



วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/edkkuj>

ดำเนินการวารสารโดย คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

## การพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

### The Development of Grade-12 Students' Representational Competence in Electrochemical Cell through Model-Based Learning

ณภัทร สุขนฤเศรษฐกุล<sup>1</sup> ชาตรี ฝ้ายคำตา<sup>1\*</sup> และ พจนารถ สุวรรณรุจิ<sup>2</sup>

Naphat Suknarusaitthagul<sup>1</sup>, Chatree Faikhamta<sup>1\*</sup> and Potjanart Suwanruji<sup>2</sup>

ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์<sup>1</sup> ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์<sup>2</sup>

Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University, Bangkok, Thailand<sup>1</sup> and Department of Chemistry, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok, Thailand<sup>2</sup>

Received: September 02, 2021 Revised: December 28, 2021 Accepted: December 28, 2021

#### บทคัดย่อ

สมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดจัดเป็นหนึ่งในสมรรถนะสำคัญที่มุ่งเน้นให้นักเรียนเป็นผู้สร้างตัวแทนความคิดที่จะเลือกใช้ตัวแทนความคิดที่หลากหลายในการวิเคราะห์ ตีความ รวมถึงสะท้อน และวิพากษ์ตัวแทนความคิดที่ตนเองนำเสนอ งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนเมื่อเรียนรู้ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า กลุ่มที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวนทั้งสิ้น 23 คน เก็บรวบรวมข้อมูลคุณภาพและข้อมูลปริมาณก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานจากแบบวัดสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ทำการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพและข้อมูลปริมาณโดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและการวิเคราะห์เชิงอุปนัยเพื่อจัดระดับสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด ผลการวิจัยพบว่า 1) หลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดโดยสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระดับกึ่งจุลภาค (ระดับที่ 2) รวมถึงเชื่อมโยงปรากฏการณ์ในระดับมหภาคและกึ่งจุลภาค (ระดับที่ 3) แต่อย่างไรก็ตามนักเรียนยังไม่สามารถสะท้อนและวิพากษ์คุณสมบัติของตัวแทนความคิดที่นำเสนอ นอกจากนี้งานวิจัยพบว่านักเรียนบางคนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานไม่เกิดพัฒนาการในการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด 2) หลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนสามารถเลือกใช้รูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดภายนอกที่มีความหลากหลายที่สอดคล้องกับความเป็นนามธรรมต่อแนวคิดทางเคมีมากขึ้น 3) ตัวแทนความคิดที่นักเรียนนำเสนอมีความสัมพันธ์กับโมโนทัศน์ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า

**คำสำคัญ:** การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เซลล์เคมีไฟฟ้า สมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด

\*Corresponding author. Tel.: 096 292 1607

Email address: [eductf@ku.ac.th](mailto:eductf@ku.ac.th)

## Abstract

Representational competence (RC) is one of the core competences which focuses on students as generators who choose from a variety of multiple representations to analyze, interpret, reflect, and criticize their own ideas. The objective of this qualitative research was to investigate the development of students' RC in electrochemical cell through model-based learning. The participants were 23 grade-12 students. Data was collected through a representational competence questionnaire. The dataset was analyzed qualitatively and quantitatively using content analysis and an inductive analysis approach. The results indicated that 1) after model-based learning, students could shift levels of RC on the electrochemical cell representation to sub-microscopic level (level 2) and linking macroscopic and sub-microscopic level (level 3). However, the study showed that students were unable to reflect on and analyze the meaning of the features of their own representation. Moreover, some students could not shift their RC. After model-based learning, students could employ various modes of external representations to demonstrate the phenomena in the abstract levels in chemical understanding. The student's representation was related to concepts about electrochemical cells.

