ผลการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี ที่มีต่อความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนลองวิทยา จังหวัดแพร่

นางศศิธร เต็มสิริโชติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต
วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
พ.ศ. 2563

The Effects of Using Analogy Based Instruction in the Topic of Chemical Bonding on Scientific Concept Understanding and Mental Representation of Grade 10 Students at Long Wittaya School in Phrae Province

Mrs. Sasitorn Temsirichote

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Education in Science Educational
School of Educational Studies
Sukhothai Thammathirat Open University
2020

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี ที่มีต่อความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนลองวิทยา จังหวัดแพร่

ชื่อและนามสกุล นางศศิธร เต็มสิริโชติ

วิชาเอก วิทยาศาสตร์ศึกษา

สาขาวิชา ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

อาจารย์ที่ปรึกษา 1. รองศาสตราจารย์ ดร.นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์

2. รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงเดือน สุวรรณจินดา

วิทยานิพนธ์นี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2563

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.กุลธิดา นุกูลธรรม)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงเดือน สุวรรณจินดา)

..... ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร พุทธาพิทักษ์ผล)

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี ที่มีต่อความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนลองวิทยา จังหวัดแพร่

ผู้วิจัย นางศศิธร เต็มสิริโชติ **รหัสนักศึกษา** 2612000188 **ปริญญา** ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา) **อาจารย์ที่ปรึกษา** (1) รองศาสตราจารย์ ดร.นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์ (2) รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงเดือน สุวรรณจินดา **ปีการศึกษา** 2563

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 2) เปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 3) เปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ และ 4) เปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา 2 ห้องเรียน จำนวน 53 คนได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม แล้วจับฉลากให้ห้องหนึ่งเป็นกลุ่มทดลอง จำนวน 29 คน อีกห้องหนึ่งเป็นกลุ่มควบคุม จำนวน 24 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ 2) แผนการจัดการเรียนรู้แบบปกติ และ 3) แบบวัดมโนมติทางวิทยาศาสตร์และตัวแทนความคิด วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ 1) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีความเข้าใจในมโนมติทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 2) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีการเสนอตัวแทนความคิดหลังเรียนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 3) ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ส่วนใหญ่ไม่มีนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นทุกมโนมติ 4) การเสนอตัวแทนความคิดก่อนเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบส่วนใหญ่ไม่สามารถนำเสนอตัวแทนความคิดได้ และบางส่วนสามารถนำเสนอตัวแทนความคิดได้ในระดับที่ 2 หลังเรียนนักเรียนสามารถนำเสนอตัวแทนความคิดได้สูงกว่าระดับที่ 3 โดยส่วนใหญ่สามารถนำเสนอตัวแทนความคิดได้ในระดับที่ 5

คำสำคัญ การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ การเสนอตัวแทนความคิด พันธะเคมี

Thesis title: The Effects of Using Analogy Based Instruction in the Topic of Chemical Bonding on Scientific Concept Understanding and Mental Representation of Grade 10 Students at Long Wittaya School in Phrae Province
Researcher: Mrs. Sasitorn Temsirichote; **ID:** 2612000188
Degree: Master of Education (Science Education);
Thesis advisors: (1) Dr. Nuanjid Chaowakeratipong, Associate Professor;
(2) Dr. Duongdearn Suwanjinda, Associate Professor; **Academic year:** 2020

Abstract

The purposes of this research were to 1) compare scientific concept understanding in the topic of chemical bonding after learning of students who learned by using the analogy based instruction and students who learned by using the traditional instruction, 2) compare mental representation in the topic of chemical bonding after learning of students who learned by using the analogy based instruction and students who learned by using the traditional instruction, 3) compare scientific concept understanding before and after learning in the topic of chemical bonding of students who learned by using the analogy based instruction, and 4) compare mental representation before and after learning in the topic of chemical bonding of students who learned by using the analogy based instruction.

The research sample consisted of 53 grade 10 students in 2 intact classrooms in the Science-Mathematics Program of Long Wittaya School, obtained by cluster random sampling. One class of 29 students was randomly assigned as an experimental group and the other class of 24 students was assigned as a control group. The research instruments were 1) analogy based instruction lesson plans, 2) traditional based instruction lesson plans, and 3) scientific concept understanding and mental representation tests. Data were analyzed by using the percentage, mean, standard deviation, and analysis of covariance.

The results showed that; 1) the scientific concept understanding after learning of the students who learned by using the analogy based instruction was higher than that of the students who learned by using the traditional based instruction at the .01 level of statistical significance, 2) the mental representation after learning of the students who learned by using the analogy based instruction was higher than that of the students who learned by using the traditional based instruction at the .01 level of statistical significance, 3) For the scientific concept understanding before learning of students who learned by using the analogy based instruction, it was found that most of the students had no scientific concept understanding in all concepts. After learning, students had scientific concept understanding and the partial understanding were increased in all scientific concepts, 4) the mental representation, before learning of students who learned by using the analogy approach, most of the students couldn't present the mental representation but some of them could present the mental representation at level 2; after learning, the students could present the mental representation higher than level 3; most of them could reach the representation at level 5.

Keywords: Analogy based instruction, Scientific concept understanding, Mental representation, Chemical Bonding

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณา คำชี้แนะและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ดวงเดือน สุวรรณจินดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งอาจารย์ทั้งสองท่านได้ให้คำแนะนำ ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอด รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยซาบซึ้งและขอขอบพระคุณในความเมตตาของท่านทั้งสองเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ดร.กุลธิดา นุกูลธรรม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและแนะแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมถึงคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ได้แก่ ศน.ธีระศักดิ์ ไชยสัตย์ ศึกษานิเทศก์ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาประจวบคีรีขันธ์ เขต 1 คุณครูณรงค์ฤทธิ์ โฮ้งจิก ครูโรงเรียนวัดเขมาภิรตาราม และคุณครูรัตนเกล้า ประดิษฐ์ด้วง ครูโรงเรียนหนองแสงวิทยศึกษา ที่กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเป็นอย่างดี และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการโรงเรียนที่ส่งเสริมและสนับสนุน ขอขอบพระคุณคณะครูโรงเรียนลองวิทยาที่ให้ความร่วมมือและให้กำลังใจ และขอขอบใจนักเรียนที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยส่งเสริม สนับสนุน ห่วงใยและให้กำลังใจ รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้อง เอกวิทยาศาสตร์ศึกษาทุกคนที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์พึงมีจากการศึกษาวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอน้อมบูชาพระคุณบิดามารดาและบูรพาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรบสั่งสอนวิชาความรู้ และให้ความเมตตาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด และเป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ศศิธร เต็มสิริโชติ

มกราคม 2564

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์การวิจัย 7
สมมติฐานการวิจัย 8
กรอบแนวคิดการวิจัย 8
ขอบเขตของการวิจัย 9
นิยามศัพท์เฉพาะ 10
ประโยชน์ที่ได้รับ 12
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 13
การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ 14
มโนมติทางวิทยาศาสตร์ 36
ตัวแทนความคิด 56
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 68
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 74
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 74
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 74
การเก็บรวบรวมข้อมูล 89
การวิเคราะห์ข้อมูล 90
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 92
ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 93

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียน ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ กับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 94
ตอนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ 95
ตอนที่ 4 ผลการเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิดเรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ 136
บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 168
สรุปการวิจัย 168
อภิปรายผล 172
ข้อเสนอแนะ 179
บรรณานุกรม 181
ภาคผนวก 189
ก รายนามผู้เชี่ยวชาญ 190
ข เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 192
ประวัติผู้วิจัย 231

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ตามรูปแบบ Focus-Action-Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide 25

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนและองค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ 26

ตารางที่ 2.3 บทบาทครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเปรียบเทียบ ตามเทคนิค FAR Guide 28

ตารางที่ 2.4 สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ในวิชาเคมี 29

ตารางที่ 2.5 สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ในวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี 30

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบในรูปแบบ FAR Guide เรื่อง สถานะของสาร 31

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบในรูปแบบ FAR Guide เรื่อง รูปร่างโมเลกุล 34

ตารางที่ 2.8 มโนมติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน เรื่อง พันธะเคมี 39

ตารางที่ 2.9 ระดับความสามารถในการเสนอตัวแทนความคิด 66

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับแบบปกติ 77

ตารางที่ 3.2 บทบาทครูและบทบาทนักเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ 79

ตารางที่ 3.3 มโนมติที่ศึกษา (Target) และสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่เคยมีการนำมาใช้ 81

ตารางที่ 3.4 ออกแบบสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ 82

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 93

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 94

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.3 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ 95
ตารางที่ 4.4 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กฎออกเตต ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 100
ตารางที่ 4.5 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 103
ตารางที่ 4.6 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิกระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 107
ตารางที่ 4.7 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 110
ตารางที่ 4.8 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 113
ตารางที่ 4.9 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 116
ตารางที่ 4.10 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 120
ตารางที่ 4.11 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 124

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.12 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเกลุล ของสารโคเวเลนต์ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลอง ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 128
ตารางที่ 4.13 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดพันธะโลหะ ระหว่างก่อน เรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 133
ตารางที่ 4.14 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ 136
ตารางที่ 4.15 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กฎออกเตต ก่อนเรียนและหลังเรียน ของนักเรียน กลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 141
ตารางที่ 4.16 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก ก่อนเรียน และหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 144
ตารางที่ 4.17 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก ก่อนเรียน และหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 147
ตารางที่ 4.18 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 149
ตารางที่ 4.19 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ก่อนเรียน และหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 152
ตารางที่ 4.20 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสาร โคเวเลนต์ ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัด การเรียนรู้ แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 154

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.21 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ ก่อนเรียน และหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 157
ตารางที่ 4.22 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง สภาพขั้วโมเลกุลโคเวเลนต์ ก่อนเรียน และหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 160
ตารางที่ 4.23 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ของสารโคเวเลนต์ ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลอง ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 163
ตารางที่ 4.24 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโลหะ ก่อนเรียนและหลังเรียน ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี 166

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย 8
ภาพที่ 2.1 การเกิดโซเดียมไอออน 41
ภาพที่ 2.2 การเกิดคลอไรด์ไอออน 42
ภาพที่ 2.3 การเกิดพันธะไอออนิกของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ 42
ภาพที่ 2.4 โครงผลึกของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ 43
ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 44
ภาพที่ 2.6 การเกิดพันธะโคเวเลนต์ของแก๊สคลอรีน 45
ภาพที่ 2.7 รูปร่างโมเลกุลของมีเทน (CH_4) 46
ภาพที่ 2.8 รูปร่างโมเลกุลของแอมโมเนีย (NH_3) 46
ภาพที่ 2.9 รูปร่างโมเลกุลของน้ำ (H_2O) 47
ภาพที่ 2.10 แรงระหว่างโมเลกุล 48
ภาพที่ 2.11 แบบจำลองทะเลอิเล็กตรอนในการเกิดพันธะโลหะ 49
ภาพที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของการอธิบายสสารและการเปลี่ยนแปลงของสสาร 61
ภาพที่ 2.13 ความสัมพันธ์ของการอธิบายระดับมหาภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ของการเผาไหม้แก๊สมีเทน 62
ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างแบบทดสอบชนิดคำถามปลายเปิดที่ใช้วัดความสามารถในการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่องความสามารถในการละลาย 63
ภาพที่ 2.15 ตัวอย่างผลงานของนักเรียนในการเสนอตัวแทนความคิดเรื่องพันธะเคมี 65

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาประเทศไทยในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 - 2564) อยู่ในห้วงเวลาของการปฏิรูปประเทศเพื่อแก้ปัญหาพื้นฐานหลายด้านที่สั่งสมมานานท่ามกลางสถานการณ์โลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การแข่งขันด้านเศรษฐกิจมีมากขึ้น สังคมโลกมีความเชื่อมโยงใกล้ชิดกันมากขึ้นเป็นสภาพไร้พรมแดน การพัฒนาเทคโนโลยีมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว นั่นคือประเทศไทยจะต้องเร่งพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การวิจัยและพัฒนา และนวัตกรรมให้เป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนการพัฒนา แต่ประเทศไทยมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น คุณภาพคนไทยยังต่ำ แรงงานส่วนใหญ่มีปัญหาทั้งในเรื่ององค์ความรู้ ทักษะ และทัศนคติ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาคนไทยจากการยกระดับคุณภาพการศึกษา การเรียนรู้ การพัฒนาทักษะ โดยให้ความสำคัญกับการใช้องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โครงสร้างพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และการบริหารจัดการ เพื่อช่วยขับเคลื่อนการพัฒนาประเทศให้ก้าวสู่เป้าหมาย ดังจะเห็นได้จาก ในยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศ ยุทธศาสตร์ที่ 1 ที่มีเป้าหมายพัฒนาให้คนในสังคมไทยทุกช่วงวัยมีทักษะ ความรู้ และความสามารถเพิ่มขึ้น และในยุทธศาสตร์ที่ 2 ที่มีเป้าหมายเพื่อสร้างความเข้มแข็งและยกระดับความสามารถด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ, 2559)

การที่จะพัฒนาให้เยาวชนไทยซึ่งเป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาประเทศในภายภาคหน้ามีความรู้ทางวิทยาศาสตร์ได้นั้น ควรพัฒนาความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เนื่องจากมีความสำคัญและเป็นพื้นฐานที่จำเป็นต่อการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งจะมีผลต่อการพัฒนาประเทศชาติในลำดับต่อไป ซึ่งนวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์ (2557, น. 9) ได้กล่าวว่า การเรียนรู้มโนมติจะช่วยให้นักเรียนสามารถพัฒนาการเรียนรู้ในเรื่องนั้นได้ถึงระดับสูงสุด และยังช่วยให้นักเรียนสามารถเรียนรู้สิ่งที่เกี่ยวข้องได้อย่างรวดเร็วขึ้น และนอกจากนี้ทัศนา ขุนไกร (2555) ได้สรุปเกี่ยวกับความสำคัญของมโนมติว่า มโนมติเป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนรู้และการดำรงชีวิต

ของมนุษย์ สร้างการเรียนรู้ได้อย่างเป็นระบบและเป็นพื้นฐานในการพัฒนาการเรียนรู้ให้สูงขึ้น และสร้างประสบการณ์เพื่อให้มนุษย์เกิดการพัฒนาให้เท่าทันเทคโนโลยีและนวัตกรรม

อาจกล่าวได้ว่าวิทยาศาสตร์เป็นความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์ของธรรมชาติรอบตัว ซึ่งมีอยู่หลายแขนงย่อย ๆ เคมีเป็นวิทยาศาสตร์อีกแขนงหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศ เป็นศูนย์กลางของวิทยาศาสตร์แขนงอื่นๆ ที่เชื่อมโยงระหว่างวิทยาศาสตร์กายภาพ ชีวภาพ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ นวัตกรรมเคมีจึงเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อพัฒนาสู่เป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (สุทธิสาร แก้วคราม, 2562)

ในการปรับปรุงหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ มีความรู้วิชาเคมีปรากฏอยู่ในสาระสำคัญคือ สาระที่ 2 วิทยาศาสตร์กายภาพ และสาระที่ 5 ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของสสาร และการเปลี่ยนแปลงของสสาร (สถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560: น. 169) วิชาเคมีมีความเฉพาะเจาะจงมุ่งเน้นอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของสาร และการเปลี่ยนแปลงของสสาร จากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผ่านมาพิจารณาจากการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ระดับนานาชาติ (Trends in International Mathematics and Science Study หรือ TIMSS) ในปี พ.ศ.2555 และปี พ.ศ.2558 นักเรียนไทยมีคะแนนเฉลี่ยรวมวิชาวิทยาศาสตร์และคะแนนเฉลี่ยวิชาเคมีต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยทั่วโลกและอยู่ในอันดับสุดท้ายของภูมิภาคเอเชีย (พัชรี ร่มพะยอม วิชัยดิษฐ์, 2561, น. 8) และเมื่อพิจารณาโครงการประเมินสมรรถนะนักเรียนมาตรฐานสากล (Programme for International Student Assessment หรือ PISA) ในปี พ.ศ. 2561 พบว่านักเรียนไทยมีคะแนนด้านวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปี พ.ศ.2558 แต่เมื่อเทียบกับประเทศสมาชิกแล้วประเทศไทยยังคงอยู่ในระดับรั้งท้าย (สถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2562) และนอกจากนี้แล้วผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) สาระเคมีในระดับประเทศ พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์และของนักเรียนโรงเรียนลองวิทยาที่ถึงแม้จะมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าระดับประเทศแต่ยังมีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์ (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2561) จะเห็นได้ว่าเนื้อหาวิชาเคมีเป็นปัญหาต่อนักเรียน เนื่องจากเนื้อหามีความเป็นนามธรรม คำอธิบายส่วนใหญ่ไม่ได้อยู่ในระดับที่นักเรียนจะสังเกตเห็นได้ เช่น อะตอมหรือโมเลกุล โดยนักเรียนต้องมีความสามารถสร้างคำอธิบายในระดับอะตอมหรือโมเลกุล เป็นสิ่งยากที่นักเรียนจะทำได้จึงทำให้นักเรียนไม่สามารถทำความเข้าใจแนวคิดหลักทางเคมีได้ นอกจากนี้แล้วในการเรียนวิชาเคมีนั้นยังมีอุปสรรคด้านภาษา คำอธิบายที่นักเรียนพบในหนังสือเรียน หรือคำอธิบายจากครูผู้สอน คือการใช้ศัพท์เฉพาะทางวิทยาศาสตร์ การใช้ภาษาสัญลักษณ์ และการทับศัพท์ภาษาอังกฤษ โดยคำบางคำอาจมีความหมายแตกต่างจากที่นักเรียนใช้ในชีวิตประจำวัน (พัชรี

ร่มพะยอม วิชัยดิษฐ์, 2561, น. 1) และนักเรียนจำนวนมากแก้ปัญหาโดยปราศจากความเข้าใจส่งผลให้นักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อ การเรียนรู้วิชาเคมี (Cetin, Kaya & Geban, 2009, Taber, 2001) จึงเป็นสาเหตุให้นักเรียนไม่เข้าใจแนวคิดหลักทางเคมีซึ่งจะส่งผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียน เพราะหากนักเรียนไม่มีความเข้าใจหรือมีความเข้าใจที่ถูกต้องเพียงบางส่วนจะมีผลให้การต่อยอดความรู้มีความคลาดเคลื่อนไปด้วย (นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์, 2557, น. 6)

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะเด่นเฉพาะของวิชาเคมีพบว่า เป็นวิชาที่มุ่งเน้นอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติและการเปลี่ยนแปลงของสสาร ซึ่งการอธิบายสสารและการเปลี่ยนแปลงของสารซึ่งมีทั้งเหตุการณ์ที่นักเรียนสามารถรับรู้ได้จากการสังเกตและเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในกลไกของการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยประสาทการรับรู้ของนักเรียน ในวิชาเคมีจึงมีการอธิบายปรากฏการณ์ใน 3 ระดับ คือ ระดับมหภาค (Macroscopic level) ระดับจุลภาค (Sub-microscopic level) และระดับสัญลักษณ์ (Symbolic level) (ชาตรี ฝ่ายคำตา. 2560: น. 5) ดังนั้นการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีให้ประสบความสำเร็จ จำเป็นต้องเน้นให้นักเรียนได้เข้าใจและสามารถอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของสารทั้ง 3 ระดับ ดังกล่าวได้ (Johstone, 2000 อ้างถึงใน Jaber & Boujaoude, 2011) นั่นคือต้องให้นักเรียนแสดงความเข้าใจมโนมติวิทยาศาสตร์ในเรื่องนั้นๆ ออกมาให้เห็นเป็นรูปธรรมโดยการให้แสดงออกด้วยการเสนอตัวแทนความคิด (Kozma & Russell, 2005)

ตัวแทนความคิด หมายถึง สิ่งที่ใช้เป็นตัวแทนเพื่อสื่อสารหรือแสดงออกถึงความรู้ความเข้าใจในมโนมติในเรื่องนั้น จากสิ่งที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรม ซึ่งอาจแสดงได้หลายรูปแบบ เช่น คำอธิบาย การบรรยาย การวาดรูป แผนภาพ สมการ กราฟ แบบจำลอง บทบาทสมมติ เป็นต้น (Kozma and Russell, 1997, Hall, 1997 และชาตรี ฝ่ายคำตา, 2563) และ Zare (2002) ได้กล่าวไว้ว่า นักเคมีจะมีตัวแทนความคิดที่ใช้ในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นของสสาร คือตัวแทนความคิดที่เกิดขึ้นภายในจิตใจ (Internal Mental representation) และการแสดงออกของตัวแทนความคิดภายนอกที่เป็นสัญลักษณ์ (External representation) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kozma and Russell (2005) ที่ได้กล่าวถึง ตัวแทนความคิดภายใน (Internal Mental representation) ว่าคือสิ่งที่เป็น มโนมติ (Concept) หลักการ (principles) หรือเรียกว่า แบบจำลองภายในจิตใจ (Mental model) สิ่งเหล่านี้เป็นสภาพความเข้าใจทางเคมีของแต่ละบุคคล เช่นเดียวกันนักเคมีก็จะมีการแสดงความเข้าใจนั้น โดยใช้ตัวแทนความคิดภายนอก (External representation) แสดงออกมาเป็นสัญลักษณ์ เช่น การวาดภาพ การเขียนสมการ การเขียนกราฟและแผนผังต่างๆ เพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นตัวแทนความคิดของเขา

ความสามารถในการเสนอตัวแทนความคิด (Representational competence) เป็นสิ่งที่ใช้ในการอธิบายของบุคคลที่จะสะท้อนออกมาจากการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ซึ่งเป็นความสามารถของบุคคลในการเปลี่ยนแปลงตัวแทนความคิดจากระดับหนึ่งไปยังอีกรูปแบบหนึ่งตามความสัมพันธ์ในแต่ละระดับ ได้แก่ ระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ และสามารถสังเกตและใช้เป็นเครื่องมือในการวัดและประเมินความเข้าใจมโนมติได้ (Kozma &Russell, 1997, Michalchik, Rosenquist, Kozma, Kreikemeier & Schank, 2008)) นั่นคือ การสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับเคมี นักเรียนจะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับมโนมติทางเคมี ในระดับของการแสดงออกทางเคมีหรือระดับของตัวแทนความคิดทางเคมี ในการอธิบายปรากฏการณ์ทางเคมี และการที่จะทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจและสามารถอธิบายความเข้าใจของตนเองโดยการเสนอผ่านตัวแทนความคิดนั้น ครูจะต้องออกแบบกิจกรรมแล้วทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้และสามารถสร้างภาพได้ (Kozma & Russell, 2005)

การเรียนรู้เป็นกระบวนการหนึ่งที่เกิดขึ้นในตัวบุคคล ซึ่งไม่มีทางใดที่จะรู้ได้เลยว่าบุคคลนั้นได้เรียนรู้อะไร แต่ที่จะสามารถรับรู้ได้นั้นจะต้องผ่านกระบวนการการแสดงออก (ประภาพรรณ เอี่ยมสุภาษิต, 2558, น.5) นั่นคือครูผู้สอนจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องค้นหาวิธีการจัดการเรียนรู้และวิธีการต่างๆ ที่จะดึงเอาความคิดความเข้าใจของนักเรียนออกมา และจะต้องทำให้นักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติวิทยาศาสตร์ (Palmeric, 2008) จากการศึกษาพบว่า เทคนิคการเปรียบเทียบ (Analogy Technique) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการอธิบายหรือสื่อความหมายของสิ่งต่างๆ เพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจ นักการศึกษาหลายท่านได้ให้นิยามการอุปมาอุปไมยว่าเป็นกระบวนการหาความเหมือนของแนวคิด 2 แนวคิด โดยแนวคิดแรกคือแนวคิดที่รู้จักหรือคุ้นเคยเรียกว่า แอนะล็อก (Analog) และแนวคิดที่สองคือแนวคิดที่ไม่รู้จักหรือไม่คุ้นเคยว่า เป้าหมาย (Target) ทำให้นักวิทยาศาสตร์ศึกษาเกิดความสนใจในการศึกษารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบโดยเริ่มต้นจาก Glynn (1991) ได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบที่เรียกว่า Teaching-With-Analog (TWA) Model ขึ้นมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการสอนโดยใช้การเปรียบเทียบ และในเวลาต่อมา Treagust, Harrison and Venvilee (1998) ได้พัฒนาเป็นเทคนิคการจัดการเรียนรู้แบบ Focus-Action-Reflection (FAR) Guide Teaching ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1. ขั้นเน้น (Focus) 2.ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action) และ 3. ขั้นสะท้อน (Reflection) ซึ่งในขั้นเน้น (Focus) นั้นเป็นขั้นที่ครูต้องเตรียมก่อนสอน และคำนึงถึงทั้ง 3 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านมโนมติ (Concept) เป็นการวิเคราะห์และคัดเลือกเนื้อหา ลักษณะของเนื้อหาควรเป็นเนื้อหาที่เข้าใจยาก ไม่คุ้นเคยและเป็นนามธรรม 2) ด้านนักเรียน (Student) เป็นการวิเคราะห์นักเรียนว่ารู้อะไรเกี่ยวกับเนื้อหานี้มาก่อนแล้วบ้าง 3) สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) เป็นการ

วิเคราะห์สิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและประสบการณ์ของนักเรียนเพื่อเลือกสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ซึ่งควรเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและรู้จักเป็นอย่างดีหรือพบเห็นในชีวิตประจำวัน ส่วนขั้นลงมือปฏิบัติ (Action) เป็นขั้นที่ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกัน เพื่อหาความเหมือน (Like) และความแตกต่าง (Unlike) ระหว่างสิ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (Analog) กับ มโนมติที่ศึกษา (Target) ซึ่งนักเรียนต้องเปรียบเทียบให้ได้เพื่อป้องกันไม่ให้นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อนไปจากมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific conception) และในขั้นที่ 3) ขั้นสะท้อน (Reflection) เป็นขั้นที่ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับผลการใช้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ว่าสามารถทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาที่เรียนง่ายขึ้น หรือทำให้นักเรียนสับสนมากกว่าเดิม หรือควรเพิ่มเทคนิค วิธีการอื่นในการสอนครั้งต่อไปและพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ วิธีการดังกล่าวจะช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติของวิชาเคมีได้ดีมากขึ้น

ในวิชาเคมีมีมโนมติสำคัญหลายมโนมติที่นักเรียนต้องทำความเข้าใจ มโนมติในเรื่องพันธะเคมี เป็นมโนมติหนึ่งที่เป็นนามธรรมและมีความสำคัญต่อการศึกษาสมบัติของสารและปฏิกิริยาเคมี พันธะเคมีถูกบรรจุไว้ในหลักสูตรวิทยาศาสตร์ทั้งในระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษาและเป็นเนื้อหาพื้นฐานก่อนเรียนเนื้อหาสมดุลเคมี กรดเบส และเคมีอินทรีย์ มโนมติเรื่องพันธะเคมีประกอบด้วยมโนมติหลักคือ การเกิดพันธะไอออนิก การเกิดพันธะโคเวเลนต์ รูปร่างโมเลกุล สภาพขั้วของโมเลกุล แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล การนำไฟฟ้าของสารโครงผลึกร่างตาข่าย การเกิดพันธะโลหะ และการนำไฟฟ้าของโลหะ แต่อย่างไรก็ตาม จากงานวิจัยทางการศึกษา พบว่านักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในเรื่องพันธะเคมีโดยเฉพาะเนื้อหาเกี่ยวกับกฎออกเตต ขั้วของพันธะและโมเลกุล รูปร่างโมเลกุลและแรงระหว่างโมเลกุล (Birk & Abbassian, 1999, Coll & Taylor, 2002, Peterson & Treagust, 1998 อ้างถึงใน ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2563, น. 70 - 71) และพบว่ามโนมติที่คลาดเคลื่อนในเนื้อหาพันธะเคมี นักเรียนไม่สามารถเขียนโครงสร้างแบบจุดเพื่ออธิบายพันธะโคเวเลนต์ซึ่งหมายถึงการเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมเนื่องจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน (นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์, 2557, น. 9) และได้มีงานวิจัยหลาย ๆ เรื่องที่ตรวจสอบมโนมติและมโนมติที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ พันธะโคเวเลนต์ พันธะไอออนิก และพันธะโลหะ ของนักเรียน พบว่า นักเรียนมีความสับสนเกี่ยวกับพันธะโคเวเลนต์และพันธะไอออนิก โดยมีนักเรียนบางคนเชื่อว่าโซเดียมรวมตัวกับคลอรีนด้วยพันธะโควาเลนต์ (Butts & Smith, 1987) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ ณัชธฤต เกื้อทาน และสุดจิต สงวนเรือง (2554, อ้างถึงในชาตรี ฝ่ายคำตา, 2563, น. 70 - 74) ที่พบว่า มโนมติที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียนในเรื่องพันธะเคมี เช่น นักเรียนเข้าใจว่าพันธะภายในสารประกอบโซเดียมคลอไรด์เป็นพันธะไอออนิกชนิดพันธะเดี่ยวเกิดจากธาตุโลหะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนและธาตุอโลหะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเพื่อให้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบแปดตามกฎออก

เตต นักเรียนจำนวนมากเชื่อว่าน้ำทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าในสารละลายไอออนิก และนักเรียนเข้าใจว่าพันธะโคเวเลนต์ที่เกิดจากการรวมตัวของอะตอมของธาตุอโลหะมีจำนวนเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมของธาตุอโลหะนั้น ความเข้าใจมโนมติที่ไม่ถูกต้องดังกล่าวทำให้นักเรียนมีปัญหาในการเรียนรู้มโนมติอื่นๆ ในเรื่องต่อ ๆ มา จึงมีความจำเป็นต้องมีการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาให้นักเรียนมีความเข้าใจที่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ในเนื้อหานั้นๆ สอดคล้องกับที่ชาตรี ฝ่ายคำตา (2559, น. 171) ได้กล่าวว่า นักวิทยาศาสตร์ศึกษาเชื่อว่ามโนมติของนักเรียนเป็นสิ่งสำคัญต่อกระบวนการเรียนการสอน เพราะการรู้มโนมติของผู้เรียนจะเป็นพื้นฐานสำหรับให้ครูใช้ตัดสินใจว่าจะจัดกิจกรรมการเรียนการสอนอย่างไร เพื่อไม่ให้ผู้เรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน

จากการศึกษาพบว่านักการศึกษาได้แบ่งระดับความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ 1) มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Understanding, SU) 2) มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding, PU) 3) มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน (Partial Understanding with specific Misconception, PU & MU) 4) มโนมติคลาดเคลื่อน (Misconception, MU) และ 5) ไม่เข้าใจมโนมติ (No understanding, NU) (Haidar, 1997) และจากงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความเข้าใจมโนมติโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบนั้น พบว่างานวิจัยของ อภิวัฒน์ ศรีกัณหา (2557) ที่ได้ศึกษามโนมติและตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะไอออนิก ของนักเรียน ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติ ซึ่งพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ หลังจากผ่านวิธีการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติที่หลากหลาย ได้แก่ ภาพเคลื่อนไหว (Computer Animations) และการเปรียบอุปมา (Analogy) และสอดคล้องกับงานวิจัยของเฟื่องฟ้า บุญกอง (2558) ที่ได้ศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่มีต่อมโนมติทางวิทยาศาสตร์และความสามารถในการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ก่อนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ส่วนใหญ่มีความเข้าใจมโนมติในระดับคลาดเคลื่อนทุกมโนมติ และไม่มีนักเรียนที่มีความเข้าใจในระดับที่สมบูรณ์ หลังการจัดกิจกรรม พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจระดับสมบูรณ์ และระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ ส่วนความเข้าใจระดับคลาดเคลื่อนของนักเรียนลดลงทุกมโนมติ

การแสดงออกถึงความเข้าใจมโนมติที่สามารถแสดงให้เห็นได้จากการแสดงออกด้วยการเสนอตัวแทนความคิดดังได้กล่าวมานั้นมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน ซึ่งจะเห็นได้จากงานวิจัยของ อภิวัฒน์ ศรีกัณหา (2557) ที่ได้ศึกษามโนมติและตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะไอออนิก ของ

นักเรียน ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติ ซึ่งพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดยสอดคล้องกับระดับความสามารถที่ส่วนใหญ่มีความสามารถของการแสดงออกตัวแทนความคิดอยู่ในระดับที่ 5 ซึ่งความเข้าใจมโนมติและตัวแทนความคิดของนักเรียนมีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกัน กล่าวคือนักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ และมีความสามารถในการแสดงออกของตัวแทนความคิดอยู่ในระดับที่สูง หลังจากผ่านวิธีการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติที่หลากหลาย ได้แก่ ภาพเคลื่อนไหว (Computer Animations) และการเปรียบอุปมา (Analogy) จากงานวิจัยดังกล่าว จะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจในมโนมติที่ศึกษาซึ่งเป็นมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ และช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้เสนอตัวแทนความคิด และนอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาความสามารถของนักเรียนในการแสดงออกด้วยการเสนอตัวแทนความคิดให้อยู่ในระดับที่สูงขึ้นได้

จากความสำคัญและเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำวิจัยในเรื่องนี้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบในรูปแบบ Focus-Action-Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide เป็นตัวแปรอิสระ และความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนเป็นตัวแปรตามในการวิจัยครั้งนี้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

2.2 เพื่อเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

2.3 เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

2.4 เพื่อเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิดเรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

3. สมมติฐานการวิจัย

ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

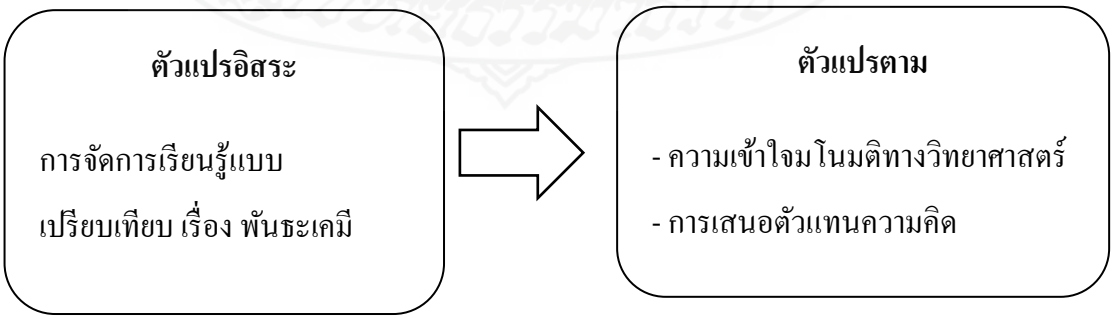
3.2 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

3.3 ความความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์มากกว่าก่อนเรียน

3.4 การเสนอตัวแทนความคิดเรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบสามารถเสนอตัวแทนความคิดได้ในระดับที่สูงขึ้น

4. กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทบทวนเอกสาร ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยได้เลือกใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบตามรูปแบบของ Focus–Action–Reflection (FAR) Guide Teaching (Treagust & Venville, 1998) ที่ได้ปรับมาจาก Teaching-With-Analog (TWA) Model (Glynn, 1991) เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยอันจะส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และส่งเสริมการเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่สูงขึ้น เขียนเป็นแผนภาพได้ดังนี้



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

5. ขอบเขตของการวิจัย

5.1 แบบการวิจัย

รูปแบบการวิจัยในครั้งนี้เป็นแบบการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-experimental Design) แบบแผนวัดก่อนและหลังการทดลอง มีกลุ่มเปรียบเทียบ (Pretest-Posttest Design with Nonequivalent Group)

กลุ่มทดลอง	O_1	X	O_2
กลุ่มควบคุม	O_3		O_4

5.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

5.2.1 ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 86 คน จัดเป็น 3 ห้องเรียน

5.2.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 2 ห้องเรียน จำนวน 53 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม จากนั้นทำการสุ่มอย่างง่ายโดยจับฉลากให้ห้องหนึ่งเป็นกลุ่มทดลอง จำนวน 29 คน อีกห้องหนึ่งเป็นกลุ่มควบคุม จำนวน 24 คน

5.3 ขอบเขตเนื้อหา

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง พันธะเคมี วิชาเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยศึกษาทั้งหมด 10 มโนมติ ดังนี้ กฎออกเตต การเกิดพันธะไอออนิก โครงสร้างสารประกอบไอออนิก การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ และการเกิดพันธะโลหะ

5.4 ตัวแปรที่ศึกษา

5.4.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

5.4.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด

6. นิยามศัพท์เฉพาะ

6.1 การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้การเปรียบเทียบความเหมือนและความต่างของคุณลักษณะระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ซึ่งเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยกับมโนมติเป้าหมาย (Target) ซึ่งเป็นมโนมติทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนต้องศึกษา โดยใช้รูปแบบของ Focus–Action–Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

6.1.1 ขั้นเน้น (Focus) เป็นขั้นที่ครูต้องตัวเตรียมก่อนสอน และคำนึงถึงทั้ง 3 ด้าน ดังนี้

1) ด้านมโนมติ (Concept) เป็นการวิเคราะห์และคัดเลือกเนื้อหา ลักษณะของเนื้อหาควรเป็นเนื้อหาที่เข้าใจยากไม่คุ้นเคยและเป็นนามธรรม

2) ด้านนักเรียน (Student) เป็นการวิเคราะห์นักเรียนว่ารู้อะไรเกี่ยวกับเนื้อหานี้มาก่อนแล้วบ้าง

3) สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) เป็นการวิเคราะห์สิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและประสบการณ์ของนักเรียนเพื่อเลือกสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ(Analog) ซึ่งควรเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและรู้จักเป็นอย่างดีหรือพบเห็นในชีวิตประจำวัน

6.1.2 ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action) เป็นขั้นที่ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกัน เพื่อหาความเหมือนและความแตกต่าง ระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับ มโนมติที่ศึกษา (Target) ซึ่งนักเรียนต้องเปรียบเทียบให้ได้เพื่อป้องกันไม่ให้นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อนไปจากมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังนี้

1) ความเหมือน ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อหาส่วนที่เหมือนกันระหว่าง สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับ มโนมติที่ศึกษา (Target) และอธิบายได้ว่าเหมือนกันอย่างไร

2) ความแตกต่าง ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อหาส่วนที่แตกต่างกันระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับ มโนมติที่ศึกษา (Target) และอธิบายได้ว่าแตกต่างกันอย่างไร

3) ขั้นสะท้อน (Reflection) เป็นขั้นที่ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับผลการใช้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบว่าสามารถทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาที่เรียนง่ายขึ้นหรือทำให้นักเรียนสับสนมากกว่าเดิม หรือควรเพิ่มเทคนิค วิธีการอื่นในการสอนครั้งต่อไปและ

พิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) มาใช้อธิบายด้วย ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังนี้

(1) การสรุป (Conclusion) เป็นการสะท้อนผลที่เกิดจากการใช้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ทำให้นักเรียนเข้าใจชัดเจนหรือไม่ มีประโยชน์อย่างไร หรือทำให้เกิดความสับสนอย่างไร

(2) การปรับปรุง (Improvement) เป็นการวิเคราะห์ว่ามีอะไรบ้างที่ต้องปรับปรุง และปรับปรุงอย่างไรเพื่อให้ได้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่เหมาะสมในการสอนครั้งต่อไป

6.2 การจัดการเรียนรู้แบบปกติ หมายถึง การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางในคู่มือครูวิชาเคมี เล่ม 1 ของ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีการจัดการเรียนรู้ คือ ทบทวนความรู้เดิม หรือตรวจสอบความรู้เดิมเพื่อเชื่อมโยงการเรียนรู้ในเนื้อหาใหม่ และเปิดประเด็นการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์ ตัวอย่างในชีวิตประจำวัน สื่อต่างๆ เช่น ภาพ คลิปวิดีโอ แหล่งเรียนรู้ออนไลน์ ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ใช้การบรรยาย ใช้สื่อประกอบการเรียน เช่น power point คลิปวิดีโอ สื่อออนไลน์ ปฏิบัติการเคมี การศึกษาค้นคว้าจากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ การอภิปรายผลจากการศึกษาค้นคว้า และสรุปมโนมติที่ศึกษาโดยการใช้คำถาม ตัวอย่างหรือสถานการณ์เพื่อตรวจสอบความเข้าใจหรือขยายความรู้

6.3 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความคิด ความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องพันธะเคมี ที่เกิดจากการสังเกตหรือได้รับประสบการณ์จนเกิดการรับรู้ เกิดการคิดวิเคราะห์ แล้วสรุปเป็นความเข้าใจของนักเรียนตามแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นที่ยอมรับ ในเรื่องพันธะเคมี ซึ่งมีทั้งหมด 10 มโนมติ ได้แก่ กฎออกเตต การเกิดพันธะไอออนิก โครงสร้างสารประกอบไอออนิก การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ และการเกิดพันธะโลหะ โดยใช้เกณฑ์การจัดระดับความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ตามแนวทางของ Haidar (1997) ดังนี้

6.3.1 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Understanding, SU) คือ คำตอบของนักเรียนที่แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์ทุกองค์ประกอบ

6.3.2 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding, PU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงว่ามีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ

6.3.3 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน (Partial Understanding with specific Misconception, PU & MU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงว่ามีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบและบางส่วนที่ไม่สอดคล้องหรือคลาดเคลื่อนจากมโนมติทางวิทยาศาสตร์

6.3.4 มโนมติคลาดเคลื่อน (Misconception, MU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงมโนมติที่ไม่สอดคล้องหรือคลาดเคลื่อนจากมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและไม่สอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์

6.3.5 ไม่เข้าใจมโนมติ (No understanding, NU) คือ การที่นักเรียนไม่ตอบคำถามตอบคำถามในลักษณะทวนคำถามหรือตอบคำถามไม่ตรงประเด็น

6.4 การเสนอตัวแทนความคิด หมายถึง ความสามารถที่นักเรียนแสดงออกมาเป็นตัวแทนเพื่อสื่อสารหรือแสดงออกถึงความรู้ความเข้าใจ จากสิ่งที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรม ซึ่งอาจแสดงได้หลายรูปแบบ เช่น การอธิบาย การบรรยาย การวาดรูป แผนภาพ กราฟ สมการ แบบจำลอง บทบาทสมมติ เพื่อแสดงความรู้ความเข้าใจในเรื่องพันธะเคมี ซึ่งมีทั้งหมด 10 มโนมติ ได้แก่ กฎออกเตต การเกิดพันธะไอออนิก โครงสร้างสารประกอบไอออนิก การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ และการเกิดพันธะโลหะ โดยวัดความสามารถในการเสนอตัวแทนความคิดตามแนวคิดของ Kozma and Russell (1997) และ Michalchik et al. (2008) 5 ระดับดังนี้ 1) การเสนอตัวแทนความคิดโดยการบรรยายให้เห็นภาพ 2) การเสนอทักษะสัญลักษณ์ระดับต้น 3) การสร้างประโยคของรูปแบบตัวแทนความคิด 4) การให้ความหมายของรูปแบบตัวแทนความคิด และ 5) การสะท้อนถึงการใช้ตัวแทนความคิด

7. ประโยชน์ที่ได้รับ

7.1 ได้แนวทางสำหรับครูในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเพื่อพัฒนาความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และส่งเสริมการเสนอตัวแทนความคิดในวิชาเคมีเรื่องอื่น ๆ ที่มีเนื้อหาเป็นนามธรรม

7.2 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบสามารถพัฒนาผู้เรียนให้เกิดความเข้าใจในมโนมติทางวิทยาศาสตร์ จะเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง ผลการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี ที่มีต่อความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนลองวิทยา จังหวัดแพร่ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ
   - 1.1 ความหมายและความเป็นมาของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ
   - 1.2 ทฤษฎีการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ
   - 1.3 สมองกับการเรียนรู้
   - 1.4 องค์ประกอบ/ขั้นตอนสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ
   - 1.5 บทบาทของครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ
   - 1.6 การใช้สิ่งเปรียบเทียบในวิชาเคมี
   - 1.7 ประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ
2. มโนมติทางวิทยาศาสตร์
   - 2.1 ความหมาย และองค์ประกอบของมโนมติ
   - 2.2 ความหมายและประเภทของมโนมติทางวิทยาศาสตร์
   - 2.3 มโนมติที่คลาดเคลื่อน เรื่อง พันธะเคมี
   - 2.4 มโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่อง พันธะเคมี
   - 2.5 การวัดและประเมินความเข้าใจมโนมติ
   - 2.6 การสร้าง การหาคุณภาพเครื่องมือวัด และการประเมินมโนมติทางวิทยาศาสตร์
3. ตัวแทนความคิด
   - 3.1 ความหมายและวิธีการเสนอตัวแทนความคิด
   - 3.2 ประเภทและระดับของตัวแทนความคิด
   - 3.3 การวัดและประเมินความสามารถของการเสนอตัวแทนความคิด
   - 3.4 การสร้าง การหาคุณภาพเครื่องมือวัด และการประเมินความสามารถ
   - 3.5 การเสนอตัวแทนความคิด
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
   - 5.1 งานวิจัยในประเทศ
   - 5.2 งานวิจัยต่างประเทศ

1. การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

จากการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ได้เรียบเรียงและนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้ ความหมายและความเป็นมาของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ทฤษฎี

การเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ สมองกับการเรียนรู้ องค์ประกอบ/ขั้นตอนสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ บทบาทของครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบในวิชาเคมี และประโยชน์ของ

การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ รายละเอียดมีดังนี้

1.1 ความหมายและความเป็นมาของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

1.1.1 ความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

มีนักการศึกษาและผู้วิจัยได้ใช้คำเกี่ยวกับคำว่าการเปรียบเทียบ ได้แก่ การอุปมาอุปไมย และแนวเทียบ ซึ่งงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้คำว่า การเปรียบเทียบ

นักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ใช้เทคนิคการเปรียบเทียบ ไว้ดังนี้

Glynn (1994) และ Treagust et. al. (1998) ที่กล่าวว่าการเปรียบเทียบเป็นกระบวนการพิจารณาความเหมือนกันระหว่างมโนมติ 2 มโนมติที่แตกต่างกัน โดยมโนมติแรกเป็นมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบหรือคุ้นเคย เรียกว่า Analog และมโนมติที่สอง เป็นมโนมติเป้าหมายหรือไม่คุ้นเคย เรียกว่า Target ซึ่งมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบไปสู่มโนมติใหม่เป็นการวิเคราะห์หาคุณลักษณะ (Attribute) ที่เหมือนกันระหว่างมโนมติทั้งสอง เพื่อทำความเข้าใจมโนมติใหม่โดยใช้ความรู้พื้นฐานจากมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ และยังเป็นการวิเคราะห์หาคุณลักษณะที่มโนมติทั้งสองไม่เหมือนกัน ซึ่งสอดคล้องกับชาตรี ฝ่ายคำตา (2560: 35) และพัชรี ร่มพะยอม วิชัยดิษฐ (2561: น. 128) ที่กล่าวว่า การเปรียบเทียบ เป็นกระบวนการที่มนุษย์ใช้ในการสื่อสารเพื่อเทียบเคียงสิ่งที่รู้จักหรือเป็นที่คุ้นเคยอยู่แล้ว กับสิ่งใหม่ที่ยังไม่เป็นที่เข้าใจ ได้กล่าวว่าการเปรียบเทียบ เป็นกระบวนการหาความเหมือนของแนวคิด 2 แนวคิด คือ แนวคิดที่รู้จักหรือคุ้นเคยซึ่งเรียกว่า สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) และแนวคิดที่ไม่รู้จักหรือไม่คุ้นเคย เรียกว่า เป้าหมาย (Target)

สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เป็นกระบวนการหาความเหมือนและความต่างของคุณลักษณะระหว่างมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบหรือสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ซึ่งเป็นสิ่งที่คุ้นเคยกับมโนมติที่ไม่คุ้นเคยหรือมโนมติเป้าหมาย (Target) ซึ่งเป็นมโนมติที่ต้องการศึกษา

1.1.2 ความเป็นมาของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีต้นกำเนิดจากปัญหาที่เกี่ยวข้องกับลักษณะเฉพาะของวิชาเคมีที่มุ่งเน้นอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของสารและการเปลี่ยนแปลงของสสาร เป็นวิชาที่มีเนื้อหาเป็นนามธรรม ดังนั้นในการอธิบายสสารและการเปลี่ยนแปลงของสารจึงมักมีการอธิบายปรากฏการณ์ใน 3 ระดับ คือ ระดับมหภาค (Macroscopic level) ระดับจุลภาค (Sub-microscopic level) และระดับสัญลักษณ์

(Symbolic level) (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2560) ซึ่งคำอธิบายส่วนใหญ่ไม่ได้อยู่ในระดับที่นักเรียนจะสังเกตเห็นได้ เช่น อะตอมหรือโมเลกุล โดยนักเรียนต้องสามารถสร้างคำอธิบายในระดับอะตอมหรือโมเลกุล จึงอาจทำให้นักเรียนไม่สามารถสร้างภาพได้ และไม่สามารถทำความเข้าใจแนวคิดหลักทางเคมีได้ (พัชรี ร่มพะยอม วิชัยดิษฐ์, 2561, น. 1) นำมาสู่แนวคิดของ Gafoor and Shiln (2013, อ้างถึงใน รัตนเกล้า ประดิษฐ์ด้วง, 2562) ที่ได้กล่าวว่านักวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับวิชาเคมีได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกลยุทธ์ต่างๆ เพื่อค้นหาวิธีที่จะช่วยอำนวยความสะดวกแก่นักเรียนในการเรียนรู้วิชาเคมีได้ดีที่สุด พบว่าสิ่งที่เป็นปัญหาสำหรับนักเรียนคือการทำความเข้าใจเนื้อหาตั้งแต่ส่วนพื้นฐานของวิชาเคมี เนื่องจากนักเรียนไม่คุ้นเคยกับมโนมติใหม่ในวิชาเคมีและการจัดการเรียนการสอนไม่น่าสนใจ ส่งผลให้เกิดปัญหาในการถ่ายทอดมโนมติที่ไม่คุ้นเคยแก่นักเรียน อีกทั้งการจัดการเรียนการสอนไม่เหมาะสมในการดึงเอาความรู้เดิมของนักเรียนออกมาได้ ทำให้นักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงมโนมติใหม่กับความรู้เดิมของนักเรียนได้ ซึ่งสอดคล้องกับชาตรี ฝ่ายคำตา (2560, น. 34) ที่ได้กล่าวว่า การเปรียบเทียบมักใช้บ่อยๆ ในการอธิบายหรือสื่อความหมายของสิ่งต่างๆ เพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจเพราะการเปรียบเทียบเป็นกระบวนการหนึ่งที่มนุษย์ใช้เพื่อสื่อสาร ซึ่งสอดคล้องกับ ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการใช้การเปรียบเทียบ เนื่องจากเป็นเทคนิคในการเชื่อมโยงมโนมติกับสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคย Harrison and Treagust (2006)ได้ยกตัวอย่างในการใช้การเปรียบเทียบ เช่น Huygens อธิบายว่าแสงมีพฤติกรรมเหมือนกับคลื่นโดยเปรียบเทียบแสงกับคลื่นของน้ำ และ Kekule ได้อธิบายลักษณะของวงแหวนเบนซีนว่าเปรียบเหมือนงูที่กำลังกัดหางตัวเอง สำหรับการจัดการเรียนรู้เคมีครูก็ใช้การเปรียบเทียบในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เช่น ครูอาจยกตัวอย่างความสูงของภูเขาเปรียบเหมือนพลังงานก่อกัมมันต์ การที่ครูใช้การเปรียบเทียบก็เพื่อช่วยให้นักเรียนเห็นภาพในแนวคิดที่เป็นนามธรรม ช่วยให้นักเรียนเปรียบเทียบโลกแห่งความเป็นจริงของตนเองกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์และช่วยกระตุ้นให้นักเรียนสนใจเรียน (James & Sharmann, 2007; Treagust et al., 1998 อ้างถึงใน ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2560, น. 34)

จากการศึกษารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบนั้นเริ่มต้นจาก Glynn (1991) ได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบที่เรียกว่า Teaching-With-Analog (TWA) Model ขึ้นมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการสอนโดยใช้การเปรียบเทียบและเป็นแนวทางให้ผู้เขียนตำราวิชาการใช้ในการเขียนอธิบายโดยใช้การเปรียบเทียบ ซึ่งมีขั้นตอนในการสอนอยู่ 6 ขั้น ดังนี้ 1) แนะนำมโนมติเป้าหมาย 2) นำเสนอแนวคิดที่นักเรียนคุ้นเคยจากประสบการณ์ที่นักเรียนเคยพบเจอ 3) ระบุคุณลักษณะระหว่างมโนมติเป้าหมายกับมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ 4) เชื่อมโยงความเหมือนกันระหว่างมโนมติเป้าหมายกับมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ 5) ชี้ให้เห็นความแตกต่างระหว่างมโนมติเป้าหมายกับมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ 6) เขียนแผนภาพเพื่อสรุประหว่างมโนมติเป้าหมายกับมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

และเนื่องจากการเปรียบเทียบถือว่าเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ แต่บางครั้งการใช้การเปรียบเทียบก็เป็นเหมือนดาบสองคม คือแทนที่จะทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้เกี่ยวกับแนวคิดวิทยาศาสตร์มากขึ้นแต่บางครั้งอาจเพิ่มความสับสนให้กับนักเรียน ซึ่งสาเหตุที่ทำให้นักเรียนเกิดความสับสนนั้น ประการแรกอาจเกิดจากนักเรียนตีความสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) แตกต่างไปจากสิ่งที่ครูคาดหวัง ประการที่สอง นักเรียนไม่คุ้นเคยกับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่ครูใช้ ประการสุดท้ายคือ ครูไม่ได้เน้นให้นักเรียนเห็นว่าสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) และมโนมติที่ศึกษา (Target) นอกจากจะมีสิ่งที่เหมือนกันแล้วยังมีสิ่งที่แตกต่างกันด้วย (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2560: น. 35) ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว Treagust et al. (1998) จึงได้พัฒนาเป็นเทคนิคการจัดการเรียนรู้แบบ Focus-Action-Reflection (FAR) Guide Teaching ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นเน้น (Focus) 2) ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action) และ 3) ขั้นสะท้อน (Reflection)

จากการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นมาของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบจะเห็นว่า การเปรียบเทียบได้ถูกนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในเนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรมเละในวิชาเคมีเองก็เช่นกันที่เนื้อหาโดยส่วนใหญ่เป็นนามธรรม ยากต่อการเข้าใจ ซึ่งการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบนี้ใช้สิ่งเปรียบเทียบ (Analog) ซึ่งเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคย พบเห็นในชีวิตประจำวัน แล้วเชื่อมโยงกับมโนมติที่นักเรียนไม่คุ้ยเคย การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ แต่บางครั้งกลับทำให้นักเรียนเกิดความสับสน จึงได้มีการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยพัฒนาเป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ Focus-Action-Reflection (FAR) Guide Teaching ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นเน้น (Focus) 2) ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action) และ 3) ขั้นสะท้อน (Reflection)

1.2 ทฤษฎีการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

จากการศึกษาทฤษฎีการเรียนรู้พบว่ามีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ได้แก่ ทฤษฎีการสร้างสรรค์ความรู้ โดยกิ่งฟ้า สินธุวงษ์ และสุจินต์ วิศวธีรานนท์ (2556, น.112 – 120) และพัชรี ร่มพะยอม วิชัยดิษฐ์ (2561, น. 11 – 12) กล่าวว่า ทฤษฎีการสร้างสรรค์ความรู้ (Constructivism) มีรากฐานมาจากทฤษฎีการเรียนรู้ในกลุ่มพุทธนิยมหรือสาระนิยม ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับภาวะของกระบวนการรู้คิดซึ่งเป็นการทำงานของสมองโดยใช้วิธีการต่าง ๆ กระทำกับข้อมูลที่เข้ามาในโสตสัมผัส ก่อให้เกิดการคิด ความรู้สึก จินตนาการ และการกระทำในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้เกิดการเรียนรู้จนได้ประสบการณ์ คือ องค์ความรู้ที่สามารถนำไปใช้ได้ ลักษณะของนักเรียนที่สามารถสร้างความรู้โดยจัดระบบความรู้และนำความรู้ไปใช้อย่างคงทนและพัฒนาความรู้นั้นอย่างไม่หยุดยั้ง ซึ่งแนวคิดของเพียเจต์และวีก็อตสกี มีอิทธิพลต่อการให้ความหมายของการเรียนรู้ ซึ่งมีแนวคิดสำคัญคือ การที่นักเรียนพัฒนาความเข้าใจในการเรียนรู้ที่เกิดจากการสัมผัสและมีความสัมพันธ์กับประสบการณ์ตรงโดยนักเรียนเอง ซึ่งทั้งแนวคิดของเพียเจต์และวีก็อตสกีเชื่อว่าความรู้ไม่ได้อยู่ภายนอกตัวนักเรียน แต่

ความรู้จะต้องถูกสร้างขึ้นภายในตัวของนักเรียน เพราะการเรียนรู้ไม่ใช่การท่องจำสิ่งที่ผู้อื่นบอก แต่การเรียนรู้เป็นการสร้างความเข้าใจในความรู้ด้วยตนเอง และผ่านใช้กระบวนการทางสังคมที่ให้คำอธิบายในความรู้นั้นๆ ดังนั้นความรู้จึงขึ้นอยู่กับการเรียนรู้โดยนักเรียนสร้างความเข้าใจในความรู้นั้นๆ ซึ่งสรุปได้ว่าทฤษฎีการสร้างความรู้นี้อธิบายการเรียนรู้ว่า เป็นกระบวนการที่นักเรียนสร้างองค์ความรู้หรือความหมายของบางสิ่งด้วยตนเองผ่านปฏิสัมพันธ์กับสังคม โดยที่ความรู้ไม่ได้อยู่ภายนอกตัวบุคคล แต่บุคคลสามารถสร้างองค์ความรู้ได้จากการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมและการมีประสบการณ์ตรงของบุคคล ดังจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป ดังนี้

1.2.1 Cognitive Constructivism ตามแนวคิดของเพียเจต์

ตามแนวคิดของเพียเจต์ การเรียนรู้หมายถึง การแปลรูปความเป็นจริงที่นักเรียนค้นพบ โดยการสร้างความเข้าใจที่มีความหมายต่อตนเอง ดังนั้น การสร้างความรู้ จึงอธิบายได้ว่าคนเราเรียนรู้ได้อย่างไร โดยมีข้อมูลประกอบพร้อมกับพฤติกรรมการตอบสนองและเหตุผลของการเรียนรู้ที่แสดงถึงความคิดความเข้าใจ จากการใช้สติปัญญา และความรู้สึกต่อสิ่งนั้นๆ ทั้งนี้จิตใจของบุคคลแต่ละคนมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเพื่อการปรับตัวของโครงสร้างทางสติปัญญาที่มีอยู่เดิม และเพิ่มความซับซ้อนขึ้นเรื่อยๆ โดยใช้กระบวนการดูดกลืนและกระบวนการปรับให้เหมาะสมเพื่อสร้างประสบการณ์ ทำให้บุคคลมีพัฒนาการทางความคิด จิตใจ และสติปัญญา วิธีการเรียนรู้จากประสบการณ์ดังกล่าวทำให้นักเรียนสร้างสมความรู้ความเข้าใจไว้เป็นพื้นฐาน โดยเพิ่มความซับซ้อนและความแข็งแรงของโครงสร้างทางสติปัญญาที่จะเสริมต่อความรู้ที่มีนั้นได้ตลอดเวลา

1.2.2 Social Constructivism ตามแนวคิดของวีก๊อตสกี

วีก๊อตสกี มีแนวคิดเรื่องการสร้างความรู้ที่ให้ความสำคัญกับบริบทของสังคมและวัฒนธรรม รวมทั้งประวัติความเป็นมาของบุคคลที่ทำให้เขาถูกมองว่าเป็นผู้สร้างความเข้าใจบนหลักการของสร้างความรู้ทางสังคม ที่มีความคิดเห็นสอดคล้องกับเพียเจต์หลายประเด็นสำคัญในเรื่องการเรียนรู้ของนักเรียน แต่มีจุดเน้นมากกว่าในเรื่องของสังคมและวัฒนธรรม รวมทั้งประวัติความเป็นมาของนักเรียนที่เกี่ยวข้องในการเรียนรู้

แนวคิดของวีก๊อตสกี มีหลักการสำคัญ ดังนี้

1) สิ่งที่นักเรียนทำได้วันนี้โดยการช่วยเหลือแนะนำจากครู พ่อแม่และ/หรือเพื่อนๆ จะเป็นสิ่งที่เขาทำได้ด้วยตนเองในวันรุ่งขึ้นต่อไปและ/หรือในอนาคต

2) การเจริญเติบโตและพัฒนาการทางสติปัญญาของนักเรียนเป็นการเปลี่ยนแปลงจากการที่ผู้อื่นช่วยปรับตัวให้ โดยใช้ความช่วยเหลือที่อยู่ภายนอกตัวนักเรียนไปสู่การปรับตัวภายในโดยตัวของนักเรียนเอง

3) การเรียนการสอนเป็นกระบวนการทางสังคมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีวิธีคิด การปฏิบัติและความรู้สึกใหม่ๆ ต่อสิ่งที่เขาเรียนรู้และมีปฏิสัมพันธ์ด้วย

4) การเรียนการสอนช่วยให้นักเรียนพัฒนาความสามารถในการสร้างความเข้าใจด้วยตนเอง ดังนั้น การเรียนการสอนจึงเป็นแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้นักเรียนมีพัฒนาการทางสติปัญญาและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

5) ครูที่มีประสิทธิภาพจะต้องพัฒนานักเรียนโดยการจัดการเรียนการสอนที่คิดถึงอนาคตตลอดเวลา ทำให้นักเรียนมุ่งสู่อนาคตไม่ใช่ให้เขาอยู่กับที่เดิมหรือสิ่งที่ผ่านมาเท่านั้น

นอกจากนั้นวีก๊อสกียังแสดงความคิดเห็นว่า การเรียนรู้ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นผ่านกระบวนการทางสังคมในบรรยากาศและการดำเนินการที่มีการแลกเปลี่ยน ไม่ใช่เพราะนักเรียนทำได้เองเท่านั้น แต่เขาต้องใช้ชุมชนและสังคมเป็นตัวหลักช่วยให้เขาได้มีโอกาสริเริ่ม ต่อรอง แลกเปลี่ยน จนเกิดการสร้างความเข้าใจในการเรียนรู้นั้น ไม่เพียงแต่เป็นการสร้างความรู้ความเข้าใจด้วยตนเองแต่เป็นการร่วมสร้างสรรค์ให้เกิดความเข้าใจในการเรียนรู้ วีก๊อตสกีมองการสร้างความรู้ว่ามีพื้นฐานความคิดในมุมมองของบริบททางสังคมและวัฒนธรรมเป็นสิ่งแวดล้อมที่สำคัญเป็นหลัก ดังนั้น การเรียนรู้จึงเป็นการสร้างความหมายของสิ่งที่เรียนรู้โดยการช่วยเหลือของผู้ที่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันและการสร้างความเข้าใจร่วมกัน วีก๊อตสกีมีหลักการที่มีความเห็นร่วมกับเพียเจต์ คือ เรื่องของการปรับความรู้ความเข้าใจด้วยตนเองที่เน้นเรื่องของการให้คุณค่าในการเป็นสมาชิกของกลุ่มและการแลกเปลี่ยนที่มีลักษณะของความช่วยเหลือและความร่วมมือ และการผลิตงานร่วมกัน มีการสนับสนุนที่ยืดหยุ่นโดยผ่านการปฏิบัติงานการเรียนรู้ที่ใช้เครื่องมือในการเรียนรู้หลายทางเป็นตัวช่วย ได้แก่ การมีส่วนร่วมที่มีการช่วยเสริมต่อในการเรียนรู้ (Scaffolding) การสนทนาที่มีผู้ชี้นำ การทำให้ผลการเรียนรู้ชัดเจน โดยการที่นักเรียนเริ่มต้นจากการพึ่งพาไปสู่การทำได้ด้วยตนเอง ซึ่งเขาจะทำได้โดยผ่านการปรับความเข้าใจและการควบคุมกำกับการด้วยตนเองอย่างมั่นใจในที่สุด

ซึ่งทฤษฎีการสร้างสรรค์ความรู้ทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ Cognitive Constructivism ตามแนวคิดของเพียเจต์ และ Social Constructivism ตามแนวคิดของวีสก๊อตกียังคงมองว่า นักเรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการแปลความหมายข้อมูลใหม่โดยใช้ความรู้หรือประสบการณ์เดิม ทั้งนี้หมายรวมถึงความรู้ ความเชื่อ วัฒนธรรม หรือประสบการณ์เดิมของนักเรียนที่ส่งผลกระทบต่อการแปลความหมายของข้อมูลใหม่

การเรียนรู้ตามทัศนะของทฤษฎีนี้ นักเรียนไม่ใช่เป็นเพียงผู้รับข้อมูลอย่างเดียวเท่านั้น (Passive learner) แต่ยังเป็นผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ของตนเองอย่างกระตือรือร้น (Active learner) เป็นผู้สร้างความหมายหรือองค์ความรู้ผ่านปฏิสัมพันธ์ทางสังคม ครูทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยการความสะดวกเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ ครูยังต้องออกแบบการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้บูรณาการทั้งทักษะ (Skill) และความรู้ (Knowledge) เพื่อประยุกต์ใช้ในบริบทจริงหรือในสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน เพื่อให้นักเรียนได้ขยายขอบเขตการเรียนรู้ของตนเองให้เต็มศักยภาพ การเรียนรู้ในลักษณะนี้จะเน้นไปที่การแก้ปัญหาหรือการประยุกต์ใช้ความรู้ในบริบทจริง และเน้นความรู้ที่เป็นองค์รวมมากกว่าที่จะเป็นแนวคิดที่แตกย่อย

จากทฤษฎีการสร้างสรรค์ความรู้ตามแนวคิดของเพียเจต์และวีก๊อตสกี การจัดการเรียนรู้โดยใช้ทฤษฎีสร้างความรู้ จะให้ความหมายต่อการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน โดยเน้นว่า การเรียนรู้เป็นการทำความเข้าใจส่วนตัวของนักเรียนในเรื่องหรือสิ่งที่เรียนรู้ ทำให้นักเรียนสามารถจัดการสิ่งที่เรียนรู้และแปลความหมายได้ โดยมีการจัดกระทำกับข้อมูลและสร้างเป็นความเข้าใจ มีการทบทวนและจัดทำเป็นสิ่งที่ได้ค้นพบเพื่อนำเสนอให้ผู้อื่นได้เรียนรู้แลกเปลี่ยน และเกิดเป็นการสร้างองค์ความรู้ร่วมกัน ซึ่ง Cognitive Constructivism มุ่งเน้นลักษณะทางพุทธิปัญญาของแต่ละบุคคลที่ส่งผลต่อการเรียนรู้ ส่วน Social Cognitivism ให้ความสำคัญกับการสร้างความหมายความเข้าใจของเรื่องบางเรื่องว่าเกิดขึ้นได้อย่างไรผ่านการปฏิสัมพันธ์เชิงสังคม

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า หากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบที่มีรูปแบบการปฏิบัติกิจกรรมโดยนักเรียนจะสามารถจัดการสิ่งที่เรียนรู้โดยใช้กระบวนการดูดกลืนและกระบวนการปรับให้เหมาะสมกับความรู้ ประสบการณ์เดิมแล้วสร้างเป็นความเข้าใจด้วยตนเองจากสิ่งที่ได้ค้นพบคือได้เชื่อมโยงสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ซึ่งเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยกับมโนมติที่ศึกษา (Target) ซึ่งเป็นมโนมติที่นักเรียนไม่คุ้นเคย เป็นสิ่งใหม่ที่นักเรียนต้องเรียนรู้ ผ่านการปฏิสัมพันธ์กับนักเรียนในกลุ่มเดียวกัน โดยร่วมกันอภิปรายและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นภายในกลุ่มของตนเอง ตลอดจนได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ผลงานของกลุ่มอื่น สามารถสร้างองค์ความรู้ร่วมกันได้ทำให้เป็นการเรียนรู้ที่มีความหมาย

1.3 สมองกับการเรียนรู้

จากการศึกษาเกี่ยวกับสมองกับการเรียนรู้ซึ่งมีความเกี่ยวข้องต่อการทำงานของสมองต่อการเชื่อมโยงสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analogy) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) เพื่อเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างได้ ผู้วิจัยได้เรียบเรียงและนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้ คือ ความสำคัญของสมองกับการเรียนรู้และการทำงานของสมอง รายละเอียดมีดังนี้

1.3.1 ความสำคัญของสมองกับการเรียนรู้

พรพิไล เลิศวิชาและอัครภูมิ จารุภากร. (2550) ได้กล่าวถึงความสำคัญของสมองกับการเรียนรู้ สรุปได้ดังนี้

สมองของมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์สมองที่เรียกว่า นิวรอน (Neuron) มีหน้าที่รับสัญญาณและส่งสัญญาณเชื่อมโยงกันระหว่างเซลล์ และเซลล์สมองแต่ละเซลล์ประกอบด้วยตัวเซลล์ (Cell body) มีเดนไดรท์ (Dendrite) ที่มีหน้าที่รับสัญญาณข้อมูลเข้าสู่ตัวเซลล์และส่งสัญญาณข้อมูลไปยังใยประสาทเอกซอน (Axon) เพื่อให้สัญญาณข้อมูลต่างๆ นั้นเชื่อมโยงกัน ตัวเซลล์หนึ่งจะเชื่อมโยงติดต่อกับเซลล์อื่น ๆ เกิดเป็นวงจรขึ้นมา และยิ่งวงจรเกิดขึ้นมากเท่าใดสมองก็จะเกิดการรู้มากขึ้นเท่านั้น ซึ่งการเรียนรู้ (Learning) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีเซลล์สมอง 2 เซลล์ขึ้นไปทำการเชื่อมต่อกันอย่างสำเร็จ โดยเซลล์สมองจะทำการเก็บข้อมูลต่าง ๆ จากการใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 (ตา หู จมูก ลิ้น และผิวกาย) เชื่อมต่อกันเป็นวงจร นั่นคือ หากนักเรียนได้ฝึกฝนและปฏิบัติกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์มากเท่าใด เซลล์สมองของ

นักเรียนก็มีการเชื่อมต่อกันมากขึ้นเท่านั้น แต่หากนักเรียนไม่มีโอกาสหรือมีโอกาสน้อยในการฝึกฝนหรือปฏิบัติกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์การเชื่อมต่อของเซลล์สมองของนักเรียนก็จะมีโอกาสน้อยในการเรียนรู้ในวิทยาศาสตร์น้อยลงเช่นกัน

จะเห็นได้ว่าหากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ จะทำให้นักเรียนได้ฝึกฝนจากการลงมือปฏิบัติกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์และการเชื่อมโยงสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) เพื่อเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างทำให้เซลล์สมองของนักเรียนมีการเชื่อมโยงกันเป็นวงจรมากขึ้น นั่นคือสมองของนักเรียนก็จะเกิดการเรียนรู้มากขึ้นเท่านั้น

1.3.2 การทำงานของสมอง

พรพิไล เลิศวิชาและอัครภูมิ จารุภากร (2550) ได้กล่าวถึงการทำงานของสมอง สรุปได้ดังนี้

สมองในส่วนสมองใหญ่ (cerebrum) และส่วนสมองน้อย (Cerebellum) มีการทำงาน ดังนี้

สมองใหญ่ (cerebrum) การทำงานของสมองใหญ่ประกอบด้วยสมองส่วนหน้า (Prefrontal) สมองส่วนรับสัมผัส สมองส่วนรับภาพ และสมองส่วนรับเสียง โดยสมองส่วนหน้ามีหน้าที่สำคัญในการคิด การตัดสินใจ และการใช้เหตุผล โดยนำข้อมูลที่เก็บไว้ในส่วนต่างๆ มาประมวลผล (Process) และจัดระบบข้อมูลเหล่านั้นเก็บภายในสมองของนักเรียน อาจเรียกสมองส่วนหน้าว่า สมองส่วนคิด (Thinking brain) ซึ่งการเรียนรู้และการจดจำของนักเรียนเกิดจากการเชื่อมโยงของสมองซีกซ้ายและสมองซีกขวา ส่วนฮิบโปแคมปัส (Hippocampus) มีหน้าที่ช่วยจัดการให้สมองจดจำ โดยข้อมูลต่างๆ ที่เก็บรวบรวมจะถูกบันทึกเป็นความทรงจำและเก็บไว้เป็นความจำในระยะยาว (Long term memory) โดยที่ฮิบโปแคมปัสจะเลือกบันทึกเฉพาะข้อมูลที่สมองของนักเรียนสนใจหรือนักเรียนได้ปฏิบัติทำอย่างช้า ๆ เท่านั้น และการทำให้สมองของนักเรียนมีประสิทธิภาพในการจดจำและมีความรวดเร็วในการจดจำจะต้องมีการพัฒนาให้สมองทั้งซีกซ้ายและซีกขวาทำงานประสานกันได้ดี ซึ่งการทำงานของสมองทั้ง 2 ซีกมีหน้าที่ต่างกันคือ สมองซีกขวามีหน้าที่รับความรู้สึกต่อข้อมูลในการหาความสัมพันธ์เชื่อมโยงข้อมูลที่เข้ามารับรู้ในบริบทต่างๆ ได้แก่ การจินตนาการ การคิดสังเคราะห์ การคิดสร้างสรรค์ การควบคุมอารมณ์ การเคลื่อนไหวและจังหวะของร่างกาย ส่วนสมองซีกซ้ายมีหน้าที่ในการใช้ภาษาใช้เหตุผล การคิดวิเคราะห์ การคำนวณ ความสามารถทางวิทยาศาสตร์ การแสดงออก และการประเมินข้อมูลต่างๆ ที่สมองรับข้อมูลเข้ามาอย่างเป็นระบบ ดังนั้นสมองซีกขวาจะเป็นสมองแห่งการหยั่งรู้ เมื่อมีการกระตุ้นของสมองซีกขวาโดยการเร้าความสนใจ สมองก็จะเพิ่มการทำงานต่อข้อมูลโดยทำการประสานให้สมองซีกซ้ายทำหน้าที่อธิบายและวิเคราะห์ข้อมูล จะเห็นได้ว่าสมองทั้ง 2 ซีกจะทำงานร่วมกันทุกขณะ เพื่อร่วมกันทำความเข้าใจในสิ่งที่สมองรับรู้ สมองทั้ง 2 ซีกมีหน้าที่ต่างกันแต่มีการทำงานพร้อมกัน ถ้าสมองทั้งสองซีกมีการพัฒนามากขึ้นจะส่งผลให้นักเรียนมีความคิดคล่องแคล่ว มีการกระทำอย่าง

รวดเร็วและว่องไวมากยิ่งขึ้น ถ้าหากสมองทั้งสองซีกมีการพัฒนาน้อย ข้อมูลทำการวิ่งช้าลง ส่งผลให้นักเรียนกลายเป็นคนคิดช้า ทำช้า และแก้ปัญหาช้า เนื่องจากการทำงานของสมองมีการประมวลผลช้า

สมองน้อย (Cerebellum) มีหน้าที่ประมวลการรับรู้และการควบคุมสั่งการการทำงานของกล้ามเนื้อต่าง ๆ ของร่างกาย สมองน้อยที่ถูกกระตุ้นมากและใช้บ่อยๆ จะทำให้เซลล์สมองทุกส่วนยิ่งเชื่อมกันได้ดี และทำให้กระแสประสาทในสมองมีความเร็วขึ้น ดังนั้น สิ่งแวดล้อมที่กระตุ้นการทำงานของเซลล์สมองเป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่จะทำให้เซลล์สมองเกิดการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

และนอกจากนี้ กิ่งฟ้า สินธุวงษ์ และสุจินต์ วิศวธีรานนท์ (2556, น. 86 - 89) ได้กล่าวถึงการทำงานของสมอง ไว้ดังนี้

1) สมองเป็นระบบที่ซับซ้อน มีความสามารถทำงานได้หลายระดับและหลายชนิดพร้อมๆ กัน สมองจึงเป็นระบบที่มีการทำงานแบบคู่ขนาน ทำให้การเรียนรู้ต้องอาศัยการคิด อารมณ์ จินตนาการ มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันทั้งระบบร่างกายกับสิ่งแวดล้อม

2) สมองเป็นระบบสังคมชนิดหนึ่ง มนุษย์เริ่มต้นจัดระบบของการรู้คิดจากการใช้สมอง จัดกระทำข้อมูล และมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม กับบุคคลอื่นๆ ในสังคม สร้างความรู้ร่วมกันเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้

3) การค้นหาความหมายเกิดขึ้นโดยผ่านการทำงานอย่างมีแบบแผน สมองและจิตใจมีความต้องการที่จะจัดเก็บข้อมูลที่คุ้นเคยได้อย่างอัตโนมัติไปพร้อมๆ กันกับการค้นหาและตอบสนองต่อสิ่งแปลกใหม่ ดังนั้นสมองจึงเป็นนักวิทยาศาสตร์และนักอักษรศาสตร์ พยายามทำความเข้าใจกับแบบแผนที่เกิดขึ้นและให้ความหมายหรือบ่งบอกลักษณะเฉพาะ ทำให้มีการสร้างแบบแผนของตนเองขึ้นมาใหม่

4) สมองทำงานที่จะรับรู้และสร้างสรรค์ส่วนย่อยและส่วนรวมไปได้พร้อมๆ กัน โดยมีสมองซีกซ้ายและซีกขวาทำงานได้ประสานสัมพันธ์กันในกิจกรรมทุกเรื่อง

จากความสำคัญของสมองกับการเรียนรู้และการทำงานของสมอง สรุปได้ว่า การเรียนรู้จะเกิดขึ้นหากนักเรียนได้ฝึกฝนและปฏิบัติกิจกรรมมาก เซลล์สมองของนักเรียนก็มีการเชื่อมต่อกันมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการทำงานของสมองคือ การทำงานของสมองใหญ่ทั้ง 2 ซีกซึ่งมีหน้าที่ต่างกันคือ สมองซีกขวามีหน้าที่รับความรู้สึกต่อข้อมูลในการหาความสัมพันธ์เชื่อมโยงข้อมูลที่เข้ามารับรู้ในบริบทต่างๆ ได้แก่ การจินตนาการ การคิดสังเคราะห์ การคิดสร้างสรรค์ การควบคุมอารมณ์ การเคลื่อนไหวและจังหวะของร่างกาย ส่วนสมองซีกซ้ายมีหน้าที่ในการใช้ภาษาใช้เหตุผล การคิดวิเคราะห์ การคำนวณ ความสามารถทางวิทยาศาสตร์ การแสดงออก และการประเมินข้อมูลต่างๆ ที่สมองรับข้อมูลเข้ามาอย่างเป็นระบบ ดังนั้น เมื่อมีการกระตุ้นของสมองซีกขวาโดยการเร้าความสนใจ สมองก็จะเพิ่มการทำงาน

ต่อข้อมูลโดยทำการประสานให้สมองซีกซ้ายทำหน้าที่อธิบายและวิเคราะห์ข้อมูลและสมองทั้ง 2 ซีกจะทำงานร่วมกันทุกขณะ เพื่อร่วมกันทำความเข้าใจในสิ่งที่สมองรับรู้ นั่นคือหากนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ และได้ทำกิจกรรมในขั้นลงมือปฏิบัตินั้นจะกระตุ้นให้สมองซีกขวาได้สังเกต จินตนาการกับสิ่งที่ครูนำมาใช้เปรียบเทียบในมโนมติในเรื่องนั้นๆ ในขณะเดียวกันสมองซีกซ้ายก็จะทำหน้าหน้าที่ในการอธิบายและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเชื่อมโยงและเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) ตลอดจนกระตุ้นให้สมองซีกขวาได้คิดสังเคราะห์ ใช้ความคิดสร้างสรรค์และในขณะเดียวกันสมองซีกซ้ายก็จะทำหน้าที่อธิบายและวิเคราะห์กับการสร้างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ตามความคิดของนักเรียนในขั้นสะท้อน จะเห็นได้ว่าหากนักเรียนได้ลงมือทำกิจกรรมดังกล่าว ทำให้นักเรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนและสิ่งแวดล้อม ซึ่งสมองจะจัดเก็บข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติไปพร้อมๆ กันกับการค้นหาและตอบสนองต่อสิ่งใหม่ที่ได้เรียนรู้แล้วพยายามทำความเข้าใจกับประสบการณ์ใหม่ที่เกิดขึ้นและให้ความหมาย ทำให้มีการสร้างความรู้ของตนเองเองขึ้นมาใหม่ ซึ่งสมองทั้งซีกขวาและสมองซีกซ้ายได้ทำงานร่วมกันส่งผลให้นักเรียนมีศักยภาพในการเรียนรู้ เกิดทักษะการคิด และทำให้เกิดความเข้าใจในมโนมตินั้น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 องค์ประกอบ/ขั้นตอนสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

มีนักการศึกษาได้กล่าวถึงองค์ประกอบ/ขั้นตอนสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียยเทียบไว้ดังนี้

Glynn (1991) ได้พัฒนารูปแบบการสอนแบบเปรียบเทียบที่เรียกว่า Teaching-With-Analog (TWA) Model ขึ้นมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการสอนโดยใช้การเปรียบเทียบและเป็นแนวทางให้ผู้เขียนตำราวิชาการใช้ในการเขียนอธิบายโดยใช้การเปรียบเทียบ ซึ่งมีขั้นตอนในการสอนอยู่ 6 ขั้น ดังนี้

1. แนะนำมโนมติเป้าหมาย
2. นำเสนอแนวคิดที่นักเรียนคุ้นเคยจากประสบการณ์ที่นักเรียนเคยพบเจอ
3. ระบุคุณลักษณะระหว่างมโนมติเป้าหมายกับมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ
4. เชื่อมโยงความเหมือนกันระหว่างมโนมติเป้าหมายกับมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ
5. ชี้ให้เห็นความแตกต่างระหว่างมโนมติเป้าหมายกับมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ
6. เขียนแผนภาพเพื่อสรุประหว่างมโนมติเป้าหมายกับมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

Treagust et al. (1998) ได้พัฒนาเป็นเทคนิคการจัดการเรียนรู้แบบ Focus-Action-Reflection (FAR) Guide Teaching ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นเน้น (Focus) 2) ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action) และ 3) ขั้นสะท้อน (Reflection) ซึ่งในแต่ละขั้นมีรายละเอียด ดังนี้

1. ขั้นเน้น (Focus) ครูควรเริ่มต้นด้วยการพิจารณาว่าแนวคิดที่จะสอนมีความยากง่ายอย่างไร ประเด็นใดบ้างที่ยากสำหรับครูและนักเรียน นักเรียนทราบแนวคิดเป้าหมายแล้วหรือไม่ นักเรียนคุ้นเคยกับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) แล้วหรือไม่ ในขั้นเน้นนี้สามารถเกิดขึ้นก่อนกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริบท ครูต้องเตรียมและหาความรู้เดิมของนักเรียน (Prior knowledge) หากครูไม่สามารถใช้การเปรียบเทียบได้ในขั้นนี้ ก็จะทำให้เทคนิคการจัด การเรียนรู้ด้วยการเปรียบเทียบ ไม่ประสบความสำเร็จในขั้นต่อไป

2. ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action) ในขั้นนี้ครูต้องให้ความสนใจว่านักเรียนคุ้นเคยกับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) หรือไม่ และคุ้นเคยกับสมบัติที่เหมือนและแตกต่างกันระหว่าง สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) และมโนมติที่ศึกษา (Target) หรือไม่ อย่างไร ครูและนักเรียนสามารถแลกเปลี่ยนความคิดเห็นของตนเองเกี่ยวกับคุณสมบัติของสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ได้ ซึ่งในการจัดการเรียนรู้ครูควรช่วยนักเรียนให้คุ้นเคยกับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) เชื่อมโยงสมบัติ ร่วมของสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) และมโนมติที่ศึกษา (Target) และแสดงให้เห็นว่า การเปรียบเทียบที่ใช้มีข้อจำกัดอย่างไร

3. ขั้นสะท้อน (Reflection) เป็นขั้นตอนที่เกิดหลังจากการเปรียบเทียบแล้วในขั้นลงมือปฏิบัติ (Action) ซึ่งครูควรสะท้อนความชัดเจน ประโยชน์ของสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) และสรุปการใช้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) แล้วพิจารณาว่าควรมีการปรับปรุงสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) และการเปรียบเทียบอย่างไร ขั้นสะท้อนนี้อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้ หรือหลังกิจกรรมก็ได้ แต่ในทางปฏิบัติขั้นตอนทั้งสามจะไม่แยกออกจากกันอย่างสิ้นเชิง

จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบตามรูปแบบ Focus-Action-Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide มีองค์ประกอบคือ F – Focus, A – Action และ R – Reflection แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ตามรูปแบบ Focus-Action-Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide

ขั้นเน้น (Focus)	
มโนมติ	มโนมติทางวิทยาศาสตร์ใดที่เรียนยาก เป็นนามธรรม และนักเรียนไม่คุ้นเคย
นักเรียน	ใช่หรือไม่

สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)	มโนมติทางวิทยาศาสตร์ใดบ้างที่นักเรียนทราบมาแล้ว มีอะไรบ้างที่นักเรียนคุ้นเคยเป็นอย่างดี
ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action)	อภิปรายลักษณะของสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) และแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
เหมือนกัน	แสดงให้เห็นว่ามีลักษณะใดบ้างที่สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) และมโนมติทางวิทยาศาสตร์เหมือนกัน
ไม่เหมือนกัน	แสดงให้เห็นว่ามีลักษณะใดบ้างที่สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) และมโนมติทางวิทยาศาสตร์ไม่เหมือนกัน
ขั้นสะท้อน (Reflection)	
การสรุป	สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบที่นำมาเสนอมีประโยชน์และทำให้นักเรียนเกิดความกระจ่างหรือสับสน
การปรับปรุง	พิจารณาขั้นตอนทั้งหมดในแง่ของผลการเรียนรู้ที่ได้รับ

ที่มา: ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2560: น. 36)

จากการศึกษาขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ตามรูปแบบ Focus-Action-Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide ผู้วิจัยได้สรุปขั้นตอนและองค์ประกอบ การจัดกิจกรรมเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนและองค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

1. ขั้นเน้น (Focus)	เป็นขั้นที่ครูต้องตัวเตรียมก่อนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และคำนึงถึงทั้ง 3 ด้าน ดังนี้	
	ด้านมโนมติ (Concept)	เป็นการวิเคราะห์และคัดเลือกเนื้อหา ลักษณะของเนื้อหาควรเป็นเนื้อหาที่เข้าใจยากไม่คุ้นเคยและเป็นนามธรรม
	ด้านนักเรียน (Student)	เป็นการวิเคราะห์นักเรียนว่ารู้อะไรเกี่ยวกับเนื้อหานี้มาก่อนแล้วบ้าง
	สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)	เป็นการวิเคราะห์สิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและประสบการณ์ของนักเรียนเพื่อเลือกสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ(Analog) ซึ่งควรเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและรู้จักเป็นอย่างดีหรือพบเห็นในชีวิตประจำวัน

2. ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action)	เป็นขั้นที่ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกัน เพื่อหาความเหมือนและความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับ มโนมติที่ศึกษา (Target) ซึ่งนักเรียนต้องเปรียบเทียบให้ได้เพื่อป้องกันไม่ให้นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อนไปจากมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังนี้	
	ความเหมือน	ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อหาส่วนที่เหมือนกันระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) และอธิบายได้ว่าเหมือนกันอย่างไร
	ความแตกต่าง	ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อหาส่วนที่แตกต่างกันระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) และอธิบายได้ว่าแตกต่างกันอย่างไร
3. ขั้นสะท้อน (Reflection)	เป็นขั้นที่ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับผลการใช้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบว่าสามารถทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาที่เรียนง่ายขึ้น หรือทำให้นักเรียนสับสนมากกว่าเดิม หรือควรเพิ่มเทคนิคหรือวิธีการอื่นในการสอนครั้งต่อไปและพิจารณาถึง ความเหมาะสมในการนำสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) มาใช้อธิบายด้วย ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังนี้	
	การสรุป (Conclusion)	เป็นการสะท้อนผลที่เกิดจากการใช้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ทำให้นักเรียนเข้าใจชัดเจนหรือไม่ มีประโยชน์อย่างไร หรือทำให้เกิดความสับสนอย่างไร
	การปรับปรุง (Improvement)	เป็นการวิเคราะห์ว่ามีอะไรบ้างที่ต้องปรับปรุง และปรับปรุงอย่างไรเพื่อให้ได้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่เหมาะสมในการสอนครั้งต่อไป

จากการศึกษา ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบโดยเปรียบเทียบความเหมือนและความต่างของคุณลักษณะระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ซึ่งเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยกับมโนมติที่ศึกษา (Target) โดยใช้รูปแบบของ Focus–Action–Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ 1) ขั้นเน้น (Focus) 2) ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action) และ 3) ขั้นสะท้อน (Reflection)

1.5 บทบาทของครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

Zeitoum (1984, อ้างถึงใน มรีจิ คงทรัตน์, 2553) ได้อธิบายบทบาทครูและบทบาทนักเรียนในการจัดการเรียนการสอนแบบเปรียบเทียบ สรุปได้ดังนี้

1.5.1 บทบาทของครู

1) ประเมินความรู้จากประสบการณ์เดิมของนักเรียนเกี่ยวกับเรื่องที่ใช้การสอนแบบเปรียบเทียบ

2) ศึกษาและคัดเลือกกิจกรรมที่นำมาใช้เปรียบเทียบให้เหมาะสมกับนักเรียน

3) นำเสนอสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบและวัตถุประสงค์ของการจัดการเรียนรู้

4) ระบุลักษณะสำคัญที่เป็นความเหมือนกันและต่างกันระหว่างสิ่งที่ใช้กับมโนมติที่ศึกษา

5) ใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนอธิบายปรากฏการณ์

6) สรุปแนวคิดสำคัญที่ได้จากการเรียนรู้ และอธิบายว่าสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบเข้ามามีบทบาทในส่วนใดที่ศึกษา

7) ประเมินนักเรียนที่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน และให้ข้อเสนอแนะ

1.5.2 บทบาทของนักเรียน

1) สังเกตปรากฏการณ์

2) ให้ข้อมูลในการสำรวจแนวคิดหลัก และสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ

3) วิเคราะห์ อภิปราย แลกเปลี่ยนความคิดเห็น เกี่ยวกับความเหมือนกันของปรากฏการณ์กับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ

4) ตอบคำถามและอภิปรายเกี่ยวกับความแตกต่างกันของปรากฏการณ์กับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ

5) เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของมโนมติที่นักเรียนมีอยู่เดิมกับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ

จากการศึกษาบทบาทครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ โดยใช้รูปแบบของ Focus–Action–Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 บทบาทครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเปรียบเทียบตามเทคนิค FAR Guide

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
1.ขั้นเน้น (Focus)	1) ประเมินความรู้จากประสบการณ์เดิมของนักเรียนเกี่ยวกับเรื่องที่ใช้การสอนแบบเปรียบเทียบ 2) ศึกษาและคัดเลือกกิจกรรมที่นำมาใช้เปรียบเทียบให้เหมาะสมกับนักเรียน	1) ให้ข้อมูลในการสำรวจแนวคิดหลักและสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
2. ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action)	1) นำเสนอสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบและวัตถุประสงค์ของการจัดการเรียนรู้ 2) ระบุลักษณะสำคัญที่เป็นความเหมือนกันและต่างกันระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบกับมโนมติที่ศึกษา 3) ใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนอธิบายปรากฏการณ์ 4) สรุปแนวคิดสำคัญที่ได้จากการเรียนรู้และอธิบายว่าสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบเข้ามามีบทบาทในส่วนใดที่ศึกษา	1) สังเกตปรากฏการณ์ 2) วิเคราะห์ อภิปราย แลกเปลี่ยนความคิดเห็น เกี่ยวกับความเหมือนกันของปรากฏการณ์กับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ 3) ตอบคำถามและอภิปรายเกี่ยวกับความแตกต่างกันของปรากฏการณ์กับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ 4) เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของมโนมติที่นักเรียนมีอยู่เดิมกับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ
3) ขั้นสะท้อน (Reflection)	1) ประเมินนักเรียนที่มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน และให้ข้อเสนอแนะ	1) แสดงความคิดเห็นสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบว่าสามารถทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาที่เรียนง่ายขึ้น หรือทำให้นักเรียนสับสนมากกว่าเดิม

1.6 การใช้สิ่งเปรียบเทียบในวิชาเคมี

วิชาเคมีมีมโนมติส่วนมากเป็นนามธรรมทำความเข้าใจได้ยาก แต่ถ้านักเรียนสามารถเชื่อมโยงมโนมติเหล่านี้ให้เข้ากับชีวิตประจำวันหรือประสบการณ์ของนักเรียนได้ก็จะทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาได้ไม่ยาก ผลที่เกิดจากการเปรียบเทียบเป็นการเชื่อมโยงเนื้อหาวิชาเคมีกับเหตุการณ์ที่พบเห็นในชีวิตประจำวันหรือประสบการณ์ของนักเรียน ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาได้อย่างชัดเจน ช่วยให้นักเรียนเอาชนะมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้ และเข้าใจมโนมติที่เป็นนามธรรม (Orgill & Bodner, 2004, Coll, 2008 อ้างถึงใน วิทยา ภาชื่น, 2553) และจากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ในวิชาเคมี (Thiele & Treagust, 1991) และสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ในวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี (สมฤทัย สังฆคราม, 2553 ดวงกมล บำรุงบ้านทุ่ง, 2555, ศิริพร นิลโคตร, 2555 และอภิวัฒน์ ศรีกัณหา, 2557) สรุปได้ดังตารางที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ในวิชาเคมี

สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)	มโนมติที่ศึกษา (Target)

การจัดไข่ไก่ลงกล่องให้ได้จำนวนเป็นโหลหรือจำนวนกระดาษ 1 รีม (500 แผ่น)	จำนวนโมล
ชั้นวางหนังสือที่ในแต่ละชั้นมีหมายเลขกำกับการหยิบเอาหนังสือในชั้นที่สูงกว่าต้องใช้พลังงานที่มากขึ้น และในขณะเดียวกันต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการย้ายหนังสือ	ระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอม
การเดินทางของรถไฟโดยการลอดอุโมงค์ทำให้ถึงจุดหมายได้เร็วกว่าการเดินทางข้ามเนินเขา	ตัวเร่งปฏิกิริยา
ตำแหน่งที่นั่งของนักเรียนในห้องเรียนที่มีที่นั่งสลับกันระหว่างเพศชายกับเพศหญิง	โครงผลึกของสารประกอบไอออนิก
การทำก้อนช็อคโกแลตได้ในจำนวนที่ขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่มีอยู่	สารกำหนดปริมาณ

ที่มา: Thiele and Treagust (1991)

ตารางที่ 2.5 สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ในวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี

สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)	**มโนมติที่ศึกษา (Target)**
โมเดลดินน้ำมัน	การเกิดพันธะโคเวเลนต์
	ชนิดของพันธะโคเวเลนต์
	โมเลกุลที่ไม่เป็นไปตามกฎออกเตต
	แนวคิดเกี่ยวกับเรโซแนนซ์
เกมล้อมวงให้ครบ 8	การเกิดพันธะโคเวเลนต์
ภาวะพึ่งพากัน	
การเรียกชื่อ-สกุล ของคนไทย	การเขียนสูตรและการเรียกชื่อสารโคเวเลนต์
การดึงหนังยาง	ความยาวพันธะและพลังงานพันธะ
ไม้เสียบลูกชิ้น	
การจัดเรียงตัวของลูกโป่ง	รูปร่างของโมเลกุล
การใช้ตราชั่งสปริงดึงลูกบอล	สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์
เกมออกแรงดึงเชือก	
การเล่นชัคเย่อ	
การจับมือกันของนักเรียน	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล
ความสัมพันธ์ของนักเรียนกับบุคคลอื่น	
โครงสร้างป้ายโฆษณา	สารโคเวเลนต์โครงผลึกร่างตาข่าย

เกมล้อมวงให้ครบ 8 (ระบุเพศ)	การเกิดพันธะไอออนิก
การแต่งงานระหว่างชายกับหญิง	
แรงดึงดูดระหว่างแท่งแม่เหล็ก	
เก้าอี้ดนตรี	พันธะโลหะ
สุนัขกับกระดูก	

ที่มา: สมฤทัย สังฆคราม (2553) ดวงกมล บำรุงบ้านทุ่ง 2555) ศิริพร นิลโคตร (2555) และ

อภิวัฒน์ ศรีกัณหา (2557)

จากการศึกษาพบตัวอย่างการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ในรูปแบบ Focus-Action-Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 เรื่อง สถานะของสาร และตัวอย่างที่ 2 เรื่องรูปร่างโมเลกุล รายละเอียดมีดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 เรื่อง สถานะของสาร (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2560, น. 36)

สถานะของสสาร มี 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส เป็นเนื้อหาที่ยากสำหรับนักเรียนเพราะต้องนึกภาพว่าอะตอมและโมเลกุลในทั้ง 3 สถานะมีพฤติกรรมและจัดเรียงตัวอย่างไร และเป็นไปไม่ได้ที่นักเรียนจะมองเห็นอะตอมหรือโมเลกุล แม้ว่าอะตอมหรือโมเลกุลนั้นจะมีขนาดใหญ่ขนาดไหนก็ตาม นักวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาทฤษฎีจลน์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างของแข็ง ของเหลว และแก๊ส สสารในสถานะของแข็งมีรูปร่างและปริมาตรที่แน่นอนและอนุภาคสั่นในตำแหน่งที่แน่นอน ในสถานะของเหลว สสารจะยังคงมีปริมาตรที่แน่นอนแต่ปริมาตรจะเปลี่ยนไปตามรูปร่างของภาชนะ งานวิจัยต่างๆ พบว่านักเรียนไม่เข้าใจทฤษฎี เช่น นักเรียนเข้าใจว่ามีช่องว่างระหว่างอนุภาคของของเหลว ดังนั้น การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบในรูปแบบ FAR Guide จึงช่วยให้นักเรียนเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีจลน์ แสดงดังตาราง 2.6

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบในรูปแบบ FAR Guide เรื่อง สถานะ ของสาร

ขั้นเน้น	**แนวคิด**	อนุภาคของของแข็งและของเหลวใกล้ชิดกันมากพอที่จะสร้างแรงดึงดูดระหว่างอนุภาค แก๊สมีปริมาตรและรูปร่างที่ไม่แน่นอน และอนุภาคของแก๊สจะอยู่ห่างกันมาก ทำให้ไม่มีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาค และอนุภาคแก๊สจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และจะชนกันหรือชนผนังภาชนะอย่างยืดหยุ่น
	นักเรียน	นักเรียนมีข้อจำกัดในการนึกถึงภาพที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ระดับอนุภาค เช่น อะตอมและโมเลกุล แต่นักเรียนมีความคุ้นเคยกับการจัดห้องเรียน ดังนั้น การเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่าง

	ระดับอะตอมหรือโมเลกุลและการจัดห้องเรียน ดังนั้น การเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างระดับอะตอมหรือโมเลกุลและการจัดห้องเรียนจะสามารถเข้าใจทฤษฎีจลน์ได้ดีขึ้น
สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)	นักเรียนและห้องเรียน ห้องเรียน ที่นั่ง การทำการทดลองในห้องเรียน การออกจากห้องเรียนเมื่อเรียนเสร็จแล้วหรือออกไปรับประทานอาหารเที่ยง

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

ขั้นลงมือปฏิบัติ	**เหมือนกัน** – การเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target)	
	สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) นักเรียนและห้องเรียน	**มโนมติที่ศึกษา (Target)** ทฤษฎีจลน์
	- นักเรียน - ตำแหน่งของนักเรียน - การนั่งโต๊ะ - การเคลื่อนไหวแขนหรือขา - การทำการทดลอง - การเดินหรือเคลื่อนย้ายรอบ ๆ โต๊ะทดลองเพื่อไปทำการทดลอง - นักเรียนออกจากห้องเพื่อทำภารกิจอื่น - การเลิกเรียน - เมื่อเลิกเรียน นักเรียนสามารถเที่ยวอย่างอิสระ	- อนุภาคของสาร - สถานะของสาร - สถานะของแข็ง - อนุภาคของแข็งที่สั่น - สถานะของเหลว - ของเหลวเคลื่อนที่อย่างอิสระ - อนุภาคของของเหลวออกจากภาชนะหรือระเหย - สถานะแก๊ส - อนุภาคของแก๊สไม่ได้ถูกกักไว้
	ไม่เหมือนกัน – ข้อจำกัดของการเปรียบเทียบ	
	1. อะตอมและโมเลกุลมีขนาดเล็กมาก ๆ และมีจำนวนมากกว่านักเรียนในห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการ 2. อนุภาคของของแข็งอยู่ใกล้ชิดกันมาก แต่สำหรับนักเรียนยังมีระยะห่างกัน 3. อนุภาคของแข็งสั่นอย่างต่อเนื่อง แต่นักเรียนเคลื่อนไหวไม่ตลอดเวลา	

	4. ในสถานะแก๊ส อนุภาคมีความเร็วสูงมาก แต่เมื่อเลิกเรียน นักเรียนเคลื่อนที่ไม่เร็วเท่าอนุภาค 5. เมื่อเลิกเรียน นักเรียนอาจจะรวมตัวกันออกจากห้อง แต่อนุภาคของแก๊สยังห่าง กันเสมอ

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

ขั้นสะท้อน	**การสรุป**	ขณะที่ไม่สามารถสังเกตได้ว่าอนุภาคของของแข็ง ของเหลว และแก๊ส มีพฤติกรรมอย่างไร การเปรียบเทียบอะตอมและโมเลกุลกับนักเรียนทำให้เกิดเข้าใจว่าอนุภาคของของแข็งสั่นไหวในตำแหน่งที่แน่นอน ของเหลวมีปริมาตรที่แน่นอน แต่รูปร่างไม่แน่นอน และอนุภาคเคลื่อนที่ได้ภายในของเหลวนั้น ในสถานะแก๊ส อนุภาคจะมีอิสระและแก๊สมีรูปร่างและปริมาตรที่ไม่แน่นอน
	การปรับปรุง	มีโมเดลที่ในท้องตลาดที่นำเสนอแนวคิดเช่นเดียวกันนี้ เช่น โมเดลลูกบอลที่ทำด้วยโพลีสไตรีน แต่ต้องตระหนักว่าช่องระหว่างอนุภาคของของแข็งและของเหลวเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และสถานะแก๊สเป็นการสมมติที่ว่าไม่มีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาค

ตัวอย่างที่ 2 เรื่อง รูปร่างโมเลกุล (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2560: น. 38)

รูปร่างโมเลกุลเป็นเนื้อหาที่เป็นนามธรรมและยากต่อการเข้าใจ นักเรียนมักจำสูตรเพื่อใช้ทำนายรูปร่างโมเลกุลมากกว่าใช้ทฤษฎี Valence Shell Electron Pair Repulsion (VSEPR) นอกจากนี้ นักเรียนมักเข้าใจว่ารูปร่างโมเลกุลเกิดจากอิทธิพลของอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเท่านั้น แต่ไม่ได้คำนึงถึงอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ ดังนั้น การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบในรูปแบบ FAR Guide จึงสามารถทำให้นักเรียนมองเห็นภาพรูปร่างโมเลกุลได้ชัดเจน แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบในรูปแบบ FAR Guide เรื่อง รูปร่างโมเลกุล

ขั้นเน้น	**แนวคิด**	ทฤษฎี VSEPR อธิบายว่า คู่อิเล็กตรอนวงนอกสุดจะผลักกันและจัดตำแหน่งที่ไกลกันมากที่สุดเพื่อลดแรงผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอน ซึ่งแรงผลักภายในโมเลกุลจะลงลงตามลำดับดังนี้ แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะและอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ
	นักเรียน	นักเรียนมีข้อจำกัดในการนึกภาพการผลักกันของคู่อิเล็กตรอนที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ระดับอนุภาค นักเรียนมีความคุ้นเคยกับลูกโป่งและการผูกลูกโป่งติดกัน ดังนั้นการเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างระดับอะตอมหรือโมเลกุลและผูกลูกโป่งติดกันจะสามารถทำให้นักเรียนสามารถเข้าใจทฤษฎี VSEPR ได้ดีขึ้น
	สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)	ลูกโป่งที่ผูกติดกัน
ขั้นลงมือปฏิบัติ	**เหมือนกัน** – การเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) **สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)** ลูกโป่ง - ขั้วของลูกโป่งที่ผูกติดกัน - ลูกโป่ง - จำนวนลูกโป่ง **มโนมติที่ศึกษา (Target)** รูปร่างโมเลกุล - อะตอมกลาง - กลุ่มหมอกของอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะหรืออิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว - จำนวนกลุ่มหมอกของอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะหรืออิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว **ไม่เหมือนกัน** – ข้อจำกัดของการเปรียบเทียบ	

		1. อิเล็กตรอนในแต่ละพันธะเคมีอาจมี 2, 4, หรือ 6 อิเล็กตรอน แต่อนุภาคในลูกโป่งแต่ละลูกมีหลายล้านอนุภาค 2. รูปร่างของตำแหน่งที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นจะไม่เท่ากับรูปร่างของลูกโป่งแต่ละลูก

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

ขั้นสะท้อน	**การสรุป**	ขณะที่ไม่สามารถสังเกตได้ว่าคู่อิเล็กตรอนผลักกันอย่างไร จึงทำให้โมเลกุลของแต่ละสารประกอบมีรูปร่างแตกต่างกัน การเปรียบเทียบลูกโป่งที่ผูกติดกันกับอนุภาคในโมเลกุลทำให้เกิดเข้าใจว่าคู่อิเล็กตรอนวงนอกสุดจะผลักกันและจำกัดตำแหน่งที่ไกลกันมากที่สุดเพื่อลดแรงผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอน
	การปรับปรุง	การปรับปรุง มีโมเดลในท้องตลาดที่นำเสนอแนวคิดเช่นเดียวกันนี้ (เช่น โมเดลลูกบอลที่ทำด้วยสไตรีน) หรือแบบจำลองที่ใช้ดินน้ำมันแทนอะตอมของธาตุและหลอดกาแฟแทนพันธะโคเวเลนต์

1.7 ประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

Treagust and Venville (1996) และ Gafoor and Shilna (2013) ได้กล่าวถึงประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบไว้ ดังนี้

1) ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนสนใจเรียน

2) ช่วยให้นักเรียนเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของมโนมติที่ศึกษากับโลกแห่งความเป็นจริงที่นักเรียนคุ้นเคย

3) กระตุ้นให้ครูคำนึงถึงความสำคัญของความรู้ของนักเรียนก่อนจัดกิจกรรมการเรียนการรู้

4) ช่วยในการเชื่อมโยงระหว่างความรู้ของนักเรียนกับข้อมูลใหม่จากมโนมติทางวิทยาศาสตร์

5) ช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้มโนมติทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นนามธรรมได้เห็นภาพอย่างเป็นรูปธรรม

6) ช่วยให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง

สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบช่วยให้ครูได้ตระหนักและให้ความสำคัญด้านมโนมติที่จะให้เกิดแก่นักเรียนโดยเตรียมความพร้อมก่อนดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้นอกจากนี้แล้วยังช่วยกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจต่อการเรียนรู้กับการที่ครูได้นำเสนอสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ ฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์ เชื่อมโยงสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)

กับมโนมติที่ศึกษา(Target) ทำให้นักเรียนเรียนรู้มโนมติที่มีความเป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น ตลอดจนทำให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง

2. มโนติทางวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้ ความหมาย และองค์ประกอบของมโนมติ ความหมายและประเภทของมโนมติทางวิทยาศาสตร์ มโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่อง พันธะเคมี การวัดและประเมินความเข้าใจมโนมติ การสร้าง การหาคุณภาพเครื่องมือวัด และการประเมินมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ตามลำดับ ดังนี้

