามทฤษฎีของลิวอิส คือ สารประกอบที่ผลิตภัณฑ์มีประจุเป็นบวก เบสตามทฤษฎีของลิวอิส คือ สารประกอบที่ผลิตภัณฑ์มี

ประจุเป็นลบ 3) สารละลาย HCl ประกอบด้วยไอออนดังนี้ H^+ และ HCl 4) สารละลาย NH_3 ประกอบด้วยไอออนดังนี้ NH_4^+ และ OH^- 5) สารละลาย NH_3 ประกอบด้วยไอออนดังนี้ N^+ และ H_3^- 6) สารละลาย NH_3 ประกอบด้วยไอออนดังนี้ NH_3 และ OH^- 7) สารละลาย H_3PO_4 ประกอบด้วยไอออนดังนี้ H^+ และ $H_2PO_4^-$ 8) สารละลาย H_3PO_4 ประกอบด้วยไอออน ดังนี้ H^+ $H_2PO_4^-$ HPO_4^{2-} และ PO_4^{3-} 9) สารละลาย H_3PO_4 ประกอบด้วยไอออนดังนี้ H^+ $H_2PO_4^-$ HPO_4^{2-} และ H_3PO_4 10) สารละลาย H_3PO_4 ประกอบด้วยไอออนดังนี้ H^+ $H_2PO_4^-$ PO_4^{3-} และ H_3PO_4 11) สารละลาย KOH ประกอบด้วยไอออนดังนี้ K^+ และ KOH 12) กรดที่มีค่า K_a ต่ำคือกรดแก่ 13) กรดที่มีค่า K_a ต่ำแสดงว่ามีความสามารถในการแตกตัวสูง ในขณะที่เบสที่มีค่า K_b ต่ำ แสดงว่า มีความสามารถในการแตกตัวสูง 14) ปัจจัยที่มีผลต่อความแรงของกรด คือ จำนวนอะตอม 15) ปัจจัยที่มีผลต่อความแรงของกรด คือ ความเข้มข้นของกรด 16) ปัจจัยที่มีผลต่อความแรงของกรด คือ ค่า pH 17) ความแตกต่างระหว่างกรดแก่และกรดอ่อน คือ กรดแก่มีพันธะไฮโดรเจนมากกว่ากรดอ่อน 18) ความแตกต่างระหว่างกรดแก่และกรดอ่อน คือ กรดแก่มีค่า pH สูงกว่ากรดอ่อน 19) ความแตกต่างระหว่างกรดแก่และกรดอ่อน คือ กรดแก่มีความเข้มข้นสูงกว่ากรดอ่อน 20) ในความเข้มข้นที่เท่ากัน pHของกรดอ่อน < pH ของกรดแก่ที่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนเท่ากับ 1 < pH ของกรดแก่ที่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนเท่ากับ 2 21) ในความเข้มข้นที่เท่ากัน pH ของกรดอ่อน = pH ของกรดแก่ที่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนเท่ากับ 1 = pH ของกรดแก่ที่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนเท่ากับ 2 22) ในความเข้มข้นที่เท่ากัน pHของกรดแก่ที่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนเท่ากับ 1 = pH ของกรดแก่ที่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนเท่ากับ 2 23) ในความเข้มข้นที่เท่ากัน pH ของกรดแก่ที่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนเท่ากับ 1 < pH ของกรดแก่ที่มีจำนวนอะตอมไฮโดรเจนเท่ากับ 2 เรื่อง ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส ดังนี้ 1) การเติมสารละลายกรดอ่อนลงในสารละลายเบส ทำให้ความแรงของเบสเพิ่มขึ้น 2) การเติมสารละลายกรดแก่หรือกรดอ่อนลงในสารละลายเบสแก่ ทำให้ความแรงของเบสเพิ่มขึ้น เรื่อง ค่า pH ของสารละลาย ดังนี้ 1) สารละลายกรดมีค่า pH < 7 และสารละลายเบสมีค่า pH > 7 2) สารละลายกรดและเบสที่มีความเข้มข้นคงที่จะมีค่า pH คงที่ 3) สารละลายเบสที่เข้มข้น จะมีค่า pH ต่ำ 4) มะนาวและน้ำตาลเป็นสารละลายกรด 5) การทดสอบสารละลายเบสด้วยกระดาษลิตมัส จะไม่มีการเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสทั้งสีแดงและสีน้ำเงิน 6) สารละลายที่เปลี่ยนจากไอออน OH^- เป็น H^+ คือ กรด 7) สารละลายกรด จะทำให้กระดาษลิตมัสสีน้ำเงินไม่เปลี่ยนสี

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปมโนทัศน์คลาดเคลื่อนในแต่ละมโนทัศน์ย่อย ในเรื่องกรด-เบส ดังตาราง 4

ตาราง 4 มโนทัศน์คลาดเคลื่อนเรื่องกรด-เบส

มโนทัศน์	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
ทฤษฎีกรด-เบส	สุภาพร อินบุญนะ (2542: 74 - 100)	1) การนำไฟฟ้าของสารละลายที่เป็นกลาง 2) ไม่มี H_3O^+ และ OH^- ในสารละลาย 3) ทฤษฎีกรด-เบสของอาร์รีเนียส 4) ทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตดลาวรี
	จิตตมาส สุขแสวง (2549: 163 - 186)	1) โมเลกุลและไอออนในสารละลาย
	ฮามีด๊ะ มูสอ (2555: 64 -68)	1) การแตกตัวเป็นไอออนบวกและลบ 2) การพิจารณากรด-เบส จากไอออน
	จิณห์นิภา นาคะเสนีย์ (2558: 70 - 83)	1) การพิจารณากรด-เบสจากการแตกตัว 2) การเลือกใช้ทฤษฎีกรด-เบส ในการอธิบายความเป็นกรด-เบส
	รัตติยา นามงาม (2558: 101 - 126)	1) สมบัติการนำไฟฟ้าของกรดและเบส 2) การพิจารณาความเป็นกรด-เบส จากจำนวนอะตอม H^+ และจำนวนโมเลกุล OH^- 3) การพิจารณากรด-เบส จากไอออน
	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562:10 - 86)	1) การพิจารณากรด-เบสจากสูตรโมเลกุล 2) การเลือกใช้ทฤษฎีกรด-เบส ในการอธิบายความเป็นกรด-เบส
	Muchtar (2012:65 - 74)	1) การพิจารณากรด-เบสจากสูตรโมเลกุล 2) การเลือกใช้ทฤษฎีกรด-เบส ในการอธิบายความเป็นกรด-เบส
	Lathifa (2018:170 - 177)	1) สมบัติการนำไฟฟ้าของกรดและเบส 2) การพิจารณากรด-เบสจากสูตรโมเลกุล 3) ทฤษฎีกรด-เบสของอาร์รีเนียส 4) ทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตด-ลาวรี 5) ทฤษฎีกรด-เบสของลิวอิส

ตาราง 4 (ต่อ)

มโนทัศน์	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
คู่กรด-เบส	สุภาพร อินบุญนะ (2542: 74 - 100)	1) การพิจารณาคู่กรด-เบส จากอะตอมไฮโดรเจน
	จิตตมาส สุขแสวง (2549: 163 - 186)	-
	ฮามีด๊ะ มูสอ (2555: 64 -68)	-
	จิณห์นิภา นาคะเสนีย์ (2558: 70 - 83)	-
	รัตติยา นามงาม (2558: 101 - 126)	-
	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562:10 - 86)	1) การพิจารณาคู่กรด-เบส จากการทำปฏิกิริยากันของสารตั้งต้น
	Muchtar (2012:65 - 74)	-
	Lathifa (2018:170 - 177)	1) การพิจารณาคู่กรด-เบส จากการทำปฏิกิริยา
การแตกตัวของกรด-เบส	สุภาพร อินบุญนะ (2542: 74 - 100)	1) ไอออนที่แตกตัวในสารละลาย 2) การทำปฏิกิริยาหักล้างกันในสารละลายกรด เบส 3) ความสามารถในการแตกตัวที่พิจารณาจาก H_3O^+ หรือ OH^-
	จิตตมาส สุขแสวง (2549: 163 - 186)	1) ความแรงของความเป็นกรดระหว่างกรดแก่และกรดอ่อน
	ฮามีด๊ะ มูสอ (2555: 64 -68)	-
	จิณห์นิภา นาคะเสนีย์ (2558: 70 - 83)	-
	รัตติยา นามงาม (2558: 101 - 126)	

ตาราง 4 (ต่อ)

มโนทัศน์	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
		2) การเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาของกรดแก่กับกรดอ่อน หรือเบสแก่กับเบสอ่อน
	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562:10 - 86)	-
	Muchtar (2012:65 - 74)	1) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_a และความเข้มข้นของของ H_3O^+ 2) กรดที่แตกตัวได้มากกว่า 1 ครั้ง
	Lathifa (2018:170 - 177)	1) ไอออนในการแตกตัวของกรดหรือเบส 2) ค่า K_a กับความแรงของกรด 3) ค่า K_a K_b กับความสามารถในการแตกตัว 4) จำนวนอะตอมกับความแรงของกรด
pH ของสารละลาย	สุภาพร อินบุญนะ (2542: 74 - 100)	1) การพิจารณาค่า pH จาก H_3O^+
	จิตตมาส สุขแสวง (2549: 163 - 186)	-
	ฮามีด๊ะ มูสอ (2555: 64 -68)	-
	จิณห์นิภา นาคะเสนีย์ (2558: 70 - 83)	-
	รัตติยา นามงาม (2558: 101 - 126)	1) ค่า pH กับความแรงของกรด 2) ช่วงของค่า pH 3) ค่า pOH กับความแรงของเบส 4) ช่วงของค่า pOH
	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562:10 - 86)	1) การพิจารณาค่า pH จาก H_3O^+ 2) ช่วงของค่า pH
	Muchtar (2012:65 - 74)	1) การพิจารณาค่า pH จากOH^- 2) การพิจารณาค่า pH จาก H_3O^+ 3) pOH กับการเจือจางสารละลายกรด-เบส

ตาราง 4 (ต่อ)

มโนทัศน์	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
	Lathifa (2018:170 - 177)	1) ช่วงของ pH 2) ความเข้มข้นของสารละลายกับค่า pH 3) การพิจารณาค่า pH จากความเข้มข้นของสารละลาย 4) ตัวอย่างสารละลายกรด เบสและกลาง 5) การทดสอบความเป็นกรด-เบสด้วยกระดาษลิตมัส
ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรดเบสของเกลือ	สุภาพร อินบุญนะ (2542: 74 - 100)	-
	จิตตมาส สุขแสวง (2549: 163 - 186)	-
	ฮามีด๊ะ มูสอ (2555: 64 -68)	-
	จิณห์นิภา นาคะเสนีย์ (2558: 70 - 83)	-
	รัตติยา นามงาม (2558: 101 - 126)	1) สารที่ได้จากปฏิกิริยากรด-เบส 2) ความแรงของกรด-เบสจากการทำปฏิกิริยา
	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562:10 - 86)	-
	Muchtar (2012:65 - 74)	-
	Lathifa (2018:170 - 177)	1) ความแรงของกรด-เบส จากการทำปฏิกิริยา
การไทเทรต	สุภาพร อินบุญนะ (2542: 74 - 100)	-
	จิตตมาส สุขแสวง (2549: 163 - 186)	1) การใส่สารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่างในอุปกรณ์ทดลอง
	ฮามีด๊ะ มูสอ (2555: 64 -68)	-

ตาราง 4 (ต่อ)

มโนทัศน์	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
	จิณห์นิภา นาคะเสนีย์ (2558: 70 - 83)	-
	รัตติยา นามงาม (2558: 101 - 126)	-
	สถาบันส่งเสริมการสอน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562:10 - 86)	1) จุดสมมูลและจุดยุติ 2) pH ณ จุดสมมูล 3) ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการไทเทรต
	Muchtar (2012:65 - 74)	-
	Lathifa (2018:170 - 177)	-
	จิณห์นิภา นาคะเสนีย์ (2558: 70 - 83)	-
อินดิเคเตอร์	สุภาพร อินบุญนะ (2542: 74 - 100)	-
	จิตตมาส สุขแสวง (2549: 163 - 186)	-
	ฮามีด๊ะ มูสอ (2555: 64 -68)	-
	จิณห์นิภา นาคะเสนีย์ (2558: 70 - 83)	-
	รัตติยา นามงาม (2558: 101 - 126)	1) หน้าที่ของอินดิเคเตอร์
	สถาบันส่งเสริมการสอน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562:10 - 86)	-
	Muchtar (2012:65 - 74)	-
	Lathifa (2018:170 - 177)	1) การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ 2) หน้าที่ของอินดิเคเตอร์

ตาราง 4 (ต่อ)

มโนทัศน์	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
สารละลายบัฟเฟอร์	สุภาพร อินบุญนะ (2542: 74 - 100)	-
	จิตตมาส สุขแสวง (2549: 163 - 186)	1) หน้าที่ของสารละลายบัฟเฟอร์ 2) ส่วนประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์
	ฮามีด๊ะ มูสอ (2555: 64 -68)	-
	จิณห์นิภา นาคะเสนีย์ (2558: 70 - 83)	-
	รัตติยา นามงาม (2558: 101 - 126)	1) ส่วนประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์
	สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562:10 - 86)	1) หน้าที่ของสารละลายบัฟเฟอร์ 2) ส่วนประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์
	Muchtar (2012:65 - 74)	-
	Lathifa (2018:170 - 177)	-

4.8 การจัดกลุ่มมโนทัศน์

นักการศึกษา ได้จัดกลุ่มมโนทัศน์ไว้ 3 แบบ คือ การจัดกลุ่มมโนทัศน์แบบ 4 กลุ่ม การจัดกลุ่มมโนทัศน์แบบ 5 กลุ่มและการจัดกลุ่มมโนทัศน์แบบ 6 กลุ่ม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เรนเนอร์ (Renner, 1990 อ้างถึงใน มัทรียา นาคสงวน, 2556, น. 21-22) ได้จัดกลุ่มมโนทัศน์แบบ 4 กลุ่ม ดังนี้

1) มโนทัศน์ถูกต้อง (Sound understanding) คือ คำตอบที่แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจมโนทัศน์ทั้งหมด

2) มโนทัศน์ถูกต้องบางส่วน (Partial understanding) คือ คำตอบที่แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์

3) มโนทัศน์คลาดเคลื่อน (Limited understanding) คือ คำตอบบางคำตอบมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องและบางคำตอบมีมโนทัศน์ที่ไม่ถูกต้อง

4) มโนทัศน์ไม่ถูกต้อง (Misunderstanding) คือ คำตอบที่แสดงถึงความไม่เข้าใจมโนทัศน์นั้น ๆ

เวสบรูคและมาริก (Westbrook และ Marek, 1992 อ้างถึงในไอนิง เจ๊ะเหลาะ, 2556, น. 33) ได้จัดกลุ่มมโนทัศน์แบบ 5 กลุ่ม ดังนี้

1) ความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (Complete Understanding : CU) คือ นักเรียนแสดงคำตอบได้ถูกต้องและการให้เหตุผลอย่างถูกต้องสมบูรณ์ ครบองค์ประกอบที่สำคัญ

2) ความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding : PU) คือ นักเรียนแสดงคำตอบได้ถูกต้องและการให้เหตุผลถูก แต่ขาดองค์ประกอบที่สำคัญบางส่วน

3) ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with Specific Alternative Conception : PS) คือ นักเรียนแสดงคำตอบได้ถูกต้อง แต่ยังให้เหตุผลไม่ถูกหรือไม่ให้เหตุผลหรือแสดงคำตอบไม่ถูกต้องแต่ให้เหตุผลถูกต้องบางส่วน

4) ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (Alternative Conception : AC) คือ นักเรียนแสดงคำตอบได้คลาดเคลื่อนทั้งหมด

5) ความไม่เข้าใจ (No Understanding : NU) คือ นักเรียนแสดงคำตอบไม่ตรงกับคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม

อบราฮัม (Abraham, 1992 อ้างถึงใน นิธิมา โกยสมบูรณ์, 2556, น. 34-35) ได้จัดกลุ่มมโนทัศน์แบบ 6 กลุ่ม ดังนี้

1) มโนทัศน์ถูกต้อง (Sound Understanding) คือ คำตอบของนักเรียนที่แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจมโนทัศน์ทั้งหมด

2) มโนทัศน์ถูกต้องบางส่วน (Partial Understanding) คือ คำตอบของนักเรียนที่อย่างน้อยหนึ่งองค์ประกอบเป็นไปตามมโนทัศน์ ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ ไม่มีการกล่าวถึง

3) มโนทัศน์คลาดเคลื่อน (Partial Understanding with a specific Misconception) คือ คำตอบของนักเรียนที่บางองค์ประกอบมีมโนทัศน์ถูกต้องตามมโนทัศน์และบางองค์ประกอบมีมโนทัศน์ที่ไม่ถูกต้องตามมโนทัศน์

4) มโนทัศน์ไม่ถูกต้อง (Specific Misconception) คือ คำตอบของนักเรียนที่อธิบายเกี่ยวกับคำถาม แต่ไม่ถูกต้อง

5) ไม่มีมโนทัศน์ (No Understanding) คือ คำตอบของนักเรียนที่ไม่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ในเรื่องที่ถาม

6) ไม่มีคำตอบ (No Response) คือ ตอบว่าไม่ทราบ

สรุปได้ว่า ในการจัดกลุ่มมโนทัศน์มีได้หลากหลายรูปแบบ จากการศึกษามโนทัศน์เรื่อง กรด-เบส ในครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้การจัดกลุ่มมโนทัศน์ตามแนวคิดเวสบรูคและมาริก (Westbrook และ Marek, 1992 อ้างถึงในไอนิง เจ๊ะเหลาะ, 2556, น. 33) เนื่องจากมีความครอบคลุมคำตอบของนักเรียนได้อย่างสมเหตุสมผล เหมาะที่จะไปประยุกต์กับแนวคิดของ สุภาพ ตาเมือง และคนอื่น ๆ (2560, น. 7) เพื่อให้ได้มาซึ่งเกณฑ์ในการให้คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ ซึ่งมีรายละเอียดการให้คะแนน ดังนี้ 1) ความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (Complete Understanding : CU) 2) ความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding : PU) 3) ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with Specific Alternative Conception : PS) 4) ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (Alternative Conception : AC) และ 5) ความไม่เข้าใจ (No Understanding : NU)

4.9 แนวทางการวัดความเข้าใจมโนทัศน์

นักการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ ได้เสนอแนวทางในการวัดความเข้าใจมโนทัศน์ไว้อย่างหลากหลาย ดังนี้

พันธ์ ทองชุมนุม (2547, น. 205) ได้กล่าวว่า หลังจากที่ครูได้ทำการจัดการเรียนรู้ไปแล้ว สิ่งที่ครูควรทราบคือ นักเรียนมีมโนทัศน์นั้นถูกต้องตามที่คาดหวังไว้หรือไม่ ดังนั้นในการตรวจสอบโนทัศน์ของนักเรียน สามารถพิจารณาได้ว่านักเรียนสามารถกระทำในสิ่งต่อไปนี้ได้หรือไม่

1) นักเรียนสามารถระบุหรือเรียกชื่อมโนทัศน์นั้นได้

2) นักเรียนสามารถบอกลักษณะของมโนทัศน์นั้นได้

3) นักเรียนสามารถจำแนก เลือกหรือยกตัวอย่างสิ่งที่ไม่ใช่ตัวอย่างของมโนทัศน์นั้นได้

4) นักเรียนสามารถทำความเข้าใจและสรุปมโนทัศน์นั้นได้ ด้วยภาษาของตนเอง

วันเพ็ญ คำเทศ (2560, น. 56-60) ได้กล่าวว่าเครื่องมือในการวัดความเข้าใจมโนทัศน์ มีหลายรูปแบบ แต่ละรูปแบบมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันไป มีรายละเอียดดังนี้

1) แบบสัมภาษณ์ (Interview form) เป็นการวัดเพื่อให้ทราบถึงความรู้สึกนึกคิดเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ทำให้ได้ข้อมูลเชิงลึกแต่ต้องใช้เวลานาน นอกจากนี้อคติของนักเรียนยังมีผลต่อการเก็บรวบรวมข้อมูล

2) แบบวัดชนิดเขียนตอบ (Open-ended test) เป็นแบบเขียนตอบปลายเปิดนิยมใช้อย่างกว้างขวางในการตรวจสอบมโนทัศน์ของนักเรียน เนื่องจากสร้างได้ง่ายเพราะมีเพียงข้อคำถามเท่านั้น และยังเปิดโอกาสให้นักเรียนตอบได้ตามมโนทัศน์ของตน แต่นักเรียนจะใช้เวลานานในการคิดและเขียนคำตอบ สำหรับการวิเคราะห์มโนทัศน์ของนักเรียนนั้นทำได้ยากเนื่องจากอุปสรรคเกี่ยวกับการใช้ภาษาของนักเรียน

3) แบบวัดชนิดเลือกตอบ (Ordinary multiple-choice test) เป็นรูปแบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของแบบสัมภาษณ์และแบบเขียนตอบเกี่ยวกับการตรวจให้คะแนนเพื่อนำมโนทัศน์มาวิเคราะห์ ซึ่งสามารถบ่งชี้มโนทัศน์ของนักเรียนที่เป็นข้อมูลเชิงลึกและใช้วัดมโนทัศน์ได้อย่างกว้างขวางและครอบคลุมมโนทัศน์ที่จำเป็นสำหรับนักเรียน นอกจากนี้ยังมีข้อดีอีกหลายประการ ได้แก่ สามารถวัดมโนทัศน์ได้หลายหัวข้อในระยะเวลาอันสั้น สามารถวัดได้หลากหลายทั้งระดับการเรียนรู้ ทักษะทางปัญญาต่าง ๆ สามารถตรวจให้คะแนนที่เห็นผลอย่างเป็นรูปธรรม ใช้เวลาน้อยในการตรวจ เป็นประโยชน์ต่อนักเรียนที่มีมโนทัศน์ถูกต้องแต่เขียนได้ไม่ดี อย่างไรก็ตามแบบวัดรูปแบบนี้มีข้อจำกัดหลายประการเช่นกัน เช่น นักเรียนสามารถเดาคำตอบได้ นักเรียนไม่สามารถแสดงถึงความเข้าใจมโนทัศน์อย่างลึกซึ้ง ซึ่งนักเรียนอาจถูกบังคับให้เลือกคำตอบจากตัวเลือกที่ถูกจำกัดโดยไม่ได้เป็นคำตอบจากความคิดของนักเรียนเอง

4) แบบวัดชนิดเลือกตอบ 2 ระดับ (Two-tier multiple-choice test) ได้พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขข้อจำกัดแบบวัดชนิดเลือกตอบ ซึ่งโครงสร้างของแบบวัดชนิดนี้ประกอบด้วยข้อคำถามและส่วนของคำตอบที่มี 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นตัวเลือกที่มีคำตอบและตัวลวง ส่วนที่ 2 คือเป็นตัวเลือกที่เป็นเหตุผลที่ใช้ในการตอบส่วนแรก นักเรียนจะได้คะแนนต่อเมื่อตอบถูกต้องทั้งคำตอบและเหตุผล สำหรับตัวลวงนั้นได้มาจากมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนที่เก็บรวบรวมข้อมูลและเนื่องจากนักเรียนอาจมีเหตุผลอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กำหนดให้จึงมีการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยเพิ่มบรรทัดว่างให้นักเรียนเติมเหตุผลอื่น ๆ นอกเหนือจากตัวลวงที่กำหนดไว้

5) แบบวัดชนิดเลือกตอบ 3 ระดับ (Three-tier multiple-choice test) ได้พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของแบบวัดชนิดเลือกตอบ 2 ระดับ โดยการเพิ่มส่วนที่ 3 ให้นักเรียนเลือกว่ามั่นใจหรือไม่มั่นใจในคำตอบที่เลือกส่วนที่ 2 แต่ระดับความมั่นใจก็ยังไม่สามารถจำแนกว่าการที่นักเรียนตอบผิดนั้นเป็นเพราะมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือเพราะไม่มีความรู้

6) แบบวัดชนิดเลือกตอบ 4 ระดับ (Four-tier multiple-choice test) ได้พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของแบบวัดชนิดเลือกตอบ 3 ระดับ โดยเพิ่มระดับความมั่นใจของการตอบในส่วนที่ 1 ทำให้สามารถจำแนกได้ว่าการที่นักเรียนตอบผิดนั้นเป็นเพราะมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือเพราะไม่มีความรู้

สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้นำแนวคิดของแบบวัดชนิดเลือกตอบ 2 ระดับ (Two-tier diagnostic test) มาเป็นแนวทาง เนื่องจากข้อมูลที่ได้มาสามารถวินิจฉัยมโนทัศน์ที่หลากหลายและครอบคลุม แต่เนื่องจากแบบเลือกตอบ เป็นการเปิดโอกาสให้เดาคำตอบได้ เป็นการจำกัดกรอบความคิดของนักเรียน อีกทั้งยังจำแนกไม่ได้ว่าการที่นักเรียนตอบผิดนั้นเป็นเพราะมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนหรือเพราะไม่มีความรู้ (Gurel, 2015, p. 1001) จึงได้ปรับปรุงแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ ในตอนที่ 2 เป็นการอธิบายเหตุผลว่าเพราะเหตุใดจึงเลือกคำตอบข้อนั้น เป็นแบบเขียนตอบ ซึ่งจะช่วยให้ครูได้เข้าใจมากขึ้นว่านักเรียนเข้าใจมโนทัศน์จริงหรือไม่ หรือเพียงแต่เดาถูก แบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์เช่นนี้ เรียกว่า แบบวัดแบบ 2 ขั้น หรือ Two-tier diagnostic test เป็นการผสมผสานกันระหว่างแบบเลือกตอบและแบบเขียนตอบ (ปรีชาญ เดชศรี, 2555, น. 18-21)

สำหรับเกณฑ์การให้คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ โดยประยุกต์มาจากการจัดกลุ่มมโนทัศน์ของ เวสบรูคและมาริก (Westbrook และ Marek, 1992 อ้างถึงในไอนิง เจ๊ะเหลาะ, 2556, น. 33) และจาก สุภาพ ตาเมือง และคนอื่น ๆ (2560, น. 7) ดังตาราง 5

ตาราง 5 การกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์

กลุ่มความเข้าใจมโนทัศน์	การพิจารณาคำตอบในแต่ละส่วน				คะแนนรวม
	ตัวเลือก	คะแนน	เหตุผล	คะแนน	
ความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (Complete Understanding : CU)	ถูกต้อง	1	ถูกต้องสมบูรณ์	2	3
ความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding : PU)	ถูกต้อง	1	ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์และไม่มีส่วนผิด	1.5	2.5
ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with Specific Alternative Conception : PS)	ถูกต้อง	1	ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน	1	2
	ถูกต้อง	1	ไม่ถูกต้องแต่ยังเกี่ยวข้องกับโจทย์	0.5	1.5
	ถูกต้อง	1	ไม่เกี่ยวกับโจทย์ หรือไม่แสดงเหตุผล	0	1
	ผิด	0	ถูกต้องสมบูรณ์	2	2
	ผิด	0	ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์และไม่มีส่วนผิด	1.5	1.5
	ผิด	0	ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน	1	1
ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (Alternative Conception : AC)	ผิด	0	ไม่ถูกต้องแต่ยังเกี่ยวข้องกับโจทย์	0.5	0.5
ความไม่เข้าใจ (No Understanding : NU)	ผิด	0	ไม่เกี่ยวกับโจทย์ หรือไม่แสดงเหตุผล	0	0

ที่มา: สุภาพ ตาเมือง และคนอื่น ๆ. (2560). การพัฒนาความเข้าใจมโนมติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยการทดลองแบบสืบเสาะ. หน้า 7.

ดังนั้นสรุปได้ว่า แนวทางในการวัดความเข้าใจมโนทัศน์ สามารถพิจารณาได้จากการระบุหรือเรียกชื่อมโนทัศน์ การบอกลักษณะของมโนทัศน์ การจำแนก คัดเลือก ยกตัวอย่างและสิ่งที่ไม่ใช่ตัวอย่างของมโนทัศน์และการอธิบายรวมถึงสรุปความหมายของมโนทัศน์นั้น ซึ่งสามารถ

ใช้เครื่องมือในการวัดได้หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ แบบสัมภาษณ์ แบบวัดชนิดเขียนตอบ แบบวัดชนิดเลือกตอบ แบบวัดชนิดเลือกตอบ 2 ระดับ แบบวัดชนิดเลือกตอบ 3 ระดับ แบบวัดชนิดเลือกตอบ 4 ระดับ โดยในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้แบบวัดแบบ 2 ขั้น หรือ Two-tier diagnostic test เพื่อลดปัญหาการเดาคำตอบของนักเรียนและจำแนกนักเรียนที่มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนและไม่มีความรู้ มีเกณฑ์การให้คะแนน คือ แบ่งความเข้าใจมโนทัศน์ออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ 1) ความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (Complete Understanding : CU) คือ ให้คำตอบที่ถูกต้องและแสดงเหตุผลที่ถูกต้องสมบูรณ์ (3 คะแนน) 2) ความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding : PU) คือ ให้คำตอบที่ถูกต้องและแสดงเหตุผลที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์และไม่มีส่วนผิด (2.5 คะแนน) 3) ความเข้าใจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with Specific Alternative Conception : PS) คือ ให้คำตอบที่ถูกต้องแต่แสดงเหตุผลที่ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (2 คะแนน) ให้คำตอบที่ถูกต้องแต่แสดงเหตุผลไม่ถูกต้องแต่ยังมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ (1.5 คะแนน) ให้คำตอบที่ถูกต้องแต่ไม่แสดงเหตุผลหรือแสดงเหตุผลที่ไม่เกี่ยวข้องกับโจทย์ (1 คะแนน) หรือให้คำตอบที่ผิดแต่แสดงเหตุผลที่ถูกต้องสมบูรณ์ (2 คะแนน) ให้คำตอบที่ผิดแต่แสดงเหตุผลถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์และไม่มีส่วนผิด (1.5 คะแนน) และให้คำตอบที่ผิดแต่แสดงเหตุผลที่ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (1 คะแนน) 4) ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (Alternative Conception : AC) คือ ให้คำตอบที่ผิดและแสดงเหตุผลที่ไม่ถูกต้องทั้งหมดแต่ยังมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ (0.5 คะแนน) และ 5) ความไม่เข้าใจมโนทัศน์ (No Understanding : NU) คือ ให้คำตอบที่ผิดและไม่แสดงเหตุผลหรือแสดงเหตุผลที่ไม่เกี่ยวข้องกับโจทย์ (0 คะแนน)

5. ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

5.1 ความหมายของการแก้ปัญหา

นักการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ ได้กล่าวถึง ความหมายของการแก้ปัญหาไว้อย่างหลากหลาย ดังนี้

กานเย่ (Gagne, 1970, p. 63) ได้ให้ความหมายของการแก้ปัญหา ไว้ว่าเป็นรูปแบบการเรียนรู้ที่ต้องอาศัยการเรียนรู้ประเภทหลักการที่มีความเกี่ยวข้อง ตั้งแต่ 2 ประเภทขึ้นไปเพื่อผสมผสานจนเป็นความสามารถทางด้านการคิดแก้ปัญหา

กรมวิชาการ (2544, น. 39) ได้ให้ความหมายของการแก้ปัญหา ไว้ว่าเป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบ จะต้องมีการวางแผน การรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ การกำหนดสารสนเทศที่ต้องการเพิ่มเติม การแสดงความคิดเห็น เสนอแนะแนวทางวิธีการแก้ปัญหาที่หลากหลาย และตรวจสอบวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมเพื่อนำไปสู่ข้อสรุป

สุวิทย์ มูลคำ (2547, น. 15) ได้ให้ความหมายของการแก้ปัญหา ไว้ว่าเป็นความสามารถทางสมองที่ขจัดสภาวะความไม่สมดุล เพื่อปรับตัวและปรับสิ่งแวดล้อมให้กลับสู่สภาวะสมดุล

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2558, น. 68) ได้ให้ความหมายของการแก้ปัญหา ไว้ว่าเป็นการใช้ประสบการณ์เดิมจากการเรียนรู้ทั้งทางตรงและทางอ้อมของบุคคล นำมาคิดแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่เป็นปัญหาในปัจจุบันเพื่อให้บรรลุผลตามจุดมุ่งหมายเฉพาะเรื่องที่กำหนดไว้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560, น. 46) ได้ให้ความหมายของการแก้ปัญหา ไว้ว่าเป็นกระบวนการแก้ปัญหาที่ไม่คุ้นเคยหรือปัญหาใหม่ โดยใช้ความรู้ ทักษะ วิธีการและประสบการณ์ที่เคยรู้มาแล้ว หรือการสืบเสาะหาความรู้วิธีการใหม่ มาใช้แก้ปัญหา นอกจากนี้ยังรวมถึงการซักถามเพื่อทำความเข้าใจมุมมองที่แตกต่างหลากหลายเพื่อให้ได้วิธีแก้ปัญหาที่ดีมากขึ้น

สรุปได้ว่า การแก้ปัญหา หมายถึง กระบวนการที่ได้มาซึ่งคำตอบของปัญหาที่ไม่คุ้นเคยหรือปัญหาใหม่ โดยใช้ ความรู้ ทักษะ วิธีการและประสบการณ์ มาทำความเข้าใจปัญหา คิดวิเคราะห์ วางแผนแก้ปัญหาและเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมมาแก้ปัญหาโดยคำนึงถึงความสมเหตุสมผลของคำตอบ จนเกิดเป็นความสามารถทางด้านการคิดแก้ปัญหา

5.2 กระบวนการในการแก้ปัญหา

นักการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ ได้กล่าวถึง กระบวนการในการแก้ปัญหา ไว้อย่างหลากหลาย ดังนี้

ชนาธิป พรกุล (2557, น. 268-288) ได้กล่าวถึงกระบวนการแก้ปัญหา ซึ่งมีอยู่ 4 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ทำความเข้าใจกับปัญหา

1.1) โจทย์ปัญหาต้องการทราบอะไร

1.2) โจทย์กำหนดอะไรมาบ้าง

1.3) สิ่งที่โจทย์ต้องการคืออะไร

1.4) ส่วนใดในโจทย์เกี่ยวข้องสัมพันธ์กันบ้าง

1.5) ส่วนใดในโจทย์ที่ไม่เกี่ยวข้อง

2) วางแผนเพื่อแก้ปัญหา

2.1) โจทย์นี้ต้องทำกี่ขั้นตอน

2.2) ลำดับขั้นตอนในการทำอย่างไร

2.3) หาวิธีการทำโจทย์ที่ง่ายและสั้นที่สุด

2.4) เขียนประโยคสัญลักษณ์เพื่อหาคำตอบของโจทย์นี้อย่างไร

3) แก้ปัญหาตามแผน/ขั้นตอนการแก้โจทย์

3.1) คำตอบของโจทย์โดยประมาณคืออะไร

3.2) ใช้ข้อความในแต่ละบรรทัดที่คิดได้อย่างไร

3.3) จะปรับปรุงการเขียนข้อความให้สั้นกะทัดรัดได้อย่างไร

3.4) ควรทำตามลำดับขั้นตอนด้วยความมั่นใจได้หรือไม่

3.5) จะปรับปรุงคำตอบให้สมบูรณ์ได้อย่างไร

4) ตรวจสอบ

4.1) คำตอบที่ได้ใกล้เคียงกับที่ประมาณไว้หรือไม่

4.2) คำตอบข้อนี้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่

4.3) จะปรับปรุงคำตอบให้สมบูรณ์ได้อย่างไร

โดยในแต่ละขั้นตอน จะเกิดทักษะการคิดต่าง ๆ ดังตาราง 6

ตาราง 6 ทักษะที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการคิด

ขั้นตอนการคิด	**ทักษะการคิด**
1.ทำความเข้าใจกับปัญหา	
1.1 โจทย์ปัญหาต้องการทราบอะไร	การระบุ
1.2 โจทย์กำหนดอะไรมาบ้าง	การสังเกต การระบุ
1.3 สิ่งที่โจทย์ต้องการคืออะไร	การสำรวจ
1.4 ส่วนใดในโจทย์เกี่ยวข้องสัมพันธ์กันบ้าง	การเชื่อมโยง
1.5 ส่วนใดในโจทย์ที่ไม่เกี่ยวข้อง	การเปรียบเทียบ การคัดแยก
2.วางแผนเพื่อแก้ปัญหา	
2.1 โจทย์นี้ต้องทำกี่ขั้นตอน	การระบุ
2.2 ลำดับขั้นตอนในการทำอย่างไร	การเรียงลำดับ

ตาราง 6 (ต่อ)

ขั้นตอนการคิด	ทักษะการคิด
2.3 หาวิธีการทำโจทย์ที่ง่ายและสั้นที่สุด	การนำความรู้ไปใช้
2.4 เขียนประโยคสัญลักษณ์เพื่อหาคำตอบของโจทย์นี้อย่างไร	การนำความรู้ไปใช้
3. แก้ปัญหาตามแผน/ขั้นตอนการแก้โจทย์	
3.1 คำตอบของโจทย์โดยประมาณคืออะไร	การระบุ
3.2 ใช้ข้อความในแต่ละบรรทัดที่คิดได้อย่างไร	-
3.3 จะปรับปรุงการเขียนข้อความให้สั้นกะทัดรัดได้อย่างไร	-
3.4 ควรทำตามลำดับขั้นตอนด้วยความมั่นใจได้หรือไม่	-
3.5 จะปรับปรุงคำตอบให้สมบูรณ์ได้อย่างไร	-
4. ตรวจสอบ	
4.1 คำตอบที่ได้ใกล้เคียงกับที่ประมาณไว้หรือไม่	การเปรียบเทียบ
4.2 คำตอบข้อนี้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่	การใช้เหตุผล
4.3 จะปรับปรุงคำตอบให้สมบูรณ์ได้อย่างไร	-

ที่มา: ชนาธิป พรกุล. (2557). การสอนกระบวนการคิดทฤษฎีและการนำไปใช้. หน้า 275.

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2558, น. 66-72) ได้กล่าวถึงกระบวนการแก้ปัญหาตามแนวคิดของนักการศึกษาหลากหลายท่าน ได้แก่ กระบวนการแก้ปัญหาของดิวอี้ (Dewey) กระบวนการแก้ปัญหาของบลูม (Bloom) กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา (Polya) กระบวนการแก้ปัญหาของบรูเนอร์ (Bruner) กระบวนการแก้ปัญหาของเวียร์ (Weir) และกระบวนการแก้ปัญหาของ

ทอแรนซ์ (Torrance) ซึ่งในกระบวนการแก้ปัญหาแต่ละประเภทนั้น มีขั้นตอนที่แตกต่างกันออกไป แสดงรายละเอียด ดังนี้

กระบวนการแก้ปัญหาของดิวอี้ (Dewey) เป็นการลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการคิดแก้ปัญหาของมนุษย์ ซึ่งจะลำดับได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 การเสนอปัญหา (Presentation of the problem) ทำได้โดยวิธีการสื่อภาษาหรือใช้วิธีอื่น

ขั้นที่ 2 กำหนดขอบเขตของปัญหาและแยกลักษณะสำคัญของปัญหา (Definition of problem) เพื่อทำให้ปัญหานั้นมีความชัดเจนขึ้น

ขั้นที่ 3 เสนอวิธีการแก้ปัญหา ด้วยการตั้งสมมติฐาน (Formulation of hypotheses) วิธีแก้ปัญหานั้นเป็นวิธีที่คาดว่าอาจจะใช้ในการแก้ปัญหาได้ ซึ่งอาจเสนอได้หลายวิธี

ขั้นที่ 4 ดำเนินการตรวจสอบ (Verification) โดยใช้วิธีการตรวจสอบตามข้อสมมติฐานที่ตั้งไว้ซึ่งมีหลายข้อ จนกระทั่งสามารถพบวิธีการแก้ปัญหาที่ถูกต้องและดีที่สุด

กระบวนการแก้ปัญหาของบลูม (Bloom) มี 6 ขั้น ดังนี้

ขั้นที่ 1 นักเรียนค้นพบปัญหา โดยคิดค้นสิ่งที่เคยพบเห็นและเกี่ยวข้องกับปัญหา

ขั้นที่ 2 นักเรียนสร้างรูปแบบของปัญหาขึ้นใหม่ โดยใช้ประโยชน์จากขั้นที่ 1

ขั้นที่ 3 นักเรียนแยกแยะปัญหาให้มีความชัดเจนขึ้น

ขั้นที่ 4 นักเรียนเลือกใช้ทฤษฎี หลักการ ความคิดและวิธีการที่เหมาะสมกับปัญหาที่แก้

ขั้นที่ 5 นักเรียนให้ข้อสรุปของวิธีการแก้ปัญหานั้น ๆ

ขั้นที่ 6 นักเรียนนำเสนอผลที่ได้จากการแก้ปัญหา

กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา (Polya) มีดังนี้

ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจในปัญหา โดยการพยายามทำความเข้าใจในสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในปัญหา รวมถึงมีการสรุป วิเคราะห์ แปลความ ทำความเข้าใจโจทย์ว่า ถามถึงอะไร ข้อมูลที่ให้มามีอะไรบ้างและเพียงพอหรือไม่

ขั้นที่ 2 การวางแผนในการแก้ปัญหา เป็นการวิเคราะห์ปัญหาออกเป็นส่วนย่อย ๆ เพื่อวางแผนและลำดับขั้นตอนในการแก้ปัญหา เช่น การลองผิดลองถูก การหา

ความสัมพันธ์ของข้อมูล การหารูปแบบ ตลอดจนการวิเคราะห์ความคล้ายคลึงกันของปัญหาที่เคยพบ

ขั้นที่ 3 การลงมือทำตามแผน เป็นการดำเนินการตามแผนที่วางไว้

ขั้นที่ 4 การตรวจสอบวิธีการและคำตอบของปัญหา เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

กระบวนการแก้ปัญหาของบรูเนอร์ (Bruner) มีดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นรู้จักปัญหา เป็นขั้นที่บุคคลรู้จักสิ่งเร้าที่ตนกำลังเผชิญอยู่ว่าเป็นปัญหา

ขั้นที่ 2 ขั้นแสวงหาเค้าเงื่อน เป็นขั้นที่ต้องใช้ความพยายามในการหาความสัมพันธ์กับประสบการณ์เดิม

ขั้นที่ 3 ขั้นตรวจสอบความถูกต้อง เป็นการตรวจสอบวิธีการต่าง ๆ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 4 ขั้นการตัดสินใจตอบสนอง เป็นการตัดสินใจใช้วิธีการแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับปัญหานั้น ๆ

กระบวนการแก้ปัญหาของเวียร์ (Weir) มีดังนี้

ขั้นที่ 1 การตั้งปัญหา เป็นการตั้งปัญหาโดยผู้เรียน

ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์ปัญหา เป็นการแยกแยะปัญหาให้มีความชัดเจนขึ้น

ขั้นที่ 3 การเสนอวิธีการแก้ปัญหา เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

ขั้นที่ 4 การตรวจสอบผลลัพธ์ เป็นการดำเนินการตรวจสอบผลของการแก้ปัญหา

กระบวนการแก้ปัญหาของทอแรนซ์ (Torrance) มีดังนี้

ขั้นที่ 1 การระดมสมองเพื่อค้นหาปัญหา

ขั้นที่ 2 การสรุปปัญหาที่สำคัญและสาเหตุ

ขั้นที่ 3 การระดมสมองเพื่อหาวิธีการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 4 การเลือกเกณฑ์เพื่อใช้ในการประเมินวิธีการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 5 การประเมินเพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

ขั้นที่ 6 การนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560, น. 57) ได้กล่าวถึงกระบวนการแก้ปัญหา ซึ่งมีอยู่ 4 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา เป็นขั้นที่พิจารณาถึงสถานการณ์ที่กำหนดให้เกี่ยวกับสิ่งที่ให้หา สิ่งที่กำหนดมา ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การวาดภาพ การเขียนด้วยภาษาของตนเอง การเขียนตาราง

ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา เป็นการพิจารณาเพื่อหาความสัมพันธ์เงื่อนไขของปัญหา เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาจากประสบการณ์ที่เคยพบ และเลือกวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา เป็นการลงมือแก้ปัญหาจากยุทธวิธีที่เลือกไว้ ปฏิบัติตามแผนจนได้มาซึ่งคำตอบ หากไม่สามารถดำเนินการได้ นักเรียนจะต้องตรวจสอบความถูกต้องของแต่ละขั้นตอนเพื่อเลือกยุทธวิธีใหม่จนกว่าจะได้มาซึ่งคำตอบ

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบ เป็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบและความสมเหตุสมผล โดยมีการมองย้อนกลับในแต่ละขั้นตอนเพื่อหายุทธวิธีอื่น ๆ ที่เหมาะสมและขยายแนวคิดเพื่อนำไปใช้กับสถานการณ์อื่น ๆ

สรุปได้ว่า กระบวนการในการแก้ปัญหา สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้อย่างหลากหลาย แต่โดยภาพรวมพบว่า กระบวนการในการแก้ปัญหาในขั้นแรก คือ การทำความเข้าใจปัญหาจากการวิเคราะห์ ตีความแล้วเรียบเรียงด้วยภาษาของตนเอง จากนั้นจึงวางแผนเพื่อแก้ปัญหาด้วยยุทธวิธีที่เหมาะสมเพื่อให้สัมพันธ์กับปัญหานั้น ๆ ต่อมาจึงดำเนินการตามแผนที่วางไว้ เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบหรือทางออกของปัญหาและในขั้นตอนสุดท้าย คือ การตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบ ตรวจสอบขั้นตอนต่าง ๆ และประเมินยุทธวิธีที่เลือกใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อหายุทธวิธีที่เหมาะสมที่สุด จากกระบวนการแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเลือกใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา หรือ เทคนิคของโพลยา เนื่องจากสอดคล้องกับขั้นตอนในการแก้ปัญหาดังกล่าว

5.3 กระบวนแก้ปัญหาในรายวิชาเคมี

นักวิจัยทั้งในและต่างประเทศหลายท่าน ศึกษากระบวนแก้ปัญหาในรายวิชาเคมีดังนี้

บิลกิน (Bilgin, 2005, pp. 628-635) ได้กล่าวถึง กระบวนการแก้ปัญหาในรายวิชาเคมี ว่าเป็นสิ่งที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียน ซึ่งกระบวนการที่ใช้ในการแก้ปัญหาเคมี เริ่มต้นจากการทำความเข้าใจปัญหาก่อน แล้วจึงหายุทธวิธีในการแก้ปัญหาเพื่อดำเนินการแก้ปัญหาตามยุทธวิธีที่วางแผนไว้ให้ได้มาซึ่งคำตอบ เมื่อได้คำตอบแล้วจึงมีการตรวจสอบขึ้น กระบวนการในการแก้ปัญหานี้จะช่วยให้นักเรียนได้คิดอย่างเป็นระบบและได้สะท้อนพฤติกรรมการแก้ปัญหาอย่างชัดเจน สร้างการเรียนรู้ที่มีความหมายให้กับนักเรียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเสริมการที่ให้นักเรียนได้ร่วมอภิปราย แบ่งปันความคิด การรับฟัง

ความคิดเห็นของผู้อื่น ก็จะช่วยพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาได้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในเรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ อัตราการเกิดปฏิกิริยา สมดุลเคมีหรือกรดและเบส

นอกจากนี้ จรรยา ดาสา (2553, น. 44-48) ได้กล่าวถึง การจัดการเรียนรู้ในวิชาเคมีที่มีการคำนวณ ว่า การแก้โจทย์ปัญหานับเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะการจัดการเรียนรู้ในเนื้อหาดังกล่าว มุ่งให้นักเรียนค้นหาคำตอบที่เป็นตัวเลข ดังนั้นกระบวนการแก้ปัญหา จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ซึ่งในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี มี 4 ขั้นตอน คือ 1) การทำความเข้าใจปัญหา โดยนักเรียนจะต้องเข้าใจปัญหาว่า ปัญหาถามอะไร มีข้อมูลอะไรแล้วบ้าง มีเงื่อนไขหรือข้อมูลอะไรเพิ่มเติมหรือไม่ 2) วางแผนแก้ปัญหา เป็นการนำข้อมูลจากที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 ประกอบกับความรู้ที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการแก้ปัญหาสำหรับโจทย์ปัญหาเคมีนั้น นักเรียนจะต้องทราบว่ามีมโนทัศน์อะไรบ้างที่เกี่ยวข้องสำหรับการแก้โจทย์ปัญหานี้และควรใช้วิธีการคำนวณแบบใดจึงจะสะดวกและเหมาะสม 3) ดำเนินการแก้ปัญหาและประเมินผล เป็นการลงมือแก้ปัญหา ตามที่ได้วางแผนไว้และประเมินว่าวิธีที่ใช้มีความถูกต้องได้มาซึ่งคำตอบหรือไม่ ถ้าไม่ได้ต้องกลับไปพิจารณาว่าวิธีการที่ได้วางแผนนั้นถูกต้อง ครบถ้วนหรือไม่ 4) ตรวจสอบการแก้ปัญหา เป็นการตรวจสอบทั้งคำตอบและกระบวนการในการแก้ปัญหา เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ต่อในปัญหาหรือสถานการณ์อื่น

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ากระบวนแก้ปัญหาในรายวิชาเคมี มีกระบวนการ คือ เริ่มต้นจากการเข้าใจปัญหา การวางแผนหายุทวิธีในการแก้ปัญหาและดำเนินการเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบโดยมีการตรวจคำตอบเป็นกระบวนการสุดท้าย ซึ่งสอดคล้องกับเทคนิคของโพลยา

