JOURNAL OF EDUCATION AND INNOVATION

Research Article

GRADE 11 STUDENT'S DRAWING ABILITIES TO INTERPRET MATHEMATICAL RELATIONSHIP LEARNED USING THINKING FRAME APPROACH OF GASES AND THEIR PROPERTIES

ความสามารถในการวาดภาพเพื่อตีความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนรู้ด้วยการจัดการเรียนรู้ แบบกรอบความคิด เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส

Received: May 9, 2023 **Revised:** July 12, 2023 **Accepted:** August 8, 2023

Thanapong Chachiyo[1] and Romklao Jantrasee[2*]
ธนพงศ์ ชาชิโย[1] และร่มเกล้า จันทราษี[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

The purpose of this classroom action research was to develop students' drawing abilities to interpret mathematical relationships learned using the thinking frame approach of gases and their properties. There were 30 grade 11 students involved in this study. Data were gathered from student worksheets, semi-structured interviews, teaching videos and the researchers' notes. These data were analyzed in three elements, including particulate drawing, graph drawing, and mathematical relationship writing. The data acquired will be checked by method triangulation. The results show that, for the particulate drawings, students could represent composition, position, motion and interaction correctly for all cycles. For the graph drawings, in cycle 1, 2 and 3, students drew graphs incompletely into three components: determining the x and y axes, plotting graph points and drawing a trend line. However, they drew correctly and completely in cycle 4. For the mathematical relationship writing, students wrote relationships with mathematical symbols and variables corresponding to particulate and graph drawings accurately and completely in three forms: variation, constant-value relationship and correlation between the two conditions. The results of this study indicated that the thinking frame approach could encourage students to explain gas property changes by connecting three representations-macroscopic, microscopic and symbolic level through collecting data from observable phenomena with the naked eyes and

interpreting particulate drawings and graphs to draw better conclusions in terms of writing mathematical relationships.

Keywords: Drawing, Mathematical Relationship Writing, Chemistry Representation, Thinking Frame Approach

บทคัดย่อ

การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความสามารถในการวาดภาพเพื่อตีความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด เรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส กลุ่มที่ศึกษาคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ คือ ใบกิจกรรม แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างวิดีทัศน์บันทึกการจัดการเรียนรู้และแบบบันทึกการสอน นำข้อมูลมาวิเคราะห์ 3 กระบวนการต่อเนื่อง ได้แก่ การวาดภาพระดับอนุภาค การวาดภาพกราฟและการเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้าด้านวิธีรวบรวมข้อมูล พบว่า 1) การวาดภาพระดับอนุภาคทุกวงจรนักเรียนวาดภาพที่ประกอบด้วย ทั้ง 4 องค์ประกอบ ได้แก่ การแสดงองค์ประกอบ, การแสดงตำแหน่ง, การแสดงเคลื่อนไหว และการแสดงการมีปฏิสัมพันธ์ภาพ ได้ถูกต้องครบถ้วน 2) การวาดภาพกราฟ วงจรที่ 1, 2, และ 3 นักเรียนวาดภาพกราฟ ได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วนทั้ง 3 องค์ประกอบ ได้แก่ การระบุแกน X และ Y, การระบุคู่อันดับและการลากเส้นแนวโน้ม แต่วงจรที่ 4 วาดกราฟได้ถูกต้องครบถ้วนทุกองค์ประกอบ และ 3) การเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ นักเรียนเขียนความสัมพันธ์ด้วยเครื่องหมายคณิตศาสตร์และตัวแปรสอดคล้องกับภาพระดับอนุภาคและภาพกราฟได้ถูกต้องและครบถ้วน 3 รูปแบบ ได้แก่ การแปรผัน ความสัมพันธ์ที่มีค่าคงที่และความสัมพันธ์ระหว่างสองสภาวะ การวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิดส่งเสริมให้นักเรียนสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของแก๊สและสมบัติของแก๊สด้วยการเชื่อมโยงตัวแทนความคิดทั้งในระดับมหาภาค จุลภาคและสัญลักษณ์ ผ่านการรวบรวมข้อมูลจากปรากฏการณ์ที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่า ตีความจากภาพวาดระดับอนุภาคและภาพกราฟ เพื่อสร้างข้อสรุปเกี่ยวกับการเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดีมากขึ้น

คำสำคัญ: การวาดภาพ การเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ตัวแทนความคิดในเคมี การจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด

บทนำ (Introduction)

แก๊สและสมบัติของแก๊สเป็นหนึ่งในเนื้อหาหลักสูตรรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) วิชาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ผลการเรียนรู้ที่ต้องเกิดขึ้นกับนักเรียนกำหนด ดังนี้ 1) อธิบายความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่างๆ ตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์ลูสแซก 2) คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่างๆ ตามกฎรวมแก๊ส 3) คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมลหรือมวลของแก๊ส จากความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดรและกฎแก๊สอุดมคติ (Ministry of Education, 2017) หากวิเคราะห์หนังสือแบบเรียน เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส เนื้อหาส่วนใหญ่เน้นไปที่การแสดงตัวอย่างเพื่อนำสมการทางคณิตศาสตร์มาแก้โจทย์ปัญหา แบบฝึกหัดเกือบทั้งหมดต้องการให้นักเรียนคำนวณทางคณิตศาสตร์เพียงอย่างเดียว ในแง่มุมของการทดลองมักเป็นการแสดงตัวแทนความคิดในระดับมหภาคและอธิบายความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์และกราฟในระดับสัญลักษณ์ น้อยนักที่จะปรากฏการเชื่อมโยงตัวแทนความคิดในระดับจุลภาคร่วมด้วย ซึ่งไม่สอดคล้องกับการเรียนเคมีที่ต้องการให้นักเรียนอธิบายการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของสสารแบบเชื่อมโยงกันใน 3 ระดับ (ระดับมหภาค, ระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์) (Ho et al., 2019)

แต่จากประสบการณ์ของผู้วิจัย การสอนเรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊สเป็นการใช้กฎของแก๊สเพื่อคำนวณโจทย์ปัญหาที่ครูมอบหมายให้ บ่อยครั้งที่ครูนำเสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร จากนั้นให้นักเรียนแทนค่าตัวแปร คำนวณโดยใช้

สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ แล้วแสดงวิธีทำเพื่อหาคำตอบ นำไปสู่ปัญหาความไม่เข้าใจแนวคิด เมื่อนักเรียนไม่เข้าใจแนวคิดทางเคมี ก็จะมีแนวโน้มที่จะใช้สมการทางคณิตศาสตร์โดยไม่สนใจความหมาย (Schuchardt & Schunn, 2016) จนทำให้คุ้นชินกับการใช้เหตุผลในระดับสัญลักษณ์ด้วยการคำนวณมากกว่าการให้เหตุผลในระดับจุลภาคและระดับมหภาคร่วมด้วย (Bain et al., 2018) การเรียนจึงเป็นเพียงการจดจำกฎของแก๊สตามชื่อของนักวิทยาศาสตร์ โดยที่นักเรียนไม่ได้อธิบายเชิงลึกในระดับโมเลกุล เช่น ความเร็วของอนุภาคแก๊ส ปริมาตรของแก๊ส แรงดันแก๊สและสถานะของแก๊ส (Lin & Cheng, 2000) ซึ่งทำให้นักเรียนมองว่าเรื่องนี้ยากต่อการทำความเข้าใจ เพราะต้องจดจำร่วมกับแก้โจทย์ปัญหาที่ซับซ้อนโดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ (Jantamattukarn et al., 2019)

