



Research Article

IMPROVING 11 GRADE STUDENTS' SCIENTIFIC EXPLANATION IN RELATIONSHIPS AMONG VOLUME, PRESSURE, TEMPERATURE, AND AMOUNT OF GAS THROUGH THINKING FRAME APPROACH

การพัฒนาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน
อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด

Received: June 11, 2023

Revised: September 2, 2023

Accepted: September 11, 2023

Jakkrapan Boonpimon¹ and Romklao Jantrasee^{2*}

จักรพันธ์ บุญพิมล¹ และร่มเกล้า จันทร์ราช^{2*}

^{1,2}Faculty of Education, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

^{1,2}คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*Corresponding Author, E-mail: romklao@kku.ac.th

Abstract

A scientific explanation of phenomena should show the causes and mechanisms that occur, along with the identification of the causal relationships and interactions under which the phenomenon happens through description, interpretation, and causal mechanism. The thinking frame approach is one of the instructional strategies designed to support the written scientific explanation. The purpose of this research was to investigate and compare students' scientific explanations of the relationship between volume, pressure, temperature, and amount of gas learned through the thinking frame approach. Participants were 28 grade 11 students. The scientific explanation test was administered to them before and after implementation of the thinking frame approach and a semi-structured interview after learning. A statistical method, paired samples t-test, was also employed to process students' scientific explanations in the pre- and post-tests. The results revealed that the vast majority of students, 40.18%, wrote their scientific explanations at the non-explanation level in the pre-test. Students often express alternative conceptions to explain the relationship among volume, pressure, and temperature of gas. However, after learning with the thinking frame approach, it was found that most students, 33.03%, improved their written scientific explanation at the associative explanation level and the complex explanation level. Students applied scientific theory to illustrate phenomena and imagine gas changes that cannot be seen with the naked eye, then used them to identify

the occurring causes and mechanisms. In addition, the statistical analysis indicated that there was an improvement of students' scientific explanation in the pre- and the post-test significantly at the 0.05 level. Those results suggest that the thinking frame approach can help students explain the causal and mechanism of the phenomenon involving gas properties to be more rationale.

Keywords: Scientific Explanation, Thinking Frame Approach, Gas Properties

บทคัดย่อ

การอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ควรแสดงถึงสาเหตุและกลไกที่เกิดขึ้นร่วมกับการระบุความสัมพันธ์เชิงเหตุผล และปฏิสัมพันธ์ภายใต้ปรากฏการณ์นั้นๆ ด้วยการพรรณนา การตีความ และการสร้างกลไกเชิงสาเหตุ การจัดการเรียนรู้แบบรอบความคิดเป็นหนึ่งในกลวิธีการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบมาเพื่อสนับสนุนการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบรอบความคิดกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 28 คน โดยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบวัดการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน และแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างหลังเรียน วิเคราะห์ทางสถิติ paired samples t-test นำมาใช้ดำเนินการวิเคราะห์การอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนและหลังเรียน ผลการวิจัย พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 40.18 อธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับไม่มีการอธิบาย โดยนักเรียนมักแสดงแนวคิดทางเลือกในการอธิบายความสัมพันธ์ของแก๊ส แต่หลังเรียนพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 33.03 พัฒนาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับการอธิบายที่เกี่ยวข้องและการอธิบายซับซ้อน โดยนักเรียนนำทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการอธิบายและจินตนาการการเปลี่ยนแปลงของแก๊สที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าแล้วใช้ระบุถึงสาเหตุและกลไกที่เกิดขึ้น อีกทั้งผลวิเคราะห์ทางสถิติยังพบการพัฒนากการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนและหลังเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้แบบรอบความคิดสามารถช่วยให้นักเรียนอธิบายปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของแก๊สได้เป็นเหตุเป็นผลมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การอธิบายทางวิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนรู้แบบรอบความคิด สมบัติของแก๊ส

บทนำ (Introduction)

การอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (scientific explanation) หรือการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ (Explain Phenomena Scientifically) เป็นหนึ่งในสมรรถนะที่บ่งชี้ถึงความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ ขององค์กรเพื่อความร่วมมือและพัฒนาทางเศรษฐกิจ (Organization for Economic Cooperation and Development: OECD) ซึ่งใช้ในการประเมินความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ ตามโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (Program for International Student Assessment: PISA) (OECD, 2019) อาจกล่าวได้ว่า การอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นความสามารถพื้นฐานของนักเรียน (NRC, 2000) จึงมีความสำคัญต่อการเรียนรู้ในด้านการสร้างความหมายของปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ (Meela & Artdej, 2017) อีกทั้งการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ช่วยให้บุคคลสามารถเข้าใจในสาเหตุ กระบวนการหรือเงื่อนไขต่างๆ ของปรากฏการณ์ (Srikulwong & Ladachat, 2021) นั้นแสดงว่า ในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนควรระบุสาเหตุและกลไกว่าเหตุใดปรากฏการณ์หนึ่งๆจึงเกิดขึ้น (Tang, 2016)

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาประสบปัญหาในการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยไม่ได้กล่าวถึงสาเหตุของปรากฏการณ์อย่างละเอียดถี่ถ้วน แต่นักเรียนมักจะเสนอความคิดเห็นของตนเองและเขียนคำอธิบาย

ของการสังเกตมากกว่าที่จะเชื่อมโยงการสังเกตกับตรรกะของการให้เหตุผลเชิงสาเหตุในการอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ (McLure, 2023) ถึงแม้ว่า McNeill et al. (2006) จะได้สร้างกรอบในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ ข้อกล่าวอ้าง (Claim) หลักฐาน (Evidence) และการให้เหตุผล (Reasoning) ด้วยเหตุนี้ McLure (2020) จึงได้เสนอว่าการอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ควรแสดงถึงสาเหตุของปรากฏการณ์และกลไกที่เกิดขึ้นร่วมกับการระบุความสัมพันธ์เชิงเหตุผลและปฏิสัมพันธ์ภายใต้ปรากฏการณ์นั้นๆ ผ่านการพรรณนา (Description) คือการบรรยายสมบัติของสิ่งที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่กำลังอธิบาย การตีความ (Interpretation) คือการตีความหลักการที่เกี่ยวข้องเพื่อทำความเข้าใจคุณสมบัติเหล่านั้น และการสร้างกลไกเชิงสาเหตุ (Causal Mechanism) คือการสร้างกลไกเชิงสาเหตุซึ่งเชื่อมโยงหลักการกับผลที่สังเกตได้ (McLure, 2023)

เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่คำนึงถึงสาเหตุและกลไกซึ่งการอธิบายเชิงสาเหตุจะทำให้นักเรียนเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้อย่างลึกซึ้ง (Windschitl et al., 2008) นักการศึกษาได้พยายามเสนอวิธีการจัดการเรียนรู้ต่างๆ โดยการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด (Thinking Frame Approach) เป็นการจัดการเรียนรู้หนึ่งที่ออกแบบมาเพื่อสนับสนุนการอธิบายและจัดลำดับของทักษะการรู้หนังสือ (Literacy Skills) ที่จำเป็นสำหรับนักเรียนในการอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ (Newberry & Gilbert, 2007) การจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิดมีรากฐานมาจากการเปลี่ยนแปลงแนวคิดหลายมิติ (Multidimensional Conceptual Change) จึงสามารถพัฒนาการอธิบายผ่านการแสดงตัวแทนความคิดที่หลากหลาย (Multiple Representation) ทั้งวาจา รูปภาพ และการเขียน โดยมีครูเป็นผู้สนับสนุนสร้างความเข้าใจร่วมกันผ่านการมีปฏิสัมพันธ์ภายในกลุ่มย่อย โดยใช้กลยุทธ์การตั้งคำถามอย่างรอบคอบ และให้โอกาสนักเรียนได้ทบทวนและประเมินคำอธิบายของตนเอง (McLure, 2020) ผลการศึกษาล่าสุด พบว่า การพัฒนาที่สำคัญอย่างเห็นได้ชัดเพื่อสนับสนุนให้นักเรียนพัฒนาการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์คือการช่วยให้นักเรียนเขียนอธิบายเป็นลายลักษณ์อักษร (McLure, 2023)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส มีเนื้อหาที่กล่าวถึงสมบัติและพฤติกรรมของแก๊ส ซึ่งความสัมพันธ์เกี่ยวกับสมบัติของแก๊สเหล่านี้ไปสู่การสรุปเป็นกฎต่างๆ ที่สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีจลน์ของแก๊ส และจากประสบการณ์ในการสอนรายวิชาเคมีที่ผ่านมาของผู้วิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นด้วยการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ กล่าวคือ นักเรียนไม่สามารถอธิบายเชิงสาเหตุและกลไกว่าเหตุใดปรากฏการณ์หนึ่งจึงเกิดขึ้น รวมถึงไม่สามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตหรือหลักฐานที่ได้รับมาใช้ในการอธิบาย การตีความ รวมถึงการเชื่อมโยงข้อมูล หลักฐานกับการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ ด้วยความสำคัญทั้งหมดที่ได้กล่าวไปข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิดมาช่วยส่งเสริมให้นักเรียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้มีความเป็นเหตุเป็นผลมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย (Objectives)

1. เพื่อศึกษาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด
2. เพื่อเปรียบเทียบการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังเรียน เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด

คำถามการวิจัย (Research Question)

เมื่อจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สามารถพัฒนาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊สได้หรือไม่ อย่างไร

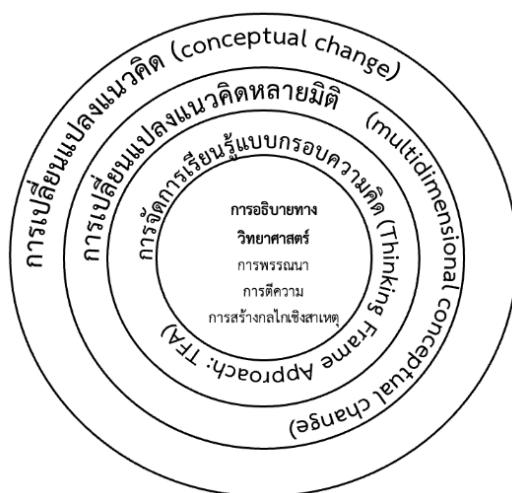
กรอบแนวคิดการวิจัย (Conceptual Framework)

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนโดยอาศัยกรอบการเปลี่ยนแปลงแนวคิดหลายมิติผ่านการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิดเพื่อนำไปสู่การพัฒนาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ประกอบด้วย การพรรณนา การตีความ และการสร้างกลไกเชิงสาเหตุ ดัง Figure 1

Figure 1

Conceptual Framework

กรอบแนวคิดการวิจัย



วิธีดำเนินการวิจัย (Methodology)

การวิจัยโดยใช้วิธีการเชิงผสมผสาน (Mixed Methods Research) แบบแผนรองรับภายใน (Embedded Design) ของ Creswell (2013) อาศัยข้อมูลทั้งเชิงคุณภาพในการศึกษาระดับการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิดและเชิงปริมาณในการศึกษาความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังเรียน โดยใช้การวิจัยแบบการทดลองเบื้องต้น (Pre-Experimental Research) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีกลุ่มเดียวที่มีการทดสอบก่อนและหลังเรียน

1. กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 28 คน ในโรงเรียนมัธยมขนาดเล็กแห่งหนึ่งในจังหวัดร้อยเอ็ด โดยเลือกแบบเจาะจงและเป็นนักเรียนห้องเดียวของแผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ที่เรียนเนื้อหาวิชาเคมีเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส ซึ่งมีผู้วิจัยรับผิดชอบสอน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 แบบวัดความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ นำมาใช้ประเมินการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนทั้งก่อนและหลังเรียน คำถามเป็นแบบปลายเปิด จำนวน 4 ข้อ ครอบคลุมแนวคิดเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส ในแต่ละข้อคำถามจะให้นักเรียนได้พรรณนา ตีความ และสร้างกลไกเชิงสาเหตุ ตัวอย่างคำถามข้อ 2 เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาตรของแก๊ส ดัง Figure 2

