



การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

ร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้

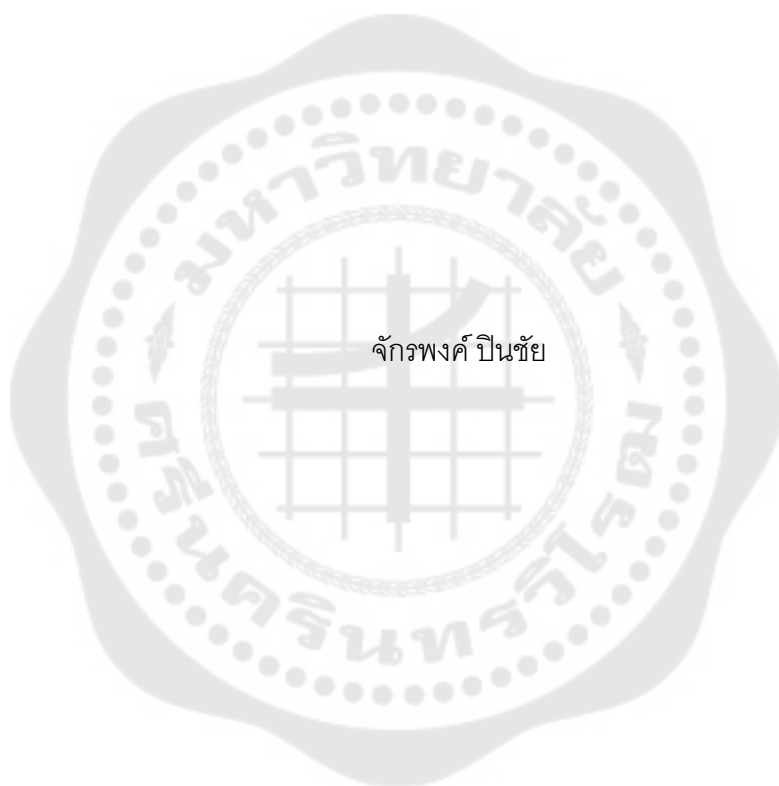
DEVELOPMENT OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS'
CONSTRUCTING SCIENTIFIC EXPLANATIONS ON GASES TOPIC

จักรพงศ์ ปิ่นชัย

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2566

การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน
ร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

DEVELOPMENT OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS'
CONSTRUCTING SCIENTIFIC EXPLANATIONS ON GASES TOPIC
USING MODEL-BASED INQUIRY WITH SCAFFOLDING TECHNIQUE



JAKKRAPONG PINCHAI

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

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2023

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

ร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้

ของ

จักรพงศ์ ปินชัย

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.ณวรา สีที)

..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกรัตน์ ทานาค)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ณวรา สีที)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรยา ดาสา)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
ผู้วิจัย	จักรพงศ์ ปินชัย
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ณวรา สิริ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เป็นผลมาจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ด้วยการวิจัยผลานวิธีแบบแผนคู่ขนาน กลุ่มที่ศึกษา คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 38 คน ได้มาจากการเลือกตามความสะดวก จากโรงเรียนสหศึกษานานาชาติใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร นักเรียนกลุ่มนี้มีผลการเรียนวิชาเคมีอยู่ในระดับปานกลาง (เกรด 2.0-2.5) เครื่องมือวิจัย ได้แก่ (1) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส (2) แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และ (3) แบบบันทึกการสังเกตชั้นเรียน วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เนื้อหาแบบอุปนัย ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนร้อยละ 56.67 สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี ที่เหลือร้อยละ 43.33 อยู่ในระดับควรปรับปรุง เมื่อพิจารณาแยกรายองค์ประกอบ นักเรียนส่วนใหญ่ ร้อยละ 93.34 สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้านข้อกล่าวอ้างอยู่ในระดับดีมาก ร้อยละ 3.33 อยู่ในระดับดี และร้อยละ 3.33 อยู่ในระดับควรปรับปรุง ด้านหลักฐานและการให้เหตุผล นักเรียนส่วนใหญ่ ร้อยละ 70 อยู่ในระดับควรปรับปรุง ที่เหลือร้อยละ 30 อยู่ในระดับดี ผลการวิจัยสะท้อนว่า การเสริมต่อการเรียนรู้โดยใช้ใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีคำถามชี้แนะที่จำเพาะกับสถานการณ์ช่วยให้นักเรียนกลุ่มนี้ที่มีผลการเรียนวิชาเคมีในระดับปานกลางสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีองค์ประกอบครบถ้วนทั้งสามองค์ประกอบได้ โดยช่วยให้นักเรียนสร้างข้อกล่าวอ้างได้สมบูรณ์ แต่ช่วยให้ระบุหลักฐานและให้เหตุผลได้บางส่วน ข้อกล่าวอ้างแบบสมบูรณ์ของนักเรียนจะเขียนแสดงในทั้งรูปแบบที่เป็นประโยค และกลุ่มคำ หลักฐานที่นักเรียนเลือกมาสสนับสนุนข้อกล่าวอ้างนั้นมักเป็นหลักฐานที่ลงมือรวบรวมด้วยตนเอง และมักเป็นหลักฐานที่มีคำหรือข้อความระบุไว้อย่างชัดเจน ในด้านการให้เหตุผล นักเรียนจะระบุเพียงหลักการทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง และส่วนใหญ่จะระบุเพียงหลักการเพิ่มเติม ที่ปรากฏในข้อมูลประกอบสถานการณ์ นอกจากนี้ ยังพบว่านักเรียนกลุ่มนี้ต้องการคำชี้แนะที่เฉพาะเจาะจงกับสถานการณ์เพื่อช่วยในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ : การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์, การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน, แก๊ส, เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้

Title	DEVELOPMENT OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS' CONSTRUCTING SCIENTIFIC EXPLANATIONS ON GASES TOPIC USING MODEL-BASED INQUIRY WITH SCAFFOLDING TECHNIQUE
Author	JAKKRAPONG PINCHAI
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2023
Thesis Advisor	Dr. Navara Seetee

The purpose of this research is to study upper secondary school students' construction of scientific explanations on the topic of gases after learning through model-based inquiry with a scaffolding technique (MBI-ST). A convergent mixed methods design was employed in this study. The participants were 38 eleventh-grade students in a Science-Mathematics classroom from an extra-large public school in Bangkok, obtained by convenience sampling. They have medium grade in Chemistry (2.0-2.5). The research tools included: (1) MBI-ST lesson plans on gases as a topic; (2) a scientific explanation test with a confidence level at 0.73; and (3) a classroom observation report. The quantitative data was analyzed by mean, percentage, and standard deviation. The inductive content analysis was used for analyzing the qualitative data. The results found that 56.67% of students can construct scientific explanations at a good level while 43.33% needed an improvement. Considering each component of scientific explanation, 93.34% of students made a claim at a very good level, 3.33% at a good level and 3.33% at a need of improvement level. In choosing evidence and giving reasoning, the results were the same. 70.00% of students chose evidence and gave a reasoning at a need of improvement level, while 30.00% at a good level. The results revealed that using specific guiding questions on scaffolding worksheets as scaffolding techniques can support students with a medium grade in Chemistry to construct full scientific explanations. However, the scaffolding technique helps them only make a complete claim, the other components are partially complete. Students' complete claims are in several forms, including complete sentences, noun phrases and single word. Students use evidence collected by themselves to support their claims, often choose evidence with clearly stated words or messages. For reasoning, students can write the appropriate principle as shown in the question detail but struggle to logically connect between the claim and evidence. In summary, it was found that students need specific guiding questions to support them in constructing scientific explanations.

Keyword : Construction of Scientific Explanations, Model-based inquiry, Gases, Scaffolding techniques

กิตติกรรมประกาศ

การทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ณวรา สิริ เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา รวมทั้งคอยให้ความช่วยเหลือและชี้แนะแนวทางในสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ด้วยความเอาใจใส่ตลอดมา แม้ว่าผู้วิจัยจะทำงานได้ล่าช้ากว่าที่กำหนดไว้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เอกรัตน์ ทานาค ประธานคณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรยา ตาสา กรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมแก่ผู้วิจัย ในการพัฒนารูปเล่มปริญญานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของทฤษฎีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ผู้วิจัยยังขาดประสบการณ์

ขอกราบขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญในการประเมินคุณภาพเครื่องมือวิจัยทุกท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาติดา จุณวัฒน์กุล รองศาสตราจารย์ ดร.ลฎาภา ลดาชาติ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา นุกุลธรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ร่มเกล้า จันทราษี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สลา สามภักดี ดร.กรกนก เลิศเดชาภัทร ดร.พิริยะ วรรณไทย และอาจารย์ นนทน ฤทธิเลิศ ที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์สำหรับการปรับแก้ไขข้อบกพร่อง จนเครื่องมือวิจัยมีคุณภาพเหมาะสมและสามารถนำไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ศูนย์วิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่าง ๆ ให้แก่ผู้วิจัยอย่างละเอียดและลึกซึ้ง จนผู้วิจัยสามารถนำความรู้เหล่านั้นมาปรับใช้ในการทำวิจัยด้วยตนเองได้

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารและคุณครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ที่ให้การต้อนรับและดูแลผู้วิจัยเป็นอย่างดี ตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการเก็บข้อมูล

ขอขอบคุณนายพลกร จันทรบุรณ ครูผู้สอนวิชาเคมี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ตอบรับเข้าร่วมการทำวิจัย และขอขอบคุณนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/6 และ 5/7 ทุกคน ที่ตั้งใจและให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ ตลอดภาคการศึกษาที่ผ่านมา แม้ว่าบางกิจกรรมจะให้นักเรียนเกิดความเหนื่อยล้าไปบ้าง

ขอขอบคุณที่ ๆ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา และเพื่อนร่วมงานทุกท่าน ณ โรงเรียนหญิงล้วนแห่งหนึ่ง ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ที่คอยถามไถ่ ให้กำลังใจ และอำนวยความสะดวกในการแลกเปลี่ยน เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถไปเก็บข้อมูลวิจัยได้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และบุคลากรอีกหลายท่านที่ผู้วิจัยไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงปู่ ย่า พ่อ แม่ และขอขอบคุณน้องสาว ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

จักรพงศ์ ปิ่นชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูปภาพ.....	ท
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1. ภูมิหลัง	1
2. คำถามการวิจัย	9
3. ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	9
4. ความสำคัญของการวิจัย.....	9
5. ขอบเขตของการวิจัย	10
6. นิยามศัพท์เฉพาะ	10
7. กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	13
8. สมมติฐานในการวิจัย.....	14
บทที่ 2	15
ทบทวนวรรณกรรม	15
1. การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์.....	16
1.1 ความหมายและองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์.....	16
1.2 ความสำคัญของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์.....	20

1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์.....	22
1.4 การจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์.....	24
1.5 การวัดและประเมินผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์.....	29
2. การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	36
2.1 ความหมายของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	36
2.2 ความสำคัญของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	37
2.3 ที่มาของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	38
2.4 ลักษณะสำคัญของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	40
2.5 กระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	40
3. เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้	48
3.1 ความหมายของเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้	48
3.2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้	49
3.3 ลักษณะสำคัญของเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้	49
3.4 ตัวอย่างการใช้เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ในการส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์.....	50
4. แนวคิด เรื่อง แก๊ส.....	54
4.1 ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมตามหลักสูตร.....	54
4.2 การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เรื่องแก๊ส	60
บทที่ 3	64
วิธีดำเนินการวิจัย	64
1. แบบแผนการวิจัย	64
2. กลุ่มที่ศึกษา	65
3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	65

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการจัดกระทำ	65
3.2 เครื่องที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล	82
4. การเก็บรวบรวมข้อมูล	86
5. การจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูล	90
5.1 การจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ	92
5.2 การจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ	97
6. สถิติที่ใช้	99
6.1 ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity)	100
6.2 ความยากง่าย (Item Difficulty)	100
6.3 อำนาจจำแนก (Discrimination; R_i)	101
6.4 ความเชื่อมั่น (Reliability)	102
6.5 ร้อยละ (Percentage; %)	103
6.6 ค่าเฉลี่ย (Mean; $\bar{X}$)	103
6.7 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; S.D.)	103
7. จริยธรรมของการวิจัย	104
บทที่ 4	106
ผลการศึกษา	106
1. การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม	106
2. การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แยกตามองค์ประกอบ	122
2.1 ข้อกล่าวอ้าง	122
2.2 หลักฐาน	128
2.3 การให้เหตุผล	141
3. ข้อสังเกตจากการเก็บรวบรวมข้อมูล	153

3.1 การใช้แผนการจัดการเรียนรู้ไม่ต่อเนื่องและใช้เวลามากกว่าที่กำหนดไว้.....	153
3.2 การแก้ไขแบบจำลองของนักเรียนต้องอาศัยแรงจูงใจ	156
3.3 การสร้างแบบจำลองต้องการนักเรียนที่มีความสามารถในการวาดรูปอยู่ในกลุ่ม.....	159
3.4 การกำหนดประเด็นที่สนใจ การออกแบบขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลและ	160
การเขียนสมมติฐานต้องอาศัยการชี้แนะจากครูผู้สอน.....	160
3.5 การตอบคำถาม การสร้างแบบจำลอง และการจัดบันทึกข้อมูลลงในใบกิจกรรมเป็น ประจำช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ระดับดีมากได้.....	162
บทที่ 5	167
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	167
1. สรุปผลการวิจัย	168
2. อภิปรายผลการวิจัย	168
3. ข้อเสนอแนะ.....	176
3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้	176
3.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	177
บรรณานุกรม.....	178
ภาคผนวก.....	187
ภาคผนวก ก	188
ภาคผนวก ข.....	200
ภาคผนวก ค	216
ภาคผนวก ง	277
ประวัติผู้เขียน.....	293

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 เกณฑ์การให้คะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แยกตามองค์ประกอบทั่วไป	32
ตาราง 2 ระยะการช่วยเหลือนักเรียนเพื่อสร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	52
ตาราง 3 จำนวนผลการเรียนรู้ทั้งหมด กับ จำนวนและร้อยละของผลการเรียนรู้ที่กำหนดให้อธิบาย	55
ตาราง 4 มโนทัศน์หลักที่ปรากฏในผลการเรียนรู้และคำอธิบาย เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส	56
ตาราง 5 จุดประสงค์และพฤติกรรมการเรียนรู้ตามผลการเรียนรู้ เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส	57
ตาราง 6 ตัวอย่างกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส	59
ตาราง 7 รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	66
ตาราง 8 ระดับการเสริมต่อการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส	70
ตาราง 9 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส	71
ตาราง 10 รายละเอียดของข้อความชี้แนะที่ระบุในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แต่ละระดับ	73
ตาราง 11 การแปลความหมายคะแนนความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้	74
ตาราง 12 การแปลความหมายค่าเฉลี่ยความเหมาะสมต่อการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้	74
ตาราง 13 สัดส่วนจำนวนข้อของแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส	79
ตาราง 14 สถานการณ์และคุณภาพของแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ	82
ตาราง 15 สัดส่วนจำนวนข้อของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส	83
ตาราง 16 สถานการณ์และคุณภาพของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ	86
ตาราง 17 ลำดับการใช้แผนการจัดการเรียนรู้	88

ตาราง 18 เกณฑ์การแบ่งระดับคุณภาพการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม	92
ตาราง 19 คะแนนและระดับคุณภาพการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมของ นักเรียนรายบุคคล	107
ตาราง 20 จำนวนและร้อยละของนักเรียนตามระดับคุณภาพของการสร้างคำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์โดยภาพรวม	107
ตาราง 21 จำนวนและร้อยละของนักเรียนที่สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ในระดับต่าง ๆ ..	108
ตาราง 22 จำนวนนักเรียนตามรูปแบบของคะแนนที่ได้รับในแบบวัดแต่ละข้อ	109
ตาราง 23 จำนวนนักเรียนตามรูปแบบของคะแนนที่ได้รับในแบบทดสอบแต่ละข้อ	113
ตาราง 24 คะแนนและระดับคุณภาพการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามองค์ประกอบ ด้านข้อกล่าวอ้างของนักเรียนรายบุคคล	123
ตาราง 25 จำนวนและร้อยละของนักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ด้านข้อกล่าวอ้างในระดับคุณภาพต่าง ๆ	124
ตาราง 26 จำนวนนักเรียนที่สร้างข้อกล่าวอ้างได้ในระดับต่าง ๆ แยกตามแบบทดสอบและแบบวัด	124
ตาราง 27 คะแนนและระดับคุณภาพการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามองค์ประกอบ ด้านหลักฐานของนักเรียนรายบุคคล	129
ตาราง 28 จำนวนและร้อยละของนักเรียนที่มีคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้านหลักฐานในระดับ คุณภาพต่าง ๆ	130
ตาราง 29 จำนวนนักเรียนที่สร้างหลักฐานได้ในระดับต่าง ๆ แยกตามแบบทดสอบและแบบวัด	130
ตาราง 30 คะแนนและระดับคุณภาพการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามองค์ประกอบ ด้านการให้เหตุผลของนักเรียนรายบุคคล	141
ตาราง 31 จำนวนและร้อยละของนักเรียนที่มีคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้านการให้เหตุผล ในระดับคุณภาพต่าง ๆ	142
ตาราง 32 จำนวนนักเรียนที่สร้างการให้เหตุผลได้ในระดับต่าง ๆ แยกตามแบบทดสอบและแบบวัด	143

ตาราง 33 คะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จำนวน และร้อยละของนักเรียนที่สร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ในระดับคุณภาพต่าง ๆ	152
ตาราง 44 ค่าดัชนีความสอดคล้องขององค์ประกอบในแผนการจัดการเรียนรู้	201
ตาราง 45 ค่าความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้	206
ตาราง 46 ความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามในแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์กับนิยามเชิงปฏิบัติการ	210
ตาราง 47 ความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	210
ตาราง 48 ความยากง่าย และอำนาจจำแนกของแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	212
ตาราง 49 ความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามในแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์กับนิยามเชิงปฏิบัติการ	212
ตาราง 50 ความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	213
ตาราง 51 ความยากง่าย และอำนาจจำแนกของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	214
ตาราง 52 การเปรียบเทียบระยะเวลาการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ตามที่ออกแบบและตามที่น่าไปใช้งานจริง	278
ตาราง 55 คะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ	287
ตาราง 56 คะแนนการสร้างข้อกล่าวอ้างของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดรายข้อ	288
ตาราง 57 คะแนนการเลือกหลักฐานของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดรายข้อ	290
ตาราง 58 คะแนนการให้เหตุผลของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดรายข้อ	291

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	13
ภาพประกอบ 2 แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบอัตนัย	30
ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบปรนัย	31
ภาพประกอบ 4 แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบผสม.....	31
ภาพประกอบ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลอง คำอธิบาย ปรัชญาการณ	39
ภาพประกอบ 6 กิจกรรมการสนทนาที่สนับสนุนการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	42
ภาพประกอบ 7 Road map for model-based inquiry (MBI).....	45
ภาพประกอบ 8 แผนภาพ KLEWS	51
ภาพประกอบ 9 ตัวอย่างตารางและข้อความที่ใช้ในการเสริมต่อการเรียนรู้.....	51
ภาพประกอบ 10 แบบแผนการวิจัย	64
ภาพประกอบ 11 การพูดคุยเตรียมความพร้อมก่อนจัดการเรียนรู้	87
ภาพประกอบ 12 ระดับการเสริมต่อการเรียนรู้ตามผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์.....	91
ภาพประกอบ 13 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 2 0 0 ในกรณีที่สามารถได้เฉพาะข้อกล่าวอ้างที่สมบูรณ์.....	110
ภาพประกอบ 14 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 2 0 0 ในกรณีที่สร้างข้อกล่าวอ้างที่สมบูรณ์ แต่เลือกหลักฐานและให้เหตุผลได้ไม่สอดคล้อง	111
ภาพประกอบ 15 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 2 1 1.....	112
ภาพประกอบ 16 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 2 1 0.....	112
ภาพประกอบ 17 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 2 2 2.....	114
ภาพประกอบ 18 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 1 2 2	114

ภาพประกอบ 19 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 1 0 1	115
ภาพประกอบ 20 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 0 1 1	115
ภาพประกอบ 21 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แยกตามองค์ประกอบของนักเรียน S12	117
ภาพประกอบ 22 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบรวมทุกองค์ประกอบของนักเรียน S12.....	118
ภาพประกอบ 23 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แยกตามองค์ประกอบของนักเรียน S16	119
ภาพประกอบ 24 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบรวมทุกองค์ประกอบของนักเรียน S16.....	120
ภาพประกอบ 25 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในลักษณะของการตั้งสมมติฐาน.....	121
ภาพประกอบ 26 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในลักษณะของการตั้งสมมติฐาน.....	122
ภาพประกอบ 27 ตัวอย่างข้อกล่าวอ้างในรูปแบบประโยค จากแบบทดสอบข้อที่ 5 แบบวัดข้อที่ 3	125
ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างข้อกล่าวอ้างในรูปแบบคำจากแบบทดสอบข้อที่ 5 และแบบวัดข้อที่ 1	125
ภาพประกอบ 29 การระบุข้อกล่าวอ้างในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบแยกองค์ประกอบ.....	126
ภาพประกอบ 30 การระบุข้อกล่าวอ้างในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบรวมองค์ประกอบ	127
ภาพประกอบ 31 ตัวอย่างการเขียนตอบคำถามสำคัญในหน้าแรกของใบกิจกรรมสืบเสาะ	128
ภาพประกอบ 32 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่มีการระบุหลักฐาน.....	131
ภาพประกอบ 33 การระบุหลักฐานในลักษณะที่บอกเฉพาะแหล่งที่มาของข้อมูล	131
ภาพประกอบ 34 การระบุหลักฐานในลักษณะที่บอกทั้งที่มาและรายละเอียดของข้อมูล	132
ภาพประกอบ 35 การระบุหลักฐานในใบกิจกรรมเสริมต่อที่บอกทั้งที่มาและรายละเอียดของข้อมูล	132
ภาพประกอบ 36 การระบุหลักฐานในใบกิจกรรมเสริมต่อที่บอกเฉพาะที่มาของข้อมูล	133
ภาพประกอบ 37 การเชื่อมโยงหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง โดยไม่มีกฎของแก๊สมารับ	133

ภาพประกอบ 38 การระบุหลักฐานในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อ	134
ภาพประกอบ 39 การระบุหลักฐานในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อ	135
ภาพประกอบ 40 การระบุหลักฐานในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อ	135
ภาพประกอบ 41 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในใบกิจกรรมเสริมต่อที่ไม่มีการระบุหลักฐาน	136
ภาพประกอบ 42 ข้อมูลประกอบสถานการณ์ และการระบุหลักฐานที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องร่วมกัน	137
ภาพประกอบ 43 การเลือกหลักฐานลงมาสับสนุนข้อกล่าวอ้างในแบบทดสอบท้ายแผน	138
ภาพประกอบ 44 การเลือกหลักฐานลงมาสับสนุนข้อกล่าวอ้างในแบบวัด	139
ภาพประกอบ 45 ข้อมูลประกอบสถานการณ์ และการเลือกหลักฐานถูกต้อง แต่ไม่ครบถ้วน	140
ภาพประกอบ 46 การจัดบันทึกข้อมูลที่รวบรวมได้ด้วยรูปภาพในใบกิจกรรมสืบเสาะที่ 3.....	141
ภาพประกอบ 47 การให้เหตุผลในแบบทดสอบที่แสดงเฉพาะหลักการทางวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม	144
ภาพประกอบ 48 การให้เหตุผลในแบบทดสอบที่แสดงเฉพาะหลักการทางวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม	145
ภาพประกอบ 49 การให้เหตุผลที่ระบุหลักการครบถ้วน แต่เชื่อมโยงหลักฐานเพียงบางส่วน... ..	146
ภาพประกอบ 50 การให้เหตุผลที่ระบุเพียงหลักการเพิ่มเติม และเชื่อมโยงหลักฐานเพียงบางส่วน	147
ภาพประกอบ 51 การให้เหตุผลที่ระบุเพียงหลักการเพิ่มเติม และเชื่อมโยงหลักฐานเพียงบางส่วน	147
ภาพประกอบ 52 การให้เหตุผลที่มีการระบุหลักฐานคลาดเคลื่อน แต่ใช้หลักการที่ถูกต้อง.....	148
ภาพประกอบ 53 การให้เหตุผลที่ไม่มีหลักการทางวิทยาศาสตร์รองรับ	148
ภาพประกอบ 54 การให้เหตุผลในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อที่มีหลักการเชื่อมโยงหลักฐาน	149
ภาพประกอบ 55 การให้เหตุผลในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อที่มีหลักการเชื่อมโยงหลักฐาน	150

ภาพประกอบ 56 การให้เหตุผลในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อที่มีเฉพาะหลักการ	150
ภาพประกอบ 57 การเปรียบเทียบตารางสรุประหว่างนักเรียนสองกลุ่มที่เขียนเหมือนกัน	151
ภาพประกอบ 58 การวาดแบบจำลองในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 กฎของบอยล์	157
ภาพประกอบ 59 การวาดแบบจำลองในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 กฎความดันย่อยของดอลตัน	157
ภาพประกอบ 60 การวาดแบบจำลองเบื้องต้นที่ยังไม่มีการระบุหลักการทางวิทยาศาสตร์	158
ภาพประกอบ 61 การปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองครั้งที่ 1 ซึ่งมีการระบุหลักการทางวิทยาศาสตร์ และเชื่อมโยงถึงสถานการณ์ที่ศึกษา	158
ภาพประกอบ 62 การปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองครั้งสุดท้าย	159
ภาพประกอบ 63 ตัวอย่างแบบจำลองเบื้องต้นที่นักเรียนสร้าง	160
ภาพประกอบ 64 การตั้งสมมติฐานเพื่อการสืบเสาะหาข้อมูลของนักเรียน	161
ภาพประกอบ 65 การออกแบบขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล	161
ภาพประกอบ 66 การสร้างแบบจำลองเบื้องต้นของนักเรียนในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 และ 3	163
ภาพประกอบ 67 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ถูชนมนบนยอดดอย ของนักเรียน S12	163
ภาพประกอบ 68 การจดบันทึกในใบกิจกรรมสืบเสาะของนักเรียน S16	164
ภาพประกอบ 69 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊สออกซิเจนบนยอดดอยภูเขา ของนักเรียน S16	165
ภาพประกอบ 70 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กลิ่นดอกไม้ ของนักเรียน S01	166
ภาพประกอบ 71 ตัวอย่างบันทึกการสังเกตชั้นเรียน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3	271
ภาพประกอบ 72 ตัวอย่างบันทึกการสังเกตชั้นเรียน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 (ต่อ)	272
ภาพประกอบ 73 ตัวอย่างบันทึกการสังเกตชั้นเรียน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 (ต่อ)	273
ภาพประกอบ 74 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากแบบวัดข้อที่ 2 ของนักเรียน S26	274
ภาพประกอบ 75 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากแบบวัดข้อที่ 3 แบ่งพิชชาหลังอบ	275
ภาพประกอบ 76 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากแบบวัดข้อที่ 4 ของนักเรียน S14	276

ภาพประกอบ 77 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากแบบวัดข้อที่ 4 ของนักเรียน S29	276
ภาพประกอบ 78 การทดลองปฏิกิริยาระหว่างเบกกิ้งโซดาและน้ำส้มสายชู	280
ภาพประกอบ 79 การทำความเข้าใจสถานการณ์ “การหายใจเข้า” ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2	281
ภาพประกอบ 80 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของแก๊ส	282
ภาพประกอบ 81 การสร้างแบบจำลองเบื้องต้น และการสืบเสาะหาข้อมูลจากข่าว	283
ภาพประกอบ 82 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันรวมและความดันย่อยของแก๊ส	284
ภาพประกอบ 83 การทดลองการแพร่ของแก๊ส โดยใช้ชุดทดลองเคมีย่อส่วน	285
ภาพประกอบ 84 การทำแบบทดสอบ และ แบบวัด การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์.....	286



บทที่ 1

บทนำ

1. ภูมิหลัง

วิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญอย่างหนึ่ง คือ การอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้น อย่างสมเหตุสมผล โดยมีหลักฐานเชิงประจักษ์ที่น่าเชื่อถือมาสนับสนุน (Ningsi, Suhandi, Kaniawati, & Samsudin, 2019) การเรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงเป็นการทำความเข้าใจปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น แล้วสร้างคำอธิบายเกี่ยวกับสาเหตุหรือผลกระทบของปรากฏการณ์นั้น ๆ โดยมุ่งเน้นให้นักเรียนได้แสดงพฤติกรรมที่คล้ายพฤติกรรมกับการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ คือ สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการที่หลากหลายและสื่อสารความรู้ที่ได้ให้บุคคลอื่นรับรู้ ซึ่งจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจวิทยาศาสตร์อย่างถูกต้องมากขึ้น (McNeill & Krajcik, 2008a; Yao & Guo, 2018; วิโรจน์ ลีวงศ์สถาพร, 2552)

อย่างไรก็ตาม กระบวนการเรียนรู้ของนักเรียนในห้องเรียนวิทยาศาสตร์ของไทย พบว่านักเรียนได้แสดงออกถึงพฤติกรรมที่คล้ายกับกระบวนการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ค่อนข้างน้อย เช่น ไม่สามารถเชื่อมโยงหลักฐานเชิงประจักษ์ที่รวบรวมมาจากการสืบเสาะเพื่อสร้างข้อสรุปได้ (ณัฐวดี ปฐมมีโชค, จีระวรรณ เกษสิงห์, และ เมษะมาศ คงเสมา, 2563) แสดงความคิดเห็นแต่ไม่มีเหตุผลประกอบ (ณัฐกฤษ ทองน้อย, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, ปราโมทย์ ชำนาญปิ่น, และ ภาณุ พงศ์ไพจิตร, 2560) ใช้ความรู้สึกล้วนตัวและอารมณ์ในการสนับสนุนข้อกล่าวอ้างแทนการใช้หลักฐานที่น่าเชื่อถือ (อรณิชา หงษ์เกิด, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, และ ปราโมทย์ ชำนาญปิ่น, 2561) การที่นักเรียนไม่สามารถแสดงพฤติกรรมเหล่านี้ได้ เป็นเพราะนักเรียนขาดโอกาสในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (ณัฐธิดา พรหมยอด, 2562) เนื่องจากกิจกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียนครูจะใช้วิธีการสอนแบบบรรยายที่เน้นให้นักเรียนได้ฝึกฝนทักษะการคิดคำนวณและการแก้โจทย์ปัญหาเป็นส่วนใหญ่ (เขมรัฐ จุฑานฤปกิจ, เอกภูมิ จันทรขันตี, และ สุรศักดิ์ เชียงกา, 2561) อาจมีการทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดมาให้ในหนังสือเรียนบ้างเป็นครั้งคราว กิจกรรมดังกล่าวจึงส่งผลให้นักเรียนได้ฝึกอภิปรายและสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองค่อนข้างน้อย

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ คือ การตอบคำถามเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่กำลังสนใจ โดยอาศัยหลักของเหตุและผลมาพิจารณาและเชื่อมโยงข้อมูลที่รวบรวมมาได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ คำตอบนั้นอาจเป็นการบอกสาเหตุว่าทำไมปรากฏการณ์นี้จึงเกิดขึ้น หรือ ให้อธิบายว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นอย่างไร หรือใช้เพื่อทำนาย

ผลของปรากฏการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตก็ได้ (McNeill, 2006; Tang, 2015; Yao & Guo, 2018) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จัดเป็นการสื่อสารวิทยาศาสตร์ที่สำคัญรูปแบบหนึ่ง (จิรวัดน์ วโรภาส, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, และ ปราโมทย์ ชำนาญปิ่น, 2562) เป็นหนึ่งในสมรรถนะที่สำคัญในการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ (นำพงศ์ จันทรโท, สิริินภา กิจเกื้อกูล, และ สุริยา ชำป๋, 2563) และยังเป็นหนึ่งในพฤติกรรมที่จะถูกประเมินผ่านการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นสมรรถนะหนึ่งที่สะท้อนการเป็นผู้มีความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ (Scientifically literate person) ตามโปรแกรมประเมินสมรรถนะนักเรียนมาตรฐานสากล (Program for International Student Assessment หรือ PISA) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) การส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่เป็นประจำจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างมาก (จิรวัดน์ วโรภาส และคณะ, 2562) ต่อการดำรงชีวิตในปัจจุบัน (Tang, 2021) สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ของประเทศสหรัฐอเมริกา (Next Generation Science Standards; NGSS) ที่ได้กำหนดให้การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นหนึ่งในแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม (Science and Engineering Practices) ที่นักเรียนจะต้องแสดงออกระหว่างทำกิจกรรมในชั้นเรียน (National Research Council, 2013; จรรยา ดาสา, 2560)

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน นอกจากจะส่งเสริมให้นักเรียนแสดงออกถึงพฤติกรรมที่คล้ายกับนักวิทยาศาสตร์ในชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังช่วยเสริมสร้างให้นักเรียนมีความเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (วิโรจน์ ลิวคสงสาพร, 2552) และช่วยให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในมนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น เพราะจะได้นำเอาหลักการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้เชื่อมโยงกับสถานการณ์ต่าง ๆ (McNeill & Krajcik, 2008a; Sulistina, Puspitasari, & Sukarianingsih, 2021; ณัฐวดี ปฐมมีโชค และคณะ, 2563) ครูและนักวิทยาศาสตร์ศึกษาของไทยหลายคนจึงได้ส่งเสริมให้นักเรียนได้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในชั้นเรียนอย่างแพร่หลาย (เขมรัฐ จุฑานุกปกิจ และคณะ, 2561; ณัฐธิดา พรหมยอด, 2562; ตีรณา ชุมแสง, เอกภูมิ จันทรขันธ์, และ สุรศักดิ์ เชียงกา, 2560; พิชณ สุภาศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ, 2565; ศิริัญญา หิริโอ, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, ปราโมทย์ ชำนาญปิ่น, และ ภาธร พงศ์ไพจิตร, 2563) โดยกรอบแนวคิดในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ครูและนักวิทยาศาสตร์ศึกษาของไทยเลือกมาใช้มากที่สุด คือ กรอบแนวคิด CER (ตีรณา ชุมแสง และคณะ, 2560; นำพงศ์ จันทรโท และคณะ, 2563; พรณนภา อนิวรรณวงศ์ และ ร่มเกล้า จันทราษี, 2562; พันนิดา มีลา และ ร่มเกล้า อาจเดช, 2560; พิชณ สุภาศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ,

2565; ศิริบุญญา หิริโอ และคณะ, 2563) ซึ่งแม็กนีล และคราจซิก (McNeill & Krajcik, 2008a) ระบุว่า คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิดดังกล่าว ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ข้อกล่าวอ้าง (Claim-C) เป็นข้อสรุปหรือคำตอบของสถานการณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่กำลังศึกษา 2) หลักฐาน (Evidence-E) หมายถึง ข้อมูลที่นำมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างเหมาะสมและเพียงพอ และ 3) การให้เหตุผล (Reasoning-R) คือ การใช้องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาแสดงการเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผล แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า นักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายของประเทศไทยส่วนใหญ่ยังไม่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ได้ แม้ว่าจะเลือกใช้กรอบแนวคิด CER ที่จำแนกองค์ประกอบไว้อย่างชัดเจนแล้วก็ตาม นักเรียนมักระบุเพียงหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องปรากฏการณ์นั้น ๆ แต่ไม่สามารถแสดงให้เห็นว่า หลักการที่เลือกมานั้น เชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างได้อย่างไร (ณัฐวดี ปฐมมีโชค และคณะ, 2563) ทำให้การสร้างองค์ประกอบด้านการให้เหตุผลมีคุณภาพต่ำกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ (ศศิกันต์ นิมดำ, นวลจิตต์ เขาวงกิตพิงศ์, และ ดวงเดือน สุวรรณจินดา, 2563; ศิริบุญญา หิริโอ และคณะ, 2563) ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากการที่นักเรียนยังไม่เข้าใจในองค์ประกอบอย่างถ่องแท้ (ติรณา ชุมแสง และคณะ, 2560; ศิริบุญญา หิริโอ และคณะ, 2563) หรือเข้าใจแต่ไม่สามารถพิจารณาได้ว่าข้อมูลใดเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นหลักฐาน จึงให้เหตุผลไม่สอดคล้อง (วันเพ็ญ คำเทศ, ทศตริณ วรณเกตุศิริ, และนันทรัตน์ เครืออินทร์, 2563)

จากลักษณะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่สมบูรณ์ ได้มีการนำแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลายมาใช้เพื่อพัฒนาให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีองค์ประกอบตามกรอบแนวคิด CER ครบถ้วนมากยิ่งขึ้น ซึ่งการสืบเสาะหาความรู้เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ถูกเลือกมาใช้มากที่สุด (เขมรัฐ จุฑานฤปกิจ และคณะ, 2561; ณัฐวรรณ ศิริธร, เอกภูมิ จันทราชันตี, และ สุรศักดิ์ เชียงกา, 2560; พรรณนภา อนิวรรณวงศ์ และ ร่มเกล้า จันทราช, 2562; พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อรุณี แสงสุวรรณ, 2565; รัชกร เวชวรนนท์, เอกรัตน์ ทานาค, ชาตรี ฝ่ายคำตา, และ สุรเดช ศรีทา, 2562; ศศิกันต์ นิมดำ และคณะ, 2563; ศิริบุญญา หิริโอ และคณะ, 2563) โดยพบทั้งนำมาใช้โดยไม่ได้สอดแทรกเทคนิคอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ใช้กระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ แบบ 5 ขั้น ในรายวิชา ฟิสิกส์ พบว่า ช่วยพัฒนาองค์ประกอบด้านหลักฐานและการให้เหตุผลจนถึงระดับดีมาก แต่ด้านข้อกล่าวอ้างพัฒนาถึงแค่ระดับดี อาจเป็นผลมาจากขาดการเน้นย้ำให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอย่างละเอียดในระหว่างที่จัดการเรียนรู้ จึงทำให้นักเรียนสรุปความสัมพันธ์ระหว่างหลักฐาน เพื่อสร้างเป็นข้อกล่าวอ้างไม่ได้

(เขมรัฐ จุฑานฤปกิจ และคณะ, 2561) และนำมาใช้โดยปรับรายละเอียดบางส่วนเพิ่มเติม เพื่อให้การจัดการเรียนรู้มีความจำเพาะกับเนื้อหาและลักษณะของนักเรียนมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ตามมาแตกต่างกัน เช่น ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีการนำการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมมาผสมผสาน กลายเป็นการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน เพื่อเสริมสร้างบรรยากาศที่ทำท่ายและกระตุ้นนักเรียนให้มีปฏิสัมพันธ์ต่อกัน (รัชกร เวชวรนนท์ และคณะ, 2562) การวิจัยข้างต้นพบว่า การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน ช่วยพัฒนาทุกองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นม.4 ให้สูงขึ้นในระดับดี ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบในวิชาชีววิทยาเช่นเดียวกัน แต่มีรายละเอียดต่างกัน คือ ใช้อุปกรณ์ไร้สายแบบเคลื่อนที่ในการสืบเสาะหาความรู้ เพื่อดึงดูดความสนใจของนักเรียน (ศิริกัญญา หิริโอ และคณะ, 2563) หลังการจัดการเรียนรู้พบว่า แนวทางดังกล่าวช่วยพัฒนาการให้เหตุผลได้น้อยกว่าด้านอื่น ๆ โดยพัฒนาด้านข้อกล่าวอ้าง และหลักฐานได้ในระดับดี แต่ด้านการให้เหตุผลอยู่ในระดับควรปรับปรุง ระดับชั้นเดียวกันนี้ ยังพบในวิชาเคมี ได้แก่ ศศิกานต์ นิมดำ และคณะ (2563) ใช้เทคนิคการเขียนทางวิทยาศาสตร์ร่วมกับการสืบเสาะหาความรู้ พบว่า การสอดแทรกเทคนิคดังกล่าว ให้ผลลัพธ์คล้ายกันกับงานวิจัยของ ศิริกัญญา หิริโอ และคณะ (2563) ที่พัฒนาการให้เหตุผลได้น้อยกว่าอีกสององค์ประกอบ คือ พัฒนาการให้เหตุผลอยู่ในระดับดี แต่พัฒนาด้านข้อกล่าวอ้าง และหลักฐานได้ในระดับดีมาก พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์ และอะรุณี แสงสุวรรณ (2565) ใช้ภาพเคลื่อนไหวเป็นสื่อประกอบการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ซึ่งให้ผลที่ต่างออกไป หลังจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ทุกองค์ประกอบได้ในระดับดีมาก โดยองค์ประกอบที่ถูกพัฒนามากที่สุดคือด้านการให้เหตุผลเป็น แม้ว่าจะเป็นองค์ประกอบที่ซับซ้อนและสร้างได้ยากที่สุด นอกเหนือจากแนวทางการสืบเสาะหาความรู้แบบต่าง ๆ แล้ว ยังมีแนวทางอื่น ๆ ที่ถูกนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ เช่น การใช้บริบทเป็นฐาน ในเนื้อหาสมดุลกล ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า การสร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ไม่คงที่ ขึ้นกับลักษณะเนื้อหาในแต่ละหัวข้อย่อย (ติรณา ชุมแสง และคณะ, 2560) การใช้ประเด็นทางสังคมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์เป็นฐานในเนื้อหา เรื่อง ระบบต่อมไร้ท่อ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า หลังเรียน นักเรียนมีพัฒนาการอยู่ในระดับดีทุกองค์ประกอบ (อรณิชา หงษ์เกิด และคณะ, 2561) จากข้อมูลข้างต้นจึงอนุมานได้ว่า ในแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในด้านการให้เหตุผลได้ดีที่สุด

การพิจารณาเลือกใช้การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมาสนับสนุนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จึงมีความเหมาะสม

การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเป็นการนำเอาการสืบเสาะหาความรู้มาผสานให้เข้ากับกระบวนการสร้างและปรับปรุงแบบจำลอง (ญาสุมินทร์ วรกิจจานนท์, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, และ บุญเสฐียร บุญสูง, 2563) เป็นกระบวนการแสวงหาความรู้ ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนแต่ละกลุ่มได้ร่วมกันสร้าง ทบทวน ประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อใช้ประกอบการอธิบาย หรือทำนายความเป็นไปของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (Windschitl, Thompson, & Braaten, 2008; ณัฐมน สุขย์รัตน์, วิชัย เสวกงาม, และ เอกรัตน์ ทานาค, 2559) ในระหว่างที่สร้างแบบจำลองเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการสื่อสาร นักเรียนจะได้ปรับเปลี่ยนเนื้อหาให้เห็นเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น (อัจฉราพรรณ ล้วนมณี, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, และบุญเสฐียร บุญสูง, 2565) ส่งผลให้มองเห็นการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาคได้ชัดเจนมากขึ้น จึงช่วยเสริมสร้างความเข้าใจในเนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรมสูงให้มากขึ้นได้ เมื่อเข้าใจเนื้อหามากขึ้น ก็จะสามารถเลือกใช้เนื้อหาเพื่อนำไปเชื่อมโยงหลักฐานให้กับข้อกล่าวอ้างที่สร้างขึ้นได้อย่างสมเหตุสมผล ส่งผลให้การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER ของนักเรียนดีขึ้นในทุกองค์ประกอบ (พรรณนภา อนิวรรณวงศ์ และ ร่มเกล้า จันทราชี, 2562; พัฒนดา มีลา และ ร่มเกล้า อาจเดช, 2560; พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อະรุณี แสงสุวรรณ, 2565) การนำแนวทางดังกล่าวไปปรับใช้เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในวิชาที่มีความเป็นนามธรรมสูง เช่น วิชาเคมี จึงมีโอกาประสบความสำเร็จค่อนข้างมาก

ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย วิชาเคมีเป็นวิชาที่นักเรียนจะได้ศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบ ปริมาณ การเปลี่ยนแปลงและสมบัติของสาร (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561) ซึ่งเป็นการศึกษาในระดับจุลภาคและมีความนามธรรมสูง พฤติกรรมหนึ่งที่นักเรียนถูกคาดหวังว่าให้ต้องแสดงออกเมื่อผ่านการเรียนรู้ในวิชานี้ คือ การอธิบายสังเกตได้จากผลการเรียนรู้ที่ระบุให้นักเรียนต้องอธิบายซึ่งมีมากถึง 24 ข้อจากทั้งหมด 96 ข้อ คิดเป็นอัตราส่วนหนึ่งในสี่หรือร้อยละ 25 จากจำนวนผลการเรียนรู้ทั้งหมด เพราะการอธิบายเป็นพฤติกรรมที่สะท้อนความเข้าใจในเนื้อหาของนักเรียนได้เป็นอย่างดี การที่นักเรียนได้ฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างสม่ำเสมอ จะช่วยให้สามารถนำความรู้ไปอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ตามที่เป้าหมายของหลักสูตรคาดหวังไว้ได้จึงมีผู้วิจัยหลายคนพยายามหาโอกาสในการฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้นักเรียนในเนื้อหาที่ต่างกัน เช่น แบบจำลองอะตอม (กฤตกร สภาสันติกุล, 2560) สมบัติของสาร (มิ่งมุก สุทธิกิตติพงศ์, 2562) อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

(ศศิกานต์ นิ่มดำ และคณะ, 2563) สมดุลเคมี (มนัสชนก ตานาง, 2562) กรด-เบส (เจริญลักษณ์ วรโคตร, เนตรชนก จันทร์สว่าง, และ ฌานนุภรณ์ ทับทิมใส, 2561) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (พรรณนภา อนิวรรณวงศ์ และ ร่มเกล้า จันทราชี, 2562) และเคมีไฟฟ้า (พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อรุณี แสงสุวรรณ, 2565) จากตัวอย่างเนื้อหาที่กล่าวไปข้างต้น จะเห็นได้ว่าการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์สามารถนำไปปรับใช้ได้กับทุกเนื้อหา แต่มีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ระบุเอาไว้ในงานวิจัยอื่น ๆ ว่า การฝึกสร้างองค์ประกอบใดของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ซ้ำ ๆ จะช่วยให้สร้างองค์ประกอบนั้นได้ดี (เขมรัฐ จุฑานุกิจ และคณะ, 2561; ณัฐธิดา พรหมยอด, 2562; ณัฐวดี ปฐมมีโชค และคณะ, 2563; ศศิกานต์ นิ่มดำ และคณะ, 2563; สิริพงศ์ แพทย์วงศ์, เอกภูมิ จันทรขันธ์, และ สุรศักดิ์ เชียงกา, 2563) ผู้วิจัยจึงได้พิจารณากิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละเนื้อหาของวิชาเคมี ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานของประเทศไทย และพบว่า เนื้อหาเรื่องแก๊ส เหมาะที่จะนำมาใช้ส่งเสริมให้กับนักเรียนซึ่งยังไม่คุ้นเคยได้ฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เพราะกิจกรรมการเรียนรู้ในเนื้อหาดังกล่าวเป็นการทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับตรวจสอบสมมติฐาน แล้วสรุปเป็นองค์ความรู้เรื่องกฎต่าง ๆ ด้วยตนเอง กิจกรรมดังกล่าวจึงเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกรวบรวมหลักฐานเพื่อนำไปสร้างข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผล ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ตามกรอบแนวคิด CER เนื้อหาเรื่องแก๊สที่นักเรียนจะได้ทดลองซ้ำกันหลาย ๆ ครั้งจึงเอื้อให้นักเรียนได้ฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER อย่างต่อเนื่องตลอดการเรียนรู้ การเรียนรู้เกี่ยวกับแก๊สที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ซ้ำ ๆ จะช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER ได้ดี นอกจากนั้น การเรียนรู้เกี่ยวกับแก๊สยังสอดคล้องกับลักษณะการเรียนรู้ที่นักเรียนต้องการ คือ เรียนรู้ในเนื้อหาที่สอดคล้องกับชีวิตประจำวัน (ติรณา ชุมแสง และคณะ, 2560) เพราะความรู้ในเรื่องแก๊สนำไปอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันได้หลากหลาย เช่น การหายใจเข้าหายใจออก การขึ้นหรือตกของบอลลูน การระเบิดของกระป๋องแก๊สหรือขวดสเปรย์เมื่อเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง การเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับสถานการณ์ที่อยู่รอบตัวเข้าด้วยกันยังช่วยให้นักเรียนได้ตระหนักถึงคุณค่าของสิ่งที่ได้เรียนรู้มากขึ้น ลักษณะดังกล่าวจึงเป็นอีกส่วนหนึ่งที่สะท้อนความสำคัญของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน (วันเพ็ญ คำเทศ และคณะ, 2563) จากรายละเอียดที่แสดงตั้งแต่ย่อหน้าที่แล้ว ผู้วิจัยจึงเห็นว่า ควรสนับสนุนให้นักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่เรียนวิชาเคมีได้ฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ผ่านการเรียนรู้เนื้อหา เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

อย่างไรก็ตาม กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ส่วนใหญ่จะเป็นกิจกรรมกลุ่ม โอกาสที่นักเรียนจะฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองเป็นรายบุคคลมีค่อนข้างน้อย แต่การประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ ทั้งการประเมินเพียงครั้งเดียว ในตอนท้ายของการจัดการเรียนรู้ (Amelia, Rofiki, Tortop, & Abah, 2020; Ningsi et al., 2019; Oktavianti, Handayanto, Wartono, & Saniso, 2018; Yao & Guo, 2018; เขมรัฐ จุฑานุกุลกิจ และคณะ, 2561; ฌลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563; ณัฐวรรณ ศิริธร และคณะ, 2560; พรรณนา อนิวรรณวงศ์ และ ร่มเกล้า จันทราษี, 2562; ศิริัญญา หิริโอ และคณะ, 2563) และการประเมินสองครั้งเพื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ (พัฒนิดา มีลา และ ร่มเกล้า อาจเดช, 2560; พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ, 2565; ศศิกานต์ นิมดำ และคณะ, 2563) ต่างก็เป็นการประเมินรายบุคคล เพื่อให้ผลการประเมินสามารถสะท้อนคุณลักษณะที่แท้จริงของนักเรียนจากลักษณะการประเมินข้างต้น ผู้วิจัยเห็นว่าควรมีเทคนิคหรือกลวิธีเพิ่มเติม ที่ช่วยให้สามารถติดตามพัฒนาการในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเป็นรายบุคคล และส่งเสริมในส่วนที่นักเรียนแต่ละคนยังทำไม่ได้ โดยเทคนิคหรือกลวิธีนั้นจะต้องไม่ใช่สิ่งที่สร้างขึ้นมาส่งเสริมองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะ (ณัฐวรรณ ศิริธร และคณะ, 2560) และไม่ใช่เทคนิคที่สร้างขึ้นมาส่งเสริมประเด็นอื่น เช่น บรรยายภาคในการเรียนรู้ (รัชกร เวชวรรณท์ และคณะ, 2562) ความสนใจในเนื้อหาของนักเรียน (ศิริัญญา หิริโอ และคณะ, 2563) แต่ควรเป็นเทคนิคที่ช่วยเสริมสร้างความเข้าใจในเนื้อหา (พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ, 2565) และช่วยให้คำแนะนำในการเขียน (McNeill, Lizotte, Krajcik, & Marx, 2006) เพราะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จะต้องอาศัยองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการเชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง ผู้วิจัยจึงได้ศึกษางานวิจัยในต่างประเทศเพิ่มเติม และพบว่า การเสริมต่อการเรียนรู้เป็นเทคนิคที่ถูกใช้เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนแต่ละคนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีองค์ประกอบครบถ้วนได้ (Amelia et al., 2020; German, 2018; McNeill & Martin, 2011; Oktavianti et al., 2018) การเสริมต่อการเรียนรู้ คือ การให้ความช่วยเหลือในสิ่งที่นักเรียนยังทำไม่ได้ด้วยตนเองในตอนแรก ผ่านวิธีการหรือรูปแบบที่หลากหลาย จนนักเรียนสามารถทำสิ่งนั้นได้ด้วยตนเอง (Amelia, 2021) รูปแบบของการเสริมต่อการเรียนรู้ที่พบจะเป็นลักษณะของตารางที่แจกแจงองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เอาไว้อย่างชัดเจน

(Biological Sciences Curriculum Study, 2012; German, 2011; McNeill & Martin, 2011) โดยแต่ละองค์ประกอบจะมีข้อความสั้น ๆ เพื่อให้รายละเอียดกับนักเรียนว่า จะต้องเขียนอะไรลงไป เช่น ระบุว่าหลักฐานคืออะไร มีทั้งหมดกี่ชิ้น ประเด็นสำคัญที่ควรระบุในข้อกล่าวอ้างคืออะไร (McNeill & Martin, 2011) เมื่อนักเรียนสามารถเขียนเติมทุกองค์ประกอบลงในตารางได้ครบ ก็จะนำข้อมูลเหล่านั้นมาเขียนเป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของตนเองลงไปในช่องว่างที่อยู่ด้านล่างสุด หากนักเรียนยังไม่สามารถเชื่อมโยงองค์ประกอบแต่ละส่วนให้กลายเป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ได้ จะมีตัวอย่างคำเชื่อมหรือคำขึ้นต้นประโยคแสดงไว้ให้ (German, 2018) เมื่อนักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้สมบูรณ์มากขึ้น จะลดการช่วยเหลือลงทีละเล็กละน้อย เพราะเป้าหมายที่แท้จริง คือ นักเรียนจะต้องสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ด้วยตนเอง การลดการช่วยเหลือจะกระตุ้นให้นักเรียนได้ทบทวนในสิ่งที่เรียนรู้มาก่อนแล้วปรับใช้กับสิ่งที่กำลังเผชิญอยู่ในขณะนั้น (McNeill et al., 2006) การผสมผสานตารางแจกแจงองค์ประกอบเข้ากับการจัดการเรียนรู้หลักอย่างกลมกลืนจึงช่วยให้นักเรียนสามารถเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีองค์ประกอบสมบูรณ์ได้ (German, 2018; McNeill & Martin, 2011) เพราะการเสริมต่อการเรียนรู้ช่วยให้นักเรียนมองเห็นความเชื่อมโยงระหว่างความรู้กับสถานการณ์ปัญหา (Amelia et al., 2020) จนสามารถเลือกใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ในการเชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ เนื้อหาเรื่อง แก๊ส ยังสอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ที่ครูจะต้องลดการช่วยเหลือให้น้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป เพราะลำดับของหัวข้อในเนื้อหาเรื่องแก๊ส ไม่ได้เรียงจากง่ายไปยาก แต่ทุกหัวข้อเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว เช่น โมลกับปริมาตร อุณหภูมิกับความดัน นักเรียนจึงไม่ได้ใช้ความสามารถที่แตกต่างกันเพื่อทำความเข้าใจแต่ละเนื้อหา เมื่อครูลดการช่วยเหลือลง จึงไม่ส่งผลต่อการทำความเข้าใจของนักเรียน จากข้อมูลที่สืบค้นได้ ยังไม่พบว่า มีการนำตารางเสริมต่อการเรียนรู้มาใช้เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ในรายวิชาเคมี ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายของประเทศไทย

ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงนำเอาปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับแก๊ส มาออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ เพื่อมุ่งพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีความสามารถในการเรียนรู้แตกต่างกัน

2. คำถามการวิจัย

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ สามารถพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ได้หรือไม่ อย่างไร

3. ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เป็นผลมาจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้

4. ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยนี้เน้นการพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่เหมาะสมกับนักเรียนทุกกลุ่มความสามารถ โดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ซึ่งมีความสำคัญ ดังนี้

1. หลังจัดการเรียนรู้ นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ที่มีองค์ประกอบครบถ้วนตามกรอบแนวคิด CER ผ่านการสร้าง ทบทวนและปรับปรุงแบบจำลองบนฐานของข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้ โดยมีคำถามชี้แนะของครูในการช่วยเหลือ นักเรียนสามารถนำเอากระบวนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในเนื้อหา เรื่อง แก๊ส ไปปรับใช้ในการสร้างคำอธิบายในสถานการณ์อื่น ๆ ได้ เมื่อฝึกฝนอย่างต่อเนื่อง ก็จะส่งผลให้นักเรียนเกิดความชำนาญและกลายเป็นผู้มีสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบการประเมิน PISA หรือเป็นผู้ที่มีความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการเป็นพลเมืองและพลโลกที่มีคุณภาพ

2. ครูผู้สอนได้แนวทางในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับลักษณะของเนื้อหา เรื่อง แก๊ส รวมถึงได้แนวทางสำหรับออกแบบการประเมินผลการเรียนรู้ของนักเรียนได้อย่างเหมาะสม เป็นขั้นตอน กลายเป็นผู้ที่มีความรู้ด้านเนื้อหาพหุสาขาวีธีสอน สามารถนำประสบการณ์ที่ได้ไปปรับใช้กับการออกแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมคุณลักษณะอื่น ๆ ของนักเรียน โดยใช้แนวคิดและเทคนิคในการจัดการเรียนรู้อื่น ๆ ที่ต่างไปจากเดิมได้

5. ขอบเขตของการวิจัย

5.1 กลุ่มที่ศึกษา

การวิจัยนี้มุ่งออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้บนฐานของห้องเรียนโดยทั่วไปที่ลดความสามารถของนักเรียน ไม่ได้เจาะจงนักเรียนกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งโดยเฉพาะ กลุ่มที่ศึกษาจึงเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ จำนวน 38 คน เป็นนักเรียนชาย 25 คน นักเรียนหญิง 13 คน ที่เรียนเรื่อง แก๊ส ในรายวิชา ว32222 เคมี 3 ได้มาจากการเลือกตามความสะดวก (Convenience Sampling) เนื่องจากเป็นชั้นเรียนที่ครูผู้สอนให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าร่วมการวิจัย

5.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 ใช้เวลาทั้งสิ้น 7 สัปดาห์

5.3 เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แก๊สและสมบัติของแก๊ส เมื่อพิจารณาตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 เนื้อหาดังกล่าว มีการกำหนดสัดส่วนของผลการเรียนรู้ให้นักเรียนต้องแสดงออกถึงพฤติกรรมการอธิบายมากที่สุด ประกอบด้วย 5 หัวข้อ คือ 1) กฎของอาโวกาโดร 2) กฎของบอยล์ 3) กฎของชาร์ลและกฎของเกย์-ลูสแซก 4) กฎความดันย่อยของดอลตัน และ 5) กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม อีกทั้งเนื้อหาดังกล่าวยังมีกิจกรรมการเรียนรู้หลักเป็นการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ของแก๊ส ซึ่งเอื้อต่อการพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER

5.4 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษาของการวิจัยนี้ แบ่งเป็น

ตัวแปรอิสระ คือ การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้

ตัวแปรตาม คือ การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส

6. นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง การแสดงออกของนักเรียนในการให้ข้อสรุปแก่ประเด็นที่ศึกษาอย่างสมเหตุสมผลและน่าเชื่อถือ มีหลักฐานประกอบอย่างเหมาะสมและเพียงพอ สามารถวัดได้ด้วยแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

มีลักษณะเป็นแบบทดสอบอัตนัยแบบความเรียงที่ไม่จำกัดคำตอบ จำนวน 4 ข้อ โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกประเด็นตามองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) **ข้อกล่าวอ้าง (claim)** คือ ข้อความที่เป็นข้อสรุป หรือ คำตอบของสิ่งที่สนใจศึกษา เช่น ปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ หรือ ปัญหาทางวิทยาศาสตร์

2) **หลักฐาน (evidence)** คือ ข้อมูลที่นำมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง อาจมาจากการรวบรวมด้วยตนเอง หรือนำมาจากแหล่งข้อมูลที่มีอยู่ก่อนแล้ว มีความเหมาะสมทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ในเชิงปริมาณ คือ ข้อมูลมีจำนวนมากพอที่ทำให้ยอมรับในข้อกล่าวอ้างได้ และเชิงคุณภาพ คือ ข้อมูลที่เลือกมาจะต้องน่าเชื่อถือ เกี่ยวข้องกับสิ่งที่สนใจศึกษาโดยตรง

3) **การให้เหตุผล (reasoning)** คือ การใช้แนวคิด หรือหลักการทางวิทยาศาสตร์ มาเชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผล เพื่อยืนยันว่าข้อสรุปหรือคำตอบที่ได้นั้นถูกต้อง เหมาะสม

2. **การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้** หมายถึง กระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับปรากฏการณ์ หรือประเด็นทางวิทยาศาสตร์ในชีวิตประจำวัน ผ่านการสร้างทบทวนและปรับปรุงแบบจำลองร่วมกันเป็นกลุ่ม โดยมีครูคอยกระตุ้นด้วยคำถามชี้แนะ และใช้เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ในรูปแบบใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นเครื่องมือช่วยในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองเป็นรายบุคคล ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ซึ่งปรับมาจาก Ambitious Science Teaching ของ Windschitl, Thompson, and Braaten (2018) มีรายละเอียด ดังนี้

1) **การรวบรวมความคิด (Eliciting Students Ideas)** เริ่มจากครูกระตุ้นนักเรียน ให้สนใจในปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การเปิดรูปภาพหรือคลิปวิดีโอ การสาธิต การทดลอง แล้วใช้คำถามเพื่อรวบรวมแนวคิดและประสบการณ์เดิมเกี่ยวกับปรากฏการณ์ของนักเรียน จากนั้น ครูแสดงคำถามสำคัญ หรือเลือกประเด็นที่นักเรียนสงสัยมาเป็นคำถามสำคัญ นักเรียนแต่ละกลุ่มตอบคำถามสำคัญ และครูบันทึกคำตอบของนักเรียนแต่ละกลุ่มไว้บนกระดาน นักเรียนแต่ละกลุ่มสร้างแบบจำลองประกอบการตอบคำถามในเบื้องต้น แล้วนำเสนอเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนร่วมชั้น จากนั้น นักเรียนแต่ละกลุ่มตั้งประเด็นคำถามเพิ่มเติม เพื่อนำไปสู่การประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเบื้องต้นของกลุ่มตนเอง โดยครู

อาจใช้คำถามชี้แนะ เช่น แบบจำลองนี้ ควรจะตรวจสอบในประเด็นใดเพิ่มเติม เพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น สุดท้ายครูสรุปประเด็นที่ต้องตรวจสอบจากแบบจำลองไว้บนกระดาน

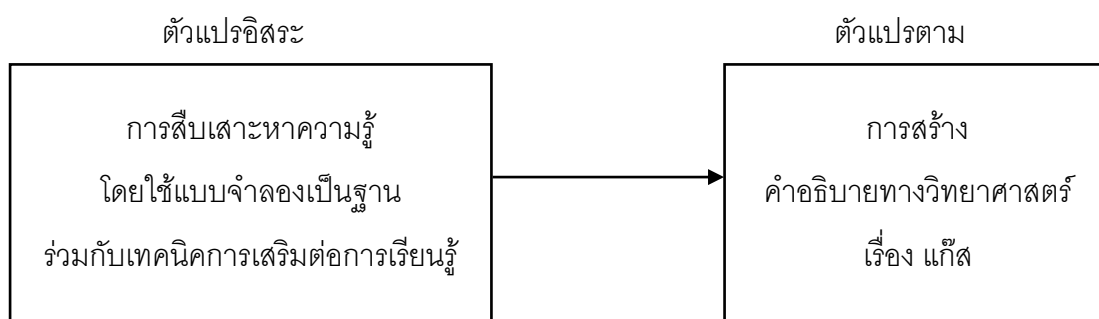
2) การปรับเปลี่ยนความคิด (Supporting Students' On-Going Changes in Thinking) นักเรียนทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม ระบุสมมติฐานของประเด็นที่ต้องสำรวจตรวจสอบ โดยอิงตามแบบจำลองเบื้องต้นที่สร้างขึ้นในขั้นก่อนหน้า จากนั้นนักเรียนออกแบบวิธีการสำรวจตรวจสอบ ลงมือเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ สรุปข้อมูลและหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ โดยมีครูคอยกระตุ้นและชี้แนะ จากนั้นนักเรียนนำเสนอข้อมูล หลักฐาน และหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง ครูบันทึกสิ่งที่นักเรียนนำเสนอทั้งหมดลงในตารางสรุป ครูและนักเรียนร่วมกันพิจารณาความเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลที่ค้นพบกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อตัดสินใจว่าจะใช้ข้อมูลใดเป็นหลักฐานในการอธิบายปรากฏการณ์บ้าง แล้วนำหลักฐานที่เลือก มาประเมินแบบจำลองเบื้องต้นที่สร้างไว้ พร้อมปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณา คือ (1) แบบจำลองเบื้องต้นสามารถตอบคำถามสำคัญเกี่ยวกับปรากฏการณ์ได้หรือไม่ และ (2) แบบจำลองเบื้องต้นนำเสนอข้อมูลได้ครอบคลุมตามประเด็นที่รวบรวมไว้หรือไม่ เมื่อปรับปรุงเรียบร้อยแล้ว ให้นำเสนอแบบจำลองแก่เพื่อนกลุ่มอื่น เพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และคำแนะนำเพิ่มเติม

3) การสร้างคำอธิบายจากหลักฐาน (Pressing for Evidence-Based Explanations) ครูนำอภิปรายเพื่อสรุปประเด็นจากการนำเสนอรายละเอียดของการแก้ไขแบบจำลองครั้งที่ 1 จากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันพิจารณาคำแนะนำที่ได้รับ เพื่อตัดสินใจว่าจะแก้ไขแบบจำลองอีกครั้งหรือไม่ อย่างไร แล้วออกมานำเสนอเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็น เมื่อนักเรียนปรับปรุงแบบจำลองครั้งสุดท้ายเสร็จเรียบร้อยแล้ว ครูใช้เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ในรูปแบบใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เพื่อช่วยนักเรียนในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของปรากฏการณ์เป็นรายบุคคล ซึ่งใบกิจกรรมดังกล่าวแบ่งเป็นสองส่วน ในส่วนแรกจะมีข้อความชี้แนะในการสร้างแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ส่วนที่สองจะมีข้อความระบุให้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ ทั้งสองส่วนจะระบุคำถามสำคัญของปรากฏการณ์เอาไว้ ใบกิจกรรมจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ โดยระดับที่ 1 มีรายละเอียดในการชี้แนะที่เฉพาะเจาะจงมากที่สุด และค่อย ๆ ลดลง จนไม่เฉพาะเจาะจงในระดับที่ 3 ทั้งนี้ ครูจะลดระดับการช่วยเหลือให้น้อยลง เมื่อนักเรียนทำได้ตามเกณฑ์ร้อยละ

ที่กำหนด หากนักเรียนยังไม่สามารถทำได้ ครูจะยังคงระดับการช่วยเหลือไว้ สุดท้ายครูและนักเรียนร่วมกันสรุปสูตรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ และนักเรียนฝึกฝนการแก้โจทย์ปัญหาที่ใช้สูตรดังกล่าว

7. กรอบแนวคิดในการวิจัย

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจะต้องพัฒนาควบคู่ไปกับความเข้าใจในเนื้อหา หากนักเรียนไม่เข้าใจอย่างถ่องแท้ จะไม่สามารถนำหลักการทางวิทยาศาสตร์ไปพิจารณาหลักฐานแต่ละชิ้นเพื่อเชื่อมโยงให้สัมพันธ์กับข้อกล่าวอ้างได้ (ณัฐวรรณ ศิริธร และคณะ, 2560) การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน จึงถูกเลือกมาใช้เพื่อสนับสนุนให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหา เรื่อง แก๊ส เพราะการสร้างแบบจำลองจะช่วยให้เกิดภาพจำที่เป็นตัวแทนของสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาค เมื่อมองเห็นเนื้อหาเป็นรูปธรรมชัดเจนมากขึ้น จะช่วยให้นักเรียนทำความเข้าใจปรากฏการณ์ได้ง่ายขึ้น (พิชญ์ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ, 2565) เมื่อนักเรียนมีความเข้าใจ จะสามารถอธิบายปรากฏการณ์ออกมาเป็นข้อความได้ เพื่อช่วยให้คำอธิบายที่สร้าง มีองค์ประกอบครบถ้วน เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ จึงถูกนำมาใช้โดยรูปแบบที่เลือกมาใช้ คือ ตารางแจกแจงองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER เพราะเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้นักเรียนเรียบเรียงความคิดได้ดีก่อนที่จะเขียนถ่ายทอดออกมา (German, 2018; McNeill & Martin, 2011) โดยจะนำมาสร้างเป็นใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ ดังนั้นการวิจัยนี้ จึงเป็นการศึกษาผลของตัวแปรอิสระ คือ การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ต่อตัวแปรตาม คือ การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

8. สมมติฐานในการวิจัย

ผู้วิจัยได้พิจารณาร้อยละของจำนวนนักเรียนที่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดีมากทั้งในภาพรวมและรายองค์ประกอบจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ ซึ่งพบว่างานวิจัยของ พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ (2565) มีบริบทด้านเนื้อหาและระดับชั้นของกลุ่มที่ศึกษาล้ายคลึงกัน คือ งานวิจัยดังกล่าวใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานกับร่วมกับภาพเคลื่อนไหวในเนื้อหาวิชาเคมี เรื่อง เคมีไฟฟ้า เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ทั้งเพศหญิงและเพศชาย ที่มีความสามารถทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลางถึงเก่ง พบว่า หลังการจัดการเรียนรู้ จำนวนนักเรียนที่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 62.5 เมื่อคิดรายองค์ประกอบ ด้านข้อกล่าวอ้าง เป็นองค์ประกอบที่นักเรียนส่วนใหญ่ สร้างได้ครบถ้วนสมบูรณ์ จัดอยู่ในระดับดีมาก สูงถึงร้อยละ 92.70 ด้านหลักฐาน คิดเป็นร้อยละ 60.41 และด้านการให้เหตุผล เป็นองค์ประกอบที่มีสัดส่วนของผู้เรียนในระดับดีมากน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 50.00 เนื่องจากกลุ่มที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นนักเรียนที่มีผลการเรียนในรายวิชาเคมีอยู่ในระดับปานกลาง (เกรด 2.0 – 2.5) เป็นส่วนใหญ่ ร้อยละ 71.05 ดังนั้น ผู้วิจัยจึงกำหนดสมมติฐานการวิจัย โดยลดเกณฑ์จากค่าร้อยละของงานวิจัยก่อนหน้านี้ลง ร้อยละ 10 แล้วปรับให้เป็นจำนวนเต็ม สมมติฐานของวิจัยนี้ มีดังนี้

1. หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ จำนวนนักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส โดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 53.00 ขึ้นไป

2. หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ จำนวนนักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ด้านข้อกล่าวอ้างอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 83.00 ขึ้นไป, ด้านหลักฐานอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 50.00 ขึ้นไป และด้านการให้เหตุผลอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 40.00 ขึ้นไป

จากความมุ่งหมายของการวิจัยที่ต้องการพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับตัวแปรดังกล่าว รวมถึงแนวทางและเทคนิคในการจัดการเรียนรู้ข้างต้นจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ โดยข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมมานั้น ถูกนำเสนอเอาไว้ในบทที่ 2

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาออกแบบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับความมุ่งหมายของงานวิจัย โดยนำเสนอตามลำดับหัวข้อที่ปรากฏด้านล่าง

1. การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

- 1.1 ความหมายและองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
- 1.2 ความสำคัญของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
- 1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
- 1.4 การจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
- 1.5 การวัดและประเมินผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

2. การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

- 2.1 ความหมายของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน
- 2.2 ความสำคัญของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน
- 2.3 ที่มาของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน
- 2.4 ลักษณะสำคัญของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน
- 2.5 กระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้

แบบจำลองเป็นฐาน

3. เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้

- 3.1 ความหมายของเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้
- 3.2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้
- 3.3 ลักษณะสำคัญของเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้
- 3.4 ตัวอย่างการใช้เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ในการส่งเสริมการสร้าง

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

4. แนวคิด เรื่อง แก๊ส

- 4.1 ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมตามหลักสูตร
- 4.2 การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส

ในแต่ละประเด็นจะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันออกไปตามปริมาณข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

Constructing Scientific Explanations เป็นแนวปฏิบัติที่กำหนดเอาไว้อย่างชัดเจน ในมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ของประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ในประเทศไทย ยังไม่ได้มีการบัญญัติคำศัพท์ที่ใช้แทนแนวปฏิบัติข้างต้น จึงทำให้คำภาษาไทยที่สื่อถึงแนวปฏิบัติดังกล่าวค่อนข้างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (ทิวากร แก่นษา, กานต์ตะวัน วุฒิสเลลา, และ สุระ วุฒิพรหม, 2564) การอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (จุญลักษณ์ วรโคตร และ คณะ, 2561; พรรณนภา อนิวรรณวงศ์ และ ร่มเกล้า จันทราชี, 2562) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (ณัฐธิดา พรหมยอด, 2562; ณัฐวดี ปฐมมีโชค และคณะ, 2563) การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (เขมรัฐ จุฑานฤปกิจ และคณะ, 2561; ณัฐกฤษ ทองน้อย และคณะ, 2560; อรณิชา หงษ์เกิด และคณะ, 2561) ความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (คัทลียา สิงหวิ, 2563) ทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (รัชกร เวชวรนนท์ และคณะ, 2562) ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (พิชญ์ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อรุณี แสงสุวรรณ, 2565) โดย ความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นคำที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด (จิรวัดน์ วโรภาส และคณะ, 2562; ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563; ณัฐวรรณ ศิริธร และคณะ, 2560; ตีรณา ชุมแสง และคณะ, 2560; ศศิกานต์ นิเมดำ และคณะ, 2563; ศิริบุญญา หิริโอ และคณะ, 2563; สิริพงศ์ แพทย์วงศ์, เอกภูมิ จันทราชันตี, และ สุรศักดิ์ เชียงกา, 2563) แต่ในงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อคงไว้ซึ่งเค้าเดิมของต้นฉบับที่ไม่ได้ระบุว่า พฤติกรรมนี้เป็นความสามารถหรือทักษะ และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสับสนกับการอธิบายปรากฏการณ์ ในเชิงวิทยาศาสตร์ (Explaining phenomena scientifically) ที่เป็นสมรรถนะหนึ่งในการประเมิน ความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ตาม PISA (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) จึงขอใช้คำว่า “การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์”

จากข้อมูลที่รวบรวมมา สามารถจำแนกเป็นประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการสร้างคำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์ได้ทั้งหมด 5 ประเด็น ได้แก่ ความหมายและองค์ประกอบ ความสำคัญ ปัจจัยที่มีผล การจัดการเรียนรู้ และ การวัดและประเมินผล แต่ละประเด็นมีรายละเอียดแตกต่างกันดังที่จะ นำเสนอในหัวข้อ 1.1 – 1.5

1.1 ความหมายและองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ความหมาย

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เป็นแนวปฏิบัติหนึ่งของการสืบเสาะหาความรู้ที่สำคัญและมีความซับซ้อน (McNeill et al., 2006; Sulistina et al., 2021; รัชกร เวชวรนนท์ และคณะ, 2562) เนื่องจากมีองค์ประกอบหลายส่วน นักเรียนต้องได้รับการฝึกฝนหลายด้าน

ทั้งการประเมินคุณภาพข้อมูล (Tang, 2021) การให้เหตุผลเชิงตรรกะ (Rahayu, Aldresti, & Fajaroh, 2018) และการสื่อสารด้านการเขียน (Sulistina et al., 2021) จึงจะสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีองค์ประกอบสมบูรณ์ได้

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นข้อกล่าวอ้างที่สร้างขึ้นเพื่อตอบปัญหาหรือข้อสงสัย (Biological Sciences Curriculum Study, 2012; Ningsi et al., 2019) เกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์หรือปรากฏการณ์ทางสังคมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ที่สนใจ (ณัฐวดี ปฐมมิโชค และคณะ, 2563) ได้มาจากการตีความข้อมูลเชิงประจักษ์อย่างเป็นเหตุเป็นผล (ณัฐวรรณ ศิริธร และคณะ, 2560; ตีรณา ชุมแสง และคณะ, 2560) บนฐานของหลักการหรือข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์ (Rahayu et al., 2018) โดยหลักการหรือข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์จะเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลเชิงประจักษ์ที่เป็นหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง (วันเพ็ญ คำเทศ และคณะ, 2563) คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จึงเปรียบเสมือนองค์ความรู้ที่จำเพาะกับสถานการณ์ ที่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับสาเหตุของปรากฏการณ์ หรือช่วยทำนายเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในลำดับถัดไป (Habiddin, Atikah, Husniah, Haetami, & Maysara, 2021; ตีรณา ชุมแสง และคณะ, 2560) คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีหลักฐานที่น่าเชื่อถือ จะสามารถโน้มน้าวให้บุคคลอื่นยอมรับและคล้อยตามได้ (ทิวากร แก่นชา และคณะ, 2564)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยกำหนดนิยามโดยอ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้าว่า การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (Constructing Scientific Explanation) คือ พฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกในการให้ข้อสรุปเกี่ยวกับปัญหาหรือปรากฏการณ์ที่สนใจ โดยอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์ มาเชื่อมโยงหลักฐานเพื่อสนับสนุนข้อสรุปที่สร้างขึ้นอย่างมีเหตุผล

องค์ประกอบ

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มีวัตถุประสงค์เพื่อนำความรู้ เช่น หลักการหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์มาใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน ดังนั้น คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นจึงต้องมีหลักการหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นองค์ประกอบพื้นฐาน องค์ประกอบอื่น ๆ อาจแตกต่างกันได้ตามลักษณะของปรากฏการณ์ที่สนใจศึกษา กว่าที่จะสร้างคำอธิบายขึ้นมาได้ จะต้องมีการรวบรวมข้อมูลที่มากเพียงพอ แล้วพิจารณาข้อมูลเหล่านั้นอย่างถี่ถ้วน เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือ ความถูกต้องและความสอดคล้องกันของข้อมูล โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์เป็นเกณฑ์ จากนั้นเลือกเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาใช้เป็นหลักฐานประกอบคำอธิบาย (German, 2018) คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์จึงมีความซับซ้อน และ

รายละเอียดค่อนข้างมาก การฝึกให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ จึงมักกำหนดกรอบแนวคิดที่ชัดเจน เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจและนำไปใช้

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ในประเทศไทย พบว่า มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ทั้งหมดสองรูปแบบ แต่ละรูปแบบมีทั้งหมดสามองค์ประกอบ (McNeill et al., 2006; Tang, 2015) รูปแบบที่หนึ่ง เป็นการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.2006 โดยนักการศึกษาชาวอเมริกัน ชื่อ Katherine Lynch McNeill เนื่องจากมาตรฐานการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของประเทศไทยกำหนดให้นักเรียนจะต้องคิดและทำอย่างนักวิทยาศาสตร์ กระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้เพื่อสร้างองค์ความรู้ คือ การสร้างคำอธิบายและการโต้แย้ง นักเรียนจึงต้องฝึกสร้างคำอธิบายและโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ แต่สิ่งที่พบคือ นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ส่วนใหญ่ไม่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้มีคุณภาพได้ เนื่องจากในระยะแรกจะอ้างอิงตามแบบจำลองการโต้แย้งของ Toulmin (Toulmin's model of argumentation) ซึ่งประกอบด้วยข้อกล่าวอ้าง (claim) ข้อมูลที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง (Grounds) การเชื่อมโยงข้อมูลกับข้อกล่าวอ้าง (warrant) ข้อมูลเพิ่มเติมที่มาสนับสนุนการเชื่อมโยง (backing) ข้อความที่แสดงความไม่แน่นอนของข้อกล่าวอ้าง (qualifier) และ ข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไป (rebuttal) ทำให้บางครั้งนักเรียนนำเสนอหลักฐาน (Grounds or data) ไม่เพียงพอ ขาดการให้เหตุผลสนับสนุน (Warrant and Backing) ที่เหมาะสม McNeill และคณะ จึงได้ปรับปรุงองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้ชัดเจนขึ้น เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างของนักเรียน โดยลดองค์ประกอบจากกรอบแนวคิดเดิมให้น้อยลง ด้วยการรวมบางองค์ประกอบเข้าด้วยกัน และใช้ชื่อเรียกให้สอดคล้องกับสิ่งที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการจัดการเรียนรู้ สุดท้ายคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของ แม็กนีลและคณะ จึงประกอบด้วย 1) ข้อกล่าวอ้าง (Claim) 2) หลักฐาน (Evidence) และ 3) การให้เหตุผล (Reasoning) ภายหลัง นิยมเรียกกันว่า กรอบแนวคิดแบบ CER (CER Framework) ซึ่งย่อมาจาก "Claim-Evidence-Reasoning"

กรอบแนวคิด CER เป็นกรอบแนวคิดที่งานวิจัยส่วนใหญ่ทั้งในและต่างประเทศเลือกใช้ เพราะแต่ละองค์ประกอบมีความชัดเจน ง่ายต่อการนำไปใช้สำหรับนักเรียนที่ฝึกในระยะเริ่มต้น (Amelia et al., 2020; Sulistina et al., 2021; เขมรัฐ จุฑานุกิจ และคณะ, 2561; ศิริณาทมแสง และคณะ, 2560; ทิวกกร แก่นชา และคณะ, 2564; พรพรรณภา อนิวรรณวงศ์ และร่มเกล้า จันทราษี, 2562; พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์ และอะรุณี แสงสุวรรณ, 2565; รัชกร เวชวรนนท์ และคณะ, 2562; ศิริบุญญา หิริโอ และคณะ, 2563; อรณิชา หงษ์เกิด และคณะ, 2561) โดยแต่ละองค์ประกอบมีรายละเอียด ตามที่ แม็กนีล และคราจซิก (McNeill & Krajcik, 2008a) ระบุไว้ดังนี้

1) ข้อกล่าวอ้าง (Claim) คือ ข้อความที่เป็นการยืนยันข้อสรุปหรือเป็นคำตอบให้กับสิ่งที่สนใจศึกษา เช่น ปรากฏการณ์ หรือ ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ เป็นส่วนที่สามารถสร้างได้ง่ายที่สุด

2) หลักฐาน (evidence) คือ ข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ทั้งหมดที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง อาจมาจากการรวบรวมด้วยตนเอง หรืออ้างอิงจากแหล่งข้อมูลอื่นที่ผ่านการจัดกระทำมาแล้ว หลักฐานที่จะนำมาสนับสนุนควรเหมาะสมทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพเหมาะสมเชิงปริมาณ คือ ต้องมีจำนวนมากพอที่จะชักจูงให้คนอื่นยอมรับในข้อกล่าวอ้างที่สร้างขึ้นได้ เหมาะสมเชิงคุณภาพ คือ หลักฐานทั้งหมดที่นำมาสนับสนุนเกี่ยวข้องโดยตรงกับสิ่งที่สนใจศึกษา

3) การให้เหตุผล (reasoning) คือ การเชื่อมโยงหลักฐานทั้งหมดเข้ากับข้อกล่าวอ้าง โดยอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์มาช่วย เป็นส่วนที่สร้างได้ยาก เพราะต้องแสดงให้เห็นว่า หลักฐานหรือข้อมูลที่มีอยู่นั้นสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างไร

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในรูปแบบที่สอง ถูกพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.2015 โดยนักการศึกษาชาวสิงคโปร์ ชื่อ Kok Sing Tang ใช้ชื่อว่า กลยุทธ์ PRO (the Premise-Reasoning-Outcome (PRO) strategy) เนื่องจากปัญหาที่เขาพบเจอ คือ นักเรียนมีความรู้เกี่ยวกับหลักการทางวิทยาศาสตร์เป็นอย่างดี แต่ไม่สามารถดึงเอาหลักการเหล่านั้นมาอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ เขาจึงได้สร้างกลยุทธ์ที่สอดคล้องกับปัญหาดังกล่าว โดยอาศัยองค์ความรู้ทางด้านปรัชญาและภาษาศาสตร์เกี่ยวกับการอธิบายมาเป็นตัวรองรับ (Tang, 2015) กรอบแนวคิด PRO เป็นกรอบแนวคิดที่ไม่แพร่หลายในประเทศไทยเท่ากับกรอบแนวคิด CER เนื่องจากพบเฉพาะงานวิจัยของสิริพงศ์ แพทย์วงศ์ และคณะ (2563) เพียงงานเดียว

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในรูปแบบนี้จะแตกต่างจากรูปแบบแรก เพราะไม่ต้องมีข้อกล่าวอ้างและหลักฐานในการสนับสนุน อาศัยเพียงหลักการทางวิทยาศาสตร์มาเชื่อมโยงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเท่านั้น ประกอบด้วย 1) ทฤษฎี (Premise ต่อมามีการใช้คำว่า Principle แทน เนื่องจากสื่อสารได้ชัดเจนมากกว่า) 2) การให้เหตุผล (Reasoning) และ 3) ผลลัพธ์ (Outcome) (Tang, 2021; สิริพงศ์ แพทย์วงศ์ และคณะ, 2563) แต่ละองค์ประกอบจะเรียงร้อยต่อกันเป็นลำดับ ดังนี้

1) ทฤษฎี (Principle) หมายถึง หลักการที่ได้รับการยอมรับหรือข้อเท็จจริงทั่วไป ไม่ต้องการขยายความเพิ่มเติม เป็นสิ่งที่รู้มาก่อนหน้า ใช้เป็นพื้นฐานหรือจุดเริ่มต้นในการสร้างคำอธิบาย เป็นสิ่งที่กำหนดรายละเอียดของอีกสององค์ประกอบที่ตามมา

2) เหตุผล (Reasoning) หมายถึง สิ่งที่เกี่ยวข้องหรือเป็นผลสืบเนื่องมาจากทฤษฎี (P) เป็นการเชื่อมโยงจากข้อความจริงทางวิทยาศาสตร์ไปสู่ปรากฏการณ์ที่กำลังสนใจ

3) ผลลัพธ์ (Outcome) หมายถึง ปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกอธิบาย

ในงานวิจัยนี้จะยึดการสร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER เนื่องจากมีความชัดเจน เหมาะแก่การส่งเสริมให้กับนักเรียนที่ยังไม่เคยถูกพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มาก่อน และมีลักษณะสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ที่นักเรียนจะต้องรวบรวมหลักฐานผ่านการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติของแก๊ส จากนั้นสรุปเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ของแก๊สตามกฎหมายของนักวิทยาศาสตร์ โดยมีทฤษฎีจลน์ของแก๊สเป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในการศึกษาครั้งนี้ จึงประกอบด้วยสามองค์ประกอบ (McNeill & Krajcik, 2008) ได้แก่

1) ข้อกล่าวอ้าง (Claim) คือ ข้อสรุปหรือคำตอบของคำถามหรือปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่สนใจ

2) หลักฐาน (Evidence) หมายถึง ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมและเพียงพอจะสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง อาจมาจากการสำรวจตรวจสอบด้วยตนเอง หรือมาจากแหล่งอื่นที่น่าเชื่อถือ

3) การให้เหตุผล (Reasoning) เป็นการเชื่อมโยงว่าหลักฐานแต่ละชิ้นมีความสอดคล้องกับข้อกล่าวอ้างอย่างไรโดยอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์มารองรับ

1.2 ความสำคัญของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แก่ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติจัดว่าเป็นเป้าหมายที่สำคัญอย่างหนึ่งของวิทยาศาสตร์ (Yao & Guo, 2018) แต่กว่าที่จะสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละครั้งขึ้นมาได้นั้น จะต้องลงมือสำรวจตรวจสอบ เพื่อรวบรวมหลักฐานที่เกี่ยวข้องให้ได้มากที่สุด แล้วนำหลักการหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์มาใช้พิจารณาและประเมินข้อมูลที่ค้นพบเพื่อตัดสินว่า ข้อมูลใดเหมาะสมที่จะนำไปสนับสนุนข้อกล่าวอ้างสำหรับอธิบายปรากฏการณ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งการนำหลักการไปประยุกต์ใช้เพื่อประเมินคุณภาพของข้อมูลอยู่เป็นประจำ จะก่อให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหามากยิ่งขึ้น การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งชี้ถึงความสำเร็จในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ณัฐวรรณ ศิริธรและคณะ, 2560) เพราะสะท้อนถึงความเข้าใจในเนื้อหาและองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