5.4 องค์ประกอบที่ช่วยในการแก้โจทย์ปัญหา

นักการศึกษาหลายท่าน ได้กล่าวถึง องค์ประกอบที่ช่วยในการแก้ปัญหา ไว้อย่างหลากหลาย ดังนี้

สุวร กาญจนมยูร (2533, น. 3-4) ได้กล่าวถึง องค์ประกอบที่ช่วยในการแก้โจทย์ปัญหา คือ

1) องค์ประกอบที่เกี่ยวกับภาษา ครูต้องฝึกให้นักเรียนมีความสามารถในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ทักษะการอ่าน ทักษะการจับใจความและการรู้จักใช้ความหมายของคำได้ถูกต้อง

2) องค์ประกอบเกี่ยวกับความเข้าใจ ครูต้องฝึกให้นักเรียนตีความและแปลความหมายจากข้อความของโจทย์ปัญหา จึงต้องให้นักเรียนมีทักษะด้านต่าง ๆ ได้แก่ ทักษะการจับใจความ ทักษะการตีความหมายและแปลความหมาย ทักษะในการสร้างโจทย์ปัญหา

3) องค์ประกอบเกี่ยวกับการคิดคำนวณ ครูต้องฝึกให้นักเรียนมีความสามารถในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ทักษะการบวก ลบ คูณ หารจำนวน ทักษะการยกกำลัง การหารากที่สองและรากที่สามของจำนวน ทักษะการแก้สมการ

4) องค์ประกอบเกี่ยวกับการย่อความและสรุปความ ครูต้องฝึกให้นักเรียนมีความสามารถในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ทักษะในการย่อความ และทักษะในการสรุปความจากโจทย์ปัญหาให้ชัดเจนตามประเด็น

5) องค์ประกอบเกี่ยวกับการฝึกการแก้โจทย์ปัญหา โดยนักเรียนแต่ละคนมีกระบวนการเรียนรู้ สร้างความรู้ความเข้าใจได้แตกต่างกัน การฝึกการแก้โจทย์ปัญหา ครูจึงต้องเริ่มในลักษณะค่อย ๆ เป็นค่อย ๆ ไป ได้แก่ การฝึกทักษะตามตัวอย่าง ฝึกทักษะจากการแปลและฝึกทักษะจากหนังสือเรียน

กรมวิชาการ (2544, น. 38-40) ได้กล่าวถึงองค์ประกอบที่ช่วยในการแก้โจทย์ปัญหามีรายละเอียดดังนี้

1) ประสบการณ์ เช่น พื้นฐานความรู้ของนักเรียน วิธีการแก้โจทย์ปัญหาที่เคยพบ ลักษณะของโจทย์ปัญหาที่คุ้นเคย อายุ สิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัว

2) จิตพิสัย เช่น ความพยายามในการแก้โจทย์ปัญหา ความอดทน ความสนใจ ความตั้งใจ ความกระตือรือร้น

3) สติปัญญา เช่น ความจำ ความสามารถในการอ่าน ความสามารถในการวิเคราะห์โจทย์ ความสามารถในการให้เหตุผล ความสามารถในการคิดคำนวณ

นักเรียนบางคนไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ เนื่องจากไม่มีความรู้พื้นฐานในเรื่องนั้น ขาดความกระตือรือร้น มีความเครียดสูง ไม่คุ้นเคยกับปัญหาลักษณะนั้น นอกจากนี้คนสองคนอาจจะคิดได้คำตอบที่เหมือนกันแต่วิธีการคิดแตกต่างกัน ในการแก้โจทย์ปัญหาจึงเป็นสิ่งที่ยากที่จะตัดสินว่าวิธีการใดดีที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของโจทย์ปัญหานั้น

สรุปได้ว่า องค์ประกอบที่ช่วยในการแก้โจทย์ปัญหานั้นแตกต่างกันตามแนวคิดของนักการศึกษา โดยรวมแล้วขึ้นอยู่กับตัวของนักเรียนเอง ซึ่งเกี่ยวข้องกับ ประสบการณ์ที่เคยได้รับ สติปัญญา โดยมีองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ องค์ประกอบเกี่ยวกับภาษา ความเข้าใจ การคิดคำนวณ การย่อความสรุปความ นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับ จิตพิสัย ที่หมายถึง ความตั้งใจ ความพยายาม รวมถึงการฝึกการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งองค์ประกอบที่ได้กล่าวมานี้ ส่วนใหญ่ครูสามารถฝึกให้เกิดผลกับนักเรียนได้ อาจเป็นในลักษณะค่อย ๆ เป็น ค่อย ๆ ไป ที่สามารถสอดแทรกเข้าไปในการจัดการเรียนรู้

5.5 ความหมายของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

นักการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ ได้กล่าวถึง ความหมายของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ไว้อย่างหลากหลาย ดังนี้

ทอแรนซ์ (Torrance, 1994, pp. 69-81) ได้กล่าวถึงความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ว่ามีความหมายคือ กระบวนการในการตระหนักในปัญหา วิเคราะห์ข้อมูล ตรวจสอบสมมติฐาน ทดสอบ ปรับปรุงสมมติฐานและสื่อสารอย่างมีเหตุมีผล

ลัมส์เดน (Lamsdaine, 1995, pp. 1-8) ได้กล่าวถึงความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ว่ามีความหมายคือ ความสามารถในการค้นพบจัดการกับวิกฤตการ แล้วทำการวิเคราะห์คำหรือข้อความสำคัญในโจทย์ปัญหานั้น ๆ

กรมวิชาการ (2540, น. 1) ได้กล่าวถึงความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ว่ามีความหมายคือ การที่นักเรียนได้ใช้ศักยภาพในการวิเคราะห์ ประยุกต์ศักยภาพเหล่านั้นไปสู่สถานการณ์ใหม่ เพื่อเรียนรู้ข้อเท็จจริง ทักษะ ความคิดรวบยอดและหลักการต่าง ๆ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2556, น. 12) ได้กล่าวถึงความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ว่ามีความหมาย คือ ความสามารถในการทำความเข้าใจโจทย์ปัญหา คิดวิเคราะห์ วางแผนแก้โจทย์ปัญหา เลือกใช้วิธีการที่เหมาะสม มุ่งมั่นแก้โจทย์ปัญหาโดยคำนึงถึงความสมเหตุสมผลของคำตอบพร้อมตรวจสอบความถูกต้อง

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา หมายถึง ความสามารถในการตระหนักถึงปัญหา โดยใช้ศักยภาพในการวิเคราะห์ข้อความในโจทย์ปัญหานั้น ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริง ทักษะ มโนทัศน์และหลักการต่าง ๆ

5.6 แนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

นักการศึกษาทั้งในและต่างประเทศ ได้กล่าวถึง แนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ไว้อย่างหลากหลาย โดยกรมวิชาการ (2540, น. 3) ได้กล่าวว่า การที่จะแก้โจทย์ปัญหาได้นั้น จะต้องรู้จักเลือกใช้ยุทธวิธีให้เหมาะสมกับปัญหา นอกจากนี้ยังทำให้แก้ปัญหาได้ง่ายและรวดเร็ว โดยสิ่งที่จะต้องตระหนักถึงยุทธวิธีในการแก้ปัญหา คือ ยุทธวิธีทั้งหลายสามารถประยุกต์ใช้กับปัญหาที่มีอยู่อย่างหลากหลาย ใช้ได้ในแนวทางต่างกัน สำหรับปัญหาที่ต่างกัน หรือในปัญหาที่เหมือนกัน ไม่จำเป็นเสมอที่จะใช้ยุทธวิธีที่เฉพาะเจาะจง ดังนั้นเลือกใช้ยุทธวิธีมีความสำคัญพอ ๆ กับความถูกต้องของการแก้ปัญหา เมื่อแก้ปัญหาได้คำตอบไม่ถูกต้อง นักเรียนควรมีโอกาสเลือกและลองใช้ยุทธวิธีการแก้ปัญหาแบบอื่น ๆ โดยนักเรียนจะไม่บรรลุผลในระดับเดียวกันทั้งหมดในการใช้แต่ละยุทธวิธี

สำหรับการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา มีดังนี้

บิทเทอร์ (Bitter, 1990, pp. 43-44) กล่าวว่า

1) ควรเลือกโจทย์ปัญหาที่น่าสนใจและมีระดับความยากง่ายที่เหมาะสม

2) ควรแบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่มย่อย ๆ เพื่อให้ร่วมกันแก้โจทย์ปัญหา เป็นการฝึกให้นักเรียนรู้จักการทำงานร่วมกัน

3) ควรกระตุ้นให้นักเรียนนำข้อมูลที่โจทย์กำหนดมาให้ไปใช้ในการแก้ปัญหา และพิจารณาข้อมูลอื่นที่ต้องใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา

4) ควรกระตุ้นให้นักเรียนระบุถึงสิ่งที่โจทย์ถามหา หากนักเรียนไม่สามารถระบุได้ ให้นักเรียนทบทวนใหม่อีกครั้ง ถ้านักเรียนไม่สามารถระบุได้จริง ๆ ครูสามารถอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับความหมายของคำที่ใช้ในโจทย์ปัญหานั้นให้นักเรียนทราบได้

5) ควรให้ฝึกการแก้โจทย์ปัญหาหลาย ๆ รูปแบบ เพื่อไม่ให้รู้สึกเบื่อกับการแก้โจทย์ปัญหาที่ซ้ำซาก ไม่ท้าทายความสามารถ

6) ควรให้นักเรียนทำการแก้โจทย์ปัญหาบ่อย ๆ จนเคยชินว่าเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการจัดการเรียนรู้

7) ควรส่งเสริมให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาหลาย ๆ ข้อ โดยใช้วิธีการเดียวกัน เพื่อจะได้ฝึกทักษะและส่งเสริมให้ใช้การแก้โจทย์ปัญหาหลาย ๆ วิธีในข้อเดียวกัน เพื่อให้เห็นว่ายังมีวิธีการอื่น ๆ อีกที่จะใช้แก้โจทย์ปัญหาข้อนั้นได้

8) ควรช่วยเหลือนักเรียนในการเลือกวิธีการแก้โจทย์ปัญหาที่เหมาะสมสำหรับรูปแบบเฉพาะข้อนั้น ๆ

9) ควรให้นักเรียนพิจารณาว่า โจทย์ปัญหาในข้อนั้นคล้ายกับปัญหาที่เคยพบมาก่อนหรือไม่

10) ควรให้เวลากับนักเรียนในการลงมือแก้โจทย์ปัญหา อภิปรายผลการแก้โจทย์ปัญหาและวิธีการดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา

11) ควรให้นักเรียนฝึกการคาดคะเนคำตอบและการทดสอบคำตอบที่ได้ เพื่อประหยัดเวลาในการแก้โจทย์ปัญหา

จรรยา ดาสา (2553, น. 44-48) ได้กล่าวถึงแนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ไว้ว่า หลักการแก้โจทย์ปัญหาโดยเฉพาะในรายวิชาเคมี คือ 1) การเข้าใจโจทย์หรือการตีโจทย์ 2) การเชื่อมโยงแนวคิดที่เกี่ยวข้อง 3) เลือกหาวิธีการแก้โจทย์ให้เหมาะสม และ 4) ตรวจวิธีการและคำตอบ จะเห็นได้ว่าต้องเริ่มต้นตั้งแต่ การสอนให้นักเรียนเข้าใจโจทย์หรือ

การตีโจทย์ ซึ่งมีคำถามหลัก ๆ เพียง 4 คำถาม ดังนี้ โจทย์ต้องการให้เราหาอะไร เราต้องทราบข้อมูลอะไรบ้าง เพื่อที่จะใช้ในการหาคำตอบ โจทย์ให้ข้อมูลอะไรที่จำเป็นสำหรับการแก้โจทย์ปัญหาบ้าง และมีข้อมูลอะไรที่เราต้องการทราบเพิ่มเติมบ้าง เมื่อนักเรียนวิเคราะห์โจทย์ได้แล้ว นักเรียนจะสามารถนำความรู้ที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาต่อไป สำหรับวิธีการเลือกวิธีการแก้โจทย์ปัญหานั้น ขึ้นอยู่กับความถนัดของนักเรียน ครูจะต้องนำเสนอวิธีการคิดที่หลากหลาย ไม่จำกัดให้เลือกใช้แบบใดแบบหนึ่ง สำหรับในรายวิชาเคมี หากนักเรียนใช้สูตรในการแก้โจทย์ปัญหา ควรระมัดระวังการจดจำสูตรโดยไม่เข้าใจอย่างแท้จริง ทำให้นักเรียนไม่สามารถนำไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาที่ยากและซับซ้อนได้ ที่สำคัญการแก้โจทย์ปัญหาเป็นทักษะที่ต้องฝึกทำบ่อย ๆ ให้เกิดความชำนาญ ครูจะต้องเตรียมโจทย์ที่หลากหลายให้นักเรียนได้ฝึกฝนอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเป็นการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาและนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์อื่น ๆ ได้อีกด้วยแต่ทั้งนี้แนวคิดของนักเรียนที่นำมาใช้นั้นจะต้องถูกต้องครบถ้วน ซึ่งจากงานวิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้เนื่องจากนักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อนในเรื่องนั้น ๆ

นอกจากนี้ มีนักการศึกษาได้สรุปแนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา โดยจำแนกตามขั้นตอนของกระบวนการในการแก้ปัญหา ดังนี้

ปรีชา เนาว์เย็นผล (2538, น. 66-67) ได้กล่าวถึงแนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ไว้ดังนี้

1) การพัฒนาความสามารถในการทำความเข้าใจโจทย์ปัญหา

1.1) ควรพัฒนาทักษะการอ่าน จากข้อความในโจทย์ โดยให้นักเรียนฝึกอ่าน ฝึกทำความเข้าใจจากตัวอย่างที่ครูนำเสนอ อาจทำเป็นรายบุคคลหรือเป็นกลุ่มย่อย มีการตีความโจทย์ปัญหาร่วมกัน วิเคราะห์ข้อมูลที่กำหนดให้ว่าเพียงพอหรือไม่ เพื่อหาความเป็นไปได้ของการได้มาซึ่งคำตอบ

1.2) ควรใช้วิธีการต่าง ๆ ที่ช่วยให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้น เช่น การเขียนภาพ เขียนแผนภาพหรือสร้างแบบจำลอง เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลต่าง ๆ ของโจทย์ปัญหา จะทำให้ปัญหามีความเป็นรูปธรรมมากขึ้น สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น

1.3) ควรใช้โจทย์ปัญหาที่ใกล้ตัว หรือเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมาให้นักเรียนฝึกทำเพื่อความเข้าใจ เช่น การนำโจทย์ปัญหาที่กำหนดข้อมูลให้เกินความจำเป็น หรือกำหนดข้อมูลให้ไม่เพียงพอมาให้นักเรียนฝึกวิเคราะห์ความจำเป็นของข้อมูลในโจทย์

2) การพัฒนาความสามารถในการวางแผนการแก้ปัญหาโจทย์

2.1) ต้องไม่บอกวิธีการแก้โจทย์ปัญหากับนักเรียนโดยตรง แต่ควรใช้วิธีการกระตุ้นให้คิดด้วยตนเอง เช่น การใช้คำถามนำ โดยอาศัยข้อมูลต่าง ๆ ที่โจทย์ปัญหากำหนดให้ หยุดใช้คำถามเมื่อนักเรียนมองเห็นแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา

2.2) ควรส่งสเริมให้นักเรียนคิดออกมาดัง ๆ คือ บอกให้คนอื่นทราบถึงกระบวนการคิดของตนเอง หรือการเขียนแผนภาพ ลำดับขั้นตอนความคิด เพื่อร่วมกันอภิปรายหาแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหาที่เหมาะสม

2.3) ควรส่งเสริมให้นักเรียนคิดวางแผนก่อนลงมือปฏิบัติเสมอ เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของแนวทางในการแก้ปัญหา ซึ่งควรย้ำนักเรียนว่าไม่ควรให้ความสำคัญแต่เพียงคำตอบ แต่สิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ กระบวนการในการแก้ปัญหา เพราะจะสามารถนำไปใช้ได้ในสถานการณ์ที่หลากหลายมากกว่า

2.4) ควรจัดหาโจทย์ปัญหามาให้นักเรียนฝึกบ่อย ๆ ซึ่งต้องเป็นโจทย์ปัญหาที่ท้าทายและน่าสนใจ

2.5) ควรส่งเสริมให้รู้จักใช้ยุทธวิธีในการแก้โจทย์ปัญหาแต่ละข้อให้มากกว่า 1 วิธีเพื่อให้นักเรียนมีความยืดหยุ่นในการคิดและจะมีโอกาสได้ฝึกการวางแผนมากขึ้น

3) การพัฒนาความสามารถในการดำเนินการตามแผน

3.1) ควรฝึกให้นักเรียนลงมือแก้ปัญหาและดำเนินการตามแผนที่วางไว้

3.2) ควรให้นักเรียนฝึกการตรวจสอบการวางแผนก่อนที่จะลงมือปฏิบัติตามแผน โดยพิจารณาความเป็นไปได้ ความถูกต้องของแผนที่วางไว้และพิจารณาวิธีการเหมาะสมถูกต้องกับการแก้ปัญหานั้น ๆ หรือไม่

4) การพัฒนาความสามารถในการตรวจสอบผลหรือคำตอบ

4.1) ควรกระตุ้นให้นักเรียนเห็นความสำคัญของการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการและคำตอบให้เป็นนิสัย ซึ่งครูอาจสร้างกิจกรรมที่ฝึกให้นักเรียนได้ตรวจสอบ หาข้อบกพร่องของการแก้ปัญหาให้เป็น จากสถานการณ์ที่ครูกำหนดให้

4.2) ควรกระตุ้นให้นักเรียนตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบ จากการตีความหมายของคำตอบให้สอดคล้องกับสิ่งที่โจทย์ถาม

4.3) ควรสนับสนุนให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด โดยใช้วิธีการหาคำตอบได้มากกว่า 1 วิธี เพื่อเป็นการตรวจสอบวิธีการที่ใช้นั้นกับวิธีการอื่นที่สามารถใช้หาคำตอบในโจทย์ปัญหานั้นได้อีก

4.4) ควรให้นักเรียนฝึกหัดสร้างโจทย์ปัญหาเกี่ยวกับเนื้อหาที่เรียน เพื่อช่วยทำให้มีความเข้าใจในโครงสร้างของปัญหาทำให้สามารถมองเห็นแนวทางในการคิดแก้โจทย์ปัญหาด้วยวิธีอื่น ๆ ได้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546, น. 82) ได้กล่าวถึงแนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้พัฒนาความสามารถด้านต่าง ๆ ดังนี้

1) ความสามารถในการเข้าใจปัญหา นักเรียนควรได้รับการฝึกฝนให้อ่านและทำความเข้าใจปัญหา โดยเริ่มจากการตั้งคำถามเพื่อเป็นแนวทางที่ใช้ระบุประเด็นปัญหา ตัวแปรสำคัญ และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแล้วเพิ่มความซับซ้อนของปัญหาโดยเปลี่ยนแปลงขนาดของปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคำถามที่อยู่ในปัญหา

2) ความสามารถในการวางแผนแก้ปัญหา นักเรียนควรได้รับการฝึกฝนให้แก้ปัญหาที่หลากหลายและแปลกใหม่ เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนมีการคิดวางแผนด้วยตนเองก่อนลงมือและควรฝึกฝนการคิดวางแผนอย่างสม่ำเสมอ

3) ความสามารถในการดำเนินการแก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ นักเรียนควรฝึกการแสดงวิธีการหาคำตอบตามลำดับความคิดที่วางแผนไว้ ทั้งนี้ในขณะที่ดำเนินการแก้ปัญหาควรได้บันทึกรายละเอียดของการแก้ปัญหาไว้ด้วย

4) ความสามารถในการตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบและวิธีการแก้ปัญหาด้วยขั้นตอนดังนี้ การมองย้อนกลับเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการ และการขยายมโนทัศน์เพื่อไปใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาอื่น ๆ ที่มีลักษณะเดียวกัน แนวทางการฝึกฝนนักเรียนให้มีความรู้ความสามารถ มีดังนี้

4.1) กระตุ้นให้มองเห็นความสำคัญของการตรวจสอบคำตอบที่ได้

4.2) ฝึกฝนให้คาดคะเนคำตอบและตระหนักถึงความสมเหตุสมผลของคำตอบ

4.3) ฝึกให้สามารถตีความหมายของคำตอบ

4.4) ส่งเสริมให้ทำแบบฝึกหัดที่มีวิธีการหาคำตอบได้หลายวิธี

4.5) ฝึกให้สร้างโจทย์ที่เกี่ยวข้องกับสาระการเรียนรู้ด้วยตนเอง

4.6) ฝึกให้หาข้อสรุปทั่วไปจากการแก้โจทย์ปัญหา

ดังนั้นสรุปได้ว่า แนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา คือ ควรเริ่มจากการที่ครูเลือกโจทย์ปัญหาที่กระตุ้นความสนใจนักเรียน เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน และมี

ความยาก - ง่ายที่หลากหลายเพื่อให้นักเรียนทุกคนมีโอกาสประสบความสำเร็จ เมื่อนักเรียนเริ่มกระบวนการแก้โจทย์ปัญหา ครูควรช่วยถามคำถามเพื่อให้นักเรียนเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับโจทย์ปัญหา ตีความและสรุปความได้ ให้อิสระทางความคิดในการเลือกใช้วิธีการแก้โจทย์ปัญหา โดยสนับสนุนให้ใช้วิธีการที่หลากหลาย เน้นว่า วิธีการแก้โจทย์ปัญหานั้นสำคัญกว่าคำตอบที่ได้ และกระตุ้นให้เห็นถึงความสำคัญของการตรวจคำตอบ

5.7 แนวทางการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

นักการศึกษา ได้กล่าวถึง แนวทางการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาไว้อย่างหลากหลาย ดังนี้

ชนาธิป พรกุล (2557, น. 268) ได้กล่าวถึงตัวบ่งชี้ ที่ทำให้ทราบว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา คือ

1) สามารถระบุความต้องการของโจทย์และสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ได้

2) สามารถแยกแยะข้อมูลที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับโจทย์

3) สามารถวางแผนเพื่อแก้ปัญหาโจทย์ที่เกี่ยวกับตัวเลขด้วยวิธีหลากหลาย

4) สามารถแก้ปัญหาโจทย์ตามแผนอย่างมีลำดับขั้นตอน

5) สามารถตรวจสอบคำตอบหรือพิสูจน์คำตอบได้

6) สามารถสรุปคำตอบ

ดังนั้นการที่จะทราบว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหามากน้อยเพียงใด จะต้องตรวจสอบด้วยเครื่องมือที่ใช้วัด

กรมวิชาการ (2541, น. 51) ได้กล่าวว่าในการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ครูสามารถใช้วิธีตรวจสอบได้อย่างหลากหลาย แบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

1) การใช้แบบวัด

แบบวัดมีหลายประเภท ได้แก่ แบบวัดแบบปรนัย เช่น แบบเลือกตอบ แบบเติมคำหรือจำนวนให้สมบูรณ์ แบบถูก-ผิด แบบโยงคำตอบ เป็นต้น และแบบวัดแบบอัตนัย โดยให้แสดงวิธีทำหรือเขียนอธิบายวิธีการหาคำตอบ

2) การไม่ใช้แบบวัด

เป็นวิธีที่ครูใช้เป็นอัตโนมัติ คือ การสังเกตพฤติกรรมการทำงานของนักเรียน สามารถทำให้ครูศึกษาจุดเด่น จุดด้อยของนักเรียนเพื่อช่วยเหลือนักเรียนในการแก้โจทย์ปัญหาได้

3) การประเมินชิ้นงาน

เป็นวิธีการที่สามารถชี้ให้เห็นความสามารถที่แท้จริงของนักเรียน

สมบูรณ์ ชิตพงศ์ (2549, น. 15-16) ได้กล่าวถึงการแก้โจทย์ปัญหา ว่าเป็นพฤติกรรมหรือคุณลักษณะที่บุคคลเลือกกระทำหรือปฏิบัติในการหาทางออกกับปัญหาหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ที่ต้องเผชิญ ดังนั้นในการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาจึงไม่ได้มุ่งหวังเพื่อตรวจสอบว่าผลที่ได้จะถูกหรือผิด แต่มุ่งหวังว่าบุคคลจะเลือกกระทำหรือปฏิบัติในพฤติกรรมที่มีประสิทธิภาพสูงต่อการจัดการกับปัญหาหรือสถานการณ์นั้น ๆ ซึ่งความไม่สามารถในการแก้โจทย์ปัญหามีอยู่ 2 ลักษณะเป็นอย่างน้อย คือ ลักษณะที่ 1 แก้โจทย์ปัญหาไม่ถูกต้องหรือหาคำตอบไม่ได้ เพราะเลือกใช้วิธีในการแก้โจทย์ปัญหาที่ไม่ถูกต้อง หรือเลือกวิธีที่ไม่มีประสิทธิภาพ ลักษณะที่ 2 การแก้โจทย์ปัญหาไม่ถูกทั้ง ๆ ที่เลือกวิธีการที่มีประสิทธิภาพแล้วแต่ขาดความสามารถที่จะใช้วิธีการนั้นแก้ปัญหาได้สำเร็จ ซึ่งในการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาที่ก่อให้เกิดประโยชน์นั้น ต้องสามารถใช้ผลมาแก้ไขความบกพร่องของนักเรียนได้สำเร็จ ต้องทำให้ทราบว่านักเรียนผิดในจุดใด แบบวัดจึงควรแสดงให้เห็นว่านักเรียนใช้วิธีการใดในการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของกรมวิชาการ (2544, น. 111-114)

กรมวิชาการ (2544, น. 111-114) ได้กล่าวถึงการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาว่าส่วนมาก ทำโดยการให้นักเรียนทำแบบวัดแบบเลือกตอบ ซึ่งเป็นวิธีที่เน้นการได้คำตอบที่ถูกต้อง แต่ขาดการแสดงกระบวนการคิด ดังนั้นในการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาครูอาจใช้แบบวัดแบบเติมคำตอบ แบบแสดงวิธีทำ หรือการสัมภาษณ์ ซึ่งควรจะมีวิธีการที่มากกว่าการได้คำตอบที่ถูกต้อง โดยเกณฑ์การประเมินจะจำแนกตามขั้นตอนของกระบวนการแก้ปัญหาทั้ง 4 ขั้นตอน แบ่งระดับคุณภาพ เป็น 3 ระดับ คือ 0,1 และ 2 ดังนี้

1) ความเข้าใจปัญหา

2 คะแนน คือ มีความเข้าใจปัญหาที่ถูกต้อง

1 คะแนน คือ มีความเข้าใจโจทย์ปัญหาบางส่วนไม่ถูกต้อง

0 คะแนน คือ มีหลักฐานที่แสดงว่าเข้าใจน้อยมากหรือไม่เข้าใจเลย

2) การเลือกยุทธวิธีการแก้ปัญหา

2 คะแนน คือ เลือกวิธีการแก้ปัญหาได้ถูกต้องและเขียนสมการถูก

1 คะแนน คือ เลือกวิธีการแก้ปัญหา ซึ่งอาจนำไปสู่คำตอบที่ถูกแต่ยังมีบางส่วนผิดโดยอาจเขียนสมการไม่ถูกต้อง

0 คะแนน คือ เลือกวิธีการแก้ปัญหาไม่ถูกต้อง

3) การใช้ยุทธวิธีการแก้ปัญหา

2 คะแนน คือ นำยุทธวิธีการแก้ปัญหาไปใช้ได้ถูกต้อง

1 คะแนน คือ นำวิธีการแก้ปัญหาบางส่วนไปใช้ได้ถูกต้อง

0 คะแนน คือ ใช้ยุทธวิธีการแก้ปัญหาไม่ถูกต้อง

4) การตอบ

2 คะแนน คือ ตอบคำถามได้ถูกต้องสมบูรณ์

1 คะแนน คือ ตอบที่ไม่สมบูรณ์หรือใช้สัญลักษณ์ผิด

0 คะแนน คือ ไม่ได้ระบุคำตอบ

นอกจากนี้ยังมีการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหาตามสภาพจริง โดยมีอยู่ 2 รูปแบบ

1) รูปแบบที่ 1 เป็นการให้คะแนนที่แบ่งระดับของคะแนนอย่างชัดเจนทุกขั้นตอน การให้คะแนนมีดังนี้

0 คะแนน คือ การที่ไม่ได้แสดงความพยายามในการแก้โจทย์ปัญหาเลย

1 คะแนน คือ การแสดงความพยายามให้การแก้ปัญหาบ้าง แต่ไม่ได้แสดงความก้าวหน้าในการหาคำตอบที่ถูก

2 คะแนน คือ ใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาที่เป็นไปได้ถึงแม้จะยังไม่ได้คำตอบ

3 คะแนน คือ ใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาที่ถูกต้อง แต่มีการคิดคำนวณผิดเล็กน้อย

4 คะแนน คือ ใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาได้ถูกต้อง ทำให้ได้คำตอบที่ถูกและมีการอธิบายคำตอบนั้น

+1 คะแนน คือ ใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาที่ชัดเจน อธิบายขั้นตอนการได้มาซึ่งคำตอบที่ถูกต้อง

2) รูปแบบที่ 2 เป็นการให้คะแนนที่กำหนดเพียงกรอบเท่านั้น การให้คะแนนมีดังนี้

4 คะแนน คือ มีวิธีการทำและคำตอบที่ถูกต้องสมบูรณ์

3 คะแนน คือ มีการแสดงวิธีทำและคำตอบที่เกือบถูกต้องและสมบูรณ์ มีที่ผิดเพียงเล็กน้อย

2 คะแนน คือ มีการแสดงวิธีทำได้ถูกต้องเพียงครึ่งเดียว หรือแสดงวิธีทำถูกแต่คำตอบผิดหรือไม่ชัดเจนว่าหาคำตอบมาได้อย่างไร

1 คะแนน คือ มีการทำถูกไม่ถึงครึ่งหนึ่งและขาดเหตุผลในการคิด

0 คะแนน คือ มีการแสดงวิธีทำผิดทั้งข้อและคำตอบผิด

หลังจากที่ครูประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาแล้ว ครูควรแจ้งผลการประเมินให้นักเรียนทราบทันที โดยให้นักเรียนดูวิธีการที่ตนคิดและแก้โจทย์ปัญหา ตลอดจนผลการตรวจของครู ครูอาจเขียนความผิดพลาดของนักเรียนไว้ ให้ทราบข้อบกพร่องของตนเองเพื่อให้ได้แก้ไขและปรับปรุงตนเองต่อไป

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2546, น. 105-106) ได้กล่าวถึงเกณฑ์ในการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเช่นกัน ว่า สามารถพิจารณาได้จากรายการประเมิน 4 องค์ประกอบ คือ ความเข้าใจปัญหา การเลือกยุทธวิธีการแก้ปัญหา การใช้ยุทธวิธีการแก้ปัญหาและการสรุปคำตอบ แต่ได้กำหนดระดับคุณภาพที่แตกต่างจากกรมวิชาการ ซึ่ง เป็น 3 ระดับ คือ 1,2 และ 3 ดังตาราง 7

ตาราง 7 เกณฑ์การประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

รายการประเมิน	**ระดับคุณภาพ**	**เกณฑ์การพิจารณา**
1. ความเข้าใจปัญหา	3 (ดี)	เข้าใจปัญหาได้ถูกต้อง
	2 (พอใช้)	เข้าใจปัญหาบางส่วนไม่ถูกต้อง
	1 (ต้องปรับปรุง)	เข้าใจปัญหาน้อยมากหรือไม่เข้าใจปัญหา
2. การเลือกยุทธวิธีการแก้ปัญหา	3 (ดี)	เลือกวิธีการแก้ปัญหาได้เหมาะสมและเขียนสมการได้ถูกต้อง
	2 (พอใช้)	เลือกวิธีการแก้ปัญหา ซึ่งอาจนำไปสู่คำตอบที่ถูกแต่ยังมีบางส่วนผิดโดยอาจเขียนสมการไม่ถูกต้อง
	1 (ต้องปรับปรุง)	เลือกวิธีการแก้ปัญหาส่วนใหญ่ไม่ถูกต้อง
3. การใช้ยุทธวิธีการแก้ปัญหา	3 (ดี)	นำวิธีการแก้ปัญหาไปใช้ได้ถูกต้อง
	2 (พอใช้)	นำวิธีการแก้ปัญหาไปใช้ได้ถูกต้องเป็นบางครั้ง
	1 (ต้องปรับปรุง)	นำวิธีการแก้ปัญหาไปใช้ได้ไม่ถูกต้อง

ตาราง 7 (ต่อ)

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ	เกณฑ์การพิจารณา
4. การสรุปคำตอบ	3 (ดี)	สรุปคำตอบได้ถูกต้อง สมบูรณ์
	2 (พอใช้)	สรุปคำตอบที่ไม่สมบูรณ์
	1 (ต้องปรับปรุง)	ไม่มีการสรุปคำตอบ

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2546).คู่มือวัดผลประเมินผลคณิตศาสตร์. หน้า 106.

สรุปได้ว่า ตัวบ่งชี้ว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเพียงใด คือ นักเรียนสามารถระบุความต้องการของโจทย์และสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ได้ แยกแยะข้อมูลที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับโจทย์ วางแผนเพื่อแก้ปัญหาโจทย์ที่เกี่ยวกับตัวเลขด้วยวิธีหลากหลาย แก้ปัญหาโจทย์ตามแผนอย่างมีลำดับขั้นตอน ตรวจสอบคำตอบหรือพิสูจน์คำตอบจนสามารถสรุปคำตอบได้ ซึ่งวิธีการวัดมีหลายประเภท เช่น ใช้แบบวัดแบบปรนัย ใช้แบบวัดแบบอัตนัย สังเกตพฤติกรรม หรือประเมินชิ้นงาน โดยการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหานั้น ไม่ควรวัดแค่คำตอบที่ถูกหรือผิด แต่ควรแสดงกระบวนการคิด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาแบบอัตนัย โดยเกณฑ์การประเมินจะจำแนกตามขั้นตอนของกระบวนการแก้ปัญหาทั้ง 4 ขั้นตอน และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศพบว่าส่วนใหญ่มีการแบ่งระดับคุณภาพเป็น 3 ระดับ คือ 2,1,0 ซึ่งมีระดับคะแนนที่เหมาะสมที่สุด โดยผู้วิจัยได้กำหนดน้ำหนักแต่ละขั้นตอนไม่เท่ากัน ดังนี้ ขั้นที่ 1 ขั้นทำความเข้าใจปัญหา (Understanding the problem) มีการให้คะแนน 3 ระดับ คือ 2 คะแนน 1 คะแนนและ 0 คะแนน โดยขั้นนี้มีน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 1 ขั้นที่ 2 ขั้นวางแผนแก้ปัญหา (Devising a plan) มีการให้คะแนน 3 ระดับ คือ 2 คะแนน 1 คะแนนและ 0 คะแนน โดยขั้นนี้มีน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 1ขั้นที่ 3 ขั้นดำเนินการตามแผน (Carrying out the plan) มีการให้คะแนน 3 ระดับ คือ 2 คะแนน 1 คะแนนและ 0 คะแนน โดยขั้นนี้มีน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 2 ขั้นที่ 4 ขั้นตรวจสอบผล (Looking back) มีการให้คะแนน 3 ระดับ คือ 2 คะแนน 1 คะแนนและ 0 คะแนน โดยขั้นนี้มีน้ำหนักคะแนนเท่ากับ 1

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์

มัชตาฟาร์ (Mustafa, 2012, pp. 634-637) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลการจัดการเรียนรู้แบบ 5E ที่ส่งผลต่อมโนทัศน์เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 5E มีประชากรเป็นนักเรียนโรงเรียนมัธยมศึกษาใน Akcaabat ปีการศึกษา 2010 – 2011 จำนวน 40 คน แบ่งเป็นกลุ่มตัวอย่าง 20 คน (เป็นชาย 13 คน เป็นหญิง 7 คน) และกลุ่มควบคุม 20 คน (เป็นชาย 11 คน เป็นหญิง 9 คน) ซึ่งมีขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้คือ ขั้นสร้างความสนใจ ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นขยายความรู้ ขั้นประเมิน ผลปรากฏว่า กลุ่มทดลองที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบ 5E มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมากกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นครูควรพัฒนาทักษะในการออกแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คิลิคและอซิส (Kilic และ Aziz, 2013, pp. 14-39) ได้ศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี โดยใช้การจัดกรอบมโนทัศน์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชา เคมี ในโรงเรียนประเทศอินเดียและตุรกี ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ ซึ่งพบว่าการจัดทำผังมโนทัศน์นั้นเป็นเครื่องมือที่ครูสามารถนำมาอธิบายเพื่อสร้างการเรียนรู้ที่มีความหมายให้แก่นักเรียน โดยการวิจัยครั้งนี้ใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 200 คน ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ทำให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมายนี้ มีประสิทธิภาพมากกว่ารูปแบบปกติ นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาที่สูงขึ้นจากก่อนเรียน

อิเนคเวชิ (Enekwechi 2016, pp. 1-6) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบนำเสนอมโนทัศน์ล่วงหน้าที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์วิชาเคมีและเจคติทางวิทยาศาสตร์ กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 84 คน โดยรูปแบบการเรียนรู้ที่จะช่วยส่งเสริมผลสัมฤทธิ์วิชาเคมีและเจคติทางวิทยาศาสตร์ คือ เน้นการมีส่วนร่วมของนักเรียนและไม่เรียนรู้โดยการท่องจำ ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบการนำเสนอมโนทัศน์ล่วงหน้า โดยมีการจัดระเบียบมโนทัศน์ที่นักเรียนมีอยู่แล้วเป็นพื้นฐาน เชื่อมโยงกับมโนทัศน์ที่กำลังจะเรียนใหม่ ซึ่งจะสร้างเป็นความรู้ความเข้าใจขึ้น อาจมีการซักถาม อภิปราย สาธิตเข้ามาในรูปแบบการจัดการเรียนรู้นี้ ซึ่งผลการวิจัยพบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบนำเสนอมโนทัศน์ล่วงหน้ามีผลสัมฤทธิ์วิชาเคมีและเจคติทางวิทยาศาสตร์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบปกติ

ชุมพล ชารีแสน (2555, น. 20-26) ได้ศึกษาความเข้าใจมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ชีวิตและสิ่งมีชีวิตของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จากการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ผังมโนทัศน์รูปตัววี การจัดการเรียนรู้ เริ่มต้นโดยการทบทวนความรู้เดิมของนักเรียน แจ้งผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง และให้นักเรียนทำความเข้าใจกับความหมายและลักษณะโครงสร้างของผังมโนทัศน์รูปตัววี จากนั้นจึงบันทึกข้อมูลและตั้งคำถามสำคัญ โดยสิ่งที่บ่งชี้ความเข้าใจมโนทัศน์ของนักเรียน คือ การจัดกระทำข้อมูลของนักเรียน กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3/1 จำนวน 1 ห้องเรียน 34 คน ศึกษาความเข้าใจมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ทั้งหมด 7 มโนทัศน์ คือ 1)ระบบนิเวศ 2) องค์ประกอบของระบบนิเวศ 3) ความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ 4) โซ่อาหารและสายใยอาหาร 5) ประชากรในระบบนิเวศ 6) วัฏจักรของสาร และทรัพยากรธรรมชาติและ 7) สิ่งแวดล้อม ผลการวิจัยพบว่าหลังการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ผังมโนทัศน์รูปตัววี นักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงมโนทัศน์ โดยมีความเข้าใจมโนทัศน์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และหลังเรียนนักเรียนมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนน้อยลงทุกมโนทัศน์ แต่ยังมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนสูงเป็น 3 อันดับแรก ได้แก่ มโนทัศน์เรื่อง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ร้อยละ 46.08 มโนทัศน์เรื่อง ความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ ร้อยละ 41.18 และมโนทัศน์เรื่ององค์ประกอบของระบบนิเวศร้อยละ 39.22

จุฬาลักษณ์ ยิ้มดี (2556, น. 1-10) ได้ศึกษาผลของการเรียนการสอนโดยใช้ขั้นการเรียนรู้แบบอนุมานเบื้องต้นที่มีต่อความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ใช้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ปีการศึกษา 2556 ภาคเรียนที่ 2 ในการศึกษา จัดการเรียนการสอนโดยใช้ขั้นการเรียนรู้แบบอนุมานเบื้องต้น เป็นการจัดการเรียนการสอนที่เน้นให้นักเรียนใช้กระบวนการคิด มีทั้งหมด 7 ขั้นตอน คือ การสังเกตปัญหา การตั้งคำถามเชิงสาเหตุ การตั้งสมมติฐานที่หลากหลาย การพยากรณ์ การรวบรวมหลักฐาน การลงข้อสรุปและการนำเสนอเพื่อนำไปสู่การตรวจสอบและสรุปมโนทัศน์ของบทเรียน เมื่อทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มที่เรียนโดยใช้ขั้นตอนการเรียนรู้แบบอนุมานเบื้องต้น พบว่า นักเรียนที่เรียนโดยใช้ขั้นตอนการเรียนรู้แบบอนุมานเบื้องต้นมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ระหว่างกลุ่มที่เรียนโดยใช้ขั้นตอนการเรียนรู้แบบอนุมานเบื้องต้นกับนักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการเรียนการสอนฟิสิกส์แบบทั่วไป พบว่า กลุ่มที่เรียนโดยใช้ขั้นตอนการเรียนรู้แบบอนุมานเบื้องต้นมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการให้เหตุผล

เชิงวิทยาศาสตร์สูงกว่ากลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการเรียนการสอนฟิสิกส์แบบทั่วไป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มที่เรียนโดยใช้ขั้นตอนการเรียนรู้แบบอนุมานเบื้องต้น พบว่า คะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์คิดเป็นร้อยละ 84.15 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ระหว่างกลุ่มที่เรียนโดยใช้ขั้นตอนการเรียนรู้แบบอนุมานเบื้องต้นกับนักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการเรียนการสอนฟิสิกส์แบบทั่วไป พบว่า คะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์กลุ่มที่เรียนโดยใช้ขั้นตอนการเรียนรู้แบบอนุมานเบื้องต้น สูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการเรียนการสอนฟิสิกส์แบบทั่วไป อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

กัลยา ภูทัตโต (2558, น. 1-7) ได้ศึกษาผลของการใช้การเรียนรู้สืบเสาะหาความรู้แบบแนะนำเน้นกระบวนการที่มีต่อมโนทัศน์ทางเคมีและความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ จำนวน 1 ห้องเรียน ซึ่งการเรียนรู้สืบเสาะหาความรู้แบบแนะนำเน้นกระบวนการ เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นพัฒนากระบวนการคิด กระบวนการกลุ่ม กระบวนการแก้ปัญหาและกระบวนการประเมินค่า มีทั้งหมด 7 ขั้นตอน คือ คือ ขั้นระบุความต้องการที่จะเรียนรู้ ขั้นการเชื่อมโยงความเข้าใจเดิม ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นการสร้างมโนทัศน์ ขั้นการประยุกต์ความรู้เพื่อใช้ในการปฏิบัติ ขั้นการประยุกต์ความรู้เพื่อใช้ในบริบทใหม่ และขั้นสะท้อนความคิดกระบวนการ โดยการศึกษานี้ จะศึกษาและเปรียบเทียบมโนทัศน์ทางเคมีของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้การเรียนรู้สืบเสาะหาความรู้แบบแนะนำเน้นกระบวนการ พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยของมโนทัศน์ทางเคมีคิดเป็นร้อยละ 76.67 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือร้อยละ 70 โดยพบว่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เชิงพรรณนาเท่ากับ 82.45 และคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เชิงทฤษฎีมีค่าเท่ากับ 72 โดยนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยของมโนทัศน์ทางเคมีหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยของมโนทัศน์เชิงพรรณนาและมโนทัศน์เชิงทฤษฎีหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้การเรียนรู้สืบเสาะหาความรู้แบบแนะนำเน้นกระบวนการ พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการวิเคราะห์ ร้อยละ 78.43 จัดอยู่ในระดับดี โดยการวิเคราะห์หน่วยย่อยมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 93.00 อยู่ในระดับดีมาก การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 77.14 อยู่ในระดับดี และการวิเคราะห์หลักการ มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 66.29 อยู่ในระดับพอใช้

และยังพบว่า นักเรียนที่เรียนโดยใช้การเรียนรู้สืบเสาะหาความรู้แบบแนะนำเน้นกระบวนการหลังเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการวิเคราะห์ทุกประเภทสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ภูรินทร์ แตงน้อย (2559, น. 1-12) ได้ศึกษาการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมมโนทัศน์และความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ สาระที่ 6 โลกและการเปลี่ยนแปลง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 30 คน ซึ่งขั้นตอนที่สังเคราะห์ขึ้นมี 6 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นสร้างความสนใจและนำเสนอมโนทัศน์ (Engagement and concept presentation) 2) ขั้นอธิบายและทดสอบความถูกต้องของมโนทัศน์ (Explanation and concept checking) 3) ขั้นจัดโครงสร้างความรู้และขยายความรู้ (Knowledge organization and elaboration) 4) ขั้นตระหนักรู้ปัญหาและตั้งสมมติฐาน (Problem awareness and writing hypothesis) 5) ขั้นสืบค้นข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล (Investigating and analyzing data) และ 6) ขั้นสรุปผล นำเสนอผลงานและประเมินค่า (Making conclusive presentations and evaluations) ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น ทำให้นักเรียนมีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ ความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสูงกว่าคะแนนจุดตัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ พบว่า กระบวนการสอนที่จะช่วยส่งเสริมและพัฒนามโนทัศน์ได้นั้น มีหลากหลายรูปแบบ เช่น การจัดการเรียนรู้แบบ 5E ที่เริ่มจากขั้นสร้างความสนใจ ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นขยายความรู้ ขั้นประเมิน การจัดการเรียนรู้แบบจัดกรอบมโนทัศน์ การใช้ผังมโนทัศน์รูปตัววี ที่เป็นการจัดระบบความคิดของนักเรียนและมีการอภิปรายเพื่อให้เกิดมโนทัศน์ที่ถูกต้อง การจัดการเรียนรู้แบบนำเสนอมโนทัศน์ล่วงหน้าที่มีแนวคิดมาจากออซุเบล คือ การเรียนรู้อย่างมีความหมาย ให้ความสำคัญกับความรู้เดิมของนักเรียนเพื่อให้นักเรียนนำไปเชื่อมโยงกับมโนทัศน์ใหม่ การจัดการเรียนรู้แบบอนุมานเบื้องต้น ที่พิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลและหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการสังเกต สำรวจตรวจสอบเพื่อนำมาสู่ข้อสรุป การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้แบบแนะนำเน้นกระบวนการ ที่ประกอบด้วย ขั้นระบุความต้องการที่จะเรียนรู้ ขั้นการเชื่อมโยงความเข้าใจเดิม ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นการสร้างมโนทัศน์ ขั้นการประยุกต์ความรู้เพื่อใช้ในการปฏิบัติ ขั้นการประยุกต์ความรู้เพื่อใช้ในบริบทใหม่ และขั้นสะท้อนความคิดกระบวนการ การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมมโนทัศน์และความสามารถในการแก้ปัญหาทาง

วิทยาศาสตร์ ที่สังเคราะห์ขึ้นมี 6 ขั้นตอน คือ ขั้นสร้างความสนใจและนำเสนอมโนทัศน์ ขั้นอธิบายและทดสอบความถูกต้องของมโนทัศน์ ขั้นจัดโครงสร้างความรู้และขยายความรู้ ขั้นตระหนักรู้ปัญหาและตั้งสมมติฐาน ขั้นสืบค้นข้อมลูและวิเคราะห์ข้อมูล ขั้นสรุปผล นำเสนอผลงานและประเมินค่า จะเห็นได้ว่าทุกการจัดการเรียนรู้ที่กล่าวมา ล้วนมีลำดับในการเรียนรู้คล้าย ๆ กันคือ มีการอภิปรายร่วมกัน แลกเปลี่ยนความคิดเห็น มีการลงข้อสรุปร่วมกันเพื่อยืนยันในสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้ เพื่อประยุกต์ใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ มีการสรุปบทเรียน และประเมินผล ซึ่งสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยใช้ในงานวิจัยนี้

6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคของโพลยา

เซรัป (Serap, 2010, pp. 2239-2243) ได้ศึกษาผลการใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาที่มีต่อการแก้ปัญหาฟิสิกส์ ในนักศึกษาชั้นปีที่ 2 คณะศึกษาศาสตร์ จำนวน 77 คน ซึ่งผลการวิจัยพบว่าการใช้กระบวนการในการแก้ปัญหามาใช้ดำเนินการสอนนั้น ทำให้ประสิทธิผลของนักเรียนดีขึ้น กล่าวคือ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ดีขึ้น

โอลานิยา (Olaniyan, 2015, pp. 97-104) ได้ศึกษาผลของกระบวนการในการแก้ปัญหาของโพลยา เรื่อง กระแสไฟฟ้า ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนวิชาฟิสิกส์ จำนวน 120 คน ซึ่งพบว่าการจัดการเรียนรู้ที่ทำให้ผลสัมฤทธิ์ของนักเรียน ในรายวิชาฟิสิกส์หรือรายวิชาอื่น ๆ ที่มีกระบวนการแก้ปัญหาเกี่ยวกับคณิตศาสตร์ ควรมีรูปแบบดังนี้ การทำความเข้าใจปัญหา การวางแผนการแก้ปัญหา การดำเนินการตามแผนที่วางไว้และการตรวจสอบ สอดคล้องกับกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการในการแก้ปัญหาของโพลยาดีกว่าการจัดการเรียรู้แบบบรรยาย