Figure 2

Question 2 in the scientific explanation assessment tool

คำถามข้อ 2 ในแบบวัดการอธิบายทางวิทยาศาสตร์

2. นักเรียนคนหนึ่งผลอดินเหนียวลูกปิงปองลูกหนึ่งทำให้มีรอยบุบ แต่ยังไม่แตกดังรูป นักเรียนคนดังกล่าวพยายามทำให้ลูกปิงปองหายบุบและนำกลับมาใช้เล่นได้เหมือนเดิม จึงได้ทดลองนำลูกปิงปองไปแช่ในน้ำร้อน หลังจากนั้นนำลูกปิงปองลูกดังกล่าวไปแช่ในน้ำร้อนปริมาณของลูกปิงปองจะเป็นอย่างไร จงอธิบายสาเหตุและกลไกที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุลอย่างละเอียดโดยคำนึงถึงสาเหตุ เจือปน หรือข้อจำกัดร่วมด้วย



2.2 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง ผู้วิจัยสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมหลังจากการจัดการเรียนรู้แบบรอบความคิด ในกรณีที่ผู้วิจัยไม่สามารถตีความการเขียนตอบในแบบวัดการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยการสัมภาษณ์ได้ ความยินยอมจากนักเรียนและผู้ปกครองนักเรียน

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลรวมถึงวิธีการเก็บข้อมูลได้ผ่านความเห็นชอบจากกรรมการจริยธรรมการวิจัย ในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น หมายเลขโครงการ HE663091

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทดสอบก่อนเรียนด้วยแบบวัดการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ล่วงหน้าก่อนจัดการเรียนรู้ จากนั้นจัดกิจกรรมตาม แผนการจัดการเรียนรู้แบบรอบความคิดที่ผ่านการตรวจสอบและพิจารณา จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้าน วิทยาศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา และครูผู้สอนที่เชี่ยวชาญการสอนวิชาเคมี ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ มีดังนี้ ขั้น 1) การทำทนายแนวคิดทางเลือก ครูนำเสนอสถานการณ์ว่า “หากอุณหภูมิของแก๊สเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของแก๊สจะ เปลี่ยนแปลงหรือไม่ และเหตุใดจึงเกิดเหตุการณ์นั้นขึ้น” เพื่อให้ให้นักเรียนในกลุ่มเล็กคาดการณ์ว่าจะเกิดอะไรขึ้นและเพราะเหตุใด จึงเป็นเช่นนั้นพร้อมนำเสนอแนวคิดต่อชั้นเรียน ขั้น 2) การสนับสนุนการอธิบายด้วยวาจาอย่างละเอียด ครูให้นักเรียนทำการ ทดลอง และสร้างคำอธิบายที่สอดคล้องกับผลการสังเกตจากนั้นนักเรียนนำเสนอผลการทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส ขั้น 3) การอธิบายในรูปแบบของภาพและการเขียน นักเรียนสร้างคำอธิบายแบบรูปภาพพร้อมเขียน อธิบายภาพ จากนั้นครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทดลองจากรูปภาพที่นักเรียนวาด แล้วให้นักเรียนเขียนคำอธิบายที่เป็น ลายลักษณ์อักษรอย่างละเอียดเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นพร้อมนำเสนอต่อชั้นเรียน ขั้น 4) การมีส่วนร่วมในอภิปรายผ่าน การประเมินตนเอง นักเรียนประเมินการเขียนคำอธิบายของตนเองด้วยแบบประเมิน ดัง Figure 3 ขั้น 5) การให้ข้อมูลป้อนกลับ จากครู เพื่อให้นักเรียนใช้ปรับปรุงคำอธิบายของตนเองให้มีระดับสูงขึ้น โดยครูให้ข้อมูลย้อนกลับจากการนำเสนอคำอธิบายของ นักเรียนในชั้นเรียนและเขียนข้อเสนอแนะให้นักเรียนทุกคนในการตรวจใบงานและแจกลิ้นนักเรียนในคาบเรียนต่อไปทุกครั้ง หลังจัดการเรียนรู้ครบทั้ง 4 แผนการจัดการเรียนรู้ (ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส) ผู้วิจัยทดสอบหลังเรียนด้วยแบบวัดการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ฉบับเดิมและดำเนินการสัมภาษณ์

Figure 3

Scientific explanation assessment tool

แบบประเมินการอธิบายทางวิทยาศาสตร์

แบบประเมินการอธิบายทางวิทยาศาสตร์									
ระดับ	ลักษณะของคำอธิบาย	เกณฑ์	การประเมินตนเอง (นักเรียน)	การประเมินของครูผู้สอน	ระดับ	ลักษณะของคำอธิบาย	เกณฑ์	การประเมินตนเอง (นักเรียน)	การประเมินของครูผู้สอน
1	ไม่มีคำอธิบาย (Non-explanations)	นำเสนอชุดข้อความที่ไม่เกี่ยวข้องและไม่เป็นไปตามทฤษฎี ไม่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์			4	การอธิบายที่เกี่ยวข้อง (Associative explanation)	สร้างการเชื่อมโยงของสาเหตุที่เกี่ยวข้องได้ แต่ไม่นำเสนอความสัมพันธ์แบบมีเหตุผล เชื่อมโยงของข้อมูลยังไม่ได้	✓	
2	การพรรณนามหภาค (Macro-descriptive)	อธิบายสิ่งที่สังเกตพบได้ในแง่ของรูปแบบและสมบัติระดับมหภาค (เช่น การละลาย ความเป็นเนื้อเดียวกัน อุณหภูมิปริมาตร)			5	การอธิบายอย่างง่าย (Simple explanation)	อธิบายว่าปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้อย่างไร และเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น (สาเหตุ) มีการให้ความสัมพันธ์แบบมีเหตุผล มีการจัดลำดับข้อมูลด้วยวิธีง่าย ๆ (กลไก)		✓
3	การพรรณนาแบบผสม (Mix-Descriptive)	อธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในแง่ของสมบัติระดับมหภาคและสิ่งที่เกิดขึ้นระดับจุลภาค (submicroscopic) ในทางทฤษฎี			6	การอธิบายซับซ้อน (Complex explanation)	อธิบายว่าปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้อย่างไร และทำไม (สาเหตุ) มีการให้ความสัมพันธ์เชิงเหตุผลที่มีรูปแบบที่ซับซ้อนและมีปฏิสัมพันธ์มากขึ้น (กลไก) โดยพิจารณาจากสาเหตุเงื่อนไข หรือข้อจำกัดร่วมด้วย		✓