2.1 ความหมายและองค์ประกอบของมโนมติ

2.1.1 ความหมายของมโนมติ

จากจากการศึกษาพบว่ามีผู้ให้คำแปลของคำว่า Concept ที่มาจากภาษาอังกฤษไว้หลายคำ เช่น ความคิดรวบยอด มโนทัศน์ มโนภาพ แนวความคิด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้คำว่า มโนมติ และมีผู้ให้ความหมายของมโนมติ ไว้ดังนี้

Stanton (1990) ที่กล่าวว่า มโนมติ เป็นสิ่งที่สร้างขึ้นจากจิตใจของมนุษย์ โดยการสังเกตวัตถุหรือเหตุการณ์ต่างๆ ซึ่งเป็นกระบวนการของจิตใจ (mental process) ที่ทำให้เกิดการคิดวิเคราะห์จัดรูปแบบใหม่ จำแนก และสังเคราะห์ เพื่อที่จะให้ความหมายหรือนิยามของสิ่งต่างๆ

ภพ เลาหไพบูลย์ (2542) กล่าวว่า มโนมติคือการที่บุคคลใดบุคคลหนึ่งนำการรับรู้มาสัมพันธ์กับประสบการณ์เดิม ทำให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับวัตถุหรือปรากฏการณ์นั้น ซึ่งแต่ละบุคคลย่อมมีมโนมติเกี่ยวกับวัตถุหรือประสบการณ์อย่างใดอย่างหนึ่งแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประสบการณ์และวุฒิภาวะของบุคคลนั้น

ราชบัณฑิตยสถาน (2542) ได้อธิบายว่า มโนมติคือความรู้สึกนึกคิด ความเข้าใจ ความเห็น หรือภาพสุดท้ายที่เกิดจากสิ่งเร้า หรือเหตุการณ์ของบุคคลที่ได้รับจากการเรียนรู้ในลักษณะเฉพาะของสิ่งนั้น อันเกิดจากประสบการณ์ที่เคยได้รับมาในสิ่งนั้น หรือในเรื่องนั้น หลายๆ แบบมีลักษณะเป็นนามธรรม โดยกระบวนการสร้างความคิดรวบยอดประกอบด้วย การรับรู้ การจัดประเภท การแยกแยะ และการสรุปครอบคลุม

นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์ (2557, น. 9) ได้ให้ความหมายของมโนมติ ไว้ว่า มโนมติ หมายถึง ความคิด ความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่ง หรือเรื่องใดเรื่องหนึ่งที่เกิดจากการสังเกตหรือได้รับประสบการณ์ในเรื่องนั้นๆ จนเกิดการรับรู้และสรุปเป็นความเข้าใจเรื่องนั้นของแต่ละบุคคล

จากความหมายของมโนมติข้างต้น สรุปได้ว่า มโนมติ หมายถึง ความคิด ความเข้าใจที่เกิดจากการสังเกตหรือได้รับประสบการณ์ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของสิ่งนั้น จนเกิดการรับรู้คิดวิเคราะห์ แล้วสรุปเป็นความเข้าใจของบุคคลนั้น

2.1.2 องค์ประกอบของมโนมติ

จากการศึกษาองค์ประกอบของมโนมติ (พวงเพ็ญ อินทรประวัติ, 2532, Bruner, Godnow & Austin, 1956 อ้างถึงใน พัชรา ทวีวงศ์ ณ อยุทธยา, 2537) สรุปได้ว่า องค์ประกอบของมโนมติ ประกอบด้วย 1) ชื่อ (Name) เป็นคำหรือข้อความที่ใช้เรียกชื่อสิ่งต่างๆ ที่ทำให้เข้าใจได้ตรงกัน 2) คำนิยาม (Definiton) เป็นการใช้คำนิยามหรือข้อความที่เป็นลักษณะที่สำคัญหรือจำเป็น 3) คุณลักษณะเฉพาะ (Attributes) บอกลักษณะที่แตกต่างกันของสิ่งต่างๆ 4) คุณค่า (Values) บอกความเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่เป็นคุณค่าทางคุณภาพและปริมาณ และ 5) ตัวอย่าง (Examples) ความเข้าใจมโนมติขึ้นอยู่กับตัวอย่างเพื่อประกอบความเข้าใจ

คือ การเรียนรู้ที่ทำให้นักเรียนเกิดมโนมติได้นั้น หมายความว่า นักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบทั้งหมดของมโนมติได้ ซึ่งได้แก่ ชื่อ คำนิยาม คุณลักษณะเฉพาะ คุณค่า และตัวอย่างในการสรุปมโนมตินั้นๆ

2.2 ความหมายและประเภทของมโนมติทางวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ และนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้ ความหมายของมโนมติทางวิทยาศาสตร์ และประเภทของมโนมติทางวิทยาศาสตร์ มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ความหมายของมโนมติทางวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาพบว่ามีนักการศึกษาได้ให้ความหมายของมโนมติทางวิทยาศาสตร์ไว้ ดังนี้

Klopfer (1971) กล่าวว่า มโนมติทางวิทยาศาสตร์หมายถึง สิ่งที่เป็นนามธรรมซึ่งเป็นผลที่ได้จากการศึกษาปรากฏการณ์หรือความสัมพันธ์ต่างๆ ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้พบว่าข้อค้นพบนั้นมีประโยชน์ในการศึกษาโลกธรรมชาติ

สุจินต์ วิศวธีรานนท์ (2538) ได้ให้ความหมายไว้ว่า มโนมติทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความรู้ที่เกิดจากความคิดของบุคคล ที่มีต่อวัตถุ หรือเหตุการณ์ เกิดจากข้อเท็จจริงและ ข้อสังเกตของสิ่งที่เกี่ยวข้อง ทำให้เกิดความคิดสรุปเกี่ยวกบสิ่งนั้น เป็นผลผลิตที่ได้จากการพิจารณา ข้อเท็จจริงและประสบการณ์อย่างรอบคอบ

ทวีป บรรจงเปลี่ยน (2540) ได้สรุปว่า มโนมติทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความคิดความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือเรื่องใดเรื่องหนึ่งที่ได้จากการศึกษาข้อเท็จจริงและหลักการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและดีที่สุดและช่วยให้เกิดประโยชน์ในการคิดขั้นต่อไป

อภิวัฒน์ ศรีกัณหา (2557) ได้สรุปว่า มโนมติวิทยาศาสตร์ คือ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ประเภทหนึ่งที่เกิดจากความคิด ความเข้าใจ การสร้างมโนภาพ ของสังคมวิทยาศาสตร์ที่สรุปสิ่งใดสิ่งหนึ่ง เรื่องใดเรื่องหนึ่ง โดยเรียกหรือให้ความหมายต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งในทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นข้อสรุปซึ่งนักวิทยาศาสตร์เห็นร่วมกัน

สรุปได้ว่า มโนมติทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความคิดความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือเรื่องใดเรื่องหนึ่งที่ได้จากการศึกษาข้อเท็จจริง ประสบการณ์และหลักการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นข้อสรุปของนักวิทยาศาสตร์ที่มีความเห็นร่วมกัน

2.2.2 ประเภทของมโนมติทางวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาพบว่ามีนักการศึกษาได้กล่าวถึงประเภทของมโนมติทางวิทยาศาสตร์ไว้ ดังนี้

Sund and Trowbridge (อ้างถึงในนภาพร แถวโนนงิ้ว, 2537) ได้แบ่งมโนมติทางวิทยาศาสตร์ออกเป็น 2 ประเภท สรุปได้ดังนี้

1. มโนมติเชิงรูปธรรม (Concreate concept) เป็นมโนมติที่พัฒนามาจากการรับรู้จากวัตถุที่เป็นรูปธรรมไปสู่ความเป็นนามธรรม เช่น มโนมติเกี่ยวกับแม่เหล็ก เลนส์ โลหะ หิน เป็นต้น

2. มโนมติเชิงกระบวนการเคลื่อนที่ (Dynamic process concept) เป็น
มโนมติที่พัฒนาจากกระบวนการที่มีการเคลื่อนที่ของสิ่งต่างๆ เช่น การออสโมซิส ความเร่ง การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นต้น

ปรีชา วงศ์ชูศิริ (2525, อ้างถึงใน ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น. 4) ได้แบ่ง
มโนมติทางวิทยาศาสตร์ เป็น 3 ประเภทดังนี้

1. มโนมติเกี่ยวกับการแบ่งประเภท เป็นมโนมติที่เป็นคำอธิบายคำชี้แจงบอกคุณสมบัติของวัตถุ หรือเหตุการณ์นั้นๆ เช่น ดอกไม้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ ฐานรองดอก กลีบดอก กลีบเลี้ยง เกสรตัวผู้และเกสรตัวเมีย เป็นต้น

2. มโนมติทางทฤษฎี เป็นมโนมติที่อธิบายคุณลักษณะของบางสิ่งบางอย่างหรือปรากฏการณ์ที่ไม่อาจสังเกตได้โดยตรง แต่มีหลักฐานที่สนับสนุนให้มีความเข้าใจในเรื่องนั้นอย่างเป็นเหตุเป็นผล ตัวอย่างเช่น ร่างกายต้องการอาหารทั้ง 5 หมู่ ในการเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ โปรตีนเป็นสารอาหารที่มีอยู่ในเนื้อ นม ไข่ เป็นต้น

3. มโนมติเกี่ยวกับความสัมพันธ์เป็นมโนมติที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลนำไปใช้ในการทำนายเหตุการณ์ต่างๆ ได้ ตัวอย่าง ก่อนฝนตกอากาศจะร้อนอบอ้าว ของเหลวเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัว มีปริมาณเพิ่มได้ เป็นต้น

สรุปได้ว่า มโนมติทางวิทยาศาสตร์ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) มโนมติทางวิทยาศาสตร์จากสิ่งที่เป็นรูปธรรม มองเห็นได้ แล้วใช้การอธิบายให้อยู่ในรูปนามธรรม และ 2) มโนมติทางวิทยาศาสตร์ ที่เกิดจากกระบวนการเคลื่อนที่ของสิ่งต่างๆ ซึ่งมโนมติทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 2 ประเภทนี้สามารถอธิบายมโนมติทางวิทยาศาสตร์นั้นๆให้อยู่ในลักษณะของการแบ่งประเภท การอธิบายของทฤษฎี หรือความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลในการทำนายเหตุการณ์ต่างๆ

2.3 มโนมติที่คลาดเคลื่อน เรื่อง พันธะเคมี

ตามที่ ชาตรี ฝ่ายคำตา (2563, น.70 – 72) ได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ มโนมติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน เรื่อง พันธะเคมี แสดงดังตารางที่ 2.8 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.8 มโนมติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน เรื่อง พันธะเคมี

เนื้อหา	มโนมติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน
การเกิดพันธะไอออนิก	1. พันธะไอออนิกเกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างธาตุโลหะ และอโลหะเพื่อให้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบแปดตามกฎออกเตต 2. พันธะภายในสารประกอบโซเดียมคลอไรด์เป็นพันธะไอออนิก ชนิดพันธะเดี่ยวเกิดจากธาตุโลหะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนและธาตุอโลละเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเพื่อให้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบแปดตามกฎออกเตต
กฎออกเตต	3. พันธะโคเวเลนต์ที่เกิดจากการรวมตัวของอะตอมของธาตุอโลหะมี จำนวนเท่ากับจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมวงนอกสุด ของอะตอมของธาตุอโลหะนั้น 4. การเสถียรของโมเลกุลหมายถึงภาวะสมดุลหรือการอยู่ตัว

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

เนื้อหา	มโนมติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน
ขั้วพันธะและขั้วโมเลกุล	5. ในพันธะโคเวเลนต์ทุกพันธะ การใช้อิเล็กตรอนอิเล็กตรอนร่วมกัน ของอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะจะเท่ากันเสมอ 6. โมเลกุลมีขั้วเกิดขึ้นจากการสร้างพันธะกันระหว่างอะตอมที่ค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีเท่ากันเพียงเท่านั้น 7. ขั้วของโมเลกุลขึ้นกับจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุดของแต่ละอะตอมในโมเลกุล 8. ประจุของไอออนสามารถใช้ทำนายขั้วของพันธะได้

รูปร่างโมเลกุล	9. รูปร่างโมเลกุลเกิดจากแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะเพียงอย่างเดียว 10. รูปร่างโมเลกุลเกิดจากแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวเพียงอย่างเดียว 11. ขั้วของพันธะสามารถใช้ทำนายรูปร่างโมเลกุลได้
แรงระหว่างโมเลกุล	12. แรงระหว่างโมเลกุลคือแรงภายในโมเลกุล 13. แรงระหว่างโมเลกุลที่แข็งแรงจะเกิดขึ้นในของแข็งที่มีพันธะโคเวเลนต์แบบโครงสร้างตาข่าย
พันธะโลหะ	14. พันธะภายในเหล็กเป็นพันธะโคเวเลนต์ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่แข็งแรงจึงทำให้เหล็กมีความแข็งและมีจุดเดือดจุดหลอมเหลวสูง 15. โลหะมีพันธะคล้ายกับพันธะไอออนิก ประกอบด้วย ไอออนบวกและไอออนลบ เรียงต่อเนื่องสลับกันไป

2.4 มโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่อง พันธะเคมี

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561) ได้นำเสนอมโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่อง พันธะเคมี ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาในเนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรม ยากต่อการเข้าใจ ซึ่งมีทั้งหมด 10 มโนมติ ได้แก่ กฎออกเตต การเกิดพันธะไอออนิก โครงสร้างสารประกอบไอออนิก การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ และการเกิดพันธะโลหะ ซึ่งในแต่ละมโนมติได้นำเสนอในส่วนที่เป็นมโนมติและตัวอย่างของมโนมติในลักษณะของตัวแทนความคิด มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 กฎออกเตต

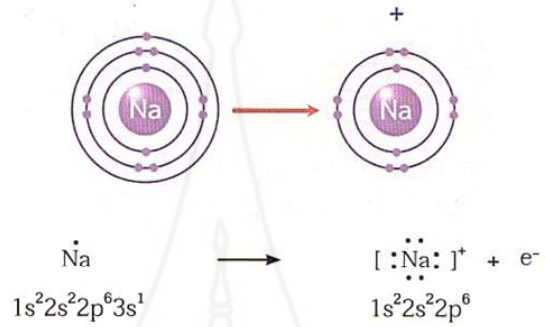
กฎออกเตต (octet rule) คือ การรวมตัวกันของธาตุต่างๆ เพื่อที่จะทำให้แต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 8

2.4.2 การเกิดพันธะไอออนิก

พันธะไอออนิกโดยส่วนใหญ่เกิดจากการที่ธาตุโลหะซึ่งมีพลังงานไอออไนเซชันต่ำเสียอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนบวก และธาตุอโลหะซึ่งมีค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนสูงรับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนลบ ซึ่งทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต ไอออนบวกและไอออนลบมีประจุไฟฟ้าต่างกันจึงยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าเรียก
การยึดเหนี่ยวนี้ว่า พันธะไอออนิก

ตัวอย่างเช่น การเกิดพันธะไอออนิกของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นดังนี้

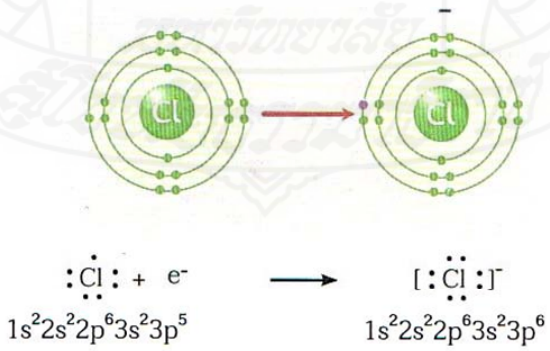
ธาตุโซเดียม (Na) เป็นธาตุโลหะ เลขอะตอม 11 มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 1 การที่โซเดียมจะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตตได้นั้น โซเดียมจะเสียอิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน เกิดเป็นโซเดียมไอออน (Na^+) ซึ่งมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6$ เหมือนกับธาตุนีออน ดังนี้



ภาพที่ 2.1 การเกิดโซเดียมไอออน

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

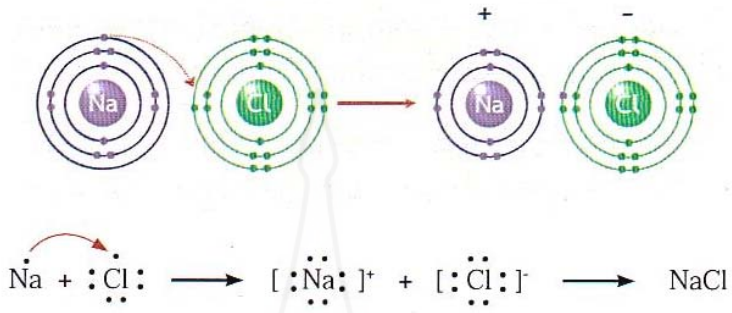
ธาตุคลอรีน (Cl) เป็นธาตุอโลหะ เลขอะตอม 17 มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 การที่คลอรีนจะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตตได้นั้น คลอรีนจะต้องรับอิเล็กตรอน 1 อิเล็กตรอน เกิดเป็นคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ซึ่งมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6\ 3s^2 3p^6$ เหมือนกับธาตุอาร์กอน ดังนี้



ภาพที่ 2.2 การเกิดคลอไรด์ไอออน

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

เมื่อโซเดียมให้ 1 เวเลนซ์อิเล็กตรอนแก่คลอรีน และคลอรีนรับ 1 เวเลนซ์อิเล็กตรอนจากโซเดียมจะเกิดเป็นโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออน เมื่อไอออนทั้งสองยึดเหนี่ยวกันจะเกิดเป็นสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ดังนี้



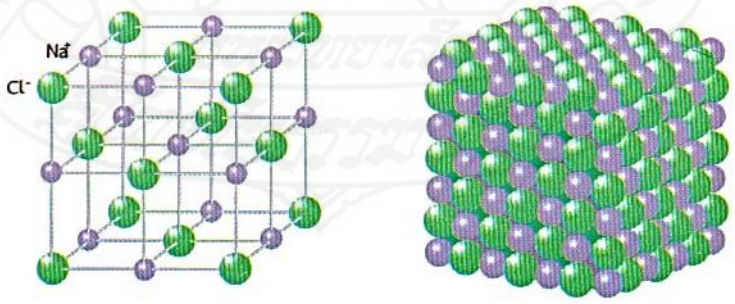
ภาพที่ 2.3 การเกิดพันธะไอออนิกของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

2.4.3 โครงสร้างสารประกอบไอออนิก

สารประกอบไอออนิกที่มีสถานะของแข็ง ประกอบด้วยไอออนบวกรวมอยู่กับไอออนลบต่อเนื่องสลับกันไปทั้งสามมิติเป็นโครงผลึกและแยกเป็นโมเลกุลเดี่ยวไม่ได้ โครงสร้างของสารประกอบไอออนิกมีลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของจำนวนประจุ ขนาดของไอออนและโครงสร้างผลึกของสารนั้นๆ

ตัวอย่างเช่น โครงผลึกของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์



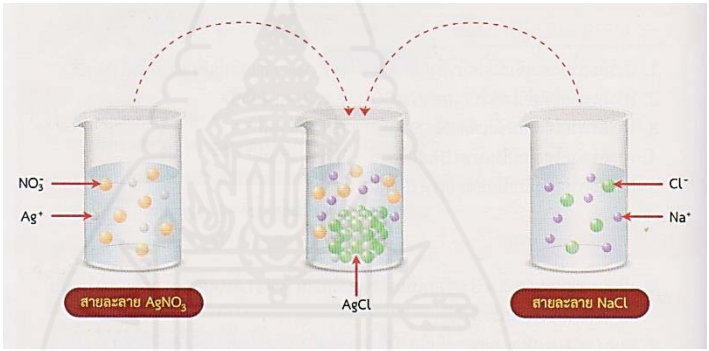
ภาพที่ 2.4 โครงผลึกของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

2.4.4 การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก

สารประกอบไอออนิกเมื่อละลายน้ำ ไอออนบวกและไอออนลบจะแยกออกจากกัน ถ้าการผสมกันระหว่างสารละลายของสารประกอบไอออนิกไอออนอิสระจะทำปฏิกิริยากันทำให้เกิดตะกอนเกิดเป็นสารประกอบไอออนิกชนิดใหม่ที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งจะเกิดขึ้นกับสารประกอบไอออนิกบางคู่

ตัวอย่างเช่น ซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) เมื่อละลายน้ำจะได้ Ag^+ และ NO_3^- ถ้านำมาผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งมี Na^+ และ Cl^- จะได้ตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) ซึ่งไม่ละลายน้ำ ดังภาพ



ภาพที่ 2.5 ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

ปฏิกิริยาการเกิดตะกอนของสารประกอบไอออนิกในน้ำ อาจเขียนแทนด้วยสมการไอออนิก (ionic equation) และสมการไอออนิกสุทธิ (net ionic equation) ได้ดังนี้

<u>สมการไอออนิก</u>

$Ag^+(aq) + NO_3^-(aq) + Na^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s) + Na^+(aq) + NO_3^-(aq)$

<u>สมการไอออนิกสุทธิ</u>

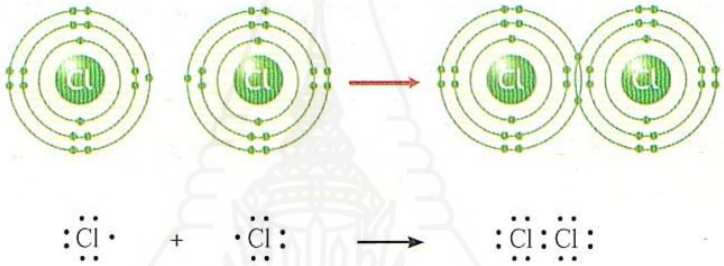
$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$

2.4.5 การเกิดพันธะโคเวเลนต์

พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูงและมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกันรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ที่เป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน ดังนั้นเมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน เรียกการยึดเหนี่ยวนี้ว่า พันธะโคเวเลนต์ ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต

ตัวอย่างการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของแก๊สคลอรีน (Cl_2) เป็นดังนี้

ธาตุคลอรีน (Cl) มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 (มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$) ดังนั้นคลอรีนทั้งสองอะตอมจะใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เพื่อให้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต เขียนแผนภาพและสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสแสดงการเกิดพันธะได้ดังนี้



ภาพที่ 2.6 การเกิดพันธะโคเวเลนต์ของแก๊สคลอรีน

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

2.4.6 ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์

ความยาวพันธะ (bond length) คือ ระยะระหว่างนิวเคลียสของอะตอมแต่ละคู่ที่เกิดพันธะต่อกัน

พลังงานพันธะ(bond energy) คือ พลังงานปริมาณน้อยที่สุดที่ใช้สลายพันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลในสถานะแก๊สให้เป็นอะตอมเดี่ยวในสถานะแก๊ส

พลังงานพันธะมีความสัมพันธ์กับความยาวพันธะ คือ พันธะที่มีค่าพลังงานพันธะน้อยจะมีค่าความยาวพันธะมาก พันธะที่มีค่าพลังงานพันธะมากจะมีค่าความยาวน้อย โดยความยาวพันธะเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ พันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม ส่วนพลังงานพันธะเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ พันธะสาม พันธะคู่ และพันธะเดี่ยว

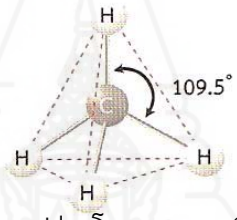
2.4.7 รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์

การคาดคะเนรูปร่างโมเลกุลจากโครงสร้างลิวอิสโดยอาศัยการผลักกันของอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวใช้ ทฤษฎีการผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอนใน

<u>วงเวเลนซ์</u> (Valence Shell Electron Pair Repulsion theory : VSEPR theory) โดยทฤษฎี VSEPR มีหลักการว่า อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่ใกล้นิวเคลียสมากกว่าอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ ดังนั้นแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวด้วยกัน > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะด้วยกัน ดังนั้นรูปร่างโมเลกุลจึงขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะและจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวรอบอะตอมกลาง

ตัวอย่างเช่น

มีเทน (CH_3) มีอะตอมล้อมรอบ 3 อะตอม และไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว มีรูปร่างโมเลกุลแบบทรงสี่หน้า (Tretrahedal) ซึ่งแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะทำให้พันธะ C – H ทำมุมระหว่างกันมากที่สุด เท่ากับ 109.5° ทั้ง 3 มุม ดังภาพ



ภาพที่ 2.7 รูปร่างโมเลกุลของมีเทน (CH_4)

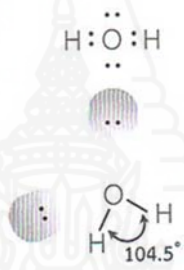
ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

แอมโมเนีย (NH_3) มีอะตอมล้อมรอบ 3 อะตอม และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 1 คู่ มีรูปร่างโมเลกุลแบบพีระมิดฐานสามเหลี่ยม (Trigonal pyramidal) และเนื่องจากแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะมีมากกว่าแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะด้วยกัน จึงทำให้พันธะ H – N – H มีค่าน้อยกว่า 109.5° ซึ่งจากการทดลองพบว่ามุม H – N – H มีค่าเท่ากว่า 107.3° ดังภาพ

ภาพที่ 2.8 รูปร่างโมเลกุลของแอมโมเนีย (NH_3)

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

น้ำ (H_2O) มีอะตอมล้อมรอบ 2 อะตอม และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 2 คู่ มีรูปร่างโมเลกุลแบบมุมงอ (Bent) และเนื่องจากแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะมีมากกว่าแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะด้วยกัน จึงทำให้พันธะ H – O – H มีค่าน้อยกว่า 109.5° ซึ่งจากการทดลองพบว่ามุม H – O – H มีค่าเท่ากับ 104.5 ° และจะเห็นว่ามุม H – O – H ในโมเลกุลน้ำ มีค่าน้อยกว่ามุม H – N – H ในโมเลกุลแอมโมเนีย เนื่องจากในโมเลกุลน้ำมีจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมกลาง 2 คู่ ในขณะที่โมเลกุลแอมโมเนียมีจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวรอบอะตอมกลาง 1 คู่ ดังภาพ



ภาพที่ 2.9 รูปร่างโมเลกุลของน้ำ (H_2O)

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

2.4.8 สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์

พันธะโคเวเลนต์ที่เกิดจากอะตอมที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีเท่ากันเป็นพันธะไม่มีขั้ว ถ้าเกิดจากอะตอมที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีไม่เท่ากันจะเป็นพันธะมีขั้ว สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์จึงขึ้นอยู่กับสภาพขั้วพันธะและรูปร่างโมเลกุล ซึ่งเป็นการรวมเวกเตอร์ของแต่ละพันธะในรูปร่างโมเลกุล ซึ่งทำให้โมเลกุลโคเวเลนต์มีทั้งโมเลกุลมีขั้วและไม่มีขั้ว

ตัวอย่างเช่น โมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีรูปร่างแบบเส้นตรง และมีเวกเตอร์สภาพขั้วของพันธะ C = O สองพันธะในทิศทางตรงกันข้ามกันจึงหักล้างกันหมด ทำให้ CO_2 เป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว ดังนี้

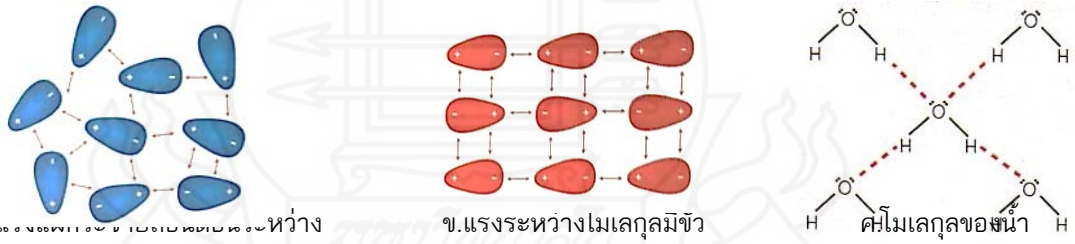
2.4.9 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเกี่ยวข้องกับขนาดโมเลกุลและสภาพขั้วของโมเลกุล ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์มีหลายชนิด ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึง 3 ชนิด ดังนี้

1. แรงแผ่กระจายลอนดอน (London dispersion force) เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วหรืออะตอมแก๊สมีสกุล ซึ่งเป็นแรงอ่อน ๆ ที่เกิดจากการกระจายของอิเล็กตรอนในอะตอมขณะใดขณะหนึ่งซึ่งอาจไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดสภาพขั้วชั่วขณะ แล้วเหนี่ยวนำให้โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันเกิดขั้วตรงข้ามและมีแรงดึงดูดชั่วขณะ โดยแรงแผ่กระจายลอนดอนเพิ่มขึ้นตามขนาดของโมเลกุล

2. แรงระหว่างขั้ว (dipole-dipole force) เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีขั้ว ซึ่งเกิดจากแรงกระทำระหว่างขั้วที่มีอำนาจไฟฟ้าค่อนข้างบวกกับขั้วที่มีอำนาจไฟฟ้าค่อนข้างลบของโมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน โดยทั่วไปแรงระหว่างขั้วเพิ่มขึ้นตามสภาพขั้วของโมเลกุลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน

3. พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่เกิดจากอะตอมของไฮโดรเจนยึดเหนี่ยวกับอะตอมของธาตุที่มีขนาดเล็กและมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงได้แก่ ฟลูออรีน ออกซิเจนและไนโตรเจน เปรียบเทียบความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจากมากไปน้อย คือ พันธะไฮโดรเจน แรงระหว่างขั้ว และแรงแผ่กระจายลอนดอน ตามลำดับ ดังภาพ



ก. แรงแผ่กระจายลอนดอนระหว่างโมเลกุลที่เกิดจากสภาพขั้วชั่วขณะ ข.แรงระหว่างโมเลกุลมีขั้วที่เกิดจากสภาพขั้ว ค.โมเลกุลของน้ำที่เกิดพันธะไฮโดรเจน

ภาพที่ 2.10 แรงระหว่างโมเลกุล

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

2.4.10 การเกิดพันธะโลหะ

พันธะโลหะเกิดจากอะตอมของธาตุโลหะมีค่าพลังงานไอออไนเซชันต่ำ การยึดเหนี่ยวระหว่างเวเลนซ์อิเล็กตรอนกับโปรตอนในนิวเคลียสจึงน้อย ทำให้เวเลนซ์

อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระไปทั่วทั้งชิ้นโลหะและเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับโปรตอนทุกทิศทาง ซึ่งเรียกแรงยึดเหนี่ยวนี้ว่า พันธะโลหะ

การเกิดพันธะโลหะอาจแสดงได้ด้วยแบบจำลองอิเล็กตรอน (Electron sea model) ดังภาพ

ภาพที่ 2.11 แบบจำลองทะเลอิเล็กตรอนในการเกิดพันธะโลหะ

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

จากการศึกษามโนมติเรื่อง พันธะเคมี ข้างต้นนั้นจะเห็นได้ว่าเป็นเนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรม ยากต่อการเข้าใจ นั่นคือการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบจะช่วยทำให้นักเรียนได้เห็นเป็นรูปธรรมและแสดงความเข้าใจในมโนมติในเรื่องนั้นๆ โดยการเสนอตัวแทนความคิด

2.5 การวัดและประเมินความเข้าใจมโนมติ

ผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับการวัดความเข้าใจมโนมติ และนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้ ตัวชี้วัดความเข้าใจมโนมติ เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบความเข้าใจ ระดับความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ และการสร้าง การหาคุณภาพและเครื่องมือวัดและการประเมินมโนมติทางวิทยาศาสตร์ มีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 ตัวชี้วัดความเข้าใจมโนมติ

การที่จะวัดนักเรียนได้ว่ามีความเข้าใจมโนมติในเรื่องนั้นๆ ได้ถูกต้องหรือไม่นั้น จากการศึกษาพบว่าสามารถวัดได้จากตัวชี้วัดซึ่งจากการศึกษาพบว่าตัวชี้วัดความเข้าใจมโนมติคือองค์ประกอบของพฤติกรรมที่สามารถบอกได้ว่านักเรียนเกิดมโนมติซึ่งพิจารณาได้จากความสามารถของนักเรียนในการระบุในแต่ละองค์ประกอบของพฤติกรรมที่แสดงออก รายละเอียดมีดังนี้

ปรียาพร วงศ์อนุตรโรจน์ (2543, น. 43) กำหนดองค์ประกอบของพฤติกรรมที่สามารถบอกได้ว่านักเรียนเกิดมโนมติ ดังนี้

1. สามารถจำแนกได้ หมายถึง ให้คำอธิบายชี้แจงคุณสมบัติรวม โดยนำไปใช้ในการบรรยายวัตถุหรือปรากฏการณ์นั้น ๆ และสามารถจัดกลุ่มที่มีลักษณะเหมือนกันเข้าไว้ด้วยกันได้

2. สามารอธิบายได้ หมายถึง สามารถให้ความหมาย บอกคำจำกัดความและสามารถอธิบายคุณลักษณะของบางสิ่งบางอย่างหรือปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถเห็นได้ทั้งหมด แต่มีหลักฐานสนับสนุนแล้วสร้างเป็นคำอธิบายได้

3. สามารถยกตัวอย่างได้ หมายถึง นักเรียนสามารถยกตัวอย่างนอกเหนือจากตัวอย่างที่พบเห็น หรือตัวอย่างที่ครูใช้ในการสอน

4. สามารถเชื่อมความสัมพันธ์ได้ หมายถึง นักเรียนสามารถเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง และสามารถบอกได้ว่ามีความสัมพันธ์กับหัวข้ออื่นๆ อย่างไร

พันธ์ ทองชุมนุม (2547, น. 205) ได้กล่าวว่า การตรวจสอบมโนมตินักเรียนทำได้โดยเมื่อครูได้ทำการสอนในเรื่องใดเรื่องหนึ่งไปแล้ว สิ่งที่ครูอยากทราบคือนักเรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้และมีมโนมติในสิ่งที่ได้สอนถูกต้องตามที่คาดหวังไว้หรือไม่ ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

1. สามารถระบุหรือเรียกชื่อมโนมตินั้นได้

2. สามารถบอกลักษณะของมโนมตินั้นได้

3. สามารถจำแนก คัดเลือกยกตัวอย่างและสิ่งที่ไม่ใช่ตัวอย่างของมโนมตินั้นได้

4. สามารถอธิบายรวมถึงสรุปความหมายของมโนมตินั้นได้ จากความรู้ความเข้าใจของตนเอง ด้วยภาษาของตนเอง

สรุปได้ว่า ตัวชี้วัดความเข้าใจมโนมติวัดได้จากพฤติกรรมของนักเรียนที่สามารถบอกได้ว่านักเรียนเกิดมโนมติที่เรียกได้ว่าเป็นตัวชี้วัดความสามารถด้านมโนมตินั้นจะต้องสามารถระบุหรือเรียกชื่อมโนมตินั้นได้ ให้ความหมาย บอกคำจำกัดความ อธิบายลักษณะของ
มโนมตินั้นได้ สามารถยกตัวอย่างของมโนมตินั้นได้ และสามารถอธิบายและสรุปมโนมติจากความรู้ความเข้าใจของตนเองด้วยภาษาของตนเอง

2.5.2 เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบความเข้าใจมโนมติ

จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบมโนมติ มีดังนี้

ศิริเดช สุชีวะ (2538) และจุฬารัตน์ ธรรมประทีป (2554) ได้จำแนกประเภทเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ มโนมติ ดังนี้

1. การสังเกตและการสอบถาม

สังเกตและการสอบถามเป็นเครื่องมือที่ใช้ในระยะแรก ใช้กับนักเรียนเป็นรายบุคคล อย่างไม่เป็นทางการ ครูต้องเป็นผู้มีทักษะในการสังเกตและตั้งคำถาม วิธีนี้ใช้ได้ผลดีกับนักเรียนกลุ่มเล็ก และครูที่มีความใกล้ชิดกบนักเรียน แต่ถ้าในห้องเรียนมีนักเรียน

จำนวนมากวิธี
นี้จะไม่เหมาะสมเพราะต้องใช้เวลานาน

2. แบบทดสอบ

2.1 แบบทดสอบแบบอัตนัย

การใช้แบบทดสอบแบบอัตนัย ใช้ได้ผลดีทั้งในการวินิจฉัยมโนมติพื้นฐานและมโนมติที่ซับซ้อน การตอบคำถามของนักเรียนต้องคิดและเขียนตอบด้วยภาษาของตนเองเหมาะสำหรับวิชาที่มีเนื้อหาประกอบด้วยเรื่องต่างๆ ที่สัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกัน และเป็นการวัดว่าสามารถบูรณาการเรื่องต่างๆเหล่านั้นได้ ครูต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญในเนื้อหานั้นเป็นอย่างดี ต้องใช้เวลา ในการสอบ การตรวจ และการวินิจฉัย ค่อนข้างยาก ทำให้เป็นข้อจำกดของวิธีการนี้

2.2 แบบทดสอบแบบปรนัย

เป็นวิธีการที่เป็นทางการที่ใช้กันมานานในวงการวัดผลการศึกษาสร้างขึ้นเพื่อค้นหาข้อบกพร่อง จุดอ่อน หรือจุดด้อยของนักเรียน เพื่อแยกแยะนักเรียนว่ามีความสามารถดีหรือด้อยในเรื่องใด และหาสาเหตุว่านักเรียนมีผลการเรียนด้อยเนื่องมาจากสาเหตุอะไร เป็นข้อสอบที่ตอบสนองสภาพการณ์ สามารถแสดงให้เห็นกระบวนการคิดของนักเรียนอย่างเพียงพอที่จะค้นคว้า วิเคราะห์อุปสรรค และความเข้าใจคลาดเคลื่อนในการเรียน

2.3 แผนผังมโนมติ

การใช้แผนผังมโนมติเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบมโนมติของนักเรียนสำหรับตรวจสอบความรู้เดิม หรือประเมินความรู้หรือมโนมติหลังจากที่เรียนแล้ว เนื่องจากแผนผังมโนมติเป็นการเชื่อมโยงความรู้ตั้งแต่ 2 มโนมติขึ้นไป เมื่อนักเรียนสามารถทำได้จะแสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยง หรือการบูรณาการสิ่งที่เรียนรู้

2.4 เทคนิคการทำนาย-การสังเกต-การอธิบาย (Prediction - Observation Explanation, POE)

เทคนิค POE ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 ทำนายก่อนลงมือทำ
กิจกรรมพร้อมอธิบายเหตุผล ขั้นที่ 2 ทำการสังเกตและบันทึกผลที่สังเกตได้ และ ขั้นที่ 3 การอธิบายความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ทำนายในขั้นที่ 1 กบสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในขั้นที่ 2 เทคนิคนี้ ทำให้ทราบถึงมโนมติของนักเรียนโดยจะนำพื้นฐานความรู้เดิมมาเป็นพื้นฐานในการทำนาย ซึ่งจะทราบได้จากการเขียนเหตุผลอธิบาย

2.5 วาดรูป (Drawing)

การตรวจสอบมโนมติสามารถให้นักเรียนวาดรูปเพื่อแสดงความเข้าใจ โดยอาจจะมีการสัมภาษณ์ เพื่อให้นักเรียนอธิบายสิ่งที่ตนเองวาดได้ สามารถใช้ได้ทั้งการตรวจสอบมโนมติเดิมที่นักเรียนมีก่อนที่จะเรียนเรื่องนั้น ซึ่งเนื้อหาบางเรื่องจะสื่อให้เห็นถึงความ

เข้าใจของนักเรียน เช่น ในรายวิชาชีววิทยา การเรียนเรื่องโครงสร้างของคลอโรพลาสต์ ถ้าให้นักเรียนวาดภาพคลอโรพลาสต์ จะทำให้ทราบวานักเรียนเข้าใจมากน้อยเพียงใดได้ เป็นต้น

2.6 เทคนิค Think-Aloud Pairs

เทคนิค Think-Aloud Pairs ซึ่งเหมาะสมกับห้องเรียนที่มีจำนวนน้อย โดยนักเรียนจะทำกิจกรรมเป็นคู่ และมีหน้าที่เป็น ผู้แก้ปัญหา และผู้รับฟังสลับกันในการตอบคำถามที่ ได้รับ โดยผู้แก้ปัญหาจะคิดออกมาดัง ๆ (think-aloud) ถึง ขั้นตอนการแก้ปัญหา โดยจะใช้เวลา ประมาณ 10 นาที

2.7 แบบผสมผสาน (Mixed Method)

ในการศึกษามโนมติของนักเรียนนั้น ไม่ได้จำกัดว่า จะต้องใช้หลักการและเครื่องมือเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น นักวิจัยหลายคนจึงได้พัฒนาแบบวัดมโนมติที่ผสมผสานวิธีการวัดหลายอย่างเข้าด้วยกัน เช่น การสอบระดับนานาชาติ PISA และ TIMSS ซึ่งเป็นแบบทดสอบที่นักเรียนจะต้องใช้ความรู้แบบบูรณาการในการตอบคำถาม ทำให้ทราบ ถึงความรู้พื้นฐานและความสามารถในการบูรณาการความรู้ของนักเรียน

จากการศึกษาเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบความเข้าใจมโนมติ สรุปได้ว่า เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบความเข้าใจมโนมตินั้นมีได้หลายแบบ ได้แก่ 1) การสังเกตและการสอบถาม 2) แบบทดสอบ 3) แผนผังมโนมติ 4) เทคนิคการทำนาย-การสังเกต-การอธิบาย 5) วาดรูป 6) เทคนิค Think-Aloud Pairs และ 7) แบบผสมผสาน นั่นคือการที่จะเลือกใช้เครื่องมือตรวจสอบความเข้าใจมโนมตินั้นจึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสมตามบริบท ซึ่งจากการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้แบบทดสอบเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์

2.5.3 ระดับความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาระดับความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ มีนักการศึกษาแบ่งระดับความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้

Westbrook and Marek (1991, อ้างถึงใน Mungsing (1993) ได้แบ่งระดับความเข้าใจมโนมติ ออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

1. ความเข้าใจมโนมติในระดับที่สมบูรณ์ (Complete Understanding, CU) หมายถึงคำตอบของนักเรียนถูกต้องและการให้เหตุผลถูกต้องสมบูรณ์ ครบองค์ประกอบที่สำคัญในแต่ละแนวคิด

2. ความเข้าใจมโนมติในระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding, PU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูกต้อง และการให้เหตุผลของนักเรียนถูกต้องสมบูรณ์ แต่ยังขาดองค์ประกอบที่สำคัญบางส่วน

3. ความเข้าใจมโนมติในระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (Partial Understanding with specific Alternative Conception, PS) หมายถึง คำตอบของนักเรียนถูกต้องบางส่วนแต่บางส่วนแสดงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนหรือเลือกคำตอบถูกแต่ไม่สามารถอธิบายคำตอบได้

4. ความเข้าใจมโนมติในระดับที่คลาดเคลื่อน (Alternative Conception, AC) หมายถึง คำตอบของนักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด

5. ความไม่เข้าใจ (No Understanding, NU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนไม่ตรงกับคำถามหรือนักเรียนไม่ตอบคำถาม

Haidar (1997) ได้จัดกลุ่มคำตอบเป็น 5 กลุ่ม ดังนี้

1. มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Understanding, SU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์ทุกองค์ประกอบ

2. มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding, PU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงว่ามีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ

3. มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน(Partial Understanding with specific Misconception, PU & MU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงว่ามีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบและบางส่วนที่ไม่สอดคล้องหรือคลาดเคลื่อนจากมโนมติทางวิทยาศาสตร์

4. มโนมติคลาดเคลื่อน (Misconception, MU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงมโนมติที่ไม่สอดคล้องหรือคลาดเคลื่อนจากมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและไม่สอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์

5. ไม่เข้าใจมโนมติ (No understanding, NU) คือ การที่นักเรียนไม่ตอบคำถาม ตอบคำถามในลักษณะทวนคำถามหรือตอบคำถามไม่ตรงประเด็น

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้แบบวัดมโนมติทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อใช้วัดมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งอยู่ในแบบวัดมโนมติและตัวแทนความคิด วิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี เป็นแบบวัดมโนมติแบบอัตนัย ซึ่งเป็นชุดเดียวกันทั้งก่อนและหลังเรียน โดยใช้เกณฑ์การวัดระดับความเข้าใจมโนมติตามแนวทางของ Haidar (1997) เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และให้คะแนน เนื่องจากแบบวัดมโนมติทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นนั้นเป็นแบบทดสอบแบบอัตนัยแบบเขียนตอบ ซึ่งเกณฑ์ตามแนวทางของ Haidar (1997) มีความเหมาะสมกับแบบวัด ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวได้กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

1. มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Understanding, SU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์ทุกองค์ประกอบ ให้ 3 คะแนน

2. มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding, PU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงว่ามีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ ให้ 2 คะแนน

3. มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน(Partial Understanding with specific Misconception, PU & MU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงว่ามีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบและบางส่วนที่ไม่สอดคล้องหรือคลาดเคลื่อนจากมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ให้ 1 คะแนน

4. มโนมติคลาดเคลื่อน (Misconception, MU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงมโนมติที่ไม่สอดคล้องหรือคลาดเคลื่อนจากมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและไม่สอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์ ให้ 0 คะแนน

5. ไม่เข้าใจมโนมติ (No understanding, NU) คือ การที่นักเรียนไม่ตอบคำถาม ตอบคำถามในลักษณะทวนคำถามหรือตอบคำถามไม่ตรงประเด็น ให้ 0 คะแนน

2.6 การสร้าง การหาคุณภาพและเครื่องมือวัดและการประเมินมโนมติทางวิทยาศาสตร์

กัญจนา ลินทรรัตนศิริกุล 2553, น. 38 - 72) ได้อธิบายกระบวนการสร้างเครื่องมือวิจัยโดยทั่วไป มีดังนี้

2.6.1 การสร้างแบบทดสอบ

1) วิเคราะห์คุณลักษณะที่ต้องการวัด เป็นการพิจารณาว่าคุณลักษณะที่ต้องการวัดคืออะไร โดยการพิจารณาจากวัตถุประสงค์การวิจัยหรือสมมติฐานการวิจัยว่าตัวแปรที่ต้องการวัดคืออะไร กล่าวคือ เป็นความสามารถด้านความคิด ความรู้สึกหรืออารมณ์หรือความสามารถในการปฏิบัติ

2) กำหนดความหมายหรือนิยามคุณลักษณะ โดยกำหนดความหมายหรือให้คำนิยามว่าคืออะไรหรือหมายความว่าอย่างไร และถ้าจะวัดคุณลักษณะนั้นจะมีเนื้อหาครอบคลุมอะไรบ้าง

3) เลือกวิธีการและชนิดของเครื่องมือวิจัย โดยต้องเลือกวิธีการและชนิดของเครื่องมือว่าควรใช้วิธีการใด และเครื่องมือวิจัยอะไรจึงจะสามารวัดคุณลักษณะนั้นๆ ได้เหมาะสมที่สุด

2.6.2 การหาคุณภาพแบบวัดมโนมติ

การหาคุณภาพของแบบทดสอบหรือแบบวัด ได้แก่ 1) การตรวจสอบความตรง 2) การตรวจสอบความยากและอำนาจจำแนก และ3) การตรวจสอบความเที่ยง ดังนี้

1) การตรวจสอบความตรง

การตรวจสอบความตรงมี 3 วิธีคือ 1) ความตรงเชิงเนื้อหา 2) ความตรงเชิงโครงสร้าง และ 3) ความตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ ซึ่งแบบทดสอบหรือแบบวัดมโนมติเป็นเครื่องมือที่วัดความรู้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา

การตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา เป็นการพิจารณาว่าข้อคำถามในเครื่องมือวิจัยตรงตามเนื้อหาที่ต้องการวัดหรือไม่ ซึ่งคำว่า "เนื้อหา" ครอบคลุมถึง ความรู้ ทักษะ และพฤติกรรมที่ต้องการวัด ความตรงเชิงเนื้อหา รวมถึงความตรงของข้อคำถามและความตรงเชิงสุ่ม ความตรงของข้อคำถามเป็นการพิจารณาว่าเป็นตัวแทนของเนื้อหาที่วัดหรือไม่ และความตรงเชิงสุ่มเป็นการพิจารณาว่าเนื้อหาที่สุ่มมาสร้างข้อคำถามครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมดหรือไม่

วิธีการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาสามารถทำได้โดยการให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณา ซึ่งผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบโดยการเปรียบเทียบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ของเนื้อหาที่ต้องการวัด ผู้เชี่ยวชาญจะประเมินแต่ละข้อคำถามว่าวัดตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของเนื้อหาที่ต้องการวัดหรือไม่ โดยพิจารณาจากความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (Index of Item-Objective Congruence: IOC)

2) การตรวจสอบความยากและอำนาจจำแนก

การตรวจสอบความยากและอำนาจจำแนกของเครื่องมือวิจัย เป็นการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัยเป็นรายข้อ ซึ่งในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัยที่ใช้วัดความรู้ความสามารถนั้น ส่วนใหญ่จะใช้แบบทดสอบ ซึ่งจะพิจารณาค่าสถิติ 2 ค่า คือ (1) ความยาก (difficulty) และ (2) อำนาจจำแนก (discriminant)

(1) ความยาก (difficulty) คือ สัดส่วนของจำนวนผู้สอบที่ตอบ

ข้อสอบ

ข้อนั้นถูก

สำหรับกรณีที่มีผู้เข้าสอบมาก จะนำคะแนนของผู้สอบมาจัดเรียงตามลำดับจากคะแนนสูงไปหาคะแนนต่ำสุด แล้วแบ่งผู้สอบออกเป็นกลุ่มคะแนนสูง และกลุ่มคะแนนต่ำ ด้วยเทคนิค 50% 27% 25% แล้วแต่ความเหมาะสม โดยปกติถ้าผู้สอบน้อย เช่น 20 คน ควรใช้เกณฑ์ 50% ถ้าผู้สอบ 40 คน อาจใช้เกณฑ์ 25% ค่าความยากอยู่ในช่วง 0.00 – 1.00 ซึ่งค่าความยากที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 0.20 – 0.80

(2) อำนาจจำแนก คือ ความสามารถขอข้อสอบที่จำแนกผู้สอบที่ได้คะแนนสูงออกจากผู้สอบที่ได้คะแนนต่ำ ค่าอำนาจจำแนกอยู่ในช่วง -1.00 – 1.00 ซึ่งค่าอำนาจจำแนกที่เหมาะสมควรมีค่า 0.20 ขึ้นไป

3) การตรวจสอบความเที่ยง

การตรวจสอบความเที่ยงใช้วิธีสัมประสิทธิ์แอลฟา เป็นวิธีการที่ครอนบาค (Cronbach) พัฒนาขึ้น เป็นวิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการหาความเที่ยงของเครื่องมือวิจัย ซึ่งเป็นแบบทดสอบทั้งแบบปรนัยและแบบอัตนัย วิธีการหาทำได้โดยนำเครื่องมือวิจัยไปทดสอบกับกลุ่มผู้สอบเพียงครั้งเดียว ซึ่งค่าความเที่ยงที่เหมาะสมควรมีค่าใกล้เคียงกับ 1.00

3. ตัวแทนความคิด

การแสดงออกถึงความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่องใดเรื่องหนึ่งนั้น มีวิธีการแสดงออกในรูปแบบของตัวแทนความคิด เช่น การอธิบาย การบรรยาย การวาดรูป แผนภาพ การแสดงบทบาทสมมติ ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาและนำเสนอเกี่ยวกับตัวแทนความคิดตามหัวข้อต่อไปนี้ ความหมายและการแสดงออกของตัวแทนความคิด ประเภทและระดับของตัวแทนความคิด การวัดและประเมินความสามารถของการแสดงออกของตัวแทนความคิด การสร้าง การหาคุณภาพเครื่องมือวัด และการประเมินความสามารถการแสดงออกของตัวแทนความคิด รายละเอียดมีดังนี้

3.1 ความหมายและวิธีการเสนอตัวแทนความคิด

3.1.1 ความหมายของตัวแทนความคิด

จากการศึกษา พบว่านักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของตัวแทนความคิดไว้ดังนี้

Hall (1997, อ้างถึงใน อภิวัฒน์ ศรีกันหา, 2558) กล่าวว่า ตัวแทนความคิด เป็นผลผลิตที่เกิดจากการให้ความหมายของแนวคิดของตัวเราโดยผ่านสัญลักษณ์หรือภาษา ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงแนวคิด (Concept) กับระบบสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน หรือเป็นการเสนอแนวคิดผ่านสัญลักษณ์

Kozma and Russell (1997) ได้ให้ความหมายของตัวแทนความคิด ว่า ตัวแทนความคิดหมายถึง การแสดงให้เห็นถึงสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็นได้หรือสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาค ในการอธิบายหรือสื่อถึงความหมายเพื่อให้เข้าใจการเปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์ต้องใช้ ภาพเคลื่อนไหวแบบจำลอง และวาดภาพ

วุฒิพงศ์ รารัตน์ (2561) ได้สรุปความหมายของ ตัวแทนความคิด หมายถึง สิ่งที่มนุษย์ใช้เป็นตัวแทนที่จะสื่อสารหรือแสดงออกถึงความคิดความเข้าใจในสิ่งต่างๆ จากตัวแทนความคิดที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรมขึ้นมา อาจแสดงออกมาในรูปแบบต่างๆ เช่น การพูด การเขียน การอภิปราย การใช้สัญลักษณ์ การสร้างแบบจำลอง และการแสดงบทบาทสมมติ

ชาตรี ฝ่ายคำตา (2563) ได้กล่าวเกี่ยวกับ ตัวแทนความคิดว่า ตัวแทนความคิด คือ สื่อที่ใช้เป็นตัวแทนให้คนอื่นเข้าใจปรากฏการณ์ โดยสร้างตัวแทนขึ้นมาเพื่อแสดงออกให้เห็นชัดเจนมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นตัวแทนภายนอกหรือตัวแทนเชิงสัญลักษณ์ เช่น การวาดภาพ สมการ หรือกราฟ

