# การศึกษาความสามารถในการนำเสนอตัวแทนความคิดเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

**สิขเรศ อำไพ**

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
E-mail: sikareth.cu@gmail.com

**รับบทความ: 28 มีนาคม 2567 แก้ไขบทความ: 12 สิงหาคม 2567 ยอมรับตีพิมพ์: 9 กันยายน 2567**

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพโดยมุ่งที่จะอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในเชิงลึกเพื่อศึกษาว่านักเรียนมีความสามารถในการแสดงตัวแทนความคิด 3 ระดับ คือระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์เป็นอย่างไร ผ่านการจัดการเรียนรู้ในเนื้อหาของวิชาเคมี เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี โดยที่ไม่ได้จัดกระทำสิ่งทดลองใด ๆ ให้กับนักเรียน กลุ่มเป้าหมายในการศึกษาครั้งนี้กำลังศึกษาในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในกรุงเทพฯ จำนวน 40 คน ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้กระบวนการอุปนัยจากการอ่านข้อมูลในกระดาษนำเสนอตัวแทนความคิด 3 ระดับ ของทุกกลุ่ม ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีอีก 2 ท่าน พิจารณาความคล้ายและความแตกต่างของคำตอบ เพื่อให้ได้แนวทางการสร้างประเด็นข้อค้นพบตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยการจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนคำนึงถึงประเด็นที่พบและจำนวนของประเด็น ซึ่งอาจทำให้ผลงานใน 1 กลุ่ม พบประเด็นมากกว่าหนึ่งประเด็น ได้ข้อสรุปจำนวน 5 ประเด็น คือ 1) การนำเสนอตัวแทนความคิดของปฏิกิริยาในระดับจุลภาคที่แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยา (mechanism) ไม่ครบขั้นตอน 2) การไม่ได้แสดงตัวแทนความคิดของความเคลื่อนไหว (movement) ของอนุภาคสาร ทุก ๆ ขั้นตอนในระดับจุลภาค 3) การแสดงตัวแทนความคิดของการเปลี่ยนของสมดุลในระดับจุลภาคโดยไม่คำนึงถึงจำนวน สัดส่วนของอนุภาคที่จะต้องสัมพันธ์กันระหว่างสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ในระบบสมดุลเคมี 4) การนำเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ในระดับมหภาคโดยใช้การบรรยาย ไม่วาดภาพ หรือวาดภาพแต่แสดงไม่ครบขั้นตอน เลือกตัวแทนสีไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และ 5) การนำเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ในระดับจุลภาคโดยใช้รูปเรขาคณิต ไม่ใช้รูปร่างโมเลกุล ไอออน อนุมูลกลุ่มตามความรู้เดิม

**คำสำคัญ:** ตัวแทนความคิด ความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิด สมดุลเคมี

# The 11th Grade Students' Representation Competency on Chemical Equilibrium

**Sikareth Ampai**

Department of Science and Technology, Kasetsart University Laboratory School, Center for Educational Research and Development, Faculty of Education, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand
E-mail: sikareth.cu@gmail.com

**Received: 28 March 2024 Revised: 12 August 2024 Accepted: 9 September 2024**

**Abstract**

This research is qualitative research that focused on explaining the phenomena that occur in depth among students. The objective was to study how students were able to represent ideas at three levels: macroscopic, sub–microscopic and symbolic levels. Through organizing learning in the content of the chemistry subject on factors affecting chemical equilibrium did not conduct any experiments for the students. The participants of this study was 40 students who studied in Grade 11 at a large school in Bangkok. Data were analyzed using an inductive process from reading the information in the paper, presenting representatives of 3 levels of thinking of all groups, together with two experts in chemistry learning management, considering similarities and differences in the answers. To gain guidelines for creating sample findings related to presenting representative ideas. Grouping of student responded considers the issues found and the number of issues. This may cause more than one issue to be found in the work of one group. A total of 5 points were concluded: 1) Presentation of a representative idea of the reaction at the sub–microscopic level that shows the mechanism of the reaction (mechanism) is incomplete. 2) Not representing the idea of the movement of particles at every step at the sub–microscopic level. 3) Conceptual representation of sub–microscopic level in equilibrium shifts regardless of quantity. The proportion of particles that must be related between reactants and products in a chemical equilibrium system. 4) Presenting a representative idea of a macroscopic level phenomenon using a lecture, not drawing, or drawing a picture but not fully showing the steps. Select a color representative not consistent with empirical data. 5) Presenting a conceptual representation of a microscopic phenomenon using geometric figures. The shapes of molecules, ions, and group radicals were not used according to previous knowledge.

**Keywords:** Representation, Representation competency, Chemical equilibrium

**บทนำ**

หากกล่าวถึงการจัดการเรียนรู้ในวิชาเคมีซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของวิชาวิทยาศาสตร์ แน่นอนว่าเป้าหมายสำคัญอันหนึ่งคือการผลักดันให้นักเรียนได้เป็นผู้รู้เคมี (chemical literacy) (Laugksch, 2000; Roberts, 2007; cited in Gilbert and Treagust, 2009) โดยคุณลักษณะของการเป็นผู้รู้เคมีต้องเป็นผู้ที่เข้าใจการประยุกต์ใช้เคมีเข้ากับชีวิตประจำวันโดยตรง ปรับตัวเข้ากับโลกยุคใหม่ที่ใช้ความรู้โดยเฉพาะทางเคมีในการอธิบายสิ่งต่าง ๆ รอบตัว จึงต้องเป็นพลเมืองที่รอบรู้มากขึ้น สามารถที่จะเข้าใจข้อมูลหรือการโต้แย้ง ถกเถียงในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับเคมีตามสื่อต่าง ๆ มองเห็นคุณประโยชน์และบทบาทของสารเคมีที่ผลิตขึ้นมาใช้ รับรู้ว่าวิชาเคมีมีวิธีเฉพาะที่แตกต่างจากศาสตร์อื่นของวิทยาศาสตร์ในการพิจารณาสิ่งต่าง ๆ ในธรรมชาติและเข้าใจธรรมชาติของเทคโนโลยีทางเคมี (DeBoer, 2000) ซึ่งองค์ความรู้ของวิชาเคมีที่เป็นหัวใจสำคัญ ได้แก่ สสารทุกชนิดบนโลกประกอบมาจากอนุภาคขนาดเล็ก ธาตุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกัน สารประกอบเกิดจากธาตุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมารวมกันโดยส่วนใหญ่เกิดจากปรากฏการณ์ที่มีอิเล็กตรอนมาเกี่ยวข้อง รูปร่างของสารประกอบมีลักษณะแตกต่างกันออกไปโดยสามารถนำไปเชื่อมโยงกับรูปเรขาคณิตต่าง ๆ ได้ พลังงานและรูปร่างของสารมีผลต่อความว่องไวของปฏิกิริยา ผู้เรียนจะเข้าใจแนวคิดของวิชาเคมีเหล่านี้ผ่านสิ่งที่เรียกว่า ตัวแทนความคิด (representation) ของสิ่งดังกล่าวและปรากฏการณ์ที่มีความสัมพันธ์กัน (Gilbert and Treagust, 2009) โดยตัวแทนความคิดถือเป็นการรับรู้อย่างหนึ่งซึ่งอยู่ภายในใจของบุคคล สร้างขึ้นเพื่อสื่อสารแนวคิด พยากรณ์และแก้ไขปัญหา (Kozma, 2003) และถือเป็นการเรียนรู้และวิธีสื่อสารของนักเคมีสากล (Kozma *et al*., 2005) ซึ่งครูควรจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนได้เดินตามรอยเช่นเดียวกับนักเคมี โดยรูปแบบตัวแทนความคิดในศาสตร์ทางเคมีแบ่งออกตามระดับได้ 3 ระดับ คือ ระดับมหภาค (macroscopic level) หมายถึงตัวแทนความคิดที่ใช้แทนปรากฏการณ์ที่มนุษย์ใช้ประสาทสัมผัสต่าง ๆ เข้าไปมีส่วนร่วมประสบการณ์ได้ ระดับจุลภาค (microscopic level) หมายถึงตัวแทนความคิดที่มีลักษณะเป็นแบบจำลองที่ใช้สนับสนุนปรากฏการณ์ระดับมหภาคอย่างเป็นเหตุเป็นผล และระดับสัญลักษณ์ (symbolic level) หมายถึงตัวแทนความคิดที่มีการจัดสร้างตัวแทนขึ้นมาทดแทนอะตอม หรือกลุ่มอะตอมพร้อมด้วยองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เป็นคุณสมบัติอะตอมเหล่านั้น ได้แก่ ประจุไฟฟ้า เลขห้อยระบุจำนวนอะตอม สถานะของสาร ซึ่งนำมารวบรวมสร้างขึ้นเป็นสมการเคมี ตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับ มีความสัมพันธ์กันไม่สามารถแยกออกจากกันได้ (Gilbert and Treagust, 2009)

ความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดทางเคมีเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่ควรได้รับการศึกษาในตัวนักเรียนอย่างยิ่ง เพราะอาจมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนแฝงซ่อนอยู่ในการจัดการเรียนรู้ของครูโดยไม่ได้ตั้งใจ ดังจะเห็นได้จากการศึกษาของ Brook *et al*. (2005; cited in Gilbert and Treagust, 2009) ที่พบว่านักเรียนจินตนาการว่าอนุภาคอะตอมของสสารหลอมเหลวไปด้วยเมื่อสสารเกิดการหลอมเหลว หรือผลการศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างอะตอมในนิสิตมหาวิทยาลัยปี 1 ของ Keogh (cited in Gilbert and Treagust, 2009) พบว่านิสิตมีความเข้าใจคลาด-

เคลื่อนว่าเครื่องหมาย ⇌ ระหว่างวงเบนซีนสองรูปที่แสดงความหมายของการเคลื่อนที่ไปมาของอิเล็กตรอนในลักษณะเรโซแนนซ์ จึงทำให้สามารถวาดรูปได้มากกว่า 1 รูปแบบ ใช้แทนการพลิกขยับของภาพ ไม่มีความเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ของอิเล็กตรอน จะเห็นได้ว่าความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดที่มีระดับต่ำ นั่นคือทั้งไม่เข้าใจแนวคิดของตัวแทนความคิดและแนวคิดในการสร้างตัวแทนความคิด นอกจากนี้จะเห็นว่าความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเหล่านี้จะแตกต่างไปตามเนื้อหาอีกด้วย การทำเข้าใจความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดกับเนื้อหาเฉพาะจึงมีความสำคัญไม่แพ้กัน หนึ่งในเนื้อหาที่น่าสนใจศึกษาคือสมดุลเคมี เพราะนอกจากจะมีเนื้อหาในเชิงทฤษฎี เช่น อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับในระบบปิดจะเข้าสู่ภาวะสมดุล ก็ยังมีเนื้อหาสมดุลเคมีที่เกี่ยวข้องอย่างลึกซึ้งในชีวิตประจำวัน เช่น ระบบสมดุลของ $O_2$ กับ $HbO_2$ อีกทั้งมีความซับซ้อนของปรากฏการณ์ที่ถูกปัจจัยภายนอกทำให้ระบบเกิดการเปลี่ยนแปลง เป็นความท้าทายความสามารถอย่างยิ่ง

ด้วยเหตุผลทั้งหมดนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาความสามารถในการนำเสนอตัวแทนความคิดเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งมีการใช้ตัวแทน 3 ระดับ เพื่อให้ได้ข้อมูลสารสนเทศสำหรับในการพิจารณาสภาพความสามารถในการนำเสนอตัวแทนความคิดและใช้ในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่จะพัฒนานักเรียนต่อไป

**วัตถุประสงค์**

เพื่อศึกษาความสามารถในการนำเสนอตัวแทนความคิดเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

**วิธีดำเนินการวิจัย**

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ (Creswell, 2016) ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยมุ่งที่จะอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระดับเชิงลึกเพื่อศึกษาว่านักเรียนมีความสามารถในการแสดงตัวแทนความคิด 3 ระดับ คือ มหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์เป็นอย่างไร ผ่านการจัดการเรียนรู้ในเนื้อหาของวิชาเคมี เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี โดยการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยไม่ได้จัดกระทำสิ่งทดลองใด ๆ ให้กับนักเรียน

*กลุ่มที่ใช้ในการศึกษา*: นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ จำนวน 33 คน โดยได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง เป็นนักเรียนที่ผู้วิจัยเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดการเรียนรู้ ภาคต้น ปีการศึกษา 2556 ซึ่งนักเรียนเหล่านี้มีระดับความสามารถในการเรียนรู้คละกันด้วยระบบการจัดนักเรียนเข้ากลุ่มแผนการเรียนของโรงเรียน ทุกคนให้ความร่วมมือและยินดีเข้าร่วมการวิจัย โดยผู้วิจัยได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองของนักเรียนในการให้นักเรียนเข้ามีส่วนร่วมในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งนักเรียนกำลังเรียนเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีที่เริ่มต้นหลังจากนักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหาเกี่ยวกับการเกิดสมดุลเคมีเสร็จสิ้น

*การเก็บรวบรวมข้อมูล*: การวิจัยครั้งนี้เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้ใบงานเป็นหลัก ซึ่งมีคำสั่งให้นักเรียนแบ่งกลุ่มทำการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี อันได้แก่ ความเข้มข้น อุณหภูมิ ความดัน โดยนักเรียนจะได้รับสารที่อยู่ในสมดุลแตกต่างกันตามความเหมาะสมของแต่ละปัจจัย

เช่น ปัจจัยความเข้มข้นจะใช้สารละลายที่มี $Fe^{3+}$ $SCN^-$ และ $[FeSCN]^{2+}$ ซึ่งอยู่ในสมดุลทดลองในหลอดทดลอง ปัจจัยอุณหภูมิและความดันจะใช้แก๊ส $NO_2$ และ $N_2O_4$ ที่อยู่ในสมดุลเก็บอยู่ในกระบอกฉีดยาขนาดใหญ่ โดยนักเรียนต้องสังเกตและบันทึกข้อมูลสมดุลเริ่มต้น แล้วจึงเริ่มทดลองปรับเปลี่ยนปัจจัยที่ได้รับมอบหมายตามแต่ละกลุ่มจากนั้นจึงบันทึกผลการสังเกตการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลใหม่ เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองนักเรียนแต่ละกลุ่มจะได้รับการแจกกระดาษขนาด A1 เพื่อเตรียมการนำเสนอการอธิบายปรากฏการณ์ที่สังเกตได้จากการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีผ่านตัวแทนความคิด 3 ระดับ คือ มหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์และนำเสนอ โดยใช้เวลาในการเรียนรู้ทั้งสิ้น 3 คาบเรียน (150 นาที)

