บทความวิจัย (Research Article)

การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงที่ส่งเสริมทักษะการสร้างแบบจำลองและมโนทัศน์ เรื่อง สารละลาย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

MODEL-BASED LEARNING APPROACH INTEGRATED WITH AUGMENTED REALITY FOR ENHANCING GRADE 10 STUDENTS' MODEL-BUILDING SKILLS AND SCIENTIFIC CONCEPTIONS IN SOLUTION TOPIC

Received: April 11, 2020 **Revised:** May 14, 2020 **Accepted:** May 20, 2020

กนกภรณ์ ทรวดทรง[1*] และสิรินภา กิจเกื้อกูล[2]
Kanokphorn Suradsrong[1*] and Sirinapa Kijkuakul[2]

[1,2]คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
[1,2]Faculty of Education, Naresuan University, Phitsanulok 65000,Thailand

*Corresponding Author, E-mail: flintdaggersuradsrong@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงที่มุ่งส่งเสริมทักษะการสร้างแบบจำลอง และมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เรื่อง สารละลาย รูปแบบการวิจัยเป็นวิจัยเชิงปฏิบัติการ ประกอบด้วย ขั้นวางแผน ขั้นปฏิบัติ ขั้นสังเกต และขั้นสะท้อนผล ดำเนินเป็นวงจรต่อเนื่องกัน 3 วงจรปฏิบัติการ ผู้เข้าร่วมวิจัย เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 45 คน เครื่องมือวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ แบบสังเกตกึ่งโครงสร้าง แบบประเมินชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และแบบสำรวจมโนทัศน์ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์เนื้อหาและตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้า ผลการวิจัย พบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง ควรดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้ 1) สร้างแบบจำลอง 2) แสดงแบบจำลอง 3) ทดสอบแบบจำลอง 4) ประเมินแบบจำลอง โดยนำเทคโนโลยีเสมือนจริงไปใช้ในขั้น 3 เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองทางความคิดของตนเองให้เป็นรูปธรรม ทั้งนี้นักเรียนสามารถพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับสูง ในทุกด้านของกระบวนการสร้างแบบจำลอง โดยเฉพาะในด้านการปรับปรุง อีกทั้งทักษะเหล่านี้ยังช่วยให้นักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 80 มีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SU) เรื่อง สารละลาย โดยเฉพาะเรื่องสมบัติบางประการของสารละลาย

คำสำคัญ: แบบจำลองเป็นฐาน เทคโนโลยีเสมือนจริง ทักษะการสร้างแบบจำลอง มโนทัศน์

Abstract

This research aims to develop a way to implement the model-based learning approach integrated with Augmented Reality technology to enhance students' model-building skills and scientific conceptions in the solution topic. Research design was the action research consisting of Plan, Action, Observe and Reflect, which had been continued in 3 cycles. The participants were 45 Grade 10 students. Research instruments included lesson plans, reflective journals, semi-structured observations, 3D model evaluation protocol, semi-structured interviews and scientific conception test. Data were analyzed by content analysis and critiqued data creditability with resource and method triangulations. Research results revealed that Model-based learning approach consist of 4 steps included 1) creation of the model, 2) expression of the model, 3) test of the model, and 4) evaluation of the model. Also, the Augmented Reality technology was proceeded in step 3 to support the students' more concrete model-building skill. Furthermore, the students appeared to have development of model-building skills in high level, especially improving their model. Also the skills helped almost 80 percent of them to have scientific conceptions in the solution topic, especially the colligative properties of solution.

Keywords: Model-based Learning, Augmented Reality technology, Model-building Skill, Concept

บทนำ

วิชาเคมีเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับสารและการเปลี่ยนแปลงของสสาร ทั้งในระดับมหภาค (Macroscopic Level) ระดับจุลภาค (Microscopic Level) และระดับสัญลักษณ์ (Symbolic Level) การเปลี่ยนแปลงระดับมหภาคเป็นการอธิบายถึงปรากฏการณ์ทางเคมีที่สามารถสังเกตและมองเห็นได้ ต่างจากเปลี่ยนแปลงระดับจุลภาค ที่เป็นการอธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีของสารในระดับอะตอมและโมเลกุล ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และในส่วนของการเปลี่ยนแปลงระดับสัญลักษณ์ เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระดับมหภาคและระดับจุลภาค ที่เชื่อมโยงถึงกันผ่านการเขียนด้วยสัญลักษณ์ทางเคมี (Johnstone as cited in Gilbert, 2004) ฉะนั้น ความรู้ เนื้อหา และมโนทัศน์ทางเคมีส่วนใหญ่ จึงมีลักษณะเป็นนามธรรม โดยเฉพาะเรื่องสารละลาย ซึ่งถือว่าเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญต่อการศึกษาและทำความเข้าใจในเนื้อหาทางเคมีเชิงคำนวณอื่นๆ เช่น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แก๊ส สมดุลเคมี และกรด-เบส เป็นต้น