บุษบา พลรัตน์ (2555, น. 80-88) ได้ศึกษาความสามารถการแก้โจทย์ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เรื่อง อัตราส่วนและร้อยละ โดยใช้วิธีสอนตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ที่เน้นขั้นตอนการแก้ปัญหาของโพลยา โดยทำการศึกษาเพื่อศึกษาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียน ให้มีจำนวนนักเรียนไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม พบว่า นักเรียนมีความสามารถการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์เฉลี่ยร้อยละ 70.64 โดยมีนักเรียนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 75.00 ซึ่งสูงกว่าตามเกณฑ์ที่กำหนด นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ให้มีจำนวนนักเรียนไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ผ่านเกณฑ์ ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม พบว่า นักเรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยร้อยละ 71.00 และนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์จำนวนร้อยละ 80.00 ซึ่งสูงกว่าตาม

เกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งการใช้วิธีสอนตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ที่เน้นขั้นตอนการแก้ปัญหาของโพลยาจะได้ผลดี เมื่อมีการส่งเสริมให้นักเรียนทำงานด้วยกระบวนการกลุ่ม ซึ่งครูคอยให้คำชี้แนะ ส่งเสริมให้นักเรียนมีความร่วมมือในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด และเมื่อนำเทคนิคของโพลยาเข้ามาสอดแทรกกับวิธีสอนตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ในกระบวนการกลุ่ม นักเรียนที่อยู่ในกลุ่มเก่งจะช่วยแนะนำ อธิบายแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหาให้นักเรียนคนอื่น ๆ ให้เข้าใจ ซึ่งทำให้นักเรียนในกลุ่มได้ช่วยกันไตร่ตรองปัญหาร่วมกัน สามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่ได้ นอกจากนี้ยังทำให้นักเรียนมีความเชื่อมั่นในตนเอง กล้าแสดงความคิดเห็นและรู้จักยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น รู้จักช่วยเหลือกัน สร้างความสามัคคี ทำให้นักเรียนแต่ละคนเกิดความเข้าใจมากขึ้น

วีนัส ชาลี (2562, น. 107-151) ได้ศึกษาแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาและผลที่มีต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยกลุ่มที่ศึกษาเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร มีความมุ่งหมาย เพื่อศึกษาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา เพื่อเปรียบเทียบคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ เพื่อเสนอแนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาที่ส่งผลต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์และเพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียน ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ ซึ่งผลการวิจัย พบว่า สื่อวีดิทัศน์ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวันหรือกิจกรรมกระตุ้นความสนใจร่วมกับคำถามกระตุ้นความคิดในการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา ส่งผลต่อการแสดงออกถึงความรู้เดิมของนักเรียน การใช้กิจกรรมการทดลองในการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาร่วมกับคำถามท้ายกิจกรรมส่งเสริมการวาดภาพและระบุปริมาณต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับสถานการณ์โจทย์ปัญหาได้ การใช้กิจกรรมการสาธิตในการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาสามารถส่งเสริมความเข้าใจในหลักการและสมการความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ ในสถานการณ์โจทย์ปัญหาได้ การอภิปรายร่วมกันทั้งชั้นเรียนและการอภิปรายคำตอบจากการนำเสนอการแก้โจทย์ปัญหาตามกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาหน้าชั้นเรียนทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่ถูกต้องในเนื้อหาและการดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคของโพลยา ช่วยให้นักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ดี ซึ่งสามารถใช้ในรายวิชาฟิสิกส์ เคมี หรือรายวิชาอื่น ๆ ที่มีกระบวนการแก้ปัญหาเกี่ยวกับคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา ที่นำมาสอดแทรกกับการจัดการเรียนรู้หลัก ไม่ว่าจะเป็นขั้นการสำรวจและค้นหา หรือขั้นขยายความรู้ เพื่อให้นักเรียนประยุกต์ใช้กับโจทย์ปัญหาเคมีต่าง ๆ นั้นสามารถพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีได้

6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเข้าใจมโนทัศน์

มัชตาร์ (Muchtar, 2012, pp. 65-74) ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์มโนทัศน์คลาดเคลื่อนในเรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายในเมืองเมดาน โดยศึกษาจากนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 179 คนจากโรงเรียน 6 แห่งในเมดาน โดยใช้แบบวัดมโนทัศน์ที่ถูกพัฒนาโดยผู้วิจัยที่เป็นคำถามปลายเปิด จำนวน 12 ข้อ และรวบรวมข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และจัดหมวดหมู่ตามผลสัมฤทธิ์และความเข้าใจมโนทัศน์ของนักเรียนซึ่งพบว่านักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน 15 ข้อ ดังนี้ 1) สารประกอบที่ในสูตรโมเลกุลมี H เป็นองค์ประกอบ คือ กรด 2) ทฤษฎีกรด-เบส 1 ทฤษฎี สามารถอธิบายปฏิกิริยากรด-เบสได้ทั้งหมด 3) กรดโพลิโปรติกมีความแรงเท่ากับกรดมอนอโปรติก 4) การคำนวณค่า pH ใช้สูตร $pH=-\log[H_3O^+]$, $[H_3O^+]$ จากตัวถูกละลาย 5) อุณหภูมิไม่มีผลต่อระบบสมดุลในกรดหรือเบส 6) สารละลายที่มี pH = 0 จะไม่มี H_3O^+ และ OH^- 7) สารละลายที่มี pH = 0 มีเบส 10^{-14} M 8) สารละลายที่มีค่า pH = 0 มี $[H_3O^+] = 0$ M 9) กรดที่มีการเจือจางจะมี pOH เพิ่มขึ้น 10) ค่า K_a เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเจือจาง 11) เมื่อค่า K_a ลดลง ความเข้มข้นของ H_3O^+ จะเพิ่มขึ้น 12) อินดิเคเตอร์กรด-เบส เปลี่ยนสีที่ค่า pH > 7 ,pH < 7 และไม่เปลี่ยนสีที่ pH = 7 13) อินดิเคเตอร์กรด-เบส เป็นตัวเร่งของปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส 14) สารละลายที่มีความเข้มข้น ปริมาตรและจำนวนไฮโดรเจนในสูตรเคมีเท่ากันจะมีค่า pH เท่ากัน 15) สารละลายที่มีจุดสมมูลเท่ากันจะมีค่า pH เท่ากัน โดยจำนวนนักเรียนที่มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อน เป็นดังนี้ ทฤษฎีกรด-เบส 22.07% ค่า pH pOH 43.58% การแตกตัวและความเป็นกรด-เบส 8.94% อินดิเคเตอร์ 6.15% การไทเทรตกรดและเบส 9.50% ซึ่งพบว่าการทำความเข้าใจมโนทัศน์กรด-เบส อาจเกิดปัญหามาจากการใช้สัญลักษณ์และสูตรทางคณิตศาสตร์

เบซา (Beyza, 2013, pp. 19-25) ได้ศึกษาการใช้แบบวัดแบบวินิจฉัย 2 ลำดับขั้นเพื่อระบุความเข้าใจมโนทัศน์และมโนทัศน์คลาดเคลื่อน เรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 56 คน ในบทเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารและสมบัติของสาร ด้วยแบบ

วัดแบบวินิจฉัย 2 ลำดับขั้น จำนวน 15 ข้อ นักเรียนจำนวน 56 คน พบว่าระดับความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกวัดโดยเครื่องมือที่ผู้วิจัยพัฒนา เพื่อวิเคราะห์มโนทัศน์และเหตุผลของนักเรียน ซึ่งได้ระบุร้อยละของนักเรียนที่เลือกคำตอบในแต่ละข้อ พร้อมทั้งระบุเหตุผลที่นักเรียนเลือกตอบ ทำให้ได้มาซึ่งมโนทัศน์คลาดเคลื่อนที่นักเรียนมี เรื่อง กรด-เบส และนอกจากนี้ยังพบว่ามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง กรด-เบส นั้นเกิดจากมโนทัศน์ความเป็นนามธรรม มีความยากและซับซ้อน หากนักเรียนมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนจะประสบปัญหาในเนื้อหาเรื่องอื่นและส่งผลต่อการเรียนในระดับชั้นถัดไปจึงจำเป็นต้องได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสม ให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม นำไปใช้ในชีวิตและนำไปใช้ในสถานการณ์อื่นได้

ลาติฟา (Lathifa, 2018, pp. 170-176) ได้ศึกษาการแก้ปัญหามโนทัศน์คลาดเคลื่อนเรื่องกรด-เบส โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย อธิบาย สังเกต อธิบาย อภิปราย โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อคำนวณร้อยละของนักเรียนที่มีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนและการไม่เข้าใจมโนทัศน์ 2) เพื่อระบุความเข้าใจมโนทัศน์คลาดเคลื่อนของนักเรียนเกี่ยวกับกรด-เบส 3) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย อธิบาย สังเกต อธิบาย อภิปราย ในการแก้ไขความเข้าใจมโนทัศน์คลาดเคลื่อน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ใช้แบบแผนวิจัยแบบกลุ่มเดียว มีการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ผลการวิจัย พบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเรื่องกรด-เบส จำนวน 45 ข้อ แบ่งเป็น สมบัติของกรด-เบส ทฤษฎีกรด-เบส ความแรงของกรด-เบส ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและค่า pH ของสารละลาย ตัวอย่างมโนทัศน์คลาดเคลื่อน เช่น สารละลายกรดเท่านั้นที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เฉพาะกรดแก่และเบสแก่ที่สามารถนำไฟฟ้าได้ กรดตามทฤษฎีของลิวอิส คือ สารประกอบที่ผลิตภัณฑ์มีประจุเป็นบวก เบสตามทฤษฎีของลิวอิส คือ สารประกอบที่ผลิตภัณฑ์มีประจุเป็นลบ ซึ่งมีสาเหตุมาจากนักเรียนไม่มีความรู้พื้นฐานเดิม ไม่มีทักษะการคำนวณและไม่สามารถนำไปประยุกต์ได้

สุภาพร อินบุญนะ (2541, น. 72-118) ได้ศึกษามโนทัศน์คลาดเคลื่อนเรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมี เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จังหวัดนครศรีธรรมราช 2) เปรียบเทียบมโนทัศน์คลาดเคลื่อนในวิชาเคมี เรื่องกรด-เบส ระหว่างเพศชายและเพศหญิง 3) เปรียบเทียบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในวิชาเคมี เรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนที่ศึกษาในโรงเรียนขนาดต่างกัน ซึ่งมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 344 คน จากการสุ่มหลายขั้นตอน มีแบบทดสอบวัดมโนทัศน์ทางเคมี เป็นแบบทดสอบหลายตัวเลือกที่เป็นคำถามแบบสองส่วน พบว่า นักเรียนจำนวนมากกว่าร้อยละ 50 มีมโนทัศน์ที่

คลาดเคลื่อนในเรื่องกรด-เบส ทุกมโนทัศน์ที่เลือกมาทำการศึกษา โดยภาพรวมนักเรียนชายมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่อง กรด-เบส มากกว่านักเรียนหญิงและนักเรียนที่ศึกษาในโรงเรียนขนาดกลางและใหญ่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากกว่านักเรียนที่ศึกษาในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ ตัวอย่างมโนมติที่คลาดเคลื่อน เช่น สารละลายที่มีสมบัติเป็นกลางทุกชนิด ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ เนื่องจาก สารละลายที่เป็นกลางทุกชนิดไม่มีไอออนบวกและไอออนลบในความเข้มข้นที่มากเพียงพอต่อการนำไฟฟ้า หรือ สารละลายกรด จะไม่มี OH^- สารละลายเบส จะไม่มี H_3O^+ สารละลายที่เป็นกลาง ไม่มีทั้ง H_3O^+ และ OH^- เป็นต้น

สว่างพงศ์ สมัครการ (2559, น. 166-171) ได้ศึกษารูปแบบการทำความเข้าใจและระดับความเข้าใจมโนมติเรื่องกรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งเป็นวิจัยเชิงสำรวจเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบวัดรูปแบบการทำความเข้าใจ เรื่องกรด-เบส เป็นคำถามปลายเปิดที่ให้เขียนแสดงความเข้าใจ วิเคราะห์ข้อมูลจากการอ่านคำตอบอย่างละเอียดแล้วตีความเพื่อหารูปแบบและประด็นของคำตอบ จากนั้นนำรูปแบบของคำตอบมาจัดกลุ่มของรูปแบบการทำความเข้าใจของนักเรียนโดยแบ่งออกเป็น 8 กลุ่มและนำรูปแบบการทำความเข้าใจที่ได้มาตรวจสอบระดับความเข้าใจมโนมติซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ พบว่านักเรียนในโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษและโรงเรียนขนาดใหญ่ สามารถให้คำตอบที่ถูกต้องสมบูรณ์ (CU) มากกว่านักเรียนจากโรงเรียนขนาดกลางและขนาดเล็ก ในขณะเดียวกันในโรงเรียนขนาดเล็กไม่แสดงรูปแบบการทำความเข้าใจ (NU) มากกว่านักเรียนในโรงเรียนขนาดอื่น ๆ เมื่อพิจารณาในแต่ละเนื้อหา พบว่า เรื่องสารละลายอิเล็กโทรไลต์นอนอิเล็กโทรไลต์และทฤษฎีกรด-เบส มีรูปแบบความเข้าใจของนักเรียนแบบ Semantic, Feature comparison model และ Symbolic เนื้อหาเรื่องคู่กรด-เบส มีรูปแบบความเข้าใจของนักเรียนแบบ Semantic, Visual image, Feature comparison model และ Symbolic เนื้อหาเรื่องการแตกตัวของกรด-เบส มีรูปแบบความเข้าใจของนักเรียนแบบ Semantic, Sequencing of event, Feature comparison model และ Symbolic เนื้อหาเรื่อง pH การวัด pH เรื่องการไทเทรตกรด-เบส มีรูปแบบความเข้าใจของนักเรียนแบบ Semantic, Visual image, Sequencing of event และSymbolic เนื้อหาเรื่องปฏิกิริยาของกรด-เบสและเนื้อหาเรื่องสารละลายบัฟเฟอร์ มีรูปแบบความเข้าใจของนักเรียนแบบ Semantic และ Symbolic ซึ่งรูปแบบการทำความเข้าใจที่นักเรียนแสดงออกมากที่สุดคือแบบ Semantic เป็นความรู้ที่ถูกจดจำในลักษณะที่เป็นคำจำกัดความหรือเป็นความหมายของข้อมูล รองลงมาคือแบบ Symbolic เป็นความรู้ที่ถูกจดจำในลักษณะตัวอักษร วัตถุ หรือสมการ

ศิริธร อ่างแก้ว (2559, น. 109) ได้พัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์วิทยาศาสตร์ เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะหา 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคการแข่งขันเกมแบบกลุ่ม ใช้กับนักเรียนจำนวน 62 คน ในปีการศึกษา 2558 พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์วิทยาศาสตร์หลังเรียนเท่ากับ 63.68 ซึ่งสูงกว่าก่อนเรียนที่มีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เท่ากับ 10.71 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยนักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งส่วนใหญ่นักเรียนมีมโนทัศน์ก่อนเรียนอยู่ในกลุ่มมโนทัศน์ผิด คิดเป็นร้อยละ 52.97 และมโนทัศน์หลังเรียนอยู่ในกลุ่มมโนทัศน์ถูกต้อง คิดเป็นร้อยละ 64.41 ซึ่งผลรวมร้อยละของนักเรียนที่อยู่ในกลุ่มมโนทัศน์ถูกต้องมีค่าเพิ่มขึ้น 50.04 ผลรวมร้อยละของนักเรียนที่อยู่ในกลุ่มมโนทัศน์ผิดมีค่าลดลง 50.04 ในปีการศึกษา 2559 พบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์วิทยาศาสตร์หลังเรียนเท่ากับ 35.70 ซึ่งสูงกว่าก่อนเรียนที่มีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เท่ากับ 3.85 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยนักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติอยู่ในระดับสูง ซึ่งส่วนใหญ่นักเรียนมีมโนทัศน์ก่อนเรียนอยู่ในกลุ่มมโนทัศน์ผิด คิดเป็นร้อยละ 80.46 และมโนทัศน์หลังเรียนอยู่ในกลุ่มมโนทัศน์ถูกต้อง คิดเป็นร้อยละ 86.17 ซึ่งผลรวมร้อยละของนักเรียนที่อยู่ในกลุ่มมโนทัศน์ถูกต้องมีค่าเพิ่มขึ้น 85.96 ผลรวมร้อยละของนักเรียนที่อยู่ในกลุ่มมโนทัศน์ผิดมีค่าลดลง 85.96

ธิดารัตน์ คำแพง (2560, น. 567-584) ได้ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้ ของ Kolb โดยยึดรูปแบบวงจรการเรียนรู้ TSOI เพื่อพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนผดุงนารี จำนวน 33 คน โดยมีการแบ่งระดับความเข้าใจมโนทัศน์เป็น 5 ระดับ คือ ความเข้าใจมโนทัศน์ในระดับที่สมบูรณ์ (Complete Understanding, CU) ความเข้าใจมโนทัศน์ในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding, PU) ความเข้าใจมโนทัศน์ในระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with specific alternative conception, PS) ความเข้าใจมโนทัศน์ในระดับที่คลาดเคลื่อน (Alternative conception, AC) และความไม่เข้าใจ (No Understanding, NU) โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎีการเรียนรู้ของ Kolb โดยยึดรูปแบบวงจรการเรียนรู้ TSOI จำนวน 5 แผน แบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์แบบปรนัยพร้อมอธิบายเหตุผลเพิ่มเติม จำนวน 7 ข้อ และแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่มีคะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 จำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 75.76

กฤษฎา พนันชัย, พนัสดา มาตราช, สุภาพ ตาเมือง, และ ศักดิ์ศรี สุภาษร (2561, น. 49-60) ได้ศึกษาความเข้าใจมโนทัศน์และแบบจำลองทางความคิด เรื่อง สมดุลเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากการเรียนด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับเทคนิคการทำนาย-สังเกต-อธิบาย โดยใช้กับนักเรียนจำนวน 36 คน ทำการศึกษาจากแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์แบบวินิจฉัย 2 ลำดับขั้น และแบบวัดแบบจำลองทางความคิด เมื่อทำการวิเคราะห์คำตอบ พบว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับเทคนิคการทำนาย-สังเกต-อธิบายสามารถพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่องสมดุลเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะเห็นได้จากนักเรียนมีคะแนนความเข้าใจมโนทัศน์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยเมื่อวิเคราะห์คำตอบหลังเรียน พบว่ามีผลรวมร้อยละของนักเรียนที่ไม่มีความเข้าใจมโนทัศน์และผิด (NU+MU) ลดลงจากก่อนเรียนร้อยละ 29.01 มีผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนทัศน์ถูกต้องและไม่สมบูรณ์ (SU+PU)เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนร้อยละ 32.72 มีผลรวมร้อยละของนักเรียนที่ไม่มีความเข้าใจมโนทัศน์และผิด (NU+MU) คิดเป็นร้อยละ 15.55 มีผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนทัศน์ถูกต้องและไม่สมบูรณ์ (SU+PU) เป็น 68.89

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเข้าใจมโนทัศน์ พบว่า นักเรียนยังมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อน เรื่องกรด-เบส เช่น สารละลายที่มีสมบัติเป็นกลางทุกชนิด ไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ เนื่องจาก สารละลายที่เป็นกลางทุกชนิดไม่มีไอออนบวกและไอออนลบในความเข้มข้นที่มากเพียงพอต่อการนำไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องการพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ ซึ่งสามารถวัดได้จาก แบบวัดแบบวินิจฉัย 2 ลำดับขั้น (Two-tier diagnostic test) แบบปรนัย 4 ตัวเลือกพร้อมการอธิบายเหตุผลเพิ่มเติม เพื่อวิเคราะห์และจัดกลุ่มมโนทัศน์ โดยได้จัดกลุ่มมโนทัศน์ออกเป็น 5 กลุ่ม คือ ความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (Complete Understanding : CU) ความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์แต่ไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding : PU) ความเข้าใจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with Specific Alternative Conception : PS) ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (Alternative Conception : AC) และความไม่เข้าใจมโนทัศน์ (No Understanding : NU)

6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี

ฟูยา (Fulya, 2009, pp. 2678-2684) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาที่มีต่อความเข้าใจ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและผลสัมฤทธิ์ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งได้กล่าวว่า การแก้โจทย์ปัญหา ให้ความสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการมากกว่าผลลัพธ์ ดังนั้นในการประเมินนักเรียนจะเน้นการหาวิธีแก้ปัญหาและการดำเนินการ

แก้ปัญหา ซึ่งเริ่มต้นจากการทำความเข้าใจปัญหา โดยใช้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แบบปลายเปิด จำนวน 7 ข้อ ซึ่งแบบวัดลักษณะนี้สามารถวิเคราะห์การเชื่อมโยงและประยุกต์ความเข้าใจไปสู่การแก้โจทย์ปัญหาได้

โจฮารี (Johari Surif, 2012, pp. 416-425) ได้ศึกษาเกี่ยวกับมโนทัศน์และกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาเคมี ซึ่งวัดโดยแบบวัดมโนทัศน์และกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาเคมี ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกครอบคลุมเกี่ยวกับความรู้ ความเข้าใจ ส่วนที่ 2 เกี่ยวกับกระบวนการและขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหา มีการแสดงวิธีทำ ซึ่งผลการวิจัยพบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 200 คน มีระดับมโนทัศน์และกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาเคมีอยู่ในระดับต่ำ จึงควรได้รับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาด้านดังกล่าว

ซินการาเวล (Singaravelu, 2017, pp. 19-22) ศึกษาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย 5 โรงเรียน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 180 คน ประเทศอินเดีย ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้น โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของสกินเนอร์ สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลใช้แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา และใช้สถิติ t-test ในการทดสอบสมมติฐาน ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีอยู่ในระดับต่ำ ครูควรฝึกฝนให้นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาในระดับที่สูงขึ้น

วรัทยา มณีรัตน์ (2560, น. 1-7) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาทักษะกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด – เบส โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาวิชาเคมี เรื่อง กรด – เบส ที่จัดการเรียนรู้ด้วยห้องเรียนกลับทาง แบบวัดทักษะกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาเคมีและสื่อออนไลน์ Class Smart.org กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 24 คน งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองตามแบบแผนการทดลอง one-group pretest-posttest design มีเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย คือ แผนการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี เรื่อง กรด-เบส จำนวน 8 แผน แบบวัดทักษะกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ซึ่งเป็นข้อสอบแบบอัตนัย จำนวน 10 ข้อ ผลการศึกษาพบว่า ทักษะกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาวิชาเคมี เรื่อง กรด – เบส มีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาที่นำมาใช้ในการทำแบบฝึกหัด พบว่า ช่วยให้นักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอน มีการปรับขยายแนวคิดในการแก้ปัญหาและมีการตรวจสอบผลที่ได้ทำให้นักเรียนสามารถ

มองเห็นความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและคำตอบที่ได้รับ และสามารถพัฒนาความคิดของนักเรียนอย่างเป็นกระบวนการ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี พบว่าความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาสามารถพัฒนาได้ หากใช้กระบวนการแก้ปัญหาที่เหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้หลัก หรือมีการสอดแทรกเข้าไปในขั้นที่เหมาะสมและจะได้ผลดียิ่งขึ้นหากมีการฝึกฝนบ่อย ๆ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยต้องการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี ซึ่งสามารถวัดได้จาก แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ที่มีลักษณะเป็นอัตนัย เพื่อวิเคราะห์ความสามารถของนักเรียน ให้ครูได้เห็นกระบวนการในการแก้ปัญหานำไปสู่การแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง
2. การกำหนดแบบแผนการวิจัย
3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การดำเนินการวิจัย
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การกำหนดประชากรและการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 กลุ่มวิทยาเขตอัจฉราลัย มีที่ตั้งในบริเวณใกล้เคียงกัน เป็นโรงเรียนขนาดเล็กในสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษานครสวรรค์ ประกอบด้วย 3 โรงเรียน ได้แก่ โรงเรียนวังข่อยพิทยา โรงเรียนบ้านแก่งชัชวลิตวิทยา และโรงเรียนตะคร้อพิทยา จำนวน 3 ห้องเรียน 79 คน โดยทั้ง 3 ห้องเรียนมีลักษณะผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี คล้ายคลึงกัน

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนวังข่อยพิทยา แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2563 ภาคเรียนที่ 2 จำนวน 1 ห้องเรียน นักเรียน 30 คน ที่ใช้วิธีการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster random sampling) โดยมีหน่วยการสุ่มเป็นห้องเรียน

2. การกำหนดแบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบก่อนการทดลอง (Pre-experiment design) ซึ่งได้ดำเนินการทดลองตามแบบแผนการวิจัยที่มีกลุ่มทดลองกลุ่มเดียว วัดสองครั้ง (One group pretest-posttest design) และแบบแผนการวิจัยที่มีกลุ่มทดลองกลุ่มเดียวแบบอนุกรมเวลา (One group time series design) ดังตาราง 8 และตาราง 9

ตาราง 8 แบบแผนการวิจัย One group pretest-posttest design

กลุ่ม	สอบก่อนเรียน	การทดลอง	สอบหลังเรียน
E	T_1	X	T_2

สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบแผนวิจัย ดังนี้

E แทน กลุ่มทดลอง

T_1 แทน การทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) ด้วยแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ,แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส

X แทน การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

T_2 แทน การทดสอบหลังเรียน (Post-test) ด้วยแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ,แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส

ตาราง 9 แบบแผนการวิจัย One group time series design

กลุ่ม	สอบก่อนการจัดการเรียนรู้	จัดการเรียนรู้	สอบหลังการจัดการเรียนรู้	จัดการเรียนรู้	สอบหลังการจัดการเรียนรู้	จัดการเรียนรู้	สอบหลังการจัดการเรียนรู้	จัดการเรียนรู้	สอบหลังการจัดการเรียนรู้	จัดการเรียนรู้	สอบหลังการจัดการเรียนรู้
E	-	X	T_1	X	T_2	X	T_3	X	T_4	X	T_5	X	T_6

สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบแผนวิจัย ดังนี้

X แทน การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

E แทน กลุ่มทดลอง

T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6 แทน การวัดพัฒนาการคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี ด้วยแบบฝึกหัด

3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยวางแผนการสร้างเครื่องมือในการวิจัย โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 3 ชนิด ประกอบด้วย

1. แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด-เบส

2. แบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส

3. แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส

1. แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด-เบส

ผู้วิจัยจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด-เบส จำนวน 6 แผนการจัดการเรียนรู้ มีขั้นตอนการสร้างและตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ ดังนี้

1.1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงตำรา วารสารการนำเสนอทางวิชาการต่าง ๆ เกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์หรือการจัดการเรียนรู้ที่ใช้เทคนิคของโพลยา

1.2 ศึกษาและวิเคราะห์หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) หลักสูตรสถานศึกษา รวมถึงคำอธิบายรายวิชา เคมี 4 (ว 32224) เพื่อออกแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้เหมาะสม ดังตาราง 10

ตาราง 10 สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เรื่อง กรด-เบส

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม
1) ระบุและอธิบายว่าสารเป็นกรดหรือเบส โดยใช้ทฤษฎีกรด-เบสของอาร์เรเนียส เบรินสเตด-ลาวรีและลิวอิส	สารในชีวิตประจำวันหลายชนิดมีสมบัติเป็นกรดหรือเบส ซึ่งพิจารณาได้โดยใช้ทฤษฎีกรด-เบส ของอาร์เรเนียส เบรินสเตด-ลาวรี หรืออิส
2) ระบุคู่กรด-เบสของสารตามทฤษฎีกรด-เบส ของเบรินสเตด-ลาวรี	ตามทฤษฎีกรด-เบส ของเบรินสเตด-ลาวรี เมื่อกรดหรือเบสละลายน้ำหรือทำปฏิกิริยากับสารอื่น จะมีการถ่ายโอนโปรตอนระหว่างสารตั้งต้นที่เป็นกรดและเบส เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นโมเลกุลหรือไอออนที่เป็นคู่กรด-เบสกันจะมีโปรตอนต่างกัน 1 โปรตอน

ตาราง 10 (ต่อ)

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม
3) คำนวณและเปรียบเทียบความสามารถในการแตกตัวหรือความแรงของกรดและเบส	กรดและเบสแต่ละชนิดสามารถแตกตัวในน้ำได้แตกต่างกัน กรดแก่หรือเบสแก่สามารถแตกตัวเป็นไอออนในน้ำได้เกือบสมบูรณ์ ส่วนกรดอ่อนหรือเบสอ่อนแตกตัวเป็นไอออนได้น้อย โดยความสามารถในการแตกตัวหรือความแรงของกรดหรือเบสอาจพิจารณาได้จากค่าคงที่การแตกตัวของกรดหรือเบส หรือปริมาณการแตกตัวเป็นร้อยละของกรดหรือเบส
4) คำนวณค่า pH ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส	น้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสแตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออนที่มีความเข้มข้นเท่ากัน คือ 1.0×10^{-7} โมลต่อลิตร โดยมีค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ เท่ากับ 1.0×10^{-14} เมื่อกรดหรือเบสแตกตัวในน้ำ ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายแสดงได้ด้วยค่า pH ซึ่ง ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนโดยสารละลายกรดมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนมากกว่า 1.0×10^{-7} โมลต่อลิตรหรือมีค่า pH น้อยกว่า 7 ส่วนสารละลายเบสมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนน้อยกว่า 1.0×10^{-7} โมลต่อลิตร หรือมีค่า pH มากกว่า 7
5) เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาสะเทินและระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายหลังการสะเทิน	ปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดแก่และเบสแก่ให้สารละลายที่เป็นกลาง ปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดแก่และเบสอ่อน ให้สารละลายที่เป็นกรด ส่วนปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดอ่อนและเบสแก่ ให้สารละลายที่เป็นเบส เกลือที่ได้จากการสะเทินของกรดแก่ด้วยเบสอ่อน
6) เขียนปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเกลือและระบุความเป็นกรด-เบสของสารละลายเกลือ	

ตาราง 10 (ต่อ)

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม
	เมื่อละลายในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด ส่วนเกลือที่ได้จากการสะเทินของกรดอ่อนด้วยเบสแก่ เมื่อละลายในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส
7) ทดลองและอธิบายหลักการการไทเทรตและเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการไทเทรตกรด-เบส	การไทเทรตเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์หาปริมาณหรือความเข้มข้นของสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน จุดที่สารทำปฏิกิริยาพอดีกัน เรียกว่า จุดสมมูล ในทางปฏิบัติ จุดสมมูลของปฏิกิริยาอาจไม่สามารถสังเกตเห็นได้ จึงสังเกตการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ เพื่อบอกจุดยุติของการไทเทรต ดังนั้นอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมฯในการไทเทรตกรด-เบส ควรเป็นอินดิเคเตอร์ที่เปลี่ยนสีในช่วง pH ตรงกับหรือใกล้เคียงกับ pH ของสารละลาย ณ จุดสมมูล
8) คำนวณปริมาณสารหรือความเข้มข้นของสารละลายกรดหรือเบสจากการไทเทรต	ปริมาณกรดและเบสที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันจากการไทเทรตกรด-เบส สามารถคำนวณความเข้มข้นของกรดหรือเบสที่ต้องการทราบความเข้มข้นได้
9) อธิบายสมบัติ องค์ประกอบและประโยชน์ของสารละลายบัฟเฟอร์	สารละลายบัฟเฟอร์เป็นสารละลายของกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อนนั้น หรือเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนนั้น เมื่อเติมกรด เบสหรือน้ำ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH น้อยกว่าสารละลายทั่วไป สมบัติเฉพาะของสารละลายบัฟเฟอร์เป็นประโยชน์ต่อการควบคุม pH ของระบบในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

ตาราง 10 (ต่อ)

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม
10) สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการใช้ประโยชน์และการแก้ปัญหาโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส	ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส สามารถนำมาใช้ประโยชน์และแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน เกษตรกรรม อุตสาหกรรมและการแพทย์

ที่มา: กระทรวงศึกษาธิการ.(2560).ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. หน้า 181-183.

1.3 ศึกษาและวิเคราะห์เนื้อหา เรื่อง กรด-เบส จากหนังสือเรียนและคู่มือครู รายวิชา เคมี 4 (ว 32224) ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) จัดทำโดย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จากนั้นแบ่งเนื้อหาให้เหมาะสมกับเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งแบ่งได้เป็น 6 แผนการจัดการเรียนรู้ ใช้เวลาในการดำเนินการทดลอง 18 ชั่วโมง โดยไม่รวมการทดสอบก่อนเรียนและทดสอบหลังเรียน อย่างละ 3 ชั่วโมง สามารถแบ่งหัวข้อแผนการจัดการเรียนรู้ ดังตาราง 11 และสามารถแบ่งมโนทัศน์ย่อย การแก้โจทย์ปัญหาในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ ดังตาราง 12

ตาราง 11 หัวข้อแผนการจัดการเรียนรู้และเวลาที่ใช้

ครั้งที่	จำนวนชั่วโมงที่จัดในการเรียนวิชาเคมี (ชั่วโมง)	แผนการจัดการเรียนรู้ที่	เรื่อง	เวลา (ชั่วโมง)
1	2	1	ทฤษฎีกรด-เบส	3
	1			
2	2	2	การแตกตัวของกรด-เบสและน้ำ	3
	1			
3	2	3	pH ของสารละลาย	2
	1	4	ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและสมบัติของเกลือ	3
4	2			
	1	5	การไทเทรตและอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส	4
5	2			
	1			
6	2	6	สารละลายบัฟเฟอร์	3
	1			
		รวมจำนวนชั่วโมง		18

ตาราง 12 มโนทัศน์ย่อยและการแก้โจทย์ปัญหาในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้

หัวข้อแผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์ย่อย	การแก้โจทย์ปัญหา
1. ทฤษฎีกรด-เบส	ทฤษฎีกรด-เบส	การแตกตัวของสารละลาย
	คู่กรด-เบส	
2. การแตกตัวของกรด-เบสและน้ำ	การแตกตัวของกรด-เบสและน้ำ	ความสามารถในการแตกตัวของกรด-เบสและน้ำ
	การแตกตัวของน้ำ	

ตาราง 12 (ต่อ)

หัวข้อแผนการจัดการเรียนรู้	มโนทัศน์ย่อย	การแก้โจทย์ปัญหา
3. pH ของสารละลาย	pH ของสารละลาย	ค่า pH ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส
4. ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและสมบัติของเกลือ	ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรดเบสของเกลือ	ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเกลือ
5. การไทเทรตและอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส	การไทเทรต อินดิเคเตอร์	ปริมาณสารหรือความเข้มข้นของสารละลายกรดหรือเบสจากการไทเทรต
6. สารละลายบัฟเฟอร์	สารละลายบัฟเฟอร์	ค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์

1.4 จัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยดำเนินการจัดการทำแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง กรด-เบส โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา ให้ครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้ จำนวน 6 แผนโดยในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย องค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้ หน่วยการเรียนรู้ ผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระสำคัญ/ความคิดรวบยอด สาระการเรียนรู้สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน คุณลักษณะอันพึงประสงค์ กิจกรรมการเรียนรู้ ภาระงาน/ชิ้นงาน สื่อการเรียนรู้/แหล่งเรียนรู้ การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ และบันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1.5 นำแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 6 แผน เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรง ความสอดคล้องของขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ พิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ของแผนการจัดการเรียนรู้แล้วนำไปแก้ไขปรับปรุง

1.6 นำแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 6 แผน เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตรและการสอน 2 ท่านและผู้เชี่ยวชาญด้านการเรียนการสอน

เคมี 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรง ความสอดคล้องของขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ พิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ของแผนการจัดการเรียนรู้ โดยประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) โดยมีการแปลความหมาย ดังนี้

+1 หมายถึง มีความสอดคล้องขององค์ประกอบแผนการจัดการเรียนรู้

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่ามีความสอดคล้องขององค์ประกอบแผนการจัดการเรียนรู้

-1 หมายถึง ไม่มีความสอดคล้องขององค์ประกอบแผนการจัดการเรียนรู้

ได้ค่าดัชนีความสอดคล้อง 1.00 (ภาคผนวก ค) ซึ่งถือว่าแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ตามที่ต้องการวัด และมีความเหมาะสมในการนำไปใช้

1.7 ดำเนินการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้

1) ปรับข้อคำถามบางข้อที่ใช้ในแผนการจัดการเรียนรู้ให้มีความชัดเจนมากขึ้น

2) ระบุในแผนการจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับการให้นักเรียนศึกษาวิธีการทดลองก่อน จึงลงมือปฏิบัติการทดลอง

1.8 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านแก่งชัชวลิตวิทยา จำนวน 21 คน โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการสอนด้วยตนเองและบันทึกปัญหาที่พบ จากนั้นนำมาปรับปรุงแก้ไข พบว่ามีสิ่งที่ต้องปรับปรุง ดังนี้

1) ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นไม่เป็นไปตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่กำหนด โดยขั้นสร้างมโนทัศน์และยืนยันมโนทัศน์ใช้เวลามาก ทำให้เหลือเวลาในขั้นประยุกต์น้อย ส่งผลให้นักเรียนมีเวลาในการฝึกการแก้โจทย์ปัญหาเคมีน้อย จึงต้องปรับปรุงโดยครูเตรียมอุปกรณ์การทดลองให้พร้อมมากขึ้น เช่น การเทสารละลายแต่ละชนิดไว้ในบีกเกอร์ให้นักเรียนจะช่วยประหยัดเวลามากขึ้น ครูเตรียมเอกสารการสอนให้นักเรียนเพื่อลดเวลาในการจดบันทึกลงในสมุด

2) ในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี นักเรียนแต่ละกลุ่มจะดูแล ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษากัน ซึ่งบางกลุ่มนักเรียนไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ ครูควรจะใช้คะแนนการทดสอบก่อนเรียนมาแบ่งกลุ่มนักเรียนเพื่อเป็นการคละความสามารถ และดูแล ให้คำปรึกษานักเรียนอย่างทั่วถึง

1.9 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านการแก้ไขปรับปรุงแล้วมาจัดพิมพ์เป็นฉบับสมบูรณ์เพื่อนำไปทดลองใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนวังข่อยพิทยา จำนวน 30 คน

2. แบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส

แบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ประกอบด้วยข้อคำถาม 2 ตอน (two-tier diagnostic test) แบบปรนัย 4 ตัวเลือกพร้อมการอธิบายเหตุผลเพิ่มเติมเป็นแบบคำถามปลายเปิด จำนวน 20 ข้อ โดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา ตอนที่ 2 เป็นเหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ ตามวิธีการของปรีชาญ เดชศรี (2555, น. 18-21) มีขั้นตอนการสร้างและตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ ดังนี้

2.1 ศึกษาเอกสารต่าง ๆ ได้แก่ หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) คู่มือการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์มโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส

2.2 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่องกรด-เบส โดยใช้แบบวัดตามวิธีการของปรีชาญ เดชศรี (2555, น. 18-21) ประกอบด้วยข้อคำถาม 2 ตอน (two-tier diagnostic test) แบบปรนัย 4 ตัวเลือกพร้อมการอธิบายเหตุผลเพิ่มเติม

2.3 ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับมโนทัศน์คลาดเคลื่อน เรื่อง กรด - เบส จากคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 4 ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบตัวเลือก

2.4 สร้างตารางวิเคราะห์เนื้อหาและจำนวนข้อที่ต้องการวัด ให้ครอบคลุมกับมโนทัศน์ย่อยทุกมโนทัศน์ย่อย ไม่เฉพาะเจาะจงในเรื่องใดเรื่องหนึ่งมากเกินไป โดยจำนวนทั้ง 9 มโนทัศน์ย่อย ดังตาราง 13

ตาราง 13 จำนวนข้อจำแนกตามมโนทัศน์ย่อย เรื่อง กรด-เบส

มโนทัศน์ย่อย	จำนวนข้อ
1. ทฤษฎีกรด-เบส	4
2. คู่กรด-เบส	1
3. การแตกตัวของกรด-เบส	2

ตาราง 13 (ต่อ)

มโนทัศน์ย่อย	จำนวนข้อ
4. การแตกตัวของน้ำ	2
5. pH ของสารละลาย	3
6. ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรดเบสของเกลือ	3
7. การไทเทรต	2
8. อินดิเคเตอร์	1
9. สารละลายบัฟเฟอร์	2
รวม	20

2.5 กำหนดเกณฑ์ในการให้คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ โดยประยุกต์มาจากการจัดกลุ่มมโนทัศน์ของ เวสบรูคและมาริก (Westbrook และ Marek, 1992 อ้างถึงในไอนิง เจ๊ะเหลาะ, 2556, น. 33) และจาก สุภาพ ตาเมือง และคนอื่น ๆ (2560, น. 7) ดังตาราง 14

ตาราง 14 การกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์

กลุ่มความเข้าใจมโนทัศน์	การพิจารณาคำตอบในแต่ละส่วน				คะแนนรวม
	ตัวเลือก	คะแนน	เหตุผล	คะแนน	
ความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (Complete Understanding : CU)	ถูกต้อง	1	ถูกต้องสมบูรณ์	2	3
ความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding : PU)	ถูกต้อง	1	ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์และไม่มีส่วนผิด	1.5	2.5

ตาราง 14 (ต่อ)

กลุ่มความเข้าใจมโนทัศน์	การพิจารณาคำตอบในแต่ละส่วน				คะแนนรวม
	ตัวเลือก	คะแนน	เหตุผล	คะแนน	
ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with Specific Alternative Conception : PS)	ถูกต้อง	1	ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน	1	2
	ถูกต้อง	1	ไม่ถูกต้องแต่ยังเกี่ยวข้องกับโจทย์	0.5	1.5
	ถูกต้อง	1	ไม่เกี่ยวกับโจทย์ หรือไม่แสดงเหตุผล	0	1
	ผิด	0	ถูกต้องสมบูรณ์	2	2
	ผิด	0	ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์และไม่มีส่วนผิด	1.5	1.5
	ผิด	0	ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน	1	1
ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (Alternative Conception : AC)	ผิด	0	ไม่ถูกต้องแต่ยังเกี่ยวข้องกับโจทย์	0.5	0.5
ความไม่เข้าใจ (No Understanding : NU)	ผิด	0	ไม่เกี่ยวกับโจทย์ หรือไม่แสดงเหตุผล	0	0

ที่มา: สุภาพ ตาเมือง และคนอื่น ๆ. (2560). การพัฒนาความเข้าใจมโนมติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยการทดลองแบบสืบเสาะ. หน้า 7.