วิชาเคมีเป็นวิทยาศาสตร์ที่ประกอบด้วย การทดลอง การสังเกตปรากฏการณ์ทางกายภาพ การวัดปริมาณทางกายภาพ การตีความผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลหรือการทดลองเพื่อนำเสนอความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลที่ได้จากการวัด การค้นพบและการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ตลอดจนการใช้กฎเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางกายภาพ (Steiner, 2008) ด้วยรูปแบบของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาจากการจัดกระทำข้อมูลซึ่งเป็นผลจากการทดลอง (Cole & Shepherd, 2019) ด้วยเหตุนี้ครูจำเป็นต้องหาเครื่องมือเพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถมองเห็นภาพแนวคิดที่อยู่ภายใต้การสังเกต การคำนวณหรือการอธิบาย โดยใช้ตัวแทนความคิดเชิงสัญลักษณ์เพื่อถ่ายทอดหรือแสดงความเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาคและระดับจุลภาค มากกว่าให้นักเรียนจดจำตัวแทนความคิดในระดับสัญลักษณ์เพียงอย่างเดียว (Busby, 2018)

การวาดภาพเป็นการทำเครื่องหมายด้วยตนเองเพื่อวัตถุประสงค์บางอย่าง เช่น กราฟ แผนภูมิ ภาพร่าง ไดอะแกรม และอื่นๆ (Fan, 2015) เป็นรูปแบบการมองเห็นอย่างหนึ่งและเป็นเครื่องมือที่แสดงให้เห็นถึงภาพที่เกิดขึ้นในใจหรือสิ่งที่คิดที่มีประโยชน์ในการเข้าถึงแนวคิดของนักเรียน ช่วยยืนยันความสามารถในการแสดงรายละเอียดที่เพิ่มขึ้นจากการสังเกต (Katz, 2017) ภาพวาดที่นักเรียนสร้างขึ้นช่วยให้ครูประเมินแบบจำลองความคิดของนักเรียนได้มากกว่ารูปแบบอื่น (Cheng, 2018) เนื่องจากภาพวาดมักให้ข้อมูลที่สมบูรณ์และรายละเอียดที่แสดงถึงความรู้ความเข้าใจของนักเรียน (Ryan & Stieff, 2019) การวาดภาพยังเป็นหนึ่งในการฝึกปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Practices) ที่สามารถนำไปใช้ในการสร้างสมมติฐาน การออกแบบการทดลอง การสื่อสารผลที่เกิดขึ้นและการตีความหมายข้อมูล เพื่อใช้เป็นหลักฐานเชื่อมโยงไปสู่ความเข้าใจแนวความคิดที่ถูกต้องได้ (Meela & Artdej, 2017) ดังนั้น ในชั้นเรียนเคมีนักเรียนควรเรียนรู้วิธีสื่อสารข้อมูลต่างๆ ด้วยการวาดภาพเพื่อแสดงตัวแทนความคิดของตนเองในเนื้อหาต่างๆ (Ainsworth et al., 2011) เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของสสาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส

นักวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาจึงพยายามสนับสนุนการเรียนรู้ของนักเรียนด้วยการวาดภาพ โดยเน้นการเชื่อมโยงตัวแทนความคิดทั้งสามระดับ (Taber, 2013) ผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Chang et al., 2020; McLure et al., 2020; Park et al., 2020) พบว่า การเรียนรู้แบบกรอบความคิด (Thinking Frames Approach: TFA) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ เหมาะสมกับเนื้อหาที่มีการแสดงด้วยภาพหรือการใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Newberry & Gilbert, 2007) เช่น แก๊สและสมบัติของแก๊ส โดยนักเรียนได้สร้างคำอธิบายด้วยวาจาหรือเป็นลายลักษณ์อักษร ผ่านการสื่อสารด้วยภาพวาดและอภิปรายผลที่เกิดขึ้นเพื่อแสดงความสัมพันธ์กันของตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับ การเรียนรู้แบบกรอบความคิด ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ 1) การตั้งคำถามสำหรับนักเรียนเพื่อคาดคะเนเป็นกลุ่ม 2) การทำกิจกรรมเพื่อสังเกตปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ 3) การแบ่งปันความคิดทั้งชั้น 4) การอธิบายด้วยภาพและ 5) การเขียนคำอธิบายเป็นลายลักษณ์อักษร

จากความสำคัญดังกล่าวผู้วิจัยสนใจศึกษาความสามารถในการวาดภาพเพื่อตีความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด เรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส โดยสนับสนุนให้นักเรียนสังเกตปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ วาดภาพระดับอนุภาคและภาพกราฟ จากนั้นตีความภาพที่ได้แล้วเขียนเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเชื่อมโยงตัวแทนความคิดในระดับมหภาค ระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน

นิยามศัพท์เฉพาะ (Definitions of Specific Terms)

ความสามารถในการวาดภาพเพื่อตีความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ คือ ความสามารถในการสื่อสารความคิดของนักเรียนที่มีต่อปรากฏการณ์ โดยพิจารณาตามองค์ประกอบของกระบวนการวาดภาพเพื่อตีความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ใน 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การวาดภาพระดับอนุภาค ประกอบด้วย การแสดงองค์ประกอบ (รูปร่างหรือจำนวนของอนุภาค), การแสดงตำแหน่ง (พฤติกรรมของอนุภาค เช่น อนุภาคของแก๊สที่กระจายไปทั่วภาชนะ), การแสดงการเคลื่อนไหว (การสั่นสะเทือนของอนุภาค) และการแสดงการมีปฏิสัมพันธ์ (การชนกันของอนุภาคหรือภาชนะ) 2) การวาดภาพกราฟ ประกอบด้วย การกำหนดแกน X และ Y, การระบุคู่อันดับและการลากเส้นแนวโน้มของข้อมูล และ 3) การเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการแปรผัน, รูปแบบแสดงความสัมพันธ์ที่มีค่าคงที่และรูปแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสองสภาวะ

วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อพัฒนาความสามารถในการวาดภาพเพื่อตีความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด เรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส

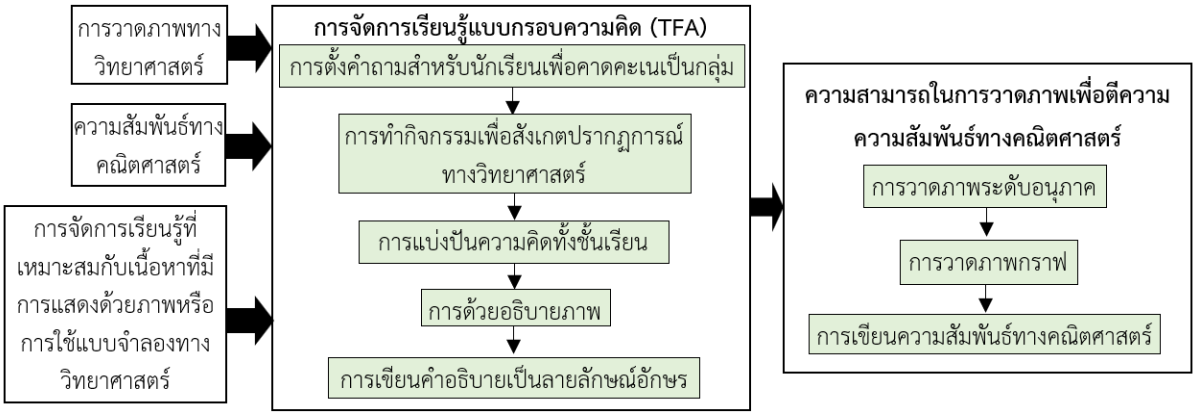
กรอบแนวคิดการวิจัย (Conceptual Framework)

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปกรอบแนวคิดของงานวิจัยได้ดัง Figure 1

Figure 1

Conceptual framework

กรอบแนวคิดการวิจัย



วิธีดำเนินการวิจัย (Methodology)

ผู้วิจัยใช้การวิจัยเชิงปฏิบัติการมีขั้นตอนดำเนินการเป็นวงจร ได้แก่ 1) ขั้นวางแผน 2) ขั้นปฏิบัติ 3) ขั้นสังเกต และ 4) ขั้นสะท้อนผล จำนวน 4 วงจรปฏิบัติการ ตามแนวคิดของ Altrichter et al. (2002)