จากประสบการณ์ของผู้วิจัยในการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียนเคมี พบว่า เนื้อหาในเรื่องสารละลาย ซึ่งมีลักษณะเป็นนามธรรมนั้น ทำให้นักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถจินตนาการและเข้าใจในมโนทัศน์ในระดับจุลภาคได้ จึงส่งผลให้นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เช่น เมื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบความเข้มข้นและปริมาตรแตกต่างกัน นักเรียนสามารถระบุสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดได้แต่ยังไม่สามารถเชื่อมโยงไปถึงปริมาณของตัวถูกละลายที่แตกต่างกัน นักเรียนเข้าใจว่าสารละลายที่มีจำนวนโมลของตัวถูกละลายมากที่สุด มีความเข้มข้นสูงที่สุด โดยไม่ได้คำนึงถึงปริมาณของตัวทำละลายหรือสารละลาย ซึ่ง Ditcharoen et al. (2014) ได้ให้อธิบายว่า อาจเป็นเพราะนักเรียน

ส่วนใหญ่ เลือกที่จะเรียนรู้เนื้อหาด้วยวิธีการท่องจำ แทนการทำความเข้าใจอย่างถ่องแท้จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน นอกจากนี้ นักเรียนส่วนใหญ่มักไม่สามารถเชื่อมโยงมโนทัศน์ทางเคมีในระดับมหภาคไปยังระดับจุลภาคได้ จึงทำให้นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากมาย รวมทั้งไม่สามารถประยุกต์ใช้มโนทัศน์ทางเคมี จึงส่งผลเสียให้นักเรียนไม่สามารถพูดหรือเขียนเพื่ออธิบายความคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ และไม่สามารถเชื่อมโยงหรือประยุกต์มโนทัศน์ไปใช้ในสถานการณ์ในชีวิตประจำวันได้อย่างเหมาะสม (Halloun & Hestense, 1998, p. 240)

ทักษะการสร้างแบบจำลอง คือ การสร้างและใช้สิ่งที่ทำขึ้นมาเพื่อเลียนแบบหรืออธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาหรือสนใจเพื่อช่วยให้ ผู้เรียน มองเห็นภาพและเข้าใจในมโนทัศน์ที่แฝงอยู่ในแบบจำลองนั้น การสร้างแบบจำลองจึงมีความสำคัญต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยมีส่วนช่วยเสริมให้ผู้เรียนสามารถอธิบายแนวความคิดจากนามธรรมไปสู่รูปธรรม ผ่านสื่อกลางหรือตัวแทนความคิดที่เรียกว่า แบบจำลอง ซึ่ง Glynn and Duit (1995) เชื่อว่าแบบจำลองทางความคิดจะเป็นเครื่องมือสำคัญที่จะช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างมโนทัศน์ทางเคมีในระดับจุลภาคได้ เพราะถึงแม้เนื้อหาและหลักการในวิชาเคมีจำนวนมากจะเกี่ยวข้องกับการแสดงผลในระดับจุลภาค แต่เมื่อนักเรียนต้องสร้างแบบจำลองทางความคิดของตนเองขึ้นมา เพื่อทำความเข้าใจมโนทัศน์ที่สัมผัสไม่ได้และมองไม่เห็นเหล่านี้ก็จะช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงกับโลกทั้งในระดับมหภาค ระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ (Greenbowe, 2003; Johnstone, 1993)

การจัดการเรียนรู้โดยใช้ แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based learning) เป็นกระบวนการที่นักเรียนใช้เพื่อทำความเข้าใจและอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ โดยผ่านการสร้างและปรับปรุงแบบจำลองของปรากฏการณ์นั้นๆ อย่างต่อเนื่อง โดยมีขั้นตอน ดังนี้ ขั้นการสร้างแบบจำลอง ขั้นการแสดงออกแบบจำลอง ขั้นการทดสอบแบบจำลองและขั้นการประเมินแบบจำลอง เนื่องด้วยเนื้อหาในวิชาเคมีมีลักษณะเป็นนามธรรมในระดับจุลภาคหรือโมเลกุลจึงทำให้แบบจำลอง 2 มิติ ไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้ จึงต้องนำเทคโนโลยีเสมือนจริงเข้าไปใช้ในขั้นทดสอบแบบจำลอง ซึ่งการจัดการเรียนรู้นี้จะสามารถช่วยให้นักเรียนจินตนาการถึงการเกิดปรากฏการณ์ในเนื้อหาที่เป็นนามธรรมได้ดีขึ้น (Barak & Hussein-Farraj, 2013) และทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้จากการสร้างและพัฒนาแบบจำลองและนำไปสู่การพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองและมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์