(Habiddin et al., 2021; Sulistina et al., 2021) บ่งบอกว่านักเรียนสามารถนำความรู้ที่ได้เรียนไปใช้ในชีวิตประจำวันได้ มากน้อยแค่ไหน

การสร้างข้อกล่าวอ้างให้กับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ หากข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงไป การลงข้อสรุปก็จะเปลี่ยนตามไปด้วย การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในลักษณะนี้ จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (วิโรจน์ ลิวคงสถาพร, 2552) ว่า วิทยาศาสตร์มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลอยู่ตลอดเวลาตามหลักฐานใหม่ที่ค้นพบ จึงช่วยทำให้มุมมองต่อวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเปลี่ยนไป (McNeill & Krajcik, 2008b) ไม่มองว่าวิทยาศาสตร์เป็นชุดข้อเท็จจริงจำนวนมหาศาล ที่ต้องใช้การจดจำ แต่อาศัยการทำความเข้าใจบนฐานของข้อมูลเชิงประจักษ์

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นอีกความสามารถหนึ่งที่สะท้อนการเป็นผู้มีความฉลาดรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ (Ningsi et al., 2019; Rahayu et al., 2018) ซึ่งเป็นหนึ่งในเป้าหมายสำคัญของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน เพราะการเป็นผู้ที่มีความฉลาดรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์จะต้องประกอบไปด้วยสามสมรรถนะ ได้แก่ การอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ การประเมินและออกแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และการแปลความหมายข้อมูลและการใช้ประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบ จะไปสนับสนุนให้นักเรียนเกิดความสามารถที่เป็นองค์ประกอบย่อย ๆ ของสมรรถนะในแต่ละด้าน เช่น การเลือกหลักฐานที่เหมาะสมมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง จะส่งเสริมความสามารถในการประเมินประจักษ์พยานจากแหล่งที่มาที่หลากหลาย การสร้างข้อกล่าวอ้างเพื่อลงข้อสรุปเกี่ยวกับปรากฏการณ์อย่างสมเหตุสมผลจะสนับสนุนความสามารถในการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงในเชิงวิทยาศาสตร์ที่สมเหตุสมผล การนำหลักการทางวิทยาศาสตร์มาเชื่อมโยงข้อกล่าวอ้างกับหลักฐานให้สัมพันธ์จะช่วยให้เกิดความสามารถในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการสร้างคำอธิบายที่สมเหตุสมผล เป็นต้น

การฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ยังเป็นการฝึกทักษะการจูงใจผู้อื่นอย่างมีเหตุผล (รัชกร เวชวรนนท์ และคณะ, 2562) เนื่องจากมีขั้นตอนที่นักเรียนจะต้องนำเสนอและแลกเปลี่ยนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ซึ่งกันและกัน นักเรียนจึงต้องสร้างข้อกล่าวอ้างที่มีหลักฐานสนับสนุนชัดเจนและน่าเชื่อถือ เพื่อโน้มน้าวให้ผู้อื่นคล้อยตามได้ ในการพิสูจน์หลักฐานให้มีความน่าเชื่อถือก่อนที่จะนำมาสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์นั้น นักเรียนจะต้องประเมิน

คุณภาพของข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ช่วยให้นักเรียนเกิดทักษะในการประเมินคุณภาพของข้อมูล (Tang, 2021) ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตในยุคสมัยที่เต็มไปด้วยข่าวสารจำนวนมาก

แม้ว่าขั้นตอนในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อน จะส่งผลให้นักเรียนได้รับการพัฒนาในหลายด้าน แต่ในขณะเดียวกัน แต่ละขั้นตอนก็จะมีปัจจัยแทรกซ้อนที่ส่งผลกระทบให้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างขึ้นมีคุณภาพแตกต่างกัน ปัจจัยเหล่านั้นสามารถพิจารณาได้จากหัวข้อ 1.3

1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อาศัยความรู้และประสบการณ์ในหลายด้าน (Ningsi et al., 2019) ทั้งด้านความรู้วิทยาศาสตร์ ด้านการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (McNeill et al., 2006) และด้านการสื่อสาร (Sulistina et al., 2021) เนื่องจากนักเรียนจะต้องเขียนแสดงองค์ประกอบให้ครบถ้วน จึงจะถือว่าสามารถสร้างคำอธิบายได้สมบูรณ์ การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จึงเป็นแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ที่มีความซับซ้อน (Tang, 2015) โดยองค์ประกอบที่มีผลต่อการสร้างองค์ประกอบอื่น ๆ คือ ข้อกล่าวอ้าง หากนักเรียนสร้างข้อกล่าวอ้างไม่ถูกต้อง สององค์ประกอบที่เหลือ ก็จะไม่ถูกต้องตามไปด้วย (ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563) เมื่อพิจารณาจากผลการวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่าสิ่งที่ส่งผลกระทบต่อ การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน สามารถจัดกลุ่มให้สอดคล้องตามปัจจัยที่กล่าวไปด้านบน ได้ดังนี้

1) ความรู้และประสบการณ์ทางวิทยาศาสตร์

ความรู้ ประสบการณ์และความคุ้นเคยเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่กำลังสนใจมีผลต่อการสร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (ตีรณา ชุมแสง และคณะ, 2560; พณินดา มีลา และ ร่มเกล้า อาจเดช, 2560; ศิริบุญญา หิริโอ และคณะ, 2563) เนื่องจากความรู้และประสบการณ์เดิมเป็นพื้นฐานในการต่อยอดความรู้และประสบการณ์ใหม่ แม้ว่าสิ่งที่ได้รับมาจะขัดแย้งกับสิ่งที่มีอยู่เดิม นักเรียนจะรู้สึกมีส่วนร่วมในการเรียนรู้มากกว่าการที่ไม่เคยมีอะไรมาก่อนเลย (คัทลียา สิงหวิ, 2563) โดยองค์ประกอบที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุดเมื่อนักเรียนขาดแนวคิดและประสบการณ์เดิมทางวิทยาศาสตร์ คือ หลักฐานและการให้เหตุผล (ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563; ศิริบุญญา หิริโอ และคณะ, 2563)

เมื่อความเข้าใจในเนื้อหา มีผลต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน การพิจารณาคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างขึ้นก็สามารถย้อนกลับไปที่ความเข้าใจในเนื้อหาของนักเรียนได้ (ณัฐวรรณ ศิริธร, 2560) โดยนักเรียนที่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ดี จะมีความเข้าใจในเนื้อหาสูงตามไปด้วย (McNeill & Krajcik, 2008)

2) ความรู้และประสบการณ์ในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

นักเรียนจะสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ดีในองค์ประกอบใดขึ้นอยู่กับความถี่ในการฝึกฝน เช่น ถ้าหากนักเรียนได้ฝึกการเลือกใช้หลักฐานในการสร้างคำอธิบายอย่างสม่ำเสมอ นักเรียนจะสามารถเลือกใช้หลักฐานในการสร้างคำอธิบายได้เหมาะสมและเพียงพอ (เขมรัฐ จุฑานฤปกิจ และคณะ, 2561; สิริพงศ์ แพทย์วงศ์ และคณะ, 2563) นอกจากนี้ หากนักเรียนเคยผ่านการฝึกประเมินคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (Sulistina et al., 2021) หรือฝึกเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563) มาก่อน จะช่วยให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ดี เพราะนักเรียนจะเกิดความเข้าใจตั้งแต่แรกว่าสถานการณ์นี้เกี่ยวข้องกับโมทัศน์ทางวิทยาศาสตร์เรื่องใด จึงวิเคราะห์สถานการณ์และบริบทของปัญหาเพื่อพิจารณาและตัดสินใจเลือกหลักฐานที่เหมาะสมได้ นำไปสู่การเชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างได้อย่างมีเหตุผล (วันเพ็ญ คำเทศ และคณะ, 2563)

นอกจากการฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยตรงแล้ว การโต้แย้งก็ช่วยให้นักเรียนสร้างองค์ประกอบด้านหลักฐานได้ดี (นำพงศ์ จันทรโท และคณะ, 2563; รัชกร เวชรอนันท์ และคณะ, 2562) โดยการโต้แย้งในที่นี้จะหมายถึงการวิพากษ์ความเหมาะสมและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่นำมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง นักเรียนจะได้วิเคราะห์ข้อมูลที่นำมาสนับสนุนในมุมมองที่ต่างกัน ส่งผลให้นักเรียนสามารถพิจารณาความเหมาะสมของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ เกิดการเชื่อมโยงหลักฐานเข้ากับ ข้อกล่าวอ้างของตนเอง

3) ความรู้และประสบการณ์ด้านการสื่อสาร

นักเรียนที่เคยได้รับการฝึกฝนเกี่ยวกับทักษะการสื่อสารจะช่วยให้สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ชัดเจนกว่า (Sulistina et al., 2021) นอกจากนี้ลักษณะของแบบวัดที่ใช้รูปภาพเป็นข้อมูลประกอบสถานการณ์ พบว่า นักเรียนไม่สามารถบรรยายข้อมูลจากภาพให้ออกมาเป็นตัวหนังสือได้ เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ จึงแปลความหมายได้ว่า นักเรียนสร้างหลักฐานได้ไม่ดี ส่งผลให้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างมีองค์ประกอบไม่ครบถ้วน (ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563) จากข้อค้นพบดังกล่าวสะท้อนว่านักเรียนที่มีความสามารถในการเขียนบรรยายไม่ดี จะส่งผลให้การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ไม่สมบูรณ์

4) ปัจจัยอื่น ๆ

พฤติกรรมที่แตกต่างกันของครูผู้สอนจะส่งผลต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน (Amelia et al., 2020) เช่น การถามคำถามของครูผู้สอน มีผลต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน (รัชกร เวชรอนันท์ และคณะ, 2562) โดยเฉพาะการ

ถามแบบชักใช้ไฉ่เรียง จะทำให้นักเรียนเกิดการคิดอย่างต่อเนื่อง จนสามารถเชื่อมโยงหลักการทางวิทยาศาสตร์เข้ากับสถานการณ์ที่กำลังสนใจได้ (นำพงศ์ จันทรโท และคณะ, 2563; รัชกร เวชรนันท์ และคณะ, 2562)

แนวทางหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้รับการพัฒนาปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ คือ การจัดการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ เนื่องจากกิจกรรมดังกล่าวจะทำให้นักเรียนได้เผชิญหน้ากับสถานการณ์ในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ต่างกัน ตามลักษณะเนื้อหาแต่ละเรื่อง ทำให้นักเรียนมีประสบการณ์ในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย ซึ่งแต่ละการจัดการเรียนรู้ก็จะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน

1.4 การจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

จากความสำเร็จของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ได้กล่าวไปข้างต้น จึงมีนักวิจัยหลายท่านได้พยายามนำแนวทางการจัดการเรียนรู้มาใช้ในการส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้นักการศึกษาบางท่านยังได้ออกแบบกลยุทธ์เฉพาะที่สอดคล้องกับลักษณะของนักเรียนในประเทศของตนเอง ซึ่งถือว่าประสบความสำเร็จอย่างมาก เพราะน้อยคนนักที่จะสามารถออกแบบการจัดการเรียนรู้ได้สอดคล้องตามสภาพจริงของนักเรียน

จากการศึกษาตัวอย่างงานวิจัยภายในประเทศ พบว่า แนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry-based learning) เป็นแนวทางที่นิยมนำมาใช้ในการส่งเสริมและพัฒนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมากที่สุด (เขมรัฐ จุฑานุกาญจน์ และคณะ, 2561; รัชกร เวชรนันท์ และคณะ, 2562; ศศิกานต์ นิมดำ และคณะ, 2563; ศิริบุญญา หิริโอ และคณะ, 2563) เนื่องจากเป็นแนวทางที่กำหนดหนึ่งในลักษณะสำคัญเอาไว้อย่างชัดเจนว่า นักเรียนจะต้องมีส่วนร่วมในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากหลักฐานที่รวบรวมมาเพื่อตอบคำถามที่สงสัย (National Research Council, 2000) การสืบเสาะหาความรู้มีลักษณะสำคัญทั้งหมดห้าประการ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561) ได้แก่ 1) ผู้สอนสร้างประเด็นคำถามทางวิทยาศาสตร์ให้นักเรียนได้มีส่วนร่วม 2) นักเรียนลงมือรวบรวมหลักฐานเพื่อหาคำตอบของคำถาม 3) นักเรียนแสดงความสัมพันธ์ของหลักฐานเชิงประจักษ์ที่รวบรวมเพื่ออธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ 4) นักเรียนประเมินคำอธิบายที่สร้างขึ้น ทั้งของตนเองและเพื่อนร่วมชั้น เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของหลักฐาน และนำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงแก้ไขคำอธิบายของตนเองจากนั้นขั้นตอนสุดท้าย 5) จะต้องมีการสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างนักเรียนจากลักษณะสำคัญทั้งห้าประการ แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องระหว่างขั้นตอนของการจัดการ

เรียนรู้กับกระบวนการสร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ทั้งสามองค์ประกอบตามกรอบแนวคิด CER (McNeill & Krajcik, 2008b) คือ 1) นักเรียนจะต้องให้ความสำคัญกับหลักฐานที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบ สอดคล้องกับการสร้างองค์ประกอบด้านหลักฐาน 2) นักเรียนจะต้องมีการสร้างคำอธิบายจากความสัมพันธ์ของหลักฐานที่สำรวจและรวบรวมได้ ลักษณะนี้จะสอดคล้องกับการลงข้อสรุป หรือการสร้างองค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้าง และ 3) นักเรียนต้องเชื่อมโยงคำอธิบายที่สร้างขึ้นกับแนวคิดหรือทฤษฎีที่มีมาก่อนหน้าเพื่อพิจารณาความเหมาะสมของหลักฐาน จะคล้ายกับการให้เหตุผลที่เป็นการเชื่อมโยงหลักฐานกับข้อกล่าวอ้างโดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์

แนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ ไม่ได้กำหนดขั้นตอนหรือวิธีการจัดการเรียนรู้ที่ตายตัว ทำให้นักวิจัยก่อนหน้าเลือกใช้รูปแบบและวิธีการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลาย เช่น การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์แบบ 5 ขั้นตอนในเนื้อหาฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม (เขมรัฐ จุฑานุกิจ และคณะ, 2561) ซึ่งค้นพบว่า การทำแบบฝึกหัดที่ให้นักเรียนได้สร้างคำอธิบายซ้ำ ๆ จะช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น แต่ยังไม่สามารถพัฒนาให้นักเรียนระบุข้อกล่าวอ้างที่ถูกต้องได้ การจัดการเรียนรู้ เรื่อง การหมุนเวียนสสารในร่างกาย ตามแนวทางการแบบสืบเสาะผ่านอุปกรณ์ไร้สายเคลื่อนที่ (ศิริกัญญา หิริโอ และคณะ, 2563) สรุปว่า นักเรียนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้านการให้เหตุผลอยู่ในระดับปรับปรุง กล่าวได้ว่าแนวทางการสืบเสาะหาความรู้เพียงอย่างเดียว ยังไม่สามารถทำให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ได้ เพราะมีบางองค์ประกอบที่นักเรียนยังไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจน ผู้วิจัยต่อมาจึงได้นำเทคนิคหรือกลวิธีอื่น ๆ มาประกอบการจัดการเรียนรู้ร่วมด้วย เช่น มณีรัตน์ แก่นทอง and อรสา จรูญธรรม (2562, น. 259) ใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการชี้แนะ พบว่าครูจะต้องลดบทบาทลง ให้นักเรียนได้สร้างความรู้จากการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง จึงจะสามารถสะท้อนความเข้าใจด้วยการสร้างคำอธิบายด้วยตนเองได้ รัชกร เวชวรนนท์, เอกรัตน์ ทานาค, ชาตรี ฝ่ายคำตา, และสุรเดช ศรีทา (2562) พบผลการวิจัยที่ว่า การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้เกมเป็นฐานส่งผลให้นักเรียนมีทักษะในการเลือกหลักฐานและให้เหตุผลเพิ่มขึ้น พรพรรณภา อนิวรรณวงศ์ และร่มเกล้า จันทราษี (2562) พบว่า การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้การเชื่อมโยงหลักฐานและแบบจำลอง ช่วยให้นักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างครบถ้วน ซึ่งสอดคล้องกับคัทลียา สิงห์วี (2563) ที่วิเคราะห์ได้ว่าแนวทางที่นิยมนำมาใช้และมีขนาดอิทธิพลต่อการส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ของนักเรียนมากที่สุด คือ การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลอง ทั้งการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (MBI) การจัดการเรียนรู้แบบ MORE หรือแบบ EIMA เพราะนักเรียนจะได้สร้างและปรับปรุงคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของตนเองมากกว่าหนึ่งครั้ง ผ่านการแลกเปลี่ยนความคิดภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม มีการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษาเป็นแนวทางที่ตอบสนองต่อความต้องการของนักเรียน คือ ต้องการการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันเข้ากับเนื้อหา (ตีรณา ชุมแสง และคณะ, 2560) ต้องการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติ และทำกิจกรรมทดลองเป็นกลุ่ม เนื่องจากมีส่วนร่วมในการลงมือทำ ไม่ใช่การท่องจำเนื้อหา จะก่อให้เกิดความเข้าใจมากกว่า (ณัฐวรรณ ศิริธร และคณะ, 2560)

นอกจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ในรูปแบบต่าง ๆ แล้ว ยังพบการใช้แนวทางการจัดการเรียนรู้อื่น ๆ เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อีกด้วย โดยแนวทางที่ต่างออกไป จะมีการระบุแนวปฏิบัติที่ดี ซึ่งเป็นประโยชน์การนำแนวทางไปใช้ เช่น การจัดการเรียนรู้โดยใช้ประเด็นทางสังคมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์เป็นฐาน (Rahayu et al., 2018; ณัฐกฤษ ทองน้อย และคณะ, 2560) มีแนวปฏิบัติที่ดีในการส่งเสริมให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ คือ การกำหนดให้นักเรียนถามคำถามหลังเพื่อนกลุ่มอื่นนำเสนอผลงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพื่อให้นักเรียนสนใจในประเด็นที่เพื่อนกำลังนำเสนอ ช่วยให้ผู้รู้จักพิจารณาความเหมาะสมของหลักฐานและการให้เหตุผลได้ การจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเป็นฐาน (จิรวัดณ์ วโรภาส และคณะ, 2562) พบว่า การเชื่อมโยงสื่อการเรียนรู้และกิจกรรมที่นักเรียนต้องลงมือปฏิบัติให้เข้ากับประเด็นที่กำลังศึกษาอย่างชัดเจน จะช่วยให้นักเรียนสามารถพิจารณาข้อมูลเพื่อนำมาใช้เป็นหลักฐานได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะประเด็นศึกษาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน จะช่วยให้นักเรียนเปิดใจต่อการเรียนรู้มากขึ้น และในการอภิปรายระหว่างเรียน ควรมีแนวทางให้นักเรียนได้เตรียมตัวอย่างชัดเจน เช่น มีใบงานที่ระบุให้บันทึกข้อกล่าวอ้างของเพื่อนต่างกลุ่มพร้อมให้เขียนแสดงความคิดเห็นว่า เห็นด้วยหรือไม่เห็นด้วยอย่างไรกับข้อกล่าวอ้างนั้น ๆ แต่ต้องระมัดระวังไม่ให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นผิดประเด็น แนวทางการจัดการเรียนรู้ด้วยกลวิธีการโต้แย้งโดยใช้ประเด็นทางนิติวิทยาศาสตร์ (นำพงศ์ จันทรโท และคณะ, 2563) ระบุว่า การใช้คำถามแบบชักใช้ไล่เรียง จะเป็นตัวกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการคิดและมีความสงสัยใคร่รู้ นำไปสู่การสืบค้นข้อมูลเพื่อนำมาร่วมแสดงความคิดเห็นให้มุมมองที่แตกต่างกัน การเปิดโอกาสให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลนั้น ไม่ได้ทำอย่างอิสระ ต้องมีครูคอยให้คำแนะนำ เพื่อฝึกให้นักเรียนให้ความสำคัญกับความน่าเชื่อถือของแหล่งข้อมูล ที่จะต้องนำข้อมูลมาใช้เป็นหลักฐานในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

จากงานวิจัยภายในประเทศที่พบว่า มีการนำกลวิธีที่หลากหลายมาใช้เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ผู้วิจัยจึงได้ศึกษางานวิจัยจากต่างประเทศเพิ่มเติม พบการประยุกต์ใช้เทคนิคต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นกลยุทธ์ PRO (Tang, 2015) หรือ เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ซึ่งกล่าวแยกในหัวข้อต่อไป (Amelia et al., 2020; Biological Sciences Curriculum Study, 2012; German, 2018; McNeill et al., 2006; McNeill & Martin, 2011; Oktavianti et al., 2018)

กลยุทธ์ PRO เป็นกลยุทธ์ที่พัฒนาขึ้นในประเทศสิงคโปร์ มีจุดต้นเริ่มมาจากการที่ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ แต่ไม่สามารถนำความรู้ดังกล่าวมาใช้ในการตอบคำถามปลายเปิดได้ (Tang, 2015) การใช้กลยุทธ์นี้จึงเริ่มต้นจากการระบุหลักการหรือข้อความจริงที่เป็นพื้นฐานของคำอธิบาย (Premise or Principle: P) จากนั้นจึงเชื่อมโยงจากหลักการนั้น ๆ ไปยังสิ่งที่เกิดขึ้นอย่างเป็นเหตุเป็นผล เรียกกระบวนการนี้ว่า Reasoning I เมื่อมีการเชื่อมโยงความรู้อย่างสิ่งที่เกิดขึ้น (Outcome: O) จึงทำให้สิ่งที่เกิดขึ้นมานั้นถูกอธิบายได้ในที่สุดซึ่งจะแตกต่างไปจากเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้หรือแนวทางในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ทั่ว ๆ ไป ที่เริ่มต้นจากการรวบรวมและพิจารณาหลักฐาน กลยุทธ์ PRO สร้างขึ้นเพื่อสนับสนุนแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้แบบ 5E โดยกลยุทธ์นี้จะเริ่มนำมาใช้หลังจากที่นักเรียนได้รู้เกี่ยวกับแนวคิดหรือมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์จากผู้สอนเรียบร้อยแล้ว คือในขั้นขยายความรู้ (Elaborate) นักเรียนจะได้รับเงื่อนไขหรือสถานการณ์ที่แตกต่างออกไป นักเรียนจะต้องนำคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างจากขั้นก่อนหน้า มาปรับหรือประยุกต์เพื่ออธิบายสถานการณ์ใหม่ (Tang, 2015)

จากการสังเคราะห์งานวิจัยในระดับบัณฑิตศึกษาของศุภลลิตา สิงหวิ (2560) พบว่า การจัดการเรียนรู้ส่วนใหญ่จะใช้แผนการจัดการเรียนรู้ 8 แผน คิดเป็นระยะเวลาประมาณ 20 คาบ ๆ ละ 50 นาที ผลการวิจัยที่ผ่านมายังสะท้อนว่า แนวทางและเทคนิคในการจัดการเรียนรู้มีผลต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน (นำพงศ์ จันทรีโท และคณะ, 2563) เพราะเมื่อมีการใช้แนวทางหรือเทคนิคที่แตกต่างกัน การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก็ต่างออกไป โดยผู้วิจัยพบข้อสังเกตเกี่ยวกับการส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1) การฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ไม่ว่าจะส่งเสริมด้วยแนวทางหรือเทคนิคการจัดการเรียนรู้แบบใด ควรให้นักเรียนทำความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ก่อน เพื่อให้นักเรียนสามารถแยกองค์ประกอบให้ได้อย่างชัดเจนว่า

แต่ละด้านมีลักษณะอย่างไร (ศิริบุญญา หิริโอ และคณะ, 2563) โดยครูอาจจะต้องช่วยเน้นย้ำถึงความแตกต่างของแต่ละองค์ประกอบในทุกครั้งที่จัดการเรียนรู้ (ตีรณา ชุมแสง และคณะ, 2560) หรือสร้างกิจกรรมที่ให้นักเรียน วิพากษ์องค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563)

2) ควรเริ่มฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากสถานการณ์ที่มีความซับซ้อนน้อยและอยู่ในบริบทใกล้ตัวก่อน เมื่อสร้างได้ดีขึ้นจึงใช้สถานการณ์ที่ซับซ้อนและมีบริบทที่ไกลตัวออกไป ในการเลือกหลักฐาน ก็ควรเริ่มฝึกจากการรวบรวมหลักฐานด้วยตนเอง เช่น รวบรวมผ่านการทดลอง การพิจารณาหลักฐานในลักษณะนี้ จะช่วยให้นักเรียนสามารถประเมินความเหมาะสมของหลักฐานได้ (ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563; ณัฐวดี ปฐมมีโชค และคณะ, 2563) เมื่อเจอกับสถานการณ์ที่มีข้อมูลมากมาย ก็จะตัดสินใจได้ว่า ข้อมูลใดควรนำมาใช้เป็นหลักฐานในการสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง แต่การใช้ข้อมูลจากการทดลองมาเป็นหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างเพียงอย่างเดียว มีข้อพึงระวัง คือ จะทำให้การเรียนรู้ขาดการเชื่อมโยงกับบริบทในชีวิตประจำวันไม่เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมายต่อนักเรียน (วันเพ็ญ คำเทศ และคณะ, 2563)

3) ครูผู้สอนต้องออกแบบสถานการณ์ที่ไม่ใช่เพียงแต่ประเด็นทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ต้องมีการเชื่อมโยงในบริบทอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่น ประเด็นทางนิเวศวิทยา (นำพงศ์ จันทรโท และคณะ, 2563) หรือประเด็นทางสังคมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ (ณัฐกฤษ ทองน้อย และคณะ, 2560) ที่ยังไม่มีข้อสรุปชัดเจน ประเด็นเหล่านี้จะทำให้เกิดกระบวนการคิดที่หลากหลาย นักเรียนต้องพยายามรวบรวมหลักฐานเพื่อยืนยันข้อกล่าวอ้างของตนเอง (รัชกร เวชรอนันท์ และคณะ, 2562) กระตุ้นให้เกิดการคิดอย่างมีวิจารณญาณมากขึ้น เพิ่มโอกาสในการอภิปรายโต้แย้ง เพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียน ทำให้นักเรียนกล้าแสดงความคิดเห็นเพิ่มขึ้น หากเกิดพฤติกรรมเหล่านี้ ครูผู้สอนควรชี้แจงด้วยการแสดงความเห็นต้องอยู่บนพื้นฐานของหลักเหตุผล และมีหลักฐานรองรับชัดเจน

4) เมื่อนักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เรียบร้อยแล้ว การให้ข้อมูลป้อนกลับแก่นักเรียนภายในคาบเรียนทันที จะทำให้นักเรียนได้ฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างเต็มที่ที่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น (พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อະรุณี แสงสุวรรณ, 2565) ดังนั้นครูจึงควรมีวิธีการสะท้อนผลการเรียนรู้แก่นักเรียนทันที และควรทำเป็นรายบุคคล

เพื่อให้ทราบว่าการจัดการเรียนรู้ตามแต่ละแนวทางนั้น มีประสิทธิภาพต่อการสร้างมากน้อยเพียงใด จึงจำเป็นจะต้องมีการวัดและประเมินผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางนั้น ๆ เรียบร้อยแล้ว ซึ่งในแนวทางที่ค่อนข้างหลากหลาย กลับใช้รูปแบบในการวัดและประเมินผลที่คล้ายกันเป็นส่วนใหญ่

1.5 การวัดและประเมินผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

เมื่อพิจารณาด้านการวัดและประเมินผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ พบว่าส่วนใหญ่จะประเมินผลในตอนท้ายหลังเสร็จสิ้นการจัดการเรียนรู้เพียงครั้งเดียว (McNeill & Krajcik, 2008; ฌอลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563) อาจมีประเมินก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้บ้าง (พิชญ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ, 2565; ศศิกานต์ นิมดำ และคณะ, 2563) โดยการประเมินจะสร้างนิยามทดสอบในลักษณะเดียวกัน คือ ใช้แบบวัดที่เป็นคำถามปลายเปิดในรูปแบบของแบบทดสอบอัตนัย แบบเขียนอธิบาย หรือแบบความเรียง (essay form) (Amelia et al., 2020; McNeill & Krajcik, 2008; Ningsi et al., 2019; Oktavianti et al., 2018; Sulistina et al., 2021; เขมรัฐ จุฑานุกิจ et al., 2561; ฌอลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563; ญัฐวรรณ ศิริธร และคณะ, 2560; นำพงศ์ จันทรโท และคณะ, 2563; พรรณนภา อนิวรรณวงศ์ และ ร่มเกล้า จันทราช, 2562; พิชญ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ, 2565; รัชกร เวชวรนนท์ และคณะ, 2562; สิริพงศ์ แพทย์วงศ์ และคณะ, 2563) มีลักษณะดังภาพประกอบ 2 แบบทดสอบในรูปแบบดังกล่าว เพื่อให้ นักเรียนได้สร้างทุกองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง แต่มีข้อจำกัด คือ นักเรียนต้องมีทักษะการเขียนที่ดี จึงจะสามารถตอบในลักษณะดังกล่าวได้ เนื่องจากนักเรียนจะเขียนตอบด้วยข้อความมากกว่าหนึ่งข้อความ และทุกข้อความต้องมีความสัมพันธ์กัน แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ส่วนใหญ่จะมีจำนวนเฉลี่ย 4 ข้อ (คัทลียา สิงหวิ, 2563) เพื่อให้มีความเหมาะสมกับระยะเวลาในการทำ ส่วนแบบทดสอบแบบปรนัยยังสามารถพบเห็นได้น้อย และไม่แพร่หลายเท่าแบบอัตนัย โดยพบในงานวิจัยของ แม็กนีลและคราจซิก (McNeill & Krajcik, 2007) เพราะแบบปรนัย นักเรียนจะพิจารณาคำตอบจากตัวเลือกที่มี ไม่ได้ลงมือสร้างแต่ละองค์ประกอบด้วยตนเอง และถามได้ครั้งละหนึ่งองค์ประกอบ แบบวัดในลักษณะนี้จึงเหมาะแก่การนำมาใช้เป็นแบบฝึกหัดในการพิจารณาความเหมาะสมของแต่ละองค์ประกอบดังตัวอย่างในภาพประกอบ 3 หรือใช้แบบวัดที่มีรูปแบบผสมทั้งปรนัยและอัตนัยที่พบในงานวิจัยของ Habiddin et al. (2021) โดยแบบปรนัยจะให้เลือกข้อกล่าวอ้าง ส่วนแบบอัตนัยจะให้เขียนแสดงเหตุผลในการเลือกตอบส่วนหลักฐานจะให้มาเป็นข้อมูลประกอบ นักเรียนจึงเพียงแค่พิจารณาเพื่อตัดสินใจในการเลือกข้อกล่าวอ้างเท่านั้น ไม่ได้สร้างด้วยตนเอง ดังภาพประกอบ 4

คาร์ลอสทำการวัดปริมาณบางอย่างกับของเหลวสองชนิด คือ กรดบิวทาโนอิก และบิวทานอล เริ่มจากผสมสารทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันแล้วนำสารผสมไปให้ความร้อน หลังจากคนและให้ความร้อน พบว่า สารแยกออกเป็นสองชั้น ชั้น A และชั้น B คาร์ลอสได้นำของเหลวในแต่ละชั้น มาทดสอบบางอย่าง ได้ผลดังนี้

		ปริมาณที่วัด				
		ความหนาแน่น (g/cm ³)	จุดหลอมเหลว (°C)	มวล (g)	ปริมาตร (cm ³)	ความสามารถใน การละลายน้ำ
ก่อนคนและ ให้ความร้อน	กรดบิวทาโนอิก	0.96	-7.9	9.78	10.18	ละลาย
	บิวทานอล	0.81	-89.5	8.22	10.15	ละลาย
หลังคนและ ให้ความร้อน	ชั้น A	0.87	-91.5	1.74	2.00	ไม่ละลาย
	ชั้น B	1.00	0.0	2.00	2.00	ละลาย

เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่บ่งบอกว่ามีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น เมื่อคาร์ลอสคนและให้ความร้อนแก่กรดบิวทาโนอิกและบิวทานอล

.....

.....

.....

.....

ภาพประกอบ 2 แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบอัตโนมัติ

ที่มา : McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2007). Middle school students' use of appropriate and inappropriate evidence in writing scientific explanations *Thinking with data*. (pp. 233-265). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

นักเรียนคนหนึ่งพบสารสีขาวที่มีลักษณะเป็นผงเหมือนกัน 2 ชนิด หากนักเรียนคนดังกล่าวต้องการทดสอบให้ได้ว่า สารทั้งสองชนิดเป็นสารชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน วิธีการในข้อใดเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้

- A. วัดมวล ปริมาตร และอุณหภูมิของสารแต่ละชนิดแล้วเปรียบเทียบกัน
- B. เทสารทั้งสองชนิดรวมกันแล้วสังเกตว่ามีปฏิกิริยาเกิดขึ้นหรือไม่
- C. ผสมสารทั้งสองชนิดเข้าด้วยกันแล้วทดสอบสมบัติของสาร
- D. วัดความหนาแน่น สภาพการละลาย และจุดหลอมเหลวของสารแต่ละชนิดแล้วเปรียบเทียบกัน

ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบปรนัย

ที่มา : McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2007). Middle school students' use of appropriate and inappropriate evidence in writing scientific explanations *Thinking with data*. (pp. 233-265). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

จากภาพแสดงรายละเอียดของสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ในระดับมหภาค
อย่างง่าย คือ ไม่แสดงโมเลกุลของน้ำ

สารละลายชนิดนี้มีสมบัติเป็น.....

A. กรด B. เบส C. กลาง D. ยากที่จะทำนาย

อธิบายเหตุผลที่เลือก

.....

ภาพประกอบ 4 แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบผสม

ที่มา : Habiddin, H., Atikah, A., Husniah, I., Haetami, A., & Maysara, M. (2021). Building scientific explanation: A study of acid-base properties of salt solution. *AIP Conference Proceedings*, 2330(1), 020047.

ในการพิจารณาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนนั้น จะให้คะแนน โดยใช้เกณฑ์ประเมินแบบแยกประเด็นตามองค์ประกอบ 3 ด้านของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (McNeill & Krajcik, 2007; พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อรุณี แสงสุวรรณ, 2565) แต่ละด้านมีคะแนนเต็ม 2 คะแนน ในหนึ่งข้อจึงมีคะแนนเต็ม 6 คะแนน ดังตาราง 1 แล้วแปลผลเป็นระดับการสร้างคำอธิบาย โดยมีเกณฑ์การแปลผลที่ต่างกัันดังนี้

1) การใช้คะแนนภาพรวมเป็นเกณฑ์ แล้วแบ่งเป็น 3 ระดับที่มีช่วงห่างเท่า ๆ กัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้แบบวัดจำนวน 4 ข้อ จึงมีคะแนนเต็ม 24 คะแนน แบ่งได้เป็น

3 ช่วง แต่ละช่วงห่าง 8 คะแนน ได้แก่ ระดับที่หนึ่ง 0 – 8 คะแนน ระดับที่สอง 9 – 16 คะแนน และระดับที่สาม 17 – 24 คะแนน มีการใช้คำเพื่อแสดงความหมายในการแปลผลแต่ละระดับที่แตกต่างกัน เช่น ระดับควรปรับปรุง ดี ดีมาก (พิชญ์ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ, 2565; ศศิกานต์ นิ่มดำ และคณะ, 2563) ระดับปรับปรุง ปานกลาง ดี (ณัฐวดี ปฐมมีโชค และคณะ, 2563)

ตาราง 1 เกณฑ์การให้คะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แยกตามองค์ประกอบทั่วไป

องค์ประกอบ	คะแนน		
	0	1	2
ข้อกล่าวอ้าง ข้อสรุปที่เป็นคำตอบของ คำถาม	ไม่สร้างข้อกล่าว อ้าง หรือสร้าง แต่ไม่ถูกต้อง	สร้างข้อกล่าวอ้าง ถูกต้อง แต่ ไม่สมบูรณ์	สร้างข้อกล่าวอ้างที่ ถูกต้องและสมบูรณ์
หลักฐาน ข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่มี ความเพียงพอและ เหมาะสมที่จะสนับสนุนข้อ กล่าวอ้าง	ไม่ระบุหลักฐาน หรือให้หลักฐาน ที่ไม่เหมาะสม กับข้อกล่าวอ้าง	ให้หลักฐานที่ เหมาะสม แต่มี ปริมาณไม่เพียงพอ ที่จะสนับสนุน ข้อกล่าวอ้าง	ให้หลักฐานที่ สนับสนุนข้อกล่าว อ้างอย่างเหมาะสม และเพียงพอ
การให้เหตุผล การเชื่อมโยงระหว่างข้อ กล่าวอ้างและหลักฐาน แสดงให้เห็นว่า เพราะเหตุ ใดหลักฐานจึงสนับสนุนข้อ กล่าวอ้าง โดยใช้หลักการ ทางวิทยาศาสตร์ มาสนับสนุน	ไม่แสดงเหตุผล เชื่อมโยง หรือ แสดงเหตุผล เชื่อมโยงแต่ไม่ เกี่ยวข้องกับ หลักฐานและข้อ กล่าวอ้าง	แสดงเหตุผลที่ เชื่อมโยงระหว่าง หลักฐานกับ ข้อกล่าวอ้าง แต่ไม่มี หลักการทาง วิทยาศาสตร์ที่ เหมาะสม เพียงพอ	แสดงเหตุผลที่ เชื่อมโยงระหว่าง หลักฐานกับ ข้อกล่าวอ้าง โดยมี หลักการทาง วิทยาศาสตร์ สนับสนุนอย่าง เหมาะสมและ เพียงพอ

ที่มา : McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008a). Inquiry and Scientific Explanations: Helping

Students Use Evidence and Reasoning. *Science as Inquiry in the Secondary Setting*.

2) การพิจารณาแยกตามแต่ละองค์ประกอบ แบ่งเป็น 3 ระดับเช่นกัน ได้แก่ ระดับ 0 ไม่มีการระบุองค์ประกอบ ระดับ 1 ระบุองค์ประกอบแต่ไม่ครบถ้วน และระดับ 2 ระบุองค์ประกอบได้ครบถ้วนสมบูรณ์ โดยจะแสดงความถี่ และร้อยละของนักเรียนที่ปรากฏอยู่ในระดับต่าง ๆ แยกตามแบบวัดเป็นรายข้อ (ณัฐวรรณ ศิริธร และคณะ, 2560; ตีรณา ชุมแสง และคณะ, 2560; พิชณ สุภาศาสตรวงศ์ และ อະรุณี แสงสุวรรณ, 2565; ศิริัญญา หิริโอ และคณะ, 2563; อรณิชา หงษ์เกิด และคณะ, 2561) อาจมีการระบุค่าเพื่อแปลความหมายในแต่ละระดับ เช่น ระดับ 0, 1, 2 คือ ระดับปรับปรุง พื้นฐาน และชำนาญ (ฉลองวุฒิ จันทรหอม และสมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563) ระดับ 0, 1, 2 คือ ระดับปรับปรุง ดี ดีมาก (เขมรัฐ จุฑานฤปกิจ และคณะ, 2561) หรือแบ่งเป็น 3 ระดับเหมือนกัน แต่ใช้ตัวเลขแทนระดับต่างกันเป็นระดับ 1, 2 และ 3 (จรรยาลักษณ วรโคตร และคณะ, 2561; พณินดา มีลา และ ร่มเกล้า อาจเดช, 2560) ซึ่งผลการวิจัยก็จะแตกต่างกันไปตามรูปแบบของแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เลือกใช้

3) มีการใช้คะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์ (อรณิชา หงษ์เกิด และคณะ, 2561) แล้วแบ่งเป็น 5 ระดับที่ต่างกัน คือ ไม่มีพัฒนาการ มีพัฒนาการระดับต้น ปานกลาง สูง และสูงมาก (รัชกร เวชวรนนท์ และคณะ, 2562)

4) มีการใช้วิธีการเชิงคุณภาพอย่างการวิเคราะห์เนื้อหา เพื่อจัดกลุ่มคำอธิบายของนักเรียน (Rahayu et al., 2018; นำพงศ์ จันทรโท และคณะ, 2563; พรพรรณภา อนิวรรณวงศ์ และ ร่มเกล้า จันทราษี, 2562)

จากงานวิจัยก่อนหน้า พบข้อควรพิจารณาสำหรับการวัดและประเมินผล ดังนี้

1. แบบวัดที่ดีต้องมีข้อมูลประกอบสถานการณ์ที่ครบถ้วน (ณัฐวรรณ ศิริธร และคณะ, 2560) และควรมีข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องสอดแทรกเข้าไป เพื่อประเมินว่านักเรียนมีความสามารถ ในการพิจารณาหลักฐานจริงหรือไม่

2. แบบวัด 1 ข้อ ควรวัด 1 แนวคิด และไม่ใช้การถามแนวคิดหรือองค์ความรู้โดยตรง (นำพงศ์ จันทรโท และคณะ, 2563) และไม่ใช้คำถามที่คำนวณแล้วได้คำตอบ แต่จะต้องมีการใช้แนวคิดในการพิจารณาข้อมูลเพื่อเลือกมาใช้เป็นหลักฐาน และหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดแนวคิดอื่นแฝงเข้ามาเพื่อป้องกันไม่ให้นักเรียนเกิดความสับสน (ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563) เพราะโดยธรรมชาติ นักเรียนจะพิจารณาคำตอบตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ก่อน จึงค่อยพิจารณาหลักฐาน (รัชกร เวชวรนนท์ และคณะ, 2562)

3. แบบวัดที่ดี ควรเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตประจำวัน หรือสถานการณ์ที่มีบริบทเฉพาะ เพื่อเน้นให้ข้อมูลประกอบสถานการณ์มีความเด่นชัด และดึงดูดให้นักเรียนต้องพิจารณา (วันเพ็ญ คำเทศ และคณะ, 2563) โดยรูปแบบคำถามที่ใช้ จะต้องไม่ใช่คำถามว่าอะไร แต่เป็นคำถามที่กระตุ้นให้เกิดการคิดพิจารณาหาแนวโน้มที่เป็นไปได้มากที่สุดตามหลักฐานเชิงประจักษ์ที่มี (รัชกร เวชวรนนท์ และคณะ, 2562)

4. ในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนดให้นักเรียนแสดงหลักฐานในรูปแบบที่นอกเหนือจากการเขียนตอบ เช่น การคำนวณ (ติรณา ชุมแสง และคณะ, 2560) การวาดภาพประกอบ (ศศิมน ศรีกุลวงศ์ และ ฎฎาภา ลดาชาติ, 2564) ผู้วิจัยจะต้องมั่นใจและมีหลักฐานยืนยันว่า ความสามารถของนักเรียนที่เพิ่มเข้ามาจะต้องอยู่ในระดับดีและไม่กระทบต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ถ้าหากนักเรียนไม่มีความสามารถดังกล่าว จะเป็นอุปสรรคต่อการแสดงหลักฐาน และถูกตีความว่าไม่สามารถแสดงหลักฐานได้ ซึ่งไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง และต้องมั่นใจว่า สิ่งที่ทำให้นักเรียนลงมือทำ ไม่ใช่การสร้างหลักฐานให้สอดคล้องกับข้อกล่าวอ้างของตนเอง เพราะหลักฐานต้องมาจากการเลือกใช้ข้อมูลที่มีความเหมาะสม

ในการพัฒนาแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกสร้างเครื่องมือตามรูปแบบที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ แบบทดสอบอัตนัยแบบความเรียง เนื่องจากเป็นแบบทดสอบที่นักเรียนจะต้องสร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองทั้งหมด จึงเป็นแบบวัดที่มีประสิทธิภาพ (พิริยะ วรธนไทย และ ชนินันท์ พฤกษ์ประมุข, 2564) เมื่อใช้แบบวัดในลักษณะดังกล่าว จะสามารถสะท้อนพฤติกรรมที่แท้จริงของนักเรียนได้ ในแต่ละข้อจะวัดทั้งสามองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER คือ ข้อสรุป (claim) หลักฐาน (evidence) และการให้เหตุผล (reasoning) ในการตรวจให้คะแนนจะใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกประเด็นตามองค์ประกอบ โดยผู้วิจัยนำขั้นตอนการสร้างแบบวัดและเกณฑ์การให้คะแนนมาจากแม็กนีย์ล (McNeill et al., 2006) มีรายละเอียด ดังนี้

1. ระบุและแจกแจงเนื้อหาสาระตามมาตรฐานการเรียนรู้ (Identify and Unpack the content standard) โดยแจกแจงเป็นรายละเอียดของแต่ละมโนทัศน์ให้ชัดเจน จากนั้น พิจารณามโนทัศน์อื่นที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ที่ระบุไว้หรือไม่ มีมโนทัศน์ใดที่จำเป็นต้องรู้มาก่อน เพื่อเชื่อมโยงมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องและจำเป็น

2. แจกแจงรายละเอียดย่อยของแนวปฏิบัติ (Unpack the scientific inquiry practice) แนวปฏิบัติในครั้งนี้ คือ การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีองค์ประกอบ

สามส่วน คือ ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล การออกแบบข้อคำถามในแบบวัด จึงจำเป็นที่จะต้องสอดคล้องกับทุกองค์ประกอบ และต้องแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ต้องการให้นักเรียนปฏิบัติอย่างไร การกำหนดรายละเอียดส่วนนี้จะส่งผลต่อการสร้างเกณฑ์การให้คะแนน

3. กำหนดลักษณะการแสดงผลของพฤติกรรมการเรียนรู้ (Create learning performance) เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้เป็นแบบทดสอบอัตนัย จึงต้องออกแบบลักษณะแบบวัดว่าจะมีรายละเอียดอย่างไร เช่น ใช้สถานการณ์แบบใด หรือมีข้อมูลประกอบสถานการณ์ในประเด็นใดหรือรูปแบบไหนบ้าง เพื่อเป็นกรอบในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยคำนึงถึงประสบการณ์ที่นักเรียนได้รับจากการเรียนรู้ในหัวข้อนั้น ๆ

4. สร้างเครื่องมือประเมินผลการเรียนรู้ (Write the assessment task) ตามรายละเอียดที่กำหนด และครอบคลุมในทศน์ที่ได้เรียนรู้

5. ทบทวนเครื่องมือประเมินผลการเรียนรู้ (Review assessment task) เพื่อตรวจสอบว่า เครื่องมือที่สร้างขึ้นนั้น วัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการจัดการเรียนรู้ที่ระบุไว้ตั้งแต่ต้น จะพิจารณารายละเอียดของเครื่องมือที่สร้างตามประเด็นคำถามต่อไปนี้

- เครื่องมือประเมินผลการเรียนรู้สามารถตอบสนองได้ด้วยองค์ความรู้ที่เรียนมาหรือไม่ (Is the knowledge needed to correctly respond to the task?)
- องค์ความรู้ที่ได้เรียนมาเพียงพอที่จะได้รับการประเมินที่ออกแบบมาด้วยตัวมันเองหรือไม่ หรือจะต้องใช้องค์ความรู้อื่น ๆ เพิ่มเติม (Is the knowledge enough by itself to correctly respond the task or is additional knowledge needed?)
- เงื่อนไขและรายละเอียดของเครื่องมือประเมินผลการเรียนรู้ง่ายต่อการทำความเข้าใจของนักเรียนหรือไม่ (Is the assessment task and context likely to be comprehensible to students?)

6. ปรับปรุงเครื่องมือและเกณฑ์การให้คะแนนให้สอดคล้องกัน โดยเฉพาะเกณฑ์การประเมินเฉพาะรายข้อ (Developing Specific Rubrics) ที่ต้องระบุให้ชัดเจนว่า อะไร คือ ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผลที่เหมาะสมและเพียงพอ

เพื่อพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คือ สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันได้มีองค์ประกอบครบถ้วนสมบูรณ์ตามกรอบแนวคิด CER ผู้วิจัยจึงเลือกใช้แนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมาช่วยในการจัดการเรียนรู้ เพราะเป็นแนวทางหนึ่ง

ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้มีประสิทธิภาพ โดยแนวทางดังกล่าวมีรายละเอียดดังที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2. การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เป็นกรอบแนวคิดหนึ่งที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อส่งเสริมให้เกิดการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ภายในโรงเรียน เมื่อนักเรียนปฏิบัติตามแนวทางดังกล่าว จะสามารถรวบรวมหลักฐานแล้วสร้างเป็นคำอธิบายที่ช่วยให้เข้าใจในบางแง่มุมของโลกธรรมชาติได้ (Windschitl et al., 2008)

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปเป็นประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

2.1 ความหมายของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน มีเป้าหมายเพื่อสร้างคำอธิบายที่ตรวจสอบได้ให้กับปรากฏการณ์หรือความเป็นไปในธรรมชาติ (Windschitl et al., 2008) แนวทางดังกล่าวนักเรียนจะเป็นผู้ตั้งคำถาม คาดคะเนคำตอบ วางแผนและรวบรวมข้อมูลเพื่อค้นหาคำตอบของสิ่งที่สนใจด้วยตนเอง นักเรียนจึงเป็นเจ้าของการสืบเสาะหาความรู้อย่างแท้จริง (Neilson, Campbell, & Allred, 2010) ในแนวทางนี้ แบบจำลองจะมีความสำคัญอยู่ 3 ประการ คือ 1) เป็นกรอบอ้างอิงในการตั้งสมมติฐานของการสืบเสาะหาความรู้ 2) เป็นกรอบอ้างอิงในการตีความสิ่งที่รวบรวมและสังเกตได้ และ 3) เป็นสิ่งที่จะต้องปรับปรุง หลังจากที่เราตรวจสอบข้อมูลเรียบร้อยแล้ว (Windschitl et al., 2008)

การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานจะรวมเอากลยุทธ์ในการจัดการเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ และแหล่งข้อมูลเข้าไว้ด้วยกัน เพื่ออำนวยความสะดวกในการพัฒนาแบบจำลองหรือตัวแทนในการนำเสนอความคิดของนักเรียนเป็นรายบุคคลหรือรายกลุ่ม (Todd Campbell & Drew Neilson, 2012) การสืบเสาะหาความรู้จะถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาแบบจำลองหรือตัวแทนในการนำเสนอความคิดของปรากฏการณ์ที่สนใจ จากนั้น นำแบบจำลองหรือตัวแทนในการนำเสนอความคิดที่ได้ มาเผยแพร่ให้กับผู้อื่นได้รับรู้ (ญาสุมินทร์ วรกิจจานนท์ และคณะ, 2563)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดนิยามของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานตามผลการศึกษาข้อมูลในเบื้องต้นว่า เป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้สร้าง ทบทวนและปรับปรุงแบบจำลองด้วยวิธีการที่หลากหลาย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วน แล้วนำแบบจำลองดังกล่าวไปใช้เป็นฐานในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้กับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่สำคัญและน่าสนใจ

จากนิยามข้างต้น สะท้อนว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานส่งเสริมให้นักเรียนได้แสดงออกถึงแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย จึงทำให้นักเรียนได้รับการพัฒนาทั้งองค์ความรู้และทักษะในทางวิทยาศาสตร์ (Cooper, Southard, Osness, & Bolger, 2022) แนวทางนี้จึงถือเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่มีความสำคัญและเหมาะสมที่จะนำไปใช้

2.2 ความสำคัญของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางข้างต้นเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ออกแบบ ประเมิน และปรับปรุงแบบจำลองของตนเองมากกว่าหนึ่งครั้ง (Cooper et al., 2022) จึงเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนได้ใช้แบบจำลองในลักษณะที่ต่างไปจากเดิม คือ ไม่ได้ใช้แบบจำลองเป็นเพียงแค่สื่อประกอบการนำเสนอเท่านั้น แต่เป็นสิ่งแทนความคิดที่อยู่ภายในจิตใจของนักเรียน ช่วยแสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษาอย่างไร

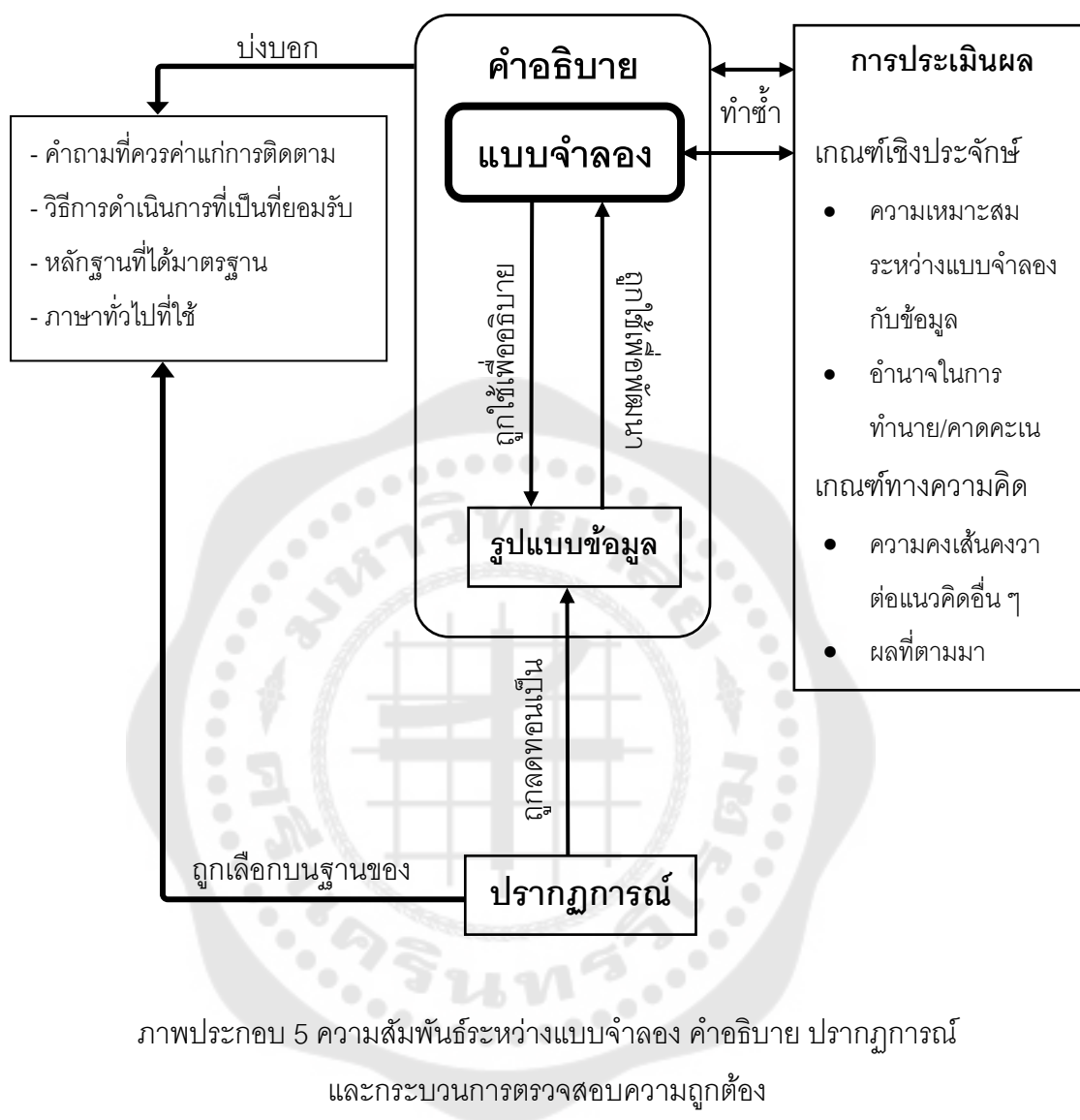
การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ผ่านการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Modeling) จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Campbell, Zhang, & Neilson, 2011) มากกว่าการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Method) ซึ่งเป็นวิธีการดั้งเดิมที่มีการควบคุมปัจจัยแวดล้อมเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษา (Windschitl et al., 2008) เนื่องจากระบบของชุดกิจกรรมและการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์ตามแนวทางข้างต้น จะสะท้อนกระบวนการทำงานของนักวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง เช่น ใช้แบบจำลอง ในการสืบเสาะหาความรู้ใหม่ แล้วนำความรู้ใหม่ที่ได้ย้อนกลับมาปรับปรุงแบบจำลองที่สร้างในตอนแรก จากนั้นนำแบบจำลองที่ปรับปรุงแล้วไปใช้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (Passmore, Stewart, & Cartier, 2009) ซึ่งจะเอื้อให้นักเรียนเกิดความลุ่มลึกกับองค์ความรู้ ช่วยให้นักเรียนเกิดความเข้าใจลึกซึ้งทั้งในองค์ความรู้ กระบวนการ และธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ (Campbell et al., 2011) แนวทางดังกล่าวจึงพัฒนาให้นักเรียนเกิดทักษะการสร้างแบบจำลอง (Formulating Models) ซึ่งเป็นหนึ่งในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนจะต้องมีเมื่อผ่านการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561; อนุพงศ์ ไพธศรี, ชาตรี ฝ่ายคำตา, เอกรัตน์ ทานาค, พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ, และ เอกภูมิ จันทรขันตี, 2565) รวมถึงช่วยพัฒนาการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์ในด้านการพูดของนักเรียน เนื่องจากในกระบวนการเรียนรู้ จะต้องมีการสนทนาแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างนักเรียนกับนักเรียนและนักเรียนกับผู้สอนค่อนข้างมาก (อัจจราพรพรณ ล้วนมณี และคณะ, 2565)

การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานได้รับการยอมรับจากนักวิทยาศาสตร์และนักวิทยาศาสตร์ศึกษาว่า ช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ (พิชญ์ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ, 2565) ช่วยพัฒนาความเข้าใจในมโนทัศน์และแนวคิดวิทยาศาสตร์ของนักเรียนให้ดีขึ้นได้ (พัฒน์ดา มีลา และ ร่มเกล้า อาจเดช, 2560) เมื่อมีการใช้สื่อการเรียนรู้ร่วมด้วย เช่น เทคโนโลยีภาพเสมือนจริง (พัชรพร อ่อนทอง, เอกรัตน์ ทานาค, วันชัย ปลื้มภาณุภัทร, และ ทศนีวรรณ เลิศเจริญฤทธิ์, 2561) เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวช่วยให้นักเรียนเข้าถึงเนื้อหาในระดับจุลภาคที่มีความเป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรมได้มากขึ้น ช่วยพัฒนาองค์ประกอบของการสื่อสารวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในด้านเนื้อหา ภาษา และสิ่งแทนความ (ญาสุมินทร์ วรกิจจานนท์ และคณะ, 2563; อัจฉราพรรณ ล้วนมณี และคณะ, 2565) เพราะการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองให้เหมาะสมเพื่อนำไปอธิบายปรากฏการณ์ จะส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความเข้าใจลักษณะของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น และใช้แบบจำลองเป็นสื่อประกอบการนำเสนอของตนเองได้ ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้พูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นภายในกลุ่ม ประกอบกับมีครูคอยให้คำแนะนำในประเด็นต่าง ๆ จะทำให้นักเรียนได้รับการพัฒนาทักษะด้านการพูด

ส่วนหนึ่งที่ทำให้แนวปฏิบัติต่าง ๆ ก่อให้เกิดการพัฒนาในนักเรียน คือ การพยายามทำให้การสืบเสาะหาความรู้เกิดขึ้นในห้องเรียน อย่างเป็นรูปธรรมและชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2.3 ที่มาของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เป็นการลดข้อจำกัดของการสืบเสาะหาความรู้แบบเดิม คือ ช่วยให้เห็นความแตกต่างระหว่างการสืบเสาะหาความรู้กับแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบอื่น ๆ โดยกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้ลงมือทำ จะผสานเอาลักษณะสำคัญของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 ประการ เข้าไว้ด้วยกัน คือ ทดสอบ แก้ไข อธิบาย คาดคะเน และแผ่ขยายได้ (Windschittl et al., 2008) รวมถึงการทำให้บริบทในการจัดการเรียนรู้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ภายใต้กรอบแนวคิดที่มีหัวใจสำคัญเป็นแบบจำลองโดยความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลอง คำอธิบาย ปรากฏการณ์ และกระบวนการตรวจสอบความถูกต้อง แสดงได้ดังภาพประกอบ 5



ที่มา : Passmore, C., Stewart, J., และ Cartier, J. (2009). Model-Based Inquiry and School Science: Creating Connections. *School Science and Mathematics*, 109(7), 394-402.

จากภาพประกอบ 5 จะแสดงให้เห็นว่า การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน มีแบบจำลองอยู่ตรงกลางของแนวปฏิบัติที่มีความจำเพาะ ร่วมกันกับรูปแบบของข้อมูล และถูกครอบเอาไว้ด้วยคำอธิบาย คำอธิบายจะแยกจากแบบจำลอง แต่จะเป็นโครงสร้างที่แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสนับสนุนรูปแบบของข้อมูลที่จำเพาะ ซึ่งถูกสรุปย่อมาจากปรากฏการณ์

กรอบด้านขวาแสดงให้เห็นว่าทั้งแบบจำลองและคำอธิบายจะถูกประเมินซ้ำ ๆ ด้วยเกณฑ์เชิงประจักษ์และ/หรือเกณฑ์ทางความคิด กรอบทางด้านซ้ายจะแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองและคำอธิบายที่เป็นผ่านการตรวจสอบแล้วจะบ่งบอกถึงแนวปฏิบัติที่เป็นที่ยอมรับได้โดยทั่วไป

2.4 ลักษณะสำคัญของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ประกอบด้วยแนวปฏิบัติหลายข้อที่มีลักษณะสอดคล้องกับกิจกรรมและการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ จึงมีลักษณะที่ต้องทำความเข้าใจให้ตรงกัน คือ กระบวนการสร้างแบบจำลองเป็นกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (อนุพงศ์ ไพธศรี และคณะ, 2565) เช่นเดียวกันกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์ แต่สอดคล้องกับลักษณะที่วิทยาศาสตร์เป็นมากกว่า คือ มีการเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อค้นพบหลักฐานใหม่ที่น่าเชื่อถือ (Windschitl et al., 2008)

บทบาทของครูผู้สอนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน คือ การใช้คำถามที่หลากหลายเพื่อช่วยขับเคลื่อนกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น สังเกตได้จากแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่มีกรอบสนทนาเป็นกิจกรรมหลัก (Windschitl et al., 2008) เป็นการเรียนรู้ที่เน้นเชื่อมโยงกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการสื่อสารวิทยาศาสตร์เข้าด้วยกันได้อย่างลึกซึ้ง (ญาสุมินทร์ วรกิจจานนท์ และคณะ, 2563) เป็นแนวทางที่ส่งเสริมให้นักเรียนแสดงสิ่งที่เป็นนามธรรมออกมาในสิ่งที่ป็นรูปธรรมโดยใช้เทคนิคที่หลากหลาย (วรรณนิดา ฟิงน้อย, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, บุญเสฐียร บุญสูง, และ สุรเดช ศรีทา, 2564) เพราะนักเรียนจะต้องลงมือสร้าง ทบทวนและปรับปรุงแบบจำลอง แล้วนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์

จากลักษณะสำคัญของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน สะท้อนว่ากิจกรรมที่นักเรียนต้องลงมือปฏิบัติจะต้องมีการวางลำดับขั้นตอนที่เหมาะสม เพื่อให้ นักเรียนสามารถเรียบเรียงองค์ความรู้และข้อค้นพบอย่างเป็นระบบ

2.5 กระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เป็นเพียงแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาเอาแนวคิดของการสืบเสาะหาความรู้กับการสร้างแบบจำลองเข้าด้วยกัน (ญาสุมินทร์ วรกิจจานนท์ และคณะ, 2563) ในเบื้องต้น จึงมีนักการศึกษาได้เสนอกรอบแนวคิดในการจัดการเรียนรู้เอาไว้ กรอบแนวคิดที่มีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย คือ กรอบแนวคิดของ Windschitl et al. (2008) ที่มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาคำอธิบายที่สามารถพิสูจน์ได้ เกี่ยวกับ

ความเป็นไปของโลกธรรมชาติ ประกอบด้วยกิจกรรมที่ครูและนักเรียนมีบทบาทแตกต่างกัน กิจกรรมที่เกิดขึ้นสามารถสรุปเป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ ได้ดังภาพประกอบ 6

ส่วนที่ 1 การกำหนดขอบเขตของสิ่งที่ต้องการศึกษา (Setting the Broad Parameters for MBI) เป็นขั้นตอนแรก เริ่มจากครูผู้สอนกำหนดขอบเขตของสิ่งที่นักเรียนจะได้เรียนรู้ โดยคำนึงถึงทั้งความสนใจของนักเรียนและความสำคัญทางวิทยาศาสตร์ของแนวคิดนั้น ๆ ประกอบกัน ความสำคัญทางวิทยาศาสตร์จะพิจารณาจากการนำแนวคิดไปอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น แนวคิดใดที่สามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ แนวคิดนั้นจะมีความสำคัญมากกว่าแนวคิดอื่น ๆ เพราะการเรียนรู้แนวคิดที่รองรับด้วยประสบการณ์ในชีวิตประจำวันจะช่วยให้นักเรียนทำความเข้าใจสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการเลือกปรากฏการณ์ที่นักเรียน จะได้อธิบายจึงเป็นสิ่งที่ครูต้องให้ความสำคัญ

ส่วนที่ 2 การสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ เป็นกระบวนการที่นักเรียนสร้าง ทบทวน ประเมิน และปรับปรุงแบบจำลองเพื่อนำไปใช้สร้างคำอธิบายแก่ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอย่างเหมาะสม โดยครูผู้สอนมีหน้าที่คอยให้คำชี้แนะผ่านการถามคำถาม ประกอบด้วย 4 กิจกรรม/การสนทนาที่ต้องอาศัยความรู้ ดังนี้

กิจกรรม/การสนทนาที่ 1 การจัดการสิ่งที่รู้และสิ่งที่ต้องการจะรู้ (Organizing What We Know and What We Want to Know) การสนทนาแรกมีหลักที่ต้องคำนึงถึงข้อแรก คือ การสำรวจตรวจสอบตรวจสอบความสนใจในบางแง่มุมของโลกธรรมชาติมาช่วยขับเคลื่อน และนักเรียนจะต้องได้รับแหล่งข้อมูลหรือประสบการณ์ที่หลากหลายเพื่อใช้ในการสร้างตัวแทนหรือแบบจำลองชั่วคราวของปรากฏการณ์ เช่น การสาธิต การทดลอง การดูคลิปวิดีโอ ข้อที่สองคือแบบจำลองที่สร้างขึ้นควรชี้ให้เห็นถึงกระบวนการ คุณสมบัติหรือโครงสร้างที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์เป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการเริ่มต้นกิจกรรมอาจใช้คำถาม เช่น อะไรคือสิ่งที่พวกเราคิดว่าพวกเรารู้อยู่แล้วเกี่ยวกับสถานการณ์/กระบวนการ/เหตุการณ์นี้ สิ่งที่พวกเรารู้อยู่แล้วได้มาจากการสังเกต การอนุมาน หรือจากแหล่งข้อมูลใด คำถามที่แบบจำลองนี้จะช่วยพวกเราสร้างคืออะไร เมื่อกิจกรรมเริ่มขึ้นแล้ว การใช้คำถามต่อ ๆ ไป จะต้องปรับตามการรับรู้ของครูผู้สอนว่าการสนทนาควรจะมีทิศทางใด

การที่นักเรียนลงมือสร้างแบบจำลองเบื้องต้นโดยอาศัยความรู้และประสบการณ์เดิม จะช่วยให้นักเรียนมองเห็นความเชื่อมโยงในแนวคิดชัดเจนมากกว่า สิ่งแทนความที่เป็นตัวอักษร และช่วยเป็นกรอบในการคิดให้กับนักเรียน ครูผู้สอนสามารถระบุได้ว่านักเรียนมีกระบวนการคิดอย่างไร ในระยะแรก ครูผู้สอนต้องคอยช่วยเหลือนักเรียนที่มีทักษะ

ในการสร้างแบบจำลองค่อนข้างน้อย และควรให้นักเรียนลงมือปฏิบัติอย่างต่อเนื่องเพื่อสะสมประสบการณ์ รวมถึงการปรับลักษณะของคำถามที่ใช้ตามสถานการณ์



ภาพประกอบ 6 กิจกรรมการสนทนาที่สนับสนุนการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

ที่มา : Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.

กิจกรรม/การสนทนาที่ 2 การกำหนดสมมติฐานที่ตรวจสอบได้ (Generating Testable Hypotheses) นักเรียนระบุสมมติฐานโดยอ้างอิงจากแบบจำลองที่สร้างขึ้น เพราะสมมติฐานที่ตั้งอยู่บนแบบจำลองจะช่วยยืนยันได้ว่ามีความสมเหตุสมผล ลักษณะของสมมติฐานที่สร้างจะมีโครงประโยคที่แตกต่างไปจากเดิม เนื่องจากสมมติฐานมีจุดประสงค์เพื่อประเมินแบบจำลอง จึงควรมีโครงสร้างเป็น “ถ้าเราเชื่อว่า (ความสัมพันธ์ในแบบจำลองที่สร้าง) ถูกต้อง เราจึง (สังเกต/ทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว) แล้วเราควรจะสังเกตได้ว่า (มีผลลัพธ์เกิดขึ้น)”

ครูผู้สอนคอยชี้แนะผ่านการถามคำถาม เช่น พวกเราต้องการจะทดสอบแบบจำลองที่สร้างในแง่มุมใด พวกเราสามารถทดสอบแบบจำลองเพื่อช่วยให้เข้าใจกระบวนการบางอย่างที่อธิบายว่าทำไมแบบจำลองจึงเหมาะสมตามที่แบบจำลองทำนายได้หรือไม่

กิจกรรม/การสนทนาที่ 3 การสืบเสาะหาหลักฐาน (Seeking Evidence) นักเรียนรวบรวมข้อมูลจากการทดลองที่มีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ หรือการสังเกตอย่างเป็นระบบอื่น ๆ โดยครูผู้สอนคอยชี้แนะว่าข้อมูลที่รวบรวมมานั้น จะต้องใช้เพื่อทดสอบแบบจำลองและระบุความสัมพันธ์หรือรูปแบบที่สังเกตได้ ผ่านการใช้คำถาม เช่น ข้อมูลประเภทใดที่จะช่วยให้ทดสอบสมมติฐานได้ เราจะสามารถจัดการกับข้อมูลที่ไม่ได้คาดหวังให้เกิดขึ้นกับสมมติฐานได้อย่างไร ข้อมูลที่รวบรวมมาจะถูกใช้เป็นหลักฐานในขั้นตอนต่อไป

กิจกรรม/การสนทนาที่ 4 การสร้างข้อโต้แย้ง (Constructing an Argument) ขั้นตอนสุดท้าย นักเรียนไม่เพียงแต่พยายามตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบที่ปรากฏในข้อมูลเท่านั้น แต่ยังต้องยืนยันหรือหักล้างข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับการอธิบายหรือสมมติฐานที่สร้างจากแบบจำลอง การโต้แย้งที่เกิดขึ้นควรมีลักษณะตามแบบจำลองการโต้แย้งของ Toulmin ที่มีการนำไปปรับใช้และประสบความสำเร็จอย่างแพร่หลาย คือ แสดงคำอธิบายที่มีประสิทธิภาพเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่สนใจ ใช้ข้อมูลที่รวบรวมมาเป็นหลักฐานสนับสนุนคำอธิบาย ยอมรับคำอธิบายอื่น ๆ ที่เป็นไปได้และเหมาะสมกับข้อมูลมากกว่า และให้รายละเอียดว่าจะต้องปรับแบบจำลองในเบื้องต้นอย่างไรให้สอดคล้องกับหลักฐานที่ค้นพบ ตัวอย่างการใช้คำถาม เช่น แบบจำลองที่สร้างไม่สามารถทำนายสิ่งใดได้ และทำไมจึงเป็นเช่นนั้น แบบจำลองที่สร้างขึ้น

สามารถประยุกต์ใช้กับปรากฏการณ์อื่น ๆ ได้อย่างไร ซึ่งคำถามหลังนี้ อาจนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบในครั้งต่อไปได้

จากกรอบสนทนาที่เป็นแนวคิดในเบื้องต้นสำหรับการนำแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานไปปรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ พบว่า Windschitl et al. (2018) ได้พยายามจัดลำดับของกิจกรรมในการเรียนรู้ให้ชัดเจนมากขึ้น โดยกำหนดเป็นขั้นตอนที่เรียงลำดับต่อกันทั้งหมด 4 ขั้นตอน ตั้งแต่ก่อนจัดการเรียนรู้ เรียกว่า Ambitious Science Teaching แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

1) **ขั้นวางแผนและเตรียมการ (Planning for engagement with Important Science Ideas)** ผู้สอนวิเคราะห์หัวข้อและมาตรฐานการเรียนรู้ออกมาให้ชัดเจน เพื่อกำหนดว่าเป้าหมายในการจัดการเรียนรู้คืออะไร จากนั้นระบุปรากฏการณ์ที่ต้องการให้นักเรียนได้อธิบาย พร้อมร่างแบบจำลองและคำอธิบายที่เหมาะสมกับปรากฏการณ์ และสร้างชุดคำถามในการขับเคลื่อนบทเรียน

2) **ขั้นรวบรวมความคิด (Eliciting Students Ideas)** ผู้สอนกระตุ้นนักเรียนให้สนใจในปรากฏการณ์ จากนั้น ใช้ชุดคำถามเพื่อรวบรวมแนวคิดหรือประสบการณ์เดิมของนักเรียนเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่กำหนด เช่น ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้อย่างไร มีปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อปรากฏการณ์นี้และนักเรียนสร้างแบบจำลองในเบื้องต้นเพื่ออธิบายปรากฏการณ์

3) **ขั้นปรับความคิดตามข้อมูล (Supporting Students' On-Going Changes in Thinking)** นักเรียนจะต้องลงมือสำรวจตรวจสอบข้อมูลอย่างเป็นระบบแล้วสรุปข้อค้นพบที่ได้ จากนั้นนำไปประเมินแบบจำลองที่สร้างไว้ในเบื้องต้นพร้อมปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ในขั้นตอนนี้ ผู้สอนอาจจะเป็นผู้กำหนดชิ้นงาน หรือกิจกรรมที่นักเรียนจะต้องลงมือสำรวจตรวจสอบ ในกรณีที่นักเรียนไม่สามารถออกแบบการสืบเสาะหาความรู้ได้ด้วยตนเอง

4) **ขั้นสร้างคำอธิบาย (Pressing for Evidence-Based Explanations)** นักเรียนจะต้องสร้างคำอธิบายของปรากฏการณ์ที่กำหนดให้จากหลักฐานและแบบจำลองที่ปรับปรุงแล้วเป็นรายบุคคล โดยอาจแลกเปลี่ยนคำอธิบายซึ่งกันและกัน เพื่อประเมินคุณภาพของคำอธิบาย ที่สร้าง

นอกจากแนวทางของ Ambitious Science Teaching แล้ว Neilson et al. (2010) ได้นำเสนอ Road map for model-based inquiry (MBI) ไว้อีกแนวทางหนึ่ง แนวทางดังกล่าวจะเริ่มใช้หลังจากที่นักเรียนได้ทำความเข้าใจในเนื้อหาหรือหลักการทางวิทยาศาสตร์เรียบร้อยแล้ว การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานตามแนวทางดังกล่าว ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้ดังนี้

1. **การสร้างแบบจำลอง (Modeling)** หลังบททวนเนื้อหาเสร็จเรียบร้อยแล้ว นักเรียนจะถูกตั้งคำถามที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่ได้เรียนไป คำถามนี้จะต้องโน้มน้าวให้นักเรียนสืบเสาะหาคำตอบของคำถาม โดยเริ่มจากการสร้างแบบจำลองที่จำเพาะกับการสืบเสาะกระบวนการดังกล่าวจะกระตุ้นให้นักเรียนดึงความรู้ที่มีออกมาใช้ เมื่อนักเรียนแสดงสิ่งที่รู้ผ่านการสร้างแบบจำลองออกมาจนครบ นักเรียนจะถูกถามต่อว่า สิ่งที่ยังไม่รู้คืออะไร ยังมีความคลุมเครือหรือ สิ่งที่ยังไม่เข้าใจอย่างชัดเจน หรือไม่

2. **การสืบเสาะหาความรู้ที่จำเพาะ (Focused inquiry)** สิ่งที่นักเรียนยังมีความคลุมเครือในแบบจำลอง จะถูกนำมาใช้เป็นประเด็นหลักในการสืบเสาะหาความรู้ โดยนักเรียนจะต้องออกแบบกระบวนการสำรวจตรวจสอบ เพื่อรวบรวมข้อมูลที่ใช้สำหรับทำความเข้าใจแบบจำลองด้วยตนเอง หากกระบวนการสำรวจตรวจสอบนั้นมีการทำการทดลอง นักเรียนจะต้องทดลองทำก่อนที่จะนำไปปฏิบัติจริง กระบวนการดังกล่าวจะช่วยให้นักเรียนรู้แนวทางการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและมีความพร้อมในการทำการทดลองจริงมากขึ้น

3. **การกล่าวซ้ำย้ำทวน (Iterations)** หลังจากที่นักเรียนรวบรวมข้อมูลมาเรียบร้อยแล้ว นักเรียนจะต้องแลกเปลี่ยนผลการสืบเสาะหาความรู้กับเพื่อนกลุ่มอื่น ๆ หากข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องกัน ก็จะช่วยยืนยันในความถูกต้องของข้อมูล ทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น นักเรียนเองก็จะมีเชื่อมั่นในตัวเองเพิ่มขึ้น การแลกเปลี่ยนผลการสืบเสาะหาความรู้ ยังอาจทำให้นักเรียนได้เห็นมุมมองที่ต่างออกไป มุมมองดังกล่าวจะช่วยเพิ่มขอบเขตในการรับรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์ของนักเรียนให้กว้างมากขึ้น เมื่อแลกเปลี่ยนเสร็จเรียบร้อยแล้ว นักเรียนต้องกลับไปพิจารณาแบบจำลองของตนเองอีกครั้ง เพื่อปรับปรุงแก้ไขหรือเพิ่มเติมข้อมูลที่ได้จากการสืบเสาะลงไปแบบจำลองให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และนำไปสู่การลงข้อสรุปให้กับคำถามที่ถูกละไว้ในตอนแรก

การจัดการเรียนรู้ตาม Road map for model-based inquiry (MBI) สามารถทำซ้ำเป็นวัฏจักรได้ ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 Road map for model-based inquiry (MBI)

ที่มา : Neilson, D., Campbell, T., และ Allred, B. (2010). Model-Based Inquiry: A buoyant force module for high school physics classes. The Science Teacher, 38 - 43.

ในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางดังกล่าว มีข้อควรระวัง คือ การเลือกเนื้อหาและเกณฑ์การประเมินผลลัพธ์ต่าง ๆ โดยเนื้อหาที่จะเลือกมาใช้นั้น ควรพิจารณาให้สอดคล้องกับลักษณะของตัวแปรตามที่ต้องการพัฒนาด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เพื่อป้องกันการความผิดพลาด แล้วทำให้การเรียนรู้เกิดได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ เช่น ไม่ควรเลือกเนื้อหาที่ไกลตัว เพื่อพัฒนาการเชื่อมโยงความรู้สู่บริบทในชีวิตประจำวัน ในส่วนของการประเมิน เกณฑ์ทุกเกณฑ์ ล้วนมีข้อจำกัด หากต้องการนำไปใช้ จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับบริบทแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ไม่ควรใช้เกณฑ์เดียวกันในการประเมินทั้งการพูด และการเขียน (ญาสุมินทร์ วรกิจจานนท์ และคณะ, 2563; อัจฉราพรพรณ ล้วนมณี และคณะ, 2565)

จากตัวอย่างแนวทางการจัดการเรียนรู้ของนักการศึกษาข้างต้น เพื่อให้ขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้มีรายละเอียดที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้ยึดเอาขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางของ Ambitious Science Teaching เป็นหลัก แล้วใช้ตัวอย่างคำถามจากการสนทนาตามกรอบแนวคิดของ Windschitl et al. (2008) มาประกอบการทำกิจกรรมของนักเรียนในแต่ละขั้น ทำให้การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การรวบรวมความคิด (Eliciting Students Ideas) เป็นการรวบรวมความรู้และประสบการณ์เดิมของนักเรียน เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่สำคัญและน่าสนใจ เริ่มจากผู้สอนกระตุ้นนักเรียนที่แบ่งออกเป็นกลุ่ม ๆ ให้สนใจในปรากฏการณ์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การสาธิตการทดลอง การให้ดูคลิปวิดีโอ จากนั้นใช้คำถาม เช่น อะไรคือสิ่งที่รู้อยู่แล้ว เกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เพื่อรวบรวมแนวคิดหรือประสบการณ์เดิมของนักเรียนเกี่ยวกับปรากฏการณ์ นักเรียนใช้ความรู้และประสบการณ์เดิมในการร่วมกันสร้างแบบจำลองเบื้องต้น เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ แล้วตั้งประเด็นคำถามที่อยากรู้เพิ่มเติมโดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเริ่มต้นในการคิด เพื่อใช้ในการแสวงหาคำตอบของคำถามในการประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง โดยบันทึกคำถามลงไปในใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ ผู้สอนอาจใช้คำถามชี้นำ เช่น พวกเราต้องการจะทดสอบแบบจำลองที่สร้างในแง่มุมใด

2) การปรับเปลี่ยนความคิด (Supporting Students' On-Going Changes in Thinking) เป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเบื้องต้น เริ่มจากนักเรียนระบุสมมติฐานของคำถาม ในรูปแบบของประโยค “ถ้าเราเชื่อว่า (ความสัมพันธ์ตามแบบจำลองที่สร้าง) ถูกต้อง เราจึง (สังเกต/ทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว) แล้วเราควรจะสังเกตได้ว่า (ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น)” ผ่านคำถามที่ผู้สอนใช้ เช่น เมื่อเราพิจารณาคำถามที่ตั้งไว้กับแบบจำลองเบื้องต้น แบบจำลองที่เราสร้างจะใช้คาดเดาคำตอบได้อย่างไร จากนั้นนักเรียนออกแบบการสำรวจและรวบรวมข้อมูล โดยครูผู้สอนอาจใช้คำถามชี้นำ เช่น ข้อมูลประเภทใดที่จะช่วยให้พวกเราตรวจสอบสมมติฐานได้ การรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบควรมีลักษณะอย่างไร รูปแบบในการนำเสนอข้อมูลที่รวบรวมมาได้อย่างเหมาะสมที่สุด คือรูปแบบใด เมื่อออกแบบขั้นตอนต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว นักเรียนลงมือสำรวจตรวจสอบข้อมูลเพื่อตอบคำถามอย่างเป็นระบบ แล้วสรุปข้อมูลที่ได้ลงในใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ พร้อมระบุหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับหลักฐานนั้น ๆ ทั้งนี้ ผู้สอนอาจจะเป็นผู้กำหนดภาระงาน หรือกิจกรรมที่นักเรียนจะต้องลงมือสำรวจตรวจสอบ ในกรณีที่นักเรียนไม่สามารถออกแบบการสืบเสาะหาความรู้ได้ด้วยตนเอง สุดท้าย นักเรียนนำข้อมูลที่รวบรวมได้ มาประเมินแบบจำลองเบื้องต้นที่สร้างไว้ พร้อมปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้สอนอาจกระตุ้นด้วยคำถาม เช่น แบบจำลองเบื้องต้นที่สร้างขึ้น สามารถทำนายผลได้ตรงตามข้อมูลที่รวบรวมมาหรือไม่ เราจะสามารถจัดการกับข้อมูลที่ไม่ได้คาดหวังให้เกิดขึ้นกับสมมติฐานได้อย่างไร อะไรที่แบบจำลองเบื้องต้น ไม่สามารถทำนายได้ และทำไมจึงเป็นเช่นนั้น

3) การสร้างคำอธิบายจากหลักฐาน (Pressing for Evidence-Based Explanations) เป็นการนำข้อมูลที่รวบรวมได้ มาใช้เป็นหลักฐานในการสร้างข้อกล่าวอ้างสำหรับปรากฏการณ์ โดยเริ่มจากผู้สอนใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่ม ถกอภิปรายเกี่ยวกับแบบจำลองเพื่อแก้ไขแบบจำลองที่จะใช้เป็นฐานในการอธิบายปรากฏการณ์เป็นครั้งสุดท้าย เช่น แบบจำลองของเราควรเปลี่ยนไปตามข้อมูลที่ค้นพบหรือไม่ แล้วให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันพิจารณาความเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลที่รวบรวมมาได้และหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลนั้น ๆ เพื่อตัดสินใจว่า ข้อมูลใดที่มีหลักการทางวิทยาศาสตร์รองรับอย่างเหมาะสม และควรจะนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ สุดท้าย นักเรียนแต่ละคนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีองค์ประกอบสมบูรณ์เกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่กำหนดไว้ลงในใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ โดยนำข้อมูลพิจารณาคุณภาพเรียบร้อยแล้วมาใช้เป็นหลักฐานในการสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง โดยผู้สอนอาจใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนได้ประเมินคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เช่น จากข้อมูลที่รวบรวมมามีคำอธิบายอื่น ๆ ที่เป็นไปได้หรือไม่ หากมี อะไรคือหลักฐานที่น่าเชื่อถือสำหรับคำอธิบายนั้น

ในการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี ซึ่งเนื้อหาส่วนใหญ่มีความเป็นนามธรรมสูง เนื่องจากศึกษาเกี่ยวกับอนุภาคที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ส่งผลให้นักเรียนเกิดความเข้าใจได้ยาก ครูผู้สอนจึงต้องเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ด้วยการใช้แนวทางการจัดการเรียนรู้หรือสื่อการเรียนรู้ที่สามารถแสดงเนื้อหาออกมาให้เห็นเป็นรูปธรรม เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจของนักเรียน จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยก่อนหน้าดังกล่าวจะเอื้อยขัดขวาง ผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกใช้แนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมาเป็นแนวทางในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ เพราะแนวทางดังกล่าวเปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการเรียนรู้ผ่านการสร้าง ทบทวน และปรับปรุงแบบจำลองเพื่อนำไปอธิบายปรากฏการณ์ที่สนใจ นักเรียนจึงสามารถถ่ายทอดความคิดความเข้าใจที่มีต่อเนื้อหาออกมา ทำให้ครูผู้สอนประเมินผลการเรียนรู้ได้อย่างชัดเจน ครูผู้สอนจึงสามารถให้การช่วยเหลือ หรือแก้ไขเมื่อพบเจอแนวคิดคลาดเคลื่อนที่จะส่งผลต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของการวิจัยได้

3. เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้

การเสริมต่อการเรียนรู้เป็นเทคนิคที่ไม่ได้จำเพาะกับเนื้อหาหรือทักษะอย่างใดอย่างหนึ่ง รวมถึงไม่ได้กำหนดขั้นตอนหรือวิธีการที่ชัดเจน จึงมีการนำเทคนิคดังกล่าวไปใช้ในหลากหลายด้าน แต่การนำมาใช้ต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้สอนเพื่อออกแบบขั้นตอนการเสริมต่อการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการพัฒนาหรือส่งเสริมให้เกิดกับนักเรียนในช่วงเวลานั้น ๆ

3.1 ความหมายของเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้

การเสริมต่อการเรียนรู้ คือ การช่วยเหลือสนับสนุนนักเรียนด้วยเครื่องมือหรือวิธีการอย่างใดอย่างหนึ่งที่มีความจำเพาะ เพื่อพัฒนาจากสิ่งที่นักเรียนไม่สามารถทำได้ด้วยตนเองในตอนแรกให้กลายเป็นสิ่งที่นักเรียนสามารถทำได้ด้วยตนเองจนเกิดความชำนาญ (Amelia, 2021) โดยในช่วงต้น อาจจะทำให้บุคคลอื่นที่มีความเชี่ยวชาญ มีความเข้าใจ มีความสามารถหรือมีประสบการณ์มากกว่าคอยให้การสนับสนุน (Lipscomb, Swanson, & West, 2010; McNeill, 2006; จรินทร์ วินทะไชย์, 2561) เรียกบุคคลเหล่านี้ว่า the More Knowledgeable Other (MKO) (Galloway, 2010) หรือผู้เสริมต่อการเรียนรู้ (scaffolders) (จรินทร์ วินทะไชย์, 2561) บุคคลที่อาจจะเป็นพ่อแม่ ครูผู้สอน หรือ เพื่อนร่วมชั้นก็ได้ (McNeill, 2006) การเสริมต่อการเรียนรู้จึงเป็นเสมือนสิ่งที่ช่วยเชื่อมโยงจากความไม่เข้าใจไปยังความเข้าใจ หรือเชื่อมโยงจากการทำไม่ได้ไปยังการทำได้เมื่อนักเรียนสามารถทำสิ่งต่าง ๆ ด้วยตนเองได้แล้ว การเสริมต่อจะค่อย ๆ ถูกลดออก เหมือนกับนั่งร้านที่ถูกถอดออก เมื่ออาคารที่ก่อสร้างมีความมั่นคง และตั้งอยู่ได้ด้วยตัวมันเอง

การวิจัยในครั้งนี้ จึงนิยามการเสริมต่อการเรียนรู้ว่าหมายถึงกระบวนการช่วยเหลือนักเรียนในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นรายบุคคล ผ่านการใช้คำถามชี้แนะที่จำเพาะกับปรากฏการณ์ในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยครูผู้สอนจะเขียนคำถามชี้แนะกำกับไว้ในแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน ซึ่งลักษณะคำถามที่ใช้จะมีความแตกต่างกันตามระดับพฤติกรรมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนแสดงออก

3.2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้

แนวคิดที่เป็นพื้นฐานของการนำเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้มาใช้ ก็คือ ทฤษฎีพัฒนาการเชอว์นบีญญาของไวก็อตสกี (Vygotsky's Constructivism) (Lipscomb et al., 2010; McNeill, 2006) ที่เชื่อว่า นักเรียนทุกคนจะมีระดับพัฒนาการแท้จริง (actual development level) ซึ่งเป็นระดับที่ติดตัวมาก่อนแล้ว กับระดับพัฒนาการที่เป็นไปได้ (potential development level) ที่ต้องได้รับการช่วยเหลือจากผู้ที่มีความสามารถหรือมีประสบการณ์มากกว่าในด้านนั้น ๆ จึงจะสามารถพัฒนาตนเองไปยังระดับนี้ได้ (จรินทร์ วินทะไชย์, 2561) เรียกช่องว่างระหว่างระดับพัฒนาการทั้งสองว่า พื้นที่รอยต่อพัฒนาการ หรือโซนเกือบบรู้ (the Zone of Proximal Development; ZPD) ซึ่งการเสริมต่อการเรียนรู้จะเกิดขึ้นในบริเวณดังกล่าว และช่วยให้บริเวณดังกล่าวมีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ระดับพัฒนาการแท้จริงขยับเข้าใกล้ระดับพัฒนาการที่เป็นไปได้มากขึ้น

3.3 ลักษณะสำคัญของเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้

การเสริมต่อการเรียนรู้ มีรากศัพท์มาจากคำว่า scaffold แปลว่า นั่งร้าน หน้าที่ของนั่งร้านคือ โครงสร้างชั่วคราวที่ช่วยประคับประคองสิ่งปลูกสร้างในระยะเริ่มต้นให้สามารถก่อตัวขึ้นมาจนสามารถตั้งอยู่ได้ด้วยตัวเอง เมื่อสิ่งปลูกสร้างก่อตัวอย่างมั่นคงแล้ว นั่งร้านจะถูกถอดออก เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้จึงมีลักษณะเหมือนกับนั่งร้าน คือ การเสริมต่อการเรียนรู้จะเป็นไปในลักษณะของการช่วยเหลือหรือสนับสนุนในขณะที่นักเรียนยังไม่สามารถทำได้ ช่วยประคับประคองให้นักเรียนสามารถเกิดการเรียนรู้ได้ด้วยตนเองอย่างเต็มที่ในระยะหนึ่งเท่านั้น โดยตั้งอยู่บนฐานที่ว่า นักเรียนจะต้องสร้างความรู้ด้วยตนเอง เช่น ทำเป็นตัวอย่างให้ดูก่อน แล้วให้ทำตาม หรืออธิบายขั้นตอนอย่างละเอียดแล้วจึงให้นักเรียนลงมือปฏิบัติ หรือใช้กลวิธีใดก็ได้ที่มีความเหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการพัฒนา ณ ขณะนั้น เมื่อนักเรียนเริ่มทำได้ หรือเริ่มเกิดการเรียนรู้ ผู้เสริมต่อการเรียนรู้ก็จะทยอยลดการช่วยเหลือลง (McNeill, 2006) โดยประเมินจากพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออก จนกระทั่งนักเรียนสามารถทำได้ด้วยตนเอง จึงยุติการช่วยเหลือ และอาจจะ

เปิดโอกาสให้นักเรียนคนเดียวกันนี้ ไปเป็นผู้เสริมต่อการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนคนอื่น ๆ ได้ (Lipscomb et al., 2010)

3.4 ตัวอย่างการใช้เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ในการส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่า การเสริมต่อการเรียนรู้สามารถส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ (Amelia, 2021; Amelia et al., 2020; Biological Sciences Curriculum Study, 2012; German, 2018; Hershberger & Zembal-Saul, 2015; Koppal et al., 2020; McNeill & Martin, 2011; Oktavianti et al., 2018; Yang & Su, 2020) โดยพบทั้งหมดสองลักษณะ ลักษณะแรกเป็นการเสริมต่อการเรียนรู้ผ่านระบบอีเลิร์นนิง (e-learning) เรียกว่า e-scaffolding ที่ไม่เพียงแต่ให้โครงสร้างการเขียนเท่านั้น แต่ยังสร้างช่องทางสำหรับถกอภิปรายระหว่างนักเรียนกับนักเรียน หรือระหว่างนักเรียนกับผู้สอนอีกด้วย (Amelia, 2021; Amelia et al., 2020; Oktavianti et al., 2018; Yang & Su, 2020) โดย Yang & Su (2020) ได้เพิ่มฟังก์ชันการทดลองเสมือนเข้าไปในระบบอีเลิร์นนิงด้วย จึงเป็นการเสริมต่อความเข้าใจในเนื้อหา ซึ่งจะช่วยให้เห็นผลของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้และในช่องทางสำหรับถกอภิปราย และยังได้เพิ่มฟังก์ชันในการกวดำเนินความคิดเห็นเพื่อให้นักเรียนได้มีโอกาสฝึกประเมินคุณภาพของแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งจะช่วยให้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนก่อให้เกิดบรรยากาศที่ดีในการเรียนรู้ผ่านระบบออนไลน์

อีกลักษณะหนึ่ง เป็นการช่วยเหลือนักเรียนในการสร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ผ่านการเขียนทอดความคิดลงในตารางหรือแผนภาพ แบ่งเป็นตารางที่แสดงองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยตรง พร้อมระบุรายละเอียดบางส่วนให้ชัดเจน (Biological Sciences Curriculum Study, 2012; German, 2018; McNeill & Martin, 2011) ดังภาพประกอบ 9 และตารางที่ไม่ได้ระบุองค์ประกอบแต่ละส่วนโดยตรง แต่ใช้คำถามเพื่อชี้นำในแต่ละส่วน เรียกว่า แผนภาพ KLEWS ดังภาพประกอบ 8 (Hershberger & Zembal-Saul, 2015) ซึ่งในแบบแรก มีขั้นตอนการช่วยเหลือเริ่มต้นจากใช้คำถามกระตุ้นความสนใจ จากนั้นจึงเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ตารางแจกแจงองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้สามารถรวบรวมองค์ประกอบได้ครบ เมื่อระบุองค์ประกอบลงในตารางครบถ้วนแล้ว จึงให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ออกมา สิ่งที่พบ คือ นักเรียนเขียนแสดงองค์ประกอบแต่ละส่วนโดยขาดการเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน จึงต้องมีการให้ตัวอย่างเพิ่มเติมเกี่ยวกับการเขียนคำเชื่อมโยงในแต่ละองค์ประกอบ เมื่อมีการให้ตัวอย่างเพิ่มเติม

พบว่า นักเรียนสามารถเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น แสดงลักษณะของเครื่องมือได้ดังภาพประกอบ 9

สิ่งที่รู้อยู่แล้ว “Know”	สิ่งที่กำลังเรียน “Learning” [ข้อกล่าวอ้าง - Claims]	หลักฐาน “Evidence”	สิ่งที่ยังคงสงสัย “Wondering”	หลักการหรือคำศัพท์ทาง วิทยาศาสตร์ที่ช่วยอธิบาย ปรากฏการณ์ “Scientific Principles”

ภาพประกอบ 8 แผนภาพ KLEWS

ที่มา : Hershberger, K., & Zembal-Saul, C. (2015). KLEWS to Explanation-Building in Science, 66-71. https://s3.amazonaws.com/nstacontent/sc1506_66.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIMRSQAV7P6X4QIKQ&Expires=1672042238&Signature=7S8aeJRFUY0WDLXoq8v4quHEKY4%3d

คำถาม/สิ่งที่สงสัย		ตัวอย่างประโยค	
		ฉันคิดแบบนี้เพราะ.....	
		ข้อมูลนี้สนับสนุนว่า.....	
หลักฐาน	มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์	หลักฐาน คือ.....	
		นอกจากนั้น.....	
		(หลักฐาน).....เพราะ.....(ทฤษฎี).....	
ข้อกล่าวอ้าง		สิ่งที่ควรเขียน คือ เขียนสนับสนุนข้อกล่าวอ้างจาก	
		หลักฐานที่เก็บรวบรวมมา	

ภาพประกอบ 9 ตัวอย่างตารางและข้อความที่ใช้ในการเสริมต่อการเรียนรู้

ที่มา : German, S. (2018). Scaffolds for scientific explanations. *Science Scope*, 41(7), 30-32.