สรุปได้ว่า ตัวแทนความคิด หมายถึง สิ่งที่ใช้เป็นตัวแทนเพื่อสื่อสารหรือแสดงออกถึงความรู้ความเข้าใจในมโนมติในเรื่องนั้น จากสิ่งที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรม ซึ่งอาจแสดงได้หลายรูปแบบ เช่น คำอธิบาย การบรรยาย การวาดรูป แผนภาพ สมการ กราฟ แบบจำลอง บทบาทสมมติ เป็นต้น ซึ่งในเรื่องพันธะเคมีที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษานั้นเป็นเนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรม นั่นคือการที่จะตรวจสอบได้ว่านักเรียนมีความเข้าใจในมโนมตินั้นๆ ได้อย่างไรจึงสามารถวัดได้จากการแสดงออกจากสิ่งที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรมในรูปแบบดังกล่าวหลังจากที่นักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

3.1.2 วิธีการเสนอตัวแทนความคิด

จากการศึกษาวิธีการเสนอตัวแทนความคิด พบว่ามีวิธีการเสนอตัวแทนความคิด ที่มาจากความเข้าใจในมโนมติเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือเรื่องนั้นๆ โดยการนำเสนอให้บุคคลอื่นมองเห็นอย่างชัดเจนได้ โดยการเสนอตัวแทนความคิดในวิธีการต่างๆ ดังนี้

Prain and Waldrip (2008) ได้จำแนกวิธีการเสนอตัวแทนความคิดดังนี้

1. Verbal Mode เป็นการเสนอตัวแทนความคิดโดยการพูดปากเปล่า
2. Graphic and Visual Mode เป็นการเสนอตัวแทนความคิดด้วยกราฟิก

โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ เช่น วิดีโอ สื่ออินเตอร์เนต ไดอะแกรม ตาราง แผนภูมิ การสร้างสถานการณ์จำลอง (simulation) การนำเสนอโดยใช้พาวเวอร์พอยต์ เป็นต้น

3. Written Mode เป็นการเสนอตัวแทนความคิดโดยการเขียน เช่น ข้อความ ไดอารี และแผนผังความคิด เป็นต้น
4. Numerical Mode เป็นการเสนอตัวแทนความคิดในลักษณะของตัวเลขทางคณิตศาสตร์ต่างๆ
5. Embodied Mode เป็นการเสนอตัวแทนความคิดโดยการแสดงบทบาทสมมติหรือการนำเสนอหน้าชั้นเรียน
6. Three-dimentional Mode เป็นการเสนอตัวแทนความคิดโดยใช้แบบจำลองหรือการทดลอง

Bodner and Dornin (2000), Gillbert and Treagust (2009) และ Adadan (2013) (อ้างถึงใน รัชนี เจนการ, 2558) ได้จำแนกวิธีการเสนอตัวแทนความคิด ดังนี้

1. Verbal Mode เป็นการเสนอตัวแทนความคิดที่แสดงออกมาโดยใช้การพูด (Oral) หรือเป็นตัวหนังสือ (Textual) โดยอาจจะประกอบด้วยประโยคที่สมบูรณ์ หรือ

วลี
ก็ได้

2. Visual Mode เป็นการเสนอตัวแทนความคิดที่แสดงออกมาในรูปแบบของสิ่งที่มองเห็นได้ เช่น การใช้รูปภาพ การวาดภาพ การใช้กราฟ การสร้างแบบจำลอง การใช้ภาพเคลื่อนไหว การใช้ไดอะแกรม การสร้างสถานการณ์จำลองโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์

Carolan and Waldrip (2008) ได้จำแนกวิธีการเสนอตัวแทนความคิด ดังนี้

1. Concrete Mode เป็นการเสนอตัวแทนความคิดในรูปแบบตาราง กราฟ และแบบจำลอง 3 มิติ

2. Embodied Mode เป็นการเสนอตัวแทนความคิดโดยการอภิปราย การแสดง บทบาทสมมติ และการโต้วาที

สรุปได้ว่า การแสดงออกของตัวแทนความคิด มีวิธีการเสนอตัวแทนความคิดโดยมีรูปแบบการเสนอโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) การเสนอตัวแทนความคิดโดยการพูดหรือใช้ส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย ซึ่งอาจนำเสนอได้หลายรูปแบบ เช่น การพูดปากเปล่า การอภิปราย การโต้วาที และ 2) การเสนอตัวแทนความคิดที่แสดงออกมาในรูปแบบของสิ่งที่มองเห็นได้ เช่น การใช้รูปภาพ การวาดภาพ การใช้กราฟ การสร้างแบบจำลอง การใช้ภาพเคลื่อนไหว การใช้ไดอะแกรม การสร้างสถานการณ์จำลองโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ การแสดงบทบาทสมมติ

3.2 ประเภทและระดับของตัวแทนความคิด

ผู้วิจัยได้ศึกษาประเภทและระดับของตัวแทนความคิด นำเสนอตามลำดับ ดังนี้

3.2.1 ประเภทของตัวแทนความคิด

จากการศึกษาประเภทของตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ พบว่า ในบริบททางวิทยาศาสตร์มีการจำแนกของตัวแทนความคิดอย่างหลากหลายโดยใช้เกณฑ์แตกต่างกัน ได้แก่ 1) เกณฑ์มิติ (Dimension) และ 2) เกณฑ์ระดับ (Level) ดังนี้

1) การจำแนกประเภทตัวแทนความคิดที่ใช้มิติเป็นเกณฑ์

Gilbert (2008) กล่าวว่า การสร้างมโนภาพขึ้นอยู่กับการรับรู้ ซึ่งขึ้นอยู่กับมิติทางกายภาพของตัวแทนความคิด โดยสร้างตัวแทนความคิดด้วยการย่อโลกแห่งประสบการณ์โดยใช้สัญลักษณ์ที่เป็นนามธรรมซึ่งสามารถจัดอยู่ในขอบเขตของมิติได้ ซึ่งตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ 3 มิติ จะทำให้เข้าใจง่ายกว่าตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ 2 มิติ และ 1 มิติ ดังนี้

(1) ตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ 3 มิติ (Three dimensional representation) เป็นตัวแทนความคิดที่ผ่านการรับรู้จากการลงมือปฏิบัติการทดลองโดยสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น รวมไปถึงการเคลื่อนไหวใน 3 มิติ และการใช้วัสดุที่เป็นรูปธรรม เช่น โครงกระดูก

(2) ตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ 2 มิติ (Two dimensional representation) เป็นตัวแทนความคิดที่เริ่มปฏิบัติการทดลอง เช่น ภาพตัดขวางของใบไม้ หรือคลื่น โดยแหล่งประสบการณ์ของการเกิดตัวแทนความคิดใน 2 มิติ จะเกิดผ่านการใช้รูปภาพ กราฟ ภาพเคลื่อนไหว ไดอะแกรม

(3) ตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ 1 มิติ (One dimensional representation) เป็นตัวแทนความคิดที่เป็นนามธรรมสูงซึ่งประกอบด้วยสัญลักษณ์ เช่น สัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ สมการเคมี สมการทางคณิตศาสตร์

2) การจำแนกประเภทตัวแทนความคิดที่ใช้ระดับเป็นเกณฑ์

Gabel (1999) และ Gilbert and Treagust (2009) ได้กล่าวว่า นักวิจัยทางการศึกษาวิทยาศาสตร์ได้จำแนกระดับของตัวแทนความคิดซึ่งถูกใช้ในวิชาวิทยาศาสตร์ ออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่

(1) ตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ระดับมหภาค (Macroscopic representations)

เมื่อนักวิทยาศาสตร์พยายามที่จะเข้าใจ หรือจัดการสสารและวัตถุ นักวิทยาศาสตร์ไม่ได้เริ่มจากการพิจารณาความซับซ้อนในธรรมชาติ แต่ค้นหาจากการสร้างปรากฏการณ์ตัวอย่างซึ่งเป็นตัวอย่างในอุดมคติ หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการสร้างตัวแทนความคิดในลักษณะของโลกประสบการณ์หรือปรากฏการณ์ธรรมชาติที่สามารถมองเห็นหรือตรวจสอบได้ เช่น ปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับสารละลายบริสุทธิ์ การเคลื่อนที่ของลูกยางฮอกกี้ที่ในอากาศ ภาพตัดขวางของใบไม้

(2) ตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ระดับจุลภาค (Sub-microscopic representations)

เป็นตัวแทนความคิดในระดับอิเล็กตรอน อะตอม โมเลกุล หรือไอออน ซึ่งไม่สามารถสังเกตได้ ใช้อ้างอิงหรืออธิบายถึงปรากฏการณ์ในระดับมหภาค เช่น การใช้โมเลกุล หรือไอออน ในการอธิบายถึงสมบัติของสารละลายบริสุทธิ์

(3) ตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ระดับสัญลักษณ์ (Symbolic representations)

ตัวแทนความคิดที่มีความเป็นนามธรรมสูงซึ่งอยู่ในรูปของสัญลักษณ์เพื่อใช้เป็นตัวแทนในระดับที่เล็กกว่าโมเลกุล เช่น สัญลักษณ์ทางเคมี สูตรเคมี สมการเคมี หรือสมการ ทางคณิตศาสตร์

3.2.2 ระดับของตัวแทนความคิด

ชาตรี ฝ่ายคำตา (2560) ได้กล่าวว่า วิชาเคมีมีความเฉพาะเจาะจงมุ่งเน้นอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของสาร และการเปลี่ยนแปลงของสสาร เป็นวิชาที่มีเนื้อหาเป็นนามธรรม ดังนั้นในการอธิบายสสารและการเปลี่ยนแปลงของสารจึงมักมีการ

อธิบายปรากฏการณ์ใน 3 ระดับ คือ ระดับมหภาค (Macroscopic level) ระดับจุลภาค (Sub-microscopic level) และระดับสัญลักษณ์ (Symbolic level) ดังภาพที่ 2.12

ความสัมพันธ์ของการอธิบายสสารและ[illegible]

ที่มา: ชาตรี ฝ่ายคำตา (2560)

การอธิบายระดับมหภาค (Macroscopic level) คือ การอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือพฤติกรรมของสสารที่สังเกตได้ เช่น การอธิบายว่าเกิดอะไรขึ้นเมื่อเติมเกลือลงในน้ำ นักเคมีมักเริ่มต้นจากการอธิบายสสารโดยใช้สมบัติที่สังเกตได้ก่อน เช่น สถานะ อุณหภูมิ ความดัน ค่า pH สมบัติเหล่านี้เป็นสมบัติที่สามารถเห็นและวัดได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือแม้แต่ในชีวิตประจำวัน

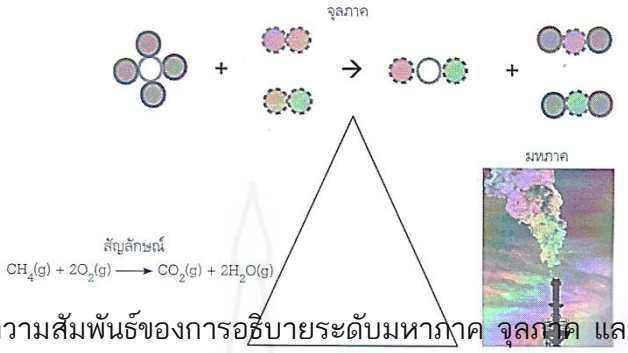
การอธิบายระดับจุลภาค (Sub-microscopic level) คือ การอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือพฤติกรรมของสสารที่ไม่สามารถสังเกตได้ เช่น การอธิบายว่าโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนเกิดอันตรายกิริยากับโมเลกุลของน้ำอย่างไร นักเคมีจึงพัฒนาแบบจำลองเพื่ออธิบายเชิงเหตุและผลของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยการอธิบายดังกล่าวเป็นการอธิบายสมบัติและกระบวนการของสสารในระดับอนุภาค

การอธิบายระดับสัญลักษณ์ (Symbolic level) คือ การอธิบายการใช้สัญลักษณ์ทางเคมีเพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของการอธิบายระดับมหภาคและระดับจุลภาค สัญลักษณ์ทางเคมีอาจจะเป็นสัญลักษณ์ของธาตุ สมการเคมี สูตรโมเลกุล แบบจำลองอะตอมหรือสัญลักษณ์อื่น ๆ ที่แทนสสารและการเปลี่ยนแปลงของสสาร เช่น การใช้สมการเคมีเพื่ออธิบายการละลายของเกลือที่เกิดขึ้นซึ่งแสดงได้คือ $NaCl(s) \rightarrow Na^{+}(aq) + Cl^{-}(aq)$

ตัวอย่างการอธิบายระดับมหภาค จุลภาคและสัญลักษณ์ของการเผาไหม้แก๊ส

มีเทน

แสดงดังภาพ



ภาพที่ 2.13 ความสัมพันธ์ของการอธิบายระดับมหาภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ของการเผาไหม้แก๊สมีเทน

ที่มา: ชาตรี ฝ่ายคำตา (2560)

จะเห็นได้ว่า หากนักเรียนสามารถเชื่อมโยงตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับได้จะทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจเชิงลึกในเคมี (Deep Understanding for Chemistry Concept) ซึ่งเป็นความเข้าใจมโนมติทางเคมีจากการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแทนความคิดระดับมหภาค ระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ ทำให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีที่เกิดขึ้นด้วย ความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง เพราะหากนักเรียนไม่เกิดความเข้าใจเชิงลึกในเคมีจะทำให้นักเรียนมีมโนมติที่คลาดเคลื่อน และเรียนวิชาเคมีด้วยความยากลำบาก เนื่องจากไม่สามารถทำความเข้าใจมโนมติทางเคมีอย่างเห็นภาพเป็นรูปธรรมได้ (Tasker et al., 2002)

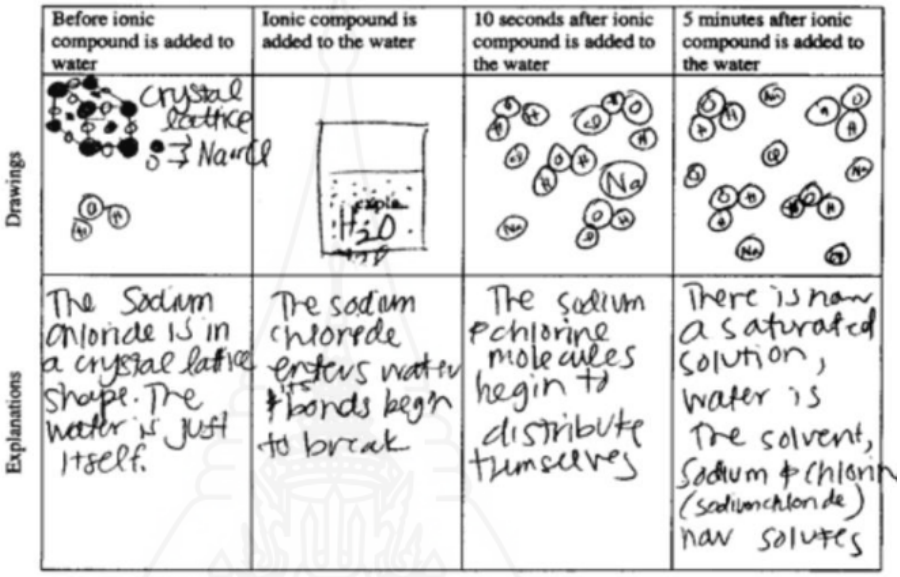
3.3 การวัดและประเมินความสามารถของการเสนอตัวแทนความคิด

3.1.1 เครื่องมือวัดความสามารถของการเสนอตัวแทนความคิด

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องมือหรือวิธีการวัดความสามารถในการเสนอตัวแทนความคิด พบว่า มีการใช้เครื่องมือที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1) แบบทดสอบชนิดคำถามปลายเปิด 2) การสัมภาษณ์ และ 3) ชิ้นงานของนักเรียน (McKendree et al., 2002, Gilbert, 2005, Michalchik et al., 2008, Hilton & Nichol, 2011; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2555, สุรางค์ โค้วตระกูล, 2556, สุภางค์ จันทวานิช, 2540 และชาตรี ฝ่ายคำตา, 2555 อ้างถึงใน รัชนี เจนการ, 2558)

1) แบบทดสอบชนิดคำถามปลายเปิด อาจประกอบด้วยคำถามและสถานการณ์ที่สอดคล้องกัน ซึ่งจะต้องเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นหรือความเข้าใจของตนเองอย่างอิสระ โดยแบบทดสอบที่ดีจะต้องกระตุ้นนักเรียนให้แสดงความสามารถทางด้านพุทธิพิสัยอย่างเต็มที่ เป็นการคิดขั้นสูง เช่น การวิเคราะห์ สังเคราะห์และประเมินค่า ซึ่งการใช้บบทดสอบชนิดคำถามปลายเปิดสามารถวัดความสามารถในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนได้ ถึงแม้จะพิจารณาจากการเขียนตอบของนักเรียนเท่านั้น เช่น Michalchik et al. (2008) ใช้แบบทดสอบชนิดคำถามปลายเปิดจำนวน 8 ข้อ ในการวัด

ความสามารถในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่องความสามารถในการละลาย ทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้แบบทดสอบชุดเดียวกัน แนวคำถามเป็นการให้นักเรียนสร้าง storyboard จำนวน 4 เฟรม แต่ละเฟรมจะกำหนดสถานการณ์ที่ต่างกันเกี่ยวกับการละลายโซเดียมคลอไรด์ในน้ำโดยเปิดโอกาสให้นักเรียนวาดภาพและเขียนคำอธิบายลงไปในแต่ละเฟรม ดังภาพ 2.14



ภาพที่ 2.14 ตัวอย่างแบบทดสอบชนิดคำถามปลายเปิดที่ใช้วัดความสามารถในการเสนอตัวแทน
ความคิดของนักเรียน เรื่องความสามารถในการละลาย

ที่มา: Michalchik et al. (2008: น. 37 อ้างถึงใน รัชนี เจนการ, 2558)

2) การสัมภาษณ์ เป็นวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ทำให้ทราบว่าผู้ให้สัมภาษณ์มีความเข้าใจ ความรู้สึก หรือมีแนวคิดเกี่ยวกับเรื่องนั้นๆ เป็นอย่างไร โดยข้อดีของการสัมภาษณ์ จะทำให้ทราบเกี่ยวกับลักษณะพฤติกรรม สีหน้าท่าทาง และปฏิกิริยาโต้ตอบของผู้ให้สัมภาษณ์ที่สามารถสังเกตได้ในขณะที่พูดหรือไม่พูด โดยลักษณะสำคัญของการสัมภาษณ์คือการเปิดโอกาสให้ผู้สัมภาษณ์ได้แสดงความเข้าใจ ความรู้สึก หรือความคิดเห็นเกี่ยวกับเรื่องนั้นๆ ได้อย่างอิสระ ปราศจากการใช้คำถามที่ชี้นำ หรือแนะแนวคำตอบ เพื่อไม่ให้ผู้ให้สัมภาษณ์ตอบตามคำตอบที่ผู้สัมภาษณ์คาดหวังไว้ ซึ่งจะส่งผลเสียต่องานวิจัยของผู้สัมภาษณ์ที่อาจจะไม่ได้ข้อมูลตรงตามความจริง ทำให้ผลวิจัยขาดความน่าเชื่อถือได้ โดยการสัมภาษณ์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

(1) การสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง ผู้สัมภาษณ์จะมีข้อคำถามที่เป็นลำดับแน่นอน ซึ่งได้กำหนดไว้ล่วงหน้าแล้ว ทำให้เกิดข้อจำกัดคือ ขาดการยืดหยุ่นในการสัมภาษณ์ซึ่งส่งผลให้ไม่ได้ข้อมูลที่เป็นความรู้สึก ความเข้าใจของผู้ให้สัมภาษณ์อย่างแท้จริง แต่มีข้อดีตรงที่ ประหยัดเวลาและวิเคราะห์ข้อมูลง่าย เนื่องจากผู้ให้สัมภาษณ์แต่ละคนจะให้ข้อมูลในเรื่องและลำดับที่เหมือนกัน

(2) การสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง ผู้ให้สัมภาษณ์จะมีการกำหนดคำถามไว้ล่วงหน้าอย่างคร่าวๆ โดยไม่มีลำดับที่ตายตัว ข้อคำถามอาจเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับคำตอบของผู้ให้สัมภาษณ์ เพื่อให้ผู้ให้สัมภาษณ์ได้ข้อมูลที่แสดงถึงความเข้าใจ หรือความรู้สึกที่มีต่อเรื่องนั้นๆ ตามความจริง ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการสัมภาษณ์ แต่อาจจะใช้เวลาค่อนข้างนานกว่า
การสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง

(3) การสัมภาษณ์แบบไร้โครงสร้าง เป็นการสัมภาษณ์ที่เปิดโอกาสให้ผู้ให้สัมภาษณ์แสดงความคิด ความเข้าใจ หรือความรู้สึกที่มีต่อเรื่องนั้น ๆ ได้อย่างอิสระเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นการสัมภาษณ์ที่คล้ายกับการสนทนาที่ไม่ทราบข้อมูลพื้นฐานของผู้ให้สัมภาษณ์มาก่อน ดังนั้นผู้ให้สัมภาษณ์อาจจะเริ่มต้น โดยการใช้คำถามเพียงคำถามเดียว ซึ่งใช้เวลาค่อนข้างนานมาก

3) ชิ้นงานของนักเรียน ในการจัดการเรียนรู้แต่ละครั้ง ครูอาจจะเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การทำใบงาน ใบกิจกรรม และชิ้นงานต่างๆ เป็นต้น โดยนักเรียนอาจจะทำเป็นงานกลุ่มหรืองานเดี่ยวก็ได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนได้ ซึ่งสามารถใช้ระบุสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนได้เนื่องจากเป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เลือกใช้วิธีการนำเสนอตัวแทนความคิดได้อย่างไม่จำกัด เพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ในระดับจุลภาค เช่น จากงานวิจัยของ Hilton and Nichol, (2011) พบว่า ได้วัดสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนเรื่องพันธะเคมี ในช่วงระหว่างเรียน โดยการพิจารณาจากโปสเตอร์และการเขียนรายงานการทดลองของนักเรียน ดังภาพที่ 2.15 จะเห็นได้ว่า นักเรียนใช้ไดอะแกรมเพื่อแสดงสิ่งที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ในการอธิบายความแตกต่างระหว่างพอลิเมอร์ที่เติมพลาสติไซเซอร์กับไม่เติม พลาสติไซเซอร์

... These polymer chains are attracted to each other and tangle (Figure II), making the polymer strong but brittle. Plasticisers separate the biopolymer chains, which reduces this tangling so that each chain is able to 'slide' past the others and [the plastic] is more flexible (Figure III).

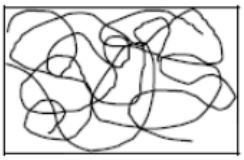


Figure II. Tangled polymer chains

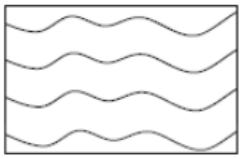


Figure III. Polymer chains are more spaced after plasticiser is added

[NOTE: text and other figures have been removed]

ภาพที่ 2.15 ตัวอย่างผลงานของนักเรียนในการเสนอตัวแทนความคิดเรื่องพันธะเคมี

ที่มา: Hilton & Nichol (2011: 2231 อ้างถึงใน รัชนี เจนการ, 2558)

3.3.2 ระดับความสามารถของการเสนอตัวแทนความคิด

ความสามารถในการเสนอตัวแทนความคิด (Representational competence) เป็นสิ่งที่ใช้ในการอธิบายเกี่ยวกับทักษะของบุคคลที่สะท้อนออกมาจากการใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ซึ่งเป็นความสามารถของบุคคลในการเปลี่ยนตัวแทนความคิดจากระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่งตามความสัมพันธ์ในแต่ละระดับ ได้แก่ ระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ ซึ่งความสามารถนี้จะนำไปสู่ความสำเร็จในการสร้างความเข้าใจทางเคมี ซึ่งประกอบด้วยทักษะต่อไปนี้ที่เป็นความสามารถในการพัฒนาตัวแทนความคิดทางเคมี (Kozma & Russell, 2005)

ซึ่งจากการศึกษาการจัดระดับความสามารถในการเสนอตัวแทนความคิดของ Kozma and Russell (1997) และ Michalchik et al. (2008) ได้จัดเป็น 5 ระดับ สรุปได้ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ระดับความสามารถในการเสนอตัวแทนความคิด

ระดับที่	ระดับความสามารถในการเสนอ	คุณลักษณะ
1	การเสนอตัวแทนความคิดโดยการบรรยายให้เห็นภาพ (Representation as Depiction)	สามารถเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์นั้นโดยใช้การบรรยายให้เห็นภาพที่อยู่บนพื้นฐานของลักษณะทางกายภาพหรือระดับมหภาคเท่านั้น
2	การเสนอทักษะสัญลักษณ์ระดับต้น (Early Symbolic Skills)	สามารถเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ต่าง ๆ โดยอยู่บนพื้นฐานของลักษณะทางกายภาพหรือระดับมหภาคที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และมีการใช้สัญลักษณ์ร่วมด้วย เช่น ลูกศร เพื่อแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่ไม่หยุดนิ่ง เช่น เวลา การเคลื่อนที่ สมการเคมี และสูตรโครงสร้างเคมี เป็นต้น นอกจากนี้อาจมีการอธิบายปรากฏการณ์อย่างใดอย่างหนึ่งที่ตีความจากการอ่านตามตัวอักษร โดยไม่คำนึงถึงความหมายของคำและเรียบเรียงให้เป็นประโยค
3	การสร้างประโยคของรูปแบบตัวแทนความคิด (Syntactic Use of Formal Representations)	สามารถเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ต่างๆ โดยอาศัยอยู่บนพื้นฐานของลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ (ระดับมหภาค) และสิ่งที่สังเกตด้วยตาเปล่าไม่ได้ และเป็นกระบวนการที่ซ่อนเร้นอยู่ (ระดับจุลภาค) เป็นการเสนอตัวแทนความคิดที่อาจไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ อาจมีการเสนอตัวแทนความคิดที่เน้นคำที่ใช้มากกว่าการให้ความหมายของตัวแทนความคิดนั้น หรือเรียกได้ว่าเสนอตัวแทนความคิดโดยอาจมาจากการท่องจำในหนังสือเรียนหรือจดจำมาจากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ โดยไม่ได้เข้าใจอย่างแท้จริง

ตารางที่ 2.9 (ต่อ)

ระดับที่	ระดับความสามารถ	คุณลักษณะ

	ในการเสนอ	
4	การให้ความหมายของรูปแบบตัวแทนความคิด (Semantic Use of Formal Representations)	สามารถเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับสิ่งที่ซ่อนเร้นอยู่หรือสิ่งที่สังเกตไม่ได้ด้วยตาเปล่า (ระดับจุลภาค) สามารถใช้รูปแบบของตัวแทนความคิดที่อยู่บนพื้นฐานของการสร้างประโยคและความหมายของคำ หรือ เรียกได้ว่า สามารถเสนอตัวแทนความคิดโดยเข้าใจความหมายของตัวแทนความคิดนั้นอย่างแท้จริงและสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
5	การสะท้อนถึงการใช้ตัวแทนความคิด (Reflective, Rhetorical Use of Representations)	สามารถเสนอตัวแทนความคิดเพื่ออธิบายปรากฏการณ์หนึ่ง ๆ ได้มากกว่า 1 ตัวแทนความคิด เพื่อแสดงถึงการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของสารทั้ง 3 ระดับ (ระดับมหภาค ระดับจุลภาค ระดับสัญลักษณ์) ได้สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ หรืออาจจะสามารถเลือกใช้ตัวแทนความคิดที่ดีที่สุดในการอธิบายปรากฏการณ์ และสามารถสะท้อนให้เห็นว่า ทำไมถึงใช้ตัวแทนความคิดนั้น

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงอยากพัฒนาความสามารถของนักเรียนในการแสดงออกถึงความรู้ความเข้าใจในมโนมติ เรื่อง พันธะเคมี โดยเสนอผ่านตัวแทนความคิด เพื่อให้มีความสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของสสารทั้ง 3 ระดับ คือ ระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ได้ ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้แบบวัดการเสนอตัวแทนความคิดที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ซึ่งอยู่ในแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด วิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี เป็นข้อสอบแบบอัตนัย ซึ่งเป็นชุดเดียวกันทั้งก่อนและหลังเรียน โดยวัดความสามารถในการเสนอตัวแทนความคิดตามแนวคิดของ Kozma and Russell (1997) และ Michalchik et al. (2008) 5 ระดับ และให้คะแนน ดังนี้

1) การเสนอตัวแทนความคิดโดยการบรรยายให้เห็นภาพ (Representation as Depiction) ให้ 1 คะแนน 2) การเสนอทักษะสัญลักษณ์ระดับต้น (Early Symbolic Skills) ให้ 2 คะแนน 3) การสร้างประโยคของรูปแบบตัวแทนความคิด (Syntactic Use of Formal Representations) ให้ 3 คะแนน 4) การให้ความหมายของรูปแบบตัวแทนความคิด (Semantic Use of Formal Representations) ให้ 4 คะแนน และ 5) การสะท้อนถึงการใช้ตัวแทนความคิด (Reflective, Rhetorical Use of Representations) ให้ 5 คะแนน

และเพื่อให้ได้ข้อมูลความรู้ ความเข้าใจของนักเรียนอย่างลึกซึ้ง ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์และพิจารณาจากชิ้นงานของนักเรียนประกอบด้วย

3.4 การสร้าง การหาคุณภาพของเครื่องมือวัด และการประเมินความสามารถของการเสนอตัวแทนความคิด

ในการสร้างแบบวัดการเสนอตัวแทนความคิดซึ่งเป็นแบบทดสอบแบบอัตนัย และ การหาคุณภาพแบบวัดการเสนอตัวแทนความคิดซึ่งได้แก่ การหาความยาก อำนาจจำแนก และ ความเที่ยงนั้น ได้ดำเนินการเช่นเดียวกันกับการสร้าง การหาคุณภาพของเครื่องมือวัด และ การประเมินมโนมติทางวิทยาศาสตร์

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 งานวิจัยในประเทศ

วิทยา ภาชื่น (2553) ได้ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการทำความเข้าใจ (MENTEL MODELS) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปี ที่ 4 เรื่องพันธะเคมี โดยใช้วิธีการสอนแบบเปรียบเทียบ (ANALOGY) ตามแนว FOCUS-ACTION-REFECTION (FAR) GUIDE ผลการวิจัยพบว่านักเรียน จำนวนมากยังคงมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนดังเช่นก่อนเรียน โดยพบว่านักเรียนที่มีปัญหาในการเรียนรู้ โดยมีการเปรียบเทียบในหลายประการ ได้แก่ นักเรียนไม่เข้าใจมโนมติพื้นฐานบางมโนมติ นักเรียนขาดความชัดเจนหรือไม่คุ้นเคยกับมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบที่ครูนำเสนอมา และนักเรียนมี ทักษะการเขียนและการพูดอธิบายในระดับต่ำ นอกจากนั้นผลจากการสัมภาษณ์เพิ่มเติมและการสังเกตชั้นเรียน ยังแสดงให้เห็นว่านักเรียนขาดความตระหนักในการเปรียบเทียบความเหมือนและความต่างระหว่างมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบและมโนมติทางวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตามหลังจากเสร็จสิ้นการจัดการเรียนรู้ก็ได้พบว่านักเรียนมีอัตราการตอบคำถาม และการร่วมกิจกรรมอย่างเต็มใจเพิ่มมากขึ้นในทุกกิจกรรม นอกจากนั้นงานวิจัยครั้งนี้ ยังชี้ให้เห็นปัจจัยบางประการที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมโนมติของนักเรียน ได้แก่ ปัจจัยทางด้านภาษา ความเชื่อในแรงจูงใจของนักเรียน ปัจจัยทางด้านสังคม ข้อเสนอแนะที่สำคัญของงานวิจัยนี้ ได้แก่ การให้ความสำคัญกับการสำรวจและล้วงลึกความเข้าใจที่แท้จริงของนักเรียน นอกจากนั้นยังเน้นย้ำถึงการตระหนักถึงผลของปัจจัยที่หลากหลายที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมโนมติ และความเหมาะสมระหว่างมโนมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบที่ใช้กับมโนมติเป้าหมายซึ่งก็คือมโนมติทางวิทยาศาสตร์

สมฤทัย สังฆคราม (2553) ได้ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการทำความเข้าใจ (MENTEL MODELS) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปี ที่ 4 เรื่องพันธะเคมี โดยใช้วิธีการสอนแบบเปรียบเทียบ (ANALOGY) ตามแนว FOCUS-ACTION-REFECTION (FAR) GUIDE

ผลการวิจัยพบว่า หลังจากใช้กิจกรรมการเปรียบเทียบในการสอน นักเรียนมีรูปแบบการทำความเข้าใจที่หลากหลาย และเปลี่ยนจากไม่มีรูปแบบการทำความเข้าใจ เป็น 1) Phenomenon Model ที่เป็นรูปแบบที่นักเรียนจำเหตุการณ์หรือปรากฏการณ์ที่เป็นลักษณะทางกายภาพหรือคุณลักษณะในระดับมหภาคมาใช้ในการพิจารณาคำตอบและหาคำอธิบายเกี่ยวกับมโนมติต่างๆ 2) Character – Symbol Model ที่เป็นรูปแบบที่เป็นการจำคำศัพท์ การใช้สัญลักษณ์ในการพิจารณาหรืออธิบายคำตอบของตน และ3) Inference Model ที่เป็นรูปแบบที่เป็นการเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่ แต่ไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ของนักเรียน โดยทั้ง 3 รูปแบบนี้ พบในบางมโนมติ แสดงว่านักเรียนใช้ความรู้ที่ได้จากการเปรียบเทียบมาช่วยในการทำความเข้าใจและตอบคำถามในแบบสำรวจมโนมติและมีนักเรียนจำนวน 3 คน ที่มีรูปแบบการทำความเข้าใจประเภท Scientific Model ที่เป็นรูปแบบการทำความเข้าใจในลักษณะที่เป็นมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ในมโนมติเรื่องการเกิดพันธะโควาเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะ และพันธะโลหะ แสดงให้เห็นว่าวิธีการสอนแบบเปรียบเทียบช่วยให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในมโนมติที่สอนมากขึ้ น อย่างไรก็ตามในการสอนด้วยวิธีการเปรียบเทียบ ครูครูควรวางแผนให้ดี ต้องคำนึงถึงความรู้เดิมของนักเรียน กิจกรรมต้องน่าสนใจ ไม่น่าเบื่อ เน้นให้นักเรียนสามารถบอกความเหมือนและความแตกต่างของสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบและมโนมติที่ศึกษา และสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบต้องเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคย จึงจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีรูปแบบการทำความเข้าใจที่เป็นวิทยาศาสตร์มากยิงขึ้น

ดวงกมล บำรุงบ้านทุ่ม (2555) ได้ศึกษาตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ (Analogy) ตามแนว FAR Guide ผลการวิจัยพบว่า หลังจากใช้กิจกรรมการเปรียบเทียบในการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีรูปแบบการทำความเข้าใจที่หลากหลาย และเปลี่ยนจากไม่มีรูปแบบการทำความเข้าใจเป็นPhenomenon Model, Scientific Model, Inference Model และ Character-Symbol Model ตามลำดับแสดงว่า นักเรียนใช้ความรู้ที่ได้จากกิจกรรมการเปรียบเทียบมาช่วยในการทำความเข้าใจและตอบคำถามในแบบสำรวจมโนมติ ซึ่งแต่ละมโนมตินักเรียนมีรูปแบบการทำความเข้าใจประเภทScientific Model คือ รูปแบบการทำความเข้าใจในลักษณะที่เป็นมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ดังนี้คือมโนมติเรื่อง การเกิดพันธะโควาเลนต์ ร้อยละ 27.55 มโนมติเรื่องความยาวพันธะและพลังงานพันธะ ร้อยละ 47.96 มโนมติเรื่อง รูปร่างของโมเลกุล ร้อยละ 23.47 มโนมติเรื่องสภาพขั้วของโมเลกุลโควาเลนต์ ร้อยละ 30.61 มโนมติเรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก ร้อยละ 27.55 และมโนมติเรื่อง พันธะโลหะ ร้อยละ 2.04 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบช่วยให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในมโนมติที่สอนมากขึ้น ซึ่งสิ่งที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเปลี่ยนรูปแบบการทำความเข้าใจ หรือช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับมโนมติที่นักเรียนกำลังศึกษาเพิ่มขึ้น นอกจากการเลือกใช้สิ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบที่นักเรียนคุ้นเคยแล้ว กิจกรรมนั้นๆ ก็ควรเป็นกิจกรรมที่น่าสนใจ สนุกสนาน ไม่น่าเบื่อหน่ายอีกด้วย

ธีรพงษ์ แสงสิทธิ์ (2555) ได้ศึกษาตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องเซลล์ไฟฟ้าเคมี ด้วยการสร้างโมเดล Clay animation ร่วมกับการเปรียบเทียบ ผลการวิจัยพบว่า 1) ความเข้ามโนมติ เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี ของนักเรียนที่เรียนด้วยการสร้างโมเดล Clay animation ร่วมกับการเปรียบเทียบ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมาก ขณะที่ดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ นักเรียนทุกคนให้ความสนใจและชื่นชอบต่อกิจกรรมการเรียนรู้เป็นอย่างมาก นักเรียนได้พัฒนาความสามารถในการคิด ทำให้เกิดเป็นลักษณะวัฏจักรทางความคิดอย่างต่อเนื่องผ่านกระบวนการวางแผน ออกแบบ และลงมือปฏิบัติ ซึ่งนักเรียนจะจดจ่ออยู่กับสิ่งที่ทำ ก่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย จากการได้ทบทวน วิเคราะห์ เปรียบเทียบ สังเคราะห์ สร้างองค์ความรู้ ใช้จิตนาการ สร้างมโนภาพ และลงมือสร้างสรรค์ผลงานอย่างประณีต นอกจากนี้สภาพแวดล้อมของการเรียนรู้ยังช่วยเสริมความสามารถในการใช้เทคโนโลยี ความสามารถในการทำงานร่วมกันเป็นทีม การมีส่วนร่วมของผู้ปกครองในการสนับสนุนการเรียนรู้ของนักเรียน และเมื่อนักเรียนสร้างสรรค์ผลงานจนสำเร็จแล้ว พวกเขาจะเกิดความภาคภูมิใจในผลงานของตนเองมาก ซึ่งถือเป็นการยกระดับการเรียนรู้ไปอีกขั้นหนึ่ง เพื่อพัฒนาคุณภาพนักเรียนให้พร้อมรับมือกับความท้าทายของศตวรรษที่ 21 ได้อย่างยั่งยืน 2) นักเรียนมีตัวแทนความคิดเรื่องเซลล์ไฟฟ้าเคมีได้หลายแบบ โดยนักเรียนส่วนใหญ่มีตัวแทนความคิดเป็นลักษณะ Sematic organization โดยเฉพาะในมโนมติเรื่องที่มีเนื้อหาเป็นเชิงนามธรรม นักเรียนบางส่วนมีตัวแทนความคิดเป็นลักษณะ Imagery โดยเฉพาะในมโนมติเรื่องที่มีเนื้อหาเป็นรูปธรรม และนักเรียนบางส่วนมีตัวแทนความคิดเป็นลักษณะทั้ง Imagery และ Sematic organization ซึ่งเป็นการประมวลผลและจัดเก็บข้อมูลด้วยภาพและคำพูด โดยเฉพาะในมโนมติเรื่องที่มีเนื้อหาเป็นเชิงนามธรรมและต้องใช้จินตนาการมาก

ศิริพร นิลโคตร (2555) ได้ศึกษาความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่องพันธะโคเวเลนต์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบ ผลการวิจัยพบว่า หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบ นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 5 มโนมติ ได้แก่ ชนิดของพันธะโคเวเลนต์โมเลกุลที่ไม่เป็นไปตามกฎออกเตต แนวคิดเกี่ยวกับเรโซแนนซ์ รูปร่างโมเลกุล และสารโคเวเลนต์โครงผลึกร่างตาข่าย นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์และมโนมติคลาดเคลื่อนบางส่วน จำนวน 4 มโนมติ ได้แก่ การเกิดพันธะโคเวเลนต์ การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ และนักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมติมีมโนมติคลาดเคลื่อน จำนวน 1 มโนมติ คือ สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์

อภิวัฒน์ ศรีกัณหา (2557) ได้ศึกษามโนมติและตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดย

สอดคล้องกับระดับความสามารถที่ส่วนใหญ่มีความสามารถของการแสดงออกตัวแทนความคิดอยู่ในระดับที่ 5 จะเห็นว่าความเข้าใจมโนมติและตัวแทนความคิดของนักเรียนมีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกัน กล่าวคือนักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ และมีความสามารถในการแสดงออกของตัวแทนความคิดอยู่ในระดับที่สูง หลังจากผ่านวิธีการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติที่หลากหลาย ได้แก่ ภาพเคลื่อนไหว (Computer Animations) และการเปรียบอุปมา (Analogy)

เฟื่องฟ้า บุญกอง (2558) ได้ศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่มีต่อมโนมติทางวิทยาศาสตร์และความสามารถในการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า (1) ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ก่อนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ส่วนใหญ่มีความเข้าใจมโนมติในระดับคลาดเคลื่อนทุกมโนมติ และไม่มีนักเรียนที่มีความเข้าใจในระดับที่สมบูรณ์ หลังการจัดกิจกรรม พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจระดับสมบูรณ์ และระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ ส่วนความเข้าใจระดับคลาดเคลื่อนของนักเรียนลดลงทุกมโนมติ และ (2) ความสามารถ
ในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน พบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนด้านความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน

วุฒิพงศ์ รารัตน์ (2561) ได้ศึกษากิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ต่อการส่งเสริมการแสดงออกของตัวแทนความคิด การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผลการวิจัยพบว่า 1) นักเรียนส่วนใหญ่สามารถแสดงออกความเข้าใจตัวแทนความคิดได้ถึงระดับที่ 5 2) การคิดอย่างมีวิจารณญาณมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 27.03 คิดเป็นร้อยละ 79.50 และ 3) คะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ณรงค์ฤทธิ์ โฮ้งจิก (2561) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีด้วยรูปแบบฟาร์ไกด์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการเรียนรู้ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ผลการวิจัยพบว่า 1) นักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีด้วยรูปแบบฟาร์ไกด์มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีด้วยรูปแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ2) นักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีด้วยรูปแบบฟาร์ไกด์และนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีด้วยรูปแบบปกติไม่มีความคงทนในการเรียนรู้วิชาเคมี และนักเรียนกลุ่มทดลองมีความคงทนในการเรียนรู้ไม่แตกต่างจากนักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

รัตนเกล้า ประดิษฐ์ด้วง (2562) ศึกษาผลการใช้กลยุทธ์แนวเทียบร่วมกับวงจรการเรียนรู้ 5E ต่อความสามารถในการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเคมีของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ผลการวิจัยพบว่า 1) นักเรียนที่เรียนรู้ด้วยกลยุทธ์แนวเทียบ

ร่วมกับวงจรการเรียนรู้ 5E มีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการคิดวิเคราะห์หลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) นักเรียนที่เรียนรู้ด้วยกลยุทธ์แนวเทียบร่วมกับวงจรการเรียนรู้ 5E มีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการคิดวิเคราะห์สูงกว่านักเรียนที่เรียนรู้ด้วยวงจรการเรียนรู้ 5E อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) นักเรียนที่เรียนรู้ด้วยกลยุทธ์แนวเทียบร่วมกับวงจรการเรียนรู้ 5E มีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยวงจรการเรียนรู้ 5E อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Haidar (1997) ได้ศึกษาความเข้าใจของครูสอนวิชาเคมีในสาธารณรัฐเยเมน โดยได้ศึกษาแนวคิดเรื่อง อะตอม มวลอะตอม โมล และการดุลสมการเคมี ผลการวิจัยพบว่าความเข้าใจของครูเกี่ยวกับแนวคิดดังกล่าว ส่วนใหญ่มีตั้งแต่ความเข้าใจที่ถูกต้องบางส่วนโดยมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนไปจนถึงไม่มีความเข้าใจ ยกเว้นเรื่องสมดุลสมการเคมีเท่านั้นที่ครูมีความเข้าใจที่ถูกต้อง และพบว่าครูส่วนใหญ่อาศัยเพียงการท่องจำแนวคิดโดยไม่เข้าใจอย่างแท้จริง ซึ่งความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของครูมีผลต่อการสอน สรุปได้ว่าจำเป็นต้องใช้วิธีการสอนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่ามีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับแนวคิดเหล่านี้

Harrison and Treagust (2006) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบ เรื่องสถานะของสาร โดยเลือกใช้สถานะของนักเรียนในโรงเรียนมาเปรียบเทียบกับสถานะของสารทั้ง 3 สถานะ สารที่อยู่ในสถานะของแข็งเปรียบเทียบกับช่วงที่นักเรียนนั่งเขียนหนังสืออยู่ที่โต๊ะสารที่อยู่ในสถานะของเหลวเปรียบเทียบกับช่วงที่นักเรียนอยู่ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่เดินไปได้อย่างอิสระภายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และสารที่อยู่ในสถานะแก๊สเหมือนกับช่วงหมดเวลาเรียนที่นักเรียนสามารถเดินไปได้ทุกที่อย่างอิสระ ผลการวิจัยพบว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบสามารถส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ได้

Calik, Ayas and Coll (2009) ได้ศึกษาผลของการจัดกิจกรรมการเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงมโนมติ เรื่องสารละลาย พบว่ากิจกรรมการเปรียบเทียบช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจมโนมติเรื่องสารละลายและการเปลี่ยนแปลงมโนมตินี้จะอยู่ในหน่วยความจำระยะยาว (long-term memory) ของนักเรียนได้

Sharma (2015) ได้ศึกษาเพื่อศึกษาวิธีการจัดการเรียนการสอนของครูวิทยาศาสตร์ จำนวน 5 คน ในประเทศทรินิแดด และโทเบโก ผลการวิจัย พบว่า ครูวิทยาศาสตร์ทั่วไปใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบบางครั้ง และมีการใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบตั้งแต่ระดับง่ายจนถึงระดับซับซ้อนเฉพาะด้าน ผลการสัมภาษณ์ พบว่าครูวิทยาศาสตร์มีความรู้เกี่ยวกับวิธีการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ และทราบถึงประโยชน์และความท้าทายของการนำไปใช้จัดการเรียนรู้ นอกจากนี้ งานวิจัยยังให้ข้อเสนอแนะว่า ควรมีการพัฒนาความรู้ และพัฒนาทักษะเกี่ยวกับวิธีการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเพื่อใช้ในการ

จัดการเรียนรู้ และควรมีการวางนโยบายใหม่ให้ครูเกี่ยวกับทัศนคติ “นักเรียน คือ ผู้สร้างความรู้” แทนที่จะเป็นการเป็นเพียงผู้รับความรู้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจในมโนมติที่สอนซึ่งเป็นมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ และช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้นำเสนอตัวแทนความคิดในแต่ละรูปแบบของการทำความเข้าใจ และนอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาความสามารถของนักเรียนในการแสดงออกของตัวแทนความคิดให้อยู่ในระดับที่สูงขึ้นได้ จึงเป็นแนวทางในการนำวิธีการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมาพัฒนาความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ผลการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี ที่มีต่อความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนลองวิทยา จังหวัดแพร่ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนและมีรายละเอียด ดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 86 คน จัดเป็น 3 ห้องเรียน

1.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 2 ห้องเรียน จำนวน 53 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม จากนั้นทำการสุ่มอย่างง่ายโดยจับฉลากให้ห้องหนึ่งเป็นกลุ่มทดลอง จำนวน 29 คน อีกห้องหนึ่งเป็นกลุ่มควบคุม จำนวน 24 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล มีรายละเอียดและขั้นตอนในการสร้างดังนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องพันธะเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ มีทั้งหมด 10 แผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 21ชั่วโมง สำหรับกลุ่มทดลอง

2.1.2 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องพันธะเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบปกติ มีทั้งหมด 10 แผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 21 ชั่วโมง สำหรับกลุ่มควบคุม

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

2.3 การสร้างแผนการจัดการเรียนรู้

ขั้นตอนการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ โดยใช้รูปแบบของ Focus–Action–Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide (Treagust et al., 1998) มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 ศึกษาหลักสูตร สาระการเรียนรู้ คำอธิบายรายวิชา ผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ ขอบข่ายเนื้อหาวิชาเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1 ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

2.3.2 ศึกษารายละเอียดเนื้อหาและมโนมติที่จะนำมาสร้างแผนการจัดการเรียนรู้จากคู่มือครูและหนังสือเรียนเคมี เล่ม 1 ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

2.3.3 ศึกษาเอกสาร ตำรา ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ โดยใช้รูปแบบของ Focus–Action–Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide (Treagust et al., 1998) จากนั้นมากำหนดเป็นขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบได้ดังนี้

1) ขั้นเน้น (Focus) เป็นขั้นที่ครูต้องตัวเตรียมก่อนจัดการเรียนรู้ และต้องคำนึงถึงทั้ง 3 ด้าน ดังนี้

(1) ด้านมโนมติ (Concept) เป็นการวิเคราะห์และคัดเลือกเนื้อหา ลักษณะของเนื้อหาควรเป็นเนื้อหาที่เข้าใจยาก ไม่คุ้นเคยและเป็นนามธรรม

(2) ด้านนักเรียน (Student) เป็นการวิเคราะห์นักเรียนว่ารู้อะไรเกี่ยวกับเนื้อหานี้มาก่อนแล้วบ้าง

(3) สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) เป็นการวิเคราะห์สิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและประสบการณ์ของนักเรียนเพื่อเลือกสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ซึ่งควรเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและรู้จักเป็นอย่างดีหรือพบเห็นในชีวิตประจำวัน

2) ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action) เป็นขั้นที่ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกัน เพื่อหาความเหมือนและความแตกต่าง ระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับ มโนมติที่ศึกษา (Target) ซึ่งนักเรียนต้องเปรียบเทียบให้ได้เพื่อป้องกันไม่ให้นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อนไปจากมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังนี้

(1) ความเหมือน ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อหาส่วนที่เหมือนกันระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) และอธิบายได้ว่าเหมือนกันอย่างไร

(2) ความแตกต่าง ครูและนักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อหาส่วนที่แตกต่างกันระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) และอธิบายได้ว่าแตกต่างกันอย่างไร

3) ขั้นสะท้อน (Reflection) เป็นขั้นที่ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับผลการใช้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบว่าสามารถทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาที่เรียนง่ายขึ้น หรือทำให้นักเรียนสับสนมากกว่าเดิม หรือควรเพิ่มเทคนิค วิธีการอื่นในการสอนครั้งต่อไป และพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) มาใช้อธิบายด้วย ประกอบด้วยขั้นตอนย่อยดังนี้

(1) การสรุป (Conclusion) เป็นการสะท้อนผลที่เกิดจากการใช้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ทำให้นักเรียนเข้าใจชัดเจนหรือไม่ มีประโยชน์อย่างไร หรือทำให้เกิดความสับสนอย่างไร

(2) การปรับปรุง (Improvement) เป็นการวิเคราะห์ว่ามีอะไรบ้างที่ต้องปรับปรุง และปรับปรุงอย่างไรเพื่อให้ได้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่เหมาะสมในการสอนครั้งต่อไป

2.3.4 เปรียบเทียบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบเปรียบเทียบ และกลุ่มควบคุมที่ได้การจัดการเรียนรู้แบบปกติ สรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับแบบปกติ

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ	ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบปกติ
ช่วงก่อนจัดกิจกรรมการเรียนรู้	
<u>ขั้นเน้น (Focus)</u> ครูเตรียมการจัดการเรียนรู้โดยวิเคราะห์ในแต่ละด้านดังนี้ 1) ด้านมโนมติ (Concept) 2) ด้านนักเรียน (Student) 3) วิเคราะห์สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) 4) ออกแบบการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ	-
ช่วงจัดกิจกรรมการเรียนรู้	
<u>ขั้นนำ</u> 1) ทบทวนความรู้เดิม หรือตรวจสอบความรู้เดิมเพื่อเชื่อมโยงการเรียนรู้ในเนื้อหาใหม่และเปิดประเด็นการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์ตัวอย่างในชีวิตประจำวัน สื่อต่าง ๆ เช่น ภาพ คลิปวิดีโอ แหล่งเรียนรู้ออนไลน์ 2) นำเสนอสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) โดยใช้คำถามชวนคิด เพื่อเชื่อมโยงเข้าสู่กิจกรรมแบบเปรียบเทียบต่อไป	<u>ขั้นนำ</u> ทบทวนความรู้เดิม หรือตรวจสอบความรู้เดิมเพื่อเชื่อมโยงการเรียนรู้ในเนื้อหาใหม่ และเปิดประเด็นการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์ตัวอย่างในชีวิตประจำวัน สื่อต่าง ๆ เช่น ภาพ คลิปวิดีโอ แหล่งเรียนรู้ออนไลน์

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ	ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบปกติ
<u>ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action)</u> 1) นำเสนอสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) โดยนักเรียนทำกิจกรรมแบบเปรียบเทียบเพื่อสำรวจสิ่งที่ต้องการเรียนรู้ โดยศึกษาสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) 2) นำเสนอมโนมติที่ศึกษา (Target) ศึกษาโดยดูคลิปวิดีโอ สืบค้นจากอินเตอร์เนต ศึกษาเนื้อหาเพิ่มเติมจากหนังสือเรียน (ขั้นนำเสนอสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) และขั้นนำเสนอมโนมติที่ศึกษา (Target) นั้นอาจมีการสลับขั้นกันได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของเนื้อหานั้น ๆ) 3) ขั้นสรุป (1) อภิปราย เชื่อมโยง และอธิบายความเหมือนและความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) (2) สรุปมโนมติที่ศึกษา และใช้คำถามตัวอย่างหรือสถานการณ์เพื่อตรวจสอบความเข้าใจหรือขยายความรู้	<u>ขั้นจัดกิจกรรมการเรียนรู้</u> จัดกิจกรรมการเรียนรู้ ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ในคู่มือครูวิชาเคมี เล่ม 1 ของ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น การบรรยาย ใช้สื่อประกอบการเรียน power point คลิปวิดีโอ สื่อออนไลน์ ปฏิบัติการเคมี การศึกษาค้นคว้าจากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ การอภิปรายผลจากการศึกษาค้นคว้า เป็นต้น <u>ขั้นสรุป</u> สรุปมโนมติที่ศึกษา และใช้คำถามตัวอย่างหรือสถานการณ์เพื่อตรวจสอบความเข้าใจหรือขยายความรู้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ	ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบปกติ
ช่วงหลังจัดกิจกรรมการเรียนรู้	
<u>ขั้นสะท้อน (Reflection)</u> 1) การสรุป (Conclusion) สะท้อนผลสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) 2) การปรับปรุง (Improvement) นำผลการสะท้อนนั้นมาปรับปรุงสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ต่อไป 3) ประเมินผลการเรียนรู้หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางการวัด และประเมินผลในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้	- ประเมินผลการเรียนรู้หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางการวัด และประเมินผลในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้

2.3.5 วิเคราะห์บทบาทครูและบทบาทนักเรียนในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เพื่อช่วยให้การจัดการเรียนรู้ตรงกับรูปแบบและวัตถุประสงค์ของการจัดการเรียนรู้ แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 บทบาทครูและบทบาทนักเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
1.ขั้นเน้น (Focus)	1. ครูต้องเตรียมก่อนการจัดการเรียนรู้ และคำนึงถึงทั้ง 3 ด้าน ดังนี้ 1.1 ด้านมโนมติ (Concept) โดยวิเคราะห์และคัดเลือกเนื้อหา ซึ่งลักษณะของเนื้อหาควรเป็นเนื้อหาที่เข้าใจยากไม่คุ้นเคยและเป็นนามธรรม 1.2) ด้านนักเรียน (Student) โดยวิเคราะห์นักเรียนว่ารู้อะไรเกี่ยวกับเนื้อหานี้มาก่อนแล้วบ้าง โดยสำรวจความเข้าใจมโนมติและตัวแทนความคิดของนักเรียน	ให้ข้อมูลในการสำรวจมโนมติ และสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ขั้นตอน การจัดการเรียนรู้	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
	1.3 สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) โดยวิเคราะห์สิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและประสบการณ์ของนักเรียนเพื่อเลือกสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ซึ่งควรเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและรู้จักเป็นอย่างดีหรือพบเห็นในชีวิตประจำวัน	
2. ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action)	1. นำเสนอสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมแบบเปรียบเทียบเพื่อสำรวจสิ่งที่ต้องการเรียนรู้โดยศึกษาสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) 2. นำเสนอมโนมติที่ศึกษา ครูให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอ สืบค้นจากอินเตอร์เนต ศึกษาเนื้อหาเพิ่มเติมจากหนังสือเรียน 3. ขั้นสรุป ครูใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนได้ร่วมกันอภิปราย และระบุความเหมือนและความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) และใช้คำถาม ตัวอย่างหรือสถานการณ์เพื่อสรุปมโนมติที่ศึกษา ตรวจสอบความเข้าใจหรือขยายความรู้	1. นักเรียนทำกิจกรรมแบบเปรียบเทียบเพื่อศึกษาสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) 2.นักเรียนร่วมกันศึกษาอภิปราย และสรุปมโนมติที่ศึกษา 3. นักเรียนร่วมกันอภิปราย เชื่อมโยงอธิบายความเหมือนและความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target)
5) ขั้นสะท้อน (Reflection)	1. ครูใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนได้สะท้อนผลการใช้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) และเพื่อครูจะได้นำผลมาปรับปรุงสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ต่อไป	1. นักเรียนแสดงความคิดเห็นและสะท้อนผลการใช้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Anaolg)

2.3.6 วิเคราะห์เนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรม เข้าใจยาก และมีความเหมาะสมต่อใช้การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเรื่องพันธะเคมี

มีทั้งหมด 10 มโนมติ ได้แก่ กฎออกเตต การเกิดพันธะไอออนิก โครงสร้างสารประกอบไอออนิก การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ และการเกิดพันธะโลหะ

2.3.7 ศึกษามโนมติที่ศึกษา (Target) กับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่เคยมีการนำมาใช้จากตำรา เอกสาร และงานวิจัย เรื่อง พันธะเคมี สรุปได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 มโนมติที่ศึกษา (Target) และสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่เคยมีการนำมาใช้

เนื้อหา	มโนมติที่ศึกษา (Target)	สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่เคยมีการนำมาใช้
พันธะไอออนิก	การเกิดพันธะไอออนิก	เกมล้อมวงให้ครบ 8 (ระบุเพศ) การแต่งงานระหว่างชายหญิง แรงดึงดูดระหว่างแท่งแม่เหล็ก
พันธะโคเวเลนต์	การเกิดพันธะโคเวเลนต์	เกมล้อมวงให้ครบ 8
	ความยาวพันธะและพลังงานพันธะ	การดึงหนังยาง ไม้เสียบลูกชิ้น
	รูปร่างของโมเลกุล	การจัดเรียงตัวของลูกโป่ง
	สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์	การใช้ตราชั่งสปริงดึงลูกบอล เกมออกแรงดึงเชือก การเล่นชักเย่อ
	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล	การจับมือกันของนักเรียน
พันธะโลหะ	การเกิดพันธะโลหะ	เก้าอี้ดนตรี สุนัขกับกระดูก

2.3.8 วิเคราะห์ความเหมาะสมและออกแบบสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ จำนวน 10 แผน เวลา 21 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ออกแบบสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

แผนการจัดการเรียนรู้ที่	มโนมติที่ศึกษา (Target)	สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)	จำนวนชั่วโมง
1	กฎออกเตต	การใช้ลิฟต์	2
2	การเกิดพันธะไอออนิก	การเกิดสนามแม่เหล็ก	2
3	โครงสร้างสารประกอบไอออนิก	กระดานหมากฮอส	2
4	การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก	การจับคู่	3
5	การเกิดพันธะโคเวเลนต์	การรับประทานอาหารร่วมกัน	2
6	ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์	การดึงยางรัด	2
7	รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์	การจัดตัวของลูกโป่ง	2
8	สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์	การเล่นชักเย่อ	2
9	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์	การเกิดไฟฟ้าสถิต แรงดึงดูดระหว่างแม่เหล็กและตีนตุ๊กแก	2
10	การเกิดพันธะโลหะ	การจอดรถในห้างสรรพสินค้า	2
		รวม	21

2.3.9 จัดทำแผนการจัดการเรียนรู้แบบปกติสำหรับกลุ่มควบคุม จำนวน 10 แผน โดยลำดับเนื้อหาและกำหนดระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้เหมือนกับแผนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ และกำหนดแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามคู่มือครูเคมี เล่ม 1 ของ สสวท.