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากแบบวัดการอธิบายทางวิทยาศาสตร์นำมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยวิธีวิเคราะห์สรุปอุปนัย (analytic induction) โดยการอ่านคำตอบของนักเรียนอย่างละเอียด โดยพิจารณาการพรรณนา ติความ และสร้างกลไกเชิงสาเหตุ จาก คำตอบของนักเรียนทั้งก่อนและหลังเรียนแล้วนำมาจัดกลุ่มตามแนวคิดที่ปรับจาก de Andrade et al. (2019) ดัง Table 1 จากนั้นนำเสนอแต่ละระดับการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้วยการยกตัวอย่างบรรยาย ทั้งนี้การยกตัวอย่างคำตอบผู้วิจัยใช้รหัสเพื่อนำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่ไม่สามารถระบุตัวตนหรือเชื่อมโยงถึงนักเรียนได้ เช่น S12 แทน นักเรียนคนที่ 12 ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ผู้วิจัยแปลงระดับการอธิบายวิทยาศาสตร์จากแบบวัดการอธิบายทางวิทยาศาสตร์มาเป็นคะแนน ดัง Table 1 แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปทดสอบด้วยสถิติโดยพิจารณาความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียน จากการวิเคราะห์ข้อมูล คะแนนเฉลี่ยการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนและหลังเรียน พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติและไม่เป็นอิสระต่อกัน ผู้วิจัยจึงใช้สถิติแบบพารามิเตอร์ (parametric statistics) paired samples t-test ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ โดยผู้วิจัยเป็นผู้รับผิดชอบสอนในรายวิชาดังกล่าวรวมถึงเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตนเองโดยมีการตรวจสอบข้อมูลร่วมกันกับผู้ร่วมวิจัย

Table 1

The conceptual framework adapted from de Andrade et al. (2019) for analyzing scientific explanation writingกรอบแนวคิดที่ปรับจาก de Andrade et al. (2019) สำหรับวิเคราะห์การเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ระดับการอธิบายทางวิทยาศาสตร์	เกณฑ์	คะแนน
ไม่มีคำอธิบาย (non-explanations: NO)	นำเสนอชุดข้อความที่ไม่เกี่ยวข้องกับการปรากฏการณ์ และไม่เป็นไปตามทฤษฎีของแก๊ส	0
การพรรณนามหภาค (macro-descriptive: MA)	อธิบายสิ่งที่สังเกตพบได้ในแง่ของรูปแบบและคุณสมบัติระดับมหภาค (เช่น อุณหภูมิ ปริมาตร)	1

ระดับการอธิบายทางวิทยาศาสตร์	เกณฑ์	คะแนน
การพรรณนาแบบผสม (mix-descriptive: MI)	อธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในแง่ของสมบัติของสิ่งที่เกิดขึ้นระดับจุลภาค (submicroscopic) ในทางทฤษฎีร่วมกับการอธิบายสมบัติระดับมหภาค (macroscopic)	2
การอธิบายที่เกี่ยวข้อง (associative explanation: AS)	สร้างการเชื่อมโยงของสาเหตุที่เกี่ยวข้องได้ แต่ไม่นำเสนอความสัมพันธ์แบบมีเหตุผลกับทฤษฎีของแก๊ส และการเชื่อมโยงของข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของแก๊สยังไม่ได้	3
การอธิบายอย่างง่าย (simple explanation: SI)	อธิบายว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างไรและทำไม มีการให้ความสัมพันธ์กับทฤษฎีของแก๊สแบบมีเหตุผล มีการจัดลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นด้วยวิธีง่ายๆ	4
การอธิบายซับซ้อน (complex explanation: CO)	อธิบายว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างไรและทำไม มีการให้ความสัมพันธ์เชิงเหตุผลกับทฤษฎีของแก๊สที่มีรูปแบบที่ซับซ้อนและมีปฏิสัมพันธ์มากขึ้น โดยพิจารณาจากสาเหตุ เงื่อนไข หรือข้อจำกัดร่วมกัน	5

ผลการวิจัย (Results)

เพื่อตอบคำถามวิจัย “เมื่อจัดการเรียนรู้แบบรอบความคตินักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สามารถพัฒนาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊สได้หรือไม่ อย่างไร” ผู้วิจัยจะนำเสนอผลการศึกษาดัง Table 2

Table 2

The percentage of students' scientific explanations regarding the relationship of gases

ร้อยละการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเรื่องความสัมพันธ์ของแก๊ส

เรื่อง	ร้อยละการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในแต่ละระดับก่อนและหลังเรียน											
	NO		MA		MI		AS		SI		CO	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
ความสัมพันธ์ของแก๊ส												
ความดันกับปริมาตร	92.86	10.71	0.00	0.00	3.57	25.00	3.57	21.43	0.00	14.29	0.00	28.57
อุณหภูมิกับปริมาตร	32.14	0.00	17.86	0.00	21.43	7.14	28.57	32.14	0.00	14.29	0.00	46.33
อุณหภูมิกับความดัน	35.71	3.57	17.86	0.00	35.71	10.72	10.72	35.71	0.00	14.29	0.00	35.71
จำนวนโมลกับปริมาตร	0.00	0.00	21.43	3.57	71.43	25.00	7.14	42.86	0.00	7.14	0.00	21.43
รวม	40.18	3.57	14.29	0.90	33.03	16.97	12.50	33.03	0.00	12.50	0.00	33.03

หมายเหตุ ตัวหนา หมายถึง ร้อยละสูงสุด

Table 2 แสดงให้เห็นว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่มีการอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับไม่มีคำอธิบายร้อยละ 40.18 และหลังเรียนพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีการอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับการอธิบายที่เกี่ยวข้องซึ่งเท่ากับระดับ

การอธิบายซับซ้อนเท่ากับคิดเป็นร้อยละ 33.03 ซึ่งเป็นระดับที่สูงขึ้น โดยผู้วิจัยจะยกตัวอย่างการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนส่วนใหญ่ทั้งก่อนและหลังเรียนในคำถามข้อ 2 ของแบบวัดการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ดังนี้