นอกเหนือจากลักษณะเครื่องมือที่ใช้เพื่อเสริมต่อการเรียนรู้ซึ่งออกแบบมาให้ครอบคลุมกับองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แล้ว นักการศึกษายังได้กำหนดระยะเวลาในการช่วยเหลือนักเรียนที่จำเพาะกับเครื่องมือที่ตนเองออกแบบ เพื่อให้การใช้เครื่องมือเป็นไปได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เช่น แม็กนีย์ล (McNeill, 2006) ได้กำหนดระยะในการช่วยเหลือนักเรียนออกเป็น 4 ระยะ ตามบทเรียนที่ต่อเนื่องกัน โดยแบ่งเป็นการเสริมต่อที่จำเพาะกับบทเรียนและการเสริมต่อแบบทั่วไป ดังตาราง 2

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่านักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายไม่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีองค์ประกอบการวิจัยครบถ้วนสมบูรณ์ได้ โดยเฉพาะองค์ประกอบด้านการให้เหตุผลที่พบว่ามีความผิดพลาดค่อนข้างมาก และยังขาดการสื่อสารการเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนทำความเข้าใจองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นรายบุคคลได้ เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ในรูปแบบตารางที่แสดงองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน สามารถช่วยให้นักเรียนแต่ละคนเห็นความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ได้ชัดเจนมากขึ้น (Amelia et al., 2020) ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกเทคนิคดังกล่าวมาช่วยสนับสนุนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเพื่อให้นักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แก่ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่มีองค์ประกอบครบถ้วนสมบูรณ์ได้

ตาราง 2 ระยะการช่วยเหลือนักเรียนเพื่อสร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ระยะ	การเสริมต่อแบบจำเพาะสถานการณ์	การเสริมต่อทั่วไป
1	แสดงให้เห็นว่าแหวงวงที่ 1 และแหวงวงที่ 2 เป็นสารชนิดเดียวกัน โดยระบุสมบัติที่เหมือน เช่น ความหนาแน่น จุดหลอมเหลว และสี แต่ไม่ระบุสิ่งที่ได้จากการวัด เช่น มวล ปริมาตร พร้อมบอกว่า ทำไมสมบัติที่เหมือนหรือต่างกันจึงสามารถบอกได้ว่าแหวงทั้งสองเป็นสารชนิดเดียวกัน	ข้อกล่าวอ้าง เขียนข้อความที่ตอบสนองกับปัญหาเริ่มต้น หลักฐาน ให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ควรใช้หลักฐานที่เหมาะสมและเพียงพอ หลักฐานที่เหมาะสม คือ เกี่ยวข้องกับปัญหา หลักฐานที่เพียงพอ คือ จำนวนที่มากพอจะชักนำให้คนคล้อยตามได้ การให้เหตุผล เชื่อมโยงเพื่อแสดงว่าหลักฐานสัมพันธ์กับข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์เพื่อบอกว่า เพราะเหตุใดข้อมูลนั้น ๆ จึงนับเป็นหลักฐาน

ตาราง 2 (ต่อ)

ระยะ	การเสริมต่อแบบจำเพาะสถานการณ์	การเสริมต่อทั่วไป
2	แสดงให้เห็นว่าการผสมเหรียญทองแดงกับน้ำส้มสายชูเป็นปฏิกิริยาเคมี โดยระบุสมบัติให้ชัดเจน เพื่อบ่งบอกว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นหรือไม่ พร้อมบอกว่า เหตุใดการระบุสมบัติจึงมีความสำคัญ	ข้อกล่าวอ้าง ตอบสนองต่อปัญหา/คำถาม หลักฐาน ให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างเหมาะสมและเพียงพอ การให้เหตุผล เชื่อมโยงหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์เพื่อแสดงว่าข้อมูลใดบ้างที่นับเป็นหลักฐาน
3	ระบุว่า กฎทรงมวล และระบบแลกเปลี่ยนของสาร สัมพันธ์กับการคงอยู่หรือการเปลี่ยนแปลงของมวลสารอย่างไร	คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย สามองค์ประกอบ คือ ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และ การให้เหตุผล
4	ไม่มีการช่วยเหลือ	ไม่มีการช่วยเหลือ

ที่มา : McNeill, K. L. (2006). *Supporting Students' Construction of Scientific Explanation through Curricular Scaffolds and Teacher Instructional Practices*. The University of Michigan. (Doctor of Philosophy (Education)).

ในการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ จำเป็นจะต้องพิจารณาเลือกเนื้อหาที่มีความเหมาะสมสอดคล้องกับทั้งแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ และตัวแปรตามที่ต้องการพัฒนา เนื่องจากเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้มีลักษณะที่จำเพาะครูจะต้องลดการช่วยเหลือลง เมื่อนักเรียนสามารถทำสิ่งต่าง ๆ ได้มากขึ้น ลักษณะของเนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้จึงควรมีความซับซ้อนที่ไม่แตกต่างกัน และไม่ควรรีงบาลดเนื้อหาจากง่ายไปยาก เพราะถ้าหากลำดับเนื้อหาที่มีความซับซ้อน หรือมีความยากมากขึ้น การลดการช่วยเหลือของครูลง อาจส่งผลต่อการทำความเข้าใจในเนื้อหาของนักเรียนได้ หากนักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาไม่เพียงพอ ก็จะส่งผลต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในส่วนของ การเลือกและหลักฐานและการให้เหตุผลด้วย ผู้วิจัยจึงได้พิจารณากิจกรรมการเรียนรู้ของเนื้อหาในรายวิชาเคมี

ของระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อเสาะหาเนื้อหาที่มีความเหมาะสมตามธรรมชาติของแนวทางและเทคนิคในการจัดการเรียนรู้ และสิ่งที่ต้องการพัฒนามากที่สุด พบว่า เนื้อหา เรื่อง แก๊ส มีความสอดคล้องหลายประการ ซึ่งจะแสดงให้เห็นในหัวข้อถัดไป

4. แนวคิด เรื่อง แก๊ส

แก๊สและสมบัติของแก๊สเป็นเนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรมสูง เพราะศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของสสารที่อยู่ในสถานะที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า การสร้างความเข้าใจจึงอาจทำได้ยาก แต่แนวทางสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน จะช่วยให้ นักเรียนเกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งได้ เพราะมีขั้นตอนที่กำหนดให้นักเรียนต้องแสดงความคิดความเข้าใจของตนเองออกมาอย่างเป็นรูปธรรม ครูผู้สอนจึงสามารถประเมินและให้ข้อมูลป้อนกลับแก่นักเรียนเพื่อนำกลับไปพัฒนาตนเองต่อไป การเลือกเนื้อหาเรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊สมาใช้ส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จึงมีความท้าทาย แต่ผู้วิจัยยังคงเลือกเนื้อหาดังกล่าวมาใช้ โดยมีเหตุผลสนับสนุนดังข้อมูลที่จะนำเสนอต่อไป

4.1 ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมตามหลักสูตร

ในการพิจารณาเลือกเนื้อหาเพื่อส่งเสริมสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมในรายวิชา เคมี โดยกำหนดให้ผลการเรียนรู้ที่มีคำว่า อธิบาย หมายถึง นักเรียนจะต้องสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในเนื้อหานั้น ๆ เพื่อให้มีความชัดเจนว่านักเรียนจะต้องอธิบายอย่างไร จากการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมของสาระเคมี ที่ระบุไว้ในตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 มีรายละเอียดดังตาราง 3 แยกตามระดับชั้น และกลุ่มเนื้อหาตามสาระเคมี ทั้ง 3 ข้อ ได้แก่

ข้อที่ 1 เข้าใจโครงสร้างอะตอม การจัดเรียงธาตุในตารางธาตุ สมบัติของธาตุ พันธะเคมีและสมบัติของสาร แก๊สและสมบัติของแก๊ส ประเภทและสมบัติของสารประกอบอินทรีย์ และพอลิเมอร์ รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ข้อที่ 2 เข้าใจการเขียนและการดุลสมการเคมี ปริมาณสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลในปฏิกิริยาเคมี สมบัติและปฏิกิริยาของกรด-เบส ปฏิกิริยารีดอกซ์และเซลล์เคมีไฟฟ้า รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ข้อที่ 3 เข้าใจหลักการทำปฏิบัติการเคมี การวัดปริมาณสาร หน่วยวัดและการเปลี่ยนหน่วย การคำนวณปริมาณของสาร ความเข้มข้นของสารละลาย รวมทั้งการ บัญญัติการความรู้ และทักษะในการอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันและการแก้ปัญหาทางเคมี

ตาราง 3 จำนวนผลการเรียนรู้ทั้งหมด กับ จำนวนและร้อยละของผลการเรียนรู้ที่กำหนดให้อธิบาย

สาระเคมี		ข้อที่ 1		ข้อที่ 2		ข้อที่ 3		รวม	
		จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
ม. 4	ทั้งหมด	21	-	7	-	11	-	39	-
	อธิบาย	6	28.57	-	-	3	27.27	9	23.08
ม. 5	ทั้งหมด	6	-	32	-	-	-	38	-
	อธิบาย	3	50.00	10	31.25	-	-	13	34.21
ม. 6	ทั้งหมด	15	-	-	-	4	-	19	-
	อธิบาย	2	13.33	-	-	-	-	2	10.53
รวม	ทั้งหมด	42	-	39	-	15	-	96	-
	อธิบาย	11	26.19	10	25.64	3	20.00	24	25.00

ในตารางจะเห็นว่าผลการเรียนรู้ที่กำหนดให้นักเรียนต้องอธิบายคิดเป็นหนึ่งในสี่ของผลการเรียนรู้ทั้งหมด คือ จำนวน 24 ข้อ จากทั้งหมด 96 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 25.00 สะท้อนให้เห็นว่า การอธิบายเป็นหนึ่งในพฤติกรรมการเรียนรู้ที่คาดหวังให้นักเรียนปฏิบัติได้ หลังจากที่เรียนรู้ในรายวิชาเคมี จากสัดส่วนผลการเรียนรู้ข้างต้น การส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในเนื้อหาเคมี จึงจำเป็นและเหมาะสม

เมื่อพิจารณาตามระดับชั้น จะเห็นว่า ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีผลการเรียนรู้ที่กำหนดให้นักเรียนต้องอธิบายมากที่สุด จำนวน 13 ข้อ จากทั้งหมด 38 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 34.21 เมื่อพิจารณาผลการเรียนรู้ที่กำหนดให้นักเรียนต้องอธิบาย ทั้งหมด 24 ข้อ จะเห็นว่า อยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มากถึง 13 ข้อ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 54.17 ของผลการเรียนรู้ที่กำหนดให้นักเรียนต้องอธิบาย สะท้อนว่า ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ควรส่งเสริมให้นักเรียนได้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เมื่อพิจารณาตามสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมของสาระเคมี จะเห็นว่า สาระการเรียนรู้ข้อที่ 1 เป็นสาระการเรียนรู้ที่มีผลการเรียนรู้ที่กำหนดให้นักเรียนต้องอธิบายมากที่สุด จำนวน 11 ข้อ จากทั้งหมด 42 ข้อ คิดเป็น ร้อยละ 26.19

เมื่อพิจารณาตามระดับชั้นและสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมร่วมกัน จะเห็นว่าระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สาระการเรียนรู้เพิ่มเติมข้อที่ 1 เหมาะสมจะนำมาส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มากที่สุด เพราะ มีสัดส่วนผลการเรียนรู้ที่กำหนดให้นักเรียนต้องอธิบายมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 50.00 ซึ่งผลการเรียนรู้ทั้งหมด อยู่ในเนื้อหาเรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส โดยแต่ละผลการเรียนรู้ มีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการเรียนรู้ข้อที่ 1 อธิบายความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก
2. ผลการเรียนรู้ข้อที่ 5 อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊ส โดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม
3. ผลการเรียนรู้ข้อที่ 6 สืบค้นข้อมูล นำเสนอตัวอย่าง และอธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม

จากรายละเอียดที่แสดงไปข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า การส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในรายวิชาเคมี ควรส่งเสริมในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพราะเป็นระดับชั้นที่มีพฤติกรรมการเรียนรู้หลักเป็นการอธิบาย และควรใช้เนื้อหา เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส เพราะเป็นเนื้อหาที่มีสัดส่วนผลการเรียนรู้ที่กำหนดให้นักเรียนต้องอธิบายมากที่สุด โดยเนื้อหาดังกล่าวมีโมโนทัศน์หลักที่ปรากฏในผลการเรียนรู้ 5 โมโนทัศน์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, 2562b) แสดงรายละเอียด ดังตาราง 4

ตาราง 4 โมโนทัศน์หลักที่ปรากฏในผลการเรียนรู้และคำอธิบาย เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส

โมโนทัศน์	คำอธิบายโมโนทัศน์
1) กฎของบอยล์ (Boyle's law)	เมื่ออุณหภูมิ (T) และจำนวนโมล (n) ของแก๊สคงที่ ปริมาตร (V) ของแก๊สจะแปรผกผันกับความดัน (P)
2) กฎของชาร์ล (Charles' law)	เมื่อความดัน (P) และจำนวนโมล (n) ของแก๊สคงที่ ปริมาตร (V) ของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ (T) ในหน่วยเคลวิน (K)
3) กฎของเกย์-ลูสแซก (Gay-Lussac's law)	เมื่อปริมาตร (V) และจำนวนโมล (n) ของแก๊สคงที่ อัตราส่วนความดัน (P) ต่ออุณหภูมิ (T) ในหน่วยเคลวินเป็นค่าคงที่ ดังนั้น ความดันของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

ตาราง 4 (ต่อ)

มโนทัศน์	คำอธิบายมโนทัศน์
4) กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม (Graham's law of effusion)	เมื่ออุณหภูมิ (T) และความดัน (P) ของแก๊สคงที่ จำนวนโมเลกุลของแก๊สที่แพร่ผ่านต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรือ อัตราการแพร่ผ่านของแก๊ส (r) แปรผกผันกับรากที่สองของมวลต่อโมล (M)
5) ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส (Kinetic theory of gases)	แก๊สประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กจำนวนมาก ถือว่าอนุภาคของแก๊สไม่มีปริมาตร และอยู่ห่างกันมาก จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยมาก เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ด้วยอัตราเร็วคงที่ แต่มีทิศทางไม่แน่นอน และมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้พลังงานจลน์แตกต่างกัน โดยพลังงานจลน์จะขึ้นกับอุณหภูมิ แต่ไม่ขึ้นกับชนิดของแก๊ส แก๊สสามารถชนและเกิดการถ่ายเทพลังงานให้แก่กันได้ แต่พลังงานจลน์เฉลี่ยจะยังคงมีค่าคงที่

จากตาราง 5 จะเห็นว่า มโนทัศน์ที่ 1 - 4 เป็นมโนทัศน์ที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ของแก๊ส และมโนทัศน์ที่ 5 จะเป็นการให้รายละเอียดสำหรับทำความเข้าใจพฤติกรรมของแก๊ส

ในคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3 ได้กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ที่บ่งชี้พฤติกรรมที่นักเรียนต้องแสดงออก โดยมีการระบุมโนทัศน์หลักตามผลการเรียนรู้แต่ละข้อควบคู่ไปกับพฤติกรรมนั้น ๆ ด้วย (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, 2562a, น. 1-3) แสดงได้ดังตาราง 5

ตาราง 5 จุดประสงค์และพฤติกรรมการเรียนรู้ตามผลการเรียนรู้ เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส

ผลการเรียนรู้	จุดประสงค์การเรียนรู้	พฤติกรรม การเรียนรู้	ความรู้
ข้อที่ 1	1. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส และคำนวณปริมาตรหรือความดัน โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของบอยล์	อธิบาย และคำนวณ	มโนทัศน์ที่ 1

ตาราง 5 (ต่อ)

ผลการเรียนรู้	จุดประสงค์การเรียนรู้	พฤติกรรม การเรียนรู้	ความรู้
ข้อที่ 5	2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส และคำนวณปริมาตรหรืออุณหภูมิ โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของชาร์ล	อธิบาย และ คำนวณ	มโนทัศน์ ที่ 2
	3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของแก๊ส และคำนวณความดันหรืออุณหภูมิ โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของเกย์-ลูสแซก	อธิบาย และ คำนวณ	มโนทัศน์ ที่ 3
	4. อธิบายกฎต่าง ๆ โดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส	อธิบาย	มโนทัศน์ ที่ 5
	5. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส	อธิบาย	มโนทัศน์ ที่ 4
	6. อธิบายความสัมพันธ์ของอัตราการแพร่กับมวลต่อโมล ของแก๊ส	อธิบาย	มโนทัศน์ ที่ 4
ข้อที่ 6	7. คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ หรือมวลต่อโมลของแก๊ส โดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม	คำนวณ และ เปรียบเทียบ	
	8. สืบค้นข้อมูล อธิบายปรากฏการณ์ และยกตัวอย่างการนำความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊สไปใช้ประโยชน์	สืบค้น อธิบาย และ ยกตัวอย่าง	-

จากจุดประสงค์การเรียนรู้ที่แตกต่างกัน จึงมีการแสดงตัวอย่างกิจกรรมการเรียนรู้ในหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3 บทที่ 7 แก๊สและสมบัติ ของแก๊ส ที่สอดคล้องตามจุดประสงค์และมโนทัศน์หลักที่ต้องการให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้แตกต่างกัน แต่กิจกรรมส่วนใหญ่มีลักษณะที่คล้ายกัน คือ เป็นกิจกรรมเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ทั้งในรูปแบบการทดลอง การพิจารณาข้อมูลจากกราฟและตาราง (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, 2562b, น. 7-42) ดังตาราง 6

ตาราง 6 ตัวอย่างกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส

มโนทัศน์	กิจกรรมการเรียนรู้
กฎของบอยล์ (ผลการเรียนรู้ข้อที่ 1)	กิจกรรม 7.1 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ความดันและปริมาตรของอากาศ
กฎของชาร์ล (ผลการเรียนรู้ข้อที่ 1)	กิจกรรม 7.2 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร และอุณหภูมิของอากาศ กิจกรรม 7.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิ ของแก๊ส
กฎของเกย์-ลูสแซก (ผลการเรียนรู้ข้อที่ 1)	พิจารณาข้อมูลจากตาราง และอธิบายที่มาของสมการ
กฎของอาวกาโดร (ไม่ปรากฏในผลการเรียนรู้ข้างต้น)	กิจกรรม 7.4 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส
กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม (ผลการเรียนรู้ข้อที่ 5)	กิจกรรม 7.5 การทดลองการแพร่ของแก๊สแอมโมเนียและ แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์
ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส (ผลการเรียนรู้ข้อที่ 5)	พิจารณาแบบจำลองประกอบการอธิบาย

จากตารางจะเห็นว่าผลการเรียนรู้ข้อที่ 6 ไม่ได้ระบุตัวอย่างกิจกรรมการเรียนรู้เอาไว้ เป็นเพราะในผลการเรียนรู้กำหนดเอาไว้อย่างชัดเจนว่านักเรียนจะต้องสืบค้นข้อมูล นำเสนอตัวอย่าง ประยุกต์ใช้ความรู้ในการอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน ต่างจากผลการเรียนรู้สองข้อแรก ที่ไม่ได้ให้รายละเอียดว่าจะต้องอธิบายอย่างไร จึงมีการแสดงตัวอย่างกิจกรรมเพื่อให้มีความชัดเจนว่า ก่อนที่จะอธิบายนักเรียนต้องเตรียมตัวในการรวบรวมข้อมูลอย่างไร เมื่อพิจารณากิจกรรมทั้งหมดที่ปรากฏในหนังสือ อย่างละเอียดถี่ถ้วน พบว่า เป็นกิจกรรมที่เอื้อต่อการฝึกสร้างคำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์ของนักเรียน แม้ว่ากิจกรรม 7.4 เป็นกิจกรรมที่มีมโนทัศน์นอกเหนือจากที่ปรากฏใน ผลการเรียนรู้ เพราะ นักเรียนจะต้องรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลรูปแบบต่าง ๆ ในทุกกิจกรรม แล้ว สร้างข้อสรุปเกี่ยวกับเรื่องนั้น ๆ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวสอดคล้องกับกระบวนการสร้างองค์ประกอบของ คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER ด้วยพฤติกรรมกรรมการเรียนรู้ที่นักเรียนถูกคาดหวังให้ แสดงออกและลักษณะกิจกรรมการเรียนรู้ที่เอื้อต่อการฝึกฝน จึงเป็นเหตุผลว่า เนื้อหาเรื่อง แก๊สและ สมบัติของแก๊สในรายวิชาเคมีระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เป็นเนื้อหาที่ควรนำมาใช้เพื่อพัฒนาการ สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในทุกกิจกรรมการเรียนรู้

4.2 การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เรื่องแก๊ส

หากอ้างอิงการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามข้อมูลที่ระบุเอาไว้ในส่วนต่อท้ายของมาตรฐานการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ของประเทศสหรัฐอเมริกา (Appendix F) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ต้องครอบคลุมในลักษณะดังต่อไปนี้ (National Research Council, 2013)

1) สร้างข้อกล่าวอ้างเชิงปริมาณ หรือเชิงคุณภาพ โดยอิงตามความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

2) สร้างและปรับปรุงคำอธิบายด้วยหลักฐาน และข้อสันนิษฐาน โดยหลักฐานที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือ อาจรวบรวมมาจากหลากหลายแหล่ง เช่น การลงมือสำรวจ ตรวจสอบด้วยตนเอง แบบจำลอง ทฤษฎี ภาพจำลองเสมือนจริง หรือจากการรวบรวมข้อมูลของเพื่อนร่วมชั้น ข้อสันนิษฐานที่ใช้ ยังคงเป็นจริง หมายถึง เป็นกฎหรือทฤษฎีที่สามารถอธิบายโลกตามธรรมชาติได้ตั้งแต่อดีต ปัจจุบัน และอนาคต

3) ประยุกต์ใช้หลักการ แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และ/หรือหลักฐานเพื่อสร้างคำอธิบายให้กับปรากฏการณ์และเพื่อแก้ไขปัญหาโดยคำนึงถึงผลที่ไม่คาดฝันว่าจะเป็นไปได้

4) ประยุกต์การให้เหตุผล ทฤษฎี และ/หรือแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อเชื่อมโยงหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง เพื่อประเมินว่าการให้เหตุผลและข้อมูลสนับสนุนคำอธิบายหรือข้อสรุปที่สร้างครอบคลุมหรือไม่

5) ออกแบบ ประเมิน และ/หรือปรับปรุง แนวทางแก้ปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริงที่ซับซ้อน ด้วยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ หลักฐานที่นักเรียนรวบรวมได้ด้วยตนเอง ใช้ลำดับความสำคัญเป็นเกณฑ์ และการแลกเปลี่ยนกันพิจารณา

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส ที่มีลักษณะสอดคล้องตามข้อที่ 1) และ 2) สามารถเกิดขึ้นได้ในกิจกรรมที่ 7.1 – 7.5 เพราะกิจกรรมดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ของแก๊ส ซึ่งนักเรียนจะรวบรวมหลักฐานจากการทดลองด้วยตนเอง คำอธิบายที่มีลักษณะสอดคล้องตามข้อที่ 3) และ 4) ครูผู้สอนต้องกำหนดสถานการณ์ที่เป็นปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน หรือเลือกปรากฏการณ์จากการสืบค้นข้อมูลของนักเรียนมาเป็นตัวอย่าง เพราะปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงจะมีความซับซ้อนมากกว่าปรากฏการณ์ที่สังเกตได้จากการทดลอง ทำให้คำอธิบายที่สร้างมีความซับซ้อนมากกว่า เช่น การอธิบายเกี่ยวกับแก๊สภายในลูกโป่ง ในขณะที่กำลังเป่าลมเข้าไป (Ningsi et al., 2019)

ส่วนในข้อที่ 5) นั้นไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ แต่เป็นการให้รายละเอียดเกี่ยวกับการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม จึงไม่ได้พิจารณาในการวิจัยครั้งนี้

ตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากกิจกรรม 7.1

ที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของอากาศ

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เมื่อปริมาตรของอากาศลดลง ความดันของอากาศจะเพิ่มขึ้น

สังเกตได้จาก ในกระบอกฉีดยาที่จำนวนโมลและอุณหภูมิของอากาศมีค่าคงที่ ณ สภาวะเริ่มต้น ก้านกระบอกฉีดยาจะนิ่ง ไม่ขยับ เมื่อกดก้านกระบอกฉีดยา แล้วปล่อยมือ จะสังเกตเห็นว่า ก้านกระบอกฉีดยาเลื่อนกลับไปยังตำแหน่งเดิมที่อยู่ในตอนแรกด้วยตัวเอง

ในตอนต้น ก้านกระบอกฉีดยาอยู่นิ่ง ไม่ขยับ เพราะ ความดันของอากาศภายในกระบอกฉีดยามีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก ในขณะที่กดก้านกระบอกฉีดยาให้มีปริมาตรลดลง อากาศที่อยู่ภายในมีปริมาตรลดลงด้วย อนุภาคอากาศจึงเคลื่อนที่ชนกับผนังกระบอกฉีดยามากขึ้น ตามทฤษฎีจลน์ของแก๊ส แรงที่อนุภาคของแก๊สกระทำกับผนังภาชนะ จะก่อให้เกิดความดัน เมื่ออากาศเคลื่อนที่ชนผนังกระบอกฉีดยามากขึ้น แรงที่อากาศกระทำต่อผนังกระบอกฉีดยาก็มากขึ้น ความดันของอากาศภายในกระบอกฉีดยาจึงมากขึ้นกว่าตอนเริ่มต้น เมื่อปล่อยมือ ความดันของอากาศที่เพิ่มขึ้น จึงดันให้กระบอกฉีดยาเลื่อนกลับไปยังตำแหน่งเดิม นำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า ปริมาตรของอากาศที่ลดลง ส่งผลให้ความดันของอากาศเพิ่มขึ้น

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ข้างต้น แสดงองค์ประกอบตามกรอบแนวคิด CER ดังนี้ บรรทัดแรกแสดงองค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้าง (Claim) จะเห็นว่า มีลักษณะเป็นประโยคสั้น ๆ ไม่ซับซ้อน ส่วนที่สอง คือ หลักฐาน (Evidence) ข้อมูลนี้จะนำมาจากผลการทดลองที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง มีรายละเอียดเพิ่มมากขึ้น เพราะต้องเหมาะสมทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เชิงปริมาณจะแสดงให้เห็นสองสภาวะ คือ ก่อนและหลังออกแรงกดก้านกระบอกฉีดยา เชิงคุณภาพ คือ จะให้รายละเอียดว่า ก่อนออกแรงกด ก้านกระบอกฉีดยาจะอยู่นิ่ง หลังออกแรงกด ก้านกระบอกฉีดยาจะเคลื่อนที่กลับตำแหน่งเดิมได้ และส่วนสุดท้าย การให้เหตุผล (Reasoning) เป็นส่วนที่มีซับซ้อนมากที่สุด เพราะจะต้องใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์มาเพื่อแสดงความเชื่อมโยงว่าหลักฐาน แต่ละชิ้นสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างไร ในการทดลองนี้จะใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊สมาแสดงความเชื่อมโยงว่าการที่ก้านกระบอกฉีดยาอยู่นิ่งและเคลื่อนที่ได้นั้นเป็นผลมาจากความดันของอากาศภายในกระบอกฉีดยาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอากาศ

ภายในกระบอกฉีดยามีปริมาตรเปลี่ยนไป จากข้อสรุปที่ได้จากกิจกรรมดังกล่าว จะช่วยให้นักเรียน สร้างองค์ความรู้ในเรื่อง กฎของบอยล์ ที่กล่าวว่า เมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ความดันของแก๊สจะแปรผกผันกับปริมาตรของแก๊สได้

ตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของแก๊สภายในลูกโป่ง

ในขณะที่นักเรียนกำลังเป่าลูกโป่งให้มีปริมาตรตามที่ต้องการ
นักเรียนสังเกตเห็นว่าผิวของลูกโป่ง มีความตึงเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ
จากสิ่งที่เกิดขึ้น นักเรียนคิดว่า ในขณะที่ลูกโป่งกำลังถูกเป่าให้มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ปริมาณอนุภาคของแก๊สมีผลต่อความดันของแก๊สที่อยู่ภายในและความตึงผิวของลูกโป่งอย่างไร

“ ความดันของแก๊สภายในลูกโป่งมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยแรงที่เกิดจากการชนกันของอนุภาคแก๊ส กับผนังด้านในของลูกโป่ง ”.....a

“ นี่เป็นผลมาจากแรงดล เมื่ออนุภาคของแก๊สชนผนัง ลูกโป่งจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามจำนวนอนุภาคของแก๊สที่เพิ่มขึ้น ”.....b

“ ในขณะที่ลูกโป่งถูกเป่าให้มีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างต่อเนื่อง ความดันยังคงมีค่าคงที่ เนื่องจากจำนวนอนุภาคของแก๊สที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาตรของลูกโป่งที่เพิ่มขึ้น ถ้าหากเป่าจนมีปริมาตรสูงที่สุด แล้วยังคงเป่าต่อไป ความดันจะมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะปริมาตรมีค่าคงที่ ”.....c

“ ปริมาณอนุภาคของแก๊สที่ถูกเติมเข้าไปในลูกโป่งมากขึ้น การชนระหว่างอนุภาคของแก๊สกับผนังลูกโป่งก็ถี่ขึ้น ความตึงผิวของลูกโป่งจึงมากขึ้น ซึ่งเป็นผลจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอนุภาคของแก๊สที่มีต่อความดันตามทฤษฎีจลน์ของแก๊ส จึงสามารถสรุปได้ว่า ถ้าปริมาณอนุภาคของแก๊สเพิ่มขึ้น ความตึงผิวของลูกโป่งจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความดันของแก๊สยังคงขึ้นกับความคงที่ของปริมาตรลูกโป่ง หากปริมาตรของลูกโป่งคงที่ ความดันของแก๊สจะสูงขึ้น ”.....d

ที่มา : Ningsi, S., Suhandi, A., Kaniawati, I., และ Samsudin, A. (2019). KTG-SESC:

Development of scientific explanation skills test instrument. Journal of Physics: Conference Series, 1157(3), 032050.

เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้ บรรลุตามความมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้นำองค์ความรู้ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 ไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือวิจัยชนิดต่าง ๆ ทั้งแผนการจัดการเรียนรู้ แบบวัดและแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ใบกิจกรรม สืบเสาะ และใบกิจกรรมการเสริมต่อการเรียนรู้ แต่ละเครื่องมือจะมีวิธีการพัฒนาที่แตกต่างกัน ดังขั้นตอนที่ผู้วิจัยแสดงไว้ในบทที่ 3



บทที่ 3

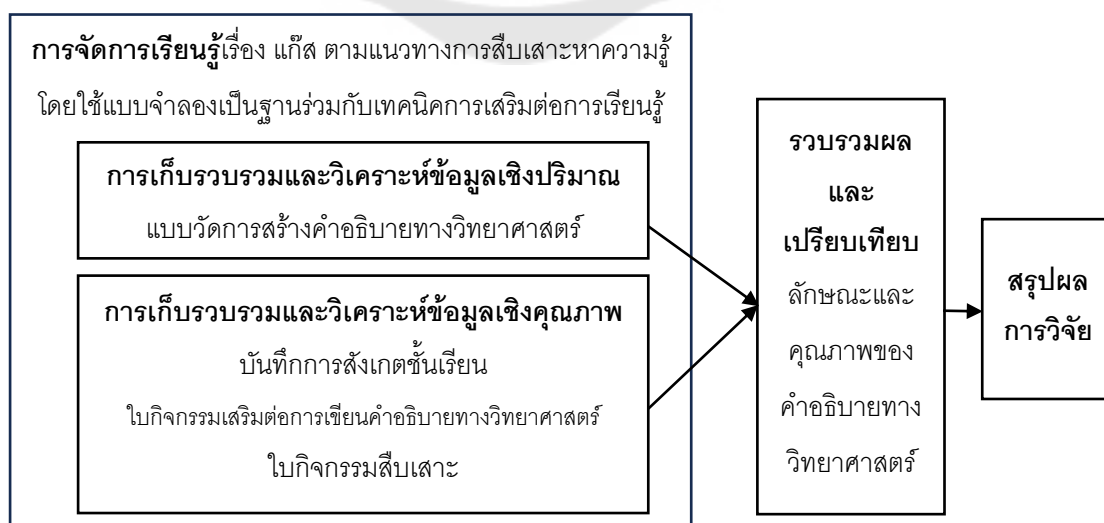
วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ มีรายละเอียด ดังนี้

1. แบบแผนการวิจัย
2. กลุ่มที่ศึกษา
3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การจัดทำและวิเคราะห์ข้อมูล
6. สถิติที่ใช้ในการวิจัย
7. จริยธรรมของการวิจัย

1. แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ใช้การวิจัยผสมผสานวิธีแบบแผนคู่ขนาน (Convergent Mixed Methods Design) (Creswell & Creswell, 2018; กันต์ฤทัย คลังพหล, 2563) เก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณจากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบและอภิปรายร่วมกันกับข้อมูลเชิงคุณภาพจากพฤติกรรมของนักเรียนที่จดบันทึกไว้ในแบบบันทึกการสังเกตชั้นเรียน การตีความจากร่องรอยการเรียนรู้ในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ใบกิจกรรมสืบเสาะ และแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ แสดงได้ดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 แบบแผนการวิจัย

2. กลุ่มที่ศึกษา

กลุ่มที่ศึกษา คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวนหนึ่งห้องเรียน ซึ่งได้มาจากการเลือกกลุ่มที่ศึกษาตามความสะดวก (Convenience Sampling) โดยเป็นชั้นเรียนที่ครูผู้สอนให้ความอนุเคราะห์เข้าร่วมการวิจัย

กลุ่มที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ มีนักเรียนจำนวน 38 คน เป็นนักเรียนหญิง 13 คน และนักเรียนชาย 25 คน จากโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา กรุงเทพมหานคร เขต 1 ที่เรียนรายวิชา ว32222 เคมี 3 ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนดังกล่าวจัดห้องเรียนตามผลการเรียนที่นักเรียนได้รับ ห้องเรียนที่เป็นกลุ่มที่ศึกษาอยู่ในลำดับที่ 6 จากทั้งหมด 7 ห้องเรียน นักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 71.05 มีผลการเรียนรู้ในรายวิชาเคมีอยู่ในระดับปานกลาง (เกรด 2.0 – 2.5) ดังข้อมูลในภาคผนวก ง

ครูผู้สอนรายวิชาเคมีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปเก็บข้อมูล โดยจะเรียกว่า ครู B ครู B มีความเข้าใจในเนื้อหาเรื่อง แก๊ส เป็นอย่างดี มีคะแนนการสอบบรรจุเป็นลำดับที่ 2 ของจังหวัดกรุงเทพมหานคร มีประสบการณ์การสอนทั้งในชั้นเรียนปกติ และการสอนแบบติวเตอร์ แต่ยังไม่เคยจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์และยังไม่เคยใช้กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมาก่อน

3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งเครื่องมือออกเป็น 2 ส่วน คือ เครื่องมือที่ใช้ในการจัดกระทำ ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส จำนวน 5 แผน กับ แบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แยกตามหัวข้อ และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส และบันทึกการสังเกตชั้นเรียน ซึ่งมีกระบวนการสร้างเครื่องมือ ดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการจัดกระทำ

3.1.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส

การพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้มีรายละเอียดดังขั้นตอนต่อไปนี้

1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน พบว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางดังกล่าวของ Ambitious Science Teaching มีเป้าหมายเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ความรู้ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่สำคัญหรือน่าสนใจ ประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่ง เป็นการวางแผนเตรียมกิจกรรมของครูผู้สอนหนึ่งขั้นตอน และ ส่วนที่สอง เป็นการลงมือปฏิบัติของนักเรียนโดยที่มีครูคอยให้คำชี้แนะ จำนวนสามขั้นตอน (Windschitl et al., 2018) ซึ่งผู้วิจัยได้นำส่วนที่สองมาใช้เป็นกรอบในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ ทำให้แผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น มีการจัดกิจกรรมทั้งหมด 3 ขั้นตอน คือ การรวบรวมความคิด การปรับเปลี่ยนความคิด และการสร้างคำอธิบายจากหลักฐาน

รายละเอียดของกิจกรรมในแต่ละขั้นที่ผู้วิจัยใช้ในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ สรุปได้ตาราง 7

ตาราง 7 รายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
ขั้นที่ 1 การรวบรวมความคิด	
1.1 แนะนำปรากฏการณ์และระบุคำถามสำคัญ	- ครูเปิดรูปภาพ คลิปวิดีโอ หรือสาริตการเกิดปรากฏการณ์ เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนสงสัยและเกิดคำถาม - ครูเลือกคำถามที่นักเรียนสงสัย และสามารถตรวจสอบได้มาเป็นประเด็นในการจัดการเรียนรู้ หรือใช้คำถามชี้แนะ จนกระทั่งได้ประเด็นที่สำคัญตามที่กำหนดไว้
1.2 ตอบคำถามสำคัญ	- นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันตอบคำถามโดยใช้ความรู้เดิมที่มีลงในใบกิจกรรมที่แจกให้ แล้วนำเสนอคำตอบของกลุ่มตนเอง - ครูบันทึกประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์จากคำตอบของนักเรียนไว้บนกระดาน (Gotta have Checklist)
1.3 สร้างแบบจำลองเบื้องต้น	นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ลงในใบกิจกรรมที่ครูแจกให้ โดยยึดตามประเด็นสำคัญที่ครูบันทึกไว้

ตาราง 7 (ต่อ)

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
1.3 สร้างแบบจำลองเบื้องต้น (ต่อ)	- ตัวแทนนักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอแบบจำลองของกลุ่มตนเอง พร้อมกับแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างกลุ่ม - ครูสรุปประเด็น หรือ คำถามที่ต้องการสืบเสาะ
ขั้นที่ 2 การปรับเปลี่ยนความคิด	
2.1 สร้างสมมติฐานในการรวบรวมข้อมูล	นักเรียนสร้างสมมติฐานในการตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบและแบบจำลองที่กลุ่มตนเองสร้าง ในรูปแบบ “เมื่อเราเชื่อว่า (ความสัมพันธ์ตามแผนภาพที่สร้าง) นั้นถูกต้อง เราจึง (สังเกต/ทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว) แล้วเราควรจะสังเกต/ค้นพบได้ว่า (ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น)” โดยเขียนลงไปใบกิจกรรมที่ครูแจกให้
2.2 ออกแบบ วางแผน และลงมือรวบรวมข้อมูล	- นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันออกแบบขั้นตอนวิธีการรวบรวมข้อมูลตามสมมติฐานที่สร้าง - นักเรียนรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้ แล้วบันทึกข้อมูลที่ได้ลงในใบกิจกรรม หมายเหตุ หากข้อมูลที่ต้องรวบรวมมีความซับซ้อน ครูอาจเป็นผู้กำหนดกิจกรรม แล้วให้นักเรียนปฏิบัติตามได้
2.3 สร้างตารางสรุป	- ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้าลงในตารางสรุป (Summary table) โดยมีประเด็น ดังนี้ - กิจกรรมที่ทำคืออะไร - สิ่งที่ค้นพบคืออะไร - สิ่งที่ค้นพบช่วยให้อธิบายปรากฏการณ์ได้อย่างไร - นักเรียนประเมินความสอดคล้องของข้อมูลว่าจะใช้ข้อมูลใดเป็นหลักฐานในการอธิบายปรากฏการณ์บ้าง โดยใช้ประเด็นสำคัญที่ผู้สอนบันทึกไว้และหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์นั้น ๆ เป็นเกณฑ์

ตาราง 7 (ต่อ)

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
2.4 อภิปรายและแก้ไข แบบจำลอง ครั้งที่ 1	- นักเรียนแต่ละกลุ่มพิจารณาแบบจำลองของกลุ่มตนเองว่ามี ความสมบูรณ์ เหมาะสมที่จะนำไปอธิบายปรากฏการณ์หรือไม่ โดยใช้หลักฐานที่เลือกแล้วเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา - นักเรียนแต่ละกลุ่มปรับปรุงแบบจำลองของกลุ่มตนเอง แล้วนำเสนอเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็น - นักเรียนนำแบบจำลองไปจัดแสดงในที่ที่กำหนด จากนั้น นักเรียนทุกคนสลับกันชมแบบจำลองของเพื่อนกลุ่มอื่น พร้อมซักถาม แสดงความคิดเห็น และให้คำแนะนำ (ครูสามารถมีส่วนร่วมได้)
ขั้นที่ 3 การสร้างคำอธิบายจากหลักฐาน	
3.1 อภิปรายและแก้ไข แบบจำลองครั้งสุดท้าย	- ครูกล่าวสรุปประเด็นจากการชมแบบจำลอง - นักเรียนแต่ละกลุ่มปรับปรุงแบบจำลองของกลุ่มตนเอง เป็นครั้งสุดท้าย โดยพิจารณาจากคำแนะนำที่ได้รับ และจากประเด็นที่ ครูสรุป - นักเรียนกลุ่มที่มีการปรับแบบจำลองออกมานำเสนอ รายละเอียดที่แก้ไข ส่วนกลุ่มที่ไม่มีการปรับ ออกมานำเสนอ เหตุผลว่าแบบจำลองของกลุ่มตนเองมีความสมบูรณ์/เหมาะสม อย่างไร
3.2 สร้างคำอธิบาย ทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้ หลักฐานที่รวบรวมได้และ แบบจำลองที่ปรับปรุงครั้งสุดท้ายเป็นฐาน	- นักเรียนแต่ละคนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบ แนวคิด CER บนฐานของแบบจำลองสุดท้ายของกลุ่ม โดยครู กระตุ้นด้วยคำถามชี้แนะในใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ - นักเรียนนำเสนอคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อแลกเปลี่ยน ความคิดเห็น และนำไปปรับปรุงคำอธิบายของตนเอง

ตาราง 7 (ต่อ)

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
	นักเรียนทำแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นรายบุคคล
3.3 ทำแบบฝึกหัดคำนวณเพิ่มเติม (ถ้ามี)	- ครูสรุปความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่รวบรวมได้ในรูปของสมการเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ - นักเรียนทำแบบฝึกหัดเกี่ยวกับการคำนวณ หมายเหตุ หากเนื้อหาใดไม่มีการคำนวณ สามารถละได้ แต่เนื่องจากเนื้อหาเรื่องแก๊ส มีส่วนของการคำนวณ ผู้วิจัยจึงได้เพิ่มขั้นตอนนี้เข้ามา เพื่อให้ นักเรียนได้เรียนรู้วิธีการคำนวณอย่างถูกต้อง

2) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ พบว่า การช่วยเหลือนักเรียนในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ จะแบ่งเป็นระดับที่ต่างกันสามระดับ คือ ระดับที่ 1 ช่วยเหลือว่าการสร้างคำอธิบายวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบทำอะไร โดยให้ข้อมูลที่เฉพาะเจาะจงกับปรากฏการณ์ ระดับที่ 2 ช่วยเหลือว่าการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วยองค์ประกอบอะไรบ้าง แต่ละองค์ประกอบมีลักษณะอย่างไร และระดับที่ 3 ไม่ช่วยเหลือในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ รายละเอียดดังตาราง 8 ผู้วิจัยจึงนำแนวคิดดังกล่าว (Katherine L. McNeill, 2006) มาใช้ในการออกแบบ ใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ที่มีรายละเอียดแตกต่างกัน 3 ระดับ ตามแนวคิดข้างต้น และนำไปใช้เป็นเอกสารประกอบการเรียนในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ โดยจะเปลี่ยนระดับการช่วยเหลือในใบกิจกรรมเมื่อนักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ถึงระดับคุณภาพตามเกณฑ์ร้อยละที่กำหนดไว้

3) พิจารณาเนื้อหาในรายวิชาเคมี ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งเป็นระดับชั้นที่มีสัดส่วนของผลการเรียนรู้ที่กำหนดให้นักเรียนต้องอธิบายมากที่สุด พบว่า เนื้อหาเรื่องแก๊ส มีกิจกรรมการเรียนรู้ที่เอื้อต่อการให้นักเรียนได้ฝึกสร้างแบบจำลองและฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มากที่สุด ผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกเนื้อหาดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วย 5 หัวข้อหลัก ได้แก่

กฎของอาโวกาโดร กฎของบอยล์ กฎของชาร์ลและกฎของเกย์-ลูสแซก กฎความดันย่อยของ
คอลตัน และกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม

ตาราง 8 ระดับการเสริมต่อการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็น
ฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส

ระดับที่	รายละเอียดการช่วยเหลือนักเรียนเพื่อให้สามารถ สร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ได้		
	ข้อกล่าวอ้าง	หลักฐาน	การให้เหตุผล
1	เขียนข้อความ ที่ตอบสนองกับ ปัญหาเริ่มต้น	ให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ เพื่อสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ควรใช้หลักฐานที่เหมาะสม และเพียงพอ เหมาะสม คือ เกี่ยวข้องกับปัญหา โดยตรง เพียงพอ คือ จำนวนที่มากพอ จะชักนำให้คนคล้อยตามได้	เชื่อมโยงเพื่อแสดงว่า หลักฐานสัมพันธ์กับ ข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยใช้หลักการทาง วิทยาศาสตร์เพื่อบอกว่า เพราะเหตุใดข้อมูลนั้น ๆ จึงนับเป็นหลักฐาน
2	ตอบสนองต่อ ปัญหา/คำถาม	ให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ เพื่อสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง อย่างเหมาะสมและเพียงพอ	เชื่อมโยงหลักฐานกับ ข้อกล่าวอ้าง โดยใช้หลักการ ทางวิทยาศาสตร์เพื่อแสดง ว่าข้อมูลใดบ้างที่นับเป็น หลักฐาน
3	ไม่ให้ รายละเอียด	ไม่ให้รายละเอียด	ไม่ให้รายละเอียด

หมายเหตุ ปรับมาจาก McNeill, K. L. (2006). Supporting Students' Construction of
Scientific Explanation through Curricular Scaffolds and Teacher
Instructional Practices. The University of Michigan. (Doctor of Philosophy
(Education)).

4) กำหนดจำนวนคาบเรียนที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ โดยอ้างอิงตามระยะเวลาที่จัดการเรียนรู้ได้จริงตามประสบการณ์ที่ผู้วิจัยเคยจัดการเรียนรู้นี้มา (15 คาบ) รวมกับระยะเวลาที่ผู้วิจัยเพิ่มเข้ามาสำหรับให้นักเรียนทำความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (1 คาบ) และระยะเวลาในการประเมินผลการเรียนรู้ (1 คาบ) ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส รายละเอียดแสดงได้ดังตาราง 9

ตาราง 9 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส

ปรากฏการณ์ที่ต้องสร้าง			
ลำดับที่	ชื่อแผน	แบบจำลอง	จำนวนคาบ
และคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์			
1	กฎของอาโวกาโดร	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่วางทิ้งไว้จนหมด	3
2	กฎของบอยล์	การเคลื่อนที่ของอากาศเมื่อปริมาตรช่องออกเพิ่มขึ้น	3
3	กฎของชาร์ล และกฎของเกย์-ลูสแซก	การระเบิดของแก๊สกระป๋องที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาปิ้งย่าง	3
4	กฎความดันย่อยของดอลตัน	การเตรียมออกซิเจนกระป๋องเมื่อต้องขึ้นไปบนที่สูง	2
5	กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม	การแพร่ของแก๊สออกจากลูกโป่ง	2
รวม			13

5) ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ และเทคนิคที่เลือก โดยมีเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้เป็นตัวกำหนด ตามองค์ประกอบทั้ง 10 องค์ประกอบ ดังนี้ ผลการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระสำคัญ (ความคิดรวบยอด) สาระการเรียนรู้ สมรรถนะของนักเรียน กิจกรรมการเรียนรู้ สื่อการเรียนรู้ การวัดและประเมินผล เอกสารประกอบการเรียน (ใบกิจกรรมกลุ่ม และใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้) และบันทึกหลังการจัดการ

เรียนรู้ จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้วเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปริญญาโทเพื่อพิจารณาตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะในส่วนต่าง ๆ แล้วนำมาปรับปรุงแก้ไข

ในการออกแบบแผนจัดการเรียนรู้ครั้งนี้ ยึดตามแนวทางการสืบเสาะ
หาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน จึงได้ออกแบบใบกิจกรรมกลุ่มสำหรับให้นักเรียนทำร่วมกัน
โดยเฉพาะ และใช้เหมือนกันในทุกแผนการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรมนี้เรียกว่า ใบกิจกรรมสืบเสาะ
ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

- ข้อมูลของปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา และคำถามสำคัญ
- พื้นที่สำหรับสร้างแบบจำลองเบื้องต้น และกำหนดประเด็นที่สนใจ
- พื้นที่จัดบันทึกรายละเอียดการตรวจสอบความถูกต้องและสมบูรณ์

ของแบบจำลองเบื้องต้น แบ่งเป็น 6 ส่วนย่อย ดังนี้

- การตั้งสมมติฐาน
- การออกแบบขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล
- ข้อมูลที่รวบรวมได้
- ตารางสรุปเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลกับปรากฏการณ์
- แบบจำลองแก้ไข ครั้งที่ 1
- แบบจำลองสุดท้าย

ใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ จะเป็นใบกิจกรรมรายบุคคล เรียกว่า
ใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ แบ่งเป็นสองส่วน ส่วนละหนึ่งหน้า
ส่วนแรกในหน้าที่หนึ่ง จะเป็นตารางแจกแจงองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบ
แนวคิด CER กับหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา และส่วนที่สอง ใน
หน้าที่สอง จะชี้แจงให้รวมองค์ประกอบแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน แล้วเขียนเป็นคำอธิบายทาง
วิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ ทั้งสองส่วน จะระบุข้อความชี้แนะ และคำถามสำคัญของปรากฏการณ์ที่
ศึกษาเอาไว้ เพื่อให้ให้นักเรียนได้ทบทวนประเด็นที่กำลังพิจารณาอยู่เสมอ รายละเอียดของแต่ละส่วน
จะแตกต่างกันตามระดับของการเสริมต่อการเรียนรู้ ตามตาราง 10

ตาราง 10 รายละเอียดของข้อความชี้แนะที่ระบุในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แต่ละระดับ

ระดับ ที่	รายละเอียดข้อความที่ระบุ	
	ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2
1	- คำถามสำคัญของปรากฏการณ์ - องค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER - รายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบตามกรอบแนวคิด CER - สิ่งที่ควรระบุในแต่ละองค์ประกอบที่จำเพาะกับปรากฏการณ์	- คำถามสำคัญของปรากฏการณ์ - คำชี้แจงให้รวมทุกองค์ประกอบเข้าด้วยกัน จนกลายเป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ - ตัวอย่างคำเชื่อม
2	- คำถามสำคัญของปรากฏการณ์ - องค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER - รายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบตามกรอบแนวคิด CER	- คำถามสำคัญของปรากฏการณ์ - คำชี้แจงให้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ
3	- คำถามสำคัญของปรากฏการณ์ - องค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER	คำถามสำคัญของปรากฏการณ์

6) เสนอแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ที่ได้ปรับปรุงเรียบร้อยแล้ว ต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วย อาจารย์ระดับอุดมศึกษา ที่เคยทำวิจัยเกี่ยวกับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน จำนวน 4 ท่าน และครูชำนาญการพิเศษ ที่สอนในรายวิชาเคมี จำนวน 1 ท่าน เพื่อประเมินว่าแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละแผนสอดคล้องกับความมุ่งหมายของการวิจัยครั้งนี้หรือไม่ แล้วนำผลการประเมินที่ได้มาคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยกำหนดคะแนนและ

การแปลความหมายตามตาราง 11 (ไพศาล วรคำ, 2566, น. 269) และประเมินความเหมาะสมในการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ โดยใช้แบบประเมินที่เป็นมาตราประมาณค่า 5 ระดับ จากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาแปลความหมายตามเกณฑ์ในตาราง 12 (พิชิต ฤทธิ์จัญญ, 2564, น. 234)

ตาราง 11 การแปลความหมายคะแนนความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้

คะแนน	การแปลความหมาย
มากกว่าหรือเท่ากับ .50	รายการประเมินมีความสอดคล้องกับกับจุดมุ่งหมายของการวิจัย
ต่ำกว่า .50	รายการประเมินไม่มีความสอดคล้องกับกับจุดมุ่งหมายของการวิจัย

ตาราง 12 การแปลความหมายค่าเฉลี่ยความเหมาะสมต่อการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้

ค่าเฉลี่ย	ความหมาย
4.50 – 5.00	เหมาะสมมากที่สุด
3.50 – 4.49	เหมาะสมมาก
2.50 – 3.49	เหมาะสมปานกลาง
1.50 – 2.49	เหมาะสมน้อย
1.00 – 1.49	เหมาะสมน้อยที่สุด

การประเมินความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วย 8 ประเด็น ดังนี้

- จุดประสงค์การเรียนรู้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้และสาระสำคัญ
- สาระสำคัญและเนื้อหาในกิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกันและถูกต้อง
- กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้
- กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้
- กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับการส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
- สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้

- สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับการส่งเสริมการเรียนรู้ตามเนื้อหาและการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
- การวัดและประเมินผลสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้และกิจกรรมการเรียนรู้

จากการประเมินความสอดคล้องพบว่า ทุกแผนการจัดการเรียนรู้มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่าง .60 – 1.00 ถือว่า แผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบมีความสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของการวิจัย โดยประเด็นที่ 2 สาระสำคัญและเนื้อหาในกิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกันและถูกต้อง และประเด็นที่ 4 กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ยของดัชนีความสอดคล้องมากที่สุด คือ 1.00 ในทุกแผนการจัดการเรียนรู้ รายละเอียดดังภาคผนวก ข

การประเมินความเหมาะสมต่อการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ประกอบด้วย 11 ประเด็น ดังนี้

- จุดประสงค์การเรียนรู้
- สาระสำคัญ
- สาระการเรียนรู้
- กิจกรรมการเรียนรู้
- ใบกิจกรรมการสืบเสาะโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน
- ใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้
- สื่อการเรียนรู้อื่น ๆ
- การวัดและประเมินผลและเกณฑ์การให้คะแนน
- เวลาที่ใช้
- วิทยของนักเรียน
- ความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้ต่อการนำไปใช้ในภาพรวม

จากการประเมินความเหมาะสมต่อการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้พบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.40 – 5.00 ในทุกแผนการจัดการเรียนรู้ แปลความหมายได้ว่า ทุกแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยออกแบบ มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้จัดการเรียนรู่มากถึงมากที่สุด รายละเอียดดังภาคผนวก ข

นอกเหนือจากการประเมินตามประเด็นที่ผู้วิจัยได้กำหนดไปข้างต้น ผู้เชี่ยวชาญยังได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติม ดังนี้

- อาจปรับลดกิจกรรมบางส่วนลง เช่น การอ่านใบความรู้ เรื่อง องค์ประกอบและตัวอย่างการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้สามารถจัดกิจกรรมได้ตามเวลาที่กำหนด

- การกำหนดให้นักเรียนวาดแบบจำลอง ควรเชื่อมโยงให้นักเรียน เข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดทางเคมีสามระดับเพิ่มเติมด้วย

- การใช้คำถามของครูในบางขั้นตอน ยังไม่ชัดเจน เช่น คำถาม ยังไม่ได้สะท้อนถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ต้องการจะศึกษา คำถามยังไม่ได้สื่อความอย่าง ชัดเจนว่า ต้องการให้นักเรียนปฏิบัติอย่างไร

- สถานการณ์ตัวอย่างในกฎของบอยล์มีความซับซ้อนมากเกินไป นักเรียนไม่สามารถสืบเสาะออกแบบขั้นตอนการสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเองได้ อาจต้องมีการ ปรับลดความซับซ้อนให้น้อยลง เช่น ระบุประเด็นที่ต้องการสืบเสาะให้ชัดเจนมากขึ้น ไม่ให้ พิจารณาในสถานการณ์ภาพรวม

- การเทียบเคียงระหว่างสถานการณ์ตัวอย่างและการทดลอง มีความสอดคล้องกัน มากน้อยเพียงใด สามารถใช้การทดลองเป็นตัวแทนของสถานการณ์ได้หรือไม่ เช่น การพองของลูกโป่งกับการพองของถุงแกง การขยายตัวของปอดและการขยายตัวของลูกโป่ง เป็นต้น

- ควรเพิ่มตัวอย่างการคำนวณที่สอดคล้องกับสถานการณ์ ตัวอย่าง เช่น การคำนวณเกี่ยวกับการใช้งานกระป๋องสเปรย์ไม่ให้เกิดอันตราย การคำนวณหา ความดันของแก๊สผสมในสถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

- แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 กฎของชาร์ลและกฎของเกย์-ลูสแซก มีจุดประสงค์การเรียนรู้มากกว่าแผนอื่น ๆ จะสามารถจัดการเรียนรู้ได้ตามที่วางแผนไว้หรือไม่ อาจ ต้องมีการปรับรายละเอียดก่อนนำไปใช้จริง

- การทบทวนความรู้ในเนื้อหาเรื่องเดิม ควรทำให้จบในขั้นตอนที่ 1 เพื่อป้องกันไม่ให้นักเรียนเกิดความสับสนว่ากำลังจะเรียนเรื่องอะไร

- ปรับรายละเอียดในใบกิจกรรมกลุ่ม โดยเรียบเรียงสถานการณ์ ให้ต่อเนื่องกัน เพื่อป้องกันไม่ให้ประเด็นอื่น ๆ มาดึงความสนใจไปจากมโนทัศน์หลักที่ต้องการสอน

- ควรใช้ภาพประกอบที่สะท้อนถึงสถานการณ์อย่างชัดเจนตั้งแต่แรก เพื่อให้นักเรียนทำความเข้าใจกับสถานการณ์ได้อย่างถูกต้อง

- แผนการจัดการเรียนรู้บางแผน ออกแบบมาให้จัดการเรียนรู้ต่อเนื่องกัน 150 นาที หรือสามคาบเรียน ซึ่งไม่สอดคล้องกับลักษณะคาบเรียนจริงที่เรียนแยกเป็นคาบคู่ 1 คาบ และคาบเดี่ยว 1 คาบ ครูผู้สอนต้องมีการทบทวนกิจกรรมที่นักเรียนได้ลงมือทำในคาบที่ผ่านมา ก่อนเริ่มกิจกรรมในขั้นต่อไปทุกครั้ง

7) ปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ตามคำแนะนำที่ได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ และนำเสนอให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบอีกครั้ง โดยรายละเอียดของแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้ปรับปรุง และรายละเอียดที่ยังคงไว้เหมือนเดิม มีดังนี้

- ตัดขั้นตอนที่ให้นักเรียนได้อ่านใบความรู้ เรื่อง องค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแผนที่ 1 ออก โดยให้นักเรียนไปอ่านเพิ่มเติมนอกเวลาด้วยตนเอง ในคาบเรียนปรับให้ครูอธิบายแต่ละส่วนประกอบอย่างกระชับแทน

- ในระหว่างที่ทำกิจกรรม ได้ปรับให้ครูกล่าวคุยกับนักเรียนว่าแบบจำลองที่วาดไม่ใช่การวาดเลียนแบบรูปภาพที่ให้ไปในสถานการณ์ แต่ต้องแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคแก๊สที่อยู่ในสถานการณ์นั้น ๆ อย่างชัดเจน เนื่องจากนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาเป็นกลุ่มที่มีผลการเรียนปานกลาง จึงเล็งการอธิบายคำศัพท์เฉพาะเพิ่มเติม เช่น แสดงทั้งระดับมหภาค (macroscopic level) และจุลภาค (microscopic level) ซึ่งอาจทำให้นักเรียนเกิดความกังวลในการทำกิจกรรมได้

- คำถามที่ระบุไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้ เป็นเพียงแนวทางในการถามเบื้องต้นเท่านั้น ในการจัดการเรียนรู้จริง ครูสามารถอธิบายเพิ่มเติมเมื่อนักเรียนเกิดความสงสัย หรือไม่เข้าใจในสิ่งที่จะต้องลงมือปฏิบัติได้ เมื่อนำไปทดลองก่อนใช้จริง ได้พูดคุยทำความเข้าใจกับครูผู้สอนว่า ต้องการให้นักเรียนปฏิบัติอย่างไร เพื่อที่ครูผู้สอนจะได้อธิบายขั้นตอนต่าง ๆ ให้นักเรียนได้ ซึ่งนักเรียนสามารถทำตามขั้นตอนต่าง ๆ ได้ จึงไม่ได้มีการปรับคำถามในแผน

- สถานการณ์ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 กฎของบอยล์ เมื่อนำไปทดลองใช้กับนักเรียนอีกกลุ่มหนึ่งที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน พบว่า นักเรียนเคยเจอสถานการณ์ดังกล่าวมาแล้วหนึ่งครั้งในเรื่อง ระบบหายใจ จากรายวิชา ชีววิทยา จึงทำให้นักเรียนไม่มีอุปสรรคในการทำความเข้าใจสถานการณ์ นักเรียนสามารถติดตามการสอนของครู ได้อย่างต่อเนื่อง จึงไม่ได้มีการปรับสถานการณ์หรือแก้ไขสถานการณ์เพิ่มเติมในการนำไปใช้จริง

- การใช้แบบจำลอง เพื่อเทียบเคียงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ไม่ได้มีความสอดคล้องกันทั้งหมด เช่น อัตราการขยายตัวของลูกโป่งไม่มีค่าเท่ากับอัตราการขยายตัวของถุงแกง หรือ อัตราการขยายตัวของลูกโป่งไม่ได้มีสัดส่วนที่เหมือนกันอัตราการขยายตัวของปอด แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับลูกโป่ง แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนเพียงพอแล้วว่า เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยหนึ่ง จะส่งผลให้ปัจจัยอื่น ๆ เปลี่ยนแปลงตามอย่างไร ซึ่งกิจกรรมที่นำมาใช้ เป็นกิจกรรมที่มีการใช้อย่างแพร่หลายจนเป็นที่ยอมรับแล้วว่า สามารถสร้างความเข้าใจให้กับนักเรียนได้ ผู้วิจัยไม่ได้นำมาใช้เป็นครั้งแรก จึงไม่ได้ปรับในรายละเอียดส่วนนี้

- ยังไม่มีการเพิ่มตัวอย่างการคำนวณในสถานการณ์ที่ให้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากแบบฝึกหัดตัวอย่างที่มีในหนังสือเรียน มีจำนวนและความหลากหลายมากเพียงพอที่จะให้นักเรียนได้ฝึกฝนทักษะการแก้โจทย์ปัญหาแล้ว

- การจัดการเรียนรู้ในแผนที่ 3 มีการปรับให้นักเรียนทำกิจกรรมต่าง ๆ ไปพร้อมกัน โดยให้ครูผู้สอนกำหนดเวลาทำกิจกรรมที่ชัดเจนและคอยกำกับทุกขั้นตอน เมื่อสิ้นสุดเวลาที่กำหนด ครูผู้สอนจะถามถึงผลที่ได้จากการทำกิจกรรมทันที เพื่อให้ทำกิจกรรมได้ตามเวลาที่วางแผนไว้

- แนวคำถามเกี่ยวกับความรู้เดิมที่ผู้วิจัยใส่ลงไปในแผนนั้น เป็นเพียงการย้ำเตือนครูผู้สอนให้ตระหนักถึงความรู้เดิมของนักเรียน จะได้ช่วยป้องกันในกรณีที่นักเรียน เกิดความสงสัย และถามย้อนถึงความรู้เดิม ไม่ได้เป็นการทบทวนความรู้ใหม่ทั้งหมด และได้มีการชี้แจงกับครูผู้สอนเรียบร้อยแล้ว หากนักเรียนไม่เกิดความสงสัย ครูผู้สอนไม่จำเป็นต้องถาม

- ใบกิจกรรมกลุ่มได้ออกแบบตามขั้นตอนในการสืบเสาะหาความรู้ของนักเรียนมาตั้งแต่แรก หากนักเรียนบันทึกข้อมูลตามหัวข้อที่ให้ไว้ ก็จะสามารถติดตามเนื้อหาที่เป็นมโนทัศน์หลักได้ แต่ในระหว่างทำกิจกรรมได้ให้ครูผู้สอนกล่าวย้ำประเด็นที่นักเรียนกำลังรวบรวมข้อมูลอยู่เสมอ เพื่อเตือนให้นักเรียนรู้ว่า ขณะนี้จะต้องรวบรวมข้อมูลในประเด็นใด

- มีการปรับปรุงภาพ และใช้คลิปวิดีโอเพิ่มเติมในส่วนของแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 กฎของบอยล์ เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงของอวัยวะภายในที่ไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริงได้ และแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 กฎการแพร่ผ่านของเกราะสาม ได้ปรับมาใช้ภาพลูกโป่งที่มีการมัดปากจนแน่นสนิทแทนลูกโป่งตกแต่งสถานที่ เพื่อให้สื่อความหมายได้ตรงตามข้อความที่ระบุไว้

8) นำไปใช้ทดลองใช้กับนักเรียนที่มีบริบทใกล้เคียงกันกับกลุ่มที่ศึกษา แต่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา โดยมีการพูดคุยกับครูผู้สอนก่อนและหลังจัดการเรียนรู้ ก่อนจัดการเรียนรู้ พูดคุยเพื่อทำความเข้าใจกับครูผู้สอนเกี่ยวกับกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละขั้นตอน เนื่องจากครูผู้สอนยังไม่เคยจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มาก่อน แต่เป็นผู้ที่มีความเข้าใจในเนื้อหาเรื่อง แก๊ส เป็นอย่างดี หลังจัดการเรียนรู้ พูดคุยเพื่อปรับรายละเอียดบางส่วนของกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อให้สามารถจัดการเรียนรู้ตรงตามที่วางแผนไว้ได้ เช่น เพิ่มสื่อนำเสนอ PowerPoint ที่แสดงรูปภาพหรือคลิปวิดีโอประกอบอภิปราย เพื่อให้นักเรียนติดตามการนำอภิปรายของครูได้ เพิ่มการสาธิตการใช้สื่อทดลองเสมือน Phet interactive simulations เนื่องจากนักเรียนยังไม่เคยใช้งานมาก่อน ปรับลดการทำแบบฝึกหัดข้อคำถามรายบุคคล เป็นการร่วมกันทำเป็นกลุ่ม เป็นต้น

9) นำไปใช้จัดการเรียนรู้กับกลุ่มที่ศึกษา โดยผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นผู้สังเกตชั้นเรียน และบันทึกสิ่งที่สังเกตได้เป็นข้อความ รูปภาพ หรือคลิปวิดีโอ

3.1.2 แบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

แบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเป็นรายบุคคล ในตอนท้ายของแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละแผน แล้วนำข้อมูลที่ได้ในแต่ละครั้งมาประกอบการพิจารณาสำหรับการเปลี่ยนระดับการเสริมต่อการเรียนรู้ หนึ่งแผนจะใช้แบบทดสอบจำนวน 1 ข้อ ที่มีสถานการณ์คล้ายกันกับสถานการณ์ที่นักเรียนได้เรียนรู้ในแผนนั้น ๆ ซึ่งขั้นตอนในการพัฒนา จะดำเนินการเช่นเดียวกันกับขั้นตอนการสร้างแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ในหัวข้อ 3.2 เรื่อง แก๊ส โดยแบบทดสอบท้ายแผน มีรายละเอียดดังตาราง 13

ตาราง 13 สัดส่วนจำนวนข้อของแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส

ลำดับ ที่	เนื้อหา	ปรากฏการณ์ ในห้องเรียน	ปรากฏการณ์ ในแบบวัด	จำนวน ข้อ
1	กฎของ อาวกาโดร	การเปลี่ยนแปลงของ ถุงแก๊สที่วางทิ้งไว้จนบวม	การเตรียมแป้งขนมปัง ก่อนนำไปอบ	1
2	กฎของบอยล์	การเคลื่อนที่ของอากาศ เมื่อปริมาตรช่องอกเพิ่มขึ้น	การเปลี่ยนแปลงของ ถุงขนมเมื่อนำขึ้นไปที่สูง	1

ตาราง 13 (ต่อ)

ลำดับ ที่	เนื้อหา	ปรากฏการณ์ ในห้องเรียน	ปรากฏการณ์ ในแบบวัด	จำนวน ข้อ
3	กฎของชาร์ล และเกย์-ลูสแซก	การระเบิดของ แก๊สกระป๋อง ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ในเตาปิ้งย่าง	กระป๋องสเปรย์ก่อกำจัดยุง	1
4	กฎความดันย่อย ของดอลตัน	การเตรียม ออกซิเจนกระป๋อง เมื่อต้องขึ้นไปบนที่สูง	ความดันของแก๊สออกซิเจน บนยอดดอยภูคา	1
5	กฎการแพร่ผ่าน ของเกรแฮม	การแพร่ของแก๊ส ออกจากลูกโป่ง	การแพร่กระจาย ของกลิ่นดอกไม้	1
รวม				5

จากผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับการประเมินแบบวัด แบบทดสอบทุกข้อมีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ที่ 1.00 และมีความเหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.33 – 5.00 แปลความหมายได้ว่า แบบทดสอบฉบับนี้มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด รายละเอียดดังภาคผนวก ข

นอกเหนือจากการประเมินตามประเด็นที่ผู้วิจัยได้กำหนดไปข้างต้น ผู้เชี่ยวชาญยังได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติม ดังนี้

- ปรับการจัดแสดงข้อมูลให้สื่อความหมายชัดเจนมากขึ้น เช่น การระบุหมายเลขลงในรูปภาพและตาราง นักเรียนจะได้อ่านแล้วเชื่อมโยงกับข้อมูลในบทความได้
- ปรับเกณฑ์การประเมินด้านหลักฐาน เนื่องจากหลักฐานควรเป็นการแปลความหมายของข้อมูลจากภาพหรือตาราง แล้วเขียนออกมาเป็นข้อความ ไม่ควรระบุเพียงว่า ภาพหมายเลขนี้ หรือตารางหมายเลขนี้ คือหลักฐาน
- ข้อความบางส่วนที่เป็นการให้ข้อมูลเพิ่มเติม มีความคล้ายกับข้อความที่เป็นตัวอย่างของการให้เหตุผล อาจปรับข้อความให้แตกต่างออกไป หรือนำข้อความออก หากเมื่อพิจารณาแล้วพบว่า เป็นสิ่งที่นักเรียนรู้มาก่อน

- ควรมีการระบุแหล่งอ้างอิงของข้อมูลประกอบสถานการณ์ เพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ

- สถานการณ์มีความเชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน และมีการให้ข้อมูลประกอบสถานการณ์ที่เพียงพอต่อการนำไปสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

- การใช้คำถามในแต่ละสถานการณ์ยังไม่คงที่ ควรปรับการเรียบเรียงประโยคคำถามให้เหมือนกัน

ผู้วิจัยได้ปรับรายละเอียดของแบบทดสอบตามคำแนะนำที่ผู้เชี่ยวชาญได้เสนอมา ก่อนนำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษา ดังนี้

- เพิ่มหมายเลขของตารางและรูปภาพในแบบทดสอบทุกข้อ เพื่อให้ นักเรียนสามารถเชื่อมโยงข้อความที่ปรากฏในข้อความคำถามกับตารางหรือภาพประกอบได้

- ปรับเกณฑ์การประเมินให้ชัดเจนและเฉพาะเจาะจงกับสถานการณ์ เช่น เปลี่ยนจาก สังเกตข้อมูลในตาราง เป็น สังเกตค่ามวลต่อโมลของแก๊สที่ปรากฏในตาราง

- คงข้อความที่เป็นหลักการเพิ่มเติมไว้ เนื่องจากข้อมูลดังกล่าว นักเรียนยังไม่เคยเรียนมาก่อน และเป็นข้อมูลที่จำเพาะกับสถานการณ์

- ระบุเว็บไซต์ที่เป็นแหล่งที่มาของข้อมูลกำกับไว้ด้านใต้ของภาพกราฟ หรือตาราง

- ปรับคำถามข้อทุกสถานการณ์ให้อยู่ในรูปแบบ “จากสถานการณ์ข้างต้น ข้อมูลที่รวบรวมมาได้ ให้ นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า”

เมื่อนำไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งไม่ใช่ นักเรียนกลุ่มที่ศึกษา แต่เรียนเนื้อหา เรื่อง แก๊ส เหมือนกัน แล้วนำมาคำนวณหาค่าความยากง่าย และอำนาจจำแนก พบว่า แบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มีค่าความยากง่าย อยู่ระหว่าง .34 – .53 อยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างยาก มีค่าอำนาจจำแนก .29 – .39 ถือว่าจำแนกได้พอใช้ รายละเอียดดังตาราง 14

การใช้แบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ จะนำไปใช้ ครั้งละ 1 ข้อ ตามเนื้อหาที่ได้เรียนในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ โดยให้เวลาทำ 15 นาที ทำให้แบบทดสอบแต่ละฉบับประกอบด้วยข้อคำถามจำนวน 1 ข้อ จึงไม่สามารถหาความเชื่อมั่นของแบบทดสอบได้ เนื่องจากข้อจำกัดของสูตรที่ใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

ตาราง 14 สถานการณ์และคุณภาพของแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ

ข้อที่	สถานการณ์	ความยากง่าย	ความหมาย	อำนาจจำแนก	ความหมาย
การเตรียมแป้ง					
1	ขนมปัง ก่อนนำไปอบ	0.34	ค่อนข้างยาก	0.29	พอใช้
การเปลี่ยนแปลง					
2	ของถุงขนม เมื่อ นำขึ้นไปบนที่สูง	0.43	ปานกลาง	0.32	พอใช้
3	กระป๋องสเปรย์ กำลังจัดเรียง	0.49	ปานกลาง	0.29	พอใช้
ความดันของ					
4	แก๊สออกซิเจน บนยอดดอยภูเขา	0.33	ค่อนข้างยาก	0.31	พอใช้
5	การแพร่กระจาย ของกลิ่นดอกไม้	0.53	ปานกลาง	0.39	พอใช้

3.2 เครื่องที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

3.2.1 แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส

เครื่องมือชิ้นนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อตัดสินผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ในตอนสุดท้าย เมื่อจัดการเรียนรู้ในเนื้อหา เรื่อง แก๊ส ครอบคลุมหัวข้อ การพัฒนาเครื่องมือดังกล่าว ดำเนินการดังนี้

1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ พบว่า งานวิจัยก่อนหน้านี้ ส่วนใหญ่ยึดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER และเลือกใช้แบบทดสอบอัตรัยแบบความเรียงที่จำกัดคำตอบ คือ มีการถามคำถามแยกตามองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้กรอบแนวคิด CER (K. L. McNeill & J. Krajcik, 2008a) เช่นเดียวกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ แต่จะเลือกใช้แบบวัดที่เป็นแบบทดสอบอัตรัยแบบความเรียงที่ไม่จำกัดคำตอบแทน โดยกำหนดให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของสถานการณ์ที่กำหนดให้เท่านั้น ไม่กำหนด

คำถามแยกตามองค์ประกอบ เพราะเชื่อมั่นว่าเครื่องมือดังกล่าวสามารถสะท้อนคุณภาพของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างได้อย่างแท้จริง เนื่องจากนักเรียนต้องสร้างคำตอบทั้งหมดด้วยตนเอง ตั้งแต่การระบุองค์ประกอบที่ครบถ้วน การให้รายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบไปจนถึงการเชื่อมโยงแต่ละองค์ประกอบเข้าด้วยกัน

2) ระบุจำนวนข้อของแบบวัด โดยพิจารณาจากอัตราส่วนของเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ ครอบคลุมเนื้อหาเรื่องกฎของอาโวกาโดรกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก กฎความดันย่อยของดอลตัน และกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม ผู้วิจัยกำหนดให้แบบวัด มีทั้งหมด 4 ข้อ รายละเอียดดังตาราง 15

ตาราง 15 สัดส่วนจำนวนข้อของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส

ลำดับที่	ปรากฏการณ์/สถานการณ์	จำนวนข้อ	
		ที่สร้าง	ที่ใช้จริง
1	ถุงลมนิรภัย	7	4
2	เสื้อชูชีพพองได้		
3	ฟองอากาศใต้ท้องทะเล		
4	ขวดน้ำดื่มแช่เย็น		
5	แป้งพืชมองดู		
6	หลอดโซเดียมความดันต่ำ		
7	แก๊สปิโตรเลียม		

3) สร้างเครื่องมือสำหรับวัดและประเมินผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนให้สอดคล้องตามเนื้อหาเรื่องแก๊สในแต่ละหัวข้อ โดยกำหนดว่าสถานการณ์ที่ใช้ในข้อคำถาม จะต้องเป็นสถานการณ์ที่มีอยู่จริง ในชีวิตประจำวัน เช่น อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับแก๊ส เหตุการณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น พร้อมทั้งสร้างเกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกประเด็นที่จำเพาะกับข้อคำถามแต่ละข้อ ในหนึ่งเกณฑ์จะประเมินตามองค์ประกอบ 3 ด้าน คือ ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล แต่ละด้านแบ่งเป็น 3 ระดับ อ้างอิงตามตาราง 1

4) นำเครื่องมือสำหรับวัดและประเมินผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนทั้งสองชุดเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อพิจารณาความถูกต้องเหมาะสมในเบื้องต้น จากนั้นนำมาปรับปรุงตามคำแนะนำที่ได้รับ

5) เสนอเครื่องมือสำหรับวัดและประเมินผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เรื่อง แก๊ส ให้กับผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญในเนื้อหาเคมี ที่เป็นอาจารย์ระดับมหาวิทยาลัย จำนวน 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญในด้านการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นอาจารย์ระดับมหาวิทยาลัย 1 ท่าน และครูในโรงเรียน 1 ท่าน ประเมินคุณภาพด้านความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาด้วยค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) และความเหมาะสมของแบบวัดประกอบด้วย 4 ประเด็น คือ สถานการณ์ ข้อคำถาม เกณฑ์การให้คะแนน และภาษาที่ใช้ เกณฑ์ในการแปลความหมายค่าดัชนีความสอดคล้องและความเหมาะสมเป็นเช่นเดียวกันกับในตาราง 10 และ 11

จากการตรวจสอบคุณภาพ พบว่าแบบวัดทุกข้อมีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ที่ .67 – 1.00 และมีความเหมาะสมอยู่ระหว่าง 3.33 – 5.00 แปลความหมายได้ว่า ข้อคำถามในแบบวัดมีความสอดคล้องกับนิยามศัพท์เฉพาะ และแบบวัดฉบับนี้ มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลางถึงมากที่สุด รายละเอียดดังภาคผนวก ข

นอกเหนือจากการประเมินตามประเด็นที่ผู้วิจัยได้กำหนดไปข้างต้น ผู้เชี่ยวชาญยังได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติม ดังนี้

- คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของสถานการณ์เสื้อชูชีพพองได้ ยังไม่ได้ระบุถึงความสัมพันธ์กับแรงพยุง จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลเรื่องแรงพยุงเป็นหลักฐานประกอบ หรือ หากต้องการเชื่อมโยงกับแรงพยุง ควรปรับข้อคำถาม โดยให้รายละเอียดเกี่ยวกับน้ำหนักตัวของเด็ก