กลุ่มที่ศึกษา นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 30 คน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 ซึ่งผู้วิจัยรับผิดชอบสอนนักเรียนชั้นนี้ในรายวิชาเคมี นักเรียนกลุ่มนี้ได้รับการจัดการเรียนรู้หัวข้อทฤษฎีจลน์ของแก๊สมาก่อน จากการสังเกตพฤติกรรม

ในชั้นเรียนและศึกษาบริบทก่อนการวิจัย พบว่านักเรียนมีความสามารถในการคำนวณทางคณิตศาสตร์เป็นอย่างดี แต่เมื่อให้นักเรียนวาดภาพประกอบ ภาพวาดเป็นภาพที่สวยงามแสดงจากเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาค ซึ่งยังไม่เชื่อมโยงกับภาพวาดและการให้เหตุผลระดับจุลภาค รวมถึงการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้แบบกรอบแนวคิด เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส จำนวน 4 แผน 4 หัวข้อ ได้แก่ 1) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิของแก๊ส 2) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนโมลของแก๊ส 3) ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิของแก๊ส และ 4) ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของแก๊ส แผนละ 2 ชั่วโมง รวม 8 ชั่วโมง

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย

1. ใบกิจกรรม ใช้วัดและประเมินผลการวาดภาพเพื่อตีความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในวงจรนั้นๆ เช่น ภาพระดับอนุภาคของแก๊สขณะค่อยๆ กดก้านกระบอกฉีดยา, ภาพกราฟแสดงความสัมพันธ์ความดันและปริมาตร และความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับความดันและปริมาตรในรูปแบบต่าง ๆ เป็นต้น

2. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง ใช้สัมภาษณ์นักเรียนเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเชิงลึกประกอบกับข้อมูลที่ได้จากใบกิจกรรม แบบสัมภาษณ์นำไปใช้สัมภาษณ์นักเรียนหลังเรียน โดยพิจารณาคำตอบของนักเรียนที่มีการวาดภาพระดับอนุภาคในใบกิจกรรมที่น่าสนใจแตกต่างไปจากนักเรียนคนอื่นๆ และได้รับการยินยอมจากนักเรียนให้บันทึกเสียงตลอดระยะเวลาที่ทำการสัมภาษณ์

3. วิดีทัศน์บันทึกการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้รับการยินยอมจากนักเรียนในการบันทึกการจัดการเรียนรู้และเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการจัดการเรียนรู้ เช่น พฤติกรรมของนักเรียน บทสนทนาโต้ตอบระหว่างครูและนักเรียน ซึ่งจะถูกนำมาถอดบทสนทนาและตีความ เพื่อให้ทราบข้อมูลเชิงลึกว่าความสามารถในการวาดภาพเพื่อตีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนในแต่ละวงจรเป็นอย่างไร

4. แบบบันทึกการสอน ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยบันทึกรายละเอียดและสิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนการเรียนรู้ โดยระบุถึงความสำเร็จที่เกิดขึ้นและปัญหา เพื่อประเมินเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั้น ควรแก้ไขหรือนำผลไปปรับปรุงการจัดการเรียนรู้อย่างไร หากเกิดปัญหาก็จะนำไปปรับปรุงในวงจรต่อไป

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้รับการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนรายวิชาเคมี ด้านวิทยาศาสตร์และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาจำนวน 3 ท่าน โดยใช้แบบประเมินความเหมาะสมและความถูกต้องของแผนการจัดการเรียนรู้แบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.33 – 5.00 และใบกิจกรรม แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างและแบบบันทึกการสอนใช้ค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67-1.00 ทุกรายการ

การเก็บรวบรวมข้อมูล งานวิจัยนี้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น หมายเลขสำคัญโครงการ HE643167 ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจรจนครบ 4 วงจร ตัวอย่างการจัดการเรียนรู้แบบกรอบแนวคิดในวงจรที่ 4 เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของแก๊ส มีดังนี้

ขั้นที่ 1 การตั้งคำถามสำหรับนักเรียนเพื่อคาดคะเนเป็นกลุ่ม นักเรียนชมวีดิทัศน์ขั้นตอนการปฐมพยาบาลเมื่อสิ่งแปลกปลอมติดคอด้วยวิธีการรัดอัดท้อง แล้วให้นักเรียนแต่ละกลุ่มคาดคะเนคำตอบว่า “เพราะเหตุใดการรัดอัดท้องจึงสามารถทำให้สิ่งแปลกปลอมหลุดออกมาได้” จากนั้นผู้วิจัยใช้การอุปมากระบอกฉีดยากับสถานการณ์การอัดท้อง โดยเปรียบการกดก้านกระบอกฉีดยาเป็นการอัดรัดท้อง

ขั้นที่ 2 การทำกิจกรรมเพื่อสังเกตปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนแต่ละกลุ่มทำการทดลองโดยกดก้านกระบอกฉีดยาที่มีการปิดปลายกระบอกฉีดยาอย่างมิดชิด ให้มีปริมาตร 20 , 25 , 30 , 35 และ 40 mL จากนั้นบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันในกระบอกฉีดยาจากบารอมิเตอร์

ขั้นที่ 3 การแบ่งปันความคิดทั้งชั้น นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอผลการทดลองในชั้นเรียน เพื่อศึกษาว่าผลการทดลองของแต่ละกลุ่มมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร จากนั้นตอบคำถามเพื่อเชื่อมโยงเข้าสู่ประเด็นการวาดภาพระดับอนุภาคของแก๊สในหลอดทดลอง

ขั้นที่ 4 การอธิบายด้วยภาพ นักเรียนจะได้รับคำถามเพื่อการวาดภาพระดับอนุภาคของแก๊สว่า “เมื่อเพิ่มปริมาตรของแก๊สเป็น 20, 25, 30, 35 และ 40 mL ตามลำดับ อนุภาคของแก๊สและกระบอกฉีดยาจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร” ผู้วิจัยกำหนดประเด็นในการวาดภาพระดับอนุภาค เพื่อให้นักเรียนวาดให้ครบ 4 องค์ประกอบดัง Table 1 นักเรียนแต่ละคนจะวาดภาพลงในใบกิจกรรม โดยได้รับกระดาษกราฟ 1 แผ่นในการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของแก๊สจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ผู้วิจัยกำหนดให้แกน X เป็นปริมาตรและแกน Y เป็นความดันของแก๊ส เพื่อให้นักเรียนแสดงความสัมพันธ์ให้ถูกต้อง ครบถ้วนทั้ง 3 องค์ประกอบดัง Table 1 จากนั้นนักเรียนโยงเส้นระหว่างภาพกับข้อมูลคู่อันดับในกราฟให้ตรงกัน

ขั้นที่ 5 การเขียนคำอธิบายเป็นลายลักษณ์อักษร นักเรียนใช้ภาพระดับอนุภาคและภาพกราฟมาสร้างคำอธิบายเป็นลายลักษณ์อักษรเพื่ออธิบายปรากฏการณ์และตอบคำถามที่กำหนดไว้ตอนต้น ขั้นนี้นักเรียนต้องเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์และตัวแปรที่สอดคล้องกับภาพระดับอนุภาคและภาพกราฟ ผู้วิจัยใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนประมวลหลักฐานที่ตนเองค้นพบนั่นคือภาพวาดระดับอนุภาคและภาพกราฟ ครูไล่เรียงลำดับการถามเพื่อให้เกิดการเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ $V \propto \frac{1}{P}$, $PV = K$ และ $P_1V_1 = P_2V_2$ ตามลำดับ

การวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลในใบกิจกรรมแต่ละวงจรนำมาวิเคราะห์ด้วยการอ่านคำตอบของนักเรียน โดยพิจารณากระบวนการการวาดภาพเพื่อตีความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ การวาดภาพระดับอนุภาค การวาดภาพกราฟและการเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อจัดกลุ่มคำตอบออกเป็น 4 ระดับ คือ ดีมาก ดี พอใช้ ปรับปรุง ตามที่ผู้วิจัยได้พัฒนาองค์ประกอบและเกณฑ์การประเมินดัง Table 1 แล้ววิเคราะห์ด้วยสถิติพื้นฐาน คือ ร้อยละและทำการตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้าโดยใช้เครื่องมือมากกว่า 1 ชนิด (method triangulation) ได้แก่ การถอดบทสนทนาจากวิดีทัศน์บันทึกการจัดการเรียนรู้, แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างและแบบบันทึกการสอน