ก่อนเรียน-ไม่มีคำอธิบาย

ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่มีการอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับไม่มีคำอธิบาย จากตัวอย่างคำตอบใน Figure 4 นักเรียนอธิบายว่า “เมื่อนำลูกปิงปองไปแช่น้ำร้อน ลูกปิงปองยังคงสภาพเดิมลักษณะเหมือนเดิม เพราะการที่ลูกปิงปองจะกลับมาใช้ได้เหมือนเดิมขึ้นอยู่กับแรงดันมากกว่า” ซึ่งการอธิบายที่ไม่สอดคล้องกับเหตุการณ์โดยนักเรียนมีแนวคิดทางเลือกกว่าการนำลูกปิงปองไปแช่น้ำที่มีอุณหภูมิสูงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรแต่เป็นผลมาจากแรงดัน ซึ่งก็ไม่ชัดเจนว่าแรงดันของอะไร หรือแรงดันจากไหน จึงจัดอยู่ในระดับไม่มีคำอธิบาย

Figure 4

The percentage of 12th students' pre-instructional explanations with no explanation at all

การอธิบายก่อนเรียนของนักเรียนคนที่ 12 ในระดับไม่มีคำอธิบาย

หลังเรียน-การอธิบายที่เกี่ยวข้อง

หลังเรียนนักเรียนส่วนใหญ่มีการอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับการอธิบายที่เกี่ยวข้องซึ่งเท่ากันกับระดับการอธิบายซับซ้อน จากตัวอย่างคำตอบหลังเรียนในคำถามข้อที่ 2 ดัง Figure 5 ที่กล่าวว่า “เมื่อนำลูกปิงปองที่โดนเหยียบไปแช่น้ำร้อนจะทำให้ลูกปิงปองกลับมาเหมือนเดิม เพราะเมื่อนำลูกปิงปองไปแช่น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูง จะมีความดันสูงตาม อุณหภูมิเพิ่ม ความดันเพิ่ม ทำให้ปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้น พลังงานจลน์เพิ่มขึ้น” จัดอยู่ในการอธิบายที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการเชื่อมโยงสาเหตุที่เกี่ยวข้องได้ แต่ไม่นำเสนอความสัมพันธ์แบบมีเหตุผล หรือการเชื่อมโยงของข้อมูลยังไม่ดี นั่นคือ นักเรียนกล่าวถึงการนำลูกปิงปองไปแช่น้ำร้อนซึ่งเป็นสาเหตุของเหตุการณ์ และกล่าวถึงลักษณะของลูกปิงปองหลังจากแช่น้ำร้อน แต่ยังไม่ได้กล่าวถึงกลไกที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุลว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลต่อปริมาตรอย่างไร อีกทั้งการนักเรียนยังไม่ได้นำเสนอความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความดัน ปริมาตร และพลังงานจลน์ของแก๊สอย่างเป็นเหตุเป็นผล

Figure 5

The percentage of 9th students' post-instructional explanations related to the topic

การอธิบายหลังเรียนของนักเรียนคนที่ 9 ในระดับการอธิบายที่เกี่ยวข้อง

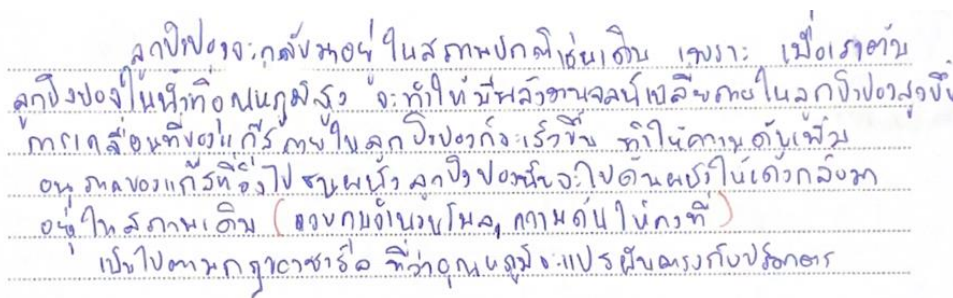
หลังเรียน-การอธิบายซับซ้อน

หลังเรียน พบว่า มีนักเรียนเขียนคำอธิบายอยู่ในระดับการอธิบายซับซ้อนเพิ่มขึ้น นักเรียนคนที่ 26 เขียนอธิบายในคำถามข้อที่ 2 ว่า “ลูกปิงปองจะกลับมาอยู่ในสภาพปกติเช่นเดิม เพราะเมื่อเราดัมลูกปิงปองในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง จะทำให้พลังงานจลน์เฉลี่ยภายในลูกปิงปองสูงขึ้น การเคลื่อนที่ของแก๊สภายในลูกปิงปองจะเร็วขึ้น ทำให้ความดันเพิ่ม อนุภาคของแก๊สจึงวิ่งไปชนผนังลูกปิงปองนั้นจะไปดันผนังให้เต่งกลับมาอยู่ในสภาพเดิม (ควบคุมจำนวนโมล, ความดันคงที่) เป็นไปตามกฎของชาร์ลที่ว่าอุณหภูมิแปรผันตรงกับปริมาตร”

Figure 6

The percentage of 26th students' post-instructional explanations at the level of complex explanations

การอธิบายหลังเรียนของนักเรียนคนที่ 26 ในระดับการอธิบายซับซ้อน



ลูกปิงปองจะกลับมาอยู่ในสภาพปกติเช่นเดิม เพราะ เมื่อเราดัมลูกปิงปองในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง จะทำให้พลังงานจลน์เฉลี่ยภายในลูกปิงปองสูงขึ้น การเคลื่อนที่ของแก๊สภายในลูกปิงปองจะเร็วขึ้น ทำให้ความดันเพิ่ม อนุภาคของแก๊สจึงวิ่งไปชนผนังลูกปิงปองนั้นจะไปดันผนังให้เต่งกลับมาอยู่ในสภาพเดิม (ควบคุมจำนวนโมล, ความดันคงที่) เป็นไปตามกฎของชาร์ลที่ว่าอุณหภูมิแปรผันตรงกับปริมาตร

จาก Figure 6 จะเห็นได้ว่านักเรียนเขียนอธิบายว่า “...การเคลื่อนที่ของแก๊สภายในลูกปิงปองจะเร็วขึ้น ทำให้ความดันเพิ่ม...(ควบคุมจำนวนโมล, ความดันคงที่)...” ซึ่งนักเรียนได้เขียนอธิบายเกี่ยวกับความดัน ทั้งการเพิ่มขึ้นของความดัน และการควบคุมให้ความดันคงที่ แต่นักเรียนยังไม่ได้ระบุหน่วยของอุณหภูมิที่ชัดเจน ผู้วิจัยจึงได้มีการสัมภาษณ์ให้นักเรียนอธิบายเพิ่มเติมในประเด็นความดันและอุณหภูมิของแก๊สเพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์ ดังนี้