- ข้อมูลประกอบสถานการณ์ที่ 3 มีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากความดันได้น้ำ ไม่ได้มีเพียงแค่ความดันบรรยากาศเท่านั้น แต่มีความดันของน้ำรวมอยู่ด้วย ให้ปรับคำและข้อความที่ใช้ เพื่อให้สอดคล้องกับข้อเท็จจริง

- สถานการณ์ที่ 3 ฟองอากาศใต้ทะเล มีข้อคำถามที่ดี ไม่ชี้นำคำตอบ มากเกินไป นักเรียนต้องพยายามอ่านแล้วคิดตามข้อมูลที่ให้

- สถานการณ์ที่ 5 แบ้งพืชซ่าหลังอบ ควรให้รายละเอียดเพิ่มเติมว่า ความนุ่ม คืออะไร

- เพิ่มข้อความให้แต่ละสถานการณ์ เพื่อให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

- อาจเพิ่มหลักฐานลงในสถานการณ์ โดยมีทั้งหลักฐานที่น่าเชื่อถือและหลักฐานที่ไม่น่าเชื่อถือเป็นตัวอย่าง เพื่อวัดว่านักเรียนสามารถเลือกหลักฐานมาใช้ประกอบการอธิบายได้อย่างน่าเชื่อถือ บางสถานการณ์ให้ข้อมูลค่อนข้างชัดเจน นักเรียนสามารถตอบได้โดยไม่ต้องพิจารณาบริบทของสถานการณ์

- เกณฑ์การประเมินค่อนข้างหลวม สามารถทำเป็นเกณฑ์แบบละเอียด ที่เฉพาะเจาะจงมากขึ้นได้

6) ปรับปรุงเครื่องมือวัดและประเมินผลตามข้อเสนอแนะที่ได้จากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ และนำเสนอให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบอีกครั้ง จากนั้นเลือกแบบวัดที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องมากกว่า .50 ไปทดลองใช้กลุ่มนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษาและเคยเรียนเนื้อหาเรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊สมาเรียบร้อยแล้ว จำนวน 41 คน

รายละเอียดของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ได้ปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ มีดังนี้

- ปรับคำถามให้เจาะจงไปที่เชื้อซูชิพพองได้ที่มีขนาดเล็กที่สุด เพื่อให้มีความจำเป็นในการเลือกใช้ค่าแรงพุงที่เชื้อซูชิพสร้างได้เป็นหลักฐานในการสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

- เปลี่ยนคำที่ระบุไว้ในกราฟจาก “ความดันบรรยากาศ” เป็น “ความดัน”

- แทรกประโยค “ยิ่งช่องว่างมีขนาดใหญ่เท่าไร พืชซาก็จะยิ่งนุ่มมากขึ้น” เพิ่มเติมลงไปในข้อมูลประกอบสถานการณ์ของข้อคำถามสถานการณ์ที่ 5

- ปรับคำถามข้อเสนอนแนะที่ระบุไว้ในแต่ละสถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์ที่ 1 มีเส้นรอบวงประมาณเท่าใด ปรับเป็น มีเส้นรอบวงอยู่ในช่วงใด สถานการณ์ที่ 3 ณ บริเวณใต้น้ำ แก๊สเป็น ณ จุดกำเนิดฟองสถานการณ์ที่ 6 ช่วงเวลาต่าง ๆ ปรับเป็น ช่วงเวลาต่าง ๆ หลังจากจ่ายกระแสไฟฟ้า

- บางสถานการณ์ต้องใช้หลักฐานสนับสนุนมากกว่าหนึ่งหลักฐาน สามารถประเมินการเลือกหลักฐานของนักเรียนได้จากความครบถ้วนของหลักฐานที่เลือกได้ จึงไม่ได้มีการเพิ่มหลักฐานลง

- ปรับแก้ไขเกณฑ์ให้จำเพาะกับสถานการณ์มากขึ้น พร้อมกับเพิ่มตัวอย่างคำตอบที่เป็นไปได้ของนักเรียนในแต่ละเกณฑ์ให้หลากหลายมากขึ้น

แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ที่พัฒนาขึ้นมีค่าความยากง่ายระหว่าง .33 – .57 อยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างยาก มีค่าอำนาจจำแนก .20 – .42 ถือว่าจำแนกได้พอใช้ได้ มีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค .732 หมายความว่า แบบวัดฉบับนี้ มีความเชื่อมั่นในระดับสูง โดยข้อคำถามที่จะนำมาใช้ประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ในตอนท้าย หลังจากที่ยื่นเสร็จ มีรายละเอียดของคุณภาพดังตาราง 16

ตาราง 16 สถานการณ์และคุณภาพของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ

ข้อที่	สถานการณ์	ความยากง่าย	ความหมาย	อำนาจจำแนก	ความหมาย
1	เสื้อชูชีพพองได้	.39	ค่อนข้างยาก	.23	พอใช้
2	ฟองอากาศใต้ท้องทะเล	.57	ปานกลาง	.23	พอใช้
3	แบ่งพืชขาหลังอบ	.44	ปานกลาง	.24	พอใช้
4	แก๊สปีโตรเลียม	.33	ค่อนข้างยาก	.42	ดี

3.2.2 บันทึกการสังเกตชั้นเรียน

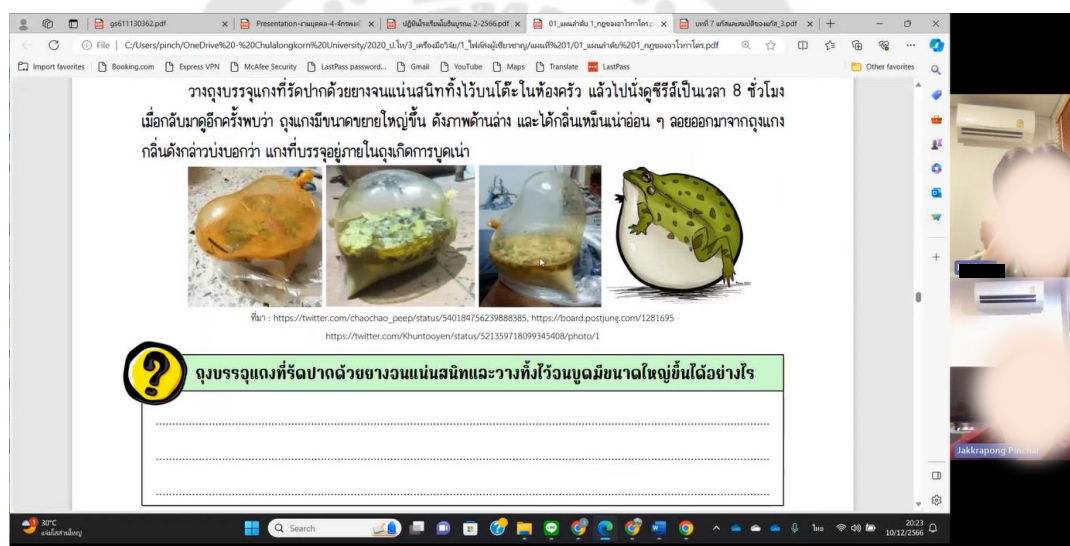
ในการสังเกตชั้นเรียน ผู้วิจัยจะบันทึกสิ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างจัดการเรียนรู้ลงในสมุดบันทึก โดยไม่ได้กำหนดประเด็นในการสังเกตที่ชัดเจน เนื่องจากต้องการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด แล้วจึงนำมาวิเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปตามประเด็นในหัวข้อ 5.2 ในระหว่างที่สังเกตชั้นเรียน ผู้วิจัยได้บันทึกภาพและคลิปวิดีโอในบางช่วงของกิจกรรมการเรียนรู้เอาไว้เพิ่มเติม โดยได้ขออนุญาตกับกลุ่มนักเรียนที่ได้เก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ก่อนดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยให้รายละเอียดและขอบเขตการทำวิจัยแก่นักเรียนที่เป็นกลุ่มที่ศึกษาว่า ผู้วิจัยเลือกแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ มาใช้ในการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส เพราะมีผลการวิจัยทั้งในและต่างประเทศตรงกัน คือ สามารถส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทาง

วิทยาศาสตร์ให้นักเรียนได้ และให้อิสระในการตัดสินใจแก่นักเรียนว่าจะเข้าร่วมการวิจัยหรือไม่ โดยไม่มีการกำหนดคุณสมบัติใด ๆ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก และหากเข้าร่วมวิจัยแล้ว ต้องการจะถอนตัวในภายหลัง สามารถทำได้ตลอดเวลา โดยไม่ถามถึงเหตุผล ในส่วนของข้อมูลส่วนตัว จะได้รับการปกปิดเป็นความลับ จะกำหนดรหัสหรือนามสมมติแทนในการนำเสนอข้อมูล

ในส่วนของครูผู้สอน ก่อนจัดการเรียนรู้ในแผนที่ 1 ผู้วิจัยได้นัดพูดคุยเพื่อทำความเข้าใจแต่ละขั้นตอนของแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อให้สามารถจัดกิจกรรมได้อย่างราบรื่น ประเด็นในการพูดคุย เช่น สถานการณ์ที่ใช้ในบทเรียน มีจุดสำคัญที่นักเรียนจะต้องตอบได้คืออะไรบ้าง การมีส่วนร่วมของนักเรียนแต่ละคนในแต่ละขั้นตอนมีลักษณะอย่างไร ควรใช้เวลาประมาณเท่าใด เป็นต้น เมื่อทำข้อตกลงร่วมกับนักเรียนเรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้



ภาพประกอบ 11 การพูดคุยเตรียมความพร้อมก่อนจัดการเรียนรู้

1. ดำเนินการจัดการเรียนรู้ ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบไว้ รายละเอียด แสดงดังตาราง 17 ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนจะใช้ใบกิจกรรมสืบเสาะเป็นเครื่องมือหลักในการบันทึกข้อมูลระหว่างทำกิจกรรมกลุ่ม และใช้ใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เป็นเครื่องมือในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นรายบุคคล โดยใบกิจกรรมทั้งสอง จะมีลำดับในการใช้งานดังรายละเอียดด้านล่าง หลังจากให้นักเรียนเสร็จสิ้นกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละแผน ผู้วิจัยจะให้นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในหัวข้อนั้น ๆ และนำผลการประเมินที่ได้ ไปประกอบการตัดสินใจในการเปลี่ยนระดับการเสริมต่อการเรียนรู้

ตาราง 17 ลำดับการใช้แผนการจัดการเรียนรู้

วัน/เดือน/ปี	แผนการเรียนรู้ที่ใช้จริง	จำนวนคาบเรียน
13 - 14 ธันวาคม 2566	แผนที่ 1 กฎของอาโวกาโดร (ชั้นที่ 1 และ 2)	3
20 - 21 ธันวาคม 2566	แผนที่ 1 กฎของอาโวกาโดร (ต่อ ชั้นที่ 3) แผนที่ 2 กฎของบอยล์ (ชั้นที่ 1 และ 2)	3
27 - 28 ธันวาคม 2566	สอบกลางภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566	-
3 - 4 มกราคม 2567	กิจกรรมตักบาตรและงานเลี้ยงปีใหม่	-
10 - 11 มกราคม 2567	อบรมให้ความรู้เพื่อความปลอดภัย จากสถานการณ์รุนแรง “หนี ช้อน สู้”	-
17 - 18 มกราคม 2567	แผนที่ 2 กฎของบอยล์ (ซ้ำ)	3
24 - 25 มกราคม 2567	แผนที่ 3 กฎของชาร์ล และเกย์-ลูสแซก	3
31 มกราคม – 1 กุมภาพันธ์ 2567	การแข่งขันงานศิลปหัตถกรรมนักเรียน ครั้งที่ 71	-
7 - 8 กุมภาพันธ์ 2567	แผนที่ 4 กฎความดันย่อยของดอลตัน	3
14 - 15 กุมภาพันธ์ 2567	แผนที่ 5 กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม	2
21 - 22 กุมภาพันธ์ 2567	ทำแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	1
รวม		17

จากตาราง 17 จะเห็นว่า การจัดการเรียนรู้ทั้งห้าแผนใช้เวลาทั้งหมดเจ็ดสัปดาห์แบบไม่ต่อเนื่องกัน เนื่องจากบางสัปดาห์ทางโรงเรียนมีกิจกรรมพิเศษ เช่น อบรมความปลอดภัย

กิจกรรมสร้างสรรค์ปีใหม่ การแข่งขันภายนอกโรงเรียน และแผนการจัดการเรียนรู้ ลำดับที่ 2 ต้องทบทวนในสิ่งที่นักเรียนได้ลงมือทำ เพราะมีการเว้นระยะระหว่างชั้นที่ 2 และ 3 ค่อนข้างมาก นักเรียนไม่สามารถจดจำในสิ่งที่ลงมือทำได้

การบันทึกข้อมูลลงในใบกิจกรรมสืบเสาะ และใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ในการจัดการเรียนรู้แต่ละแผน จะประกอบด้วยสามขั้นตอนหลัก แต่ละขั้นตอนนักเรียนจะต้องบันทึกข้อมูลลงในแต่ละส่วนของใบกิจกรรมสืบเสาะ และใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ดังนี้

- **ขั้นที่ 1 การรวบรวมความคิด** นักเรียนแต่ละกลุ่มบันทึกข้อมูลลงในส่วนที่หนึ่ง และสองของใบกิจกรรมสืบเสาะ คือ (1) ข้อมูลของปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา และคำถามสำคัญ และ (2) พื้นที่สำหรับสร้างแบบจำลองเบื้องต้น และกำหนดประเด็นที่สนใจ
- **ขั้นที่ 2 การปรับเปลี่ยนความคิด** นักเรียนแต่ละกลุ่มบันทึกข้อมูลลงในส่วนที่สามของใบกิจกรรมสืบเสาะ (3) พื้นที่จดบันทึกรายละเอียดการตรวจสอบความถูกต้องและสมบูรณ์ของแบบจำลองเบื้องต้นส่วนย่อยที่ 1 – 4 ได้แก่ การตั้งสมมติฐาน การออกแบบขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล ข้อมูลที่รวบรวมได้ และตารางสรุปเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลกับปรากฏการณ์
- **ขั้นที่ 3 การสร้างคำอธิบายจากหลักฐาน** นักเรียนแต่ละกลุ่มปรับปรุงแบบจำลองของกลุ่มตนเองลงในส่วนย่อยที่ 5 – 6 ของใบกิจกรรมสืบเสาะ คือ แบบจำลองแก้ไขครั้งที่ 1 และแบบจำลองสุดท้าย จากนั้นนักเรียนแต่ละคนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ลงในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

การเปลี่ยนระดับการเสริมต่อการเรียนรู้

การตัดสินใจเปลี่ยนระดับการเสริมต่อการเรียนรู้ จะวิเคราะห์ข้อมูลจากคะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนทำได้ในแบบทดสอบ เมื่อนักเรียนสามารถสร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ตรงตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จะเปลี่ยนระดับการเสริมต่อการเรียนรู้ คือ จำนวนนักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ด้านข้อกล่าวอ้างอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 83.00 ขึ้นไป, ด้านหลักฐานอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 50.00 ขึ้นไป และด้านการให้เหตุผลอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 40.00 ขึ้นไป

การตัดสินใจเปลี่ยนระดับการเสริมต่อการเรียนรู้ มีการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1) ตรวจให้คะแนนแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามเกณฑ์การประเมินแบบแยกประเด็น แล้วแจกแจงคะแนนรายบุคคลออกเป็นแต่ละด้าน โดยในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ จะมีแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในตอนท้าย ทั้งหมด 1 ข้อ ดังตาราง 15

2) จัดระดับคะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบของนักเรียนเป็นรายบุคคลตามเกณฑ์ที่แบ่งคะแนนออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

0 คะแนน ระดับควรปรับปรุง

1 คะแนน ระดับดี

2 คะแนน ระดับดีมาก

3) นับจำนวนนักเรียนที่มีคะแนนการสร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แต่ละด้านในระดับต่าง ๆ เพื่อหาความถี่

4) คำนวณหาร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับ แล้วเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ข้างต้น เพื่อตัดสินใจในการเปลี่ยนระดับการเสริมต่อการเรียนรู้ โดยหากผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด จะมีการเปลี่ยนระดับการเสริมต่อการเรียนรู้ให้ไปอยู่ในระดับที่มีการช่วยเหลือน้อยลงเรื่อย ๆ จนถึงระดับที่ 3 แต่หากไม่ผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด จะยังคงช่วยเหลืออยู่ในการเสริมต่อการเรียนรู้ ระดับเดิม ไม่เปลี่ยนแปลง ขั้นตอนการเปลี่ยนระดับในการเสริมต่อการเรียนรู้ สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 12

2. ในระหว่างที่จัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยจะทำหน้าที่เป็นผู้สังเกตชั้นเรียน และคอยจดบันทึกสิ่งที่พบเห็นลงในสมุดบันทึกของตนเอง และในตอนท้ายของแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนจะต้องส่งใบกิจกรรมสืบเสาะ และใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มาให้ผู้วิจัยตรวจทุกครั้ง

3. เมื่อนักเรียนเรียนครบทั้งห้าแผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยทำการประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส โดยใช้แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาจำนวนและร้อยละของนักเรียน เพื่อเปรียบเทียบกับสมมติฐานในลำดับต่อไป

5. การจัดทำและวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยมีการจัดทำและวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาเพื่อตอบสมมติฐานการวิจัย และคำถามของการวิจัย ดังนี้

5.1 การจัดทำและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

ในการวิจัยครั้งนี้ เก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณจากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยจะนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์เพื่อตอบสนองสมมติฐานการวิจัยทั้งสองข้อตามขั้นตอน ดังนี้

5.1.1 สมมติฐานข้อที่ 1 หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ จำนวนนักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส โดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 53.00 ขึ้นไป เพื่อตรวจสอบสมมติฐานข้อที่ 1 ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้

1) นำแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมาตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกประเด็น โดยคิดคะแนนเต็มรายข้อ ๆ ละ 6 คะแนน จำนวน 4 ข้อ

2) ระบุระดับคุณภาพของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างในแบบวัดแต่ละข้อ โดยใช้เกณฑ์ ดังนี้

0 – 2	คะแนน	ระดับควรปรับปรุง
3 – 4	คะแนน	ระดับดี
5 – 6	คะแนน	ระดับดีมาก

3) นำระดับคุณภาพของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่ละคน มาจัดเรียงเป็นชุด โดย 1 ชุด ประกอบด้วย 4 ข้อ เรียงลำดับตามข้อคำถามในแบบวัด

4) นำชุดระดับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่ละคน มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เพื่อตัดสินว่า นักเรียนคนดังกล่าวมีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมอยู่ในระดับใด เกณฑ์ดังกล่าวได้มาจากการพิจารณาความเป็นไปได้ตามหลักของความน่าจะเป็น คือ ในแบบวัดหนึ่งข้อ นักเรียนแต่ละคนมีโอกาสสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้สามระดับ แต่ละข้อสามารถมีระดับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ซ้ำกันได้ เกณฑ์ที่ใช้เปรียบเทียบจึงมีทั้งหมด 81 กรณี แบ่งเป็นระดับละ 27 กรณี ดังตาราง 18

ตาราง 18 เกณฑ์การแบ่งระดับคุณภาพการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม

รูปแบบ	ระดับคุณภาพรายข้อ				ระดับคุณภาพ ในภาพรวม
	ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 3	ข้อ 4	
1	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก

ตาราง 18 (ต่อ)

รูปแบบ	ระดับคุณภาพรายข้อ				ระดับคุณภาพ ในภาพรวม
	ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 3	ข้อ 4	
2	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดีมาก
3	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดีมาก	ดีมาก
4	ดีมาก	ดี	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก
5	ดี	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก
6	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดีมาก
7	ดีมาก	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดีมาก
8	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก
9	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก
10	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดี	ดีมาก
11	ดีมาก	ดี	ดีมาก	ดี	ดีมาก
12	ดีมาก	ดี	ดี	ดีมาก	ดีมาก
13	ดี	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดีมาก
14	ดี	ดีมาก	ดี	ดีมาก	ดีมาก
15	ดี	ดี	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก
16	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ควรปรับปรุง	ดีมาก
17	ดีมาก	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดี	ดีมาก
18	ดีมาก	ดี	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดีมาก
19	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดี	ดีมาก
20	ดีมาก	ดี	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดีมาก
21	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดี	ดีมาก	ดีมาก
22	ดี	ดีมาก	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดีมาก
23	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดีมาก
24	ดี	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดีมาก

ตาราง 18 (ต่อ)

รูปแบบ	ระดับคุณภาพรายข้อ				ระดับคุณภาพ ในภาพรวม
	ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 3	ข้อ 4	
25	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดี	ดีมาก	ดีมาก
26	ดี	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก
27	ควรปรับปรุง	ดี	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก
28	ดีมาก	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดี
29	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดี
30	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดี
31	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดี
32	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดี
33	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดีมาก	ดี
34	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
35	ดีมาก	ดี	ดี	ดี	ดี
36	ดี	ดีมาก	ดี	ดี	ดี
37	ดี	ดี	ดีมาก	ดี	ดี
38	ดี	ดี	ดี	ดีมาก	ดี
39	ดีมาก	ดี	ดี	ควรปรับปรุง	ดี
40	ดีมาก	ดี	ควรปรับปรุง	ดี	ดี
41	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดี	ดี	ดี
42	ดี	ดีมาก	ดี	ควรปรับปรุง	ดี
43	ดี	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดี	ดี
44	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดี	ดี	ดี
45	ดี	ดี	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดี
46	ดี	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดี	ดี
47	ควรปรับปรุง	ดี	ดีมาก	ดี	ดี

ตาราง 18 (ต่อ)

รูปแบบ	ระดับคุณภาพรายข้อ				ระดับคุณภาพ ในภาพรวม
	ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 3	ข้อ 4	
48	ดี	ดี	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดี
49	ดี	ควรปรับปรุง	ดี	ดีมาก	ดี
50	ควรปรับปรุง	ดี	ดี	ดีมาก	ดี
51	ดี	ดี	ดี	ควรปรับปรุง	ดี
52	ดี	ดี	ควรปรับปรุง	ดี	ดี
53	ดี	ควรปรับปรุง	ดี	ดี	ดี
54	ควรปรับปรุง	ดี	ดี	ดี	ดี
55	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
56	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
57	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
58	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ควรปรับปรุง
59	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดี	ควรปรับปรุง
60	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดี	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
61	ดีมาก	ดี	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
62	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ดี	ควรปรับปรุง
63	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดี	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
64	ดี	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
65	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ดี	ควรปรับปรุง
66	ควรปรับปรุง	ดี	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
67	ดี	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
68	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดี	ดีมาก	ควรปรับปรุง
69	ควรปรับปรุง	ดี	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ควรปรับปรุง
70	ดี	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดีมาก	ควรปรับปรุง

ตาราง 18 (ต่อ)

รูปแบบ	ระดับคุณภาพรายข้อ				ระดับคุณภาพ ในภาพรวม
	ข้อ 1	ข้อ 2	ข้อ 3	ข้อ 4	
71	ดี	ดี	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
72	ดี	ควรปรับปรุง	ดี	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
73	ดี	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดี	ควรปรับปรุง
74	ควรปรับปรุง	ดี	ดี	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
75	ควรปรับปรุง	ดี	ควรปรับปรุง	ดี	ควรปรับปรุง
76	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดี	ดี	ควรปรับปรุง
77	ดี	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
78	ควรปรับปรุง	ดี	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
79	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดี	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง
80	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ดี	ควรปรับปรุง
81	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง	ควรปรับปรุง

5) หาความถี่ของนักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมอยู่ในระดับต่าง ๆ ด้วยการนับจำนวน

6) คำนวณหาร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับแล้วเปรียบเทียบกับสมมติฐาน

5.1.2 สมมติฐานข้อที่ 2 หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ จำนวนนักเรียนนักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ด้านข้อกล่าวอ้างอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 83.00 ขึ้นไป, ด้านหลักฐานอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 50.00 ขึ้นไป และด้านการให้เหตุผลอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 40.00 ขึ้นไป

เพื่อตอบสมมติฐานข้อที่ 2 ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) นำแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่ละคนที่ตรวจเรียบร้อยแล้ว มาพิจารณาคะแนนที่ได้รับในองค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้าง

2) ระบุระดับคุณภาพข้อกล่าวอ้างที่นักเรียนสร้างในแบบวัดแต่ละข้อ โดยใช้เกณฑ์ ดังนี้

0	คะแนน	ระดับควรปรับปรุง
1	คะแนน	ระดับดี
2	คะแนน	ระดับดีมาก

3) นำระดับคุณภาพด้านข้อกล่าวอ้างของนักเรียนแต่ละคน มาจัดเรียงเป็นชุด โดย 1 ชุด ประกอบด้วย 4 ข้อ เรียงลำดับตามข้อคำถามในแบบวัด

4) นำชุดระดับคุณภาพด้านข้อกล่าวอ้างของนักเรียนไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังตาราง 18 เป็นรายบุคคล เพื่อตัดสินระดับคุณภาพในการสร้างข้อกล่าวอ้าง

5) นับจำนวนนักเรียนในระดับคุณภาพต่าง ๆ เพื่อหาความถี่

6) คำนวณหาร้อยละของจำนวนนักเรียนในแต่ละระดับแล้วเปรียบเทียบกับสมมติฐาน

7) ทำซ้ำข้อ 1) – 6) กับด้านหลักฐาน

8) ทำซ้ำข้อ 1) – 6) กับด้านการให้เหตุผล

5.2 การจัดทำและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ถูกเก็บรวบรวมด้วยเครื่องมือทั้งหมด 3 ชิ้น ได้แก่ ใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ใบกิจกรรมสืบเสาะ และบันทึกการสังเกตชั้นเรียน แต่ละเครื่องมือจะพิจารณาข้อมูลแต่ละส่วนอย่างละเอียดถี่ถ้วน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาจัดกลุ่มเพื่อนำไปพิจารณาร่วมกับข้อมูลเชิงปริมาณที่วิเคราะห์ได้ แต่ละเครื่องมือ จะมีขั้นตอนในการจัดทำและวิเคราะห์ข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนี้

5.2.1 การจัดทำและวิเคราะห์ข้อมูลจากใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

เมื่อจัดการเรียนรู้จบในแต่ละแผน ผู้วิจัยจะให้นักเรียนส่งใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของแผนนั้น ๆ แล้วนำมาตรวจให้คะแนน ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จากนั้น จัดบันทึกลักษณะการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยจำแนกตามระดับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม ออกเป็น 3 กลุ่ม ในแต่ละกลุ่มจะดำเนินการดังนี้

- 1) อ่านใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในแต่ละกลุ่มเป็นรายบุคคลอีกครั้ง แล้วจดบันทึกลักษณะการเขียนแต่ละองค์ประกอบ
- 2) นับจำนวนนักเรียนที่มีลักษณะการเขียนแบบต่าง ๆ เพื่อหาความถี่
- 3) สรุปลักษณะการเขียนองค์ประกอบในแบบต่าง ๆ ตามความถี่ที่นับได้ เพื่อเชื่อมโยงพฤติกรรมการเรียนรู้กับผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในองค์ประกอบนั้น ๆ ที่เกิดขึ้น
- 4) เขียนอภิปรายความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการเรียนรู้และระดับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบ

5.2.2 การจัดทำและวิเคราะห์ข้อมูลจากใบกิจกรรมสืบเสาะ

เมื่อจบการเรียนรู้ในแต่ละแผน ผู้วิจัยจะนำไปกิจกรรมสืบเสาะของแผนนั้น ๆ มาพิจารณาและตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในตอนท้ายของแผนการจัดการเรียนรู้ ทั้งหมด 3 ประเด็น ได้แก่

- 1) การเขียนสมมติฐานการสืบเสาะหาความรู้
- 2) การสร้างและปรับปรุงแบบจำลอง
- 3) การเชื่อมโยงข้อมูลที่สืบเสาะได้กับสถานการณ์ตัวอย่าง

จากนั้น สรุปลักษณะที่พบในแต่ละประเด็น เพื่อเชื่อมโยงร่องรอยการเรียนรู้ที่เกิดขึ้น กับระดับคุณภาพของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างได้ในแบบทดสอบตอนท้ายของแผน

5.2.3 การจัดทำและวิเคราะห์ข้อมูลจากบันทึกการสังเกตชั้นเรียน

ในการจัดการเรียนรู้แต่ละแผน ผู้วิจัยจะทำหน้าที่เป็นผู้สังเกตการทำกิจกรรมในชั้นเรียน โดยจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างจัดการเรียนรู้ในแผนนั้น ๆ เมื่อดำเนินการจัดการเรียนรู้จนครบตามแผนที่กำหนดไว้และบันทึกข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจะดำเนินการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) อ่านบันทึกการสังเกตชั้นเรียนของแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้
- 2) วิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของการจัดการเรียนรู้ โดยระบุนายละเอียดของแต่ละเหตุการณ์เป็น 6 ประเด็น ได้แก่
 - พฤติกรรมที่แสดงออกคือพฤติกรรมอะไร
 - พฤติกรรมที่เกิดขึ้นนั้นผู้กระทำมีวิธีการแสดงออกอย่างไร

- ผู้กระทำคือใคร
- แสดงพฤติกรรมดังกล่าวเพื่ออะไร
- ใครมีส่วนร่วมในการแสดงพฤติกรรมนั้นบ้าง
- สภาพแวดล้อมในขณะที่เกิดพฤติกรรมนั้น เป็นอย่างไร

3) จำแนกเหตุการณ์ออกเป็นกลุ่ม ๆ ดังนี้

- พฤติกรรมของครูผู้สอน
- พฤติกรรมของนักเรียน
- ปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูผู้สอนกับนักเรียน
- ปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนกับนักเรียน

จากนั้น นำเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละคาบของแผนการจัดการเรียนรู้เดียวกันมารวมกัน แล้วเปรียบเทียบเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับผลการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในแผนการจัดการเรียนรู้นั้น ๆ

4) เปรียบเทียบความเหมือนและความต่างของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้

5) จำแนกข้อค้นพบที่เหมือนกันและต่างกันออกเป็นกลุ่ม ๆ เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้นกับนักเรียนในแต่ละช่วงของการจัดการเรียนรู้

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากเครื่องมือทั้งสามชิ้นครบเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน และพิจารณาความสัมพันธ์ เพื่อสรุปประเด็นที่สอดคล้องกัน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาผ่านการตรวจสอบแล้วไปเชื่อมโยงกับคุณภาพของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างขึ้นในแบบวัด

6. สถิติที่ใช้

การวิจัยครั้งนี้ มีการคำนวณเกี่ยวกับคุณภาพของเครื่องมือทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ความยากง่าย อำนาจจำแนก และความเชื่อมั่น และมีสถิติพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แต่ละสถิติรายละเอียดในการคำนวณ ดังนี้

6.1 ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity)

การวิจัยครั้งนี้ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาด้วยค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Congruence; IOC) ระหว่างรายการประเมินกับนิยามศัพท์เฉพาะ โดยผู้วิจัยจะนำคะแนนความสอดคล้องที่ผู้เชี่ยวชาญได้ประเมินของรายการประเมินแต่ละข้อ มาคำนวณตามสูตรการคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้องที่ไพศาล วรรค์ (2566, น. 269) อธิบายไว้ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ดังนี้

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

เมื่อ IOC หมายถึง ดัชนีความสอดคล้อง มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง +1
R หมายถึง คะแนนระดับความสอดคล้องที่ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน
ประเมินในแต่ละข้อ

N หมายถึง จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินความสอดคล้องในข้อนั้น

การแปลความหมายค่าดัชนีความสอดคล้อง

ในการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้ ที่มีผู้เชี่ยวชาญในการประเมินทั้งหมด 5 ท่าน จะถือว่ารายการประเมินนั้นสอดคล้องกับความมุ่งหมายของการวิจัย เมื่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านขึ้นไป ประเมินว่า สอดคล้อง หรือ มีค่า IOC มากกว่าหรือเท่ากับ .60

ในการประเมินแบบทดสอบและแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ มีผู้เชี่ยวชาญในการประเมินทั้งหมด 3 ท่าน จะถือว่าข้อคำถามสอดคล้องกับนิยามศัพท์เฉพาะ เมื่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 2 ท่านขึ้นไป ประเมินว่า สอดคล้อง หรือมีค่า IOC มากกว่าหรือเท่ากับ .67

6.2 ความยากง่าย (Item Difficulty)

เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส เป็นแบบทดสอบอัตนัย การหาค่าความยากง่ายของข้อคำถามแต่ละข้อ จะใช้เทคนิค 50% คือ แบ่งจำนวนนักเรียนที่เข้าสอบออกเป็นกลุ่มสูงและกลุ่มต่ำที่มีจำนวนเท่า ๆ กัน เนื่องจากจำนวนนักเรียนที่เข้าสอบมีน้อย แล้วคำนวณหาค่าความยากง่าย (Item difficulty; p) จากสูตรของศิริชัย กาญจนวาสี (2556, น. 243) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ดังนี้

$$P_i = \frac{P_H + P_L}{2}$$

เมื่อ P_i หมายถึง ค่าความยากง่าย
 P_H หมายถึง สัดส่วนผู้ตอบข้อนั้นถูกในกลุ่มสูง คำนวณได้จาก

$$P_H = \frac{\Sigma H}{\Sigma T_H}$$

เมื่อ ΣH คือ คะแนนรวมรายชื่อของทุกคนในกลุ่มสูง และ

ΣT_H คือ คะแนนเต็มรวมรายชื่อของทุกคนในกลุ่มสูง

P_L หมายถึง สัดส่วนผู้ตอบข้อนั้นถูกในกลุ่มต่ำ คำนวณได้จาก

$$P_L = \frac{\Sigma L}{\Sigma T_L}$$

เมื่อ ΣL คือ คะแนนรวมรายชื่อของทุกคนในกลุ่มต่ำ และ

ΣT_L คือ คะแนนเต็มรวมรายชื่อของทุกคนในกลุ่มต่ำ

การแปลความหมายค่าความยากง่าย

.80 – 1.00	ง่ายมาก
.60 – .79	ค่อนข้างง่าย
.40 – .59	ปานกลาง
.20 – .39	ค่อนข้างยาก
.00 – .19	ยากมาก

ข้อคำถามที่ควรเลือกมาใช้ คือ ข้อคำถามที่มีค่าความยากง่าย ระหว่าง .20 – .80

6.3 อำนาจจำแนก (Discrimination; R_i)

การคำนวณหาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบอัตนัย จะใช้เทคนิคร้อยละ 50 เช่นเดียวกันกับการคำนวณหาค่าดัชนีความยาก แล้วคำนวณหาค่าอำนาจจำแนกจากสูตรของ ศิริชัย กาญจนวาสี (2556, น. 243) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ดังนี้

$$R_i = P_H - P_L$$

เมื่อ R_i หมายถึง อำนาจจำแนก
 P_H หมายถึง สัดส่วนผู้ตอบข้อนั้นถูกในกลุ่มสูง
 P_L หมายถึง สัดส่วนผู้ตอบข้อนั้นถูกในกลุ่มต่ำ

การแปลความหมายค่าอำนาจจำแนก

.60 – 1.00	จำแนกได้ดีมาก
.40 – .59	จำแนกได้ดี
.20 – .39	จำแนกได้พอใช้
.10 – .19	จำแนกได้ค่อนข้างต่ำ ควรปรับปรุง
.00 – .09	จำแนกได้ต่ำมาก ต้องปรับปรุง

ข้อคำถามที่ควรเลือกมาใช้ คือ ข้อคำถามที่มีอำนาจจำแนก ตั้งแต่ .20 ขึ้นไป

6.4 ความเชื่อมั่น (Reliability)

เนื่องจากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน มีการให้คะแนน ในแต่ละองค์ประกอบ เป็น 0 1 2 จึงต้องคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดโดยใช้วิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient Method) ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS วิธีดังกล่าวจะต้องคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's α Coefficient; α) จากสูตรที่ ไพศาล วรคำ (2566, น. 288) ระบุไว้ ดังนี้

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right)$$

เมื่อ α	หมายถึง สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค
k	หมายถึง จำนวนข้อสอบในแบบวัด
S_i^2	หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนข้อที่ i
S_t^2	หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนรวม

การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Pradana,

Febriani, Ibusaputra, & Jumadi, 2023)

.81 – 1.00	ความเชื่อมั่นสูงมาก
.61 – .80	ความเชื่อมั่นสูง
.41 – .60	ความเชื่อมั่นปานกลาง
.21 – .40	ความเชื่อมั่นต่ำ
.00 – .20	ความเชื่อมั่นต่ำมาก

6.5 ร้อยละ (Percentage; %)

ในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง จำนวนนักเรียนที่ให้ข้อมูลอาจมีจำนวนไม่เท่ากัน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลในแต่ละครั้งได้ ผู้วิจัยจึงมีการเปลี่ยนจำนวนนักเรียนให้กลายเป็นสัดส่วนในนักเรียนหนึ่งร้อยคน เพื่อจะได้นำค่าดังกล่าวมาเปรียบเทียบกันได้ คำนวณจากสูตรที่ไพศาล วรคำ (2566, น. 321) กล่าวไว้ ดังนี้

$$\% = \frac{f}{N} \times 100$$

เมื่อ % หมายถึง ร้อยละ

f หมายถึง ความถี่ หรือจำนวนของนักเรียนในรายการที่สนใจ

N หมายถึง จำนวนนักเรียนทั้งหมด

6.6 ค่าเฉลี่ย (Mean; $\bar{X}$)

การนำเสนอข้อมูลคะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนโดยภาพรวม ไม่สามารถนำคะแนนของทุกคนมาเปรียบเทียบได้ จึงจำเป็นต้องมีค่ากลางที่เป็นตัวแทนของข้อมูลมานำเสนอ การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ค่าเฉลี่ยมาเป็นตัวแทนในการนำเสนอข้อมูล เพราะเป็นค่ากลางที่คำนวณจากคะแนนของนักเรียนทุกคน คำนวณได้จากสูตรของไพศาล วรคำ (2566, น. 323) ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

เมื่อ $\bar{X}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา

X_i หมายถึง ข้อมูลของนักเรียนคนที่ i

n หมายถึง จำนวนนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา

6.7 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; S.D.)

เพื่อระบุว่าคะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ผู้วิจัยจึงวัดการกระจายของคะแนนดังกล่าวโดยใช้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามสูตรที่ ไพศาล วรคำ (2566, น. 325) ให้ไว้ ดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

เมื่อ	S.D.	หมายถึง	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา
	$\bar{X}$	หมายถึง	ค่าเฉลี่ยของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา
	X_i	หมายถึง	ข้อมูลของนักเรียนคนที่ i
	n	หมายถึง	จำนวนนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา

7. จริยธรรมของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการวิจัยภายใต้หลักจริยธรรมพื้นฐาน (Basic ethical principle) เกี่ยวกับการทำวิจัยในมนุษย์จำนวน 3 ข้อ ได้แก่ หลักความเคารพในบุคคล (Respect for persons) หลักการให้คุณประโยชน์ไม่ก่ออันตราย (Beneficence) และหลักความยุติธรรม (Justice) แต่ละหลักการ มีรายละเอียดของการปฏิบัติ ดังนี้

7.1 หลักความเคารพในบุคคล (Respect for persons)

ก่อนดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยขอความร่วมมือจากครูผู้สอนที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับ การให้คะแนนและการประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นผู้ชี้แจงข้อมูลให้นักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่จะเข้าร่วมการวิจัย โดยมีรายละเอียดว่า การวิจัยครั้งนี้ให้อิสระในการ ตัดสินใจแก่นักเรียนว่าจะเข้าร่วมการวิจัยหรือไม่ เมื่อเข้าร่วมวิจัยแล้ว ต้องการจะถอนตัว ในภายหลัง สามารถทำได้ตลอดเวลา จะไม่ถามถึงเหตุผล และจะไม่มีผลต่อการได้รับคะแนนและ การตัดสินผลการเรียน รวมถึงได้ขออนุญาตสถานศึกษาในการบันทึกภาพถ่ายและวิดีโอขณะเก็บ ข้อมูล สำหรับนักเรียนที่ตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัย ข้อมูลส่วนตัวของนักเรียนจะได้รับการปกปิดเป็น ความลับ ในการนำเสนอข้อมูลจะใช้เป็นรหัสหรือนามสมมติ หากมีภาพถ่ายจะทำการปกปิด ใบหน้าเพื่อไม่ให้จดจำได้ว่าบุคคลในภาพคือใคร

7.2 หลักการให้คุณประโยชน์ไม่ก่ออันตราย (Beneficence)

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้ แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ซึ่งมีงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ รองรับว่าสามารถส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเป็นรายบุคคลได้ มาใช้ ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ให้นักเรียนแต่ละคนได้รับการพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ในทุกองค์ประกอบอย่างแท้จริง รวมถึงเลือกเนื้อหา เรื่อง แก๊ส ที่มีความสอดคล้องกับกิจกรรมการ

สร้างแบบจำลองและเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ มาใช้เป็นฐานในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ ตามหลักการสร้างประโยชน์สูงสุด และลดอันตรายที่ให้น้อยที่สุด

7.3 หลักความยุติธรรม (Justice)

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยเปิดโอกาสให้นักเรียนทั้งหมดที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา ว32222 เคมี 3 สามารถเข้าร่วมวิจัยโดยสมัครใจ ไม่ได้กำหนดคุณสมบัติหรือคุณลักษณะใดไว้ เพื่อเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือก เพื่อให้ นักเรียนทุกคนมีโอกาสได้รับการพัฒนาเกี่ยวกับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างเท่าเทียมกัน และในการเสริมต่อการเรียนรู้ จะใช้ใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีระดับการช่วยเหลือเท่ากันกับนักเรียนทุกคน ไม่ใช่ใบกิจกรรมที่จำเพาะสำหรับนักเรียนกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง

การวิจัยนี้ได้ ก่อนดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ยื่นขอการรับรองจริยธรรมวิจัยในมนุษย์จากคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และได้รับการยกเว้น ตามหนังสือยืนยันการยกเว้นการรับรอง หมายเลข SWUEC/X/G-203/2566 ดังแสดงในภาคผนวก ก

หลังจากที่ ผู้วิจัยพัฒนาเครื่องมือต่าง ๆ จนมีคุณภาพเหมาะสม ผู้วิจัยจึงสามารถนำเครื่องมือดังกล่าวไปใช้ในการจัดกระทำและเก็บรวบรวมข้อมูลตามแบบแผนการวิจัยที่เลือกไว้จนสำเร็จได้ ผู้วิจัยนำข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพที่รวบรวมมาทั้งหมด ไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบกัน โดยข้อมูลที่ผู้วิจัยได้จัดกระทำแล้ว จะถูกนำเสนอไว้ในบทที่ 4

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การวิจัยในครั้งนี้ มุ่งตอบคำถามวิจัยที่ว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้สามารถพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ได้หรือไม่ อย่างไร เพื่อตอบคำถามดังกล่าว ผู้วิจัยใช้การวิจัยผสมวิธีแบบแผนคู่ขนาน (Convergent Mixed Methods Design) มาออกแบบขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

จากข้อมูลที่รวบรวมได้ ผู้วิจัยจะนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพไปพร้อม ๆ กัน ตามสมมติฐานการวิจัย และประเด็นอื่น ๆ ที่ผู้วิจัยพบเจอในขณะรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 3 ประเด็น ได้แก่ 1) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม 2) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แยกตามองค์ประกอบ และ 3) ข้อสังเกตจากการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมของนักเรียน หลังการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ที่วัดได้จากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 4 ข้อ ๆ ละ 6 คะแนน รวมทั้งหมด 24 คะแนน แล้วนำมาวิเคราะห์หาระดับคุณภาพของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม ตามเกณฑ์การแบ่งระดับคุณภาพ ในตาราง 18

ผู้วิจัยพิจารณาคุณภาพของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เฉพาะนักเรียนที่เข้าร่วมกิจกรรมครบทั้ง 5 แผนการจัดการเรียนรู้เท่านั้น เพื่อให้เกิดความยุติธรรมในเรื่องของจำนวนครั้งระยะเวลา และความต่อเนื่องในการฝึกฝน โดยจำนวนนักเรียนที่เข้าร่วมกิจกรรมตลอดทั้ง 5 แผนการจัดการเรียนรู้ มี 30 คน แบ่งเป็นนักเรียนชาย 19 คน นักเรียนหญิง 11 คน

ผลการวิเคราะห์การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนแต่ละคน แสดงดังตาราง 19

เมื่อนำคะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมของนักเรียนแต่ละคนไปหาค่าเฉลี่ย พบว่า นักเรียนกลุ่มที่ศึกษามีคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 10.67 จากคะแนนเต็ม 24 คะแนน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 2.37 นักเรียนที่ได้คะแนนสูงสุด คือ S14 มีคะแนนเท่ากับ 17 คะแนน และนักเรียนที่ได้คะแนนต่ำสุด คือ S17 มีคะแนนเท่ากับ 4 คะแนน

ตาราง 19 คะแนนและระดับคุณภาพการสร้างความคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมของนักเรียนรายบุคคล

นักเรียน	คะแนน	ระดับคุณภาพ	นักเรียน	คะแนน	ระดับคุณภาพ
S01	10	ควรปรับปรุง	S16	11	ดี
S02	10	ควรปรับปรุง	S17	4	ควรปรับปรุง
S03	14	ดี	S18	8	ควรปรับปรุง
S04	10	ควรปรับปรุง	S19	10	ดี
S05	12	ดี	S20	11	ควรปรับปรุง
S06	10	ควรปรับปรุง	S21	13	ดี
S07	8	ควรปรับปรุง	S22	13	ดี
S08	9	ควรปรับปรุง	S23	12	ดี
S09	9	ควรปรับปรุง	S24	9	ควรปรับปรุง
S10	13	ดี	S25	12	ดี
S11	10	ดี	S26	12	ดี
S12	10	ดี	S27	10	ควรปรับปรุง
S13	12	ดี	S28	8	ควรปรับปรุง
S14	17	ดี	S29	14	ดี
S15	10	ดี	S30	9	ดี

เมื่อนำคะแนนและระดับคุณภาพของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมเป็นรายบุคคล มาจัดกลุ่มตามระดับคุณภาพของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ นับจำนวนและร้อยละได้ผลดังตาราง 20

ตาราง 20 จำนวนและร้อยละของนักเรียนตามระดับคุณภาพของการสร้างความคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม

ระดับคุณภาพ	ดีมาก	ดี	ควรปรับปรุง
จำนวน (คน)	0	17	13
ร้อยละ	0.00	56.67	43.33

จากตาราง 19 และ 20 จะเห็นว่า มีนักเรียนจำนวน 17 คน คิดเป็นร้อยละ 56.67 ที่สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมได้ในระดับดี และนักเรียนจำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 43.33 ที่สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมได้ในระดับควรปรับปรุง ทั้งนี้ไม่มีนักเรียนคนใดสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมากได้ ดังนั้น ผลการวิจัยไม่เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1 ที่คาดการณ์ไว้ว่า “หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ นักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส โดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 53.00 ขึ้นไป”

จากจำนวนและร้อยละของนักเรียนที่สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมได้ในระดับต่าง ๆ ที่มีค่าแตกต่างกัน ผู้วิจัยได้นำข้อมูลเดียวกันจากแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ท้ายแผน มาพิจารณาเปรียบเทียบ พบว่า จำนวนและร้อยละของนักเรียนที่สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมได้ในระดับต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกัน เหมือนกับข้อมูลที่ได้จากแบบวัด ดังแสดงในตาราง 21

ตาราง 21 จำนวนและร้อยละของนักเรียนที่สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ในระดับต่าง ๆ

ระดับคุณภาพ		แบบทดสอบท้ายแผน					แบบวัด
		1	2	3	4	5	
ดีมาก	จำนวน	0	1	0	1	8	0
	ร้อยละ	0.00	3.33	0.00	3.33	26.66	0.00
ดี	จำนวน	14	16	25	11	11	17
	ร้อยละ	46.66	53.34*	83.33*	36.67	36.67*	56.67*
ควร	จำนวน	16	13	5	18	11	13
ปรับปรุง	ร้อยละ	53.34*	43.33	16.67	60.00*	36.67*	43.33

* ร้อยละที่มีปริมาณมากที่สุด

เมื่อพิจารณาระดับคุณภาพที่มีจำนวนและร้อยละของนักเรียนสูงที่สุด พบว่า คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแบบทดสอบท้ายแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 3 และ 5 เหมือนกับการจำแนกระดับคุณภาพตามแบบวัด คือ มีจำนวนและร้อยละของนักเรียนสูงที่สุดอยู่ในระดับดี รองลงมาคือระดับควรปรับปรุง และมีค่าต่ำที่สุดคือระดับดีมาก ยกเว้นแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 ที่มีจำนวน

และร้อยละในระดับควรปรับปรุงเท่ากับระดับดี ซึ่งจะแตกต่างจากแบบทดสอบท้ายแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 กับ 4 เนื่องจากระดับคุณภาพของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีจำนวนและร้อยละของนักเรียนสูงที่สุดในแผนการจัดการเรียนรู้ทั้งสองจะอยู่ในระดับควรปรับปรุง รองลงมาคือ ระดับดี และต่ำที่สุดคือระดับดีมาก สิ่งที่พบตรงกันของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมที่นักเรียนสร้างได้จากทั้งแบบวัดและแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ก็คือ มีจำนวนและร้อยละของนักเรียนอยู่ในระดับคุณภาพดีมาก ต่ำที่สุด

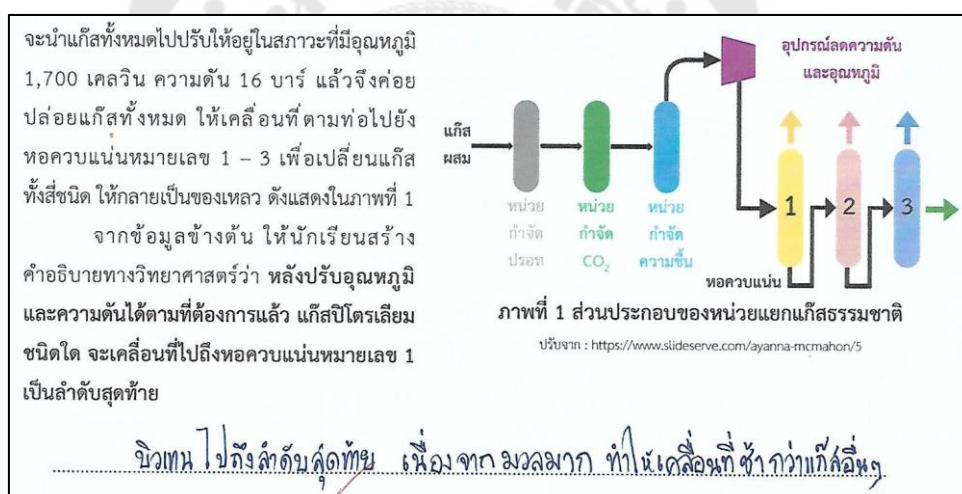
เมื่อพิจารณาลักษณะคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน จากลักษณะคำตอบในแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ พบว่า ลักษณะคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมี 15 ลักษณะ ดังตาราง 22

ตาราง 22 จำนวนนักเรียนตามรูปแบบของคะแนนที่ได้รับในแบบวัดแต่ละข้อ

ระดับ คุณภาพ	คะแนน รวม	รูปแบบคะแนน แยกตาม องค์ประกอบ	แบบวัดการสร้าง คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์				รวม (คน)	รวม ทั้งหมด (คน)
			ข้อที่ 1	ข้อที่ 2	ข้อที่ 3	ข้อที่ 4		
ดีมาก	5	221	-	1	1	1	3	4
		212	-	-	-	1	1	
ดี	4	220	-	4	-	1	5	29
		211	4	11	5	-	20*	
		202	-	-	-	1	1	
		112	-	-	-	2	2	
		121	1	-	-	-	1	
		210	5	6	5	-	16*	
	3	201	1	4	8	-	13	37
		111	-	2	1	5	8	
ควร ปรับปรุง	2	200	17	2	8	1	28*	34
		110	-	-	-	6	6	
	1	100	-	-	1	3	4	5
		010	-	-	-	1	1	
	0	000	2	-	1	8	11	11
	รวม		30	30	30	30	120	

กำหนดให้ แต่ละองค์ประกอบ มีคะแนนที่เป็นไปได้คือ 2 1 และ 0 คะแนน โดยลำดับของตัวเลขที่ปรากฏในแต่ละรูปแบบจะเรียงตามคะแนนที่ได้รับในแต่ละองค์ประกอบ เช่น 211 แสดงว่า ได้รับคะแนนในส่วนข้อกล่าวอ้าง (C) 2 คะแนน ส่วนหลักฐาน (E) 1 คะแนน และส่วนการให้เหตุผล (R) 1 คะแนน

นักเรียนที่เข้าร่วมกิจกรรมอย่างต่อเนื่องมีทั้งหมด 30 คน นักเรียนแต่ละคนทำแบบวัดจำนวน 4 ข้อ จำนวนแบบวัดรวมทั้งหมดเท่ากับ 120 ข้อ จึงมีคำตอบหรือคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ทั้งหมด 120 ข้อความ จากตาราง 22 จะเห็นว่า ลักษณะของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่พบมากที่สุด คือ รูปแบบ 200 หมายถึง ระบุข้อกล่าวอ้าง ได้อย่างสมบูรณ์ แต่ไม่สามารถเลือกหลักฐาน และให้เหตุผลประกอบข้อกล่าวอ้างได้ ตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แสดงในภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 2 0 0
ในกรณีนี้ที่สร้างได้เฉพาะข้อกล่าวอ้างที่สมบูรณ์

ในรูปแบบเดียวกันนี้ ยังพบคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อีกหนึ่งลักษณะ คือ ระบุข้อกล่าวอ้างได้สมบูรณ์ แต่เลือกหลักฐานมาสนับสนุน และให้เหตุผลที่ไม่สอดคล้องกับข้อกล่าวอ้าง เช่น ไม่มีหลักการทางวิทยาศาสตร์มาแสดงความเชื่อมโยงระหว่างข้อกล่าวอ้างและหลักฐาน ตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แสดงในภาพประกอบ 14 คำตอบทั้งสองลักษณะข้างต้น จัดอยู่ในระดับควรปรับปรุง มีจำนวนรวมทั้งหมด 28 ข้อความ คิดเป็นร้อยละ 23.33

[illegible]

“ควรมีกระบอกบรรจุแก๊ส หมายเลขที่ 7 เพราะว่า เลื้ออูฐที่ฟองได้มีขนาดเล็กที่สุดเหมาะสำหรับเด็ก ดังนั้นการที่มีมวล CO_2 มากเกินไปต่อความจุของเลื้ออูฐ อาจทำให้เลื้ออูฐที่พระเบิดหรือเกิดรอยร้าวได้ เพราะฉะนั้น ควรใช้มวล CO_2 ให้พอดีกับความจุของเลื้ออูฐฟฟ”

ภาพประกอบ 14 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 2 0 0
ในกรณีที่สร้างข้อกล่าวอ้างที่สมบูรณ์ แต่เลือกหลักฐานและให้เหตุผลได้ไม่สอดคล้อง

ลักษณะคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่พบรองลงมา คือ รูปแบบ 211 หมายถึง สร้างข้อกล่าวอ้างได้อย่างสมบูรณ์ ระบุหลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้อง แต่ไม่ครบถ้วน และให้หลักการทางวิทยาศาสตร์มาแสดงความเชื่อมโยงระหว่างข้อกล่าวอ้างกับหลักฐานเพียงบางชิ้นเท่านั้น จัดอยู่ในระดับดี มีจำนวน 20 ข้อความ คิดเป็นร้อยละ 16.67 ตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แสดงในภาพประกอบ 15

[illegible]

“จะมีขนาดใหญ่มากขึ้น เนื่องจากอยู่ในระดับน้ำที่มีความดันต่ำกว่าฟองอากาศที่เห็นในตอนแรก ซึ่งอยู่ในระดับน้ำที่ลึกกว่า ทำให้มีความดันสูงกว่าบริเวณใกล้ผิวน้ำ ฟองอากาศสามารถคงรูปอยู่ได้ก็ต่อเมื่อความดันภายในฟองอากาศมีค่าเท่ากับความดันภายนอก แสดงให้เห็นว่า

ฟองอากาศมีการปรับความดันบรรยากาศได้น้ำที่กำลังลอยตัวสู่ผิวน้ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า
เป็นไปตามกฎของบอยล์ ($P \propto \frac{1}{V}$) ”

ภาพประกอบ 15 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 2 1 1

ลักษณะคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่พบมากเป็นอันดับที่สาม คือ รูปแบบ 210 หมายถึงเขียนข้อกล่าวอ้างได้สมบูรณ์ เลือกหลักฐานมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ได้ถูกต้องบางส่วน และไม่สามารถให้เหตุผลได้ เนื่องจากไม่มีการใช้หลักการหรือกฎทางวิทยาศาสตร์มาแสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง จัดอยู่ในระดับดี มีจำนวน 16 ข้อความ คิดเป็นร้อยละ 13.33 ตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แสดงในภาพประกอบ 16

จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า แบริ่งพืชที่อบ ณ อุณหภูมิเท่าใด จะมีความนุ่มมากที่สุด

..... แบริ่งพืชที่อบ ณ อุณหภูมิ 270°C จะมีความนุ่มมากที่สุด เพราะ มีอุณหภูมิมากขึ้น ปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะยิ่งมากขึ้น และถ้ามี CO₂ มากขึ้น จะไปทำให้เกิดช่องว่างใน แบริ่งพืชมากขึ้น

กช.ศิริ นุ่มมากสิน

“แบริ่งพืชที่อบ ณ อุณหภูมิ 270 °C จะมีความนุ่มมากที่สุด เพราะมีอุณหภูมิมากขึ้น ปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะยิ่งมากขึ้น และถ้ามี CO₂ มากขึ้น จะไปทำให้เกิดช่องว่างในแบริ่งพืชมากขึ้น”

ภาพประกอบ 16 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 2 1 0

จากลักษณะคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่พบในแบบวัด ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาลักษณะคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏในแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แต่ละแผนพบว่า ลักษณะที่ปรากฏในแบบทดสอบท้ายแผนแต่ละแผน มี 18 รูปแบบ ซึ่งหลากหลายมากกว่าที่ปรากฏในแบบวัด รูปแบบที่เพิ่มขึ้นมามีทั้งหมด 4 รูปแบบ คือ 222 122 101 011 แต่ไม่ปรากฏรูปแบบ 202 ตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ข้างต้นแสดงในภาพประกอบ 17 – 20 ตามลำดับ โดยรูปแบบที่พบมากที่สุด คือ รูปแบบ 211 รองลงมา คือ 210 และอันดับที่สาม คือ 201 ซึ่งรูปแบบ 211 และ 210 เป็นรูปแบบที่พบมากที่สุดสามอันดับแรกจากลักษณะของคำอธิบายทาง

วิทยาศาสตร์ที่พบในแบบวัดเช่นกัน จำนวนของนักเรียนที่พบในลักษณะการตอบตามรูปแบบต่าง ๆ แสดงได้ดังตาราง 23

ตาราง 23 จำนวนนักเรียนตามรูปแบบของคะแนนที่ได้รับในแบบทดสอบแต่ละข้อ

ระดับ คุณภาพ	คะแนน รวม	รูปแบบ	แบบทดสอบการสร้าง					รวม (คน)	รวม ทั้งหมด (คน)
		คะแนนย่อย แยกตาม องค์ประกอบ	คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์						
			แผน ที่ 1	แผน ที่ 2	แผน ที่ 3	แผน ที่ 4	แผน ที่ 5		
ดีมาก	6	222	-	-	-	-	1	1	1
		221	-	-	-	1	3	4	
	5	212	-	-	-	-	4	4	9
		122	-	1	-	-	-	1	
ดี		220	-	-	-	-	2	2	
	4	211	3	7	14	2	2	28*	33
		112	-	-	-	-	2	2	
		121	-	-	-	-	1	1	
		210	2	3	5	7	1	18*	
	3	201	8	4	3	1	1	17*	44
		111	1	2	3	1	2	9	
		200	3	7	2	-	2	14	
ควร ปรับปรุง	2	110	3	2	-	7	4	16	37
		101	3	2	-	1	-	6	
		011	-	-	-	-	1	1	
	1	100	6	1	2	3	3	15	22
		010	-	1	1	5	-	7	
	0	000	1	-	-	2	1	4	4
		รวม		30	30	30	30	30	150



ภาพแสดงขั้นตอนการทำขนมปัง ได้แก่ การผสมส่วนผสม การพักแป้ง การนวดแป้ง การอบ

ที่มา : <https://www.cookingclassy.com/homemade-bread/>

จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า ในระหว่างที่พักแป้งขนมปังทิ้งไว้ ก่อนนำไปอบ ขนาดของแป้งขนมปังจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร พร้อมให้หลักฐานและเหตุผลประกอบ ว่าทำไมขนาดของแป้งขนมปังจึงมีลักษณะเป็นเช่นนั้น

ข้อกล่าวอ้าง: เมื่อขนมปังได้ความนุ่ม โปร่งฟู กลิ่นหอมกับกลิ่นยีส ก็จะจับกับก๊าซ น้ำ ทำให้เกิดรูพรุน ร่วนซุยขึ้นเพราะ CO_2 ในขนมปังที่ออกมา

หลักการทางวิทยาศาสตร์: ก๊าซ CO_2 ที่เกิดจากยีสต์ ยีสต์ ยีสต์ กลิ่นหอม
หลักฐาน: 1. การสังเกตรูปร่างของแป้งที่เปลี่ยนไป 2. ทดลองการสังเกตกลิ่นยีสต์ โดย
ใช้ยีสต์กลิ่นหอม แต่ไม่ถูกปิด ขนมปังที่ได้แล้ว ไม่ค่อยหอม

การให้เหตุผล: ก๊าซ CO_2 ที่เกิดจากยีสต์ ยีสต์ ยีสต์ กลิ่นหอม
ที่ทำให้แป้งนุ่มและเกิดรูพรุนขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาเคมี
ที่ทำให้แป้งนุ่มและเกิดรูพรุนขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาเคมี
ทำให้เกิด CO_2 ที่ออกมา

ภาพประกอบ 19 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 1 0 1

จากสถานการณ์ข้างต้น ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า ขณะที่ลอยแก้วขึ้นรอ พนักงานอยู่ภายในร้าน ลอยแก้วจะได้กลิ่นของดอกไม้ชนิดใดเป็นอันดับแรก

จากข้อมูลที่ให้ไว้ ดอกกุหลาบ จะหอมที่สุด จาก 3 ดอกไม้ที่ลอยแก้วขึ้นรอ

จากหลักการทางวิทยาศาสตร์ ที่ว่า หากมวลต่อโมเลกุลมาก จะเกิดการแพร่ได้น้อย

หากมวลต่อโมเลกุลน้อย การแพร่จะมาก โดยสังเกตได้จากตารางการแสดงผลข้อมูลดอกไม้แต่ละชนิด

ตารางการแสดงผลข้อมูลดอกไม้แต่ละชนิด

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่ามวลต่อโมเลกุลของกุหลาบมีค่าต่ำสุด นั่นหมายความว่า กุหลาบจะหอมที่สุด

“จากการกล่าวอ้างว่า ดอกกุหลาบจะหอมที่สุดจาก 3 ดอกไม้ที่ลอยแก้วขึ้นรอ

จากหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่ว่า หากมวลต่อโมเลกุลมาก จะเกิดการแพร่ได้น้อย

หากมวลต่อโมเลกุลน้อย การแพร่จะมาก โดยสังเกตได้จากตารางการแสดงผลข้อมูลดอกไม้แต่ละชนิด

โดยถ้านำตารางมาพิจารณาจะเห็นได้ว่า กุหลาบมีมวลต่อโมเลกุลน้อยที่สุด

ทำให้กุหลาบนั้นก็มีกลิ่นหอมที่สุด”

ภาพประกอบ 20 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีรูปแบบคะแนนเป็น 0 1 1

จากภาพประกอบ 19 จะเห็นว่าคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนเขียนตอบมาในแบบทดสอบนั้น มีลักษณะเหมือนกับในส่วนที่หนึ่งของใบกิจกรรมเสริมต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ คือ แจกแจงแต่ละองค์ประกอบอย่างชัดเจน และเขียนหลักการทางวิทยาศาสตร์แยกออกมา ซึ่งไม่ใช่ลักษณะของการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ ที่ทุกองค์ประกอบจะต้องถูกเรียงร้อยเข้าด้วยกัน จากสิ่งที่พบในการตรวจแบบทดสอบ ผู้วิจัยจึงได้แจ้งข้อมูลดังกล่าวกับครู B เพื่อให้คอยย้ำเตือนกับนักเรียนเกี่ยวกับองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ หลังจากนั้นในทุกคาบเรียน ครู B จะมีการถามเพื่อทบทวนเกี่ยวกับองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ก่อนที่จะให้นักเรียนทำแบบทดสอบเสมอ ซึ่งนักเรียนก็จะช่วยกันตอบว่ามีองค์ประกอบอะไรบ้างจนครบ และครู B ก็จะช่วยย้ำต่ออีกว่าทุกองค์ประกอบต้องเขียนรวมเข้าด้วยกัน จากนั้นจึงลงมือทำแบบทดสอบ (บันทึกการสังเกตชั้นเรียน)

จากการตรวจใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ พบว่า ในส่วนแรกที่เป็นตารางแจกแจงองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER กับหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา นักเรียนส่วนใหญ่สามารถตอบครบตามองค์ประกอบที่ระบุไว้ แต่ในรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบ อาจมีบางประเด็นที่ไม่ครบถ้วน เช่น การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศภายในปอด ณ ขณะที่หายใจเข้า พบว่า นักเรียน S12 สามารถระบุข้อกล่าวอ้าง และหลักฐานได้ครบถ้วน มีการให้เหตุผลได้บางส่วน เนื่องจากไม่ได้เชื่อมโยงหลักฐานที่ได้จากแบบจำลองปอดกล่าวเพียงหลักการเกี่ยวกับการหายใจเข้าเท่านั้น และระบุหลักการทางวิทยาศาสตร์บางส่วนโดยขาดหลักการที่ว่า ปริมาตรแก๊สมีค่าเท่ากับปริมาตรภาชนะ แสดงได้ดังภาพประกอบ 21

ในส่วนที่สองที่เป็นการนำแต่ละองค์ประกอบมาเขียนรวมกันให้เป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ พบว่า นักเรียนบางส่วนสามารถนำองค์ประกอบในส่วนที่หนึ่งมาเขียนรวมเข้าด้วยกันได้ ทำให้ในแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มีลักษณะไม่แตกต่างกันกับรายละเอียดแยกย่อยในส่วนที่หนึ่ง เช่น ในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของประเด็นเดียวกัน นักเรียน S12 สามารถระบุข้อกล่าวอ้างได้อย่างชัดเจน ตรงประเด็นกับข้อคำถาม สามารถระบุหลักฐานได้ถูกต้องและครบถ้วนทั้งสี่ข้อ แต่ยังไม่สามารถให้เหตุผลได้อย่างชัดเจน คือ กล่าวถึงหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์เท่านั้น แต่ยังไม่ได้นำหลักการดังกล่าวเชื่อมโยงว่าหลักฐานแต่ละข้อสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างไร ซึ่งเหมือนกับลักษณะการเขียนตอบในส่วนที่หนึ่ง ที่นักเรียนระบุเฉพาะหลักการทางวิทยาศาสตร์ในส่วนของการให้เหตุผล ตัวอย่างการเขียนรวมทุกองค์ประกอบเข้าด้วยกัน แสดงได้ดังภาพประกอบ 22

ใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ ระดับที่ 1

คำชี้แจง : ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า

“ปริมาตรของช่องอกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในปอดได้อย่างไร”

ข้อกล่าวอ้าง (CLAIM; C) เขียนข้อความที่เป็นคำตอบของคำถาม โดยระบุว่า เมื่อปริมาตรช่องอกเพิ่มขึ้น ปริมาตรและความดันของอากาศภายในปอดเปลี่ยนแปลงอย่างไร

ถ้า ปริมาตรช่องอกเพิ่มขึ้น ความดันภายในปอดจะลดลง

หลักการทางวิทยาศาสตร์ เขียนหลักการ/แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ โดยระบุว่า (1) อวัยวะภายในร่างกายเปลี่ยนแปลงอย่างไร จึงทำให้ปริมาตรช่องอกเพิ่มขึ้น และกระบวนการดังกล่าว ส่งผลให้ปอดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร (2) ความดันของแก๊ส จะเปลี่ยนแปลงอย่างไรตามกฎของบอยล์ และ (3) ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศมีลักษณะอย่างไร

- กระดูกซี่โครงยกตัวขึ้น และเคลื่อนลงต่ำลง ปริมาตรช่องอกเพิ่มขึ้น ปริมาตรปอดจึงมากขึ้น
- ความดันภายในปอดจะลดลง หลังจากปริมาตรภายในปอดจะมากขึ้น ($V \propto \frac{1}{P}$)
- อากาศเคลื่อนที่เข้าจากภายนอกสู่ปอดไม่มีความดันต่ำ ($P_H \rightarrow P_L$)

หลักฐาน (EVIDENCE; E) เขียนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการสำรวจ ทดลอง หรือสืบค้นจากแหล่งที่น่าเชื่อถือที่เหมาะสมและเพียงพอ ในการทำให้คนคล้อยตามข้อกล่าวอ้าง โดยระบุ (1) สรุปผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของอวัยวะภายในช่องอก (2) สรุปผลการทดลองที่ได้จาก Phet interactive simulations (3) ค่าปริมาตรของปอดในขณะที่ยายใจเข้า ที่อ่านได้จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของปอดในขณะต่าง ๆ (4) ค่าความดันภายในปอด ณ ขณะที่ยายใจเข้า จากแผนภาพแสดงการเปรียบเทียบความดันของอากาศภายในปอดกับความดันอากาศภายนอก

- แบบจำลองของกระดูกซี่โครงที่ขยับขึ้นและลง
- หลักฐานจากภาพทดลอง ความดัน และปริมาตรจาก ล็อก Phet simulation interactive
- หลักฐาน ปริมาตรของปอดเมื่อหายใจเข้าและหายใจออก
- กราฟของ ความดันและปริมาตรของปอด เทียบกับปริมาตรภายนอกของปอด

การให้เหตุผล (REASONING; R) เขียนเชื่อมโยงเพื่อแสดงว่าหลักฐานสัมพันธ์กับข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อบอกว่า เพราะเหตุใดข้อมูลนั้นจึงนับเป็นหลักฐาน โดยระบุว่า (1) การเปลี่ยนแปลงของอวัยวะเมื่อหายใจเข้ากับการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองสัมพันธ์กันอย่างไร (2) ความดันอากาศภายในปอด สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จาก Phet interactive simulations อย่างไร และ (3) ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นไปตามหลักการเคลื่อนที่ของอากาศอย่างไร

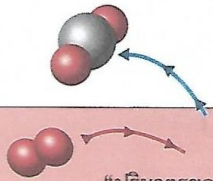
- เมื่อหายใจเข้ากระดูกซี่โครงยกตัว กระดูกซี่โครงเคลื่อนต่ำลง ปริมาตรปอดมากขึ้น เพื่อความดันภายในปอดจะลดลง กระแสลมจึงเข้าสู่
- กระดูกซี่โครงหดตัว ปริมาตรปอดน้อยลง/หดตัว ไม่ใช้แรงก็ยกขึ้น
- เมื่อหายใจเข้า ปริมาตรของปอดมากขึ้น ทำให้ความดันภายในปอดต่ำกว่าความดันนอก ทำให้อากาศเข้าไปในปอด และ Phet simulation เมื่อหายใจเข้า ปริมาตรเพิ่มขึ้นแล้วความดันจะต่ำลง ไม่เท่ากับ ความดันในช่องอก ความดันในช่องอกจะน้อยกว่าความดันในช่องอก ($V \propto \frac{1}{P}$)
- ความดันเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกสู่ปอด → ต่ำ / ความดันที่ต่ำกว่า เข้าสู่ปอด เมื่อหายใจเข้า ความดันในช่องอกจะน้อยกว่าความดันในช่องอก ค่าความดันในช่องอกจะต่ำกว่าความดันในช่องอก และเมื่อหายใจออก ปริมาตรลด ความดันเพิ่มขึ้น

เมื่อความดันภายในปอดต่ำกว่าความดันนอก อากาศจึงจะเคลื่อนที่เข้าสู่อากาศภายนอก

ภาพประกอบ 21 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แยกตามองค์ประกอบของนักเรียน S12

ในส่วนที่หนึ่งของใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

2



คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

“ปริมาตรของช่องอกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในปอดได้อย่างไร”

เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม โดยประกอบด้วยข้อกล่าวอ้างหรือคำตอบของคำถาม หลักฐาน และการให้เหตุผล นำข้อความจากด้านหน้า มาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สังเกตได้จาก... เนื่องจาก... ทำให้... เพราะ... จึง... ดังนั้น... จึงสรุปได้ว่า...

สังเกตได้จาก ถ้าปริมาตรปอดเพิ่มขึ้น ความดันภายในปอดจะลดลง เนื่องจาก กระดี่ไดaphragmตัวสูงขึ้น กระนั้นผลค่าปริมาตรช่องอกเพิ่ม ปริมาตรปอดจึงมากขึ้นด้วย ความดันภายในปอดจะลดลง ($V \propto \frac{1}{P}$) ทำให้อากาศไหลจากภายนอกซึ่งมีความดันสูงกว่าเข้าทรวงอก และเข้าสู่อปอดที่มีความดันน้อยกว่า เพราะมีหลักการที่สรุปได้ว่า การสรุปให้จริง ต้องมีหลักฐานประกอบ จากครูไป หลักฐานจากภาพทดลอง ความดันและปริมาตรจาก Phet² interactive simulator หลักฐานของปอดเมื่อหายใจเข้า³ และออก และ รูปภาพของปริมาตรปอด(ภายใน)เทียบกับ(ภายนอก) ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า การเคลื่อนที่เข้าสู่ปอดของอากาศนั้น เมื่อหายใจเข้า ความดันจะน้อย ปริมาตรปอดจะมาก เมื่อความดันภายใน^Fร่วภายนอกต่ำกว่า STP อากาศจึงไหลเข้าจากความดันสูง^{อากาศสูง} → ต่ำ อากาศจึงเข้าผ่านรูจมูก สู่ปอด และเมื่อนานใจออก ปริมาตรปอดลดลง ความดันมากขึ้น เมื่อความดันภายในมากกว่าภายนอก อากาศจึงไหลออก จากทุกๆ อย่างที่กล่าวมาทำให้บทสรุป “เมื่อหายใจเข้าความดัน หรือ $V \propto \frac{1}{P}$ ” และอากาศไหลจากบริเวณ $P_{สูง} \rightarrow P_{ต่ำ}$

ภาพประกอบ 22 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบรวมทุกองค์ประกอบของนักเรียน S12

ในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

จากการเปรียบเทียบองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในส่วนที่หนึ่งและสองของใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยยังพบอีกว่า มีนักเรียนบางส่วนที่ไม่สามารถนำองค์ประกอบที่ระบุไว้ในส่วนที่หนึ่งมาเขียนรวมกันได้ เช่น การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการนำออกซิเจนกระป๋องพกติดตัวไปในขณะที่ต้องเดินทางไปท่องเที่ยวในทิเบต ที่พบว่า นักเรียน S16 สามารถระบุหลักฐานในส่วนที่หนึ่งได้อย่างครบถ้วนและจำเพาะกับสถานการณ์ แต่ในส่วนที่สองไม่ได้นำหลักฐานที่ระบุไว้มาเขียนรวมกับองค์ประกอบอื่น ๆ คือไม่ได้ระบุความสูงของเมืองลาซา และไม่ได้ระบุร้อยละของออกซิเจนที่พบในอากาศ ทำให้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่พบในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แต่ละส่วน มีองค์ประกอบต่างกัน ดังที่แสดงเปรียบเทียบในภาพประกอบ 23 และ 24

ใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ ลำดับที่ 1

คำชี้แจง : ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า

“ทำไมจึงต้องเตรียมออกซิเจนกระป๋องเมื่อจะไปท่องเที่ยวที่เมืองลาซา ในทิเบต
ซึ่งมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 4,000 เมตร”

ข้อกล่าวอ้าง (CLAIM; C) เขียนข้อความที่เป็นคำตอบของคำถาม โดยระบุว่า พื้นที่ที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลมาก ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงของอากาศอย่างไร และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้น ส่งผลต่อร่างกายของมนุษย์อย่างไร

ความสนใจในอากาศมีค่าลดลง ส่งผลให้ร่างกายเกิดภาวะออกซิเจนต่ำ

หลักการทางวิทยาศาสตร์ เขียนหลักการ/แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ โดยระบุว่า (1) ความดันบรรยากาศ มีหลักการคำนวณอย่างไรตามกฎความดันของคอลตัน (2) ความดันของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรตามกฎความดันของคอลตัน (3) แก๊สออกซิเจนที่มีในอากาศจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อปริมาณอากาศลดลง และ (4) อาการแพ้ความสูงจะเกิดขึ้นเมื่ออยู่ในพื้นที่ที่มีระดับความสูงเท่าใด

- 1) การไม่ไหลลง 2. จำนวนรวมกันแต่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเคมี
- 2) มีความหนาแน่นมากขึ้น มีพลังงานจลน์มากขึ้น จากการไหลลง
- 3) มีแก๊ส 0 ในอากาศน้อยลง
- 4) เกิดขึ้นในพื้นที 2,500 เมตรขึ้นไปเหนือระดับน้ำทะเล

หลักฐาน (EVIDENCE; E) เขียนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการสำรวจ ทดลอง หรือสืบค้นจากแหล่งที่น่าเชื่อถือที่เหมาะสมและเพียงพอในการทำให้คนคล้อยตามข้อกล่าวอ้าง โดยระบุ (1) การคำนวณความดันบรรยากาศจากการทดลองผ่าน Phet interactive simulations (2) ค่าความดันบรรยากาศและความหนาแน่นของอากาศที่อ่านได้ในกราฟ (3) ปริมาณแก๊สออกซิเจนที่พบในอากาศจากแผนภูมิวงกลม และ (4) ระดับความสูงของเมืองลาซา จากแผนที่แสดงระดับความสูงของ ทิเบต

- 1) ได้จากแก๊สไหลลง 2. ไม่ไหล มีการรวมกันแต่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเคมี
- 2) มีความหนาแน่นมากขึ้น 2) ความดันต่ำ ทำให้ ความหนาแน่นในอากาศต่ำ
- 3) ปริมาณแก๊ส 0 ที่พบในอากาศคือร้อยละ 21
- 4) เมืองลาซา จากแผนที่มีระดับความสูงประมาณ 4000 - 5000 เมตร

* การให้เหตุผล (REASONING; R) เขียนเชื่อมโยงเพื่อแสดงว่าหลักฐานสัมพันธ์กับข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อบอกว่า เพราะเหตุใดข้อมูลที่ค้นพบจึงน่าเป็นหลักฐาน โดยระบุ (1) การคำนวณความดันบรรยากาศตามกฎความดันของคอลตันทำได้อย่างไร สอดคล้องกับความดันรวมที่คำนวณจาก Phet interactive simulations อย่างไร (2) ความดันบรรยากาศ สอดคล้องตามความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับจำนวนโมลของแก๊สที่สรุปอย่างไร (3) แก๊สออกซิเจน จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณอากาศอย่างไร และ (4) ระดับความสูงของเมืองลาซา ส่งผลให้เกิดอาการแพ้ความสูงหรือไม่ อย่างไร

1. เกิดจากการไหลลงแก๊สรวมกัน ทำให้เมื่อความหนาแน่นมากขึ้น มีพลังงานจลน์มากขึ้น
2. เมื่อความดันเพิ่มและจำนวนโมลมากขึ้น ทำให้เกิดพลังงานจลน์มากขึ้น ทำให้แก๊สไหลลงมากขึ้น ส่งผลให้มีความดันเพิ่ม นั่นคือ ความดันเพิ่มแล้วจึงรวมกันที่หนาแน่น
3. ในพื้นที่สูง จะมีปริมาณแก๊สออกซิเจนน้อย นั่นคือ ระดับความสูงที่มากขึ้น
4. ส่งผลให้เกิดอาการแพ้ความสูง เพราะอยู่ในระดับที่สูงกว่า 2500 เมตร ไ้จะเกิดอาการแพ้ความสูง (Altitude sickness)

อาการแพ้ความสูงที่ตนเอง

ภาพประกอบ 23 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แยกตามองค์ประกอบของนักเรียน S16

ในส่วนที่หนึ่งของใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

2



คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

“ทำไมจึงต้องเตรียมออกซิเจนกระป๋องเมื่อจะไปท่องเที่ยวที่เมืองลาซา ในทิเบต
ซึ่งมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 4,000 เมตร”

นำข้อความจากด้านบนมาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สังเกตได้จาก..... เนื่องจาก..... ทำให้..... เพราะ..... จึง..... ดังนั้น..... จึงสรุปได้ว่า.....