2.3.10 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้าง เสนอให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ประเมินความสอดคล้องเชิงเนื้อหาระหว่างจุดประสงค์ มโนมติ และกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละขั้น จากนั้นนำมาปรับปรุงและแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.3.11 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้าง เสนอผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประเมินความสอดคล้องเชิงเนื้อหาระหว่างจุดประสงค์ มโนมติ และกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละขั้น จากนั้นนำมาปรับปรุงและแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.3.12 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้ปรับปรุงและแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนลองวิทยา อำเภอลอง จังหวัดแพร่

2.4 การสร้างแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์

แบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี เป็นแบบวัดที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นซึ่งเป็นแบบทดสอบแบบอัตนัยเขียนตอบ อยู่ในส่วนที่ 1 ของแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด ซึ่งมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

2.4.1 ศึกษาหลักสูตร เอกสาร หนังสือเรียน คู่มือและตำราต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับเนื้อหาเรื่อง พันธะเคมี และแนวทางการสร้างแบบวัดมโนมติ

2.4.2 ทำการวิเคราะห์มโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี โดยใช้มโนมติที่ต้องการศึกษา จำนวน 10 มโนมติ ได้แก่ กฎออกเตต การเกิดพันธะไอออนิก โครงสร้างสารประกอบไอออนิก การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ สภาพขั้วของโมเลกุล โคเวเลนต์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ และการเกิดพันธะโลหะเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้สร้างข้อสอบในแต่ละ มโนมติ อย่างละ 1 ข้อ รวมทั้งหมด 10 ข้อ

2.4.3 ดำเนินการสร้างแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 10 ข้อ ซึ่งเป็นแบบทดสอบแบบอัตนัยเขียนตอบ อยู่ในส่วนที่ 1 ของแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด และในการจัดกลุ่มคำตอบของมโนมติทางวิทยาศาสตร์ใช้วิธีการจัดกลุ่มคำตอบของมโนมติตามแนวทางของ Haidar (1997) เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และให้คะแนนโดยได้กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

1) มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Understanding, SU) คือ คำตอบของนักเรียนที่แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์ทุกองค์ประกอบ ให้ 3 คะแนน

2) มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding, PU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงว่ามีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ ให้ 2 คะแนน

3) มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน (Partial Understanding with specific Misconception, PU & MU) หรือ คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงว่ามีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบและบางส่วนที่ไม่สอดคล้องหรือคลาดเคลื่อนจากมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ให้ 1 คะแนน

4) มโนมติคลาดเคลื่อน (Misconception, MU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงมโนมติที่ไม่สอดคล้องหรือคลาดเคลื่อนจากมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและไม่สอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์ ให้ 0 คะแนน

5) ไม่เข้าใจมโนมติ (No Understanding, NU) คือ การที่นักเรียนไม่ตอบคำถาม ตอบคำถามในลักษณะทวนคำถามหรือตอบคำถามไม่ตรงประเด็น ให้ 0 คะแนน

(เกณฑ์การวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ แสดงดังภาคผนวก ข)

2.4.4 นำแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และเกณฑ์การวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่องพันธะเคมี ที่สร้างขึ้น เสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เพื่อพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับมโนมติที่ต้องการวัด และดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.4.5 นำแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และเกณฑ์การวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่องพันธะเคมี ที่ปรับปรุงและแก้ไขแล้ว เสนอผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับมโนมติที่ต้องการวัด คำนวณหาค่าดัชนี ความสอดคล้อง (Index of Item-Objective Congruence: IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญพิจารณาให้ความเห็นและให้คะแนน (กัญจนา ลินทรรัตนศิริกุล, 2553, น. 53) จากสูตร

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

เมื่อ IOC คือ ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้

R คือ ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

ถ้าแน่ใจข้อคำถามวัดตรงกับจุดประสงค์การเรียนรู้ให้ค่าเป็น +1

ถ้าไม่แน่ใจข้อคำถามวัดตรงกับจุดประสงค์การเรียนรู้ให้ค่าเป็น 0

ถ้าแน่ใจข้อคำถามวัดตรงไม่กับจุดประสงค์การเรียนรู้ให้ค่าเป็น -1

N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

ค่า IOC มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 0.5 แสดงว่าข้อคำถามวัดสอดคล้องกับมโนมติที่ต้องการวัด จากนั้นดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.4.6 นำแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 เพื่อหาความเหมาะสมของการใช้ภาษา การใช้คำถาม เวลาในการทำแบบวัด จากนั้นหาค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเที่ยง (กัญจนา ลินทรรัตนศิริกุล, 2553, น. 61, 72)

การหาค่าความยากของแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นแบบทดสอบแบบอัตนัย หาได้จากสูตร

$$\text{ค่าความยาก} = \frac{\sum_H + \sum_L - (2N\ Score_{min})}{2N(Score_{max} - Score_{min})}$$

เมื่อ $\sum_H$ คือ ผลรวมของคะแนนของกลุ่มสูง 25%

$\sum_L$ คือ ผลรวมของคะแนนของกลุ่มต่ำ 25%

N คือ 25% ของจำนวนผู้สอบ

$Score_{max}$ คือ คะแนนของผู้สอบที่ได้คะแนนสูงสุด

$Score_{min}$ คือ คะแนนของผู้สอบที่ได้คะแนนต่ำสุด

ค่าความยากที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 0.20 – 0.80 ซึ่งจากการหาค่าความยากแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เท่ากับ 0.40 – 0.58

การหาค่าอำนาจจำแนกของแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นแบบทดสอบแบบอัตนัย หาได้จากสูตร

$$\text{ค่าอำนาจจำแนก} = \frac{\sum_H - \sum_L}{N(Score_{max} - Score_{min})}$$

เมื่อ $\sum_H$ คือ ผลรวมของคะแนนของกลุ่มสูง 25%

$\sum_L$ คือ ผลรวมของคะแนนของกลุ่มต่ำ 25%

N คือ 25% ของจำนวนผู้สอบ

$Score_{max}$ คือ คะแนนของผู้สอบที่ได้คะแนนสูงสุด

$Score_{min}$ คือ คะแนนของผู้สอบที่ได้คะแนนต่ำสุด

ค่าอำนาจจำแนกที่เหมาะสมควรมีค่า 0.20 ขึ้นไป ซึ่งจากการหาค่าอำนาจจำแนกของแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เท่ากับ 0.33 – 0.60

การหาความเที่ยงของแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้วิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค หาได้จากสูตร

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left[1 - \frac{\sum s_i^2}{s^2}\right]$$

เมื่อ α แทน ความเที่ยงของเครื่องมือวิจัย

k แทน จำนวนข้อของคำถาม

S_i แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนในข้อคำถามที่ i

S แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนทั้งหมด

โดยที่

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

เมื่อ X แทน คะแนนรวมของผู้เข้าสอบแต่ละคน

N แทน จำนวนผู้สอบ

ค่าความเที่ยงที่เหมาะสมควรมีค่าใกล้เคียงกับ 1.00 ซึ่งจากการหาค่าความเที่ยงของแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เท่ากับ 0.97

2.4.7 นำแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ไปใช้จริงกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 โดยใช้ทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

2.5 การสร้างแบบวัดการเสนอตัวแทนความคิด

แบบวัดการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี เป็นแบบวัดที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นแบบทดสอบแบบอัตนัยเขียนตอบ อยู่ในส่วนที่ 2 ของแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด ซึ่งมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

2.5.1 ศึกษาหลักสูตร เอกสาร หนังสือเรียน คู่มือและตำราต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับเนื้อหาเรื่อง พันธะเคมี และแนวทางการสร้างแบบวัดการเสนอตัวแทนความคิด

2.5.2 ทำการวิเคราะห์มโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมีโดยใช้มโนมติที่ต้องการศึกษา จำนวน 10 มโนมติ ได้แก่ กฎออกเตต การเกิดพันธะไอออนิก โครงสร้างสารประกอบไอออนิก การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ และการเกิดพันธะโลหะเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบวัดการเสนอตัวแทนความคิด ซึ่งได้สร้างข้อสอบในแต่ละมโนมติ อย่างละ 1 ข้อ รวมทั้งหมด 10 ข้อ

2.5.3 ดำเนินการสร้างแบบวัดการเสนอตัวแทนความคิด จำนวน 10 ข้อ ซึ่งเป็นแบบทดสอบแบบอัตนัยเขียนตอบ อยู่ในส่วนที่ 2 ของแบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด และในการจัดกลุ่มระดับความสามารถของการเสนอตัวแทนความคิดนั้น ใช้วิธีการจัดระดับความสามารถในการเสนอตัวแทนความคิดตามแนวทางของ Kozma & Russell (1997) และ Michalchik et al. (2008) ในการวิเคราะห์และให้คะแนนโดยได้กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

1) การเสนอตัวแทนความคิดโดยการบรรยายให้เห็นภาพ (Representation as Depiction) สามารถเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์นั้นโดยใช้การบรรยายให้เห็นภาพที่อยู่บนพื้นฐานของลักษณะทางกายภาพหรือระดับมหภาคเท่านั้น ให้ 1 คะแนน

2) การเสนอทักษะสัญลักษณ์ระดับต้น (Early Symbolic Skills) สามารถเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ต่างๆ โดยอยู่บนพื้นฐานของลักษณะทางกายภาพหรือระดับมหภาคที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และมีการใช้สัญลักษณ์ร่วมด้วย เช่น ลูกศร เพื่อแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่ไม่หยุดนิ่ง เช่น เวลา การเคลื่อนที่ สมการเคมี และสูตรโครงสร้างเคมี เป็นต้น นอกจากนี้อาจมีการอธิบายปรากฏการณ์อย่างใดอย่างหนึ่งที่ตีความจากการอ่านตามตัวอักษร โดยไม่คำนึงถึงความหมายของคำและเรียบเรียงให้เป็นประโยค ให้ 2 คะแนน

3) การสร้างประโยคของรูปแบบตัวแทนความคิด (Syntactic Use of Formal Representations) สามารถเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ต่างๆ โดยอาศัยอยู่บนพื้นฐานของลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ (ระดับมหภาค) และสิ่งที่สังเกตด้วยตาเปล่าไม่ได้ และเป็นกระบวนการซ่อนเร้นอยู่ (ระดับจุลภาค) เป็นการเสนอตัวแทนความคิดที่อาจไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ อาจมีการเสนอตัวแทนความคิดที่เน้นคำที่ใช้มากกว่าการให้ความหมาย

ของตัวแทนความคิดนั้น หรือเรียกได้ว่า เสนอตัวแทนความคิดโดยอาจมากจากการท่องจำในหนังสือเรียนหรือจดจำมาจากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ โดยไม่ได้เข้าใจอย่างแท้จริง ให้ 3 คะแนน

4) การให้ความหมายของรูปแบบตัวแทนความคิด (Semantic Use of Formal Representations) สามารถเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับสิ่งที่ซ่อนเร้นอยู่หรือสิ่งที่สังเกตไม่ได้ด้วยตาเปล่า (ระดับจุลภาค) สามารถใช้รูปแบบของตัวแทนความคิดที่อยู่บนพื้นฐานของการสร้างประโยคและความหมายของคำ หรือเรียกได้ว่า สามารถเสนอตัวแทนความคิดโดยเข้าใจความหมายของตัวแทนความคิดนั้นอย่างแท้จริง และสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ให้ 4 คะแนน

5) การสะท้อนถึงการใช้ตัวแทนความคิด (Reflective, Rhetorical Useof Representations) สามารถเสนอตัวแทนความคิดเพื่ออธิบายปรากฏการณ์หนึ่งๆ ได้มากกว่า 1 ตัวแทนความคิด เพื่อแสดงถึงการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของสารทั้ง 3 ระดับ (ระดับมหภาค ระดับจุลภาค ระดับสัญลักษณ์) ได้สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ หรืออาจจะสามารถเลือกใช้ตัวแทนความคิดที่ดีที่สุดในการอธิบายปรากฏการณ์ และสามารถสะท้อนให้เห็นว่า ทำไมถึงใช้ตัวแทนความคิดนั้น ให้ 5 คะแนน

(เกณฑ์การวัดการเสนอตัวแทนความคิด แสดงดังภาคผนวก ข)

2.5.4 นำแบบวัดการเสนอตัวแทนความคิดและเกณฑ์การวัดการเสนอตัวแทนความคิด เรื่องพันธะเคมีที่สร้างขึ้น เสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เพื่อพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับตัวแทนความคิดที่ต้องการวัด และดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.5.5 นำแบบวัดการเสนอตัวแทนความคิดและเกณฑ์การวัดการเสนอตัวแทนความคิด เรื่องพันธะเคมี ที่ปรับปรุงและแก้ไขแล้ว เสนอผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับตัวแทนความคิดที่ต้องการวัด คำนวณหาค่าดัชนี ความสอดคล้อง (Index of Item-Objective Congruence: IOC)โดยผู้เชี่ยวชาญพิจารณาให้ความเห็นและให้คะแนน ค่า IOC มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 0.5 แสดงว่าข้อคำถามวัดสอดคล้องกับตัวแทนความคิดที่ต้องการวัด จากนั้นดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.5.6 นำแบบวัดการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 เพื่อหาความเหมาะสมของการใช้ภาษา การใช้คำถาม เวลาในการทำแบบวัด หาค่าความยากและค่าอำนาจจำแนก และหาความเที่ยงของแบบวัด โดยใช้วิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เช่นเดียวกันกับ

แบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (กัญจนา ลินทรรัตนศิริกุล, 2553, น. 61, 72) พบว่า มีค่าความยากเท่ากับ 0.43 – 0.50 ค่าอำนาจจำแนกเท่ากับ 0.33 – 0.75 และมีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.96

2.5.7 นำแบบวัดการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ไปใช้จริงกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 โดยใช้ทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

3. การเก็บรวมรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้จัดการเรียนรู้และเก็บข้อมูลในภาคเรียนที่ 1 ปี การศึกษา 2563 โดยได้ดำเนินการทดลองกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา และได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนดังนี้

3.1 ขั้นเตรียมนักเรียนและการเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง

ผู้วิจัยวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างก่อนเรียน ได้แก่ กลุ่มทดลอง จำนวน 29 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 24 คน โดยใช้แบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด วิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิดก่อนเรียนไม่แตกต่างจากนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

3.2 ขั้นดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยได้จัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นซึ่งเป็นนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา โดยนักเรียนกลุ่มทดลองจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ โดยใช้รูปแบบของ Focus–Action–Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide (Treagust et al., 1998) ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น และนักเรียนกลุ่มควบคุมจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

3.2 ขั้นการเก็บข้อมูลหลังการทดลอง

การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 หลังการจัดการเรียนรู้ครบตามเนื้อหา ได้ดำเนินการการทดสอบหลังเรียนกับนักเรียนกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุมโดยใช้แบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด วิชาเคมี เรื่องพันธะเคมี ซึ่งเป็นฉบับเดียวกับก่อนเรียน

3.2.2 สัมภาษณ์นักเรียน ในกรณีที่ไม่เข้าใจการอธิบายคำตอบของนักเรียน ผู้วิจัยดำเนินการสัมภาษณ์เป็นรายกรณี

3.2.3 นำผลคะแนนที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติในขั้นต่อไป

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลและนำข้อมูลที่ได้จากการวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

4.1 สถิติพื้นฐาน ได้แก่

4.1.1 ค่าร้อยละ (Percentage)

4.1.2 ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean)

4.1.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

4.2 สถิติที่ใช้ในการคุณภาพเครื่องมือวิจัย ได้แก่

4.2.1 หาความตรงเชิงเนื้อหาโดยใช้เกณฑ์ดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence: IOC) (กัญจนา ลินทรรัตนศิริกุล, 2553: น. 53)

4.2.2 การหาค่าความยากและค่าอำนาจจำแนก (กัญจนา ลินทรรัตนศิริกุล, 2553: น. 61)

4.2.3 การหาค่าความเที่ยง โดยใช้วิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบราค (กัญจนา ลินทรรัตนศิริกุล, 2553: น. 72)

4.3 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานการวิจัย

4.3.1 วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2553, น. 213 - 219) เพื่อเปรียบเทียบคะแนนค่าเฉลี่ยความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด ก่อนเรียนและหลังเรียนระหว่างกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบและกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

4.3.2 ค่าร้อยละ (Percentage) เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด ก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่อง ผลการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี ที่มีต่อความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนลองวิทยา จังหวัดแพร่ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 2) เพื่อเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ 3) เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ และ 4) เพื่อเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอทั้งหมด 4 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

ตอนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

ตอนที่ 4 ผลการเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิดเรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

นำเสนอตามลำดับ ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

กลุ่มตัวอย่าง	n	$\overline{X}$	S.D.	F	p
กลุ่มทดลอง	29	22.09	0.711	42.834	.000*
กลุ่มควบคุม	24	15.17	0.781		

*p < .01

จากตารางที่ 4.1 พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยของคะแนนจากการทดสอบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์หลังเรียน เท่ากับ 22.09 และ 15.17 ตามลำดับ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.711 และ 0.781 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) ของคะแนนพบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนจากการทดสอบความเข้าใจในมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลองแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งสรุปได้ว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) เพื่อเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

กลุ่มตัวอย่าง	n	$\overline{X}$	S.D.	F	p
กลุ่มทดลอง	29	41.03	1.150	97.360	.000*
กลุ่มควบคุม	24	24.09	1.265		

*$p < .01$

จากตารางที่ 4.2 พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยของคะแนนจากการทดสอบการเสนอตัวแทนความคิดหลังเรียน เท่ากับ 41.03 และ 24.09 ตามลำดับ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 1.150 และ 1.265 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) ของคะแนนพบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนจากการทดสอบการเสนอตัวแทนความคิด ของนักเรียนกลุ่มทดลองแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ซึ่งสรุปได้ว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีการเสนอตัวแทนความคิดหลังเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ตอนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบโดยการหาค่าความถี่และร้อยละ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

มโนมติ	กลุ่มมโนมติ	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
		ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ
กฎออกเตต	SU	0	0	13	44.83
	PU	0	0	12	41.38
	PU & MU	3	10.34	4	13.79
	MU	12	41.38	0	0
	NU	14	48.28	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
การเกิดพันธะไอออนิก	SU	0	0	12	41.38
	PU	3	10.34	12	41.38
	PU & MU	0	0	4	13.79
	MU	18	62.07	1	3.45
	NU	8	27.59	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

มโนมติ	กลุ่มมโนมติ	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
		ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ
โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก	SU	0	0	20	68.92
	PU	2	6.90	7	24.14
	PU & MU	0	0	2	6.90
	MU	10	34.48	0	0
	NU	17	58.62	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก	SU	0	0	12	41.38
	PU	0	0	9	31.03
	PU & MU	0	0	6	20.69
	MU	11	37.93	2	6.90
	NU	18	62.07	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
การเกิดพันธะโคเวเลนต์	SU	0	0	11	37.93
	PU	0	0	16	55.17
	PU & MU	0	0	0	0
	MU	10	34.48	2	6.90
	NU	19	65.52	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์	SU	0	0	9	31.03
	PU	3	10.34	20	68.97
	PU & MU	0	0	0	0
	MU	6	20.69	0	0
	NU	20	68.97	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

มโนมติ	กลุ่มมโนมติ	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
		ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ
รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์	SU	0	0	9	31.03
	PU	0	0	9	31.03
	PU & MU	0	0	7	24.14
	MU	2	6.90	4	13.79
	NU	27	93.10	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์	SU	0	0	10	34.48
	PU	0	0	15	51.72
	PU & MU	0	0	4	13.79
	MU	8	27.59	0	0
	NU	21	72.41	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์	SU	0	0	8	27.59
	PU	0	0	17	58.62
	PU & MU	0	0	4	13.79
	MU	8	27.59	0	0
	NU	21	72.41	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
การเกิดพันธะโลหะ	SU	0	0	8	27.59
	PU	1	3.45	19	65.52
	PU & MU	0	0	2	6.90
	MU	10	34.48	0	0
	NU	18	62.07	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ ทั้งหมด 10 มโนมติ เป็นดังนี้

1) มโนมติ เรื่อง กฎออกเตต ก่อนเรียนนักเรียนไม่เข้าใจมโนมติ ร้อยละ 48.28 มโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 41.38 และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 10.34 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ร้อยละ 44.38 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 41.38 และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 13.79 ตามลำดับ

2) มโนมติ เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก ก่อนเรียนนักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 62.07 ไม่เข้าใจมโนมติ ร้อยละ 27.59 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 6.90 และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 10.34 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 41.38 และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 13.79 และมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 3.45 ตามลำดับ

3) มโนมติ เรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก ก่อนเรียนนักเรียนไม่เข้าใจมโนมติ ร้อยละ 58.62 มีมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 34.48 และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 6.90 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ร้อยละ 68.92 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 24.14 และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 6.90

4) มโนมติ เรื่อง การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่ไม่เข้าใจมโนมติ ร้อยละ 62.07 และมีมโนมติคลาดเคลื่อน 37.93 หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ร้อยละ 41.38 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 31.03 และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 20.69 และมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 6.90 ตามลำดับ

5) มโนมติ เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ก่อนเรียนนักเรียนไม่เข้าใจมโนมติ ร้อยละ 65.52 และมีมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 34.48 หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 55.17 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ร้อยละ 37.93 และมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 6.90 ตามลำดับ

6) มโนมติ เรื่อง ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ ก่อนเรียนนักเรียนไม่เข้าใจมโนมติ ร้อยละ 68.97 และมีมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 20.69 และมีความเข้าใจ

มโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อนหลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 68.97 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ร้อยละ 31.03 ตามลำดับ

7) มโนมติ เรื่อง รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่ไม่เข้าใจมโนมติ ร้อยละ 93.10 และมีมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 6.90 หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 31.03 และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 24.14 และมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 13.79 ตามลำดับ

8) มโนมติ เรื่อง สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่ไม่เข้าใจมโนมติ ร้อยละ 72.41 และมีมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 27.59 หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 51.72 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ร้อยละ 34.48 และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 13.79 ตามลำดับ

9) มโนมติ เรื่อง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่ไม่เข้าใจมโนมติ ร้อยละ 72.41 และมีมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 27.59 หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 58.62 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ร้อยละ 27.59 และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 13.79 ตามลำดับ

10) มโนมติ เรื่อง การเกิดพันธะโลหะ ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่ไม่เข้าใจมโนมติ ร้อยละ 62.07 มีมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 34.48 และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 3.45 หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ ร้อยละ 65.52 มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ร้อยละ 27.59 และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน ร้อยละ 6.90 ตามลำดับ

เมื่อนำคำตอบของนักเรียนมาวิเคราะห์ความเข้าใจในมโนมติทางวิทยาศาสตร์แล้วจัดกลุ่มคำตอบตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แสดงตัวอย่างคำตอบของนักเรียน ทั้งหมด 10 มโนมติ ตามลำดับดังนี้

1) มโนมติ เรื่อง กฎออกเตต

มโนมติที่สมบูรณ์คือ กฎออกเตต คือ การรวมตัวกันของธาตุจากอะตอมเป็นโมเลกุล เพื่อที่จะทำให้แต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 8 ทำให้เกิดความเสถียร

ตัวอย่างคำตอบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง กฎออกเตต แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กฎออกเตต ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	44.83	คำตอบนักเรียนถูกต้องและสมบูรณ์ ครบทุกองค์ประกอบ คือ 1. การรวมตัวกันของธาตุจากอะตอมเป็นโมเลกุล 2. การทำให้แต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 8 ทำให้เกิดความเสถียร	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. เป็นการรวมตัวกันของธาตุเพื่อทำให้แต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 8 เหมือนธาตุหมู่ 8 ที่มีความเสถียร ยกเว้นไฮโดรเจนที่ต้องรวมกันเท่ากับ 2 ให้เหมือนธาตุฮีเลียม 2. เป็นการรวมตัวของธาตุเพื่อที่จะทำให้แต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 แล้วเกิดความเสถียร
PU	0	41.38	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. คืออะตอมพยายามที่จะทำให้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนของตัวมันเองให้ครบ 8 2. เป็นการรวมตัวกันของอะตอมของธาตุให้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเหมือนธาตุหมู่ 8

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU & MU	10.34	13.79	คำตอบของนักเรียนถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบและมีมโนมติคลาดเคลื่อน	**ก่อนเรียน** 1. เป็นกฎที่แสดงตำแหน่งรูปร่างและการรวมตัวกันของธาตุต่าง ๆ 2. การอยู่ด้วยกันของสารและธาตุต่าง ๆ 3. การรวมตัวหรือการอยู่ด้วยกันของสาร **หลังเรียน** 1. เป็นการรวมตัวของธาตุ 2 อะตอมเพื่อทำให้แต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 2. เป็นการรวมตัวกันของธาตุ 2 ชนิดเพื่อให้แต่ละอะตอมความเสถียรมากที่สุด 3. การรวมกันของเวเลนซ์อิเล็กตรอนของธาตุให้ครบ 8 เพื่อให้มีความเสถียร
MU	41.38	0	คำตอบนักเรียนเป็นมโนมติที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด	**ก่อนเรียน** 1. เป็นกฎเกี่ยวกับพันธะไอออนิก 2. เป็นการทดลองโดยใช้กฎหรือสูตร 3. คือปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดพันธะต่าง ๆ 4. เป็นกฎที่มีความเกี่ยวข้องกับอะตอม **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
NU	48.28	0	คำตอบนักเรียนตอบไม่ตรงคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม	**ก่อนเรียน** 1. เป็นการอธิบายเกี่ยวกับกฎออกเตต **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

2) มโนมติ เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก

มโนมติที่สมบูรณ์คือ พันธะไอออนิกโดยส่วนใหญ่เกิดจากการที่ธาตุโลหะซึ่งมีพลังงานไอออไนเซชันต่ำเสียอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนบวก และธาตุอโลหะซึ่งมีค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนสูงรับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนลบ ซึ่งทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต ไอออนบวกและไอออนลบมีประจุไฟฟ้าต่างกันจึงยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้า

ตัวอย่างคำตอบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	41.38	คำตอบนักเรียนถูกต้องและสมบูรณ์ คืออธิบายได้ครบทุกองค์ประกอบคือพันธะไอออนิกเกิดจาก 1. ธาตุโลหะมีค่า IE ต่ำเสียอิเล็กตรอนและธาตุอโลหะมีค่า EA สูงรับอิเล็กตรอน 2. ธาตุโลหะเกิดเป็นไอออนบวก ธาตุอโลหะเกิดเป็นไอออนลบ 3. อะตอมธาตุโลหะและอะตอมธาตุอโลหะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต 4. ไอออนบวกและไอออนลบยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้า	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. พันธะไอออนิก เกิดจากธาตุโลหะมีค่า IE ต่ำจึงเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายเป็นไอออนบวก ส่วนธาตุอโลหะมีค่า EA สูงจึงรับอิเล็กตรอนทำให้เป็นไอออนลบ ทำให้อะตอมธาตุโลหะและอะตอมธาตุอโลหะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต ไอออนบวกและไอออนลบจึงยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้า
PU	10.34	41.38	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	**ก่อนเรียน** 1. พันธะไอออนิกเกิดจากอะตอมให้อิเล็กตรอนกับอะตอมทำให้เป็นประจุบวก และอีกอะตอมรับอิเล็กตรอนทำให้เป็นประจุลบ 2. พันธะไอออนิกเกิดจากการรวมตัวกันของธาตุโลหะกับธาตุอโลหะที่กลายเป็นไอออน

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU	10.34	41.38		**หลังเรียน** 1. พันธะไอออนิก เกิดจากอิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมหนึ่งเคลื่อนย้ายไปอีกอะตอมหนึ่งให้ครบ 8 ตามกฎออกเตต ยึดเหนี่ยวกันด้วยไอออนที่มีประจุตรงข้ามกัน 2. พันธะไอออนิก เกิดจากอะตอมธาตุโลหะและธาตุอโลหะมาสร้างพันธะกัน โดยอะตอมธาตุโลหะมี IE ต่ำจึงเสียอิเล็กตรอนให้อะตอมธาตุอโลหะที่มีค่า EA สูง แล้วยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้า 3. พันธะไอออนิก เกิดจากอะตอมธาตุโลหะที่ค่า IE ต่ำ กับธาตุอโลหะที่มีค่า EA สูง ไอออนบวกของธาตุโลหะกับไอออนลบของธาตุอโลหะยึดเหนี่ยวกันด้วยประจุไฟฟ้า

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU & MU	0	13.79	คำตอบของนักเรียนถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบและมีมโนมติคลาดเคลื่อน	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. พันธะไอออนิกเกิดจากธาตุโลหะมีค่า IE สูง เกิดเป็นประจุบวกกับธาตุอโลหะที่มีค่า EA ต่ำเกิดเป็นประจุลบ ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้า โดยที่ธาตุโลหะให้อิเล็กตรอน 2. พันธะไอออนิกเกิดจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างไอออนบวกของธาตุอโลหะกับไอออนลบของธาตุโลหะ
MU	62.07	3.45	คำตอบนักเรียนเป็นมโนมติที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด	**ก่อนเรียน** 1. พันธะไอออนิกเกิดจากสารไอออนิกมากกว่า 2 โมเลกุลเกิดปฏิกิริยากัน 2. พันธะไอออนิกเกิดจากสาร 2 ชนิดขึ้นไปรวมกันแล้วเกิดสารใหม่ 3. พันธะไอออนิกเกิดจากการรวมตัวกันของสารเคมีที่ประกอบกันแล้วกลายเป็นไอออน

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
MU	62.07	3.45		**หลังเรียน** 1. พันธะไอออนิกเกิดจากการแลกเปลี่ยนเวเลนซ์อิเล็กตรอนกันโดยที่ต้องไม่เกิน 8
NU	27.59	0	คำตอบนักเรียนตอบไม่ตรงคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม	**ก่อนเรียน** 1. การเกิดพันธะไอออนิกคือพันธะเคมี **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

3) มโนมติ เรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก

มโนมติที่สมบูรณ์คือ สารประกอบไอออนิกที่มีสถานะของแข็ง ประกอบด้วยไอออนบวกรวมอยู่กับไอออนลบต่อเนื่องสลับกันไปทั้งสามมิติเป็นโครงผลึกและแยกเป็นโมเลกุลเดี่ยวไม่ได้ โครงสร้างของสารประกอบไอออนิกมีลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของจำนวนประจุ ขนาดของไอออนและโครงสร้างผลึกของสารนั้นๆ

ตัวอย่างคำตอบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิกระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	68.92	คำตอบนักเรียนถูกต้องและสมบูรณ์ ครบทุกองค์ประกอบ คือ 1. สารประกอบไอออนิกที่มีสถานะของแข็ง 2.ประกอบด้วยไอออนบวกรวมอยู่กับไอออนลบต่อเนื่องสลับกันไปทั้งสามมิติเป็นโครงผลึกและแยกเป็นโมเลกุลเดี่ยวไม่ได้ 3.โครงสร้างของสารประกอบไอออนิกมีลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของจำนวนประจุ ขนาดของไอออนและโครงสร้างผลึกของสารนั้น ๆ	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. สารประกอบไอออนิกมีสถานะของแข็งที่มีลักษณะเป็นโครงผลึก แยกเป็นโมเลกุลเดี่ยวไม่ได้ เนื่องจากมีไอออนบวกของธาตุโลหะและไอออนลบของธาตุอโลหะยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไอออนิกสลับกันและต่อเนื่องกันไปทั้ง 3 มิติ โครงสร้างจะมีลักษณะแตกต่างกันเพราะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของประจุ ขนาดของไอออนและโครงผลึก
PU	3.45	24.14	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	**ก่อนเรียน** 1. ภายโครงสร้างของสารประกอบไอออนิกมีไอออนบวกและไอออนลบเรียงสลับกันและอยู่ชิดกันทำให้เกิดเป็นรูปทรงต่าง ๆ 2. เป็นโครงสร้างที่มีไอออนวกและไอออนลบเชื่อมต่อกันและอยู่ด้วยกันเป็นโครงผลึก

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU	3.45	24.14	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	**หลังเรียน** 1. สารประกอบไอออนิกอยู่ในสถานะของแข็ง มีไอออนบวกและไอออนลบยึดเหนี่ยวกันสลับกันไปอย่างต่อเนื่องเป็น 3 มิติ จึงทำให้แยกเป็นโมเลกุลเดี่ยวไม่ได้ 2. สารประกอบไอออนิกอยู่ในสถานะของแข็ง มีไอออนบวกของธาตุโลหะและไอออนลบของธาตุอโลหะยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไอออนิกสลับกันเป็น 3 มิติต่อเนื่องกันเป็นโครงผลึก 3. สารประกอบไอออนิกมีลักษณะเป็นโครงผลึก ประกอบด้วยไอออนบวกและไอออนลบสลับกัน ไม่สามารถแยกเป็นโมเลกุลเดี่ยวได้ มีลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของไอออน ขนาดไอออน

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU & MU	0	6.90	คำตอบของนักเรียนถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบและมีมโนมติคลาดเคลื่อน	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. สารประกอบไอออนิกในสถานะของเหลวที่มีไอออนบวกและไอออนลบยึดเหนี่ยวกันอย่างต่อเนื่องเป็นรูป 3 มิติ
MU	34.48	0	คำตอบนักเรียนเป็นมโนมติที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด	**ก่อนเรียน** 1. โครงสร้างของสารประกอบไอออนิกประกอบด้วยสารเคมีต่าง ๆ ที่มี 2 สารขึ้นไป เมื่อมารวมตัวกันจึงเกิดเป็นสารประกอบไอออนิก 2. เป็นโครงสร้างที่มีธาตุอโลหะกับธาตุอโลหะมารวมตัวกัน 3. เป็นโครงสร้างที่เกิดจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแก๊สออกซิเจน **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
NU	58.62	0	คำตอบนักเรียนตอบไม่ตรงคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม	**ก่อนเรียน** 1. เป็นสารต่าง ๆ ที่อยู่ในไอออนิก **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

4) มโนมติ เรื่อง การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก

มโนมติที่สมบูรณ์ คือ สารประกอบไอออนิกเมื่อละลายน้ำ ไอออนบวกและไอออนลบจะแยกออกจากกัน การผสมกันระหว่างสารละลายของสารประกอบไอออนิกไอออนอิสระจะทำปฏิกิริยากันทำให้เกิดตะกอนเกิดเป็นสารประกอบไอออนิกชนิดใหม่ที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งจะเกิดขึ้นกับสารประกอบไอออนิกบางคู่

ตัวอย่างคำตอบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิกระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	41.38	คำตอบนักเรียนถูกต้องและสมบูรณ์ ครบทุกองค์ประกอบ คือ 1. สารประกอบไอออนิกเมื่อละลายน้ำ ไอออนบวกและไอออนลบจะแยกออกจากกัน 2. การผสมกันระหว่างสารละลายของสารประกอบไอออนิกไอออนอิสระจะทำปฏิกิริยากันทำให้เกิดตะกอนเกิดเป็นสารประกอบไอออนิกชนิดใหม่ที่ไม่ละลายน้ำ 3. เกิดขึ้นกับสารประกอบไอออนิกบางคู่	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. เมื่อนำสารประกอบไอออนิกมาละลายในน้ำไอออนบวกและไอออนลบจะแยกออกจากกัน และถ้าผสมสารละลายของสารประกอบไอออนิกเข้าด้วยกันไอออนในสารละลายจะทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นตะกอนของสารประกอบไอออนิกชนิดใหม่ขึ้นมา แต่จะเกิดขึ้นกับสารประกอบไอออนิกบางคู่เท่านั้น

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU	0	31.03	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. เป็นการนำสารละลายประกอบไอออนิกคู่ใดคู่หนึ่งมาผสมรวมกัน ถ้าเกิดตะกอนแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาขึ้น ซึ่งเป็นสารประกอบไอออนิกชนิดใหม่ 2. เมื่อนำสารประกอบไอออนิกมาละลายน้ำแล้วไอออนบวกและไอออนลบจะแยกออกจากกันและทำปฏิกิริยา จะมีสารบางชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยาแล้วจะเกิดเป็นสารใหม่ที่ไม่ละลายน้ำเป็นตะกอน
PU & MU	0	20.69	คำตอบของนักเรียนถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบและมีมโนมติคลาดเคลื่อน	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. สารประกอบไอออนิกเมื่อละลายน้ำไอออนบวกและลบจะแยกตัวออกจากกัน และมีตะกอนเกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของธาตุ 2 ชนิด 2. เมื่อนำสารประกอบไอออนิกมาละลายในน้ำและผสมกัน จะเกิดตะกอนขึ้นแสดงว่ามีปฏิกิริยาเกิดขึ้นและเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดพลังงาน

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
MU	37.93	6.90	คำตอบนักเรียนเป็นมโนมติที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด	**ก่อนเรียน** 1. เกิดจากสารประกอบที่ไม่มีความเสถียรมาทำปฏิกิริยากัน 2. เกิดจากการดึงดูดให้เข้าหากันของธาตุหรือสารโดยค่อย ๆ เคลื่อนที่เข้าหากันและรวมตัวกัน **หลังเรียน** 1. เมื่อนำสารละลายมาผสมกันไอออนของสารประกอบไอออนิกจะจับกลุ่มกันเกิดเป็นตะกอนทั้งหมด 2. การผสมสารละลายของสารประกอบไอออนิก 2 ชนิด จะเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงาน
NU	62.07	0	คำตอบนักเรียนตอบไม่ตรงคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม	**ก่อนเรียน** 1. ภายในโครงสร้างสารประกอบไอออนิกรับอิเล็กตรอนมามากจะมีขนาดใหญ่ขึ้น **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

5) มโนมติ เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์

มโนมติที่สมบูรณ์ คือ พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง และมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกันรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ที่เป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน ดังนั้นเมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน เรียกการยึดเหนี่ยวนี้ว่า พันธะโคเวเลนต์ ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต

ตัวอย่างคำตอบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	37.93	คำตอบนักเรียนถูกต้องและสมบูรณ์ ครบทุกองค์ประกอบคือ พันธะโคเวเลนต์เกิดจาก 1. อะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง และมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกัน 2. รวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ที่เป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน 3. เมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 4. โดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. พันธะโคเวเลนต์เกิดจากการรวมตัวกันของธาตุอโลหะที่มีค่า IE และ EN สูง จึงไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน จึงยึดเหนี่ยวโดยใช้เวเลนซ์-อิเล็กตรอนร่วมกันซึ่งอะตอมจะรวมตัวกัน ตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป และส่วนใหญ่จะรวมตัวกันเพื่อให้มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมครบ 8 ตามกฎออกเตต

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU	0	55.17	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. พันธะโคเวเลนต์เกิดจากการรวมตัวกันของธาตุอโลหะและไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอนจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 2. พันธะโคเวเลนต์เกิดจากการรวมตัวกันของธาตุอโลหะที่มีค่า EN สูง จึงยึดเหนี่ยวกันเวเลนซ์อิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกัน ซึ่งส่วนใหญ่แต่ละอะตอมจะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 8 ตามกฎออกเตต 3. พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุโลหะตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไปรวมตัวกันแล้วไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอนจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน
PU & MU	0	0	คำตอบของนักเรียนถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบและมีมโนมติคลาดเคลื่อน	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
MU	34.48	6.90	คำตอบนักเรียนเป็นมโนมติคลาดเคลื่อนทั้งหมด	**ก่อนเรียน** 1. พันธะโคเวเลนต์ คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างสารไอออนิกกับสารชนิดใดชนิดหนึ่ง 2. พันธะโคเวเลนต์เกิดจากการเชื่อมโยงของสารโคเวเลนต์ 3. สารหรือธาตุต่าง ๆ เกิดปฏิกิริยาต่อกันทำให้เกิดพันธะโคเวเลนต์ **หลังเรียน** 1. พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุชนิดต่าง ๆ มารวมตัวกันจนเกิดเป็นพันธะ 2. การที่สารต่าง ๆ มาสร้างพันธะกันแล้วเวเลนซ์อิเล็กตรอนของสารทั้งสองเข้าคู่กัน เรียกว่า พันธะโคเวเลนต์
NU	65.52	0	คำตอบนักเรียนตอบไม่ตรงคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม	**ก่อนเรียน** 1. เป็นการเกิดพันธะโคเวเลนต์แบบใหม่ ว่าใครเป็นคนค้นพบเกิดได้อย่างไร **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

6) มโนมติ เรื่อง ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์

ความยาวพันธะ (bond length) คือ ระยะระหว่างนิวเคลียสของอะตอมแต่ละคู่ที่เกิดพันธะต่อกันที่ทำให้พลังงานศักย์รวมต่ำที่สุด

พลังงานพันธะ(bond energy) คือ พลังงานปริมาณน้อยที่สุดที่ใช้สลายพันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลในสถานะแก๊สให้เป็นอะตอมเดี่ยวในสถานะแก๊ส

พลังงานพันธะมีความสัมพันธ์กับความยาวพันธะ คือ พันธะที่มีค่าพลังงานพันธะน้อยจะมีค่าความยาวพันธะมาก พันธะที่มีค่าพลังงานพันธะมากจะมีค่าความยาวน้อย โดยความยาวพันธะเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ พันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม ส่วนพลังงานพันธะเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ พันธะสาม พันธะคู่ และพันธะเดี่ยว

ตัวอย่างคำตอบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสาร โคเวเลนต์ แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	31.03	คำตอบนักเรียนถูกต้องและสมบูรณ์ ครบทุกองค์ประกอบ คือ 1./1 ความยาวพันธะ คือ ระยะระหว่างนิวเคลียสของอะตอมแต่ละคู่ที่เกิดพันธะต่อกัน 1./2 ที่ทำให้พลังงานศักย์รวมต่ำที่สุด 2./1 พลังงานพันธะ คือ พลังงานปริมาณน้อยที่สุดที่ใช้สลายพันธะระหว่างอะตอม 2./2 ในโมเลกุลในสถานะแก๊สให้เป็นอะตอมเดี่ยวในสถานะแก๊ส	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของนิวเคลียสของอะตอมที่สร้างพันธะกันและทำให้พลังงานศักย์รวมต่ำที่สุด คือ ความยาวพันธะ ส่วนพลังงานที่น้อยที่สุดที่ใช้สลายพันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลสถานะแก๊สให้เป็นอะตอมในสถานะแก๊ส ความสัมพันธ์ของความยาวพันธะและพลังงานพันธะ คือถ้าพลังงาน

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	31.03	3.พลังงานพันธะ มีความสัมพันธ์กับความยาวพันธะ คือ พันธะที่มีค่าพลังงานพันธะน้อยจะมีค่าความยาวพันธะมาก พันธะที่มีค่าพลังงานพันธะมากจะมีค่าความยาวน้อย 4. ความยาวพันธะเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ พันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม 5. พลังงานพันธะเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ พันธะสาม พันธะคู่ และพันธะเดี่ยว	พันธะมาก ความยาวจะน้อย ถ้าพลังงานพันธะน้อย ความยาวจะมาก เปรียบเทียบความยาวพันธะได้ คือ พันธะเดี่ยว > พันธะคู่ > พันธะสามเปรียบเทียบพลังงานพันธะ ได้ คือ พันธะสาม > พันธะคู่ > พันธะเดี่ยว
PU	10.34	68.97	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	**ก่อนเรียน** 1. ถ้าความยาวพันธะมาก พลังงานของพันธะจะมีน้อย ถ้าความยาวพันธะน้อย พลังงานของพันธะจะมีมาก 2. พลังงานพันธะขึ้นอยู่กับความยาวพันธะแต่ละชนิด คือพลังงานพันธะมีความสัมพันธ์กับความยาวพันธะ

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU	10.34	68.97		**หลังเรียน** 1. ความยาวพันธะ คือ ระยะระหว่างนิวเคลียสของอะตอมแต่ละคู่ที่เกิดพันธะต่อกันที่ทำให้พลังงานศักย์รวมต่ำที่สุด ส่วนพลังงานพันธะ คือ พลังงานปริมาณน้อยที่สุดที่ใช้สลายพันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลในสถานะแก๊สให้เป็นอะตอมเดี่ยวในสถานะแก๊ส 2. ความสัมพันธ์ของความยาวพันธะและพลังงานพันธะ คือถ้าพลังงานพันธะมาก ความยาวจะน้อย ถ้าพลังงานพันธะน้อย ความยาวจะมาก 3. ถ้าพลังงานพันธะมาก ความยาวจะน้อย ถ้าพลังงานพันธะน้อย ความยาวจะมาก นั่นคือ ความยาวพันธะ จะเปรียบเทียบได้คือ พันธะเดี่ยว > พันธะคู่ > พันธะสาม และเปรียบเทียบพลังงานพันธะ ได้คือ พันธะสาม > พันธะคู่ > พันธะเดี่ยว 4. ความยาวพันธะ เรียงลำดับได้คือ พันธะเดี่ยว > พันธะคู่ > พันธะสาม และพลังงานพันธะเรียงลำดับได้คือพันธะสาม > พันธะคู่ > พันธะเดี่ยว

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU & MU	0	0	คำตอบของนักเรียนถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบและมีมโนมติคลาดเคลื่อน	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
MU	20.69	0	คำตอบนักเรียนเป็นมโนมติที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด	**ก่อนเรียน** 1. เป็นการใช้สูตรความยาวและพลังงานพันธะของพันธะโคเวเลนต์ชนิดต่าง ๆ 2. ความยาวพันธะคือ ระยะทางที่พันธะสามารถเคลื่อนที่ได้ พลังงานพันธะคือ พลังงานที่พันธะได้รับเมื่อความยาววพันธะมากขึ้น พลังงานที่พันธะได้รับก็มากขึ้นเช่นกัน **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้ในระดับนี้
NU	68.97	0	คำตอบนักเรียนตอบไม่ตรงคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม	**ก่อนเรียน** นักเรียนไม่ตอบคำถาม **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

7) มโนมติ เรื่อง รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์

มโนมติที่สมบูรณ์คือ การคาดคะเนรูปร่างโมเลกุลจากโครงสร้างลิวอิสโดยอาศัยการผลักกันของอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวใช้ ทฤษฎีการผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์ (Valence Shell Electron Pair Repulsion theory : VSEPR theory) โดยทฤษฎี VSEPR มีหลักการว่า อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่ใกล้นิวเคลียสมากกว่าอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ ดังนั้นแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวด้วยกัน > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะด้วยกัน ดังนั้นรูปร่างโมเลกุลจึงขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะและจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวรอบอะตอมกลาง

ตัวอย่างคำตอบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	31.03	คำตอบนักเรียนถูกต้องและสมบูรณ์ ครบทุกองค์ประกอบ คือ 1.การคาดคะเนรูปร่างโมเลกุลจากโครงสร้างลิวอิสโดยอาศัยการผลักกันของอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 2. มีหลักการว่า อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่ใกล้นิวเคลียสมากกว่าอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ ดังนั้นแรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวด้วยกัน > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอิเล็กตรอนคู่	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. การคาดคะเนรูปร่างโมเลกุลจากโครงสร้างลิวอิสอาศัยการผลักกันของอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว และมีหลักการว่า อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่ใกล้นิวเคลียสมากกว่าอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวด้วยกัน > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วม