ในปัจจุบันด้านการศึกษานั้นได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยในการจัดการเรียนการสอน นำเทคโนโลยี AR (Augmented Reality) มาจัดการเรียนรู้เป็นมิติใหม่ทางด้านสื่อการศึกษา สร้างประสบการณ์ที่แปลกใหม่และมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเทคโนโลยี AR (Augmented Reality) เป็นเทคโนโลยีที่ผสานเอาโลกแห่งความเป็นจริง (Reality) และเสมือนจริง (Virtual) เข้าด้วยกัน ซึ่งภาพเสมือนจริงนั้นจะแสดงผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์แสดงผล มีลักษณะเป็นทั้งภาพนิ่ง 3 มิติ และภาพเคลื่อนไหว (Srifa, 2013) และเป็นประสบการณ์ใหม่ที่เกิดขึ้นได้จริงจากการเสริมสารสนเทศเข้าไปในสถานการณ์หรือสิ่งแวดล้อมจริงจะตอบสนองต่อการเรียนรู้ ซึ่งการนำเทคโนโลยีเสมือนจริงมาใช้ในการสร้างแบบจำลองทางความคิด จะช่วยแก้ปัญหาในข้อจำกัดด้านจินตนาการภาพและการมองภาพของผู้เรียนทำให้เกิดการเรียนรู้ให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น (Ditcharoen et al., 2014)

จากแนวคิดข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงและมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR (Augmented Reality) ซึ่งมีส่วนช่วยเสริมให้นักเรียนสามารถอธิบาย

แนวความคิดจากนามธรรมไปสู่รูปธรรม เพื่อพัฒนามโนทัศน์ เรื่อง สารละลาย ซึ่งมีเนื้อหาอยู่ในระดับจุลภาคได้ และพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง ที่จะช่วยพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลอง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สารละลาย
2. เพื่อศึกษาการพัฒนาในทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สารละลาย เมื่อจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง
3. เพื่อศึกษามโนทัศน์ของนักเรียน เรื่อง สารละลายที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง

วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการเชิงคุณภาพ ตามแนวคิดของ Kemmis and McTaggart (1988) ซึ่งมีประโยชน์ต่อการพัฒนาผู้วิจัยในฐานะครู โดยเป็นการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาในชั้นเรียนและพัฒนาการสอนของครู ดังนั้นบริบทของการวิจัยจึงมีความจำเพาะ (Wongwanich, 2014) และด้วยการวิจัยเชิงคุณภาพ จะทำให้ผู้วิจัยได้ข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาการจัดการเรียนรู้และการพัฒนาศักยภาพของนักเรียนในเชิงลึกมากขึ้น โดยอาศัยหลักฐานและการสะท้อนผลเป็นหลัก ได้เป็นข้อสรุปที่มีประโยชน์ ตลอดจนเกิดเป็นแนวปฏิบัติที่ดี นำไปสู่องค์ความรู้ใหม่ที่สามารถนำไปใช้ปรับปรุงการจัดการเรียนรู้และพัฒนานักเรียนได้ ในวงจรปฏิบัติการประกอบไปด้วย 3 วงจรปฏิบัติการ ได้แก่ วงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง หน่วยความเข้มข้นของสารละลาย วงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การเตรียมสารละลาย และวงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง สมบัติบางประการของสารละลาย และมีขั้นตอนการดำเนินการเป็นวงจรปฏิบัติการ 4 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ขั้นวางแผน (Plan) 2) ขั้นปฏิบัติ (Act) 3) ขั้นสังเกต (Observe) 4) ขั้นสะท้อนผล (Reflect)

1. ผู้เข้าร่วมวิจัย นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 45 คน โดยทำการศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 ในโรงเรียนขนาดใหญ่ในจังหวัดพิจิตร

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง สารละลาย จำนวน 3 แผน ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ 15 ชั่วโมง ดังนี้ 1) หน่วยความเข้มข้นของสารละลาย 2) การเตรียมสารละลาย 3) สมบัติบางประการของสารละลาย และได้ปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญในประเด็นเกี่ยวกับเวลาในการจัดการเรียนรู้ โปรแกรมหรือเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในการทำชิ้นงานแบบจำลอง และการนำเทคโนโลยีมาใช้ในขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้

2.2 แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ เป็นการบันทึกสิ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างการจัดการเรียนรู้ ข้อดี ข้อจำกัด ปัญหาที่พบและการแก้ไขในแต่ละขั้นตอน ซึ่งบันทึกโดยผู้วิจัยและครูประจำการ ตำแหน่งครูเชี่ยวชาญ มีประสบการณ์สอนมากกว่า 10 ปี

2.3 แบบสังเกตกึ่งโครงสร้าง เป็นการสังเกตในชั้นเรียน ขณะที่นักเรียนกำลังสร้างแบบจำลองผ่านกระบวนการสร้างแบบจำลอง ตามแนวคิดของ Schwarz et al. (2009) ได้แก่ ด้านการสร้าง การประเมิน การปรับปรุงและการนำเสนอแบบจำลอง เพื่อตรวจสอบพัฒนาการในทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียน

2.4 แบบประเมินชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งเป็นแบบประเมินชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ โดยนักเรียนเป็นผู้สร้างในขณะทำกิจกรรม ได้แก่ QR Code, Simulation Experiment และ Colligative Properties Test

2.5 แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง เป็นการสัมภาษณ์เพื่อตรวจสอบมโนทัศน์ขณะที่นักเรียนกำลังนำเสนอชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ

2.6 แบบสำรวจมโนทัศน์ เรื่อง สารละลาย มีจำนวน 9 ข้อ ตามมโนทัศน์ย่อย ได้แก่ หน่วยความเข้มข้นของสารละลาย การเตรียมสารละลาย และสมบัติบางประการของสารละลาย ลักษณะเป็นปรนัย 4 ตัวเลือก โดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา และตอนที่ 2 เป็นเหตุผลสนับสนุนคำตอบที่เลือกในตอนที่ 1 และนำแบบสำรวจมโนทัศน์มาเก็บข้อมูลหลังการจัดการเรียนรู้ ซึ่งได้ปรับปรุงแก้ไขเกี่ยวกับภาษาที่ใช้ในข้อคำถามแต่ละข้อและความซับซ้อนของโจทย์ตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

3. การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์แนวทางการสอน นำแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ที่ได้มาวิเคราะห์เนื้อหา ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากผู้วิจัยและครูประจำการ และเป็นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือแบบสามเส้า (Triangulation) แบบ Resource Triangulation

3.2 การวิเคราะห์ทักษะการสร้างแบบจำลอง ใช้การวิเคราะห์ในแต่ละด้านของกระบวนการสร้างแบบจำลองในแต่ละกลุ่มของนักเรียนที่สามารถทำได้ แล้วนำมาจัดกลุ่มระดับทักษะการสร้างแบบจำลองได้ 3 กลุ่ม โดยพิจารณาตามองค์ประกอบกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้เกณฑ์ที่ปรับจากแนวคิดของ Schwarz et al. (2009) ดังนี้

ตาราง 1 ระดับทักษะการสร้างแบบจำลอง

ระดับทักษะการสร้างแบบจำลอง	รายละเอียด
ระดับต่ำ	นักเรียนสามารถทำได้ 1- 2 ด้านของกระบวนการสร้างแบบจำลอง สามารถสร้างชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติได้ แต่ใช้เวลาในการสร้างช้า มีความรู้ในการสร้างน้อยหรือ คลาดเคลื่อน มีการสื่อสารน้อยมาก ไม่สามารถแก้ไขปัญหาในขณะทำการสร้างแบบจำลองและมีปัญหาในขณะนำเสนอแบบจำลอง เกิดจากการไม่กล้าแสดงออก
ระดับกลาง	นักเรียนสามารถทำได้ 3 ด้านของกระบวนการสร้างแบบจำลอง สามารถสร้างชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติได้ แต่ใช้เวลาในการสร้างช้าเนื่องจากไม่ได้สื่อสารและแบ่งหน้าที่กันภายในกลุ่มอย่างชัดเจน สามารถการวางแผนการดำเนินการสร้างและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้บางส่วน และมีปัญหาในขณะนำเสนอแบบจำลอง

ระดับทักษะการสร้างแบบจำลอง	รายละเอียด
ระดับสูง	นักเรียนสามารถทำได้ทั้ง 4 ด้านของกระบวนการสร้างแบบจำลอง สามารถสร้างชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ โดย นักเรียนแสดงให้เห็นถึงความเข้าใจในบทบาทของตนเองและของสมาชิก ร่วมกันแสดงความคิดเห็นจนได้ชิ้นงานแบบจำลองที่เป็นมติของกลุ่มโดยผ่านการแก้ไขอย่างต่อเนื่องและสามารถนำเสนอชิ้นงานแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้

3.3 การวิเคราะห์มโนทัศน์ ใช้การวิเคราะห์โดยการจัดกลุ่มมโนทัศน์ได้ 4 กลุ่ม ดังนี้

ตาราง 2 กลุ่มมโนทัศน์และตัวอย่าง

รหัส	ตัวอย่าง
SU	กลุ่มที่ 8 “ถ้าแอลกอฮอล์ 70% ในสารละลายแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร มีแอลกอฮอล์ 70 มิลลิลิตร สีส้ม 7 ลูกและสีขาว 10 ลูก”
PU	กลุ่มที่ 1 “เข้าใจวิธีการคำนวณเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้น แต่ไม่ได้นำความหนาแน่นมาคำนวณใหม่ ทำให้คำนวณผิดพลาด”
PU+MU	กลุ่มที่ 6 “อยากหาจุดเดือดที่เพิ่มขึ้น คือ $\triangle T_b$ แต่ไปเติมในจุดเดือดแทน”
NU	กลุ่มที่ 3 “สับสนวิธีการเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้น ไม่รู้ว่าใช้สูตรอะไร”