ผลที่ว่าทำไมเมื่อขึ้นที่สูง จะมีค่าความดันบรรยากาศต่ำ และค่าออกซิเจนต่ำ
สังเกตได้จากการทดลองหลายครั้ง ไม่ว่าจะเป็นการทดลอง Phet interactive
simulations ที่ทำการขึ้นจากผืนน้ำ และน้ำทั้ง 2 มุมรวมกันทำให้เกิดความกด
ดันที่เพิ่มขึ้น ไม่แตกต่างจากกัน ส่งผลให้ความดันในถังน้ำ ทำให้เกิดลมขึ้นตาม
หลอดของถังน้ำ หรือการสังเกตความดันอากาศจาก ความหนาแน่นของ
อากาศกับระดับน้ำที่ต่าง ทำให้วิเคราะห์ได้ว่า ในน้ำที่ระดับที่ต่ำ จะมีค่า
ความหนาแน่นในอากาศ และ ความดันในอากาศน้อย แต่ในน้ำที่ระดับ
ต่ำ จะมีค่าความหนาแน่นในอากาศ และ ความดันในอากาศที่สูง หรือ
การสังเกตปริมาณแก๊สออกซิเจนในอากาศ สังเกตได้ว่าในน้ำที่ต่ำ
มีปริมาณ 0 ที่น้อย แต่ในน้ำที่ต่ำ มีปริมาณ 0 ที่สูง และการทดลองลูกตุ้ม
เราศึกษาการแกว่งของลูกตุ้ม หรือ Altitude Sickness ได้ว่า ในน้ำที่ต่ำ
เมื่อระดับน้ำทะเล 2500 เมตรขึ้นไป จะเกิดภาวะออกซิเจนต่ำ ซึ่งมีหลาย
อาการที่สังเกตได้ การปวดหัว เหนื่อย หัวใจ หรือไปจนถึงการเสียชีวิต
ดังนั้น จากข้อมูลทั้งหมด ซึ่งสรุปได้ว่า เมื่อเราอยู่ในที่สูง จะมีปริมาณแก๊ส
และความหนาแน่นในอากาศต่ำ แต่ที่ในระดับต่ำ จะมีค่าความหนาแน่นในอากาศ
และปริมาณแก๊สสูง หรือ ที่สูง ความดันต่ำ ปริมาณแก๊สต่ำ คือความดันต่ำ
กับระดับความสูงมีการแปรผกผันกัน และ ความดันมาก จำนวนโมเลกุลจะ
มาก ทำให้เห็นถึงมวลโมลสูง แต่ จำนวนโมลน้อย ความหนาแน่นน้อย ทำให้
หลังจากเราไต่สูง ความดันที่น้อย นั่นคือ ความดันแปรผกผันกับจำนวนโมล
ซึ่งทฤษฎีการแพร่ที่ระดับสูง 2500 เมตรขึ้นไป เราควรเตรียมออกซิเจนกระป๋องไป

ผลที่ได้คือได้ข้อมูลการแพร่ของออกซิเจนต่ำ และเมื่อความดันสูง เราจะไม่ขึ้นที่สูง
จะมีความหนาแน่นต่ำ ปริมาณแก๊สในอากาศต่ำ ความดันในอากาศต่ำ

ทฤษฎีการแพร่ของแก๊ส
และโมเลกุลของแก๊ส

ภาพประกอบ 24 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบรวมทุกองค์ประกอบของนักเรียน S16

ในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ในการตรวจใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยยังพบอีกว่า นักเรียนบางส่วนเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ คือ เข้าใจว่าการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เป็นการคาดคะเนคำตอบของปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา แต่ในความเป็นจริง การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จะต้องเป็นการลงข้อสรุปเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษาโดยอาศัยข้อมูลที่รวบรวมมา จากความเข้าใจคลาดเคลื่อนดังกล่าว ส่งผลให้นักเรียนกลุ่มนั้น เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ออกมาในรูปแบบของสมมติฐานสำหรับการสืบเสาะหาความรู้ ตามตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ทั้งส่วนที่รวมทุกองค์ประกอบเข้าด้วยกัน ดังภาพประกอบ 25 และส่วนที่แยกตามองค์ประกอบ ดังภาพประกอบ 26

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	
“ ทำโมลกุลโป่งทั่วไปที่บรรจุด้วยแก๊สฮีเลียม หรือแก๊สไฮโดรเจน จึงมีขนาดเล็กกว่า	
ลูกโป่งทั่วไปที่บรรจุด้วยอากาศ ซึ่งมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สไนโตรเจน และแก๊สออกซิเจน ”	
นำข้อความจากด้านบนมาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สังเกตได้จาก..... เนื่องจาก.....ทำให้..... เพราะ..... จึง..... ดังนั้น..... จึงสรุปได้ว่า.....	
สมมุติฐาน	ไม่มองไร เอะอะ อ.โ.โ. โทณ อยุ่ตาม ลูกโป่ง
เมื่อเราเชื่อว่า ลูกโป่งที่บรรจุด้วยแก๊สฮีเลียม หรือแก๊สไฮโดรเจน มีขนาดเล็กกว่าลูกโป่งทั่วไปที่บรรจุด้วยอากาศ	
สังเกตได้จากการทดลองการแพร่ผ่านขนาดท่อ ได้ผลการทดลองคือ แก๊ส NH_3 ที่มีมวลโมเลกุลน้อยกว่าแก๊ส HCl จะมีอัตราการเคลื่อนที่เร็วกว่า ดังนั้น แก๊สไฮโดรเจนและฮีเลียมที่มีมวลโมเลกุลน้อยกว่าแก๊สไนโตรเจน และ O_2 จึงมีอัตราการเคลื่อนที่เร็วกว่าเช่นกัน รวมไปถึงการศึกษาวัดที่ใช้ในการทำลูกโป่ง ที่มีผลต่อขนาดลูกโป่ง	
ซึ่งได้ผลการศึกษาดังนี้ ลูกโป่งใช้ยางลาเทกซ์ เป็นวัสดุในการทำที่มีโครงสร้างทางเคมีที่เป็นเส้นใยระหว่างโมเลกุล จึงทำให้ลูกโป่งมีรูพรุน เพราะฉะนั้นแก๊สไฮโดรเจนและฮีเลียมที่มีขนาดเล็กมาก ๆ	
ทำให้ลูกโป่งมีขนาดเล็กลง	๔ คะแนน ไม่ได้อธิบาย เอะอะ โทณ โทณ

“เมื่อเราเชื่อว่า ลูกโป่งที่บรรจุด้วยแก๊สฮีเลียมหรือแก๊สไฮโดรเจน มีขนาดเล็กกว่าลูกโป่งทั่วไปที่บรรจุด้วยอากาศ สังเกตได้จาก การทดลองการแพร่ผ่านขนาดท่อ ได้ผลการทดลองคือ แก๊ส NH_3 ที่มีมวลโมเลกุลน้อยกว่าแก๊ส HCl จะมีอัตราการเคลื่อนที่เร็วกว่า ดังนั้น แก๊สไฮโดรเจนและฮีเลียมที่มีมวลโมเลกุลน้อยกว่าแก๊สไนโตรเจนและ O_2 จึงมีอัตราการเคลื่อนที่เร็วกว่าเช่นกัน รวมไปถึงการศึกษาวัดที่ใช้ในการทำลูกโป่งที่มีผลต่อขนาดลูกโป่ง ซึ่งได้ผลการศึกษาดังนี้ ลูกโป่งใช้ยางลาเทกซ์ เป็นวัสดุในการทำที่มีโครงสร้างทางเคมีที่เป็นเส้นใยระหว่างโมเลกุล จึงทำให้ลูกโป่งมีรูพรุน เพราะฉะนั้นแก๊สไฮโดรเจนและฮีเลียมที่มีขนาดเล็กมาก ๆ จึงสามารถแพร่ผ่านรูพรุนได้ ทำให้ลูกโป่งมีขนาดเล็กลง”

ภาพประกอบ 25 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในลักษณะของการตั้งสมมติฐาน
จากใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ส่วนที่รวมทุกองค์ประกอบเข้าด้วยกัน

“ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบูตมีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างไร”

ข้อกล่าวอ้าง (CLAIM; C) เขียนข้อความที่เป็นคำตอบของคำถาม โดยระบุว่า สาเหตุที่ทำให้ถุงแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อวางทิ้งไว้จนบูต เกิดจากอะไร

เมื่อเราเชื่อว่า เมื่อถุงแก๊สที่ขยายขนาดขึ้นเป็นเพราะอาหารบูตทำให้มี gas เกิดขึ้นภายในถุง เราจึงทดลองและผลคือมีแก๊สภายในถุงจริง ๆ

“เมื่อเราเชื่อว่า เมื่อถุงแก๊สที่ขยายขนาดขึ้นเป็นเพราะอาหารบูตทำให้มี gas เกิดขึ้นภายในถุง เราจึงทดลองและผลคือมีแก๊สภายในถุงจริง ๆ”

“ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบูตมีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างไร”

ข้อกล่าวอ้าง (CLAIM; C) เขียนข้อความที่เป็นคำตอบของคำถาม โดยระบุว่า สาเหตุที่ทำให้ถุงแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อวางทิ้งไว้จนบูต เกิดจากอะไร

เมื่อเราเชื่อว่า เมื่อถุงแก๊สที่ขยายขนาดขึ้นเป็นเพราะ อาหารบูตทำให้มีแก๊สเกิดขึ้นในถุง เราจึงทดสอบและผลคือมีแก๊สภายในถุงจริง ๆ

“เมื่อเราเชื่อว่า เมื่อถุงแก๊สที่ขยายขนาดขึ้นเป็นเพราะอาหารบูตทำให้มีแก๊สเกิดขึ้นในถุง เราจึงทดสอบและผลคือมีแก๊สภายในถุงจริง ๆ”

ภาพประกอบ 26 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในลักษณะของการตั้งสมมติฐาน
จากใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ส่วนที่แยกตามองค์ประกอบ

2. การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แยกตามองค์ประกอบ

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ 1) ข้อกล่าวอ้าง (Claim; C) 2) หลักฐาน (Evidence; E) และ 3) การให้เหตุผล (Reasoning; R) การพิจารณาระดับคุณภาพของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลการสร้างองค์ประกอบนั้น ๆ ของนักเรียน ซึ่งได้จากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แต่ละข้อ มาวิเคราะห์ระดับคุณภาพจนครบทั้ง 4 ข้อ แล้วนำระดับคุณภาพที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การแบ่งระดับคุณภาพ ในตาราง 18 ได้ผลดังนี้

2.1 ข้อกล่าวอ้าง

จากการวิเคราะห์คะแนนและระดับคุณภาพของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในองค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้าง นักเรียนแต่ละคน มีคะแนนและระดับคุณภาพ ของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในองค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้าง ดังตาราง 24

ตาราง 24 คะแนนและระดับคุณภาพการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามองค์ประกอบ
ด้านข้อกล่าวอ้างของนักเรียนรายบุคคล

นักเรียน	คะแนน	ระดับคุณภาพ	นักเรียน	คะแนน	ระดับคุณภาพ
S01	7	ดีมาก	S16	6	ดีมาก
S02	7	ดีมาก	S17	3	ควรปรับปรุง
S03	7	ดีมาก	S18	6	ดีมาก
S04	7	ดีมาก	S19	6	ดีมาก
S05	8	ดีมาก	S20	8	ดีมาก
S06	7	ดีมาก	S21	7	ดีมาก
S07	7	ดีมาก	S22	7	ดีมาก
S08	7	ดีมาก	S23	7	ดีมาก
S09	7	ดีมาก	S24	7	ดีมาก
S10	7	ดีมาก	S25	7	ดีมาก
S11	5	ดีมาก	S26	6	ดีมาก
S12	4	ดี	S27	7	ดีมาก
S13	6	ดีมาก	S28	6	ดีมาก
S14	8	ดีมาก	S29	7	ดีมาก
S15	6	ดีมาก	S30	5	ดีมาก

จากตาราง 24 มีนักเรียนที่ได้คะแนนรวมในด้านข้อกล่าวอ้างสูงสุด เต็ม 8 คะแนน จัดอยู่ในระดับดีมาก จำนวน 3 คน ได้แก่ นักเรียน S05 S14 และ S20 นักเรียนได้คะแนนต่ำสุดเท่ากับ 3 คะแนน จัดอยู่ในระดับดี จำนวน 1 คน คือ นักเรียน S17 นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) ด้านข้อกล่าวอ้าง 6.55 คะแนน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) 1.08

จากคะแนนและระดับคุณภาพในการสร้างข้อกล่าวอ้างเป็นรายบุคคลในตาราง 24 สามารถสรุปจำนวนนักเรียนที่มีการสร้างข้อกล่าวอ้างในระดับคุณภาพต่าง ๆ ได้ดังตาราง 25

ตาราง 25 จำนวนและร้อยละของนักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้านข้อกล่าวอ้างในระดับคุณภาพต่าง ๆ

ระดับคุณภาพ	ดีมาก	ดี	ควรปรับปรุง
จำนวน (คน)	28	1	1
ร้อยละ	93.34	3.33	3.33

ในตาราง 25 จะเห็นได้ว่า จากนักเรียนทั้งหมด 30 คน นักเรียนส่วนใหญ่ จำนวน 28 คน สามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ในระดับดีมาก คิดเป็น ร้อยละ 93.34 นักเรียนจำนวน 1 คน สร้างข้อกล่าวอ้างได้ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 3.33 และนักเรียนอีก 1 คน สร้างข้อกล่าวอ้างได้ในระดับควรปรับปรุง คิดเป็นร้อยละ 3.33 เช่นกัน

จากระดับคุณภาพของข้อกล่าวอ้างที่นักเรียนสร้างได้ในแบบวัด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับคุณภาพของข้อกล่าวอ้างที่นักเรียนสร้างได้ในแบบทดสอบตอนท้ายของแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละแผน พบว่า ส่วนใหญ่มีลักษณะคล้ายกัน คือ สร้างข้อกล่าวอ้างได้สมบูรณ์ อยู่ในระดับดีมาก ดังข้อมูลที่แสดงในตาราง 26 เมื่อพิจารณาข้อกล่าวอ้างที่นักเรียนสร้างได้อย่างสมบูรณ์นั้น อาจมีทั้งที่เขียนเป็นประโยคแบบระบุประธาน และไม่ระบุประธาน อาจเขียนเป็นคำหรือกลุ่มคำ ตัวอย่างข้อกล่าวอ้างที่สมบูรณ์ในแต่ละรูปแบบแสดงได้ดังภาพประกอบ 27 และ 28 ตามลำดับ

ตาราง 26 จำนวนนักเรียนที่สร้างข้อกล่าวอ้างได้ในระดับต่าง ๆ แยกตามแบบทดสอบและแบบวัด

ระดับคุณภาพ		แบบทดสอบท้ายแผน					แบบวัด
		1	2	3	4	5	
ดีมาก	จำนวน	16	21	24	11	16	28
	ร้อยละ	53.34*	70.00*	80.00*	36.67	53.34*	93.34*
ดี	จำนวน	13	8	5	12	12	1
	ร้อยละ	43.33	26.67	16.67	40.00*	40.00	3.33
ควร	จำนวน	1	1	1	7	2	1
ปรับปรุง	ร้อยละ	3.33	3.33	3.33	23.33	6.67	3.33

* ร้อยละที่มีปริมาณมากที่สุด

จากสถานการณ์ข้างต้น ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า ขณะที่ลอยแก้วยีนร่อนพนักงานอยู่ในร้าน ลอยแก้วจะได้กลิ่นของดอกไม้ชนิดใดเป็นอันดับแรก

.....ลอยแก้วจะได้กลิ่นของดอกกุหลาบ เป็นดอกแรก เพราะว่า มวลต่อนโมลของดอกกุหลาบ น้อยที่สุด จากกฎของ เกรแฮม มวลต่อนโมลของแก๊สที่เคลื่อนที่เร็วจะไม่เท่ากัน มวลต่อนโมลน้อยกว่า

“ลอยแก้วจะได้กลิ่นของดอกกุหลาบเป็นดอกแรก”

.....ได้กลิ่นของดอกกุหลาบเป็นชนิดแรก โดย จากข้อมูลข้างต้นพบว่า มวลโมเลกุลของ Rose oxide มีโมลโมเลกุลต่ำกว่า สารจากดอกไม้ชนิดอื่น ๆ

“ได้กลิ่นของดอกกุหลาบเป็นชนิดแรก”

จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า แป้งพิซซ่าที่อบ ณ อุณหภูมิเท่าใด จะมีความนุ่มมากที่สุด

.....การอบแป้งพิซซ่า ณ อุณหภูมิที่ 270°C จะทำให้มีความนุ่มมากที่สุด

“การอบแป้งพิซซ่า ณ อุณหภูมิ 270°C จะทำให้มีความนุ่มมากที่สุด”

ภาพประกอบ 27 ตัวอย่างข้อกล่าวอ้างในรูปแบบประโยค จากแบบทดสอบข้อที่ 5 แบบวัดข้อที่ 3

จากสถานการณ์ข้างต้น ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า ขณะที่ลอยแก้วยีนร่อนพนักงานอยู่ในร้าน ลอยแก้วจะได้กลิ่นของดอกไม้ชนิดใดเป็นอันดับแรก

.....ดอกกุหลาบ เพราะว่า จากข้อมูลข้างต้น จะพบว่า มวลต่อนโมลของดอกกุหลาบมีค่าต่ำกว่าสารจากดอกไม้ชนิดอื่น ๆ

“ดอกกุหลาบ”

จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า เสื้อชูชีพพองได้ที่มีขนาดเล็กที่สุด ควรจะมีกระบอกบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หมายเลขใดเป็นส่วนประกอบบนตัวเสื้อ

.....เสื้อหมายเลข 1 เพราะว่า มวลโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าต่ำกว่าแก๊สชนิดอื่น ๆ

“แก๊สหมายเลข 1”

ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างข้อกล่าวอ้างในรูปแบบคำจากแบบทดสอบข้อที่ 5 และแบบวัดข้อที่ 1

เมื่อพิจารณาการสร้างข้อกล่าวอ้างของนักเรียนในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยได้ระบุนำคำถามขึ้นเกี่ยวกับการสร้างข้อกล่าวอ้างไว้อย่างเฉพาะเจาะจงกับสถานการณ์ที่กำลังศึกษา พบว่า นักเรียนสามารถเขียนข้อกล่าวอ้างได้ค่อนข้างสมบูรณ์ทั้งในส่วนที่แยกและรวมองค์ประกอบ โดยข้อกล่าวอ้างที่เขียน จะแสดงในรูปประโยคเท่านั้น ไม่มีการเขียนในรูปของกลุ่มคำ หรือคำ เนื่องจากข้อคำถามที่ใช้เป็นการถามเกี่ยวกับสาเหตุของปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่มีรายละเอียดซับซ้อน ข้อกล่าวอ้างในบางสถานการณ์จึงต้องแสดงการเชื่อมโยงระหว่างสาเหตุและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น เพื่อให้สามารถตอบประเด็นที่กำลังสนใจได้ เช่น สถานการณ์ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง กฎของบอยล์ ที่มีคำถามว่า “ปริมาตรของอากาศที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในปอดได้อย่างไร” ในส่วนแรกที่เป็นการเขียนแยกองค์ประกอบ ผู้วิจัยจะระบุนำคำถามและกำหนดพื้นที่สำหรับการเขียนข้อกล่าวอ้างแยกออกจากองค์ประกอบอื่น ๆ อย่างชัดเจน พร้อมระบุนำคำถามขึ้นว่า เมื่อปริมาตรของอากาศเพิ่มขึ้น ปริมาตรและความดันของอากาศภายในปอดเปลี่ยนแปลงอย่างไร จากตัวอย่างคำตอบในภาพประกอบ 29 จะเห็นว่า ข้อกล่าวอ้างของนักเรียนระบุได้ครบทั้งในประเด็นของปริมาตรและความดันของอากาศภายในปอด และส่วนที่เป็นการเขียนรวมองค์ประกอบ ดังแสดงในภาพประกอบ 30 จะเห็นว่านักเรียนสามารถระบุข้อกล่าวอ้างที่มีทั้งประเด็นของปริมาตรและความดันอากาศภายในปอดได้เช่นกัน ซึ่งในส่วนนี้ผู้วิจัยจะระบุนำคำถามและข้อความขึ้นแนะเอาไว้ว่า เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม โดยประกอบด้วยข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล นำข้อความจากด้านหน้ามาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สังเกตได้จาก เนื่องจาก.....ทำให้..... เพราะ.....จึง..... ดังนั้น..... จึงสรุปได้ว่า.....

ใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ ระดับที่ 1

คำชี้แจง : ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า

“ปริมาตรของช่องอกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในปอดได้อย่างไร”

ข้อกล่าวอ้าง (CLAIM; C) เขียนข้อความที่เป็นคำตอบของคำถาม โดยระบุว่า เมื่อปริมาตรช่องอกเพิ่มขึ้น ปริมาตรและความดันของอากาศภายในปอดเปลี่ยนแปลงอย่างไร

ปริมาตรปอดเพิ่มขึ้น ความดันปอดลดลง ดังกล่าวหาว่าอากาศภายนอก อากาศภายในอก จะเข้าจมูก

“ปริมาตรปอดเพิ่มขึ้น ความดันปอดลดลงต่ำกว่าอากาศภายนอก อากาศภายนอกจึงเข้าจมูก”

ภาพประกอบ 29 การระบุข้อกล่าวอ้างในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

แบบแยกองค์ประกอบ



คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

“ปริมาตรของช่องอกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในปอดได้อย่างไร”

เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม โดยประกอบด้วยข้อกล่าวอ้างหรือคำตอบของคำถาม หลักฐาน และการให้เหตุผล นำข้อความจากด้านหน้า มาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สังเกตได้จาก... เนื่องจาก... ทำให้... เพราะ... จึง... ดังนั้น... จึงสรุปได้ว่า...

เนื่องจากเมื่อปริมาตรของช่องอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันลดลง ทำให้ อากาศภายนอก
มีความดันมากกว่า ความดัน ภายในปอด ทำให้ อากาศเคลื่อนที่ เข้าสู่ ภายในปอด เพราะ
อากาศจะเคลื่อนที่ จากที่ความดันสูง ไปที่ ที่ความดันต่ำ จึงสรุปได้ว่า เมื่อปริมาตร ช่องอกเพิ่ม ความดัน
ในปอดลดลง อากาศเคลื่อนที่ เข้าสู่ ปอด

“เนื่องจากเมื่อปริมาตรของช่องอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันลดลง ทำให้อากาศภายนอก
มีความดันมากกว่าความดันภายในปอด ทำให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในปอด.....”

ภาพประกอบ 30 การระบุข้อกล่าวอ้างในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
แบบรวมองค์ประกอบ

การสร้างข้อกล่าวอ้างเป็นการให้คำตอบหรือข้อสรุปของประเด็นทางวิทยาศาสตร์ที่กำลังสนใจ จากการสังเกตชั้นเรียน ในการเรียนรู้แต่ละครั้ง นักเรียนจะมีการตอบคำถามอยู่เป็นประจำ ทั้งในรูปแบบการตอบปากเปล่า และรูปแบบการเขียนตอบ เช่น ในขั้นตอนที่ 1 ที่ครูผู้สอนจะใช้คำถามเพื่อเชื่อมโยงความรู้เดิมของนักเรียนให้เข้ากับปรากฏการณ์แล้วจึงนำเข้าสู่บทเรียนเกี่ยวกับแก๊ส ซึ่งในทุกคาบเรียนจะมีนักเรียนที่สามารถตอบชุดคำถามที่ครูผู้สอนใช้ในการดึงความรู้และประสบการณ์เดิมได้ ทำให้การนำเข้าสู่บทเรียน สามารถดำเนินได้ตามเวลาที่วางแผนไว้ (บันทึกการสังเกตชั้นเรียน) และในขั้นตอนเดียวกันนี้เอง นักเรียนยังต้องตอบคำถามสำคัญของปรากฏการณ์ที่ศึกษาลงในใบกิจกรรมสืบเสาะ คำถามนั้นอาจเป็นการถามเกี่ยวกับสาเหตุหรือผลกระทบของปรากฏการณ์ หรือ ถามหาเหตุผลในการกระทำบางสิ่ง จากการตรวจให้คะแนนใบกิจกรรมสืบเสาะพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถเขียนตอบคำถามได้ แต่อาจจะเขียนตอบในลักษณะที่แตกต่างกัน ขึ้นกับความรู้และประสบการณ์เดิมของนักเรียนในกลุ่ม ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงได้ดังภาพประกอบ 31 นอกจากขั้นตอนที่ 1 แล้ว ขั้นตอนที่ 3 ก็เป็นอีกช่วงที่ครูผู้สอนจะใช้คำถามค่อนข้างมาก เพราะจะต้องเชื่อมโยงข้อมูลที่รวบรวมมาให้เข้ากับสถานการณ์ โดยเมื่อนักเรียนตอบคำถามมาแล้ว ครูจะมีการทวนคำตอบของนักเรียนทุกครั้ง ก่อนที่จะเชื่อมโยงไปยังส่วนถัดไป ตัวอย่างคำถามที่ครู B ใช้ และการตอบคำถามของนักเรียน ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง กฎของอาโวกาโดร เป็นดังนี้

ครู B : จากที่นักเรียนสแกนคิวอาร์โค้ด ปฏิบัติการบูดเน่าของอาหารเป็นปฏิกิริยาอะไร

นักเรียน : เป็นการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ครู B : เป็นการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน จึงทำให้มีแก๊สเกิดขึ้นหลายชนิด แสดงว่าเวลาที่เกิดการบูดเน่าขึ้น ภายในถุงจะมีแก๊สมากหรือน้อย

นักเรียน : เยอะ

ครู B : มันน่าจะมีแก๊สเกิดขึ้นเยอะ พอแก๊สเกิดขึ้นเยอะ ถุงจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

นักเรียน : บวม

ครู B : การที่ถุงมันพองขึ้นหรือบวมขึ้น แปลว่า ปริมาตรของถุงมันเยอะหรือน้อย

นักเรียน : เยอะ

ครู B : เนื่องจากนักเรียนตอบว่า แก๊สภายในถุงเยอะขึ้น ถุงเลยเกิดการบวม เราจึงจะช่วยกันทดสอบในส่วนถัดไปว่า จะเป็นเหมือนที่นักเรียนตอบหรือไม่

?	ทำไมจึงต้องเตรียมออกซิเจนกระป๋องเมื่อจะไปท่องเที่ยวที่เมืองลาซา ในทิเบต ซึ่งมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 4,000 เมตร
เพราะว่าเมื่อขึ้นสู่ที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล ออกซิเจนจึงมีน้อยลง	
?	แก๊สกระป๋องที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาชาบูหรือหมุกระทะ เกิดการระเบิดได้อย่างไร
- ใช้แก๊สเวลาที่กำหนด - อุปกรณ์สูงเกิน และ ความดันไม่ได้ - ภายในมีแรงดัน และ กระป๋องมีลักษณะ	

ภาพประกอบ 31 ตัวอย่างการเขียนตอบคำถามสำคัญในหน้าแรกของใบกิจกรรมสืบเสาะ

2.2 หลักฐาน

จากการวิเคราะห์คะแนนและระดับคุณภาพของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในองค์ประกอบด้านหลักฐาน นักเรียนแต่ละคน มีคะแนนและระดับคุณภาพ ของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในองค์ประกอบด้านหลักฐาน ดังตาราง 27

ตาราง 27 คะแนนและระดับคุณภาพการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามองค์ประกอบ
ด้านหลักฐานของนักเรียนรายบุคคล

นักเรียน	คะแนน	ระดับคุณภาพ	นักเรียน	คะแนน	ระดับคุณภาพ
S01	2	ควรปรับปรุง	S16	4	ดี
S02	2	ควรปรับปรุง	S17	1	ควรปรับปรุง
S03	4	ดี	S18	2	ควรปรับปรุง
S04	2	ควรปรับปรุง	S19	1	ควรปรับปรุง
S05	3	ควรปรับปรุง	S20	0	ควรปรับปรุง
S06	2	ควรปรับปรุง	S21	2	ควรปรับปรุง
S07	1	ควรปรับปรุง	S22	2	ควรปรับปรุง
S08	2	ควรปรับปรุง	S23	2	ควรปรับปรุง
S09	2	ควรปรับปรุง	S24	1	ควรปรับปรุง
S10	3	ดี	S25	2	ควรปรับปรุง
S11	4	ดี	S26	4	ดี
S12	3	ดี	S27	1	ควรปรับปรุง
S13	4	ดี	S28	2	ควรปรับปรุง
S14	5	ดี	S29	4	ดี
S15	3	ควรปรับปรุง	S30	2	ควรปรับปรุง

ในด้านหลักฐาน จากคะแนนเต็ม 8 คะแนน มีนักเรียนได้คะแนนสูงสุดเท่ากับ 5 คะแนน จัดอยู่ในระดับดี จำนวน 1 คน ได้แก่ นักเรียน S14 มีนักเรียนได้คะแนนต่ำสุดเท่ากับ 1 คะแนน จัดอยู่ในระดับควรปรับปรุง จำนวน 5 คน คือ นักเรียน S07 S17 S19 S24 และ S27 การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในองค์ประกอบด้านหลักฐานนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 2.41 ซึ่งลดลงจากด้านข้อกล่าวอ้าง และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 1.17

จากคะแนนรวมรายด้านและระดับคุณภาพของหลักฐานที่นักเรียนแต่ละคนสร้างได้ สามารถสรุปจำนวนนักเรียนที่มีการสร้างหลักฐานในระดับคุณภาพต่าง ๆ ได้ดังตาราง 28

ตาราง 28 จำนวนและร้อยละของนักเรียนที่มีคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้านหลักฐานในระดับคุณภาพต่าง ๆ

ระดับคุณภาพ	ดีมาก	ดี	ปรับปรุง
จำนวน (คน)	0	9	21
ร้อยละ	0.00	30.00	70.00

ในตาราง 28 จะเห็นได้ว่า จากนักเรียนทั้งหมด 30 คน นักเรียนส่วนใหญ่ จำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 70.00 สามารถสร้างหลักฐานได้ในระดับควรปรับปรุง นักเรียนจำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 36.67 สร้างหลักฐานได้ในระดับดี และไม่มีนักเรียนคนใดสร้างหลักฐานในระดับดีมากได้

จากระดับคุณภาพของหลักฐานที่นักเรียนเลือกมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างในแบบวัด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับคุณภาพของหลักฐานที่นักเรียนเลือกมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ในแบบทดสอบตอนท้ายของแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละแผน พบว่า มีความแตกต่างกัน คือ ในแบบทดสอบตอนท้ายของแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 – 5 นักเรียนส่วนใหญ่จะเลือกหลักฐานมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้ในระดับดี แตกต่างจากในแบบวัด ที่นักเรียนส่วนใหญ่จะเลือกหลักฐานมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้ในระดับควรปรับปรุง ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนและร้อยละ ในแบบทดสอบตอนท้ายของแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ดังข้อมูลที่แสดงในตาราง 29

ตาราง 29 จำนวนนักเรียนที่สร้างหลักฐานได้ในระดับต่าง ๆ แยกตามแบบทดสอบและแบบวัด

ระดับคุณภาพ		แบบทดสอบท้ายแผน					แบบวัด
		1	2	3	4	5	
ดีมาก	จำนวน	0	1	0	1	7	0
	ร้อยละ	0.00	3.33	0.00	3.33	23.33	0.00
ดี	จำนวน	9	15	23	22	16	9
	ร้อยละ	30.00	50.00*	76.67*	73.34*	53.34*	30.00
ควร	จำนวน	21	14	7	7	7	21
ปรับปรุง	ร้อยละ	70.00*	46.67	23.33	23.33	23.33	70.00*

* ร้อยละที่มีปริมาณมากที่สุด

ในแบบวัดและแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ หลักฐานเป็นองค์ประกอบที่นักเรียนไม่ต้องสร้างด้วยตนเอง อาศัยการพิจารณาข้อมูลประกอบสถานการณ์แล้วเลือกข้อมูลที่เหมาะสม มาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างของตนเอง จากการวิเคราะห์การเลือกหลักฐานของนักเรียนที่อยู่ในระดับดีและควรปรับปรุง พบว่า นักเรียนมีการใช้หลักฐานในหลายลักษณะ ตั้งแต่ไม่มีการระบุหลักฐาน เขียนเพียงข้อกล่าวอ้างและหลักการทางวิทยาศาสตร์ ดังภาพประกอบ 32 หรือ ระบุเพียงที่มาของหลักฐาน เช่น สังเกตจากกราฟ พิจารณาจากแผนภาพ โดยไม่ได้ระบุว่า แหล่งที่มานั้นแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างไร หรือไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนว่า เลือกข้อมูลตรงส่วนไหนมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง โดยเฉพาะข้อมูลประกอบสถานการณ์ที่เป็นตารางที่มีข้อมูลหลายอย่างประกอบกัน แสดงได้ดังภาพประกอบ 33 หรืออาจจะระบุทั้งที่มาและรายละเอียดของหลักฐานว่า แหล่งที่มาคืออะไร ข้อมูลในแหล่งนั้นแสดงให้เห็นถึงอะไร ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 34

“ทำไมจึงต้องเตรียมออกซิเจนกระป๋องเมื่อจะไปท่องเที่ยวที่เมืองสาซา ในทิเบต
ซึ่งมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 4,000 เมตร”
นำข้อความจากด้านบนมาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สังเกตได้จาก..... เนื่องจาก.....ทำให้..... เพราะ.....จึง..... ดังนั้น..... จึงสรุปได้ว่า.....
ที่เขารู้สึกหิวและอยากกินอาหารเมื่อไปถึงเวลาค่ำ ก็นั่งอยู่ที่สูง นั่งพัก นอนอยู่ในระดับสูง
ทำให้ตามต้น และบริเวณ นั้นต่ำ ทำให้ จำนวนโมเลกุลของอากาศลดต่ำลงไปด้วย จึงทำให้
พบในอากาศ ลด น้อยลงตามไปด้วย ตามกฎของบอยล์ จึงเป็นสาเหตุในเกิด
โรคแพ้ความสูง

ภาพประกอบ 32 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่มีกระบวนการพื้นฐาน

[illegible]

“ขณะที่ล้อยแก้วรออยู่ ลอยแก้วจะได้กลิ่นของดอกกุหลาบเป็นชนิดแรง เพราะถ้ามวลดต่อโมลมาก จะระเหยน้อย ส่วนมวลดต่อโมลน้อยจะระเหยมาก จึงทำให้จะได้กลิ่นดอกกุหลาบเป็นอย่างแรง **ดูได้จากตารางที่ 1** และในร้านดอกไม้มีการเปิดแอร์ จึงทำให้อากาศเย็น จึงทำให้งังไม่ถึงจุดเดือดทำให้เกิดการระเหยได้”

ภาพประกอบ 33 การระบุหลักฐานในลักษณะที่บอกเฉพาะแหล่งที่มาของข้อมูล

จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็น
 ในบริเวณใกล้ผิวน้ำจะมีขนาดเป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดที่สังเกตได้ในตอนแรก ณ บริเวณใต้น้ำ
ฟองอากาศที่ใกล้ผิวน้ำจะมีขนาดใหญ่ขึ้นจนเกือบจะแตกกว่าฟองอากาศที่คัลเลนเห็นบริเวณใต้น้ำ ซึ่งหลักฐาน
มาจากภาพของเตาที่จุดไฟใต้กับคัลเลน และ กราฟความสัมพันธ์ ที่ทำไว้พบว่า ยิ่งลึก
ก็จะยิ่งสูง ซึ่งจากที่จุดไฟจุดไว้ว่า ให้ฟองอากาศเล็กลง แต่เมื่อเราขึ้นไปบนผิวน้ำ ความดัน
ก็จะน้อยลง ส่งผลให้ฟองมีขนาดใหญ่ขึ้น

“ฟองอากาศที่คัลเลนเห็นบริเวณผิวน้ำมีขนาดใหญ่กว่าฟองอากาศที่คัลเลนเห็นบริเวณใต้น้ำ ซึ่ง
 หลักฐานมาจากภาพของเตาที่จุดไฟใต้กับคัลเลน และ กราฟความสัมพันธ์ ทำให้พบว่า ยิ่งลึก
ความดันก็จะยิ่งสูง ซึ่งจากที่จุดไฟจุดไว้ว่า ให้ฟองอากาศเล็กลง แต่เมื่อเราขึ้นไปบนผิวน้ำ ความดัน
 ก็จะน้อยลง ส่งผลให้ฟองมีขนาดใหญ่ขึ้น”

ภาพประกอบ 34 การระบุหลักฐานในลักษณะที่บอกทั้งที่มาและรายละเอียดของข้อมูล

จากการวิเคราะห์ใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในส่วนแรก
 ที่เป็นการเขียนแยกองค์ประกอบ พบว่า การใช้คำถามชี้แนะของผู้วิจัยที่มีจำนวนข้อเท่ากัน และ
 ถามในลักษณะเดียวกัน ส่งผลให้นักเรียนระบุหลักฐานที่มีลักษณะแตกต่างกันสามแบบ ได้แก่

1) ระบุว่า หลักฐานชิ้นนั้นมาจากที่ใดและข้อมูลนั้นบ่งบอกรายละเอียดเรื่องใด โดยระบุได้
 เพียงบางส่วนเท่านั้น ไม่ได้ขยายความจนครบถ้วนทั้งหมด ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 35

หลักฐาน (EVIDENCE; E) เขียนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการสำรวจ ทดลอง หรือสืบค้นจากแหล่งที่น่าเชื่อถือที่เหมาะสมและเพียงพอ ในการทำให้ค้นคล้อยตามข้อกล่าวอ้าง โดยระบุ (1) สรุปผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของอวัยวะภายในช่องอก (2) สรุปผลการทดลอง ที่ได้จาก Phet interactive simulations (3) ค่าปริมาณของปอดในขณะที่ยายใจเข้า ที่อ่านได้จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของปอดในขณะต่าง ๆ (4) ค่าความดันภายในปอด ณ ขณะที่ยายใจเข้า จากแผนภาพแสดงการเปรียบเทียบความดันของอากาศภายในปอดกับความดันอากาศภายนอก
- จากแบบจำลองของปอดด้วยลูกโป่งสรุปได้ว่า เมื่อเราดึงลูกโป่งด้านล่าง ลูกโป่งที่จำลองจะขยายตัวมากขึ้น - จาก Phet interactive simulations สรุปได้ว่า เมื่อปริมาตรของอากาศในช่องอก ลดลง ปริมาตรของปอดจะลดลงด้วย - เมื่อหายใจเข้า ปริมาตรของปอดจะอยู่ที่ 3.45 ลิตร แต่เมื่อหายใจออก ปริมาตรของปอดจะอยู่ที่ 5 ลิตร - จลนขยายเข้า ค่าความดันภายในปอดจะอยู่ที่ 157 mmHg เมื่อความดันอากาศภายนอกมีค่า 760 mmHg ดังนั้นความดันภายในปอดจะน้อยกว่า

“จากแบบจำลองปอดด้วยลูกโป่ง สรุปได้ว่า เมื่อเราดึงลูกโป่งด้านล่าง ลูกโป่งที่จำลอง
 เป็นปอด จะขยายตัวมากขึ้น จาก Phet interactive simulations สรุปได้ว่า เมื่อปริมาตร
 ของอากาศในช่องอก ลดลง ปริมาตรของปอดจะลดลงด้วย ดังนั้น ปริมาตรแปรผกผันกับความดัน”

ภาพประกอบ 35 การระบุหลักฐานในใบกิจกรรมเสริมต่อการบอกทั้งที่มาและรายละเอียดของข้อมูล

2) ระบุเฉพาะที่มาของข้อมูลสนับสนุนว่ามาจากที่ใด และระบุได้ครบถ้วนตามจำนวนคำถามชี้แนะที่มี แสดงได้ดังภาพประกอบ 36

หลักฐาน (EVIDENCE; E) เขียนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการสำรวจ ทดลอง หรือสืบค้นจากแหล่งที่น่าเชื่อถือที่เหมาะสมและเพียงพอในการทำให้นักเรียนตามข้อกล่าวอ้าง โดยระบุ (1) สรุปผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของอวัยวะภายในช่องอก (2) สรุปผลการทดลองที่ได้จาก Phet interactive simulations (3) ค่าปริมาตรของปอดในขณะหายใจเข้า ที่อ่านได้จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของปอดในขณะต่าง ๆ (4) ค่าความดันภายในปอด ณ ขณะหายใจเข้า จากแผนภาพแสดงการเปรียบเทียบความดันของอากาศภายในปอดกับความดันอากาศภายนอก
- แบบจำลองของรูปร่างปอดที่ทำหน้าเป็นปอด - หลักฐานจากการทดลองความดันและปริมาตรหรือ Phet Simulation interactive - หลักฐานปริมาตรปอดเพื่อหายใจเข้าและหายใจออก - รูปภาพความดันและปริมาตรปอดเทียบกับความดันอากาศภายนอก

ภาพประกอบ 36 การระบุหลักฐานในใบกิจกรรมเสริมต่อที่บอกเฉพาะที่มาของข้อมูล

3) ระบุข้อมูลสนับสนุนพร้อมเชื่อมโยงกับข้อกล่าวอ้าง โดยไม่มีหลักการทางวิทยาศาสตร์รองรับ ดังภาพประกอบ 37

หลักฐาน (EVIDENCE; E) เขียนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการสำรวจ ทดลอง หรือสืบค้นจากแหล่งที่น่าเชื่อถือที่เหมาะสมและเพียงพอในการทำให้นักเรียนตามข้อกล่าวอ้าง โดยระบุ (1) สรุปผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงของอวัยวะภายในช่องอก (2) สรุปผลการทดลองที่ได้จาก Phet interactive simulations (3) ค่าปริมาตรของปอดในขณะหายใจเข้า ที่อ่านได้จากกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของปอดในขณะต่าง ๆ (4) ค่าความดันภายในปอด ณ ขณะหายใจเข้า จากแผนภาพแสดงการเปรียบเทียบความดันของอากาศภายในปอดกับความดันอากาศภายนอก
- จากการทดลองแบบจำลอง พบว่า เมื่อตั้งลูกโป่งตรงทำยกลง (เพิ่มปริมาณ) ทำให้ลูกโป่งภายในช่อง ปริมาตรปอดเพิ่มขึ้น ทำให้มีอากาศเข้าสู่ปอด - จาก Phet interactive พบว่า ยิ่งลดปริมาตรลง ความดันยิ่งเพิ่ม - ค่าความดันภายในปอด มีน้อยกว่าภายนอก ทำให้อากาศไหลเข้ามาตามภาพ claim

“จากการทดลองจากแบบจำลองพบว่า เมื่อตั้งลูกโป่งตรงทำยกลง (เพิ่มปริมาณ) ทำให้ลูกโป่งภายในช่อง ปริมาตรปอดเพิ่มขึ้น ทำให้มีอากาศเข้าสู่ปอด จาก Phet interactive พบว่า ยิ่งลดปริมาตรลง ความดันยิ่งเพิ่ม ค่าความดันภายในปอดมีน้อยกว่าภายนอก ทำให้อากาศไหลเข้ามาตามภาพ”

ภาพประกอบ 37 การเชื่อมโยงหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง โดยไม่มีกฎของแก๊สมารองรับ

การระบุหลักฐานในลักษณะที่ 1) และ 2) จะเหมือนกับการระบุหลักฐานในแบบวัดและแบบทดสอบ แต่ลักษณะที่ 3) จะแตกต่างจากการระบุหลักฐานในแบบวัดและแบบทดสอบ

ในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายวิทยาศาสตร์ที่เป็นการนำเอาแต่ละองค์ประกอบมาเขียนรวมกัน พบว่า มีลักษณะที่เหมือนกับในส่วนแรก รวมถึงในแบบวัดและแบบทดสอบ คือ 1) ระบุหลักฐานในลักษณะที่บอกที่มาพร้อมรายละเอียดของหลักฐาน 2) บอกที่มาเพียงอย่างเดียว โดยมีทั้งที่ 2.1) บอกที่มาของหลักฐานได้ครบถ้วนทุกชั้น และ 2.2) บอกที่มาของหลักฐานได้เพียงบางชั้น และ 3) ไม่ระบุหลักฐาน ลักษณะการระบุหลักฐานแต่ละแบบแสดงได้ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 38 ถึง 41 ตามลำดับ



คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

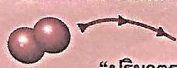
“ปริมาตรของช่องอกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในปอดได้อย่างไร”

เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม โดยประกอบด้วยข้อกล่าวอ้างหรือคำตอบของคำถาม หลักฐาน และการให้เหตุผล นำข้อความจากด้านหน้ามาเรียบเรียงต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สิ่งเกิดได้จาก..... เนื่องจาก..... ทำให้..... เพราะ..... จึง..... ดังนั้น..... จึงสรุปได้ว่า.....

..... เมื่อปริมาตรภายในช่องอกเพิ่มขึ้น ความดันจะลดลง สิ่งเกิดได้จากการทดลองแบบจำลองของปอดด้วยลูกโป่งที่เมื่อเราดึงลูกโป่งที่อยู่ด้านล่าง ลูกโป่งที่จำลองปอดจะขยายใหญ่ขึ้นเปรียบเทียบกับปอดของมนุษย์ เมื่อกระบังลมลดตัวต่ำลง ปริมาตรภายในช่องอกจะเพิ่มมากขึ้น ปอดจะขยายตัวตามแบบจำลองของลูกโป่ง และจากการทดลองด้วย Phet interactive simulations เมื่อจำนวนอนุภาคและอุณหภูมิเท่ากัน ทำให้ได้ผลการทดลองว่า เมื่อปริมาตรของช่องอกเพิ่มขึ้น ความดันภายในช่องอกจะลดลง และเมื่อ ปริมาตรภายในช่องอกเพิ่มขึ้น ความดันภายในช่องอกจะเพิ่มมากขึ้น รวมไปถึงสังเกตว่าการเคลื่อนที่ของอากาศ ที่เคลื่อนที่จาก ความดันสูงไปยังความดันต่ำ เช่นเดียวกับปอดที่เมื่อความดันภายในช่องอกน้อยกว่า ความดันภายนอกจะหายใจเข้า และเมื่อความดันภายในช่องอกมากกว่าความดันภายนอก จะหายใจออก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่อปริมาตรของช่องอกที่เพิ่มขึ้น ความดันภายในช่องอกจะลดลงน้อยกว่าความดันภายนอก ทำให้เกิดการเคลื่อนที่จากภายนอกที่มีค่าความดันสูง เข้ามาภายในช่องอกที่มีความดันต่ำ ที่เรียกว่า หายใจเข้า

“.....สังเกตได้จากการทดลองแบบจำลองของปอดด้วยลูกโป่งที่เมื่อเราดึงลูกโป่งที่อยู่ด้านล่าง ลูกโป่งที่จำลองเป็นปอดจะขยายใหญ่ขึ้นเปรียบเทียบกับปอดของมนุษย์ เมื่อกระบังลมลดตัวต่ำลง ปริมาตรภายในปอดจะเพิ่มมากขึ้น ปอดจะขยายตัวตามแบบจำลองของลูกโป่ง และจากการทดลองด้วย Phet interactive simulations เมื่อจำนวนอนุภาคและอุณหภูมิเท่ากัน ทำให้ได้ผลการทดลองว่า เมื่อปริมาตรของช่องอกเพิ่มขึ้น ความดันภายในปอดจะต่ำลง และเมื่อปริมาตรภายในช่องอกลดน้อยลง ความดันภายในปอดจะมากขึ้น.....”

ภาพประกอบ 38 การระบุหลักฐานในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อ
ในลักษณะที่บอกทั้งที่มาและรายละเอียดของหลักฐาน

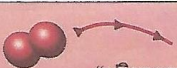
 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

“ปริมาตรของช่องอกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในปอดได้อย่างไร”

เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม โดยประกอบด้วยข้อกล่าวอ้างหรือคำตอบของคำถาม หลักฐาน และการให้เหตุผล นำข้อความจากด้านหน้า มาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สิ่งเกิดได้จาก..... เนื่องจาก.....ทำให้..... เพราะ.....จึง..... ดังนั้น..... จึงสรุปได้ว่า.....

..... ปริมาตรปอดเพิ่มขึ้น ความดันภายในปอดลดลงสังเกตได้จาก 1) หลบจับหลอดลูกโป่งที่ทำหน้าที่.....
 2) หลักฐานการทำการทดลอง Phet simulation interactive 3) หลักฐานจากการหายใจ-ออก
 4) รูปถ่ายของปริมาตรและระดับของปอดเกี่ยวกับความดันภายนอกปอด เนื่องจากการหายใจเข้าจะทำให้
 กระบังลมหดตัวลง ทำให้ปอดขยายใหญ่ขึ้น แต่ความดันภายในจะลดลงต่ำกว่า ความดันนอกปอด จาก
 ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศ อากาศจะเคลื่อนที่จากความดันสูงไปยังความดันต่ำ เพราะสอดคล้อง
 กับการหายใจเข้าโดยธรรมชาติ เมื่อหายใจเข้าอากาศจากภายนอกซึ่งมีความดันสูงเคลื่อนที่เข้าภายในปอด
 ซึ่งมีความดันต่ำ จึงมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้น ปริมาตรปอดเพิ่มขึ้น ความดันลดลง
 จึงสรุปได้ว่า $V \propto \frac{1}{p}$ เป็นไปตามกฎของบอยล์

ภาพประกอบ 39 การระบุหลักฐานในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อ
 ในลักษณะที่บอกที่มาของหลักฐานได้ครบถ้วน

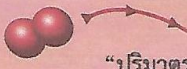
 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

“ปริมาตรของช่องอกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในปอดได้อย่างไร”

เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม โดยประกอบด้วยข้อกล่าวอ้างหรือคำตอบของคำถาม หลักฐาน และการให้เหตุผล นำข้อความจากด้านหน้า มาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สิ่งเกิดได้จาก..... เนื่องจาก.....ทำให้..... เพราะ.....จึง..... ดังนั้น..... จึงสรุปได้ว่า.....

..... ปริมาตรปอดเพิ่มขึ้น ความดันภายในปอดจะลดลง สังเกตได้จากกระบังลมจะหดตัวลง
 จะยกตัวสูงขึ้น กระบังลมลดต่ำลง ทำให้ปริมาตรช่องอกขยาย ปริมาตรปอดมากขึ้น หากปริมาตรปอด
 เพิ่มขึ้น ความดันจะลดลง และความดันสูงจะเคลื่อนที่ไปยังความดันต่ำ นอกจากนี้ ยังได้ทำการทดลองโดยใช้
 ไซคลิกโป่งและเว็บไซต์ Phet interactive simulations ทำให้ทราบว่า เมื่อหายใจเข้าช่องอกจะขยาย
 ในขึ้น สัมพันธ์กับการทดลองโดยใช้ลูกโป่งเพื่อถึงแผ่นยาง ความดันอากาศภายในกล่อง
 ลดลงทำให้อากาศจากภายนอกเคลื่อนที่เข้าสู่อากาศในลูกโป่ง นอกจากนี้ยังทราบได้ว่าอากาศที่มีความกดอากาศสูง
 หรืออากาศเย็นจะเคลื่อนที่เข้าสู่อากาศที่มีความกดอากาศต่ำ หรือ อากาศร้อน ด้วยเหตุผลนี้กล่าวจึงสรุป
 ได้ว่า เมื่อหายใจเข้า ปริมาตรช่องอกจะเพิ่มขึ้น ความดันจะลดลง ทำให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ปอดได้

ภาพประกอบ 40 การระบุหลักฐานในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อ
 ในลักษณะที่บอกที่มาของหลักฐานได้เพียงบางส่วน



คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

“ปริมาตรของช่องอกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในปอดได้อย่างไร”

เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม โดยประกอบด้วยข้อกล่าวอ้างหรือคำตอบของคำถาม หลักฐาน และการให้เหตุผล นำข้อความจากด้านหน้า มาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สังเกตได้จาก... เนื่องจาก... ทำให้... เพราะ... จึง... ดังนั้น... จึงสรุปได้ว่า...

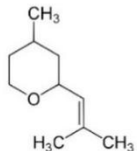
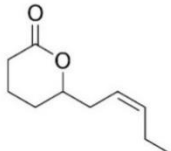
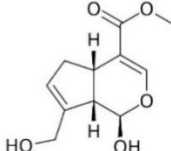
เนื่องจากเมื่อปริมาตรของช่องอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันลดลง ทำให้ อากาศภายนอก มีความดันมากกว่า ความดัน ภายในปอด ทำให้ อากาศเคลื่อนที่ เข้าสู่ ภายในปอด เพราะ อากาศจะเคลื่อนที่ จากที่ความดันสูง ไปที่ ที่ความดันต่ำ จึงสรุปได้ว่า เมื่อปริมาตร ช่องอกเพิ่ม ความดัน ในปอดลดลง อากาศเคลื่อนที่ เข้าสู่ ปอด

“เนื่องจากเมื่อปริมาตรของช่องอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันลดลง ทำให้อากาศภายนอก มีความดันมากกว่าความดันภายในปอด ทำให้อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในปอดเพราะอากาศ จะเคลื่อนที่จากที่ความดันสูงไปต่ำจึงสรุปได้ว่า เมื่อปริมาตรช่องอกเพิ่ม ความดันในปอดลดลง อากาศเคลื่อนที่เข้าสู่ปอด”

ภาพประกอบ 41 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในใบกิจกรรมเสริมต่อที่ไม่มีภาระระบุหลักฐาน

นอกจากการระบุหลักฐานในลักษณะข้างต้นแล้ว ในแบบวัดและแบบทดสอบการสร้าง คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนยังมักจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองภายในชั้นเรียนมาใช้ เป็นหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ซึ่งหลักฐานที่เป็นผลการทดลองในชั้นเรียนนั้น จะไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่ให้ในข้อคำถาม แม้ว่าหลักฐานดังกล่าวจะเป็นไปตามกฎของ นักวิทยาศาสตร์ข้อเดียวกัน เช่น แบบทดสอบท้ายแผนจัดการเรียนรู้ที่ 5 ที่ถามเกี่ยวกับการได้กลิ่น ของดอกไม้ หลักฐานที่ต้องใช้เพื่อสนับสนุนข้อกล่าวอ้างมีเพียงมวลต่อโมล ของกลิ่นดอกไม้ที่ระบุ ไว้ในตารางข้อมูลประกอบสถานการณ์เท่านั้น แต่นักเรียนระบุผลการทดลองการแพร่ระหว่างแก๊ส แอมโมเนีย และแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์มาเป็นหลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างด้วย ซึ่งผลการ ทดลองข้างต้น จะใช้สำหรับสถานการณ์ในชั้นเรียน ทำให้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ใน แบบทดสอบท้ายแผน มีทั้งหลักฐานที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องปนกัน ซึ่งจัดอยู่ในการสร้างหลักฐานที่ มีคุณภาพระดับดี ดังภาพประกอบ 42

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับน้ำมันหอมระเหยของดอกไม้สามชนิดที่ลอยแก้วต้องการซื้อ

ดอกไม้	กุหลาบ	มะลิ	พุดซ้อน
			
สารเคมี	Rose oxide	Jasmine lactone	Genipin
สูตรโมเลกุล	$C_{10}H_{18}O$	$C_{10}H_{16}O_2$	$C_{11}H_{14}O_5$
สูตรโครงสร้าง			
มวลต่อโมล (g/mol)	154.25	168.23	226.22

จากสถานการณ์ข้างต้น ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า **ขณะที่ลอยแก้วยีนร**
พนักงานอยู่ในร้าน ลอยแก้วจะได้กลิ่นของดอกไม้ชนิดใดเป็นอันดับแรก

ขณะที่ลอยแก้วยีนรอยู่ในร้าน ลอยแก้วจะได้กลิ่นของดอกกุหลาบก่อน เพราะกลิ่นของกุหลาบจะลอยตัวขึ้นเร็วกว่ากลิ่นของดอกมะลิและดอกพุดซ้อน เนื่องจากกุหลาบมีมวลโมเลกุลน้อยกว่ามะลิและพุดซ้อน จึงลอยตัวขึ้นได้เร็วกว่า

เพราะกลิ่นของกุหลาบจะลอยตัวขึ้นเร็วกว่ากลิ่นของดอกมะลิและดอกพุดซ้อน เนื่องจากกุหลาบมีมวลโมเลกุลน้อยกว่ามะลิและพุดซ้อน จึงลอยตัวขึ้นได้เร็วกว่า

การที่ลอยแก้วยีนรจะได้กลิ่นของดอกกุหลาบก่อน เนื่องจากกุหลาบมีมวลโมเลกุลน้อยกว่ามะลิและพุดซ้อน จึงลอยตัวขึ้นได้เร็วกว่า

ภาพประกอบ 42 ข้อมูลประกอบสถานการณ์ และการระบุหลักฐานที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องร่วมกัน

ในแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์บางข้อ ที่ผู้วิจัยได้แทรกหลักฐานลงเข้าไปในข้อมูลประกอบสถานการณ์ด้วยนั้น พบว่า มีนักเรียนบางส่วนนำหลักฐานลงมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง เช่น ใช้อัตราส่วนในการสร้างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของยีสต์ เพื่อสนับสนุนข้อกล่าวอ้างว่าแป้งขนมปังจะเกิดการขยายตัว เมื่อพักไว้ ดังภาพประกอบ 43 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวไม่จำเป็นต้องใช้ อาศัยเพียงสมการการย่อยสลายน้ำตาลของยีสต์ เพื่อบ่งบอกว่ามีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น แผนภาพแสดงโครงสร้างของกลูเตน เพื่อบ่งบอกว่า ภายในแป้งมีโครงสร้างที่สามารถกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และภาพแสดงขั้นตอนการทำขนมปัง ที่แสดงให้เห็นว่าก้อนแป้งขยายตัวเมื่อเวลาผ่านไป ก็สามารถสนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้อย่างชัดเจน

จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า ในระหว่างที่พริกแป้งขนมปังทิ้งไว้ก่อนนำไปอบ ขนาดของแป้งขนมปังจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร พร้อมให้หลักฐานและเหตุผลประกอบว่า ทำไมขนาดของแป้งขนมปังจึงมีลักษณะเป็นเช่นนั้น

ขนาดของแป้งมีการเปลี่ยนแปลง เปรียบแป้งดิบกับแป้งที่ขึ้นฟู เนื่องจากเกิดการย่อยสลายของยีสต์ และน้ำตาล
 เนื่องจากยีสต์ 1 g สร้างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งในแต่ละครั้ง จะใช้ยีสต์ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความต้องการ และในแป้งสาธิตมี Gliadin และ
 Glutenin อยู่ ทำให้เกิดโครงสร้าง คือ Gluten ซึ่งจะช่วยกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์
 ซึ่งช่วยพองแป้งและทำให้แป้งนุ่มขึ้นได้

“ขนาดของแป้งมีการเปลี่ยนแปลงโดยแป้งมีขนาดพูนขึ้น เนื่องจากเกิดการย่อยสลายของยีสต์และน้ำตาล เนื่องจากยีสต์ 1 g สร้างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งในแต่ละครั้ง จะใช้ยีสต์ไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความต้องการ และในแป้งสาธิตมี Gliadin และ Glutenin อยู่ ทำให้เกิดโครงสร้าง คือ Gluten ซึ่งจะช่วยกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ขนมปังมีขนาดใหญ่ขึ้นได้”

ภาพประกอบ 43 การเลือกหลักฐานลงมาสสนับสนุนข้อกล่าวอ้างในแบบทดสอบท้ายแผน

ในแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตอนท้าย ยังคงพบนักเรียนนำหลักฐานลงมาสสนับสนุนข้อกล่าวอ้างเช่นกัน คือ ในแบบวัดข้อที่ 1 นักเรียนเลือกวัยของเด็กมาเป็นหลักฐานเพื่อสนับสนุนว่า ควรใช้กระบอกบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หมายเลข 1 สำหรับเสื้อชูชีพที่มีขนาดเล็กที่สุด ดังภาพประกอบ 44 หลักฐานที่นักเรียนเลือกมาจึงมีทั้งหลักฐานที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องปนกัน เนื่องจากค่ามวลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่บรรจุในกระบอกและค่าแรงพยุงที่กระบอกสร้างได้ เพียงพอที่จะสนับสนุนข้อกล่าวอ้างแล้ว โดยหลักฐานที่เป็นมวลของแก๊สจะเชื่อมโยงกับข้อกล่าวอ้างโดยใช้กฎของอาโวกาโดร และหลักฐานที่เป็นค่าแรงพยุง จะเชื่อมโยงโดยใช้หลักการของแรงพยุงที่จะแปรผันตรงกับขนาดของเสื้อ ซึ่งเป็นหลักการเพิ่มเติมที่ผู้วิจัยได้กำหนดเพิ่มเข้าไปในสถานการณ์

จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า เสื้อชูชีพพองได้ที่มีขนาดเล็กที่สุด

ควรจะมีกระบอกบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หมายเลขใดเป็นส่วนประกอบบนตัวเสื้อ

เสื้อชูชีพพองได้ที่มีขนาดเล็กที่สุดควรมีกระบอกบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หมายเลข 1 จากตาราง 1 จะเห็นว่า
 หมายเลข 1 มีมวล CO_2 ที่บรรจุได้ 14 g แรงพยุง 80 N ซึ่งเหมาะสมคือได้ค่าเท่ากับกับหมายเลขอื่น ๆ
 จึงทำให้เสื้อชูชีพพองได้เสื้อหมายเลข 1 พองได้มีขนาดเล็กกว่า เพราะมีแก๊สได้ 14 g และจำนวน มวล CO_2 ในเสื้อชูชีพ
 ในเสื้อหมายเลขอื่น ๆ มีจำนวนที่ไม่เท่ากัน จึงพองได้มีขนาดที่ไม่เท่ากัน ตามปริมาณมวล CO_2 ที่บรรจุในกระบอก

“เสื้อชูชีพพองได้มีขนาดเล็กที่สุดควรมีกระบอกบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หมายเลข 1 จากตาราง 1 จะเห็นได้ว่า หมายเลข 1 มวล CO_2 ที่บรรจุได้ 14 g แรงพุ่ง 80 N **วัยที่เหมาะสมคือ เด็ก** ถ้าเทียบกับหมายเลขอื่น ๆ จึงทำให้เวลาจะใช้เสื้อหมายเลข 1 พองได้มีขนาดเล็กที่สุด เพราะมีแก๊สแค่ 14 g และจำนวนมวล CO_2 ในเสื้อชูชีพในแต่ละหมายเลขมีปริมาณที่ไม่เท่ากัน จึงพองได้มีขนาดเล็กไม่เท่ากันตามปริมาณมวล CO_2 ที่บรรจุในกระป๋อง”

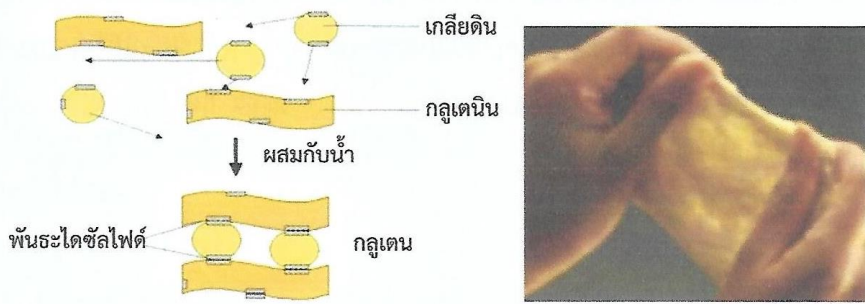
ภาพประกอบ 44 การเลือกหลักฐานลงมาสืบสนับสนุนข้อกล่าวอ้างในแบบวัด

ในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ จะไม่พบนักเรียนที่ระบุหลักฐานลง เนื่องจากหลักฐานส่วนนี้ นักเรียนจะต้องทยอยรวบรวมไปพร้อม ๆ กับการชี้แนะของครู จึงทำให้นักเรียนระบุแต่หลักฐานที่สอดคล้องกับสถานการณ์เท่านั้น แต่อาจจะระบุรายละเอียดและจำนวนของหลักฐานได้แตกต่างกันตามตัวอย่างที่ได้กล่าวไป (บันทึกการสังเกตชั้นเรียน)

นอกจากการเลือกหลักฐานที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องปนกันแล้ว ยังพบว่า นักเรียนจะระบุเฉพาะหลักฐานที่มีคำหรือข้อความกำกับไว้ในข้อมูลประกอบสถานการณ์แล้วเท่านั้น หากมีหลักฐานที่เป็นรูปภาพ นักเรียนจะไม่สามารถเขียนคำหรือข้อความที่บรรยายลักษณะของรูปภาพนั้น ๆ ได้ จากลักษณะการระบุหลักฐานที่กล่าวไปข้างต้น การเลือกเพียงหลักฐานที่มีคำหรือข้อความกำกับมาสืบสนับสนุนข้อกล่าวอ้างของนักเรียน จึงจัดอยู่ในลักษณะที่เลือกหลักฐานได้ถูกต้อง แต่เลือกได้ไม่ครบถ้วน เช่น การระบุถึงโครงสร้างร่างแหคล้ายตาข่ายของกลูเตนภายในแป้ง แต่ไม่ระบุหลักฐานที่เป็นรูปภาพการขยายตัวของแป้งขนมปังขณะที่พักไว้ ดังภาพประกอบ 45

2. ในแป้งสาลี ประกอบด้วยโปรตีนกลีดีน (Gliadin) และกลูเตนิน (Glutenin) เมื่อรวมกับน้ำ โปรตีนทั้งสองชนิดจะสามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่เป็นพันธะไดซัลไฟด์ แล้วทำให้เกิดโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นร่างแห คล้ายตาข่าย เรียกว่า “**กลูเตน (Gluten)**” โครงสร้างดังกล่าวจะมีความเหนียวและยืดหยุ่น ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับแป้งขนมปัง และช่วยในการกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

กลีดีน + กลูเตนิน = กลูเตน



ที่มา : https://www.researchgate.net/publication/285526816_Gluten_formation_its_Sources_composition_and_health_effects/figures?lo=1

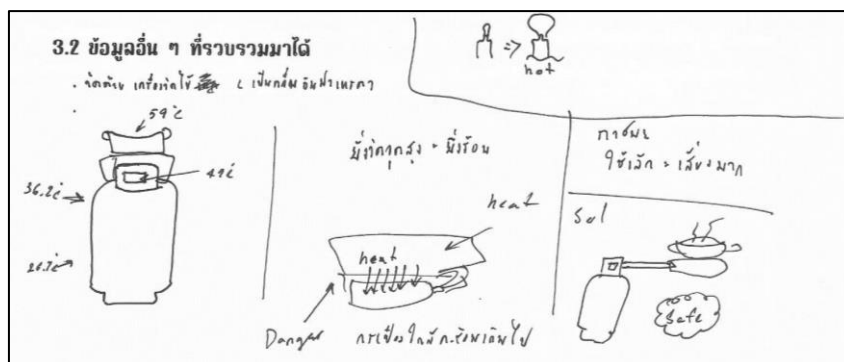


ภาพแสดงขั้นตอนการทำขนมปัง ได้แก่ การผสมส่วนประกอบ การพักแป้ง การนวดแป้ง การอบ จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า ในระหว่างที่พักแป้งขนมปังทิ้งไว้ ก่อนนำไปอบ ขนาดของแป้งขนมปังจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร พร้อมให้หลักฐานและเหตุผลประกอบ ว่า ทำไมขนาดของแป้งขนมปังจึงมีลักษณะเป็นเช่นนั้น

ในขณะที่พักแป้งไว้ แป้งจะใหญ่ขึ้น เนื่องจากมีการผสมยีสต์เข้าไปทำให้เกิดการปล่อยกลูเตนน้ำตาลในแป้ง มีกลีบลึงดินและกลูเตนินที่ผสมกับน้ำ ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหคล้ายตาข่ายเร็นก กลูเตน-น้ำตาล ยีสต์สามารถสังเคราะห์น้ำตาลกลูโคสในแป้งสาลีให้กลายเป็นเอทานอล และคาร์บอนไดร็อกไซด์ ในแป้งมีกลีบลึงดินและกลูเตนินที่ผสมกับเอทานอล ทำให้ได้กลูเตนที่มีความเหนียวและยืดหยุ่น ทำให้แป้งขยายขึ้น

ภาพประกอบ 45 ข้อมูลประกอบสถานการณ์ และการเลือกหลักฐานถูกต้อง แต่ไม่ครบถ้วน

การเขียนข้อความที่สะท้อนถึงหลักฐานที่เป็นรูปภาพนั้น คล้ายกับการเขียนสรุปสิ่งที่สังเกตได้จากการทำกิจกรรมในชั้นเรียน เช่น ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 กฎของชาร์ลและเกย์-ลูสแซก นักเรียนจะต้องดูคลิปวิดีโอการวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่มีระยะห่างจากเตาแก๊สซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนไม่เท่ากัน และคลิปวิดีโอการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับขนาดของลูกโป่งที่ครอบอยู่บริเวณปากขวด เมื่อนำขวดไปแช่ในน้ำร้อนและน้ำเย็น จากการสังเกตชั้นเรียนของผู้วิจัย พบว่า นักเรียนบางส่วนไม่สามารถเขียนข้อความบรรยายในสิ่งที่สังเกตเห็นได้ จะคอยถามครูผู้สอนอยู่เสมอว่า ต้องจดบันทึกอะไร หรือจดบันทึกอย่างไร (บันทึกการสังเกตชั้นเรียน) และเมื่อผู้วิจัยตรวจใบกิจกรรมสืบเสาะของนักเรียนในแผนการจัดการเรียนรู้ดังกล่าว พบว่า นักเรียนใช้วิธีการบันทึกสิ่งที่สังเกตเป็นภาพวาด แล้วเขียนคำ หรือข้อความสั้น ๆ กำกับรูปภาพแทน ตัวอย่างการจดบันทึกเป็นภาพวาดลงในใบกิจกรรมสืบเสาะของนักเรียน แสดงได้ดังภาพประกอบ 46



ภาพประกอบ 46 การจดบันทึกข้อมูลที่รวบรวมได้ด้วยรูปภาพในใบกิจกรรมสืบเสาะที่ 3

2.3 การให้เหตุผล

จากการวิเคราะห์คะแนนและระดับคุณภาพของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ในองค์ประกอบด้านการให้เหตุผล นักเรียนแต่ละคน มีคะแนนและระดับคุณภาพ ของคำอธิบาย ทางวิทยาศาสตร์ในองค์ประกอบด้านการให้เหตุผล ดังตาราง 30

ตาราง 30 คะแนนและระดับคุณภาพการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามองค์ประกอบ ด้านการให้เหตุผลของนักเรียนรายบุคคล

นักเรียน	คะแนน	ระดับคุณภาพ	นักเรียน	คะแนน	ระดับคุณภาพ
S01	1	ควรปรับปรุง	S16	1	ควรปรับปรุง
S02	1	ควรปรับปรุง	S17	0	ควรปรับปรุง
S03	3	ดี	S18	0	ควรปรับปรุง
S04	1	ควรปรับปรุง	S19	3	ดี
S05	1	ควรปรับปรุง	S20	3	ควรปรับปรุง
S06	1	ควรปรับปรุง	S21	4	ดี

ตาราง 30 (ต่อ)

นักเรียน	คะแนน	ระดับคุณภาพ	นักเรียน	คะแนน	ระดับคุณภาพ
S07	0	ควรปรับปรุง	S22	4	ดี
S08	0	ควรปรับปรุง	S23	3	ดี
S09	0	ควรปรับปรุง	S24	1	ควรปรับปรุง
S10	3	ดี	S25	3	ดี
S11	1	ควรปรับปรุง	S26	2	ควรปรับปรุง
S12	3	ดี	S27	2	ควรปรับปรุง
S13	2	ควรปรับปรุง	S28	0	ควรปรับปรุง
S14	4	ดี	S29	3	ควรปรับปรุง
S15	1	ควรปรับปรุง	S30	2	ควรปรับปรุง

ในด้านการให้เหตุผล นักเรียนได้คะแนนสูงสุดเท่ากับ 4 คะแนน จัดอยู่ในระดับดี จำนวน 3 คน ได้แก่ นักเรียน S14 S21 และ S22 โดยนักเรียน S14 เป็นนักเรียนที่มีคะแนนรวมในด้าน ข้อกล่าวอ้างและหลักฐานสูงที่สุดด้วย ด้านการให้เหตุผล มีคะแนนต่ำสุด เท่ากับ 0 คะแนน จัดอยู่ในระดับควรปรับปรุง มีนักเรียนจำนวน 6 คน ที่ได้คะแนนในระดับดังกล่าว ได้แก่ นักเรียน S07 S08 S09 S17 S18 และ S28 โดยนักเรียน S07 และ S17 เป็นนักเรียนที่มีคะแนนด้าน หลักฐานต่ำที่สุด ด้านการให้เหตุผลมีคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) ต่ำที่สุด เท่ากับ 1.75 มีส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 1.30 เมื่อนำคะแนนรายบุคคลของนักเรียนในตาราง 30 มาจัดกลุ่ม ตามระดับคุณภาพ สามารถสรุปจำนวนและร้อยละของนักเรียนที่มีการให้เหตุผลในระดับคุณภาพ ต่าง ๆ ได้ดังตาราง 31

ตาราง 31 จำนวนและร้อยละของนักเรียนที่มีคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้านการให้เหตุผล ในระดับคุณภาพต่าง ๆ

ระดับคุณภาพ	ดีมาก	ดี	ควรปรับปรุง
จำนวน (คน)	0	9	21
ร้อยละ	0.00	30.00	70.00

ในตาราง 31 จะเห็นว่า นักเรียนทั้งหมด 30 คน นักเรียนส่วนใหญ่ จำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 70.00 สามารถสร้างองค์ประกอบด้านการให้เหตุผลได้ในระดับควรปรับปรุง นักเรียนจำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 30.00 สร้างองค์ประกอบด้านการให้เหตุผลได้ในระดับดี และไม่มีนักเรียนคนใดสร้างองค์ประกอบด้านการให้เหตุผลในระดับดีมากได้

เมื่อพิจารณาจำนวนนักเรียนที่มีการให้เหตุผลในระดับคุณภาพต่าง ๆ จากแบบทดสอบตอนท้ายของแผนการจัดการเรียนรู้เทียบกับแบบวัด พบว่า ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 – 3 นักเรียนส่วนใหญ่สามารถให้เหตุผลได้ในระดับดี ซึ่งแตกต่างจากจำนวนและร้อยละที่ได้ในแบบวัด โดยแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 มีจำนวนนักเรียนในระดับควรปรับปรุงเท่ากับระดับดี แต่แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 – 5 นักเรียนส่วนใหญ่สามารถให้เหตุผลได้ในระดับควรปรับปรุง ซึ่งเหมือนกับจำนวนและร้อยละที่ได้ในแบบวัด และในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1, 3, 4 ไม่มีนักเรียนที่สามารถให้เหตุผลได้ในระดับดีมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบวัด ดังตาราง 32

ตาราง 32 จำนวนนักเรียนที่สร้างการให้เหตุผลได้ในระดับต่าง ๆ แยกตามแบบทดสอบและแบบวัด

ระดับคุณภาพ		แบบทดสอบท้ายแผน					แบบวัด
		1	2	3	4	5	
ดีมาก	จำนวน	0	1	0	0	7	0
	ร้อยละ	0.00	3.33	0.00	0.00	23.33	0.00
ดี	จำนวน	15	15	20	6	10	9
	ร้อยละ	50.00*	50.00*	66.67*	20.00	33.33	30.00
ควรปรับปรุง	จำนวน	15	14	10	24	13	21
	ร้อยละ	50.00*	46.67	33.33	80.00*	43.34*	70.00*

* ร้อยละที่มีปริมาณมากที่สุด

การให้เหตุผลที่สมบูรณ์จะต้องแสดงอย่างชัดเจนว่าหลักฐานที่เลือกมานั้น ช่วยสนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยใช้หลักการหรือองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องกับสถานการณ์นั้น ๆ มาเชื่อมโยงสององค์ประกอบเข้าด้วยกัน การให้เหตุผลจึงเป็นองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างได้ยากที่สุด การสร้างองค์ประกอบดังกล่าวมีความท้าทายเป็นอย่างมากสำหรับนักเรียนที่มีผลการเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง (เกรด 2.0 - 2.5) จากลักษณะการให้เหตุผลของนักเรียน ทั้งในแบบทดสอบ และแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่

ในสภาวะปกติ เลื้อชูชีพพองได้จะลึบแบน จึงสามารถเก็บไว้ได้เบาที่นึ่งได้ แต่เมื่อสัมผัสกับน้ำ สลักที่ปิดกระบอกบรรจุ CO_2 จะละลายน้ำ และปลดปล่อย CO_2 ให้เข้าไปภายในตัวเลื้อ ทำให้เลื้อพองออกและมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเลื้อชูชีพที่มีขนาดไม่เท่ากัน จะสร้างแรงพุงที่มีขนาดไม่เท่ากัน ยิ่งเลื้อชูชีพมีขนาดใหญ่ แรงพุงที่สร้างได้จะยิ่งมาก รายละเอียดดังข้อมูลในตาราง 1

ตาราง 1 มวล CO_2 แรงพุง และวัยที่เหมาะสมต่อการสวมใส่เลื้อชูชีพที่มีกระบอกบรรจุ CO_2 ขนาดต่าง ๆ

ข้อมูล	กระบอกบรรจุ CO_2 ที่ติดอยู่กับเลื้อชูชีพ			
	หมายเลข 1	หมายเลข 2	หมายเลข 3	หมายเลข 4
มวล CO_2 ที่บรรจุในกระบอก (g)	14.00	24.00	33.00	60.00
แรงพุงที่เลื้อชูชีพสร้างได้ (N)	80.00	110.0	150.0	275.0
วัยที่เหมาะสม	เด็ก	ผู้ใหญ่	ผู้ใหญ่	ผู้ใหญ่

จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า เลื้อชูชีพพองได้ที่มีขนาดเล็กที่สุดควรจะมีกระบอกบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หมายเลขใดเป็นส่วนประกอบบนตัวเลื้อ

เลื้อชูชีพพองได้ที่มีขนาดเล็กที่สุดควรใช้กับกระบอกบรรจุแก๊ส CO_2 หมายเลข 1 เนื่องจากมวลของ CO_2 เป็นไปน้อย จึงทำให้เลื้อชูชีพพองออกได้ขนาดเล็กขึ้น โดยมีแรงจากแก๊ส CO_2 ที่บรรจุในเลื้อชูชีพที่มีขนาดไม่เท่ากัน จะสร้างแรงพุงไม่เท่ากัน จึงเลื้อชูชีพใหญ่ แรงพุงจึงยิ่งมาก ซึ่งเลื้อชูชีพที่มีขนาดเล็กกว่าควรใช้กับกระบอกบรรจุ CO_2 ที่ติดกับเลื้อชูชีพ NO.1 สามารถสร้างแรงพุงได้เพียง 80 N ซึ่งน้อยกว่ามวลของเลื้อชูชีพทั้งหมด

สมัครใจไม่ทำก็ได้ ไม่ควรทำเกินกว่าที่กำหนด

ภาพประกอบ 48 การให้เหตุผลในแบบทดสอบที่แสดงเฉพาะหลักการทางวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม

ในส่วนแรกของใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนมีลักษณะการให้เหตุผลที่ทั้งเหมือนและแตกต่างจากในแบบวัดและแบบทดสอบ ดังนี้

1) เขียนแสดงการเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานบางชิ้นให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง โดยมีหลักการทางวิทยาศาสตร์รองรับอย่างชัดเจน ทั้งหลักการที่เป็นกฎของแก๊ส และหลักการเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ เช่น การให้เหตุผลของคำถาม “ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแก๊สมีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างไร” ที่นักเรียนใช้กฎของอาโวกาโดรเชื่อมโยงหลักฐานที่เป็นผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงขนาดของลูกโป่ง และใช้คุณสมบัติความยืดหยุ่นของพลาสติกเชื่อมโยงหลักฐานที่เป็นชนิดของพลาสติกที่ใช้ทำถุงร้อน ให้เข้าข้อกล่าวอ้าง แต่ใช้หลักการของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ อธิบายว่าภายในถุงที่มีอาหารบูดเน่าเกิดแก๊สได้ โดยไม่ได้ระบุสมการแสดงการย่อยสลายสารอาหารที่มีแก๊สเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด แสดงได้ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 49

การให้เหตุผล (REASONING; R) เขียนเชื่อมโยงเพื่อแสดงว่าหลักฐานสัมพันธ์กับข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อบอกว่า เพราะเหตุใดข้อมูลนั้นจึงนับเป็นหลักฐาน โดยระบุว่า หลักการหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เลือกมาแต่ละข้อ ใช้เชื่อมโยงหลักฐานข้อใดให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง และเชื่อมโยงอย่างไร

การทดลอง สังเกตความเปลี่ยนแปลงของลูกโป่งจากปฏิกิริยา $\text{NaHCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ สัมพันธ์กับกฎของอาโวกาโดร เพราะจากการทดลองพบว่า โมลของ CO_2 ผันตรงกับปริมาตรลูกโป่งตามกฎอาโวกาโดร

ข้อมูลของแหล่งที่มาได้มาจาก แหล่งข้อมูลบนพลาสติกกระป๋อง ว่า ถูกใช้ในโรงรถ ที่ดินเกษตรกรรมจาก polyethylene ที่ขึ้นอัดขึ้นแบบหนาและไม่มีเส้นใยที่ผ่าน ข้อมูลการบุตจากเอกสารของสเปนระบุว่า การเนาบุต เกิดจากจุลินทรีย์ในดินที่ขึ้นอัดขึ้นแบบหนา

“การทดลองสังเกตความเปลี่ยนแปลงของลูกโป่งจากปฏิกิริยา $\text{NaHCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ สัมพันธ์กับกฎของอาโวกาโดร เพราะจากการทดลองพบว่า โมลของ CO_2 ผันตรงกับปริมาตรลูกโป่งตามกฎอาโวกาโดร ข้อมูลของพลาสติกได้มาจาก แหล่งข้อมูลของสถานบันพลาสติกกระป๋องว่า ถูกใช้ในโรงรถร้อนที่เป็นถุงแกสสร้างจาก polyethylene ที่ทำให้ยืดหยุ่นเหนียวแน่นและไม่ให้แก๊สซึมผ่าน ข้อมูลการบุตจากเอกสารมหาลัยเชียงใหม่ระบุว่า การเนาบุตเกิดจากจุลินทรีย์หลายชนิดที่ทำให้เกิดแก๊สมีเทนขึ้น”

ภาพประกอบ 49 การให้เหตุผลที่ระบุหลักการครบถ้วน แต่เชื่อมโยงหลักฐานเพียงบางส่วน

จากตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จะเห็นว่า นักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนจากการสืบค้นข้อมูล คือ ชนิดของพลาสติกที่ใช้ทำถุงร้อน เนื่องจากถุงร้อนทำมาจากพอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP) แต่นักเรียนอธิบายสมบัติของพอลิโพรพิลีนลงไปในคำอธิบายได้ถูกต้อง

2) เขียนแสดงการเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานบางข้อและข้อกล่าวอ้าง โดยมีเฉพาะหลักการทางวิทยาศาสตร์เพิ่มเติมรองรับ พบทั้งลักษณะที่ใช้หลักการเพิ่มเติมสอดคล้องกับหลักฐาน และไม่สอดคล้องกับหลักฐาน ดังแสดงในภาพประกอบ 50 และ 51 ตามลำดับ

การให้เหตุผล (REASONING; R) เขียนเชื่อมโยงเพื่อแสดงว่าหลักฐานสัมพันธ์กับข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อบอกว่า เพราะเหตุใดข้อมูลนั้นจึงนับเป็นหลักฐาน โดยระบุว่า หลักการหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เลือกมาแต่ละข้อ ใช้เชื่อมโยงหลักฐานข้อใดให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง และเชื่อมโยงอย่างไร

จากบทความ อธิบายการเผาไหม้ของแก๊ส มีดังนี้ แก๊สมีเทน CH_4 ไม่ในลูกโป่งที่ทำไว้ เมื่อแก๊สมีเทนเผาไหม้กับออกซิเจนในลูกโป่งที่เผาไหม้ในถัง = การเผาไหม้ของแก๊สมีเทนที่เผาไหม้ในถัง ทำให้เกิดแก๊สมีเทนมากขึ้น และแก๊สมีเทน คือ PP มีน้ำหนักเบาและยืดหยุ่นได้ จึงสามารถปรับรูปทรงตามความต้องการได้ตามปริมาณของแก๊สมีเทนในถัง

“จากการทดลอง สูตรการบดเน่าของอาหารก็เหมือนกับการทดลองโซดาไฟในลูกโป่งที่ทำ lab ไป เมื่อนำเบกิ้งโซดาผสมกับน้ำส้มสายชู ทำให้ลูกโป่งมีขนาดใหญ่ขึ้น = การบดของอาหารที่มีการสลายของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดแก๊สปริมาณมากขึ้น และถุงน้ำแก๊งคือ PP มีความสามารถยืดหยุ่นได้ จึงสามารถปรับปริมาตรตนเองให้ขยายได้ตามปริมาตรของสารภายในที่มากขึ้น จึงเกิดการพอง”

ภาพประกอบ 50 การให้เหตุผลที่ระบุเพียงหลักการเพิ่มเติม และเชื่อมโยงหลักฐานเพียงบางส่วน

จากภาพประกอบ 50 จะเห็นว่า นักเรียนสามารถระบุชนิดของพลาสติกที่ใช้ทำถุงแกงร้อนได้ถูกต้อง และใช้คุณสมบัติของพลาสติกเป็นหลักการในการเชื่อมโยงชนิดของพลาสติกที่เป็นหลักฐานให้เข้ากับการขยายตัวของถุงแกงที่เป็นข้อกล่าวอ้าง แต่ยังพบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเช่นเดิม คือ ในการทดลองใช้โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต แต่นักเรียนระบุว่า โซดาไฟลงไปในการอธิบาย

การให้เหตุผล (REASONING; R) เขียนเชื่อมโยงเพื่อแสดงว่าหลักฐานสัมพันธ์กับข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อบอกว่า เพราะเหตุใดข้อมูลนั้นจึงนับเป็นหลักฐาน โดยระบุว่า หลักการหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เลือกมาแต่ละข้อ ใช้เชื่อมโยงหลักฐานขึ้นใดให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง และเชื่อมโยงอย่างไร
ถุงแกงมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากอาหารบด แล้วเกิดการสลายตัวให้แก๊สเกิดขึ้น ก่อน แก๊ส CO_2, CH_4, H_2S และถุงแกงมีสมบัติยืดหยุ่นได้ ดังนั้น เมื่อมีแก๊สเกิดขึ้น ถุงแกงจึงมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองปฏิกิริยาระหว่าง NaHCO_3 กับ CH_3COOH เมื่อมีแก๊ส CO_2 เกิดขึ้นในลูกโป่งมาก ขนาดของลูกโป่งก็ใหญ่ขึ้น

“ถุงแกงมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากอาหารบดแล้วเกิดการสลายตัวให้แก๊สเกิดขึ้นก่อน แก๊ส CO_2 , CH_4 , H_2S และถุงแกงมีสมบัติยืดหยุ่นได้ ดังนั้น เมื่อมีแก๊สเกิดขึ้น ถุงแกงจึงมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองปฏิกิริยาระหว่าง NaHCO_3 กับ CH_3COOH เมื่อมีแก๊ส CO_2 เกิดขึ้นในลูกโป่งมาก ขนาดของลูกโป่งก็จะใหญ่ขึ้น”

ภาพประกอบ 51 การให้เหตุผลที่ระบุเพียงหลักการเพิ่มเติม และเชื่อมโยงหลักฐานเพียงบางส่วน

จากภาพประกอบ 51 นักเรียนระบุหลักการที่ว่าพลาสติกที่ใช้ทำถุงแกงมีความยืดหยุ่น แต่หลักฐานที่นักเรียนระบุมาเป็นชนิดของแก๊สที่เกิดขึ้นจากการบดเน่าของอาหาร และปริมาตรของลูกโป่งที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของแก๊ส ซึ่งไม่สอดคล้องกับหลักการที่ระบุไว้

3) เขียนแสดงหลักฐานที่มีความคลาดเคลื่อนบางส่วน แต่ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องกับสถานการณ์ในการเชื่อมโยงให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง ดังภาพประกอบ 52

การให้เหตุผล (REASONING; R) เขียนเชื่อมโยงเพื่อแสดงว่าหลักฐานสัมพันธ์กับข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อบอกว่า เพราะเหตุใดข้อมูลนั้นจึงนับเป็นหลักฐาน โดยระบุว่า หลักการหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เลือกมาแต่ละข้อ ใช้เชื่อมโยงหลักฐานขึ้นใดให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง และเชื่อมโยงอย่างไร ซึ่งถุงแกงส่วนใหญ่ เวลาเกิดปฏิกิริยาระหว่างเบโซเดียมไฮคาร์บอเนต $\text{NaHCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ซึ่งมีผลตอบสนองต่อกันกับลูกโป่งและเป็นไปตามกฎของอะโวกาโดและถุงพลาสติกส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นถุงร้อนที่มีความยืดหยุ่นและทนทานความร้อนได้ดี ที่มาจาก polyethylene ซึ่งมีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง จึงสามารถหดหรือขยายได้ตามต้องการ
--

“ซึ่งถุงแกงส่วนใหญ่ เวลาเกิดปฏิกิริยาระหว่างเบโซเดียมไฮคาร์บอเนต $\text{NaHCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ซึ่งมีผลตอบสนองต่อกันกับลูกโป่งและเป็นไปตามกฎของอะโวกาโดและถุงพลาสติกส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นถุงร้อนที่มีความยืดหยุ่นและทนทานความร้อนได้ดี ที่มาจาก polyethylene ซึ่งมีคุณสมบัติยืดหยุ่นสูง จึงสามารถหดหรือขยายได้ตามต้องการ”

ภาพประกอบ 52 การให้เหตุผลที่มีการระบุหลักฐานคลาดเคลื่อน แต่ใช้หลักการที่ถูกต้อง

จากภาพประกอบ 52 นักเรียนระบุหลักฐานที่คลาดเคลื่อนสองส่วน คือ 1) ปฏิกิริยาระหว่างเบกกิ้งโซดาและน้ำส้มสายชู เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหาร 2) ถุงร้อนมาจาก polyethylene แต่นักเรียนระบุชื่อกฎและหลักการความยืดหยุ่นของถุงพลาสติกได้ถูกต้อง

4) เขียนเชื่อมโยงหลักฐานกับสถานการณ์ โดยไม่มีหลักการทางวิทยาศาสตร์มารองรับ แสดงได้ดังภาพประกอบ 53

การให้เหตุผล (REASONING; R) เขียนเชื่อมโยงเพื่อแสดงว่าหลักฐานสัมพันธ์กับข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อบอกว่า เพราะเหตุใดข้อมูลนั้นจึงนับเป็นหลักฐาน โดยระบุว่า หลักการหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เลือกมาแต่ละข้อ ใช้เชื่อมโยงหลักฐานขึ้นใดให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง และเชื่อมโยงอย่างไร ลูกโป่งพองเป็นถุงแกง เขตกังโสภา พจนานุกรมนี้ แฉฉอน อานนท์ เมื่อสารเกิดแก๊ส ก็ทำให้ลูกโป่งพองขึ้นจนจืดจาง
--

ภาพประกอบ 53 การให้เหตุผลที่ไม่มีหลักการทางวิทยาศาสตร์รองรับ

ในภาพประกอบ 53 ยังคงพบความเข้าใจคลาดเคลื่อน คือ เบกิงโซดาไม่ได้ผสมกับน้ำ แต่ผสมกับน้ำส้มสายชู จึงสามารถทำให้เกิดแก๊สได้

จากการวิเคราะห์การให้เหตุผลในส่วนแรกของใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ที่พบว่าในทุกลักษณะจะมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนของนักเรียนปรากฏอยู่ เมื่อวิเคราะห์การให้เหตุผลในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อพบว่า มีความเข้าใจคลาดเคลื่อน ปรากฏอยู่ในทุกลักษณะไม่แตกต่างกัน ดังนี้

1) มีการให้เหตุผลที่เชื่อมโยงหลักฐานบางส่วนให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง โดยมีหลักการทางวิทยาศาสตร์เพิ่มเติมรองรับ และยังมีการระบุหลักฐานที่คลาดเคลื่อน พบทั้งการเชื่อมโยงที่ใช้หลักการที่จำเพาะกับหลักฐาน ดังในภาพประกอบ 54 และการเชื่อมโยงที่ใช้หลักการไม่จำเพาะกับหลักฐาน คือ มีหลักฐานที่ไม่สอดคล้องกับหลักการที่ระบุมาด้วย ดังแสดงในภาพประกอบ 55

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	
“ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบวมมีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างไร”	
เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม โดยประกอบด้วยข้อกล่าวอ้างหรือคำตอบของคำถาม หลักฐาน และการให้เหตุผล โดยนำข้อความจากด้านหน้า มาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สังเกตได้จาก..... เนื่องจาก.....ทำให้..... เพราะ.....จึง..... ดังนั้น..... จึงสรุปได้ว่า.....	
การที่ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบวมมีขนาดใหญ่ขึ้น	เนื่องจากปฏิกิริยาจากการย่อยสลายอาหารแล้วเกิดแก๊ส O_2
มีเทน CH_4 และถุงแก๊สเป็นพลาสติก PP มีสมบัติทนความร้อนและยืดหยุ่นได้ทำให้ถุงพองขึ้น	นอกจากนี้ยังได้ทดลองปฏิกิริยาระหว่าง
$NaHCO_3$ กับ CH_3COOH แล้วเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จึงทำให้ถุงพองขึ้น	ดังนั้นเมื่อเกิดแก๊สก็จะทำให้ถุงขยายใหญ่ขึ้น ซึ่งสอดคล้อง
กับการทดลอง $NaHCO_3$ กับกรด CH_3COOH เมื่อมีแก๊ส CO_2 เกิดขึ้นในถุงโป่งมาก พลาสติกโป่งจึงขยายใหญ่ขึ้น	

“การที่ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบวมมีขนาดใหญ่ เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายอาหารแล้วเกิดแก๊ส O_2 มีเทน CH_4 และถุงแก๊สเป็นพลาสติก PP มีสมบัติทนความร้อนและยืดหยุ่น ทำให้ถุงพองขึ้น นอกจากนี้ยังได้ทดลองปฏิกิริยาระหว่าง $NaHCO_3$ กับ CH_3COOH แล้วเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จึงทำให้ถุงพองขึ้น ดังนั้น เมื่อเกิดแก๊สก็จะทำให้ถุงขยายใหญ่ขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง $NaHCO_3$ กับกรด CH_3COOH เมื่อมีแก๊ส CO_2 เกิดขึ้นในถุงโป่งมาก ขนาดถุงโป่งจึงขยายใหญ่ขึ้น ”

ภาพประกอบ 54 การให้เหตุผลในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อที่มีหลักการเชื่อมโยงหลักฐาน