2.6 กำหนดเกณฑ์คะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนทัศน์ จากคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 60 ซึ่งอยู่ในระดับดี โดยพิจารณาจากเกณฑ์เป้าหมายที่กำหนดไว้ของโรงเรียนวังข่อยพิทยา (ฝ่ายบริหารงานวิชาการโรงเรียนวังข่อยพิทยา, 2561) ดังตาราง 15

ตาราง 15 เกณฑ์คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์

คะแนนเฉลี่ยร้อยละ	เกณฑ์
ตั้งแต่ร้อยละ 70 ขึ้นไป	ดีมาก
ร้อยละ 60 – 69	ดี
ร้อยละ 50 – 59	พอใช้
ต่ำกว่าร้อยละ 50	ปรับปรุง

2.7 สร้างแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส เป็นแบบข้อคำถาม 2 ตอน (two-tier diagnostic test) แบบปรนัย 4 ตัวเลือกพร้อมการอธิบายเหตุผลเพิ่มเติมเป็นแบบคำถามปลายเปิด จำนวน 40 ข้อ โดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา ตอนที่ 2 เป็นเหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

2.8 นำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ที่สร้างขึ้น เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา รวมทั้งความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ แล้วนำข้อเสนอแนะไปปรับปรุงแก้ไข

2.9 นำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษา เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบด้านเนื้อหาเคมี 3 ท่านและผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล 2 ท่าน ซึ่งตรวจสอบความตรง ด้วยดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ (IOC) โดยใช้แบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

โดยประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) โดยมีการแปลความหมาย ดังนี้

+1 หมายถึง มีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่ามีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้

-1 หมายถึง ไม่มีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้

จากนั้นนำผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 060 – 1.00 (ภาคผนวก ค) และนำข้อคำถามที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0.60 ขึ้นไปมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ โดยข้อสรุปของข้อเสนอแนะเป็นดังนี้

2.9.1) การเขียนอธิบายการให้คะแนนในแต่ละตอน ของแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส

2.9.2) ปรับเกณฑ์การให้คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ให้ครอบคลุม ได้แก่ ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with Specific Alternative Conception : PS) โดยจำแนกเป็น 6 กรณี ดังนี้ คำตอบที่ถูกต้องแต่แสดงเหตุผลที่ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (2 คะแนน) ให้คำตอบที่ถูกต้องแต่แสดงเหตุผลไม่ถูกต้องแต่ยังมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ (1.5 คะแนน) ให้คำตอบที่ถูกต้องแต่ไม่แสดงเหตุผลหรือแสดงเหตุผลที่ไม่เกี่ยวข้องกับโจทย์ (1 คะแนน) หรือให้คำตอบที่ผิดแต่แสดงเหตุผลที่ถูกต้องสมบูรณ์ (2 คะแนน) ให้คำตอบที่ผิดแต่แสดงเหตุผลถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์และไม่มีส่วนผิด (1.5 คะแนน) และให้คำตอบที่ผิดแต่แสดงเหตุผลที่ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (1 คะแนน)

2.9.3) การใช้ภาษาของข้อคำถามบางข้อยังไม่มีความชัดเจน โดยปรับปรุงข้อคำถามในข้อที่ 33

2.9.4) การใช้คำให้คงที่ ตลอดทั้งแบบวัด ได้แก่ คำว่า H^+ ปรับให้เป็น H_3O^+ คู่กรดและคู่เบส ปรับให้เป็น คู่กรด-เบส

2.10 นำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างโดยเป็นนักเรียนที่มีลักษณะคล้ายกับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งผ่านการเรียนรู้ เรื่อง กรด-เบสมาแล้ว ของโรงเรียนบ้านแก่งชัชวลิตวิทยา จำนวน 19 คน โรงเรียนทุ่งมนวิทยาคาร จำนวน 28 คนและโรงเรียนตะคร้อพิทยา จำนวน 24 คน รวมทั้งสิ้น 71 คน แต่ยังไม่ได้เรียนเนื้อหาใหม่ที่เกี่ยวกับกรด - เบสเพิ่มเติมและเป็นนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เช่นเดียวกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

2.11 ตรวจให้คะแนนและนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด - เบส มาหาความเชื่อมั่นของเกณฑ์ในการตรวจ ตอนที่ 2 เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ จากผู้ตรวจจำนวน 2 คน (Rater Agreement Index) ซึ่งเป็นครูผู้สอนวิชาเคมี ที่มีความเข้าใจในเกณฑ์การตรวจ ซึ่งได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.97 แปลความหมายว่า เกณฑ์การตรวจสามารถใช้ได้

2.12 วิเคราะห์คะแนนแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส โดยแบ่งเป็น 2 ตอนดังนี้

2.12.1 ตอนที่ 1 ข้อคำถามเชิงเนื้อหา

นำคะแนนที่ได้ มาวิเคราะห์รายข้อเพื่อหาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) โดยค่าที่ได้ควรมีค่าความยากง่าย (p) ตั้งแต่ 0.20 ถึง 0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป

2.11.2 ตอนที่ 2 เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

นำคะแนนที่ได้ มาวิเคราะห์รายข้อเพื่อหาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) โดยค่าที่ได้ควรมีค่าความยากง่าย (p) ตั้งแต่ 0.20 ถึง 0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป

2.12 เมื่อนำคะแนนมาวิเคราะห์ ได้ค่าความยากง่าย (p) ตอนที่ 1 อยู่ระหว่าง 0.44 – 0.68 ตอนที่ 2 อยู่ระหว่าง 0.23 – 0.41 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตอนที่ 1 อยู่ระหว่าง 0.24 – 0.70 ตอนที่ 2 อยู่ระหว่าง 0.43 – 0.84 จากนั้นนำข้อคำถามที่คัดเลือกไว้จำนวน 20 ข้อ มาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่น โดยตอนที่ 1 ใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson) ได้ค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.86 ตอนที่ 2 ใช้สัมประสิทธิ์อัลฟา (α - coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.95 (ภาคผนวก ค)

2.13 นำข้อคำถามมาจัดพิมพ์เป็นแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส จำนวน 20 ข้อ ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3. แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส

แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส เป็นแบบอัตนัย จำนวน 10 ข้อ มีขั้นตอนการสร้างและตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ ดังนี้

3.1 ศึกษาเอกสารต่าง ๆ ได้แก่ หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) คู่มือการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์โจทย์ปัญหา เรื่อง กรด-เบส

3.2 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี

3.3 สร้างตารางวิเคราะห์เนื้อหาและจำนวนข้อที่ต้องการวัด ให้ครอบคลุมการแก้โจทย์ปัญหาทุกเรื่อง ไม่เฉพาะเจาะจงในเรื่องใดเรื่องหนึ่งมากเกินไป ดังตาราง 16

ตาราง 16 จำนวนข้อจำแนกตามการแก้โจทย์ปัญหาในแต่ละหัวข้อเรื่อง

หัวข้อเรื่อง	จำนวนข้อ
1. การแตกตัวของสารละลาย	1
2. ความสามารถในการแตกตัวของกรด-เบสและน้ำ	2
3. ค่า pH ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนหรือไฮดรอกไซด์ไอออนของสารละลายกรดและเบส	2
4. ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเกลือ	2
5. ปริมาณสารหรือความเข้มข้นของสารละลายกรดหรือเบสจากการไทเทรต	2
6. ค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์	1
รวม	10

3.4 กำหนดเกณฑ์ในการให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา โดยประยุกต์เกณฑ์การให้คะแนนตามแนวคิดของกรมวิชาการ (2544, น. 113-114) ดังตาราง 17

ตาราง 17 การกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา	การแปลความหมาย	การให้คะแนน	น้ำหนักคะแนน	รวมคะแนน
ขั้นทำความเข้าใจปัญหา	ทำความเข้าใจปัญหาได้ถูกต้อง สามารถระบุสิ่งที่โจทย์ถามและสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ ได้ถูกต้องครบถ้วน	2	1	2
	ทำความเข้าใจปัญหาได้ถูกต้องบางส่วน สามารถระบุสิ่งที่โจทย์ถามและสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ ได้ถูกต้องบางส่วน	1	1	1
	ไม่มีความเข้าใจปัญหา ไม่สามารถระบุสิ่งที่โจทย์ถามและสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ หรือระบุได้ไม่ถูกต้อง	0	1	0

ตาราง 17 (ต่อ)

ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา	การแปลความหมาย	การให้คะแนน	น้ำหนักคะแนน	รวมคะแนน
ขั้นวางแผนแก้ปัญหา	วางแผนการแก้ปัญหาได้ถูกต้อง มีลำดับขั้นตอน หรือในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาเชิงปริมาณ คือ มีการเลือกสูตรเคมีและเขียนสมการเพื่อหาตัวแปรได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน	2	1	2
	วางแผนการแก้ปัญหาได้ถูกต้องบางส่วน ไม่มีลำดับขั้นตอน หรือในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาเชิงปริมาณ คือ มีการเลือกสูตรเคมีและเขียนสมการเพื่อหาตัวแปรได้อย่างถูกต้องบางส่วน	1	1	1
	ไม่มีการวางแผนการแก้ปัญหา หรือในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาเชิงปริมาณ คือ ไม่สามารถระบุสูตรเคมีและไม่เขียนสมการเพื่อหาตัวแปรหรือระบุได้ไม่ถูกต้อง	0	1	0
ขั้นดำเนินการตามแผน	นำวิธีการแก้ปัญหามาดำเนินการได้ถูกต้อง มีการแสดงวิธีทำได้ถูกต้อง ครบถ้วน	2	2	4
	นำวิธีการแก้ปัญหามาดำเนินการได้ถูกต้องบางส่วน มีการแสดงวิธีทำได้ถูกต้องบางส่วน	1	2	2
	ไม่มีการนำวิธีการแก้ปัญหามาดำเนินการ ไม่มีการแสดงวิธีทำหรือแสดงได้ไม่ถูกต้อง	0	2	0
ขั้นตรวจสอบผล	มีการตรวจสอบผลของการแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างชัดเจน หรือในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาเชิงปริมาณ คือ ระบุคำตอบในการแก้โจทย์ปัญหา	2	1	2

ตาราง 17 (ต่อ)

ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา	การแปลความหมาย	การให้คะแนน	น้ำหนักคะแนน	รวมคะแนน
	และระบุหน่วยได้อย่างถูกต้องครบถ้วน			
	มีการตรวจสอบผลของการแก้โจทย์ปัญหาบางส่วน หรือในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาเชิงปริมาณ คือ ระบุคำตอบในการแก้โจทย์ปัญหาและระบุหน่วยได้ถูกต้องบางส่วน	1	1	1
	ไม่มีการตรวจสอบผลของการแก้โจทย์ปัญหา หรือในกรณีที่เป็นโจทย์ปัญหาเชิงปริมาณ คือ ไม่ระบุคำตอบในการแก้โจทย์ปัญหาและไม่ระบุหน่วย หรือ ระบุได้ไม่ถูกต้อง	0	1	0

3.5 กำหนดเกณฑ์คะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี จากคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 60 ซึ่งอยู่ในระดับดี โดยพิจารณาจากเกณฑ์เป้าหมายที่กำหนดไว้ของโรงเรียนวังข่อยพิทยา (ฝ่ายบริหารงานวิชาการโรงเรียนวังข่อยพิทยา, 2561) ดังตาราง 18

ตาราง 18 เกณฑ์คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี

คะแนนเฉลี่ยร้อยละ	เกณฑ์
ตั้งแต่ร้อยละ 70 ขึ้นไป	ดีมาก
ร้อยละ 60 – 69	ดี
ร้อยละ 50 – 59	พอใช้
ต่ำกว่าร้อยละ 50	ปรับปรุง

3.6 สร้างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส จำนวน 20 ข้อ

3.7 นำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบสที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา รวมทั้งความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ แล้วนำข้อเสนอแนะไปปรับปรุงแก้ไข

3.8 นำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษา เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบด้านเนื้อหาเคมี 3 ท่านและผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล 2 ท่าน ซึ่งตรวจสอบความตรง ด้วยดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ (IOC) โดยใช้แบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

โดยประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) โดยมีการแปลความหมาย ดังนี้

+1 หมายถึง มีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่ามีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้

-1 หมายถึง ไม่มีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้

จากนั้นนำผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1.00 (ภาคผนวก ค) และนำข้อคำถามที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0.60 ขึ้นไปมาปรับปรุงแก้ไข โดยข้อสรุปของข้อเสนอแนะเป็นดังนี้

1) การระบุแนวทางในการแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาแต่ละข้อ โดยระบุว่าให้นักเรียนแสดงขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา 4 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นทำความเข้าใจปัญหา (2 คะแนน) ขั้นวางแผนแก้ปัญหา (2 คะแนน) ขั้นดำเนินการตามแผน (4 คะแนน) และขั้นตรวจสอบผล (2 คะแนน) หน้าแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส

2) การใช้ภาษาของข้อคำถามบางข้อยังไม่มีความชัดเจน โดยปรับปรุงข้อคำถามในข้อที่ 12

3) การใช้คำให้คงที่ ตลอดทั้งแบบวัด ได้แก่ การใช้หน่วยจะใช้หน่วยเป็นภาษาไทย โดยใช้ ลูกบาศก์เซนติเมตร แทนการใช้ cm^3 และใช้ โมล/ลิตร แทนการใช้ M

3.9 นำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบสที่ปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งผ่าน

การเรียนรู้ เรื่อง กรด-เบสมาแล้ว ของโรงเรียนบ้านแก่งชัชวลิตวิทยา จำนวน 19 คน โรงเรียนทุ่งมนวิทยาคาร จำนวน 28 คนและโรงเรียนตะคร้อพิทยา จำนวน 24 คน รวมทั้งสิ้น 71 คน แต่ยังไม่ได้เรียนเนื้อหาใหม่ที่เกี่ยวกับกรด - เบสเพิ่มเติมและเป็นนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เช่นเดียวกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

3.10 ตรวจให้คะแนนและนำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด - เบส มาหาความเชื่อมั่นของเกณฑ์ในการตรวจจากผู้ตรวจจำนวน 2 คน (Rater Agreement Index) ซึ่งเป็นครูผู้สอนวิชาเคมี ที่มีความเข้าใจในเกณฑ์การตรวจ ซึ่งได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.94 แปลความหมายว่า เกณฑ์การตรวจสามารถใช้ได้

3.11 นำคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์รายข้อเพื่อหาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) โดยค่าที่ได้ควรมีค่าความยากง่าย (p) ตั้งแต่ 0.20 ถึง 0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป

3.12 เมื่อนำคะแนนมาวิเคราะห์ ได้ค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.32 – 0.60 และค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.50 – 0.78 จากนั้นนำข้อคำถามที่คัดเลือกไว้จำนวน 10 ข้อ มาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่น โดยใช้สัมประสิทธิ์อัลฟา (α-coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.86

3.13 นำข้อคำถามมาจัดพิมพ์เป็นแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส จำนวน 10 ข้อไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป

4. การดำเนินการวิจัย

1. ก่อนการทดลอง

1.1 ทดสอบก่อนเรียน โดยใช้แบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส จำนวน 20 ข้อและแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส จำนวน 10 ข้อ

1.2 ชี้แจงวัตถุประสงค์และแนะนำเกี่ยวกับบทบาทของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด-เบส

2. ขณะทดลอง

2.1 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง กรด-เบส โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา จำนวน 6 แผนการจัดการเรียนรู้ โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการสอนกับกลุ่มตัวอย่างด้วยตนเอง

2.2 ประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีหลังการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อวัดพัฒนาการคะแนนความความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีด้วยแบบฝึกหัด รวม 6 ครั้ง

3. หลังการทดลอง

3.1 ทดสอบหลังเรียน โดยใช้แบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส จำนวน 20 ข้อและแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส จำนวน 10 ข้อ ด้วยแบบวัดฉบับเดิม

3.2 นำผลคะแนนที่ได้จากการตรวจแบบวัดมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน มาวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐาน รวมถึงวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนเป็นรายข้อ แล้วจัดกลุ่มมโนทัศน์ของนักเรียน จำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม เปรียบเทียบร้อยละในแต่ละกลุ่มมโนทัศน์ต่าง ๆ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลง

3.3 นำผลคะแนนที่ได้จากการตรวจแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีเรื่อง กรด-เบส ทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน มาวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐาน

3.4 นำผลคะแนนที่ได้จากการตรวจแบบฝึกหัดทั้ง 6 ครั้ง โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ที่ประยุกต์เกณฑ์การให้คะแนนตามแนวคิดของกรมวิชาการเช่นเดียวกับการให้คะแนนในแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส มาวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐาน

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้สถิติ ดังนี้

1. สถิติพื้นฐาน ได้แก่

1.1 ค่าเฉลี่ยของคะแนน (Mean)

1.2 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

1.3 ร้อยละ (Percentage)

2. สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ได้แก่

2.1 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานข้อที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา โดยใช้ t-test for dependent samples

2.2 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานข้อที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60) โดยใช้ t-test for one samples

2.3 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานข้อที่ 3 เพื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา โดยใช้ t-test for dependent samples

2.4 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานข้อที่ 4 เพื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60) โดยใช้ t-test for one samples

2.5 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานข้อที่ 5 เพื่อศึกษาพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา โดยใช้ ANOVA repeated measures

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้วิจัยได้มีการนำเสนอข้อมูล ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด

ตอนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

ตอนที่ 4 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด

ตอนที่ 5 ผลการศึกษาพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

$\bar{x}$	แทน	คะแนนเฉลี่ย (Mean)
S.D.	แทน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
t	แทน	การทดสอบสถิติ t-test
F	แทน	การทดสอบสถิติ ANOVA repeated measures
**	แทน	ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01
SS	แทน	ผลบวกกำลังสองของคะแนน (Sum of squares)
MS	แทน	ค่าเฉลี่ยของผลบวกกำลังสองของคะแนน (Mean of squares)
p	แทน	ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significance)
df	แทน	ชั้นของความอิสระ (Degree of freedom)

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

k แทน คะแนนเต็ม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

จากการนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์เรื่องกรด-เบส ไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 20 ข้อ มีคะแนนเต็มข้อละ 3 คะแนน รวม 60 คะแนน และนำคำตอบของนักเรียนมาวิเคราะห์ตามเกณฑ์การให้คะแนน ซึ่งพบว่าผลการวิเคราะห์ความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เมื่อนำไปทดสอบกับสมมติฐานที่กำหนดไว้ด้วยสถิติ t-test for Dependent Samples แสดงผลดังตาราง 19

ตาราง 19 การเปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังเรียน

คะแนน	n	k	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	แปลความหมาย	t
ก่อนเรียน	30	60	7.58	2.73	12.63	ปรับปรุง	35.03**
หลังเรียน	30	60	42.73	6.60	71.22	ดีมาก	

**p < .01

จากตาราง 19 พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้เคมีที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด – เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีคะแนนความเข้าใจมโนทัศน์เฉลี่ยก่อนเรียน เท่ากับ 7.58 คะแนน โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.73 หรือคิดเป็นร้อยละ 12.63 (อยู่ในระดับปรับปรุง) และมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน เท่ากับ 42.73 คะแนน โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 6.60 หรือคิดเป็นร้อยละ 71.22 (อยู่ในระดับดีมาก) จึงสรุปได้ว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด - เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด

จากการนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์เรื่องกรด-เบส ไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 20 ข้อ มีคะแนนเต็มข้อละ 3 คะแนน รวม 60 คะแนน และนำคำตอบของนักเรียนมาวิเคราะห์ตามเกณฑ์การให้คะแนน ซึ่งพบว่าผลการวิเคราะห์ความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด ร้อยละ 60 ซึ่งคิดเป็น 36 คะแนน เมื่อนำไปทดสอบกับสมมติฐานที่กำหนดไว้ด้วยสถิติ t-test for One Samples แสดงผลดังตาราง 20

ตาราง 20 การเปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจมโนทัศน์หลังเรียนเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด

คะแนน	n	k	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	แปลความหมาย	t
หลังเรียน	30	60	42.73	6.60	71.22	ดีมาก	5.58**
เกณฑ์ที่กำหนด			36.00		60.00	ดี	

**p < .01

จากตาราง 20 พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้เคมีที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด – เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีคะแนนความเข้าใจมโนทัศน์เฉลี่ยหลังเรียน เท่ากับ 42.73 คะแนน โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 6.60 หรือคิดเป็นร้อยละ 71.22 (อยู่ในระดับดีมาก) ซึ่งเกณฑ์ที่กำหนด เท่ากับ 36 คะแนนหรือคิดเป็นร้อยละ 60.00 (อยู่ในระดับดี) จึงสรุปได้ว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด - เบส หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 60) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2

ตอนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

จากการนำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบส ไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง มีคะแนนเต็มข้อละ 10 คะแนน รวม 100 คะแนน และนำการแก้โจทย์

ปัญหาของนักเรียนมาวิเคราะห์ตามเกณฑ์การให้คะแนน ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา โดยจำแนกตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาทั้ง 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นทำความเข้าใจปัญหา ขั้นวางแผนแก้ปัญหา ขั้นดำเนินการตามแผนและขั้นตรวจสอบผล ได้ผลดังตาราง 21

ตาราง 21 คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังเรียน เมื่อจำแนกตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา

ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา	k	คะแนน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
ขั้นทำความเข้าใจปัญหา	20	$\bar{x}$	11.73	19.23
(2 คะแนน)		S.D.	4.52	1.04
		ร้อยละ	58.67	96.17
ขั้นวางแผนแก้ปัญหา	20	$\bar{x}$	1.80	17.37
(2 คะแนน)		S.D.	2.28	3.01
		ร้อยละ	9.00	86.83
ขั้นดำเนินการตามแผน	40	$\bar{x}$	1.07	26.33
(4 คะแนน)		S.D.	2.15	6.91
		ร้อยละ	2.67	65.83
ขั้นตรวจสอบผล	20	$\bar{x}$	0.47	10.03
(2 คะแนน)		S.D.	1.01	4.16
		ร้อยละ	2.33	50.17

จากตาราง 21 พบว่า ในขั้นทำความเข้าใจปัญหา ก่อนเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 1.17 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.45 คิดเป็นร้อยละ 58.67 และหลังเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 1.92 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 คิดเป็นร้อยละ 96.17 ขั้นวางแผนการแก้ปัญหา ก่อนเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.23 คิดเป็นร้อยละ 9.00 และหลังเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 1.74 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.30 คิดเป็นร้อยละ 86.83 ขั้นดำเนินการ

ตามแผน ก่อนเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 0.11 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.21 คิดเป็นร้อยละ 2.67 และหลังเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 2.63 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.69 คิดเป็นร้อยละ 65.83 ขั้นตรวจสอบผล ก่อนเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 0.05 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 คิดเป็นร้อยละ 2.33 และหลังเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.42 คิดเป็นร้อยละ 50.17

เมื่อนำไปทดสอบกับสมมติฐานที่กำหนดไว้ด้วยสถิติ t-test for Dependent Samples แสดงผลดังตาราง 22

ตาราง 22 การเปรียบเทียบคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังเรียน

คะแนน	n	k	$\bar{X}$	S.D.	**ร้อยละ**	**แปลความหมาย**	t
ก่อนเรียน	30	100	14.97	7.57	14.97	ปรับปรุง	26.90**
หลังเรียน	30	100	72.77	13.90	72.77	ดีมาก	

**p < .01

จากตาราง 22 พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้เคมีที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด – เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีเฉลี่ยก่อนเรียน เท่ากับ 14.97 คะแนน โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 7.57 หรือคิดเป็นร้อยละ 14.97 (อยู่ในระดับปรับปรุง) และมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน เท่ากับ 72.77 คะแนน โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 13.90 หรือคิดเป็นร้อยละ 72.77 (อยู่ในระดับดีมาก) จึงสรุปได้ว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด - เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 3

ตอนที่ 4 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด

จากการนำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบส ไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง มีคะแนนเต็มข้อละ 10 คะแนน รวม 100 คะแนน และนำคำตอบของนักเรียนมาวิเคราะห์ตามเกณฑ์การให้คะแนน ซึ่งพบว่าผลการวิเคราะห์ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด ร้อยละ 60 ซึ่งคิดเป็น 60 คะแนน เมื่อนำไปทดสอบกับสมมติฐานที่กำหนดไว้ด้วยสถิติ t-test for one samples แสดงผลดังตาราง 23

ตาราง 23 การเปรียบเทียบคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีหลังเรียนเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด

คะแนน	n	k	$\bar{X}$	S.D.	**ร้อยละ**	**แปลความหมาย**	t
หลังเรียน	30	100	72.77	13.90	72.77	ดีมาก	5.03**
เกณฑ์ที่กำหนด			60.00		60.00	ดี	

**p < .01

จากตาราง 23 พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้เคมีที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด – เบส สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีเฉลี่ยหลังเรียน เท่ากับ 72.77 คะแนน โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 13.90 หรือคิดเป็นร้อยละ 72.77 (อยู่ในระดับดีมาก) ซึ่งเกณฑ์ที่กำหนด เท่ากับ 60 คะแนนหรือคิดเป็นร้อยละ 60.00 (อยู่ในระดับดี) จึงสรุปได้ว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด - เบส หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 60) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 4

ตอนที่ 5 ผลการศึกษาพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

เมื่อวิเคราะห์พัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา จากการตรวจแบบฝึกหัดหลังการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 6 ครั้ง โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนเช่นเดียวกับแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด - เบส ได้ผลดังตาราง 24

ตาราง 24 ผลคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี จากการวัดซ้ำ 6 ครั้ง

คะแนน	n	k	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	แปลความหมาย
ครั้งที่ 1	30	50	25.90	6.23	51.80	พอใช้
ครั้งที่ 2	30	50	29.10	6.49	58.20	พอใช้
ครั้งที่ 3	30	50	31.20	6.00	62.40	ดี
ครั้งที่ 4	30	50	33.73	6.18	67.46	ดี
ครั้งที่ 5	30	50	36.37	6.14	72.74	ดีมาก
ครั้งที่ 6	30	50	38.57	6.11	77.14	ดีมาก

จากตาราง 24 พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้เคมีที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด – เบส ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ มีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเฉลี่ยครั้งที่ 1 เท่ากับ 25.90 คะแนน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 6.23 หรือคิดเป็นร้อยละ 51.80 (อยู่ในระดับพอใช้) ครั้งที่ 2 เท่ากับ 29.10 คะแนน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 6.49 หรือคิดเป็นร้อยละ 58.20 (อยู่ในระดับพอใช้) ครั้งที่ 3 เท่ากับ 31.20 คะแนน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 6.00 หรือคิดเป็นร้อยละ 62.40 (อยู่ในระดับดี) ครั้งที่ 4 เท่ากับ 33.73 คะแนน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 6.18 หรือคิดเป็นร้อยละ 67.46 (อยู่ในระดับดี) ครั้งที่ 5 เท่ากับ 36.37 คะแนน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 6.14 หรือคิดเป็นร้อยละ 72.74 (อยู่ในระดับดีมาก) และครั้งที่ 6 เท่ากับ 38.57 คะแนน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 6.11 หรือคิดเป็นร้อยละ 77.14 (อยู่ในระดับดีมาก)

เมื่อทำการทดสอบสมมติฐาน ด้วยสถิติ ANOVA repeated measures ก่อนการวิเคราะห์ได้ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น ได้พิจารณาค่าความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ย

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด - เบส จากการวัดซ้ำทั้ง 6 ครั้ง พบว่า การทดสอบ Compound symmetry ด้วย Mauchly‘ s test of sphericity ความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ยจากการวัดซ้ำในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แสดงว่าละเมิดข้อตกลงเบื้องต้น จึงปรับแก้โดยใช้สถิติ Greenhouse-geisser epsilon เพื่อเป็นการลด Type I error โดยผลการทดสอบ Compound symmetry ด้วย Greenhouse-geisser epsilon พบว่า Greenhouse-geisser epsilon มีค่า 0.71 แสดงว่า ความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ยจากการวัดซ้ำในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี จากการวัดซ้ำจำนวน 6 ครั้ง ดังตาราง 25

ตาราง 25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี

แหล่งความแปรปรวน	df	SS	MS	F	p
ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี	3.52	3302.51	938.50	250.83**	0.00
ความคลาดเคลื่อน	102.05	381.82	3.74		

**p < .01

จากตาราง 25 พบว่า ผลของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้เคมีที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เมื่อได้รับการวัดซ้ำจำนวน 6 ครั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 กล่าวคือ มีคะแนนเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างคะแนนเฉลี่ยรายคู่ ของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี ที่ได้รับการวัดซ้ำจำนวน 6 ครั้ง ด้วยสถิติ Bonferroni ได้ผลดังตาราง 26

ตาราง 26 การเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยรายคู่

การวัดซ้ำ	$\bar{X}$	ครั้ง 1	ครั้ง 2	ครั้ง 3	ครั้ง 4	ครั้ง 5	ครั้ง 6
ครั้ง 1	25.90	-	3.20**	5.30**	7.83**	10.47**	12.67**
ครั้ง 2	29.10	-	-	2.10**	4.63**	7.27**	9.47**
ครั้ง 3	31.20	-	-	-	2.53**	5.17**	7.37**
ครั้ง 4	33.73	-	-	-	-	2.63**	4.83**
ครั้ง 5	36.37	-	-	-	-	-	2.20**
ครั้ง 6	38.57	-	-	-	-	-	-

**p < .01

จากตาราง 26 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างคะแนนเฉลี่ยรายคู่ ของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี ที่ได้รับการวัดซ้ำจำนวน 6 ครั้ง มีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีเมื่อทำการวัดจากแบบฝึกหัดหลังแผนการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1-6 ทุกคู่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 กล่าวคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส จากการประเมินแต่ละครั้งแตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 5

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา 2) เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด 3) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา 4) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด และ 5) เพื่อศึกษาพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา โดยมีสมมติฐานการวิจัย ดังนี้

1) นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

2) นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 60)

3) นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

4) นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 60)

5) นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบสจากการประเมินแต่ละครั้งแตกต่างกัน

แบบแผนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยแบบก่อนการทดลอง (Pre-experiment design) ซึ่งได้ดำเนินการทดลองตามแบบแผนการวิจัยที่มีกลุ่มทดลองกลุ่มเดียว วัดสองครั้ง

(One group pretest-posttest design) และแบบแผนการวิจัยที่มีกลุ่มทดลองกลุ่มเดียวแบบอนุกรมเวลา (One group time series design) ประกอบด้วยกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง เป็นกลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนวังข่อยพิทยา แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2563 ภาคเรียนที่ 2 จำนวน 1 ห้องเรียน นักเรียน 30 คน โดยมีประชากรเป็น นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 กลุ่มวิทยาเขตอัจฉราลัย มีที่ตั้งในบริเวณใกล้เคียงกัน เป็นโรงเรียนขนาดเล็กในสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษานครสวรรค์ ประกอบด้วย 3 โรงเรียน ได้แก่ โรงเรียนวังข่อยพิทยา โรงเรียนบ้านแก่งชัชวลิตวิทยา โรงเรียนตะคร้อพิทยา จำนวน 3 ห้องเรียน 79 คน ทั้ง 3 ห้องเรียนมีลักษณะผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชา เคมี คล้ายคลึงกัน ซึ่งได้ใช้วิธีการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster random sampling) โดยมีหน่วยการสุ่มเป็นห้องเรียน ใช้เวลาในการทดลอง 18 คาบ (ไม่รวมการทดสอบก่อนเรียนและการทดสอบหลังเรียน) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

1) แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด-เบส จำนวน 6 แผนการจัดการเรียนรู้ ที่ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เกี่ยวกับองค์ประกอบสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ จำนวนคาบเรียน สาระสำคัญ การวัดและประเมินผล กิจกรรมการจัดการเรียนรู้ ความยากง่ายของเนื้อหา มีค่าเท่ากับ 1.00

2) แบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส จำนวน 20 ข้อ ที่ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างข้อคำถามกับมโนทัศน์ที่ต้องการวัด ความเหมาะสมของภาษาอยู่ระหว่าง 0.60 – 1.00 จากนั้นทำการคัดเลือกข้อสอบที่มีค่าความยากง่าย (p) ตอนที่ 1 อยู่ระหว่าง 0.44 – 0.68 ตอนที่ 2 อยู่ระหว่าง 0.23 – 0.41 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตอนที่ 1 อยู่ระหว่าง 0.24 – 0.70 ตอนที่ 2 อยู่ระหว่าง 0.43 – 0.84 และมีค่าความเชื่อมั่นตอนที่ 1 เท่ากับ 0.86 และตอนที่ 2 เท่ากับ 0.95 โดยมีค่า RAI เท่ากับ 0.97

3) แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส จำนวน 10 ข้อ ที่ผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างข้อคำถามกับหัวเรื่อง ความเหมาะสมของภาษาเท่ากับ 1.00 จากนั้นทำการคัดเลือกข้อสอบที่มีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.32 – 0.60 ค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.50 – 0.78 และมีค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.86 โดยมีค่า RAI เท่ากับ 0.94

สถิติพื้นฐานที่ใช้ ได้แก่ 1) ค่าเฉลี่ยของคะแนน (Mean) 2) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) 3) ร้อยละ (Percentage) สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน ได้แก่ 1) t-test for Dependent samples เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาและเพื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา 2) t-test for one samples เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา กับเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60) และเพื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยากับเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60) และ 3) ANOVA repeated measures เพื่อศึกษาพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา

สรุปผลการวิจัย

1. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1

2. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 60) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2

3. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3

4. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 60) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 4

5. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบสจากการประเมินแต่ละครั้งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาความเข้าใจมโนทัศน์และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ 5 ประเด็น ดังนี้

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา มีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา สามารถพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ของนักเรียนได้ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการเรียนรู้เน้นการสร้างความเข้าใจในมโนทัศน์ที่ถูกต้องสมบูรณ์ ครูเป็นเพียงผู้ชี้แนะให้นักเรียนได้มีโอกาสสร้างความเข้าใจมโนทัศน์ให้ชัดเจน เน้นให้นักเรียนอภิปราย ซักถาม แลกเปลี่ยนรียนรู้ร่วมกัน โดยมโนทัศน์ทุกมโนทัศน์ต้องผ่านการยืนยันมาแล้วว่าสมบูรณ์ จึงสามารถนำไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาให้เกิดมโนทัศน์ที่กว้างขึ้น ซึ่งการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยานี้ เกิดจากการสังเคราะห์ แนวคิดจากนักการศึกษาหลายท่าน ซึ่งได้ขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ทั้งสิ้น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (Engage) เป็นขั้นที่กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจ ซึ่งของการจัดการเรียนรู้ที่ดีมักเริ่มต้นด้วยสัญชาตญาณของความอยากรู้ จะต้องกระตุ้นให้นักเรียนเกิดข้อสงสัย นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบมโนทัศน์เดิมของนักเรียน ซึ่งการเชื่อมโยงมโนทัศน์เดิมกับมโนทัศน์ใหม่เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ของนักเรียนตามทฤษฎีการเรียนรู้อย่างมีความหมายของออซุเบล เพื่อให้นักเรียนมีการจัดความคิดอย่างเป็นระบบ (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2561, น. 260-261) ตลอดแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 6 แผน มีกิจกรรมการกระตุ้นความสนใจและตรวจสอบมโนทัศน์เดิมด้วยการให้นักเรียนยกตัวอย่างสารละลายกรด เบสและกลางในชีวิตประจำวัน การเล่นเกมจับคู่เพื่อหาคู่กรด - เบส เกมการตอบคำถามเกี่ยวกับทฤษฎีกรด – เบส มีกิจกรรมที่กระตุ้นความสนใจของนักเรียนด้วยการให้นักเรียนตรวจสอบความเป็นกรด - เบสด้วยกระดาษลิตมัส การจัดประเภทสารละลายที่ไม่ทราบชื่อโดยใช้ความสว่างของหลอดไฟเป็นเกณฑ์ การสืบค้นสูตรเคมีของเหลือภายในเวลาที่กำหนด กิจกรรมตามล่าหาค่า pH ของน้ำสบู่ด้วยอินดิเคเตอร์ การจับคู่สารละลายบัฟเฟอร์และสังเกตสีของยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์เมื่อหยดลงไป รวมถึงการร่วมกันแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับความสามารถในการแตกตัวของสารละลายกรด - เบส และค่า pH ของสารละลายชนิดเดียวกันที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน จากการดำเนินการจัดการเรียนรู้ พบว่านักเรียนให้ความสนใจ กระตือรือร้นที่จะทำกิจกรรมในขั้นถัดไป

หากมีการสาธิตการทดลอง หรือให้นักเรียนตัวแทนออกไปทำการทดลองหน้าชั้นเรียนนักเรียนจะมีความกระตือรือร้นมากกว่ากิจกรรมอื่น ๆ

2. ขั้นสร้างมโนทัศน์ (Construct) เป็นขั้นที่ให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ โดยครูเป็นผู้อำนวยความสะดวกให้นักเรียน ตลอดแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 6 แผน มีกิจกรรมสร้างมโนทัศน์ด้วยการให้นักเรียนทำการทดลอง บันทึกผลการทดลอง อภิปรายการทดลองร่วมกันภายในกลุ่มและสรุปผล มีการทดลอง เรื่องสมบัติบางประการของสารละลาย เรื่องการแตกตัวเป็นไอออนของน้ำ เรื่อง pH ของสารละลายจากสารที่ไม่ทราบค่า pH เรื่องปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟิวริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ เรื่องปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟิวริกและแบเรียมไฮดรอกไซด์ เรื่องการไทเทรตและอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส ซึ่งจำลองให้นักเรียนเป็นนักเคมีวิเคราะห์ มีภารกิจคือ หาความเข้มข้นของสารที่กำหนดให้ และเรื่องการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ นอกจากนี้มีการสำรวจ สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีกรด-เบส ในรูปแบบของแผนผังความคิด การศึกษาการแตกตัวของกรด-เบส ด้วยโปรแกรมสถานการณ์จำลอง PHET นำเสนอสมการการแตกตัวและในรูปแบบของกราฟ การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และค่า $[H_3O^+]$ pOH และค่า $[OH^-]$ เขียนออกมาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ การสืบค้นเกี่ยวกับร้อยละการแตกตัว การเปรียบเทียบความสามารถในการแตกตัว ค่าคงที่ของการแตกตัว ในรูปแบบ infographic การศึกษาวิธีการและผลของการไทเทรตหาจุดสมมูลจากวิดีทัศน์ด้วยตนเอง ดังที่ สุพรรณี ชาญประเสริฐ (2556, น. 34-37) ได้กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้ทีทำให้เกิดความเข้าใจมโนทัศน์เคมี จำเป็นอย่างยิ่งในการนำกิจกรรมการทดลอง สื่อต่าง ๆ มาประกอบการเรียนรู้เพื่อช่วยให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้น โดยเฉพาะเรื่องที่เป็นนามธรรมและยังสอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ (The theory of experiential learning) ของ Kolb ที่กล่าวถึง การจัดการเรียนรู้ที่จะช่วยให้นักเรียนประสบผลสำเร็จตามเป้าหมาย จะต้องให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ที่จำเป็นต่อการเรียนรู้ในเรื่องนั้น ๆ ก่อน แล้วไตร่ตรองจนกระทั่งสามารถสร้างมโนทัศน์เกี่ยวกับเรื่องนั้นด้วยตนเอง นอกจากกิจกรรมที่กล่าวมาจะทำให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้นแล้ว ยังทำให้นักเรียนให้ความสนใจกับการเรียนมากขึ้น โดยเห็นจากการสะท้อนความคิดเห็นของนักเรียนเกี่ยวกับขั้นตอนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ จากการสุ่มสัมภาษณ์นักเรียนที่อยู่ในกลุ่มเก่ง กลาง อ่อน กลุ่มละ 1 คน รวมจำนวน 3 คน ดังนี้

“หนูไม่เคยได้ลงมือทดลองด้วยตนเองเลย รู้สึกตื่นเต้นและภูมิใจที่ทำออกมาสำเร็จ” (นักเรียนคนที่ 1)

"อยากให้มีการทดลองแบบนี้อีกทุกครั้ง เพราะทำให้เข้าใจมากขึ้น และยังสนุกด้วย" (นักเรียนคนที่ 2)

"ได้ทดลองจริงแล้วเข้าใจมากกว่านั่งเรียน หรือดูคลิปสาธิตการทดลอง" (นักเรียนคนที่ 3)

3. ขั้นยืนยันมโนทัศน์ (Confirm) เป็นการปรับมโนทัศน์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ โดยมีครูเป็นผู้ชี้แนะให้นักเรียนสร้างมโนทัศน์ให้ชัดเจนด้วยตนเอง ตลอดแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 6 แผน มีกิจกรรมในขั้นการยืนยันมโนทัศน์ ได้แก่ การนำเสนอผลการทดลอง นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายด้วยคำถาม จนได้มโนทัศน์ที่สมบูรณ์ มีการตรวจสอบมโนทัศน์ที่นักเรียนเข้าใจจากการทำกิจกรรมบัตรคำคู่กรด - เบส กิจกรรมการจับคู่ค่าpH หรือ pOH การทำใบงานโดยให้นักเรียนตรวจสอบของตนเองและเติมเต็มมโนทัศน์ให้สมบูรณ์ การร่วมกันถ่ายทอดมโนทัศน์ของตนเองด้วยการนำแผนผังความคิดไปติดรอบ ๆ ห้องเพื่อศึกษาร่วมกัน โดยมีครูเป็นผู้ให้คำแนะนำและตรวจสอบมโนทัศน์ให้ถูกต้อง รวมถึงการซักถามในประเด็นที่ยังไม่เข้าใจ จากกิจกรรมพบว่านักเรียนแต่ละกลุ่มสามารถถ่ายทอดมโนทัศน์จากกลุ่มตนเองได้ และช่วยเติมเต็มมโนทัศน์ให้สมบูรณ์ร่วมกันซึ่งสอดคล้องกับที่ชนาธิป พรกุล (2552, น. 19) กล่าวว่า การแสดงความคิดเห็นและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันนั้น จะช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ในมโนทัศน์ที่เรียนกว้างขึ้น และสุพรรณี ชาญประเสริฐ (2556, น. 34-37) ได้กล่าวว่า เมื่อนักเรียนเกิดความเข้าใจในมโนทัศน์แล้ว ครูควรสรุป เพื่อให้มโนทัศน์มีความหมายยิ่งขึ้น ซึ่งควรทำในเวลาที่เหมาะสม โดยสิ่งที่ช่วยส่งเสริมให้การสรุปมีประสิทธิภาพมากขึ้น คือ การกระตุ้นให้นักเรียนได้ร่วมอภิปรายเกี่ยวกับสิ่งที่ได้เรียนรู้ ซึ่งครูต้องช่วยเติมเต็มมโนทัศน์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น การเรียนรู้ไม่ควรสิ้นสุดหลังจากที่นักเรียนได้ร่วมกิจกรรม

4. ขั้นประยุกต์ (Apply) เป็นขั้นที่นำมโนทัศน์ที่ถูกต้องสมบูรณ์แล้วมาใช้ในสถานการณ์ที่ครูกำหนดขึ้น ตลอดแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 6 แผน มีกิจกรรมในขั้นประยุกต์ คือ นักเรียนได้นำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ใช้โดยการแก้โจทย์ปัญหาหรือนักเรียนตั้งโจทย์ปัญหาด้วยตนเองเพื่อให้ทุกกลุ่มเวียนกันแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งนักเรียนจะเรียนรู้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาด้วยเทคนิคของโพลยา จากตัวอย่างและจากแบบฝึกหัดในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ มีการนำเสนอกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียน หากมีนักเรียนคนใดที่มีกระบวนการแตกต่างจากเพื่อน ให้นำเสนอเพื่อเป็นแนวทางที่หลากหลาย จากนั้นสรุปสิ่งที่ได้จากการแก้โจทย์ปัญหาในแบบฝึกหัด นอกจากนี้ มีกิจกรรมกระตุ้นความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาด้วยการให้นักเรียนนำสถานการณ์ที่ตนเองคิดและกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของตนเองมาติดรอบ ๆ

ชั้นเรียนเพื่อค้นหานักเรียนที่มีสถานการณ์และกระบวนการในการแก้โจทย์ปัญหาที่ดีที่สุดของชั้นเรียน พบว่านักเรียนในกลุ่มช่วยกันแก้โจทย์ปัญหา โดยในแต่ละกลุ่มจะมีนักเรียนจากกลุ่มเก่งและกลุ่มปานกลางคอยช่วยเหลือนักเรียนจากกลุ่มอ่อน หากมีโจทย์ใดที่นักเรียนต้องการคำแนะนำจากครู ครูก็จะเข้าไปช่วยเหลือนักเรียน ซึ่งสอดคล้องกับคำกล่าวของชนาธิป พรกุล (2552, น. 14) ที่ว่า การฝึกการนำมโนทัศน์มาใช้ จะช่วยให้นักเรียนได้ใช้ความรู้ให้เกิดประโยชน์ต่อชีวิตอย่างแท้จริงและเกิดความเข้าใจที่มากขึ้น ลึกซึ้งขึ้นและสอดคล้องกับกับกฎแห่งการฝึกหัด (Law of Exercise) ของThorndike ที่กล่าวว่า เมื่อนักเรียนได้ทำแบบฝึกหัดซ้ำ ๆ บ่อย ๆ จะทำให้เกิดความชำนาญและมีส่วนสำคัญที่จะทำให้เกิดมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (ทิศนา แขมมณี, 2545, น. 63)

5. ขั้นสรุปและประเมิน (Conclude and assess) เป็นขั้นที่ให้นักเรียนและครูร่วมกันสรุปเกี่ยวกับการนำมโนทัศน์ไปใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ และทดสอบความเข้าใจของนักเรียนตลอดแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 6 แผน มีกิจกรรมในขั้นสรุปและประเมิน คือ การร่วมกันสรุปเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้และการนำมโนทัศน์ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา การเปิดโอกาสให้นักเรียนซักถามข้อสงสัยเกี่ยวกับการเรียนในครั้งนี้ การทำกิจกรรมเพื่อประเมินนักเรียนด้วยการเล่นเกมโดมิโนกรด - เบส เล่นเกม Bingo pH การจับฉลากชื่อสูตรเคมีเพื่อเรียงลำดับความเป็นกรด การจับฉลากชื่อเกลือเพื่อจัดกลุ่มใหม่โดยใช้สมบัติความเป็นกรด–เบสเป็นเกณฑ์ การจับคู่สารละลายที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน การทำรายงาน เกี่ยวกับสารต่าง ๆ ในร่างกายและในชีวิตประจำวันที่มีค่า pH ต่าง ๆ นอกจากนี้ให้นักเรียนตรวจสอบใบงานให้ครบถ้วนเพื่อที่ครูจะได้ให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียน พบว่านักเรียนสามารถแสดงความเข้าใจมโนทัศน์ออกมาได้เป็นอย่างดี ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ของคลอสไมเออร์ (Kleausmeior, 1969 อ้างถึงในสุรางค์ โควัตระกูล, 2556, น. 368) ที่กล่าวว่า ครูต้องบอกข้อมูลย้อนกลับให้นักเรียนทันทีว่ามโนทัศน์ของนักเรียนถูกหรือผิด หากนักเรียนตอบผิดก็จะต้องบอกให้ทราบ ควรเปิดโอกาสให้นักเรียนซักถามข้อสงสัยมาก ๆ และให้กำลังใจนักเรียนเป็นการเสริมแรงทุกระยะ เช่น เกม Bingo pH เสริมแรงด้วยการให้รางวัลนักเรียนที่ Bingo ก่อน 3 อันดับแรก นักเรียนให้ความสนใจเป็นอย่างดี โดยเห็นจากการสะท้อนความคิดเห็นของนักเรียนจากการสุ่มสัมภาษณ์นักเรียนเกี่ยวกับขั้นตอนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ จำนวน 2 คน ดังนี้

“ตอนที่ได้เล่นเกม รู้สึกสนุกมาก ดีกว่าการทำแบบฝึกหัดจากใบงาน นอกจากจะได้ความสนุก ยังได้ทบทวนความรู้อีกด้วย” (นักเรียนคนที่ 4)

“การที่ครูทดสอบความรู้ด้วยการให้ทำกิจกรรม ที่ไม่ใช่การนั่งตอบ หรือนั่งทำใบงานอยู่กับที่ การได้ลุก ได้เคลื่อนที่ไปจับคู่กับเพื่อน ทำให้น่าสนใจขึ้น” (นักเรียนคนที่ 5)

จากที่กล่าวมาข้างต้น นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เป็นระยะเวลา 18 ชั่วโมงต่อเนื่องกันจึงมีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังพบว่ามโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส เป็น 9 มโนทัศน์ คือ ทฤษฎีกรด-เบส คู่กรด-เบส การแตกตัวของกรด-เบส การแตกตัวของน้ำ pH ของสารละลาย ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรดเบสของเกลือ การไทเทรต อินดิเคเตอร์และสารละลายบัฟเฟอร์ พบว่า ทุกมโนทัศน์มีร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) มากขึ้นหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา โดยมโนทัศน์ที่มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์มากที่สุด 3 มโนทัศน์แรก คือ การแตกตัวของกรด-เบส การไทเทรตและอินดิเคเตอร์ ส่วนมโนทัศน์ที่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (AC) และความไม่เข้าใจ (NU) มากที่สุด 3 มโนทัศน์แรก คือ pH ของสารละลาย สารละลายบัฟเฟอร์และอินดิเคเตอร์ (ภาคผนวก จ) สาเหตุที่นักเรียนยังมีความเข้าใจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางส่วน ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนและความไม่เข้าใจในมโนทัศน์ pH ของสารละลายอาจเป็นผลเนื่องมาจากเป็นมโนทัศน์ที่มีความมับซ้อน ต้องอาศัยพื้นฐานการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เช่น ค่า log เลขยกกำลัง ทำให้นักเรียนยังคงมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนอยู่ มโนทัศน์อินดิเคเตอร์ พบว่านักเรียนร้อยละ 40.00 สามารถเลือกใช้อินเดเคเตอร์ได้อย่างถูกต้องแต่ไม่สามารถอธิบายเหตุผลในการตอบได้ โดยที่ไม่มีนักเรียนคนใดที่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (AC) และความไม่เข้าใจ (NU) ส่วนมโนทัศน์บัฟเฟอร์ พบว่านักเรียนมีความเข้าใจหลักการในการเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์เนื่องจากได้ลงมือเตรียมด้วยตนเอง ทำให้สามารถสร้างความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องด้วยตนเองได้ แต่นักเรียนไม่สามารถอธิบายเหตุผลที่ทำให้สารละลายบัฟเฟอร์มีสมบัติดังกล่าว เพราะเป็นเรื่องของไอออน ไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตาเปล่า จึงยากต่อการทำความเข้าใจ

ตัวอย่างความเข้าใจของมโนทัศน์ที่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (AC) และความไม่เข้าใจ (NU) ทั้งก่อนการจัดการเรียนรู้และหลังการจัดการเรียนรู้ของแต่ละมโนทัศน์เป็นดังนี้

- มโนทัศน์ เรื่อง ทฤษฎีกรด-เบส เช่น สารละลายที่มีความเป็นกลางไม่สามารถนำไฟฟ้าได้ทุกชนิด (AC)

- มโนทัศน์ เรื่อง คู่กรด-เบส เช่น กรด คือ สารที่ทำหน้าที่ให้ไฮโดรเจนแก่สารอื่น เบส คือ สารที่ทำหน้าที่รับไฮโดรเจนแก่สารอื่น (PS)

- มโนทัศน์ เรื่อง การแตกตัวของกรด-เบส เช่น ถ้าเบสอ่อนมีค่าคงที่การแตกตัวมาก หมายความว่า มีความเป็นเบสที่อ่อนมาก (AC)

- มโนทัศน์ เรื่อง การแตกตัวของน้ำ เช่น ค่าคงที่การแตกตัวของน้ำ เท่ากับค่าคงที่การแตกตัวของกรดและค่าคงที่การแตกตัวของเบส (AC)

- มโนทัศน์ เรื่อง pH ของสารละลาย เช่น สารที่มีสมบัติเป็นกรด มีค่า pH น้อยกว่าสารที่มีสมบัติเป็นเบส ทำให้มีค่า $[H_3O^+]$ น้อยกว่าสารที่มีสมบัติเป็นเบสด้วย (PS)

- มโนทัศน์ เรื่อง ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรดเบสของเกลือ เช่น สารละลายเกลือที่เกิดจากกรดอ่อนและเบสอ่อน จะมีสมบัติเป็นกลางทุกกรณี เพราะกรดอ่อนและเบสอ่อนสามารถหักล้างกันได้จึงเป็นกลาง (AC)

- มโนทัศน์ เรื่อง การไทเทรต เช่น จุดสมมูลที่ pH เท่ากับ 7 เกิดจากการไทเทรตระหว่างเบสอ่อนและกรดอ่อน เพราะสารละลายที่ได้จะเป็นกลาง (AC)

- มโนทัศน์ เรื่อง อินดิเคเตอร์ เช่น เมื่อหยดอินดิเคเตอร์ไปแล้ว ถ้าได้สารละลายที่มีสีอ่อนกว่าจะเป็นสารละลายเบส ถ้าได้สารละลายที่มีสีเข้มกว่าจะเป็นสารละลายกรด (NU)

- มโนทัศน์ เรื่อง สารละลายบัฟเฟอร์ คือ สารละลายบัฟเฟอร์ ที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH น้อยมากเมื่อเติมกรดแก่ เบสแก่ลงไป คือสารที่มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกัน เช่น NaOH และ NaCl มี Na เป็นองค์ประกอบเหมือนกัน (PS)

2. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา มีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 60)

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ ร้อยละ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2 ทั้งนี้เนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาในแต่ละขั้นได้มีส่วนช่วยในการส่งเสริม พัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์อย่างถูกต้องสมบูรณ์ รวมถึงครูได้คำนึงถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างความเข้าใจมโนทัศน์สอดคล้องกับแนวคิดของ พันธ์ ทองชุมนุม (2547, น. 202-206) ที่กล่าวว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างความเข้าใจมโนทัศน์ คือ ประสบการณ์และมโนทัศน์เดิมของนักเรียน จากการเริ่มต้นด้วยขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (Engage) ที่มีการตรวจสอบมโนทัศน์เดิมทุกครั้งก่อนการจัดการเรียนรู้ทุกแผน รวมถึงครูมีการเสริมให้นักเรียนมีแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ที่เป็นตัวกระตุ้นอยู่เสมอ เช่น มีการสร้างสภาพแวดล้อมในการเรียนให้เอื้อต่อการเรียนรู้ การใช้แหล่งเรียนรู้ใน