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	31.03	ร่วมพันธะ > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะด้วยกัน 3. รูปร่างโมเลกุลจึงขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะและจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวรอบอะตอมกลาง	พันธะด้วยกัน แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอน และปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่างโมเลกุลคือจำนวนพันธะและจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวรอบอะตอมกลาง
PU	0	31.03	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. การคาดคะเนรูปร่างโมเลกุลมีหลักการว่า อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่ใกล้นิวเคลียสมากกว่าอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวด้วยกัน > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะด้วยกัน แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอน และรูปร่างโมเลกุลจึงขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะและจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวรอบอะตอมกลาง

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU	0	31.03	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	2. การคาดคะเนรูปร่างโมเลกุลมีหลักการว่า อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่ใกล้นิวเคลียสมากกว่าอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวด้วยกัน > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวกับอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ > แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะด้วยกัน แรงผลักระหว่างอิเล็กตรอน 3. รูปร่างโมเลกุลขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะและจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวรอบอะตอมกลาง 3. การคาดคะเนรูปร่างโมเลกุลอาศัยการผลักกันของอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะและอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว
PU & MU	0	24.14	คำตอบของนักเรียนถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบและมีมโนมติคลาดเคลื่อน	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะระหว่างอะตอมกลาง กับอะตอมที่ล้อมรอบ ทำให้เกิดรูปร่างต่าง ๆ และปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่างคือรูปร่างพันธะและจำนวนอะตอม

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU & MU	0	24.14	คำตอบของนักเรียนถูกต้องบางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน	2. รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์เกิดจากกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะระหว่างอะตอมกลางกับอะตอมที่ล้อมรอบ ปัจจัยที่มีผลต่อรูปร่างโมเลกุลคือ จำนวนอิเล็กตรอนของอะตอมและขนาดของโมเลกุล
MU	6.90	13.79	คำตอบนักเรียนเป็นมโนมติที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด	**ก่อนเรียน** 1. อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะระหว่างอะตอมกลางกับอะตอมที่ล้อมรอบทำให้เกิดรูปร่างต่าง ๆ 2. การจัดเรียงอะตอมต่าง ๆ ในโมเลกุลโคเวเลนต์มีตำแหน่งและทิศทางแน่นอนทำให้เกิดรูปร่างแตกต่างกันออกไป และใช้ความยาวพันธะและมุมพันธะบอกรูปร่าง **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
NU	93.10	0	คำตอบนักเรียนตอบไม่ตรงคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม	**ก่อนเรียน** 1. รูปร่างโมเลกุลจะใหญ่ขึ้น 2. อธิบายหรือคาดคะเนรูปร่างต่าง ๆ ของโมเลกุล **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

8) มโนมติ เรื่อง สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์

มโนมติที่สมบูรณ์คือ พันธะโคเวเลนต์ที่เกิดจากอะตอมที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีเท่ากันเป็นพันธะไม่มีขั้ว ถ้าเกิดจากอะตอมที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีไม่เท่ากันจะเป็นพันธะมีขั้ว สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์จึงขึ้นอยู่กับสภาพขั้วพันธะและรูปร่างโมเลกุล ซึ่งเป็นการรวมเวกเตอร์ของแต่ละพันธะในรูปร่างโมเลกุล ซึ่งทำให้โมเลกุลโคเวเลนต์มีทั้งโมเลกุลมีขั้วและไม่มีขั้ว

ตัวอย่างคำตอบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	34.48	คำตอบนักเรียนถูกต้องและสมบูรณ์ ครบทุกองค์ประกอบ คือ 1.พันธะโคเวเลนต์ที่เกิดจากอะตอมที่มีค่าอิเล็กโทร-เนกาติวิตีเท่ากันเป็นพันธะไม่มีขั้ว ถ้าเกิดจากอะตอมที่มีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีไม่เท่ากันจะเป็นพันธะมีขั้ว 2. สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์จึงขึ้นอยู่กับสภาพขั้วพันธะและรูปร่างโมเลกุล 3. การรวมเวกเตอร์ของแต่ละพันธะในรูปร่างโมเลกุลทำให้โมเลกุลโคเวเลนต์มีทั้งโมเลกุลมีขั้วและไม่มีขั้ว	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. สภาพขั้วโมเลกุลขึ้นอยู่กับสภาพขั้วพันธะและรูปร่างโมเลกุล ซึ่งทำให้เป็นโมเลกุลมีขั้วและไม่มีขั้ว พันธะมีขั้วเกิดจากอะตอมธาตุต่างชนิดกันมีค่า EN ไม่เท่ากัน พันธะไม่มีขั้วเกิดจากอะตอมธาตุชนิดเดียวกันมีค่า EN เท่ากัน และการรวมเวกเตอร์พันธะแล้วหักล้างกันหมดจะเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว แต่ถ้าหักล้างกันไม่หมดจะเป็นโมเลกุลมีขั้ว

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU	0	51.72	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. สภาพขั้วโมเลกุลขึ้นอยู่กับสภาพขั้วพันธะและรูปร่างโมเลกุล ทำให้โมเลกุลมีขั้วและไม่มีขั้ว พันธะมีขั้วเกิดจากอะตอมธาตุต่างชนิดกัน มีค่า EN ไม่เท่ากัน พันธะไม่มีขั้วเกิดจากอะตอมธาตุชนิดเดียวกัน มีค่า EN เท่ากัน 2. พันธะโคเวเลนต์มีขั้วเกิดจากอะตอมต่างชนิดกัน การกระจายกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะเท่ากัน ค่า EN เท่ากัน พันธะโคเวเลนต์มีขั้วเกิดจากอะตอมต่างชนิดกัน โมเลกุลไม่มีขั้วเกิดจากการรวมเวกเตอร์พันธะแล้วหักล้างกันหมด ส่วนโมเลกุลมีขั้วเกิดจากการรวมเวกเตอร์พันธะแล้วหักล้างกันไม่หมด 3. สภาพขั้วโมเลกุลขึ้นอยู่กับสภาพขั้วพันธะและรูปร่างโมเลกุล ซึ่งทำให้เป็นโมเลกุลมี 2 ประเภทคือ มีขั้วและไม่มีขั้ว

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU & MU	0	13.79	คำตอบของนักเรียนถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบและมีมโนมติคลาดเคลื่อน	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. สภาพขั้วโมเลกุลขึ้นอยู่กับสภาพขั้วพันธะและรูปร่างโมเลกุล ทำให้เป็นโมเลกุลมีขั้วและไม่มีขั้ว พันธะมีขั้วเกิดกับอะตอมต่างชนิดกันที่มีค่า EN สูง พันธะไม่มีขั้วเกิดกับอะตอมชนิดเดียวกัน มีค่า EN เท่ากัน 2. สภาพขั้วโมเลกุลขึ้นอยู่กับสภาพขั้วพันธะและรูปร่างโมเลกุล ทำให้เป็นโมเลกุลมีขั้วและไม่มีขั้ว โมเลกุลมีขั้วเกิดกับอะตอมต่างชนิดกันที่มีค่า EN ไม่เท่ากัน โมเลกุลไม่มีขั้วเกิดกับอะตอมชนิดเดียวกันมีค่า EN เท่ากัน ถ้าอะตอมหักล้างกันหมดจะเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว ถ้าอะตอมหักล้างกันไม่หมดจะเป็นโมเลกุลมีขั้ว

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
MU	27.59	0	คำตอบนักเรียนเป็นมโนมติคลาดเคลื่อนทั้งหมด	**ก่อนเรียน** 1. มีรูปร่างโมเลกุลไม่แน่นอน เนื่องจากการผลักของคู่อิเล็กตรอนในแต่ละบริเวณไม่เท่ากัน 2. รูปร่างโมเลกุลเกิดจากการผลักกันของคู่อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์ **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
NU	72.41	0	คำตอบนักเรียนตอบไม่ตรงคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม	**ก่อนเรียน** 1. รูปร่างโมเลกุลจะใหญ่ขึ้น 2. อธิบายหรือคาดคะเนรูปร่างต่าง ๆ ของโมเลกุล **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

9) มโนมติ เรื่อง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเกลุลของสารโคเวเลนต์

มโนมติที่สมบูรณ์คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเกี่ยวข้องกับขนาดโมเลกุลและสภาพขั้วของโมเลกุล ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์มีหลายชนิด ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึง 3 ชนิด ดังนี้

1. แรงแผ่กระจายลอนดอน (London dispersion force) เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วหรืออะตอมแก๊สมีสกุล ซึ่งเป็นแรงอ่อน ๆ ที่เกิดจากการกระจายของอิเล็กตรอนในอะตอมขณะใดขณะหนึ่งซึ่งอาจไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดสภาพขั้วชั่วขณะ แล้วเหนี่ยวนำให้โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันเกิดขั้วตรงข้ามและมีแรงดึงดูดชั่วขณะ โดยแรงแผ่กระจายลอนดอนเพิ่มขึ้นตามขนาดของโมเลกุล

2. แรงระหว่างขั้ว (dipole-dipole force) เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีขั้ว ซึ่งเกิดจากแรงกระทำระหว่างขั้วที่มีอำนาจไฟฟ้าค่อนข้างบวกกับขั้วที่มีอำนาจไฟฟ้าค่อนข้างลบของ

โมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน โดยทั่วไปแรงระหว่างขั้วเพิ่มขึ้นตามสภาพขั้วของโมเลกุลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน

3. พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่เกิดจากอะตอมของไฮโดรเจนยึดเหนี่ยวกับอะตอมของธาตุที่มีขนาดเล็กและมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูง ได้แก่ ฟลูออรีน ออกซิเจนและไนโตรเจน

เปรียบเทียบความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจากมากไปน้อย คือ พันธะไฮโดรเจน แรงระหว่างขั้ว และแรงแผ่กระจายลอนดอน ตามลำดับ

ตัวอย่างคำตอบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเกลุลของสารโคเวเลนต์ แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเกลุลของสารโคเวเลนต์ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	27.59	คำตอบนักเรียนถูกต้องและสมบูรณ์ ครบทุกองค์ประกอบ คือ 1. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเกี่ยวข้องกับขนาดโมเลกุลและสภาพขั้วของโมเลกุล มี 3 ชนิด 2./1) แรงแผ่กระจายลอนดอนเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้วหรืออะตอมแก๊สมีสกุล 2./2) เป็นแรงอ่อน ๆ ที่เกิดจากการกระจายของอิเล็กตรอนในอะตอมขณะใดขณะหนึ่งซึ่งอาจไม่	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเกี่ยวกับขนาดโมเลกุลและสภาพขั้วของโมเลกุล มี 3 ชนิด ได้แก่ 1. แรงแผ่กระจายลอนดอน เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว เป็นแรงอ่อน ๆ เกิดจากการกระจายของอิเล็กตรอนซึ่งอาจไม่เท่ากันทำให้เกิดสภาพขั้วชั่วคราว แล้วเหนี่ยวนำให้โมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	27.59	เท่ากันจึงทำให้เกิดสภาพขั้วชั่วขณะ แล้วเหนี่ยวนำให้โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันเกิดขั้วตรงข้ามและมีแรงดึงดูดชั่วขณะ 2./3) แรงแผ่กระจายลอนดอนเพิ่มขึ้นตามขนาดของโมเลกุล) 3./1) แรงระหว่างขั้ว เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีขั้ว 3./2) เกิดจากแรงกระทำระหว่างขั้วที่มีอำนาจไฟฟ้าค่อนข้างบวกกับขั้วที่มีอำนาจไฟฟ้าค่อนข้างลบของโมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน 3./3) แรงระหว่างขั้วเพิ่มขึ้นตามสภาพขั้วของโมเลกุลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน 4. พันธะไฮโดรเจน เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่เกิดจากอะตอมของไฮโดรเจนยึดเหนี่ยวกับอะตอมของธาตุที่มีขนาดเล็กและมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูง 5. เปรียบเทียบความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจากมากไปน้อย คือ พันธะไฮโดรเจน แรงระหว่างขั้ว และแรงแผ่กระจายลอนดอน ตามลำดับ	เกิดขั้วตรงข้ามและมีแรงดึงดูดชั่วคราว ขนาดของแรงเพิ่มขึ้นตามขนาดโมเลกุล 2. แรงระหว่างขั้วเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีขั้ว เกิดจากแรงที่กระทำระหว่างขั้วที่มีอำนาจไฟฟ้าบวกกับขั้วอำนาจไฟฟ้าลบของโมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน แรงจะเพิ่มขึ้นตามสภาพขั้ว 3.พันธะไฮโดรเจน เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่เกิดจากอะตอมของH ยึดเหนี่ยวกับอะตอมของธาตุที่มีขนาดเล็กและมีค่า EN สูงเปรียบเทียบความแข็งแรง คือ พันธะไฮโดรเจน > แรงระหว่างขั้ว > แรงแผ่กระจายลอนดอน

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU	0	58.62	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเกี่ยวกับขนาดโมเลกุลและสภาพขั้วของโมเลกุล มี 3 ชนิด ได้แก่ 1) แรงแผ่กระจายลอนดอน เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว 2) แรงระหว่างขั้ว เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีขั้ว 3) พันธะไฮโดรเจน เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่เกิดจากอะตอมของH ยึดเหนี่ยวกับอะตอมของธาตุที่มีค่า EN สูง 2. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเกี่ยวกับขนาดโมเลกุลและสภาพขั้วของโมเลกุล มี 3 ชนิด ได้แก่ 1) แรงแผ่กระจายลอนดอน เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว 2) แรงระหว่างขั้ว เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีขั้ว 3) พันธะไฮโดรเจน เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่เกิดจากอะตอมของH ยึดเหนี่ยวกับอะตอมของธาตุที่มีค่า EN สูง โดยพันธะไฮโดรเจนแข็งแรงที่สุด รองลงมา

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU	0	58.62	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	คือแรงระหว่างขั้ว และแรงแผ่กระจายลอนดอน 4. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล มี 3 ชนิด ได้แก่ 1) แรงแผ่กระจายลอนดอน เป็นแรงอ่อน ๆ เกิดในโมเลกุลไม่มีขั้ว 2) แรงระหว่างขั้ว เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีขั้ว แรงจะเพิ่มขึ้นตามสภาพขั้ว 3) พันธะไฮโดรเจน เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่เกิดจากอะตอมของ H ยึดเหนี่ยวกับอะตอมของธาตุที่มีค่า EN สูง
PU & MU	0	13.79	คำตอบของนักเรียนถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบและมีมโนมติคลาดเคลื่อน	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. แรงยึดเหนี่ยวเกี่ยวข้องกับขนาดและสภาพขั้วโมเลกุล มี 3 ชนิด คือ 1) แรงแผ่กระจายลอนดอน เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว เพิ่มขึ้นตามขนาดโมเลกุล 2) แรงระหว่างขั้ว เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีขั้ว เพิ่มตามสภาพขั้วโมเลกุล และ 3) พันธะไฮโดรเจน ยึดเหนี่ยวกันระหว่างอะตอมที่มีขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
MU	27.59	0	คำตอบนักเรียนเป็นมโนมติคลาดเคลื่อนทั้งหมด	**ก่อนเรียน** 1. เป็นการยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมที่เกิดจากแรงดึงดูดของแต่ละอะตอมโดยมีขั้วดึงดูดกันและขึ้นอยู่กับขนาด 2. ถ้ามีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากจะทำให้มีขนาดเพิ่มขึ้น 3. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลขึ้นอยู่กับขนาดของสาร **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
NU	72.41	0	คำตอบนักเรียนตอบไม่ตรงคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม	**ก่อนเรียน** 1. ผลักกันและดึงดูดกัน **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

10) มโนมติ เรื่อง การเกิดพันธะโลหะ

มโนมติที่สมบูรณ์คือ พันธะโลหะเกิดจากอะตอมของธาตุโลหะมีค่าพลังงานไอออไนเซชันต่ำ การยึดเหนี่ยวระหว่างเวเลนซ์อิเล็กตรอนกับโปรตอนในนิวเคลียสจึงน้อย ทำให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระไปทั่วทั้งชิ้นโลหะและเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับโปรตอนทุกทิศทาง ซึ่งเรียกแรงยึดเหนี่ยวนี้ว่า พันธะโลหะ

ตัวอย่างคำตอบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง การเกิดพันธะโลหะ แสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเกิดพันธะโลหะ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
SU	0	27.59	คำตอบนักเรียนถูกต้องและสมบูรณ์ ครบทุกองค์ประกอบ คือ พันธะโลหะเกิดจาก 1. อะตอมของธาตุโลหะมีค่าพลังงานไอออไนเซชันต่ำ การยึดเหนี่ยวระหว่างเวเลนซ์อิเล็กตรอนกับโปรตอนในนิวเคลียสจึงน้อย 2. เวเลนซ์อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระไปทั่วทั้งชิ้นโลหะ 3.เวเลนซ์อิเล็กตรอนเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับโปรตอนทุกทิศทาง	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. พันธะโลหะเกิดจากอะตอมของธาตุโลหะมีค่าIE ต่ำ เวเลนซ์อิเล็กตรอนกับโปรตอนในนิวเคลียสจึงยึดเหนี่ยวกันน้อย ทำให้ เวเลนซ์อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระไปทั่วทั้งชิ้นโลหะ และเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับโปรตอนแต่ละอะตอมของธาตุโลหะทุกทิศทาง
PU	3.45	65.52	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	**ก่อนเรียน** 1. พันธะโลหะเกิดจากการรวมตัวของธาตุที่เป็นโลหะ มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม **หลังเรียน** 1. พันธะโลหะเกิดจากอะตอมของธาตุโลหะมีค่าIE ต่ำ เวเลนซ์-อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมโลหะได้ง่าย ทำให้เวเลนซ์-อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระไปทั่วทั้งชิ้นโลหะ

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
PU	3.45	65.52	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	2. เป็นแรงยึดเหนี่ยวที่ทำให้อะตอมของโลหะอยู่รวมกันเป็นแผ่นโลหะ โดยเวเลนซ์อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมเคลื่อนที่อย่างอิสระทั่วทั้งชิ้นโลหะ 3. อะตอมของโลหะมีค่า IE ต่ำ การยึดเหนี่ยวระหว่างเวเลนซ์อิเล็กตรอนจึงน้อย ทำให้สามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระไปทั่วทั้งก้อนโลหะ ทำให้โลหะอยู่เป็นแผ่นได้
PU & MU	0	6.90	คำตอบของนักเรียนถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบและมีมโนมติคลาดเคลื่อน	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 1. พันธะโลหะคือการที่โลหะให้อิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนหลุดไปอยู่บนโลหะ ถ้าประจุลบของอิเล็กตรอนเข้าใกล้ประจุบวกจะดึงดูดกัน ทำให้เกิดพันธะที่เรียกว่าพันธะโลหะ 2. พันธะโลหะเกิดจากธาตุอโลหะมีค่า EN ต่ำ ทำให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปทั่วชิ้นโลหะเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับโปรตอนทุกทิศทาง

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

กลุ่มมโนมติ	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
MU	44.83	0	คำตอบนักเรียนเป็นมโนมติที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด	**ก่อนเรียน** 1. พันธะโลหะเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างธาตุอโลหะกับธาตุโลหะ 2. การเกิดพันธะโลหะ เกิดจากการทดลองหรือการเกิดปฏิกิริยาของสารทำให้เกิดโลหะใหม่ขึ้นมา 3. พันธะโลหะเกิดจากโลหะตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปทำปฏิกิริยากัน **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
NU	51.72	0	คำตอบนักเรียนตอบไม่ตรงคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม	**ก่อนเรียน** 1. นักเรียนไม่ตอบคำถาม **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

ตอนที่ 4 ผลการเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

ผลการเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ โดยการหาค่าความถี่และร้อยละแสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

มโนมติ	ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
		ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ
กฎออกเตต	1	0	0	0	0
	2	14	48.28	0	0
	3	0	0	5	17.24
	4	0	0	10	34.48
	5	0	0	14	48.28
	ไม่นำเสนอ	15	51.72	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
การเกิดพันธะไอออนิก	1	0	0	0	0
	2	12	41.38	0	0
	3	2	6.90	7	24.14
	4	0	0	9	31.03
	5	0	0	13	44.83
	ไม่นำเสนอ	15	51.72	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

มโนมติ	ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
		ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ
โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก	1	0	0	0	0
	2	8	27.59	2	6.90
	3	3	10.34	0	0
	4	0	0	5	17.24
	5	0	0	22	75.86
	ไม่นำเสนอ	18	62.07	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก	1	0	0	0	0
	2	12	41.38	3	10.34
	3	0	0	7	24.14
	4	0	0	6	20.69
	5	0	0	13	44.83
	ไม่นำเสนอ	17	58.62	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
การเกิดพันธะโคเวเลนต์	1	0	0	0	0
	2	10	34.48	0	0
	3	1	3.45	7	24.17
	4	0	0	11	37.93
	5	0	0	11	37.93
	ไม่นำเสนอ	18	62.07	0	0
	รวม	29	100.00	29	100

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

มโนมติ	ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
		ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ
ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์	1	0	0	0	0
	2	10	38.48	4	13.79
	3	1	3.45	7	24.14
	4	0	0	14	48.28
	5	0	0	4	13.79
	ไม่นำเสนอ	18	62.07	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์	1	0	0	0	0
	2	13	44.83	3	10.34
	3	3	10.34	6	20.69
	4	0	0	8	27.59
	5	0	0	12	41.38
	ไม่นำเสนอ	13	44.83	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์	1	1	3.45	0	0
	2	7	24.14	0	0
	3	3	10.34	4	13.79
	4	0	0	8	27.59
	5	0	0	17	58.62
	ไม่นำเสนอ	18	62.07	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00

ตารางที่ 4.14 (ต่อ)

มโนมติ	ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
		ความถี่	ร้อยละ	ความถี่	ร้อยละ
แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์	1	0	0	0	0
	2	10	34.48	0	0
	3	3	10.34	8	27.54
	4	0	0	11	37.93
	5	0	0	10	34.48
	ไม่นำเสนอ	16	55.17	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00
พันธะโลหะ	1	0	0	0	0
	2	7	24.14	0	0
	3	0	0	7	24.14
	4	0	0	11	37.93
	5	0	0	11	37.93
	ไม่นำเสนอ	22	75.86	0	0
	รวม	29	100.00	29	100.00

จากตารางที่ 4.14 พบว่า ผลการเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ทั้งหมด 10 มโนมติ เป็นดังนี้

1) มโนมติ เรื่อง กฎออกเตต ก่อนเรียนไม่มีการเสนอตัวแทนความคิด ร้อยละ 51.72 และเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 2 ร้อยละ 48.28 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 5 ร้อยละ 48.28 ระดับที่ 4 ร้อยละ 34.48 และระดับที่ 3 ร้อยละ 17.24 ตามลำดับ

2) มโนมติ เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก ก่อนเรียนนักเรียนไม่มีการเสนอตัวแทนความคิด ร้อยละ 51.72 เสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 2 ร้อยละ 41.38 และระดับที่ 3 ร้อยละ 6.90 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 5 ร้อยละ 44.83 ระดับที่ 4 ร้อยละ 31.03 ระดับที่ 3 ร้อยละ 24.14 ตามลำดับ

3) มโนมติ เรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก ก่อนเรียนนักเรียนไม่มีการเสนอตัวแทนความคิด ร้อยละ 62.07 เสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 2 ร้อยละ 27.59 และระดับที่ 3 ร้อยละ 10.34 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 5 ร้อยละ 75.86 ระดับที่ 4 ร้อยละ 17.24 และระดับที่ 2 ร้อยละ 6.90 ตามลำดับ

4) มโนมติ เรื่อง การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก ก่อนเรียนนักเรียนไม่มีการเสนอตัวแทนความคิด ร้อยละ 58.62 และเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 2 ร้อยละ 41.38 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 5 ร้อยละ 44.83 ระดับที่ 4 ร้อยละ 20.69 ระดับที่ 3 ร้อยละ 24.14 และระดับที่ 2 ร้อยละ 10.34 ตามลำดับ

5) มโนมติ เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ก่อนเรียนนักเรียนไม่มีการเสนอตัวแทนความคิด ร้อยละ 62.07 เสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 2 ร้อยละ 34.48 และระดับที่ 3 ร้อยละ 3.45 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 5 ระดับที่ 4 ร้อยละ 37.93 และระดับที่ 3 ร้อยละ 24.17 ตามลำดับ

6) มโนมติ เรื่อง ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ ก่อนเรียนนักเรียนไม่มีการเสนอตัวแทนความคิด ร้อยละ 62.07 เสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 2 ร้อยละ 38.48 และระดับที่ 3 ร้อยละ 3.45 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 4 ร้อยละ 48.28 ระดับที่ 3 ร้อยละ 24.14 ระดับที่ 5 ร้อยละ 13.79 และระดับที่ 2 ร้อยละ 13.79 ตามลำดับ

7) มโนมติ เรื่อง รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ ก่อนเรียนนักเรียนไม่มีการเสนอตัวแทนความคิด และเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 2 ร้อยละ 44.82 และระดับที่ 3 ร้อยละ 10.34 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 5 ร้อยละ 41.38 ระดับที่ 4 ร้อยละ 27.59 ระดับที่ 3 ร้อยละ 17.24 และระดับที่ 2 ร้อยละ 13.79 ตามลำดับ

8) มโนมติ เรื่อง สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ ก่อนเรียนนักเรียนไม่มีการเสนอตัวแทนความคิด ร้อยละ 62.07 เสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 2 ร้อยละ 24.14 ระดับที่ 3 ร้อยละ 10.34 และระดับที่ 1 ร้อยละ 3.45 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 5 ร้อยละ 58.62 ระดับที่ 4 ร้อยละ 27.59 และระดับที่ 3 ร้อยละ 13.79 ตามลำดับ

9) มโนมติ เรื่อง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ ก่อนเรียนนักเรียนไม่มีการเสนอตัวแทนความคิด ร้อยละ 55.17 เสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 2 ร้อยละ 34.48 และระดับที่ 3 ร้อยละ 10.34 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 4 ร้อยละ 37.93 ระดับที่ 5 ร้อยละ 34.48 และระดับที่ 3 ร้อยละ 27.59 ตามลำดับ

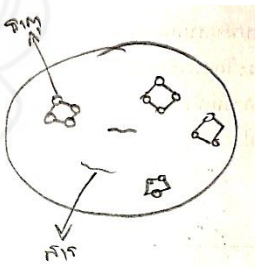
10) มโนมติ เรื่อง การเกิดพันธะโลหะ ก่อนเรียนนักเรียนไม่มีการเสนอตัวแทนความคิด ร้อยละ 75.86 และเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 2 ร้อยละ 24.14 ตามลำดับ หลังเรียนนักเรียนเสนอตัวแทนความคิด ระดับที่ 5 ระดับที่ 4 ร้อยละ 37.93 และระดับที่ 3 ร้อยละ 24.14 ตามลำดับ

เมื่อนำคำตอบของนักเรียนมาวิเคราะห์การเสนอตัวแทนความคิด แล้วจัดกลุ่มคำตอบตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แสดงตัวอย่างคำตอบของนักเรียน ทั้งหมด 10 มโนมติ ตามลำดับดังนี้

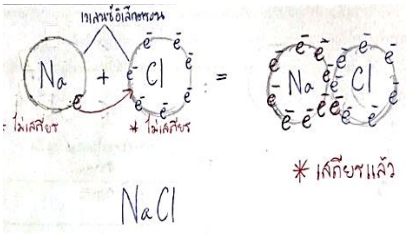
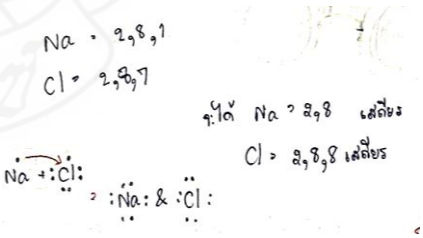
1) มโนมติ เรื่อง กฎออกเตต

ตัวอย่างคำตอบในการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่อง กฎออกเตต แสดงดังตารางที่ 4.15

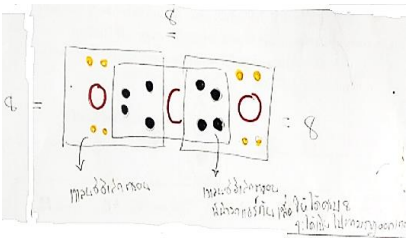
ตารางที่ 4.15 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง กฎออกเตต ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับที่ 1	0	0	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 2	48.28	0	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาคที่เห็นเพียงภายนอกเท่านั้น อธิบายโดยไม่คำนึงถึงความหมายของคำและเรียบเรียงให้เป็นประโยค	**ก่อนเรียน** 
			หลังเรียน ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	**หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 3	0	17.24	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงระดับมหภาค และระดับจุลภาค และเน้นคำที่ใช้มากกว่าการให้ความหมายของตัวแทนความคิดนั้นโดยนักเรียนยกตัวอย่างการรวมตัวของ Na กับ Cl ซึ่งการนำเสนอไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 
ระดับที่ 4	0	34.48	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับจุลภาค โดยนักเรียนยกตัวอย่างการรวมตัวกันของอะตอม Na กับ Cl โดย Na ให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนแก่ Cl ทำให้ทั้ง Na และ Cl มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต โดยเข้าใจความหมายนั้นอย่างแท้จริง และสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

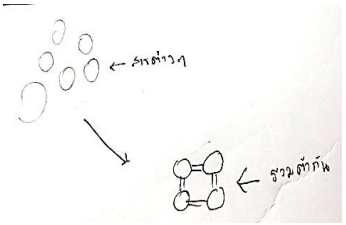
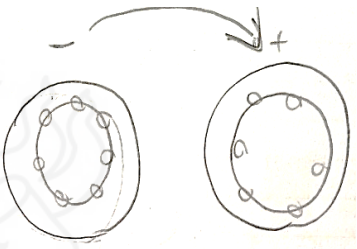
ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 5	0	48.28	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเลือกใช้ตัวแทนความคิดที่ดีที่สุดในการอธิบาย ได้ยกตัวอย่างแก๊ส CO_2 ซึ่งเป็นการรวมตัวกันของ C กับ O ที่เกิดจากการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันทำให้ทั้ง C และ O มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

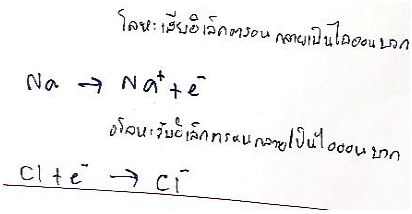
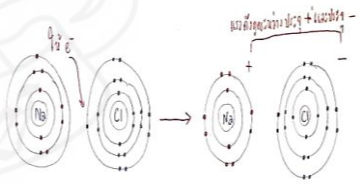
2) มโนมติ เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก

ตัวอย่างคำตอบในการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก แสดงดังตารางที่ 4.16

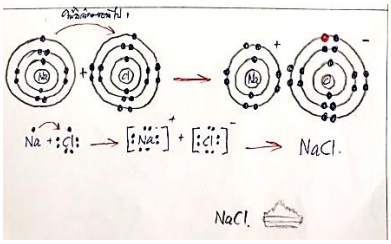
ตารางที่ 4.16 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับที่ 1	0	0	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 2	41.38	0	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาค ที่เห็นเพียงภายนอกของการเกิดพันธะไอออนิกที่เกิดจากการรวมตัวกันของสารต่าง ๆ โดยอธิบายและไม่คำนึงถึงความหมายของคำ **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	**ก่อนเรียน**  **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 3	6.90	24.14	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงระดับมหภาค และระดับจุลภาค ซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนยกตัวอย่างการเกิดพันธะไอออนิกที่เกิดจากการให้อิเล็กตรอนของอะตอมหนึ่งที่เกิดเป็นไอออนลบและอีกอะตอมที่รับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนบวก	**ก่อนเรียน** 

ตารางที่ 4.16 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 3	6.90	24.14	**หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงระดับมหภาคและระดับจุลภาค โดยเน้นคำที่ใช้มากกว่าการให้ความหมาย นักเรียนยกตัวอย่างธาตุโลหะ คือ Na ให้อิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนบวกและธาตุ Cl รับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนลบแต่ไม่ทราบว่าเกิดเกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะไอออนิกอย่างไร	**หลังเรียน** 
ระดับที่ 4	0	31.03	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับจุลภาค โดยนักเรียนยกตัวอย่างอะตอมของ Na ให้เวเลนซ์อิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนบวกและ Cl รับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนลบ ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้า แสดงถึงการเข้าใจความหมายนั้นอย่างแท้จริง และสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

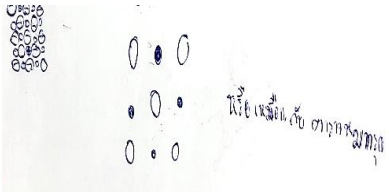
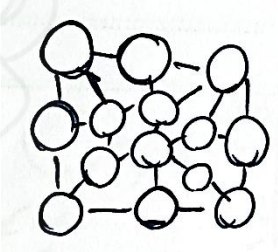
ตารางที่ 4.16 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 5	0	44.83	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงทั้ง 3 ระดับ ซึ่งนักเรียนยกตัวอย่างการเกิดพันธะไอออนิกของสารประกอบ NaCl ได้สอดคล้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

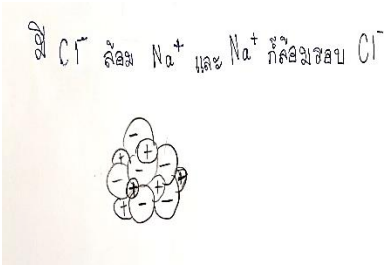
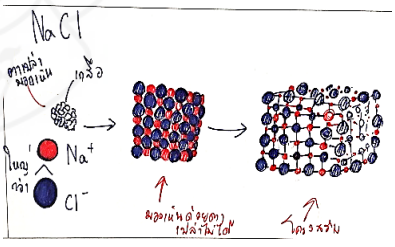
3) มโนมติ เรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก

ตัวอย่างคำตอบในการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก ก่อนเรียน และหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับที่ 1	0	0	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 2	27.59	6.90	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาค โดยแสดงโครงสร้างของสารประกอบไอออนิกที่เห็นเพียงแค่ภายนอก **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาค โดยแสดงโครงสร้างของสารประกอบไอออนิกที่เห็นเพียงแค่ภายนอกโดยเปรียบเทียบได้เหมือนกับตารางหมากรุก	**ก่อนเรียน** **หลังเรียน** 
ระดับที่ 3	10.34	0	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาค และระดับจุลภาค โดยนำเสนอตัวอย่างการยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนบวกและไอออนลบอยู่ชิดติดกันโดยไม่สลับกัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	**ก่อนเรียน**  **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้

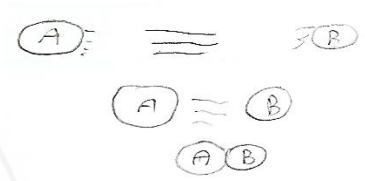
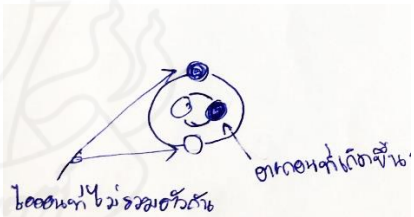
ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 4	0	17.24	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับจุลภาค โดยยกตัวอย่างโครงสร้างของ NaCl ว่าเกิดจากการที่ Na^+ และ Cl^- อยู่ชิดติดกัน สลับกันไปมาโดยล้อมรอบซึ่งกันและกันด้วยอัตราส่วน 1:1 แสดงถึงการเข้าใจความหมายนั้นอย่างแท้จริงซึ่งสอดคล้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 
ระดับที่ 5	0	75.86	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับ โดยนักเรียนยกตัวอย่างสารประกอบ NaCl ได้สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

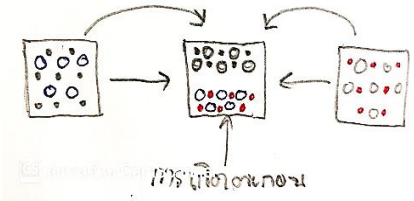
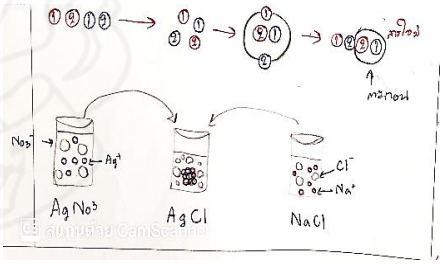
4) มโนมติ เรื่อง การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก

ตัวอย่างคำตอบในการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่อง การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก แสดงดังตารางที่ 4.18

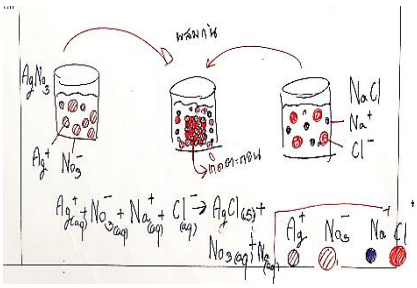
ตารางที่ 4.18 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับที่ 1	0	0	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 2	41.31	10.34	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาค โดยใช้สัญลักษณ์อธิบายให้เห็นเพียงแค่ภายนอก **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาค แสดงให้เห็นภาพของตะกอนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก โดยเน้นคำที่ใช้มากกว่าการให้ความหมาย	**ก่อนเรียน**  **หลังเรียน** 

ตารางที่ 4.18 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 3	0	24.14	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงระดับมหภาค และระดับจุลภาค ซึ่งนักเรียนนำเสนอตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายสารประกอบไอออนิกที่ทำให้เกิดตะกอน	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 
ระดับที่ 4	0	20.69	เสนอตัวแทนความคิดระดับจุลภาค โดยนำเสนอตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายของสารประกอบไอออนิก โดยระบุสารละลายและตะกอนที่เกิดขึ้น แสดงถึงการเข้าใจความหมายนั้นอย่างแท้จริง และสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

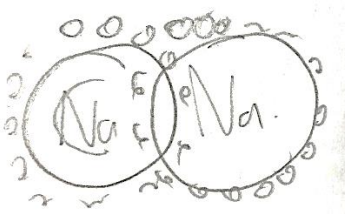
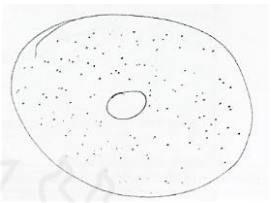
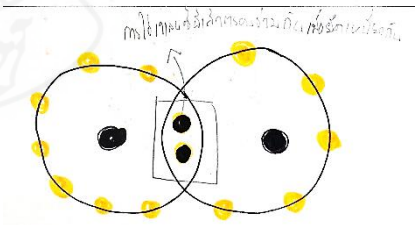
ตารางที่ 4.18 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 5	0	44.83	เสนอตัวแทนความคิดโดยนักเรียนยกตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายของสารประกอบไอออนิก โดยระบุสารละลายและตะกอนที่เกิดขึ้นและเขียนสมการอธิบายการเกิดปฏิกิริยาได้สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

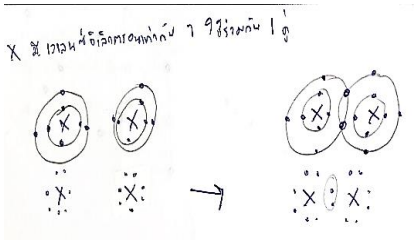
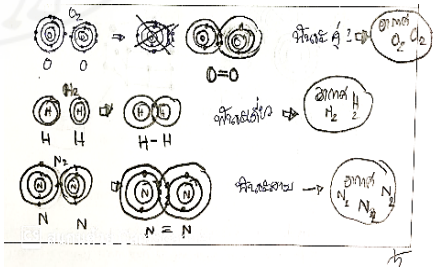
5) มโนมติ เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์

ตัวอย่างคำตอบในการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ แสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ก่อนเรียนและหลังเรียน ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับที่ 1	0	0	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 2	37.93	0	**ก่อนเรียน** เสนอระดับมหภาค โดยมีการใช้สัญลักษณ์เพื่อแสดงการเกิดพันธะโคเวเลนต์ว่าเกิดจากธาตุมาอยู่รวมกัน **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	**ก่อนเรียน**  **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 3	3.45	24.17	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงระดับมหภาคและระดับจุลภาค แต่ยังไม่เข้าใจความหมายของตัวแทนความคิดที่นำเสนอ **หลังเรียน** เสนอตัวอย่างการเกิดพันธะโคเวเลนต์ โดยใช้แผนภาพโบร์แสดงการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน**  **หลังเรียน** 

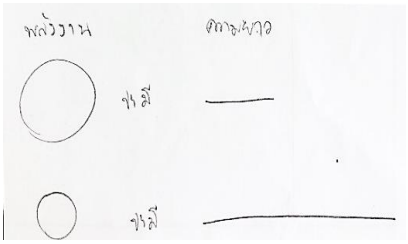
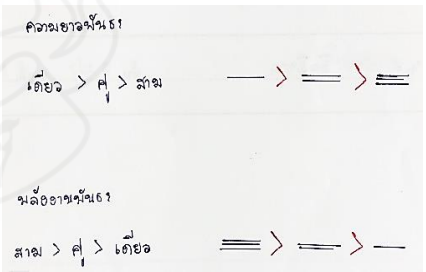
ตารางที่ 4.19 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 4	0	37.93	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับจุลภาค โดยนำเสนอตัวอย่างการรวมตัวกันของธาตุอโลหะหมู่ 7 ที่ขาดเวเลนซ์อิเล็กตรอน 1 ตัว ดังนั้นต้องใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ แสดงถึงการเข้าใจความหมายนั้นอย่างแท้จริง และสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 
ระดับที่ 5	0	37.93	เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับ โดยนำเสนอตัวอย่างการเกิดพันธะโคเวเลนต์ชนิดต่าง ๆ ได้สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

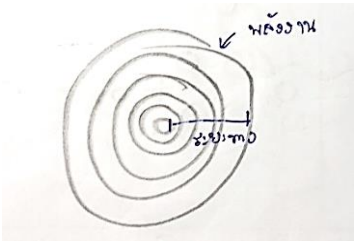
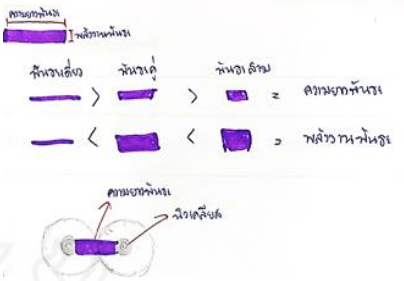
6) มโนมติ เรื่อง ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์

ตัวอย่างคำตอบในการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่อง ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ แสดงดังตารางที่ 4.20

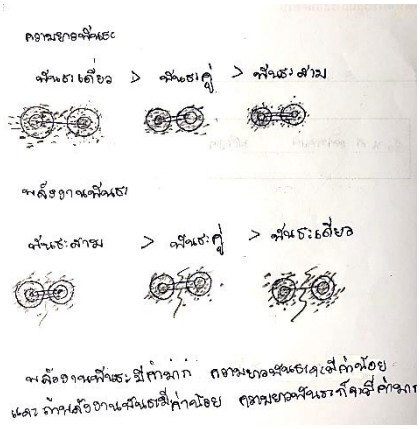
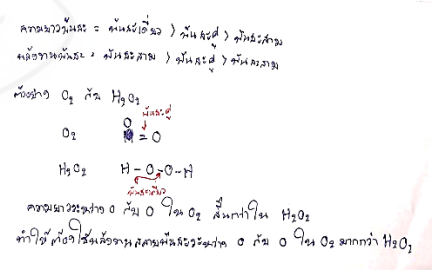
ตารางที่ 4.20 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับที่ 1	0	0	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 2	34.48	13.79	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาคโดยมีการใช้สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานพันธะกับความยาวพันธะให้เห็นเพียงแค่ภายนอก	**ก่อนเรียน** 
			หลังเรียน เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาคโดยมีการใช้สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานพันธะกับความยาวพันธะ	**หลังเรียน** 

ตารางที่ 4.20 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 3	3.45	24.14	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงในระดับมหภาค และระดับจุลภาค โดยนักเรียนแสดงให้เห็นความยาวพันธะและพลังงานพันธะแต่ยังไม่เข้าใจความหมายของตัวแทนความคิดนั้น	**ก่อนเรียน** 
			หลังเรียน เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงระดับมหภาค และระดับจุลภาค โดยนักเรียนนำเสนอความยาวพันธะและเปรียบเทียบความยาวและพลังงานพันธะ โดยใช้สัญลักษณ์ซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**หลังเรียน** 

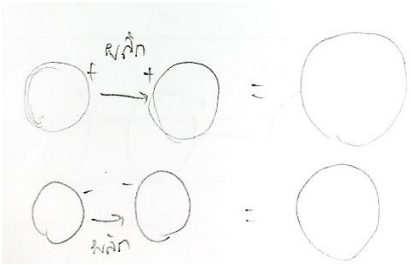
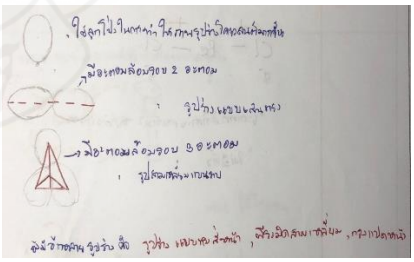
ตารางที่ 4.20 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 4	0	48.28	เสนอตัวแทนความคิดระดับจุลภาค โดยนักเรียนได้แสดงการเปรียบเทียบความยาวพันธะและพลังงานพันธะโดยสร้างประโยคและความหมายของคำที่แสดงถึงการเข้าใจความหมายนั้นอย่างแท้จริง และสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 
ระดับที่ 5	0	13.79	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดที่ดีที่สุดโดยนักเรียนได้แสดงตัวอย่างในการเปรียบเทียบความยาวพันธะและพลังงานพันธะระหว่างอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันในสารต่างชนิดกัน ได้สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

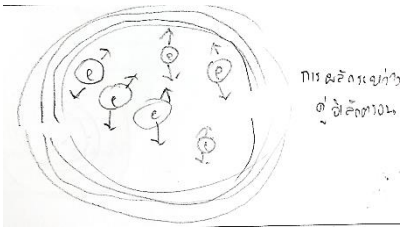
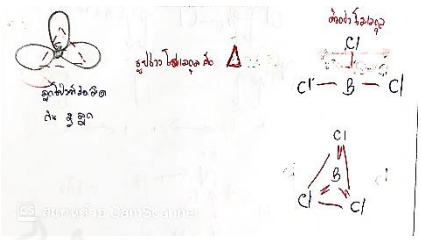
7) มโนมติ เรื่อง รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์

ตัวอย่างคำตอบในการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่อง รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ แสดงดังตารางที่ 4.21

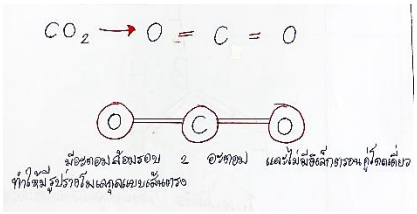
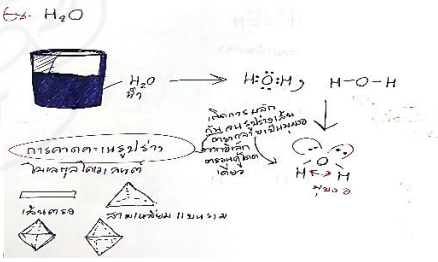
ตารางที่ 4.21 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับที่ 1	0	0	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 2	44.83	10.34	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาคให้เห็นเพียงแค่ภายนอก โดยมีการใช้สัญลักษณ์แสดงรูปร่างของโมเลกุลที่เกิดจากการผลักระหว่างโปรตอนและอิเล็กตรอน แต่ยังไม่เข้าใจความหมายของตัวแทนความคิดนั้น **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาคให้เห็นเพียงแค่ภายนอกโดยใช้แบบจำลองรูปร่างโมเลกุลจากการผูกติดกันของลูกโป่ง ซึ่งเห็นเพียงแค่ภายนอก	**ก่อนเรียน**  **หลังเรียน** 

ตารางที่ 4.21 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 3	10.34	20.69	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงในระดับมหภาค และระดับจุลภาค แสดงรูปร่างโมเลกุลที่เกิดขึ้นเกิดจากการผลักกันของอิเล็กตรอนภายในอะตอมของโมเลกุลนั้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** 
			หลังเรียน เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงระดับมหภาค และระดับจุลภาค โดยเชื่อมโยงลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้จากการผลักติดกันของลูกโป่ง และยกตัวอย่างโมเลกุล โดยเน้นการใช้คำมากกว่าการให้ความหมายของตัวแทนความคิดนั้น	**หลังเรียน** 

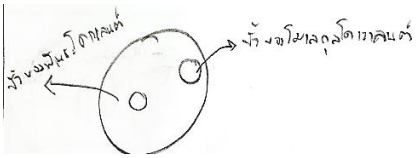
ตารางที่ 4.21 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 4	0	27.59	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับจุลภาค โดยนักเรียนยกตัวอย่างโมเลกุล และเชื่อมโยงกับการใช้แบบจำลองการผูกติดกันของลูกโป่ง ทำให้คาดคะเนรูปร่างโมเลกุลได้ถูกต้อง แสดงถึงความเข้าใจความหมายนั้นอย่างแท้จริง	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 
ระดับที่ 5	0	41.38	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดที่ดีที่สุดโดยนักเรียนได้แสดงตัวอย่างสารที่พบในชีวิตประจำวันและเชื่อมโยงตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับ และทำนายรูปร่างโมเลกุลได้อย่างเข้าใจและถูกต้อง สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

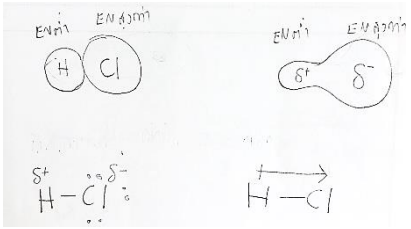
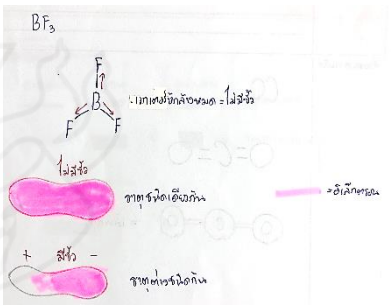
8) มโนมติ เรื่อง สภาพขั้วโมเลกุลโคเวเลนต์

ตัวอย่างคำตอบในการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่อง สภาพขั้วโมเลกุลโคเวเลนต์ แสดงดังตารางที่ 4.22

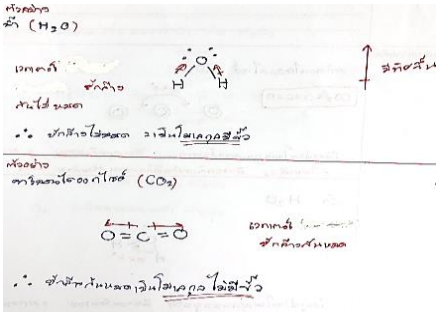
ตารางที่ 4.22 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง สภาพขั้วโมเลกุลโคเวเลนต์ ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับที่ 1	3.45	0	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 2	24.14	13.79	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาคให้เห็นเพียงภายนอก โดยมีการใช้สัญลักษณ์แสดงรูปร่างของขั้วพันธะและขั้วโมเลกุล แต่ยังไม่เข้าใจความหมายของตัวแทนความคิดนั้น **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	**ก่อนเรียน**  **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 3	10.34	13.79	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงในระดับมหภาค และระดับจุลภาค แสดงขั้วโมเลกุลแต่ไม่เข้าใจความหมายของตัวแทนความคิดนั้น และไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน**

ตารางที่ 4.22 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 3	10.34	13.79	**หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงระดับมหภาค และระดับจุลภาค เน้นคำที่ใช้มากกว่าการให้ความหมาย ของตัวแทนความคิดนั้น ซึ่งนักเรียนยกตัวอย่างได้เพียงการแสดงขั้วพันธะ แต่ยังไม่สามารถอธิบายการเกิดขั้วโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ได้	**หลังเรียน** 
ระดับที่ 4	0	27.59	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับจุลภาค โดยนักเรียนยกตัวอย่างโมเลกุลของสารได้ถูกต้องและสอดคล้องตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ แสดงถึงเข้าใจความหมายตัวแทนความคิดนั้นอย่างแท้จริง	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

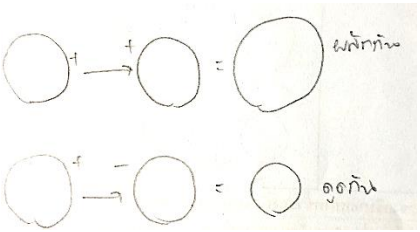
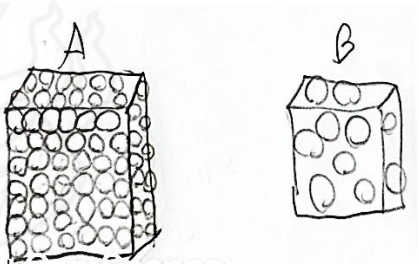
ตารางที่ 4.22 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 5	0	58.62	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดที่ดีที่สุดโดยนักเรียนได้แสดงตัวอย่างสารที่พบในชีวิตประจำวัน เพื่ออธิบายสภาพขั้วพันธะและสภาพขั้วของโมเลกุลทั้ง 2 ชนิด ได้อย่างเข้าใจและ สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