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	
“ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบวมมีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างไร”	
เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม โดยประกอบด้วยข้อกล่าวอ้างหรือคำตอบของคำถาม หลักฐาน และการให้เหตุผล โดยนำข้อความจากด้านหน้า มาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สังเกตได้จาก..... เนื่องจาก.....ทำให้..... เพราะ..... ดังนั้น..... จึงสรุปได้ว่า.....	
ถุงแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบวมมีขนาดใหญ่ขึ้น สังเกตจากขนาดถุงแก๊ส ก่อนและหลัง วางทิ้งไว้ว่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากกาละลายตัวของสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนทำให้เกิดแก๊ส CH_4, CO_2 ภายในถุงแก๊ส และจากการทดลองที่สอดคล้องกัน คือ เมื่อผสมเบกิ้งโซดากับน้ำส้มสายชู ทำให้ลูกโป่งมีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะฉะนั้น จากสมบัติของแก๊ส และการทดลอง จึงทำให้ทราบว่า การบวมของอาหารภายในถุงแก๊ส ทำให้เกิดแก๊สขึ้น จึงทำให้ถุงแก๊สมีขนาดใหญ่ขึ้น	

“ถุงแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบวมมีขนาดใหญ่ขึ้น สังเกตจากขนาดถุงแก๊ส ก่อนและหลัง วางทิ้งไว้ว่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากการละลายตัวของสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนทำให้เกิดแก๊ส CH_4 , CO_2 ภายในถุงแก๊ส และจากการทดลองที่สอดคล้องกัน คือ เมื่อผสมเบกิ้งโซดากับน้ำส้มสายชู ทำให้ลูกโป่งมีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะฉะนั้น จากสมบัติของแก๊ส และการทดลอง จึงทำให้ทราบว่า การบวมของอาหารภายในถุงแก๊ส ทำให้เกิดแก๊สขึ้น จึงทำให้ถุงแก๊สมีขนาดใหญ่ขึ้น ”

ภาพประกอบ 55 การให้เหตุผลในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อที่มีหลักการเชื่อมโยงหลักฐาน

2) มีการให้เหตุผลในลักษณะที่ใช้เพียงหลักการทางวิทยาศาสตร์ในการอธิบายเท่านั้น โดยหลักการที่เลือกใช้เป็นหลักการเพิ่มเติม ไม่ใช่กฎของแก๊ส แสดงดังตัวอย่างในภาพประกอบ 56

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	
“ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบวมมีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างไร”	
เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม โดยประกอบด้วยข้อกล่าวอ้างหรือคำตอบของคำถาม หลักฐาน และการให้เหตุผล โดยนำข้อความจากด้านหน้า มาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สังเกตได้จาก..... เนื่องจาก.....ทำให้..... เพราะ..... ดังนั้น..... จึงสรุปได้ว่า.....	
สังเกตได้ว่าถุงแก๊สในรูปนี้บวมเนื่องจากอาหารบูด : เพราะอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน จึงทำให้เกิดแก๊ส ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ทุกคืนกรในอาหารจะทำให้ถุงแก๊สในรูปนี้บวมจากการสลายตัวของอาหาร ทำให้เกิด CH_4, CO_2	

ภาพประกอบ 56 การให้เหตุผลในส่วนที่สองของใบกิจกรรมเสริมต่อที่มีเฉพาะหลักการ

ในการสืบเสาะหาข้อมูลเพื่อมาตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเบื้องต้น นักเรียนจะต้องเขียนเชื่อมโยงระหว่างกิจกรรมที่ทำ ข้อมูลที่ได้ และปรากฏการณ์ที่ศึกษาลงในตารางสรุปของใบกิจกรรมสืบเสาะ ซึ่งการบันทึกข้อมูลลงในตารางดังกล่าว นักเรียนไม่สามารถบันทึกได้ด้วยตนเอง จะต้องรอครูผู้สอนนำอภิปรายหรือใช้คำถามชี้แนะก่อน แล้วบันทึกตามคำพูดของครูผู้สอน (บันทึกการสังเกตชั้นเรียน) หรือในบางแผนการจัดการเรียนรู้ ก็จะจดบันทึกตามข้อความที่ครูผู้สอนเขียนแสดงเอาไว้ ทำให้ตารางสรุปของนักเรียนแต่ละกลุ่ม มีการจดบันทึกที่เหมือนกัน ตัวอย่างตารางสรุปในภาพประกอบ 57

4. สร้างตารางสรุป ให้นักเรียนร่วมกันสรุปข้อมูลที่รวบรวมได้จากกิจกรรม ๆ ลงในตาราง แล้วเชื่อมโยงว่า ข้อมูลแต่ละส่วน สนับสนุนคำตอบของคำถามสำคัญที่นักเรียนตอบไปในตอนต้นอย่างไร

กิจกรรมที่ทำ	ข้อมูลที่ได้	การเชื่อมโยงสู่ปรากฏการณ์
การวัดความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วในการเคลื่อนที่กับมวลต่อโมลของแก๊ส จากกราฟของแบบข้อ ๕	ในกราฟที่ดูบนจอแล็บ อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของแก๊สแปรผกผันกับมวลต่อโมลของแก๊ส	อัตราเร็ว (V) กับมวลต่อโมล (M) มีการแปรผกผันกัน โดยมวลต่อโมลมาก อัตราเร็วจะน้อย และมวลต่อโมลน้อย อัตราเร็วจะมาก
การสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับลูกโป่ง	ลูกโป่งที่มาจากน้ำยาล้างจานจะพองตัวขึ้น ซึ่งเป็นวัสดุที่มีช่องว่าง มีน้ำยาล้างจานอยู่ในรูของลูกโป่ง	หากมวลต่อโมลมีผลจะมีผลคือมวลต่อโมลที่มีมาก จะพองออกได้ช้ากว่ามวลต่อโมลที่น้อย เนื่องจากช่องว่างระหว่างโมเลกุล

4. สร้างตารางสรุป ให้นักเรียนร่วมกันสรุปข้อมูลที่รวบรวมได้จากกิจกรรม ๆ ลงในตาราง แล้วเชื่อมโยงว่า ข้อมูลแต่ละส่วน สนับสนุนคำตอบของคำถามสำคัญที่นักเรียนตอบไปในตอนต้นอย่างไร

กิจกรรมที่ทำ	ข้อมูลที่ได้	การเชื่อมโยงสู่ปรากฏการณ์
ทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของอัตราเร็วกับมวลต่อโมลแบบข้อ ๕	ในกราฟที่ดูบนจอแล็บ อัตราเร็วในการเคลื่อนที่แปรผกผันกับมวลต่อโมลของแก๊ส	อัตราเร็ว (V) กับมวลต่อโมล (M) มีการแปรผกผันกัน โดยมวลต่อโมลมาก อัตราเร็วจะน้อย และมวลต่อโมลน้อย อัตราเร็วจะมาก
สืบค้นเกี่ยวกับลูกโป่ง	ลูกโป่งที่มาจากน้ำยาล้างจานจะพองตัวขึ้น ซึ่งเป็นวัสดุที่มีช่องว่าง มีน้ำยาล้างจานอยู่ในรูของลูกโป่ง	หากมวลต่อโมลมีผลจะมีผลคือมวลต่อโมลที่มีมาก จะพองออกได้ช้ากว่ามวลต่อโมลที่น้อย เนื่องจากช่องว่างระหว่างโมเลกุล

ภาพประกอบ 57 การเปรียบเทียบตารางสรุประหว่างนักเรียนสองกลุ่มที่เขียนเหมือนกัน

จากจำนวนและร้อยละของนักเรียนที่มีการสร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ในระดับต่าง ๆ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลข้างต้น พร้อมกับค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนการสร้างแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มาสรุปรวมกัน ดังแสดงในตาราง 33

ตาราง 33 คะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จำนวน และร้อยละของนักเรียนที่สร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ในระดับคุณภาพต่าง ๆ

องค์ประกอบ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ	ดีมาก	ดี	ควรปรับปรุง
ข้อกล่าวอ้าง (C)	6.55	1.08	จำนวน (คน)	28	1	1
			ร้อยละ	93.34	3.33	3.33
หลักฐาน (E)	2.41	1.17	จำนวน (คน)	0	9	21
			ร้อยละ	0.00	30.00	70.00
การให้เหตุผล (R)	1.75	1.30	จำนวน (คน)	0	9	21
			ร้อยละ	0.00	30.00	70.00

จากตาราง 33 พบว่า มี นักเรียนที่สามารถสร้างข้อกล่าวอ้างได้ในคุณภาพระดับดีมาก จำนวน 28 คน คิดเป็นร้อยละ 93.34 ซึ่งสูงกว่าสมมติฐานการวิจัยข้อ 2 ที่ตั้งไว้ว่า หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ จะมีจำนวนนักเรียนนักเรียนที่สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้านข้อกล่าวอ้างอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 83.00 ขึ้นไป ดังนั้น ผลการวิจัยในด้านข้อกล่าวอ้างจึงเป็นไปตามสมมติฐาน

ในด้านหลักฐาน และการให้เหตุผล มีเฉพาะนักเรียนที่สามารถสร้างองค์ประกอบทั้งสองได้ในระดับดีและควรปรับปรุง ดังนั้น ผลการวิจัยในด้านหลักฐานและการให้เหตุผล จึงไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อ 2 ที่คาดการณ์ไว้ว่า “หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ จะมีจำนวนนักเรียนที่สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้านหลักฐานอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 50.00 ขึ้นไป และด้านการให้เหตุผลอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 40.00 ขึ้นไป”

นอกเหนือจากการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแล้ว ผู้วิจัยยังได้พบข้อสังเกตอื่น ๆ ในระหว่างที่เข้าสังเกตชั้นเรียน โดยจำแนกเป็นประเด็นตามหัวข้อถัดไป

3. ข้อสังเกตจากการเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่มีผลการเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ พบข้อสังเกตในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

3.1 การใช้แผนการจัดการเรียนรู้ไม่ต่อเนื่องและใช้เวลามากกว่าที่กำหนดไว้

เมื่อนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบไปใช้งานจริงกับกลุ่มที่ศึกษา พบว่าบางสัปดาห์ตรงกับวันหยุด บางสัปดาห์โรงเรียนมีการจัดกิจกรรม เช่น การสอบระหว่างภาค งานทำบุญและเลี้ยงสังสรรค์ปีใหม่ งานอบรมเกี่ยวกับการป้องกันตัวเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน จึงไม่มีคาบเรียนวิชาเคมี ทำให้ไม่สามารถดำเนินการใช้แผนการจัดการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องตลอดทั้ง 5 แผนได้ และไม่สามารถเก็บข้อมูลให้แล้วเสร็จภายในระยะเวลา 5 สัปดาห์ตามที่ออกแบบไว้ได้ ระยะเวลาที่นำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้กับกลุ่มที่ศึกษา สรุปได้ดังหัวข้อที่ 1 ในภาคผนวก ก

จากแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบไว้ 13 คาบ เมื่อนำไปใช้จริง พบว่า ใช้เวลาไปทั้งหมด 17 คาบ คือ มีเวลาเกินมาทั้งหมด 4 คาบ โดยแผนที่ใช้ระยะเวลาเกินจากที่กำหนด คือแผนที่ 1 จำนวน 1 คาบ แผนที่ 2 จำนวน 2 คาบ และแผนที่ 4 จำนวน 1 คาบ

เนื่องจากในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 กฎของอาโวกาโดร นักเรียนยังไม่คุ้นชินกับสิ่งที่ต้องปฏิบัติในแต่ละขั้นตอน ทั้งลักษณะของกิจกรรมที่ให้ทำ ลักษณะของใบเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ต้องบันทึกข้อมูล และลักษณะใบกิจกรรมสืบเสาะที่มีรายละเอียดหลายส่วน ครู B จึงต้องอธิบายและเขียนตัวอย่างแสดงให้นักเรียนดู กิจกรรมที่ให้ทำจะเป็นการเปรียบเทียบการเพิ่มจำนวนโมลของแก๊สในภาชนะปิด โดยใช้ปฏิริยาระหว่างเบกกิ้งโซดากับน้ำส้มสายชู แล้วเก็บแก๊สที่เกิดขึ้นด้วยลูกโป่ง ในตอนแรก นักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงขั้นตอนการทำกิจกรรมให้เข้ากับสถานการณ์การพองของถุงที่บรรจุแก๊สได้ ครูผู้สอนต้องใช้การอธิบายเพื่อให้เห็นความสอดคล้องระหว่างกิจกรรมที่ทำกับสถานการณ์ตัวอย่างนานพอสมควร และในตอนท้ายที่ครู B นำอภิปรายเชื่อมโยงข้อมูลให้เข้ากับปรากฏการณ์ ครู B ไม่ได้กล่าวถึงกฎของอาโวกาโดร นอกจากนี้ นักเรียนสนใจแต่จะทำการทดลองเลียนแบบสถานการณ์ตัวอย่าง คือ นำถุงแก๊สที่รัดปากจนแน่นสนิท มาวางทิ้งไว้แล้วรอสังเกตผล ซึ่งครู B ได้อธิบายแล้วว่า มีข้อจำกัดด้านเวลา จึงไม่สามารถทำได้ อีกทั้งยังมีประเด็นเกี่ยวกับองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER ที่จะต้องทำความเข้าใจ เนื่องจากเป็นสิ่งใหม่ ยังไม่เคยเรียน

มาก่อน โดยนักเรียนเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนในองค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้างว่าเป็นการคาดคะเนสิ่งที่เกิดขึ้น นักเรียนจึงเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ออกมาในรูปแบบของสมมติฐาน ดังภาพประกอบ 21 และ 22 ที่ได้นำเสนอไป ในระหว่างที่ทำแบบทดสอบ นักเรียนก็จะถามย้ำเกี่ยวกับแต่ละองค์ประกอบ ความล่าช้าในทุก ๆ กิจกรรมส่งผลให้ ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ใช้เวลามากกว่าที่ออกแบบไว้จำนวน 1 คาบเรียน

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 ในตอนต้นที่ครู B ใช้คำถามนำเข้าสู่สถานการณ์ นักเรียนส่วนใหญ่สามารถตอบได้ เนื่องจากเคยเรียนเกี่ยวกับการหายใจมาก่อนแล้ว ในวิชาชีววิทยา ทำให้การใช้เวลาในช่วงแรกเป็นไปตามแผนที่วางเอาไว้ แต่เมื่อถึงขั้นตอนรวบรวมข้อมูลที่นักเรียนจะต้องทดลองผ่านสื่อการทดลองเสมือน Phet Interactive Simulations การใช้เวลาก็เพิ่มมากขึ้น การใช้งานครั้งแรกผ่านโทรศัพท์มือถือ ซึ่งมีหน้าจอแสดงผลขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับจอคอมพิวเตอร์หรือจอแท็บเล็ต ส่งผลให้การกดปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ ทำได้ยาก ประกอบกับภาษาที่ใช้ในสื่อเป็นภาษาอังกฤษ คำศัพท์บางคำเป็นคำเฉพาะที่นักเรียนไม่คุ้นเคย ครู B จึงต้องแปลคำศัพท์ให้หลังจากที่ได้ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว นักเรียนจะต้องเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้ ซึ่งข้อมูลที่นักเรียนรวบรวมมานั้น มีทั้งกลุ่มที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความดันโดยการเพิ่มปริมาตรและการลดปริมาตร ครู B จึงต้องอธิบายข้อมูลที่ค้นพบทั้งสองรูปแบบ นอกจากนี้นักเรียนยังไม่สามารถตัดสินใจได้ว่าข้อมูลแต่ละข้อมูลควรระบุไว้ที่แกนใด รวมถึงไม่สามารถกำหนดขนาดของช่วงข้อมูลที่เหมาะสมบนแกนกราฟได้ ขั้นตอนดังกล่าวจึงใช้ระยะเวลามากกว่าที่วางแผนไว้ ทำให้ในตอนท้ายไม่สามารถสรุปข้อค้นพบจากกิจกรรมได้ จากนั้นก็เป็นช่วงเว้นไป 3 สัปดาห์ครู B จึงต้องเพิ่มเวลา เพื่อทบทวนกิจกรรมที่นักเรียนได้ทำย้อนหลัง นักเรียนจะได้ระลึกได้ว่า ตนเองมีข้อมูลใดแล้วบ้าง และจะต้องนำข้อมูลนั้นไปใช้ต่ออย่างไร แผนที่ 2 จึงเป็นแผนที่ใช้ระยะเวลา มากกว่าแผนที่อื่น ๆ คือ ใช้เวลาทั้งหมด 5 คาบเรียน ซึ่งเกินจากที่วางแผนไว้ 2 คาบเรียน

ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 ใช้เวลาตามแผนที่กำหนดไว้ แม้ว่านักเรียนเริ่มมีอาการเหนื่อยล้า และเริ่มเบื่อหน่ายการทำกิจกรรมแบบเดิมซ้ำ ๆ โดยเฉพาะการเขียนตอบในใบกิจกรรมสืบเสาะที่มีรายละเอียดหลายส่วน ทั้งสมมติฐาน แบบจำลอง และตารางการเชื่อมโยงข้อมูล ตัวอย่างประโยคที่นักเรียนกล่าวออกมาในช่วงต้นของคาบเรียน เช่น เห็นเอกสารก็รู้สึกท้อ เห็นแล้วอยากอาเจียน แต่นักเรียนก็ยังคงให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมเป็นอย่างดี ส่วนหนึ่งอาจมาจากการที่นักเรียนสามารถตอบคำถามที่ครู B ใช้ในการเชื่อมโยงเข้าสู่ปรากฏการณ์ได้ แม้ว่านักเรียนจะไม่คุ้นชินกับการรับภาระงานหนักจากเตาที่ใช้แก๊สกระป๋อง เพราะนักเรียนส่วนใหญ่กล่าวว่า รับภาระจากเตาถ่าน หรือเตาไฟฟ้า ในการทำกิจกรรม นักเรียนมีการแบ่ง

หน้าที่กันชัดเจนมากขึ้น ทำให้สามารถใช้ระยะเวลาตามที่ออกแบบไว้ได้ แม้ว่าจะมีข้อมูลที่ต้องสืบเสาะมากกว่าแผนการจัดการเรียนรู้อื่น ๆ และมีการแสดงบทบาทสมมติเป็นผู้ประกาศข่าวจากเพื่อนร่วมชั้น จึงทำให้บรรยากาศในคาบเรียนนี้มีความสนุกสนานมากขึ้น ในช่วงของการบันทึกข้อมูลลงในตารางสรุป ครูเขียนข้อความเป็นตัวอย่างให้นักเรียน ในส่วนของกิจกรรมที่ทำและข้อมูลที่ได้ โดยเขียนเป็นข้อความที่มีรายละเอียดชัดเจน

การเรียนรู้เกี่ยวกับกฎความดันย่อยของดอลตัน ซึ่งเป็นลำดับที่ 4 ครู B ต้องรับการประเมินจากอาจารย์นิเทศภายในโรงเรียน ครู B จึงได้ปรับกิจกรรมบางส่วนให้ทำพร้อมกันทั้งชั้นเรียน เพื่อควบคุมระยะเวลาให้เป็นไปตามแผนที่ออกแบบไว้ และได้จัดทำสื่อนำเสนอ PowerPoint เพิ่มเติม เพื่อให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลในเอกสารประกอบไปพร้อม ๆ กัน จะได้สรุปบางประเด็นได้รวดเร็วมากขึ้น ในช่วงต้นที่เป็นคำถามคำถามเพื่อนำเข้าสู่สถานการณ์ นักเรียนสอบถามข้อมูลละเอียดกว่าทุกครั้ง และการตอบคำถามของนักเรียนให้ประเด็นที่น่าสนใจหลายประเด็น จนครู B ต้องสรุปว่า ประเด็นที่ศึกษาในครั้งนี้ คือ ปริมาณแก๊สที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความสูง เพื่อไม่ให้ใช้เวลามากเกินไป ในการสืบเสาะหาข้อมูล ครู B สานิตการใช้สื่อการทดลองเสมือน Phet Interactive Simulations ในทุกขั้นตอน เพราะมีการใช้งานที่ซับซ้อนกว่าเดิม เนื่องจากต้องพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความดันย่อยของแก๊สจากทั้งจำนวนของอนุภาค และขนาดของอนุภาคแก๊ส และความดันรวมของแก๊สที่เกิดจากการนำแก๊สที่มีขนาดโมเลกุลต่างกันมาผสมกัน ระหว่างทำกิจกรรม ครู B เดินดูนักเรียนทุกกลุ่มอย่างทั่วถึง ในช่วงตรงกลางของคาบเรียน นักเรียนค่อนข้างเฉื่อย และเริ่มไม่มีสมาธิจดจ่อในสิ่งที่ต้องทำ เช่น ในขณะที่ครูนำอภิปราย นักเรียนส่วนใหญ่จะนั่งฟังเพียงอย่างเดียว แต่จะไม่มีการจดบันทึกข้อมูลที่ร่วมกันสรุป หลังจากทีครูนำอภิปรายจบ ครู B จึงไม่อภิปรายซ้ำและให้นักเรียนเขียนสรุปความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาณของแก๊สด้วยตนเอง แต่ยังคงใช้คำถามเชื่อมโยง คอยชี้แนะนักเรียนไปที่ละประเด็น

ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 ที่ศึกษาเกี่ยวกับการแพร่ของแก๊ส ตอนต้นคาบที่มีการใช้คำถามเพื่อนำเข้าสู่สถานการณ์ที่ต้องสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ พบว่า นักเรียนสามารถตอบคำถามได้เช่นเดิม แต่ในการตั้งสมมติฐานยังไม่ได้เชื่อมโยงไปถึงความเร็วหรืออัตราการแพร่ของแก๊ส และลักษณะพื้นผิวของลูกโป่ง ครูต้องเฉลยเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการสืบเสาะหาข้อมูล ในแผนนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบให้นักเรียนได้ใช้อุปกรณ์ปฏิบัติการเคมียอส่วน ซึ่งมีวิธีการใช้งานไม่ซับซ้อน และมีขั้นตอนการทดลองที่ไม่ยุ่งยาก เหมาะสมกับความสามารถของนักเรียน นักเรียนสามารถอ่านคู่มือและทำตามได้ นักเรียนให้ความสนใจการทดลองเป็นอย่างดี เพราะไม่เคยใช้

อุปกรณ์ในลักษณะนี้มาก่อน จึงให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมค่อนข้างมาก จนสามารถทำกิจกรรมได้สำเร็จภายในเวลาที่กำหนด ในการอภิปราย นักเรียนไม่สามารถระบุได้ว่า ของเหลวแต่ละชนิดให้แก๊สชนิดใด และไม่สามารถระบุได้ว่ามีแก๊สเกิดขึ้นภายในภาชนะ ครูต้องใช้คำถามเชื่อมโยงว่า ของเหลวที่นักเรียนหยดลงไปไม่ได้ไหลมาผสมกัน แต่ทำไมจึงเกิดของแข็งสีขาวขึ้น จากนั้นครูจึงใช้คำถามต่อเนื่องกันจนนักเรียนสามารถระบุได้ว่า แก๊สแอมโมเนียแพร่ได้เร็วกว่าแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ และมีนักเรียนที่สามารถแก้ไขคำตอบของเพื่อนร่วมชั้นได้ว่า การแพร่ของแก๊สขึ้นกับมวลต่อโมลของแก๊สไม่ใช่มวล และมีนักเรียนที่สามารถตอบเรื่องโครงสร้างของโมเลกุลโป่งที่มีรูได้ ทำให้ในแผนนี้ครูสามารถนำเสนอสรุปได้เร็วขึ้น และมีเวลาเตรียมตัวก่อนทำแบบทดสอบ

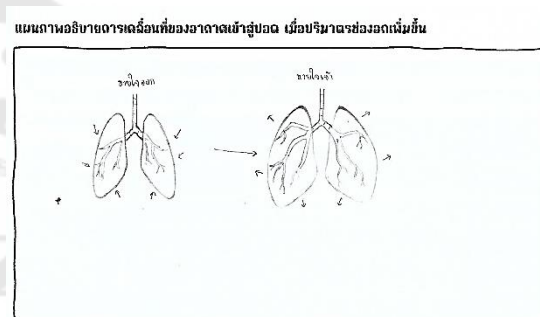
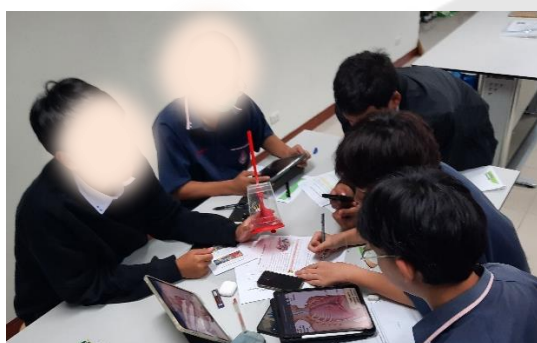
แม้ว่าการจัดการเรียนรู้จะมีลักษณะค่อยเป็นค่อยไป แต่ก็สามารถดำเนินไปได้อย่างราบรื่น เนื่องจากครู B มีความชำนาญในการบริหารจัดการชั้นเรียน จึงสามารถปรับกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับบริบทของนักเรียน ได้อย่างลงตัว สามารถชักนำให้นักเรียนร่วมทำกิจกรรมตลอดทั้งเรื่องได้

จากการทำกิจกรรมตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ติดต่อกันเป็นเวลาหลายสัปดาห์ ที่นักเรียนจะต้องทำในสิ่งเดิมซ้ำ ๆ ทั้งการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ของแก๊ส การจดบันทึกข้อมูลลงในใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และการพัฒนาแบบจำลองในใบกิจกรรมสืบเสาะ ส่งผลให้นักเรียนเบื่อหน่าย เหนื่อยล้า และหมดกำลังใจ สังเกตได้จากลักษณะคำพูดและพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกในช่วงท้าย เมื่อรู้ว่าจะต้องทำอะไรที่เหมือนเดิม และเป็นสิ่งที่ตนเองยังทำได้ไม่สำเร็จ แต่หากได้ลงมือทำในสิ่งที่ต่างไปจากเดิม พฤติกรรมของนักเรียนจะเปลี่ยนไป โดยเฉพาะถ้าสิ่งที่เปลี่ยนไปนั้นมีความซับซ้อนน้อยกว่าเดิม เช่น การทำปฏิบัติการเคมีย่อส่วนที่นักเรียนสามารถทำได้เองด้วยการอ่านจากคู่มือ

3.2 การแก้ไขแบบจำลองของนักเรียนต้องอาศัยแรงจูงใจ

ใบกิจกรรมสืบเสาะมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองของนักเรียนทั้งหมดสามส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่ 2) การสร้างแบบจำลองเบื้องต้น ส่วนที่ 3.5) การแก้ไขแบบจำลองครั้งที่ 1 และส่วนที่ 3.6) การแก้ไขแบบจำลองครั้งสุดท้าย จากการสังเกตชั้นเรียน พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่จะพยายามสร้างแบบจำลองให้สำเร็จในครั้งแรก ไม่ต้องการปรับปรุงแก้ไข หรือทำซ้ำในสิ่งเดิม โดยเฉพาะสิ่งที่มีรายละเอียดเยอะ นักเรียนจะถามครู B ทุกคาบเรียนว่า สิ่งที่เราวัดนี้ถูกแล้วหรือยัง ต้องวาดหรือเขียนอะไรเพิ่มอีก ซึ่ง ครู B ไม่ได้เฉลย แต่จะตอบว่า ให้รอตรวจสอบ

จากข้อมูลที่กำลังจะรวบรวม นักเรียนจึงมีการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่กำลังจะศึกษา เพื่อให้ตนเองสามารถวาดแบบจำลองได้ถูกต้องตั้งแต่ครั้งแรก เช่น ในแผนที่ 2 นักเรียนจะสืบค้นเกี่ยวกับการหายใจ เพราะเคยเรียนมาแล้วในวิชาชีววิทยา นักเรียนจึงนำเอกสารของวิชาชีววิทยา มาค้นหารูปภาพของการเปลี่ยนแปลงอวัยวะภายในช่องอก แล้ววาดตาม โดยครู B ได้กล่าวย้ำเตือนแล้วว่า สิ่งทีวาดนั้น จะต้องเชื่อมโยงกับสถานการณ์ที่กำลังสนใจ คือ การหายใจเข้า แต่มีนักเรียนบางกลุ่มที่ไม่ได้สนใจ สังเกตได้จากการวาดแบบจำลองเบื้องต้นที่แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงทั้งในขณะที่หายใจเข้า และหายใจออก ดังภาพประกอบ 58



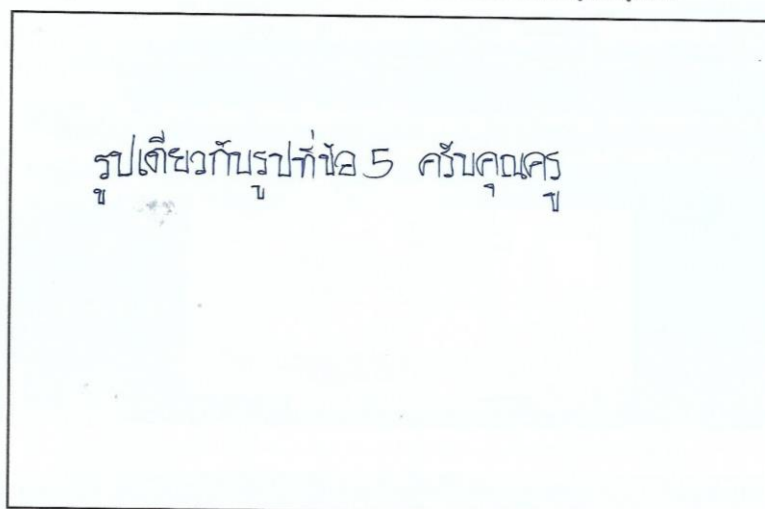
ภาพประกอบ 58 การวาดแบบจำลองในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 กฎของบอยล์

ในแผนที่ 4 นักเรียนใช้รูปภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอากาศตามระดับความสูงในเอกสารที่เป็นข้อมูลประกอบสถานการณ์ เป็นต้นแบบในการวาดแบบจำลองเบื้องต้น ลักษณะแบบจำลองของนักเรียนแต่ละกลุ่มจึงคล้ายกัน แต่จะเจาะจงกับสถานการณ์ที่กำลังศึกษามากขึ้น โดยสถานการณ์ในครั้งนี้ คือ การเดินทางไปท่องเที่ยวยังเมื่อลาซา ณ ความสูง 4,000 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง แสดงได้ดังภาพประกอบ 59



ภาพประกอบ 59 การวาดแบบจำลองในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 กฎความดันย่อยของดอลตัน

6. สร้างแผนภาพฉบับสมบูรณ์ จากคำแนะนำที่ได้รับจากครูและเพื่อน ให้นักเรียนปรับปรุงแผนภาพของกลุ่มตัวเอง เป็นครั้งสุดท้าย เพื่อนำไปใช้อธิบายการระเบิดของแก๊สกระป๋องที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาชาบูหรือหมุกระทะ

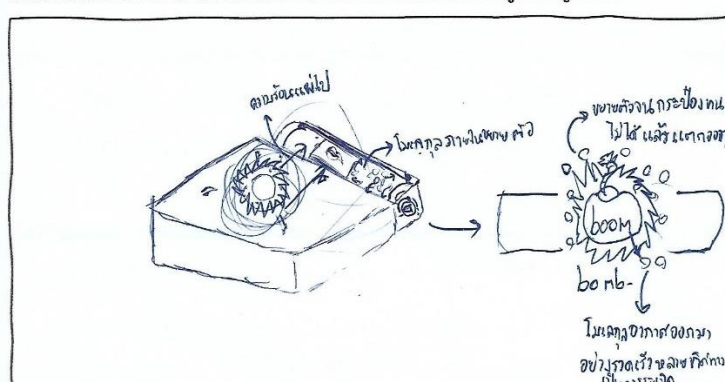


ภาพประกอบ 62 การปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองครั้งสุดท้าย

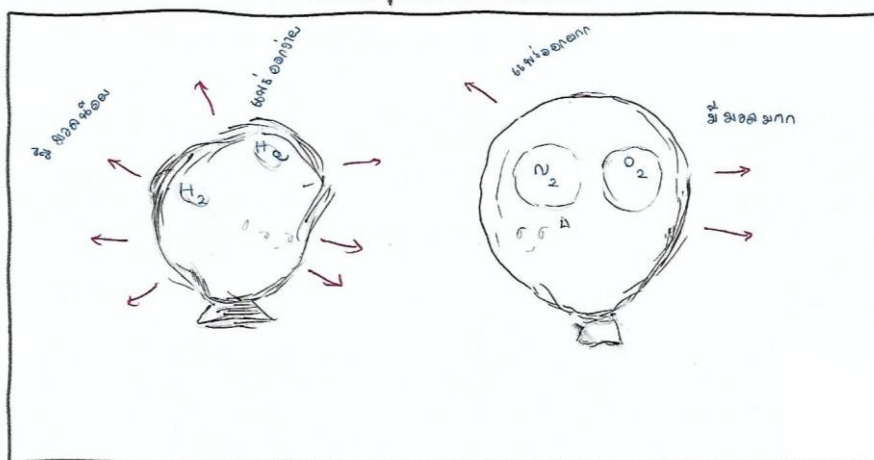
3.3 การสร้างแบบจำลองต้องการนักเรียนที่มีความสามารถในการวาดรูปอยู่ในกลุ่ม

การสร้างแบบจำลองในทุกแผนการจัดการเรียนรู้สามารถดำเนินไปอย่างราบรื่น เนื่องด้วยนักเรียนทุกกลุ่มจะมีสมาชิกที่สามารถวาดรูปได้ ทำให้ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง มีผู้รับผิดชอบโดยทันที จึงใช้เวลาในขั้นตอนดังกล่าวไม่มาก นอกจากจะช่วยกระชับเวลาในการทำ กิจกรรมแล้ว การที่นักเรียนมีความสามารถสนในการวาดรูป ยังทำให้แบบจำลองที่นักเรียนวาด ออกมานั้น จะมีรายละเอียดที่จำเพาะกับสถานการณ์ ตัวอย่างแบบจำลองเบื้องต้นที่นักเรียน แต่ละกลุ่มวาด แสดงได้ดังภาพประกอบ 63

แผนภาพอธิบายการระเบิดของแก๊สกระป๋องที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาชาบูหรือหมุกระทะ



แผนภาพอธิบายการเปลี่ยนแปลงขนาดของลูกโป่งทั่วไปที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ
แต่บรรจุด้วยแก๊สต่างชนิดกัน



ภาพประกอบ 63 ตัวอย่างแบบจำลองเบื้องต้นที่นักเรียนสร้าง

3.4 การกำหนดประเด็นที่สนใจ การออกแบบขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลและ การเขียนสมมติฐานตั้งอาศัยการชี้แนะจากครูผู้สอน

จากการสังเกตชั้นเรียน พบว่า ในทุกแผนการจัดการเรียนรู้ ครูผู้สอนเป็นผู้กำหนดสมมติฐานเพื่อการสืบเสาะหาข้อมูล โดยใช้การถามคำถามเชื่อมโยงจากสถานการณ์ ไปสู่ตัวแปรที่ต้องการจะศึกษา นักเรียนเพียงแค่จดบันทึกสมมติฐานลงในใบกิจกรรมสืบเสาะเท่านั้น จากพฤติกรรมดังกล่าว จึงส่งผลให้นักเรียนไม่ได้ออกแบบการรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง เพียงแค่ดำเนินการตามขั้นตอนที่ผู้วิจัยได้ออกแบบไว้เท่านั้น โดยครูผู้สอนนำนักเรียนทำการรวบรวมข้อมูลแต่ละขั้นตอนไปพร้อม ๆ กัน ส่วนหนึ่งคือ เพื่อให้สามารถจัดการเรียนรู้ได้ตามเวลาที่กำหนด อีกส่วนหนึ่งเกิดจากการที่นักเรียนไม่สามารถออกแบบการตรวจสอบข้อมูลที่เหมาะสมกับระยะเวลาในคาบเรียนได้ ดังที่แสดงให้เห็นในแผนที่ 1 ว่า นักเรียนต้องการจำลองสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งบางสถานการณ์ไม่สามารถจำลองให้เกิดได้เพราะนักเรียนจะได้รับอันตราย

ตัวอย่างการจดบันทึกใบกิจกรรมสืบเสาะในส่วนของการตั้งสมมติฐาน แสดงได้ดังภาพประกอบ 64 และการออกแบบขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูลที่นักเรียนบันทึกตามที่ครูผู้สอนอธิบายชี้แจง แสดงได้ดังภาพประกอบ 65

1. ตั้งสมมติฐาน เขียนข้อความตามโครงสร้างที่กำหนดให้ด้านล่าง

“เมื่อเราเชื่อว่า (ความสัมพันธ์ตามแผนภาพที่สร้าง) นั้นถูกต้อง
เราจึง (สังเกต/ทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว) แล้วเราควรจะสังเกตได้ว่า (ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น)”

เมื่อเราเชื่อว่า ลูกโป่งที่ทำมาจากยางพารามีโครงสร้างเป็นรูพรุน นั่นถูกต้อง เราจึงสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ
ของยางพารา แล้วค้นพบว่า ยางพาราทำมาจากลูกโป่งมีโครงสร้างเป็นรูพรุน

เมื่อเราเชื่อว่า ลูกโป่งที่ทำมาจากยางพารามีโครงสร้างเป็นรูพรุน นั่นถูกต้อง เราจึงสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ
โครงสร้างทางเคมีของยางพารา แล้วจึงค้นพบว่า ยางพาราทำมาจากลูกโป่งมีโครงสร้างเป็นรูพรุน

“เมื่อเราเชื่อว่าลูกโป่งที่ทำมาจากยางพารามีโครงสร้างเป็นรูพรุนนั้นถูกต้อง เราจึงสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ
โครงสร้างทางเคมีของยางพาราแล้วค้นพบว่า ยางพาราที่ทำมาจากลูกโป่งมีโครงสร้างเป็นรูพรุน”

ภาพประกอบ 64 การตั้งสมมติฐานเพื่อการสืบเสาะหาข้อมูลของนักเรียน

2. ออกแบบขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล ระบุวิธีการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ต้นจนจบให้สอดคล้องกับสมมติฐาน
เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาช่วยสนับสนุนว่า แผนภาพที่นักเรียนวาดไว้ในตอนแรกนั้น ถูกต้อง โดยข้อมูลที่รวบรวมมาได้
ควรมีคุณภาพและจำนวนที่มากพอ

1) สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับลูกโป่ง
2) ทดลองเกี่ยวกับการแพร่
3) สรุปผลการทดลอง
4) ตั้งสมมติฐาน

2. ออกแบบขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล ระบุวิธีการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ต้นจนจบให้สอดคล้องกับสมมติฐาน
เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาช่วยสนับสนุนว่า แผนภาพที่นักเรียนวาดไว้ในตอนแรกนั้น ถูกต้อง โดยข้อมูลที่รวบรวมมาได้
ควรมีคุณภาพและจำนวนที่มากพอ

1) สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับลูกโป่ง
2) ทดลองเกี่ยวกับการแพร่
3) สรุปผลการทดลอง
4) ตั้งสมมติฐาน

“1) สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับลูกโป่ง 2) ทดลองเกี่ยวกับการแพร่
3) สรุปผลการทดลอง 4) ตั้งสมมติฐาน”

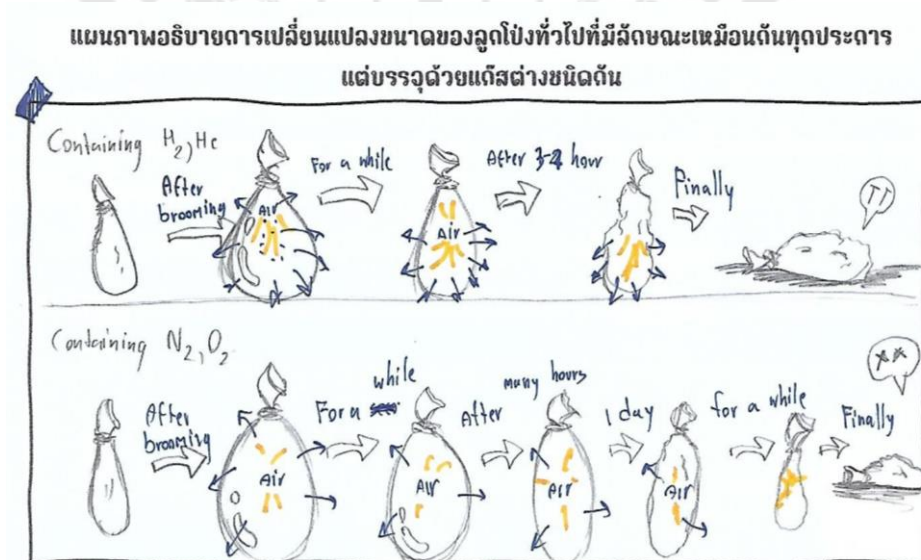
ภาพประกอบ 65 การออกแบบขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล

3.5 การตอบคำถาม การสร้างแบบจำลอง และการจัดบันทึกข้อมูลลงในใบกิจกรรมเป็นประจำช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ระดับดีมากได้

เมื่อจัดการเรียนรู้จนครบทั้ง 5 แผนพบว่า ไม่สามารถเปลี่ยนระดับการเสริมต่อการเรียนรู้ได้ เนื่องจากร้อยละของนักเรียนที่สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในระดับดีมากทั้งในภาพรวมและรายองค์ประกอบไม่ถึงเกณฑ์ที่ตั้งไว้ แต่ในบางแผนการจัดการเรียนรู้อย่างพบนักเรียนที่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในระดับดีมากได้ ดังนี้

- 1) แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 กฎของบอยล์ได้แก่ S12
- 2) แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 กฎความดันย่อยของดอลตัน ได้แก่ S16
- 3) แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม มีนักเรียนหนึ่งคนที่ได้ระดับดีมากทั้งหมด 8 คนและมีหนึ่งคนที่ได้คะแนนเต็ม 6 คะแนน คือ S01

นักเรียน S12 เป็นผู้รับผิดชอบในการวาดและปรับปรุงแบบจำลองของกลุ่มตนเองทุกครั้ง เนื่องจากเป็นนักเรียนที่มีความสามารถในการวาดรูปดีที่สุดในกลุ่ม ตัวอย่างแบบจำลองเบื้องต้นที่นักเรียนวาด แสดงได้ดังภาพประกอบ 66 ซึ่งจะเห็นว่ามีคามสวยงามโดดเด่น มีรายละเอียดที่เฉพาะเจาะจงกับสถานการณ์ให้ข้อมูลที่มากกว่าแบบจำลองที่ได้นำเสนอไปก่อนหน้านี้ คือ แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับวัตถุที่ละขั้นตอนอย่างชัดเจน



คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในระดับดีมากของนักเรียน S12 จะมีลักษณะ คือ นักเรียนจะสามารถระบุหลักฐาน และสร้างการให้เหตุผลได้สมบูรณ์ แต่นักเรียนจะไม่สามารถสร้างข้อกล่าวอ้างที่สมบูรณ์ได้ คะแนนรวมจะอยู่ที่ 5 คะแนน คือ มีคะแนนด้านข้อกล่าวอ้างเท่ากับ 1 คะแนน ด้านหลักฐานและการให้เหตุผล ด้านละ 2 คะแนน ข้อกล่าวอ้างที่นักเรียนสร้าง ยังไม่ได้ระบุอย่างชัดเจนว่า ลักษณะของถุงขนมเป็นอย่างไร เมื่อเทียบกับก่อนขึ้นไปยังยอดดอย บอกเพียงว่า ยิ่งต่งต่งขึ้นที่สูง ถุงขนมจะยิ่งพอง ซึ่งผู้อ่านจะต้องตีความด้วยตนเองต่อไปว่า ถุงขนมจะมีขนาดใหญ่กว่า เมื่อเทียบกับก่อนขึ้นไปยังยอดดอย

นักเรียน S16 รับผิดชอบเป็นผู้จัดบันทึกข้อมูลลงในใบกิจกรรมสืบเสาะของกลุ่มทุกครั้ง เนื่องจากการตรวจใบกิจกรรมสืบเสาะในครั้งแรก ผู้วิจัยได้ให้คำแนะนำกับนักเรียนหลายกลุ่มว่า ควรปรับลายมือให้อ่านง่ายมากขึ้น จึงทำให้มีนักเรียนบางคนไม่กล้าเขียน และนักเรียนที่มีลายมือเป็นระเบียบที่สุด จะถูกเลือกให้เป็นผู้จัดบันทึก แม้ว่าในส่วนของ การจัดบันทึกนั้น นักเรียนจะจัดบันทึกตามสิ่งที่ครูผู้สอนนำอภิปราย เช่น การสรุปเชื่อมโยงระหว่างปรากฏการณ์กับข้อมูลที่รวบรวมมา แต่นักเรียนก็สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในระดับดีมากจากการทำแบบทดสอบท้ายแผนได้ ตัวอย่างการจัดบันทึกในใบกิจกรรมสืบเสาะของนักเรียน แสดงได้ดังภาพประกอบ 68

กิจกรรมที่ทำ	ข้อมูลที่ได้	การเชื่อมโยงสู่ปรากฏการณ์
การหาคำความหมายระหว่างความดันและปริมาณอากาศผ่านphet interactive	ความดันรวมอากาศผสมซึ่งความดันสูง จำนวนอนุภาคยิ่งมากขึ้น	ยิ่งเราได้จำนวนอนุภาคมากขึ้น ก็ให้เกิ นลักษณะการผสมกัน คืออนุภาคมากขึ้น จะส่งผลให้ความดันอากาศขึ้นโดยที่ อนุภาคมากขึ้น ความดันก็มากขึ้น
การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความดันอากาศ	ยิ่งอยู่ในที่สูง ความดันอากาศก็จะยิ่ง ลดลง	ยิ่งเราอยู่ในที่สูง จะมีความหนาแน่น บรรยากาศน้อย ความดันบรรยากาศก็น้อย แต่ถ้าหากอยู่ที่ต่ำ จะมีความหนาแน่น บรรยากาศมาก ความดันก็มากขึ้น
การอ่านแผนภูมิความสูงของแท่งวัดความสูงของแท่งวัดความสูงในอากาศที่วัดได้	แท่ง 0 เป็นองค์ประกอบ ในอากาศที่วัดได้ 21	เมื่ออยู่ในที่สูงจะมีปริมาณ 0 ในอากาศ ที่น้อยลง แท่งที่วัดได้จะมีปริมาณ 0 ในอากาศมาก
การสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับอาการแพ้ความสูง	อาการแพ้ความสูงจะมีอาการเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นในคนที่มีความสูงที่ต่ำกว่าระดับความสูงที่ 2,500 m	อาการแพ้ความสูง Altitude sickness ขึ้น จะมีอาการเกิดขึ้นโดยที่ความสูงในที่สูง เราจะมีอาการแพ้ที่ต่ำกว่าคนอื่น ที่มีอาการแพ้ ความสูงที่ต่ำกว่าและเมื่อความสูงลดลง
การอ่านแผนที่แสดงระดับความสูงของพื้นที่ราบสูง	เมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูงระดับความสูงจะอยู่ที่ 4000-5000m	ที่ระดับความสูงมาก ๆ จะมีความหนาแน่น ต่ำในอากาศน้อย แต่หากอยู่ในระดับ ความสูงต่ำ จะมีความหนาแน่นมาก (แปรผกผันกัน)

ภาพประกอบ 68 การจัดบันทึกในใบกิจกรรมสืบเสาะของนักเรียน S16

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ระดับดีมากของนักเรียน S16 ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง กฎความดันย่อยของดอลตัน ได้คะแนน 5 คะแนนจากคะแนนเต็ม 6 คะแนน แต่จะมีลักษณะที่ต่างไปจากคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ระดับดีมากของนักเรียน S12 เนื่องจากสร้างองค์ประกอบด้านการให้เหตุผลยังไม่สมบูรณ์ คือ ไม่ระบุว่าความดันอากาศเกิดจากความดันย่อยของแก๊สที่เป็นองค์ประกอบแต่ละชนิดรวมกัน เมื่อความดันอากาศรวมลดลง ความดันย่อยของแก๊สที่เป็นองค์ประกอบจะลดลงตาม คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน แสดงได้ดังภาพประกอบ 69

จากข้อมูลที่นำมารวบรวมมาได้ ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า เมื่อขึ้นไปบนยอดดอย
 ภูเขา ความดันของแก๊สออกซิเจนจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร จึงทำให้น้ำอุ่นเกิดอาการหายใจไม่อึด
 ความดันของแก๊สออกซิเจนจะมีการเปลี่ยนแปลงในคือความดันที่ต่ำลง
 โดยในน้ำอุ่นที่มีปริมาณมาก จะส่งผลให้ความดันของแก๊สในอากาศลดลง
 จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนในอากาศลดลงตาม โดยมีหลักฐานจากค่าที่
 บอกลูกนั้นก็คือ เมื่อขึ้นไปที่สูง ความดันก็จะลดลงไปเรื่อย
 และอาการที่เรียกว่า อาการหายใจไม่อึด จากที่น้ำอุ่นได้คำนวณ คือ
 ปริมาณ 0 เปรียบเทียบกับความดันของแก๊สที่เรารู้ได้ว่า
 ความดันของแก๊สมีค่าลดลง ส่งผลให้แก๊ส 0 ลงลงตาม จึงทำให้
 น้ำอุ่นเกิดอาการหายใจไม่อึดตามกฎของดอลตัน

ภาพประกอบ 69 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊สออกซิเจนบนยอดดอยภูเขา ของนักเรียน S16

นักเรียน S01 เป็นนักเรียนที่นั่งอยู่โต๊ะหลังสุด เป็นนักกีฬาฟุตบอลของโรงเรียน มีผลการเรียนวิชาเคมี เท่ากับ 2.0 แต่ในทุกคาบเรียน นักเรียนคนนี้จะตอบคำถามและโต้ตอบกับครู B อย่างสม่ำเสมอ แม้ว่าจะตอบทั้งถูกและผิดปนกัน นักเรียนคนดังกล่าวจะยังคงตอบคำถามต่อไปและให้ความสนใจในสิ่งที่ครูพูดอธิบายเสมอ จนในแผนการจัดการเรียนรู้ลำดับสุดท้าย เรื่อง กฎการแพร่ของเกรแฮม นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีองค์ประกอบครบถ้วนสมบูรณ์เต็ม 6 คะแนน ได้เป็นคนแรกและคนเดียว เพราะจากการตรวจแบบวัด ไม่มีนักเรียนคนใดที่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ระดับดีมากเต็ม 6 คะแนนได้

แบบทดสอบเนื้อหาดังกล่าว เป็นสถานการณ์ เรื่อง กลิ่นดอกไม้ ที่ให้นักเรียนเปรียบเทียบว่าจะได้กลิ่นดอกไม้ชนิดใดเป็นอันดับแรก ในข้อคำถาม ผู้วิจัยได้กำหนดข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีที่ให้กลิ่นในดอกไม้แต่ละชนิด ในรูปแบบของตารางที่ประกอบด้วยชื่อสารเคมี สูตรโมเลกุล สูตรโครงสร้าง มวลต่อโมล และจุดเดือดที่ความดัน 1 บรรยากาศ นักเรียนสามารถเลือกเฉพาะหลักฐานที่เกี่ยวข้องมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างของตนเองโดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮมแสดงการเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบทั้งสองส่วนได้ คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน แสดงได้ดังภาพประกอบ 70

จากสถานการณ์ข้างต้น ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า ขณะที่ลอยแก้วยีนรอปั่นงานอยู่ในร้าน ลอยแก้วจะได้กลิ่นของดอกไม้ชนิดใดเป็นอันดับแรก

.....ลอยแก้วจะได้กลิ่นของดอกกุหลาบ เป็นอันดับแรก เพราะว่า มวลต่อโมลของดอกกุหลาบ น้อยที่สุด จากกฎของ เกรแฮม มวลต่อโมลของแก๊สที่ลึบหนีไม่เท่ากัน มวลต่อโมลมาก จะทำให้การหนีได้ช้ากว่า มวลต่อโมลน้อย ได้กลิ่นดอกกุหลาบ มีมวลต่อโมลน้อยกว่าดอกอื่นๆ ทำให้ได้กลิ่นได้ไวกว่าอื่นๆ ดังที่ได้จากมวลต่อโมล ^{ในดาว} มวลของ โมลดอกกุหลาบน้อยที่สุด ทำให้ได้กลิ่นดอกกุหลาบเป็นลำดับแรก

ภาพประกอบ 70 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กลิ่นดอกไม้ ของนักเรียน S01

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เป็นผลมาจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ผ่านการวิจัยผลงานวิธีแบบแผนคู่ขนาน เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณ คือ แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เครื่องมือที่ใช้รวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ แบบบันทึกการสังเกตชั้นเรียน รวมทั้งใบกิจกรรมสืบเสาะรายกลุ่มและใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายบุคคล ซึ่งจะใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลขณะและหลังใช้แผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์จากครู B ซึ่งรับผิดชอบสอนรายวิชา ว32222 เคมี 3 ของโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา กรุงเทพมหานคร เขต 1 ในการนำแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ จำนวน 5 แผนไปใช้ ใช้เวลาทั้งหมด 17 คาบเรียน (7 สัปดาห์) แบบไม่ต่อเนื่องกัน โดยมีผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นผู้สังเกตชั้นเรียน นักเรียนที่เป็นกลุ่มที่ศึกษา คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ จำนวน 38 คน ที่มีผลการเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง (เกรด 2.0 – 2.5) วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบสมมติฐานการวิจัย ดังนี้

ข้อ 1) หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ จำนวนนักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส โดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 53.00 ขึ้นไป วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำคะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมจากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แต่ละข้อของนักเรียนทุกคน ไปแปลผลเป็นระดับคุณภาพ จากนั้นจึงนับจำนวนนักเรียนในระดับคุณภาพต่าง ๆ แล้วคำนวณหาร้อยละ

ข้อ 2) หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ จำนวนนักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ด้านข้อกล่าวอ้างอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 83.00 ขึ้นไป ด้านหลักฐานอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 50.00 ขึ้นไป และด้านการให้เหตุผลอยู่ในระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 40.00 ขึ้นไป วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำคะแนนของแต่ละองค์ประกอบที่ได้จากการตรวจแบบวัดการ

สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แต่ละข้อมารวมกัน แล้วแปลความหมายคะแนนเป็นระดับคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด จากนั้นจึงนับจำนวนนักเรียนและคำนวณหาค่าร้อยละ

จากผลการศึกษา สามารถสรุป อภิปรายและให้ข้อเสนอแนะ ได้ดังนี้

1. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัย สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ พบว่า การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม เรื่อง แก๊ส ของนักเรียนอยู่ในระดับดี ร้อยละ 56.67 ระดับควรปรับปรุง ร้อยละ 43.33 และไม่พบนักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก

2) หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนมีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ด้านข้อกล่าวอ้างอยู่ในระดับดีมาก (ร้อยละ 93.34) ระดับดี (ร้อยละ 3.33) และระดับควรปรับปรุง (ร้อยละ 3.33) ด้านหลักฐาน และด้านการให้เหตุผล เหมือนกัน คือ ระดับดี (ร้อยละ 30.00) และระดับควรปรับปรุง (ร้อยละ 70.00) และไม่พบนักเรียนที่มีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้านหลักฐานและการให้เหตุผลในระดับดีมาก

2. อภิปรายผลการวิจัย

จากการพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ของกลุ่มที่ศึกษาซึ่งเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ส่วนใหญ่มีผลการเรียนรู้นักเรียนอยู่ในระดับปานกลาง สามารถอภิปรายผลการศึกษา ได้ดังนี้

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส โดยภาพรวมของนักเรียน หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ส่วนใหญ่สร้างได้ในระดับควรปรับปรุง (ร้อยละ 63.33) แตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ เช่น งานวิจัยของ พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ (2565) ที่พัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหว สามารถพัฒนานักเรียนที่มีผลการเรียนรู้นักเรียนอยู่ในระดับปานกลางถึงเก่งสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนอยู่ในระดับดีมากได้ตั้งแต่ ร้อยละ 59.38 ขึ้นไป และงานวิจัยของ พรรณนภา อนิวรรณวงศ์ และร่วมเกล้า จันทราธิ (2562) ที่สามารถส่งเสริมให้นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สามารถสร้างคำอธิบาย

ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารละลายอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ให้มีคุณภาพอยู่ในระดับ 5 ซึ่งเป็นระดับที่มีองค์ประกอบสมบูรณ์ที่สุดตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ได้ถึงร้อยละ 70.59 นอกจากนี้ งานวิจัยทั้งสองใช้แบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบอัตนัยจำกัดคำตอบ คือ มีการใช้คำถามย่อย เพื่อถามแยกตามแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยครั้งนี้ ที่ใช้แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นแบบอัตนัยไม่จำกัดคำตอบ คือ ถามให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้วยคำถามเพียงคำถามเดียว และในคำถามไม่มีข้อความหรือคำที่บ่งบอกถึงองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER

เมื่อพิจารณาคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมที่นักเรียนส่วนใหญ่สร้างได้ในระดับ ควรปรับปรุงนั้น เกิดจากการสร้างองค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้างที่สมบูรณ์ แต่สร้างองค์ประกอบด้านหลักฐานและเหตุผลได้ไม่สมบูรณ์ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ สุธิตาภา จิตต์ประเสริฐ, เอกรัตน์ ทานาค, และ ครองขวัญ อัครชนิยากร (2565) ที่พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง สามารถส่งเสริมให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ส่วนใหญ่ สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้ในระดับสมบูรณ์บางส่วน คือ ระบุข้อกล่าวอ้างได้ แต่ยังขาดการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้าง ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวใช้กลุ่มนักเรียนที่ศึกษาเป็นนักเรียนห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ที่มีผลการเรียนอยู่ในระดับดีถึงดีมาก ส่วนหนึ่งที่ทำให้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไม่ชัดเจน อาจเป็นเพราะในสังคมไทยเป็นสังคมที่ไม่สามารถแสดงออกอย่างตรงไปตรงมาได้ นักเรียนจึงไม่สามารถแสดงออกได้อย่างชัดเจน คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนเขียนออกมาจึงไม่ชัดเจนตามไปด้วย ดังงานวิจัยของ Lee (2018) ที่กล่าวว่า สังคมที่อ้อมค้อม จะส่งอิทธิพลให้คนในสังคมนั้น เขียนสื่อสารออกมาไม่ชัดเจน หรืออาจเป็นเพราะนักเรียนคิดว่า ผู้วิจัยที่ทำหน้าที่เป็นผู้ตรวจแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เข้าใจในสถานการณ์อยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องเขียนอธิบายอย่างละเอียด (McNeill & Krajcik, 2008a) จึงไม่ได้เขียนแสดงการเชื่อมโยงระหว่างข้อกล่าวอ้างและหลักฐานอย่างชัดเจน นอกจากนี้ งานวิจัยของ อัจฉราพรรณ ล้วนมณี และคณะ (2565) ระบุว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน สามารถส่งเสริมให้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีพัฒนาการความสามารถในการสื่อสารวิทยาศาสตร์ด้านการพูดได้ดีกว่าด้านการเขียน ซึ่งการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ถือเป็นการสื่อสารวิทยาศาสตร์ (จิรวัดน์ วโรภาส และคณะ, 2562) ด้านการเขียนรูปแบบหนึ่ง จึงอาจทำให้ในการวิจัยครั้งนี้ นักเรียนกลุ่มที่ศึกษา ยังไม่สามารถสร้าง

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในระดับดีมากตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ได้ หากปรับการประเมินเป็นการพูด นักเรียนอาจมีการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น สังเกตได้จากการที่ในชั้นเรียน จะมีนักเรียนที่ตอบคำถามของครู B ทุกครั้งและตอบได้ค่อนข้าง ตรงประเด็น แต่เมื่อเป็นการเขียนตอบในใบกิจกรรมสืบเสาะหรือใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ จะพบว่า มีการเขียนที่คลาดเคลื่อนและไม่ตรงประเด็นบางส่วน ประกอบกับ Amelia et al. (2020) ได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการพูดและการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของครูฝึกสอนวิชาฟิสิกส์ แล้วพบว่า ครูกลุ่มดังกล่าวสามารถพูดคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ดีกว่าเขียน และจากข้อมูลที่พบในการตรวจใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์และใบกิจกรรมสืบเสาะ ยังสะท้อนได้อีกว่านักเรียนกลุ่มดังกล่าว มีทักษะทางการเขียนน้อย เช่น เขียนสะกดคำไม่ถูกต้อง เขียนคำตอบเป็นคำหรือกลุ่มคำมากกว่าที่จะเขียนเป็นประโยค เขียนบรรยายสิ่งที่สังเกตไม่ได้ จึงส่งผลให้คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่เขียนออกมาไม่สมบูรณ์ ตามที่งานวิจัยของ Fleming et al. (2022) ระบุเอาไว้ว่า นักเรียนที่มีปัญหาด้านการเขียน จะจัดระบบความคิดได้ไม่ดี และดึงข้อมูลจากสิ่งที่เรียนออกมาเขียนไม่ได้ ทำให้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ไม่สมบูรณ์

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนส่วนใหญ่สร้างได้นั้น เป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีองค์ประกอบไม่สมบูรณ์ ส่วนหนึ่งอาจมาจากนักเรียนยังมีประสบการณ์ในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ไม่มากพอ เนื่องจากการเป็นนักเรียนผู้เกี่ยวกับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นครั้งแรก ทั้งสถานการณ์ที่ใช้ยังเป็นสถานการณ์ที่ต้องอาศัยองค์ความรู้ที่มีความซับซ้อนและเป็นนามธรรม คือ ความรู้ เรื่อง แก๊ส ของวิชาเคมีในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายซึ่ง สิริพงษ์ แพทย์วงศ์ และคณะ (2563) กล่าวไว้ว่า ถ้าความรู้เริ่มซับซ้อน นักเรียนจะระบุประเด็นสำคัญได้ไม่ครบถ้วน ประกอบกับ กลุ่มที่ศึกษาเป็นนักเรียนที่มีผลการเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง (เกรด 2.0 – 2.5) อาจมีอุปสรรคในเรื่องของความรู้ ส่งผลให้ไม่สามารถดึงเอาหลักการมาใช้พิจารณาข้อมูลประกอบสถานการณ์ และไม่สามารถตัดสินใจได้ว่า ต้องเลือกข้อมูลใดมาเป็นหลักฐาน สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ระบุไว้ว่า นักเรียนที่เข้าใจในมโนทัศน์จะสามารถนำความรู้ไปใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย (Sulistina et al., 2021; ศัทธียา สิงหวิ, 2563; ฉลองวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563; พิริยะ วรธนไทย และ ชนินันท์ พฤษทรัพย์มูล, 2564; อรณิชา หงษ์เกิด และคณะ, 2561)

เมื่อพิจารณารายองค์ประกอบพบว่า นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในองค์ประกอบด้านข้อกล่าวอ้างได้ดีที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (พิชญ์ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ, 2565; ศศิกานต์ นิมดำ และคณะ, 2563) เนื่องจากข้อกล่าวอ้าง เป็นส่วน

ที่สามารถสร้างได้ง่ายที่สุด (ฉลงวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2563) เป็นเพียงประโยคที่ไม่มีความซับซ้อน บางสถานการณ์ในแบบวัดและแบบทดสอบตอบเป็นเพียงคำหรือกลุ่มคำก็ถือเป็นข้อกล่าวอ้างที่สมบูรณ์ได้แล้ว นักเรียนจึงสามารถเขียนข้อกล่าวอ้างได้ตรงตามคำถามที่ระบุไว้ ไม่เหมือนกับการเลือกหลักฐานและการให้เหตุผล ที่นักเรียนจะต้องมีความเข้าใจในเนื้อหาหรือความรู้ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์เป็นอย่างดี จึงจะสามารถนำเอาหลักการหรือความรู้เหล่านั้น มาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกหลักฐาน และเขียนถ่ายทอดออกมาได้

ในองค์ประกอบด้านหลักฐาน พบว่า ไม่มีนักเรียนที่สามารถสร้างหลักฐานในระดับดีมากได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ฉลงวุฒิ จันทรหอม และ สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ (2563) ที่ศึกษาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหาร กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่ไม่เคยผ่านการจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มาก่อน นักเรียนสามารถสร้างองค์ประกอบด้านหลักฐานและการให้เหตุผลอยู่ในระดับควรปรับปรุง ซึ่งต่ำกว่าข้อกล่าวอ้าง ที่อยู่ในระดับพื้นฐาน (ระดับดี) การที่นักเรียนเลือกข้อมูลมาใช้เป็นหลักฐานได้ไม่ครบถ้วน รวมถึงหลักฐานลงนามสนับสนุนข้อกล่าวอ้างในช่วงแรกของบทเรียน อาจเป็นเพราะนักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาเรื่องแก๊ส ยังไม่ลึกซึ้งมากพอ ตามที่ Ningsi et al. (2019) ให้ข้อสังเกตไว้ในการงานวิจัยของเขาว่า นักเรียนที่ไม่เข้าใจเนื้อหาเป็นอย่างไร จะไม่สามารถเลือกหลักฐานมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างของตนเองได้ เพราะข้อมูลที่จะใช้เป็นหลักฐาน ต้องถูกพิจารณาโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ (Amelia, 2021; German, 2018) อีกส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากสถานการณ์ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์นั้น ต้องใช้หลักฐานในการสนับสนุนหลายชิ้น เพราะเป็นสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน ที่มีความซับซ้อน หลักฐานต้องมีจำนวนมากเพียงพอที่จะทำให้คนอื่น ๆ เชื่อมโยงในข้อกล่าวอ้าง จึงทำให้นักเรียนเลือกหลักฐานมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างไม่ครบ (จุญลักษณ์ วรโคตร และคณะ, 2561) ส่งผลให้ผลการประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้านหลักฐาน ไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่กล่าวว่า ถ้าหากนักเรียนได้ฝึกเลือกหลักฐานมาก่อน นักเรียนจะเลือกหลักฐานได้ดี (พรณนภา อนิวรรณวงศ์ และ ร่มเกล้า จันทราษี, 2562) โดยนักเรียนจะต้องถูกฝึกฝนเพื่อเลือกหลักฐานที่เหมาะสม (McNeill & Martin, 2011) และเมื่อนักเรียนฝึกเลือกหลักฐานซ้ำ ๆ นักเรียนจะเลือกหลักฐานได้ดีขึ้น (พิริยะ วรณไทย และ ชนินันท์ พฤษทรัพย์ประมูล, 2564; ศศิกานต์ นิมดำ และคณะ, 2563)

การให้เหตุผลเป็นองค์ประกอบที่นักเรียนไม่สามารถเขียนแสดงในระดับดีมากได้ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์ และ อะรุณี แสงสุวรรณ (2565) ที่ใช้การ

สืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหวส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีความสามารถอยู่ในระดับปานกลางถึงเก่ง แล้วพบว่า หลังเรียน นักเรียนมีการให้เหตุผลในระดับดีมากตั้งแต่ร้อยละ 46.88 ขึ้นไป แต่สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริัญญา หิริโอ และคณะ. (2563) ที่ใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะผ่านอุปกรณ์ไร้สายเคลื่อนที่พัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การหมุนเวียนสาร ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีปัญหาในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ แล้วพบว่า หลังเรียน นักเรียนยังคงสร้างองค์ประกอบด้านการให้เหตุผลอยู่ในระดับควรปรับปรุง อาจเกิดจากการให้เหตุผลเป็นองค์ประกอบที่สร้างได้ยาก (Lee, 2018) นักเรียนจึงไม่เข้าใจในองค์ประกอบดังกล่าว และไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างหลักฐานกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ได้ (ศิริัญญา หิริโอ และคณะ, 2563) ซึ่งในการวิจัยนี้ มีนักเรียนจำนวนหนึ่งเขียนตอบหลักฐานที่เป็นผลการทดลอง เข้าไปในช่องของหลักการทางวิทยาศาสตร์ และเขียนข้อความที่แสดงถึงหลักการทางวิทยาศาสตร์ลงไปช่องของหลักฐาน อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถให้เหตุผลในระดับดีมากได้ คือ ความรู้ เรื่อง แก๊ส เพราะการให้เหตุผลต้องอาศัยความรู้ (เขมรัฐ จุฑานฤปกิจ และคณะ, 2561; พรรณนภา อนิวรรณวงศ์ และ ร่มเกล้า จันทราษี, 2562) และประสบการณ์เดิม (พนิดา มีลา และ ร่มเกล้า อาจเดช, 2560) เช่นเดียวกันกับการเลือกหลักฐาน ซึ่งนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาในการวิจัยนี้มีผลการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง อย่างไรก็ตาม Ningsi et al. (2019) กล่าวว่า ในเนื้อหาความรู้ที่ได้เรียนไปนั้น มีอยู่หลายส่วน แต่ส่วนที่สำคัญกับจุดที่ต้องอธิบายจริง ๆ มีเพียงจุดเดียว ซึ่งนักเรียนต้องเลือกมาใช้ให้ถูก ในการวิจัยนี้พบว่า มีนักเรียนบางส่วนเลือกใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊สในการเชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง แทนที่จะเลือกใช้กฎของนักวิทยาศาสตร์ที่มีความจำเพาะกับสถานการณ์มากกว่า สะท้อนว่า นักเรียนยังเลือกหลักการมาใช้เชื่อมโยงได้ไม่ค่อยตรงประเด็นนัก เมื่อนักเรียนเลือกหลักการได้ไม่เจาะจงการให้เหตุผลของนักเรียนจึงไม่ชัดเจน

เมื่อพิจารณากิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและครู B ได้ปฏิบัติ พบว่ามีลักษณะที่สอดคล้องกับกลยุทธ์ที่สนับสนุนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ แม็กนัสและคราจซิก (McNeill & Krajcik, 2008a) นำเสนอไว้ทั้ง 5 ประการ อย่างชัดเจนเพียงบางประการเท่านั้น กลยุทธ์ทั้งห้าประการ ประกอบด้วย 1) สร้างกรอบแนวคิดให้ชัดเจน และกล่าวเน้นย้ำซ้ำ ๆ (Tang, 2015) 2) แสดงตัวอย่างคำอธิบาย และวิพากษ์ 3) ให้เหตุผลสำหรับการสร้างคำอธิบาย

4) เชื่อมโยงกับคำอธิบายในชีวิตประจำวัน 5) ประเมินและให้ข้อมูลป้อนกลับแก่นักเรียน (Koppal et al., 2020; พัทธินดา มีลา และ ร่มเกล้า อาจเดช, 2560)

กลยุทธ์ที่ครู B แสดงออกอย่างชัดเจนมากที่สุด คือ กลยุทธ์ 1) สร้างกรอบแนวคิดให้ชัดเจน และกล่าวเน้นย้ำกรอบแนวคิดซ้ำ ๆ โดยแสดงออกในส่วนของการกล่าวเน้นย้ำกรอบแนวคิดซ้ำ ๆ เป็นประจำทุกคาบเรียนก่อนที่จะให้นักเรียนทำแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และอีกครั้งคือตอนทำใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นรายบุคคล ดังนั้นในแต่ละคาบเรียน นักเรียนจะได้ทบทวนเกี่ยวกับองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER อย่างน้อยสองครั้ง แต่ในส่วนของการสร้างกรอบแนวคิดให้ชัดเจน อาจจะยังไม่เด่นชัดมากนัก เนื่องจากครู B ยังไม่เคยจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มาก่อน จึงทำให้การยกตัวอย่างไม่ชัดเจน กลยุทธ์ดังกล่าวเป็นหนึ่งในสองแนวปฏิบัติที่ ลิซอตต์, แม็กนีล, และคราจซิก (Lizotte, McNeill, & Krajcik, 2004) ระบุว่า ส่งผลต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้านการให้เหตุผลอย่างชัดเจน การปฏิบัติของครู B ที่ไม่ได้ครอบคลุมทั้งสองส่วนของกลยุทธ์ดังกล่าวจึงอาจเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในด้านการให้เหตุผล ไม่ถึงในระดับที่ผู้วิจัยคาดหวังไว้

อีกแนวปฏิบัติ คือ กลยุทธ์ที่ 2) แสดงตัวอย่างคำอธิบาย และวิพากษ์ แม้ว่าผู้วิจัยจะกำหนดเอาไว้ในขั้นตอนที่ 3 ของการจัดการเรียนรู้ แต่เมื่อครู B นำไปทดลองใช้ พบว่าการปฏิบัติดังกล่าว ใช้เวลาดค่อนข้างมาก และจะทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ไม่เพียงพอ ครู B จึงได้ลดทอนการปฏิบัติดังกล่าวลง ใช้เพียงการกล่าวย้ำเตือนให้นักเรียนสร้างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้ครบถ้วน และไม่มีการแสดงตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้นักเรียนดูเพิ่มเติม นอกเหนือจากตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ปรากฏอยู่ในใบความรู้ เรื่อง การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เท่านั้น ส่วนนี้จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้นักเรียนไม่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ได้ เนื่องจากไม่มีตัวอย่างของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ให้เปรียบเทียบ (McNeill & Krajcik, 2008a) สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ก่อนหน้า ที่ระบุว่า ในระหว่างที่ฝึกสร้างคำอธิบาย นักเรียนจะต้องมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น (Lee, 2018) เช่น ให้นักเรียนประเมินคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของตัวเอง (McNeill & Martin, 2011) หรือสลับประเมินคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์กับเพื่อน โดยใช้เกณฑ์ที่กำหนดร่วมกัน (Koppal et al., 2020) ให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นต่อคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของคนอื่น (Yang & Su, 2020) เพราะการประเมินคำอธิบายทาง

วิทยาศาสตร์ของคนอื่น จะช่วยให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น (Sulistina et al., 2021; จิรวัฒน์ วิจารณ์ และคณะ, 2562)

กลยุทธ์ที่ 3) ให้เหตุผลสำหรับการสร้างคำอธิบาย ครูผู้สอนจะต้องชี้แจงให้นักเรียนเห็นถึงความสำคัญของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า วิทยาศาสตร์สามารถอธิบายปรากฏการณ์อย่างไร และการโน้มน้าวให้คนอื่น ๆ คล้อยตามจะต้องมีข้อกล่าวอ้างที่น่าเชื่อถือ ในกลยุทธ์นี้จะกล่าวถึงสั้น ๆ ในช่วงต้นของการนำเข้าสู่บทเรียนเท่านั้น หรืออาจจะไม่ได้กล่าวถึงเลย เนื่องจากในขั้นที่ 1 ของการจัดการเรียนรู้ในบางบทเรียน มีนักเรียนบางคนที่สามารถตอบคำถามที่นำเข้าสู่สถานการณ์ได้ถูกต้อง และตอบออกมาอย่างชัดเจน จึงทำให้นักเรียนคนอื่น ๆ สามารถเชื่อมโยงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์บางส่วนให้เข้ากับสถานการณ์ได้ และไม่เห็นความจำเป็นของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ซ้ำอีกครั้ง เพราะเห็นว่าสามารถตอบคำถามที่ครูถามได้แล้ว จากพฤติกรรมที่เกิดขึ้นนี้จึงส่งผลให้การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ถูกลดความสำคัญลง และนักเรียนมองว่าเป็นภาระที่ต้องทำ เนื่องจากมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่าการพูดตอบคำถามที่ละคำถาม ปัจจุบันดังกล่าวจึงอาจเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ไม่สมบูรณ์ เพราะไม่เห็นถึงความสำคัญ

กลยุทธ์ที่ 4) เชื่อมโยงกับคำอธิบายในชีวิตประจำวัน แม็กนีลและคราจซิก (McNeill & Krajcik, 2008a) ต้องการจะสื่อว่า การอธิบายในชีวิตประจำวัน มักจะเกิดขึ้นเมื่อต้องการโน้มน้าวให้ผู้อื่นคล้อยตามในข้อกล่าวอ้างของผู้อธิบาย การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ก็เหมือนกับการสร้างคำอธิบายในชีวิตประจำวัน ที่ต้องพยายามโน้มน้าวให้คนอื่น ๆ หรือครู เชื่อตามข้อกล่าวอ้างที่นักเรียนสร้างอย่างไม่มีเงื่อนไข กลยุทธ์นี้เป็นกลยุทธ์เชิงเปรียบเทียบ ซึ่งในกิจกรรมการเรียนรู้ตลอดทั้งห้าแผน ไม่ได้แสดงออกมาเลย ส่วนหนึ่งอาจเป็นเพราะในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยออกแบบมา ไม่ได้ระบุว่า ครูผู้สอนต้องแสดงการเปรียบเทียบระหว่างคำอธิบายทั้งสองลักษณะให้กับนักเรียน เนื่องจากไม่ได้อยู่ในขั้นตอนของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานของ Ambitious Science Teaching (Windschitl, Thompson, & Braaten, 2020)

กลยุทธ์ที่ 5) ประเมินและให้ข้อมูลป้อนกลับแก่นักเรียน กลยุทธ์นี้อยู่ในความรับผิดชอบของผู้วิจัยที่ทำหน้าที่เป็นผู้ตรวจใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้และแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยไม่สามารถให้ข้อมูลป้อนกลับแก่นักเรียนได้อย่างทันที เนื่องจากในระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้ ผู้วิจัยเป็นผู้สังเกตการ จึงไม่ควรที่จะอธิบายหรือให้ความคิดเห็นหากครูผู้สอนไม่ร้องขอ ผู้วิจัยจะได้ประเมินคำอธิบายทาง

วิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างหลังจากจบคาบเรียนเรียบร้อยแล้ว และจะต้องนำข้อสังเกตที่ได้ไปแจ้งกับครู B ซึ่งทำหน้าที่เป็นครูผู้สอน และนำไปแจ้งแก่นักเรียนในสัปดาห์ถัดไป ทำให้นักเรียนไม่ได้รับข้อมูลป้อนกลับในทันที จึงไม่มีโอกาสแก้ไขคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของตนเอง ซึ่งขัดแย้งกับบทบาทของครูที่ส่งเสริมให้สร้างคำอธิบายได้ คือ ให้ออกสื่อนักเรียนในการปรับปรุงคำอธิบายตั้งแต่ 2 ครั้งขึ้นไป (คัทลียา สิงหวิ, 2563) นอกจากนี้ การให้ข้อมูลป้อนกลับที่ผู้วิจัยทำได้ มีเพียงลักษณะเดียว คือ บอกข้อเสนอแนะแก่นักเรียนทั้งห้องว่า ต้องปรับในแต่ละองค์ประกอบอย่างไร ซึ่งนักเรียน บางคนอาจไม่ต้องปรับในองค์ประกอบดังกล่าว และในความเป็นจริง การให้ข้อมูลป้อนกลับยังมีอีกลักษณะ คือ ใช้คำถามให้นักเรียนได้คิดทบทวน ซึ่งอาจจะมีประสิทธิภาพมากกว่า การให้ข้อมูลป้อนกลับที่ไม่ทันท่วงที จึงทำให้นักเรียนไม่สามารถปรับปรุงแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง โดยเฉพาะองค์ประกอบที่มีความซับซ้อนอย่างการเลือกหลักฐานและการให้เหตุผล

นักเรียนกลุ่มที่ศึกษา ยังต้องการความช่วยเหลือด้วยใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ลำดับที่ 1 ซึ่งมีการช่วยเหลือมากที่สุด ตลอดทั้งห้าแผนการจัดการเรียนรู้ไม่สามารถลดระดับการช่วยเหลือได้ ต่างจากงานวิจัยของ Fleming et al. (2022) ที่สามารถลดระดับการช่วยเหลือในด้านข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และคำสำคัญได้ แต่ลดการช่วยเหลือในการให้เหตุผลไม่ได้ ใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ของงานวิจัยดังกล่าว จะมีลักษณะที่แตกต่างออกไป คือ 1) มีการกำหนดคำศัพท์และคำสำคัญไว้ในกรอบ 2) ในด้านหลักฐาน จะมีข้อมูลให้นักเรียนเลือก และ 3) การช่วยเหลือเพื่อให้นักเรียนสามารถสร้างข้อกล่าวอ้าง และการให้เหตุผลจะเป็นประโยคที่เว้นคำสำคัญไว้ให้เติม ซึ่ง Lee (2018) กล่าวว่า เป็นวิธีการที่ง่ายแต่มีประสิทธิภาพเพราะช่วยทั้งการเขียนและการคิด และ การมีตัวอย่างหรือคำขึ้นต้นประโยคให้ เป็นสิ่งที่มีประสิทธิภาพในการช่วยสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (Yang & Su, 2020) เฟลมมิง (Fleming et al., 2022) เลือกใช้วิธีการดังกล่าว เนื่องจากพบว่า นักเรียนมีพื้นฐานการเขียนไม่เท่ากัน ลี (Lee, 2018) ยังได้ให้ข้อเสนอแนะไว้อีกว่า การเสริมต่อที่ช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ จะต้องเริ่มจากการเสริมต่อในด้านหลักฐาน ตามมาด้วยด้านข้อกล่าวอ้าง และสิ้นสุดที่ด้านการให้เหตุผล การเสริมต่อในลักษณะนี้ จะกำหนดให้นักเรียนเริ่มพิจารณาหลักฐานก่อน แล้วจึงให้ข้อสรุป และมาอธิบายเพิ่มเติมว่า ทำไมจึงสรุปแบบนั้น หลักฐานที่เลือกมาช่วยสนับสนุนข้อสรุปนั้นอย่างไร ใบกิจกรรมเสริมต่อการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เริ่มจากการเสริมต่อด้านข้อกล่าวอ้างก่อน ทำให้นักเรียนมีข้อกล่าวอ้างตั้งแต่นั้น และจะพยายามหาหลักฐานมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างที่ตนเองเลือกมาแล้วเท่านั้น ซึ่งการสร้าง

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ควรเริ่มจากการพิจารณาข้อมูลทั้งหมดที่มีก่อน ลำดับการเสริมต่อการเรียนรู้ในการจัดการเรียนรู้ครั้งนี้ จึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในด้านหลักฐานและการให้เหตุผลไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง

ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้แผนการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 5 แผนรวมระยะเวลาทั้งหมด 16 คาบ แต่จากงานวิจัยของ คัทลียา สิงหวิ (2563) ได้วิจัยเพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ พบว่า ระยะเวลาเฉลี่ยที่สามารถส่งเสริมให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ คือ ประมาณ 20 คาบ หรือ ประมาณ 8 แผนการจัดการเรียนรู้ ส่งผลให้นักเรียนที่มีผลการเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง มีระยะเวลาในการฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในด้านหลักฐานและข้อกล่าวอ้างไม่มากพอ และงานวิจัยของ แคมป์เบลล์ และคณะ (Campbell et al., 2011) ยังกล่าวว่าการสร้างความรู้ของนักเรียนตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ต้องอาศัยเวลามากกว่าการสร้างความรู้ตามการสอนแบบดั้งเดิม แต่ความรู้ที่สร้างขึ้นมาได้ จะคงอยู่นานมากกว่า

3. ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้และการวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

1) จากการสังเกตชั้นเรียน พบว่า ครูผู้สอนที่ยังไม่คุ้นชินกับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ จะไม่สามารถตอบข้อสงสัยของนักเรียนได้อย่างชัดเจน รวมถึงไม่สามารถแสดงตัวอย่างองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมให้กับนักเรียนได้ ดังนั้น ก่อนการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ครูผู้สอนที่ยังไม่คุ้นชิน ควรฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในสถานการณ์ที่หลากหลาย และฝึกให้มากพอ จนมีความมั่นใจในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของตนเอง โดยเฉพาะการเลือกหลักฐาน และการให้เหตุผล ครูผู้สอนจะต้องมีความชำนาญระดับหนึ่ง จึงจะสามารถคลายข้อสงสัยและให้คำแนะนำแก่นักเรียนที่กำลังเริ่มฝึกสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้

2) นักเรียนที่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในระดับดีมากได้นั้น จะเป็นผู้ที่วาดแบบจำลองของสถานการณ์ที่เกิดขึ้น เป็นผู้จดบันทึกข้อมูลลงในใบกิจกรรมกลุ่ม และเป็นผู้ที่มีส่วนร่วมกับคำถามที่ครูถามตลอดเวลา ดังนั้น ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ควรเปิดโอกาสหรือกระตุ้นให้นักเรียนทุกคนได้แสดงออกถึงพฤติกรรมข้างต้น เพื่อช่วยนักเรียนในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

3) จากพฤติกรรมของนักเรียน พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ไม่ต้องการนำองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มาเขียนรวมกัน รวมทั้งไม่ต้องการปรับปรุงแก้ไขแบบจำลอง ครูผู้สอนควรกระตุ้นและจูงใจในการปฏิบัติของนักเรียน

4) สำหรับเนื้อหาที่มีจำนวนชั่วโมงน้อย ควรเพิ่มเนื้อหาเพื่อให้ได้จำนวนชั่วโมงให้มากกว่า 20 ชั่วโมงขึ้นไป หรือ มากกว่า 8 แผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้มีเวลาเพียงพอสำหรับการฝึกฝนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

3.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

การวิจัยนี้มีข้อจำกัดบางประการ ดังนั้น การวิจัยครั้งต่อไป ควรจัดทำขึ้นเพื่อขยายองค์ความรู้เกี่ยวกับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้ข้อค้นพบจากการวิจัยครั้งนี้เป็นฐาน ดังนี้

1) เนื่องจากกลุ่มที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักเรียนที่มีผลการเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง ในการวิจัยครั้งต่อไป อาจนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้กับนักเรียนที่มีลักษณะแตกต่างไปจากเดิม เพื่อตรวจสอบผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ที่มีต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง แก๊ส ให้ครอบคลุมนักเรียนกลุ่มต่าง ๆ มากยิ่งขึ้น

2) การวิจัยในไทย ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ค่อนข้างน้อย ควรเพิ่มการวิจัยในลักษณะที่เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ เช่น การเขียน ลักษณะสังคม ความรู้ พฤติกรรมหรือการปฏิบัติของครู/นักเรียน กับ การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึกในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่สามารถส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในทุก ๆ เนื้อหาได้อย่างแท้จริง

บรรณานุกรม

- Amelia, R. (2021). The influence of e-scaffolding in blended learning on prospective teacher's scientific explanation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1796(1), 012039.
- Amelia, R., Rofiki, I., Tortop, H. S., & Abah, J. A. (2020, avec comité de lecture). Pre-service Teachers' Scientific Explanation with e-scaffolding in Blended Learning. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuNi*, 9(1), 33-40.
- Biological Sciences Curriculum Study (BSCS). (2012). I Can Develop a Scientific Explanation. <https://datanuggets.org/wp-content/uploads/2021/10/BSCS-Scientific-Explanation-I-Can.pdf>
- Campbell, T., Zhang, D., & Neilson, D. (2011). Model Based Inquiry in the High School Physics Classroom: An Exploratory Study of Implementation and Outcomes. *Journal of Science Education and Technology*, 20(3), 258-269.
- Cooper, A. C., Southard, K. M., Osness, J. B., & Bolger, M. S. (2022). The Instructor's Role in a Model-Based Inquiry Laboratory: Characterizing Instructor Supports and Intentions in Teaching Authentic Scientific Practices. *CBE—Life Sciences Education*, 21(1), ar9.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design : qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5). Los Angeles.
- Galloway, C. (2010). Vygotsky's constructivism M. Orey *Emerging Perspectives on Learning, Teaching, and Technology* (4 pp. 48-49). Zurich, Switzerland: the Jacobs Foundation.
- German, S. (2018). Scaffolds for scientific explanations. *Science Scope*, 41(7), 30-32.
- Habiddin, H., Atikah, A., Husniah, I., Haetami, A., & Maysara, M. (2021). Building scientific explanation: A study of acid-base properties of salt solution. *AIP Conference Proceedings*, 2330(1), 020047.
- Hershberger, K., & Zembal-Saul, C. (2015). KLEWS to Explanation-Building in Science, 66-71.

https://s3.amazonaws.com/nstacontent/sc1506_66.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIMRSQAV7P6X4QIKQ&Expires=1672042238&Signature=7S8aeJRFUY0WDLXoq8v4quHEkY4%3d

- Kenneth Fleming, Allison Esparza, Beverly Irby, Rafael Lara-Alecio, Fuhui Tong, & Guerrero, C. (2022). Windows Into Thinking; Scaffolding scientific explanations helps overcome barriers to writing. *Science and Children*, 20 - 26.
- Koppal, M., Long, M. N., Donovan, L., Drakes, D., Pappalardo, S. Q., & Roseman, J. E. (2020). Supporting students in writing scientific explanations. *Science Scope*, 43(5), 26-31.
- Lee, S. (2018). Scaffolding Evidence-Based Writing for English Learners in Three Steps. *The Reading Teacher*, 72(1), 99 - 105.
- Lipscomb, L., Swanson, J., & West, A. (2010). Scaffolding M. Orey *Emerging Perspectives on Learning, Teaching, and Technology* (21 pp. 226-237). Zurich, Switzerland: the Jacobs Foundation.
- Lizotte, D. J., McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2004.). *Teacher practices that support students' construction of scientific explanations in middle school classrooms*. Paper presented at the the 6th international conference on Learning sciences (ICLS '04).
- McNeill, K. L. (2006). *Supporting Students' Construction of Scientific Explanation through Curricular Scaffolds and Teacher Instructional Practices*. The University of Michigan. (Doctor of Philosophy (Education)).
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2007). Middle school students' use of appropriate and inappropriate evidence in writing scientific explanations *Thinking with data*. (pp. 233-265). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008a). Inquiry and Scientific Explanations: Helping Students Use Evidence and Reasoning. *Science as Inquiry in the Secondary Setting*.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2008b). Scientific explanations: Characterizing and evaluating the effects of teachers' instructional practices on student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 53-78.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. S. (2008). Assessing middle school students' content

knowledge and reasoning through written scientific explanations.

McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J., & Marx, R. W. (2006). Supporting Students' Construction of Scientific Explanations by Fading Scaffolds in Instructional Materials. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 153-191.

McNeill, K. L., & Martin, D. M. (2011). Claims, Evidence, and Reasoning: Demystifying Data during a Unit on Simple Machines. *Science and Children*, 48, 52-56.

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

National Research Council (NRC). (2013). APPENDIX F - Science and Engineering Practices in the NGSS.

<https://www.nextgenscience.org/sites/default/files/resource/files/Appendix%20F%20%20Science%20and%20Engineering%20Practices%20in%20the%20NGSS%20-%20FINAL%20060513.pdf>

Neilson, D., Campbell, T., & Allred, B. (2010). Model-Based Inquiry: A buoyant force module for high school physics classes. *The Science Teacher*, 38 - 43.

Ningsi, S., Suhandi, A., Kaniawati, I., & Samsudin, A. (2019). KTG-SESC: Development of scientific explanation skills test instrument. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157(3), 032050.

Oktavianti, E., Handayanto, S. K., Wartono, W., & Saniso, E. (2018). Students' Scientific Explanation in Blended Physics Learning with E-Scaffolding. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(2), 181-186.

Passmore, C., Stewart, J., & Cartier, J. (2009). Model-Based Inquiry and School Science: Creating Connections. *School Science and Mathematics*, 109(7), 394-402.

Pradana, P. W., Febriani, F., Ibnusaputra, M., & Jumadi, J. (2023). Development of Physics Test Instrument to Measure Verbal Representation of High School Student on Optical Instrument Topic. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(10), 7963-7968.

Rahayu, S., Aldresti, F., & Fajaroh, F. (2018). THE INFLUENCE OF INQUIRY-BASED CHEMISTRY LEARNING WITH THE CONTEXT OF SOCIO-SCIENTIFIC ISSUES ON

- HIGH SCHOOL STUDENTS' SCIENTIFIC EXPLANATION SKILLS. *Jurnal Pengajaran MIPA (Journal of Mathematics and Science Teaching)*, 23(2), 139-146.
- Sulistina, O., Puspitasari, H., & Sukarianingsih, D. (2021). Analysis Students' Scientific Explanation Skills Using Explanation Driven Inquiry Learning on Acid-Base Topic. *Jurnal Tadris Kimiyas*, 6(1), 75-81.
- Tang, K.-S. (2015). The PRO instructional strategy in the construction of scientific explanations. *Teaching Science*, 61(4), 14-21.
- Tang, K.-S. (2021). Teaching scientific explanation and argumentation in a post-truth era. *Scan: The Journal For Educators*, 40(4), 16-20.
- Todd Campbell, & Drew Neilson. (2012). Modeling Electricity: Model-Based Inquiry with Demonstrations and Investigations. *The Physics Teacher*, 50, 347 - 350.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2018). *Ambitious Science Teaching*: Harvard Education Press.
- Yang, F.-J., & Su, C.-Y. (2020). *COMPUTER SIMULATION WITH ARGUMENTATION SCAFFOLDING FOR ELEMENTARY STUDENTS' COLLABORATIVE SCIENTIFIC EXPLANATION*. Paper presented at the the 14th International Conference on e-Learning (EL 2020).
- Yao, J.-X., & Guo, Y.-Y. (2018). Validity evidence for a learning progression of scientific explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(2), 299-317.
- กฤตกร สภาสันติกุล. (2560). ผลของกลวิธีการสอนเคมีโดยใช้การทำนาย การสังเกต การอธิบาย อย่างมีขั้นตอนที่มีต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์และความมีเหตุผลของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารอิเล็กทรอนิกส์ทางการศึกษา*, 11(1), 219-237.
- กันต์ฤทัย คลังพหล. (2563). การวิจัยแบบผสมวิธี (MIXED METHOD RESEARCH). *วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 14(1), 235-256.
- กาญจนา วาสี, ศ. (2556). *ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม (พิมพ์ครั้งที่ 7)*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- เขมรัฐ จุฑานุกปกิจ, เอกภูมิ จันทรรักษ์, & สุรศักดิ์ เชียงกา. (2561). การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์แบบ 5 ขั้น เพื่อพัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. Paper presented at the การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 13 ประจำปีการศึกษา 2561, มหาวิทยาลัยรังสิต.
- คัทลียา สิงหวิ. (2563). แนวทางการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เพื่อส่งเสริมความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 14(3), 18-31.
- จรรยา ดาสา. (2560). การสืบเสาะวิทยาศาสตร์ในมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยุคใหม่ของประเทศสหรัฐอเมริกา. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 8(2), 123-132.
- จรินทร์ วินทะไชย์. (2561). การใช้การเสริมต่อการเรียนรู้โดยเพื่อนในการเพิ่มการเรียนรู้ของนิสิตวิชาการประเมินจิตศึกษาชั้นนำ. วารสารครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 46(3), 29-44.
- จรรยา วัชรวิทย์, เนตรชนก จันทรรักษ์, & ฉานุกรณ์ ทับทิมใส. (2561). การศึกษาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส. วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม, 5(1), 49-55.
- จิรวัฒน์ วโรภาส, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, & ปราโมทย์ ชำนาญปิ่น. (2562, 29 ม.ค.-1 ก.พ. 2562). แนวปฏิบัติที่ดีของชั้นในการจัดการเรียนรู้โดยใช้กรณีศึกษาเป็นฐาน เพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในเรื่องระบบหายใจของมนุษย์. Paper presented at the การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 57, กรุงเทพฯ.
- ฉลองวุฒิ จันทรหอม, & สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. (2563, 27 มีนาคม 2563). การสำรวจความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบย่อยอาหาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. Paper presented at the การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 21, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ญาสุมินทร์ วรภิจจานนท์, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, & บุญเสฐียร บุญสูง. (2563). การพัฒนาความสามารถในการสื่อสารวิทยาศาสตร์ด้านการเขียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในหน่วยการเรียนรู้เรื่อง ระบบย่อยอาหาร โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน. Paper presented at the การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 21, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ฐิตาภา จิตต์ประเสริฐ, เอกรัตน์ ทานาค, & ครองขวัญ อัครชนิยากร. (2565). การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์บนหลักฐานในเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. Paper presented at the การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 60, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

กรุงเทพมหานคร.

ณัฐกฤษ ทองน้อย, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, ปราโมทย์ ชำนาญปิ่น, & ภาธร พงศ์ไพจิตร. (2560). แนวปฏิบัติที่ดีของ
ชั้นในการจัดการเรียนรู้โดยใช้ประเด็นทางสังคมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์เป็นฐาน เรื่อง “หญ้าเทียม”
เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. Paper presented
at the การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55, กรุงเทพฯ.

ณัฐริดา พรหมยอด. (2562). การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ผ่านกระบวนการเรียนรู้แบบ CER (Claim,
Evidence, and Reasoning). นิตยสาร สสวท, 47, 11-15.

ณัฐมน สุชัยรัตน์, วิชัย เสวกงาม, & เอกรัตน์ ทานาค. (2559). การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนตามแนวคิด
การสืบสอบโดยใช้แบบจำลองเป็นฐานและแนวคิดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานเพื่อส่งเสริม
ความสามารถในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์และการถ่ายโยงการเรียนรู้ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา
ตอนต้น. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม, 15(1), 106-113.

ณัฐวดี ปฐมมีโชค, จีระวรรณ เกษสิงห์, & เมษะมาศ คงเสมา. (2563, 5-7 ก.พ. 2563). การสำรวจการสร้าง
คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในสถานการณ์ปัญหาด้านสุขภาพ. Paper
presented at the การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 58, กรุงเทพฯ.

ณัฐวรรณ ศิริธร, เอกภูมิ จันทระขันตี, & สุรศักดิ์ เชียงกา. (2560). การพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบาย
เชิงวิทยาศาสตร์ เรื่องแรง มวล และกฎการเคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การจัดการ
เรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับกลวิธีการโต้แย้ง. Paper presented at the การประชุมทางวิชาการของ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55, กรุงเทพฯ.

ติรณา ชุมแสง, เอกภูมิ จันทระขันตี, & สุรศักดิ์ เชียงกา. (2560, 10 มีนาคม 2560). การพัฒนาความสามารถใน
การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง สมดุลกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยการจัดการ
เรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐาน. Paper presented at the การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัย
บัณฑิตศึกษา ระดับชาติและนานาชาติ 2560, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ทิวากร แก่นษา, กานต์ตะวัน วุฒิสเลา, & สุระ วุฒิพรหม. (2564). การสร้างและการใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบาย
เชิงวิทยาศาสตร์สำหรับแนวคิด เรื่อง การเคลื่อนที่และแรงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วารสาร
วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา (JSSE), 4(2), 244-254.

นำพงศ์ จันทโร, สิริณภา กิจเกื้อกูล, & สุริยา ขาญ. (2563). การพัฒนาการจัดการเรียนรู้ด้วยกลวิธีการโต้แย้งโดย
ใช้ประเด็นทางนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของ
นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง การรักษาดุลยภาพร่างกายมนุษย์. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
นครสวรรค์, 24(1), 176-187.

พรธมนภา อนิวรรณวงศ์, & ร่มเกล้า จันทราช. (2562). การประเมินผลของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้

แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้การเชื่อมโยงหลักฐานและแบบจำลองที่มีต่อการอธิบายทาง
วิทยาศาสตร์ เรื่อง สารละลายอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5.
วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้, 5(1), 65-83.

- พัชรพร อ่อนทอง, เอกรัตน์ ทานาค, วันชัย ปลื้มภาณุภัทร, & ทศนีวรรณ เลิศเจริญฤทธิ์. (2561). การศึกษา
แนวคิด เรื่องพันธะเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบ
เสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีภาพเสมือนจริง. Paper presented at the
การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56: สาขาศึกษาศาสตร์, สาขา
เศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ, สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พัฒน์นิดา มีลา, & ร่มเกล้า อาจเดช. (2560). การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานและการอธิบายทาง
วิทยาศาสตร์: การส่งเสริมการสร้างความหมายในชั้นเรียน. *JOURNAL OF EDUCATION
NARESUAN UNIVERSITY*, 19(3), 1-15.
- พิริยะ วรรณไทย, & ชนินันท์ พฤกษ์ประมูล. (2564). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบวัดความสามารถใน
การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ระหว่างแบบอัตโนมัติจำกัดคำตอบและไม่จำกัดคำตอบสำหรับนักเรียน
ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วารสารบัณฑิตวิจัย (*Journal of Graduate Research*), 12(2), 103 -
116.
- พิษณุ ศุภศาสตร์วงศ์, & อะรุณี แสงสุวรรณ. (2565). การพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทาง
วิทยาศาสตร์ร่วมกับ การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปี
ที่ 5 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหว.
ศึกษาศาสตร์สาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 6(3), 101-115.
- มณีนรัตน์ แก่นทอง, & อรสา จรุงธรรม. (2562). ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการชี้แนะ
ที่มีต่อมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้น
ประถมศึกษาปีที่ 5. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์วไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์, 14(4),
259-270.
- มนัสชนก ตานาง. (2562). การพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สมดุลเคมี ของ
นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้รูปแบบการสอนแบบ ทำนาย สังเกต อธิบาย (POE). บัณฑิต
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี. (วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. (การสอนวิทยาศาสตร์)).
- มิ่งมุก สุทธิกิตติพงศ์. (2562). การพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สมบัติของ
สาร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเป็นฐาน (5E). บัณฑิต
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี. (วิทยานิพนธ์ ศศ.ม. (การสอนวิทยาศาสตร์)).
- รัชกร เวชวรรณท์, เอกรัตน์ ทานาค, ชาตรี ฝ้ายคำตา, & สุรเดช ศรีทา. (2562, 15 มีนาคม 2562). การพัฒนา

- ทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ผ่านการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้เกมเป็นฐาน
ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. Paper presented at the การประชุมวิชาการเสนอ
ผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ฤทธิ์จรูญ, พ. (2564). เทคนิคการวิจัยในชั้นเรียน. นนทบุรี: จตุพรดีไซน์.
- วรคำ, ไ. (2566). การวิจัยทางการศึกษา *Educational Reseach* (14). มหาสารคาม: ตักสิลาการพิมพ์.
- วรรณนิดา พึ่งน้อย, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, บุญเสี้อยูร บุญสูง, & สุรเดช ศรีทา. (2564). การพัฒนาการคิดผลผลิตภาพ
ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน.
Paper presented at the การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 59: สาขา
ศึกษาศาสตร์, สาขาเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ, สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วันเพ็ญ คำเทศ, ทศธริน วรรณเกตุศิริ, & นันทรัตน์ เครืออินทร์. (2563). การประเมินความสามารถในการอธิบาย
ทางวิทยาศาสตร์ ผ่านปัญหาที่เน้นบริบทของนักศึกษาครูชีววิทยา. วารสารศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตปัตตานี, 31(3), 45-59.
- วิโรจน์ ลีวงศ์สถาพร. (2552). การอธิบายทางวิทยาศาสตร์. นิตยสาร สสวท., 37, 68-69.
- ศศิกันต์ นิมดำ, นวลจิตต์ เขาวีรดิพงษ์, & ดวงเดือน สุวรรณจินดา. (2563). ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบ
เสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้เทคนิคการเขียนทางวิทยาศาสตร์ (SWH) เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่
มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของ
นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนขนาดเล็ก สังกัดสหวิทยาเขตชุมพร 2 จังหวัดชุมพร. ศึกษาสาร
ปริทัศน์, 35(2), 96-109.
- ศศิเมน ศรีกุลวงศ์, & ฤภาภา ลดาชาติ. (2564). การใช้แบบจำลองและการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของ
นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. ศึกษาสาร มหวิทยาลัยเชียงใหม่, 5(1), 12-27.
- ศิริัญญา หิริโอ, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, ปราโมทย์ ชำนาญปิ่น, & ภรณ์ พงศ์ไพจิตร. (2563, 27 มีนาคม 2563).
การพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ใน
หน่วยการเรียนรู้เรื่อง การหมุนเวียนสารในร่างกาย ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะผ่านอุปกรณ์ไร้สาย
เคลื่อนที่. Paper presented at the การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ
ครั้งที่ 21, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.]. (2560). กรอบโครงสร้างการประเมินผลนักเรียน
โครงการ *PISA 2015*. กรุงเทพมหานคร.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.]. (2561). คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติม
วิทยาศาสตร์ วิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.
2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพมหานคร: สถาบัน

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.] กระทรวงศึกษาธิการ. (2562a). คู่มือครู รายวิชา
เพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.] กระทรวงศึกษาธิการ. (2562b). หนังสือเรียน
รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย:
ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สิริพงศ์ แพทย์วงศ์, เอกภูมิ จันทระขันตี, & สุรศักดิ์ เชียงกา. (2563). ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐาน
ร่วมกับเทคนิคการสอนแบบ *PRO* ต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง เสียง. Paper presented at the การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับ
บัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 21, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อนุพงศ์ ไพธศรี, ชาทรี ฝ่ายคำตา, เอกรัตน์ ทานาค, พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ, & เอกภูมิ จันทระขันตี. (2565).
MODELING PRACTICE AND USE IN SCIENCE CLASSROOM: การสร้างและใช้
แบบจำลองในห้องเรียนวิทยาศาสตร์. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 24(1), 349-358.

อรณิชา หงษ์เกิด, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, & ปราโมทย์ ชำนาญปิ่น. (2561). การพัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิง
วิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในหน่วยการเรียนรู้เรื่อง ระบบต่อมไร้ท่อ โดยการ
จัดการเรียนรู้โดยใช้ประเด็นทางสังคมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์เป็นฐาน. Paper presented at the
การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56, กรุงเทพฯ.

อัจฉราพรรณ ล้วนมณี, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, & บุญเสฐียร บุญสูง. (2565). การพัฒนาความสามารถในการ
สื่อสารวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง การลำเลียงของพืช โดยใช้
การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน. วารสารราชพฤกษ์, 20(3), 185-200.



ภาควิชา

ภาคผนวก ก
รายนามผู้เชี่ยวชาญ และเอกสารสำคัญ

1. รายนามผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบเครื่องมือวิจัย
 - 1.1 รายนามผู้เชี่ยวชาญในการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้
 - 1.2 รายนามผู้เชี่ยวชาญในการประเมินแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
 - 1.3 รายนามผู้เชี่ยวชาญในการประเมินแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
2. หนังสือขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญ
3. หนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย
4. หนังสือยืนยันการยกเว้นการรับรองโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

1. รายนามผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบเครื่องมือวิจัย

1.1 รายนามผู้เชี่ยวชาญในการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้

- | | |
|--|---|
| 1) รองศาสตราจารย์ ดร.เอกรัตน์ ทานาค | คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 2) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา นุกุลธรรม | คณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน |
| 3) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ร่มเกล้า จันทราษี | คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| 4) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สลา สามีภักดิ์ | คณะครุศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 5) นายนนทน์ ฤทธิเลิศ | ครูชำนาญการพิเศษ
โรงเรียนศึกษานารี |

1.2 รายนามผู้เชี่ยวชาญในการประเมินแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

- | | |
|---|--|
| 1) รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา จุณนวัตนกุล | อาจารย์เกษียณอายุราชการ
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2) อาจารย์ ดร.กรรณก เลิศเดชาภักดิ์ | คณะครุศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 3) ดร.พิริยะ วรธนไทย | ครูชำนาญการ
โรงเรียนฤทธิยะวรรณาลัย |

1.3 รายนามผู้เชี่ยวชาญในการประเมินแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

- | | |
|---|--|
| 1) รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา จุณนวัตนกุล | อาจารย์เกษียณอายุราชการ
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2) รองศาสตราจารย์ ดร.ลฎาภา ลดาชาติ | คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 3) ดร.พิริยะ วรธนไทย | ครูชำนาญการ
โรงเรียนฤทธิยะวรรณาลัย |

2. หนังสือขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญ

ที่ อว 8718/3182



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

6 ธันวาคม 2566

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื่องด้วย นายจักรพงศ์ ปินชัย นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้” โดยมี อาจารย์ ดร.ณวรา สิริ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ รองศาสตราจารย์ ดร.เอกรัตน์ ทานาค เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับบุคลากรของท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้ นายจักรพงศ์ ปินชัย และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ



(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 093 130 2296

ที่ อว 8718/3125



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

29 พฤศจิกายน 2566

เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์เชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เนื่องด้วย นายจักรพงศ์ ปินชัย นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้” โดยมี อาจารย์ณรรวรา สีที เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา นกุลธรรม เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับบุคลากรของท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอบความอนุเคราะห์บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้ นายจักรพงศ์ ปินชัย และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 093 130 2296

ที่ อว 8718/3125



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

29 พฤศจิกายน 2566

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เนื่องด้วย นายจักรพงศ์ ปินชัย นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้” โดยมี อาจารย์ณนวรา สีสี่ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ร่มเกล้า จันทราษี เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับบุคลากรของท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้ นายจักรพงศ์ ปินชัย และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 093 130 2296



ที่ อว 8718/3125

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

29 พฤศจิกายน 2566

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ

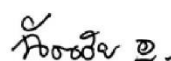
เรียน คณบดีคณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องด้วย นายจักรพงศ์ ปินชัย นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้” โดยมี อาจารย์ณวรา สิริ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สลา สามภักดิ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ และ อาจารย์ ดร.กรรณก เลิศเดชาภัทร เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับสารในสถานะแก๊ส ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับบุคลากรของท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้ นายจักรพงศ์ ปินชัย และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ



(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 093 130 2296

ที่ อว 8718/500



บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

1 เมษายน 2567

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนศึกษานารี

เนื่องด้วย นายจักรพงศ์ ปินชัย นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้” โดยมี อาจารย์ ดร.ณวรา สีสี่ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายณนทน์ ฤทธิเลิศ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้ ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับบุคลากรของท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้ นายจักรพงศ์ ปินชัย และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรารณ วิทยานนท์)

รองคณบดีฝ่ายเทคโนโลยีดิจิทัล รักษาการแทน
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 093 130 2296



ที่ อว 8718/3125

บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

29 พฤศจิกายน 2566

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

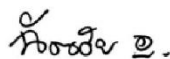
เรียน รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ จุณวัฒน์กุล

เนื่องด้วย นายจักรพงศ์ ปินชัย นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้” โดยมี อาจารย์ณวรา สีสี่ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับสารในสถานะแก๊ส ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้ นายจักรพงศ์ ปินชัย และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ



(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 093 130 2296

ที่ อว 8718/500



บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

1 เมษายน 2567

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เชิญบุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เนื่องด้วย นายจักรพงศ์ ปินชัย นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้” โดยมี อาจารย์ ดร.ณวรา สีสี่ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ รองศาสตราจารย์ ดร.ลภภา ลดาชาติ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับสารในสถานะแก๊ส ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับบุคลากรของท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้ นายจักรพงศ์ ปินชัย และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรารณ วิทยานนท์)

รองคณบดีฝ่ายเทคโนโลยีดิจิทัล รักษาการแทน

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 093 130 2296

ที่ อว 8718/3125



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

29 พฤศจิกายน 2566

เรื่อง ขออนุมัติโครงการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนฤทธิยะวรรณาลัย

เนื่องด้วย นายจักรพงศ์ ปินชัย นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้” โดยมี อาจารย์ณวรา สิริ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ดร.พิริยะ วรรณไทย เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับสารในสถานะแก๊ส ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับบุคลากรของท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขออนุมัติโครงการในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้ นายจักรพงศ์ ปินชัย และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 093 130 2296

3. หนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย

ที่ อว 8718/2646



บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

11 ตุลาคม 2566

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียน

เนื่องด้วย นายจักรพงศ์ ปินชัย นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้” โดยมี อาจารย์ ดร.ณวรา สีที และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยุทธ กลีบบัว เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ในการนี้ นิสิตขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูล โดยใช้ 1) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง “แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้” และ 2) แบบทดสอบ เรื่อง “การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับสารในสถานะแก๊ส” กับ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา ชั้นปีที่ 5 จำนวน 4 ห้องเรียน เพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัย และขอใช้สถานที่หน่วยงานของท่าน ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2566 ถึงเดือนธันวาคม 2566 ทั้งนี้ นิสิตจะเป็นผู้ประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาขอความอนุเคราะห์ และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา ศรีสังข์)

รองคณบดีฝ่ายวิชาการ รักษาการแทน

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 093 130 2296

4. หนังสือยืนยันการยกเว้นการรับรองโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

MF-04-version-2.0

วันที่ 18 ต.ค. 61



**หนังสือยืนยันการยกเว้นการรับรอง
คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**

(เอกสารนี้เพื่อแสดงว่าคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ ได้พิจารณาโครงการวิจัยนี้)

ชื่อโครงการวิจัย : การพัฒนาการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
เรื่อง แก๊ส ด้วยการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อ
การเรียนรู้

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย : นายจักรพงศ์ ปินชัย

หน่วยงานต้นสังกัด : คณะวิทยาศาสตร์

รหัสโครงการวิจัย : SWUEC-G-203/2566X

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยที่เข้าข่ายยกเว้น (Research with Exemption from SWUEC)

วันที่ยืนยัน : 20 กรกฎาคม 2566

ยืนยันโดย : คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ดำเนินการ
รับรองโครงการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นสากล ได้แก่ Declaration of Helsinki, the
Belmont Report, CIOMS Guidelines และ the International Conference on Harmonization in Good Clinical
Practice (ICH-GCP)

ออกให้ ณ วันที่ 20 กรกฎาคม 2566

(ลงชื่อ).....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทันตแพทย์หญิงณปภา เอี่ยมจิตรกุล)
กรรมการและเลขานุการคณะกรรมการจริยธรรม
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

(ลงชื่อ).....
(แพทย์หญิงสุวิพร ภัทรสุวรรณ)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรม
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/X/G-203/2566

ภาคผนวก ข
คุณภาพของเครื่องมือวิจัย

1. ผลการประเมินความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้
2. ผลการประเมินความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของแผนการจัดการเรียนรู้
3. ผลการประเมินความสอดคล้อง และความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
4. ความยากง่าย และอำนาจจำแนกของแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
5. ผลการประเมินความสอดคล้อง และความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
6. ความยากง่าย และอำนาจจำแนกของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
7. ผลการคำนวณค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

1. ผลการประเมินความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้

ตาราง 34 ค่าดัชนีความสอดคล้องขององค์ประกอบในแผนการจัดการเรียนรู้

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					IOC	ความ หมาย
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 กฎของอาโวกาโดร							
1.จุดประสงค์การเรียนรู้ สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ และสาระสำคัญ	+1	0	+1	+1	+1	0.80	สอดคล้อง
2.สาระสำคัญและเนื้อหาใน กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้อง กันและถูกต้อง	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
3.กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้อง กับจุดประสงค์การเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
4.กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้อง กับแนวทางการสืบเสาะหา ความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็น ฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อ การเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
5.กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้อง กับการส่งเสริมการสร้าง คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	0	+1	+1	0.80	สอดคล้อง
6.สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับ กิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
7.สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับ การส่งเสริมการเรียนรู้ตาม เนื้อหาและการสร้างคำอธิบาย ทางวิทยาศาสตร์	0	0	+1	+1	+1	0.60	สอดคล้อง
8.การวัดและประเมินผล สอดคล้องกับจุดประสงค์การ เรียนรู้และกิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 44 (ต่อ)

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					IOC	ความ หมาย
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 กฎของบอยล์							
1.จุดประสงค์การเรียนรู้ สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ และสาระสำคัญ	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
2.สาระสำคัญและเนื้อหาใน กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้อง กันและถูกต้อง	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
3.กิจกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับจุดประสงค์การ เรียนรู้	+1	+1	+1	0	+1	0.80	สอดคล้อง
4.กิจกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับแนวทางการสืบ เสาะหาความรู้โดยใช้ แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับ เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
5.กิจกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับการส่งเสริมการ สร้างคำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	+1	+1	0	+1	+1	0.80	สอดคล้อง
6.สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับ กิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	-1	+1	+1	0.60	สอดคล้อง
7.สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับ การส่งเสริมการเรียนรู้ตาม เนื้อหาและการสร้าง คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
8.การวัดและประเมินผล สอดคล้องกับจุดประสงค์การ เรียนรู้และกิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	-1	+1	0.60	สอดคล้อง

ตาราง 44 (ต่อ)

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					IOC	ความ หมาย
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 กฎของชาร์ลและเกย์-ลูสแซก							
1.จุดประสงค์การเรียนรู้ สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ และสาระสำคัญ	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
2.สาระสำคัญและเนื้อหาใน กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้อง กันและถูกต้อง	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
3.กิจกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับจุดประสงค์การ เรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
4.กิจกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับแนวทางการสืบ เสาะหาความรู้โดยใช้ แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับ เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
5.กิจกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับการส่งเสริมการ สร้างคำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	+1	+1	0	+1	+1	0.80	สอดคล้อง
6.สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับ กิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
7.สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับ การส่งเสริมการเรียนรู้ตาม เนื้อหาและการสร้าง คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
8.การวัดและประเมินผล สอดคล้องกับจุดประสงค์การ เรียนรู้และกิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 44 (ต่อ)

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					IOC	ความ หมาย
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 กฎความดันย่อยของดอลตัน							
1.จุดประสงค์การเรียนรู้ สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ และสาระสำคัญ	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
2.สาระสำคัญและเนื้อหาใน กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้อง กันและถูกต้อง	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
3.กิจกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับจุดประสงค์การ เรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
4.กิจกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับแนวทางการสืบ เสาะหาความรู้โดยใช้ แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับ เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
5.กิจกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับการส่งเสริมการ สร้างคำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	+1	+1	0	+1	+1	0.80	สอดคล้อง
6.สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับ กิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
7.สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับ การส่งเสริมการเรียนรู้ตาม เนื้อหาและการสร้าง คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
8.การวัดและประเมินผล สอดคล้องกับจุดประสงค์การ เรียนรู้และกิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 44 (ต่อ)

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					IOC	ความ หมาย
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม							
1.จุดประสงค์การเรียนรู้ สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ และสาระสำคัญ	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
2.สาระสำคัญและเนื้อหาใน กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้อง กันและถูกต้อง	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
3.กิจกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับจุดประสงค์การ เรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
4.กิจกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับแนวทางการสืบ เสาะหาความรู้โดยใช้ แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับ เทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
5.กิจกรรมการเรียนรู้ สอดคล้องกับการส่งเสริมการ สร้างคำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	0	+1	0	+1	+1	0.60	สอดคล้อง
6.สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับ กิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
7.สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับ การส่งเสริมการเรียนรู้ตาม เนื้อหาและการสร้าง คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
8.การวัดและประเมินผล สอดคล้องกับจุดประสงค์การ เรียนรู้และกิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง

2. ผลการประเมินความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของแผนการจัดการเรียนรู้

ตาราง 35 ค่าความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					เฉลี่ย	ความเหมาะสม
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 กฎของอาโวกาโดร							
1. จุดประสงค์การเรียนรู้	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	มากที่สุด
2. สาระสำคัญ	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	มากที่สุด
3. สาระการเรียนรู้	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	มากที่สุด
4. กิจกรรมการเรียนรู้	5.00	4.00	5.00	4.00	5.00	4.60	มากที่สุด
5. ไปกิจกรรมการสืบเสาะโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	4.00	5.00	3.00	5.00	5.00	4.40	มาก
6. ไปกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
7. สื่อการเรียนรู้อื่น ๆ	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
8. การวัดและประเมินผลและเกณฑ์การให้คะแนน	3.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.60	มากที่สุด
9. เวลาที่ใช้	4.00	5.00	5.00	4.00	4.00	4.40	มาก
10. วิทยของนักเรียน	5.00	5.00	4.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
11. ความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้ต่อการนำไปใช้ในภาพรวม	4.00	5.00	5.00	4.00	5.00	4.60	มากที่สุด
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 กฎของบอยล์							
1. จุดประสงค์การเรียนรู้	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	4.60	มากที่สุด
2. สาระสำคัญ	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	มากที่สุด
3. สาระการเรียนรู้	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	มากที่สุด
4. กิจกรรมการเรียนรู้	4.00	5.00	5.00	4.00	5.00	4.60	มากที่สุด

ตาราง 45 (ต่อ)

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					เฉลี่ย	ความเหมาะสม
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 กฎของอาโวกาโดร (ต่อ)							
5. ใบกิจกรรมการสืบเสาะโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	4.00	5.00	3.00	5.00	5.00	4.40	มาก
6. ใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
7. สื่อการเรียนรู้อื่น ๆ	4.00	5.00	3.00	5.00	5.00	4.40	มาก
8. การวัดและประเมินผลและเกณฑ์การให้คะแนน	4.00	5.00	5.00	3.00	5.00	4.40	มาก
9. เวลาที่ใช้	5.00	5.00	5.00	5.00	4.00	4.80	มากที่สุด
10. วิทยของนักเรียน	4.00	5.00	4.00	5.00	5.00	4.60	มากที่สุด
11. ความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้ต่อการนำไปใช้ในภาพรวม	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	4.60	มากที่สุด
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 กฎของชาร์ลและเกย์-ลูสแซก							
1. จุดประสงค์การเรียนรู้	5.00	3.00	5.00	5.00	5.00	4.60	มากที่สุด
2. สาระสำคัญ	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
3. สาระการเรียนรู้	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
4. กิจกรรมการเรียนรู้	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	4.60	มากที่สุด
5. ใบกิจกรรมการสืบเสาะโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	4.00	5.00	3.00	5.00	5.00	4.40	มาก
6. ใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
7. สื่อการเรียนรู้อื่น ๆ	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
8. การวัดและประเมินผลและเกณฑ์การให้คะแนน	4.00	5.00	3.00	5.00	5.00	4.40	มาก
9. เวลาที่ใช้	5.00	3.00	5.00	5.00	4.00	4.40	มาก

ตาราง 45 (ต่อ)

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					เฉลี่ย	ความเหมาะสม
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 กฎของชาร์ลและเกย์-ลุสแซก (ต่อ)							
10. วิทยของนักเรียน	4.00	5.00	4.00	5.00	5.00	4.60	มากที่สุด
11. ความเหมาะสมของ							
แผนการจัดการเรียนรู้ต่อการนำไปใช้ในภาพรวม	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 กฎความดันย่อยของดอลตัน							
1. จุดประสงค์การเรียนรู้	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
2. สาระสำคัญ	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
3. สาระการเรียนรู้	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	มากที่สุด
4. กิจกรรมการเรียนรู้	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
5. ใบกิจกรรมการสืบเสาะโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	5.00	4.00	3.00	5.00	5.00	4.40	มาก
6. ใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
7. สื่อการเรียนรู้อื่น ๆ	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
8. การวัดและประเมินผลและเกณฑ์การให้คะแนน	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
9. เวลาที่ใช้	5.00	5.00	5.00	5.00	4.00	4.80	มากที่สุด
10. วิทยของนักเรียน	5.00	5.00	4.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
11. ความเหมาะสมของ							
แผนการจัดการเรียนรู้ต่อการนำไปใช้ในภาพรวม	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม							
1. จุดประสงค์การเรียนรู้	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	มากที่สุด
2. สาระสำคัญ	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	มากที่สุด
3. สาระการเรียนรู้	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด

ตาราง 45 (ต่อ)

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					เฉลี่ย	ความเหมาะสม
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม (ต่อ)							
4. กิจกรรมการเรียนรู้	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
5. ใบกิจกรรมการสืบเสาะโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน	4.00	5.00	3.00	5.00	5.00	4.40	มาก
6. ใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
7. สื่อการเรียนรู้อื่น ๆ	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
8. การวัดและประเมินผลและเกณฑ์การให้คะแนน	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
9. เวลาที่ใช้	5.00	5.00	5.00	5.00	4.00	4.80	มากที่สุด
10. วิทยของนักเรียน	5.00	5.00	4.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด
11. ความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้ต่อการนำไปใช้ในภาพรวม	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.80	มากที่สุด

3. ผลการประเมินความสอดคล้อง และความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ ของแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ตาราง 36 ความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามในแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
กับนิยามเชิงปฏิบัติการ

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			IOC	ความหมาย
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3		
ข้อที่ 1 การเตรียมแป้งขนมปัง ก่อนนำไปอบ	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
ข้อที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิเมื่อนำขึ้นไปที่สูง	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
ข้อที่ 3 กระป๋องสเปรย์กำจัดยุง	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
ข้อที่ 4 ความดันของแก๊ส ออกซิเจนบนยอดดอยภูคา	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
ข้อที่ 5 การแพร่กระจายของ กลิ่นดอกไม้ม้า	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 37 ความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			เฉลี่ย	ความเหมาะสม
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3		
ข้อที่ 1 การเตรียมแป้งขนมปังก่อนนำไปอบ					
1) สถานการณ์	5	5	4	4.67	มากที่สุด
2) ข้อคำถาม	5	5	5	5.00	มากที่สุด
3) เกณฑ์การให้คะแนน	5	4	4	4.33	มาก
4) ภาษาที่ใช้	5	5	5	5.00	มากที่สุด

ตาราง 47 (ต่อ)

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			เฉลี่ย	ความเหมาะสม
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3		
ข้อที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมื่อนำขึ้นไปบนที่สูง					
1) สถานการณ์	5	3	5	4.33	มาก
2) ข้อคำถาม	5	5	5	5.00	มากที่สุด
3) เกณฑ์การให้คะแนน	5	5	4	4.67	มากที่สุด
4) ภาษาที่ใช้	5	4	5	4.67	มากที่สุด
ข้อที่ 3 กระป๋องสเปรย์กำจัดยุง					
1) สถานการณ์	4	5	5	4.67	มากที่สุด
2) ข้อคำถาม	5	5	5	5.00	มากที่สุด
3) เกณฑ์การให้คะแนน	5	5	4	4.67	มากที่สุด
4) ภาษาที่ใช้	5	4	4	4.33	มาก
ข้อที่ 4 ความดันของแก๊สออกซิเจนบนยอดดอยภูคา					
1) สถานการณ์	5	5	4	4.67	มากที่สุด
2) ข้อคำถาม	5	5	4	4.67	มากที่สุด
3) เกณฑ์การให้คะแนน	5	5	4	4.67	มากที่สุด
4) ภาษาที่ใช้	5	4	4	4.33	มาก
ข้อที่ 5 การแพร่กระจายของกลิ่นดอกไม้					
1) สถานการณ์	5	5	4	4.67	มากที่สุด
2) ข้อคำถาม	5	5	4	4.67	มากที่สุด
3) เกณฑ์การให้คะแนน	5	5	4	4.67	มากที่สุด
4) ภาษาที่ใช้	5	5	4	4.67	มากที่สุด

4. ความยากง่าย และอำนาจจำแนกของแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ตาราง 38 ความยากง่าย และอำนาจจำแนกของแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ข้อที่	ความยากง่าย	ความหมาย	อำนาจจำแนก	ความหมาย	ผลการพิจารณา
1	0.34	ค่อนข้างยาก	0.29	พอใช้	นำไปใช้ได้
2	0.43	ปานกลาง	0.32	พอใช้	นำไปใช้ได้
3	0.49	ปานกลาง	0.29	พอใช้	นำไปใช้ได้
4	0.33	ค่อนข้างยาก	0.31	พอใช้	นำไปใช้ได้
5	0.53	ปานกลาง	0.39	พอใช้	นำไปใช้ได้

5. ผลการประเมินความสอดคล้อง และความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ ของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ตาราง 39 ความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามในแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์กับ
นิยามเชิงปฏิบัติการ

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			IOC	ความหมาย
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3		
ข้อที่ 1 ถูกลมนิรภัย	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
ข้อที่ 2 เลือฐฐีพพองได้	+1	0	+1	0.67	สอดคล้อง
ข้อที่ 3 ฟองอากาศได้ท้องทะเล	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
ข้อที่ 4 ขวดน้ำดื่มแช่เย็น	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง
ข้อที่ 5 แป้งพืซซาหลังอบ	+1	0	+1	0.67	สอดคล้อง
ข้อที่ 6 หลอดโซเดียมความดันต่ำ	+1	0	+1	0.67	สอดคล้อง
ข้อที่ 7 แก๊สปิโตรเลียม	+1	+1	+1	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 40 ความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			เฉลี่ย	ความเหมาะสม
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3		
ข้อที่ 1 ถูกลมนิรภัย					
1) สถานการณ์	5	5	4	4.67	มากที่สุด
2) ข้อคำถาม	5	5	3	4.33	มาก
3) เกณฑ์การให้คะแนน	5	4	4	4.33	มาก
4) ภาษาที่ใช้	5	5	4	4.67	มากที่สุด
ข้อที่ 2 เลือฐฐีพพองได้					
1) สถานการณ์	5	4	4	4.33	มาก
2) ข้อคำถาม	4	3	3	3.33	ปานกลาง
3) เกณฑ์การให้คะแนน	4	3	4	3.67	มาก
4) ภาษาที่ใช้	5	5	4	4.67	มากที่สุด
ข้อที่ 3 พองอากาศได้ห้องทะเล					
1) สถานการณ์	5	4	5	4.67	มากที่สุด
2) ข้อคำถาม	5	4	5	4.67	มากที่สุด
3) เกณฑ์การให้คะแนน	5	3	4	4.00	มาก
4) ภาษาที่ใช้	5	3	4	4.00	มาก
ข้อที่ 4 ขวดน้ำดื่มแช่เย็น					
1) สถานการณ์	5	5	5	5.00	มากที่สุด
2) ข้อคำถาม	5	4	5	4.67	มากที่สุด
3) เกณฑ์การให้คะแนน	5	3	4	4.00	มาก
4) ภาษาที่ใช้	5	4	4	4.33	มาก
ข้อที่ 5 แบ่งพืชชาหลังอบ					
1) สถานการณ์	5	4	4	4.33	มาก
2) ข้อคำถาม	5	3	3	3.67	มาก
3) เกณฑ์การให้คะแนน	5	3	4	4.00	มาก
4) ภาษาที่ใช้	5	4	4	4.33	มาก

ตาราง 50 (ต่อ)

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			เฉลี่ย	ความเหมาะสม
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3		
ข้อที่ 6 หลอดโซเดียมความดันต่ำ					
1) สถานการณ์	5	4	4	4.33	มาก
2) ข้อคำถาม	5	3	3	3.67	มาก
3) เกณฑ์การให้คะแนน	5	3	4	4.00	มาก
4) ภาษาที่ใช้	5	4	4	4.33	มาก
ข้อที่ 7 แก๊สปิโตรเลียม					
1) สถานการณ์	5	5	4	4.67	มากที่สุด
2) ข้อคำถาม	5	5	3	4.33	มาก
3) เกณฑ์การให้คะแนน	5	4	3	4.00	มาก
4) ภาษาที่ใช้	5	5	4	4.67	มากที่สุด

7. ความยากง่าย และอำนาจจำแนกของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ตาราง 41 ความยากง่าย และอำนาจจำแนกของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ข้อที่	ความ ยากง่าย	ความหมาย	อำนาจ จำแนก	ความหมาย	ผลการ พิจารณา
1	0.31	ค่อนข้างยาก	0.27	จำแนกได้พอใช้	นำไปใช้ได้
2	0.39	ค่อนข้างยาก	0.23	จำแนกได้พอใช้	นำไปใช้ได้
3	0.57	ปานกลาง	0.22	จำแนกได้พอใช้	นำไปใช้ได้
4	0.35	ค่อนข้างยาก	0.18	จำแนกได้ค่อนข้างต่ำ	ตัดออก
5	0.44	ปานกลาง	0.24	จำแนกได้พอใช้	นำไปใช้ได้
6	0.41	ปานกลาง	0.19	จำแนกได้ค่อนข้างต่ำ	ตัดออก
7	0.33	ค่อนข้างยาก	0.42	จำแนกได้ดี	นำไปใช้ได้

8. ค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

การหาค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้นำแบบวัดที่มีความยากง่ายและอำนาจจำแนกเหมาะสมไป ที่ประกอบด้วยข้อคำถามทั้งหมดสี่ข้อ ได้แก่ ข้อ 2, 3, 5 และ 7 ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มที่ศึกษาและเคยเรียนเนื้อหา เรื่อง แก๊ส มาแล้ว แต่ยังไม่เคยได้รับการฝึกให้สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มาก่อน จำนวน 41 คน ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

Case Processing Summary

		N	%
Cases	Valid	41	100.0
	Excluded ^a	0	.0
	Total	41	100.0

a. Listwise deletion based on all variables in the procedure.

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
.732	.728	4

Item Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
score2	3.9512	1.02350	41
score3	3.3659	.62274	41
score5	2.8537	.65425	41
score7	4.2439	1.24057	41

Summary Item Statistics

	Mean	Minimum	Maximum	Range	Maximum / Minimum	Variance	N of Items
Item Means	3.604	2.854	4.244	1.390	1.487	.383	4

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างเครื่องมือวิจัย

1. ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้
2. ตัวอย่างแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และเกณฑ์การให้คะแนน
3. ตัวอย่างแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์และเกณฑ์การให้คะแนน
4. ตัวอย่างบันทึกการสังเกตชั้นเรียน
5. ตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ระดับดีมาก จากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
6. ตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในระดับดีมาก จากแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

1. ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง แก๊ส ตามแนวทางการสืบเสาะหาความรู้ โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคการเสริมต่อการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1

รายวิชา ว32223 เคมี 3

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สตามกฎหมายของอาโวกาโดร

เวลา 3 คาบ (150 นาที)

1. ผลการเรียนรู้

สาระเคมี ข้อ 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ผลการเรียนรู้ที่ 3 คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส จากความสัมพันธ์ตามกฎหมายของอาโวกาโดร และกฎแก๊สอุดมคติ

ผลการเรียนรู้ที่ 6 สืบค้นข้อมูล นำเสนอตัวอย่าง และอธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน และในอุตสาหกรรม

2. จุดประสงค์การเรียนรู้ นักเรียนสามารถ

1. วางแผนและดำเนินการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลหลักฐานในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส (P)

2. แปลความหมายข้อมูลให้สอดคล้องกับหลักฐานเชิงประจักษ์ที่รวบรวมมาได้ด้วยวิธีการที่หลากหลายอย่างเที่ยงตรง โดยวิเคราะห์ข้อมูลทั้งด้านที่สนับสนุนและขัดแย้งกับสิ่งที่คาดการณ์ไว้ (A)

3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สตามกฎหมายของอาโวกาโดร โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์และทฤษฎีจลน์ของแก๊ส (K)

4. คำนวณปริมาตรหรือจำนวนโมลของแก๊ส จากความสัมพันธ์ตามกฎหมายของอาโวกาโดร (P)

5. เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับปรากฏการณ์การขยายขนาดของถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยาง จนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแก๊สเบา (K, P, A)

3.สาระสำคัญ/ความคิดรวบยอด

กฎของอาโวกาโดร กล่าวว่า เมื่ออุณหภูมิ (T) และความดัน (P) ของแก๊สคงที่ ปริมาตร (V) ของแก๊ส จะแปรผันตามจำนวนโมล (n) ของแก๊ส แทนด้วยสัญลักษณ์ $V \propto n$ และเขียนเป็นสูตรในการคำนวณได้ว่า $\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$

ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส อธิบายได้ดังนี้ ในสภาวะที่อุณหภูมิ และความดันของแก๊สคงที่ เมื่อจำนวนโมลของแก๊สมากขึ้น โอกาสที่อนุภาคแก๊สจะเคลื่อนที่ไปชนกับผนังภาชนะจึงมากขึ้น จำนวนครั้งในการชนกับผนังภาชนะจึงเพิ่มขึ้น ผลรวมของแรงที่อนุภาคแก๊สกระทำกับผนังภาชนะจึงมากขึ้น ความดันของแก๊สภายในภาชนะจึงเพิ่มขึ้น เพื่อให้ความดันมีค่าคงที่และมีค่าเท่ากับ ความดันภายนอก แก๊สภายในระบบจึงเกิดการปรับตัว โดยแก๊สจะเพิ่มปริมาตรให้มากขึ้น เพื่อลดโอกาสในการชนกับผนังภาชนะของอนุภาคแก๊ส และปริมาตรของแก๊สจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งความดันภายในภาชนะมีค่าเท่ากับความดันภายนอก ปริมาตรของแก๊สจึงจะหยุดเพิ่ม ทำให้ในตอนสุดท้าย ปริมาตรของแก๊สจะมีค่ามากกว่าปริมาตรเริ่มต้น ในทางกลับกัน เมื่อจำนวนโมลของแก๊สลดลง โอกาสที่อนุภาคแก๊สจะเคลื่อนที่ไปชนกับผนังภาชนะจึงลดลง จำนวนครั้งหรือความถี่ในการชนกับผนังภาชนะจึงลดลง แรงที่อนุภาคแก๊สกระทำต่อผนังภาชนะจึงลดลง ความดันของแก๊สภายในภาชนะจึงลดลง แก๊สจึงปรับตัวโดยการลดปริมาตรลง เพื่อเพิ่มโอกาสในการชนกับผนังภาชนะ และปริมาตรของแก๊สจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งความดันภายในภาชนะมีค่าเท่ากับความดันภายนอก ทำให้ในตอนสุดท้าย ปริมาตรของแก๊สจะน้อยกว่าปริมาตรตอนเริ่มต้น จึงนำไปสู่ข้อสรุปตามกฎของอาโวกาโดรที่ว่า เมื่ออุณหภูมิ (T) และความดัน (P) ของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊ส (V) แปรผันตรงกับจำนวนโมล (n) ของแก๊ส

ในบทเรียนนี้จะนำความรู้เกี่ยวกับจำนวนโมลและปริมาตรของแก๊ส มาใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงขนาดของถุงแกง เมื่ออาหารที่บรรจุไว้ในถุงแกงบูด ซึ่งเป็นการให้ข้อสรุปเกี่ยวกับปัญหาหรือปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่น่าสนใจ โดยอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์ มาเชื่อมโยงหลักฐาน เพื่อสนับสนุนข้อสรุปที่สร้างขึ้นอย่างมีเหตุผล หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

4.สาระการเรียนรู้

- 1) การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส (ปฏิกิริยาระหว่างเบกกิ้งโซดากับน้ำส้มสายชู)
- 2) กฎของอาโวกาโดร
- 3) ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส
- 4) การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
- 5) แบบจำลองเพื่ออธิบายการขยายขนาดของถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแก๊สเบียด

คำถาม ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแก๊สเบียดมีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างไร

③ รัดปากถุงจนแน่น = แก๊สออกไม่ได้

จำนวนโมลของแก๊สภายในถุง "เพิ่มขึ้น"

① อาหารบูด

สลายสารอาหารแบบไม่ใช้ O_2 โดยจุลินทรีย์

$$C_6H_{12}O_6N_2S_3(s) + yH_2O(l) \rightarrow xCH_4(g) + nNH_3(g) + sH_2S(g) + (c-x)CO_2(g)$$

"แก๊ส"

② เกิดแก๊สจำนวนมาก

④ ถุงบรรจุขยายตัว เนื่องจากปริมาณแก๊ส "เพิ่มขึ้น"

พอลิโพรพิลีน "เหนียว" "ทนทานร้อน"

- 6) คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของคำถาม ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแก๊สเบียดมีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างไร



ที่มา : https://twitter.com/chaochao_peep/status/540184756239888385, <https://board.postjung.com/1281695>

<https://twitter.com/Khuntooyen/status/521359718099345408/photo/1>

ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแก๊สบูด มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ เนื่องจากภายในถุงมีปริมาณแก๊สที่เกิดจากการบูดเน่าของอาหารมากขึ้นและแก๊สไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากถุงแก๊สซึ่งทำมาจากพอลิโพรพิลีนที่มีความเหนียวได้ ทราบได้จาก (1) ตัวอย่างสมการเคมีของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด (2) ขนาดของลูกโป่งที่ใหญ่ขึ้นตามปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างเบกิงโซดากับน้ำส้มสายชู และ (3) คุณสมบัติของถุงแก๊สที่เป็นถุงร้อนแบบใส ทำมาจากพอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP) การบูดเน่าของอาหารเป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน ภายในแก๊สที่มีสารอาหารทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เมื่อถูกย่อยสลายจึงทำให้เกิดทั้งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน แก๊สแอมโมเนีย และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นมา ดังตัวอย่างสมการปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารอาหารประเภทต่าง ๆ แก๊สที่เกิดขึ้น ไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากถุงแก๊สได้ เนื่องจากถุงแก๊สถูกรัดปากด้วยยางจนแน่นสนิท ส่งผลให้มีแก๊สสะสมอยู่ในถุงแก๊สมากขึ้น ปริมาณแก๊สที่สะสมเพิ่มขึ้นจึงทำให้ปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรของถุงแก๊สเพิ่มขึ้นตาม เช่นเดียวกันกับขนาดของลูกโป่งที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเบกิงโซดากับน้ำส้มสายชูเพิ่มขึ้น หลักฐานดังกล่าวเป็นไปตามความสัมพันธ์จากกฎของอาโวกาโดร คือ ณ สภาวะที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมลของแก๊ส และถุงบรรจุแก๊สเป็นถุงร้อนแบบใส ทำมาจากพอลิโพรพิลีน ซึ่งมีคุณสมบัติเหนียว และทนความร้อนได้สูง คล้ายกันกับลูกโป่งที่มีความยืดหยุ่น จึงสามารถขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้นได้ เมื่อปริมาณแก๊สที่บรรจุอยู่ภายในเพิ่มขึ้นจากหลักฐานทั้งสามชิ้น จึงนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า ปริมาณแก๊สที่เกิดจากการบูดเน่าของอาหารที่มากขึ้นและไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากถุงแก๊สซึ่งทำมาจากพอลิโพรพิลีนที่มีความเหนียว เป็นสาเหตุให้ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแก๊สบูด มีขนาดขยายใหญ่ขึ้น

วิเคราะห์องค์ประกอบ

- ข้อกล่าวอ้าง : ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแก๊สบูด มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ เนื่องจากภายในถุงมีปริมาณแก๊สที่เกิดจากการบูดเน่าของอาหารมากขึ้นและแก๊สไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากถุงแก๊สซึ่งทำมาจากพอลิโพรพิลีนที่มีความเหนียวได้
- หลักฐาน : ประกอบด้วย 3 หลักฐาน ดังนี้

1) ตัวอย่างสมการเคมีของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด

2) ขนาดของลูกโป่งซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างเบกกิ้งโซดากับน้ำส้มสายชู

3) คุณสมบัติของถุงแกงที่เป็นถุงร้อนแบบใส ทำมาจากพอลิโพรพิลีน

● การให้เหตุผล : การบดเน่าของอาหารเป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน ภายในแกงที่มีสารอาหารทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เมื่อถูกย่อยสลายจึงทำให้เกิดทั้งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน แก๊สแอมโมเนีย และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นมา ดังตัวอย่างสมการปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารอาหารประเภทต่าง ๆ แก๊สที่เกิดขึ้น ไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากถุงแกงได้ เนื่องจากถุงแกงถูกรัดปากด้วยยางจนแน่นสนิท ส่งผลให้มีแก๊สสะสมอยู่ในถุงแกงมากขึ้น ปริมาณแก๊สที่สะสมเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรของถุงแกงเพิ่มขึ้นตาม เช่นเดียวกันกับขนาดของลูกโป่งที่เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเบกกิ้งโซดากับน้ำส้มสายชูเพิ่มขึ้น หลักฐานดังกล่าวเป็นไปตามความสัมพันธ์จากกฎของอาโวกาโดร คือ ณ สภาวะที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมลของแก๊ส และถุงบรรจุแกงเป็นถุงร้อนแบบใส ทำมาจากพอลิโพรพิลีน ซึ่งมีคุณสมบัติเหนียว และทนความร้อนได้สูง คล้ายกันกับลูกโป่งที่มีความยืดหยุ่น จึงสามารถขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้นได้ เมื่อปริมาณแก๊สที่บรรจุอยู่ภายในเพิ่มขึ้นจากหลักฐานทั้งสามชิ้น จึงนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า ปริมาณแก๊สที่เกิดจากการบดเน่าของอาหารที่มากขึ้นและไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากถุงแกงซึ่งทำมาจากพอลิโพรพิลีนที่มีความเหนียวเป็นสาเหตุให้ถุงบรรจุแกงที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแกงบูด มีขนาดขยายใหญ่ขึ้น

○ หลักการทางวิทยาศาสตร์ ที่เกี่ยวข้อง

1) การบดเน่าของอาหารเป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารโดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจน ซึ่งจะมีผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สหลากหลายชนิด ตามสารอินทรีย์ที่เป็นสารตั้งต้น

2) กฎของอาโวกาโดร ซึ่งอธิบายว่า ณ สภาวะที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมลของแก๊ส

3) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene) หรือ PP เป็นพลาสติกที่เหนียว และทนความร้อนได้สูง

5.สมรรถนะของผู้เรียน

การอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ (นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้สร้างคำอธิบายที่สมเหตุสมผล)

6.กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นที่ 1 การรวบรวมความคิด (Eliciting Students Ideas) (20 นาที)

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
1.1 แนะนำปรากฏการณ์และระบุคำถามสำคัญ	1) นักเรียนจับกลุ่มตามความสมัครใจ กลุ่มละ 4 – 5 คน โดยครูกล่าวย้ากับนักเรียนว่า กลุ่มดังกล่าวจะต้องทำกิจกรรมร่วมกันจนจบบทเรียน จากนั้นครูแจกใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถุงแกงอืดอ่าง 2) ครูแสดงภาพตัวอย่างของถุงบรรจุแกงที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิท และวางทิ้งไว้ จนบูด และใช้คำถามดังนี้ ที่มา : https://www.facebook.com/ejan2016/posts/2703666586460997/?locale=th_TH, https://ch3plus.com/news/socialnews/morning/233062 - จากภาพ นักเรียนสังเกตเห็นอะไรบ้าง <u>แนวคำตอบ</u> ถุงแกงถูกรัดปากด้วยหนังยางจนแน่น/ ถุงแกงมีขนาดใหญ่กว่าถุงแกงทั่วไป/ ถุงแกงพอง ใกล้เคียงจะระเบิด/ แกงภายในถุงบูดเน่า/ แกงมีสีคล้ำ เนื้อสัตว์และผักในแกงเปื่อย/ มีการแยกชั้นของแกง - นักเรียนสงสัยหรือมีคำถามอะไรที่อยากรู้บ้าง <u>แนวคำตอบ</u> ตามความคิดเห็นของนักเรียน เช่น การวางถุงแกงทิ้งไว้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หรือความดันหรือไม่ ซึ่งครูจะต้องอธิบายว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง เพื่อป้องกันไม่ให้นักเรียนเข้าใจผิดประเด็น

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
	3) ครูจุดประเด็นหรือข้อสงสัยของนักเรียนบนกระดาน 4) ครูกระตุ้นเพื่อนำเข้าสู่คำถามสำคัญ นักเรียนสงสัยหรือไม่ว่า ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแก๊สบูดมีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างไร โดยครูแสดงคำถามนั้นไว้บนกระดานตลอดการทำกิจกรรม
1.2 ตอบคำถามสำคัญ	5) นักเรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันระดมความคิดเพื่อตอบคำถามสำคัญ โดยเขียนตอบคำถามลงในใบกิจกรรมที่ 1 ถุงแก๊สอืดอ่าง
1.3 สร้างแบบจำลองเบื้องต้น	6) นักเรียนอธิบายแนวคำตอบโดยร่วมกันเขียนออกมาเป็นแผนภาพความคิดของกลุ่ม ที่ประกอบด้วยรูปภาพ และ คำหรือข้อความสำคัญ ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์นั้น ๆ 7) นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอแผนภาพของกลุ่มตนเอง พร้อมอธิบายแบบกระชับ ครบถ้วนที่ประเด็นสำคัญจากคำตอบและแผนภาพของนักเรียนแต่ละกลุ่มไว้บนกระดาน 8) ครูกระตุ้นว่า จากแผนภาพความคิดที่สร้างขึ้น นักเรียนจะแน่ใจได้อย่างไรว่า แผนภาพนั้นถูกต้อง นักเรียนจะตรวจสอบในประเด็นใดบ้าง หรือจะต้องมีหลักฐานอะไรบ้าง 9) ครูสรุปประเด็น/คำถามที่ต้องสืบเสาะหาข้อมูลดังนี้ ● เมื่ออาหารเกิดการบูดเน่า จะมีสิ่งใดเกิดขึ้น ● การพองของถุงแก๊สเกิดขึ้นได้อย่างไร ● เมื่อปริมาณหรือจำนวนโมลของแก๊สเปลี่ยนแปลงไป ปริมาตรของแก๊สจะเป็นอย่างไร ● ถุงแก๊สทำมาจากวัสดุอะไร และมีสมบัติเป็นอย่างไร

ขั้นที่ 2 การปรับเปลี่ยนความคิด (Supporting Students' On-Going Changes in Thinking) (50 นาที)

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
2.1 สร้างสมมติฐานในการรวบรวมข้อมูล	10) นักเรียนตั้งสมมติฐานที่สอดคล้องกับแบบจำลองและสามารถตรวจสอบได้ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบขั้นตอนรวบรวมข้อมูลดังนี้

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
	“เมื่อเราเชื่อว่า (ความสัมพันธ์ตามแผนภาพที่สร้าง) นั้นถูกต้อง เราจึง (สังเกต/ทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว) แล้วเราควรจะสังเกต/ค้นพบได้ว่า (ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น)” ตัวอย่างสมมติฐาน เมื่อเราเชื่อว่า อุณหภูมิที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนหลอดสามารถขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้นได้ เนื่องจากแก๊สที่เกิดจากการบุดเน่าของแก๊สที่อยู่ภายในถุงมีปริมาณมากขึ้น นั้นถูกต้อง เราจึง สืบค้นข้อมูล เกี่ยวกับปฏิกิริยาการบุดเน่าของอาหาร และทดสอบการขยายตัวของภาชนะที่ บรรจุแก๊ส แล้วเราควรจะค้นพบว่า การบุดเน่าของอาหารทำให้เกิดแก๊สขึ้นปริมาณมาก และภาชนะที่บรรจุแก๊สจะมีการขยายตัว เมื่อแก๊สมีปริมาณเพิ่มขึ้น หากภาชนะนั้นมีความยืดหยุ่น
2.2 ออกแบบ วางแผน และลงมือรวบรวมข้อมูล	11) นักเรียนแต่ละกลุ่ม ร่วมกันออกแบบขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล โดยยึดตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ หรืออาจจะพูดคุยกันทั้งชั้น และสรุปขั้นตอนร่วมกัน ครูผู้สอนอาจใช้คำถามชี้นำ เช่น ● จากข้อความที่นักเรียนเขียนในสมมติฐานนั้น นักเรียนต้องรวบรวมข้อมูลด้วยวิธีใดบ้าง แต่ละวิธี มีขั้นตอนอย่างไร ● ในการรวบรวมข้อมูล นักเรียนจะต้องใช้วัสดุอุปกรณ์อะไรบ้าง และใช้อย่างไร ครูผู้สอนจะวางอุปกรณ์ ได้แก่ น้ำส้มสายชู เบกกิ้งโซดา ลูกโป่ง หลอดทดลอง และคิวอาร์โค้ดของเอกสารที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ รายงานการทบทวนวรรณกรรม จากงานวิจัย เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมบูด และหนังสือ PLASTICS STORY พลาสติกแสนดี มีอยู่รอบตัว ไว้บนโต๊ะของนักเรียนแต่ละกลุ่ม รวมถึงใช้คำถามชี้นำ เช่น ● นักเรียนจะทราบได้อย่างไรว่า การบุดเน่าของอาหารทำให้เกิดแก๊สเกิดขึ้นภายในถุงแก๊ส ● นักเรียนจะตรวจสอบได้อย่างไรว่า ที่อุณหภูมิและความดันคงที่เมื่อจำนวนโมลของแก๊สเปลี่ยนแปลงไป ปริมาตรของแก๊สจะเป็นอย่างไร

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
	- นักเรียนจะสืบค้นข้อมูลเรื่องอะไร เพื่อให้ทราบเกี่ยวกับคุณสมบัติของถุงแกง 12) นักเรียนแต่ละกลุ่มลงมือรวบรวมข้อมูลตามแนวทางที่ได้ออกแบบไว้ และบันทึกข้อมูลที่ได้ลงในหัวข้อ 3 ของใบกิจกรรมที่ 1 ถุงแกงอึ้งอ่าง โดยกิจกรรมที่ครูผู้สอนคาดหวังให้นักเรียนทำในเบื้องต้น มีดังนี้ - หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำส้มสายชูและเบกกิ้งโซดา - หาข้อมูลเกี่ยวกับอาหารที่บูดเน่าว่า การบูดเน่าของอาหารนั้นเกิดกระบวนการอะไร - หาข้อมูลเกี่ยวกับถุงใส่แกงว่าทำมาจากวัสดุใด และมีคุณสมบัติอย่างไร
13.3 สร้างตารางสรุป	13) ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปข้อมูลที่นักเรียนได้จากการสืบเสาะ โดยทำเป็นตารางสรุปดังตัวอย่าง ลงในหัวข้อที่ 4 ของใบกิจกรรมที่ 1 ถุงแกงอึ้งอ่าง ตารางสรุปมีประเด็น ดังนี้ - กิจกรรมที่ทำคืออะไร - สิ่งที่ค้นพบคืออะไร - สิ่งที่ค้นพบช่วยให้อธิบายปรากฏการณ์ได้อย่างไร ตัวอย่างคำถาม ที่ครูใช้เพื่อรวบรวมข้อมูลจากกิจกรรมที่นักเรียนทำจากการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการบูดเน่าของอาหาร - การบูดเน่าของอาหารในถุงแกง คือกระบวนการใด <u>แนวคำตอบ</u> การสลายสารอาหารโดยจุลินทรีย์ในสภาวะที่ขาดออกซิเจน - การสลายสารอาหารแต่ละประเภท ได้ผลิตภัณฑ์เป็นอะไรเหมือนหรือแตกต่างกันกันอย่างไร <u>แนวคำตอบ</u> ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดเป็นสารที่อยู่ในสถานะแก๊ส ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สมีเทน เป็นผลิตภัณฑ์เหมือนกัน

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
	● การสลายสารอาหารในสภาวะที่ขาดออกซิเจนสนับสนุนการขยายตัวของถุงแกงอย่างไร <u>แนวคำตอบ</u> การสลายสารอาหารในสภาวะที่ขาดออกซิเจนทำให้เกิดแก๊สชนิดต่าง ๆ เช่น แก๊สมีเทน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ภายในถุงแกง มีปริมาณแก๊สหรือจำนวนโมลรวมของแก๊สมากขึ้น เมื่อแก๊สมีจำนวนโมลรวมมากขึ้น ปริมาตรของแก๊สจึงมากขึ้น ปริมาตรของถุงจึงเพิ่มตาม เพราะตามทฤษฎีจลน์ของแก๊สถือว่าปริมาตรแก๊สมีค่าเท่ากับปริมาตรของภาชนะ จากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส จากปฏิกิริยาระหว่างเบกกิ้งโซดากับน้ำส้มสายชู ● นักเรียนทราบได้อย่างไรว่า แก๊สที่มีปริมาณมากขึ้น จะมีปริมาตรมากขึ้นตาม <u>แนวคำตอบ</u> จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมล ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเบกกิ้งโซดากับน้ำส้มสายชู ● สิ่งใดที่บ่งชี้ว่าปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีความสัมพันธ์กันเช่นนั้น <u>แนวคำตอบ</u> ขนาดของลูกโป่งที่ครอบเหนือปากขวด ปริมาณฟองแก๊สที่เกิดขึ้นในขวด และโมลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่คำนวณได้ ● ความสัมพันธ์ดังกล่าว อธิบายโดยใช้ทฤษฎีจลน์ได้อย่างไร <u>แนวคำตอบ</u> ณ สภาวะที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ในภาชนะที่มีจำนวนอนุภาคของแก๊สเพิ่มมากขึ้น จะทำให้อนุภาคของแก๊สชนกับผนังภาชนะมากขึ้น ส่งผลให้ความดันภายในภาชนะมีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อให้ความดันคงที่ ภาชนะที่ผนังมีความยืดหยุ่น จะมีการขยายปริมาตรให้มากขึ้น เพื่อลดโอกาสในการชนกับ

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
	ผนังภาชนะของอนุภาคแก๊ส จากรายละเอียดข้างต้น จึงนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า ปริมาตรแปรผันตรงกับจำนวนโมลของแก๊ส จากการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับถุงใส่แก๊ส • ถุงแก๊สทำมาจากอะไรและมีคุณสมบัติอย่างไร <u>แนวคำตอบ</u> พอลิโพรพิลีน (PP) เหนียว ทนความร้อนได้สูง • การที่ถุงแก๊สทำมาจากพอลิโพรพิลีนที่มีความเหนียวช่วยอธิบายการขยายตัวของถุงแก๊สอย่างไร <u>แนวคำตอบ</u> ถุงแก๊สที่มีความเหนียวจะสามารถขยายขนาดได้โดยที่ถุงไม่ขาด 14) ครูใช้คำถามกระตุ้นว่า ข้อมูลที่นักเรียนรวบรวมมาได้นั้น เพียงพอที่จะตอบคำถามสำคัญหรือไม่ จากนั้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่ม ร่วมกันพิจารณาตารางสรุป โดยเชื่อมโยงประเด็นสำคัญที่ได้รับรู้ไว้ หากพบว่า มีประเด็นใดหายไป นักเรียนจะต้องรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม หรือหากคิดว่ามีประเด็นใดที่ไม่เกี่ยวข้อง ให้ร่วมกันตัดสินใจว่าจะทำอย่างไร โดยครูคอยให้ความช่วยเหลือ 15) นักเรียนประเมินข้อมูลว่าจะเลือกใช้ข้อมูลใด เป็นหลักฐานสนับสนุนในการอธิบายปรากฏการณ์บ้าง โดยใช้ประเด็นสำคัญที่บันทึกไว้และหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ เป็นเกณฑ์
2.4 อภิปรายและแก้ไขแบบจำลอง ครั้งที่ 1	16) นักเรียนแต่ละกลุ่มพิจารณาแผนภาพและคำตอบของกลุ่มตนเองว่าครอบคลุมและสอดคล้องในประเด็นสำคัญที่ทั้งห้องร่วมกันสรุปหรือไม่ โดยครูอาจใช้คำถามชี้แนะ เช่น • อะไรคือสิ่งที่บ่งบอกว่าต้องวาด.....ลงไปในแผนภาพ • ในแผนภาพช่วยตอบคำถามสำคัญอย่างไร • นักเรียนวาด.....ไว้ตรงส่วนไหนของแผนภาพ

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
	17) นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันปรับปรุงแผนภาพของกลุ่มตนเองให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยวาดแผนภาพใหม่ ลงไปในหัวข้อที่ 5 ของใบกิจกรรมที่ 1 18) นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอแผนภาพที่ปรับปรุงแล้วของกลุ่มตนเอง โดยกล่าวอธิบายสั้น ๆ ประมาณ 2 – 3 ประโยค แล้วนำแผนภาพไปแสดงไว้ในจุดที่ครูกำหนด จากนั้นนักเรียนชมแผนภาพของกลุ่มอื่น ๆ ตามเวลาที่ครูกำหนด พร้อมสอบถาม แสดงความคิดเห็น หรือให้คำแนะนำเพิ่มเติมแก่เพื่อนร่วมชั้น (ครูสามารถมีส่วนร่วมได้ แต่จะต้องไม่อธิบายว่าแบบจำลองที่ถูกตั้งคืออะไร อาจใช้การชี้หน้า โดยเชื่อมโยงกับประเด็นสำคัญที่จดไว้ในตอนต้น)

ตัวอย่างตารางสรุป

กิจกรรม	สิ่งที่ค้นพบ	สิ่งที่ค้นพบช่วยให้นักเรียนอธิบายปรากฏการณ์ได้อย่างไร
การอ่านรายงาน การทบทวน วรรณกรรม	การย่อยสลายสารอาหารของจุลินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน จะทำให้เกิดแก๊สชนิดต่าง ๆ	ในถุงแกงที่บูดจะมีปริมาณแก๊สมากกว่าถุงแกงปกติ ซึ่งแก๊สดังกล่าวเป็นสาเหตุทำให้ถุงแกงขยายตัว
การอ่านหนังสือ PLASTICS STORY พลาสติกแสนดี มีอยู่รอบตัว	ถุงแกงทำมาจากพอลิโพรพิลีนซึ่งมีความเหนียวและทนความร้อนได้สูง	คุณสมบัติของพอลิโพรพิลีนมาช่วยสนับสนุนว่า ถุงแกงสามารถขยายขนาดได้เนื่องจากพอลิโพรพิลีน มีความเหนียว จึงยืดออกได้
ทดลองหา ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรและ จำนวนโมลของแก๊ส	กฎของอาโวกาโดร ที่อธิบายว่าเมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมลของแก๊ส	ความสัมพันธ์จากกฎของอาโวกาโดรมาช่วยสนับสนุนว่า แก๊สที่เกิดจากการบูดเน่าของอาหาร เป็นสาเหตุทำให้ถุงแกงขยายตัว เพราะจำนวนโมลของแก๊สที่เพิ่มขึ้น จะมีปริมาตรมากขึ้น

ขั้นที่ 3 การสร้างคำอธิบายจากหลักฐาน (Pressing for Evidence-Based Explanations) (80 นาที)

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
3.1 อภิปรายและแก้ไขแบบจำลองครั้งสุดท้าย	19) ครูกล่าวสรุปประเด็นจากการชมแผนภาพ เช่น แผนภาพแต่ละกลุ่มเหมือนหรือต่างกันอย่างไร รายละเอียดส่วนไหนที่น่าจะเป็นจุดสำคัญของแผนภาพ และนักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันปรับปรุงแผนภาพของกลุ่มตนเองเป็นครั้งสุดท้าย หลังจากที่ได้รับคำแนะนำจากครูและเพื่อนร่วมชั้น โดยเขียนลงไปในหัวข้อที่ 6 ของใบกิจกรรมที่ 1 20) นักเรียนกลุ่มที่มีการปรับเปลี่ยนแผนภาพ ออกมานำเสนอรายละเอียดที่แก้ไข โดยกล่าวอธิบายสั้น ๆ เพียง 2 – 3 ประโยค และกลุ่มที่ไม่มีการปรับเปลี่ยน ออกมาชี้แจงเหตุผลว่า แผนภาพที่กลุ่มตนเองสร้างขึ้นมานั้น มีความสมบูรณ์ และเหมาะสมที่จะนำไปอธิบายปรากฏการณ์อย่างไร
3.2 สร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยใช้หลักฐานที่รวบรวมได้ และแบบจำลองที่ปรับปรุงครั้งสุดท้ายเป็นฐาน	21) ครูนำเข้าสู่การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยครูอธิบายให้นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับความหมาย องค์ประกอบ และตัวอย่างของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ 22) ครูอาจตรวจสอบความเข้าใจ โดยใช้คำถาม ดังนี้ ● การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์คืออะไร แนวคำตอบ การลงข้อสรุปเกี่ยวกับประเด็นที่สนใจอย่างสมเหตุสมผลและน่าเชื่อถือ ● การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มีกี่องค์ประกอบ อะไรบ้าง แนวคำตอบ สามองค์ประกอบ ได้แก่ ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล ● องค์ประกอบใดที่มีหลักการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้อง แนวคำตอบ การให้เหตุผล ● หลักฐานที่มีความเหมาะสม หมายความว่าอย่างไร แนวคำตอบ เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่สนใจโดยตรง ● นักเรียนคิดว่า หลักฐานที่เพียงพอ หมายความว่าอย่างไร แนวคำตอบ ใช้ข้อมูลมากกว่าหนึ่งข้อมูลในการสนับสนุนคำตอบของประเด็นที่สนใจ

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
	● นักเรียนคิดว่า กิจกรรมที่ได้ลงมือทำ สอดคล้องกับกระบวนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์หรือไม่อย่างไร <u>แนวคำตอบ</u> สอดคล้อง เพราะมีการให้คำตอบแก่ประเด็นที่สนใจ มีการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ /ตอบตามความคิดเห็นของนักเรียน ● ตัวอย่างคำที่ใช้เชื่อมระหว่างแต่ละองค์ประกอบ มีคำว่าอะไรบ้าง และ เชื่อมในองค์ประกอบส่วนใด <u>แนวคำตอบ</u> และ - เชื่อมหลักฐานกับหลักฐาน, แสดงว่า - เชื่อมหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง, บ่งบอกว่า - เชื่อมหลักการทางวิทยาศาสตร์กับหลักฐาน และจึงนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า - เชื่อมหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง ● นักเรียนคิดว่า การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องเรียงลำดับจาก ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผลหรือไม่ หากสลับลำดับในการสร้างจะเป็นอย่างไร <u>แนวคำตอบ</u> ตอบตามความคิดเห็นของนักเรียน เช่น ไม่จำเป็นต้องเริ่มจากการพิจารณาหลักฐานที่น่าเชื่อถือก่อน แล้วจดบันทึกเก็บไว้ จากนั้นจึงพยายามหาเหตุผลมาเชื่อมโยงเพื่อสรุปเป็น ข้อกล่าวอ้าง 23) ครูแจกใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ระดับที่ 1 ให้นักเรียนเป็นรายบุคคล จากนั้นนักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิด CER โดยครูกระตุ้นด้วยคำถามชี้แนะที่อยู่ในใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ คอยเดินตรวจสอบและกระตุ้นด้วยคำถามชี้แนะในระดับที่ 1 (ให้การช่วยเหลือมากที่สุด บอกร่องค์ประกอบ รายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบ สิ่งที่ต้องระบุในแต่ละองค์ประกอบ) 24) ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แยกทีละองค์ประกอบ โดยให้นักเรียนสลับกันพิจารณาและตรวจคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของเพื่อน จากนั้นส่งคืนให้เจ้าของปรับปรุง แก้ไขให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น อ้างอิงตามคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ใน

กิจกรรมย่อย	รายละเอียด
	แผนการจัดการเรียนรู้หน้า 3 - 4 ตัวอย่างประเด็นคำถาม เช่น ● ข้อกล่าวอ้างของสถานการณ์ดังกล่าวคืออะไร ● ข้อมูลที่รวบรวมมานั้น มีข้อมูลใดบ้างที่นำมาใช้สนับสนุนข้อกล่าวอ้างบ้าง ● ข้อมูลที่เลือกมานั้น สนับสนุนข้อกล่าวอ้างอย่างไร/สนับสนุนส่วนใดของข้อกล่าวอ้าง ● หลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เลือกใช้คือหลักการใด ● หลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เลือกมานั้น เชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างแล้วหรือไม่ อย่างไร 25) นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถูแ่งอึ้งอ่าง แผนภาพและใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ ลำดับที่ 1 เรื่อง การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์สำหรับการขยายขนาดของถูแ่ง 26) นักเรียนทำแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การขึ้นฟูของขนมปัง เป็นรายบุคคล (ใช้เวลาประมาณ 15 นาที)
3.3 ทำแบบฝึกหัดคำนวณเพิ่มเติม	27) ครูสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สตามกฎของอาโวกาโดรให้ออกมาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อนำไปใช้คำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ของแก๊ส จากนั้นอธิบายวิธีการคำนวณหาปริมาตรหรือจำนวนโมลของแก๊ส โดยใช้สมการที่สรุปได้ตามตัวอย่าง 9 และ 10 ในหนังสือเรียน หน้า 26 28) ครูมอบหมายให้นักเรียนกลับไปทำแบบฝึกหัดตรวจสอบความเข้าใจในหนังสือเรียน หน้า 27 และแบบฝึกหัด 7.1 ข้อ 7 หน้า 28 เป็นการทำงาน พร้อมกันนัดหมายวันและเวลาในการส่งงาน

7. สื่อการเรียนรู้

- 1) หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3 โดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)

2) ชุดการทดลองปฏิกิริยาระหว่างเบกิงโซดากับน้ำส้มสายชู (ปรับมาจาก กิจกรรม 7.4 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส ในหนังสือเรียน หน้า 24 - 25)

3) หนังสือ PLASTICS STORY พลาสติกแสนดีมีอยู่รอบตัว โดย กลุ่มอุตสาหกรรม พลาสติก สมาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และสถาบันพลาสติก

จาก https://www.thaiplastics.org/document_page.php?id=475

4) รายงานการทบทวนวรรณกรรม จากงานวิจัย เรื่อง การพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจากนมบูด โดย รัฐสุชัย สายรวมญาติ และพัชรภรณ์ อินริราย

จาก https://research.psu.ac.th/files/res_che2553/resche_files/271_chapter2.pdf

5) ใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ถูแกงอังกาบ (รายกลุ่ม)

6) ใบความรู้ เรื่อง การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (รายบุคคล)

7) ใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ ลำดับที่ 1 เรื่อง การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ สำหรับการขยายขนาดของถูแกง (รายบุคคล)

8) แบบฝึกหัด เรื่อง กฎของอาโวกาโดร

9) แบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง การพองของถุงลงนิรภัย (รายบุคคล)

8.การวัดและประเมินผล

สิ่งที่ประเมิน	วิธีวัด	เครื่องมือที่ใช้ประเมิน	เกณฑ์การประเมิน
1. วางแผนและดำเนินการทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลหลักฐานในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมล ของแก๊ส	การประเมิน การปฏิบัติ การทดลอง และการตรวจ ใบกิจกรรม ที่ 1	แบบประเมิน การปฏิบัติ การทดลองและ การบันทึกข้อมูล	นักเรียนทุกกลุ่ม มีคุณภาพ ตั้งแต่ระดับ ยอมรับได้

สิ่งที่ประเมิน	วิธีวัด	เครื่องมือที่ใช้ประเมิน	เกณฑ์การประเมิน
2. แปลความหมายข้อมูลให้สอดคล้องกับหลักฐานเชิงประจักษ์ที่รวบรวมมาได้ ด้วยวิธีการที่หลากหลาย อย่างเที่ยงตรง โดยวิเคราะห์ข้อมูลทั้งด้านที่สนับสนุนและขัดแย้งกับสิ่งที่คาดการณ์ไว้ (วัตถุดิบ)	การสังเกตพฤติกรรมรายกลุ่ม	แบบสังเกตพฤติกรรมด้านจิตวิทยาศาสตร์ในคาบเรียน (เลือกประเมินเฉพาะหัวข้อ วัตถุดิบ)	นักเรียนทั้งหมดมีคะแนนพฤติกรรมอยู่ในระดับปานกลางขึ้นไป
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สตามกฎของอาโวกาโดร โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์และทฤษฎีจลน์ของแก๊ส	การถามคำถามในหัวข้อที่ 3 ของใบกิจกรรมที่ 1	เกณฑ์ประเมินการตอบคำถาม	นักเรียนอย่างน้อย 6 กลุ่ม จากทั้งหมด 8 กลุ่ม สามารถตอบคำถามได้ถูกต้อง
4. คำนวณ ปริมาตรหรือจำนวนโมลของแก๊ส จากความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดร	การตรวจแบบฝึกหัด	เกณฑ์การให้คะแนนการทำแบบฝึกหัด	นักเรียนทุกคนได้คะแนนอย่างน้อย 7 คะแนน จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน
5. เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับปรากฏการณ์การขยายขนาดของถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิท และวางทิ้งไว้จนบวม	การตรวจใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้	แบบประเมินและเกณฑ์การให้คะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบแยกประเด็น	นักเรียนร้อยละ 60 สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ทั้งในภาพรวมและรายองค์ประกอบได้ในระดับดีมาก

9.บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

ผลการจัดการเรียนรู้

.....

.....

.....

.....

ปัญหาและอุปสรรค

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไข

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ครูผู้สอน

(.....)

ความคิดเห็นของหัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

หัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ลูกแก่อึ้งอ่าง

กลุ่มที่ ชื่อสมาชิก ชั้นมัธยมศึกษาปีที่

สถานการณ์

วางลูกบรจุแกงที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิททั้งไว้บนโต๊ะในห้องครัว แล้วไปนั่งดูซีรีส์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อกลับมาดูอีกครั้งพบว่า ลูกแกงมีขนาดขยายใหญ่ขึ้น ดังภาพด้านล่าง และได้กลิ่นเหม็นน่าอ้วนน ๆ ลอยออกมาจากลูกแกง กลิ่นดังกล่าวบ่งบอกว่า แกงที่บรรจุอยู่ภายในลูกเกิดการบูดเน่า



ที่มา : https://twitter.com/chaochao_peep/status/540184756239888385, <https://board.postjung.com/1281695>

<https://twitter.com/Khuntooyen/status/521359718099345408/photo/1>



ลูกบรจุแกงที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้บนบูดมีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างไร

.....

.....

.....

แผนภาพอธิบายการขยายขนาดของลูกแกงที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้บนบูด



2

ประเด็นสำคัญที่ต้องตรวจสอบเพื่อนำไปอธิบายปรากฏการณ์

อาจเขียนเป็นข้อความสั้น ๆ หรือเขียนเป็นคำถามที่อยากรู้

.....

.....

.....

การตรวจสอบความถูกต้องและสมบูรณ์ของแผนภาพ

1. ตั้งสมมติฐาน เขียนข้อความตามโครงสร้างที่กำหนดให้ด้านล่าง

“เมื่อเราเชื่อว่า (ความสัมพันธ์ตามแผนภาพที่สร้าง) นั้นถูกต้อง

เราจึง (สังเกต/ทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว) แล้วเราควรจะสังเกตได้ว่า (ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น)”

.....

.....

.....

2. ออกแบบขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูล ระบุวิธีการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ต้นจนจบให้สอดคล้องกับสมมติฐาน เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาช่วยสนับสนุนว่า แผนภาพที่นักเรียนวาดไว้ในตอนแรกนั้น ถูกต้อง โดยข้อมูลที่รวบรวมมาได้ ควรมีคุณภาพและจำนวนที่มากพอ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

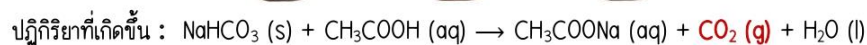


3

3. บันทึกข้อมูลที่รวบรวมได้ จดบันทึก หรือวาดภาพสิ่งที่นักเรียนรวบรวมได้ลงไปในพื้นที่ว่างที่กำหนดให้ หากเป็นรูปภาพ สามารถระบุค่าสำคัญลงไปในภาพ หรือเขียนคำบรรยายใต้ภาพเป็นข้อความสั้น ๆ ได้

3.1 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส

ให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับลูกโป่ง หลังจากให้นักเรียนเทเบกกิงโซดา (NaHCO_3) ผสมกับน้ำส้มสายชู (CH_3COOH) แล้วนำลูกโป่งมาครอบเหนือปากขวด ดังภาพ



จงคำนวณหาโมลของกรดแอซติก เมื่อใช้น้ำส้มสายชูเข้มข้น ร้อยละ 5.0 โดยมีมวลต่อปริมาตร จำนวน 250.0 mL

$$\text{mol CH}_3\text{COOH} = \frac{5.0 \text{ g CH}_3\text{COOH}}{100 \text{ mL sol}^n} \times 250.0 \text{ mL sol}^n \times \frac{1 \text{ mol CH}_3\text{COOH}}{60.0 \text{ g CH}_3\text{COOH}}$$

$$=$$

ตารางบันทึกผลการทดลอง กำหนดให้มวลต่อโมลของธาตุ มีค่าดังนี้ H = 1, C = 12, O = 16 และ Na = 23

การทดลองที่	มวลเบกกิงโซดา (NaHCO_3) (g)	โมล NaHCO_3	โมล CO_2	เส้นรอบวงลูกโป่ง (cm.)
1	2.50			
2	5.00			
3	7.50			

พื้นที่สำหรับคำนวณหาโมลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

4

วาดข้อมูลที่ค้นพบ ปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สมีความสัมพันธ์กันอย่างไร จงอธิบายโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

.....

.....

.....