ผลการวิจัย

1. แนวทางในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงที่สามารถพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลอง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สารละลาย การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ทั้งสิ้น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นการสร้างแบบจำลอง ขั้นแสดงแบบจำลอง ขั้นการทดสอบแบบจำลอง และขั้นประเมินแบบจำลอง โดยนำเอาเทคโนโลยีเสมือนจริงเข้าไปใช้ในขั้นทดสอบแบบจำลอง เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างแบบจำลอง 2 มิติและแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขให้แบบจำลองสอดคล้องกัน ทั้งนี้ เนื่องจากกิจกรรมในขั้นการทดสอบแบบจำลอง มีการใช้แอปพลิเคชัน Zappar และ V-player เข้ามาเป็นสื่อการเรียนรู้ในการตรวจสอบแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิจัยตามการจัดการเรียนรู้ทั้งสิ้น 3 วงจรปฏิบัติการ ดังนี้

ตาราง 3 การสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ 3 วงจรปฏิบัติการ

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	ปัญหา			แนวทางการจัดการเรียนรู้
	วงจรปฏิบัติการที่ 1	วงจรปฏิบัติการที่ 2	วงจรปฏิบัติการที่ 3	
ขั้นการสร้างแบบจำลอง	ผู้วิจัยไม่ได้สุ่มถามนักเรียนเป็นรายบุคคล	ผู้วิจัยตั้งคำถามปลายปิดเกินไปทำให้นักเรียนบางคนไม่ตอบคำถามนั้น	นักเรียนคัดลอกผลงานคนอื่นจากแหล่งต่างๆ	ครูถามคำถามเพื่อกระตุ้นความรู้เดิมของนักเรียนก่อนที่ครูอธิบายถึงเนื้อหาและย้ำการไม่คัดลอกผลงานคนอื่น
ขั้นการแสดงออกแบบจำลอง	นักเรียนแบ่งกลุ่มตามความสนใจ บางกลุ่มนักเรียนไม่มีคอมพิวเตอร์และทักษะคอมพิวเตอร์	ผู้วิจัยใช้คำถามในการกระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันตรวจสอบแบบจำลองของนักเรียนเบื้องต้นน้อย	ผู้วิจัยไม่ได้สุ่มนักเรียนเพื่อแสดงความคิดเห็นในแบบจำลองของเพื่อนจึงทำให้นักเรียนบางคนไม่สนใจในการแสดงความคิดเห็น	ครูควรเดินสำรวจและใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนแสดงออกแบบจำลองออกมาให้ได้มากที่สุด
ขั้นการทดสอบแบบจำลอง	เว็บและแอปพลิเคชัน Zappar ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองมีข้อจำกัดในการสร้างแบบจำลอง	ผู้วิจัยสอนธีการใช้เว็ปและแอปพลิเคชัน V-player มีนักเรียนไม่ทันในขณะสอนวิธีสร้างแบบจำลอง	ผู้วิจัยไม่มีคำถามเพื่อเชื่อมโยงแบบจำลอง 3 มิติกับชีวิตประจำวัน	ครูควรสอนวิธีการใช้เว็บและแอปพลิเคชัน Zappar และ V-player โดยนักเรียนควรมีสมาชิกในกลุ่มที่มีทักษะในการใช้คอมพิวเตอร์
ขั้นการประเมินแบบจำลอง	ข้อคำถามในใบงานส่วนมากไม่ชัดเจนจึงทำให้นักเรียนสับสนและไม่เข้าใจ	ข้อคำถามในบางข้อไม่ชัดเจน	ขาดคำถามที่เชื่อมโยงเนื้อหาให้เข้ากับชีวิตประจำวัน	ครูควรตั้งคำถามในใบงานให้ชัดเจนมากกว่านี้ และเชื่อมโยงในชีวิตประจำวัน

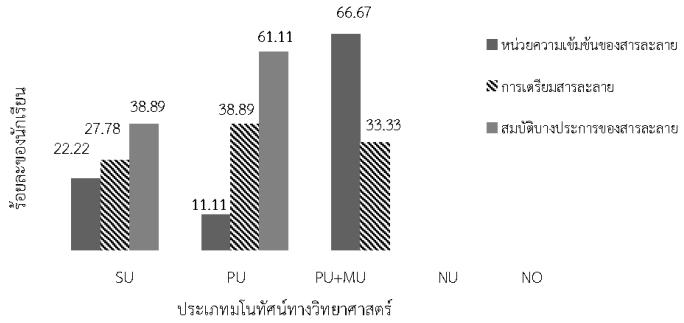
2. ผลการพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สารละลายในระหว่างการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง ผู้วิจัยศึกษาการพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนโดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง โดยผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลจากชิ้นงานของนักเรียนในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ แบบสังเกตกึ่งโครงสร้าง และแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง โดยได้บันทึกไว้ในระหว่างการทำกิจกรรมทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ และแสดงผลของระดับทักษะการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

ตาราง 4 ผลของระดับทักษะการสร้างแบบจำลอง

วงจรปฏิบัติการ	ระดับทักษะการสร้างแบบจำลอง (ร้อยละ)		
	สูง	กลาง	ต่ำ
วงจรปฏิบัติการที่ 1	3 (33.33)	3 (33.33)	3 (33.33)
วงจรปฏิบัติการที่ 2	7 (77.77)	2 (22.23)	0 (0)
วงจรปฏิบัติการที่ 3	6 (66.67)	3 (33.33)	0 (0)