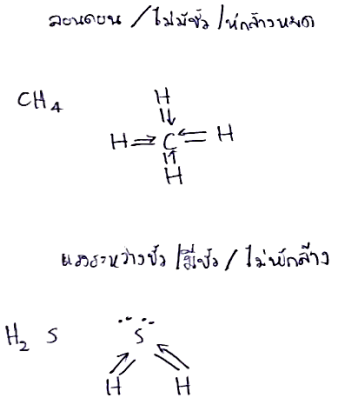
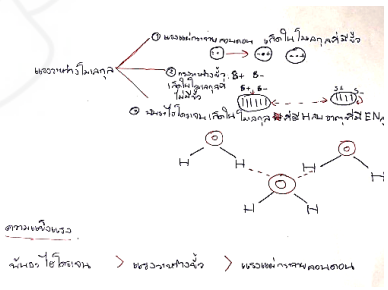
9) มโนมติ เรื่อง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์

ตัวอย่างคำตอบในการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่อง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสาร โคเวเลนต์ แสดงดังตารางที่ 4.23

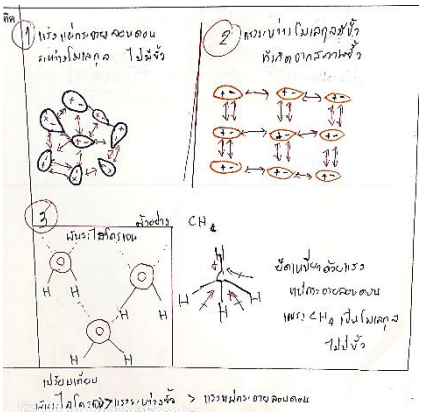
ตารางที่ 4.23 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับที่ 1	0	0	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 2	34.48	0	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาค โดยมีการใช้สัญลักษณ์แสดงแรงยึดเหนี่ยว แต่ยังไม่เข้าใจความหมายของตัวแทนความคิดนั้น **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	**ก่อนเรียน**  **หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 3	10.34	27.59	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงในระดับมหภาค และระดับจุลภาค ที่แสดงถึงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของสารในสถานะของแข็งและของเหลว ซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ในเรื่องแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์	**ก่อนเรียน** 

ตารางที่ 4.23 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 3	10.34	27.59	**หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงระดับมหภาค และระดับจุลภาค เน้นคำที่ใช้มากกว่าการให้ความหมายของตัวแทนความคิดนั้นโดยนักเรียนยกตัวอย่างแล้วพิจารณาสภาพขั้วของโมเลกุลก่อนที่จะระบุชนิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์กับการวิเคราะห์สภาพขั้วเนื่องจากเขียนโครงสร้างลิวอิสในการแสดงรูปร่างโมเลกุลของ CH_4 ไม่ถูกต้อง	**หลังเรียน** 
ระดับที่ 4	0	37.93	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยระบุชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งเป็นตัวแทนความคิดในระดับจุลภาคและให้ความหมายของคำอธิบายตัวแทนความคิดนั้นได้ถูกต้องและสอดคล้องตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ แสดงถึงการเข้าใจความหมายตัวแทนความคิดนั้นอย่างแท้จริง	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

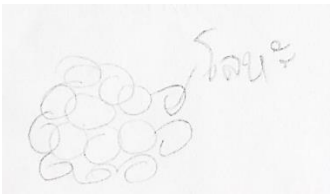
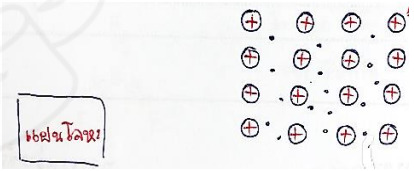
ตารางที่ 4.23 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 5	0	31.03	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดที่ดีที่สุด โดยนักเรียนได้แสดงตัวแทนความคิดของชนิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้สมบูรณ์และถูกต้อง พร้อมยกตัวอย่างสารแล้ววิเคราะห์ว่าโมเลกุลของสารนั้นยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลชนิดใดได้สอดคล้องกับแนวคิดทาง วิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

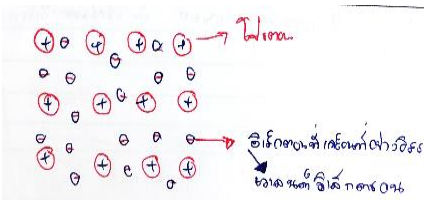
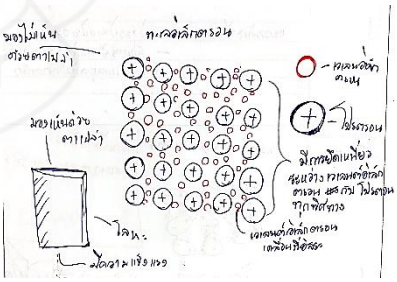
10) มโนมติ เรื่อง การเกิดพันธะโลหะ

ตัวอย่างคำตอบในการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่อง การเกิดพันธะโลหะ แสดงดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโลหะ ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
	ก่อนเรียน	หลังเรียน		
ระดับที่ 1	0	0	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 2	24.14	0	**ก่อนเรียน** เสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาค แสดงการเกิดพันธะโลหะให้เห็นแค่เพียงภายนอก แต่ยังไม่เข้าใจความหมายของตัวแทนความคิดนั้น	**ก่อนเรียน** 
			หลังเรียน ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	**หลังเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
ระดับที่ 3	0	24.14	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้
			หลังเรียน เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงระดับมหภาค และระดับจุลภาค โดยนักเรียนคิดว่าประจุบวกที่เกิดขึ้นนั้นมาจากโลหะให้อิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา ซึ่งแสดงถึงความไม่เข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง	**หลังเรียน** 

ตารางที่ 4.24 (ต่อ)

ระดับการเสนอตัวแทนความคิด	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ก่อนเรียน	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) หลังเรียน	พฤติกรรมที่แสดงออก	ตัวอย่างคำตอบนักเรียน
ระดับที่ 4	0	37.93	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** นำเสนอตัวแทนความคิดโดยระบุชนิดของอนุภาคที่เกิดขึ้นภายในแผ่นโลหะและให้ความหมายของคำอธิบายตัวแทนความคิดนั้นได้ถูกต้องและสอดคล้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แสดงถึงเข้าใจความหมายตัวแทนความคิดนั้นอย่างแท้จริง	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 
ระดับที่ 5	0	37.93	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** เสนอตัวแทนความคิดโดยเชื่อมโยงตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับ ในการเกิดพันธะโลหะได้ถูกต้องและสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	**ก่อนเรียน** ไม่มีนักเรียนที่ได้คะแนนระดับนี้ **หลังเรียน** 

บทที่ 5
สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง ผลการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง พันธะเคมี ที่มีต่อความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนลองวิทยา จังหวัดแพร่ ผู้วิจัยได้นำเสนอสรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ตามลำดับดังนี้

1. สรุปการวิจัย

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

1.1.1 เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

1.1.2 เพื่อเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

1.1.3 เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

1.1.4 เพื่อเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

1.2 สมมติฐานการวิจัย

1.2.1 ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

1.2.2 การเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

1.2.3 ความความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์มากกว่าก่อนเรียน

1.2.4 การเสนอตัวแทนความคิดเรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบสามารถเสนอตัวแทนความคิดได้ในระดับที่สูงขึ้น

1.3 วิธีดำเนินการวิจัย

1.3.1 แบบการวิจัย

รูปแบบการวิจัยในครั้งนี้เป็นแบบการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-experimental Design) แบบแผนวัดก่อนและหลังการทดลอง มีกลุ่มเปรียบเทียบ (Pretest-Posttest Design with Nonequivalent Group)

1.3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 86 คน จัดเป็น 3 ห้องเรียน

กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 2 ห้องเรียน จำนวน 53 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม แล้วทำการสุ่มอย่างง่ายโดยจับฉลากให้ห้องหนึ่งเป็นกลุ่มทดลอง จำนวน 29 คน อีกห้องหนึ่งเป็นกลุ่มควบคุม จำนวน 24 คน

1.3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

1) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

(1) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องพันธะเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเพื่อพัฒนามโนมติทางวิทยาศาสตร์และการแสดงออกของตัวแทนความคิด มีทั้งหมด 10 แผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 21 ชั่วโมง สำหรับกลุ่มทดลอง

(2) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องพันธะเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบปกติ มีทั้งหมด 10 แผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 21 ชั่วโมง สำหรับกลุ่มควบคุม

2) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

1.3.4 การเก็บรวมรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้จัดการเรียนรู้และเก็บข้อมูลในภาคเรียนที่ 1 ปี การศึกษา 2563 โดยได้ดำเนินการทดลองกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา และได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนดังนี้

1) ขั้นเตรียมนักเรียนและการเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง

ผู้วิจัยวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างก่อนเรียน ได้แก่ กลุ่มทดลอง จำนวน 29 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 24 คนโดยใช้แบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิดวิชาเคมี เรื่องพันธะเคมี พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิดก่อนเรียนไม่แตกต่างจากนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

2) ขั้นดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยได้จัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ โรงเรียนลองวิทยา โดยนักเรียนกลุ่มทดลองจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ โดยใช้รูปแบบของ Focus–Action–Reflection (FAR) Guide Teaching หรือ FAR Guide (Treagust et al., 1998) ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น และนักเรียนกลุ่มควบคุมจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

3) ขั้นการเก็บข้อมูลหลังการทดลอง

การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

(1) หลังการจัดการเรียนรู้ครบตามเนื้อหา ได้ดำเนินการการทดสอบหลังเรียนกับนักเรียนกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุมโดยใช้แบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด วิชาเคมี เรื่องพันธะเคมี ซึ่งเป็นฉบับเดียวกับก่อนเรียน

(2) สัมภาษณ์นักเรียน ในกรณีที่ไม่เข้าใจการอธิบายคำตอบของนักเรียน ผู้วิจัยดำเนินการสัมภาษณ์เป็นรายกรณี

1.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลและนำข้อมูลที่ได้จากการวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด โดยใช้สถิติวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1) สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

2) สถิติที่ใช้ในการคุณภาพเครื่องมือวิจัย ได้แก่

(1) หาความตรงเชิงเนื้อหาโดยใช้เกณฑ์ดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence: IOC)

(2) การหาค่าความยากและค่าอำนาจจำแนก

(3) การหาค่าความเที่ยง โดยใช้วิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

3) สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานการวิจัย

(1) วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อเปรียบเทียบคะแนนค่าเฉลี่ยความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด ก่อนเรียนและหลังเรียนระหว่างกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบและกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

(2) ค่าร้อยละ (Percentage) เพื่อเปรียบเทียบความเข้าใจในมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด ก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

1.4 ผลการวิจัย

ผู้วิจัยสรุปผลการวิจัย ตามลำดับดังนี้

1.4.1 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีความเข้าใจในมโนมติทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

1.4.2 ผลการเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีการเสนอตัวแทนความคิดหลังเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

1.4.3 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ส่วนใหญ่ไม่มีนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นทุกมโนมติ

1.4.4 ผลการเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิดเรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การเสนอตัวแทนความคิดก่อนเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบส่วนใหญ่ไม่สามารถเสนอตัวแทนความคิดได้ และบางส่วนสามารถเสนอตัวแทนความคิดได้ในระดับที่ 2 หลังเรียนนักเรียนสามารถเสนอตัวแทนความคิดได้สูงกว่าระดับที่ 2 ซึ่งส่วนใหญ่สามารถเสนอตัวแทนความคิดได้ในระดับที่ 5

2. อภิปรายผล

2.1 ผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ และผลการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมีระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีความเข้าใจในมโนมติทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และความเข้าใจมโนมติทาง

วิทยาศาสตร์ก่อนเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ส่วนใหญ่ไม่มีนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์เพิ่มขึ้นทุกมโนมติ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐาน ที่เป็นเช่นนี้เพราะ

ในการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบจากการวิจัยพบว่า สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ในแต่ละมโนมติช่วยให้นักเรียนเห็นภาพได้ชัดขึ้นเนื่องจากเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน หรือได้รับประสบการณ์ตรงจากการได้ทำกิจกรรม ทำให้เห็นภาพที่เป็นรูปธรรมและเข้าใจมโนมติที่เป็นนามธรรมมากขึ้น ตัวอย่างเช่น มโนมติเรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ คือ กระดานหมากฮอส ซึ่งเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยเห็นภาพได้ชัดเจน นักเรียนสามารถเชื่อมโยงสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) คือ กระดานหมากฮอส กับมโนมติที่ศึกษา คือ โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก อธิบายความเหมือนได้ว่า กระดานหมากฮอสที่มีการสลับกันไปมาของช่องกระดานหมากฮอสสีที่ 1 กับสีที่ 2 ที่เหมือนกับโครงสร้างสารประกอบไอออนิกคือ โครงสร้างสารประกอบไอออนิกที่ประกอบด้วยไอออนบวกรวมอยู่กับไอออนลบต่อเนื่องสลับกันไป และความแตกต่างคือ ขนาดช่องกระดานหมากฮอสทั้ง 2 ชนิด มีขนาดเท่ากันไม่สามารถเปรียบเทียบได้กับขนาดของไอออนบวกและไอออนลบที่มีขนาดต่างกัน และกระดานหมากฮอสเป็นรูป 2 มิติไม่สามารถเปรียบเทียบได้กับโครงสร้างของสารประกอบไอออนิกที่เป็นโครงสร้าง 3 มิติ และในขั้นสะท้อนนักเรียนยังได้เสนอสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ได้โดยนักเรียนได้นำเสนอสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) คือ รูบิค ชนิด 2 สี ช่องของรูบิคสีที่ 1 เปรียบเหมือนกับไอออนบวก และช่องของรูบิคสีที่ 2 เปรียบเหมือนกับไอออนลบ การสลับช่องกันไปมาของรูบิคเปรียบเหมือนกับการยืดเหนี่ยวของไอออนบวกและไอออนลบสลับกันไปมาต่อเนื่องกันเป็นสามมิติ และสิ่งที่ไม่สามารถเปรียบเทียบได้คือ ขนาดของช่องรูบิคเท่ากันไม่เหมือนขนาดของไอออนบวกและไอออนลบที่มีขนาดต่างกัน และรูบิคโดยทั่วไปเมื่อมีการเล่นทำให้สีในแต่ละช่องไม่ได้สลับกันไปมา จะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบนั้นช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้มโนมติที่เป็นนามธรรมได้อย่างเห็นภาพเป็นรูปธรรม จึงส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากครูผู้สอนได้เตรียมความพร้อมก่อนดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ คือ วิเคราะห์และคัดเลือกเนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรม วิเคราะห์ความรู้เดิมประสบการณ์เดิมของนักเรียนว่ารู้อะไรมาก่อนแล้วบ้างที่จะเรียนในเนื้อหาใหม่ต่อไป จากนั้นจึงวิเคราะห์สิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและประสบการณ์ของนักเรียนเพื่อเลือกสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่มีความหมาะสม ซึ่งได้คัดเลือกสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยหรือพบเห็นในชีวิตประจำวัน หรือเป็นกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ อย่างไรก็ตามสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ไม่สามารถ

เปรียบเทียบกับบางคุณลักษณะได้ ซึ่งตรงจุดนี้ครูผู้สอนได้เน้นย้ำให้นักเรียนได้บอกความแตกต่างของสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่ไม่สามารถเปรียบเทียบได้กับมโนมติที่ศึกษา เพื่อให้นักเรียนไม่เกิดความสับสน และในขั้นสะท้อนมีความสำคัญมากทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบว่านักเรียนมีความคิดเห็นว่าสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่ครูนำมาเสนอนั้นมีประโยชน์และทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจได้ชัดเจนหรือสับสนอย่างไร เพื่อป้องกันไม่ให้นักเรียนเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนและทำให้การดำเนินการจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพ และจากการสังเกตพฤติกรรมนักเรียนในชั้นเรียนพบว่าในขั้นนำที่นอกจากครูจะใช้คำถามเพื่อทบทวนความรู้เดิมตรวจสอบความเข้าใจ หรือยกสถานการณ์เพื่อเปิดประเด็นการเรียนรู้แล้ว ครูยังมีการใช้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ให้นักเรียนได้สังเกตและเปิดประเด็นการเรียนรู้ทำให้นักเรียนเกิดความสนใจ ซึ่งครูได้ชวนคิดว่าสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่ครูนำมาให้สังเกตนั้นมีความเหมือนกับมโนมติที่ศึกษาอย่างไร เพื่อเชื่อมโยงเข้าสู่การทำกิจกรรมแบบเปรียบเทียบโดยให้นักเรียนได้สำรวจเกี่ยวกับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ก่อนที่จะศึกษามโนมติที่ศึกษา (Target) แล้วอภิปราย เชื่อมโยง อธิบาย ความเหมือนและความแตกต่างระหว่าง สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) ต่อไป จะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบในการวิจัยครั้งนี้มีความสอดคล้องกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้ Focus-Action-Reflection (FAR) Guide Teaching ตามแนวคิดของ Treagust et al. (1998) และสอดคล้องกับ Treagust and Venville (1996) และ Gafoor and Shilna (2013) ที่ได้กล่าวถึงประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบไว้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบช่วยให้ครูได้ตระหนักและให้ความสำคัญด้านมโนมติที่จะให้เกิดแก่นักเรียนโดยเตรียมความพร้อมก่อนดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ นอกจากนี้แล้วยังช่วยกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจต่อการเรียนรู้กับการที่ครูได้นำเสนอสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ ฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์ เชื่อมโยงสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) ทำให้นักเรียนเรียนรู้มโนมติที่มีความเป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น ตลอดจนทำให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง และยังสอดคล้องกับ Sharma (2015) ที่ได้ศึกษาวิธีการจัดการเรียนการสอนของครูวิทยาศาสตร์และพบว่าครูวิทยาศาสตร์ทั่วไปใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ โดยมีการใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบตั้งแต่ระดับง่ายจนถึงระดับซับซ้อนและทราบถึงประโยชน์ของการนำไปใช้จัดการเรียนรู้ และการที่นักเรียนสามารถเชื่อมโยง อธิบายความเหมือนและความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) ได้นั้นก็มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของสมองคือ การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบจะกระตุ้นให้สมองซีกขวาได้สังเกตและใช้จินตนาการกับสิ่งที่ครูนำมาใช้เปรียบเทียบในมโนมติในเรื่องนั้นๆ ในขณะเดียวกันสมองซีกซ้ายก็จะทำหน้าหน้าที่ในการอธิบายและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเชื่อมโยงและเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ

(Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) ตลอดจนกระตุ้นให้สมองซีกขวาได้คิดสังเคราะห์ ใช้ความคิดสร้างสรรค์ และในขณะเดียวกันสมองซีกซ้ายก็จะทำหน้าที่อธิบายและวิเคราะห์กับการสร้างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ตามความคิดของนักเรียนในขั้นสะท้อน จะเห็นได้ในการทำกิจกรรมดังกล่าว ทำให้นักเรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนและสิ่งแวดล้อม สมองจะจัดเก็บข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติไปพร้อม ๆ กันกับการค้นหาและตอบสนองต่อสิ่งใหม่ที่ได้เรียนรู้แล้วพยายามทำความเข้าใจกับประสบการณ์ใหม่ที่เกิดขึ้นและให้ความหมาย ทำให้มีการสร้างความรู้ของตนเองเองขึ้นมาใหม่ ซึ่งสมองทั้งซีกขวาและสมองซีกซ้ายได้ทำงานร่วมกันส่งผลให้นักเรียนมีศักยภาพในการเรียนรู้ เกิดทักษะการคิด และทำให้เกิดความเข้าใจในมโนมตินั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีความสอดคล้องกับ พรพิไล เลิศวิชา และอัครภูมิ จารุภากร (2550) และ กิ่งฟ้า สินธุวงษ์ และสุจินต์ วิศวธีรานนท์ (2556: น. 86 - 89) ที่ได้กล่าวถึงความสำคัญของสมองกับการเรียนรู้และการทำงานของสมองว่า หากนักเรียนได้ฝึกฝนและปฏิบัติกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์มากเท่าใด จะทำให้เซลล์สมองของนักเรียนมีการเชื่อมโยงกันเป็นวงจรมากขึ้น นั่นคือสมองของนักเรียนก็จะเกิด การเรียนรู้มากขึ้นเท่านั้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับการทำงานของสมองทั้งสองซีกที่จะทำงานร่วมกันทุกขณะ โดยสมองจัดระบบของการรู้คิดจากการใช้สมอง จัดกระทำข้อมูล และมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมกับบุคคลอื่น ๆ ในสังคม สร้างความรู้ร่วมกันเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ ซึ่งเป็นการค้นหาความหมายของประสบการณ์ใหม่ที่ได้รับโดยผ่านการทำงานอย่างมีแบบแผน แล้วสร้างแบบแผนของตนเองขึ้นมาใหม่ และจะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบทำให้นักเรียนสามารถจัดการสิ่งที่เรียนรู้โดยใช้กระบวนการดูดกลืนและกระบวนการปรับให้เหมาะสมกับความรู้ ประสบการณ์เดิมแล้วสร้างเป็นความเข้าใจด้วยตนเองจากสิ่งที่ได้ค้นพบคือได้เชื่อมโยงสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ซึ่งเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยกับมโนมติที่ศึกษา (Target) ซึ่งเป็นมโนมติที่นักเรียนไม่คุ้นเคย เป็นสิ่งใหม่ที่นักเรียนต้องเรียนรู้ ผ่านการปฏิสัมพันธ์กับนักเรียนในกลุ่มเดียวกัน โดยร่วมกันอภิปรายและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นภายในกลุ่มของตนเอง ตลอดจนได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ผลงานของกลุ่มอื่น สามารถสร้างองค์ความรู้ร่วมกันได้ทำให้เป็นการเรียนรู้ที่มีความหมาย สอดคล้องกับ ทฤษฎีการสร้างสรรค์ความรู้ (Constructivism) ตามแนวคิดของเพียเจต์และวีก๊อตสกี (กิ่งฟ้า สินธุวงษ์ และสุจินต์ วิศวธีรานนท์, 2556, พัชรี ร่มพะยอม วิชัยดิษฐ์, 2561) และผลการวิจัยครั้งนี้ยังได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Harrison and Treagust (2006) ที่พบว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบสามารถส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ได้ และ Calik et al. (2009) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบแล้วพบว่าการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจมโนมติและการเปลี่ยนแปลงมโนมตินี้จะอยู่ในหน่วยความจำระยะยาว (long-term memory) ของนักเรียนได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของเฟื่องฟ้า บุญกอง (2558) ที่ได้ศึกษาผลการ

จัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ก่อนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ส่วนใหญ่มีความเข้าใจมโนมติในระดับคลาดเคลื่อนทุกมโนมติ และไม่มีนักเรียนที่มีความเข้าใจในระดับที่สมบูรณ์ หลังการจัดกิจกรรม พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจระดับสมบูรณ์ และระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ ส่วนความเข้าใจระดับคลาดเคลื่อนของนักเรียนลดลงทุกมโนมติ และนอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริพร นิลโคตร (2555) ได้ศึกษาความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่องพันธะโคเวเลนต์ ของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบ ผลการวิจัยพบว่า หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบ นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์

2.2 ผลการเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ และผลการเปรียบเทียบการเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีการเสนอตัวแทนความคิดหลังเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และการเสนอตัวแทนความคิดก่อนเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบส่วนใหญ่ไม่สามารถเสนอตัวแทนความคิดได้ และบางส่วนสามารถเสนอตัวแทนความคิดได้ในระดับที่ 2 หลังเรียนนักเรียนสามารถเสนอตัวแทนความคิดได้สูงกว่าระดับที่ 2 ซึ่งส่วนใหญ่สามารถเสนอตัวแทนความคิดได้ในระดับที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐาน ที่เป็นเช่นนี้เพราะ

การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และสามารถทำความเข้าใจมโนมติทางเคมีอย่างเห็นภาพเป็นรูปธรรมได้ ส่งผลให้นักเรียนสามารถเสนอตัวแทนความคิดได้ในระดับที่สูงขึ้น และจากการวิจัยได้สัมภาษณ์นักเรียนและพบว่าการที่นักเรียนเสนอตัวแทนความคิดในแต่ละมโนมตินั้นได้ระลึกถึงสิ่งที่ใช้ในการเปรียบเทียบและเชื่อมโยงกับมโนมติที่ศึกษาเพื่อสรุปเป็นความเข้าใจของตนเองแล้วจึงถ่ายทอดความเข้าใจนั้นผ่านตัวแทนความคิด ดังเช่นในมโนมติเรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) คือ กระดานหมากฮอส ซึ่งเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคย เห็นภาพได้ชัดเจน ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยศาสตร์และส่งผลต่อการเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้วพบว่านักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ สามารถเสนอตัวแทนความคิดได้

ในระดับ 4 และ 5 ส่วนนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน และมีมโนมติคลาดเคลื่อนสามารถเสนอตัวแทนความคิดได้ในระดับที่ 2 และ 3 จะเห็นได้ว่าความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์กับการเสนอตัวแทนความคิดมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน สอดคล้องกับ Harrison and Treagust (2006) และ Calik et al. (2009) ที่กล่าวว่าการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบสามารถส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ได้ โดยทำให้นักเรียนเรียนรู้มโนมติที่มีความเป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น ตลอดจนทำให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Calik et al. (2009) ที่พบว่ากิจกรรมการเปรียบเทียบช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจมโนมติและมโนมตินี้จะอยู่ในหน่วยความจำระยะยาว (long-term memory) ของนักเรียนได้ และนอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Kozma and Russell (2005) ที่ได้กล่าวว่า กิจกรรมการเรียนรู้ที่ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้และสามารถสร้างภาพได้นั้นจะทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจและสามารถอธิบายความเข้าใจของตนเองโดยการเสนอผ่านตัวแทนความคิดนั้นได้ และการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบยังมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของสมอง เพราะเมื่อนักเรียนได้เรียนรู้จากกิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบจะมีผลต่อการกระตุ้นให้สมองซีกขวาได้สังเกตและใช้จินตนาการกับสิ่งที่ครูนำมาใช้เปรียบเทียบในมโนมติในเรื่องนั้น ๆ ในขณะเดียวกันสมองซีกซ้ายก็จะทำหน้าที่ในการอธิบายและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเชื่อมโยงและเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) ตลอดจนกระตุ้นให้สมองซีกขวาได้คิดสังเคราะห์ ใช้ความคิดสร้างสรรค์ และในขณะเดียวกันสมองซีกซ้ายก็จะทำหน้าที่อธิบาย ซึ่งจะทำให้สมองทั้งซีกขวาและสมองซีกซ้ายได้ทำงานร่วมกัน ส่งผลให้นักเรียนมีศักยภาพในการเรียนรู้ เกิดทักษะการคิด และทำให้เกิดความเข้าใจมโนมติในเรื่องนั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และส่งเสริมให้นักเรียนมีศักยภาพในการเสนอตัวแทนความคิดโดยนักเรียนสามารถเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่สูงขึ้นโดยเชื่อมโยงตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับได้คือ ระดับมหภาค (Macroscopic level) ระดับจุลภาค (Sub-microscopic level) และระดับสัญลักษณ์ (Symbolic level) ซึ่งสอดคล้องกับพรพิไล เลิศวิชา และอัครภูมิ จารุภากร (2550) ที่ได้กล่าวถึงความสำคัญของสมองกับการเรียนรู้และการทำงานของสมองว่า หากนักเรียนได้ฝึกฝนและปฏิบัติกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์มากเท่าใด จะทำให้เซลล์สมองของนักเรียนมีการเชื่อมโยงกันเป็นวงจรมากขึ้น นั่นคือสมองของนักเรียนก็จะเกิดการเรียนรู้มากขึ้นเท่านั้นซึ่งมีความสัมพันธ์กับการทำงานของสมองทั้งสองซีกที่จะทำงานร่วมกันทุกขณะ ถ้าสมองทั้งสองซีกมีการพัฒนามากขึ้นจะส่งผลให้นักเรียนมีความคิดคล่องแคล่ว มีการกระทำอย่างรวดเร็วและว่องไวมากยิ่งขึ้น และยังสอดคล้องกับ กิ่งฟ้า สินธุวงษ์ และสุจินต์ วิศวธีรานนท์ (2556, น. 86 - 89) ที่ได้กล่าวถึงการทำงานของสมองไว้ว่า สมองและจิตใจมีความต้องการที่จะจัดเก็บข้อมูลที่คุ้นเคยได้อย่างอัตโนมัติไป

พร้อมๆ กันกับการค้นหาและตอบสนองต่อสิ่งแปลกใหม่ ดังนั้นสมองจึงเป็นนักวิทยาศาสตร์และนักอักษรศาสตร์ พยายามทำความเข้าใจกับแบบแผนที่เกิดขึ้นและให้ความหมายหรือบ่งบอกลักษณะเฉพาะ ทำให้มีการสร้างแบบแผนของตนเองขึ้นมาใหม่ สมองจึงเป็นระบบที่มีการทำงานแบบคู่ขนาน ทำให้การเรียนรู้ต้องอาศัยการคิด อารมณ์ จินตนาการ มีปฏิสัมพันธ์ต่อกันทั้งระบบร่างกายกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของสมฤทัย สังฆคราม (2553) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการทำความเข้าใจ (MENTEL MODELS) เรื่องพันธะเคมี โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ (ANALOGY) และงานวิจัยของดวงกมล บำรุงบ้านทุ่ม (2555) ที่ได้ศึกษาตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ที่เรียนจากการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ (Analogy) และผลการวิจัยพบว่า หลังจากใช้กิจกรรมการเปรียบเทียบในการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีรูปแบบการทำความเข้าใจที่หลากหลาย และเปลี่ยนจากไม่มีรูปแบบการทำความเข้าใจเป็นรูปแบบการทำความเข้าใจในระดับที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ อภิวัฒน์ ศรีกัณหา (2557) ที่ได้ศึกษามโนมติและตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก โดยการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ โดยสอดคล้องกับระดับความสามารถที่ส่วนใหญ่มีความสามารถของการแสดงออกตัวแทนความคิดอยู่ในระดับที่ 5 ซึ่งความเข้าใจมโนมติและตัวแทนความคิดของนักเรียนมีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกัน กล่าวคือนักเรียนส่วนใหญ่มีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติทางวิทยาศาสตร์ และมีความสามารถในการแสดงออกของตัวแทนความคิดอยู่ในระดับที่สูง หลังจากผ่านวิธีการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติที่หลากหลาย ได้แก่ ภาพเคลื่อนไหว (Computer Animations) และการเปรียบอุปมา (Analogy)

จากผลการวิจัยในครั้งนี้สรุปในภาพรวมได้ว่ากิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นเทคนิคที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้สร้างความรู้ด้วยตนเองจากการได้ลงมือทำกิจกรรมซึ่งช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์อีกทั้งยังส่งเสริมการเสนอตัวแทนความคิดได้ในระดับที่สูงขึ้น ซึ่งการเสนอตัวแทนความคิดที่นักเรียนได้แสดงออกนั้นมีความสัมพันธ์และสอดคล้องกับความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

3.1.1 ก่อนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ครูผู้สอนควรตระหนักและให้ความสำคัญกับความรู้พื้นฐานเดิมของนักเรียนโดยทำการสำรวจมโนมติก่อนเรียน เพื่อจะได้เป็นแนวทางในการวางแผนจัดกิจกรรมการเรียนรู้และเลือกสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบที่เหมาะสมตามบริบทของนักเรียน ซึ่งควรเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคย พบเห็นในชีวิตประจำวัน หรือเป็นกิจกรรมเพื่อให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรง

3.1.2 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบไม่สามารถเปรียบเทียบได้ในบางคุณลักษณะ ดังนั้นครูผู้สอนควรวิเคราะห์สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบในแต่ละคุณลักษณะให้ชัดเจนว่าสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบนั้นมีความเหมือนหรือมีความแตกต่างกับมโนมติที่ศึกษาอย่างไร รวมทั้งในการจัดกิจกรรมทุกครั้งครูผู้สอนควรเน้นย้ำในคุณลักษณะของสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบที่ไม่สามารถเปรียบเทียบกับมโนมตินั้นได้ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการสับสนและมโนมติคลาดเคลื่อนของนักเรียน

3.1.3 หลังจากดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ครูผู้สอนควรให้นักเรียนได้สะท้อนสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบเพื่อนำมาปรับปรุงและพัฒนาเพื่อให้ได้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบที่เหมาะสมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครั้งต่อไป

3.1.4 ในขั้นการจัดกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้เชื่อมโยงและอธิบายความเหมือนและความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target) นั้น เพื่อให้การดำเนินกิจกรรมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและบรรลุตามวัตถุประสงค์ ครูผู้สอนอาจออกแบบแบบบันทึกกิจกรรมโดยระบุแต่ละคุณลักษณะของสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) แล้วให้นักเรียนได้เชื่อมโยงและอธิบายความเหมือน และใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนได้วิเคราะห์และอธิบายความแตกต่าง

3.1.5 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบมีรายละเอียดมากในการดำเนินกิจกรรมซึ่งต้องใช้เวลามาก ดังนั้นครูผู้สอนควรบริหารเวลาที่ใช้ในการดำเนินกิจกรรมให้เหมาะสมตามสภาพบริบทในแต่ละมโนมติ ซึ่งอาจใช้ช่องทางการสื่อสารออนไลน์นอกเวลาเรียนเพื่อให้นักเรียนได้สะท้อนการทำกิจกรรม แสดงความคิดเห็น ข้อเสนอแนะ รวมทั้งเพิ่มเติมหรือช่วยเหลือนักเรียนในส่วนที่ยังไม่เข้าใจทั้งนี้เพื่อป้องกันการสับสนและนักเรียนมีมโนมติคลาดเคลื่อน

3.1.6 สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) บางอย่างที่เป็นมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) : การเกิดสนามแม่เหล็ก กับมโนมติ ที่ศึกษา (Target) : การเกิดพันธะไอออนิก และสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) : การเกิดไฟฟ้าสถิตย์ กับมโนมติ ที่ศึกษา (Target) :

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล (แรงแผ่กระจายลอนดอน) ไม่ได้เกี่ยวข้องกันในทางทฤษฎีกับมโนมติที่ศึกษา (Target) ทั้งนี้เพื่อป้องกันนักเรียนเกิดมโนมติคลาดเคลื่อน

3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

3.2.1 ควรศึกษามโนมติโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบในเรื่อง การเกิดพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้อย่างต่อเนื่องจากมโนมติเรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ และเกิดการเชื่อมโยงความรู้ และควรศึกษามโนมติเรื่อง โครงสร้างเรโซแนนซ์ เพิ่มเติมต่อเนื่องจากมโนมติ เรื่อง ความยาวพันธะและพลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ เพื่อให้นักเรียนได้เห็นภาพการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะได้ชัดเจน

3.2.2 ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ควรให้นักเรียนแต่ละกลุ่มได้สร้างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบในแต่ละมโนมติ ได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ผลงานของแต่ละกลุ่ม และให้นักเรียนได้ร่วมกันแสดงความคิดเห็น อภิปราย และคัดเลือกสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบที่ดีที่สุด

3.2.3 เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบในขั้นสะท้อน นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นและนำเสนอสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ซึ่งทำให้นักเรียนได้เกิดทักษะการคิดวิเคราะห์ การคิดสังเคราะห์ และความคิดสร้างสรรค์ ดังนั้น ควรใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเพื่อศึกษาตัวแปรตามอื่นๆ เช่น การคิดวิเคราะห์ การคิดสังเคราะห์ การคิดสร้างสรรค์

3.2.4 การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจมโนมติและมโนมตินี้จะอยู่ในหน่วยความจำระยะยาว (long-term memory) ของนักเรียนได้ (Calik et al., 2009) ดังนั้น ควรใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเพื่อศึกษาตัวแปรตามคือ ความคงทนในการเรียนรู้

3.2.5 ควรใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ หรือรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบอื่นว่ามีผลต่อความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิดอย่างไร

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กัญจนา ลินทรรัตนศิริกุล. (2553). เครื่องมือและการตรวจสอบคุณภาพ. ใน *ประมวลสาระชุดวิชาการวิจัยหลักสูตรและการสอน หน่วยที่ 8 -11* (พิมพ์ครั้งที่ 8, น.38 - 72). นนทบุรี:สาขาวิชาศึกษาศาตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

กิ่งฟ้า สินธุวงษ์ และสุจินต์ วิศวธีรานนท์. (2556). หน่วยที่ 6 การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ 2. ใน *ประมวลสาระชุดวิชาสารัตถะ วิทยวิธีและธรรมชาติ* หน่วยที่ 6-10 (พิมพ์ครั้งที่ 5, น.112 - 120). นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

จุฬารัตน์ ธรรมประทีป. (2554). *ชุดฝึกอบรมทางไกล เรื่องการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามทฤษฎีเปลี่ยนแปลงมโนมติ สำหรับครูวิทยาศาสตร์*. นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ชาตรี ฝ่ายคำตา. (2559). ประเด็นและแนวโน้มการวิจัยวิทยาศาสตร์ศึกษา. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 7(1). 171.

_____. (2560). หน่วยที่ 3 สื่อที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิชาเคมี. ใน *ประมวลสาระชุดวิชาสื่อ นวัตกรรม และการวัดและประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ หน่วยที่ 1-5* (พิมพ์ครั้งที่ 8, น.34 - 41). นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

_____. (2563). *กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้เคมี*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณรงค์ฤทธิ์ โฮ้งจิก. (2561). *ผลการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีด้วยรูปแบบฟาร์ไกด์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคงทนในการเรียนรู้ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ดวงกมล บำรุงบ้านทุ่ม. (2555). *ตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ (Analogy) ตามแนว FAR Guide*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ทวีป บรรจงเปลี่ยน. (2540). *การศึกษาการเปรียบเทียบความเข้าใจมโนมติวิทยาศาสตร์ เรื่อง โลกสีเขียวของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที 1 ระหว่างกลวิธีการสอนเพื่อเปลี่ยนมโนมติ. ตามทฤษฎีของ Posner และคณะกับการสอนปกติ.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ทัศนา ขุนไกร. (2555). *ผลการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนมติ วิชาวิทยาศาสตร์เคมีพื้นฐานที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ ความสามารถทางด้านการคิดวิเคราะห์และความสามารถทางด้านการคิดสังเคราะห์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปี ที่ 4โรงเรียนโกสัมพีวิทยา จังหวัดกำแพงเพชร.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

ธีรพงษ์ แสงสิทธิ์. (2555). *ศึกษาตัวแทนความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องเซลล์ไฟฟ้าเคมี ด้วยการสร้างโมเดล Clay animation ร่วมกับการเปรียบเทียบ.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นภาพร แถวโนนงิ้ว. (2537). *การวิเคราะห์มโนมติที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ (ว102) เรื่องโลกสีเขียวของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิตไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์. (2557). การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ 2. ใน *ประมวลสาระชุดวิชาสารัตถะวิทยวิธีและธรรมชาติ หน่วยที่ 6-10.* (พิมพ์ครั้งที่ 5, น.6). นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2553). หน่วยที่ 10 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ สถิติบรรยายและสถิติพารามเตริก. ใน *ประมวลสาระชุดวิชาการวิจัยหลักสูตรและการสอน*. หน่วยที่ 8-11 (พิมพ์ครั้งที่ 8, น.213-219). นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ประภาพรรณ เอี่ยมสุภาษิต. (2558). หน่วยที่ 2 การเรียนรู้กับการเรียนการสอน. ใน *ประมวลสาระชุดวิชาสัมมนาหลักสูตรและการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ หน่วยที่ 1-5* (พิมพ์ครั้งที่ 2, น.5 - 7). นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ปรียาพร วงศ์อนุตรโรจน์. (2543). *การบริหารงานวิชาการ*. กรุงเทพฯ: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.

พรพิไล เลิศวิชา และอัครภูมิ จารุภากร. (2550). *การออกแบบกระบวนการเรียนรู้โดยเข้าใจสมอง*. กรุงเทพฯ: ด่านสุทธาการพิมพ์.

พวงเพ็ญ อินทรประวัติ. (2532). *รูปแบบการสอน*. สงขลา: โครงการบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงขลา.

พัชรา ทวีวงศ์ ณ อยุทธยา. (2537). การพัฒนาการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์. ใน *ประมวลสาระชุดวิชาสารัตถะและวิทยวิธีทางวิทยาศาสตร์ หน่วยที่ 1-5* (พิมพ์ครั้งที่ 2, น. 1 - 86. นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

พัชรี ร่มพะยอม วิชัยดิษฐ์, (2561). *การจัดการเรียนรู้วิชาเคมีสำหรับผู้เรียนในศตวรรษที่ 21*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พันธ์ ทองชุมนุม. (2547). *การสอนวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษา*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

เฟื่องฟ้า บุญกอง. (2558). *ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่มีต่อมโนมติทางวิทยาศาสตร์และความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปี ที่ 5 โรงเรียนลำพระเพลิงพิทยาคม จังหวัดนครราชสีมา*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

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

มรีจิ คงทรัตน์. (2553). *ผลของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้เทคนิคแนวเทียบร่วมกับวงจรการเรียนรู้5Eที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

รัชนี เจนการ. (2558). *การพัฒนาสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะพอลิเมอร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

รัตนเกล้า ประดิษฐ์ด้วง. (2562). *ผลการใช้กลยุทธ์แนวเทียบร่วมกับวงจรการเรียนรู้ 5E ต่อความสามารถในการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเคมีของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2542). *พจนานุกรมศัพท์สังคมวิทยา อังกฤษ-ไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน*. กรุงเทพฯ: ราชบัณฑิตยสถาน.

วิทยา ภาชื่น. (2553). *การศึกษาผลการเรียนรู้โดยใช้การแบบเปรียบเทียบเพื่อส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงมโนมติเรื่องสมดุลเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

วุฒิพงศ์ รารัตน์. (2561). *กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ต่อการส่งเสริมการแสดงออกของตัวแทนความคิด การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

ศิริเดช สุชีวะ. (2538). *การวินิจฉัยมโนมติที่คลาดเคลื่อน.* กรุงเทพฯ: ศูนย์ตำราเอกสารทางวิชาการ. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริพร นิลโคตร. (2555). *การศึกษามโนมติทางวิทยาศาสตร์เรื่องพันธะโคเวเลนต์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้การเปรียบเทียบ.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2561). *ประกาศและรายงานผลโอเน็ต.* สืบค้นจาก https://www.niets. or.th/th/catalog/view/2989.

สถาบันส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). *หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

_____. (2562. ธันวาคม 3). “แถลงข่าวผลการประเมิน PISA” *PISA Thailand.* สืบค้นจาก https://pisathailand.ipst.ac.th/news-12/.

สมฤทัย สังฆคราม (2553). *รูปแบบการทำความเข้าใจ (Mental models) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องพันธะเคมี โดยใช้วิธีการสอนแบบเปรียบเทียบ (Analogy) ตามแนว Focus-Action-Reflection (FAR) Guide*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

สุจินต์ วิศวธีรานนท์. (2538). “แนวโน้มการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์” *เอกสารประกอบการบรรยายและสัมมนา.* คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุทธิสาร แก้วคราม. (2562). 10 นวัตกรรมเคมี เปลี่ยนแปลงโลก. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, *68*(210), 1 – 4. สืบค้นจาก http://siweb1.dss.go.th/dss_doc/dss_doc/show_discription_doc.asp?ID=2230.

สำนักคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ. (2559). *แผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติฉบับที่สิบสอง พ.ศ. 2560-2564.* สืบค้นจาก https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=6422.

อภิวัฒน์ ศรีกัณหา. (2557). *การศึกษามโนมติและตัวแทนความคิด เรื่อง พันธะไอออนิก ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 4 โดยการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนมติ.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Butts, B., & Smith, R. (1987). HSC chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. *Research in Science Education, 17*, 192–201.

Çalik, M., Ayas, A., & Coll, R. K. (2009). Investigating the effectiveness of analogy activity in improving students' conceptual change for solution chemistry concepts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 651 - 676.

Carolan, J., Prain, V., & Waldrip, B. (2008). Using representations for teaching and learning in science. *Teaching Science*, *54*(1), 18 - 23.

Cetin, P.S., Kaya, E. & Geban, O. (2009). Facilitating conceptual change in gases concepts. *Journal Science Education technology*, 18, 130 - 137.

Gabel, D. 1999. Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *Journal of Chemical Education 76*(4), 548–554.

Gafoor, K. A., & Shilna, V. (2013). Analogies: A Method to Facilitate Chemistry Learning In Schools. *Journal of Educational Technology and Research.* Retrieve from https://www.researchgate.net/publication/262924156.

Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An Emergent Field of Practice and Enquiry in Science Education: *Visualization: Theory and Practice in Science Education*. Dordrecht: Springer.

Gilbert, J. K., & Treagust, D. (2009). *Multiple representations in chemical education*. Dordrecht: Springer Netherlands.

Glynn, S. M. (1991). The psychology of learning science Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. Retrieve from https://books.google.co.th/.

Glynn, S. M. (1994). *Teaching Science with Analogies: A Strategy for Teacher and Textbook.* Research Report No, 15, Athens, Ga: University of Georgia and College Park.

Harrison, A. G. & Coll, R. K. (2008). *Using analogies in middle and secondary science classroom: The FAR Guide – an interesting way to reach with analogies***.** United States of America: Carwin Press.

Harrison, A.G. & Treagust, D.F. (2006). Teaching and learning with analogies. *Metaphor and analogy in science education.* 30, 11-24.

Haidar, A.H. (1997). Prospective chemistry teachers' conceptions of the conservation of matter and related concepts. *Journal of Research in Science Teaching*, *34*(2), 181–197.

Jaber, L.Z. & Boujaoude S. (2011). A Macro-Micro-Symbolic Teaching to Promote Relational Understanding of Chemical Reactions. *International Journal of Science Education*, *34*(7), 973-998.

Klopfer, L.E. 1971. Evaluation of learning in science. *Handbook on formative and summative evaluation of student learning*. New York: McGraw–Hill book company, 574–580.

Kozma, R., & Russell, J. (1997). Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(9). 949-968.

_____. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. *Visualization in science education.* London: Kluwer. 1, 125-130.

Michalchik, V., Rosenquist, A., Kozma, R., Kreikemeier, P. & Schank, P. (2008). Representational Resources for Constructing Shared Understanding in the High School Chemistry classroom. *Visualization: Theory and Practice in Science Education*. 3, 233-282.

Mungsing, W. (1993). *Students' alternative conceptions about genetics and the use of teaching straegies for conceptual*. University of Alberta, U.S.A.

Palmeric, C.D.E. & Janes, B. (2008). *What's the Matter With Teaching Children About Matter? Using children's ideas about matter to inform instructionalplanning***.** Retrieved September 26, 2013. Retrieve from http://kekepalmer.com.

Prain, V. and & B.Waldrip. (2008). A study of techers' perspectives about using multimodal representations of concepts to enhance science learning. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education. 8*(1), 5-24.

Sharma, R. M. & Sharma, A. (2015). Observations from secondary school classrooms in Trinidad and Tobago: Science teachers' use of analogies. *Science Education International*. 25, 558-572.

Stanton, N.A. (1990). Supporting learners' strategies in computer based training. *In E.Winterburn (Ed), Realizing human potential*, 166-172.

Taber, K.S. (2011). Effect of animation enhanced conceptual change texts on 6th grade students' understanding of the particulate nature of matter and transformation during phase changes. *Computers & Education*. *57*, 1114–1126.

Tasker, R., Dalton, R., Sleet, R., Bucat, B., Chia, W. and Corrigan, D. (2002). *Description of VisChem: Visualising Chemical Structures and Reactions at the Molecular Level to Develop a Deep Understanding of Chemistry Concepts.* Retrieved from http://www.learningdesigns.uow.edu.au /exemplars/info/LD9/index.html.

Thiele, R.B. & Treagust, D.F. (1991). *Using Analogies in Secondary Chemistry Teaching*. A paper presented at Royal Australian Chemical Institute.

Treagust, D.F. & Venville, G. J. (1996). The role of analogies in promoting conceptual change in biology. *Instructional Sci. 24*(4), 295-320.

Treagust, D.F. Harrison, A.G. & Venville, G.J. (1998). Teaching Science Effectively With Analogies: An Approach for Preservice and Inservice Teacher Education. *Journal of Science Teacher Education*, *9*(2), 85-101.

Zare, R. (2002). Visualizing Chemistry. *Journal of Chemical Education*, *79*(11), 1290-1291.