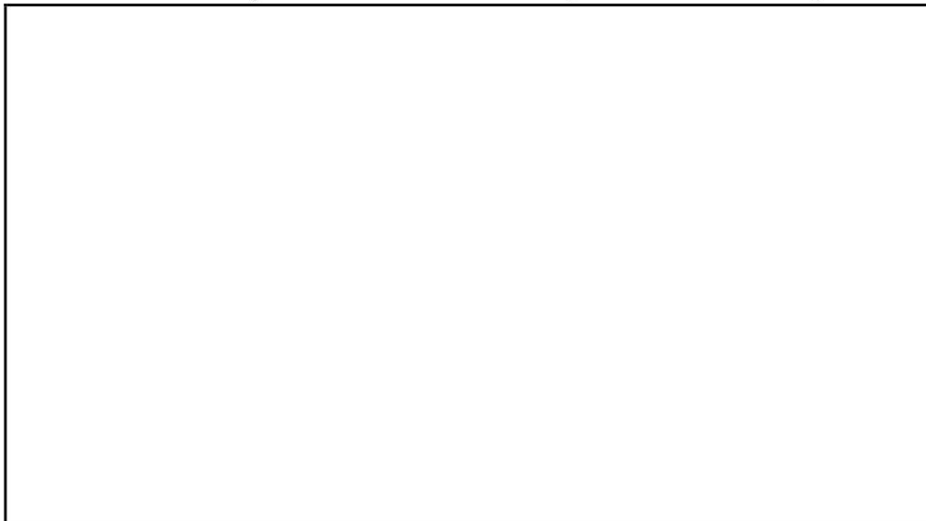
3.2 ข้อมูลอื่น ๆ ที่รวบรวมมาได้

4. สร้างตารางสรุป ให้นักเรียนร่วมกันสรุปข้อมูลที่รวบรวมได้จากกิจกรรม ๆ ลงในตาราง แล้วเชื่อมโยงว่า ข้อมูลแต่ละส่วน สนับสนุนคำตอบของคำถามสำคัญที่นักเรียนตอบไปในตอนต้นอย่างไร

กิจกรรมที่ทำ	ข้อมูลที่ได้	การเชื่อมโยงสู่ปรากฏการณ์

5

5. ประเมินแผนภาพ และแก้ไข พิจารณาแผนภาพที่วาดในตอนแรก แล้วร่วมกันแก้ไขให้แผนภาพสมบูรณ์มากขึ้น เช่น เพิ่มรายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลที่ศึกษาได้จากเอกสาร อาจเป็นคำสำคัญ หรือข้อความสั้น ๆ ที่ไม่ได้ระบุไว้ในตอนแรก



6. สร้างแผนภาพฉบับสมบูรณ์ จากคำแนะนำที่ได้รับจากครูและเพื่อน ให้นักเรียนปรับปรุงแผนภาพของกลุ่มตัวเอง เป็นครั้งสุดท้าย เพื่อนำไปใช้อธิบายการขยายขนาดของวงแหวนที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบวม



แบบประเมินการปฏิบัติการทดลองและการบันทึกข้อมูล
เรื่อง การขยายขนาดของถุขบรรจุแกงที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบูด

คำชี้แจง ครูตรวจใบงานตามเกณฑ์เกณฑ์ประเมินการปฏิบัติการทดลองและการบันทึกข้อมูลใน
 ใบกิจกรรม เรื่อง ถุขแกงอึ้งอ่าง และกรอกคะแนนลงในช่อง

กลุ่มที่	รายการประเมิน ด้านที่					คะแนน รวม	ระดับ คุณภาพ	การตอบ คำถาม
	1	2	3	4	5			
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

ลงชื่อ

ผู้ตรวจ

เกณฑ์ประเมินการปฏิบัติการทดลองและการบันทึกข้อมูลในใบกิจกรรม เรื่อง ถูแ่งอิ่งอ่าง

รายการประเมิน	คำอธิบายระดับคะแนน		
	0	1	2
ด้านที่ 1 การระบุประเด็นสำคัญ และตั้งสมมติฐาน	ไม่สามารถระบุประเด็น ที่นำไปสู่การออกแบบ ขั้นตอนในการรวบรวม ข้อมูล	ระบุประเด็นที่นำไปสู่ การออกแบบขั้นตอน ในการรวบรวมข้อมูล ได้ไม่ครบถ้วน	ระบุประเด็นที่นำไปสู่ การออกแบบขั้นตอน ในการรวบรวมข้อมูล ได้อย่างครบถ้วน
ด้านที่ 2 การออกแบบขั้นตอน ในการรวบรวมข้อมูล	เสนอขั้นตอน ในการรวบรวมข้อมูล ที่ไม่เป็นระบบและไม่ ชัดเจนหรือไม่เสนอขั้นตอน ในการรวบรวมข้อมูล	เสนอขั้นตอน ในการรวบรวมข้อมูล ที่เป็นระบบ แต่ไม่ชัดเจน	เสนอขั้นตอน ในการรวบรวมข้อมูล ที่เป็นระบบและชัดเจน
ด้านที่ 3 การบันทึก/ เก็บรวบรวมข้อมูล	ไม่สามารถบันทึก/เก็บ รวบรวมข้อมูลที่เหมาะสม กับประเด็นสำคัญที่ ต้องการตรวจสอบ	บันทึก/เก็บรวบรวมข้อมูล ได้เหมาะสมกับประเด็น สำคัญที่ต้องการ ตรวจสอบ แต่ไม่ครบถ้วน	บันทึก/เก็บรวบรวม ข้อมูลได้ครบถ้วนและ เหมาะสมกับประเด็น สำคัญที่ต้องการ ตรวจสอบ
ด้านที่ 4 การเชื่อมโยงข้อมูลที่ได้ สู่ปรากฏการณ์ (การสร้างตารางสรุป)	ไม่สามารถเขียนเชื่อมโยง ข้อมูลที่รวบรวมมาได้สู่การ อธิบายปรากฏการณ์	เขียนเชื่อมโยงข้อมูล ที่รวบรวมมาได้สู่การ อธิบายเพียงแง่มุมใด แง่มุมหนึ่ง ของปรากฏการณ์	เขียนเชื่อมโยงข้อมูล ที่รวบรวมมาได้สู่การ อธิบายปรากฏการณ์ ได้อย่างครบถ้วน
ด้านที่ 5 การสร้างและปรับปรุง แผนภาพ	ไม่สามารถสร้างและ ปรับปรุงแผนภาพให้มี ความสมบูรณ์	สร้างและปรับปรุง แผนภาพได้สมบูรณ์ บางส่วน	สร้างและปรับปรุง แผนภาพจนมีความ สมบูรณ์

การแปลความหมาย คะแนนเต็ม 10 คะแนน

0 – 4 คะแนน ระดับคุณภาพ กำลังพัฒนา

5 – 6 คะแนน ระดับคุณภาพ เริ่มต้น

7 – 8 คะแนน ระดับคุณภาพ ยอมรับได้

9 – 10 คะแนน ระดับคุณภาพ เกินความคาดหวัง

เกณฑ์ประเมินการตอบคำถาม

ถ้าผ่านให้เขียนเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง การตอบคำถาม ถ้าไม่ผ่าน ให้เขียนเครื่องหมาย ✕ ลงในช่องการตอบคำถาม

Q: จากข้อมูลที่ค้นพบบ่งบอกว่าปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สมีความสัมพันธ์กันอย่างไร จงอธิบายโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

A: จากขนาดของลูกโป่งที่ครอบเหนือปากขวดซึ่งเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟองแก๊สที่เกิดขึ้นในขวด จึงบ่งบอกได้ว่า ปริมาตรของแก๊ส แปรผันตรงกับจำนวนโมลของแก๊ส เมื่ออุณหภูมิและความดันของแก๊สคงที่ เนื่องจากจำนวนอนุภาคของแก๊สที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้มีความถี่ในการชนกับผนังภาชนะมากขึ้น ส่งผลให้ความดันภายในลูกโป่งมีค่าเพิ่มขึ้น ลูกโป่งซึ่งมีความยืดหยุ่น จึงต้องปรับตัวโดยขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้น เพื่อลดความถี่ในการชน ความดันจะได้ลดลงและมีค่าเท่าเดิมจากการปรับตัวดังกล่าว ปริมาตรในตอนสุดท้ายจึงมีค่ามากกว่าปริมาตรในตอนแรก

คำตอบที่สมบูรณ์ ประกอบด้วย 3 ประเด็น ดังนี้

1.ข้อมูลที่ค้นพบ หรือ หลักฐานเชิงประจักษ์

ขนาดของลูกโป่งที่ครอบเหนือปากขวดซึ่งเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟองแก๊สที่เกิดขึ้นในขวด

2.ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สที่สรุปได้

ปริมาตรของแก๊ส แปรผันตรงกับจำนวนโมลของแก๊ส

3.ทฤษฎีจลน์ของแก๊สที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

จำนวนอนุภาคของแก๊สที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้มีความถี่ในการชนกับผนังภาชนะมากขึ้น ส่งผลให้ความดันภายในลูกโป่งมีค่าเพิ่มขึ้น ลูกโป่งซึ่งมีความยืดหยุ่น จึงต้องปรับตัวโดยขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้น เพื่อลดความถี่ในการชน ความดันจะได้ลดลงและมีค่าเท่าเดิม จากการปรับตัวดังกล่าว ปริมาตรในตอนสุดท้ายจึงมีค่ามากกว่าปริมาตรในตอนแรก

เกณฑ์การผ่าน

นักเรียนจะต้องตอบครบถ้วนทั้งสามประเด็น จึงจะถือว่าสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สตามกฎของอาโวกาโดร โดยใช้หลักฐานเชิงประจักษ์และทฤษฎีจลน์ของแก๊สได้ แต่ไม่ต้องเขียนตอบเหมือนตัวอย่างทุกประการ ขอให้มีส่วนของคำตอบมีความหมายเช่นเดียวกันกับข้อความสำคัญที่ขีดเส้นใต้เอาไว้ก็เพียงพอแล้ว

นักเรียนสามารถตอบในทางกลับกันได้ เช่น จากขนาดของลูกโป่งที่ลดลงตามปริมาณฟองแก๊สที่เกิดขึ้นในขวด

แหล่งข้อมูล เรื่อง การบุตเนาของอาหาร



แหล่งข้อมูล เรื่อง พลาสติก



ชื่อ - สกุล ชั้น ม.5/..... เลขที่

ใบความรู้ เรื่อง การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

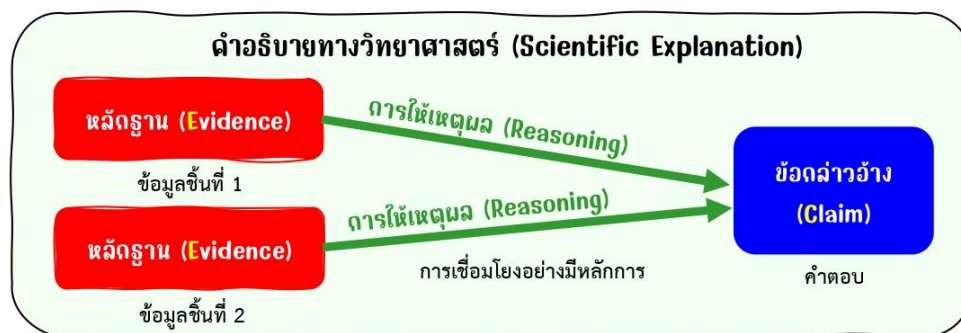
การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (Constructing Scientific Explanation) คือ การให้ข้อสรุปแก่ประเด็นที่สนใจอย่างสมเหตุสมผลและน่าเชื่อถือ โดยมีหลักฐานประกอบอย่างเหมาะสมและเพียงพอ และนำเอาหลักการทางวิทยาศาสตร์ มาเชื่อมโยงหลักฐานเพื่อสนับสนุนข้อสรุปที่สร้างขึ้นอย่างสัมพันธ์กัน ประกอบด้วยสามองค์ประกอบ ดังนี้

1) **ข้อกล่าวอ้าง (Claim)** คือ ข้อความที่คำตอบหรือข้อสรุปของคำถาม ปรากฏการณ์หรือปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่สนใจ เป็นข้อความสั้น ๆ โดยอาจเขียนเป็นประโยคที่ลึกลับคำถามหรือข้อสงสัย

2) **หลักฐาน (Evidence)** คือ ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมและเพียงพอจะสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง อาจมาจากการสำรวจตรวจสอบด้วยตนเอง หรือมาจากแหล่งอื่นที่น่าเชื่อถือ

3) **การให้เหตุผล (Reasoning)** คือ การเชื่อมโยงว่าหลักฐานแต่ละชิ้น มีความสอดคล้องกับข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่สนใจมารองรับ

แต่ละองค์ประกอบจะเชื่อมโยงกันแล้วกลายเป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์ ดังแผนภาพด้านล่าง



ปรับปรุงจาก <https://www.youtube.com/watch?v=5KKsLuRPsVU>

วงจรบ่งชี้ประกอบจากตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนดให้ถูกต้อง

บ้านของนักเรียนปลูกตะไคร้หอมไว้จำนวนหนึ่ง จากการสังเกตพบว่า ตะไคร้หอมสามารถไล่ยุงและกลิ่นหอมได้ นักเรียนต้องการสกัดสีเขียวอ่อนของตะไคร้หอม จึงทดลองใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย ได้ผลดังนี้

สารตัวอย่างที่นำมาสกัด	ตัวทำละลาย	ลักษณะของของเหลวที่สกัดได้
ตะไคร้หอม	น้ำ	ของเหลวสีขาวขุ่น แยกเป็น 2 ชั้น มีกลิ่นตะไคร้หอม
	เอทานอล	ของเหลวสีเขียวอ่อน มีกลิ่นตะไคร้หอมปนกลิ่นเอทานอล

คำถาม ตัวทำละลายใดเหมาะสมในการสกัดสีเขียวอ่อนของตะไคร้หอมอธิบายโดยระบุหลักฐานและให้เหตุผลประกอบ

2

คำตอบ เมื่อสกัดด้วยเอทานอลจะได้ของเหลวสีเขียวย่น มีกลิ่นตะไคร้หอมปนกลิ่นเอทานอล แต่สกัดด้วยน้ำจะได้ของเหลวสีขาวขุ่น และมีกลิ่นตะไคร้หอม แสดงว่า เอทานอลเหมาะสำหรับใช้สกัดสีเขียวย่นของตะไคร้หอม การสกัดสารอาศัยหลักการละลายของสาร คือ ในตัวทำละลายต่างชนิดกัน สารจะละลายได้ดีไม่เท่ากัน จึงสกัดสารได้ต่างกัน เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัดแล้วได้ของเหลวสีเขียวย่นออกมา บ่งบอกว่า สารสีเขียวย่นของตะไคร้หอมละลายในเอทานอลได้ดีกว่า จึงนำไปสู่อุปสรรคที่ว่า ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารสีเขียวย่นของตะไคร้หอมคือเอทานอล

(ปรับปรุงจาก กรรณก เลิศเดชาภักดิ์, 2559, น.82)

ข้อกล่าวอ้าง : เอทานอลเหมาะสำหรับใช้สกัดสีเขียวย่นของตะไคร้หอม

หลักฐาน : เมื่อสกัดด้วยเอทานอลจะได้ของเหลวสีเขียวย่น มีกลิ่นตะไคร้หอมปนกลิ่นเอทานอล แต่สกัดด้วยน้ำจะได้ของเหลวสีขาวขุ่น และมีกลิ่นตะไคร้หอม

การให้เหตุผล : การสกัดสารอาศัยหลักการละลายของสาร คือ ในตัวทำละลายต่างชนิดกัน สารจะละลายได้ดีไม่เท่ากัน จึงสกัดสารได้ต่างกัน เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่ใช้สกัดแล้วได้ของเหลวสีเขียวย่นออกมา บ่งบอกว่า สารสีเขียวย่นของตะไคร้หอมละลายในเอทานอลได้ดีกว่า จึงนำไปสู่อุปสรรคที่ว่า ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารสีเขียวย่นของตะไคร้หอมคือเอทานอล

หลักการทางวิทยาศาสตร์ : การสกัดสารอาศัยหลักการละลายของสาร

: ในตัวทำละลายต่างชนิดกัน สารจะละลายได้ดีไม่เท่ากัน

ตัวอย่างที่ 1 ของแจ้งหมายเลขใดบ้างที่เป็นสารชนิดเดียวกัน ให้ตอบคำถามโดยเขียนเป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

หมายเลข	มวล (กรัม)	การละลายน้ำ	จุดหลอมเหลว (°C)	สี
1	65	ละลายได้	136	เหลือง
2	38	ละลายได้	175	ขาว
3	21	ละลายไม่ได้	89	ขาว
4	65	ละลายได้	175	ขาว

ข้อกล่าวอ้าง (CLAIM; C) ระบุว่าของแจ้งหมายเลขใดเป็นสารชนิดเดียวกัน

หลักฐาน (EVIDENCE; E) ระบุข้อมูลจากตารางทั้งหมด 3 ประเด็นที่เหมือนกัน เพื่อยืนยันข้อกล่าวอ้างที่เขียนไว้

หลักการทางวิทยาศาสตร์ ระบุว่า สารชนิดเดียวกัน จะมีสมบัติเป็นอย่างไร และ ระบุว่าข้อมูลใดเป็นสมบัติของสารบ้าง

3

การให้เหตุผล (REASONING; R) ระบุว่าหลักฐานสอดคล้องกับหลักการอย่างไร

.....

.....

.....

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์

นำข้อความจากด้านบนมาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สืบได้จาก..... สรุปได้ว่า..... เนื่องจาก.....ทำให้..... เพราะ.....จึง.....

.....

.....

.....

.....

.....

ตัวอย่างที่ 2 พิจารณาข้อมูลในตารางด้านล่าง

ของเหลว	ความหนาแน่น (g/cm ³)	สี	มวล (g)	จุดหลอมเหลว (°C)
1	65	ไม่มีสี	38	- 98
2	38	ไม่มีสี	38	26
3	21	เงิน	21	- 39
4	65	ไม่มีสี	16	- 98

เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของคำถามที่ว่า ของเหลวชนิดใดที่เป็นสารชนิดเดียวกัน

ข้อกล่าวอ้าง (CLAIM; C) ระบุว่า เมื่อผสมกรดบิวทาโนอิกและบิวทานอลเข้าด้วยกัน มีปฏิกิริยาเกิดเคมีขึ้นหรือไม่

.....

หลักฐาน (EVIDENCE; E) ระบุข้อมูลจากตารางทั้งหมด 3 ประเด็นที่เหมือนกัน เพื่อยืนยันข้อกล่าวอ้างที่เขียนไว้

.....

4

หลักการทางวิทยาศาสตร์

ระบุว่า การเกิดปฏิกิริยาเคมีจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และ สิ่งที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงนั้น มีลักษณะต่างไปจากเดิมอย่างไร สังเกตได้อย่างไร

การให้เหตุผล (REASONING; R) ระบุว่าหลักฐานแต่ละชิ้นสอดคล้องกับหลักการที่ระบุไว้อย่างไร**คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์**

นำข้อความจากด้านบนมาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สังเกตได้จาก..... สรุปได้ว่า..... เนื่องจาก.....ทำให้..... เพราะ.....จึง.....

(แปลจาก McNeil & Krajcik, 2006, p. 200)



เฉลย

ตัวอย่างที่ 1 ของเชิงหมายเลขใดบ้างที่เป็นสารชนิดเดียวกัน ให้ตอบคำถามโดยเขียนเป็นคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (McNeil & Krajcik, 2006, p. 200)

หมายเลข	มวล (กรัม)	การละลายน้ำ	จุดหลอมเหลว (°C)	สี
1	65	ละลายได้	136	เหลือง
2	38	ละลายได้	175	ขาว
3	21	ละลายไม่ได้	89	ขาว
4	65	ละลายได้	175	ขาว

คำตอบ ของเชิงหมายเลข 2 และ 4 เป็นสารชนิดเดียวกัน (ข้อกล่าวอ้าง) สังเกตจากการละลายน้ำ จุดหลอมเหลวและสี ที่เหมือนกัน (หลักฐาน) เนื่องจากสารแต่ละชนิดจะมีสมบัติที่เฉพาะตัว สารชนิดเดียวกัน จึงควรมีสมบัติเหมือนกัน ซึ่งการละลายน้ำ จุดหลอมเหลว และสี ถือเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของสาร ของเชิงหมายเลข 2 และ 4 มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 175 °C เท่ากัน มีสีขาวเหมือนกัน และละลายน้ำได้เหมือนกัน จึงสรุปได้ว่า ของเชิงหมายเลข 2 และ 4 เป็นสารชนิดเดียวกัน (การให้เหตุผล)

หลักการทางวิทยาศาสตร์ : สารชนิดเดียวกัน มีสมบัติเหมือนกัน

: การละลายน้ำจุดหลอมเหลว และสี เป็นสมบัติอย่างหนึ่งของสาร

ตัวอย่างที่ 2 พิจารณาข้อมูลในตารางด้านล่าง (McNeil & Krajcik, 2006, p. 200)

ของเหลว	ความหนาแน่น (g/cm ³)	สี	มวล (g)	จุดหลอมเหลว (°C)
1	65	ไม่มีสี	38	- 98
2	38	ไม่มีสี	38	26
3	21	เงิน	21	- 39
4	65	ไม่มีสี	16	- 98

เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของคำถามที่ว่า ของเหลวชนิดใดที่เป็นสารชนิดเดียวกัน

คำตอบ ของเหลวหมายเลข 1 และ 4 เป็นสารชนิดเดียวกัน (ข้อกล่าวอ้าง) สังเกตจากความหนาแน่น สี และจุดหลอมเหลว (หลักฐาน) เนื่องจากสารชนิดเดียวกันจะมีสมบัติเหมือนกัน ความหนาแน่น สี และจุดหลอมเหลวเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของสาร ซึ่งของเหลวหมายเลข 1 และ 4 มีสมบัติทั้งสามประการเหมือนกัน จึงสรุปได้ว่า ของเหลวทั้งสองเป็นสารชนิดเดียวกัน (การให้เหตุผล)

หลักการทางวิทยาศาสตร์ : สารชนิดเดียวกันจะมีสมบัติเหมือนกัน

: ความหนาแน่น สี และจุดหลอมเหลวเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของสาร

ชื่อ – สกุล ชั้น ม.5/..... เลขที่

ใบกิจกรรมเสริมต่อการเรียนรู้ ลำดับที่ 1

คำชี้แจง : ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า

“ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบูดมีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างไร”

ข้อกล่าวอ้าง (CLAIM; C) เขียนข้อความที่เป็นคำตอบของคำถาม โดยระบุว่า สาเหตุที่ทำให้ถุงแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อวางทิ้งไว้จนบูด เกิดจากอะไร
หลักการทางวิทยาศาสตร์ เขียนหลักการ/แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ โดยระบุว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนว่ามีผลิตภัณฑ์เป็นสารชนิดใด สมบัติต่าง ๆ ของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรตามกฎของอาวอกาโดร และ ถุงแก๊สทำจากอะไร และมีคุณสมบัติอะไรจึงขยายขนาดใหญ่ขึ้นได้
หลักฐาน (EVIDENCE; E) เขียนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการสำรวจ ทดลอง หรือสืบค้นจากแหล่งที่น่าเชื่อถือที่เหมาะสมและเพียงพอในการทำให้คนคล้อยตามข้อกล่าวอ้าง โดยระบุที่มาของสิ่งที่รวบรวมได้ในขั้นตอนที่ 3 ของใบกิจกรรมที่ 1 เช่น ได้มาจากการอ่านหนังสือ เรื่อง ได้มาจากการทดลองเรื่อง
การให้เหตุผล (REASONING; R) เขียนเชื่อมโยงเพื่อแสดงว่าหลักฐานสัมพันธ์กับข้อกล่าวอ้างอย่างไร โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อบอกว่า เพราะเหตุใดข้อมูลนั้นจึงนับเป็นหลักฐาน โดยระบุว่า หลักการหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เลือกมาแต่ละข้อ ใช้เชื่อมโยงหลักฐานขึ้นได้ให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง และเชื่อมโยงอย่างไร

2

คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

“อุ้งบรรจุงา่งที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบุดมีขนาดใหญ่ขึ้นได้อย่างไร”

เขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถาม โดยประกอบด้วยข้อกล่าวอ้างหรือคำตอบของคำถาม หลักฐาน และการให้เหตุผล โดยนำข้อความจากด้านหน้า มาเรียงร้อยต่อกันให้สมบูรณ์ โดยใช้คำเชื่อม เช่น สังเกตได้จาก..... เนื่องจาก.....ทำให้..... เพราะ.....จึง..... ดังนั้น..... จึงสรุปได้ว่า.....



แบบประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์
เรื่อง การขยายขนาดของอุบรจุแกงที่รดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบูด

คำชี้แจง ครูตรวจใบงานตามเกณฑ์การให้คะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์และกรอกคะแนนลงในช่อง

นักเรียนเลขที่	คะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายด้าน			คะแนนรวม	ระดับคุณภาพ
	ข้อกล่าวอ้าง	หลักฐาน	การให้เหตุผล		
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

2

นักเรียนเลขที่	คะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายด้าน			คะแนนรวม	ระดับคุณภาพ
	ข้อกล่าวอ้าง	หลักฐาน	การให้เหตุผล		
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					

ลงชื่อ

ผู้ตรวจ

เกณฑ์การให้คะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบ	คำอธิบายระดับคะแนน		
	0	1	2
ข้อกล่าวอ้าง	ไม่ระบุข้อกล่าวอ้าง หรือ ระบุข้อกล่าวอ้างผิด	ระบุข้อกล่าวอ้างถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์	ระบุข้อกล่าวอ้างถูกต้องสมบูรณ์
ตัวอย่าง	ถุงบรรจุแก๊งที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบูด มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ เนื่องจากความร้อนของอากาศทำให้ถุงขยายตัว	ถุงบรรจุแก๊งที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิท และวางทิ้งไว้จนบูด มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ เนื่องจากภายในถุงเกิดการบูดเน่าของอาหาร ถุงบรรจุแก๊งที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิท และวางทิ้งไว้จนบูด มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ เนื่องจากถุงบรรจุแก๊งมีความเหนียว	ถุงบรรจุแก๊งที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแกงบูด มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ เนื่องจาก ภายในถุงมีปริมาณแก๊สที่เกิดจากการบูดเน่าของอาหารมากขึ้นและแก๊สไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากถุงแกง ซึ่งทำมาจากพอลิโพรพิลีนที่มีความเหนียวได้
หลักฐาน	ไม่ระบุหลักฐาน หรือ ระบุหลักฐานที่ไม่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง	ระบุหลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วน หรือ ระบุทั้งหลักฐานที่สนับสนุน และไม่สนับสนุนข้อกล่าวอ้างรวมกัน	ระบุหลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง ได้ถูกต้องและครบถ้วน
ตัวอย่าง	ระบุว่าแกงเกิดการบูดเน่าเนื่องจากอากาศร้อน และถุงใส่แกงมีสมบัติการขยายตัวเนื่องจากความร้อน	ระบุว่า จากสมการแสดงปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีสถานะเป็นแก๊ส และขนาดของลูกโป่งเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ระบุว่า อาหารบูดเน่าเนื่องการปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน และถุงแกงเป็นถุงร้อนแบบใส ซึ่งทำมาจากพอลิโพรพิลีน	หลักฐานที่สนับสนุน มีทั้งหมด 3 หลักฐาน ดังนี้ 1) ตัวอย่างสมการเคมีของปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด 2) ขนาดของลูกโป่งซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างเบกกิ้งโซดากับน้ำส้มสายชู 3) คุณสมบัติของถุงแกงที่เป็นถุงร้อนแบบใส ทำมาจากพอลิโพรพิลีน

4

องค์ประกอบ	คำอธิบายระดับคะแนน		
	0	1	2
การให้เหตุผล	ไม่แสดงการให้เหตุผล หรือแสดงการให้เหตุผลที่ไม่เชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง	แสดงการให้เหตุผลไม่สมบูรณ์ เช่น ระบุหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง แต่ไม่เชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง หรือ เชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง แต่ไม่ระบุหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง	แสดงการให้เหตุผลอย่างสมบูรณ์ คือ ระบุหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง และเชื่อมโยงหลักฐานทั้งหมดให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง
ตัวอย่าง	การวางถุงใส่แกงทิ้งไว้ ทำให้ถุงได้รับความร้อนจากอากาศ และมีอุณหภูมิสูงขึ้น การที่ถุงใส่แกงเป็นถุงร้อนแบบใส ซึ่งทำมาจากพอลิโพรพิลีน จึงทนความร้อนได้สูง สามารถขยายตัวได้ โดยไม่ระเบิด เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น	การที่ถุงบรรจุแกงที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบูดมีขนาดขยายใหญ่ขึ้นได้ เกิดจากถุงแกงมีความเหนียว จึงเป็นไปตามกฎของอาโวกาโดรที่บอกว่า เมื่อแก๊สมีปริมาณมากขึ้น ปริมาตรของแก๊สจะมากขึ้นตาม การที่ถุงบรรจุแกงที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนบูดมีขนาดขยายใหญ่ขึ้น เปรียบเสมือนขนาดของลูกโป่งที่สังเกตได้จาก การทดลอง จะมีขนาดขยายใหญ่ขึ้นเมื่อใส่เบกิ้งโซดาเพิ่มขึ้น	ภายในแกงที่มีสารอาหารทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เมื่อเกิดการบูดเน่า สารอาหารเหล่านั้นจึงถูกย่อยสลาย และทำให้เกิดทั้งแก๊สหลายชนิด ดังตัวอย่างสมการแสดงปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารอาหารประเภทต่าง ๆ แก๊สที่เกิดขึ้น ไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากถุงแกงได้ เนื่องจากถุงแกงถูกรัดปากด้วยยางจนแน่นสนิท ส่งผลให้มีแก๊สสะสมอยู่ในถุงแกงมากขึ้น ปริมาตรแก๊สที่สะสมเพิ่มขึ้น จึงทำให้ปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรของถุงแกงเพิ่มขึ้นตาม เช่นเดียวกับขนาดของลูกโป่งที่เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาระหว่างเบกิ้งโซดากับน้ำส้มสายชูเพิ่มขึ้น หลักฐานดังกล่าวเป็นไปตามความสัมพันธ์จากกฎของอาโวกาโดร คือ ณ สภาวะที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมลของแก๊ส และถุงบรรจุแกงเป็นถุงร้อนแบบใส ทำมาจากพอลิโพรพิลีน ซึ่งมีคุณสมบัติเหนียว และทนความร้อนได้สูง

5

องค์ประกอบ	คำอธิบายระดับคะแนน		
	0	1	2
			จึงคล้ายกันกับลูกโป่งที่มีความยืดหยุ่น สามารถขยายขนาดให้ใหญ่ขึ้นได้ เมื่อปริมาณแก๊สที่บรรจุอยู่ภายในเพิ่มขึ้น จากหลักฐานทั้งสามชิ้น จึงนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า ปริมาณแก๊สที่เกิดจากการบูดเน่าของอาหารที่มากขึ้นและไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากถุงแกงซึ่งทำมาจากพอลิโพรพิลีน เป็นสาเหตุให้ถุงบรรจุแกงที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแกงบูด มีขนาดขยายใหญ่ขึ้น

หมายเหตุ

ในการให้เหตุผลนักเรียนไม่จำเป็นต้องเขียนตอบตรงกับตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงไว้ทุกประการ แต่ขอให้ปรากฏข้อความสำคัญที่เส้นใต้อยู่ในคำตอบของนักเรียน และข้อความเหล่านั้นเรียงร้อยเข้าด้วยกันอย่างถูกต้อง ไม่จับคู่หลักฐานกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ผิดไปจากที่แสดง

การแปลความหมาย

ระดับคุณภาพ	ควรปรับปรุง	ดี	ดีมาก
คะแนน	0 - 2	3 - 4	5 - 6

เกณฑ์การผ่าน

การจัดการเรียนรู้ ถือว่าบรรลุวัตถุประสงค์ เมื่อนักเรียนร้อยละ 60 สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในภาพรวมได้ในระดับดีมาก

ตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบอื่น ๆ

(ข้อกล่าวอ้าง) ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแก๊สบูด มีขนาดใหญ่ขึ้น เกิดจากอาหารในถุงบูดเน่าทำให้เกิดแก๊สจำนวนมากขึ้น แต่แก๊สไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากถุงพลาสติกที่ทำจากพอลิโพรพิลีนที่มีความเหนียวได้ *ทราบได้จาก (หลักฐาน 1)* สมการเคมีแสดงการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารที่มีในถุงแก๊สของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนจำกัด *(หลักฐาน 2)* ปริมาตรของลูกโป่งที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนโมลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างเบกกิ้งโซดากับน้ำส้มสายชู และ *(หลักฐาน 3)* ถุงแก๊สร้อนแบบใสทำมาจากพอลิโพรพิลีน (Polypropylene; PP) *(การให้เหตุผล)* เนื่องจาก ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอาหารโดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะไม่มีออกซิเจนจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สหลากหลายชนิดตามสารอินทรีย์ที่เป็นสารตั้งต้น จากหลักฐานการสืบค้นสมการปฏิกิริยาการย่อยสลายของสารอาหารถุงแก๊สมัดแน่นมีสารอาหารทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เมื่อถูกย่อยสลายทำให้เกิดทั้งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน แก๊สแอมโมเนีย และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นมา *ประกอบกับ* กฎของอาโวกาโดร ที่กล่าวว่า ณ สภาวะที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมลของแก๊ส จากหลักฐานการทดลองที่คล้ายกับการเกิดแก๊สจากการบูดเน่าของการทำปฏิกิริยาระหว่างเบกกิ้งโซดากับน้ำส้มสายชูพบว่า เมื่อจำนวนโมลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้นด้วย *รวมถึง* พอลิโพรพิลีนเป็นพลาสติกที่มีคุณสมบัติเหนียวและทนความร้อนได้สูง สอดคล้องกับหลักฐานที่พบว่าถุงแก๊สใสของร้อนแบบใสทำมาจากพอลิโพรพิลีน จากหลักฐานทั้งสามชิ้นจึงนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า ปริมาณ (จำนวนโมล) ของแก๊สที่เกิดจากการบูดเน่าของอาหารที่มากขึ้นไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากถุงที่ทำมาจากพอลิโพรพิลีนที่มีความเหนียวเป็นสาเหตุให้ถุงบรรจุแก๊สที่รัดปากด้วยยางจนแน่นสนิทและวางทิ้งไว้จนแก๊สบูดมีขนาดขยายใหญ่ขึ้น

ชื่อ - สกุล ชั้น ม.5/..... เลขที่

แบบฝึกหัด เรื่อง กฎของอาโวกาโดร

ให้นักเรียนเขียนแสดงวิธีทำ พร้อมแสดงการตัดหน่วย

1. เมื่อบรรจุแก๊สอาร์กอน จำนวน 2.0 โมล ในกระบอกสูบที่มีก้านกระบอกสูบเคลื่อนที่ได้ จะมีปริมาตร 3.0 ลิตร ถ้าเติมแก๊สอาร์กอนเพิ่มไปอีก 1.0 โมล ปริมาตรของแก๊สในกระบอกสูบจะเป็นกี่ลิตร กำหนดให้อุณหภูมิและความดันของแก๊สไม่เปลี่ยนแปลง

2. เรือเหาะลำหนึ่งจะลอยขึ้นสู่อากาศได้เมื่อมีแก๊สฮีเลียมบรรจุอยู่ 5,500 ลิตร ถ้าแก๊สฮีเลียม 110 โมล มีปริมาตร 2,620 ลิตร จะต้องเติมฮีเลียมอีกกี่โมลเพื่อให้เรือเหาะนี้ลอยได้ ถ้าอุณหภูมิและความดันขณะเดิมคงที่



เฉลย และ เกณฑ์การให้คะแนน

แบบฝึกหัดตรวจสอบความเข้าใจในหนังสือเรียน หน้า 27 - คะแนนเต็ม 4 คะแนน



ตรวจสอบความเข้าใจ

เมื่อบรรจุแก๊สอาร์กอนจำนวน 2.0 โมลในกระบอกสูบที่มีก้านกระบอกสูบเคลื่อนที่ได้ จะมีปริมาตร 3.0 ลิตร ถ้าเติมแก๊สอาร์กอนเพิ่มไปอีก 1.0 โมล ปริมาตรของแก๊สในกระบอกสูบ จะเป็นกี่ลิตร กำหนดให้อุณหภูมิและความดันของแก๊สไม่เปลี่ยนแปลง

จาก $\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$ 1 คะแนน - เขียนสูตรถูกต้อง

แทนค่าจะได้ $\frac{3.0 \text{ L}}{2.0 \text{ mol}} = \frac{V_2}{(2.0 + 1.0 \text{ mol})}$ 1 คะแนน - แทนค่าตัวแปรถูกต้อง

$$V_2 = \frac{(3.0 \text{ L})(3.0 \text{ mol})}{2.0 \text{ mol}} = 4.5 \text{ L}$$

1 คะแนน - แสดงการตัดหน่วยถูกต้อง

ดังนั้น ปริมาตรของแก๊สในกระบอกสูบเป็น 4.5 ลิตร 1 คะแนน - คำตอบและหน่วยถูกต้อง

แบบฝึกหัด 7.1 ข้อ 7 หน้า 28 - คะแนนเต็ม 6 คะแนน

7. เรือเหาะลำหนึ่งจะลอยขึ้นสู่อากาศได้เมื่อมีแก๊สฮีเลียมบรรจุอยู่ 5500 ลิตร ถ้าแก๊สฮีเลียม 110 โมล มีปริมาตร 2620 ลิตร จะต้องเติมฮีเลียมอีกกี่โมลเพื่อให้เรือเหาะนี้ลอยได้ ถ้าอุณหภูมิและความดันขณะเดิมคงที่

จาก $\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$ 1 คะแนน - เขียนสูตรถูกต้อง

แทนค่าจะได้ $\frac{2620 \text{ L}}{110 \text{ mol}} = \frac{5500 \text{ L}}{n_2}$ 1 คะแนน - แทนค่าตัวแปรถูกต้อง

$$n_2 = \frac{(5500 \text{ L})(110 \text{ mol})}{2620 \text{ L}}$$

1 คะแนน - แสดงการตัดหน่วยถูกต้อง

$$= 231 \text{ mol}$$

1 คะแนน - คำตอบและหน่วยถูกต้อง

จำนวนโมล He ที่ต้องเติม = 231 mol - 110 mol = 121 mol 1 คะแนน - คำนวณได้ถูกต้อง

ดังนั้น ต้องเติมแก๊สฮีเลียมอีก 121 โมล 1 คะแนน - คำตอบและหน่วยถูกต้อง

แบบสังเกตพฤติกรรมด้านจิตวิทยาาสตร์

คำชี้แจง ให้ครูทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับระดับการแสดงพฤติกรรมของนักเรียนแต่ละกลุ่ม ในคาบเรียนนั้น ๆ

รายการพฤติกรรม	ระดับการ แสดงออก	กลุ่มที่								รวม คะแนน	สรุป
		1	2	3	4	5	6	7	8		
1. วัตุวิสัย (แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 และ 4)											
1.1 พยายามค้นหาหลักฐานเชิงประจักษ์ ด้วยวิธีการที่หลากหลาย	3										คะแนนทั้งหมด ระดับจิต วิทยาาสตร์ ☐ สูง ☐ ปานกลาง ☐ ต่ำ
	2										
	1										
	0										
1.2 แปลความหมายข้อมูลให้สอดคล้อง กับหลักฐานอย่างเที่ยงตรง	3										
	2										
	1										
	0										
1.3 วิเคราะห์ข้อมูลทั้งด้านที่สนับสนุนและ ขัดแย้งกับสิ่งที่คาดการณ์ไว้	3										
	2										
	1										
	0										
2. ความใจกว้าง (แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 และ 5)											
2.1 รับฟังแนวคิดต่าง ๆ ที่ผู้อื่นนำเสนอ หรือแนะนำด้วยความยินดี	3										คะแนนทั้งหมด ระดับจิต วิทยาาสตร์ ☐ สูง ☐ ปานกลาง ☐ ต่ำ
	2										
	1										
	0										
2.2 เปลี่ยนแปลงแนวคิดตามหลักฐาน เชิงประจักษ์และเหตุผลที่ถูกต้องมากกว่า ด้วยความยินดี	3										
	2										
	1										
	0										
2.3 เผยแพร่ความรู้ และความคิดเห็น แก่ผู้อื่นด้วยความเต็มใจ	3										
	2										
	1										
	0										
3. ความอยากรู้อยากเห็น (แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3)											
3.1 ตั้งคำถามที่นำไปสู่การค้นหาคำตอบ หรือการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของ ข้อมูล	3										คะแนนทั้งหมด ระดับจิต วิทยาาสตร์ ☐ สูง ☐ ปานกลาง ☐ ต่ำ
	2										
	1										
	0										
3.2 กระตือรือร้นในการสืบเสาะหาข้อมูล ตามประเด็นสำคัญหรือข้อสงสัยที่บันทึกไว้	3										
	2										
	1										
	0										

ลงชื่อ ผู้ตรวจ

2

ระดับการแสดงพฤติกรรมของนักเรียน แบ่งเป็น 4 ระดับ ดังนี้

- ระดับ 3 หมายถึง นักเรียนแสดงพฤติกรรมอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งคาบเรียน
- ระดับ 2 หมายถึง นักเรียนแสดงพฤติกรรมในคาบเรียนเป็นครั้งคราว
- ระดับ 1 หมายถึง นักเรียนแสดงพฤติกรรมในคาบเรียนน้อยครั้ง
- ระดับ 0 หมายถึง นักเรียนไม่แสดงพฤติกรรมเหล่านั้นเลยในคาบเรียน

การคิดคะแนนพฤติกรรม

- แสดงออกระดับ 3 คิดเป็น 3 คะแนน
- แสดงออกระดับ 2 คิดเป็น 2 คะแนน
- แสดงออกระดับ 1 คิดเป็น 1 คะแนน
- แสดงออกระดับ 0 คิดเป็น 0 คะแนน

การแปลความหมาย นำคะแนนพฤติกรรมที่นักเรียนทุกกลุ่มแสดงออกในแต่ละด้านมารวมกันแล้วเปรียบเทียบกับเกณฑ์ ดังนี้

- แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 และ 4

ระดับจิตวิทยาาสตร์ ด้าน วัตถุประสงค์	ไม่มี	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
คะแนนทั้งหมด	0 - 36	37 - 48	49 - 60	61 - 72

- แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 และ 5

ระดับจิตวิทยาาสตร์ ด้าน ความใจกว้าง	ไม่มี	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
คะแนนทั้งหมด	0 - 36	37 - 48	49 - 60	61 - 72

- แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 และ 6

ระดับจิตวิทยาาสตร์ ด้าน ความอยากรู้อยากเห็น	ไม่มี	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
คะแนนทั้งหมด	0 - 24	25 - 32	33 - 40	41 - 48

2. ตัวอย่างแบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และเกณฑ์การให้คะแนน

แบบทดสอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

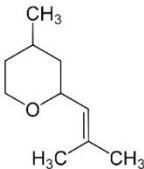
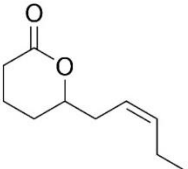
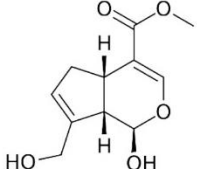
ชื่อ – สกุล ชั้น เลขที่

กลิ่นดอกไม้

ลอยแก้ว ต้องการจะร้อยมาลัยจากดอกกุหลาบ ดอกมะลิ และดอกพุทธรักษา เพื่อนำไปถวายพระ เนื่องในวันเกิดของตนเอง จึงเดินทางไปซื้อดอกไม้ที่ปากคลองตลาด เพราะเป็นตลาดขายดอกไม้ขนาดใหญ่ น่าจะมีดอกไม้ที่ต้องการครบทุกชนิด ในช่วงการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ร้านดอกไม้ส่วนใหญ่ จะหลีกเลี่ยงไม่ให้ลูกค้าสัมผัสกับดอกไม้ และบังคับให้สวมหน้ากากอนามัยทุกครั้ง ลูกค้าที่ต้องการสั่งซื้อจะต้อง มาติดต่อภายในร้านทีละคน แล้วบอกรายละเอียดดอกไม้ที่ต้องการกับพนักงานของร้าน

ดอกไม้ที่ลอยแก้วเลือกใช้ เป็นดอกไม้ที่มีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์ ซึ่งกลิ่นหอมนี้ จะเกิดจากน้ำมันที่อยู่ ภายในดอกไม้ เกิดการระเหยออกมา หรือก็คือเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊ส ส่งผลให้กลิ่นของดอกไม้ พุ้งกระจายไปทั่วได้ กระบวนการดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ แม้ว่าอุณหภูมิของอากาศจะยังไม่ถึงจุดเดือดของ สารนั้น ๆ เมื่อพิจารณาสารเคมี ที่เป็นตัวทำให้เกิดกลิ่นของดอกไม้แต่ละชนิด จะพบว่า ส่วนใหญ่จะเป็น สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับน้ำมันหอมระเหยของดอกไม้สามชนิดที่ลอยแก้วต้องการซื้อ

ดอกไม้	กุหลาบ	มะลิ	พุทธรักษา
			
สารเคมี	Rose oxide	Jasmine lactone	Genipin
สูตรโมเลกุล	$C_{10}H_{18}O$	$C_{10}H_{16}O_2$	$C_{11}H_{14}O_5$
สูตรโครงสร้าง			
มวลต่อโมล (g/mol)	154.25	168.23	226.22
จุดเดือด (°C) ที่ความดันบรรยากาศ เท่ากับ 1 atm	196.70	248.00	287.83



ภาพที่ 1 หน้าร้านขายดอกไม้

ร้านที่ลอยแก้วเข้าไปซื้อ มีลักษณะดังภาพที่ 1 คือ เป็นร้านปิด มีประตูกระจกกัน ด้านในมีการติดเครื่องปรับอากาศ และเปิดไว้ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ทำให้อากาศภายในร้านเย็นกว่าอากาศภายนอก เมื่อเข้าไปถึง ลอยแก้วสั่งดอกกุหลาบ ดอกมะลิ และดอกพุทซ้อน ชนิดละ 500 กรัม แต่เมื่อพนักงานนำดอกไม้มาให้ ลอยแก้วสังเกตเห็นว่า ดอกมะลิมีปริมาณน้อยเกินไป จึงตัดสินใจสั่งดอกมะลิเพิ่มอีก 200 กรัม เนื่องจากกลัวว่าจะไม่เพียงพอ พนักงานจึงวางดอกไม้ทั้งไว้ และกลับไปด้านหลังร้าน อีกครั้ง เพื่อไปนำดอกมะลิมาเพิ่ม ระหว่างที่ยืนรอ ลอยแก้วยังคงได้กลิ่นหอมของดอกไม้แม้ว่าจะสวมหน้ากากอนามัยอย่างมิดชิดแล้วก็ตาม

จากสถานการณ์ข้างต้น ให้นักเรียนเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า **ขณะที่ลอยแก้วยืนรอพนักงานอยู่ภายในร้าน ลอยแก้วจะได้กลิ่นของดอกไม้ชนิดใดเป็นอันดับแรก**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



ตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ลอยแก้วจะได้กลิ่นดอกกุหลาบเป็นอันดับแรก ทราบได้จาก ค่ามวลต่อโมลของ Rose oxide ซึ่งเป็นน้ำมันหอมระเหยในดอกกุหลาบมีค่าน้อยที่สุด การเคลื่อนที่ของแก๊ส จะพิจารณาตามกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮมซึ่งกล่าวว่า ในสภาวะที่อุณหภูมิและความดันคงที่ อัตราการเคลื่อนที่หรืออัตราการแพร่ผ่านของแก๊สจะแปรผกผันกับรากที่สองของมวลต่อโมลของแก๊ส เมื่อมวลต่อโมลของแก๊สมีค่าน้อย อัตราการแพร่ผ่านของแก๊สจะมีค่ามาก Rose oxide ในดอกกุหลาบ ซึ่งมีมวลต่อโมลน้อยที่สุด จึงเป็นน้ำมันหอมระเหยที่มีอัตราการแพร่ผ่านมากที่สุด เมื่อเทียบกับน้ำมันหอมระเหยในดอกไม้ชนิดอื่น ทำให้โมเลกุล Rose oxide เคลื่อนที่ทะลุผ่านหน้ากากอนามัย ได้เร็วที่สุด จากหลักฐานข้างต้น จึงนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า ลอยแก้วจะได้กลิ่นของดอกกุหลาบ เป็นอันดับแรก

เกณฑ์การให้คะแนน

องค์ประกอบ	ระดับคะแนน		
	0	1	2
ข้อกล่าวอ้าง	ไม่ระบุคำตอบ หรือ ระบุคำตอบไม่ถูกต้อง	ระบุคำตอบที่มีใจความไม่สมบูรณ์ หรือระบุคำตอบที่ไม่ถูกต้องบางส่วน	ระบุคำตอบถูกต้อง และมีใจความสำคัญสมบูรณ์
	ได้กลิ่นดอกพุทซ้อน หรือ ดอกมะลิ เป็นอันดับแรก	กลิ่นของดอกกุหลาบมี ความเร็วในการเคลื่อนที่มากที่สุด	เขียนข้อความที่ระบุว่า ได้กลิ่นดอกกุหลาบ เป็นอันดับแรก
หลักฐาน	ไม่ระบุหลักฐาน หรือ ระบุหลักฐาน ไม่ถูกต้องทั้งหมด	ระบุหลักฐานถูกต้อง แต่ไม่ครบถ้วน หรือ ระบุ ทั้งหลักฐาน ที่ไม่ถูกต้องบางส่วน	ระบุหลักฐานถูกต้องและ ครบถ้วน
	ระบุอุณหภูมิในร้าน และ มวลของดอกไม้ที่สั่งซื้อ ระบุมวลต่อโมลของ กลิ่นดอกไม้ชนิดอื่น ๆ	ระบุว่า สังเกตจาก มวลต่อ โมลของ Rose oxide แต่ไม่ให้รายละเอียดว่า มีค่าน้อยกว่ามวลต่อโมล ของแก๊สอื่น ๆ	มวลต่อโมลของ Rose oxide มีค่าน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับ มวลต่อโมลของแก๊สชนิดอื่น

องค์ประกอบ	ระดับคะแนน		
	0	1	2
การให้เหตุผล	ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ เชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างไม่ถูกต้องหรือไม่ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ในการเชื่อมโยง	ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ เชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างได้ถูกต้องบางส่วน	ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ เชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง ได้ถูกต้องครบถ้วน
	ดอกมะลิมีปริมาณมากที่สุด จึงทำให้ดอกมะลิส่งกลิ่นได้มากกว่าดอกไม้ชนิดอื่น ๆ ลอยแก้วจึงได้กลิ่นของดอกมะลิ ก่อนเป็นอันดับแรก	อธิบายว่ากลิ่นของดอกกุหลาบเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด แต่ไม่เขียนข้อความเชื่อมโยงอย่างชัดเจนว่าลอยแก้วจะได้กลิ่นเร็วที่สุด	เขียนข้อความโดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮมที่กล่าวว่า อัตราการแพร่ผ่านของแก๊ส แปรผกผันกับรากที่สองของมวลต่อโมลของแก๊ส อธิบายเชื่อมโยงว่า กลิ่นดอกกุหลาบ ที่มีค่ามวลต่อโมลน้อยที่สุด จะมีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่มากที่สุด ทำให้ได้กลิ่นเร็วที่สุด เป็นอันดับแรก

แนวคำตอบ

ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็นในบริเวณใกล้ผิวน้ำ จะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับฟองอากาศที่สังเกตเห็นที่บริเวณใต้น้ำ ทราบได้จาก (1) ความดันบรรยากาศใต้น้ำที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง และ (2) ฟองอากาศที่ออกมาจากปากของเตามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงจากตัวเตามากขึ้น จากหลักการที่ว่า ฟองอากาศจะมีการปรับความดันให้เท่ากับภายนอก เพื่อให้คงรูปอยู่ได้ในขณะที่ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งความดันภายนอกหรือความดันบรรยากาศใต้น้ำจะมีค่าลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง ฟองอากาศจึงมีการลดความดันลงให้เท่ากับความดันภายนอก ส่งผลให้ขนาดของฟองอากาศมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากกฎของบอยล์ กล่าวไว้ว่า ในสภาวะที่อุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดันของแก๊ส เมื่อความดันของฟองอากาศมีค่าลดลง ปริมาตรของฟองอากาศจึงมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับฟองอากาศที่ลอยออกมาจากปากของเตาในภาพที่ 1 ซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงขึ้น จากความดันที่ลดลงและขนาดฟองอากาศที่ใหญ่ขึ้นตามระดับความลึกที่ลดลง จึงนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า คัลเลนจะสังเกตเห็นฟองอากาศ ณ บริเวณใกล้ผิวน้ำ มีขนาดใหญ่กว่าฟองอากาศบริเวณใต้น้ำ

เกณฑ์การให้คะแนน

องค์ประกอบ	ระดับคะแนน		
	0	1	2
ข้อกล่าวอ้าง	เขียนข้อความที่ระบุว่า ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็นในบริเวณใกล้ผิวน้ำ จะมีขนาดลดลง หรือ มีขนาดเท่าเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับ ฟองอากาศที่สังเกตเห็นที่บริเวณใต้น้ำ	เขียนข้อความที่บ่งบอกว่า ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็นในบริเวณใกล้ผิวน้ำ จะมีขนาดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับ ฟองอากาศที่สังเกตเห็นที่บริเวณใต้น้ำ	เขียนข้อความที่สื่อความหมายได้ว่า ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็นในบริเวณใกล้ผิวน้ำ จะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ ฟองอากาศที่สังเกตเห็นที่บริเวณใต้น้ำ
	ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็นในบริเวณใกล้ผิวน้ำ จะมีขนาดเล็กลง เมื่อเปรียบเทียบกับ ฟองอากาศที่สังเกตเห็นที่บริเวณใต้น้ำ	ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็นในบริเวณใกล้ผิวน้ำ จะมีขนาดเปลี่ยนแปลงไป เมื่อเปรียบเทียบกับ ฟองอากาศที่สังเกตเห็นที่บริเวณใต้น้ำ	ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็นในบริเวณใกล้ผิวน้ำ จะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ ฟองอากาศที่สังเกตเห็นที่บริเวณใต้น้ำ

องค์ประกอบ	ระดับคะแนน		
	0	1	2
หลักฐาน	ระบุว่าสังเกตจากข้อมูลอื่น ๆ นอกเหนือจาก (1) ความดันบรรยากาศได้น้ำที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง และ (2) ฟองอากาศที่ออกมาจากปากของเต่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงจากตัวเต่ามากขึ้น	ระบุว่าสังเกตจาก (1) ความดันบรรยากาศได้น้ำที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง และ (2) ฟองอากาศที่ออกมาจากปากของเต่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงจากตัวเต่ามากขึ้น <u>เพียงอย่างเดียวหนึ่ง</u>	ระบุว่า สังเกตจาก (1) ความดันบรรยากาศได้น้ำที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง และ (2) ฟองอากาศที่ออกมาจากปากของเต่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงจากตัวเต่ามากขึ้น
	ทราบได้จากความดันบรรยากาศได้น้ำที่มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความลึกเพิ่มขึ้น และฟองอากาศไม่แตก ในขณะที่ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ	ทราบได้จากความดันบรรยากาศได้น้ำที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง และอุณหภูมิของน้ำทะเล มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตามระดับความลึก	ทราบได้จาก (1) ความดันบรรยากาศได้น้ำที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง และ (2) ฟองอากาศที่ออกมาจากปากของเต่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงจากตัวเต่ามากขึ้น
การให้เหตุผล	<u>ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์อื่น ๆ เชื่อมโยงหลักฐาน</u> (1) ความดันบรรยากาศได้น้ำที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง และ (2) ฟองอากาศที่ออกมาจากปากของเต่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงจากตัวเต่ามากขึ้น ให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างที่ว่า	<u>ใช้ กฎของบอยล์ หรือ หลักการปรับความดันของ ฟองอากาศ เพียงอย่างเดียวหนึ่ง</u> เชื่อมโยงหลักฐาน (1) ความดันบรรยากาศได้น้ำที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง และ (2) ฟองอากาศที่ออกมาจากปากของเต่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงจากตัวเต่ามากขึ้น <u>เพียงอย่างเดียวหนึ่ง</u>	<u>ใช้ กฎของบอยล์ และ หลักการปรับความดันของฟองอากาศ เชื่อมโยงหลักฐาน</u> (1) ความดันบรรยากาศได้น้ำที่มีค่าลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง และ (2) ฟองอากาศที่ออกมาจากปากของเต่ามีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อลอยสูงจากตัวเต่ามากขึ้น ให้เข้ากับ

องค์ประกอบ	ระดับคะแนน		
	0	1	2
	ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็นในบริเวณใกล้ผิวน้ำ จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟองอากาศที่สังเกตเห็นที่บริเวณใต้น้ำ <u>หรือ</u> ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์อื่น ๆ ในการเชื่อมโยงหลักฐานอื่น ๆ ให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างที่ต่างออกไป <u>หรือ</u> ไม่ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ใด ๆ ในการเชื่อมโยงหลักฐานให้เข้ากับข้อกล่าวอ้าง	ให้เข้ากับข้อกล่าวอ้างที่ว่า ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็นในบริเวณใกล้ผิวน้ำ จะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับฟองอากาศที่สังเกตเห็นที่บริเวณใต้น้ำ	ข้อกล่าวอ้างที่ว่า ฟองอากาศที่คัลเลนสังเกตเห็นในบริเวณใกล้ผิวน้ำ จะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟองอากาศที่สังเกตเห็นที่บริเวณใต้น้ำ
	จากกราฟ เมื่อความลึกลดลง ความดันบรรยากาศใต้น้ำ มีค่าลดลง ความดันของฟองอากาศจึงมีค่าลดลงตามไปด้วย ทำให้ฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงทำให้คัลเลนสังเกตเห็นขนาดของฟองอากาศใหญ่กว่าเดิม เมื่อขึ้นสู่ผิวน้ำ	ตามกฎของบอยล์ ที่กล่าวไว้ว่า ในสภาวะอุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดันของแก๊ส ซึ่งความดันบรรยากาศใต้น้ำมีค่าลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง ฟองอากาศจึงมีความดันลดลง ส่งผลให้ขนาดของฟองอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น และนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า คัลเลนจะสังเกตเห็นฟองอากาศ ณ บริเวณใกล้ผิวน้ำ มีขนาดใหญ่กว่าฟองอากาศบริเวณใต้น้ำ	ฟองอากาศจะมีการปรับความดันให้เท่ากับภายนอก เพื่อให้คงรูปอยู่ได้ในขณะที่ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ ซึ่งความดันภายนอกหรือความดันบรรยากาศใต้น้ำจะมีค่าลดลง เมื่อระดับความลึกลดลง ฟองอากาศจึงมีการลดความดันลงให้เท่ากับความดันภายนอก ส่งผลให้ขนาดของฟองอากาศมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากกฎของบอยล์ กล่าวไว้ว่า ในสภาวะที่อุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดันของแก๊ส เมื่อความดันของฟองอากาศมีค่าลดลง ปริมาตรของฟองอากาศจึงมีค่าเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับฟองอากาศที่ลอยออกมา

องค์ประกอบ	ระดับคะแนน		
	0	1	2
			จากปากของเต่าในภาพที่ 1 ซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อ ลอยสูงขึ้น จากความดัน ที่ ลด ลง และ ขนาด ฟองอากาศที่ใหญ่ขึ้นตาม ระดับความลึกที่ลดลง จึงนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า คัลเลนจะสังเกตเห็น ฟองอากาศ ณ บริเวณใกล้ ผิวน้ำ มีขนาดใหญ่กว่า ฟองอากาศบริเวณใต้น้ำ



4. ตัวอย่างบันทึกการสังเกตชั้นเรียน

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 กฎของชาร์ลและเกย์-ลูสแซก

เกย์-ลูสแซก	→ นร. เกย์-ลูสแซก ดีที่สุดแล้ว นร. ชาร์ลก็ดีมากแล้ว แผนชาร์ลกับเกย์-ลูสแซก 17 ม.ค. 66
ช่วงตาราง	เสนอทอดสอบหัวข้อข้อไม่เสร็จ, ในกิจกรรมกลุ่มก็ยังไม่ทำ
(กิจกรรมที่ 17.1 Charles ใช้การอุปมาอุปไมย)	
1. ใช้การอุปมาอุปไมย line	หมายเหตุ: อุปมาอุปไมยในข้อนี้ไม่ได้
↳ mouth clip	นร. ไม่รู้เรื่องในประโยคที่ถามว่า หมายเหตุ: ใช้ clip แทน
↳ นร. ตอบว่า	นร. ปิดปากไว้ (นร. ไม่ได้พูดถึงการอุปมาอุปไมย)
↳ นร. ตอบว่า	นร. ปิดปากไว้ (นร. ไม่ได้พูดถึงการอุปมาอุปไมย)
↳ นร. ตอบว่า	นร. ปิดปากไว้ (นร. ไม่ได้พูดถึงการอุปมาอุปไมย)
(หมายเหตุ: นร. อ. ตอบว่า O.K. แล้ว)	→ นร. ตอบว่า อ. ตอบว่า O.K. แล้ว
or	or นร. ตอบว่า หมายเหตุ: นร. ตอบว่า O.K. แล้ว
→ นร. ตอบว่า	นร. ปิดปากไว้ (นร. ไม่ได้พูดถึงการอุปมาอุปไมย)
(นร. ปิดปากไว้ ex. mouth clip)	(นร. ปิดปากไว้ ex. mouth clip)
reference	reference นร. ปิดปากไว้
→ นร. focus	นร. focus ที่ตัว n (นร. ปิดปากไว้)
→ list	list นร. ปิดปากไว้
- n	n นร. ปิดปากไว้
- n	n นร. ปิดปากไว้
- n	n นร. ปิดปากไว้
- n	n นร. ปิดปากไว้
- n	n นร. ปิดปากไว้
- n	n นร. ปิดปากไว้
- n	n นร. ปิดปากไว้

⇒ $g_{\text{ตัว}}$: นร. 5 คนที่ $g_{\text{ตัว}}$ มาช่วย

↳ auf andere - anders: nur für gas r: für die gas y: für

↓
ଅନୁପାତ C_4H_{10}

2. nur für C_3H_8 C_4H_{10}

- 15000 GJ of atoms: more: more gas

ה'תשנ"ח חודש אדר א' י"ח

→ ከጥንታዊ ጥንታዊ ሊቀ ጳጳስ ጋር ጥያቄ

→ ગાય નર: 1/2 ના ભાગે

⇒ สมมติฐาน : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่ม, 2 ชนิด

L. u.f. der Folie mit einem Teilsatz aus 9-
(symmetrisch zu einer) symmetrische & antisymmetrische (von einer Ebene)

= 21. 9. 2000 mto: 9. 1. 1997, 9. 2000 mto: 9. 1. 2000

မဟာဂေါတမဘုရား နှစ်စဉ် မုန့်ပွဲ

[illegible]

↳ អា ៣២/២០២៤ នៃ ក្រសួងពាណិជ្ជកម្ម

one witness for each rule: $\{w_i\}$ of 15 ordered formulas w_i for $i=1, \dots, 15$

↳ modular a.s. Bay, Chaudes, m/pv: 70
(m. average 7000000)

45th p24

"Hainmory" (25. Tidenman 15 Phet)

dydaten 1920 : hammer, nord P-T, zig zur: 1000
 ↳ V, r
 ↳ für T sind 1000 m

Auftrag: Nachw. d. Integrationsbedingung

5. ตัวอย่างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ระดับดีมาก จากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

เมื่อพิจารณาคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างได้ในระดับดีมาก จากแบบวัดแต่ละข้อ พบว่า ในแบบวัดข้อที่ 1 เชื้อชูชีพพองได้ ไม่มีนักเรียนที่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ภาพรวมในระดับดีมากได้ ในแบบวัดข้อที่ 2 ฟองอากาศใต้ท้องทะเล และแบบวัดข้อที่ 3 แบ่งพืชชาหลังอบ มีนักเรียนหนึ่งคน ที่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมในระดับดีมากได้ และเป็นนักเรียนคนเดียวกันทั้งสองข้อ คือ นักเรียน S26 นักเรียนสามารถสร้างข้อกล่าวอ้าง และเลือกหลักฐานมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้อย่างสมบูรณ์ แต่ให้เหตุผลเชื่อมโยงระหว่างข้อกล่าวอ้างและหลักฐานได้เพียงบางส่วน จึงทำให้มีคะแนนรวมทั้งสองข้อเท่ากับ 5 คะแนน และมีรูปแบบ 221 เหมือนกันทั้งสองข้อ ข้อกล่าวอ้างที่นักเรียนสร้างได้มีลักษณะแตกต่างกัน ในแบบวัดข้อที่ 2 นักเรียนจะเขียนข้อกล่าวอ้างที่เป็นประโยคสมบูรณ์ มีการเขียนทวนประโยคคำถามซ้ำอีกครั้ง พร้อมกับระบุคำตอบลงไป แต่ในแบบวัดข้อที่ 3 นักเรียนจะเขียนเฉพาะกลุ่มคำที่เป็นคำตอบของคำถาม ไม่มีการเขียนทวนประโยคคำถาม ในด้านหลักฐาน จากแบบวัดทั้งสองข้อ นักเรียนสามารถระบุหลักฐานได้ครบถ้วน ทั้งหลักฐานที่มีลักษณะเป็นกราฟ ตาราง และหลักฐานที่เป็นรูปภาพ ในส่วนของการให้เหตุผล แบบวัดข้อที่ 2 นักเรียนยังไม่ได้ระบุกฎของบอยล์ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของฟองอากาศ แต่นักเรียนมีการระบุหลักการเพิ่มเติม ที่ใส่ไว้เป็นข้อมูลประกอบในข้อคำถามว่า ฟองอากาศจะสามารถคงรูปอยู่ได้เมื่อความดันภายในฟองอากาศมีค่าเท่ากับความดันภายนอก คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียน S26 สร้างได้ ในแบบวัดข้อที่ 2 แสดงดังภาพประกอบ 74 และแบบวัดข้อที่ 3 แสดงได้ดังภาพประกอบ 75

จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า ฟองอากาศที่คลั่งเล่นสังเกตเห็น
ในบริเวณใกล้ผิวน้ำจะมีขนาดเป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดที่สังเกตได้ในตอนแรก ณ บริเวณใต้น้ำ
ฟองอากาศ ที่ คลั่งเล่น เห็น บริเวณ ผิวน้ำ จะ มี ขนาด ใหญ่กว่า ฟองอากาศ ที่ คลั่งเล่น เห็น บริเวณ ใต้น้ำ
เนื่องจาก ฟองอากาศ ที่อยู่ ใกล้ กับ ผิวน้ำ จะ มี แรงดัน ที่ น้อยกว่า ฟองอากาศ ที่อยู่ ใต้น้ำ จึง มี ผล ให้ ฟองอากาศ
ขยายตัว ออกมา : ตามกฎของบอยล์ ที่ บอก ว่า ถ้า ปริมาณ อุณหภูมิ คง ที่ ปริมาณ ก๊าซ จะ มี ปริมาตร เพิ่มขึ้น เมื่อ ความดัน ลดลง
ตามกฎของบอยล์ ว่า ถ้า ปริมาตร คง ที่ ความดัน จะ เพิ่มขึ้น เมื่อ ปริมาตร ลดลง

ภาพประกอบ 74 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากแบบวัดข้อที่ 2 ของนักเรียน S26

“ ฟองอากาศที่คัลเลนเห็นบริเวณผิวน้ำ จะมีขนาดใหญ่กว่าฟองอากาศที่คัลเลนเห็นบริเวณใต้น้ำ ซึ่งหลักฐานมาจากภาพของเต่าที่จู่ดีเปิดให้กับคัลเลน และกราฟความสัมพันธ์ทำให้พบว่า ยิ่งลึก ความดันยิ่งสูง ซึ่งจากที่จู่ดีพูดไว้ว่า ความดันภายนอก = ความดันฟองอากาศ ซึ่งส่งผลให้ ยิ่งความดันมากจะบีบให้ฟองอากาศเล็กลง แต่เมื่อเราขึ้นไปบนผิวน้ำ ความดันจะน้อยลง ส่งผลให้ฟองสบู่มีขนาดใหญ่ขึ้นนั่นเอง ”

จากข้อมูลข้างต้น ให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ว่า แบ้งพิชชาที่อบ ณ อุณหภูมิเท่าใด จะมีความนุ่มมากที่สุด

ณ อุณหภูมิ 270 °C เพราะ มีปริมาณ CO_2 ในแป้งขยาดัวมากที่สุด จากที่กล่าวมานั้น แก๊ส CO_2 จะขยาดัวเมื่อได้รับความร้อน ก็จะขยาดัวและเพิ่มความนุ่มให้กับแป้งพิชชาได้ และจากกราฟก็ชี้ให้เห็นว่า ณ อุณหภูมิ 270 °C ทำให้ CO_2 ในแป้งขยาดัวมากที่สุด และทำให้เกิดช่องว่างในแป้งพิชชาหลังอบมาก ก็จะทำให้แป้งพิชชามีความนุ่ม

ภาพประกอบ 75 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากแบบวัดข้อที่ 3 แบ้งพิชชาหลังอบ
ของนักเรียน S26

“ ณ อุณหภูมิ 270 °C เพราะ มีปริมาตร CO_2 ในแป้งขยาดัวมากที่สุด จากที่กล่าวมานั้น แก๊ส CO_2 จะขยาดัวเมื่อได้รับความร้อน ก็จะขยาดัวและเพิ่มความนุ่มให้กับแป้งพิชชาได้ และจากกราฟทำให้เห็นว่า ณ อุณหภูมิ 270 °C ทำให้ CO_2 ในแป้งขยาดัวมากที่สุด และทำให้เกิดช่องว่างในแป้งพิชชาหลังอบมาก ก็จะทำให้แป้งพิชชามีความนุ่ม ”

แบบวัดข้อที่ 4 มีนักเรียนจำนวนสองคน คือ S14 และ S29 ที่สามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวม อยู่ในระดับดีมากได้ โดยนักเรียนทั้งสองคนจะมีคะแนนในภาพรวมเป็น 5 คะแนนเท่ากัน โดยจะมีคะแนนรายองค์ประกอบแตกต่างกันในด้านหลักฐานและการให้เหตุผล โดย นักเรียน S14 จะมีคะแนนรายองค์ประกอบเป็น ข้อกล่าวอ้าง 2 คะแนน หลักฐาน 2 คะแนน และการให้เหตุผล 1 คะแนน เนื่องจากการให้เหตุผล นักเรียนระบุเพียงชื่อของหลักการทางวิทยาศาสตร์ คือ กฎการแพร่ของเกรแฮม เท่านั้น ไม่ได้ระบุว่า กฎดังกล่าว อธิบายไว้ว่าอย่างไร ทำไมจึงสามารถใช้กฎดังกล่าวมาพิจารณาหลักฐานที่เป็นมวลต่อโมลประกอบข้อกล่าวอ้างได้ การให้เหตุผลที่นักเรียนสร้างขึ้นมาจึงถือว่ายังไม่สมบูรณ์ ดังภาพประกอบ 76

แก๊สชีวเทนคือแก๊สสุดท้ายที่ไปถึงหอควบแน่นหมายเลข 1 เป็นลำดับสุดท้าย โดยจากข้อมูล
กระบวนการกำจัดสิ่งเจือปนจะนำแก๊สทั้งหมดไปปรับอุณหภูมิที่ 1000 K และความดัน 16 บาร์
และจากตารางเปรียบเทียบสูตรโมเลกุล มวลต่อโมล และจุดเดือดของแก๊สปิโตรเลียม จะเห็นได้ว่า
แก๊สชีวเทนมีมวลต่อโมลมากที่สุด และจากกฎการแพร่เกรแฮม
จึงสรุปได้ว่า แก๊สชีวเทนนั้น จะเป็นแก๊สที่ไปถึงหอควบแน่นเป็นลำดับสุดท้าย

ภาพประกอบ 76 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากแบบวัดข้อที่ 4 ของนักเรียน S14

“แก๊สชีวเทนคือแก๊สสุดท้ายที่ไปถึงหอควบแน่นหมายเลข 1 เป็นลำดับสุดท้าย โดยจากข้อมูล
กระบวนการกำจัดสิ่งเจือปนจะนำแก๊สทั้งหมดไปปรับอุณหภูมิที่ 1000 K และความดัน 16 บาร์
และจากตารางเปรียบเทียบสูตรโมเลกุล มวลต่อโมล และจุดเดือดของแก๊สปิโตรเลียม จะเห็นได้ว่า
แก๊สชีวเทนมีมวลต่อโมลมากที่สุด และจากกฎการแพร่เกรแฮม
จึงสรุปได้ว่า แก๊สชีวเทนนั้น จะเป็นแก๊สที่ไปถึงหอควบแน่นเป็นลำดับสุดท้าย”

นักเรียน S29 มีคะแนนรายองค์ประกอบเป็นข้อกล่าวอ้าง 2 คะแนน หลักฐาน 1 คะแนน
และการให้เหตุผล 2 คะแนน เนื่องจากนักเรียนมีการระบุข้อกล่าวอ้างที่ถูกต้อง เขียนเป็นประโยค
สมบูรณ์ ระบุหลักฐานภาพรวมว่า มาจากตารางเปรียบเทียบสูตรโมเลกุล มวลต่อโมล และ
จุดเดือดของแก๊สปิโตรเลียม ไม่ได้เจาะจงเฉพาะค่ามวลต่อโมลของแก๊ส แต่ระบุความสัมพันธ์
ระหว่างอัตราการแพร่ผ่านของแก๊สกับมวลต่อโมล ของแก๊สตามกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม
อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่า มวลต่อโมลของแก๊สชีวเทนเป็นหลักฐานที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้างที่ว่า
แก๊สชีวเทนจะเคลื่อนที่ไปถึงหอควบแน่นเป็นลำดับสุดท้าย ได้ ดังภาพประกอบ 77

จากข้อกล่าวอ้างว่า แก๊สชีวเทนจะเป็นแก๊สลำดับสุดท้าย สังเกตได้จาก กระบวนการกำจัด-
สิ่งเจือปนในหน่วยเฉพาะแก๊สปิโตรเลียม แล้วนำแก๊สทั้งหมดไปปรับให้อยู่ในสภาวะ
ที่อุณหภูมิ 1700 เคลวิน ความดัน 16 บาร์ แล้วจึงค่อยปล่อยแก๊สทั้งหมดไปหอควบแน่น
อีกทั้งข้อมูลจากตารางสูตรโมเลกุล มวลต่อโมล และจุดเดือดปิโตรเลียม และใช้หลักการของ
เกรแฮมซึ่งแก๊สที่มีมวลต่อโมลน้อยแก๊สยิ่งแพร่เร็ว ยิ่งแก๊สที่มีมวลต่อโมลมากแก๊ส
ยิ่งแพร่ได้ช้า จึงสรุปว่า แก๊สชีวเทนเป็นแก๊สที่เคลื่อนที่ไปหอควบแน่นช้าที่สุดได้เป็นลำดับ
สุดท้ายเนื่องจากมีมวลต่อโมลมากที่สุด

ภาพประกอบ 77 คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากแบบวัดข้อที่ 4 ของนักเรียน S29

ภาคผนวก ง
ข้อมูลอื่น ๆ

1. ตารางแสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ตามที่ออกแบบและตามที่น่าไปใช้งานจริง
2. ภาพกิจกรรมในชั้นเรียน
3. ระดับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ
4. ระดับการสร้างข้อกล่าวอ้างของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ
5. ระดับการเลือกหลักฐานของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ
6. ระดับการให้เหตุผลของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ

1. การเปรียบเทียบระยะเวลาการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ ตามที่ออกแบบและตามที่น่าไปใช้งานจริง

การนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้เก็บรวบรวมข้อมูล ไม่สามารถดำเนินการอย่างต่อเนื่อง
ตามที่ออกแบบไว้ได้ เนื่องจากบางสัปดาห์โรงเรียนมีกิจกรรมพิเศษ แสดงได้ดังตาราง 47

ตาราง 42 การเปรียบเทียบระยะเวลาการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้ตามที่ออกแบบและตามที่น่าไปใช้งานจริง

วัน/เดือน/ปี	แผนการเรียนรู้ ที่คาดหวัง	จำนวน คาบเรียน	แผนการเรียนรู้ ที่ใช้จริง	จำนวน คาบเรียน
13 - 14 ธันวาคม 2566	แผนที่ 1 กฎของอาโวกาโดร	3	แผนที่ 1 กฎของอาโวกาโดร (ชั้นที่ 1 และ 2)	3
20 - 21 ธันวาคม 2566	แผนที่ 2 กฎของบอยล์	3	แผนที่ 1 กฎของอาโวกาโดร (ต่อ ชั้นที่ 3) แผนที่ 2 กฎของบอยล์ (ชั้นที่ 1 และ 2)	3
27- 28 ธันวาคม 2566	แผนที่ 3 กฎของชาร์ล และเกย์-ลูสแซก	3	สอบกลางภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566	-
3 - 4 มกราคม 2567	แผนที่ 4 กฎความดันย่อย ของดอลตัน	2	กิจกรรมตักบาตร และงานเลี้ยงปีใหม่	-
10 - 11 มกราคม 2567	แผนที่ 5 กฎการแพร่ผ่าน ของเกรแฮม	2	อบรมให้ความรู้ เพื่อความปลอดภัย จากสถานการณ์รุนแรง “หนี ซ่อน สู้”	-

ตาราง 52 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	แผนการเรียนรู้ ที่คาดหวัง	จำนวน คาบเรียน	แผนการเรียนรู้ ที่ใช้จริง	จำนวน คาบเรียน
17 – 18 มกราคม 2567	ทำแบบวัดการสร้าง คำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	1	แผนที่ 2 กฎของบอยล์ กฎของบอยล์ (ซ้ำ)	3
24 – 25 มกราคม 2567	-	-	แผนที่ 3 กฎของชาร์ล และเกย์-ลูสแซก	3
31 มกราคม - 1 กุมภาพันธ์ 2567	-	-	การแข่งขันงาน ศิลปหัตถกรรมนักเรียน ครั้งที่ 71	-
7 – 8 กุมภาพันธ์ 2567	-	-	แผนที่ 4 กฎความดันย่อย ของดอลตัน	3
14 – 15 กุมภาพันธ์ 2567	-	-	แผนที่ 5 กฎการแพร่ผ่าน ของเกรแฮม	2
21 – 22 กุมภาพันธ์ 2567	-	-	ทำแบบวัดการสร้าง คำอธิบายทาง วิทยาศาสตร์	1
รวม		14		18

2. ภาพกิจกรรมในชั้นเรียน



ภาพประกอบ 78 การทดลองปฏิกิริยาระหว่างเบกกิ้งโซดาและน้ำส้มสายชู
ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1



ภาพประกอบ 79 การทำความเข้าใจสถานการณ์ “การหายใจเข้า” ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2



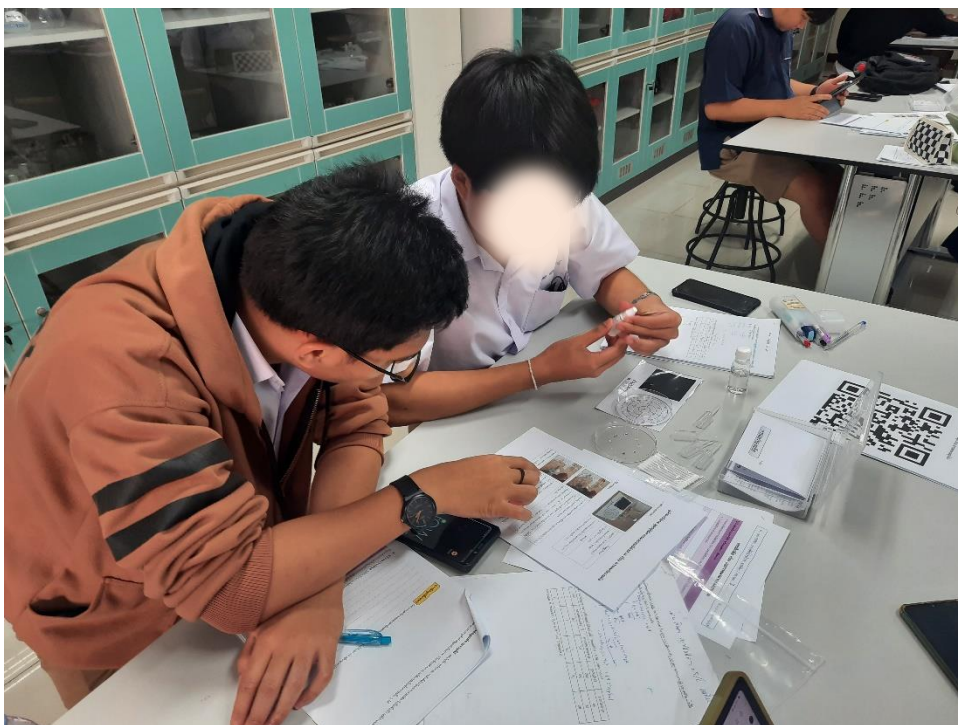
ภาพประกอบ 80 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของแก๊ส โดยใช้สื่อการทดลองเสมือน Phet interactive simulations ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2



ภาพประกอบ 81 การสร้างแบบจำลองเบื้องต้น และการสืบเสาะหาข้อมูลจากข่าว
ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3



ภาพประกอบ 82 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันรวมและความดันย่อยของแก๊ส
และการสืบเสาะหาข้อมูลเกี่ยวกับภาวะแพ้ที่สูง ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4



ภาพประกอบ 83 การทดลองการแพร่ของแก๊ส โดยใช้ชุดทดลองเคมีย่อบ้าน
และ การจัดบันทึกข้อมูลในใบกิจกรรมกลุ่ม แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5



ภาพประกอบ 84 การทำแบบทดสอบ และ แบบวัด การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

3. ระดับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษา แยกตามแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ

แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยใช้สำหรับประเมินการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในตอนท้ายนั้น ประกอบด้วยข้อคำถามทั้งหมด 4 ข้อ แต่ละข้อนักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ในระดับที่แตกต่างกัน ดังตาราง 55

ตาราง 43 คะแนนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ

นักเรียน	ข้อ 1		ข้อ 2		ข้อ 3		ข้อ 4	
	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ
S01	2	ควรปรับปรุง	4	ดี	2	ควรปรับปรุง	2	ควรปรับปรุง
S02	2	ควรปรับปรุง	4	ดี	2	ควรปรับปรุง	2	ควรปรับปรุง
S03	4	ดี	3	ดี	4	ดี	3	ดี
S04	2	ควรปรับปรุง	4	ดี	2	ควรปรับปรุง	2	ควรปรับปรุง
S05	2	ควรปรับปรุง	3	ดี	3	ดี	4	ดี
S06	2	ควรปรับปรุง	4	ดี	2	ควรปรับปรุง	2	ควรปรับปรุง
S07	2	ควรปรับปรุง	3	ดี	2	ควรปรับปรุง	1	ควรปรับปรุง
S08	2	ควรปรับปรุง	2	ควรปรับปรุง	3	ดี	2	ควรปรับปรุง
S09	3	ดี	3	ดี	1	ควรปรับปรุง	2	ควรปรับปรุง
S10	3	ดี	3	ดี	4	ดี	3	ดี
S11	4	ดี	3	ดี	3	ดี	0	ควรปรับปรุง
S12	4	ดี	3	ดี	3	ดี	0	ควรปรับปรุง
S13	4	ดี	4	ดี	4	ดี	0	ควรปรับปรุง
S14	4	ดี	4	ดี	4	ดี	5	ดีมาก
S15	3	ดี	4	ดี	3	ดี	0	ควรปรับปรุง
S16	3	ดี	4	ดี	4	ดี	0	ควรปรับปรุง
S17	0	ควรปรับปรุง	2	ดี	0	ควรปรับปรุง	2	ควรปรับปรุง
S18	2	ควรปรับปรุง	4	ดี	2	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S19	3	ดี	4	ดี	3	ดี	0	ควรปรับปรุง
S20	2	ควรปรับปรุง	3	ดี	2	ควรปรับปรุง	4	ดี

ตาราง 55 (ต่อ)

นักเรียน	ข้อ 1		ข้อ 2		ข้อ 3		ข้อ 4	
	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ
S21	2	ควรปรับปรุง	4	ดี	3	ดี	4	ดี
S22	2	ควรปรับปรุง	4	ดี	3	ดี	4	ดี
S23	2	ควรปรับปรุง	4	ดี	3	ดี	3	ดี
S24	2	ควรปรับปรุง	3	ดี	3	ดี	1	ควรปรับปรุง
S25	2	ควรปรับปรุง	4	ดี	3	ดี	3	ดี
S26	2	ควรปรับปรุง	5	ดีมาก	5	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง
S27	2	ควรปรับปรุง	4	ดี	3	ดี	1	ควรปรับปรุง
S28	2	ควรปรับปรุง	3	ดี	2	ควรปรับปรุง	1	ควรปรับปรุง
S29	3	ดี	3	ดี	3	ดี	5	ดีมาก
S30	0	ควรปรับปรุง	3	ดี	3	ดี	3	ดี

4. ระดับการสร้างข้อกล่าวอ้างของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดการสร้าง คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ

จากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 4 ข้อ พบว่า นักเรียนมีระดับคุณภาพของการสร้างข้อกล่าวอ้างในแต่ละข้อ เป็นดังตาราง 56

ตาราง 44 คะแนนการสร้างข้อกล่าวอ้างของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดรายข้อ

นักเรียน	ข้อ 1		ข้อ 2		ข้อ 3		ข้อ 4	
	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ
S01	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S02	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S03	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S04	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S05	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก
S06	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S07	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี

ตาราง 56 (ต่อ)

นักเรียน	ข้อ 1		ข้อ 2		ข้อ 3		ข้อ 4	
	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ
S08	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S09	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี	2	ดีมาก
S10	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S11	1	ดี	2	ดีมาก	2	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง
S12	2	ดีมาก	1	ดี	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S13	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง
S14	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก
S15	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง
S16	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง
S17	0	ควรปรับปรุง	2	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง	1	ดี
S18	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง
S19	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง
S20	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก
S21	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S22	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S23	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S24	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S25	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S26	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง
S27	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี
S28	2	ดีมาก	2	ดีมาก	2	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง
S29	2	ดีมาก	1	ดี	2	ดีมาก	2	ดีมาก
S30	0	ควรปรับปรุง	2	ดีมาก	2	ดีมาก	1	ดี

5. ระดับการเลือกหลักฐานของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดการสร้าง คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ

จากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 4 ข้อ พบว่า นักเรียนมีระดับคุณภาพของการเลือกหลักฐานในแต่ละข้อ เป็นดังตาราง 57

ตาราง 45 คะแนนการเลือกหลักฐานของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดรายข้อ

นักเรียน	ข้อ 1		ข้อ 2		ข้อ 3		ข้อ 4	
	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ
S01	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี
S02	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี
S03	1	ดี	1	ดี	1	ดี	1	ดี
S04	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี
S05	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	2	ดีมาก
S06	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี
S07	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S08	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	1	ดี
S09	1	ดี	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S10	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	1	ดี
S11	2	ดีมาก	1	ดี	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S12	1	ดี	1	ดี	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S13	1	ดี	2	ดีมาก	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S14	1	ดี	1	ดี	1	ดี	2	ควรปรับปรุง
S15	1	ดี	2	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S16	1	ดี	2	ดีมาก	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S17	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	1	ดี
S18	0	ควรปรับปรุง	2	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S19	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S20	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S21	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี
S22	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี

ตาราง 57 (ต่อ)

นักเรียน	ข้อ 1		ข้อ 2		ข้อ 3		ข้อ 4	
	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ
S23	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี
S24	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S25	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี
S26	0	ควรปรับปรุง	2	ดีมาก	2	ดีมาก	0	ควรปรับปรุง
S27	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S28	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี
S29	1	ดี	1	ดี	1	ดี	1	ดี
S30	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	1	ดี

6. ระดับการให้เหตุผลของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดการสร้าง คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์รายข้อ

จากแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 4 ข้อ พบว่า นักเรียนมีระดับคุณภาพของการให้เหตุผลในแต่ละข้อ เป็นดังตาราง 58

ตาราง 46 คะแนนการให้เหตุผลของนักเรียนกลุ่มที่ศึกษาแยกตามแบบวัดรายข้อ

นักเรียน	ข้อ 1		ข้อ 2		ข้อ 3		ข้อ 4	
	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ
S01	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S02	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S03	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	1	ดี
S04	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S05	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S06	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S07	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S08	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง

ตาราง 58 (ต่อ)

นักเรียน	ข้อ 1		ข้อ 2		ข้อ 3		ข้อ 4	
	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ	คะแนน	คุณภาพ
S09	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S10	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	1	ดี	1	ดี
S11	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S12	1	ดี	1	ดี	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S13	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S14	1	ดี	1	ดี	1	ดี	1	ดี
S15	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S16	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S17	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S18	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S19	1	ดี	1	ดี	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S20	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	2	ดีมาก
S21	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	1	ดี	2	ดีมาก
S22	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	1	ดี	2	ดีมาก
S23	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	1	ดี	1	ดี
S24	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S25	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	1	ดี	1	ดี
S26	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S27	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	1	ดี	0	ควรปรับปรุง
S28	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง	0	ควรปรับปรุง
S29	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	2	ดีมาก
S30	0	ควรปรับปรุง	1	ดี	0	ควรปรับปรุง	1	ดี

ประวัติผู้เขียน