จากผลของระดับทักษะการสร้างแบบจำลอง พบว่า เมื่อทำการจัดกลุ่มระดับทักษะการสร้างแบบจำลอง ดังตาราง 4 ภาพรวม นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับทักษะการสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับสูงทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ มีนักเรียนบางส่วนที่มีระดับทักษะการสร้างแบบจำลองในระดับกลางและระดับต่ำ สาเหตุเกิดจากนักเรียนไม่ได้สื่อสารและแบ่งหน้าที่กันภายในกลุ่มอย่างชัดเจน สามารถการวางแผนการดำเนินการสร้าง และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้บางส่วน และมีปัญหาในขณะนำเสนอแบบจำลอง เกิดจากการไม่กล้าแสดงออก รวมไปถึงการมีองค์ความรู้ในเรื่องสารละลายน้อยและคลาดเคลื่อนจึงทำให้เกิดปัญหาในขณะการสร้างชิ้นงานแบบจำลองขึ้น

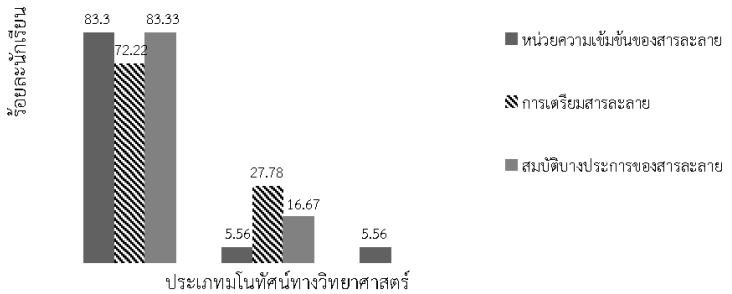
3. ผลการศึกษามโนทัศน์องนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สารละลาย เมื่อจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง ผู้วิจัยศึกษาผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง ในแต่ละวงจรปฏิบัติการ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ ได้แก่ QR Code, Simulation Experiment และ Colligative Properties Test และศึกษาผลหลังการจัดการเรียนรู้เมื่อครบทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ เก็บข้อมูลโดยแบบสำรวจมโนทัศน์ ในรายงานผลการวิจัยผู้วิจัยจะนำเสนองานวิจัยโดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ผลการพัฒนาในด้านความสมบูรณ์ของชิ้นงาน ได้แก่ ชิ้นงานแบบจำลอง 2 มิติ และแบบจำลอง 3 มิติ ได้แก่ QR Code, Simulation Experiment และ Colligative Properties Test



แผนภูมิ 1 จำนวนร้อยละของความเข้าใจมโนทัศน์วิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากชิ้นงานแบบจำลอง 2 มิติ ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ

จากแผนภูมิ 1 จะเห็นว่าในการสร้างแบบจำลอง 2 มิติแต่ละวงจรปฏิบัติการจะมีความเข้าใจในมโนทัศน์สอดคล้องและบางส่วนไม่สอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ (PU+MU) เพิ่มมากขึ้น สังเกตได้จากวงจรปฏิบัติการ

ที่ 1 เรื่อง หน่วยความเข้มข้น มีความเข้าใจในมโนทัศน์สอดคล้องและบางส่วนไม่สอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ (PU+MU) ร้อยละ 66.67 และวงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การเตรียมสารละลาย มีความเข้าใจในมโนทัศน์สอดคล้องและบางส่วนไม่สอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ (PU+MU) ร้อยละ 33.33 และมีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SU) จำนวนร้อยละที่น้อยลงเมื่อเทียบกับความเข้าใจในมโนทัศน์อื่น สังเกตได้จากวงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง หน่วยความเข้มข้นของสารละลาย มีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SU) ร้อยละ 22.22 วงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การเตรียมสารละลาย มีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SU) ร้อยละ27.78 และวงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง สมบัติบางประการของสารละลาย มีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SU) ร้อยละ 38.89 ตามลำดับ

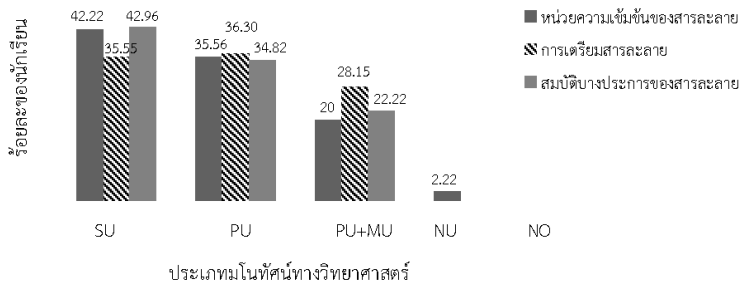


แผนภูมิ 2 จำนวนร้อยละของความเข้าใจมโนทัศน์วิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ

จากแผนภูมิ 2 จะเห็นว่าในแต่ละวงจรปฏิบัติการเมื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติแล้วจะมีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SU) ที่เพิ่มมากขึ้น พบว่า ความเข้าใจมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SU) มีจำนวนร้อยละมากที่สุด สังเกตได้จากในวงจรปฏิบัติการที่ 1 และ 3 มีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SU) ถึงร้อยละ 83.33 และรองลงมาในวงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การเตรียมสารละลาย ร้อยละ 72.22 และมีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ไม่สมบูรณ์ (PU) และมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์บางส่วนสอดคล้องและบางส่วนไม่สอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ (PU+MU) ลดน้อยลง

ภาพ 1 ชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ Simulation Experiment จากแอปพลิเคชัน Vidinoti

ความเข้าใจมโนทัศน์วิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง โดยใช้แบบสำรวจมโนทัศน์ เรื่อง สารละลาย ดังแผนภูมิ 3



แผนภูมิ 3 จำนวนร้อยละของความเข้าใจมโนทัศน์วิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง เรื่อง สารละลาย

จากแผนภูมิ 3 จะเห็นได้จากวงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง สมบัติบางประการของสารละลาย มีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SU) ถึงร้อยละ 42.96 รองลงมา คือ วงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง หน่วยความเข้มข้นของสารละลาย มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SU) ร้อยละ 42.22 และวงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง การเตรียมสารละลาย มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SU) ร้อยละ 35.55 ตามลำดับและมีจำนวนร้อยละของความเข้าใจในมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ไม่สมบูรณ์ (PU) และมโนทัศน์บางส่วนสอดคล้องและบางส่วนไม่สอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ (PU+MU) ลดน้อยลง

อภิปรายผล

1. แนวทางในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงที่สามารถพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลอง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สารละลาย การวิจัยครั้งนี้ใช้แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงที่ส่งเสริมทักษะการสร้างแบบจำลองและมโนทัศน์ เรื่อง สารละลาย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 หลังจากการศึกษา พบว่า ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ทั้งสิ้น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นการสร้างแบบจำลอง ขั้นแสดงแบบจำลอง ขั้นการทดสอบแบบจำลอง และขั้นประเมินแบบจำลอง โดยนำเอาเทคโนโลยีเสมือนจริงเข้าไปใช้ในขั้นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างแบบจำลอง 2 มิติ และแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขให้แบบจำลองสอดคล้องกัน ทั้งนี้ เนื่องจากกิจกรรมในขั้นการทดสอบแบบจำลอง มีการใช้แอปพลิเคชัน Zappar และ V-player เข้ามาเป็นสื่อการเรียนรู้ในการตรวจสอบแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน เพื่อเชื่อมโยงเนื้อหาเคมีทั้ง 3 ระดับ ทำให้นักเรียนเกิดความกระตือรือร้นและอยากรู้อยากเห็นในเนื้อหาที่จะเรียนมากขึ้น (Ditcharoen et al., 2014) และยังทำให้นักเรียนสามารถมองเห็นโมเลกุลในระดับจุลภาคได้โดยไม่ต้องจินตนาการในสิ่งที่เป็นนามธรรมด้วยตนเอง สอดคล้องกับ Barak and Hussein-Farraj (2013) ที่กล่าวว่า การใช้สื่อเทคโนโลยีเข้ามาช่วยสอนเนื้อหาที่เป็นนามธรรม จะช่วยทำให้สามารถจินตนาการถึงการเกิดปรากฏการณ์ได้ดีและยังทำให้สามารถสร้างแบบจำลองทางความคิดของตนเองที่เป็นนามธรรมสู่การเป็นรูปธรรมได้ดีขึ้นอีกด้วย และทำให้นักเรียนสามารถเปรียบเทียบข้อมูลและเนื้อหาจากการใช้สื่อเทคโนโลยีเสมือนจริงที่เป็นแบบจำลอง 3 มิติในการนำมาเปรียบเทียบเชิงความคิดและทักษะกระบวนการสร้างแบบจำลองได้ดีขึ้น ซึ่งทำให้นักเรียนมองเห็นถึงแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างชัดเจน

2. ผลการพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สารละลาย ในระหว่างการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง การสร้างแบบจำลองมีความสำคัญต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยมีส่วนช่วยเสริมให้ผู้เรียนสามารถอธิบายแนวความคิดจากนามธรรมไปสู่รูปธรรม ผ่านสื่อกลางหรือตัวแทนความคิด ที่เรียกว่า แบบจำลอง ซึ่ง Glynn and Duit (1995) แบบจำลองนับเป็นตัวแทนทางความคิดที่นำมาใช้เป็นสื่อหลายอธิบายปรากฏการณ์ที่สนใจหรือต้องการศึกษา และสามารถช่วยให้นักเรียนมีพัฒนาการในทักษะการสร้างแบบจำลองที่สอดคล้องกับกระบวนการสร้างแบบจำลองตามแนวคิดของ Schwarz et al. (2009) ได้แก่ ด้านการสร้าง การประเมิน การปรับปรุง และการนำแบบจำลองไปใช้ จากระดับทักษะการสร้างแบบจำลองทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ พบว่า นักเรียนมีระดับทักษะการสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับสูง และในทุกๆ ด้านของกระบวนการสร้างแบบจำลองมีการพัฒนาขึ้นในแต่ละวงจรปฏิบัติการ โดยเฉพาะในด้านการปรับปรุง นักเรียนทั้งหมดสามารถปรับปรุงแก้ไขแบบจำลอง 2 มิติ และแบบจำลอง 3 มิติ ให้สอดคล้องกัน และด้านการสร้างแบบจำลอง นักเรียนมีพัฒนาการที่ดีขึ้นจากวงจรปฏิบัติการที่ 1 รวมไปถึงการมีทักษะการใช้คอมพิวเตอร์ที่ดีขึ้น และความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างผลงานที่เด่นชัดในแต่ละวงจรปฏิบัติการ ดังจะเห็นว่าในด้านการนำเสนอแบบจำลอง เมื่อสังเกตตั้งแต่ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 คือ นักเรียนเมื่อออกมานำเสนอแบบจำลอง ไม่กล้าแสดงความคิดเห็นต่อผลงานของกลุ่มเพื่อนและนักเรียนที่ออกมานำเสนอยังไม่กล้าแสดงออก แตกต่างจากระดับพัฒนาการในวงจรปฏิบัติการที่ 3 พบว่า นักเรียนเปิดใจรับฟังคำวิจารณ์ของครูและเพื่อน และกล้าแสดงความคิดเห็นต่อผลงานของเพื่อน เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงให้ผลงานมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

3. ผลการศึกษามโนทัศน์องนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สารละลาย เมื่อจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริง มโนทัศน์ส่งผลต่อการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของนักเรียน การที่จะสร้างแบบจำลองได้จะต้องมีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง เป็นสิ่งที่สะท้อนให้เห็นถึงมโนทัศน์ที่นำมาสร้างแบบจำลอง ในการสำรวจมโนทัศน์ของนักเรียนได้ทำการสำรวจในระหว่างการจัดการเรียนรู้ โดยใช้ชิ้นงานแบบจำลอง 3 มิติ พบว่า มีจำนวนร้อยละของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (SU) ที่เพิ่มมากขึ้นในทุกๆ วงจรปฏิบัติการ ซึ่งนักเรียนสามารถแสดงออกแบบจำลองในรูปแบบการวาดรูป 2 มิติ และการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ได้อย่างถูกต้องสอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หรือหลักการทางวิทยาศาสตร์เป็นส่วนใหญ่และยังคงปรากฏมโนทัศน์ที่ไม่สอดคล้องอยู่ (NU) เป็นผลมาจากทักษะการคำนวณพื้นฐานของนักเรียนในแต่ละบุคคลในวงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง หน่วยความเข้มข้นของสารละลาย และสอดคล้องกับแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง โดยนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์แบบจำลองที่ถูกต้องมากที่สุดเมื่อเทียบกับเกณฑ์ในระดับอื่น และหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงได้สำรวจมโนทัศน์จากแบบสำรวจมโนทัศน์ เรื่อง สารละลาย พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์วิทยาศาสตร์ (SU) เพิ่มมากขึ้น แต่ยังคงมีนักเรียนที่มีมโนทัศน์บางส่วนสอดคล้องและบางส่วนไม่สอดคล้อง (PU+MU)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

การพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลอง ครูควรสาธิตการใช้งานและควรมีคู่มือประกอบกาสร้างแบบจำลอง 3 มิติ รวมไปถึงการอธิบายถึงความสำคัญของบทบาทของเทคโนโลยีเสมือนจริง เพื่อให้นักเรียนตระหนักถึงการใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงสามารถนำไปใช้เพื่อให้พัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลอง และมโนทัศน์ นอกจากนั้นยังสามารถพัฒนาการคิดสร้างสรรค์ในการสร้างแบบจำลองได้

References

Barak, M., & Hussein-Farraj, R. (2013). Integrating model-based learning and animation for enhancing students' understanding of proteins' structure and function. *Research in Science Education,* 43(2), 619-636.

Ditcharoen, N., Polyiam, K., Vangkahad, P., & 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]

Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.

Glynn, S. M., & Duit, R. (1995). *Learning science in the schools: Research reforming practice*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Greenbowe, T. (2003). *Chemical education research group simulation.* Retrieved from http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/simDownload/index4.html

Halloun, J. A., & Hestense, D. (1998). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics,* 53(11), 240-242.

Johnstone, A. H. (1993). Introduction. In Wood C. and Sleet R. (Eds.), *Creative problem solving.* London: Royal Society of Chemistry.

Kemmis, S., & McTaggart, R. (1988). *The action research planner* (3rd ed.). Geelong, Australia: Deakin University Press.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, 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, 632–654.

Srifa, P. (2013). *Augmented Reality.* Bangkok: Kasetsart University. [in Thai]

Wongwanich, S. (2014). *Classroom action research* (17th ed.). Bangkok: Chulalongkorn University Press. [in Thai]