“ครู: จากข้อความที่นักเรียนเขียนข้างต้นความดันของแก๊สเพิ่มขึ้นหรือคงที่ อย่างไร

นักเรียน: ในวงเล็บหมายถึงสถานะที่ควบคุมในการทดลองค่ะ แต่การนำลูกปิงปองไปใช้ในน้ำร้อนจะทำให้การเคลื่อนที่ของแก๊สภายในลูกปิงปองจะเร็วขึ้น ทำให้ความดันเพิ่มขึ้นด้วยค่ะ

ครู: จากข้อความที่กล่าวว่าเป็นไปตามกฎของชาร์ลที่ว่าอุณหภูมิแปรผันตรงกับปริมาตร อุณหภูมิในที่นี้หมายถึงอุณหภูมิในหน่วยใด อย่างไร

นักเรียน: อุณหภูมิในหน่วยเคลวินค่ะ คือเมื่อแก๊สมีอุณหภูมิในหน่วยเคลวินเพิ่มขึ้น ปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้นค่ะ”

จะเห็นได้ว่าจากคำตอบที่นักเรียนเขียนในแบบวัดการอธิบายทางวิทยาศาสตร์และการสัมภาษณ์ นักเรียนสามารถอธิบายได้ว่าปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้อย่างไรและเพราะเหตุใด โดยมีการให้ความสัมพันธ์เชิงเหตุผลที่มีรูปแบบที่ซับซ้อนและมีปฏิสัมพันธ์ นั่นคือมีการกล่าวถึงสาเหตุของเหตุการณ์ว่าอุณหภูมิสูงส่งผลอย่างไรต่อพลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊ส การเคลื่อนที่ของอนุภาคแก๊ส และความดันในลูกปิงปอง จึงทำให้ลูกปิงปองกลับมาเป็นสภาพเดิมได้อย่างเป็นเหตุเป็นผลกัน อีกทั้งยังมีการให้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดร่วมด้วย (เช่น ควบคุมจำนวนโมล, ความดันคงที่) และระบุว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นไปตามกฎของชาร์ล จึงจัดอยู่ในการอธิบายซับซ้อน

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณจากคะแนนเฉลี่ยการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนและหลังเรียนด้วยสถิติ paired samples t-test ผลปรากฏดัง Table 3

Table 3

The average scores of scientific explanations before and after instruction of students, using paired samples t-test statistics

คะแนนเฉลี่ยการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังเรียนของนักเรียน โดยใช้สถิติ paired samples t-test

การอธิบายทางวิทยาศาสตร์	n	ก่อนเรียน $\bar{x}$ (S.D.)	หลังเรียน $\bar{x}$ (S.D.)	t-test	p
เรื่องความสัมพันธ์ของแก๊ส	28	4.71 (2.401)	13.96 (4.246)	13.532	.001*

* $t < 0.05$

จาก Table 3 พบว่า หลังเรียนนักเรียนมีการอธิบายทางวิทยาศาสตร์เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊สหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 กล่าวคือ การจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิดช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีพัฒนาการด้านการอธิบายทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนเพิ่มมากขึ้นจากก่อนเรียน

อภิปรายผล (Discussion)

จากการศึกษา พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่มีการอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับไม่มีคำอธิบาย โดยนักเรียนมักจะแสดงแนวคิดทางเลือก (alternative conception) ในการอธิบายความสัมพันธ์ของแก๊ส ซึ่งความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับสมบัติ พฏิกิริยา และทฤษฎีจลน์ของแก๊สยังมีไม่เพียงพอและความสัมพันธ์ของแก๊สเป็นเรื่องที่ยาก นักเรียนจึงมีแนวคิดทางเลือกในบางประการ (Konur & Ayas, 2010; Mete, 2020) รวมถึงการเขียนคำอธิบายเชิงสาเหตุและกลไกเป็นการอธิบายที่นักเรียนยังไม่คุ้นเคย นักเรียนจึงมีความยากลำบากในการระบุประเด็นให้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนดให้ (Faria et al., 2014; McLure, 2023) อีกทั้งนักเรียนยังไม่ได้ศึกษาเรื่องทฤษฎีจลน์ของแก๊สมาก่อน ซึ่งทำให้นักเรียนขาดความเข้าใจ จึงทำให้การอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนอยู่ในระดับไม่มีคำอธิบาย

หลังการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด พบว่านักเรียนส่วนใหญ่พัฒนาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับการอธิบายที่เกี่ยวข้องซึ่งเท่ากับระดับการอธิบายซับซ้อน สำหรับนักเรียนที่มีการอธิบายที่เกี่ยวข้อง ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถนำทฤษฎีจลน์ของแก๊สมาใช้ในการอธิบาย แต่อย่างไรก็ตามนักเรียนยังไม่สามารถให้เหตุผลที่สมบูรณ์และไม่สามารถอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในระดับที่ตาไม่สามารถมองเห็นได้ กล่าวคือนักเรียนมีการอธิบายที่มีการเชื่อมโยงส่วนต่างๆ ของข้อมูล แต่ยังไม่สามารถระบุได้ว่าข้อมูลนั้นเกี่ยวข้องกันอย่างไร ทั้งนี้อาจเนื่องจากการอธิบายในระดับที่สูงขึ้นนักเรียนจำเป็นต้องระบุกลไกที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุลเชื่อมโยงกับสิ่งที่สังเกตเห็นได้เพื่อเขียนคำอธิบายแบบมีเหตุผล ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ McNeill et al. (2006) ที่พบว่า นักเรียนพบความยากลำบากในการแสดงเหตุผลในการเขียนคำอธิบาย โดยนักเรียนมักจะสรุปสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับการคำอธิบายมากเกินไป (de Andrade et al., 2019) อาจเป็นไปได้ว่าการอธิบายทางวิทยาศาสตร์แบบมีเหตุผลมีความสัมพันธ์กับความรู้เดิมของนักเรียน (Metz, 2000) ดังนั้นจึงควรมีการทบทวนและประเมินความรู้ในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องก่อนการดำเนินการจัดการเรียนรู้ และในขั้น 3) การอธิบายในรูปแบบของภาพและการเขียน นักเรียนบางส่วนยังไม่สามารถจินตนาการและวาดภาพในระดับโมเลกุลที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ เช่น จำนวน ขนาด และการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแก๊ส ซึ่งภาพวาดและการเขียนอธิบายภาพในระดับอนุภาคที่นักเรียนสร้างขึ้นเพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์อาจส่งผลต่อการระบุกลไกที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุล รวมถึงการประเมินตนเองนักเรียนยังไม่สามารถประเมินตนเองได้อย่างถูกต้องตามระดับการเขียนคำอธิบายของตนเอง (ดัง Figure 3) และไม่ตรงกับผู้วิจัยประเมิน จึงทำให้คำอธิบายของนักเรียนอยู่ในระดับการอธิบายที่เกี่ยวข้องและทำให้นักเรียนพัฒนาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้อยู่ในระดับที่สูงขึ้นได้ยาก