Table 1

Rubric for assessing drawing abilities to interpret the mathematical relationship
เกณฑ์การประเมินความสามารถในการวาดภาพเพื่อตีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

ระดับ	การวาดภาพเพื่อตีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส		
	การวาดภาพระดับอนุภาค	**การวาดภาพกราฟ**	**การเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์**
ดีมาก	วาดภาพแสดงในระดับอนุภาคของแก๊ส ได้ถูกต้องและครบถ้วนทั้ง 4 องค์ประกอบ ได้แก่ การแสดงองค์ประกอบ, การแสดงตำแหน่ง, การแสดงเคลื่อนไหว และการแสดงการมีปฏิสัมพันธ์	วาดภาพกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ถูกต้องและครบถ้วน 3 องค์ประกอบ ได้แก่ การระบุแกน X และ Y, การระบุคู่อันดับ และการลากเส้นแนวโน้ม	เขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์และตัวแปรสอดคล้องกับภาพระดับอนุภาคและภาพกราฟได้ถูกต้องและครบถ้วน 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการแปรผัน (เช่น $V \propto \frac{1}{P}$), รูปแบบแสดงความสัมพันธ์ที่มีค่าคงที่ (เช่น $PV = K$) และรูปแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสองสภาวะ (เช่น $P_1V_1 = P_2V_2$)

ระดับ	การวาดภาพเพื่อตีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส		
	การวาดภาพระดับอนุภาค	การวาดภาพกราฟ	การเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์
ดี	วาดภาพแสดงในระดับอนุภาค ของแก๊ส ได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วน (3 องค์ประกอบ)	วาดภาพกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วน (2 องค์ประกอบ)	เขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์และตัวแปรสอดคล้องกับภาพระดับอนุภาคและภาพกราฟได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วน (2 รูปแบบ)
พอใช้	วาดภาพแสดงในระดับอนุภาค ของแก๊ส ได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วน (2 องค์ประกอบ)	วาดภาพกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วน (1 องค์ประกอบ)	เขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์และตัวแปรสอดคล้องกับภาพระดับอนุภาคและภาพกราฟได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วน (1 รูปแบบ)
ปรับปรุง	วาดภาพแสดงในระดับอนุภาคของแก๊ส ได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วน (1 องค์ประกอบ)	ไม่มีการวาดภาพกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล	ไม่มีการเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์และตัวแปรสอดคล้องกับภาพระดับอนุภาคและภาพกราฟ

ผลการวิจัย (Results)

ความสามารถในการวาดภาพเพื่อตีความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน ผู้วิจัยจะนำเสนอ ผลการวิจัยในแต่ละวงจร ดัง Table 2

Table 2

Percentage of students' drawing abilities to interpret the mathematical relationship of gases and their properties

ร้อยละความสามารถในการวาดภาพเพื่อตีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส

วงจรที่	องค์ประกอบของกระบวนการวาดภาพเพื่อตีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์	ระดับความสามารถ (ร้อยละ)			
		ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
1. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส	การวาดภาพระดับอนุภาค	6.67	16.67	20.00	**56.67**
	การวาดภาพกราฟ	0	36.67	**56.67**	6.67
	การเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์	0	0	30.00	**70.00**
	รวมทุกองค์ประกอบ	2.22	17.78	35.56	**44.45**
2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส	การวาดภาพระดับอนุภาค	3.33	0	36.67	**60.00**
	การวาดภาพกราฟ	0	10.00	**56.67**	33.33
	การเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์	0	0	13.33	**86.67**
	รวมทุกองค์ประกอบ	1.11	3.33	35.56	**60.00**
3. ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของแก๊ส	การวาดภาพระดับอนุภาค	0	0	36.67	**63.33**
	การวาดภาพกราฟ	0	6.67	**50.00**	43.33
	การเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์	0	0	10.00	**90.00**
	รวมทุกองค์ประกอบ	0.00	2.22	32.22	**65.55**

วงจรที่	องค์ประกอบของกระบวนการวาดภาพเพื่อตีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์	ระดับความสามารถ (ร้อยละ)			
		ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
4. ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของแก๊ส	การวาดภาพระดับอนุภาค	0	0	33.33	**66.67**
	การวาดภาพกราฟ	0	3.33	43.33	**53.33**
	การเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์	0	3.33	10.00	**86.67**
	รวมทุกองค์ประกอบ	0.00	2.22	28.89	**68.89**

ตัวหนา หมายถึง ร้อยละสูงสุด

Table 2 พบว่าวงจรที่ 1, 2 และ 3 นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถในการวาดภาพระดับอนุภาคและการเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระดับดีมาก แต่การวาดภาพกราฟอยู่ในระดับดี ส่วนวงจร 4 ความสามารถในการวาดภาพระดับอนุภาค การวาดภาพกราฟและการเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์พัฒนาอยู่ในระดับดีมาก ภาพรวมทั้งสามองค์ประกอบพบว่า ความสามารถระดับดีมากแต่ละวงจรเพิ่มขึ้น ร้อยละ 44.45, 60.00, 65.55 และ 68.89 ตามลำดับ ผู้วิจัยจะยกตัวอย่างในแต่ละองค์ประกอบดังนี้

1. การวาดภาพระดับอนุภาค เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 4 การอธิบายด้วยภาพของการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด ตัวอย่างการวาดภาพในวงจรที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของแก๊ส ผู้วิจัยเริ่มจากให้นักเรียนร่วมกันอธิบายภาพที่จะวาดให้สอดคล้องกับผลการทดลอง พบว่านักเรียนส่วนใหญ่สามารถอธิบายด้วยคำพูดที่แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบของการวาดภาพในระดับอนุภาคได้อย่างถูกต้องทั้ง 4 องค์ประกอบ สอดคล้องกับการถอดบทสนทนาของนักเรียนคนที่ 25 ดังนี้

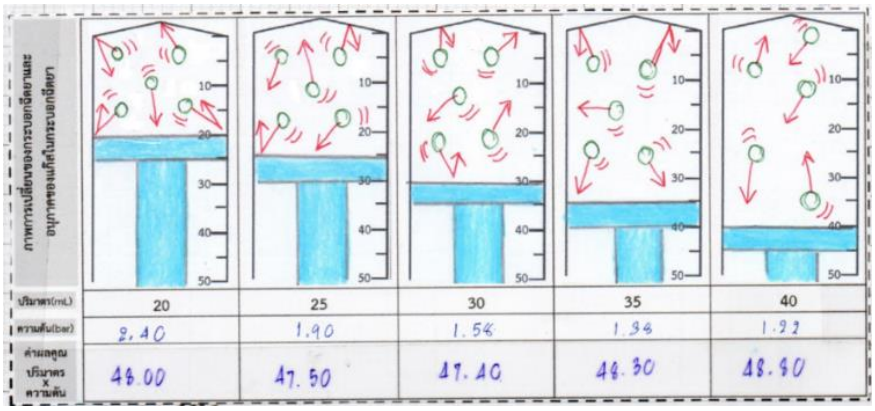
“รูปร่างของแก๊ส 1 อนุภาคจะไม่เปลี่ยนแปลงเพราะยังเป็นแก๊สเดิม มีจำนวนของอนุภาคของแก๊สเท่าเดิมเนื่องจากปิดปลายที่ฉีดยาไว้ (การแสดงองค์ประกอบ) โดยเมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้นอนุภาคของแก๊สจะมีช่องว่างมากขึ้นเพราะดึงก้านมากขึ้น อนุภาคของแก๊สจะกระจายไปทั่ว ๆ (การแสดงตำแหน่ง) อนุภาคของแก๊สมีการสั่นสะเทือนคงที่เนื่องจากไม่มีความร้อน (การแสดงการเคลื่อนไหว) แต่มีโอกาสในการชนผนังกระบอกฉีดยาลดลง (การแสดงการมีปฏิสัมพันธ์)”

(นักเรียนที่ 25, การถอดบทสนทนาวงจรที่ 4)

จากนั้นให้นักเรียนวาดภาพระดับอนุภาคลงในใบกิจกรรมดัง Figure 2 จะพบว่า นักเรียนแสดงองค์ประกอบและตำแหน่งด้วยภาพ จำนวน 5 ภาพ แทนอนุภาคของแก๊สจำนวนเท่ากันทั้ง 5 การทดลอง ที่กระจัดกระจายทั่วทั้งภาชนะ วาด กำกับแต่ละอนุภาค แสดงการเคลื่อนไหวที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง และวาด ในแต่ละอนุภาค แสดงทิศทางการมีปฏิสัมพันธ์ในการชนผนังกระบอกฉีดยา นอกจากนี้พบว่านักเรียนวาด แสดงทิศทางการชนภาชนะที่มีจำนวนครั้งลดลงในช่วงหลัง เนื่องจากเมื่อดึงก้านกระบอกฉีดยาแล้วทำให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้นแก๊สจะมีโอกาสในการชนลดลง สอดคล้องกับแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างหลังเรียนที่ว่า

Figure 2

S25' s particle drawing at very good level of the relationship between pressure and volume of gases
การวาดภาพระดับอนุภาคความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของแก๊สระดับดีมากของนักเรียนคนที่ 25



ผู้วิจัย: ภาพแต่ละส่วนที่นักเรียนวาด สื่อให้เห็นถึงอะไรบ้าง

นักเรียนคนที่ 25 : วงกลมเป็นแก๊สในหลอดฉีดยาที่มีเท่ากัน กระจายไปทั่วๆ วงเล็บคือการสั่นของแก๊สแต่ละแก๊สที่เท่ากัน ลูกศรคือทิศทางที่แก๊สแต่ละแก๊สเคลื่อนที่ ถ้าลูกศรมากแสดงว่าชนผนังมาก

(นักเรียนที่ 25, แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างวงจรที่ 4)

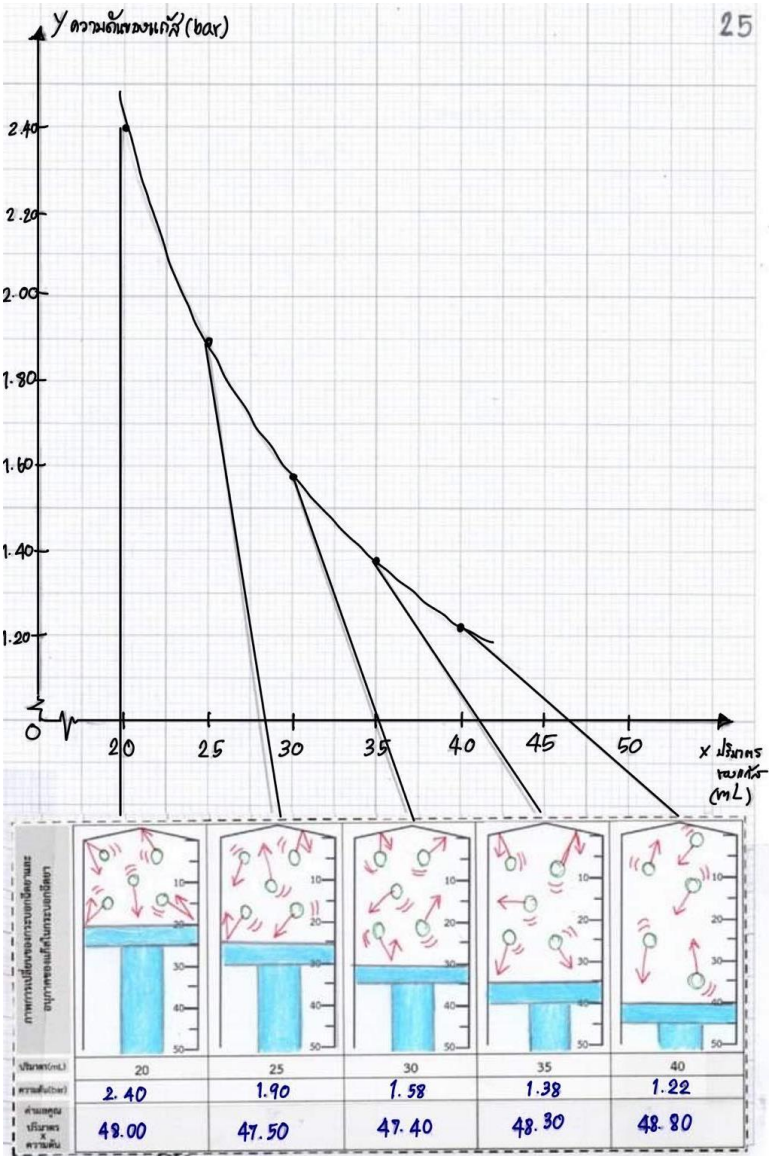
เมื่อพิจารณาภาพในระดับอนุภาค ร่วมกับการถอดบทสนทนาและการสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างแล้วจะเห็นได้ว่า นักเรียนคนที่ 25 สามารถวาดภาพระดับอนุภาค ได้ถูกต้องและครบถ้วนทั้ง 4 องค์ประกอบ จึงจัดภาพในระดับอนุภาคภาพที่ 2 อยู่ในระดับดีมาก

2. การวาดภาพกราฟ เป็นกระบวนการนำการวาดภาพระดับอนุภาคมาเชื่อมโยงกับการวาดภาพกราฟ ผลการศึกษาพบว่าในวงจรที่ 1 2 และ 3 นักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในระดับดี แต่ในวงจรที่ 4 นักเรียนส่วนใหญ่ มีความสามารถอยู่ในระดับดีมาก ดังตัวอย่างที่แสดงให้เห็นในวงจรที่ 4

Figure 3

S25's graph drawing at very good level of the relationship between pressure and volume of gases.

การวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของแก๊สระดับดีมากของนักเรียนคนที่ 25



ข้อมูลคู่อันดับในกราฟได้ถูกต้อง แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถเชื่อมโยงภาพระดับอนุภาคกับภาพกราฟเข้าด้วยกันได้อย่างถูกต้อง โดยพบว่า 1) การระบุแกน X และ Y นักเรียนระบุปริมาตรของแก๊สบนแกน X โดยแบ่ง 2 ช่องกราฟให้มีระยะห่างระหว่างปริมาตรของแก๊สเป็น 5 ลูกบาศก์เซนติเมตรเท่ากันทุกช่วงและมีการย่อกราฟในช่วงต้นของแกน X เช่นเดียวกับแกน Y นักเรียนแบ่ง 2 ช่องกราฟให้มีระยะห่างระหว่างความดันเป็น 0.2 บาร์เท่ากัน และมีการย่อกราฟในช่วงต้นของแกน Y การระบุแกน X และ Y ของนักเรียนที่มีความเหมาะสมนี้ทำให้มาตรส่วนของแกน X และ Y ของกราฟมีความเหมาะสมด้วย 2) การระบุคู่อันดับ แต่ละจุดบนภาพกราฟโดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากภาพระดับอนุภาค นักเรียนสามารถระบุจุดคู่อันดับบนตำแหน่งสอดคล้องกับจำนวนแกน X และ Y ได้เหมาะสมสอดคล้องกับทุกข้อมูลในภาพ 3) การวาดเส้นแนวโน้มพบว่า นักเรียนลากเส้น

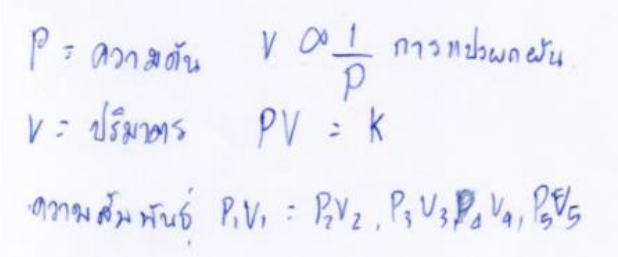
แนวโน้มด้วยเส้นโค้งให้ใกล้เคียงกับจุดทุกจุดมากที่สุด ไม่ใช่แค่ลากเส้นตรงผ่านเพียงบางจุดเท่านั้น ทำให้นักเรียนลากเส้นแสดงแนวโน้มของข้อมูลได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นการวาดภาพกราฟจึงจัดอยู่ในระดับดีมาก

3. การเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่าในทุกวงจรนักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถอยู่ในระดับดีมาก ในวงจรที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของแก๊สนี้ ผู้วิจัยต้องการให้นักเรียนเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ให้ถูกต้องและครบถ้วน 3 รูปแบบ ได้แก่ $V \propto \frac{1}{P}$, PV และ $P_1V_1 = P_2V_2$ ตัวอย่างการเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ดัง Figure 4

Figure 4

S25's mathematical relationship explanations at very good level of the relationship between pressure and volume of gases

การเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความดันและปริมาตรของแก๊สระดับดีมากของนักเรียนคนที่ 25



จาก Figure 4 จะเห็นว่านักเรียนเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ประกอบด้วยเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์และตัวแปร ได้แก่ เครื่องหมายเท่ากับ (=) เครื่องหมายแปรผัน ($\propto$) และเครื่องหมายสัดส่วนในรูปแบบเศษส่วน ($\frac{\square}{\square}$) การกำหนดตัวแปร P (ความดัน), V (ปริมาตร)และ K (ค่าคงที่) การใช้ตัวเลขกำกับตัวแปรเพื่อแสดงสภาวะที่แตกต่างกัน ได้แก่ P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, V_1, V_2, V_3, V_4, และ T_5 จากการทดลอง 5 ครั้ง ดังนั้นความสามารถของนักเรียนจึงจัดอยู่ในระดับดีมาก สอดคล้องกับการถอดบทสนทนาที่ว่า

"ให้ปริมาตรแทนด้วย V ที่มาจากคำว่า Volume และ ความดันแทนด้วย P ที่มาจากคำว่า Pressure เขียนความสัมพันธ์ได้เป็น V อินฟินิตี้ 1 ส่วน P เนื่องจากกราฟมันลง (รูปแบบการแปรผัน) เขียน P คูณ V เท่ากับ k จากผลลัพธ์ที่ได้ (รูปแบบแสดงความสัมพันธ์ที่มีค่าคงที่) และเขียน P_1V_1 เท่ากับ P_2V_2 เท่ากับ P_3V_3 เท่ากับ P_4V_4 เท่ากับ P_5V_5 เนื่องจากผลคูณใกล้กัน (รูปแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสองสภาวะ)"

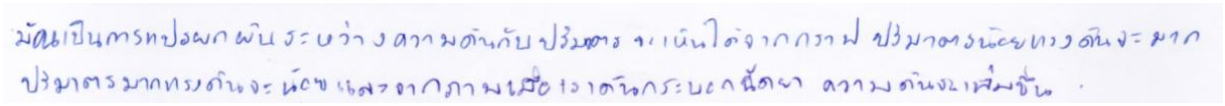
(นักเรียนที่ 25, การถอดบทสนทนาวงจรที่ 4)

นอกจากนี้ จากการถอดบทสนทนา *"กราฟมันลง" "ผลลัพธ์ที่ได้"* และ *"ผลคูณใกล้กัน"*แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีการใช้ประจักษ์พยานที่ปรากฏบน Figure 3 เพื่อตรวจสอบว่านักเรียนเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลใด หลังเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์นักเรียนตอบคำถามว่า *"ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่นักเรียนเขียนขึ้น นักเรียนใช้ข้อมูลจากสิ่งใด"* Figure 5 พบว่า นักเรียนประมวลภาพวาดในระดับอนุภาคและภาพกราฟเพื่อใช้ข้อมูลเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเมื่อพิจารณาการวาดภาพระดับอนุภาค การวาดภาพกราฟและการเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ข้างต้นของนักเรียนคนที่ 25 มีความสอดคล้องกัน

Figure 5

S25's answer in the worksheet.

คำตอบของนักเรียนคนที่ 25 ในใบกิจกรรม



อภิปรายผล (Discussion)

จากผลการศึกษา ผู้วิจัยจะอภิปรายความสามารถในการวาดภาพเพื่อตีความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ตามกระบวนการวาดภาพเพื่อตีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในแต่ละวงจร ดังนี้

การวาดภาพระดับอนุภาค เป็นกระบวนการต่อเนื่องในขั้นตอนที่ 1, 2, 3 และ 4 ในการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด ครูนำเสนอสถานการณ์เพื่อให้นักเรียนแสดงแนวคิดของตนเองแล้วใช้คำถามให้อธิบายผลการสังเกตจากสถานการณ์ จากนั้นจัดกิจกรรมอุปมาวัสดุอุปกรณ์กับสถานการณ์จริง ให้นักเรียนลงมือปฏิบัติโดยเลือกใช้การทดลองที่ไม่ซับซ้อน ใช้กิจกรรมแบ่งปันความคิดทั้งชั้นเพื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบหลักฐานที่ได้จากการทดลอง รวมถึงชี้แจงองค์ประกอบของภาพที่ต้องการก่อนที่นักเรียนจะวาด ทำให้ในทุกวงจรนักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งสามารถสะท้อนการเปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์วิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้นได้ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาการถอดบทสนทนาก่อนการวาดภาพระดับอนุภาค นักเรียนส่วนใหญ่ก็สามารถสื่อให้เห็นการให้เหตุผลกลไกการเปลี่ยนแปลงในระดับอนุภาคที่สอดคล้องกับการทดลองที่นักเรียนได้ปฏิบัติ นั่นคือนักเรียนสามารถอธิบายปรากฏการณ์จากการสังเกต แล้วเปลี่ยนผ่านสิ่งที่สังเกตนั้นสู่การให้เหตุผลระดับอนุภาคด้วยการวาดภาพเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่สังเกตได้ (Schwarz et al., 2009) อย่างไรก็ตาม ยังมีนักเรียนบางส่วนที่มีความสามารถในระดับดีพอใช้ และปรับปรุง โดยนักเรียนวาดภาพระดับอนุภาคของแก๊สได้ไม่ถูกต้องหรือไม่ครบถ้วนทั้ง 4 องค์ประกอบของการวาดภาพระดับอนุภาค ได้แก่ การแสดงองค์ประกอบ, การแสดงตำแหน่ง, การแสดงเคลื่อนไหวและการแสดงการมีปฏิสัมพันธ์ รวมถึงการไม่วาดภาพการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาการวาดภาพเพื่อประเมินผลการเรียนรู้วิชาเคมีของ Ryan and Stieff (2019) ที่พบว่า การวาดภาพปฏิกิริยาเคมีแบบไดนามิก นักเรียนจะวาดภาพแสดงเชิงโครงสร้าง (เช่น องค์ประกอบและตำแหน่งของอนุภาค) ได้ดีกว่าโครงสร้างเชิงการเปลี่ยนแปลง (เช่น การเคลื่อนที่ของอนุภาคและปฏิสัมพันธ์) เมื่อพิจารณาการแสดงองค์ประกอบและการแสดงตำแหน่งจากการวาดภาพและสัมภาษณ์เพิ่มเติม พบว่านักเรียนวาดภาพวงกลมแทนอนุภาคของแก๊ส โดยไม่มีการให้รายละเอียดชนิดของแก๊สเช่นเดียวกับ Cheng and Gilbert (2017) ที่ศึกษาการวาดภาพแบบจำลองของปฏิกิริยาเคมี ซึ่งแสดงการจัดเรียงตัวอย่างง่ายของอนุภาค โดยไม่พิจารณาชนิดของอะตอมในโมเลกุลเรียกว่า แบบจำลองอนุภาค (Particle Model) ซึ่งทำให้มองเห็นการเปลี่ยนแปลงในภาพรวมมากกว่ารายละเอียด

การวาดภาพกราฟ อยู่ในขั้นตอนที่ 4 ของการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด ต่อเนื่องจากการวาดภาพในระดับอนุภาค เป็นกระบวนการที่มีเป้าหมายให้นักเรียนวาดภาพกราฟที่ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ การระบุแกน X และ Y, การระบุคู่อันดับและการลากเส้นแนวโน้ม เพื่อให้นักเรียนสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรบนกราฟได้ พบว่าความสามารถในการวาดภาพกราฟในวงจรที่ 1, 2 และ 3 นักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถอยู่ในระดับดี ส่วนในวงจรที่ 4 มีความสามารถระดับดีมาก การศึกษาพบว่าวงจรที่ 1 และ 2 นักเรียนไม่สามารถกำหนดมาตรส่วนบนแกน X และ Y ได้อย่างเหมาะสม ทำให้การระบุคู่อันดับและการลากเส้นแนวโน้มในภาพกราฟมีความคลาดเคลื่อน กล่าวคือการเลือกมาตราส่วนที่ไม่เหมาะสมในแกน X และ Y จะทำให้รายละเอียดอื่นของภาพกราฟผิดเพี้ยนไปจนไม่อาจจะสื่อความหมายทางคณิตศาสตร์และเคมีได้ (Gültepe, 2016) แม้ว่านักเรียนลดช่วงข้อมูลบนแกน X และ Y ด้วยการใช้เครื่องหมายย่อแกนในวงจรที่ 1 แต่นักเรียนก็ยังใช้เครื่องหมายดังกล่าวไม่เหมาะสม

ผู้วิจัยจึงให้นักเรียนฝึกการกำหนดอัตราส่วนของแกน X และ Y และใช้เครื่องหมายย่อกราฟสำหรับลดช่วงข้อมูลให้เหมาะสมในวงจรที่ 2, 3 และ 4 พบว่านักเรียนสามารถวาดภาพกราฟอยู่ในระดับที่สูงขึ้น สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Delgado and Lucero (2015) พบว่านักเรียนสามารถสร้างกราฟได้จากสิ่งต่อไป คือ 1) การวาดภาพกราฟจากข้อมูลที่ปรากฏ 2) การกำหนดช่วงความกว้างของข้อมูลโดยการทำความเข้าใจในชุดข้อมูลอย่างหลากหลาย เช่น การขยายช่วงข้อมูล การกำหนดอัตราส่วนและการเปลี่ยนหน่วย และ 3) ประสบการณ์เดิมที่เคยได้สร้างกราฟมาก่อน และ 4) ความรู้พื้นฐานเรื่องกราฟ เช่น การย่อกราฟ นอกจากนี้ Secken and Yoruk (2012) กล่าวว่า ภาพกราฟที่มีการกำหนดอัตราส่วนของแกนที่เหมาะสมจะทำให้นักเรียนระบุคู่อันดับและลากเส้นแนวโน้มได้อย่างถูกต้องและคาดคะเนแนวโน้มที่เกิดขึ้นระหว่างสองตัวแปรบนกราฟได้ ดังนั้นการวาดกราฟและความเข้าใจภาพกราฟมีส่วนสำคัญที่ทำให้นักเรียนมีแนวคิดเคมีที่ถูกต้อง

การเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากการวาดภาพระดับอนุภาคและการวาดภาพกราฟ อยู่ในขั้นตอนที่ 5 ของการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด ซึ่งนักเรียนต้องใช้เครื่องหมายทางคณิตศาสตร์และตัวแปรเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์จากภาพระดับอนุภาคและภาพกราฟ พบว่าในทุกวงจรนักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถอยู่ในระดับดีมาก สอดคล้องกับการศึกษาการถ่ายโอนความคิดระหว่างคณิตศาสตร์และเคมีของ Engelbrecht et al. (2005) พบว่า นักเรียนสามารถใช้สัญลักษณ์ตัวอักษร เช่น x และ y แทนจำนวนที่ยังไม่รู้ค่าเพื่อแก้โจทย์คณิตศาสตร์ที่ยุ่งยากได้ในระดับดีมาก ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่นักเรียนเขียนขึ้นเป็นสิ่งที่ได้จากการศึกษาปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ และใช้ข้อมูลที่ได้มาประมวลเป็นหลักฐานเพื่อเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งนักเรียนสามารถเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการแปรผัน (เช่น $V \propto \frac{1}{P}$), รูปแบบแสดงความสัมพันธ์ที่มีค่าคงที่ (เช่น PV = K) และรูปแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสองสภาวะ (เช่น $P_1V_1 = P_2V_2$) โดยการใช้ภาพระดับอนุภาคและภาพกราฟมาอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าว สิ่งที่นักเรียนเขียนจึงเป็นสัญลักษณ์ที่เป็นสื่อกลางในการเชื่อมโยงระหว่างปริมาณทางกายภาพ (เช่น อุณหภูมิ, ความดัน, ปริมาตร, จำนวนโมล เป็นต้น) ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์กับแนวคิดเกี่ยวกับปรากฏการณ์ (Bain et al., 2018) เมื่อพิจารณาการเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ใน 3 วงจรแรก พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถอยู่ในระดับดีมาก โดยมีจำนวนร้อยละเพิ่มขึ้น (70.00, 86.67, 90.00) และในวงจรสุดท้ายถึงแม้นักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถอยู่ในระดับดีมาก แต่มีจำนวนร้อยละลดลง (86.67) อาจเป็นเพราะความสัมพันธ์ใน 3 วงจรแรกมีความสัมพันธ์ในรูปแบบแปรผันตรงระหว่างสองตัวแปรเหมือนกัน ทำให้นักเรียนคุ้นชินกับสัญลักษณ์ต่างๆ ส่วนในวงจรสุดท้ายเป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบแปรผกผันซึ่งต่างจาก 3 วงจรแรก ซึ่งอาจไม่คุ้นชินกับการเขียนสัญลักษณ์ แต่นักเรียนก็อธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วยวาจาได้ ดังผลการถอดบทสนทนาของนักเรียน ซึ่งพบว่านักเรียนพยายามสื่อสารเครื่องหมายแปรผัน ($\propto$) ด้วยคำว่า “อินฟินิตี้” “เลขแปดแนวนอน” และ “แปดนอนครึ่งเดียว” ซึ่งเป็นด้วยภาษาง่ายๆ หรือเรียกตามลักษณะที่นักเรียนพบเจอ อาจเป็นไปได้ว่าการสื่อสารด้วยรูปแบบต่างๆ เช่น การเขียน การใช้วาจาของนักเรียนมีการใช้ภาษาทางวิทยาศาสตร์สลับกับภาษาที่ใช้ในชีวิตประจำวัน (Kulgemeyer & Schecker, 2013)

การจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิดทั้ง 5 ขั้นตอน ในงานวิจัยนี้เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนใช้การวาดภาพที่เหมาะสมกับสถานการณ์ (McLure, 2019, 2022) เพื่อสร้างคำอธิบายด้วยวาจาหรือเป็นลายลักษณ์อักษรได้ (Newberry & Gilbert ,2007) ทำให้สามารถพัฒนาความสามารถในการวาดภาพเพื่อตีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้วย 3 กระบวนการต่อเนื่อง คือ การวาดภาพระดับอนุภาค การวาดภาพกราฟ และการเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ โดยนักเรียนสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของแก๊สและสมบัติของแก๊สแบบเชื่อมโยงกันทั้งระดับมหภาค จุลภาคและสัญลักษณ์ได้ดีมากขึ้น นั่นคือ ตีความภาพวาดระดับอนุภาคและภาพกราฟจากการสังเกตผลการทดลอง รวบรวมหลักฐาน แล้วสร้างข้อสรุปด้วยการเขียนความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ร่วมกับการแสดงความเข้าใจแนวคิดที่ลึกซึ้ง (Lin & Mintzes, 2010) อีกทั้งนักเรียน

ยังแสดงให้เห็นถึงการใช้คณิตศาสตร์ในการอธิบายข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรมเพื่อสื่อสารปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นด้วย

ข้อเสนอแนะ (Recommendations)

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 ผลการวิจัย พบว่า การวาดภาพระดับอนุภาคและภาพกราฟนักเรียนบางส่วนไม่สามารถวาดแสดงให้ครบทุกองค์ประกอบ ดังนั้นควรกำหนดประเด็นก่อนการวาดภาพระดับอนุภาคและภาพกราฟ โดยชี้แจงองค์ประกอบของภาพที่ต้องการให้เกิดอย่างชัดเจน มีการทบทวนองค์ประกอบต่างๆ อย่างสม่ำเสมอ ใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนแสดงจินตนาการในกระบวนการวาดภาพระดับอนุภาคเป็นระยะ ให้เกิดการตรวจสอบความถูกต้องของภาพที่นักเรียนสร้างขึ้น และควรกระตุ้นให้นักเรียนวาดภาพทันทีหลังจากที่นักเรียนร่วมกันอภิปรายสิ่งที่เกิดขึ้นด้วยวาจา

1.2 ผลการวิจัย พบว่า นักเรียนบางส่วนไม่วาดภาพแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือไม่วาดภาพแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงการมีปฏิสัมพันธ์ของอนุภาคของแก๊สที่ต้องมีการชนกันและชนผนังภาชนะด้วยความแรงสูงขึ้นได้ ดังนั้น ควรให้นักเรียนวาดภาพที่ใช้สัญลักษณ์แสดงปริมาณร่วมด้วย เช่น การใช้ลูกศรขนาดเล็กและลูกศรขนาดใหญ่ เพื่อแสดงปริมาณอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เป็นต้น

2. ข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ผลการวิจัย พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถอธิบายด้วยวาจาก่อนการวาดภาพระดับอนุภาคได้ครบถ้วนทั้ง 4 องค์ประกอบ (ได้แก่ การแสดงองค์ประกอบ การแสดงตำแหน่ง การแสดงเคลื่อนไหว และการแสดงการมีปฏิสัมพันธ์) ได้ดีกว่าการวาดภาพ ดังนั้นในขั้นที่ 4 การอธิบายด้วยภาพของการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิด ควรสร้างเครื่องมือให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจแนวคิดกับภาพที่นักเรียนวาดด้วยตนเองหรือตรวจสอบระหว่างเพื่อน เนื่องจากการวาดภาพมีผลเกี่ยวเนื่องกับการตีความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในขั้นต่อไป

2.2 ผลการวิจัย พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิดสามารถพัฒนาความสามารถในการวาดภาพเพื่อตีความความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์มากขึ้น ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปควรนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบกรอบความคิดไปต่อยอดจากงานวิจัยนี้ โดยนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในเนื้อหาที่มีลักษณะต้องการอธิบายแนวคิดวิทยาศาสตร์ด้วยสูตร กฎสมการ หรือความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ เช่น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี กรดเบส สมดุลเคมี เป็นต้น

References

Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science,* 333(6046), 1096–1097.

Bain, K., Rodriguez, J. G., Moon, A., & Towns, M. H. (2018). The characterization of cognitive processes involved in chemical kinetics using a blended processing framework. *Chemistry Education Research and Practice,* 19(2), 617–628.

Busby, B. D. (2018). *Transfer of graphing skills from math to chemistry.* Montana: The University of Montana Missoula, MT.

Cheng, M. M. W., & Gilbert, J. K. (2017). Modelling students' visualization of chemical reaction. *International Journal of Science Education,* 39(9), 1173-1193.

Cole, R., & Shepherd, T. (2019). Making sense of mathematical relationships in physical chemistry. In H.M. Towns, K. Bain and J.M.G. Rodriguez (Eds.). *It's just math: research on students' understanding of chemistry and mathematics* (pp.143-186). Washington, DC: ACS Symposium Series: American Chemical Society.

Delgado, C. & Lucero M.M. (2015). Scale construction for graphing: an investigation of students' resources. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(5), 633-658.

Engelbrecht, J., Harding, A., & Potgieter, M. (2005). Undergraduate students' performance and confidence in procedural and conceptual mathematics. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 36(7), 701–712.

Fan, J. E. (2015). Drawing to learn: how producing graphical representations enhances scientific thinking. *Translational Issues in Psychological Science,* 1(2), 170-181.

Gültepe, N. (2016). Reflections on high school students' graphing skills and their conceptual understanding of drawing chemistry graphs. *Educational Sciences: Theory & Practice,* 16(1), 53–81.

Ho, F. M., Elmgren, M., Rodriguez, J. M. G., Bain, K. R. & Towns, M. H. (2019). Graphs: working with models at the crossroad between chemistry and mathematics. In Towns, H.M., Bain, K. & Rodriguez, J. M. G. (Eds.). *It's just math: research on students' understanding of chemistry and mathematics* (pp. 47-67). Washington, DC: ACS Symposium Series: American Chemical Society.

Jantamattukarn, J., Sirisawad, C., & Thongsorn, P. (2019). A comparison of learning achievement and chemistry problem solving skills on "solid liquid and gas" of matthayomsuksa 4 students using 5E inquiry learning cycle model with Polya's problem solving process and conventional learning management. *Journal of Education and Innovation*, 21(4), 79–92.

Katz, P. (2017). *Drawing for science education.* Netherlands: Sense Publishers.

Kulgemeyer, C. & Schecker, H. (2013). Students explaining science—Assessment of science communication competence. *Research in Science Education,* 43(6), 2235–2256.

Lin, H. & Cheng, H. (2000). The assessment of students and teachers' understanding of gas laws. *Journal of Chemical Education,* 77(2), 235-238.

Lin, S.S. & Mintzes, J.J. (2010). Learning argumentation skills through instruction in socioscientific issue: the effect of ability level. *International Journal of Science and Mathematics Education,* 8(6), 993–1017.

McLure, F. (2019). 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. (2022). The thinking frames approach: Improving high school students' written explanations of phenomena in science. *Research in Science Education*, 52(1), 1–20.

McLure, F., Won, M. & Treagust, D. F. (2020). Even though it might take me a while, in the end, I understand it': a longitudinal case study of interactions between a conceptual change strategy and student motivation, interest and confidence. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research,* 2(10), 1-17.

Meela, P., & Artdej, R. (2017). model based inquiry and scientific explanation: promoting meaning-making in classroom. *Journal of Education and Innovation*, 19(3), 1-15.

Ministry of Education. (2017). *Core Learning Indicators and Contents Science Learning Group (Revised 2017) Based on the Basic Education Core Curriculum 2008.* Bangkok: Agricultural Cooperative Printing House of Thailand.

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.

Park, J., Chang, J., Tang, K. S., Treagust, D. F., & Won, M. (2020). Sequential patterns of students' drawing in constructing scientific explanations: focusing on the interplay among three levels of pictorial representation. *International Journal of Science Education*, 42(5), 1–26.

Ploetzner, P., & Fillisch B. (2017). Not the silver bullet: Learner-generated drawings make it difficult to understand broader spatiotemporal structures in complex animations. *Learning and Instruction*, 47(1), 13-24.

Ryan, S. A. C., & Stief, M. (2019). Drawing for assessing learning outcomes in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 96(9), 1813–1820.

Schuchardt A. M., & Schunn C. D. (2016). Modeling scientific processes with mathematics equations enhances student qualitative conceptual understanding and quantitative problem solving. *Science Education,* 100(2), 290-320.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching,* 46(6), 632-654. https://doi.org/10.1002/tea.20311.

Secken, N., & Yoruk, N. Z. (2012). An analysis of relation between concerns about the use of graphs in chemistry classes and multiple intelligences in terms of different variables. *International Journal of New Trends in Arts, Sports & Science Education,* 1(2), 142-156.

Steiner, E. (2008). *The chemistry maths book* (2nd ed). New York: Oxford University Press.

Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(1), 156-168.