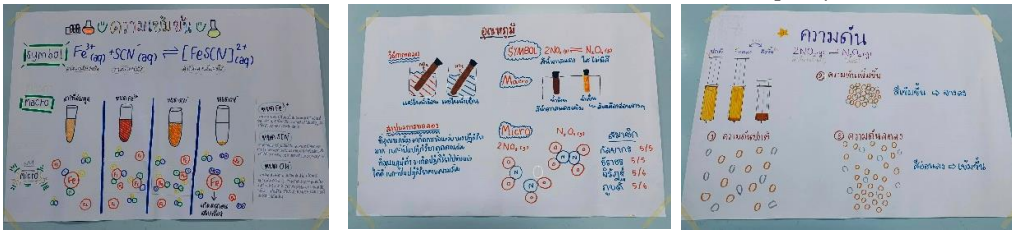
*การวิเคราะห์ข้อมูล*: วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้กระบวนการอุปนัย (analytic induction; Chantavanich, 2022) โดยเริ่มจากการอ่านข้อมูลในกระดาษนำเสนอตัวแทนความคิด 3 ระดับของทุกกลุ่มร่วมกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีอีก 2 ท่าน พิจารณาความเหมือนและความแตกต่างของคำตอบ เพื่อให้ได้แนวทางการสร้างประเด็นข้อค้นพบตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการนำเสนอตัวแทนความคิด จากนั้นผู้วิจัยนำแนวทางที่ได้ไปดำเนินการอ่านคำตอบพิจารณาความเหมือนและความแตกต่างด้วยตนเองจนกระทั่งได้ประเด็นต่าง ๆ จำนวน 18 ประเด็น โดยการจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนจะคำนึงถึงประเด็นที่พบและจำนวนของประเด็น ซึ่งอาจทำผลงานใน 1 กลุ่ม อาจพบประเด็นมากกว่าหนึ่งประเด็น งานวิจัยครั้งนี้จึงไม่ได้เสนอผลในรูปของจำนวนนักเรียน แต่นำเสนอในรูปจำนวนกลุ่มที่แสดงคำตอบและร้อยละของจำนวนกลุ่มที่แสดงคำตอบ จากนั้นนำประเด็นข้อค้นพบทั้งหมดไปพิจารณาร่วมกับผู้เชี่ยวชาญอีกครั้งเพื่อความเที่ยงตรงของข้อมูล ซึ่งรับคำชี้แนะความเหมือนและความแตกต่างของประเด็นที่ได้มาและผู้วิจัยได้นำคำแนะนำไปดำเนินการจัดชุดประเด็นอีกครั้งจนได้ข้อสรุปจำนวน 5 ประเด็น

**ผลการวิจัย**

ผลการวิจัยพบปัญหาการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ วิชาเคมีในเนื้อเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีของนักเรียนเป็นรายกลุ่มผ่านกิจกรรมการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ หลังทดลองปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้น ความดัน และอุณหภูมิ โดยความเข้มข้นทดลองกับสารที่เป็นสารละลาย ในขณะที่ความดันและอุณหภูมิทดลองกับสารที่เป็นแก๊ส ซึ่งสามารถแบ่งผลการศึกษาเป็นประเด็นดังนี้

ประเด็นที่หนึ่ง คือการนำเสนอตัวแทนความคิดของปฏิกิริยาในระดับจุลภาคที่แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยา (mechanism) ไม่ครบขั้นตอน ซึ่งในการทดลองนี้นักเรียนต้องสังเกตสมดุลเคมีเริ่มต้น และผลจากการรบกวนสมดุลเคมี จากนั้นนักเรียนจะนำเสนอข้อมูลระดับมหภาคที่เป็นผลจากการสังเกตโดยใช้การวาดภาพเสมือนจริง เช่น สีของสารละลายที่อยู่ในสมดุลเริ่มต้นในหลอดทดลอง สีของสารละลายที่อยู่ในสมดุลใหม่หลังจากการเปลี่ยนความเข้มข้น สีที่เข้มขึ้นและจางลงของแก๊สผสมระหว่าง $NO_2$ กับ $N_2O_4$ ที่สมดุลเริ่มต้น และที่สมดุลใหม่หลังรบกวนสมดุลด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความดัน ในส่วนของ

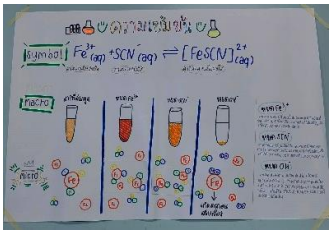
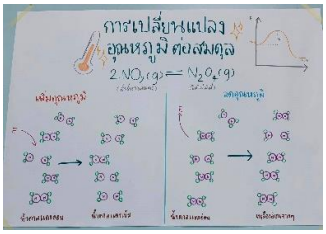
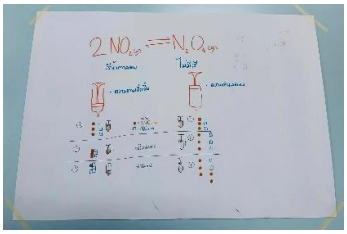
ระดับจุลภาคนักเรียนนำเสนอตัวแทนความคิดในรูปของรูปร่างโมเลกุลของสาร อนุมูลกลุ่ม ไอออน และรูปเรขาคณิต ซึ่งใช้จำนวนอนุภาคมาก น้อย แทนความเข้มและจางของสีสารในขั้นสมดุลเริ่มต้นและขั้นสมดุลใหม่หลังรบกวนสมดุล อย่างไรก็ตามในกลุ่มนี้พบว่า นักเรียนไม่ได้แสดงตัวแทนความคิดในขั้นที่เป็นการเข้าทำปฏิกิริยา ซึ่งเป็นขั้นระหว่างสมดุลเริ่มต้นกับขั้นสมดุลใหม่ อันแสดงถึงกลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารในระดับอนุภาคที่จะเข้าชนกันตามทฤษฎี การชนเพื่อเกิดปฏิกิริยาและเข้าสู่สมดุลใหม่ กลุ่มที่แสดงตัวแทนความคิดเป็นไปตามประเด็นนี้คิดเป็นร้อยละ 100 (หรือทุกกลุ่ม) ตัวอย่างแสดงดังในภาพที่ 1 นักเรียนกลุ่ม C03 แสดงตัวแทนความ คิดในรูปของอนุมูลกลุ่ม ไอออน นักเรียนกลุ่ม E05 แสดงตัวแทนความคิดในรูปของรูปร่างโมเลกุล และนักเรียนกลุ่ม I11 แสดงตัวแทนความคิดในรูปของรูปเรขาคณิต ทุกกลุ่มล้วนใช้ตัวแทนเหล่านี้เพื่อแทนความเข้มจางสีของสารในขั้นสมดุลเริ่มต้นกับขั้นสมดุลใหม่ว่าควรมีปริมาณเท่าไรจึงจะสอดคล้องกับสีของผลการทดลองที่นักเรียนสังเกตมาซึ่งเป็นระดับมหภาค แต่ขาดการแสดงให้เห็นว่าโมเลกุล อนุมูลกลุ่ม ไอออน และรูปเรขาคณิตเหล่านี้เข้าทำปฏิกิริยาก่อนที่จะเข้าสู่สมดุลใหม่อย่างไร



C03 E05 I11

**ภาพที่ 1** ตัวอย่างของคำตอบของนักเรียน C03 E05 และ I11
**ที่มา:** นักเรียนกลุ่มที่ศึกษา, 2023

ประเด็นที่สอง คือการไม่ได้แสดงตัวแทนความคิดของความเคลื่อนไหว (movement) ของอนุภาคสาร ทุก ๆ ขั้นตอนในระดับจุลภาค โดยในการเรียนรู้เนื้อหาเรื่องนี้เป็นเรื่องสมดุลเคมีซึ่งมีลักษณะเป็นสมดุลไดนามิก นั่นคือมีการเคลื่อนที่เคลื่อนไหวของอนุภาคสารตลอดเวลา ทำให้มีการชนภาชนะและชนกันเองจนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าและย้อนกลับด้วยอัตราที่เท่ากันตลอดเวลา ซึ่งนักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอตัวแทนความคิดในรูปของรูปร่างโมเลกุลของสาร อนุมูลกลุ่มไอออนและรูปเรขาคณิตที่มีลักษณะอยู่นิ่งแตกต่างกันออกไป กลุ่มที่แสดงตัวแทนความคิดเป็นไปตามประเด็นนี้คิดเป็นร้อยละ 100 (หรือทุกกลุ่ม) โดยตัวอย่างดังในภาพที่ 2 นักเรียนกลุ่ม C03 D04 และ J12 นำเสนอตัวแทนความคิดระดับจุลภาคแทนความเข้มจางของสารละลายในขั้นสมดุลเริ่มต้นและขั้นสมดุลใหม่ โดยนักเรียนกลุ่ม C03 นำเสนอตัวแทนความคิดในรูปของอนุมูลกลุ่ม ไอออน ส่วนนักเรียนกลุ่ม D04 นำเสนอตัวแทนความคิดในรูปของรูปร่างโมเลกุล ในขณะที่นักเรียนกลุ่ม J12 นำเสนอตัวแทนความคิดในรูปของรูปเรขาคณิต แต่สิ่งที่นักเรียนทุกกลุ่มมีปัญหาเหมือนกันคือไม่ได้นำเสนอตัวแทนความคิดของของความเคลื่อนไหวของอนุภาคสารไว้เลยทำให้ภาพตัวแทนความคิดในระดับจุลภาคที่นักเรียนได้นำเสนอนี้ไม่สะท้อนความเป็นพลวัตรของปรากฏการณ์ตามที่ควรจะเป็น

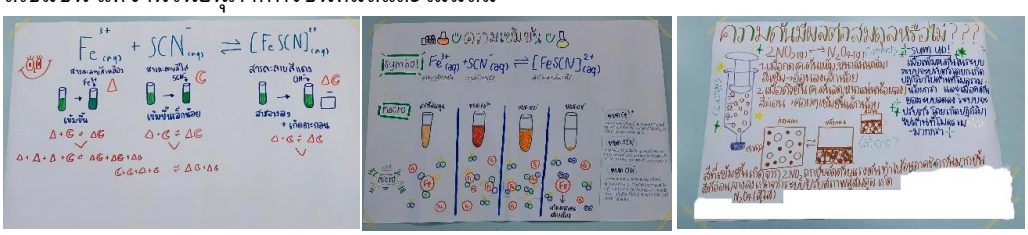
C03 D04 J12

**ภาพที่ 2** ตัวอย่างของคำตอบของนักเรียน C03 D04 และ J12

**ที่มา:** นักเรียนกลุ่มที่ศึกษา, 2023

ประเด็นที่สาม คือการแสดงตัวแทนความคิดของการเปลี่ยนของสมดุลในระดับจุลภาคโดยไม่คำนึงถึงจำนวน สัดส่วนของอนุภาคที่ต้องสัมพันธ์กันระหว่างสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ในระบบสมดุลเคมี จากปฏิกิริยาสมดุลเคมีที่อนุภาคของสารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นมีความสัมพันธ์กันในแง่ที่สารแต่ละฝั่งสามารถทำปฏิกิริยากลับไปกลับมาซึ่งกันและกันได้อยู่ตลอดเวลาภายในระบบที่เป็นระบบปิด กล่าวคือ สารตั้งต้นชนกันและเกิดปฏิกิริยาไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ ในขณะเดียวกันสารผลิตภัณฑ์ก็สามารถชนกันและเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปเป็นสารตั้งต้นได้ เหตุนี้ทำให้การเพิ่มลดจำนวนอนุภาคของทั้งสองฝั่งมีความเชื่อมโยงกันหากมีการรบกวนสมดุลเคมี ในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับจุลภาคนักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอในรูปของอนุมูลกลุ่มไอออน และรูปเรขาคณิต ซึ่งใช้จำนวนอนุภาคมาก น้อย แทนความเข้มและจางของสีสารในขั้นสมดุลเริ่มต้นและขั้นสมดุลใหม่หลังรบกวนสมดุลดังที่กล่าวไว้ในประเด็นที่หนึ่ง แต่พบว่าสัดส่วนจำนวนของอนุภาคที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงหลังจากรบกวนสมดุลไม่สอดคล้องกับจำนวนสารที่มีอยู่แต่เดิมที่สมดุลเริ่มต้น กลุ่มที่แสดงตัวแทนความคิดเป็นไปตามประเด็นนี้คิดเป็นร้อยละ 70 (7 จาก 10 กลุ่ม) ตัวอย่างดังในภาพที่ 3 โดยที่นักเรียนกลุ่ม B02 แสดงตัวแทนความคิดระดับจุลภาคในรูปเรขาคณิตซึ่งใช้จำนวนอนุภาคแทนความเข้มจางของสีสารก่อนสมดุลของปฏิกิริยา $Fe^{3+}+SCN^{-} \rightleftharpoons [FeSCN]^{2+}$ และเมื่อมีการรบกวนสมดุลโดยการเติมสารตั้งต้น $Fe^{3+}$ ไปจำนวนหนึ่ง $Fe^{3+}$ จะเข้าทำปฏิกิริยากับ $SCN^{-}$ เปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ $[FeSCN]^{2+}$ มากขึ้นทำให้เห็นสีสารผลิตภัณฑ์ที่เข้มขึ้น แต่หากสารเริ่มต้นมี $SCN^{-}$ เพียงแค่ 1 อนุภาค การที่ $Fe^{3+}$ จะไปทำให้ปฏิกิริยาแล้วได้สารผลิตภัณฑ์ที่มากตามภาพจึงขาดความสมเหตุสมผลในการนำเสนอตัวแทนความคิด ซึ่งปัญหานี้เป็นปัญหาเดียวกับนักเรียนกลุ่ม C03 เพียงแต่นักเรียนกลุ่มนี้ใช้แทนความคิดในรูปของอนุมูลกลุ่มและไอออน กล่าวคือมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนโมเลกุลโดยไม่คำนึงถึงปริมาณสารเริ่มต้นในระบบสมดุลเริ่มต้นที่มีอยู่เดิม ส่วนนักเรียนกลุ่ม H09 แสดงตัวแทนความคิดระดับจุลภาคในรูปเรขาคณิตแทนความเข้มจางในทุกการเปลี่ยนแปลงระดับมหภาค แต่พบว่าเพียงแค่ขั้นตอนที่มีการเปลี่ยนแปลงในเชิงกายภาพนักเรียนแสดงภาพแทนความคิดที่มีสัดส่วนจำนวนของอนุภาคสารไม่สมเหตุสมผล กล่าวคือ ระบบนี้ประกอบไปด้วยอนุภาคสาร 2 ชนิด คือชนิดมีสีและไม่มีสี เมื่อมีการรบกวนสมดุลโดยการเพิ่มความดัน ปริมาตรภาชนะลด ขั้นแรกสีเข้มขึ้นอันเนื่องมาจาก

โมเลกุลของสารที่มีสีมาอยู่ชิดกัน จึงทำให้มองเห็นภาพรวมสีเข้มขึ้น ซึ่งขั้นนี้เป็นขั้นของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพไม่ใช่ทางเคมี จำนวนอนุภาคในระบบควรแสดงด้วยจำนวนเท่าเดิมแต่ระยะห่างของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไป แต่สิ่งที่นักเรียนกลุ่ม H09 แสดงพบว่าจำนวนอนุภาคชิดกันสีเข้มขึ้น แต่จำนวนอนุภาคทั้งชนิดมีสีและไม่มีสีมีจำนวนเปลี่ยนแปลงไป รวมไปถึงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเพื่อปรับตัวเข้าสู่สมดุลการเพิ่มลดจำนวนของอนุภาคสารที่มีสีและไม่มีสีก็เปลี่ยนแปลงไปโดยไม่คำนึงถึงสัดส่วนของอนุภาคที่เปลี่ยนไปเป็นอีกสารหนึ่งที่ต้องแสดงจำนวนที่มีความสัมพันธ์กัน



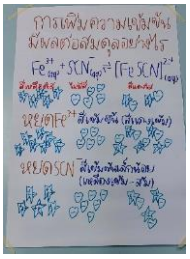
B02 C03 H09

**ภาพที่ 3** ตัวอย่างของคำตอบของนักเรียน B02 C03 และ H09

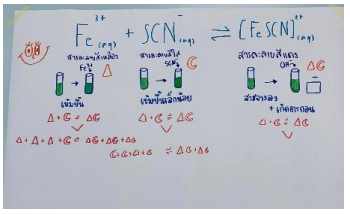
**ที่มา:** นักเรียนกลุ่มที่ศึกษา, 2023

ประเด็นที่สี่คือการนำเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ในระดับมหภาคโดยใช้การบรรยาย ไม่วาดภาพ หรือวาดภาพแต่แสดงไม่ครบขั้นตอน เลือกตัวแทนสีไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ซึ่งในการเรียนรู้ครั้งนี้นักเรียนทดลองรบกวนระบบสมดุลเคมีด้วยปัจจัยต่าง ๆ คือ ความเข้มข้น อุณหภูมิ และความดัน ซึ่งการสังเกตนักเรียนต้องสังเกตตั้งแต่สมดุลเคมีเริ่มต้นที่ยังไม่มีการรบกวนใด ๆ ทั้งสิ้น และเมื่อรบกวนสมดุลจนกระทั่งระบบเข้าสู่สมดุลใหม่อีกครั้ง แล้วจึงนำผลการสังเกตที่ได้มานำเสนอโดยใช้ตัวแทนความคิดต่าง ๆ เพื่อนำเสนอปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระดับมหภาค จุลภาคและสัญลักษณ์ โดยลักษณะการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับมหภาคมักจะนำเสนอในทุก ๆ ขั้นตอนจากผลที่ได้จากการสังเกต เช่น ขั้นสมดุลเริ่มต้นและขั้นสมดุลใหม่ หรือบางครั้งอาจมีขั้นขณะรบกวนสมดุลเป็นต้น สิ่งเหล่านี้มักใช้การวาดภาพที่มีความเสมือนจริงทั้งรูปลักษณ์และสีสัน (ถ้ามี) แต่เมื่อพิจารณาผลงานของนักเรียนจะพบปัญหาในการนำเสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาค นั่นคือ การนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับมหภาคโดยใช้การบรรยายแทนรูปภาพ แม้ว่าบางกลุ่มจะนำเสนอเป็นภาพแต่ขาดความเสมือนจริงจากข้อมูลเชิงประจักษ์ หรือบางกลุ่มขาดความสมบูรณ์ในแต่ละขั้นตอนของผลที่ได้จากการสังเกต กลุ่มที่แสดงตัวแทนความคิดเป็นไปตามประเด็นนี้คิดเป็นร้อยละ 70 (7 จาก 10 กลุ่ม) ตัวอย่างแสดงในภาพที่ 4 นักเรียนกลุ่ม A01 นำเสนอผลการทดลองระดับมหภาคในรูปของการบรรยายซึ่งเป็นตัวแทนที่เป็นนามธรรม สื่อสารให้กับผู้รับสารได้ช้ากว่าภาพ และทำให้รูปธรรมของการทดลอง ภาชนะบรรจุถูกลบภาพออกจากผู้รับสาร สำหรับนักเรียนกลุ่ม B02 สามารถนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับมหภาคอย่างเป็นรูปธรรม แต่การเลือกใช้สีกลับไม่ตรงตามข้อมูลเชิงประ-

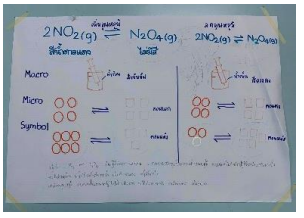
จักษ์ที่ได้สังเกตมาจากการทดลอง กล่าวคือควรจะให้สีเหลืองกับสีแดงในหลอดทดลองเพราะเป็นสีที่เกิดขึ้นจริงจากการทดลอง แต่ในภาพนักเรียนกลุ่มนี้กลับใช้สีเขียวอ่อนและเข้มแทน จากนั้นใช้การบรรยายสีและปรากฏการณ์ที่สังเกตเห็น ซึ่งก็ไม่ตรงกับภาพที่นักเรียนกลุ่มนี้นำเสนอ ส่วนของนักเรียนกลุ่ม F06 พบว่าสามารถนำเสนอตัวแทนความคิดระดับมหภาคด้วยรูปภาพได้เช่นกัน แต่เป็นการทดแทนภาพเพื่อสื่อถึงว่าเหตุการณ์การทำการทดลองว่าทำอย่างไร แต่ไม่ได้แสดงผลการทดลองออกมา ยังคงใช้การเขียนบรรยายตามข้อมูลเชิงประจักษ์ ทำให้ขาดรูปธรรมของผลการสังเกตก่อนการทดลองและหลังการทดลอง เช่น จากการทดลองของนักเรียนกลุ่ม F06 คือการนำสารในระบบสมดุลไปทดลองเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงกับต่ำ นักเรียนควรนำเสนอตัวแทนความคิดรูปภาพประกอบสีก่อนเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และรูปภาพประกอบสีหลังนำไปอยู่ในอุณหภูมิสูงกับต่ำ จะทำให้การอธิบายระดับจุลภาคมีความหมาย เข้าใจง่าย และสอดคล้องสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ได้จากการสังเกต



A01



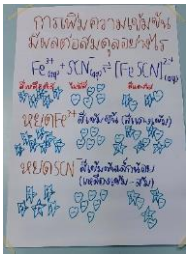
B02



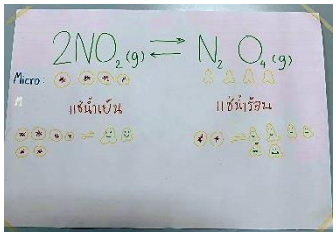

F06

**ภาพที่ 4** ตัวอย่างของคำตอบของนักเรียน A01 B02 และ F06
**ที่มา:** นักเรียนกลุ่มที่ศึกษา, 2023

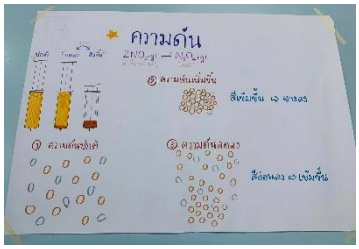
ประเด็นที่ห้า คือการนำเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ในระดับจุลภาคโดยใช้รูปเรขาคณิต ไม่ใช้รูปร่างโมเลกุล ไอออน อนุมูล กลุ่มตามความรู้เดิม ซึ่งเนื้อหาสมดุลเคมีให้ความสนใจทั้งปรากฏการณ์เชิงประจักษ์นั่นคือตัวแทนความคิดระดับมหภาคและปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ ต้องอาศัยการใช้แบบจำลองทางความคิดในการนำเสนอนั่นคือตัวแทนความคิดระดับจุลภาค โดยที่ตัวแทนความคิดระดับจุลภาคมีความสำคัญที่จะช่วยให้เกิดความเข้าใจที่มาที่ไปหรือเหตุผลที่จะอธิบายได้ว่าเหตุการณ์ระดับมหภาคทำไมจึงเป็นเช่นนั้น วิชาเคมีจึงมีการศึกษาเรียนรู้รูปร่างโมเลกุล อนุภาคต่าง ๆ เช่น อะตอม ไอออน อนุมูลกลุ่ม เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาสำหรับอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาหรืออธิบายต้นสายปลายเหตุของเหตุการณ์ในระดับมหภาคดังที่กล่าวไปได้อย่างแจ่มชัด แต่จะพบว่าการนำเสนอของนักเรียนบางกลุ่มกลับใช้ตัวแทนความคิดในรูปของรูปเรขาคณิตแทนที่จะใช้อนุมูลกลุ่ม ไอออน รูปร่างโมเลกุล ซึ่งเป็นความรู้เดิม กลุ่มที่แสดงตัวแทนความคิดเป็นไปตามประเด็นนี้คิดเป็นร้อยละ 70 (7 จาก 10 กลุ่ม) ตัวอย่างแสดงในภาพที่ 5 นักเรียนกลุ่ม A01 เลือกใช้รูปดาวห้าแฉกแทน $Fe^{3+}$ เลือกใช้รูปหัวใจแทน $SCN^-$ และใช้รูปดาวห้าแฉกกับหัวใจติดกันแทนสารผลิตภัณฑ์ $[FeSCN]^{2+}$ ส่วนนักเรียนกลุ่ม G08



A01




G08




I11

**ภาพที่ 5** ตัวอย่างของคำตอบของนักเรียน A01 G08 และ I11

**ที่มา:** นักเรียนกลุ่มที่ศึกษา, 2023

ใช้รูปวงกลมแทน $NO_2$ และใช้รูปชมพู่แทน $N_2O_4$ ในขณะที่นักเรียนกลุ่ม I11 ใช้วงกลมสีเทาแทน $N_2O_4$ และใช้วงกลมสีน้ำตาลแทน $NO_2$

**สรุปและอภิปรายผล**

การจัดการเรียนรู้ในเนื้อหาเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีนี้ได้เริ่มต้นหลังจากที่นักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหาเกี่ยวกับการเกิดสมดุลเคมีเสร็จสิ้น นักเรียนแบ่งกลุ่มทำการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี ได้แก่ ความเข้มข้น อุณหภูมิ ความดัน นำเสนอการอธิบายปรากฏการณ์ที่สังเกตได้จากการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีผ่านตัวแทนความคิด 3 ระดับ คือระดับมหภาค จุลภาคและสัญลักษณ์ ซึ่งจากการนำแผ่นนำเสนอข้อมูลของนักเรียนมาพิจารณาผู้วิจัยได้ค้นพบผลการศึกษาเป็นประเด็นที่หลากหลาย และเมื่อมองในภาพรวมประเด็นทั้งหมดได้แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความสามารถในการนำเสนอตัวแทนความคิดอยู่ในระดับต่ำ ไม่ว่าจะเป็นการนำเสนอตัวแทนความคิดของปฏิกิริยาในระดับจุลภาคที่แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาไม่ครบขั้นตอน การไม่ได้แสดงตัวแทนความคิดของความเคลื่อนไหวของอนุภาคสาร ทุก ๆ ขั้นตอนในระดับจุลภาค การแสดงตัวแทนความคิดของการเปลี่ยนของสมดุลในระดับจุลภาคโดยไม่คำนึงถึงจำนวน สัดส่วนของอนุภาคต้องสัมพันธ์กันระหว่างสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ การนำเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ในระดับมหภาคโดยใช้การบรรยาย ไม่วาดภาพ หรือวาดภาพแต่แสดงไม่ครบขั้นตอน เมื่อพิจารณาตามลักษณะบ่งชี้ความสามารถในการนำเสนอตัวแทนความคิดของ Kozma and Russell (2005) ในหัวข้อความสามารถของการใช้ตัวแทนความคิดอธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีที่สังเกตได้ในรูปของรูปแบบเฉพาะของโมเลกุลและกระบวนการ และความสามารถในการสร้างและเชื่อมโยงตัวแทนความคิดต่าง ๆ จากตัวแทนความคิดหนึ่งไปอีกตัวแทนความคิดหนึ่งและอธิบายความสัมพันธ์ที่มีระหว่างตัวแทนความคิด ซึ่งอาจมีเหตุผลมาจากการที่นักเรียนขาดประสบการณ์เกี่ยวกับระดับมหภาค มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับธรรมชาติของระดับจุลภาค และขาดความเข้าใจในข้อตกลงที่ซับซ้อนของระดับสัญลักษณ์ (Gilbert and Treagust, 2009) หากพิจารณารายละเอียดเป็น ดังนี้

ประเด็นที่หนึ่งคือการนำเสนอตัวแทนความคิดของปฏิกิริยาในระดับจุลภาคที่แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาไม่ครบขั้นตอน ซึ่งผู้วิจัยมองว่านักเรียนมีความสามารถและความเข้าใจต่อการนำเสนอตัวแทนความคิดระดับจุลภาคใน

ระดับหนึ่ง นั่นคือสามารถนำเสนอตัวแทนความคิดระดับจุลภาคที่เชื่อมโยงกับระดับมหภาคที่ได้สังเกตมาขั้นสมดุลเริ่มต้น และขั้นสมดุลใหม่หลังการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี แต่ยังขาดความเข้าใจประสิทธิภาพของตัวแทนความคิดระดับจุลภาคที่สามารถแสดงในส่วนของกลไกการเกิดปฏิกิริยา การชนกันตามทฤษฎีการชนที่ทำให้เข้าใจปรากฏการณ์เกิดสารใหม่ อันจะช่วยขยายที่มาที่ไปของผลลัพธ์ของสมดุลใหม่ว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร เพราะตัวแทนความคิดระดับจุลภาคเป็นโลกแห่งจินตนาการของวิชาเคมีที่จะเป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงระหว่างโลกแห่งความเป็นจริงหรือตัวแทนความคิดระดับมหภาคกับระดับสัญลักษณ์ หากไม่มีความเข้าใจเกี่ยวกับข้อปฏิบัติและรูปแบบของการเป็นตัวแทนความคิดระดับจุลภาคแล้ว นักเรียนจะไม่สามารถแสดงภาพลักษณะเชิงพื้นที่และโครงสร้างโมเลกุล และลักษณะการเกิดปฏิกิริยา (Bucat and Mocerino, 2009)

ประเด็นที่สองคือการไม่ได้แสดงตัวแทนความคิดของความเคลื่อนไหวของอนุภาคสาร ทุก ๆ ขั้นตอนในระดับจุลภาค สำหรับประเด็นนี้ผู้วิจัยคิดว่านักเรียนขาดทักษะการนำเสนอข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่จะนำเสนอโดยตระหนักถึงธรรมชาติของสิ่งที่ต้องการนำเสนอ เพราะในการศึกษาครั้งนี้ใช้สารที่เป็นสารละลายและแก๊ส ซึ่งไม่ว่าจะอยู่ในขั้นตอนใดจะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา จึงควรนำเสนอตัวแทนความคิดที่แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของสารไม่ได้อยู่นิ่ง มีลักษณะของการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาในทุกขั้นตอน ซึ่งหากนักเรียนตระหนักในประเด็นนี้จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนตระหนักต่อไปอีกถึงที่มาที่ไปของผลลัพธ์จากการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีที่มาจากการเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาของสารซึ่งเกิดจากการชนกันของอนุภาคตามทฤษฎีการชน แต่ Bucat and Mocerino (2009) กลับให้เหตุผลของปัญหาดังกล่าวในทิศทางที่แตกต่างออกไปนั่นคือพบว่าเป็นจำกัดของตัวแทนความคิดแบบ 2 มิติ และความไม่ตระหนักในการนำเสนอของหนังสือแบบเรียนที่ในการนำเสนอตัวแทนความคิดจำนวนอนุภาคน้ำที่เหมาะสมกับตัวแทนความคิดของความเคลื่อนไหวของของแข็ง

ประเด็นที่สามคือการแสดงตัวแทนความคิดของการเปลี่ยนของสมดุลในระดับจุลภาคโดยไม่คำนึงถึงจำนวน สัดส่วนของอนุภาคต้องสัมพันธ์กันระหว่างสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ในระบบสมดุลเคมี ประเด็นนี้ผู้วิจัยเห็นว่า นักเรียนไม่ได้เชื่อมโยงตัวแทนความคิดระดับจุลภาคเข้ากับตัวแทนความคิดระดับสัญลักษณ์ซึ่งเป็นตัวแทนความคิดระดับสัญลักษณ์ที่เป็นที่รู้โดยทั่วกันในการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีว่าเป็นตัวกลางที่ใช้เชื่อมโยงหรือเปลี่ยนผ่านระหว่างตัวแทนความคิดระดับมหภาคกับตัวแทนความคิดระดับจุลภาคโดยอยู่ในรูปของสมการเคมีที่จะแทนปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ซึ่งใช้ทั้งตัวอักษรและตัวเลข ในการทดแทนข้อมูลต่าง ๆ เช่น แสดงปริมาณที่สามารถวัดได้ คือ จำนวนของสสาร มวล ปริมาตร ความดัน ความยาวคลื่น อุณหภูมิ (Taber, 2009) ซึ่งจะทำให้เห็นปริมาณและสัดส่วนของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ว่าเป็นอย่างไร โดยเฉพาะในสมดุลเคมี ซึ่งจำนวนอนุภาคทั้งฝั่งสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ล้วนมีความสัมพันธ์กันเนื่องมาจากการที่อนุภาคฝั่งสารตั้งต้นชนกันเองแล้วเกิดไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ ในขณะเดียวกันอนุภาคฝั่งสารผลิตภัณฑ์ก็เกิดการชนกันเองและย้อนกลับไปเป็นสารตั้งต้นเช่นกัน ซึ่งหากนักเรียนไม่ได้ตระหนักว่าการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาสมดุลเคมีที่

ได้เรียนรู้ครั้งนี้มีประเด็นสำคัญเรื่องจำนวนอนุภาคและสัดส่วนจำนวนอนุภาคตามระดับสัญลักษณ์ นักเรียนอาจมีแนวโน้มที่จะเกิดแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในการใช้จำนวนอนุภาคเป็นตัวแทนความคิดของสีที่เข้มหรือจางของสารที่สมดุลเริ่มต้นและสมดุลใหม่เท่านั้น แต่ไม่ได้ให้ความสำคัญกับจำนวนอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงไปแล้วต้องสัมพันธ์กับการเกิดปฏิกิริยาไปเป็นสารผลิตภัณฑ์และการย้อนกลับของผลิตภัณฑ์ไปเป็นสารตั้งต้น จึงสังเกตการนำเสนอตัวแทนความคิดที่มีจำนวนอนุภาคไม่สมเหตุสมผลหากนำระดับสัญลักษณ์เข้าไปพิจารณา ซึ่งพฤติกรรมเหล่านี้ไม่สอดรับกับแนวคิดของ Gilbert (2005) ที่การเรียนวิชาเคมีในรูปแบบตัวแทนความคิดควรต้องเชื่อมโยงตัวแทนความคิดทั้งสามระดับ ไม่ควรแยกออกจากกัน

ประเด็นที่สี่คือการนำเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ในระดับมหภาคโดยใช้การบรรยาย ไม่วาดภาพ หรือวาดภาพแต่แสดงไม่ครบขั้นตอน เลือกตัวแทนสีไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ประเด็นนี้จะสังเกตเห็นที่มาที่ไปได้หลายส่วน เช่น การที่นักเรียนนำเสนอปรากฏการณ์ในระดับมหภาคโดยใช้การบรรยายอาจเป็นเพราะการนำเสนอตัวแทนความคิดมีได้หลายระดับ ซึ่งการใช้การบรรยายก็เป็นการเสนอตัวแทนความคิดวิธีหนึ่งที่อาจจะสื่อสารแล้วต้องใช้เวลาสำหรับผู้รับสาร อยู่ในระดับที่เป็นนามธรรม หรือการที่นักเรียนเลือกตัวแทนสีไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ซึ่งแสดงถึงการไม่ให้ความสำคัญของการสื่อสารที่เหมาะสม รวมถึงการใช้การวาดภาพนำเสนอตัวแทนความคิด แต่ไม่แสดงให้ครบขั้นตอน ที่มาที่ไปเหล่านี้ได้สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนขาดความสามารถในการสร้างหรือเลือกตัวแทนที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์เฉพาะซึ่งความสามารถนี้เป็นหนึ่งในองค์ประกอบของสมรรถนะในการเสนอตัวแทนความคิด (Kozma *et al*., 2005)

ประเด็นที่ห้าคือการนำเสนอตัวแทนความคิดของปรากฏการณ์ในระดับจุลภาคโดยใช้รูปเรขาคณิต ไม่ใช้รูปร่างโมเลกุล ไอออน อนุมูล กลุ่มตามความรู้เดิม ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลการศึกษาของ Bamrungbantum (2012) ที่พบว่าการนำเสนอรูปแบบตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ในเนื้อหาเรื่องการเกิดพันธะโคเวเลนต์ พันธะไอออนิก และพันธะโลหะ ต่ำกว่าถึงร้อยละ 50 ประเด็นนี้เป็นประเด็นที่น่าสนใจเพราะผู้วิจัยมีความเห็นว่านักเรียนอาจขาดกรอบแนวคิดในการนำเสนอข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่นำเสนอโดยพิจารณาเลือกรูปแบบตัวแทนความคิดที่เหมาะสมกับตัวเนื้อสารที่จะนำเสนอ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Supatchiyawong *et al*. (2015) ที่พบว่านักเรียนส่วนใหญ่หากยังไม่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานจะยังไม่เข้าใจบทบาทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ลึกซึ้งเพียงพอที่จะดึงตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์มาใช้นำเสนอ

**ข้อเสนอแนะ**

จากข้อค้นพบข้างต้นที่พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการนำเสนอตัวแทนความคิดอยู่ในระดับต่ำที่ยังไม่เป็นที่พอใจตามความคิดเห็นของผู้วิจัย และหากพิจารณาสาเหตุสามารถสรุปได้ 2 ประเด็น คือการขาดองค์ความรู้เกี่ยวกับตัวแทนความคิด 3 ระดับ และการเชื่อมโยงกับความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดจากสาเหตุที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยจึงเสนอแนะว่า ในการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีควรที่จะให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่เน้นการสร้างตัวแทนความ-

คิดเชิงรูปธรรม (Gilbert, 2005) และเชื่อมโยงตัวแทนความคิดทั้งสามระดับ ได้แก่ มหภาค จุลภาคและสัญลักษณ์ ซึ่งแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่จะช่วยเสริมสิ่งดังกล่าวคือ การเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (model based–learning) ซึ่งมีรูปแบบขั้นตอน ดังนี้ ขั้นสร้างแบบจำลอง การประเมินแบบจำลอง การดัดแปลงแก้ไขแบบจำลองและการขยายแบบจำลอง (Rea–Ramirez *et al*., 2008) กระบวนการนี้จะทำให้นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองที่เป็นตัวแทนความคิดขึ้นมา แต่เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายในการทำให้นักเรียนสามารถสร้างตัวแทนความคิดได้อย่างเหมาะสมและเชื่อมโยงตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับ ได้ จึงควรเพิ่มเติมกิจกรรมการเรียนรู้ที่จะสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับตัวแทนความคิด 3 ระดับ และการเชื่อมโยงกับกิจกรรมการเรียนรู้ที่จะเสริมสร้างความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดที่เหมาะสมกับจุดประสงค์ ซึ่งสอดแทรกไว้ในขั้นสร้างแบบจำลอง โดยให้ผู้เรียนทดลองสร้างแบบจำลองที่ตัวแทนความคิดซึ่งตัวแทนความคิดเหล่านี้มักแตกต่างจากแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นส่วนใหญ่และอาจมีการนำเสนอที่ไม่ครบ 3 ระดับ ช่วงเวลาต่อจากนี้จึงเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมที่จะสอดแทรกการสร้างองค์ความรู้ทั้งสองกิจกรรมไว้แล้วให้นักเรียนได้สร้างแบบจำลองครั้ง จากนั้นจึงดำเนินการตามขั้นตอนพัฒนาแบบจำลองที่เป็นตัวแทนทางความคิดให้สมบูรณ์ นั่นคือขั้นการประเมินแบบจำลอง การดัดแปลงแก้ไขแบบจำลองและการขยายแบบจำลอง

ในแง่ของการวิจัย ข้อค้นพบที่ได้นี้สามารถนำไปสู่การทำวิจัยเพื่อที่ยกระดับความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดที่มีความสมบูรณ์ทั้งการสร้างตัวแทนความคิดที่เลือกใช้รูปแบบตัวแทนความคิดที่เหมาะคล้องกับวัตถุประสงค์และการสร้างตัวแทนคิด 3 ระดับ ที่มีความเชื่อมโยงสอดคล้องกัน ซึ่งเมื่อผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยของ Suknarusaithagul *et al*. (2021) ซึ่งเป็นงานที่ศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดได้เสนอแนะไว้ว่าหากต้องการที่จะพัฒนาระดับสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดที่มากกว่าระดับ 2 หรือการเชื่อมโยงตัวแทนความคิดระหว่างระดับมหภาคกับจุลภาค ควรที่จะนำแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่เน้นกระบวนการให้เหตุผล (model–based reasoning) และกระบวนการโต้แย้ง (model–based argumentation) และหากผนวกวิธีดังกล่าวด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ที่จะสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับตัวแทนความคิด 3 ระดับ และการเชื่อมโยงกับกิจกรรมการเรียนรู้ที่จะเสริมสร้างความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดที่เหมาะสมกับจุดประสงค์ โดยสอดแทรกไว้ในขั้นสร้างแบบจำลองจะสามารถทำให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

**กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2566 และจริยธรรมการวิจัยในคนของงานวิจัยนี้ได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ COE No. COE66/060, KUREC–SSR66/051 อีกทั้งยังได้รับความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี ฝ่ายคำตาและคุณณภัทร สุขนฤเศรษฐกุล เป็นผู้เชี่ยวชาญร่วมวิเคราะห์ข้อมูล

**เอกสารอ้างอิง**


Bamrungbantum, D., and Poosittisak, S. (2012). Grade 10 students' mental representation about chemical bonds from the learning activities using an analogy teaching approach: FAR guide. **Journal of Education Khon Kaen University (Graduate Studies Research)** 7(4): 9–16.

Bucat, B., and Mocerino, M. (2009). Learning at the sub–micro level: Structural representations. In Gilbert, J. K., and Treagust, D. (Eds). **Multiple Representations in Chemical Education, Model and Modeling in Science Education** Vol. 4 (pp.11–29). UK: Springer.

Chantavanich, S. (2022). **Qualitative Research Data Analysis**. 26th ed. Bangkok: Chulalongkorn University.

Creswell, J. W., and Poth, C. N. (2016). **Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing among Five Approaches**. 4th ed. USA: Sage.

DeBoer, G. E. (2000). Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. **Journal of Research in Science Teaching** 37(6): 582–601.

Gilbert, J. K., and Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. In Gilbert, J. K., and Treagust, D. (Eds). **Multiple Representations in Chemical Education, Model and Modeling in Science Education** Vol. 4 (pp.1–8). UK: Springer.

Kozma, R., and Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In Gilbert, J. K. **Visualization in Science Education** (pp. 121–146). The Netherland: Springer.

Rea–Ramirez, M. A., Clement, J., and Núñez–Oviedo, M. C. (2008). An instructional model derived from model construction and criticism theory. In Clement, J. J., and Rea–Ramirez, M. A. (Eds.) **Model Based Learning and Instruction in Science** (pp. 23–43). NJ: Springer.

Shwartz, Y., Ben–Zvi, R., and Hofstein, A. (2005). The importance of involving high–school chemistry teachers in the process of defining the operational meaning of 'chemical literacy'. **International Journal of Science Education** 27(3): 323–344.

Suknarusaithagul, N., Faikhamta, C., and Suwanruji, P. (2021). The development of grade 12 students' representational competence in electrochemical cell through model–based learning. **Journal of Education Khon Kaen University** 44(4): 84–99.

Supatchiyawong, P., Faikhamta, C., and Suwanruji, P. (2015). Using model–based learning for enhancing mental model of

atomic structure and understandings of the nature of model of 10th grade students. **Walailak Journal of Learning Innovations** 1(1): 97–124.

Taber, K. S. (Ed.). (2009). **Progressing Science Education: Constructing the Scientific Research Programme into the Contingent Nature of Learning Science**. Dordrecht: Springer Netherlands.