Zeitoun, H. H. (1984). Teaching scientific analogies: A proposed model. *Research in Science & Technological Education, 2*(2), 107-125.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

1. ชื่อ ศน.ธีระศักดิ์ ไชยสัตย์
   สถานที่ทำงาน สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาประจวบคีรีขันธ์ เขต 1
   วุฒิการศึกษา ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต วิทยาศาสตร์ศึกษา
   มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

2. ชื่อ นายณรงค์ฤทธิ์ โฮ้งจิก
   สถานที่ทำงาน โรงเรียนวัดเขมาภิรตาราม
   วุฒิการศึกษา ครุศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรและการสอน
   จุฬาลงกรณ์ลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. นางสาวรัตนเกล้า ประดิษฐ์ด้วง
   สถานที่ทำงาน โรงเรียนโรงเรียนหนองแสงวิทยศึกษา
   วุฒิการศึกษา ครุศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรและการสอน
   จุฬาลงกรณ์ลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แผนการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4**

วิชาเคมี 1 (ว30221) **หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 พันธะเคมี**

เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ **จำนวน 2 ชั่วโมง**

---

1. ขั้นเน้น (Focus)

1.1 ด้านมโนมติ (Concept)

พันธะโคเวเลนต์โดยส่วนใหญ่เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง และมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกันรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ที่เป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน ดังนั้นเมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน เรียกการยึดเหนี่ยวนี้ว่า <u>พันธะโคเวเลนต์</u> ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต

1.2 ด้านนักเรียน (Student)

1) นักเรียนมีความรู้เรื่องการจัดเรียงอิเล็กตรอน พลังงานไอออไนเซชัน อิเล็กโทร-เนกาติวิตี และกฎออกเตต

2) เนื้อหาเรื่องการเกิดพันธะโคเวเลนต์เป็นนามธรรม นักเรียนมองไม่เห็นการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันในการเกิดพันธะโคเวเลนต์ว่าเกิดแรงยึดเหนี่ยวได้อย่างไร

3) สำรวจความเข้าใจมโนมติและตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่องการเกิดพันธะโคเวเลนต์ โดยใช้แบบวัดมโนมติและตัวแทนความคิด

1.3 วิเคราะห์สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ(Analog)

1) วิเคราะห์สิ่งที่นักเรียนคุ้นเคย นักเรียนคุ้นเคยเกี่ยวกับการรับประทานอาหาร เลือกสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) : การรับประทานอาหารร่วมกันของนักเรียน ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมแสดงบทบาทสมมติการรับประทานอาหารร่วมกัน ดังนี้

(1) หัวหน้ากลุ่มแจกบัตรภาพอาหารทั้งหมดให้แก่สมาชิกในกลุ่มทุกคน คนละ 1 ชุด

(2) นักเรียนแต่ละคนนำบัตรภาพอาหารของตนเองวางบนถาด โดยต้องมีอาหารจำนวน 8 ชนิด แสดงการรับประทานอาหารร่วมกันโดยต้องรับประทานอาหารของตนเองและของเพื่อนด้วย

1.4 ออกแบบการจัดการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์		
1. ขั้นเน้น (Focus)	**ด้านมโนมติ (Concept)**	พันธะโคเวเลนต์โดยส่วนใหญ่เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง และมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกัน รวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ซึ่งอาจเป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน ดังนั้นเมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน เรียกการยึดเหนี่ยวนี้ว่า **พันธะโคเวเลนต์** ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต
	ด้านนักเรียน (Student)	- นักเรียนมีความรู้เรื่องการจัดเรียงอิเล็กตรอน พลังงานไอออไนเซชัน อิเล็กโทรเนกาติวิตี และกฎออกเตต - เนื้อหาเรื่องการเกิดพันธะโคเวเลนต์เป็นนามธรรม นักเรียนมองไม่เห็นการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันในการเกิดพันธะโคเวเลนต์ว่าเกิดแรงยึดเหนี่ยวได้อย่างไร - สำรวจความเข้าใจมโนมติและตัวแทนความคิดของนักเรียน เรื่องการเกิดพันธะโคเวเลนต์ โดยใช้แบบวัดมโนมติและตัวแทนความคิด
	สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)	- นักเรียนคุ้นเคยกับการรับประทานอาหาร สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) : การรับประทานอาหารร่วมกันของนักเรียน ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมแสดงบทบาทสมมติการรับประทานอาหารร่วมกัน ดังนี้ 1. หัวหน้ากลุ่มแจกบัตรภาพอาหารทั้งหมดให้แก่สมาชิกในกลุ่มทุกคน คนละ 1 ชุด 2. นักเรียนแต่ละคนนำบัตรภาพอาหารของตนเองวางบนถาด โดยต้องมีอาหารจำนวน 8 ชนิด แสดงการรับประทานอาหารร่วมกันโดยต้องรับประทานอาหารอาหารของตนเองและของเพื่อนด้วย

<table>
<tr><td colspan="4">แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="7">2. ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action)</td><td colspan="3">การเปรียบเทียบสิ่งที่เหมือนกันระหว่าง
สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target)</td></tr>
<tr><td colspan="2">สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)
การรับประทานอาหารร่วมกัน</td><td>มโนมติที่ศึกษา (Target)
การเกิดพันธะโคเวเลนต์</td></tr>
<tr><td colspan="2">1. นักเรียน</td><td>1. อะตอมของธาตุอโลหะ</td></tr>
<tr><td colspan="2">2. อาหาร</td><td>2. เวเลนซ์อิเล็กตรอน</td></tr>
<tr><td colspan="2">3. นักเรียนรับประทานอาหารร่วมกันโดยต้องกินอาหารของตนเองและของเพื่อนด้วย</td><td>3. การรวมตัวกันของอะตอมของธาตุอโลหะตั้งแต่ 2 อะตอม โดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน</td></tr>
<tr><td colspan="2">4. อาหารที่รับประทานร่วมกันครบ 8 ชนิด</td><td>4. อะตอมธาตุอโลหะแต่ละอะตอมมีเวเลนซ์-อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต</td></tr>
<tr><td colspan="3">การเปรียบเทียบสิ่งที่ต่างกัน – สิ่งที่ไม่สามารถเปรียบเทียบได้</td></tr>
<tr><td colspan="3">1. การรับประทานอาหารร่วมกันที่เปรียบกับการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันนั้น อาหารที่รับประทานนั้นจะหมดไป แต่ในความเป็นจริงเวเลนซ์อิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกันของอะตอมธาตุยังคงอยู่
2. หากรับประทานอาหารร่วมกันเสร็จทุกคนก็แยกย้ายกันไปซึ่งสามารถใช้ชีวิตได้ตามปกติ แต่อะตอมของธาตุนั้นต้องรวมตัวกันเพื่อให้เกิดความเสถียรตามกฎออกเตต
3. ในความเป็นจริงการรับประทานอาหารร่วมกันไม่จำเป็นต้องมีอาหารที่รับประทานร่วมกัน 8 ชนิด</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3. ขั้นสะท้อน (Reflection)</td><td>การสรุป (Conclusion)</td><td colspan="2">เป็นการสะท้อนผลที่เกิดจากการใช้สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ทำให้นักเรียนเข้าใจชัดเจนหรือไม่ มีประโยชน์อย่างไร หรือทำให้เกิดความสับสนอย่างไร</td></tr>
<tr><td>การปรับปรุง (Improvement)</td><td colspan="2">เป็นการวิเคราะห์ว่ามีอะไรบ้างที่ต้องปรับปรุง และปรับปรุงอย่างไร เพื่อให้ได้ สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ที่เหมาะสมในการสอนครั้งต่อไป</td></tr>
</table>

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

2.1 อธิบายการเกิดพันธะโคเวเลนต์ได้

2.2 อภิปราย เชื่อมโยงและอธิบายส่วนที่เหมือนกันและส่วนที่ต่างกันระหว่าง มโนมติที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) : การรับประทานอาหารร่วมกัน กับมโนมติที่ศึกษา (Target) : การเกิดพันธะโคเวเลนต์ได้

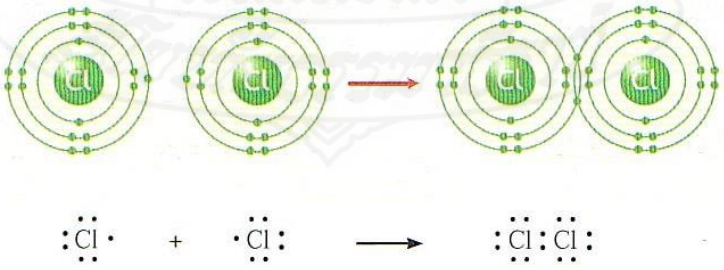
2.3 นำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ได้

3. สาระการเรียนรู้

พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง และมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกันรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ที่เป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน ดังนั้นเมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน เรียกการยึดเหนี่ยวนี้ว่า <u>พันธะโคเวเลนต์</u> ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต

ตัวอย่างการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของแก๊สคลอรีน (Cl_2) เป็นดังนี้

ธาตุคลอรีน (Cl) มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 (มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$) ดังนั้นคลอรีนทั้งสองอะตอมจะใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เพื่อให้มีเวเลนซ์-อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต เขียนแผนภาพและสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสแสดงการเกิดพันธะได้ดังนี้

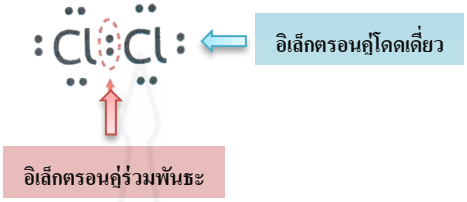


ภาพแสดงการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของแก๊สคลอรีน

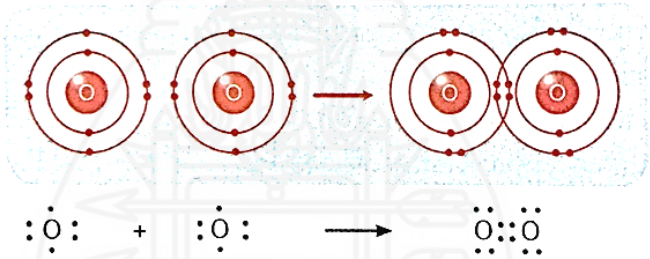
ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

พันธะโคเวเลนต์ในโมเลกุลแก๊สคลอรีนเกิดจากการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เรียกพันธะนี้ว่า พันธะเดี่ยว (single bond) โดยอิเล็กตรอนคู่ที่ใช้ร่วมกันในการเกิดพันธะ เรียกว่า

อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ (bond pair electrons) ส่วนอิเล็กตรอนคู่ที่ไม่ได้เกิดพันธะ เรียกว่า อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone pair electrons) ซึ่งในโมเลกุลแก๊สคลอรีนมีอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ 1 คู่ และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 6 คู่



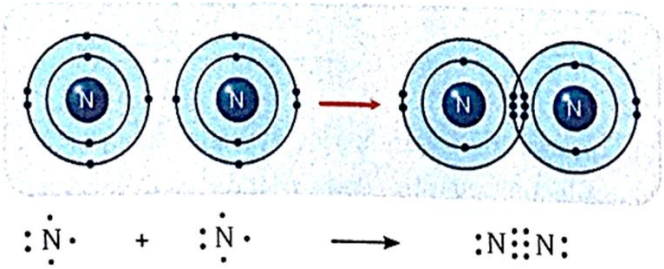
การเกิดพันธะในโมเลกุลแก๊สออกซิเจน (O_2) ออกซิเจนแต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 6 ดังนั้นออกซิเจนทั้งสองอะตอมจะใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ เพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต เกิดพันธะโคเวเลนต์แบบพันธะคู่ (double bond) เขียนแผนภาพและสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสแสดงการเกิดพันธะได้ดังนี้



ภาพแสดงการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของแก๊สออกซิเจน

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

นอกจากนี้ พันธะโคเวเลนต์ยังอาจเป็น พันธะสาม (triple bond) เช่น ในโมเลกุลแก๊สไนโตรเจน (N_2) ไนโตรเจนแต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 5 ดังนั้นไนโตรเจนทั้งสองอะตอมจะใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่ เพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต เขียนแผนภาพและสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสแสดงการเกิดพันธะได้ดังนี้



ภาพแสดงการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของแก๊สไนโตรเจน

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

4. กิจกรรมการเรียนรู้ (จัดกลุ่มนักเรียนโดยคละเพศและความสามารถ กลุ่มละ 4 - 5 คน)

ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	กิจกรรมทางเลือกของครู	พฤติกรรม/ความสำเร็จของนักเรียน
4.1 ขั้นนำ		
1) ครูทบทวนความรู้เดิมของนักเรียน - ให้นักเรียนยกตัวอย่างสารประกอบไอออนิก ($NaCl$, $CaCl_2$, KI) และถามนักเรียน ดังนี้ - สารประกอบไอออนิกยึดเหนี่ยวกันอย่างไร (สารประกอบไอออนิกยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไอออนิก ที่เกิดจากอะตอมธาตุโลหะให้อิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนบวกและอะตอมธาตุอโลหะรับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนลบ ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้า) - การให้อิเล็กตรอนของอะตอมธาตุโลหะเกิดเป็นไอออนบวกและการรับอิเล็กตรอนของธาตุอโลหะเกิดเป็นไอออนลบนั้นเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับการที่อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า (ทั้งอะตอมธาตุโลหะและอะตอมธาตุอโลหะมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต ทำให้เกิดความเสถียร) 2) ครูให้นักเรียนดูภาพแก๊สออกซิเจนในน้ำและแก๊สออกซิเจนในอากาศ **ภาพแก๊สออกซิเจนในอากาศและแก๊สออกซิเจนในน้ำ** **ที่มา : https://www.mcareshop.com**	- ครูให้นักเรียนยกตัวอย่างและใช้คำถามเพื่อทบทวนความรู้เดิมของนักเรียน - ครูให้นักเรียนดูภาพตัวอย่าง ใช้คำถามเพื่อเปิดประเด็นการเรียนรู้ และให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นผ่านสื่อออนไลน์ - ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเสนอตัวแทนความคิดก่อนการเรียนรู้ - ครูใช้คำถาม	- นักเรียนได้ทบทวนความรู้เดิมเพื่อเชื่อมโยงและได้เรียนรู้ในเรื่องต่อไป - นักเรียนได้เสนอตัวแทนความคิดก่อนได้รับการเรียนรู้

ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	กิจกรรมทางเลือกของครู	พฤติกรรม/ความสำเร็จของนักเรียน
แล้วใช้คำถามเพื่อเปิดประเด็นการเรียนรู้ว่า “การเกิดพันธะเคมีระหว่างอะตอมของแก๊สออกซิเจนมีการเปลี่ยนแปลงของเวเลนซ์อิเล็กตรอนแตกต่างจากพันธะไอออนิกหรือไม่ อย่างไร ” ให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นผ่าน www.menti.com จากนั้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเสนอตัวแทนความคิด (คำตอบขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความรู้เดิมของนักเรียน 3) ครูให้นักเรียนดูภาพการรับประทานอาหารร่วมกัน และชวนนักเรียนคิดว่า “การเกิดพันธะเคมีระหว่างอะตอมของแก๊สออกซิเจน มีความคล้ายกับการรับประทานอาหารร่วมกันอย่างไร” และถามนักเรียนว่า - นักเรียนคิดว่าพันธะเคมีระหว่างอะตอมของแก๊สออกซิเจนนั้น คือพันธะอะไร และยึดเหนี่ยวกันอย่างไร โดยนักเรียนจะได้สำรวจค้นหาคำตอบในการทำกิจกรรมแบบเปรียบเทียบต่อไป	ชวนคิด เกี่ยวกับสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) เพื่อเชื่อมโยงเข้าสู่กิจกรรม การเปรียบเทียบต่อไป	
4.2 ขั้นลงมือปฏิบัติ (Action)		
<u>4.2.1นำเสนอสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)</u> 1) ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมแบบเปรียบเทียบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง การรับประทานอาหารร่วมกันกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์ ในขั้นตอนการทำกิจกรรม ข้อ 1	- ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมแบบเปรียบเทียบ	- นักเรียนทำกิจกรรมแบบเปรียบเทียบเพื่อศึกษาสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog)
<u>4.2.2 นำเสนอมโนมติที่ศึกษา (Target)</u> 1) ครูให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอ เรื่อง covalent bonding https://www.youtube.com/watch?v=LkAykOv1foc 2) นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันสืบค้นจากอินเตอร์เนตและในหนังสือเรียน เรื่องการเกิดพันธะโคเวเลนต์ เพิ่มเติม	- ครูให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอและสืบค้นจากอินเตอร์เนต	- นักเรียนร่วมกันศึกษา อภิปราย และสรุปมโนมติที่ศึกษา

ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	กิจกรรมทางเลือกของครู	พฤติกรรม/ความสำเร็จของนักเรียน
แล้วอภิปรายกับเพื่อนภายในกลุ่ม จากนั้นร่วมกันอภิปรายทั้งชั้นเรียน 3) ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและสรุปเรื่องการเกิดพันธะโคเวเลนต์ โดยครูถามนักเรียน ด้วยคำถามดังนี้ - คำถามที่ถามนักเรียนในขั้นนำ “การเกิดพันธะเคมีระหว่างอะตอมของออกซิเจนมีการเปลี่ยนแปลงของเวเลนซ์อิเล็กตรอนแตกต่างจากพันธะไอออนิกหรือไม่อย่างไร” (ต่างกัน คือ อะตอมของออกซิเจนใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน) - การยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันนี้เรียกว่าอะไร (พันธะโคเวเลนต์) - การเกิดพันธะโคเวเลนต์ เกิดขึ้นได้กี่แบบ อะไรบ้าง (เกิดได้ 3 แบบ คือ พันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม) - พันธะเดี่ยว เกิดขึ้นได้อย่างไร พร้อมยกตัวอย่าง (เกิดจากอะตอมธาตุใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เช่น แก๊สคลอรีน (Cl_2) มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 ต้องการอิเล็กตรอนอีก 1 จึงใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต) - พันธะคู่ เกิดขึ้นได้อย่างไร พร้อมยกตัวอย่าง (เกิดจากอะตอมธาตุใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ เช่น แก๊สออกซิเจน (O_2) มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 6 ต้องการอิเล็กตรอนอีก 2 จึงใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ เพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต) - พันธะสาม เกิดขึ้นได้อย่างไร	ศึกษาเนื้อหาเพิ่มเติมจากหนังสือเรียนเพื่อศึกษามโนมติที่ศึกษา - ครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อศึกษามโนมติที่ศึกษา	

ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	กิจกรรมทางเลือกของครู	พฤติกรรม/ความสำเร็จของนักเรียน
(เกิดจากอะตอมธาตุใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่เช่น แก๊สไนโตรเจน (N_2) มีเวเลนซ์อิเล็กตรนเท่ากับ 5 ต้องการอิเล็กตรอนอีก 3 จึงใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่ เพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต)		
<u>4.2.3 ขั้นสรุป</u> 1) ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมแบบเปรียบเทียบ กิจกรรมที่ 1 เรื่อง การรับประทานอาหารร่วมกันกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์ ในขั้นตอนการทำกิจกรรม ข้อ 2 จากนั้นกลุ่มนักเรียนอาสาสมัครนำเสนอผลการทำกิจกรรม 2) ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลจากการทำกิจกรรมที่ 1 เรื่อง การรับประทานอาหารร่วมกันกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์เพื่อเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) : การรับประทานอาหารร่วมกัน กับมโนมติที่ศึกษา (Target) : การเกิดพันธะโคเวเลนต์ โดยครูถามนักเรียน ดังนี้ - นักเรียนเปรียบเทียบได้กับสิ่งใด (อะตอมของธาตุอโลหะ) - อาหารเปรียบเทียบได้กับสิ่งใด (เวเลนซ์อิเล็กตรอน) - นักเรียนรับประทานอาหารร่วมกันเปรียบเทียบได้กับสิ่งใด (การรวมตัวกันของอะตอมของธาตุอโลหะตั้งแต่ 2 อะตอม โดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน) - อาหารที่รับประทานร่วมกันครบ 8 ชนิด เปรียบเทียบได้กับสิ่งใด (อะตอมธาตุอโลหะแต่ละอะตอมมีเวเลนซ์-อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต)	- ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมแบบเปรียบเทียบ - ครูใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนได้อภิปราย เชื่อมโยง อธิบาย ความเหมือนและความ-แตกต่างระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target)	- นักเรียนร่วมกันอภิปราย เชื่อมโยง อธิบาย ความเหมือนและความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ใช้ เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target)

ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	กิจกรรมทางเลือกของครู	พฤติกรรม/ความสำเร็จของนักเรียน
- การรับประทานอาหารร่วมกันมีความเหมือนกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์อย่างไรบ้าง (การรับประทานอาหารร่วมกันของนักเรียน โดยที่นักเรียนแต่ละคนนำอาหารมารับประทานร่วมกัน โดยต้องมีอาหารจำนวน 8 ชนิด เหมือนกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์ คือ พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม โดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน และแต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต) - การรับประทานอาหารร่วมกันมีสิ่งใดที่ไม่สามารถเปรียบเทียบได้กับการเกิดพันธะโคเวเลนต์ และเป็นอย่างไร (1. การรับประทานอาหารร่วมกันที่เปรียบกับการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันนั้น อาหารที่รับประทานนั้นจะหมดไป แต่ในความเป็นจริงเวเลนซ์อิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกันของอะตอมธาตุยังคงอยู่ 2. หากรับประทานอาหารร่วมกันเสร็จทุกคนก็แยกย้ายกันไปซึ่งสามารถใช้ชีวิตได้ตามปกติแต่อะตอมของธาตุนั้นต้องรวมตัวกันเพื่อให้เกิดความเสถียรตามกฎออกเตต 3. ในความเป็นจริงการรับประทานอาหารร่วมกันไม่จำเป็นต้องมีอาหารที่รับประทานร่วมกัน 8 ชนิด) 3) ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปความเหมือนและความแตกต่างระหว่างการรับประทานอาหารร่วมกันกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์		
<u>4.2.3 ขั้นสรุป</u> 1) ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและสรุปมโนมติที่ศึกษา : การเกิดพันธะโคเวเลนต์โดยครูใช้คำถาม ดังนี้	- ครูใช้คำถามเพื่อให้นักเรียน	- นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติที่ศึกษา โดย

ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	กิจกรรมทางเลือกของครู	พฤติกรรม/ความสำเร็จของนักเรียน
- การเกิดพันธะเคมีระหว่างอะตอมของออกซิเจนมีการเปลี่ยนแปลงของเวเลนซ์อิเล็กตรอนแตกต่างจากพันธะไอออนิกหรือไม่ อย่างไร” (ต่างกัน คือ อะตอมของออกซิเจนใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน) - พันธะโคเวเลนต์เกิดขึ้นได้อย่างไร (พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง และมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกันรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ที่เป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน ดังนั้นเมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน เรียกการยึดเหนี่ยวนี้ว่า พันธะโคเวเลนต์ ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต) - พันธะโคเวเลนต์มีกี่แบบ อะไรบ้าง แต่ละแบบเกิดขึ้นได้อย่างไร (เกิดได้ 3 แบบ คือ พันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม โดยพันธะเดี่ยว เกิดจากอะตอมธาตุใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ พันธะคู่ เกิดจากอะตอมธาตุใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ และพันธะสาม เกิดจากอะตอมธาตุใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่) 2) ครูตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน โดยให้นักเรียนเขียนสูตรโครงสร้างลิวอิสแสดงการเกิดพันธะโคเวเลนต์ และตรวจสอบว่าสารโคเวลนต์ที่กำหนดให้นั้นเป็นไปตามกฎออกเตตหรือไม่ 3) ครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่าธาตุบางชนิดสามารถเกิดพันธะโคเวเลนต์กับอโลหะได้ เช่น Be เกิดเป็นสาร	ร่วมกันอภิปรายและสรุปมโนมติที่ศึกษา - ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมเพื่อตรวจสอบความเข้าใจและตัวแทนความคิด	แสดงออกในการทำกิจกรรมการเสนอตัวแทนความคิด

ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	กิจกรรมทางเลือกของครู	พฤติกรรม/ความสำเร็จของนักเรียน
โคเวเลนต์คือ $BeCl_2$ เป็นต้น 4) ครูยกตัวอย่างการเกิดแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ที่เกิดจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) รวมตัวกับแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) จากนั้นถามนักเรียน “นักเรียนคิดว่าแอมโมเนียมไอออนที่เกิดจากไฮโดรเจนไอออนรวมตัวกับแก๊สแอมโมเนียนั้น ยึดเหนี่ยวกันอย่างไร” (ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายร่วมกัน จากนั้นร่วมกันอภิปรายทั้งชั้นเรียน) 5) ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการเกิดพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ ว่าสารโคเวเลนต์บางชนิดประกอบด้วยพันธะโคเวเลนต์ที่อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะมาจากอะตอมใดอะตอมหนึ่งเท่านั้น พันธะที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้เรียกว่า <u>พันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์</u> 6) นักเรียนทำกิจกรรมที่ 2 ตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ (ครูอธิบายการเสนอตัวแทนความคิดให้กับนักเรียนดังนี้ ตัวแทนความคิด คือ สิ่งที่แสดงออกมาเป็นตัวแทนที่จะสื่อสารหรือแสดงออกถึงความรู้ความเข้าใจจากนามธรรมเป็นรูปธรรม ซึ่งอาจแสดงได้หลายรูปแบบ เช่น คำอธิบาย การบรรยาย การวาดรูป แผนภาพ สมการ แบบจำลอง บทบาทสมมติ เพื่อแสดงความรู้ความเข้าใจ 7) นักเรียนบันทึกมโนมติที่ศึกษาและตัวแทนความคิดเรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ลงในสมุดบันทึกของตนเอง		
4.3 ขั้นสะท้อน (Reflection)		
<u>4.3.1 การสรุป (Conclusion)</u> 1) ครูถามนักเรียน โดยใช้คำถาม ดังนี้	- ครูใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนได้สะท้อนผล	- นักเรียนแสดงความคิดเห็นและสะท้อนสิ่งที่ใช้

ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	กิจกรรมทางเลือกของครู	พฤติกรรม/ความสำเร็จของนักเรียน
- สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) : การรับประทานอาหารร่วมกัน กับมโนมติที่ศึกษา (Target) : การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ทำให้นักเรียนได้เข้าใจได้ชัดเจนหรือไม่ มีประโยชน์อย่างไร หรือทำให้เกิดความสับสนอย่างไร 4.3.2 การปรับปรุง (Improvement) 1) ครูถามนักเรียน โดยใช้คำถาม ดังนี้ - นักเรียนคิดว่าสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ(Analog) : การรับประทานอาหารร่วมกัน กับ มโนมติที่ศึกษา (Target) : การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ควรปรับหรือเพิ่มเติมสิ่งใดหรือไม่ อย่างไร - นักเรียนคิดว่ามโนมติที่ศึกษา (Target) : การเกิดพันธะโคเวเลนต์ นอกจากจะสามารถเปรียบเทียบกับการรับประทานอาหารร่วมกันได้แล้ว สามารถใช้เปรียบเทียบกับสิ่งใดได้อีกบ้าง	สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) และเพื่อครูจะได้นำผลมาปรับปรุงสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) ต่อไป	เปรียบเทียบ (Anaolg)

5. การวัดและประเมินผล

สิ่งที่ต้องการวัด	วิธีการวัด	เครื่องมือที่ใช้วัด	เกณฑ์การวัด
มโนมติและตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์	1. ตรวจการบันทึกกิจกรรมที่ 1 เรื่อง การรับประทานอาหารร่วมกันกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์ 2. ตรวจการนำเสนอตัวแทนความคิดกิจกรรมที่ 2 ตัวแทนความคิด	1. แบบบันทึกกิจกรรมที่ 1 เรื่อง การรับประทานอาหารร่วมกันกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์ 2. แบบบันทึกกิจกรรมที่ 2 ตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์	นักเรียนส่วนใหญ่ได้คะแนนร้อยละ 50 ขึ้นไป ของคะแนนทั้งหมด

สิ่งที่ต้องการวัด	วิธีการวัด	เครื่องมือที่ใช้วัด	เกณฑ์การวัด
	เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ 3. ใช้คำถาม	3. การถามตอบ	

6. สื่อ/แหล่งเรียนรู้

1) หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 2 ของสสวท. (2561)

2) power point เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์

3) คลิปวิดีโอ เรื่อง covalent bonding https://www.youtube.com/watch?v=LkAykOv1foc

4) www.menti.com

5) รูป แก๊สออกซิเจนในอากาศและแก๊สออกซิเจนในน้ำ https://www.mcareshop.com

6) กิจกรรมที่ 1 เรื่อง การรับประทานอาหารร่วมกันกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์

7) กิจกรรมที่ 2 เรื่อง ตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์

8) กระดาษเอ 4

9) โทรศัพท์ smart phone

10) Application: jam board

กิจกรรมที่ 1
การรับประทานอาหารร่วมกันกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์

ชั้น…….. กลุ่มที่ .....

สมาชิก 1) ..... เลขที่ .....

2) ..... เลขที่ .....

3) ..... เลขที่ .....

4) ..... เลขที่ .....

5) ..... เลขที่ .....

❖ จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. อภิปรายและอธิบายส่วนที่เหมือนกันและส่วนที่ต่างกันระหว่าง สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) : การรับประทานร่วมกัน กับมโนมติที่ศึกษา (Target) : การเกิดพันธะโคเวเลนต์ได้

❖ เวลาที่ใช้ทำกิจกรรม

30 นาที

❖ วัสดุ/อุปกรณ์ ต่อ 1 กลุ่ม

1. บัตรภาพอาหารต่าง ๆ จำนวน 1 ชุด
2. ถาด จำนวน 1 อัน

❖ **ขั้นตอนการทำกิจกรรม**

ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมแสดงบทบาทสมมติการรับประทานอาหารร่วมกัน ตามเงื่อนไขดังนี้

1. หัวหน้ากลุ่มแจกบัตรภาพอาหารให้แก่สมาชิกในกลุ่มคนละ 1 ชุด

2. นักเรียนแต่ละคนนำบัตรภาพอาหารของตนเองวางบนถาด โดยต้องมีอาหารจำนวน 8 ชนิด แสดงการรับประทานอาหารร่วมกันโดยต้องกินอาหารของตนเองและของเพื่อนด้วย

2. ให้นักเรียนอภิปราย เชื่อมโยงและอธิบายระหว่างส่วนที่เหมือนกันและส่วนที่ต่างกัน ระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) : การรับประทานอาหารร่วมกัน กับมโนมติที่ศึกษา (Target) : การเกิดพันธะโคเวเลนต์

การเปรียบเทียบสิ่งที่เหมือนกันระหว่าง สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target)	
สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) การรับประทานอาหารร่วมกัน	มโนมติที่ศึกษา (Target) การเกิดพันธะโคเวเลนต์
…… …… …… …… …… …… …… …… …… ……	…… …… …… …… …… …… …… …… …… ……
การเปรียบเทียบสิ่งที่ต่างกัน – สิ่งที่ไม่สามารถเปรียบเทียบได้	
....	

เฉลยกิจกรรมที่ 1
การรับประทานอาหารร่วมกันกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์

2. ให้นักเรียนอภิปราย เชื่อมโยงและอธิบายระหว่างส่วนที่เหมือนกันและส่วนที่ต่างกัน ระหว่างสิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) : การรับประทานอาหารร่วมกัน กับมโนมติที่ศึกษา (Target) : การเกิดพันธะโคเวเลนต์

การเปรียบเทียบสิ่งที่เหมือนกันระหว่าง สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) กับมโนมติที่ศึกษา (Target)	
สิ่งที่ใช้เปรียบเทียบ (Analog) การรับประทานอาหารร่วมกัน	มโนมติที่ศึกษา (Target) การเกิดพันธะโคเวเลนต์
1. นักเรียน	1. อะตอมของธาตุอโลหะ
2. อาหาร	2. เวเลนซ์อิเล็กตรอน
3. นักเรียนรับประทานอาหารร่วมกันโดยต้องกินอาหารของตนเองและของเพื่อนด้วย	3. การรวมตัวกันของอะตอมของธาตุอโลหะตั้งแต่ 2 อะตอม โดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน
4. อาหารที่รับประทานร่วมกันครบ 8 ชนิด	4. อะตอมธาตุอโลหะแต่ละอะตอมมีเวเลนซ์-อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต
การเปรียบเทียบสิ่งที่ต่างกัน – สิ่งที่ไม่สามารถเปรียบเทียบได้	
1. การรับประทานอาหารร่วมกันที่เปรียบกับการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันนั้น อาหารที่รับประทานนั้นจะหมดไป แต่ในความเป็นจริงเวเลนซ์อิเล็กตรอนที่ใช้ร่วมกันของอะตอมธาตุยังคงอยู่ 2. หากรับประทานอาหารร่วมกันเสร็จทุกคนก็แยกย้ายกันไปซึ่งสามารถใช้ชีวิตได้ตามปกติ แต่อะตอมของธาตุนั้นต้องรวมตัวกันเพื่อให้เกิดความเสถียรตามกฎออกเตต 3. ในความเป็นจริงการรับประทานอาหารร่วมกันไม่จำเป็นต้องมีอาหารที่รับประทานร่วมกัน 8 ชนิด	

กิจกรรมที่ 2
ตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์

ชั้น…….. กลุ่มที่ .....

สมาชิก 1) ..... เลขที่ .....

2) ..... เลขที่ .....

❖ จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. เสนอตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ได้

❖ เวลาที่ใช้ทำกิจกรรม

30 นาที

❖ วัสดุและอุปกรณ์ (ต่อ 1 คู่)

รายการ	จำนวน
กระดาษเอ 4	1 แผ่น

❖ ขั้นตอนการทำกิจกรรม

1. ให้นักเรียนจับคู่กันภายในกลุ่มระดมความคิด อภิปรายและนำเสนอตัวแทนความคิดเรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์
2. ให้นักเรียนแต่ละคู่โพสต์ผลงานตัวแทนความคิดลงใน Application: jam board เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้กัน จากนั้นให้นักเรียนโหวตผลงานของเพื่อน
3. นักเรียนคู่ที่มีคะแนนโหวตมากที่สุดนำเสนอผลงาน

แผนการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4**

วิชาเคมี 1 (ว30221) **หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 พันธะเคมี**

เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ **จำนวน 2 ชั่วโมง**

---

1. มโนมติ

พันธะโคเวเลนต์โดยส่วนใหญ่เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง และมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกันรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ที่เป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน ดังนั้นเมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน เรียกการยึดเหนี่ยวนี้ว่า พันธะโคเวเลนต์ ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

2.1 อธิบายการเกิดพันธะโคเวเลนต์ได้

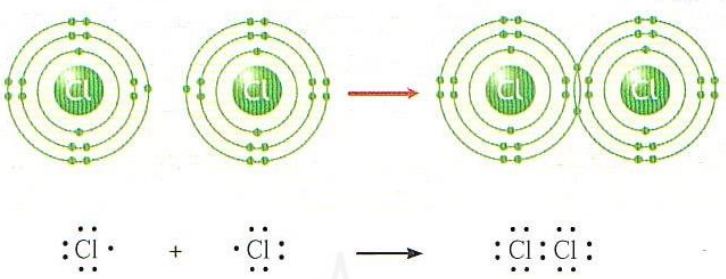
2.2 นำเสนอตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ได้

3. สาระการเรียนรู้

พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง และมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกันรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ที่เป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน ดังนั้นเมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน เรียกการยึดเหนี่ยวนี้ว่า <u>พันธะโคเวเลนต์</u> ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต

ตัวอย่างการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของแก๊สคลอรีน (Cl_2) เป็นดังนี้

ธาตุคลอรีน (Cl) มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 (มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$) ดังนั้นคลอรีนทั้งสองอะตอมจะใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เพื่อให้มีเวเลนซ์-อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต เขียนแผนภาพและสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสแสดงการเกิดพันธะได้ดังนี้

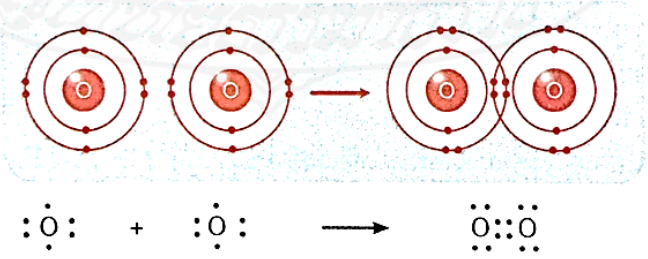


ภาพแสดงการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของแก๊สคลอรีน

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

พันธะโคเวเลนต์ในโมเลกุลแก๊สคลอรีนเกิดจากการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เรียกพันธะนี้ว่า พันธะเดี่ยว (single bond) โดยอิเล็กตรอนคู่ที่ใช้ร่วมกันในการเกิดพันธะ เรียกว่า อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ (bond pair electrons) ส่วนอิเล็กตรอนคู่ที่ไม่ได้เกิดพันธะ เรียกว่า อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone pair electrons) ซึ่งในโมเลกุลแก๊สคลอรีนมีอิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะ 1 คู่ และมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว 6 คู่

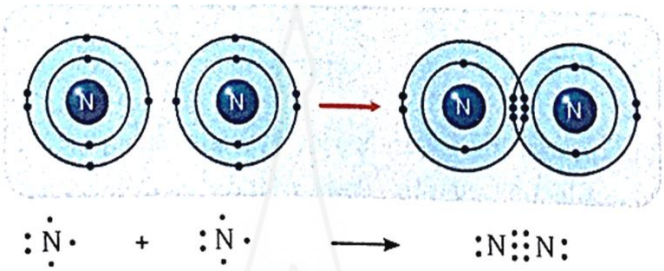
การเกิดพันธะในโมเลกุลแก๊สออกซิเจน (O_2) ออกซิเจนแต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 6 ดังนั้นออกซิเจนทั้งสองอะตอมจะใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ เพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต เกิดพันธะโคเวเลนต์แบบพันธะคู่ (double bond) เขียนแผนภาพและสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสแสดงการเกิดพันธะได้ดังนี้



ภาพแสดงการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของแก๊สออกซิเจน

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

นอกจากนี้ พันธะโคเวเลนต์ยังอาจเป็น พันธะสาม (triple bond) เช่น ในโมเลกุลแก๊สไนโตรเจน (N_2) ไนโตรเจนแต่ละอะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 5 ดังนั้นไนโตรเจนทั้งสองอะตอมจะใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่ เพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต เขียนแผนภาพและสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิสแสดงการเกิดพันธะได้ดังนี้



ภาพแสดงการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของแก๊สไนโตรเจน

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561)

4. กิจกรรมการเรียนรู้ (จัดกลุ่มนักเรียนโดยคละเพศและความสามารถ กลุ่มละ 4 -5 คน)

4.1 ขั้นนำ

1) ครูทบทวนความรู้เดิมของนักเรียน

- ให้นักเรียนยกตัวอย่างสารประกอบไอออนิก

(NaCl, $CaCl_2$, KI)

และถามนักเรียน ดังนี้

- สารประกอบไอออนิกยึดเหนี่ยวกันอย่างไร

(สารประกอบไอออนิกยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไอออนิก ที่เกิดจากอะตอมธาตุโลหะให้อิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนบวกและอะตอมธาตุอโลหะรับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนลบ ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้า)

- การให้อิเล็กตรอนของอะตอมธาตุโลหะเกิดเป็นไอออนบวกและการรับอิเล็กตรอนของธาตุอโลหะเกิดเป็นไอออนลบนั้นเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับการที่อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า

(ทั้งอะตอมธาตุโลหะและอะตอมธาตุอโลหะมีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต ทำให้เกิดความเสถียร)

2) ครูให้นักเรียนดูภาพแก๊สออกซิเจนในน้ำและแก๊สออกซิเจนในอากาศ

ภาพแก๊สออกซิเจนในอากาศและแก๊สออกซิเจนในน้ำ

ที่มา : https://www.mcareshop.com

แล้วใช้คำถามเพื่อเปิดประเด็นการเรียนรู้ว่า “การเกิดพันธะเคมีระหว่างอะตอมของแก๊สออกซิเจนมีการเปลี่ยนแปลงของเวเลนซ์อิเล็กตรอนแตกต่างจากพันธะไอออนิกหรือไม่ อย่างไร ” ให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นผ่าน www.menti.com จากนั้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่มแสดงตัวแทนความคิด (คำตอบขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความรู้เดิมของนักเรียน)

4.2 ขั้นจัดกิจกรรมการเรียนรู้

1) ครูให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอ เรื่อง covalent bonding จาก https://www.youtube.com/watch?v=LkAykOv1foc

2) นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันสืบค้นจากอินเตอร์เนตและในหนังสือเรียน เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ เพิ่มเติมแล้วอภิปรายกับเพื่อนภายในกลุ่ม จากนั้นร่วมกันอภิปรายทั้งชั้นเรียน

3) ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและสรุปเรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ โดยครูถามนักเรียน ด้วยคำถามดังนี้

- คำถามที่ถามนักเรียนในขั้นนำ “การเกิดพันธะเคมีระหว่างอะตอมของออกซิเจนมีการเปลี่ยนแปลงของเวเลนซ์อิเล็กตรอนแตกต่างจากพันธะไอออนิกหรือไม่ อย่างไร”

(ต่างกัน คือ อะตอมของออกซิเจนใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน)

- การยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันนี้เรียกว่าอะไร

(พันธะโคเวเลนต์)

- การเกิดพันธะโคเวเลนต์ เกิดขึ้นได้กี่แบบ อะไรบ้าง

(เกิดได้ 3 แบบ คือ พันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม)

- พันธะเดี่ยว เกิดขึ้นได้อย่างไร พร้อมยกตัวอย่าง

(เกิดจากอะตอมธาตุใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เช่น แก๊สคลอรีน (Cl_2) มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 7 ต้องการอิเล็กตรอนอีก 1 จึงใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต)

- พันธะคู่ เกิดขึ้นได้อย่างไร พร้อมยกตัวอย่าง

(เกิดจากอะตอมธาตุใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ เช่น แก๊สออกซิเจน (O_2) มีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 6 ต้องการอิเล็กตรอนอีก 2 จึงใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ เพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต)

- พันธะสาม เกิดขึ้นได้อย่างไร

(เกิดจากอะตอมธาตุใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่ เช่น แก๊สไนโตรเจน (N_2) มีเวเลนซ์อิเล็กตรนเท่ากับ 5 ต้องการอิเล็กตรอนอีก 3 จึงใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 3 คู่ เพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต)

4.2 ขั้นสรุป

1) ครูตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน โดยให้นักเรียนเขียนสูตรโครงสร้างลิวอิสแสดงการเกิดพันธะโคเวเลนต์ และตรวจสอบว่าสารโคเวลนต์ที่กำหนดให้นั้นเป็นไปตามกฎออกเตตหรือไม่

2) ครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่าธาตุบางชนิดสามารถเกิดพันธะโคเวเลนต์กับอโลหะได้ เช่น Be เกิดเป็นสารโคเวเลนต์คือ $BeCl_2$ เป็นต้น

3) ครูยกตัวอย่างการเกิดแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ที่เกิดจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) รวมตัวกับแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) จากนั้นถามนักเรียนว่า “นักเรียนคิดว่าแอมโมเนียมไอออนที่เกิดจากไฮโดรเจนไอออนรวมตัวกับแก๊สแอมโมเนียนั้น ยึดเหนี่ยวกันอย่างไร” (ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายร่วมกัน จากนั้นร่วมกันอภิปรายทั้งชั้นเรียน)

4) ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการเกิดพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ ว่าสารโคเวเลนต์บางชนิดประกอบด้วยพันธะโคเวเลนต์ที่อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะมาจากอะตอมใดอะตอมหนึ่งเท่านั้น พันธะที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้เรียกว่า <u>พันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์</u>

5) นักเรียนทำกิจกรรมที่ 1 ตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์

(ครูอธิบายการเสนอตัวแทนความคิดให้กับนักเรียน ดังนี้ ตัวแทนความคิด คือ สิ่งที่แสดงออกมาเป็นตัวแทนที่จะสื่อสารหรือแสดงออกถึงความรู้ความเข้าใจจากนามธรรมเป็น

รูปธรรม ซึ่งอาจแสดงได้หลายรูปแบบ เช่น คำอธิบาย การบรรยาย การวาดรูป แผนภาพ สมการ แบบจำลอง บทบาทสมมติ เพื่อแสดงถึงความเข้าใจ

6) นักเรียนบันทึกมโนมติที่ศึกษาและตัวแทนความคิดเรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ลงในสมุดบันทึกของตนเอง

5. การวัดและประเมินผล

สิ่งที่ต้องการวัด	วิธีการวัด	เครื่องมือที่ใช้วัด	เกณฑ์การวัด
มโนมติและตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์	1. ตรวจการนำเสนอตัวแทนความคิดกิจกรรมที่ 1 ตัวแทนความคิดเรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ 2. ใช้คำถาม	1. แบบบันทึกกิจกรรมที่ 1 ตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ 2. การถามตอบ	นักเรียนส่วนใหญ่ได้คะแนนร้อยละ 50 ขึ้นไป ของคะแนนทั้งหมด

6. สื่อ/แหล่งเรียนรู้

1) หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 2 ของสสวท. (2561)

2) power point เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์

3) คลิปวิดีโอ เรื่อง covalent bonding https://www.youtube.com/watch?v=LkAykOv1foc

4) www.menti.com

5) รูป แก๊สออกซิเจนในอากาศและแก๊สออกซิเจนในน้ำ https://www.mcareshop.com

6) กิจกรรมที่ 1 เรื่อง ตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์

7) กระดาษเอ 4

8) โทรศัพท์ smart phone

9) Application: jam board

กิจกรรมที่ 1
ตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์

ชั้น…….. กลุ่มที่ .....

สมาชิก 1) ..... เลขที่ .....

2) ..... เลขที่ .....

❖ จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. เสนอตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ได้

❖ เวลาที่ใช้ทำกิจกรรม

30 นาที

❖ วัสดุและอุปกรณ์ (ต่อ 1 คู่)

รายการ	จำนวน
กระดาษเอ 4	1 แผ่น

❖ ขั้นตอนการทำกิจกรรม

1. ให้นักเรียนจับคู่กันภายในกลุ่มระดมความคิด อภิปรายและนำเสนอตัวแทนความคิดเรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์

2. ให้นักเรียนแต่ละคู่โพสต์ผลงานตัวแทนความคิดลงใน Application: jam board เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้กัน จากนั้นให้นักเรียนโหวตผลงานของเพื่อน

3. นักเรียนคู่ที่มีคะแนนโหวตมากที่สุดนำเสนอผลงาน

แบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิด

วิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เวลา 120 นาที

❖ **คำชี้แจง**

1. แบบวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์และการเสนอตัวแทนความคิดนี้เป็นข้อสอบแบบอัตนัย มีจำนวน 10 ข้อ

2. คำถามในแต่ละข้อมี 2 ส่วน ดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายเพื่อตอบคำถาม

<u>ส่วนที่ 2</u> ให้นักเรียนเสนอตัวแทนความคิดโดยการวาดภาพประกอบคำอธิบาย อาจมีการเขียนคำ ข้อความหรือประโยคประกอบการวาดภาพเพื่อความเข้าใจที่ชัดเจน

3. ให้นักเรียนตั้งใจทำตามความเข้าใจของนักเรียนและทำให้ดีที่สุดเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาการเรียนการสอนต่อไป

ขอขอบคุณในความร่วมมือ

ชื่อ.....ชั้น..... เลขที่.....

1. จงอธิบายความหมายกฎออกเตต พร้อมทั้งเสนอตัวแทนความคิด	
คำอธิบาย	....
ตัวแทน ความคิด	
2. จงอธิบายการเกิดพันธะไอออนิก พร้อมทั้งเสนอตัวแทนความคิด	
คำอธิบาย	....
ตัวแทน ความคิด	

3. จงอธิบายโครงสร้างของสารประกอบไอออนิก พร้อมทั้งเสนอตัวแทนความคิด	
คำอธิบาย	....
ตัวแทน ความคิด	
4. จงอธิบายการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก พร้อมทั้งเสนอตัวแทนความคิด	
คำอธิบาย	....
ตัวแทน ความคิด	

5. จงอธิบายการเกิดพันธะโคเวเลนต์ พร้อมทั้งเสนอตัวแทนความคิด	
คำอธิบาย	....
ตัวแทน ความคิด	
6. จงอธิบายความหมายและเปรียบเทียบความยาวพันธะและพลังงานพันธะของพันธะโคเวเลนต์ชนิดต่าง ๆ พร้อมทั้งเสนอตัวแทนความคิด	
คำอธิบาย	....
ตัวแทน ความคิด	

7. จงอธิบายการคาดคะเนรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์โดยใช้ทฤษฎีการผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์ (Valence Shell Electron Pair Repulsion theory : VSEPR theory) พร้อมทั้งเสนอตัวแทนความคิด	
คำอธิบาย	....
ตัวแทนความคิด	
8. จงอธิบายสภาพขั้วของพันธะโคเวเลนต์และสภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ พร้อมทั้งเสนอตัวแทนความคิด	
คำอธิบาย	....
ตัวแทนความคิด	

9. จงอธิบายและเปรียบเทียบแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ชนิดต่าง ๆ พร้อมทั้งเสนอตัวแทนความคิด	
คำอธิบาย	....
ตัวแทนความคิด	
10. จงอธิบายการเกิดพันธะโลหะ พร้อมทั้งเสนอตัวแทนความคิด	
คำอธิบาย	....
ตัวแทนความคิด	

เกณฑ์การวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์
วิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

จงอธิบายการเกิดพันธะโคเวเลนต์

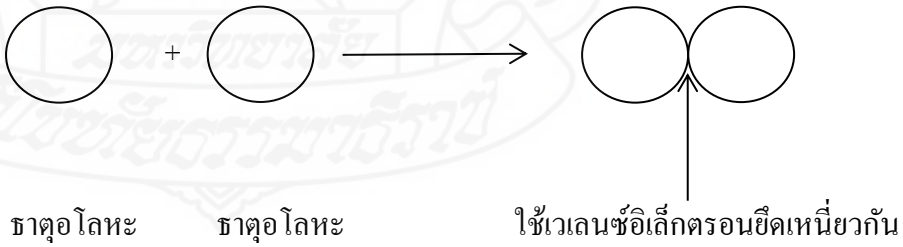
ระดับการวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์	ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบ
1. มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Understanding, SU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีมโนมติสอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์ทุกองค์ประกอบ	คำตอบนักเรียนถูกต้องและสมบูรณ์ ครบทุกองค์ประกอบคือ พันธะโคเวเลนต์เกิดจาก 1. อะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง และมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกัน 2. รวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอมที่เป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน 3. เมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์-อิเล็กตรอนร่วมกัน 4. โดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต	พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง และมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกันรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ซึ่งอาจเป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน ดังนั้นเมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต
2. มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding, PU) คือคำตอบของนักเรียนที่แสดงว่ามีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้อง	คำตอบนักเรียนถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ คืออธิบายถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบ	<u>แบบที่ 1</u> พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง และมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกันรวมตัวกัน ดังนั้นเมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วย

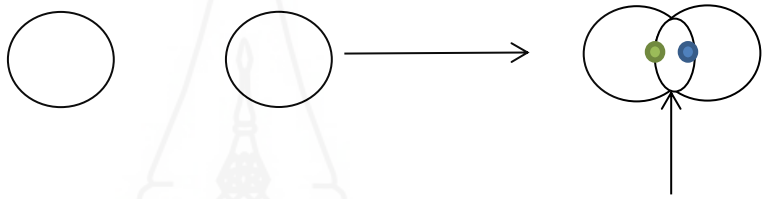
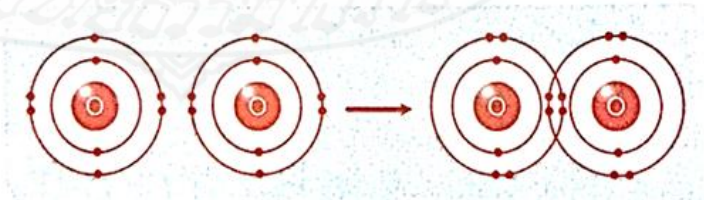
ระดับการวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์	ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบ
กับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบ		อัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต <u>แบบที่ 2</u> พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ซึ่งอาจเป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน อะตอมยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต <u>แบบที่ 3</u> พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ซึ่งอาจเป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน ยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน
3. มีความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนมติคลาดเคลื่อน (Partial Understanding with specific Misconception, PU & MU) คือ คำตอบของนักเรียนที่แสดงว่ามีมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์อย่างน้อย 1 องค์ประกอบและบางส่วนที่ไม่สอดคล้องหรือคลาดเคลื่อนจากมโนมติทางวิทยาศาสตร์	คำตอบของนักเรียนถูกต้องอย่างน้อย 1 องค์ประกอบและมีมโนมติคลาดเคลื่อน	<u>แบบที่ 1</u> พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันสูง และมีค่าอิเล็กโทรเนกาติวิตีสูงและใกล้เคียงกันรวมตัวกัน ดังนั้นเมื่อรวมตัวกันจะไม่มีอะตอมใดยอมเสียอิเล็กตรอน อะตอมจึงยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตต และ(เป็นคำตอบอื่นที่เป็นมโนมติคลาดเคลื่อน).....

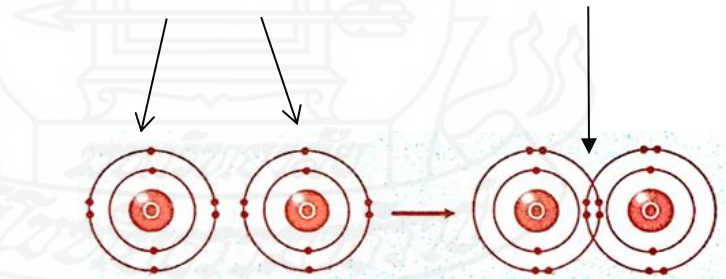
ระดับการวัดความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์	ลักษณะคำตอบ	ตัวอย่างคำตอบ
		<u>แบบที่ 2</u> พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ซึ่งอาจเป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน อะตอมยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน ซึ่งโดยทั่วไปอะตอมจะรวมกันด้วยอัตราส่วนที่ทำให้อะตอมมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนครบ 8 ตามกฎออกเตตและ.... (เป็นคำตอบอื่นที่เป็นมโนมติคลาดเคลื่อน)..... <u>แบบที่ 3</u> พันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะรวมตัวกันตั้งแต่ 2 อะตอม ซึ่งอาจเป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน ยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน และ(เป็นคำตอบอื่นที่เป็นมโนมติคลาดเคลื่อน).....
4. มโนมติคลาดเคลื่อน (Misconception, MU) คือ คำตอบของนักเรียนที่แสดงมโนมติที่ไม่สอดคล้องหรือคลาดเคลื่อนจากมโนมติที่เป็นที่ยอมรับและไม่สอดคล้องกับมโนมติของนักวิทยาศาสตร์	คำตอบนักเรียนเป็นมโนมติคลาดเคลื่อนทั้งหมด	คำตอบเป็นมโนมติคลาดเคลื่อนทั้งหมด
5. ไม่เข้าใจมโนมติ (No Understanding, NU) คือ การที่นักเรียนไม่ตอบคำถาม ตอบคำถามในลักษณะทวนคำถามหรือตอบคำถามไม่ตรงประเด็น	คำตอบนักเรียนตอบไม่ตรงคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม	ตอบไม่ตรงคำถาม หรือไม่ตอบคำถาม

เกณฑ์การวัดการเสนอตัวแทนความคิด
วิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

จงอธิบายการเกิดพันธะโคเวเลนต์

ระดับที่	ระดับความสามารถในการแสดงออก	คุณลักษณะ
1	การเสนอตัวแทนความคิดโดยการบรรยาย (Representation as Depiction)	- สามารถเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์นั้นโดยใช้การบรรยายให้เห็นภาพในลักษณะทางกายภาพหรือระดับมหภาคเท่านั้น - ตัวอย่างเช่น เขียนบรรยายแค่เพียงว่าพันธะโคเวเลนต์เกิดจากอะตอมของธาตุอโลหะกับอะตอมของธาตุอโลหะมารวมตัวกัน ยึดเหนี่ยวกันโดยใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน
2	การเสนอทักษะสัญลักษณ์ระดับต้น (Early Symbolic Skills)	- สามารถเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ต่างๆ ในลักษณะทางกายภาพหรือระดับมหภาค มีการใช้สัญลักษณ์ร่วมด้วย หรืออาจมีการอธิบาย โดยไม่คำนึงถึงความหมายของคำและเรียบเรียงให้เป็นประโยค - ตัวอย่างเช่น 

<table>
<tr><th>ระดับที่</th><th>ระดับความสามารถในการแสดงออก</th><th>คุณลักษณะ</th></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">การสร้างประโยคของรูปแบบตัวแทนความคิด (Syntactic Use of Formal Representations)</td><td>สามารถเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในลักษณะทางกายภาพหรือที่สังเกตได้ (ระดับมหภาค) และสิ่งที่สังเกตด้วยตาเปล่าไม่ได้ (ระดับจุลภาค) หรือมีการเสนอตัวแทนความคิดที่เน้นคำที่ใช้มากกว่าการให้ความหมายของตัวแทนความคิดนั้น ซึ่งอาจไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์</td></tr>
<tr><td>- ตัวอย่างเช่น
 
ธาตุอโลหะ ธาตุอโลหะ เวเลนซ์อิเล็กตรอนยึดเหนี่ยวกัน
เกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">การให้ความหมายของรูปแบบตัวแทนความคิด (Semantic Use of Formal Representations)</td><td>สามารถเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ที่สังเกตไม่ได้ด้วยตาเปล่า (ระดับจุลภาค) สามารถใช้รูปแบบของตัวแทนความคิดโดยสร้างประโยคและความหมายของคำ ซึ่งสามารถเสนอตัวแทนความคิดโดยเข้าใจความหมายของตัวแทนความคิดนั้นอย่างแท้จริง และสอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์</td></tr>
<tr><td>- ตัวอย่างเช่น
ยกตัวอย่างแก๊สออกซิเจน
 
ธาตุออกซิเจน ธาตุออกซิเจน โมเลกุลแก๊สออกซิเจน
(ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์แบบพันธะคู่)</td></tr>
</table>

ระดับที่	ระดับความสามารถในการแสดงออก	คุณลักษณะ
5	การสะท้อนถึงการใช้ตัวแทนความคิด (Reflective, Rhetorical Use of Representations)	สามารถเสนอตัวแทนความคิดเพื่ออธิบายปรากฏการณ์หนึ่ง ๆ ได้มากกว่า 1 ตัวแทนความคิด เพื่อแสดงถึงการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของสารทั้ง 3 ระดับ (ระดับมหภาค ระดับจุลภาค ระดับสัญลักษณ์) ได้สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ หรืออาจจะสามารถเลือกใช้ตัวแทนความคิดที่ดีที่สุดในการอธิบายปรากฏการณ์
		- ตัวอย่างเช่น ยกตัวอย่างแก๊สออกซิเจนในอากาศที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ ใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน 2 คู่ เวเลนซ์อิเล็กตรอน ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์แบบพันธะคู่  ธาตุออกซิเจน (O) ธาตุออกซิเจน (O) โมเลกุลแก๊สออกซิเจน (O_2) 2, 6 2, 6 2, 8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางศศิธร เต็มสิริโชติ
วัน เดือน ปีเกิด	21 ธันวาคม 2523
สถานที่เกิด	อำเภอลอง จังหวัดแพร่
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี)
	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ.2545
สถานที่ทำงาน	โรงเรียนลองวิทยา อำเภอลอง จังหวัดแพร่
ตำแหน่ง	ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการพิเศษ