การพัฒนาความเข้าใจมโนมติเรื่อง สารละลาย ด้วยการทดลองแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาคสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ศักดิ์ศรี สุภาษร[1,2*] นุจรี สุภาษร[3] วรรณวไล อธิวาสน์พงศ์[2] และสนธิ พลชัยยา[4]

[1]ภาควิชาเคมี และ [2]หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190, [3]โรงเรียนมัธยมตระการพืชผล ตระการพืชผล อุบลราชธานี 34130, [4]สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คลองเตย กรุงเทพฯ 10110

[*]E-mail: saksri.supasorn@gmail.com

รับบทความ: 12 กุมภาพันธ์ 2559 ยอมรับตีพิมพ์: 17 พฤษภาคม 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาความเข้าใจมโนมติ เรื่อง สารละลาย ด้วยการทดลองแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาค โดยมีกลุ่มที่ศึกษาเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 38 คน จากโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในเขตจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ กิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาค จำนวน 10 ชั่วโมง และเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบวัดความเข้าใจมโนมติแบบปรนัยห้าตัวเลือก จำนวน 16 ข้อ และการวาดภาพเมนทอลโมเดลความแสดงความเข้าใจระดับอนุภาคเกี่ยวกับสารละลาย จากการวิเคราะห์คะแนนจากแบบวัดความเข้าใจมโนมติ พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจมโนมติหลังเรียน (mean 23.84, SD 3.12) สูงกว่าก่อนเรียน (mean 10.98, SD 5.19) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยหลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติผิด (MU) และคลาดเคลื่อน (AU) ลดลงจากก่อนเรียนเป็น 30.09 และ 19.25 ตามลำดับ ส่วนร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติถูกต้อง (SU) เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนเป็น 49.34 และจากการวิเคราะห์คะแนนจากภาพวาดเมนทอลโมเดลระดับอนุภาค พบว่า นักเรียนมีคะแนนเมนทอลโมเดลหลังเรียน (mean 6.01, SD 1.16) สูงกว่าก่อนเรียน (mean 2.12, SD 1.12) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยหลังเรียนมีผลรวมร้อยละของนักเรียนที่ไม่มีความเข้าใจมโนมติและความเข้าใจมโนมติผิด (NU+MU) ลดลงจากการก่อนเรียนเป็น 61.18 และมีความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) ลดลงจากก่อนเรียนเป็น 11.19 ส่วนผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่และถูกต้องสมบูรณ์ (PU+SU) เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนเป็น 72.37 แสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยการทดลองแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาคสามารถพัฒนาความเข้าใจมโนมติและเมนทอลโมเดลความเข้าใจระดับอนุภาค เรื่อง สารละลาย ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: สารละลาย การทดลองแบบสืบเสาะ ความเข้าใจมโนมติ ภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาค

Development of Conceptual Understandings on Solutions by Using Inquiry Experiments in Conjunction with Particulate Animations for Grade 8 Students

Saksri Supasorn[1,2*], Nutjaree Supasorn[3], Wanwalai Athiwaspong[2] and Sonthi Phonchaiya[4]

[1]Department of Chemistry, and [2]Master of Science in Science Education Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

[3]Mathayom Trakanphuetphon School, Trakanphuetphon, Ubon Ratchathani 34130, Thailand

[4]Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, Klong Toei, Bangkok 10110, Thailand

[*]E-mail: saksri.supasorn@gmail.com

Received: 12 February 2016 Accepted: 17 May 2016

Abstract

The main purpose of this research was to develop conceptual understanding on solutions by inquiry-based experiments in conjunction with particulate animations, also called molecular animations. The study group of this study were 38 students, purposively selected from the populations of grade-8 students studying at a large-size high school in Ubon Ratchathani Province. The research tool was the learning activities of inquiry-based experiments of chemistry in conjunction with particulate animations of solutions for 10 hours. The data collecting tools consisted of a conceptual test including 16 five-choice items and mental model drawings at particulate level. The dependent samples *t*-test analysis of students' conceptual test scores indicated that the post-conceptual test score (mean 23.84, SD 3.12) was statistically significantly higher than the pre-conceptual test score (mean 10.98, SD 5.19) at the 95% confidence level. After the intervention, the percentages of students in mis- and alternative conceptual understanding (MU and AU) categories were respectively decreased by 30.09 and 19.25, while the percentage of students in the sound conceptual understanding (SU) category was increased by 49.34. In addition, the dependent samples *t*-test analysis of students' scores of mental model drawings at particulate level indicated that the post-mental model score (mean 6.01, SD 1.16) was statistically significantly higher than the pre-mental model score (mean 2.12, SD 1.12) at the 95% confidence level. After the intervention, the percentages of students in the no and misconceptual understanding (NU+MU) and in the partial with misconceptual

understanding (PMU) categories were respectively decreased by 61.18 and 11.19, while the percentage of students in the partial and sound conceptual understanding (PU+SU) categories was increased by 72.37. This verified that the intervention of inquiry experiments in conjunction with particulate animations was effectively to develop students' conceptual understanding and mental models at particulate level of solutions.

Keywords: Solution, Inquiry-based experiments, Conceptual understanding, Particulate animation

บทนำ

เคมีเป็นหนึ่งในวิชาแกนของวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นต่อการเรียนรู้และการเข้าใจวิชาวิทยาศาสตร์อื่น ๆ เช่น ชีววิทยา ฟิสิกส์ วัสดุศาสตร์ (Ware, 2001) แต่เคมีกลับเป็นวิชาที่นักเรียนส่วนใหญ่ลงความเห็นว่า ยาก น่าเบื่อ และไม่ค่อยเชื่อมโยงกับชีวิตประจำวันมากนัก (Kegley et al., 1996) ปัจจัยเหล่านี้ล้วนทำให้นักเรียนไม่สนใจเรียนและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ โดยการแสดงข้อมูลต่าง ๆ ในวิชาเคมี เช่น การอธิบายสมบัติ การเปลี่ยนแปลง ปรากฏการณ์ ปฏิกิริยาในเคมี แบ่งออกเป็น 3 ระดับ (Johnstone, 1993) ได้แก่

1) การแสดงผลในระดับมหภาค (macroscopic representation) ซึ่งเป็นการอธิบายสมบัติของสารหรือปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น การเกิดสนิม การเปลี่ยนสี การละลาย

2) การแสดงผลในระดับกึ่งจุลภาคหรือระดับโมเลกุล (submicroscopic or molecular representation) เป็นการอธิบายในระดับที่บ่งบอกว่าสารที่สังเกตนั้นประกอบด้วยอะตอม โมเลกุล หรือไอออนอะไรบ้าง

3) การแสดงผลในระดับสัญลักษณ์ (symbolic representation) ซึ่งเป็นการอธิบายการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทางเคมีด้วยการใช้สัญลักษณ์เคมี เช่น สูตรเคมี สมการเคมี แบบจำลอง

มโนมติในวิชาเคมีจำนวนมากเกี่ยวข้องกับเรื่องของนามธรรม (abstraction) ที่มองไม่เห็นและสัมผัสไม่ได้ (intangible) ในระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ เช่น พันธะเคมี ของแข็ง-ของเหลว-แก๊ส เคมีนิวเคลียร์ สูตรโครงสร้างของสาร ทำให้นักเรียนจำนวนมากมีปัญหาในการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของการแสดงผลทางเคมีทั้ง 3 ระดับ กล่าวคือ เมื่อแสดงผลในระดับสัญลักษณ์ นักเรียนอาจอธิบายสมบัติในระดับจุลภาคและระดับมหภาคไม่ได้ หรือเมื่อแสดงผลในระดับมหภาค นักเรียนอาจอธิบายสมบัติในระดับจุลภาคและสัญลักษณ์ไม่ได้ และทำให้นักเรียนสร้างมโนมติที่คลาดเคลื่อนหรือผิดจากมโนมติที่ถูกต้องหรือความเห็นร่วมทางวิทยาศาสตร์ เรียกมโนมติหรือแนวคิดเหล่านี้ว่า “มโนมติที่คลาดเคลื่อน” หรือ "แนวคิดที่คลาดเคลื่อน" (alternative conception) (Mulford and Robinson, 2002) ทั้งนี้เอกสารบางเล่มอาจเรียกว่า “แนวคิดทางเลือก” หรือ “มโนมติทางเลือก” (Faikhamta, 2008) ซึ่งการปรับแก้มโนมติคลาดเคลื่อนของนักเรียนอาจเป็นเรื่องยาก ลำพังการแสดงมโนมติที่ถูกต้องที่ขัดแย้งกับมโนมติคลาดเคลื่อนของนักเรียนอาจไม่เพียงพอที่จะทำให้นักเรียนปรับแก้

มโนมติคลาดเคลื่อนได้ (Taber, 2002; Vosniadou, 2002) เพราะเมนทอลโมเดล (mental model) ของนักเรียนยังสามารถเก็บหรือซ่อนมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้เสมอ (Mulford and Robinson, 2002) ดังนั้นจึงต้องมีกิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลายและเหมาะสมในการส่งเสริมให้นักเรียนปรับแก้มโนมติคลาดเคลื่อนไปสู่มโนมติที่ถูกต้องมากขึ้น

คำว่า “เมนทอลโมเดล” มีความหมายแตกต่างกันออกไปตามศาสตร์หรือสาขาที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ แต่ในบริบททางการศึกษา เมนทอลโมเดล หมายถึง “โมเดลที่สะท้อนถึงความคิด ความเข้าใจ หรือการรับรู้ของบุคคลที่สร้างขึ้นจากการนำข้อมูลใหม่ที่ได้รับมาผนวกเข้ากับความรู้เดิม เพื่ออธิบายเกี่ยวกับกระบวนการ ปรากฏการณ์ หรือระบบที่สนใจ” (Bodner, 2007; Johnson-Laird, 1983) เมนทอลโมเดลเป็นส่วนสำคัญในการสร้างมโนมติทางการเรียนของนักเรียน (Glynn and Duit, 1995) และมีบทบาทอย่างมากในการทำความเข้าใจมโนมติทางเคมีในระดับโมเลกุล ทั้งนี้เพราะเนื้อหาและหลักการในวิชาเคมีจำนวนมากเกี่ยวข้องกับการแสดงผลในระดับโมเลกุลหรือระดับจุลภาคซึ่งเป็นเป็นสิ่งที่ไม่สามารถเข้าถึงได้จากระบบการรับรู้โดยตรง (Briggs and Bodner, 2005) ดังนั้นนักเรียนต้องสร้างเมนทอลโมเดลของตนเองขึ้นมาเพื่อทำความเข้าใจมโนมติที่สัมผัสไม่ได้และมองไม่เห็นเหล่านี้ให้สามารถเชื่อมโยงเข้ากับโลกในระดับมหภาคให้ได้ (Johnstone, 1993) ความสามารถในการสร้างเมนทอลโมเดลของผู้เรียนเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการเรียนรู้วิชาเคมี โดยผู้เรียนสามารถสร้างเมนทอลโมเดลได้ดีจะสามารถเรียนรู้และเข้าใจวิชาเคมีได้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงระดับมหภาคเข้ากับระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ (Greenbowe, 2003; Supasorn, 2012; Yang, Andre and) ดังนั้นเมนทอลโมเดลจึงเป็นเครื่องมือสำคัญอย่างหนึ่งที่สามารถใช้ในการสำรวจความเข้าใจมโนมติ (conceptual understanding) ของนักเรียนเกี่ยวกับกระบวนการที่ต้องการสำรวจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุลและกระบวนการที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าอื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบภาพเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพนั่นเอง (Johnson-Laird, 1983)

จากประสบการณ์ที่คณะผู้วิจัยได้รับผิดชอบเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาหลักสูตรปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ซึ่งเน้นการวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ต่าง ๆ ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติการ ทำให้มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์กับครูและนักศึกษาที่ทำวิจัย สามารถจำแนกสภาพปัญหาการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีในระดับมัธยมศึกษาออกเป็นประเด็นต่าง ๆ (Supasorn, 2011) ได้ดังนี้

1) นักเรียนได้รับประสบการณ์ในการทำการทดลองเคมีไม่เพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดลองเคมีแบบสืบเสาะ ซึ่งมีสาเหตุมากจากโรงเรียนขนาดเล็กขาดอุปกรณ์ในการทำปฏิบัติการ สำหรับโรงเรียนขนาดใหญ่จะเน้นการสอนภาคบรรยายเพื่อให้นักเรียนสอบเข้าเรียนต่อในระดับมหาวิทยาลัยได้ ส่งผลให้นักเรียนขาดโอกาสในการพัฒนาทักษะการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เช่น ทักษะการตั้งคำถามการทดลอง ทักษะการตั้งการตั้งสมติฐาน ทักษะการออกแบบวิธีการทดลองด้วยตนเอง ทักษะการทดลอง ทักษะการสร้างคำอธิบายจากหลักฐานการทดลอง

2) ปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นปฏิบัติการ

แบบดั้งเดิม เน้นให้นักเรียนทำตามวิธีการทดลองอย่างเคร่งคัดเพื่อประหยัดเวลาในการทำปฏิบัติการ

3) ปฏิบัติการส่วนใหญ่ยังขาดการเชื่อมโยงมโนมติสำคัญในระดับมหภาคและระดับโมเลกุล ซึ่งมโนมติในวิชาเคมีจำนวนมากเกี่ยวข้องกับเรื่องของนามธรรมที่มองไม่เห็นและสัมผัสไม่ได้ (intangible concept) อาจส่งผลให้นักเรียนมีมโนมติในระดับมหภาคถูกต้อง แต่อาจมีมโนมติคลาดเคลื่อนในระดับโมเลกุลได้

การเรียนการสอนในศตวรรษที่ 21 ได้มีตัวช่วยในการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพอย่างหลากหลาย และมัลติมีเดีย เช่น ภาพเคลื่อนไหว (animation) และสถานการณ์จำลอง (simulation) ก็เป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการช่วยให้นักเรียนสามารถอธิบายสมบัติทางเคมีของสารและปรากฏการณ์ทางเคมีในระดับต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ ยังมีการสร้างโลกเสมือนผสานโลกจริงด้วยเทคโนโลยีออกเมนเต็ดเรียลลิตี้ (augmented reality, AR) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการช่วยให้นักเรียนมองเห็นภาพในระดับอนุภาคหรือระดับโมเลกุลเพื่อให้สามารถเรียนรู้เนื้อหาเคมีได้เข้าใจมากขึ้น (Ditcharoen et al., 2014) กล่าวคือ ภาพเคลื่อนไหวสามารถช่วยให้นักเรียนมองเห็นและเข้าใจสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาคหรือระดับโมเลกุล เชื่อมโยงเข้ากับสิ่งที่เห็นในระดับมหภาค และสามารถเขียนอธิบายให้เข้าใจตรงกันได้อย่างสากลในระดับสัญลักษณ์ (Supasorn, 2012) เนื่องจากเนื้อหาวิชาเคมีส่วนใหญ่เป็นมโนมติในระดับโมเลกุลที่ไม่สามารถจับต้องหรือมองเห็นได้ ดังนั้น เครื่องมือจินตภาพ (visualization) ในระดับโมเลกุลจึงมีบทบาทสำคัญในการสร้างเมนทอลโมเดลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่สนใจสำหรับนักเรียนและนักศึกษา (Briggs and Bodner, 2005)

จากการทบทวนเอกสารเกี่ยวกับการทดลองแบบสืบเสาะ พบว่า การทดลองแบบสืบเสาะเป็นการทดลองที่มุ่งเน้นให้นักเรียนตั้งคำถาม ตั้งสมมติฐาน ออกแบบและทำการทดลองด้วยตนเอง และสร้างความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ (scientific understanding) โดยการเชื่อมโยงระหว่างความรู้เดิมเข้ากับหลักฐานที่ได้จากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ (science experimental evidence) และสร้างเป็นองค์ความรู้ขึ้นมา (Hand and Keys, 1999) การทดลองแบบสืบเสาะจึงเป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกการสำรวจตรวจสอบหรือการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์หาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการค้นพบความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั่นเอง (Green et al., 2004) ดังนั้นสถาบันการศึกษาหลาย ๆ แห่งจึงสนับสนุนให้จัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเพื่อสนับสนุนให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาและพัฒนาความสามารถและทักษะ (Blonder et al., 2008) รวมทั้งการสร้างสื่อการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์โดยอาศัยหลักการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์หาความรู้อีกด้วย ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนได้สร้างความเข้าใจในหลักการและทักษะกระบวนการในการหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง (Sanger, 2008) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้แบบพุทธิปัญญานิยมหรือสรรคนิยมหรือการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (constructivist learning) ที่เน้นให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ใหม่โดยการสกัดข้อมูลที่สำคัญจากสื่อการเรียนรู้หรือกิจกรรมการเรียนรู้หรือข้อมูลใหม่ที่ได้รับแล้วนำมาผนวกหรือปรับให้เข้ากับความรู้หรือความเข้าใจเดิมของตนเอง (Phornphisutthimas, 2011; Yang et al., 2003) ทั้งนี้การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มีบทบาทอย่างมากใน

การเรียนวิชาเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โดยเป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและมโนมติทางวิทยาศาสตร์ ควบคู่กับการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มีความเหมาะกับผู้เรียนที่มีความสามารถทางสติปัญญาทุกระดับ กล่าวคือ สามารถช่วยให้ผู้เรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ต่ำและปานกลางให้เข้าใจมโนมติได้ดีขึ้น และเป็นการท้าทายทักษะทางสติปัญญาขั้นสูง (higher-order cognitive skills) สำหรับผู้เรียนที่มีผลสัมฤทธิ์สูงได้เป็นอย่างดี

คณะผู้วิจัยลงความเห็นว่าควรพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลเพื่อสนับสนุนความเข้าใจมโนมติและการปรับแก้มโนมติระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โดยใช้ชื่อหน่วยว่า “ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล” ซึ่งมีคุณลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้

1) ใช้วิธีการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย และเหมาะกับพัฒนาการของผู้เรียน เพื่อให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการออกแบบวิธีการทดลอง สร้างคำอธิบาย และขยายแนวคิดจากการทดลองได้ด้วยตนเอง ทั้งนี้เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้พัฒนาทั้งด้านองค์ความรู้ควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์หาความรู้ด้วยตนเอง (Supasorn, 2011)

2) เน้นให้เป็นชุดปฏิบัติการแบบย่อส่วนขนาดย่อม (semi-small-scale laboratory) และสอดแทรกความเป็นเคมีสีเขียว (green chemistry) ลงไปในปฏิบัติการเพื่อประหยัดทั้งด้านค่าใช้จ่ายในการทำปฏิบัติการ และลดภาระในการกำจัดของเสีย จากการทดลอง (Khattiyavong et al., 2014)

3) มีภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาคหรือระดับโมเลกุล (particulate animation) ที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งเกิดขึ้นในระดับมหภาคกับสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุลเพื่อช่วยให้นักเรียนมีเมนทอลโมเดลความเข้าใจระดับอนุภาคได้ดีขึ้น (Supasorn, 2012)

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาว่าชุดการทดลองเคมีที่พัฒนาขึ้นจะสามารถลดปัญหาในการเรียนวิชาเคมีดังที่กล่าวไว้ข้างต้น และสามารถสนับสนุนให้ผู้เรียนเชื่อมโยงข้อมูลระดับมหภาคและข้อมูลระดับสัญลักษณ์จากการทดลองเข้ากับข้อมูลระดับอนุภาคจากภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาค และสร้างความเข้าใจโนมติที่ถูกต้องได้มากขึ้นอย่างไร คำถามวิจัยหลักประกอบด้วย 2 คำถาม ได้แก่

1) คะแนนความเข้าใจโนมติและคะแนนภาพวาดเมนทอลโมเดลระดับอนุภาคของนักเรียนที่เรียนด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง สารละลาย จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

2) ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติต่าง ๆ จากแบบวัดความเข้าใจโนมติและจากภาพวาดเมนทอลโมเดลระดับอนุภาคของนักเรียนที่เรียนด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง สารละลาย จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยวิธีผสมแบบกลุ่มเดียววัดผลก่อนและหลังการทดลอง (one-group pretest-posttest design) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

เครื่องมือทดลอง

เครื่องมือทดลองสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยการทดลองแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาค เรื่อง สารละลาย จำนวน 4 แผน เรื่อง รวม 10 ชั่วโมง (ตาราง 1) โดยในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น (5E inquiry learning cycle) โดยเริ่มจากการสร้างความสนใจของนักเรียนด้วยสถานการณ์และคำถามเกี่ยวกับสารละลาย (engage) จากนั้นนักเรียนลงมือสำรวจโดยการทำการทดลองเคมีแบบสืบเสาะเพื่อหาข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการตอบคำถามข้างต้น (explore) และสร้างคำอธิบายที่สมเหตุสมผลที่สุดจากผลการสำรวจเพื่อตอบคำถาม (explain) และนักเรียนขยายความรู้ด้วยการศึกษาภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาค (elaborate) เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงผลการสำรวจในระดับมหภาคที่ตามองเห็นและการอธิบายในระดับสัญลักษณ์เข้ากับข้อมูลจากภาพเคลื่อนไหวในระดับอนุภาค ทั้งนี้จะมีการประเมินการเรียนรู้ของนักเรียนในทุกขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ (evaluate)

ตาราง 1 กิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการทดลองแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาค เรื่อง สารละลาย

เรื่อง	การทดลองแบบสืบเสาะ	ภาพเคลื่อนไหว	เวลา (ชั่วโมง)
1. กระบวนการละลาย	การละลายของโซเดียมคลอไรด์ ซูโครส และแนฟทาลีน ในน้ำและในเอทานอล	กระบวนการละลาย	2
2. พลังงานกับการละลาย	การละลายของโซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ และโซเดียมซัลเฟตในน้ำอุณหภูมิห้อง น้ำเย็น และน้ำร้อน	พลังงานกับการละลายแบบดูดความร้อนและคายความร้อน	2
3. การละลายของสารประกอบไอออนิกและสารโคเวเลนต์	การละลายของเกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์) และน้ำตาลทราย (ซูโครส) ในน้ำ	การละลายของสารประกอบไอออนิกและสารโคเวเลนต์	2
4. ความเข้มข้นร้อยละของสารละลาย	การเตรียมน้ำหวานโซดาที่มีสี กลิ่น และรสต่าง ๆ ในหน่วยความเข้มข้นร้อยละ*	ความเข้มข้นร้อยละของสารละลาย	3

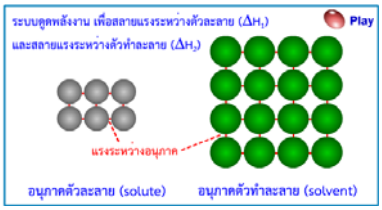
*ประยุกต์จาก Yamu and Wuttisela, 2015

ภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาค เรื่อง สารละลาย

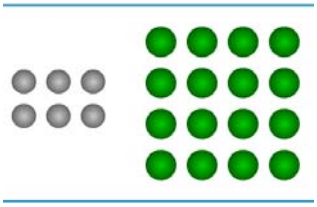
คณะผู้วิจัยได้พัฒนาภาพเคลื่อนไหว เรื่อง สารละลาย สำหรับเคมี ม.ต้น (Supasorn, 2015a) ด้วยโปรแกรม Macromedia Flash 8 ภาพ เคลื่อนไหวประกอบด้วยหัวข้อต่าง ๆ ได้แก่ กระบวนการละลาย พลังงานกับการละลายแบบดูดความร้อนและคายความร้อน การละลายของสารประกอบไอออนิกและสารโคเวเลนต์ และความเข้มข้นของสารละลาย สามารถเข้าไปศึกษาภาพเคลื่อนไหวนี้ได้จาก http://chem.sci.ubu.ac.th/e-learning/SolutionChem2015/ (ภาพที่ 1)

เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล

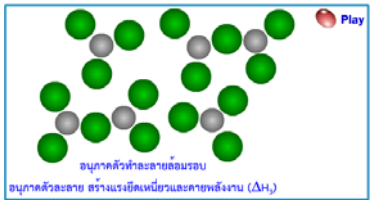
เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยแบบวัดความเข้าใจมโนมติแบบปรนัยห้าตัวเลือก จำนวน 16 ข้อ โดยในแต่ละข้อ



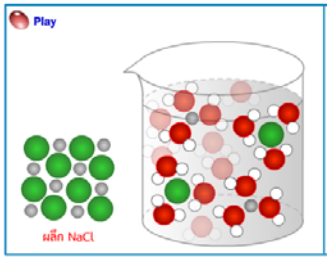
(ก) อนุภาคตัวละลายและตัวทำละลาย



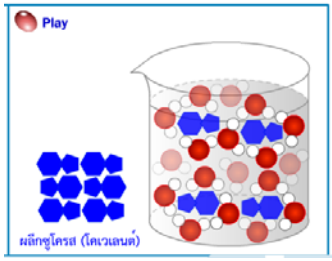
(ข) สลายแรงระหว่างอนุภาค



(ค) อนุภาคตัวทำละลายล้อมรอบตัวละลาย



(ง) การละลายของสารประกอบไอออนิก



(จ) การละลายของสารโคเวเลนต์

ภาพที่ 1 ภาพถ่ายหน้าจอจากภาพเคลื่อนไหว เรื่อง การละลายของสารประกอบไอออนิกและสารโคเวเลนต์

มีตัวเลือกที่ถูกต้อง 2 ตัวเลือก และการวาดภาพเมนทอลโมเดลเพื่อแสดงความเข้าใจในระดับอนุภาคจำนวน 2 ภาพ ได้แก่ อนุภาคของสารระหว่างการละลายและในสารละลาย และการละลายของสารประกอบไอออนิกและสารโคเวเลนต์ (ภาพที่2) โดยแบบวัดแต่ละข้อมีค่าความยากง่าย (difficulties) อยู่ในช่วง 0.30 – 0.70 และมีอำนาจในการจำแนก (discrimination power) อยู่ในช่วง 0.35 – 0.65 และมีค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ (Kuder–Richardson formula 20 or KR_{20}) เป็น 0.82

กลุ่มที่ศึกษา

กลุ่มที่ศึกษาสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 1 ห้อง รวม 38 คน ได้จากการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) จากนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ปีการศึกษา 2558 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในเขตจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นห้องเรียนที่ผู้ช่วยวิจัยเป็นผู้รับผิดชอบสอนและสะดวกต่อการดำเนินการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล

นักเรียนกลุ่มที่ศึกษาเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนตามขั้นตอนดังนี้

1) นักเรียนทำแบบวัดความเข้าใจมโนมติและวาดภาพเมนทอลโมเดลก่อนเรียน เรื่อง สารละลาย

2) นักเรียนเรียนทำกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยการทดลองแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาค เรื่อง

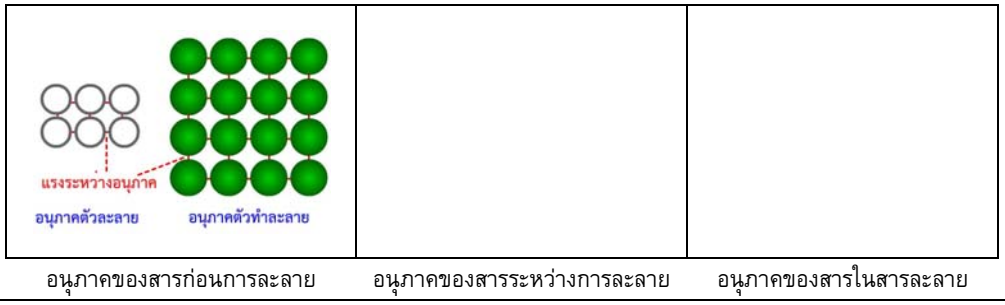
คำถาม: การละลายของโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3) ในน้ำเป็นการละลายแบบดูดความร้อน การเปลี่ยนแปลงใดบ้างมีผลทำให้โพแทสเซียมไนเตรตละลายได้น้อยลง (เลือกคำตอบที่ถูกต้อง 2 ตัวเลือก)

☐ ก) ละลายโพแทสเซียมไนเตรตในน้ำร้อน ☒ ข) ละลายโพแทสเซียมไนเตรตในน้ำเย็น

☐ ค) เพิ่มความดันของสารละลายให้มากขึ้น ☒ ง) ลดปริมาณน้ำที่เป็นตัวทำละลายลง

☐ จ) บดโพแทสเซียมไนเตรตให้มีขนาดเล็กลง

คำอธิบาย: วาดภาพแสดงอนุภาคของสารในกระบวนการละลายต่อไปนี้



ภาพที่ 2 ตัวอย่างแบบวัดความเข้าใจโมมติ (บน) และการวาดภาพเมนทอลโมเดลระดับอนุภาค (ล่าง)

สารละลาย จำนวน 4 แผน รวม 10 ชั่วโมง โดยคณะผู้วิจัยร่วมกันสังเกตบรรยากาศในการจัดการเรียนรู้ขณะทำกิจกรรม

3) นักเรียนทำแบบวัดความเข้าใจมโนมติและวาดภาพเมนทอลโมเดลหลังเรียน เรื่อง สารละลาย

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งด้านคุณภาพและเชิงสถิติ ดังนี้

1) วิเคราะห์มโนมติก่อนและหลังเรียนจากแบบวัดมโนมติแบบปรนัย และจำแนกกลุ่มความเข้าใจมโนมติของนักเรียนตามเกณฑ์ที่ปรับปรุงจาก Çalik et al. (2009) และ Supasorn (2015b) โดยนักเรียนที่ตอบผิดทั้งสองตัวเลือก ได้ 0 คะแนน อยู่ในกลุ่ม “ความเข้าใจมโนมติผิด” (misconceptual understanding: MU) นักเรียนที่ตอบถูกต้องเพียงตัวเลือกเดียว ได้ 1 คะแนน อยู่ในกลุ่ม “ความเข้าใจมโนมติคลาดเคลื่อน” (alternative conceptual understanding, AU) และนักเรียนที่ตอบถูกต้องทั้งสองตัวเลือก ได้ 2 คะแนน อยู่ในกลุ่ม “ความเข้าใจมโนมติถูกต้อง” (sound or good conceptual understanding, SU) จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมโนมติของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มที่ศึกษาไม่อิสระต่อกัน (dependent samples *t*-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นอกจากนี้ยังมีการคำนวณความก้าวหน้าทางการเรียนทั้งในกรณีที่เป็นร้อยละความก้าวหน้าทางการเรียนจริง (% actual learning gain) ซึ่งคำนวณจากร้อยละของคะแนนหลังเรียนลบด้วยร้อยละของคะแนนก่อนเรียน และในกรณีที่เป็นความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ (normalized learning gain, <*g*>) ซึ่งคำนวณตามสูตรของ Hake (1998) ได้แก่ <*g*> = (%post-test – %pre-test) / (100% – % pre-test) โดยที่ค่า <*g*> น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30 จัดเป็นความก้าวหน้าระดับต่ำ ค่า <*g*> มากกว่า 0.30 แต่น้อยกว่า 0.70 จัดเป็นความก้าวหน้าระดับ และค่า <*g*> มากกว่าหรือเท่ากับ 0.70

จัดเป็นความก้าวหน้าระดับสูง

2) วิเคราะห์มโนมติก่อนและหลังเรียนจากภาพวาดเมนทอลโมเดลระดับบอนุภาค และจำแนกกลุ่มความเข้าใจมโนมติของนักเรียนตามร้อยละความถูกต้องของภาพวาดแต่ละภาพตามเกณฑ์ที่ปรับปรุงจาก Sözbilir et al. (2010) และจาก Supasorn and Promarak (2015) โดยภาพวาดที่ไม่ได้แสดงถึงความเข้าใจมโนมติเลยหรือมีร้อยละความถูกต้องน้อยกว่า 20 จัดอยู่ในกลุ่ม “ไม่มีความเข้าใจมโนมติ” (no conceptual understanding, NU) ถูกต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 20 แต่น้อยกว่า 40 จัดอยู่ในกลุ่ม “ความเข้าใจมโนมติผิด” (misconceptual understanding, MU) ถูกต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 40 แต่น้อยกว่า 60 จัดอยู่ในกลุ่ม “ความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน” (partial with misconceptual understanding, PMU) ถูกต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 60 แต่น้อยกว่า 80 จัดอยู่ในกลุ่ม “ความเข้าใจมโนมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่” (partial conceptual understanding, PU) และถูกต้องมากกว่า 80 จัดอยู่ในกลุ่ม “ความเข้าใจมโนมติถูกต้องอย่างสมบูรณ์” (sound conceptual understanding, SU) จากนั้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยมโนมติของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มที่ศึกษาไม่อิสระต่อกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

คะแนนความเข้าใจมโนมติจากแบบวัดความเข้าใจมโนมติ เรื่อง สารละลาย

จากการวิเคราะห์คะแนนจากแบบวัดความเข้าใจมโนมติ เรื่อง สารละลาย พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจมโนมติก่อนเรียนเป็น 10.98 (SD 5.19) และมีคะแนนความเข้าใจมโนมติหลังเรียนเป็น 23.84 (SD 3.12) คิดเป็นความหน้าทางการเรียนร้อยละ 37.63 หรือมีความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ $\langle g \rangle$ เป็น 0.61 ซึ่งอยู่ในระดับ “ความก้าวหน้าปานกลาง” จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มที่ศึกษาไม่อิสระต่อกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่านักเรียนมีคะแนนความเข้าใจมโนมติเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน (ตาราง 2)

ตาราง 2 การเปรียบเทียบคะแนนจากแบบวัดความเข้าใจมโนมติ เรื่อง สารละลาย

เรื่อง (คะแนนเต็ม)	ก่อนเรียน			หลังเรียน			ความก้าวหน้า		*t*
	mean	SD	%	mean	SD	%	%	$\langle g \rangle$	
1. กระบวนการละลาย (8)	2.95	1.52	36.88	6.16	0.97	76.97	39.91	0.63	16.83*
2. พลังงานกับการละลาย (8)	2.66	1.44	33.25	5.92	1.05	74.00	40.75	0.61	14.42*
3. การละลายของสารไอออนิกและสารโคเวเลนต์ (8)	2.71	1.20	33.88	6.02	1.10	75.25	41.38	0.63	15.43*
4. ความเข้มข้นร้อยละ (8)	2.66	1.42	33.25	5.73	0.98	71.63	38.38	0.57	12.47*
รวม (32)	**10.98**	**5.19**	**34.31**	**23.84**	**3.12**	**74.51**	**40.20**	**0.61**	**18.19***

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

จากตาราง 2 เมื่อจำแนกตามเนื้อหาเป็น 4 หัวข้อ ได้แก่ (1) กระบวนการละลาย (2) พลังงานกับการละลาย (3) การละลายของสารประกอบ ไอออนิก และสารโคเวเลนต์ และ (4) ความเข้มข้นร้อยละของสารละลาย พบว่า นักเรียนมีคะแนนก่อนเรียนใกล้เคียงกันทุกหัวข้อ (คะแนนอยู่ระหว่างร้อยละ 33.25 – 36.88) และมีคะแนนหลังเรียนมากกว่าร้อยละ 70 ในทุกหัวข้อ (คะแนนอยู่ระหว่างร้อยละ 71.63 – 76.97) จากการวิเคราะห์ด้วยการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มที่ศึกษาไม่เป็นอิสระต่อกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจโนมติเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนทุกหัวข้อ โดยมีร้อยละความก้าวหน้าทางการเรียนจริง (%actual gain) ของแต่ละหัวข้อเป็น 39.91 40.75 41.38 และ 38.38 ตาม ลำดับ และมีความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ *<g>* เป็น 0.63 0.61 0.63 และ 0.57 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ใน “ความก้าวหน้าระดับปานกลาง” ทุกหัว-ข้อ หัวข้อกระบวนการละลายเป็นหัวข้อที่นักเรียนมีร้อยละคะแนนหลังเรียน (76.97) และความก้าว-หน้าทางการเรียนแบบปกติ (0.63) สูงที่สุด ส่วนหัวข้อความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยร้อยละเป็นหัวข้อที่นักเรียนมีร้อยละของคะแนนหลังเรียน (71.63) และความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ (0.57) ต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากนักเรียนบางส่วนมีความรู้และทักษะการคำนวณค่อนข้างต่ำ

จากการจำแนกนักเรียนออกเป็นกลุ่มความเข้าใจโนมติโดยใช้คำตอบจากแบบวัดความเข้าใจมโนมติแต่ละข้อเป็นเกณฑ์ในการจำแนก (ตาราง 3) พบว่า ก่อนเรียนมีร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติผิด (MU) คลาดเคลื่อน (AU) และถูกต้อง (SU) เป็น 31.08 68.26 และ 0.66 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่ (ประมาณร้อยละ 68.26) อยู่ในกลุ่มความเข้าใจมโนมติคลาด-เคลื่อน (AU) เมื่อพิจารณาความเข้าใจโนมติหลังเรียน พบว่า หลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในแต่ละกลุ่มเป็น 0.99 49.01 และ 50.00 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า หลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติผิด (MU) และคลาดเคลื่อน (AU) ลดลงจากก่อนเรียนเป็น 30.09 และ 19.25 ตามลำดับ ส่วนร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติถูก-ต้อง (SU) เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนเป็น 49.34 โดยนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มความเข้าใจมโนมติคลาดเคลื่อน (AU) และถูกต้อง (SU)

ตาราง 3 ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติต่าง ๆ จำแนกตามคะแนนจากแบบวัดความเข้าใจมโนมติ

เรื่อง (ความถี่ = จำนวนข้อ× จำนวนคน)	ก่อนเรียน (ร้อยละ)			หลังเรียน (ร้อยละ)			เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)*		
	MU	**AU**	**SU**	**MU**	**AU**	**SU**	**MU**	**AU**	**SU**
1. กระบวนการละลาย (4 × 38)	26.97	73.03	0.00	0.66	44.74	54.60	–26.31	–28.29	+54.60
2. พลังงานกับการละลาย (4 × 38)	32.89	65.13	1.98	1.32	49.34	49.34	–31.57	–15.79	+47.36
3. การละลายของสารไอออนิกและสารโคเวเลนต์ (4 × 38)	31.58	68.42	0.00	1.32	46.71	51.97	–30.26	–21.71	+51.97
4. ความเข้มข้นร้อยละ (4 × 38)	32.89	66.45	0.66	0.66	55.26	44.08	–32.23	–11.19	+43.42
รวม (16 × 38)	**31.08**	**68.26**	**0.66**	**0.99**	**49.01**	**50.00**	**–30.09**	**–19.25**	**+49.34**

*เครื่องหมาย + และ – แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงที่ลดลง ตามลำดับ

จากตาราง 3 เมื่อจำแนกร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติต่าง ๆ ก่อนเรียน พบว่า ทุกหัวข้อมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติคลาดเคลื่อน (AU) สูงกว่าร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติผิด (MU) ค่อนข้างมาก (สูงกว่าประมาณ 2.0 – 2.7 เท่า) แสดงว่านักเรียนน่าจะมีความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับสารละลาย แต่เป็นความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนจากความเห็นร่วมทางวิทยาศาสตร์หรือความเข้าใจที่ถูกต้องในบางกรณี (Mulford and Robinson, 2002) เมื่อพิจารณาร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติต่าง ๆ หลังเรียน พบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติต่าง ๆ เป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้น โดยหลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติผิด (MU) และคลาดเคลื่อน (AU) ลดลงในทุกหัวข้อ และมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติถูกต้อง (SU) เพิ่มขึ้นในทุกหัวข้อ และมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติผิด (MU) น้อยกว่า 1.50 แสดงให้เห็นว่า กิจกรรมการทดลองเคมีแบบสืบเสาะในการวิจัยครั้งนี้มีประสิทธิภาพในการพัฒนาความเข้าใจมโนมติของนักเรียน และสนับสนุนให้นักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจมโนมติจากผิดหรือคลาดเคลื่อนไปทิศทางที่ถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่าทุกหัวข้อยังมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้อง (SU) สูงกว่าในกลุ่มความเข้าใจมโนมติคลาดเคลื่อน (AU) ยกเว้นหัวข้อความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยร้อยละที่มีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติคลาดเคลื่อน (AU) สูงกว่าในกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้อง (SU) ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายข้างต้นที่กล่าวว่านักเรียนบางส่วนมีความรู้และทักษะการคำนวณค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้นักเรียนอาจมีความเข้าใจมโนมติคลาดเคลื่อนในเรื่องความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยร้อยละ

คะแนนภาพวาดเมนทอลโมเดลระดับอนุภาค

จากการวิเคราะห์คะแนนจากภาพวาดเมนทอลโมเดลระดับอนุภาครวมทุกภาพ พบว่า นักเรียนมีคะแนนภาพวาดเมนทอลโมเดลระดับอนุภาคก่อนเรียนเป็น 2.12 (SD 1.12) และมีคะแนนหลังเรียนเป็น 6.01 (SD 1.16) คิดเป็นความหน้าทางการเรียนร้อยละ 48.68 หรือมีความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ <*g*> เป็น 0.66 ซึ่งอยู่ในระดับ “ความก้าวหน้าปานกลาง” จากการวิเคราะห์ด้วยการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มที่ศึกษาไม่เป็นอิสระต่อกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า นักเรียนมีคะแนนภาพวาดเมนทอลโมเดลระดับอนุภาคเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน (ตาราง 4)

จากตาราง 4 จะเห็นได้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจมโนมติไปเป็นมโนมติที่ถูกต้องมากขึ้น โดยหลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติผิดและคลาดเคลื่อนลดลง และมีความเข้าใจมโนมติถูกต้องเพิ่มขึ้นทุกภาพ เมื่อจำแนกภาพวาดเมนทอลโมเดลออกเป็น (1) ภาพแสดงอนุภาคของสารระหว่างการละลายและในสารละลาย และ (2) ภาพแสดงการละลายของสารประกอบไอออนิกและสารโคเวเลนต์ พบว่า นักเรียนมีร้อยละของคะแนนก่อนเรียน ร้อยละของคะแนนหลังเรียน ร้อยละของความก้าวหน้าทางการเรียนจริงและความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ จากภาพแสดงอนุภาคของสารระหว่างการละลายและในสารละลายเป็น 28.95 76.97 48.02 และ 0.68 ตามลำดับ และจากภาพแสดงการละลายของสารประกอบไอออนิกและสารโคเวเลนต์เป็น 24.01 73.36 49.35 และ 0.65 ตามลำดับ จากการ

ตาราง 4 การเปรียบเทียบคะแนนจากภาพวาดเมนทอลโมเดลระดับอนุภาค

ภาพที่ (คะแนนเต็ม)	ก่อนเรียน			หลังเรียน			ความก้าวหน้า		*t*
	mean	SD	%	mean	SD	%	%	<*g*>	
1. อนุภาคของสาร (4)	**1.15**	**0.70**	**28.95**	**3.08**	**0.64**	**76.97**	**48.02**	**0.68**	**19.07***
1.1 ระหว่างการละลาย (2)	0.64	0.38	32.24	1.61	0.39	80.26	48.02	0.71	13.92*
1.2 ในสารละลาย (2)	0.51	0.36	25.66	1.47	0.53	73.68	48.02	0.65	13.92*
2. การละลายของสาร (4)	**0.96**	**0.54**	**24.01**	**2.93**	**0.78**	**73.36**	**49.35**	**0.65**	**20.95***
2.1 สารประกอบไอออนิก (2)	0.57	0.35	28.29	1.51	0.50	75.66	47.37	0.66	16.06*
2.2 สารโคเวเลนต์ (2)	0.39	0.53	28.29	1.42	0.44	71.05	51.31	0.64	13.63*
รวม (8)	**2.12**	**1.12**	**26.48**	**6.01**	**1.16**	**75.16**	**48.68**	**0.66**	**28.88***

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

วิเคราะห์ด้วยการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มที่ศึกษาไม่เป็นอิสระต่อกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า นักเรียนมีคะแนนภาพวาดเมนทอลโมเดลเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกภาพ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบย่อยของภาพ จะเห็นได้ ภาพแสดงอนุภาคของสารระหว่างการละลายเป็นภาพที่นักเรียนมีร้อยละของคะแนนหลังเรียน (80.26) และความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ (0.71) สูงที่สุด และเป็นเพียงภาพเดียวที่จัดอยู่ใน “ระดับความก้าวหน้าสูง” ทั้งนี้อาจมาจากนักเรียนได้ศึกษาเพิ่มเติมจากภาพนิ่งหรือภาพเคลื่อนไหวเกี่ยวกับการละลายของเกลือต่าง ๆ ซึ่งเป็นสารประกอบไอออนิกจากในหนังสือเรียนหรือในอินเทอร์เน็ต ซึ่งส่วนใหญ่แสดงตัวอย่างการละลายของเกลือแกงเป็นตัวอย่าง ส่วนภาพแสดงการละลายของสารโคเวเลนต์เป็นภาพที่นักเรียนมีร้อยละของคะแนนหลังเรียน (71.05) และความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ (0.64) ต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากภาพเคลื่อนไหวที่พัฒนาขึ้นอาจยังมีจุดบกพร่องบางอย่างในเรื่องนี้ กอปรกับตัวอย่างการภาพแสดงการละลายของสารโคเวเลนต์ในหนังสือเรียนหรือในอินเทอร์เน็ตยังมีอยู่อย่างจำกัดก็เป็นได้

จากการจำแนกนักเรียนออกเป็นกลุ่มความเข้าใจโมมติโดยใช้คะแนนภาพวาดเมนทอลโมเดลระดับอนุภาคเป็นเกณฑ์ในการจำแนก (ตาราง 5) พบว่า ก่อนเรียนมีร้อยละของนักเรียนที่ไม่มีความเข้าใจโมมติ (NU) มีความเข้าใจโมมติผิด (MU) ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) และถูกต้องสมบูรณ์ (SU) เป็น 25.00 44.08 30.92 0.00 และ 0.00 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มความเข้าใจมโนมติผิดและกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (MU+PMU) เมื่อพิจารณาความเข้าใจโนมติหลังเรียน พบว่า หลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในแต่ละกลุ่มเป็น 0.00 7.90 19.74 36.19 และ 36.18 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า หลังเรียนมีผลรวมร้อยละของนักเรียนที่ไม่มีความเข้าใจมโนมติและความเข้าใจมโนมติผิด (NU+MU) ลดลงจากการก่อนเรียนเป็น 61.18 และมีความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) ลดลงจากก่อนเรียนเป็น 11.19 ส่วนผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่และถูกต้องสมบูรณ์ (PU+

SU) เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนเป็น 72.37 โดยนักเรียนส่วนใหญ่ (ประมาณร้อยละ 72.36) อยู่ในกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) และถูกต้องสมบูรณ์ (SU)

ตาราง 5 ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติต่าง ๆ จำแนกตามภาพวาดเมนทอลโมเดลระดับอนุภาคเป็นเกณฑ์

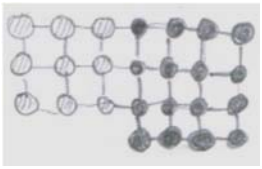
ภาพที่	ก่อนเรียน (ร้อยละ)					หลังเรียน (ร้อยละ)					เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)*		
	NU	MU	PMU	PU	SU	NU	MU	PMU	PU	SU	NU+MU	PMU	PU+SU
1	**21.05**	**42.11**	**36.85**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**6.58**	**19.74**	**32.90**	**40.79**	**–56.58**	**–17.11**	**+73.69**
1.1	18.42	34.21	47.37	0.00	0.00	0.00	0.00	21.05	36.84	42.11	–52.63	–26.32	+78.95
1.2	23.68	50.00	26.32	0.00	0.00	0.00	13.16	18.42	28.95	39.47	–60.52	–7.90	+68.42
2	**28.95**	**46.06**	**25.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**9.21**	**19.74**	**39.48**	**31.58**	**–65.79**	**–5.27**	**+71.06**
2.1	18.42	50.00	31.58	0.00	0.00	0.00	10.53	15.79	34.21	39.47	–57.89	–15.79	+73.68
2.2	39.47	42.11	18.42	0.00	0.00	0.00	7.89	23.68	44.75	23.68	–73.69	5.26	+68.43
รวม	**25.00**	**44.08**	**30.92**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**7.90**	**19.74**	**36.19**	**36.18**	**–61.18**	**–11.19**	**+72.37**

*เครื่องหมาย + และ – แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงที่ลดลง ตามลำดับ

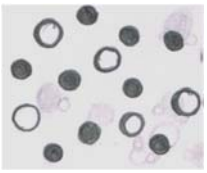
จากตาราง 5 เมื่อจำแนกร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติต่าง ๆ ตามภาพวาดเมนทอลโมเดลก่อนเรียน พบว่า มีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มที่มีความเข้าใจมโนมติผิด (MU) สูงกว่าในกลุ่มอื่น ๆ ยกเว้นภาพแสดงอนุภาคของสารระหว่างการละลายที่มีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มที่มีความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) สูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ แสดงว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจระดับอนุภาคเกี่ยวกับการละลายก่อนเรียนอยู่ในกลุ่มความเข้าใจมโนมติผิด (MU) ส่วนภาพแสดงการละลายของสารโคเวเลนต์มีร้อยละของนักเรียนที่ไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU) สูงกว่าภาพอื่น ๆ เมื่อพิจารณาร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติต่าง ๆ หลังเรียน พบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติต่าง ๆ เป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้น โดยหลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนที่มีมโนมติผิด (MU) และถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) ลดลงในทุกภาพ และมีร้อยละของนักเรียนที่มีมโนมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) และมโนมติถูกต้องสมบูรณ์ (SU) เพิ่มขึ้นในทุกภาพ โดยในทุกภาพไม่มีนักเรียนที่ไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU) แสดงให้เห็นว่า ภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาคเกี่ยวกับสารละลายในการวิจัยครั้งนี้มีประสิทธิภาพในการพัฒนาเมนทอลโมเดลของนักเรียน และสนับสนุนให้นักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงเมนทอลโมเดลจากไม่มีมโนมติ (NU) มโนมติผิด (MU) หรือถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) ไปเป็นมโนมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) และถูกต้องสมบูรณ์ (SU) ซึ่งเป็นมโนมติที่ถูกต้องมากขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าทุกหัวข้อยังมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องสมบูรณ์ (SU) สูงกว่า ในกลุ่มถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) ยกเว้นภาพแสดงการละลายของสารโคเวเลนต์มีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มที่เข้าใจมโนมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) สูงกว่าในกลุ่มถูกต้องสมบูรณ์ (SU) เนื่องจากนักเรียนบางส่วนยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนว่าการละลายน้ำของสารโคเวเลนต์เป็นการสลายพันธะระหว่างอะตอมหรือระหว่างไอออนเช่นเดียวกับการละลายน้ำของสารประกอบ

ไอออนิก ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายเกี่ยวกับคะแนนจากภาพวาดแสดงอนุภาคในการ ละลายน้ำของสารโคเวเลนต์ข้างต้น นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจที่ถูกต้องสมบูรณ์ว่า การละลายน้ำของสารประกอบไอออนิกเกี่ยวข้องกับการสลายพันธะหรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออน ทั้งนี้การ ศึกษาจากภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาคเกี่ยวกับการละลายน้ำของสารโคเวเลนต์อาจยังไม่ชัดเจนเพียงพอ ดังนั้นผู้สอนควรแทรกการอภิปรายหรืออธิบายร่วมกับผู้เรียน หรือแทรกกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมืออื่น ๆ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่เป็นไปตามความเห็นร่วมทางวิทยาศาสตร์ร่วมกันได้ดียิ่งขึ้น (Acar and Tarhan, 2007)

จากการวิเคราะห์ภาพวาดเมนทอลโมเดลแสดงอนุภาคของสารระหว่างการละลาย พบว่า ก่อนเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจโมมติคลาดเคลื่อนว่าระหว่างการละลายยังมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของตัวละลายและระหว่างอนุภาคของตัวละลายอยู่เท่าเดิม (ระยะห่างเท่าเดิม) แต่อนุภาคของตัวละลายและอนุภาคของตัวทำละลายเพียงเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันเท่านั้น (ภาพที่ 3ก) แต่หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติถูกต้องว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของตัวละลายและระหว่างอนุภาคของตัวละลายจะสลายไป สังเกตได้จากระยะห่างระหว่างอนุภาคมากขึ้น (ภาพที่ 3ข) และจากการวิเคราะห์ภาพวาดเมนทอลโมเดลแสดงอนุภาคในสารละลาย พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่เข้าใจผิดว่าในสารละลายจะเกิดการสร้างแรงพันธะใหม่ระหว่างอนุภาคของตัวละลายและตัวถูกละลายหรือเกิดเป็นสารใหม่และมีการยึดเหนี่ยวสารใหม่ด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล (ภาพที่ 3ค) แต่หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติถูกต้องว่าอนุภาคของตัวทำละลายจะเข้าล้อมรอบอนุภาคตัวทำละลายและกระจายตัวอยู่ในสารละลาย (ภาพที่ 3ง)

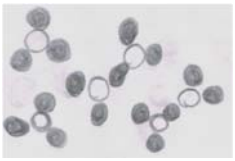


(ก) อนุภาคของสารระหว่างการละลาย (ก่อนเรียน)



(ข) อนุภาคของสารระหว่างการละลาย (หลังเรียน)

(ค) อนุภาคของสารในสารละลาย (ก่อนเรียน)



(ง) อนุภาคของสารในสารละลาย (หลังเรียน)

ภาพที่ 3 ตัวอย่างภาพเมนทอลโมเดลระดับอนุภาคระหว่างการละลายและในสารละลาย

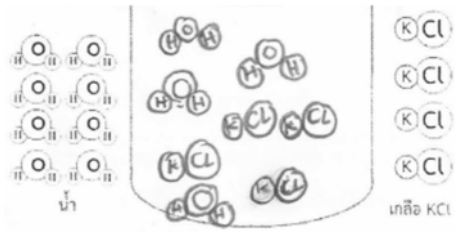
จากการวิเคราะห์ภาพวาดเมนทอลโมเดลแสดงอนุภาคของสารในการละลายของสารประกอบไอออนิก พบว่า ก่อนเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจมโนมติผิดว่าอนุภาคของสารประกอบไอออนิกยังยึดกันอยู่เป็นเหมือนโมเลกุล ไม่ได้มีการแยกเป็นไอออนบวกและไอออนลบ (ภาพที่ 4ก) หรือบางส่วนเข้าใจผิดว่าสารประกอบไอออนิกละลายน้ำและรวมกันอยู่ข้างล่างของภาชนะเท่านั้น แต่หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติถูกต้องว่าการละลายน้ำของสารประกอบไอออนิก

เป็นการสลายโครงผลึกแล้วกลายเป็นไอออน และอนุภาคของตัวทำละลายจะเข้าล้อมรอบไอออนของที่มาจากตัวละลาย (ภาพที่ 4ข) และจากการวิเคราะห์ภาพวาดเมนทอลโมเดลแสดงอนุภาคของสารในการละลายของสารโคเวเลนต์ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่เข้าใจผิดว่าการละลายน้ำของสารโคเวเลนต์เป็นการสลายพันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลสารโคเวเลนต์ หรือบางส่วนเข้าใจผิดถูกต้องว่าสารโคเวเลนต์ยังคงอยู่เป็นโมเลกุล แต่เข้าใจผิดว่าสารโคเวลนต์จะละลายน้ำและรวมกันอยู่ข้างล่างของภาชนะเท่านั้น (ภาพที่ 4ค) แต่หลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติถูกต้องว่าการละลายน้ำของสารโคเวเลนต์เป็นการสลายโครงผลึกแล้วกลายเป็นโมเลกุล และอนุภาคของตัวทำละลายจะเข้าล้อมรอบโมเลกุลของตัวละลายนั่นเอง (ภาพที่ 4ง)

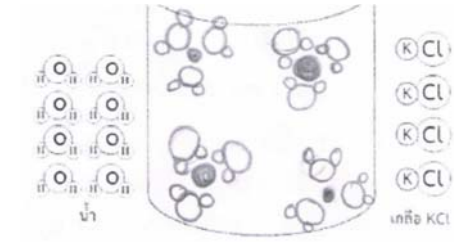
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาการทดลองเคมีแบบสืบเสาะ เรื่อง สารละลาย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และการพัฒนาภาพเคลื่อนไหวเพื่อเสริมความเข้าใจระดับอนุภาค เรื่อง สารละลาย แล้วนำมาจัดการเรียนรู้ตามวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้สำรวจข้อมูลที่สำคัญในระดับมหภาคที่ตามองเห็นจากการทดลองเคมีแบบสืบเสาะ และทำความเข้าใจข้อมูลระดับสัญลักษณ์จากการบันทึกผลและการอธิบายผลการทดลอง แล้วเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลระดับอนุภาคหรือระดับกึ่งจุลภาคจากภาพเคลื่อนไหว

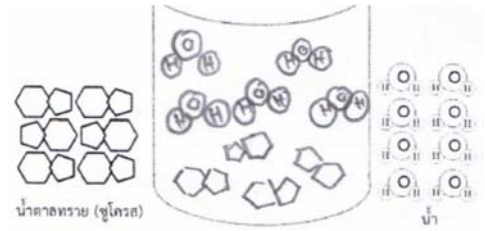
ระดับอนุภาคในขั้นขยายความรู้ ส่งผลให้นักเรียนสามารถพัฒนาความเข้าใจมโนมติได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติผิด (MU) และคลาดเคลื่อน



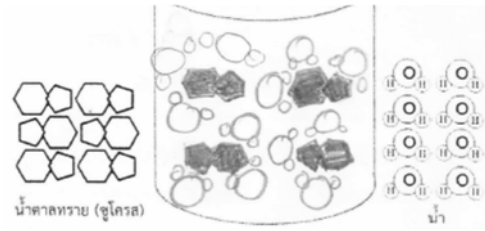
(ก) การละลายของสารประกอบไอออนิก (ก่อนเรียน)



(ข) การละลายของสารประกอบไอออนิก (หลังเรียน)



(ค) การละลายของสารโคเวเลนต์ (ก่อนเรียน)



(ง) การละลายของสารโคเวเลนต์ (หลังเรียน)

ภาพที่ 4 ตัวอย่างภาพเมนทอลโมเดลระดับอนุภาค เรื่อง การละลายของสารประกอบไอออนิกและสารโคเวเลนต์

(AU) ลดลง และมีร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติถูกต้อง (SU) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า นักเรียนยังสามารถพัฒนาเมนทอลโมเดลระดับอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลังเรียนมีผลรวมร้อยละของนักเรียนที่ไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU) ความเข้าใจมโนมติผิด (MU)

และความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) ลดลง ส่วนผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) และถูกต้องสมบูรณ์ (SU) มีค่าเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่า ผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถยืนยันได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยการทดลองแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาคสามารถพัฒนาความเข้าใจมโนมติและเมนทอลโมเดลความเข้าใจระดับอนุภาคของนักเรียนให้สูงขึ้นและสนับสนุนให้นักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจมโนมติและเมนทอลโมเดลความเข้าใจระดับอนุภาค เรื่อง สารละลาย ไปในทิศทางที่ถูกต้องมากขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จะเห็นได้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจมโนมติไปเป็นมโนมติที่ถูกต้องมากขึ้น โดยหลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติผิดและคลาดเคลื่อนลดลง และมีความเข้าใจมโนมติถูกต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับที่ Briggs and Bodner (2005) ได้อธิบายไว้ว่า นักเรียนจะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจมโนมติหรือเมนทอลโมเดลไปในทิศทางที่ถูกต้องมากขึ้นเมื่อนักเรียนได้รับข้อมูลระดับมหภาคจากการทดลองและได้รับข้อมูลระดับอนุภาคจากภาพเคลื่อนไหวหรือแบบจำลองระดับอนุภาคที่สมเหตุสมผล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการสกัดข้อมูลที่สำคัญจากภาพเคลื่อนไหวหรือแบบจำลองของนักเรียนแต่ละคน โดยนักเรียนที่สามารถสกัดข้อมูลที่สำคัญได้ดี จะสามารถนำมาปรับปรุงความเข้าใจมโนมติหรือเมนทอลโมเดลได้ดีนั่นเอง (Yang et al., 2003) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่อธิบายไว้ว่า เนื้อหาหรือมโนมติในวิชาเคมีส่วนมากมีความเป็นนามธรรมและมองไม่เห็น (intangible concept) ดังนั้นในการจัดการเรียนรู้ควรจะมีการแสดงข้อมูลเคมีทั้ง 3 ระดับ เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงข้อมูลระดับมหภาคที่ได้จากการสังเกตด้วยประสาทสัมผัส และอธิบายให้เข้าใจตรงกันด้วยข้อมูลระดับสัญลักษณ์ เช่น สัญลักษณ์เคมีและสมการเคมีตามด้วยการเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลระดับอนุภาคที่ได้จากการศึกษาจากภาพนิ่งหรือภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาค สิ่งเหล่านี้จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถสร้างมโมติใหม่หรือปรับเปลี่ยนจากมโนมติที่ไม่ถูกต้องไปในทิศทางที่ถูกต้องมากขึ้น (Çalik et al., 2010; Doymus et al., 2010)

การจัดการเรียนรู้ด้วยการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลเพื่อสนับสนุนความเข้าใจมโนมติและการปรับแก้มโนมติระดับโมเลกุลอาจเป็นเรื่องยากและใช้เวลาค่อนข้างมากในช่วงเริ่มต้น อย่างไรก็ตาม หลังจากทั้งครูและนักเรียนคุ้นเคยแล้ว การจัดการเรียนรู้ด้วยการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลก็ไม่ใช่เรื่องยากอีกต่อไป ดังนั้นโรงเรียนควรจัดให้มีการทดลองแบบสืบเสาะควบคู่กับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลอย่างน้อยภาคการเรียนละ 2 – 3 การทดลอง เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติ และเมนทอลโมเดลในระดับโมเลกุลที่ถูกต้องมากขึ้น และเกิดความมั่นใจในการทำวิทยาศาสตร์ (doing science) นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์รวมทั้งกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์หาความรู้ ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นในการศึกษาต่อ และการทำวิจัยทางวิทยาศาสตร์ในอนาคตของนักเรียน (Deters, 2005)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่อง “การพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบ-

เสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลเพื่อสนับสนุนความเข้าใจมโนมติระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น" ปีงบประมาณ 2558 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้อำนวยความสะดวกทั้งด้านสถานที่และอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Acar, B., and Tarhan, L. (2007). Effect of cooperative learning strategies on students' understanding of concepts in electro chemistry. **International Journal Science Mathematics Education** 5: 349–373.

Blonder, R., Mamlok-Naaman, R. and Hofstein, A. (2008). Analyzing inquiry questions of high-school students in a gas chromatography open-ended laboratory experiment. **Chemistry Education Research and Practice** 9(3): 250–258.

Bodner, G. M. (2007). The role of theoretical frameworks in chemistry. In Bodner, G. M. and Orgill, M. (Eds.). **Theoretical Frameworks for Research in Chemistry/Science Education** (pp. 1–26). New Jersey: Prentice Hall.

Briggs, M. W., and Bodner, G. M. (2005). A model of molecular visualization. In Gilbert. J. K. (Ed.). **Visualization in science education** (pp. 61–73). Netherlands: Springer.

Çalik, M., Ayas, A., and Coll, R. K., (2009), Investigating the effectiveness of an analogy activity in improving students' conceptual change for solution chemistry concepts. **International Journal of Science and Mathematics Education** 7(4): 651–676.

Çalik, M., Kolomuc, A., and Karagolge, Z. (2010). The effect of conceptual change pedagogy on students' conceptions of rate of re-action. **Journal of Science Education and Technology** 19(5): 422–433.

Deters, K. M. (2005). Student opinions regarding inquiry-based labs. **Journal of Chemical Education**, 82(8): 1178–1180.

Doymus, K., Karacop, A., and Simsek, U. (2010). Effects of Jigsaw and animation techniques on students' understanding of concepts and subjects in electrochemistry. **Educational Technology Research and Development** 5(6): 671–691.

Ditcharoen, N., Polyiam, K., Vangkahad, P., and Jarujamrus, P. (2014). Development of learning media in topics of atomic structure and chemical bond with augmented reality technology. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 5(1): 21–27. (in Thai)

Faikhamta. (2008). Student alternative conceptions in chemistry. **Journal of Education faculty of education, Prince of Songkla University** 19(2): 10–28. (in Thai)

Green, W. J., Elliott, C., and Cummins, R. H. (2004). Prompted inquiry-based learning in the introductory chemistry laboratory. **Journal of Chemical Education**. 81: 239–241.

Hake, R. R. (1998). Interactive engagement vs. traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics** 61(1): 64–74.

Hand, B. and Keys, C. (1999). Inquiry investigation: A new approach to laboratory reports. **The Science Teacher** 66(4): 27– 29.

Johnson-Laird, P. N. (1983). **Mental models – towards a cognitive science of language, inference and consciousness**. Cambridge, MA: Harvard University.

Johnstone, A. H. (1993). Introduction. In Wood, C., and Sleet, R. (Eds.), **Creative Problem Solving** (pp. iv–vi). London: Royal Society of Chemistry.

Kegley, S., Stacy, A., and Gutwill, J. (1996). Environmental chemistry in the general chemistry laboratory, part I: A context-based approach to teaching chemistry. **The Chemical Educator** 1(4): 1–14.

Khattiyavong, P. Jarujamrus, P., Supasorn, S. and Kulsing, C. (2014). The development of small scale and low-cost galvanic cells as a teaching tool for electrochemistry. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 5(2): 146–154. (in Thai)

Mulford, D. R., and Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. **Journal of Chemical Education** 79(6): 739–744.

Phornphisutthimas, S. (2011). Development of learning undergraduate-level biostatistics using constructivism. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 2(2): 104–110. (in Thai)

Sanger, M. J. (2008). How does inquiry-based instruction affect teaching majors' views about teaching and learning science? **Journal of Chemical Education** 85: 297–302.

Sözbilir, M., Pınarbaşı, T., and Canpolat, N., (2010). Prospective chemistry teachers' conceptions of chemical thermodynamics and kinetics. **Eurasia Journal of Mathematics, Science, and Technology Education** 6(2): 111–120.

Supasorn, S. (2011). Science inquiry process in high school chemistry experiments: a review of science education research studies from Ubon Ratchathani University. **Journal of Education, Prince of Songkla University (Pattani Campus)** 22(3): 331–343. (in Thai)

Supasorn, S. (2012). Roles of mental models in learning chemistry at molecular level.

Journal of Education, Khon Kaen University 35(1): 1–7. (in Thai)

Supasorn, S. (2015a). Particulate animation on solutions for secondary school chemistry. Retrieved from http://chem.sci.ubu.ac.th/e-learning/SolutionChem2015, February 9, 2016. (in Thai).

Supasorn, S. (2015b). Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit. **Chemistry Education Research and Practice** 16(2): 393–407.

Supasorn, S., and Promarak, V. (2015). Implementation of 5E inquiry incorporated with analogy learning approach to enhance conceptual understanding of chemical reaction rate for grade 11 students. **Chemistry Education Research and Practice** 16(1): 121–132.

Taber, K. S. (2002). **Chemical misconceptions–prevention, diagnosis and cure, Volume I: Theoretical background**. London: Royal Society of Chemistry.

Vosniadou, S. (2002). On the nature of naive physics. In M. Limon and L. Mason (Eds.), **Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice** (pp. 61–76). Dordrecht: Kluwer.

Ware, S. A. (2001). Teaching chemistry from a societal perspective. **Pure and Applied Chemistry** 73: 1209–1214.

Yamu, S., and Wuttisela, K. (2015). Exploring the scientific conceptual understanding on solution concentration of students learning through 5E inquiry incorporated with team games tournament techniques. **Proceedings of 4th National Conference on Research and Innovation for Local Development towards ASEAN Community** (pp. 43–53). Naradhiwat: Princess of Naradhiwas University. (in Thai)

Yang, E., Andre, T., and Greenbowe, T. (2003). Spatial ability and the effect of visualization/animation on learning electrochemistry. **International Journal of Science Education** 25(3): 329–349.