โรงเรียนที่หลากหลายเหมาะสมกับกิจกรรมในชั่วโมงนั้น ๆ หรือจัดให้มีการปฏิบัติภารกิจต่าง ๆ ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนอยากทำกิจกรรมเสมอ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับแนวคิดของ อาภรณ์ ใจเที่ยง (2553, น. 62-63) ที่จัดการเรียนรู้โดยให้ครูและนักเรียนมีปฏิสัมพันธ์ตลอดเวลา มีการซักถามในห้องเรียนและนอกห้องเรียน มีการเสริมแรง ให้กำลังใจจากครูสู่นักเรียน และจากนักเรียนสู่นักเรียน เมื่อนักเรียนมีความเข้าใจมโนทัศน์แล้วยังให้นักเรียนได้ใช้มโนทัศน์ที่ผ่านการยืนยันแล้วมาใช้ในการแก้ปัญหาต่อไป สอดคล้องกับแนวคิดของคลอสไมเออร์ (Kleausmeior, 1969 อ้างถึงในสุรางค์ โควัตระกูล, 2556, น. 328) ดังจะเห็นได้จากมีการสอดแทรกเทคนิคการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาไว้ในขั้นประยุกต์ทุกแผนการจัดการเรียนรู้ ในแต่ละมโนทัศน์ย่อย พบว่า มโนทัศน์ที่ 1 ทฤษฎีกรด-เบส หลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) หรือคิดเป็นร้อยละ 56.57 มโนทัศน์ที่ 2 คู่กรด-เบส หลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) หรือคิดเป็นร้อยละ 53.33 มโนทัศน์ที่ 3 การแตกตัวของกรด-เบส หลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) หรือคิดเป็นร้อยละ 50.00 มโนทัศน์ที่ 4 การแตกตัวของน้ำ หลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) หรือคิดเป็นร้อยละ 55.00 มโนทัศน์ที่ 5 pH ของสารละลาย หลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) หรือคิดเป็นร้อยละ 42.22 มโนทัศน์ที่ 6 ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรด-เบสของเกลือ หลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) หรือคิดเป็นร้อยละ 46.67 มโนทัศน์ที่ 7 การไทเทรต หลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) หรือคิดเป็นร้อยละ 50.00 มโนทัศน์ที่ 8 การไทเทรต หลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) หรือคิดเป็นร้อยละ 40.00 มโนทัศน์ที่ 9 สารละลายบัฟเฟอร์ หลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) หรือคิดเป็นร้อยละ 48.33 (ภาคผนวก จ)

นอกจากนี้ยังพบว่า หลังการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา ที่ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) แต่ละมโนทัศน์ดังนี้ มโนทัศน์ที่ 1 ทฤษฎีกรด-เบส คิดเป็นร้อยละ 16.67 มโนทัศน์ที่ 2 คู่กรด-เบส คิดเป็นร้อยละ 16.67 มโนทัศน์ที่ 3 การแตกตัวของกรด-เบส คิดเป็นร้อยละ 23.34 มโนทัศน์ที่ 4 การแตกตัวของน้ำ คิดเป็นร้อยละ 13.33 มโนทัศน์ที่ 5 pH ของสารละลาย คิดเป็นร้อยละ 13.33 มโนทัศน์ที่ 6 ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรด-เบสของเกลือ คิดเป็นร้อยละ 20.00 มโนทัศน์ที่ 7 การไทเทรต คิดเป็นร้อยละ 23.34 มโนทัศน์ที่ 8 การไทเทรต คิดเป็นร้อยละ 23.33 มโนทัศน์ที่ 9 สารละลายบัฟเฟอร์

คิดเป็นร้อยละ 6.67 (ภาคผนวก จ) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของกัลยา ภูทัตโต (2558, น. 1-7) ที่พบว่า การจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนเชื่อมโยงความเข้าใจเดิม สร้างมโมนัศน์ด้วยตนเองและนำไปประยุกต์ใช้ในบริบทใหม่ ที่เน้นกระบวนการคิด กระบวนการกลุ่ม กระบวนการแก้ปัญหาและกระบวนการประเมินค่า จะทำให้ความเข้าใจมโนทัศน์ของนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยที่สูงขึ้น

3. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา มีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา สามารถพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมีของนักเรียนได้ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3 โดยจากผลการวิจัย พบว่าความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาก่อนเรียน มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 14.97 โดยเมื่อนักเรียนอ่านโจทย์ปัญหาเคมี ส่วนใหญ่นักเรียนไม่สามารถแสดงออกถึงพฤติกรรมในการแก้โจทย์ปัญหาได้ บอกได้เพียงสิ่งที่โจทย์ถามหา ข้อมูลและเงื่อนไขที่โจทย์ให้มา แต่ยังไม่สามารถวางแผนการแก้ปัญหา บอกถึงมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องได้ ส่งผลให้ไม่สามารถดำเนินการตามแผนหรือแสดงวิธีคิดตามการวางแผน และไม่สามารถสรุปคำตอบได้ เนื่องจากนักเรียนยังไม่มีมโนทัศน์เรื่องกรด-เบส และยังไม่คุ้นชินกับการแก้โจทย์ปัญหาที่เป็นระบบระเบียบ ยังไม่สามารถจัดระบบความคิดได้ ส่วนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาหลังเรียน พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เท่ากับ 72.77 แสดงว่า ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ทั้งนี้เนื่องจากการเน้นเทคนิคของโพลยา เป็นกระบวนการที่ปลูกฝังให้นักเรียนสนใจในปัญหาและเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกฝนตามขั้นตอน พยายามเข้าใจปัญหาและวางแผนการดำเนินการแก้ปัญหาด้วยตนเอง โดยจะนำเทคนิคของโพลยาเข้าไปสอดแทรกในขั้นประยุกต์ของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา ซึ่งมีขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาทั้งสิ้น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นทำความเข้าใจปัญหา (Understanding the problem) เป็นขั้นที่ส่งเสริมให้นักเรียนพิจารณาเกี่ยวกับรายละเอียดของโจทย์ปัญหา โดยในกิจกรรมการเรียนรู้จะกระตุ้นให้นักเรียนพยายามทำความเข้าใจแต่ละประโยคของโจทย์ปัญหา จากแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 6 แผน ครูมีบทบาทในการกระตุ้นการคิด โดยใช้คำถาม ได้แก่ สิ่งที่โจทย์ถามหาคืออะไร ข้อมูลเงื่อนไขที่โจทย์ให้มาคืออะไร จากกิจกรรมการเรียนรู้มีการแสดงตัวอย่างการแก้โจทย์ปัญหาที่หลากหลาย ทั้งครูและนักเรียนในชั้นเรียนร่วมกันหาแนวทางที่หลากหลาย มีส่วนร่วมในการอภิปราย สอดคล้องกับงานวิจัยของวีนัส ชาลี (2562, น. 141) ได้กล่าวว่าข้อคำถามที่ให้

นักเรียนระบุเกี่ยวกับสิ่งที่โจทย์กำหนดในรูปแบบข้อความ หรือแผนภาพ จะส่งผลให้นักเรียนแสดงพฤติกรรมการอ่านและวิเคราะห์สถานการณ์นั้นออกมา

2. ขั้นวางแผนแก้ปัญหา (Devising a plan) เป็นขั้นที่ให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลต่าง ๆ ในโจทย์ หาความสัมพันธ์ของสิ่งที่โจทย์ถามและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนด เพื่อให้นักเรียนวางแผนการแก้โจทย์ปัญหาและลำดับขั้นตอน จากแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 6 แผน ครูมีกิจกรรมที่กระตุ้นให้นักเรียนวิเคราะห์โจทย์ ด้วยคำถาม ได้แก่ มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องในโจทย์นี้คืออะไร สมการในการหาคำตอบหรือแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหาคืออะไร ซึ่งต้องอาศัยมโนทัศน์ ประสบการณ์เดิม ในการวางแผนแก้ปัญหานักเรียนจึงควรมีทโนทัศน์ที่ถูกต้องก่อนจึงจะสามารถวางแผนได้ นอกจากนี้ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2559, น. 70) ได้กล่าวว่า การคิดลงมือทำก่อนทำสิ่งใด จะทำให้สามารถประเมินความเป็นไปได้ในการแก้โจทย์ปัญหานั้น ๆ

3. ขั้นดำเนินการตามแผน (Carrying out the plan) เป็นขั้นที่ให้นักเรียนดำเนินการตามแผนที่วางไว้จากขั้นที่ 2 ในกรณีที่เป็นโจทย์เกี่ยวกับการคำนวณ พบว่า นักเรียนสามารถแทนค่าตัวแปรในสูตรได้ เทียบบัญญัติไตรยางค์ได้ หรือใช้วิธีการตัดหน่วยได้ จะมีนักเรียนบางส่วนที่สามารถหาคำตอบได้สำเร็จ และจะมีนักเรียนบางส่วนที่ติดขัดในขั้นตอนนี้ เพราะมีปัญหากับการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ ในกรณีที่โจทย์ปัญหาไม่มีการคำนวณ พบว่า นักเรียนไม่สามารถถ่ายทอดสิ่งที่นักเรียนคิดเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบ โดยนักเรียนจะข้ามไปทำขั้นที่ 4 ตรวจสอบผล เพื่อสรุปคำตอบเลย ดังที่ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2559, น. 70) กล่าวว่า โจทย์ปัญหาที่มีการคิดคำนวณ ถ้านักเรียนวางแผนแก้ปัญหาได้ถูกต้องเหมาะสมชัดเจน มักจะมีปัญหาอยู่ที่การคำวณเท่านั้น จากแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 6 แผน ครูมีกิจกรรมที่กระตุ้นให้นักเรียนดำเนินการตามแผน ตามความถนัดของตนเอง ให้นักเรียนได้ฝึกฝนร่วมกันโดยมีคำถาม คือ แสดงวิธีคิดตามการวางแผนได้อย่างไร มีครูเป็นผู้ชี้แนะและเสริมแรงทางบวกอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้นักเรียนมีกำลังใจ ไม่เกิดความย่อท้อในการแก้โจทย์ปัญหา

4. ขั้นตรวจสอบผล (Looking back) เป็นขั้นที่ให้นักเรียนตรวจสอบคำตอบและวิธีการแก้โจทย์ปัญหาโดยพิจารณาความสมเหตุสมผลของคำตอบ ตีความหมายของคำตอบว่าสอดคล้องกับโจทย์ปัญหาหรือไม่ รวมถึงวิเคราะห์หาวิธีอื่นที่ได้มาซึ่งคำตอบเช่นเดียวกัน จากการตรวจแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส การตรวจแบบฝึกหัดและการสังเกตพฤติกรรมที่แสดงออกของนักเรียน พบว่า สาเหตุที่นักเรียนตอบผิด เพราะ นักเรียนมักจะมองข้ามขั้นตอนการตรวจสอบผล ไม่มีการตรวจสอบหน่วย ไม่มีการแทนค่าตัวแปรในสมการเพื่อตรวจสอบความเท่ากันของสมการ จากแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 6 แผน ครูมีกิจกรรมที่

กระตุ้นให้นักเรียนได้ตรวจผลด้วยคำถาม ได้แก่ คำตอบที่ได้คืออะไร วิธีการแก้ปัญหาอื่นมีหรือไม่อย่างไร และมีการตรวจสอบคำตอบ ความสมเหตุสมผลอย่างไร ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2559, น. 71) ที่กล่าวว่า การแก้โจทย์ปัญหาควรเน้นให้นักเรียนเห็นความสำคัญกับกระบวนการมากกว่าการได้มาซึ่งคำตอบ

เมื่อวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนในแต่ละขั้นตอน พบว่า ทุกขั้นตอนมีคะแนนหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนทั้งหมด โดยรายละเอียดดังนี้

ขั้นทำความเข้าใจปัญหา ก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่สามารถระบุสิ่งที่โจทย์ถามหา ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มาได้ แต่ไม่ครบถ้วน หลังได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่สามารถระบุสิ่งที่โจทย์ถามหา ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มาได้ครบถ้วนมากขึ้น

ขั้นวางแผนแก้ปัญหา ก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถเชื่อมโยงมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ปัญหาได้ส่งผลให้ไม่สามารถหาแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหาหรือหาความสัมพันธ์เกี่ยวกับมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องและสมการในการหาคำตอบได้ หลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่สามารถเชื่อมโยงมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ปัญหาได้ดีมากขึ้นและหาแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหาหรือสมการในการหาคำตอบได้มากขึ้น

ขั้นดำเนินการตามแผน เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ดำเนินการต่อเนื่องจากขั้นวางแผนแก้ปัญหาทำให้ก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้นักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถแสดงวิธีคิดตามการวางแผนได้ หรือแสดงวิธีคิดไม่ถูกต้อง หลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีการวางแผนการแก้ปัญหาได้ดีขึ้นจึงส่งผลให้สามารถแสดงวิธีคิดตามการวางแผนได้ดียิ่งขึ้น

ขั้นตรวจสอบผล ก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่ไม่มีการตรวจสอบคำตอบหรือตรวจสอบความสมเหตุสมผลมากขึ้น ระบุคำตอบผิด และไม่คำนึงถึงหน่วยในการตอบ หลังได้รับการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่มีการคำนึงถึงการตรวจสอบคำตอบหรือความสมเหตุสมผลมากขึ้น ส่งผลให้คำตอบที่ได้ถูกต้องและหน่วยในการตอบถูกต้องสมบูรณ์

4. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา มีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ (ร้อยละ 60)

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ ร้อยละ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 4 ทั้งนี้เนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา มีปัจจัยที่

ช่วยในการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาตามแนวคิดของบิทเทอร์ (Bitter, 1990, pp. 43-44) ที่กล่าวว่า การแบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่มย่อยจะช่วยให้นักเรียนร่วมกันแก้โจทย์ปัญหาได้ดี หรือมีการจัดกิจกรรมที่ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอวิธีการแก้โจทย์ปัญหาของตนเอง เพื่อให้นักเรียนเห็นว่ายังมีอีกหลากหลายวิธีที่ใช้แก้โจทย์ปัญหาในโจทย์เดียวกัน ขยายมุมมองของนักเรียนให้กว้าง ทำให้นักเรียนมีแนวโน้มที่จะแก้โจทย์ปัญหาในครั้งต่อ ๆ ไปได้สำเร็จ

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยร้อยละของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส จะเห็นได้ว่าหลังเรียน ขั้นทำความเข้าใจปัญหา มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 96.17 ขั้นวางแผนแก้ปัญหา มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 86.83 ขั้นดำเนินการตามแผน มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 65.83 และขั้นตรวจสอบผล มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 50.17 โดยขั้นที่มีร้อยละเฉลี่ยมากที่สุด คือ ขั้นทำความเข้าใจปัญหา เพราะเกิดจากความสามารถในการอ่าน การวิเคราะห์จากข้อความของโจทย์ปัญหา แม้ว่านักเรียนจะมีมโนทัศน์ที่ไม่ถูกต้องสมบูรณ์ หรือไม่สามารถระบุมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องได้ ก็สามารถระบุสิ่งที่โจทย์ถามหา ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มาได้ ขั้นที่มีร้อยละเฉลี่ยมากเป็นอันดับที่ 2 3 และ 4 คือ ขั้นวางแผนแก้ปัญหา ขั้นดำเนินการตามแผน และขั้นตรวจสอบผลตามลำดับ เนื่องจากในแต่ละขั้นตอนจะต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง หากเกิดปัญหาในขั้นใดแล้วขั้นต่อ ๆ ไปจะไม่สามารถดำเนินการได้อย่างถูกต้องได้หากไม่มีการตรวจสอบซ้ำ โดยเฉพาะขั้นตรวจสอบผลที่นักเรียนได้คะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุด เพราะนักเรียนส่วนใหญ่มากข้ามขั้นตอนนี้ เน้นเพียงคำตอบที่ถูกต้อง ไม่มีการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบ ทำให้เมื่อได้คำตอบที่ผิด นักเรียนไม่ได้มองย้อนกลับไปเพื่อวางแผนการแก้โจทย์ปัญหาใหม่อีกครั้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของวีนัส ชาลี (2562, น. 143-144) ที่พบว่าพฤติกรรมการทำความเข้าใจปัญหาคือพฤติกรรมที่นักเรียนสามารถถ่ายทอดออกมาได้ดีที่สุด และมีค่าเฉลี่ยลดลงในขั้นตอนถัด ๆ ไป เนื่องจากนักเรียนไม่สามารถทำตามขั้นตอนทำความเข้าใจโจทย์ปัญหา วางแผนการดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา และดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาได้ ก็ไม่สามารถไปถึงขั้นตรวจสอบผลได้

5. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยามีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบสจากการประเมินแต่ละครั้งแตกต่างกัน

จากผลการวิเคราะห์คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี ที่ได้รับการวัดซ้ำจำนวน 6 ครั้ง พบว่า นักเรียนมีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 5 ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา โดยดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาแต่ละครั้งจะมีโจทย์ตัวอย่างให้นักเรียนและครูร่วมกันแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันเพื่อหาวิธีการแก้โจทย์ปัญหาอย่าง

หลากหลาย เมื่อให้นักเรียนลงมือทำแบบฝึกหัดด้วยตนเองหลังแผนการจัดการเรียนรู้ทุกแผน เมื่อมีการตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนด ครูมีการให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียน โดยตรวจสอบจากแบบฝึกหัด ดูร่องรอยการให้คะแนนและมีการร่วมกันแลกเปลี่ยนวิธีการแก้โจทย์ปัญหาของตนเอง เพื่อเป็นการสร้างความเข้าใจให้มากขึ้น หากมีข้อใดผิดพลาด จะช่วยกันแก้ไข ปรับความเข้าใจให้ถูกต้องสมบูรณ์ ซึ่งการให้ข้อมูลย้อนกลับนี้ ทำให้ทั้งนักเรียนและครูได้ปรับปรุงข้อบกพร่องของตนเอง โดยนักเรียนได้ปรับปรุงในส่วนที่ตนเองลงมือแก้โจทย์ปัญหา ส่วนครูได้ลงมือปรับปรุงการจัดการเรียนรู้เพื่อให้เกิดการส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาให้มากขึ้น ทำให้การวัดซ้ำจากแบบฝึกหัดครั้งต่อ ๆ ไป มีคะแนนมากขึ้นทุกครั้ง นอกจากนี้ยังมีเวลาให้นักเรียนฝึกการแก้โจทย์ปัญหาหลาย ๆ รูปแบบ ทั้งการแบ่งกลุ่มให้แก้โจทย์ปัญหาร่วมกัน การสร้างโจทย์ปัญหาขึ้นเองภายในกลุ่มและร่วมกันหาแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา การสร้างโจทย์ขึ้นเองและให้นักเรียนในห้องให้คะแนนผู้ที่มีการแก้โจทย์ปัญหาที่ดีที่สุด การร่วมกันหาแนวทางการแก้โจทย์ปัญหาร่วมกันกับครู การทำแบบฝึกหัดท้ายแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละแผน จำนวน 6 ด้วยโจทย์ที่หลากหลาย โดยมีความยากง่ายปะปนกัน มีครูที่ให้อิสระในการคิดและคอยสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนที่ถ่ายทอดออกมา กระตุ้นให้นักเรียนฝึกตั้งคำถาม แสดงความคิดเห็น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะต้องกระทำแบบค่อยเป็นค่อยไป ทำให้นักเรียนเกิดความชำนาญ มีไหวพริบ สามารถแก้โจทย์ปัญหาด้วยตนเองได้ สอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาของบิทเทอร์ (Bitter, 1990, p. 43) ที่กล่าวว่าควรให้นักเรียนทำการแก้โจทย์ปัญหาบ่อย ๆ จนเคยชินว่าเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการจัดการเรียนรู้

จากคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเฉลี่ยครั้งที่ 1 เท่ากับ 25.90 คะแนน ครั้งที่ 2 เท่ากับ 29.10 คะแนน ครั้งที่ 3 เท่ากับ 31.20 คะแนน ครั้งที่ 4 เท่ากับ 33.73 คะแนน ครั้งที่ 5 เท่ากับ 36.37 คะแนน ครั้งที่ 6 เท่ากับ 38.57 คะแนน พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยในแต่ละครั้งเพิ่มขึ้น โดยครั้งที่ได้คะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุดคือครั้งที่ 1 เนื่องจากนักเรียนยังไม่คุ้นชินกับการแก้โจทย์ปัญหาเคมีด้วยเทคนิคของโพลยา ทำให้นักเรียนไม่สามารถตีโจทย์ได้ ไม่สามารถถ่ายทอดพฤติกรรมที่แสดงถึงความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาออกมาได้ หรือนักเรียนระบุได้เพียงขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาที่เป็นขั้นพื้นฐานที่สุด นั่นคือ ขั้นทำความเข้าใจปัญหา ส่วนในขั้นวางแผนแก้ปัญหา โดยปกติเมื่อนักเรียนวิเคราะห์โจทย์ นักเรียนจะแทนค่าตัวแปรในสมการเพื่อคำนวณหาคำตอบทันที เมื่อไม่มีการวางแผนแก้ปัญหา ไม่มีการเชื่อมโยงมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง ส่งผลให้นักเรียนตอบผิด ได้คำตอบออกมาไม่สมเหตุสมผล ส่วนคะแนนเฉลี่ยในครั้งที่ 2 3 4 และ 5 มีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากการฝึกฝนให้ดำเนินการตามขั้นตอนซ้ำ ๆ ซึ่งเป็นหนึ่งใน

องค์ประกอบที่ช่วยในการแก้โจทย์ปัญหาได้ นั่นคือ ประสบการณ์ (กรมวิชาการ, 2544, น. 38) และคะแนนเฉลี่ยในครั้งที่ 6 เป็นคะแนนเฉลี่ยที่มากที่สุด พบว่านักเรียนส่วนใหญ่สามารถทำความเข้าใจปัญหา วางแผนการแก้ปัญหา ดำเนินการตามแผน และตรวจสอบผลได้ตามลำดับ ซึ่งนอกจากจะเป็นผลมาจากการฝึกฝนซ้ำ ๆ แล้วยังเป็นผลมาจากการที่นักเรียนได้รับข้อมูลย้อนกลับจากครูทุกครั้งหลังทำแบบฝึกหัด เช่น การแจ้งผลคะแนนในการทำแบบฝึกหัดแต่ละครั้ง การนำกระบวนการแก้โจทย์ปัญหามานำเสนอหน้าชั้นเรียนและให้ทุกคนร่วมกันลงคะแนนให้กับผู้ที่มีการแก้โจทย์ปัญหาที่ดีที่สุด เพื่อให้นักเรียนทราบข้อบกพร่องของตนเองเพื่อให้แก้ไขและปรับปรุงตนเองในครั้งต่อไป (กรมวิชาการ, 2544, น. 114) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของจารุวรรณ จันทมัตตุการ เชษฐ์ ศิริสวัสดิ์ และ ปริญญา ทองสอน (2560, น. 88-90) ที่พบว่าขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาด้วยเทคนิคของโพลยาแต่ละขั้นมีแนวทางในการช่วยส่งเสริมและพัฒนาด้านการคิด การแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนได้ เป็นการช่วยให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโจทย์ปัญหาอื่นได้

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

ก่อนสอน

1. ครูควรวางแผนเรื่องเวลาในแต่ละกิจกรรมให้เหมาะสม เพราะบางกิจกรรมใช้เวลามากกว่าที่แผนการจัดการเรียนรู้กำหนดไว้ เช่น การอภิปรายจนได้มโนทัศน์ที่สมบูรณ์ การแก้โจทย์ปัญหาร่วมกันในชั้นเรียน ซึ่งอาจใช้เวลานอก มาช่วยในการจัดการเรียนรู้เพิ่มเติม

2. ครูควรมีการปรับพื้นฐานทางการคำนวณของนักเรียน สำหรับนักเรียนที่มีปัญหา โดยใช้เวลานอกก่อนที่จะทำการจัดการเรียนรู้ เนื่องจาก เรื่อง กรด-เบส เป็นเรื่องที่มีการคำนวณเป็นส่วนใหญ่

3. ครูควรมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำรองไว้ เพื่อใช้ในสถานการณ์ฉุกเฉิน ขณะที่อุปกรณ์การทดลองดังกล่าวชำรุด

ระหว่างสอน

1. ในการจัดการเรียนรู้ได้มีการแบ่งกลุ่มทุกแผนการจัดการเรียนรู้ ครูควรกระตุ้นให้นักเรียนมีความร่วมมือในการทำกิจกรรมเท่า ๆ กันทุกคน เพื่อให้การจัดการเรียนรู้เกิดประสิทธิภาพตามความแตกต่างระหว่างบุคคล

2. ครูควรให้ความช่วยเหลือนักเรียนและสังเกตนักเรียนอย่างทั่วถึง เพราะนักเรียนบางคนไม่สามารถทำความเข้าใจด้วยตนเองได้และไม่กล้าสอบถาม

3. ครูควรใช้สถานการณ์ในการกระตุ้นความสนใจของนักเรียนที่สอดคล้องกับชีวิตประจำวันของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนเกิดความสนใจ ใคร่รู้

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความก้าวหน้าของความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ในแต่ละมโนทัศน์เป็นรายบุคคลเพื่อให้ได้ข้อมูลในการพัฒนานักเรียนมากขึ้น

2. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเทคนิคการจัดการเรียนรู้ที่ส่งผลต่อการกระตุ้นพฤติกรรมในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี

3. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เพื่อนำมาหาแนวปฏิบัติที่ดีของการจัดการเรียนรู้

บรรณานุกรม

Beyza, K. (2013). Using Two-Tier Test to Identify Primary Students' Conceptual Understanding and Alternative Conceptions in Acid Base. *Mevlana International Journal of Education,* 3(2), 19-26.

Bilgin, I. (2005, November). The Effect of Different Problem-solving Strategies on University Students' Problem-solving Achievements of Quantitative Problems in Chemistry. *Educational Sciences: Theory & Practice,* 5(5), 628-635.

Bitter, G. (1990). *Mathematics Methods for the Elementary and Middle School : A Comprehensive Approach*. Boston: Allyn and Bacon.

Buzan, T. (1997). *The Mind Map Book:Radiant Thinking*. London: BCC Books.

De Cecco, J. P. (1968). *The Psychology of Learning and Instruction*. New Jersey: Prentice-Hall.

Enekwechi , E. E. (2016). Effect of advance organizers in the teaching of Chemistry in secondary schools: A case study of Anambra State. *Academic Journals*, 1-6.

Fulya, O. A. (2009). The effects of students' problem solving skills on their understanding of chemical rate and their achievement on this issue. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2678–2684.

Gagne, R. M. (1970). *The Condtion of Learning*. New York: Rinehart and Winstin.

Gurel, D. K. (2015). A Review and Comparison Instruments to Identify Students' Misconcepttions in Science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology,* 11(5), 989-1008.

Johari Surif. (2012). Conceptual and Procedural Knowledge in Problem Solving. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 416-425.

Kilic, M., และ Aziz, T. (2013). Effects of teaching chemistry using concept maps on students' achievement in

school chemistry in India and Turkey. *ELECTRONIC JOURNAL OF EDUCATION SCIENCES,* 2(4), 14-39.

Lamsdaine, E. (1995). *Creative Problem Solving*. New York: McGraw-Hill.

Lathifa, U. (2018). Correcting students' misconception in acid and base concept using PDEODE instruction strategy. *Unnes Science Education Journal,* 7(2), 170 - 177.

Lawson, A. E. (2000). What Kinds of Scienctific Concept Exist? *Journal of Research inScience Teaching,* 9, 996-1018.

Muchtar, Z. (2012). Analyzing of Students' Misconceptions on Acid-Base Chemistry at Senior High Schools in Medan. *Journal of Education and Practice,* 3(15), 65-74.

Mustafa, Y. (2012). The effect of activities based on 5e model on grade 10 students' understanding of gas concept. *Sciverse ScienceDirect,* 47, 634 - 637.

National Research Council. (1997). *Science teaching reconsidered: A handbook*. Washington: National Academies Press.

Newbury, N. F. (1963). *The teaching of chemistry in tropical secondary schools*. London: Great Britain.

Olaniyan, A. O. (2015). Effect of polya problem-solving model on senior secondary school students' performance in current electricity. *European Journal of Science and Mathematics Education,* 3(1), 97-104.

Polya, G. (1957). *How to Solve It A new Aspect of Mathematical Method*. New York: Doubleday&Company.

Serap, C. (2010). Effects of the problem solving strategies instruction on the students' physics problem solving performances and strategy usage. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2239-2243.

Singaravelu, S. (2017, July-August). Problem Solving Ability of Higher Secondary Chemistry Students *Journal of Research & Method in Education* 7(4), 19-22.

Smith, P. L., และ Regan, T. J. (2005). *Instructional design*. Danvers: John Wiley&Sons.

Torrance, E. P. (1994). *Creativity: fust wanting to know*. South Africa: Benedic Books.

กรมวิชาการ. (2540). เอกสารเสริมความรู้คณิตศาสตร์ ระดับประถมศึกษา อันดับที่ 8 เรื่องทักษะการแก้ปัญหา. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ.

กรมวิชาการ. (2541). เอกสารเสริมความรู้คณิตศาสตร์ระดับประถมศึกษา อันดับที่ 9 เรื่อง การแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์. กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ.

กรมวิชาการ. (2544). การแก้ปัญหาคณิตศาสตร์. กรุงเทพฯ: คุรุสภาลาดพร้าว.

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. สืบค้นจาก https://drive.google.com/file/d/1_ALwE9xuCL3Fjet3XI4gYjBj8p_1zLaA/view

กฤษฎา พนันชัย, พนัสดา มาตราช, สุภาพ ตาเมือง, และ ศักดิ์ศรี สุภาษร. (2561). ความเข้าใจมโนมติและแบบจำลองทางความคิด เรื่อง สมดุลเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากการเรียนด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับเทคนิคการทำนาย-สังเกต-อธิบาย. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 1(1), 49-60.

กัลยา ภูทัตโต. (2558). ผลของการใช้การเรียนรู้สืบสอบแบบแนะนำเน้นกระบวนการที่มีต่อมโนทัศน์ทางเคมีและความสามารถในการวิเคราะห์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์. (2546). การคิดเชิงมโนทัศน์. กรุงเทพฯ: ซัคเซส มีเดีย.

จรรยา ดาสา. (2553, กรกฎาคม-สิงหาคม). เทคนิคการจัดการเรียนรู้สำหรับการแก้โจทย์ปัญหาเคมีคำนวณ. นิตยสาร สสวท., 38(167), 44-48.

จริยา สุจารีกุล. (2551). *Science as inquiry*. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชั่นส์.

จารุวรรณ จันทมัตตุการ, เชษฐ์ ศิริสวัสดิ์, และ ปริญญา ทองสอน. (2560, ตุลาคม-ธันวาคม). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาวิชาเคมี เรื่อง ของแข็ง ของเหลว แก๊ส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ระหว่างการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้น (5E) ร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาและการจัดการเรียนรู้แบบปกติ. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 21(4), 79-92.

จิณห์นิภา นาคะเสนีย์. (2558). การศึกษาแนวคิดเรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 6(1), 70-83.

จิตตมาส สุขแสวง. (2549). การศึกษาแนวคิดของนักเรียนและพฤติกรรมการสอนของครู เรื่อง กรด-เบส ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จุฬาลักษณ์ ยิ้มดี. (2556). ผลของการเรียนการสอนโดยใช้ขั้นการเรียนรู้แบบอนุมานเบื้องต้นที่มีต่อความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ฉวีวรรณ เศวตมาลย์. (2543). ศิลปะการสอนคณิตศาสตร์. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ชนาธิป พรกุล. (2552). การออกแบบการสอน. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชนาธิป พรกุล. (2557). การสอนกระบวนการคิดทฤษฎีและการนำไปใช้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์. (2558). 80 นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ. นนทบุรี: พี บา ลานซ์ดีไซน์แอนปริ้นติ้ง.

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์. (2559). เทคนิคการใช้คำถามพัฒนาการคิด. กรุงเทพฯ: วีพรินท์.

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์. (2561). 80 นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ กรุงเทพฯ. พีบา ลานซ์ดีไซน์แอนปริ้นติ้ง.

ชาตรี เกิดธรรม. (2542). การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง. กรุงเทพฯ: คอมแพคท์พริ้นท์.

ชาตรี ฝ่ายคำตา. (2554). วิธีสอนวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษา. กรุงเทพฯ: เอพริลเรน พริ้นติ้ง.

ชุมพล ชารีแสน. (2555). ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ชีวิตและสิ่งแวดล้อมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จากการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ผังมโนมติรูปตัววี. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 35(4), 20-26.

ชูศิลป์ อัตชู. (2550, มีนาคม-เมษายน). การจัดกระบวนการเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอนเพื่อพัฒนากระบวนการคิดระดับสูง. นิตยสาร สสวท., 35(147), 56-57.

ทิศนา แขมมณี. (2545). รูปแบบการเรียนการสอนทางเลือกที่หลากหลาย. กรุงเทพฯ: ด่านสุทธากา รพิมพ์.

ทิศนา แขมมณี. (2553). ศาสตร์การสอน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทิศนา แขมมณี. (2554). รูปแบบการเรียนการสอนทางเลือกที่หลากหลาย. กรุงเทพฯ: แอคทีฟ พริ้นท์.

ธิดารัตน์ คำแพง. (2560, กันยายน-ธันวาคม). การพัฒนาความเข้าใจมโนทัศน์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ตามทฤษฎีการเรียนรู้ของ Kolb โดยยึดรูปแบบวงจรการเรียนรู้ TSOI. วารสารสาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 10(3), 567-584.

นงนิตย์ มรกต. (2550). เคมีกับการดำรงชีวิต. กรุงเทพ ฯ: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

นฤมล ฉิมงาม. (2558). การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้เทคนิคการแก้ปัญหาของโพลยาผสานกับการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้น ของนักเรียนชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ 6. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์. (2562). เพื่อนคู่คิดครูวิทยาศาสตร์มืออาชีพ : การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้และการเขียนแผนจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิธิมา โกยสมบูรณ์. (2556). การพัฒนาแนวคิดเรื่องดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ของนักเรียนที่มีวุฒิภาวะไม่สมวัย ชั้นประถมศึกษาปีที่ 2 โดยการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะ. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นุชลี อุปภัย. (2555). จิตวิทยาการศึกษา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุษบา พลรัตน์. (2555, เมษายน-มิถุนายน). การศึกษาความสามารถการแก้โจทย์ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เรื่อง อัตราส่วนและร้อยละ โดยใช้วิธีสอนตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ที่เน้นขั้นตอนการแก้ปัญหาของโพลยา. วารสารศึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 6(2), 80-88.

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

ปรีชา เนาว์เย็นผล. (2538). การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ การพัฒนาทักษะการคิดคำนวณของนักเรียนระดับประถมศึกษา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปรีชาญ เดชศรี. (2555, กันยายน-ตุลาคม). เลือกตอบหรือเขียนตอบทำไมต้องแยกกันด้วย. นิตยสาร สสวท., 40(179), 18-21.

ปรียาพร วงค์อนุตรโรจน์. (2553). จิตวิทยาการศึกษา. กรุงเทพฯ: พิมพ์ดี.

ฝ่ายบริหารงานวิชาการโรงเรียนวังข่อยพิทยา. (2561). หลักสูตรสถานศึกษา โรงเรียนวังข่อยพิทยา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ [เอกสารประกอบหลักสูตร]. นครสวรรค์: ฝ่ายบริหารงานวิชาการ.

พันธ์ ทองชุมนุม. (2547). การสอนวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษา. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์.

พิมพันธ์ เดชะคุปต์. (2545). พฤติกรรมการสอนวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: พัฒนาคุณภาพวิชาการ.

พิมพันธ์ เดชะคุปต์. (2550). ประมวลบทความ ปรับวิธีเรียน เปลี่ยนวิธีสอนวิทยาศาสตร์. กรุงเทพ ฯ: พัฒนาคุณภาพวิชาการ.

พิมพันธ์ เดชะคุปต์. (2555). สอนเขียนแผนบูรณาการบนฐานเด็กเป็นสำคัญ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

ภพ เลาหไพบูลย์. (2542). แนวการสอนวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

ภูรินทร์ แตงน้อย. (2559). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระที่ 6: โลกและการเปลี่ยนแปลงเพื่อส่งเสริมมโนทัศน์และความสามารถในการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. (ปริญญานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

มัทรียา นาคสงวน. (2556). การพัฒนาแนวคิดเรื่อง แรงและความดันของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รัตติยา นามงาม. (2558). การพัฒนาแนวคิดเรื่อง กรด-เบส โดยการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 5 ขั้นร่วมกับการใช้มโนภาพพลวัต. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ.

วชิร ศรีคุ้ม. (2561, พฤศจิกายน-ธันวาคม). แนวคิดคลาดเคลื่อนกับการพัฒนาสื่อการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์. นิตยสาร สสวท., 47(215), 5-7.

วรัทยา มณีรัตน์. (2560). การพัฒนาทักษะการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด – เบส โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 8(2), 297-306.

วันเพ็ญ คำเทศ. (2560, กรกฎาคม-ธันวาคม). มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์: ประเภทและเครื่องมือประเมิน. วารสารศึกษาศาสตร์ มสธ., 10(2), 54-64.

วิชัย วงศ์ใหญ่, และ มารุต พัฒผล. (2562). การโค้ช: กลไกในการจัดการเรียนรู้. In. สืบค้นจาก https://oer.learn.in.th/search_detail/result/156147

วีณา ประชากูล, และ ประสาท เนืองเฉลิม. (2553). รูปแบบการเรียนการสอน. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

วีนัส ชาลี. (2562). แนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาและผลที่มีต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

ศักดิ์ศรี ปาณะกุล, นิรมล ศตวุฒิ, และ ระวิวรรณ ศรีคร้ามครัน. (2556). หลักสูตรและการจัดการเรียนรู้. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ศิริธร อ่างแก้ว. (2559, สิงหาคม). การพัฒนาความเข้าใจมโนมติวิทยาศาสตร์ เรื่อง กรด-เบส ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคการแข่งขันเกมแบบกลุ่ม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วารสารวิชาการและวิจัยสังคมศาสตร์, 11(3), 109-124.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2546). คู่มือวัดผลประเมินผลคณิตศาสตร์. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2556). คู่มือการใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2556. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 วิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. สืบค้นจาก http://www.scimath.org/e-books/8417/flippingbook/index.html

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 4 ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. สืบค้นจาก https://www.scimath.org/e-books/10299/flippingbook/index.html

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2562). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 4 ตามผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ.

สมบัติ การจนารักพงค์, มานิก สว่างเพียร, และ บุญเจือ ดิษฐ์ไชยวงศ์. (2549). เทคนิคการจัดการเรียนรู้แบบ 5*E* ที่เน้นพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง : กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: ธารอักษร.

สมบูรณ์ ชิตพงศ์. (2549, กันยายน-ธันวาคม). เครื่องมือวัดแนวคิดแก้ปัญหา. วารสารการวัดผลการศึกษา, 28(83), 15-22.

สว่างพงศ์ สมัครการ. (2559, มกราคม-มีนาคม). รูปแบบการทำความเข้าใจเรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วารสารึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยขอนแก่น, 10(1), 166-172.

สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2562). สภาวะการศึกษาไทย 2561/2562 การปฏิรูปการศึกษาในยุคดิจิตัล. สืบค้นจาก http://www.onec.go.th/index.php/book/BookView/1732

สำนักทดสอบทางการศึกษา. (2560). สถิติพื้นฐานผลคะแนนการทดสอบวิชาสามัญ 9 วิชา ปีการศึกษา 2560 จำแนกตามวิชา. สืบค้นจาก https://www.niets.or.th/uploads/editor/files/9_Subject/AMS-2560ค่าสถิติการสอบช่วงคะแนน.pdf

สำนักทดสอบทางการศึกษา. (2561a). สถิติพื้นฐานผลคะแนนการทดสอบวิชาสามัญ 9 วิชา ปีการศึกษา 2561 จำแนกตามวิชา. สืบค้นจาก https://www.niets.or.th/uploads/editor/files/9_Subject/AMS-2561ค่าสถิติการสอบช่วงคะแนน.pdf

สำนักทดสอบทางการศึกษา. (2561b). สรุปผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2561. สืบค้นจาก http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6_2561.pdf

สำนักทดสอบทางการศึกษา. (2562). สถิติพื้นฐานผลคะแนนการทดสอบวิชาสามัญ 9 วิชา ปีการศึกษา 2562 จำแนกตามวิชา. สืบค้นจาก https://www.niets.or.th/uploads/editor/files/9_Subject/AMS-2562ค่าสถิติการสอบช่วงคะแนน.pdf

สุคนธ์ สินธพานนธ์. (2561). นวัตกรรมการเรียนการสอนของครูยุคใหม่ เพื่อพัฒนาทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21. กรุงเทพฯ: เทคนิคพริ้นติ้ง.

สุชา จันทร์เอม. (2527). จิตวิทยาทั่วไป. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

สุพรรณี ชาญประเสริฐ. (2556, มกราคม - กุมภาพันธ์). หลักสูตรกับการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี. นิตยสาร สสวท., 41(180), 34-37.

สุภาพ ตาเมือง, กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา, และ ศักดิ์ศรี สุภาษร. (2560). การพัฒนาความเข้าใจมโนมติของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยการทดลองแบบสืบเสาะ. ศึกษาศาสตร์สาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 1(2), 1-15.

สุภาพร อินบุญนะ. (2541). มโนมติที่คลาดเคลื่อน เรื่อง กรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จังหวัดนครศรีธรรมราช. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ปัตตานี.

สุรางค์ โคว้ตระกูล. (2556). จิตวิทยาการศึกษา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวร กาญจนมยูร. (2533). เทคนิคการสอนคณิตศาสตร์ระดับประถมศึกษา เล่ม 3. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

สุวิทย์ มูลคำ. (2545). กลยุทธ์การสอนคิดเชิงมโนทัศน์. กรุงเทพฯ: ภาพพิมพ์.

สุวิทย์ มูลคำ. (2547). กลยุทธ์การสอนคิดแก้ปัญหา. กรุงเทพฯ: ภาพพิมพ์.

สุวิทย์ มูลคำ, และ อรทัย มูลคำ. (2553). 21 วิธีจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนากระบวนการคิด. กรุงเทพฯ: ภาพพิมพ์.

อัมพร ม้าคนอง. (2553). ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ : การพัฒนาเพื่อพัฒนาการ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อาภรณ์ ใจเที่ยง. (2553). หลักการสอน (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

ไอนิง เจ๊ะเหลาะ. (2556). การศึกษามโนมติที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา, สงขลา.

ฮามีด๊ะ มูสอ. (2555). การพัฒนาแบบจำลองทางความคิด เรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ผศ.ดร. ศุภชัย ทวี	อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
2. ผศ.ดร. นิเวศน์ คำรัตน์	อาจารย์ประจำคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
3. นายมนัส ชวดดา	ครูชำนาญการพิเศษ สอนวิชาเคมี โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์
4. นางสาววันทนา กลิ่นรื่น	ครูชำนาญการพิเศษ สอนวิชาเคมี โรงเรียนไพศาลีพิทยา
5. นางสาวปฐมาภรณ์ กรโสภา	ครูชำนาญการ สอนวิชาเคมี โรงเรียนวัดราชโอรส

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด-เบส
2. ตัวอย่างแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส
3. ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา
เรื่อง กรด-เบส
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6 เรื่อง สารละลายบัฟเฟอร์

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิชา เคมี4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง กรด-เบส เวลา18 ชั่วโมง
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6 เรื่อง สารละลายบัฟเฟอร์ เวลา 3 ชั่วโมง
ครูผู้สอน นางสาวฉัตรสุดา ขุนเพ็ง

หน่วยการเรียนรู้ กรด-เบส

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายสมบัติ องค์ประกอบ และประโยชน์ของสารละลายบัฟเฟอร์

2. สืบค้นข้อมูล และนำเสนอตัวอย่างการใช้ประโยชน์และการแก้ปัญหาโดยใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด–เบส

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ (K)
2. ระบุองค์ประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ (K)
3. อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบบัฟเฟอร์ในร่างกายและในธรรมชาติได้ (K)
4. คำนวณค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ (K)
5. ทดลองเพื่อศึกษา pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปได้ (P)
6. ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์และปฏิบัติตามขั้นตอนการทดลองได้อย่างถูกต้อง (P)
7. ตั้งใจเรียนรู้และแสวงหาความรู้ รับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย(A)

สาระสำคัญ/ความคิดรวบยอด

สารละลายบัฟเฟอร์ เป็นสารละลายที่มีสมบัติในการควบคุม pH ของสารละลายให้คงที่ เมื่อมีการเติมกรดแก่หรือเบสแก่ลงไปเล็กน้อย ประกอบด้วยกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน หรือเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อน

บัฟเฟอร์กรด คือ สารละลายที่มีกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อนชนิดนั้น หรือกรดอ่อนกับคู่เบสของกรดอ่อน ซึ่งเมื่อเติม H^+ จากกรดแก่ลงไป คู่เบสจะทำปฏิกิริยากับ H^+ ที่เติมลงไป ทำให้ pH ลดลงไม่เกิน 0.01 ถือว่าคงที่ เมื่อเติม OH^- จากเบสแก่ลงไป กรดอ่อนจะทำปฏิกิริยากับ OH^- ที่

เติมลงไป ทำให้ pH เพิ่มขึ้นไม่เกิน 0.01 ถือว่าคงที่ โดย pH ของสารละลายบัฟเฟอร์กรด หาได้จากสูตร

$$pH = -\log \left[\frac{K_a \times [\text{กรด}]}{[\text{เกลือ}]} \right]$$

บัฟเฟอร์เบส คือ สารละลายที่มีเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนชนิดนั้น หรือเบสอ่อนกับคู่กรดของเบสอ่อน ซึ่งเมื่อเติม H^+ จากกรดแก่ลงไป เบสอ่อนจะทำปฏิกิริยากับ H^+ ที่เติมลงไป ทำให้ pH ลดลงไม่เกิน 0.01 ถือว่าคงที่ เมื่อเติม OH^- จากเบสแก่ลงไป คู่กรดจะทำปฏิกิริยากับ OH^- ที่เติมลงไป ทำให้ pH เพิ่มขึ้นไม่เกิน 0.01 ถือว่าคงที่ โดย pH ของสารละลายบัฟเฟอร์เบส หาได้จากสูตร

$$pH = 14 - \left[-\log \left[\frac{K_b \times [\text{เบส}]}{[\text{เกลือ}]} \right] \right]$$

สาระการเรียนรู้

สารละลายบัฟเฟอร์เป็นสารละลายของกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อนนั้น หรือเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนนั้น เมื่อเติมกรด เบส หรือน้ำจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH น้อยกว่าสารละลายทั่วไป สมบัติเฉพาะของสารละลายบัฟเฟอร์เป็นประโยชน์ต่อการควบคุม pH ของระบบในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส สามารถนำมาใช้ประโยชน์ และแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน เกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการแพทย์

สมรรถนะผู้เรียน

1. ความสามารถในการสื่อสาร
2. ความสามารถในการคิด
3. ความสามารถในการแก้ปัญหา

คุณลักษณะอันพึงประสงค์

1. มีวินัย
2. ใฝ่เรียนรู้
3. มุ่งมั่นในการทำงาน

กิจกรรมการเรียนรู้ (การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา)

<u>ขั้นที่ 1 นำเข้าสู่บทเรียน หรือ Engage (15 นาที)</u>

1) ครูกระตุ้นนักเรียนโดยการทบทวนความรู้เกี่ยวกับเรื่องคู่กรด-เบส โดยให้นักเรียนแต่ละคนจับฉลากชื่อคู่กรดหรือชื่อคู่เบส คนละ 1 ชื่อและให้จับคู่กับคู่กรด-เบสของตนเอง ได้แก่

CH_3COOH , CH_3COO^- , H_3PO_4 , $H_2PO_4^-$, $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , H_2CO_3 , HCO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , NH^{4+} และ NH_3 *(แนวการตอบ : CH_3COOH กับ CH_3COO^- , H_3PO_4 กับ $H_2PO_4^-$, $H_2PO_4^-$ กับ HPO_4^{2-} , H_2CO_3 กับ HCO_3^- , HCO_3^- กับ CO_3^{2-} และ NH_4^+ กับ NH_3)*

2) เมื่อนักเรียนได้คู่ของตนเองแล้ว จากนั้นให้คนที่ได้รับฉลากที่เป็น CH_3COOH ออกมาหน้าชั้นเรียน

3) นักเรียนทุกคนร่วมกันทบทวนความรู้เรื่องเกลือ โดยให้ยกตัวอย่างชื่อเกลือของ CH_3COOH *(แนวการตอบ : CH_3COONa CH_3COONH_4 CH_3COOK)*

4) นักเรียนแต่ละคู่จับกลุ่มเพื่อทำกิจกรรมการเรียนรู้ โดย 1 กลุ่มจะใช้คู่กรด-เบสจำนวน 3 คู่ (กลุ่มละ 6 คน) มีครูเป็นผู้อำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำในการจับกลุ่มเพื่อให้นักเรียนกระจายออกจากกลุ่มเดิมและคละความสามารถ

5) นักเรียนแต่ละคนสังเกตหลอดทดลองที่ใส่น้ำกลั่นหน้าชั้นเรียน จากนั้นครูหยดยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ 2-3 หยดและให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลง โดยครูใช้คำถามเพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียน ดังนี้

5.1) สีของยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์เป็นอย่างไร *(แนวการตอบ : เป็นสีเขียว)*

5.2) แสดงว่าค่า pH ของน้ำกลั่นเป็นเท่าไร *(แนวการตอบ : pH = 7)*

5.3) เมื่อเติมกรดหรือเบสลงในน้ำกลั่น จะทำให้ pH ของสารละลายเปลี่ยนไปอย่างไร *(แนวการตอบ : เมื่อเติมกรดลงไปจะทำให้ pH ของสารละลายลดลงต่ำกว่า 7 เมื่อเติมเบสลงไปจะทำให้ pH ของสารละลายสูงขึ้นมากกว่า 7)*

6) ครูหยดสารละลาย HCl 1 M จำนวน 2 หยด ลงในน้ำกลั่นที่ใส่ไว้ในหลอดทดลอง จากนั้นหยดยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด และให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลง

7) ครูหยดสารละลาย NaOH 1 M จำนวน 2 หยด ลงในน้ำกลั่นที่ใส่ไว้ในหลอดทดลอง จากนั้นหยดยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด และให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลง

8) ครูใช้คำถามเพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียน ดังนี้

8.1) ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และหมายความว่าอย่างไร *(แนวการตอบ : เมื่อหยดกรดลงไป มีการเปลี่ยนสีเป็นสีแดง แสดงว่า ค่า pH เปลี่ยนแปลงเหลือ 1-2 เมื่อหยดเบสลงไป มีการเปลี่ยนสีเป็นสีม่วง แสดงว่า ค่า pH เปลี่ยนแปลงเป็น 13)*

9) ครูอธิบายเพิ่มเติมเพื่อเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนใช้ความคิด ดังนี้

9.1) เมื่อหยดกรดหรือเบสลงในสารละลาย จะทำให้ค่า pH ของสารละลาย

เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความเข้มข้นของ H_3O^+ และ OH^- เปลี่ยนแปลง หากต้องการควบคุมให้ค่า pH คงที่ สามารถใช้สารที่มีสมบัติดังกล่าว นั่นคือ สารละลายบัฟเฟอร์ ซึ่งสารละลายบัฟเฟอร์คือสิ่งใด นักเรียนสามารถหาคำตอบได้จากการทดลองต่อไปนี้

ขั้นที่ 2 สร้างมโนทัศน์ หรือ Construct (45 นาที)

1) นักเรียนแต่ละกลุ่มสืบค้นหาความหมายของสารละลายบัฟเฟอร์ และองค์ประกอบของบัฟเฟอร์แต่ละชนิด เพื่อเป็นแนวทางในการทำการทดลอง

2) นักเรียนศึกษาการทดลอง เรื่อง การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายบางชนิด พร้อมกันจากสื่อ Microsoft Powerpoint จากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันหาสารที่จะใช้ทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกรดแก่-เบสแก่ที่จะใช้หยดลงในหลอดทดลอง กลุ่มที่ 2 เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ และกลุ่มที่ 3 เป็นน้ำกลั่น ซึ่งให้หาสารจากตู้เก็บสารที่มีสารดังนี้ NaOH HCl CH_3COOH CH_3COONa NH_4Cl H_3PO_4 และ H_2O *(แนวการตอบ: กลุ่มที่ 1 HCl และ NaOH กลุ่มที่ 2 CH_3COOH CH_3COONa กลุ่มที่ 3 H_2O)*

3) นักเรียนแต่ละกลุ่มลงมือปฏิบัติการทดลอง “การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายบางชนิด” สังเกตผลและบันทึกผลการทดลองลงในแบบบันทึกผลการทดลอง เรื่อง การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายบางชนิด

4) นักเรียนสรุปผลการทดลองร่วมกันและส่งตัวแทนออกมานำเสนอผลการทดลอง

ขั้นที่ 3 ยืนยันมโนทัศน์ หรือ Confirm (60 นาที)

1) ครูและนักเรียนร่วมกันปรับมโนทัศน์ที่ได้ ให้มีความเข้าใจที่ถูกต้องและชัดเจน ด้วยคำถาม ดังนี้

1.1) สารละลายบัฟเฟอร์ คืออะไร *(แนวการตอบ : สารละลายที่มีสมบัติในการควบคุม pH ของสารละลายให้คงที่ เมื่อมีการเติมกรดแก่หรือเบสแก่ลงไปเล็กน้อย)*

1.2) องค์ประกอบของบัฟเฟอร์แต่ละชนิดมีอะไรบ้าง *(แนวการตอบ : บัฟเฟอร์กรด ประกอบด้วยสารละลายที่มีกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อนชนิดนั้น บัฟเฟอร์เบสประกอบด้วยสารละลายที่มีเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนชนิดนั้น)*

1.3) ในการทดลองนี้ นักเรียนเลือกสารใดมาเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ *(แนวการตอบ : CH_3COOH CH_3COONa)*

1.4) สารที่นักเรียนเลือกมาเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ เป็นบัฟเฟอร์ชนิดใด *(แนวการตอบ : บัฟเฟอร์กรด)*

1.5) สีของน้ำกลั่นเมื่อหยดยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ลงไปเป็นอย่างไร *(แนวการ*

ตอบ : สีเขียว)

1.6) เมื่อนำ HCl จำนวนเล็กน้อย หยดลงในน้ำกลั่น สีของสารละลายเป็นอย่างไร *(แนวการตอบ : สีชมพู)*

1.7) เมื่อนำ NaOH จำนวนเล็กน้อย หยดลงในน้ำกลั่น สีของสารละลายเป็นอย่างไร *(แนวการตอบ : สีม่วง)*

1.8) แสดงว่าน้ำกลั่น มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH อย่างไร (แนวการตอบ :pH ของสารละลายเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความเข้มข้นของ H_3O^+ และ OH^- เปลี่ยนแปลง)

1.9) สีของสารละลายผสม CH_3COOH กับ CH_3COONa เมื่อหยดยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ลงไปเป็นอย่างไร *(แนวการตอบ : สีชมพู)*

1.10) เมื่อนำ HCl จำนวนเล็กน้อย หยดลงในสารละลายบัฟเฟอร์ สีของสารละลายเป็นอย่างไร *(แนวการตอบ : สีชมพู)*

1.11) เมื่อนำ NaOH จำนวนเล็กน้อย หยดลงในสารละลายบัฟเฟอร์ สีของสารละลายเป็นอย่างไร *(แนวการตอบ : สีชมพู)*

1.12) แสดงว่าสารละลายบัฟเฟอร์ มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH อย่างไร *(แนวการตอบ : pH ของสารละลายบัฟเฟอร์เปลี่ยนแปลงอย่างไปน้อยมาก เพราะมีสมบัติในการควบคุม pH)*

2) นักเรียนแต่ละกลุ่มได้รับมอบหมายให้สืบค้นหาสาเหตุของสมบัติในการควบคุม pH โดยเริ่มต้นจากการเขียนสมการการแตกตัวของสารละลายบัฟเฟอร์นี้

(แนวการตอบ : $CH_3COOH\ (aq) + H_2O\ (l) \rightleftharpoons CH_3COO^-\ (aq) + H_3O^+\ (aq)$

$CH_3COONa\ (aq) \longrightarrow Na^+\ (aq) + CH_3COO^-\ (aq)$)

3) นักเรียนร่วมกันแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับสาเหตุของสมบัติในการควบคุม pH

4) นักเรียนร่วมกันตอบคำถามเพื่อสร้างมโนทัศน์ที่ถูกต้องด้วยคำถาม ดังนี้

4.1) จากสมการ ในสารละลายมีโมเลกุลอะไรอยู่บ้าง *(แนวการตอบ : CH_3COOH CH_3COO^- H_3O^+ และ Na^+)*

4.2) เมื่อเติมสารละลายกรดลงไป H_3O^+ จากกรดจะไปทำปฏิกิริยากับสารใดและเกิดเป็นสารใด ให้นักเรียนร่วมกันเขียนสมการแสดงปฏิกิริยา *(แนวการตอบ : H_3O^+ ทำปฏิกิริยากับ CH_3COO^- เกิดเป็น CH_3COOH)*

4.3) เมื่อเติมสารละลายกรดลงไป OH^- จากเบสจะไปทำปฏิกิริยากับสารใดและ

เกิดเป็นสารใด ให้นักเรียนร่วมกันเขียนสมการแสดงปฏิกิริยา *(แนวการตอบ : OH^- ทำปฏิกิริยากับ CH_3COOH เกิดเป็น CH_3COO^-)*

4.4) จะเห็นว่า CH_3COOH กับ CH_3COO^- มีความสัมพันธ์กันอย่างไร *(แนวการตอบ : เป็นคู่กรด-เบสกัน)*

4.5) สรุปได้ว่า เพราะเหตุใดสารละลายบัฟเฟอร์ดังกล่าว จึงมีสมบัติในการควบคุม pH *(แนวการตอบ : เมื่อเติมกรดหรือเบสลงในสารละลายจะทำให้ความเข้มข้นของ H_3O^+ คงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จึงทำให้ pH คงที่)*

5) ครูนำตัวอย่างผลการทดลอง การผสมสารละลายบัฟเฟอร์ กับ HCl ของนักเรียนมาสาธิตหน้าชั้นเรียนโดย หยดสารละลาย HCl เพิ่มครั้งละ 10 หยด จนสารละลายเปลี่ยนสีไปจากเดิม

6) นักเรียนร่วมกันตอบคำถามเพื่อสร้างมโนทัศน์ที่ถูกต้องด้วยคำถาม ดังนี้

6.1) เพราะเหตุใดสารละลายจึงมีสีเปลี่ยนไปจากเดิม *(แนวการตอบ : สารละลายบัฟเฟอร์จะสามารถควบคุมค่า pH ของสารละลายให้คงที่ก็ต่อเมื่อเติมกรดแก่หรือเบสแก่ลงไปเล็กน้อย)*

7) ครูอธิบายเพิ่มเติม เกี่ยวกับองค์ประกอบของบัฟเฟอร์ ดังนี้

7.1) บัฟเฟอร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นบัฟเฟอร์กรด ที่ประกอบด้วยสารละลายผสมของกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อน นอกจากนี้แล้วยังมีบัฟเฟอร์เบส ซึ่งประกอบด้วยสารละลายผสมของเบสอ่อนและเกลือของเบสอ่อน

8) นักเรียนแต่ละกลุ่ม สืบค้นหาตัวอย่างบัฟเฟอร์เบส 1 ตัวอย่าง จากนั้นส่งตัวแทนมาเขียนสมการการเกิดปฏิกิริยาบนกระดานเพื่อให้เพื่อนในชั้นเรียนศึกษาร่วมกัน โดยมีครูเป็นผู้ให้คำแนะนำและตรวจสอบมโนทัศน์ให้ถูกต้อง

9) นักเรียนสังเกตตารางตัวอย่างสารละลายบัฟเฟอร์ และคู่กรด-เบสในสารละลายบัฟเฟอร์ จากสื่อการสอนด้วยโปรแกรม Microsoft Powerpoint

10) ครูอธิบายเพิ่มเติม เกี่ยวกับตารางที่ได้ยกตัวอย่าง ดังนี้

10.1) สารละลายบัฟเฟอร์ที่เป็นสารละลายกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อน หรือสารละลายเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนแล้ว ยังมีสารละลายบัฟเฟอร์ที่เกิดจากสารอื่น ๆ ซึ่งเป็นสารละลายที่ประกอบด้วยคู่กรด-เบส

11) นักเรียนสังเกตกราฟการไทเทรตระหว่าง CH_3COOH 0.1 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร กับ NaOH 0.1 M จากสื่อการสอนด้วยโปรแกรม Microsoft Powerpoint

12) นักเรียนร่วมกันตอบคำถามเพื่อสร้างมโนทัศน์ที่ถูกต้องด้วยคำถาม ดังนี้

12.1) จากกราฟนักเรียนสังเกตเห็นได้ว่า ก่อนถึงจุดสมมูลช่วงใดมีค่า pH คงที่ *(แนวการตอบ : ช่วง pH 3-7)*

12.2) จากกราฟนักเรียนคิดว่าช่วงใดที่เป็นช่วงบัฟเฟอร์ เพราะเหตุใด *(แนวการตอบ : ช่วง pH 3-7)*

12.3) ช่วงบัฟเฟอร์ เป็นช่วงที่ใช้ NaOH ปริมาตรเท่าใด *(แนวการตอบ : ประมาณ 5 มิลลิตร)*

13) ครูอธิบายเพิ่มเติม เกี่ยวกับกราฟการไทเทรต ดังนี้

13.1) นอกจากนี้สารละลายบัฟเฟอร์ยังเตรียมได้จากการนำกรดอ่อนมาทำปฏิกิริยากับเบสแก่ หรือ เบสอ่อนทำปฏิกิริยากับกรดแก่ เพื่อให้เกิดสารละลายผสมของคู่กรด-เบส ซึ่งจากตัวอย่างเกิดปฏิกิริยาดังสมการ

$$CH_3COOH\ (aq) + NaOH \longrightarrow CH_3COONa\ (aq) + H_2O\ (aq)$$

ซึ่งจากสมการ ในสารละลายมีทั้ง CH_3COOH และ CH_3COONa โดยต้องใช้ NaOH ในจำนวนโมลที่น้อยกว่าจำนวนโมลของ CH_3COOH ในสารละลายจึงมีทั้งCH_3COOH และ CH_3COONa อยู่ด้วยกันจึงมีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์

14) นักเรียนตัวแทนแต่ละกลุ่มออกมาจับฉลากสารละลายผสม เพื่อหาผู้ชนะ ซึ่งผู้ชนะคือสารละลายผสมที่ควบคุม pH ได้ดีที่สุด โดยให้นักเรียนทุกคนพิจารณาพร้อมกัน ดังนี้

H_3PO_4 0.1 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ NaOH 0.1 M ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

CH_3COOH 0.1 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ NaOH 0.1 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

NH_3 0.1 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ HCl 0.1 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

HCl 0.5 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ NaOH 0.5 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

HF 0.2 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ LiOH 0.05 M ปริมาตร 40 มิลลิลิตร

(แนวการตอบ : H_3PO_4 0.1 M ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ NaOH 0.1 M ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เนื่องจากทำปฏิกิริยาไม่พอดีกัน มี H_3PO_4 เหลือ จึงประกอบด้วยกรดอ่อน H_3PO_4 และ คู่เบส $H_2PO_4^-$)

<u>ขั้นที่ 4 ประยุกต์ หรือ Apply (45 นาที)</u>

1) นักเรียนศึกษาระบบบัฟเฟอร์ในร่างกายและระบบบัฟเฟอร์ในสิ่งแวดล้อม เช่น การควบคุมค่า pH ของพลาสมา การควบคุมค่า pH ของน้ำทะเล พร้อมอภิปรายร่วมกันในกลุ่ม

2) ครูตั้งสถานการณ์เพื่อให้นักเรียนนำมโนทัศน์มาประยุกต์ใช้ ดังนี้

2.1) เพราะเหตุใดน้ำทะเลจึงมีค่า pH ค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณ 8.1-8.2 *(แนวการตอบ : เนื่องจากน้ำทะเลมีสารและไอออนที่คอยควบคุมบัฟเฟอร์เช่น กรดคาร์บอนิก ไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน และคาร์บอเนตไอออน นอกจากนี้ในน้ำทะเลยังมี แคลเซียมคาร์บอเนตที่กำจัด H_3O^+ ได้)*

2.2) คนไข้รายหนึ่งถูกตรวจพบว่ามีค่า pH ของเลือดสูงกว่าปกติ แพทย์จึงให้คนไข้หายใจเข้า-ออกในถุงกระดาษเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ที่แพทย์ทำเช่นนี้เพราะอะไร *(แนวการตอบ : เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ในถุงกระดาษเมื่อหายใจเข้าทำให้ความดันย่อยของ CO_2 ในเลือดเพิ่มขึ้นจะละลายในเลือดเป็นกรด H_2CO_3 เพิ่มขึ้น ทำให้ pH ของเลือดลดลง)*

2.3) หากนักเรียนอยากทราบค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ ที่เกิดจากสารผสมระหว่าง CH_3COOH และ CH_3COONa ซึ่งมี CH_3COOH และ CH_3COO^- อยู่ในสมดุลดังสมการ

$CH_3COOH\ (aq) + H_2O\ (l) \rightleftharpoons CH_3COO^-\ (aq) + H_3O^+\ (aq)$

(แนวการตอบ : $K_a = \frac{[CH_3COO^-][H_3O^+]}{[CH_3COOH]}$

$[H_3O^+] = K_a \times \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$ ดังนั้น $pH = -\log\left[\frac{K_a \times [กรด]}{[เกลือ]}\right]$)

2.4) จากตัวอย่างข้างต้นเป็นการหาค่า pH ของบัฟเฟอร์กรด ให้นักเรียนเขียนสมการการหาค่า pH ของบัฟเฟอร์เบส *(แนวการตอบ: $pH = 14 - \left[-\log\left[\frac{K_b \times [เบส]}{[เกลือ]}\right]\right]$)*

3) นักเรียนแต่ละคนแก้โจทย์ปัญหาที่ครูได้กำหนด เพื่อให้นักเรียนได้นำมโนทัศน์ที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ใช้ ลงในใบกิจกรรม “pH ของบัฟเฟอร์” ดังนี้

“โอเล่ ทำการทดลองเสร็จแล้วโดยมีสารที่เหลือในบีกเกอร์ 2 ชนิด ได้แก่ สารละลาย NH_3 เข้มข้น 0.4 M ปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ สารละลาย HCl เข้มข้น 0.25 M มีปริมาตรเป็นครึ่งหนึ่งของสารละลายแรก เมื่อโอเล่ต้องการเก็บอุปกรณ์ล้าง จึงนำสารทั้ง 2 บีกเกอร์นี้มาผสมกัน สารละลายผสมนี้จะมีค่า pH เท่ากับเท่าใด กำหนดให้ค่า K_b ของ $NH_3 = 1.8 \times 10^{-5}$ และ $\log 3.99 = 0.6$”

5) นักเรียนเรียนรู้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหา ด้วยเทคนิคของโพลยา ดังนี้

ขั้นตามเทคนิคของโพลยา	แนวการตอบ
ขั้นที่ 1 ขั้นทำความเข้าใจปัญหา	สิ่งที่โจทย์ถามหา : *สารละลายผสมนี้จะมีค่า pH เท่ากับเท่าใด* ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา : *สารละลาย NH_3 เข้มข้น 0.4 M ปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมกับสารละลาย HCl เข้มข้น 0.25 M มีปริมาตรเป็นครึ่งหนึ่งของสารละลายแรก* *กำหนดให้ค่า K_b ของ $NH_3 = 1.8 \times 10^{-5}$ และ $\log 3.99 = 0.6$*
ขั้นที่ 2 ขั้นวางแผนแก้ปัญหา	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : *การหาค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์เบส* *สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :* *1) หาจำนวนโมลของ NH_3 และ HCl* *2) เขียนสมการการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง NH_3 และ HCl* *3) หาจำนวนโมลคงเหลือของแต่ละสาร* *4) หาความเข้มข้นของเบสอ่อน และเกลือของเบสอ่อน* *5) คำนวณหาค่า pH*
ขั้นที่ 3 ขั้นดำเนินการตามแผน	*แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :* *หาจำนวนโมลของ NH_3 และ HCl* *สารละลาย NH_3 1000 cm^3 มี NH_3 อยู่ 0.4 mol* *สารละลาย NH_3 250 cm^3 มี NH_3 อยู่ $\frac{0.4 \times 250}{1000} = 0.1$ mol* *สารละลาย HCl 1000 cm^3 มี HCl อยู่ 0.25 mol* *สารละลาย HCl 125 cm^3 มี HCl อยู่ $\frac{0.25 \times 125}{1000} = 0.031$ mol* *เขียนสมการการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง NH_3 และ HCl* $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$ *หาจำนวนโมลคงเหลือของแต่ละสาร* $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$ เริ่มต้น 0.1 0.031 - เปลี่ยนไป 0.031 0.031 0.031 สมดุล 0.069 0 0.031 *หาความเข้มข้นของเบสอ่อน และเกลือของเบสอ่อน* *ในสารละลายผสม 375 cm^3 มี NH_3 เหลือ 0.069 mol*

ขั้นตามเทคนิคของโพลยา	แนวการตอบ
	ในสารละลายผสม 1000 cm^3 มี NH_3 เหลือ $\frac{0.069 \times 1000}{375}$ = 0.184 mol ดังนั้น $[NH_3]$ = 0.184 M ในสารละลายผสม 375 cm^3 มี NH_4Cl เกิดขึ้น 0.031 mol ในสารละลายผสม1000 cm^3มี NH_4Cl เกิดขึ้น $\frac{0.031 \times 1000}{375}$ = 0.083 mol ดังนั้น $[NH_4Cl]$ = 0.083 M คำนวณหาค่า pH $pH = 14 - \left[-\log \left[\frac{K_b \times [\text{เบส}]}{[\text{เกลือ}]} \right] \right]$ $= 14 - \left[-\log \left[\frac{1.8 \times 10^{-5} \times [0.184]}{[0.083]} \right] \right]$ $= 14 - [-\log 3.99 \times 10^{-5}]$ $= 14 - [-\log 3.99 \times 10^{-5}]$ $= 14 - [5 - \log 3.99]$ $= 14 - [5 - 0.6]$ $= 14 - 4.4$ $= 9.6$ ดังนั้น สารละลายผสมนี้จะมีค่า pH เท่ากับ 9.6
ขั้นที่ 4 ขั้นตรวจสอบผล	สรุปคำตอบ : 9.6 ระบุหน่วย (ถ้ามี) : - วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี) : - การตรวจสอบคำตอบ / การตรวจสอบความสมเหตุสมผล : จากค่า pH = 9.6 ดังนั้น pOH = 14 – 9.6 = 4.4 เมื่อเทียบกับสมการ $pOH = -\log[OH^-]$ $4.4 = -\log[OH^-]$ จะได้ $[OH^-] = 3.99 \times 10^{-5}$ M

ขั้นตามเทคนิคของโพลยา	แนวการตอบ
	$[OH^-] = K_b \times \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]}$ $3.99 \times 10^{-5} = 1.8 \times 10^{-5} \times \frac{0.184}{0.083}$ จะเห็นได้ว่า สมการเป็นจริง

ขั้นที่ 5 สรุปและประเมิน หรือ Conclude and Assess (15 นาที)

1) นักเรียนแต่ละกลุ่มยกตัวอย่างสารละลายบัฟเฟอร์ว่าเกิดจากสารผสมอะไรบ้าง กลุ่มละ 3 ตัวอย่าง โดยให้ตัวแทนกลุ่มเขียนคำตอบที่กระดานเพื่อเป็นการตรวจสอบร่วมกันทั้งชั้นเรียน

2) ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนซักถามข้อสงสัยเกี่ยวกับการเรียนในครั้งนี้

3) นักเรียนแต่ละกลุ่มได้รับมอบหมายให้สรุปมโนทัศน์ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส โดยนำเสนอในรูปแบบของผังมโนทัศน์เพื่อนำไปเผยแพร่ให้กับเพื่อนร่วมชั้นเรียนเป็นการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน

4) นักเรียนทำใบงานที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์และสมบัติของเกลือและแบบฝึกหัดที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์ให้ครบถ้วนเพื่อที่ครูจะได้ให้ข้อมูลย้อนกลับ

ภาระงาน/ชิ้นงาน

1. ทำการทดลอง เรื่อง การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายบางชนิด
2. นำเสนอหน้าชั้นเรียน
3. ทำผังมโนทัศน์ เรื่อง ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับกรดเบส-
4. แก้โจทย์ปัญหา ในกิจกรรม “pH ของบัฟเฟอร์”
5. แก้โจทย์ปัญหา เรื่อง สารละลายบัฟเฟอร์

สื่อการเรียนรู้/แหล่งเรียนรู้

1. แบบบันทึกผลการทดลอง เรื่อง การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายบางชนิด
2. ใบงานที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์
3. แบบฝึกหัดที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์
4. หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี เล่ม 4
5. วัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

6. สารเคมี ได้แก่ NaOH HCl CH_3COOH CH_3COONa NH_4Cl H_3PO_4 และ H_2O และยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์

7. ใบกิจกรรม “pH ของบัฟเฟอร์”

8. ฉลากชื่อคู่กรด-เบส

9. สื่อ Microsoft Powerpoint

การวัดและประเมินผลการเรียนรู้

จุดประสงค์การเรียนรู้	วิธีการวัด	เครื่องมือ	การประเมินผล
1. อธิบายสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ (K)	- สังเกตพฤติกรรมการตอบคำถาม - ตรวจใบงานที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์	- แบบสังเกตพฤติกรรมการตอบคำถาม - แบบประเมินใบงานที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์	- คะแนนอยู่ในระดับดีขึ้นไป ผ่านเกณฑ์ - คะแนนร้อยละ 60 ขึ้นไป ผ่านเกณฑ์
2. ระบุองค์ประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ (K)	- สังเกตพฤติกรรมการตอบคำถาม - ตรวจใบงานที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์	- แบบสังเกตพฤติกรรมการตอบคำถาม - แบบประเมินใบงานที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์	- คะแนนอยู่ในระดับดีขึ้นไป ผ่านเกณฑ์ - คะแนนร้อยละ 60 ขึ้นไป ผ่านเกณฑ์
3. อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบบัฟเฟอร์ในร่างกายและในธรรมชาติได้ (K)	- สังเกตพฤติกรรมการตอบคำถาม - ตรวจใบงานที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์ - ตรวจสอบผลการสรุปมโนทัศน์จากการทำผังมโนทัศน์ เรื่อง ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส	- แบบสังเกตพฤติกรรมการตอบคำถาม - แบบประเมินใบงานที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์ - แบบประเมินผังมโนทัศน์	- คะแนนอยู่ในระดับดีขึ้นไป ผ่านเกณฑ์ - คะแนนร้อยละ 60 ขึ้นไป ผ่านเกณฑ์ - คะแนนร้อยละ 60 ขึ้นไป ผ่านเกณฑ์

จุดประสงค์การเรียนรู้	วิธีการวัด	เครื่องมือ	การประเมินผล
4. คำนวณค่าpHของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ (K)	- ตรวจแบบฝึกหัดที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์ - ตรวจใบกิจกรรม “pH ของบัฟเฟอร์”	- แบบประเมินแบบฝึกหัดที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์ กรดเบสและสมบัติ-ของเกลือ - แบบประเมินใบกิจกรรม “pH ของบัฟเฟอร์”	- คะแนนร้อยละ 60 ขึ้นไป ผ่านเกณฑ์ - คะแนนร้อยละ 60 ขึ้นไป ผ่านเกณฑ์
5. ทดลองเพื่อศึกษา pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปได้ (P)	- ตรวจแบบบันทึกผลการทดลอง เรื่อง การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายบางชนิด	- แบบประเมินผลการทดลอง เรื่อง การเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายบางชนิด	- คะแนนร้อยละ 60 ขึ้นไป ผ่านเกณฑ์
6. ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์และปฏิบัติตามขั้นตอนการทดลองได้อย่างถูกต้อง (P)	- สังเกตทักษะในการทำการทดลอง	- แบบประเมินทักษะในการทำการทดลอง	- คะแนนอยู่ในระดับดีขึ้นไป ผ่านเกณฑ์
7. ตั้งใจเรียนรู้และแสวงหาความรู้ รับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย (A)	- สังเกตพฤติกรรมการทำงาน	- แบบประเมินการทำงาน	- คะแนนอยู่ในระดับดีขึ้นไป ผ่านเกณฑ์

เกณฑ์การให้คะแนนการตอบคำถามในชั้นเรียน

เกณฑ์	ระดับคะแนน			
	3	2	1	0
1. การนำมโนทัศน์เดิมมาตอบคำถาม	นักเรียนมีมโนทัศน์เดิมมาใช้ในการเรียนครั้งนี้ โดยมีความถูกต้องสมบูรณ์ ทั้ง 2 ประเด็น ได้แก่ จับคู่กรด-เบสได้ และยกตัวอย่างชื่อเกลือได้มากกว่า 1 ชนิด	นักเรียนมีมโนทัศน์เดิมมาใช้ในการเรียนครั้งนี้ โดยมีความถูกต้องสมบูรณ์ ทั้ง 2 ประเด็น ได้แก่ จับคู่กรด-เบสได้ และ ยกตัวอย่างชื่อเกลือได้ 1 ชนิด	นักเรียนมีมโนทัศน์เดิมมาใช้ในการเรียนครั้งนี้ โดยมีความถูกต้องสมบูรณ์ 1 ประเด็น จาก 2 ประเด็น	นักเรียนไม่มีมโนทัศน์เดิมที่มีความถูกต้องสมบูรณ์ทั้ง 2 ประเด็น
2. อธิบายสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์	นักเรียนสามารถอธิบายสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ถูกต้อง รวมถึงสามารถเขียนสมการการเกิดปฏิกิริยาและบอกเหตุผลของสมบัติสารละลายบัฟเฟอร์ได้	นักเรียนสามารถอธิบายสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ถูกต้องรวมถึงสามารถเขียนสมการการเกิดปฏิกิริยาหรือบอกเหตุผลของสมบัตสารละลายบัฟเฟอร์ได้เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง	นักเรียนสามารถอธิบายสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ถูกต้องแต่ไม่สามารถเขียนสมการการเกิดปฏิกิริยาและบอกเหตุผลของสมบัติสารละลายบัฟเฟอร์ได้	นักเรียนไม่สามารถอธิบายสมบัติของสารละลายบัฟเฟอร์ได้

เกณฑ์	ระดับคะแนน			
	3	2	1	0
3. ระบุองค์ประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์	นักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ถูกต้องทั้งหมด ได้แก่ บัฟเฟอร์กรด และบัฟเฟอร์เบส รวมถึงสามารถหาสารละลายผสมที่ควบคุม pH ได้ดีที่สุดได้ถูกต้อง	นักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ถูกต้องทั้งหมด ได้แก่ บัฟเฟอร์กรด และบัฟเฟอร์เบสแต่ไม่สามารถหาสารละลายผสมที่ควบคุม pH ได้ดีที่สุดได้	นักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ถูกต้อง1 ชนิด จาก 2 ชนิด	นักเรียนไม่ระบุองค์ประกอบของสารละลายบัฟเฟอร์ได้ทั้งหมด
4. อธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบบัฟเฟอร์ในร่างกายและในธรรมชาติ	นักเรียนสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบบัฟเฟอร์ในร่างกายและในธรรมชาติได้ถูกต้องสมบูรณ์ทั้ง 2 ตัวอย่าง ได้แก่ การควบคุม pH ของน้ำทะเล	นักเรียนสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบบัฟเฟอร์ในร่างกายและในธรรมชาติได้ถูกต้องสมบูรณ์ 1 ตัวอย่างจาก 2 ตัวอย่าง	นักเรียนสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบบัฟเฟอร์ในร่างกายและในธรรมชาติได้ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ 1 ตัวอย่าง	นักเรียนไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบบัฟเฟอร์ในร่างกายและในธรรมชาติได้ทั้ง 2 ตัวอย่าง

เกณฑ์	ระดับคะแนน			
	3	2	1	0
	และการควบคุม pH ของเลือด			
5. สมาชิกในกลุ่มมีส่วนร่วมในการตอบคำถาม	นักเรียนในกลุ่มร่วมกันแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและประสบการณ์ภายในชั้นเรียนครบทุกคน	มีนักเรียนในกลุ่มไม่ให้ความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและประสบการณ์ภายในชั้นเรียน 1 คน	มีนักเรียนในกลุ่มไม่ให้ความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและประสบการณ์ภายในชั้นเรียน 2 คน	มีนักเรียนในกลุ่มไม่ให้ความร่วมมือในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและประสบการณ์ภายในชั้นเรียน 3 คนขึ้นไป

เกณฑ์การตัดสินคุณภาพ

12 – 15 คะแนน หมายถึง ดีมาก

8 – 11 คะแนน หมายถึง ดี

4 – 7 คะแนน หมายถึง ปานกลาง

0 – 3 คะแนน หมายถึง ปรับปรุง

เกณฑ์การให้คะแนนทักษะในการทำการทดลอง

เกณฑ์	ระดับคะแนน			
	3	2	1	0
1. การปฏิบัติการทดลอง	นักเรียนสามารถปฏิบัติการทดลองได้เหมาะสม ทั้ง 2 ประเด็น ได้แก่ การเลือกสารละลายบัฟเฟอร์ การคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้อุปกรณ์	นักเรียนสามารถปฏิบัติการทดลองได้เหมาะสมทั้ง 2 ประเด็น แต่มีสมาชิกในกลุ่มส่วนหนึ่งเท่านั้นที่สามารถปฏิบัติการทดลองได้	นักเรียนสามารถปฏิบัติการทดลองได้เหมาะสม 1 ประเด็นจาก 2 ประเด็น	นักเรียนไม่สามารถปฏิบัติการทดลองได้เหมาะสมทั้ง 2 ประเด็น
2. การสรุปผลการทดลอง	นักเรียนสามารถสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องครบถ้วน	นักเรียนสามารถสรุปผลการทดลองได้ส่วนมากถูกต้อง	นักเรียนสามารถสรุปผลการทดลองได้ถูกต้องบางส่วน	นักเรียนสรุปผลการทดลองไม่ถูกต้อง
3. การใช้เครื่องมืออุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์	นักเรียนสามารถปฏิบัติการทดลองได้ทั้ง 3 ประเด็น ได้แก่ ใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์อย่างถูกวิธี เก็บสารเคมีอย่าง	นักเรียนสามารถปฏิบัติการทดลองได้ 2 ประเด็นจากทั้งหมด 3 ประเด็น	นักเรียนสามารถปฏิบัติการทดลองได้ 1 ประเด็นจากทั้งหมด 3 ประเด็น	นักเรียนไม่สามารถปฏิบัติการทดลองได้ทั้ง 3 ประเด็น

เกณฑ์	ระดับคะแนน			
	3	2	1	0
	ถูกวิธี และ เก็บรักษาอุปกรณ์หลังเลิกใช้			
4. การนำเสนอผลการทดลอง	นักเรียนสามารถปฏิบัติได้ทั้ง 3 ประเด็น ได้แก่ การนำเสนอราบรื่น มีการทำงานเป็นทีม แบ่งเวลาในการนำเสนอเหมาะสม	นักเรียนสามารถปฏิบัติ ได้ 2 ประเด็น จาก 3 ประเด็น	นักเรียนสามารถปฏิบัติได้ 1ประเด็น จาก 3 ประเด็น	นักเรียนไม่สามารถปฏิบัติ ได้ทั้ง 3 ประเด็น

เกณฑ์การตัดสินคุณภาพ

10 – 12 คะแนน	หมายถึง	ดีมาก
7 – 9 คะแนน	หมายถึง	ดี
4 – 6 คะแนน	หมายถึง	ปานกลาง
0 – 3 คะแนน	หมายถึง	ปรับปรุง

เกณฑ์การให้คะแนนการทำงาน

เกณฑ์	ระดับคะแนน			
	3	2	1	0
1. ความร่วมมือในการทำกิจกรรม	ให้ความร่วมมือกับทุกกิจกรรมการเรียนรู้	ให้ความร่วมมือกับกิจกรรมการเรียนรู้เป็นส่วนใหญ่	ให้ความร่วมมือกับกิจกรรมการเรียนรู้บ้าง	ไม่ให้ความร่วมมือกับกิจกรรมการเรียนรู้
2. การแสดงความคิดเห็น	มีการแสดงความคิดเห็นของตนเอง และยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นเป็นอย่างดี	ยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นเป็นอย่างดีแต่ไม่มีการแสดงความคิดเห็นของตนเอง	ไม่มีการตอบสนองต่อความคิดเห็นของผู้อื่นและของตนเอง	ไม่รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น แสดงอาการขัดขวาง
3. ความตั้งใจในการทำงาน	มีความตั้งใจในการทำงานอย่างดีเยี่ยม	มีความตั้งใจในการทำงานอย่างดี	มีความตั้งใจในการทำงานพอใช้	ไม่มีความตั้งใจในการทำงาน
4. ความรับผิดชอบ	ทำงานครบและส่งได้ตามเวลาที่กำหนด	ทำงานครบ แต่ส่งได้ไม่ตามเวลา	ทำงานไม่ครบและส่งไม่ตามเวลา	ไม่ส่งงาน

เกณฑ์การตัดสินคุณภาพ

10 – 12 คะแนน	หมายถึง	ดีมาก
7 – 9 คะแนน	หมายถึง	ดี
4 – 6 คะแนน	หมายถึง	ปานกลาง
0 – 3 คะแนน	หมายถึง	ปรับปรุง

แบบสังเกตพฤติกรรมการตอบคำถาม

คำชี้แจง ประเมินผลพฤติกรรมนักเรียนเป็นรายบุคคล โดยใส่เครื่องหมาย ✓ ให้ตรงกับระดับพฤติกรรมที่แสดงออก ตามเกณฑ์การประเมินที่กำหนด ดังนี้

ที่	ชื่อ - สกุล	มโนทัศน์เดิม				สมบัติบัฟเฟอร์				องค์ประกอบบัฟเฟอร์				ระบบบัฟเฟอร์ในร่างกายและธรรมชาติ				ส่วนร่วมในการตอบคำถาม				รวม	พฤติกรรมที่ต้องปรับปรุง
		3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	15	
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							

ที่	ชื่อ - สกุล	มโนทัศน์เดิม				สมบัติบัฟเฟอร์				องค์ประกอบบัฟเฟอร์				ระบบบัฟเฟอร์ในร่างกายและธรรมชาติ				ส่วนร่วมในการตอบคำถาม				รวม	พฤติกรรมสังเกตได้
		3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	15	
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							

แบบประเมินทักษะในการทำการทดลอง

คำชี้แจง ประเมินผลพฤติกรรมนักเรียนเป็นรายบุคคล โดยใส่เครื่องหมาย ✓ ให้ตรงกับระดับพฤติกรรมที่แสดงออก ตามเกณฑ์การประเมินที่กำหนด ดังนี้

ที่	ชื่อ - สกุล	การปฏิบัติการทดลอง				การสรุปผลการทดลอง				การใช้เครื่องมืออุปกรณ์				การนำเสนอผลการทดลอง				รวม	การตัดสินคุณภาพ
		3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	12	
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			

ที่	ชื่อ - สกุล	การปฏิบัติการทดลอง				การสรุปผลการทดลอง				การใช้เครื่องมืออุปกรณ์				การนำเสนอผลการทดลอง				รวม	หมายเหตุ/ผู้ตรวจ
		3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	12	
21																			
22																			
23																			
24																			
25																			
26																			
27																			
28																			
29																			
30																			

แบบประเมินการทำงาน

คำชี้แจง ประเมินผลพฤติกรรมนักเรียนเป็นรายบุคคล โดยใส่เครื่องหมาย ✓ ให้ตรงกับระดับพฤติกรรมที่แสดงออก ตามเกณฑ์การประเมินที่กำหนด ดังนี้

ที่	ชื่อ - สกุล	ความร่วมมือในการทำกิจกรรม				การแสดงความคิดเห็น				ความตั้งใจในการทำงาน				ความรับผิดชอบ				รวม	หมายเหตุ
		3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	12	
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			

ที่	ชื่อ - สกุล	ความร่วมมือในการทำกิจกรรม				การแสดงความคิดเห็น				ความตั้งใจในการทำงาน				ความรับผิดชอบ				รวม	หมายเหตุ/ตรวจแล้ว
		3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	12	
21																			
22																			
23																			
24																			
25																			
26																			
27																			
28																			
29																			
30																			

บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

1. ด้านการบรรลุผลการเรียนรู้

1.1 ด้านพุทธิพิสัย

……

……

……

……

1.2 ด้านทักษะพิสัย

……

……

……

……

1.3 ด้านจิตพิสัย

……

……

……

……

2. ปัญหาที่พบจากการจัดการเรียนรู้และแนวทางแก้ไข

……

……

3. แนวทางในการพัฒนาต่อไป

……

……

……

ลงชื่อ……

(นางสาวฉัตรสุดา ขุนเพ็ง)

ผู้สอน

แบบบันทึกผลการทดลอง เรื่อง การเปลี่ยนแปลง pH ของ

สมาชิกกลุ่ม

1. .....

2. .....

3. .....

4. .....

5. .....

1. จุดประสงค์การทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

2. วัสดุอุปกรณ์

.....

.....

.....

3. วิธีการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. ผลการทดลอง

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

5. อภิปรายผลการทดลอง

……..

……..

……..

……..

……..

6. สรุปผลการทดลอง

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

……..

ใบงานที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์

คำชี้แจง ตอบคำถามเกี่ยวกับสารละลายบัฟเฟอร์

1. พิจารณาว่าสารละลายที่ประกอบด้วยสารต่อไปนี้ เป็นบัฟเฟอร์หรือไม่ พร้อมบอกเหตุผล

1 (HNO_3 กับ $NaNO_3$

☐ เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ☐ ไม่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์

เหตุผล : .....

2 (NH_3 กับ NH_4Br

☐ เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ☐ ไม่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์

เหตุผล : .....

3 (CH_3COONa กับ CH_3COOH

☐ เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ☐ ไม่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์

เหตุผล : .....

2. ยกตัวอย่าง สารละลายบัฟเฟอร์กรด และบัฟเฟอร์เบส ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

1 ตัวอย่างบัฟเฟอร์กรด (2 ชนิด ที่เกิดจากสารผสมระหว่างกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อน

2 ตัวอย่างบัฟเฟอร์เบส (2 ชนิด ที่เกิดจากสารผสมระหว่างเบสอ่อนและเกลือของเบสอ่อน

.....

.....

.....

.....

3. สารละลายผสมคู่ใดต่อไปนี้ควบคุม pH ได้ดีที่สุด เพราะเหตุใด

H_3PO_4 0.2 M ปริมาตร 40 mL และ KOH 0.05 M ปริมาตร 160 mL

CH_3COOH 0.1 M ปริมาตร 10 mL และ NH_3 0.1 M ปริมาตร 10 mL

CH_3COOH 0.1 M ปริมาตร 20 mL และ KOH 0.05 M ปริมาตร 20 mL

NH_3 0.1 M ปริมาตร 15 mL และ NH_4Cl 0.15 M ปริมาตร 10 mL

.....

.....

.....

.....

4. เขียนสมการการแสดงปฏิกิริยาการควบคุมบัฟเฟอร์ในไตของมนุษย์ พร้อมอธิบายหลักการ

.....

.....

.....

.....

5. ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส 2 ตัวอย่าง พร้อมอธิบายหลักการ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. สรุปมโนทัศน์ เรื่อง สาระละลายบัฟเฟอร์ตามความเข้าใจของตนเอง

ใบกิจกรรม “pH ของบัฟเฟอร์”

โอเล่ ทำการทดลองเสร็จแล้วโดยมีสารที่เหลือในบีกเกอร์ 2 ชนิด ได้แก่ สารละลาย NH_3 เข้มข้น 0.4 M ปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ สารละลาย HCl เข้มข้น 0.25 M มีปริมาตรเป็นครึ่งหนึ่งของสารละลายแรก เมื่อโอเล่ต้องการเก็บอุปกรณ์ล้าง จึงนำสารทั้ง 2 บีกเกอร์นี้มาผสมกัน สารละลายผสมนี้จะมีค่า pH เท่ากับเท่าใด กำหนดให้ค่า K_b ของ $NH_3 = 1.8 \times 10^{-5}$ และ log3.99 = 0.6

ขั้นตามเทคนิคของโพลยา	แนวการตอบ
ขั้นที่ 1 ขั้นทำความเข้าใจปัญหา	สิ่งที่โจทย์ถามหา : ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา :
ขั้นที่ 2 ขั้นวางแผนแก้ปัญหา	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : *สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :*
ขั้นที่ 3 ขั้นดำเนินการตามแผน	*แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :*

ขั้นตามเทคนิคของโพลยา	แนวการตอบ
ขั้นที่ 4 ขั้นตรวจสอบผล	*สรุปคำตอบ :* *ระบุหน่วย (ถ้ามี) :* *วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี) :* *การตรวจสอบคำตอบ / การตรวจสอบความสมเหตุสมผล :*

แบบฝึกหัดที่ 6 โจทย์ปัญหาสารละลายบัฟเฟอร์

คำชี้แจง ให้นักเรียนสร้างโจทย์ปัญหาตามเงื่อนไขที่กำหนด และแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้เทคนิคของโพลยา

1. ต้อยต้องการให้เต่าหาสารที่สามารถควบคุม pH ให้คงที่ เต่าจึงเข้าไปในห้องวิทยาศาสตร์ ซึ่งพบว่ามีบีกเกอร์วางอยู่ 4 บีกเกอร์ดังตาราง เต่าสามารถหยิบบีกเกอร์ใดไปให้ต้อยได้บ้าง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

บีกเกอร์	**สารในบีกเกอร์ชนิดที่** 1	**สารในบีกเกอร์ชนิดที่** 2
1	CH_3COOH 2 M ปริมาตร 100 cm^3	CH_3COONa 0.5 M ปริมาตร 100 cm^3
2	NH_3 0.4 M ปริมาตร 100 cm^3	NH_4Cl 0.2 M ปริมาตร 250 cm^3
3	NH_3 0.2 M ปริมาตร 100 cm^3	HCl 0.5 M ปริมาตร 200 cm^3
4	CH_3COOH 0.1 M ปริมาตร 10 cm^3	NaOH 0.1 M ปริมาตร 5 cm^3

ขั้นที่ 1 **ขั้นทำความเข้าใจปัญหา**	สิ่งที่โจทย์ถามหา : ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา :
ขั้นที่ 2 **ขั้นวางแผนแก้ปัญหา**	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :

ขั้นที่ 3 **ขั้นดำเนินการตามแผน**	แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :
ขั้นที่ 4 **ขั้นตรวจสอบผล**	สรุปคำตอบ : ระบุหน่วย (ถ้ามี) : วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี) : การตรวจสอบคำตอบ / การตรวจสอบความสมเหตุสมผล :

2. สารละลายบัฟเฟอร์ชนิดหนึ่ง ปริมาตร 1 L เกิดจากการผสมระหว่าง CH_3COOH เข้มข้น 1 mol/L และสารละลาย CH_3COONa เข้มข้น 0.5 mol/L จะมีค่า pH เท่าใด (กำหนดให้ ค่า Ka ของ CH_3COOH มีค่า 1.8×10^{-5} และ log3.6 = 0.56) (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

ขั้นที่ 1 **ขั้นทำความเข้าใจปัญหา**	สิ่งที่โจทย์ถามหา : ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา :
ขั้นที่ 2 **ขั้นวางแผนแก้ปัญหา**	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :
ขั้นที่ 3 **ขั้นดำเนินการตามแผน**	แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :

ขั้นที่ 4 **ขั้นตรวจสอบผล**	สรุปคำตอบ : ระบุหน่วย (ถ้ามี): วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี): สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :

3. หากเกมหยดสารเก็บใส่บีกเกอร์ผิด โดยหยด HNO_3 เข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 1 mL ลงในสารละลายบัฟเฟอร์ข้อที่ 2 สารละลายที่ได้จะมีค่า pH เท่าใด (กำหนดให้ log3.6 = 0.56) (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

ขั้นที่ 1 **ขั้นทำความเข้าใจปัญหา**	สิ่งที่โจทย์ถามหา : ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา :
ขั้นที่ 2 **ขั้นวางแผนแก้ปัญหา**	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :
ขั้นที่ 3 **ขั้นดำเนินการตามแผน**	แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :

ขั้นที่ 4 **ขั้นตรวจสอบผล**	สรุปคำตอบ : ระบุหน่วย (ถ้ามี): วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี): สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :

4. ฟ้าทำการผสมสารละลายให้ได้ 1 dm^3 โดยผสมจากสารละลาย NH3 ที่มีความเข้มข้น 0.15 mol/dm^3 และสารละลาย NH_4Br ที่มีความเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 สารละลายที่ได้จะมีค่า pOH เท่าใด (กำหนดให้ Kb ของ NH_3 เท่ากับ 1.8×10^{-5} และ log2.7 = 0.43) (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

ขั้นที่ 1 **ขั้นทำความเข้าใจปัญหา**	สิ่งที่โจทย์ถามหา : ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา :
ขั้นที่ 2 **ขั้นวางแผนแก้ปัญหา**	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :
ขั้นที่ 3 **ขั้นดำเนินการตามแผน**	แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :

ขั้นที่ 4 **ขั้นตรวจสอบผล**	สรุปคำตอบ : ระบุหน่วย (ถ้ามี): วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี): สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :

5. ริตา ทำการทดลองโดยผสมสารระหว่าง สารละลาย C_6H_5COOH ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 500 cm^3 กับ สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 300 cm^3 เมื่อทำการทดลองเสร็จจึงทำการวัดค่า pH ด้วย pH-meter แต่ปรากฏว่าเครื่องเสีย จึงต้องคำนวณค่า pH เอง ริตาจะคำนวณค่า pH ได้เท่าใด (กำหนดให้ Ka ของ C_6H_5COOH เท่ากับ 6.3×10^{-5} และ log4.2 = 0.62) (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

ขั้นที่ 1 **ขั้นทำความเข้าใจปัญหา**	สิ่งที่โจทย์ถามหา : ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา :
ขั้นที่ 2 **ขั้นวางแผนแก้ปัญหา**	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :
ขั้นที่ 3 **ขั้นดำเนินการตามแผน**	แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :

ขั้นที่ 4 **ขั้นตรวจสอบผล**	สรุปคำตอบ : ระบุหน่วย (ถ้ามี): วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี): สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :

เฉลยแบบบันทึกผลการทดลอง เรื่อง การเปลี่ยนแปลง pH

1. จุดประสงค์การทดลอง

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายบางชนิด เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไป

2. วัสดุอุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาดกลาง 2. หลอดหยด

3. น้ำกลั่น 4. ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์

5. สารละลาย CH_3COOH 0.3 M

6. สารละลาย CH_3COONa 0.3M

7. สารละลาย NaOH 1 M

8. สารละลาย HCl 1 M

3. วิธีการทดลอง

1. ใส่น้ำกลั่นลงในหลอดทดลองขนาดกลาง 2 หลอด หลอดละ 4 cm^3 จากนั้นหยดยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ลงไป 2-3 หยด เขย่าและสังเกตสีของสารละลาย

2. หยดสารละลาย NaOH เข้มข้น 1 M ลงในหลอดที่ 1 จำนวน 1 หยด และหยดสารละลาย HCl เข้มข้น 1 M ลงในหลอดที่ 2 จำนวน 1 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลง

3. ใส่สารละลาย CH_3COOH เข้มข้น 0.3 M ลงในหลอดทดลองขนาดกลางอีก 2 หลอด หลอดละ 2 cm^3 จากนั้นเติมสารละลาย CH_3COONa เข้มข้น 0.3 M ลงไปหลอดละ 2 cm^3 เขย่าให้เข้ากันแล้วหยดยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์ลงไป 2-3 หยด เขย่าและสังเกตสีของสารละลาย

4. หยดสารละลาย NaOH เข้มข้น 1 M ลงในหลอดที่ 1 จำนวน 1 หยดและหยดสารละลาย HCl เข้มข้น 1 M ลงในหลอดที่ 2 จำนวน 1 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลง

4. ผลการทดลอง

สาร	สีของสารละลายเมื่อหยดยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์	สีของสารละลายเมื่อหยด	
		NaOH	HCl
น้ำกลั่น	เขียว	ม่วง	ชมพู
สารละลายผสมของ CH_3COOH กับ CH_3COONa	ชมพู	ชมพู	ชมพู

5. อภิปรายผลการทดลอง

เมื่อเติมสารละลาย NaOH หรือสารละลาย HCl จำนวนเล็กน้อยลงในน้ำกลั่น ทำให้ค่า pH ของน้ำเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ แต่เมื่อเติมสารละลาย NaOH หรือ สารละลาย HCl จำนวนเท่ากันลงในสารละลายผสมของ CH_3COOH กับ CH_3COONa ค่า pH ของสารละลายผสมจะเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก จึงกล่าวได้ว่า สารละลายผสมของ CH_3COOH กับ CH_3COONa มีสมบัติในการควบคุม pH

6. สรุปผลการทดลอง

สารที่มีสมบัติในการควบคุม pH ของสารละลายให้คงที่ คือ สารละลายบัฟเฟอร์ ซึ่งเมื่อเติมกรดแก่หรือเบสแก่ลงไปในสารละลายจำนวนน้อย จะทำให้ความเข้มข้นของ H_3O^+ เปลี่ยนแปลงน้อยมาก ค่า pH จึงเปลี่ยนแปลงน้อย

เฉลยใบงานที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์

1. พิจารณาว่าสารละลายที่ประกอบด้วยสารต่อไปนี้ เป็นบัฟเฟอร์หรือไม่ พร้อมบอกเหตุผล

1 (HNO_3 กับ $NaNO_3$

☐ เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ☑ ไม่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์

เหตุผล : ไม่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ เนื่องจากในระบบประกอบด้วยกรดแก่และเกลือของกรดแก่นั้น

2 (NH_3 กับ NH_4Br

☑ เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ☐ ไม่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์

เหตุผล : เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ เนื่องจากในระบบประกอบด้วยเบสอ่อนและเกลือของเบสอ่อนนั้น

3 (CH_3COONa กับ CH_3COOH

☑ เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ☐ ไม่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์

เหตุผล : เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ เนื่องจากในระบบประกอบด้วยกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อนนั้น

2. ยกตัวอย่าง สารละลายบัฟเฟอร์กรด และบัฟเฟอร์เบส ตามเงื่อนไขต่อไปนี้

1 ตัวอย่างบัฟเฟอร์กรด (2 ชนิด ที่เกิดจากสารผสมระหว่างกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อน

H_2CO_3 ผสมกับ $NaHPO_4$ และ H_3PO_4 ผสมกับ NaH_2PO_4

2 ตัวอย่างบัฟเฟอร์เบส (2 ชนิด ที่เกิดจากสารผสมระหว่างเบสอ่อนและเกลือของเบสอ่อน

NH_3 ผสมกับ NH_4Cl และ $Fe(OH)_2$ ผสมกับ $FeCl_2$

3. สารละลายผสมคู่ใดต่อไปนี้ควบคุม pH ได้ดีที่สุด เพราะเหตุใด

H_3PO_4 0.2 M ปริมาตร 40 mL และ KOH 0.05 M ปริมาตร 160 mL

CH_3COOH 0.1 M ปริมาตร 10 mL และ NH_3 0.1 M ปริมาตร 10 mL

CH_3COOH 0.1 M ปริมาตร 20 mL และ KOH 0.05 M ปริมาตร 20 mL

NH_3 0.1 M ปริมาตร 15 mL และ NH_4Cl 0.15 M ปริมาตร 10 mL

CH_3COOH 0.1 M ปริมาตร 20 mL และ KOH 0.05 M ปริมาตร 20 mL เนื่องจากทำปฏิกิริยาไม่พอดีกัน มี CH_3COOH เหลือ จึงประกอบด้วยกรดอ่อน CH_3COOH และคู่เบส CH_3COO^-

4. เขียนสมการการแสดงปฏิกิริยาการควบคุมบัฟเฟอร์ในไตของมนุษย์ พร้อมอธิบายหลักการ

$HPO_4^{2-}(aq) + H_3O^+(aq) \rightleftharpoons H_2PO_4^-(aq) + H_2O(l)$

เมื่อออกกำลังกายนาน ๆ จะมีกรดเกิดขึ้น ระบบบัฟเฟอร์ในเลือดจะเกิดปฏิกิริยาเพื่อลดความเข้มข้นของกรด$H_2PO_4^-$ จะถูกกำจัดออกมาทางปัสสาวะ

5. ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับกรด-เบส 2 ตัวอย่าง พร้อมอธิบายหลักการ

1) การปรับค่า pH ของน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ โดยเติมเบสในปริมาณที่เหมาะสม คำนวณปริมาณเบสที่ใช้สัมพันธ์กับ pH ของสารละลาย

2) การปรับสมดุล pH ในแชมพู โดยการเติมสารละลายบัฟเฟอร์ กรดซิทริก ($C_3H_5O(COOH)_3$) และโซเดียมซิเทรต ($C_3H_5O(COONa)$)

3) เพื่อปรับและควบคุม pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับสภาพเส้นผมหรือตัวอย่างอื่น ๆ ตามที่นักเรียนได้เขียนอธิบายมา

6. สรุปมโนทัศน์ เรื่อง สารละลายบัฟเฟอร์ตามความเข้าใจของตนเอง

ตามความเข้าใจของนักเรียน โดยสามารถสรุปได้ว่า สารที่มีสมบัติในการควบคุม pH ของสารละลายไม่ให้เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อมีการเติมกรด เบส หรือน้ำลงไปเล็กน้อย เรียกว่า บัฟเฟอร์ ซึ่งแบ่งออกเป็นบัฟเฟอร์กรด คือ สารละลายที่มีกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อนชนิดนั้น ส่วนบัฟเฟอร์เบส คือ สารละลายที่มีเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนชนิดนั้น เมื่อเติมกรดหรือเบสลงไปมาก สารละลายบัฟเฟอร์ไม่สามารถควบคุม pH ได้ เนื่องจากความเข้มข้นของกรดหรือเบสส่งผลต่อความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์

ใบกิจกรรม “pH ของบัฟเฟอร์”

โอเล่ ทำการทดลองเสร็จแล้วโดยมีสารที่เหลือในบีกเกอร์ 2 ชนิด ได้แก่ สารละลาย NH_3 เข้มข้น 0.4 M ปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ สารละลาย HCl เข้มข้น 0.25 M มีปริมาตรเป็นครึ่งหนึ่งของสารละลายแรก เมื่อโอเล่ต้องการเก็บอุปกรณ์ล้าง จึงนำสารทั้ง 2 บีกเกอร์นี้มาผสมกัน สารละลายผสมนี้จะมีค่า pH เท่ากับเท่าใด กำหนดให้ค่า K_b ของ $NH_3 = 1.8 \times 10^{-5}$ และ log3.99 = 0.6

ขั้นตามเทคนิคของโพลยา	แนวการตอบ
ขั้นที่ 1 **ขั้นทำความเข้าใจปัญหา**	สิ่งที่โจทย์ถามหา : *สารละลายผสมนี้จะมีค่า pH เท่ากับเท่าใด* ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา : *สารละลาย NH_3 เข้มข้น 0.4 M ปริมาตร 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมกับสารละลาย HCl เข้มข้น 0.25 M มีปริมาตรเป็นครึ่งหนึ่งของสารละลายแรก กำหนดให้ค่า K_b ของ $NH_3 = 1.8 \times 10^{-5}$ และ log3.99 = 0.6*
ขั้นที่ 2 **ขั้นวางแผนแก้ปัญหา**	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : *การหาค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์เบส* *สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :* *1) หาจำนวนโมลของ NH_3 และ HCl* *2) เขียนสมการการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง NH_3 และ HCl* *3) หาจำนวนโมลคงเหลือของแต่ละสาร* *4) หาความเข้มข้นของเบสอ่อน และเกลือของเบสอ่อน* *5) คำนวณหาค่า pH*
ขั้นที่ 3 **ขั้นดำเนินการตามแผน**	*แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :* *หาจำนวนโมลของ NH_3 และ HCl* *สารละลาย NH_3 1000 cm^3 มี NH_3 อยู่ 0.4 mol* *สารละลาย NH_3 250 cm^3 มี NH_3 อยู่ $\frac{0.4 \times 250}{1000} = 0.1$ mol* *สารละลาย HCl 1000 cm^3 มี HCl อยู่ 0.25 mol* *สารละลาย HCl 125 cm^3 มี HCl อยู่ $\frac{0.25 \times 125}{1000} = 0.031$ mol*

ขั้นตามเทคนิคของโพลยา	แนวการตอบ
	เขียนสมการการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง NH_3 และ HCl $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$ *หาจำนวนโมลคงเหลือของแต่ละสาร* $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$ เริ่มต้น 0.1 0.031 - เปลี่ยนไป 0.031 0.031 0.031 สมดุล 0.069 0 0.031 *หาความเข้มข้นของเบสอ่อน และเกลือของเบสอ่อน* *ในสารละลายผสม 375 cm^3 มี NH_3 เหลือ 0.069 mol* *ในสารละลายผสม 1000 cm^3 มี NH_3 เหลือ* $\frac{0.069 \times 1000}{375}$ $= 0.184$ mol *ดังนั้น* $[NH_3] = 0.184$ M *ในสารละลายผสม 375 cm^3 มี NH_4Cl เกิดขึ้น 0.031 mol* *ในสารละลายผสม1000 cm^3มี NH_4Cl เกิดขึ้น* $\frac{0.031 \times 1000}{375}$ $= 0.083$ mol ดังนั้น $[NH_4Cl] = 0.083$ M *คำนวณหาค่า pH* $pH = 14 - \left[-\log \left[\frac{K_b \times [\text{เบส}]}{[\text{เกลือ}]}\right]\right]$ $= 14 - \left[-\log \left[\frac{1.8 \times 10^{-5} \times [0.184]}{[0.083]}\right]\right]$ $= 14 - [-\log 3.99 \times 10^{-5}]$ $= 14 - [-\log 3.99 \times 10^{-5}]$ $= 14 - [5 - \log 3.99]$ $= 14 - [5 - 0.6]$ $= 14 - 4.4$ $= 9.6$ *ดังนั้น สารละลายผสมนี้จะมีค่า pH เท่ากับ 9.6*

ขั้นตามเทคนิคของโพลยา	แนวการตอบ
ขั้นที่ 4 **ขั้นตรวจสอบผล**	*สรุปคำตอบ : 9.6* *ระบุหน่วย (ถ้ามี) : -* *วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี) : -* *การตรวจสอบคำตอบ / การตรวจสอบความสมเหตุสมผล :* *จากค่า pH = 9.6* *ดังนั้น pOH = 14 – 9.6 = 4.4* *เมื่อเทียบกับสมการ* $pOH = -\log[OH^-]$ $4.4 = -\log[OH^-]$ *จะได้* $[OH^-] = 3.99 \times 10^{-5}\ M$ $[OH^-] = K_b \times \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]}$ $3.99 \times 10^{-5} = 1.8 \times 10^{-5} \times \frac{0.184}{0.083}$ *จะเห็นได้ว่า สมการเป็นจริง*

เฉลยแบบฝึกหัดที่ 6 โจทย์ปัญหาสารละลายบัฟเฟอร์

คำชี้แจง ให้นักเรียนสร้างโจทย์ปัญหาตามเงื่อนไขที่กำหนด และแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้เทคนิคของโพลยา

1. ต้อยต้องการให้เต่าหาสารที่สามารถควบคุม pH ให้คงที่ เต่าจึงเข้าไปในห้องวิทยาศาสตร์ ซึ่งพบว่ามีบีกเกอร์วางอยู่ 4 บีกเกอร์ดังตาราง เต่าสามารถหยิบบีกเกอร์ใดไปให้ต้อยได้บ้าง (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

บีกเกอร์	สารในบีกเกอร์ชนิดที่ 1	สารในบีกเกอร์ชนิดที่ 2
1	CH_3COOH 2 M ปริมาตร 100 cm^3	CH_3COONa 0.5 M ปริมาตร 100 cm^3
2	NH_3 0.4 M ปริมาตร 100 cm^3	NH_4Cl 0.2 M ปริมาตร 250 cm^3
3	NH_3 0.2 M ปริมาตร 100 cm^3	HCl 0.5 M ปริมาตร 200 cm^3
4	CH_3COOH 0.1 M ปริมาตร 10 cm^3	NaOH 0.1 M ปริมาตร 5 cm^3

ขั้นที่ 1 **ขั้นทำความเข้าใจปัญหา**	สิ่งที่โจทย์ถามหา : *เต่าสามารถหยิบบีกเกอร์ใดไปให้ต้อยได้บ้างที่สามารถควบคุม pH ให้คงที่* ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา : *บีกเกอร์ที่ 1 CH_3COOH 2 M ปริมาตร 100 cm^3 ผสม CH_3COONa 0.5 M ปริมาตร 100 cm^3* *บีกเกอร์ที่ 2 NH_3 0.4 M ปริมาตร 100 cm^3 ผสม NH_4Cl 0.2 M ปริมาตร 250 cm^3* *บีกเกอร์ที่ 3 NH_3 0.2 M ปริมาตร 100 cm^3 ผสม HCl 0.5 M ปริมาตร 200 cm^3* *บีกเกอร์ที่ 4 CH_3COOH 0.1 M ปริมาตร 10 cm^3 ผสม NaOH 0.1 M ปริมาตร 5 cm^3*
ขั้นที่ 2 **ขั้นวางแผนแก้ปัญหา**	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : ตรวจสอบหาว่าสารในข้อใดเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ เพราะสารละลายบัฟเฟอร์สามารถควบคุมค่า pH ให้คงที่ได้ *สมการในการหาคำตอบ แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา :* *1) พิจารณาสมบัติดังกล่าว* *2) ตรวจสอบสารแต่ละบีกเกอร์*

ขั้นที่ 3 **ขั้นดำเนินการตามแผน**	*แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :* *<u>พิจารณาสมบัติดังกล่าว</u>* *สารที่สามารถควบคุม pH ให้คงที่ คือ สารละลายบัฟเฟอร์ซึ่งสามารถเตรียมได้จากกรดอ่อนและเกลือของกรดอ่อน เบสอ่อนและเกลือของเบสอ่อน* *<u>ตรวจสอบสารแต่ละบีกเกอร์</u>* *บีกเกอร์ที่ 1 CH_3COOH เป็นกรดอ่อน CH_3COONa เป็นเกลือของกรดอ่อน ดังนั้นเป็นสารละลายบัฟเฟอร์* *บีกเกอร์ที่ 2 NH_3 เป็นเบสอ่อน NH_4Cl เป็นเกลือของเบสอ่อน ดังนั้นเป็นสารละลายบัฟเฟอร์* *NH_3 1000 cm^3 มี NH_3 0.2 โมล* *NH_3 100 cm^3 มี NH_3 0.02 โมล* *HCl 1000 cm^3 มี NH_3 0.5 โมล* *HCl 200 cm^3 มี NH_3 0.1 โมล* *เกิดปฏิกิริยาดังนี้* $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$ เริ่มต้น 0.02 0.1 0 เปลี่ยนแปลง -0.02 -0.02 +0.02 สมดุล 0 0.08 0.02 *ในระบบไม่ได้ประกอบด้วยเบสอ่อน และเกลือของเบสอ่อนนั้น จึงไม่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์* *บีกเกอร์ที่ 4 CH_3COOH เป็นกรดอ่อน NaOH เป็นเบสแก่* *CH_3COOH 1000 cm^3 มี NH_3 0.1 โมล* *NH_3 10 cm^3 มี NH_3 0.001 โมล* *NaOHl 1000 cm^3 มี NH_3 0.1 โมล* *HCl 5 cm^3 มี NH_3 0.0005 โมล* *เกิดปฏิกิริยาดังนี้*

	$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa$ เริ่มต้น 0.001 0.0005 0 $CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa$ เริ่มต้น 0.001 0.0005 0 เปลี่ยนแปลง -0.0005 -0.0005 +0.0005 สมดุล 0.0005 0 0.0005 ในระบบประกอบด้วยอ่อน และเกลือของกรดอ่อกรดนนั้น จึงเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ สรุปว่า เต่าสามารถหยิบบีกเกอร์ 1,2 และ 4 ไปให้ต้อยได้
ขั้นที่ 4 **ขั้นตรวจสอบผล**	สรุปคำตอบ : บีกเกอร์ 1,2 และ 4 ระบุหน่วย (ถ้ามี): - วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี): - สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา : สารที่สามารถควบคุม pH ให้คงที่ คือ สารละลายบัฟเฟอร์ บีกเกอร์ที่ 1 , 2 เป็นสารละลายที่ประกอบด้วย กรดอ่อนหรือเบสอ่อน และ เกลือของกรดอ่อนหรือเกลือของเบสอ่อน จึงเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ ส่วนบีกเกอร์ที่ 3 มี NH_3 0.2 M ปริมาตร 100 cm^3 หาโมลของ NH_3 ได้จาก $n = \frac{CV}{1000} = \frac{0.2 \times 100}{1000} = 0.02$ โมล มี HCl 0.5 M ปริมาตร 200 cm^3 หาโมลของ HCl ได้จาก $n = \frac{CV}{1000} = \frac{0.5 \times 200}{1000} = 0.1$ โมล จะเห็นได้ว่า จำนวนโมลของ HCl มากกว่า NH_3 เวลาทำปฏิริยา จะเหลือ HCl แต่ NH_3 ถูกใช้หมด ในระบบจึงไม่ได้ประกอบด้วยเบสอ่อน และเกลือของเบสอ่อนนั้น จึงไม่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ บีกเกอร์ที่ 4 มี CH_3COOH 0.1 M ปริมาตร 10 cm^3 หาโมลของ CH_3COOH ได้จาก $n = \frac{CV}{1000} = \frac{0.1 \times 10}{1000} = 0.001$ โมล มี NaOH 0.1 M ปริมาตร 5 cm^3

	หาโมลของ NaOH ได้จาก $n = \frac{CV}{1000} = \frac{0.1 \times 5}{1000} = 0.0005$ โมล จะเห็นได้ว่า จำนวนโมลของ CH_3COOH มากกว่า NaOH เวลาทำปฏิริยา จะเหลือ CH_3COOH แต่ NaOH ถูกใช้หมด ในระบบประกอบด้วยอ่อน และเกลือของกรดอ่อกรดนั้น จึงเป็นสารละลายบัฟเฟอร์

2. สารละลายบัฟเฟอร์ชนิดหนึ่ง ปริมาตร 1 L เกิดจากการผสมระหว่าง CH_3COOH เข้มข้น 1 mol/L และสารละลาย CH_3COONa เข้มข้น 0.5 mol/L จะมีค่า pH เท่าใด (กำหนดให้ ค่า Ka ของ CH_3COOH มีค่า 1.8 × 10-5 และ log3.6 = 0.56) (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

ขั้นที่ 1 **ขั้นทำความเข้าใจปัญหา**	สิ่งที่โจทย์ถามหา : *ค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์มีค่าเท่าใด* ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา : *สารละลายบัฟเฟอร์ชนิดหนึ่ง ปริมาตร 1 L เกิดจากการผสมระหว่าง CH_3COOH เข้มข้น 1 mol/L และสารละลาย CH_3COONa เข้มข้น 0.5 mol/L (ค่า K_a ของ CH_3COOH มีค่า 1.8×10^{-5} และ log3.6 = 0.56(*
ขั้นที่ 2 **ขั้นวางแผนแก้ปัญหา**	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : *บัฟเฟอร์กรด คือ สารละลายที่มีกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อนชนิดนั้น โดยคำนวณค่า pH ได้ดังนี้* $pH = -\log \left[\frac{K_a \times [กรด]}{[เกลือ]}\right]$ *สมการในการหาคำตอบ แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา /:* *1) หาความเข้มข้นของกรดอ่อน* *2) หาความเข้มข้นของเกลือของกรดอ่อน* *3) หาค่า pH จากสูตร* $pH = -\log \left[\frac{K_a \times [กรด]}{[เกลือ]}\right]$
ขั้นที่ 3 **ขั้นดำเนินการตามแผน**	*แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :* *หาความเข้มข้นของกรดอ่อน* *สารละลายบัฟเฟอร์นี้ มี CH_3COOH เป็นกรดอ่อน* *ดังนั้น [กรด] = 1 M* *หาความเข้มข้นของเกลือของกรดอ่อน* *สารละลายบัฟเฟอร์นี้ มี CH_3COONa เป็นเกลือของกรดอ่อน* *ดังนั้น [กรด] = 0.5 M* *หาค่า pH จากสูตร* $pH = -\log \left[\frac{K_a \times [กรด]}{[เกลือ]}\right]$ $pH = -\log \left[\frac{K_a \times [กรด]}{[เกลือ]}\right]$ $= -\log \left[\frac{1.8 \times 10^{-5} \times 1}{0.5}\right]$

	$= -\log 3.6 \times 10^{-5}$ $= 5 - \log 3.6$ $= 5 - 0.56 = 4.44$ *ดังนั้น pH ของสารละลายบัฟเฟอร์เท่ากับ 4.44*
ขั้นที่ 4 **ขั้นตรวจสอบผล**	*สรุปคำตอบ : 4.44* *ระบุหน่วย (ถ้ามี): -* *วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี): -* สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา : *เมื่อเทียบกับสมการ* $pH = -\log[H_3O^+]$ $4.44 = -\log[H_3O^+]$ *จะได้* $[H_3O^+] = 3.6 \times 10^{-5}\ M$ $[H_3O^+] = K_a \times \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$ $3.6 \times 10^{-5} = 1.8 \times 10^{-5} \times \frac{1}{0.5}$ *จะเห็นได้ว่า สมการเป็นจริง*

3. หากเกมหยดสารเก็บใส่บีกเกอร์ผิด โดยหยด HNO_3 เข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 1 mL ลงในสารละลายบัฟเฟอร์ข้อที่ 2 สารละลายที่ได้จะมีค่า pH เท่าใด (กำหนดให้ log3.6 = 0.56) (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

ขั้นที่ 1 **ขั้นทำความเข้าใจปัญหา**	สิ่งที่โจทย์ถามหา : *สารละลายที่ได้จะมีค่า pH เท่าใด* ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา : *หากเกมหยดสารเก็บใส่บีกเกอร์ผิด โดยหยด HNO_3 เข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 1 mL ลงในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี CH_3COOH เข้มข้น 1 mol/L และสารละลาย CH_3COONa เข้มข้น 0.5 mol/L*
ขั้นที่ 2 **ขั้นวางแผนแก้ปัญหา**	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : *บัฟเฟอร์กรด คือ สารละลายที่มีกรดอ่อนกับเกลือของกรดอ่อนชนิดนั้น โดยคำนวณค่า pH ได้ดังนี้* $pH = -log\left[\frac{K_a \times [กรด]}{[เกลือ]}\right]$ *สมการในการหาคำตอบ แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา /:* *1) หาจำนวนโมลของ HNO_3* *2) เขียนสมการการทำปฏิกิริยา* *3) หาจำนวนโมลคงเหลือของแต่ละสาร* *4) หาความเข้มข้นของกรดอ่อน และเกลือของเบสอ่อน* *5) หาค่า pH*
ขั้นที่ 3 **ขั้นดำเนินการตามแผน**	*แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :* *<u>หาจำนวนโมลของ HNO_3</u>* *สารละลาย HNO_3 เข้มข้น 0.05 M ปริมาตร 1 mL* *สารละลาย 1000 mL มี HNO_3 อยู่ 0.05 mol* *สารละลาย 1 mL มี HNO_3 อยู่ $\frac{1 \times 0.05}{1000}$ = 0.00005 mol* *<u>เขียนสมการการทำปฏิกิริยา</u>* *HNO_3 จะแตกตัวให้ H_3O^+ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ CH_3COO^- ดังสมการ* $CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightleftharpoons CH_3COOH(aq) + H_2O(l)$

	หาจำนวนโมลคงเหลือของแต่ละสาร *ณ ภาวะสมดุล* *มี CH_3COOH คิดเป็น 1 + 0.00005 = 1.00005 mol* *มี CH_3COO^- คิดเป็น 0.5 - 0.00005 = 0.49995 mol* *หาความเข้มข้นของกรดอ่อน และเกลือของเบสอ่อน* *ในสารละลาย 1000 mL มี CH_3COOH 1.00005 mol* *ในสารละลาย 1001 mL มี $CH_3COOH = \frac{1.00005 \times 1000}{1001} =$ 0.999 mol ดังนั้น $[CH_3COOH] = 0.999$ M* *ในสารละลาย 1000 mL มี CH_3COO^- 0.49995 mol* *ในสารละลาย 1001 mL มี $CH_3COO^- = \frac{0.49995 \times 1000}{1001} =$ 4.995 mol ดังนั้น $[CH_3COOH] = 0.4995$ M* *หาค่า pH* $pH = -\log\left[\frac{K_a \times [กรด]}{[เกลือ]}\right]$ $= -\log\left[\frac{1.8 \times 10^{-5} \times 0.999}{0.49995}\right]$ $= -\log 3.6 \times 10^{-5}$ $= 5 - \log 3.6$ $= 5 - 0.56 = 4.44$ *ดังนั้น pH ของสารละลายบัฟเฟอร์เท่ากับ 4.44*
ขั้นที่ 4 **ขั้นตรวจสอบผล**	*สรุปคำตอบ : 4.44* *ระบุหน่วย (ถ้ามี): -* *วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี): -* สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา : *เมื่อเทียบกับสมการ* $pH = -\log[H_3O^+]$ $4.44 = -\log[H_3O^+]$ *จะได้* $[H_3O^+] = 3.6 \times 10^{-5}$ M $[H_3O^+] = K_a \times \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$ $3.6 \times 10^{-5} = 1.8 \times 10^{-5} \times \frac{0.999}{0.49995}$ *จะเห็นได้ว่า สมการเป็นจริง*

	จากการคำนวณค่า pH *พบว่ามีค่า pH เท่ากับข้อที่ 2* *มีความสมเหตุสมผล เพราะสารละลายบัฟเฟอร์มีสมบัติในการควบคุม pH ของสารละลายให้คงที่ เมื่อมีการเติมกรดแก่ลงไป*

4. ฟ้าทำการผสมสารละลายให้ได้ 1 dm^3 โดยผสมจากสารละลาย NH3 ที่มีความเข้มข้น 0.15 mol/dm^3 และสารละลาย NH_4Br ที่มีความเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 สารละลายที่ได้จะมีค่า pOH เท่าใด (กำหนดให้ Kb ของ NH_3 เท่ากับ 1.8×10^{-5} และ log2.7 = 0.43) (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

ขั้นที่ 1 **ขั้นทำความเข้าใจปัญหา**	สิ่งที่โจทย์ถามหา : *ค่า pOH ของสารละลายบัฟเฟอร์มีค่าเท่าใด* ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา : *ผสมสารละลายให้ได้ 1 dm^3 โดยผสมจากสารละลาย NH_3 ที่มีความเข้มข้น 0.15 mol/dm^3 และสารละลาย NH_4Br ที่มีความเข้มข้น 0.1 mol/dm^3) K_b ของ NH_3 เท่ากับ 1.8×10^{-5} และ log2.7 = 0.43(*
ขั้นที่ 2 **ขั้นวางแผนแก้ปัญหา**	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : *บัฟเฟอร์เบส คือ สารละลายที่มีเบสอ่อนกับเกลือของเบสอ่อนชนิดนั้น สามารถคำนวณค่า pH ได้ดังนี้ $pH = 14 - \left[-\log\left[\frac{K_b \times [เบส]}{[เกลือ]}\right]\right]$ โดยที่ค่า pH และ pOH มีความสัมพันธ์กันคือ pH + pOH = 14* *สมการในการหาคำตอบ แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา /:* *1) หาความเข้มข้นของเบสอ่อน* *2) หาความเข้มข้นของเกลือของเบสอ่อน* *3) หาค่า pH จากสูตร $pH = 14 - \left[-\log\left[\frac{K_b \times [เบส]}{[เกลือ]}\right]\right]$* *4) หาค่า pOH จากสูตร 14 = pH + pOH*
ขั้นที่ 3 **ขั้นดำเนินการตามแผน**	*แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :* *<u>หาความเข้มข้นของเบสอ่อน</u>* *สารละลายบัฟเฟอร์นี้ มี NH_3 เป็นเบสอ่อน* *ดังนั้น [เบส] = 0.15 M* *<u>หาความเข้มข้นของเกลือของเบสอ่อน</u>* *สารละลายบัฟเฟอร์นี้ มี NH_4Br เป็นเกลือของเบสอ่อน* *ดังนั้น [กรด] = 0.1 M*

	หาค่า pH จากสูตร $pH = 14 - \left[-\log\left[\frac{K_b \times [เบส]}{[เกลือ]}\right]\right]$ $pH = 14 - \left[-\log\left[\frac{K_b \times [เบส]}{[เกลือ]}\right]\right]$ $= 14 - \left[-\log\left[\frac{1.8\times10^{-5} \times [0.15]}{[0.1]}\right]\right]$ $= 14- (-\log 2.7 \times 10^{-5})$ $= 14 - (5 - \log 2.7)$ $= 14 - (5 - 0.43) = 9.43$ ดังนั้น pH ของสารละลายบัฟเฟอร์เท่ากับ 9.43 หาค่า pOH จากสูตร 14 = pH + pOH $pH + pOH = 14$ $9.43 + pOH = 14$ ดังนั้น pOH = 4.57 สารละลายที่ได้จะมีค่า pOH เท่ากับ 4.57
ขั้นที่ 4 **ขั้นตรวจสอบผล**	สรุปคำตอบ : 4.57 ระบุหน่วย (ถ้ามี): - วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี): - สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา : จากค่า pOH = 4.57 เมื่อเทียบกับสมการ $pOH = -\log[OH^-]$ $4.57 = -\log[OH^-]$ จะได้ $[OH^-] = 2.7 \times 10^{-5}\ M$ $[OH^-] = K_b \times \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]}$ $2.7 \times 10^{-5} = 1.8 \times 10^{-5} \times \frac{0.15}{0.1}$ จะเห็นได้ว่า สมการเป็นจริง

5. ริตา ทำการทดลองโดยผสมสารระหว่าง สารละลาย C_6H_5COOH ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 500 cm^3 กับ สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 300 cm^3 เมื่อทำการทดลองเสร็จจึงทำการวัดค่า pH ด้วย pH-meter แต่ปรากฏว่าเครื่องเสีย จึงต้องคำนวณค่า pH เอง ริตาจะคำนวณค่า pH ได้เท่าใด (กำหนดให้ Ka ของ C_6H_5COOH เท่ากับ 6.3×10^{-5} และ log4.2 = 0.62) (คะแนนเต็ม 10 คะแนน)

ขั้นที่ 1 **ขั้นทำความเข้าใจปัญหา**	สิ่งที่โจทย์ถามหา : *ริตาจะคำนวณค่า pH ของสารผสมนี้ได้เท่าใด* ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา : *ผสมสารระหว่าง สารละลาย C_6H_5COOH ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 500 cm^3 กับ สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 300 cm^3 (K_a ของ C_6H_5COOH เท่ากับ 6.3×10^{-5} และ log4.2 = 0.62(*
ขั้นที่ 2 **ขั้นวางแผนแก้ปัญหา**	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : *บัฟเฟอร์กรด คือ สารละลายที่มีกรดอ่อนกับคู่เบสของกรดอ่อน โดยคำนวณค่า pH ได้ดังนี้* $pH = -\log\left[\frac{K_a \times [กรด]}{[เกลือ]}\right]$ *สมการในการหาคำตอบ แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา /:* *1) หาจำนวนโมลของ C_6H_5COOH และ NaOH* *2) เขียนสมการการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง C_6H_5COOH และ NaOH* *3) หาจำนวนโมลคงเหลือของแต่ละสาร* *4) หาความเข้มข้นของกรดอ่อน และเกลือของกรดอ่อน* *5) คำนวณหาค่า pH*
ขั้นที่ 3 **ขั้นดำเนินการตามแผน**	*แสดงวิธีคิดตามการวางแผน :* *หาจำนวนโมลของ C_6H_5COOH และ NaOH* *สารละลาย C_6H_5COOH 1000 cm^3 มี C_6H_5COOH อยู่ 0.1 mol* *สารละลาย C_6H_5COOH 500 cm^3 มี C_6H_5COOH อยู่ $\frac{0.1 \times 500}{1000} = 0.05$ mol* *สารละลาย NaOH 1000 cm^3 มี NaOH อยู่ 0.1 mol*

	สารละลาย NaOH 300 cm^3 มี NaOH อยู่ $\frac{0.1 \times 300}{1000} = 0.03$ mol เขียนสมการการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง C_6H_5COOH และ NaOH $C_6H_5COOH + NaOH \rightarrow C_6H_5COONa$ หาจำนวนโมลคงเหลือของแต่ละสาร $C_6H_5COOH + NaOH \rightarrow C_6H_5COONa$ เริ่มต้น 0.05 0.03 0 เปลี่ยนไป -0.03 -0.03 +0.03 สมดุล 0.02 0 0.03 หาความเข้มข้นของกรดอ่อน และเกลือของกรดอ่อน ในสารละลายผสม 800 cm^3 มี C_6H_5COOH เหลือ 0.02 mol ในสารละลายผสม 1000 cm^3 มี C_6H_5COOH เหลือ $\frac{0.02 \times 1000}{800} = 0.025$ mol ดังนั้น $[C_6H_5COOH] = 0.025$ M ในสารละลายผสม 800 cm^3 มี C_6H_5COONa เกิดขึ้น 0.03 mol ในสารละลายผสม 1000 cm^3มี C_6H_5COONa เกิดขึ้น $\frac{0.03 \times 1000}{800} = 0.0375$ mol ดังนั้น $[C_6H_5COONa] = 0.0375$ M คำนวณหาค่า pH $pH = -\log\left[\frac{K_a \times [กรด]}{[เกลือ]}\right]$ $= -\log\left[\frac{6.3 \times 10^{-5} \times 0.025}{0.0375}\right]$ $= -\log 4.2 \times 10^{-5}$ $= 5 - \log 4.2$ $= 5 - 0.62 = 4.38$ ดังนั้น สารละลายผสมนี้จะมีค่า pH เท่ากับ 4.38
ขั้นที่ 4 **ขั้นตรวจสอบผล**	สรุปคำตอบ : 4.38 ระบุหน่วย (ถ้ามี): -

	วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี): - สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา : *เมื่อเทียบกับสมการ* $pH = -\log[H_3O^+]$ $4.38 = -\log[H_3O^+]$ *จะได้* $[H_3O^+] = 4.2 \times 10^{-5}\ M$ $[H_3O^+] = K_a \times \frac{[CH_3COOH]}{[CH_3COO^-]}$ $4.2 \times 10^{-5} = 6.3 \times 10^{-5} \times \frac{0.025}{0.0375}$ *จะเห็นได้ว่า สมการเป็นจริง*

ตัวอย่างแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนเขียน ชื่อ-นามสกุล ชั้นและเลขที่ ด้วยปากกา

2. แบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ฉบับนี้ เป็นแบบวัดที่ประกอบด้วยข้อคำถาม 2 ตอน (two-tier diagnostic test) ตอนที่ 1 แบบปรนัย 4 ตัวเลือก ตอนที่ 2 การอธิบายเหตุผลเพิ่มเติม จำนวน 20 ข้อ ข้อละ 3 คะแนน รวม 60 คะแนน

3. ให้นักเรียนอ่านคำถามให้เข้าใจแล้วเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว แล้วทำเครื่องหมาย ✕ ให้ตรงกับตัวเลือก จากนั้นให้นักเรียนเขียนอธิบายเหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบของนักเรียน โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

ตอนที่ 1 แบบปรนัย 4 ตัวเลือก (1 คะแนน)

1 คะแนน เมื่อเลือกตัวเลือกถูกต้อง

0 คะแนน เมื่อเลือกตัวเลือกไม่ถูกต้อง

ตอนที่ 2 แบบการอธิบายเหตุผลเพิ่มเติม

2 คะแนน เมื่ออธิบายเหตุผลถูกต้องสมบูรณ์

1.5 คะแนน เมื่ออธิบายเหตุผลถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์และไม่มีส่วนผิด

1 คะแนน เมื่ออธิบายเหตุผลถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน

0.5 คะแนน เมื่ออธิบายเหตุผลไม่ถูกต้องแต่ยังเกี่ยวข้องกับโจทย์

0 คะแนน เมื่ออธิบายเหตุผลไม่เกี่ยวกับโจทย์ หรือ ไม่แสดงเหตุผล

4. ให้นักเรียนทำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ทั้งหมด 20 ข้อ ภายในเวลา 90 นาที

1. **สารที่มีสมบัติดังตาราง ควรเป็นสารชนิดใด**

การเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัส		**ความสว่างของหลอดไฟ**	**การนำไฟฟ้า**
สีแดง	**สีน้ำเงิน**		
ไม่เปลี่ยนสี	สีแดง	น้อย	นำไฟฟ้าได้

ก) NH_3 ข) NaCN

ค) HF ง) $Mg(OH)_2$

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

……

……

……

……

2. **ในสมการต่อไปนี้** H_2O **ทำหน้าที่อะไรในสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ตามลำดับ**

สมการที่ 1 : $HCl\ (g) + H_2O\ (l) \rightleftharpoons H_3O^+\ (aq) + Cl^-\ (aq)$

สมการที่ 2 : $NH_3\ (g) + H_2O\ (l) \rightleftharpoons NH_4^+\ (aq) + OH^-\ (aq)$

ก) เป็นกรดทั้งสมการที่ 1 และ 2

ข) เป็นเบสทั้งสมการที่ 1 และ 2

ค) เป็นกรดในสมการที่ 1 และเป็นเบสในสมการที่ 2

ง) เป็นเบสในสมการที่ 1 และเป็นกรดในสมการที่ 2 เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

……

……

……

……

3. ข้อใดเป็นคู่เบสของกรดต่อไปนี้ตามลำดับ

HSO_3^- $H_2PO_4^-$ HCO_3^-

ก) SO_3^{2-} HPO_4^{2-} CO_3^{2-} ข) H_2SO_3 H_3PO_4 H_2CO_3

ค) SO_3^- PO_4^{2-} CO_3^{2-} ง) HSO_3^- $H_2PO_4^-$ HCO_3^-

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

.....

.....

.....

.....

4. เบสอ่อน 4 ชนิด มีความเข้มข้นเริ่มต้น x mol/dm^3 เท่ากันทั้งหมด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่ในการแตกตัวเป็นดังนี้

เบส	ค่าคงที่การแตกตัว
A	5.6×10^{-10}
B	7.7×10^{-13}
C	2.1×10^{-2}
D	2.0×10^{-5}

ข้อใดเรียงลำดับความแรงของเบสอ่อนทั้ง 4 ชนิดได้ถูกต้อง

ก) D < C < A < B ข) B > A > D > C

ค) D > C > A > B ง) B < A < D < C

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

.....

.....

.....

.....

5. อินดิเคเตอร์ทั้ง 3 ชนิดมีช่วงการเปลี่ยนสี ดังนี้

อินดิเคเตอร์	ช่วง pH	การเปลี่ยนสี
A	6.0 – 7.6	เหลือง - น้ำเงิน
B	8.3 – 10.4	ไม่มีสี - แดง
C	6.7 – 8.3	เหลือง - แดง

ในการหาความเข้มข้นของกรดแอซิติกในน้ำส้มสายชูแท้ โดยนำมาไทเทรตกับสารละลาย NaOH 0.1 โมลาร์ pH ที่จุดสะเทินเท่ากับ 8.7

การทดลอง	สารละลายบรรจุในบิวเรตต์	สารละลายบรรจุในขวดรูปกรวย	อินดิเคเตอร์
1	น้ำส้มสายชู	NaOH	A
2	น้ำส้มสายชู	NaOH	B
3	NaOH	น้ำส้มสายชู	C
4	NaOH	น้ำส้มสายชู	B

การจะหาความเข้มข้นของกรดแอซิติกได้ถูกต้อง ควรทำการทดลองตามข้อใด

ก) 1 และ 2 ข) 3 และ 4

ค) 2 ง) 4

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

……

……

……

……

ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี (หลังเรียน) เรื่อง กรด-เบส ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

คำชี้แจง

1. ให้นักเรียนเขียน ชื่อ-นามสกุล ชั้นและเลขที่ ด้วยปากกา

2. แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฉบับนี้ เป็นแบบวัดชนิดอัตนัย จำนวน 10 ข้อ ข้อละ 10 คะแนน รวมทั้งสิ้น 100 คะแนน

3. ให้นักเรียนทำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทั้งหมด 10 ข้อ ภายในเวลา 90 นาที

4. ให้นักเรียนแสดงพฤติกรรมหรือวิธีการแก้โจทย์ปัญหาด้วยปากกา พร้อมเขียนคำตอบที่ถูกต้องลงในที่ว่างที่กำหนดให้ โดยให้แสดงขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาทั้ง 4 ขั้นตอน ดังนี้

- ขั้นทำความเข้าใจปัญหา (2 คะแนน)
  - 2 คะแนน เมื่อทำความเข้าใจปัญหาได้ถูกต้อง
  - 1 คะแนน เมื่อทำความเข้าใจปัญหาได้ถูกต้องบางส่วน
  - 0 คะแนน เมื่อไม่มีความเข้าใจปัญหา
- ขั้นวางแผนแก้ปัญหา (2 คะแนน)
  - 2 คะแนน เมื่อวางแผนการแก้ปัญหาได้ถูกต้อง มีลำดับขั้นตอน
  - 1 คะแนน เมื่อวางแผนการแก้ปัญหาได้ถูกต้องบางส่วน ไม่มีลำดับขั้นตอน
  - 0 คะแนน เมื่อไม่มีการวางแผนการแก้ปัญหา
- ขั้นดำเนินการตามแผน (4 คะแนน)
  - 4 คะแนน เมื่อนำวิธีการแก้ปัญหามาดำเนินการได้ถูกต้อง
  - 2 คะแนน เมื่อนำวิธีการแก้ปัญหามาดำเนินการได้ถูกต้องบางส่วน
  - 0 คะแนน เมื่อไม่มีการนำวิธีการแก้ปัญหามาดำเนินการ
- ขั้นตรวจสอบผล (2 คะแนน)
  - 2 คะแนน เมื่อมีการตรวจสอบผลของการแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างชัดเจนระบุคำตอบในการแก้โจทย์ปัญหาและระบุหน่วยได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน
  - 1 คะแนน เมื่อมีการตรวจสอบผลของการแก้โจทย์ปัญหาบางส่วน

ระบุคำตอบในการแก้โจทย์ปัญหาและระบุหน่วยได้ถูกต้องบางส่วน

0 คะแนน เมื่อไม่มีการตรวจสอบผลของการแก้โจทย์ปัญหา คือ ไม่ระบุคำตอบในการแก้โจทย์ปัญหาและไม่ระบุหน่วย หรือ ระบุได้ไม่ถูกต้อง

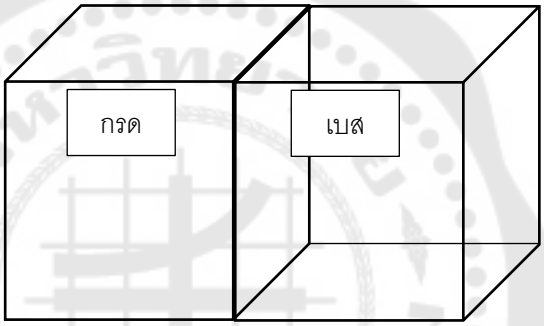
1. สารละลาย 3 ชนิดในห้องปฏิบัติการเคมี มีสมการการแตกตัว ดังต่อไปนี้

สารละลายที่ 1 $+H_2O \rightarrow A + B$

สารละลายที่ 2 $+H_2O \rightarrow C + D$

สารละลายที่ 3 $+H_2O \rightleftharpoons A + E$

จากสมการการแตกตัว หากเต้พบสารอีกชนิดหนึ่ง เป็นสารละลายชนิดที่ 4 ซึ่งเมื่อนำกระดาษลิตมัสสีน้ำเงินมาทดสอบ ปรากฏว่าไม่มีการเปลี่ยนสีเช่นเดียวกับสารละลายชนิดที่ 2 หากเต้ต้องการเก็บสารใส่ตู้ 2 ตู้ดังภาพ โดยใช้ความเป็นกรด-เบสเป็นเกณฑ์ จะจัดได้อย่างไร



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. สารละลายกรดชนิดหนึ่ง สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้หมด มีความเข้มข้น 1.2 โมล/ลิตร ปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมลงในน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1,300 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนเป็นเท่าใด

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ค

การตรวจคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ตาราง ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด-เบส

2. ตาราง ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส

3. ตาราง ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส

4. ตาราง ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส

5. ตาราง ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส

ตาราง 27 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยา เรื่อง กรด-เบส

ประเด็นการประเมิน	แผนการจัดการเรียนรู้ที่						แปลผล
	1	2	3	4	5	6	
1. แผนการจัดการเรียนรู้มีองค์ประกอบสำคัญครบถ้วนสัมพันธ์กัน	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
2. การจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
3. การจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับจำนวนคาบเรียน	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
4. การเขียนสาระสำคัญถูกต้อง สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
5. การจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับการส่งเสริมความเข้าใจมโนทัศน์	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
6. การจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับการส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
7. เนื้อหา มีความยากง่ายสอดคล้องกับระดับชั้นของนักเรียน	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
8. การวัดและประเมินผลสอดคล้องกับเนื้อหาการจัดการเรียนรู้	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 27 (ต่อ)

ประเด็นการประเมิน	แผนการจัดการเรียนรู้ที่						แปลผล
	1	2	3	4	5	6	
9. การวัดและประเมินผลสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
10. วัสดุอุปกรณ์ สื่อและแหล่งการเรียนรู้สอดคล้องกับเนื้อหาสาระ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง

ค่า IOC เท่ากับ 1.00

ตาราง 28 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส

ข้อที่	คะแนนของผู้เชี่ยวชาญ					รวมคะแนน	สรุปผล	
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		ค่า IOC	แปลผล
1	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
3	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
5	-1	+1	+1	+1	+1	3	0.60	สอดคล้อง ใช้ได้
6	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
7	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
8	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
9	-1	+1	+1	+1	+1	3	0.60	สอดคล้อง ใช้ได้
10	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
11	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
12	-1	+1	+1	+1	+1	3	0.60	สอดคล้อง ใช้ได้
13	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
14	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
15	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
16	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
17	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
18	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
19	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
20	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
21	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
22	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
23	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้
24	0	+1	+1	+1	+1	4	0.80	สอดคล้อง ใช้ได้

ตาราง 28 (ต่อ)

ข้อที่	คะแนนของผู้เชี่ยวชาญ					รวมคะแนน	สรุปผล	
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		ค่า IOC	แปลผล
25	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
26	-1	+1	+1	+1	+1	3	0.60	สอดคล้อง ใช้ได้
27	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
28	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
29	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
30	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
31	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
32	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
33	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
34	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
35	-1	+1	+1	+1	+1	3	0.60	สอดคล้อง ใช้ได้
36	-1	+1	+1	+1	+1	3	0.60	สอดคล้อง ใช้ได้
37	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
38	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
39	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
40	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้

ค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.60 – 1.00

ตาราง 29 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส

ข้อที่	คะแนนของผู้เชี่ยวชาญ					รวม	สรุปผล	
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คะแนน	ค่า IOC	แปลผล
1	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
2	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
3	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
4	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
5	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
6	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
7	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
8	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
9	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
10	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
11	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
12	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
13	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
14	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
15	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
16	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
17	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
18	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
19	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
20	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้

ค่า IOC เท่ากับ 1.00

ตาราง 30 ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส

ข้อที่	ตอน	ค่าความยากง่าย (p)	ค่าอำนาจจำแนก (r)
1	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.68	0.36
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.31	0.76
2	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.54	0.53
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.36	0.51
3	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.51	0.34
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.41	0.64
4	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.55	0.32
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.24	0.43
5	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.61	0.24
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.27	0.82
6	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.63	0.36
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.30	0.68
7	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.56	0.44
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.27	0.60
8	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.61	0.51
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.30	0.66
9	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.59	0.49
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.28	0.76
10	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.66	0.60
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.35	0.75
11	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.59	0.43
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.29	0.70
12	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.56	0.56
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.28	0.55

ตาราง 30 (ต่อ)

ข้อที่	ตอน	ค่าความยากง่าย (p)	ค่าอำนาจจำแนก (r)
13	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.56	0.43
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.30	0.76
14	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.45	0.57
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.35	0.84
15	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.54	0.56
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.30	0.73
16	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.56	0.55
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.30	0.75
17	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.48	0.63
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.27	0.70
18	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.44	0.70
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.30	0.76
19	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.45	0.53
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.23	0.76
20	ข้อคำถามเชิงเนื้อหา	0.49	0.50
	เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ	0.29	0.63

ค่า p อยู่ระหว่าง 0.23 – 0.68

ค่า r อยู่ระหว่าง 0.24 – 0.84

ค่าความเชื่อมั่นของ ข้อคำถามเชิงเนื้อหา เท่ากับ 0.86

ค่าความเชื่อมั่นของ เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ เท่ากับ 0.95

ตาราง 31 ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส

ข้อที่	ค่าความยากง่าย (p)	ค่าอำนาจจำแนก (r)
1	0.44	0.78
2	0.60	0.56
3	0.37	0.69
4	0.39	0.70
5	0.35	0.63
6	0.36	0.50
7	0.33	0.71
8	0.37	0.62
9	0.36	0.69
10	0.32	0.68

ค่า p อยู่ระหว่าง 0.32 – 0.60

ค่า r อยู่ระหว่าง 0.50 – 0.78

ค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส เท่ากับ 0.86

ภาคผนวก ง

การตรวจสอบความเท่าเทียมกันของประชากร

การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากโรงเรียน 3 โรงเรียน โรงเรียนละ 1 ห้องเรียน จึงประกอบด้วย นักเรียนจำนวน 3 ห้องเรียน ที่มีลักษณะผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี คล้ายคลึงกัน สามารถตรวจสอบได้จาก การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way ANOVA) ของคะแนนวัดผลปลายภาคในรายวิชาเคมี 3 (ว 32223) ซึ่งได้แก่ มีการแจกแจงแบบโค้งปกติ และมีความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Homogeneity of variance)

ตาราง 32 การตรวจสอบ Normality

การตรวจสอบ Normality

คะแนน	n	Skewness	Kurtosis	Sig
วัดผลปลายภาค	79	0.224	-0.911	0.051

จากตาราง 44 เป็นผลการตรวจสอบด้วย Kolmogorov-Smirnov Test of Normality เนื่องจากมีจำนวนข้อมูลนักเรียนเท่ากับ 79 พบว่า ข้อมูลคะแนนวัดผลปลายภาคในรายวิชาเคมี 3 (ว 32223) ของนักเรียนในกลุ่มประชากรมีความแตกต่างกับโค้งปกติอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ข้อมูลคะแนนวัดผลปลายภาคในรายวิชาเคมี 3 (ว 32223) มีการแจกแจงใกล้เคียงกับโค้งปกติ

ตาราง 33 การตรวจสอบ Homogeneity

การตรวจสอบ Homogeneity

Levene Statistic	df1	df2	Sig
0.895	2	76	0.413

จากตาราง 45 เป็นผลการตรวจสอบด้วย Levene Statistic Test of Homogeneity พบว่า ข้อมูลคะแนนวัดผลปลายภาคในรายวิชาเคมี 3 (ว 32223) ของนักเรียนในกลุ่มประชากรมี

ความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ข้อมูลคะแนนวัดผลปลายภาคในรายวิชาเคมี 3 (ว 32223)ของนักเรียนทั้ง 3 โรงเรียนมีความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน หรือมีความเท่าเทียมกัน จึงสามารถใช้วิธีการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม (Cluster Random Sampling) ได้

ภาคผนวก จ

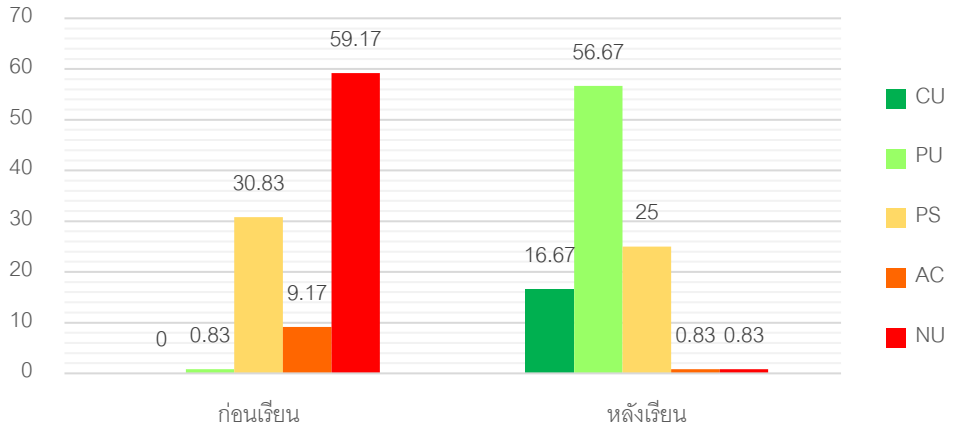
คะแนนกลุ่มตัวอย่างของการวิจัย

คำตอบของนักเรียนในแต่ละมโนทัศน์ย่อย

ตาราง 34 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 1

ข้อ	การตอบ	มโนทัศน์ที่ 1 ทฤษฎีกรด - เบส									
		ก่อนเรียน					หลังเรียน				
		CU	PU	PS	AC	NU	CU	PU	PS	AC	NU
1	จำนวน	0	1	10	10	9	8	19	3	0	0
	ร้อยละ	0.00	3.33	33.33	33.33	30.00	26.67	63.33	10.00	0.00	0.00
2	จำนวน	0	0	8	1	21	5	17	7	0	1
	ร้อยละ	0.00	0.00	26.67	3.33	70.00	16.67	56.67	23.33	0.00	3.33
3	จำนวน	0	0	6	0	24	5	12	12	1	0
	ร้อยละ	0.00	0.00	20.00	0.00	80.00	16.67	40.00	40.00	3.33	0.00
4	จำนวน	0	0	13	0	17	2	20	8	0	0
	ร้อยละ	0.00	0.00	43.33	0.00	56.67	6.67	66.67	26.67	0.00	0.00
เฉลี่ยรวม		0.00	0.83	30.83	9.17	59.17	16.67	56.67	25.00	0.83	0.83

จากตาราง 34 เมื่อพิจารณาความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง ทฤษฎีกรด-เบส ในภาพรวม พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความไม่เข้าใจ (NU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 59.17 และหลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 56.67 ในขณะที่ก่อนเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 0.00 และหลังเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 16.67 นำมาเขียนกราฟดังภาพประกอบ 10

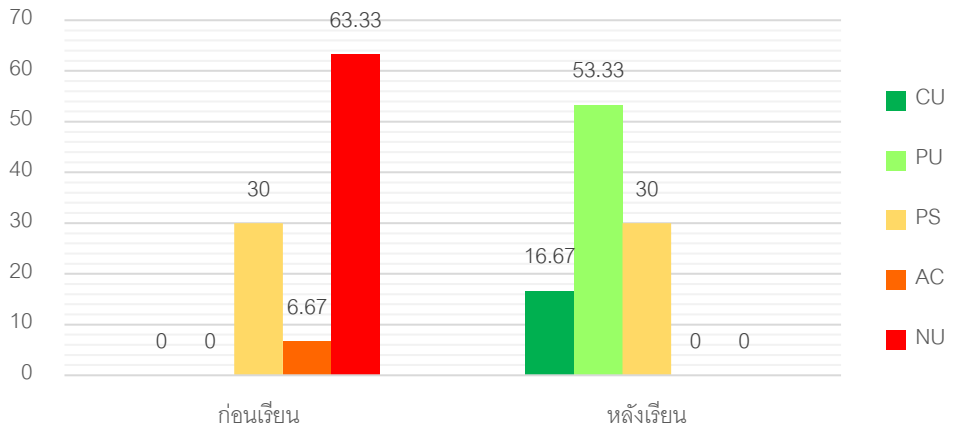


ภาพประกอบ 10 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 1

ตาราง 35 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 2

มโนทัศน์ที่ 2 คู่กรด - เบส											
ข้อ	การตอบ	ก่อนเรียน					หลังเรียน				
		CU	PU	PS	AC	NU	CU	PU	PS	AC	NU
1	จำนวน	0	0	9	2	19	5	16	9	0	0
	ร้อยละ	0.00	0.00	30.00	6.67	63.33	16.67	53.33	30.00	0.00	0.00

จากตาราง 35 เมื่อพิจารณาความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง คู่กรด-เบส ในภาพรวม พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความไม่เข้าใจ (NU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 63.33 และหลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 53.33 ในขณะที่ก่อนเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 0.00 และหลังเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 16.67 นำมาเขียนกราฟดังภาพประกอบ 11

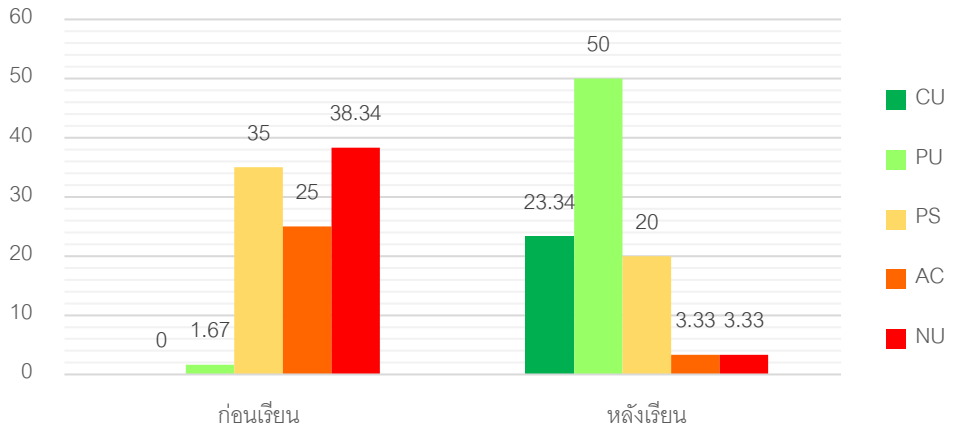


ภาพประกอบ 11 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 2

ตาราง 36 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 3

มโนทัศน์ที่ 3 การแตกตัวของกรด - เบส											
ข้อ	การตอบ	ก่อนเรียน					หลังเรียน				
		CU	PU	PS	AC	NU	CU	PU	PS	AC	NU
6	จำนวน	0	0	6	13	11	8	14	6	1	1
	ร้อยละ	0.00	0.00	20.00	43.33	36.67	26.67	46.67	20.00	3.33	3.33
7	จำนวน	0	1	15	2	12	6	16	6	1	1
	ร้อยละ	0.00	3.33	50.00	6.67	40.00	20.00	53.33	20.00	3.33	3.33
เฉลี่ยรวม		0.00	1.67	35.00	25.00	38.34	23.34	50.00	20.00	3.33	3.33

จากตาราง 36 เมื่อพิจารณาความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง การแตกตัวของกรด-เบส ในภาพรวม พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความไม่เข้าใจ (NU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 38.34 และหลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50.00 ในขณะที่ก่อนเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 0.00 และหลังเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 23.34 นำมาเขียนกราฟดังภาพประกอบ 12

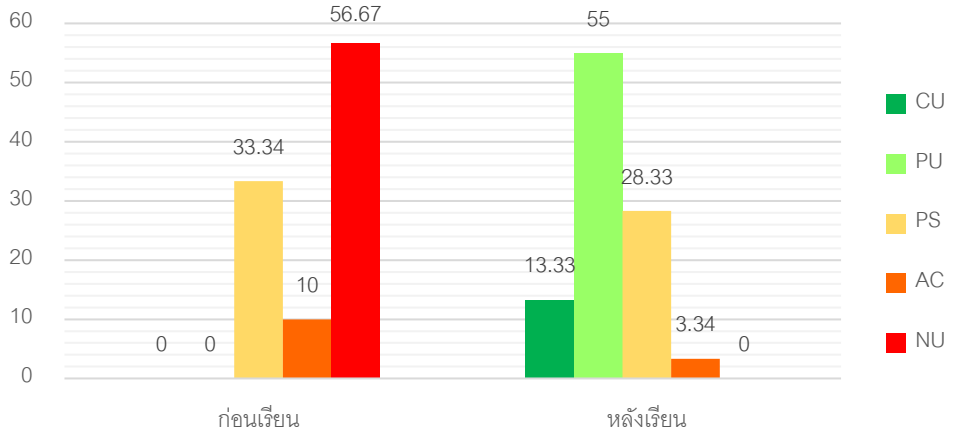


ภาพประกอบ 12 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 3

ตาราง 37 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 4

ข้อ	การตอบ	มโนทัศน์ที่ 4 การแตกตัวของน้ำ									
		ก่อนเรียน					หลังเรียน				
		CU	PU	PS	AC	NU	CU	PU	PS	AC	NU
8	จำนวน	0	0	9	5	16	4	14	10	2	0
	ร้อยละ	0.00	0.00	30.00	16.67	53.33	13.33	46.67	33.33	6.67	0.00
9	จำนวน	0	0	11	1	18	4	19	7	0	0
	ร้อยละ	0.00	0.00	36.67	3.33	60.00	13.33	63.33	23.33	0.00	0.00
เฉลี่ยรวม		0.00	0.00	33.34	10.00	56.67	13.33	55.00	28.33	3.34	0.00

จากตาราง 37 เมื่อพิจารณาความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง การแตกตัวของน้ำ ในภาพรวม พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความไม่เข้าใจ (NU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 56.67 และหลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 55.00 ในขณะที่ก่อนเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 0.00 และหลังเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 13.33 นำมาเขียนกราฟดังภาพประกอบ 13

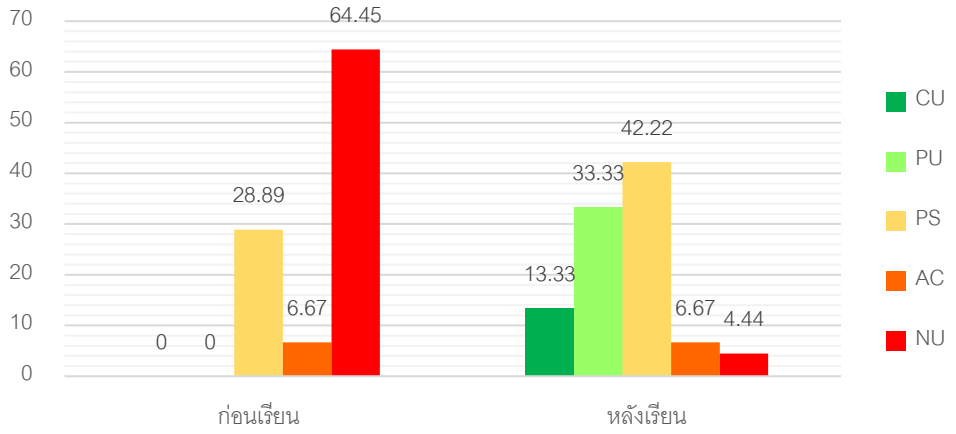


ภาพประกอบ 13 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 4

ตาราง 38 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 5

ข้อ	การตอบ	มโนทัศน์ที่ 5 pH ของสารละลาย									
		ก่อนเรียน					หลังเรียน				
		CU	PU	PS	AC	NU	CU	PU	PS	AC	NU
10	จำนวน	0	0	14	2	14	1	16	12	0	1
	ร้อยละ	0.00	0.00	46.67	6.67	46.67	3.33	53.33	40.00	0.00	3.33
11	จำนวน	0	0	5	2	23	4	6	13	4	3
	ร้อยละ	0.00	0.00	16.67	6.67	76.67	13.33	20.00	43.33	13.33	10.00
12	จำนวน	0	0	7	2	21	7	8	13	2	0
	ร้อยละ	0.00	0.00	23.33	6.67	70.00	23.33	26.67	43.33	6.67	0.00
เฉลี่ยรวม		0.00	0.00	28.89	6.67	64.45	13.33	33.33	42.22	6.67	4.44

จากตาราง 38 เมื่อพิจารณาความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง pH ของสารละลาย ในภาพรวม พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความไม่เข้าใจ (NU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 64.45 และหลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 42.22 ในขณะที่ก่อนเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 0.00 และหลังเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 13.33 นำมาเขียนกราฟดังภาพประกอบ 14

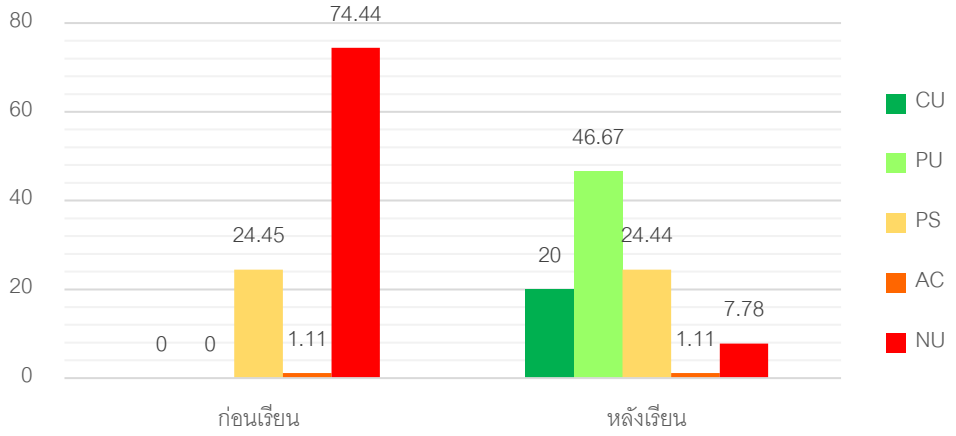


ภาพประกอบ 14 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 5

ตาราง 39 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 6

มโนทัศน์ที่ 6 ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรดเบสของเกลือ											
ข้อ	การตอบ	ก่อนเรียน					หลังเรียน				
		CU	PU	PS	AC	NU	CU	PU	PS	AC	NU
13	จำนวน	0	0	6	0	24	5	12	9	1	3
	ร้อยละ	0.00	0.00	20.00	0.00	80.00	16.67	40.00	30.00	3.33	10.00
14	จำนวน	0	0	8	1	21	3	23	3	0	1
	ร้อยละ	0.00	0.00	26.67	3.33	70.00	10.00	76.67	10.00	0.00	3.33
15	จำนวน	0	0	8	0	22	10	7	10	0	3
	ร้อยละ	0.00	0.00	26.67	0.00	73.33	33.33	23.33	33.33	0.00	10.00
เฉลี่ยรวม		0.00	0.00	24.45	1.11	74.44	20.00	46.67	24.44	1.11	7.78

จากตาราง 39 เมื่อพิจารณาความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและความเป็นกรดเบสของเกลือ ในภาพรวม พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความไม่เข้าใจ (NU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 74.44 และหลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 46.67 ในขณะที่ก่อนเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 0.00 และหลังเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 20.00 นำมาเขียนกราฟดังภาพประกอบ 15

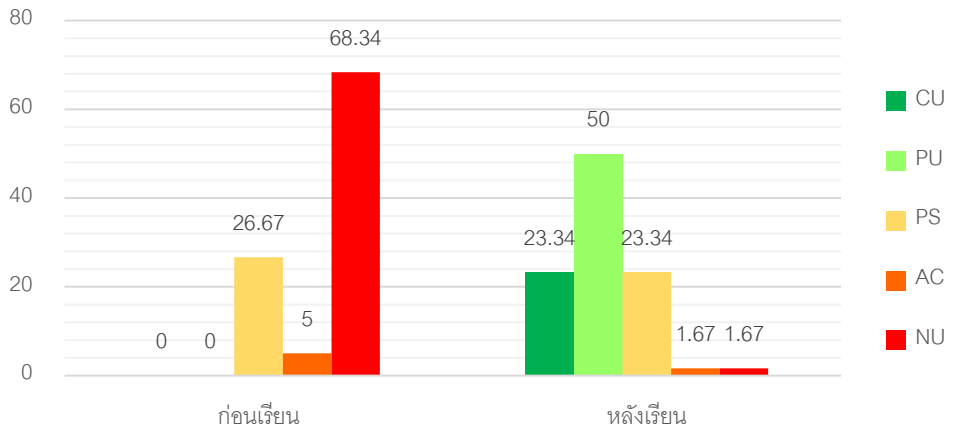


ภาพประกอบ 15 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 6

ตาราง 40 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 7

ข้อ	การตอบ	มโนทัศน์ที่ 7 การไทเทรต									
		ก่อนเรียน					หลังเรียน				
		CU	PU	PS	AC	NU	CU	PU	PS	AC	NU
16	จำนวน	0	0	12	1	17	6	14	9	0	1
	ร้อยละ	0.00	0.00	40.00	3.33	56.67	20.00	46.67	30.00	0.00	3.33
17	จำนวน	0	0	4	2	24	8	16	5	1	0
	ร้อยละ	0.00	0.00	13.33	6.67	80.00	26.67	53.33	16.67	3.33	0.00
เฉลี่ยรวม		0.00	0.00	26.67	5.00	68.34	23.34	50.00	23.34	1.67	1.67

จากตาราง 40 เมื่อพิจารณาความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง การไทเทรต ในภาพรวม พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความไม่เข้าใจ (NU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 68.34 และหลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50.00 ในขณะที่ก่อนเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 0.00 และหลังเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 23.34 นำมาเขียนกราฟดังภาพประกอบ 16

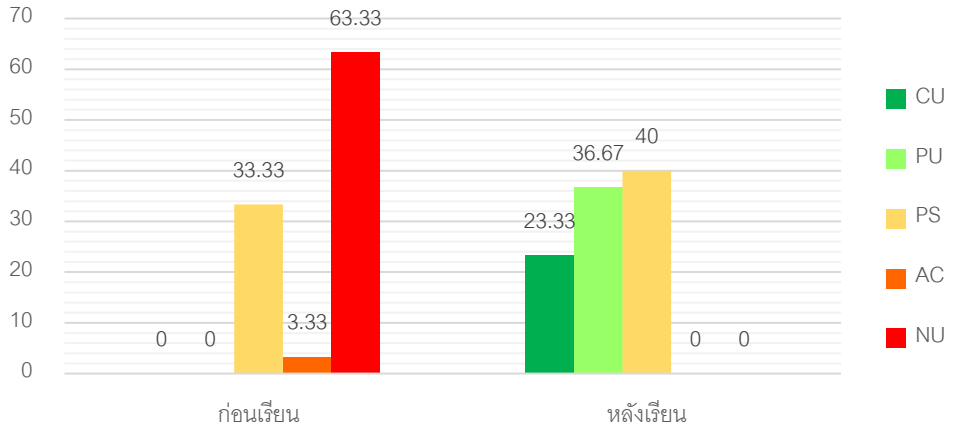


ภาพประกอบ 16 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 7

ตาราง 41 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 8

ข้อ	การตอบ	มโนทัศน์ที่ 8 อินดิเคเตอร์									
		ก่อนเรียน					หลังเรียน				
		CU	PU	PS	AC	NU	CU	PU	PS	AC	NU
18	จำนวน	0	0	10	1	19	7	11	12	0	0
	ร้อยละ	0.00	0.00	33.33	3.33	63.33	23.33	36.67	40.00	0.00	0.00

จากตาราง 41 เมื่อพิจารณาความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง อินดิเคเตอร์ ในภาพรวม พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความไม่เข้าใจ (NU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 63.33 และหลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 40.00 ในขณะที่ก่อนเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 0.00 และหลังเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 23.33 นำมาเขียนกราฟดังภาพประกอบ 17

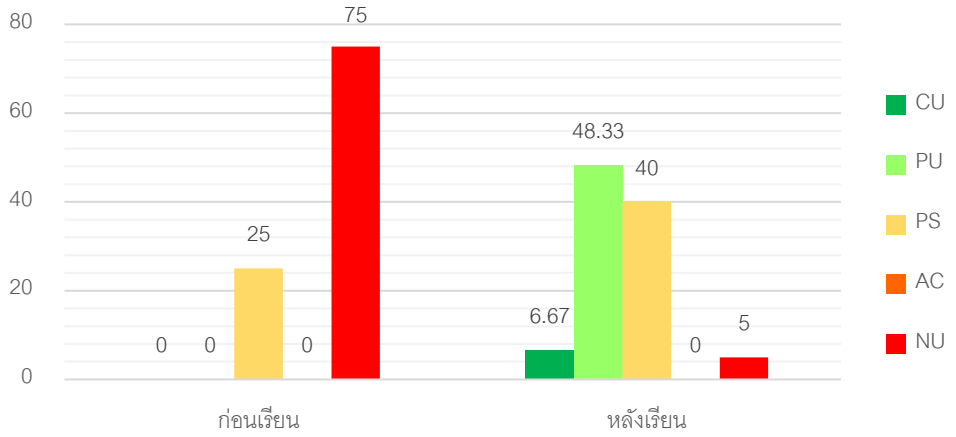


ภาพประกอบ 17 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 8

ตาราง 42 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 9

ข้อ	การตอบ	มโนทัศน์ที่ 9 สารละลายบัฟเฟอร์ ก่อนเรียน					หลังเรียน				
		CU	PU	PS	AC	NU	CU	PU	PS	AC	NU
19	จำนวน	0	0	10	0	20	3	13	13	0	1
	ร้อยละ	0.00	0.00	33.33	0.00	66.67	10.00	43.33	43.33	0.00	3.33
20	จำนวน	0	0	5	0	25	1	16	11	0	2
	ร้อยละ	0.00	0.00	16.67	0.00	83.33	3.33	53.33	36.67	0.00	6.67
เฉลี่ยรวม		0.00	0.00	25.00	0.00	75.00	6.67	48.33	40.00	0.00	5.00

จากตาราง 42 เมื่อพิจารณาความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง สารละลายบัฟเฟอร์ ในภาพรวม พบว่า ก่อนเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความไม่เข้าใจ (NU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 75.00 และหลังเรียน นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์แบบความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 48.33 ในขณะที่ก่อนเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 0.00 และหลังเรียน มีความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU) คิดเป็นร้อยละ 6.67 นำมาเขียนกราฟดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 คำตอบนักเรียนของมโนทัศน์ที่ 9

ตาราง 43 คะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส ของกลุ่มตัวอย่างการวิจัย

คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน
1	10	57.0
2	6.5	51.5
3	11.5	54.0
4	14	48.5
5	9	44.0
6	7	43.0
7	7	47.0
8	7	43.0
9	5.5	44.0
10	11	48.5
11	6	43.5
12	8.5	47.0
13	9.5	37.5
14	13	50.0
15	10	41.0
16	10	39.5
17	8	48.5
18	7	44.0
19	3.5	38.0
20	6	45.0
21	8	35.5
22	5.5	31.5
23	8	47.5
24	5.5	38.0
25	3.5	36.0

ตาราง 43 (ต่อ)

คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน
26	8	36.5
27	5	42.0
28	6.5	31.5
29	5	38.0
30	2.5	31.0

ตาราง 44 คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส ของกลุ่มตัวอย่างการวิจัย

คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน
1	29	92
2	24	87
3	26	87
4	32	82
5	23	78
6	29	71
7	19	79
8	15	84
9	15	88
10	17	88
11	12	96
12	14	92
13	14	71
14	12	80
15	12	80
16	13	62
17	13	62
18	5	66
19	15	56
20	9	59
21	10	56
22	9	58
23	16	91
24	12	70

ตาราง 44 (ต่อ)

คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน
25	8	62
26	2	63
27	21	64
28	3	53
29	11	50
30	9	56

ตาราง 45 คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี จากการวัดซ้ำ 6 ครั้ง

คนที่	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
1	34	43	44	46	48	49
2	36	36	40	45	46	48
3	31	35	37	41	46	47
4	33	38	36	39	43	47
5	31	33	36	40	40	45
6	32	33	33	37	40	41
7	30	33	34	38	40	40
8	27	30	34	38	39	40
9	28	31	35	37	39	41
10	31	33	37	41	40	41
11	32	35	36	38	41	41
12	31	33	37	37	39	40
13	27	32	34	35	35	36
14	27	29	34	33	38	43
15	27	29	31	32	39	43
16	26	29	31	32	37	39
17	26	28	28	30	34	37
18	21	27	27	30	35	38
19	20	27	27	27	31	35
20	21	26	26	28	30	31
21	23	25	28	29	32	33
22	15	18	20	25	30	31
23	35	39	38	42	46	49
24	22	27	29	29	31	35

ตาราง 45 (ต่อ)

คนที่	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
25	20	22	23	26	28	31
26	22	22	23	29	31	34
27	23	26	26	28	29	32
28	15	19	22	26	28	30
29	16	18	26	28	28	31
30	15	17	24	26	28	29

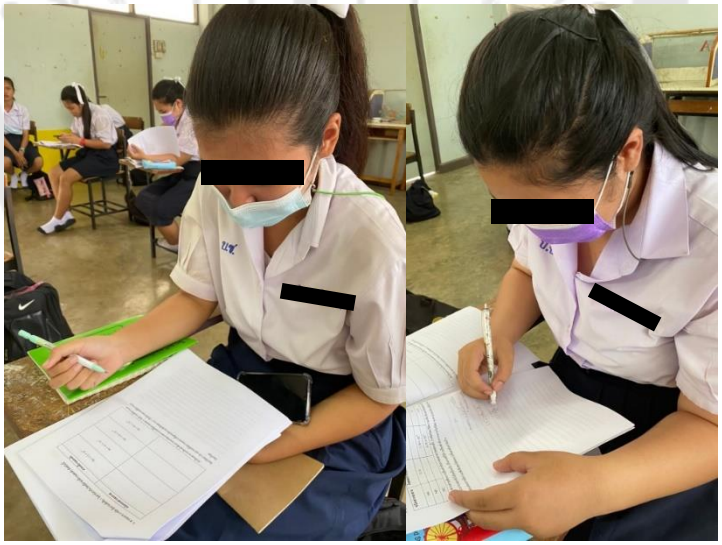
ภาคผนวก ฉ

ภาพกิจกรรมและผลงานนักเรียน

1. ตัวอย่างภาพกิจกรรมขณะดำเนินการวิจัย
2. ตัวอย่างการตอบคำถามในแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส
3. ตัวอย่างการตอบคำถามในแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส
4. ตัวอย่างการตอบคำถามในแบบฝึกหัดหลังแผนการจัดการเรียนรู้

ภาพกิจกรรมขณะดำเนินการวิจัย

ภาพประกอบ 19 การนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง



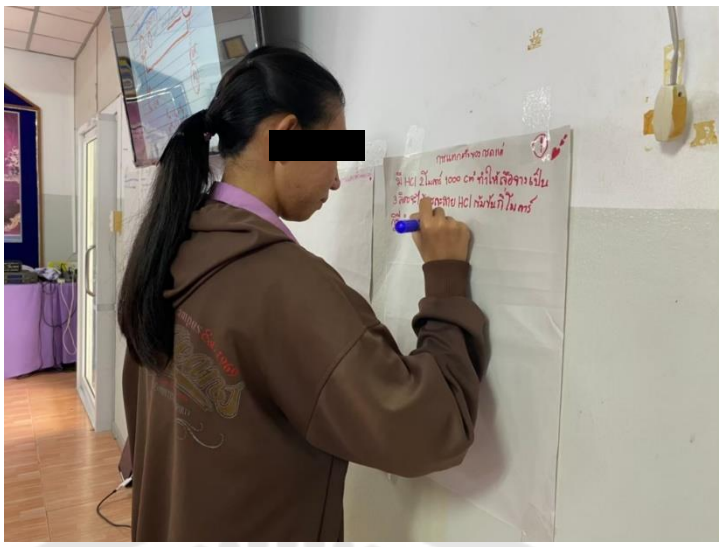
ภาพประกอบ 20 การนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส และ
แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส
ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง
(นักเรียนโรงเรียนบ้านแก่งชัชวลิตวิทยา ที่ผ่านการเรียนรู้เรื่อง กรด-เบส มาแล้ว)

ภาพประกอบ 21 การนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส และ
แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส
ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง
(นักเรียนโรงเรียนทุ่งมนวิทยาคาร ที่ผ่านการเรียนรู้เรื่อง กรด-เบส มาแล้ว)

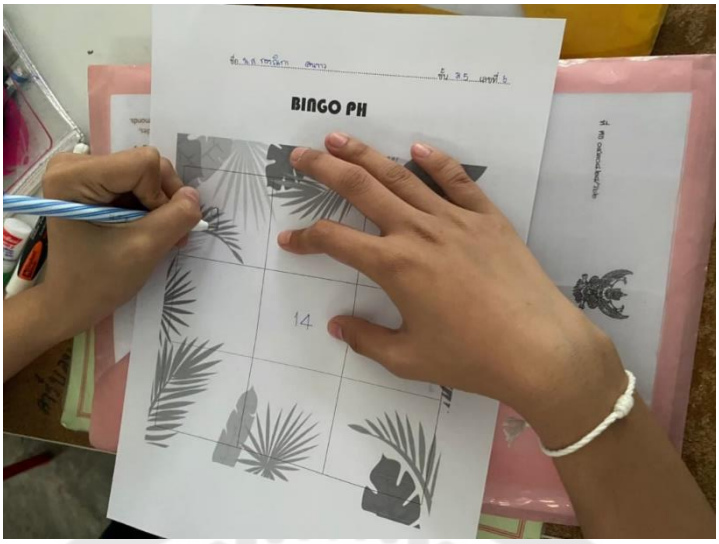
ภาพประกอบ 22 การนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส และ
แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส
ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง
(นักเรียนโรงเรียนตะคร้อพิทยา ที่ผ่านการเรียนรู้เรื่อง กรด-เบส มาแล้ว)

ภาพประกอบ 23 การนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส และ
แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส
มาทดสอบก่อนเรียนกับกลุ่มตัวอย่าง

ภาพประกอบ 24 จัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ทฤษฎีกรด-เบส



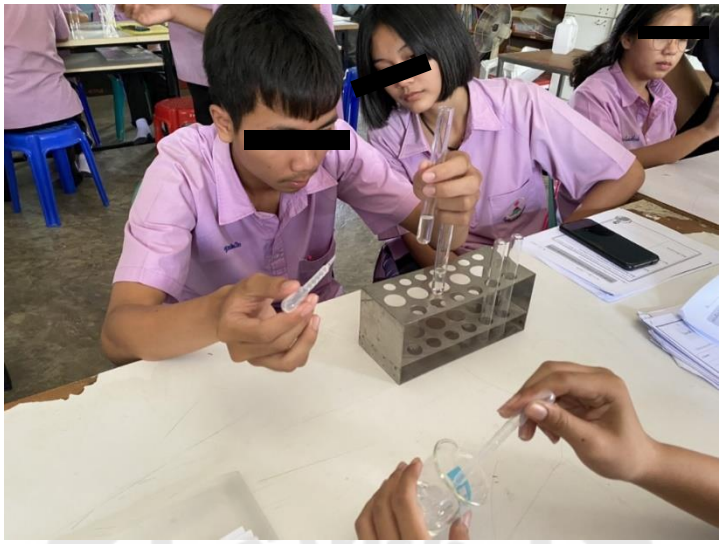
ภาพประกอบ 25 จัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 การแตกตัวของกรด-เบส และน้ำ



ภาพประกอบ 26 จัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 pH ของสารละลาย

ภาพประกอบ 27 จัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 ปฏิกิริยาระห่างกรด-เบส และสมบัติของเกลือ

ภาพประกอบ 28 จัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์
ร่วมกับเทคนิคของโพลยาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 การไทเทรตและอินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส



ภาพประกอบ 29 จัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นการพัฒนามโนทัศน์ร่วมกับเทคนิคของโพลยาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6 สารละลายบัฟเฟอร์

ภาพประกอบ 30 การนำแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส และ
แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส
มาทดสอบหลังเรียนกับกลุ่มตัวอย่าง

การตอบคำถามในแบบวัดความเข้าใจมโนทัศน์ เรื่อง กรด-เบส

ตัวอย่างคำตอบก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้

ความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU)

1. สารที่มีสมบัติดังตาราง ควรเป็นสารชนิดใด

การเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัส		ความสว่างของหลอดไฟ	การนำไฟฟ้า
สีแดง	สีน้ำเงิน		
ไม่เปลี่ยนสี	สีแดง	น้อย	นำไฟฟ้าได้

ก) NH_3 ข) NaCN

~~ค~~ HF ง) $Mg(OH)_2$ 1

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

HF เป็นกรดอ่อน

1.5

เกณฑ์ในการให้คะแนน

ตอนที่ 1 : ค) HF

ตอนที่ 2 : พิจารณาประเภทของสารจากสมบัติในตาราง โดยระบุความเป็นกรดหรือเบสและระบุการแตกตัวของกรดหรือเบส ว่าเป็นกรดแก่ กรดอ่อน เบสแก่ หรือเบสอ่อนได้

ความเข้าใจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS)

1. สารที่มีสมบัติดังตาราง ควรเป็นสารชนิดใด

การเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัส		ความสว่างของหลอดไฟ	การนำไฟฟ้า
สีแดง	สีน้ำเงิน		
ไม่เปลี่ยนสี	สีแดง	น้อย	นำไฟฟ้าได้

ก) NH_3 ~~ข~~ NaCN

(ค)) HF ง) $Mg(OH)_2$ 0

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

เปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากน้ำเงินเป็นแดง แสดงว่าเป็นกรด

NaCN เป็นกรด 1

เกณฑ์ในการให้คะแนน

ตอนที่ 1 : ค) HF

ตอนที่ 2 : พิจารณาสมบัติการนำไฟฟ้าไม่ถูกต้อง หรือ พิจารณาสมบัติความเป็นกรด-เบสไม่ถูกต้อง

ตัวอย่างคำตอบก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้

ความเข้าใจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (AC)

6. เบสอ่อน 4 ชนิด มีความเข้มข้นเริ่มต้น x mol/dm^3 เท่ากันทั้งหมด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่ในการแตกตัวเป็นดังนี้

เบส	ค่าคงที่การแตกตัว
A	5.6×10^{-10}
B	7.7×10^{-13}
C	2.1×10^{-2}
D	2.0×10^{-5}

ข้อใดเรียงลำดับความแรงของเบสอ่อนทั้ง 4 ชนิดได้ถูกต้อง

ก) D < C < A < B ข) B > A > D > C

ค) D > C > A > B ง) B < A < D < C

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

ไล่จากค่าที่น้อยสุดไปหามากสุด

เกณฑ์ในการให้คะแนน

ตอนที่ 1 : ง) B < A < D < C

ตอนที่ 2 : มีการพิจารณาความแรงของเบสอ่อน ด้วยหลักการอื่น

ความไม่เข้าใจ (NU)

4. สารละลายในข้อใดสามารถแตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออนได้

ก) H_2S ข) NO_3^-

ค) $Mg(OH)_2$ ง) CH_3COO^-

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

เพราะเป็นสารประกอบ ไม่ใช่ไอออน

เกณฑ์ในการให้คะแนน

ตอนที่ 1 : ก) H_2S

ตอนที่ 2 : ไม่มีกล่าวถึงไฮโดรเนียมไอออน หรือ ไม่ตอบ

ตัวอย่างคำตอบหลังได้รับการจัดการเรียนรู้

ความเข้าใจมโนทัศน์ที่สมบูรณ์ (CU)

1. สารที่มีสมบัติดังตาราง ควรเป็นสารชนิดใด

การเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัส		ความสว่างของหลอดไฟ	การนำไฟฟ้า
สีแดง	สีน้ำเงิน		
ไม่เปลี่ยนสี	สีแดง	น้อย	นำไฟฟ้าได้

ก) NH_3 ข) NaCN

ค) HF ง) $Mg(OH)_2$

1

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

กระดาษลิตมัสสีน้ำเงิน → สีแดง แสดงว่า เป็นกรด, ทดสอบไฟฟ้าสว่างน้อย แสดงว่าเป็นกรดไม่แก่ ได้น้อย (หลอดสว่างไฟ) สรุปตัวที่ตอบเป็นกรดอ่อน ซึ่ง HF เป็นกรดอ่อน

2

เกณฑ์ในการให้คะแนน

ตอนที่ 1 : ค) HF

ตอนที่ 2 : พิจารณาประเภทของสารในประเด็นการนำไฟฟ้าของสารละลายและสมบัติเป็นกรด-เบสของสารละลายได้ครบถ้วนสมบูรณ์

ความเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU)

4. สารละลายในข้อใดสามารถแตกตัวให้ไฮโดรเนียมไอออนได้

ก) H_2S ข) NO_3^-

ค) $Mg(OH)_2$ ง) CH_3COO^-

1

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

$H_2S + H_2O \rightleftharpoons HS^- + H_3O^+$

1.5

เกณฑ์ในการให้คะแนน

ตอนที่ 1 : ก) H_2S

ตอนที่ 2 : สามารถเขียนสมการแสดงการแตกตัวของสารได้ถูกต้อง แต่ไม่มีการกล่าวถึงไฮโดรเนียมไอออนในสมการ

ตัวอย่างคำตอบหลังได้รับการจัดการเรียนรู้

ความเข้าใจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS)

1. สารที่มีสมบัติดังตาราง ควรเป็นสารชนิดใด

การเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัส		ความสว่างของหลอดไฟ	การนำไฟฟ้า
สีแดง	สีน้ำเงิน		
ไม่เปลี่ยนสี	สีแดง	น้อย	นำไฟฟ้าได้

ก) NH_3 ข) NaCN

ค) HF ง) $Mg(OH)_2$ 1

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

ถ้าหลอดไฟสว่างแสดงว่านำไฟฟ้าได้ 0.5

เกณฑ์ในการให้คะแนน

ตอนที่ 1 : ค) HF

ตอนที่ 2 : กล่าวถึงประเด็นของการนำไฟฟ้า หรือ สมบัติความเป็นกรด-เบสได้ แต่ยังระบุเหตุผลไม่ถูกต้อง

ความเข้าใจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (AC)

11. สาร 2 ชนิด มีสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

สาร	$[H_3O^+]$	ความเป็นกรด-เบส
1	1.0×10^{-9} M	เบส
2	a M	กรด

สาร 2 ควรมีค่า $[H_3O^+]$ เป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับสาร 1

ก) $[H_3O^+] > 1.0 \times 10^{-9}$ M ข) $[H_3O^+] = 1.0 \times 10^{-9}$ M 0

ค) $[H_3O^+] < 1.0 \times 10^{-9}$ M ง) $[H_3O^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-9}$ M

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

เมื่อเทียบค่า H_3O^+ จากสองน้อยกว่า OH^- 0.5

ตอนที่ 1 : ก) $[H3O^+] > 1.0 \times 10^{-9}$ M

ตอนที่ 2 : มีการพิจารณา $[H_3O^+]$ กับ ความเป็นกรด-เบส ด้วยหลักการอื่น

ตัวอย่างคำตอบหลังได้รับการจัดการเรียนรู้

ความไม่เข้าใจ (NU)

10. ตารางค่าคงที่การแตกตัวของกรดทั้ง 4 ชนิดเมื่อมีความเข้มข้นเท่ากัน เป็นดังนี้

กรด	ค่า Ka ที่ 25 องศาเซลเซียส
CH_3COOH	1.8×10^{-5}
HNO_2	5.0×10^{-4}
HF	6.8×10^{-4}
H_2CO_3	4.4×10^{-7}

ข้อใดเรียงลำดับกรดที่มีค่า pH จากต่ำไปสูงได้ถูกต้อง

ก) CH_3COOH HNO_2 HF H_2CO_3

ข) H_2CO_3 HF HNO_2 CH_3COOH

ค) HF HNO_2 CH_3COOH H_2CO_3

ง) HF CH_3COOH H_2CO_3 HNO_2

เหตุผลสนับสนุนการเลือกตอบ

เพราะ ดูเลขยกกำลัง

ตอนที่ 1 : ค) HF HNO_2 CH_3COOH H_2CO_3

ตอนที่ 2 : ไม่มีการพิจารณาความสัมพันธ์ของค่า pH กับ ค่า K_a หรือ ไม่ตอบ

การตอบคำถามในแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส

ตัวอย่างคำตอบก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้

2. สารละลายกรดชนิดหนึ่ง สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้หมด มีความเข้มข้น 1.2 โมล/ลิตร ปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมลงในน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1,300 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนเป็นเท่าใด

ขั้นทำความเข้าใจปัญหา : สิ่งที่โจทย์ให้มา

ความเข้มข้นของสารละลาย 1.2 โมล/ลิตร

ปริมาตรสารละลาย 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาตรที่เติมน้ำกลั่น 1,300 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สิ่งที่โจทย์ถาม

ความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออน

ตัวอย่างคำตอบหลังได้รับการจัดการเรียนรู้

2. สารละลายกรดชนิดหนึ่ง สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้หมด มีความเข้มข้น 1.2 โมล/ลิตร ปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เติมลงในน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1,300 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะมีความเข้มข้นของไฮโดรเนียมไอออนเป็นเท่าใด

ขั้นทำความเข้าใจปัญหา : โจทย์ให้ $C_1 = 1.2$ M $V_1 = 500$ cm^3 $V_2 = 1300$ cm^3

โจทย์ให้หา $C_2 = [H_3O^+] = ?$

ขั้นวางแผนแก้ปัญหา : สารละลายกรดชนิดนี้แตกตัวได้หมด แสดงว่าเป็นกรดแก่

ตัวตั้ง ความเข้มข้นของสารละลาย $= [H_3O^+]$

เมื่อสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ใช้สูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

ขั้นดำเนินการตามแผน : $C_1V_1 = C_2V_2$

$1.2 \times 500 = C_2 \times 1300$

$\frac{1.2 \times 500}{1300} = C_2$

$\frac{6}{13} = C_2$

$\therefore C_2 = 0.46$ M

ขั้นตรวจสอบผล : แทนค่าในสูตร $C_1V_1 = C_2V_2$

$1.2 \times 500 = 0.46 \times 1300$

หรือ ใช้อัตราส่วนโมลของไฮโดรเนียมไอออน

สารละลาย 1000 cm^3 มีกรดอยู่ 1.2 โมล

สารละลาย 500 cm^3 มีกรดอยู่ $\frac{1.2 \times 500}{1000} = 0.6$ โมล

สารละลาย 1300 cm^3 มี H_3O^+ อยู่ 0.6 โมล

สารละลาย 1000 cm^3 มี H_3O^+ อยู่ $\frac{0.6 \times 1000}{1300} = 0.46$ โมล

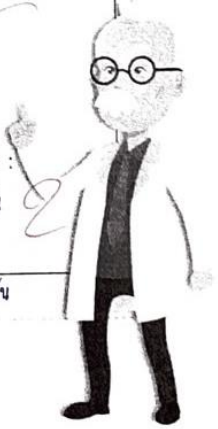
เพราะฉะนั้น $[H_3O^+] = 0.46$ โมล/ลิตร

การตอบคำถามในแบบฝึกหัดหลังแผนการจัดการเรียนรู้

ตัวอย่าง แบบฝึกหัดที่ 6 โจทย์ปัญหาสารละลายบัฟเฟอร์

5. นำสารละลายชนิดที่ 1 มาละลายน้ำ พบว่ามีการแตกตัวให้ไอออน 2 ชนิด คือ ไอออน A และ ไอออน B
นำสารละลายชนิดที่ 2 มาละลายน้ำ พบว่ามีการแตกตัวให้ไอออน 2 ชนิด คือ ไอออน C และ ไอออน B
นำสารละลายชนิดที่ 3 มาละลายน้ำ พบว่ามีการแตกตัวให้ไอออน 2 ชนิด คือ ไอออน D และ ไอออน E
สารละลายชนิดใดที่มีการเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสเช่นเดียวกัน

ขั้นที่ 1 ขั้นทำความเข้าใจปัญหา	สิ่งที่โจทย์ถามหา : สารละลายชนิดใดมีการเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสเช่นเดียวกัน ข้อมูลและเงื่อนไขที่ให้มา : สารละลายที่ 1 → A + B สารละลายที่ 2 → C + B สารละลายที่ 3 → D + E
ขั้นที่ 2 ขั้นวางแผนแก้ปัญหา	มโนทัศน์ที่เกี่ยวข้อง : สารละลายที่มีไอออนเหมือนกัน 1 ชนิด แสดงว่ามีสมบัติความเป็นกรด-เบส เหมือนกัน สมการในการหาคำตอบ / แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา : หาว่าสารละลายใดที่มีไอออนบางชนิดเหมือนกัน แสดงว่า สารละลายนั้นต่างเป็นกรดเหมือนกัน / เป็นเบสเหมือนกัน
ขั้นที่ 3 ขั้นดำเนินการตามแผน	แสดงวิธีคิดตามการวางแผน : สารละลายที่ 1 → A + B (ไอออนเหมือนกัน) สารละลายที่ 2 → C + B สารละลายที่ 3 → D + E
ขั้นที่ 4 ขั้นตรวจสอบผล	สรุปคำตอบ : สารละลายที่ 1,2 ระบุหน่วย (ถ้ามี) : – วิธีการแก้โจทย์ปัญหาอื่น (ถ้ามี) : – การตรวจสอบคำตอบ / การตรวจสอบความสมเหตุสมผล : กรด สีการเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัส น้ำเงิน → แดง เหมือนกัน แสดงว่า มีไอออนบางตัวที่เหมือนกัน เบส สีการเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัส แดง → น้ำเงิน เหมือนกัน แสดงว่า มีไอออนบางตัวที่เหมือนกัน เช่น $LiOH \longrightarrow Li^+ + OH^-$ $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวฉัตรสุดา ขุนเพ็ง
วัน เดือน ปี เกิด	4 ตุลาคม 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดนครสวรรค์
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2554 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ พ.ศ. 2560 ศึกษาศาสตรบัณฑิต สาขา การสอนวิทยาศาสตร์(เคมี) จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	2/83 ม.13 ต.วัดไทรย์ อ.เมืองนครสวรรค์ จ.นครสวรรค์ 60000