ส่วนนักเรียนที่มีพัฒนาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับการอธิบายซับซ้อน นักเรียนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าแล้วใช้อธิบายถึงสาเหตุและกลไกที่เกิดขึ้น นั่นแสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถติดตามเรื่องราวเชิงสาเหตุทั้งหมดของปรากฏการณ์ที่สังเกตได้ (de Andrade et al., 2019) ส่งผลให้หลังเรียนนักเรียนมีการอธิบายอยู่ในระดับที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากนักเรียนมีส่วนร่วมกับการสร้างคำอธิบายทั้งทางวาจาและรูปภาพมีแนวโน้มที่จะรวมสมบัติทั้งที่มองเห็นด้วยตาเปล่าและมองไม่เห็นเข้าไปในคำอธิบายเหล่านั้น ในขณะที่ขั้น 3) การอธิบายในรูปแบบของภาพและการเขียน สนับสนุนให้นักเรียนได้สร้างตัวแทนความคิดที่หลากหลายในการอธิบายของตนเอง ทั้งด้วยวาจาผ่านการสร้างความเข้าใจร่วมกันกับเพื่อนในกระบวนการกลุ่มและการนำเสนอคำอธิบายในชั้นเรียน การวาดภาพในระดับที่สังเกตได้และในระดับโมเลกุลโดยการแนะนำจากครูในคาบเรียนแรก และสรุปประเด็นผ่านการอภิปราย และปิดท้ายด้วยการเขียนคำอธิบายที่เป็นลายลักษณ์อักษรอย่างละเอียด นักเรียนจึงสามารถสร้างความสัมพันธ์เชิงเหตุผลที่มีรูปแบบที่ซับซ้อนมากขึ้นได้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ McLure (2023) อีกทั้งการตั้งคำถามจากครู เช่น จากคำอธิบายที่นักเรียนเขียน สาเหตุของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นคืออะไร กลไกที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุลเป็นอย่างไร และมีการคำนึงถึงสาเหตุ เงื่อนไข หรือข้อจำกัดร่วมด้วยหรือไม่ อย่างไร ช่วยดึงความสนใจของนักเรียนไปยังแบบจำลองหรือทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานในการอธิบายปรากฏการณ์ รวมถึงขั้น 4) การมีส่วนร่วมในอภิปรายผ่านการประเมินตนเอง และขั้น 5) การให้ข้อมูลย้อนกลับจากครู ทำให้นักเรียนตระหนักถึงองค์ประกอบทั้งการพรรณนา การตีความ และการสร้างกลไกเชิงสาเหตุที่ประกอบกันเป็นคำอธิบายเชิงสาเหตุ (McLure, 2020) เนื่องจากผู้วิจัยได้เขียนเสนอแนะลงในใบงานของนักเรียน เช่น อุณหภูมิมีผลต่อพลังงานจลน์ของแก๊ส การเคลื่อนที่ของอนุภาคแก๊ส และทำให้ปริมาตรของแก๊สเปลี่ยนแปลงได้อย่างไร

การจัดการเรียนรู้แบบรอบความคิดเน้นให้นักเรียนได้จัดลำดับแนวคิดในสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ตั้งแต่ขั้น 1) การท้าทายแนวคิดทางเลือก โดยครูนำเสนอสถานการณ์เพื่อให้นักเรียนในกลุ่มเล็กคาดการณ์ว่าจะเกิดอะไรขึ้นและเพราะเหตุใด พร้อมนำเสนอต่อชั้นเรียน (วาจา) จากนั้นในขั้น 2) การสนับสนุนการอธิบายด้วยวาจาอย่างละเอียด ครูจัดประสบการณ์สร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์โดยให้นักเรียนทำการทดลอง และมีการตั้งคำถามโดยครูร่วมด้วยเพื่อสนับสนุนนักเรียนในการอธิบายอย่างละเอียดผ่านการเชื่อมโยงคำอธิบายกับการสังเกตและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ในขั้น 3) การอธิบายในรูปแบบของภาพและการเขียน ยังเปิดโอกาสให้นักเรียนอธิบายในรูปแบบของภาพ (การวาดภาพ) เพื่อสนับสนุนความเข้าใจเป็นลำดับผ่านรูปภาพนั้นๆ ก่อนที่นักเรียนจะเขียนคำอธิบายที่เป็นลายลักษณ์อักษรอย่างละเอียดเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น (การเขียน) อีกทั้งการมีส่วนร่วมในขั้น 4) การมีส่วนร่วมในอภิปรายผ่านการประเมินตนเอง จะช่วยให้นักเรียนได้ตรวจสอบการเขียนคำอธิบายของตนเอง และขั้น 5) การให้ข้อมูลย้อนกลับจากครูซึ่งเป็นขั้นสุดท้ายที่จะทำให้ให้นักเรียนได้รับข้อมูลย้อนกลับที่เจาะจงและสร้างสรรค์จะช่วยให้นักเรียนใช้ในการปรับปรุงคำอธิบายของตนเองให้มีระดับสูงขึ้นได้ (McLure, 2020) จะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบรอบความคิดจัดให้มีฐานความช่วยเหลือในแต่ละขั้นตอนที่เหมาะสมที่สนับสนุนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่แนะนำโดย McNeill et al. (2006) ทั้งการนำเสนอสถานการณ์ในขั้นที่ 1) การออกแบบการทดลองเพื่อจัดประสบการณ์ในการสร้างหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ในขั้นที่ 2) การเปิดโอกาสให้แสดงตัวแทนความคิดที่หลากหลายของนักเรียนในขั้นที่ 3) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวาดภาพซึ่งเป็นอีกหนึ่งกลยุทธ์ที่สามารถช่วยให้นักเรียนสร้างแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพื่อนำมาใช้ในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ (Chang et al., 2020; McLure et al., 2022) รวมถึงการประเมินตนเองและการให้ข้อมูลย้อนกลับในขั้นที่ 4) และ 5) ตามลำดับ ยังช่วยให้นักเรียนสามารถปรับปรุงคำอธิบายของตนเองให้ถูกต้องและอยู่ในระดับที่สูงขึ้นได้

จากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบรอบความคิดสามารถพัฒนาการเขียนอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่คำนึงถึงสาเหตุและกลไกเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊สได้ ดังนั้นครูควรจัดประสบการณ์ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติเพื่อรวบรวมข้อมูลรวมถึงเปิดโอกาสให้นักเรียนได้สร้าง

ตัวแทนความคิดที่หลากหลาย ประเมินการอธิบายของตนเอง รวมถึงรับข้อมูลย้อนกลับจากครูเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสามารถพัฒนาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้มีความเป็นเหตุเป็นผลมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ (Recommendations)

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 จากผลการวิจัย การจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิดเป็นกระบวนการที่ให้นักเรียนได้สร้างตัวแทนความคิดที่หลากหลายทั้งจาก การเขียน และการวาดภาพ สามารถส่งเสริมให้นักเรียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้มีความสัมพันธ์เชิงเหตุผลในรูปแบบที่ซับซ้อนมากขึ้นได้ ดังนั้น ครูควรเปิดโอกาสให้นักเรียนได้สร้างตัวแทนความคิดที่หลากหลายดังกล่าวเพื่อสนับสนุนความเข้าใจของนักเรียนและพัฒนาการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

1.2 การจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิดนอกจากจะส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติเพื่อรวบรวมหลักฐานและข้อมูลต่างๆด้วยตนเองแล้ว ครูควรให้เวลาและสนับสนุนการประเมินตนเองของนักเรียนและการให้ข้อมูลย้อนกลับจากครูภายในชั้นเรียนให้มากขึ้นเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนตระหนักถึงการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 จากผลการวิจัยข้างต้น หลังเรียนยังมีนักเรียนส่วนใหญ่อธิบายความสัมพันธ์ของแก๊สในระดับการอธิบายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งนักเรียนยังไม่ได้ให้เหตุผลและไม่สามารถอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในระดับที่ต่ำไม่สามารถมองเห็นได้ ดังนั้นครูควรอภิปรายทฤษฎีจลน์ของแก๊สเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้นักเรียนตระหนักถึงกลไกในระดับจุลภาคที่นำมาใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ของแก๊สให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

2.2 ภาพวาดของนักเรียนนำมาใช้วิเคราะห์การเขียนอธิบายกลไกของปรากฏการณ์ได้ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งต่อไปควรคำนึงถึงการวาดภาพในระดับโมเลกุลของนักเรียนว่ามีความถูกต้องหรือไม่อย่างไร ซึ่งภาพดังกล่าวมีความเกี่ยวข้องในการเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้เป็นลายลักษณ์อักษรที่ชัดเจน

References

- Chang, J., Park, J., Tang, K. S., Treagust, D. F., & Won, M. (2020). The features of norms formed in constructing student-generated drawings to explain physics phenomena. *International Journal of Science Education*, 42(8), 1362-1387.
- Creswell, J. W. (2013). *Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage publications.
- de Andrade, V., Freire, S., & Baptista, M. (2019). Constructing scientific explanations: A system of analysis for students' explanations. *Research in Science Education*, 49, 787-807.
- Faria, C., Freire, S., Baptista, M., & Galvão, C. (2014). The construction of a reasoned explanation of a health phenomenon: An analysis of competencies mobilized. *International Journal of Science Education*, 36(9), 1476-1490.
- Konur, K. B., & Alipaşa, A. Y. A. S. (2010). Pre-service primary teachers' understanding level of the relationship between heat-volume-pressure in gases. *Journal of Turkish Science Education*, 7(3), 128-142.

- McLure, F. (2020). The Thinking Frames Approach: A case study of inclusion using student-generated multiple representations. *Journal of Research in Special Educational Needs*, 20(1), 3–13.
- McLure, F., Won, M., & Treagust, D. F. (2022). Analysis of students' diagrams explaining scientific phenomena. *Research in Science Education*, 52(4), 1225-1241.
- McLure, F. (2023). The Thinking Frames Approach: Improving high school students' written explanations of phenomena in science. *Research in Science Education*, 53(1), 173-191.
- McNeill, L. K., Lizotte, J. D., Krajcik, J., & Marx, W. R. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *The journal of the Learning Sciences*, 15(2), 153-191.
- Meela, P., & Artdej, R. (2017). Model based inquiry and scientific explanation: Promoting meaning-making in classroom. *Journal of Education Naresuan University*, 19(3), 1-15.
- Mete, P. (2020). 11th grade students' understanding level of gases in terms of some chemical variables and the determination of alternative conceptions. *Science Education International*, 31(4), 334-347.
- Metz, K. E. (2000). Young children's inquiry in biology: Building the knowledge bases to empower independent inquiry. In J. Minstrell and E. van Zee (Eds.) *Inquiring into inquiry in science learning and teaching* (pp. 371-404). Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Newberry, M., & Gilbert, J. K. (2007). *Bringing learners and scientific expertise together*. In K. S. Taber (Ed.), *Science education for gifted learners* (pp. 197–211). London: Routledge.
- OECD. (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework, PISA*. Paris: OECD Publishing.
- Srikulwong, S., & Ladachat, L. (2021). Using model and scientific explanation of eighth grade students. *CMU Journal of Education*, 5(1), 12-27.
- Tang, K. S. (2016). Constructing scientific explanations through premise–reasoning–outcome (PRO): An exploratory study to scaffold students in structuring written explanations. *International Journal of Science Education*, 38(9), 1–26.
- 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.