**Keywords:** Electrochemical Cell, Model-based Learning, Representational Competence

## ■ บทนำ

เคมี เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งในวิทยาศาสตร์ที่มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับสสารและการเปลี่ยนแปลงของสสารในการศึกษาแนวคิดทางเคมีส่วนใหญ่จึงเป็นการศึกษาเชิงนามธรรมที่ไม่สามารถมองเห็นหรือไม่สามารถจับต้องเป็นรูปธรรมได้ นักเคมีจึงจำเป็นต้องอาศัยการอธิบายผ่านสมบัติและการเปลี่ยนแปลงในระดับอนุภาคและโมเลกุลของสสารเชื่อมโยงผ่านระดับความเข้าใจทางเคมี 3 ระดับ (Three Conceptual Levels of Chemistry) ประกอบด้วย 1) ระดับมหภาค (Macroscopic Level) เป็นระดับที่บ่งบอกถึงสิ่งที่สามารถสังเกตด้วยตาเปล่า หรือจับต้องได้ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนสีของสารละลายเมื่อเวลาผ่านไป 2) ระดับกึ่งจุลภาค (Sub-Microscopic Level) เป็นระดับที่บ่งบอกถึงสิ่งที่ไม่สามารถสังเกตด้วยตาเปล่า หรือจับต้องไม่ได้ ตัวอย่างเช่น พฤติกรรมของอะตอมและโมเลกุล และ 3) ระดับตัวแทนเคมี (Representational Level) เป็นระดับที่นักเคมีใช้เพื่อสื่อสารปรากฏการณ์ในระดับมหภาคและกึ่งจุลภาคออกมาในรูปแบบที่นักเคมีเข้าใจตรงกัน ตัวอย่างเช่น สัญลักษณ์เคมี หรือสมการเคมี ซึ่งมีความแตกต่างจากศาสตร์แขนงอื่น ๆ ทางวิทยาศาสตร์ (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2563; Gkitzia, Salta, & Tzougraki, 2020; Johnstone, 2006) แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบของการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมีคือ การจัดการเรียนรู้ส่วนใหญ่ไม่ได้มุ่งเน้นให้นักเรียนเกิดกระบวนการของความเข้าใจต่อแนวคิดทางเคมี เช่นเดียวกับกระบวนการที่นักเคมีใช้ ดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นนักเรียนส่วนใหญ่จึงมองว่าวิชาเคมีเป็นวิชาที่มีความซับซ้อนและยากต่อการทำความเข้าใจ (Gkitzia, Salta, & Tzougraki, 2020) ตัวอย่างเช่น ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ซึ่งเป็นหัวข้อหนึ่งในบทเรียนเคมีไฟฟ้าที่แนวคิดส่วนใหญ่เกี่ยวข้องการใช้ปฏิกิริยาเคมีเพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าหรือใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานเคมี ปฏิกิริยาเคมีในที่นี้คือปฏิกิริยารีดอกซ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสสารในแต่ละครึ่งเซลล์ แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบคือ นักเรียนไม่สามารถเข้าใจและจินตนาการสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับกึ่งจุลภาคเชื่อมโยงไปสู่การสังเกตในระดับมหภาคได้ รวมถึงไม่สามารถสื่อสารความเข้าใจออกมาในระดับตัวแทนเคมีเชิงสัญลักษณ์ (Sanger & Greenbowe, 1997; Tien & Osman, 2017) จากข้อมูลดังกล่าวจึงเป็นความท้าทายที่สำคัญในการแก้ปัญหาและพัฒนาให้นักเรียนสามารถเกิดมโนภาพและเข้าใจแนวคิดนามธรรมทางเคมี รวมถึงสามารถเชื่อมโยงระดับความเข้าใจ

ทางเคมีได้เช่นเดียวกันเคมี จากการศึกษางานวิจัยพบว่า ตัวแทนความคิด (Mental Representation) มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดนามธรรมและการเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้าใจทางเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับกึ่งจุลภาคและระดับตัวแทนเคมี (Briggs & Bodner, 2005; Gilbert 2005) เนื่องจากตัวแทนความคิดเป็นกระบวนการหรือวิธีที่บุคคลหนึ่งสร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งหนึ่งหรือปรากฏการณ์หนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นภายในจิตใจหรือภายในสมอง จากนั้นนำเสนอออกมาในรูปแบบที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น คำพูด ข้อความ หรือภาพวาดตามที่แต่ละบุคคลเลือกใช้โดยมีเป้าหมายในการสื่อสาร หรืออธิบายเหตุการณ์ หรือปรากฏการณ์ (Ibrahim & Rebello, 2013; Supasorn, 2015)

การศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแทนความคิดที่ผ่านมา พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่ศึกษาการใช้ตัวแทนความคิดเพื่อให้นักเรียนเกิดมโนภาพต่อแนวคิดนามธรรม รวมถึงการใช้ตัวแทนความคิดเพื่อพัฒนามโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (Gilbert & Justi, 2016; Hand *et al.*, 2009; Prain, 2009; Supasorn, 2015; Wu, Krajcik, & Soloway, 2001) แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยพบว่า การทำให้นักเรียนเกิดมโนภาพหรือมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ สิ่งสำคัญคือการทำให้นักเรียนเป็นผู้สื่อสารตัวแทนความคิดผ่านการเชื่อมโยงระหว่างกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในจิตใจและสิ่งที่ตนเองนำเสนอ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีความสอดคล้องกับลักษณะของนักวิทยาศาสตร์ที่มีความสามารถในการใช้และนำเสนอตัวแทนความคิดอย่างเชี่ยวชาญในการดำเนินการเพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Literacy) (Gilbert & Treagust, 2009) ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับตัวแทนความคิดจึงควรมุ่งเน้นที่การพัฒนาศักยภาพหรือความสามารถในการนำเสนอตัวแทนความคิด ซึ่งอาจเรียกว่าสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด (Representational Competence) (Kozma & Russell, 2005; Minkley *et al.*, 2018) โดยสมรรถนะดังกล่าวจัดเป็นสมรรถนะสำคัญสำหรับนักเรียนที่ศึกษารายวิชาวิทยาศาสตร์ทุกคนพึงมี แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษางานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาพบพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ไม่เกิดพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับเชี่ยวชาญที่สอดคล้องกับนักวิทยาศาสตร์ (Kozmam, 2003; Kozma & Russell, 2005)

จากความเป็นมาและรายงานการวิจัยที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้น การพัฒนาสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดมีความสำคัญอย่างมากในการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวิชาเคมีที่แนวคิดส่วนใหญ่เป็นแนวคิดนามธรรมที่มีความซับซ้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและพัฒนาสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการจัดการเรียนรู้ที่สามารถเชื่อมโยงระหว่างตัวแทนความคิดภายในจิตใจของนักเรียนและสิ่งที่นักเรียนแสดงออกหรือนำเสนอผ่านกระบวนการสร้างแบบจำลอง (Modeling Process) ในการพัฒนา ประเมิน และปรับเปลี่ยนรูปแบบการนำเสนอตัวแทนความคิดผ่านแบบจำลองตนเอง (Gilbert & Justi, 2016; Ibrahim & Rebello, 2013; Krell *et al.*, 2017) ฉะนั้นผู้วิจัยคาดหวังว่าผลการวิจัยและข้อค้นพบที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อคุณครูและนักวิจัยที่สนใจศึกษาพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนต่อไป

## ■ คำถามการวิจัย

พัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้าของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เมื่อเรียนรู้ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเป็นอย่างไร

## ■ จุดประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เมื่อเรียนรู้ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

## ■ หลักการ แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

นักวิทยาศาสตร์มีทักษะหรือความสามารถในการใช้ตัวแทนความคิดได้อย่างคล่องแคล่วและยืดหยุ่นสอดคล้องตามหลักการพื้นฐานของธรรมชาติวิทยาศาสตร์ในกระบวนการคิดและกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Kozma, 2003; Kozma & Russell, 2005) โดยทักษะหรือความสามารถดังกล่าวเรียกว่า สมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด ซึ่งจัดเป็นทักษะหรือความสามารถที่บุคคลเลือกใช้หรือนำเสนอตัวแทนความคิดที่ตนเองสร้างขึ้นออกมาสำหรับอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ หรือแก้ปัญหาในลักษณะที่แตกต่างกัน รวมถึงการตีความหมาย ปรับเปลี่ยน แก้ไข สะท้อน เชื่อมโยงตัวแทนความคิดที่หลากหลายได้อย่างคล่องแคล่วเหมาะสมกับบริบทและสถานการณ์ (Kozma & Russell, 2005; Minkley *et al.*, 2018; Stieff, Hegarty, & Deslongchamps, 2011) สำหรับลักษณะสำคัญที่บ่งบอกสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดตาม Kozma & Russell (2005) ได้อธิบายไว้ว่า สมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดเป็นทักษะหรือความสามารถในการ 1) อธิบายปรากฏการณ์ในแง่มุมของกระบวนการหรือลักษณะเฉพาะ 2) สร้างหรือเลือกตัวแทนความคิดตามความเหมาะสมต่อวัตถุประสงค์เฉพาะ 3) ใช้คำเพื่อระบุวิเคราะห์คุณสมบัติของการเป็นตัวแทน 4) อธิบายความแตกต่างของตัวแทนที่นำเสนอ 5) เชื่อมโยงตัวแทนความคิดที่แตกต่างเพื่อเปลี่ยนผ่านคุณสมบัติจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับ 6) เป็นตัวแทนความคิดที่สอดคล้อง หรือแตกต่างตามลักษณะของญาณวิทยา และ 7) เป็นหลักฐานสนับสนุนการอนุมานและการกระทำทางสังคม

การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน เป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่มีรากฐานมาจากทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง การเปลี่ยนแปลงแนวคิด และจิตวิทยาเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองความคิด (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2563; Seel, 2014) ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกันระหว่างกระบวนการส่งเสริมแนวคิดและการสืบเสาะหาความรู้ผ่านกระบวนการสร้างแบบจำลองที่มุ่งเน้นให้นักเรียนเป็นผู้สร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อสื่อสารปรากฏการณ์ จากนั้นหาความสอดคล้องของแบบจำลองโดยการทดสอบ ปรับเปลี่ยน และบูรณาการแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองสามารถสื่อความหมายของปรากฏการณ์ได้ถูกต้องเหมาะสม โดยผ่านกระบวนการซึ่งประกอบด้วย 1) การสร้างแบบจำลอง (Generating Model) 2) การประเมินแบบจำลอง (Evaluating Model) 3) การดัดแปลงแก้ไขแบบจำลอง (Modifying Model) และ 4) การขยายแบบจำลอง (Elaborating Model) (Dolphin & Benoit, 2016; Gilbert & Justi, 2016)

จากการตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยทราบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน และลักษณะรวมถึงตัวบ่งชี้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดกล่าวคือ การสืบเสาะหาความรู้ผ่านกระบวนการสร้างแบบจำลองในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการส่งเสริมให้นักเรียนปรับเปลี่ยนรูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิด (Re-representation) ซึ่งเป็นลักษณะบ่งชี้สำคัญของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด รวมถึงส่งเสริมการพัฒนาศักยภาพในการตรวจสอบ และประเมินตัวแทนความคิดที่สามารถให้ผลสะท้อนกลับต่อการพัฒนาสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Moore *et al.*, 2013; Padalkar & Hegarty, 2015; Seel, 2014) นอกจากนี้กระบวนการดังกล่าวช่วยส่งเสริมการพัฒนาตัวแทนความคิดภายในที่ให้นักเรียนเกิดการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ให้สอดคล้องกับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น (Gilbert & Justi, 2016; Krell *et al.*, 2017; Supasorn, 2015)

ตามที่กล่าวไปข้างต้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดในการศึกษาพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดที่สอดคล้องตามระดับความเข้าใจทางเคมี 3 ระดับในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยระดับมหภาค ระดับกึ่งจุลภาค และระดับตัวแทนเคมี ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการสร้าง ประเมิน แก้ไขดัดแปลง และขยายแบบจำลองภายใต้ทฤษฎีการเรียนรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องตามที่กล่าวไปในข้างต้น ดังกรอบแนวคิดงานวิจัยแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1. กรอบแนวคิดการวิจัย (Conceptual Framework)

## ■ วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research Methodology) ในรูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) โดยดำเนินการตามกรอบแนวคิดของ Kemmis & McTaggart (2005) ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นวางแผน (Plan) เป็นการศึกษาและวิเคราะห์สภาพปัญหาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้าจากงานวิจัยต่าง ๆ และปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในชั้นเรียน รวมถึงการสำรวจสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ก่อนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเพื่อวิเคราะห์และวางแผนออกแบบการจัดการเรียนรู้ 2) ขั้นลงมือปฏิบัติ (Act) เป็นการนำแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ 3) ขั้นสังเกตผล (Observe) เป็นการสังเกตบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลง และสิ่งที่เกิดขึ้นจากการจัดการเรียนรู้ และ 4) ขั้นสะท้อนความคิด (Reflect) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากขั้นสังเกต เพื่อใช้หาแนวทางปฏิบัติที่ดีรวมถึงปรับปรุงและพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ในครั้งต่อไป โดยในบทความนี้ผู้วิจัยนำเสนอในส่วนของพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนเท่านั้น

### ผู้เข้าร่วมการวิจัย

กลุ่มคนที่เข้าร่วมการวิจัยเป็นนักเรียนห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ จำนวน 1 ห้องเรียน มีจำนวนทั้งสิ้น 23 คน โดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้คัดเลือกนักเรียนคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากห้องเรียนที่ผู้วิจัยรับผิดชอบทำการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมีเพิ่มเติม ซึ่งนักเรียนเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยสำรวจและตรวจสอบสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดก่อนการจัดการเรียนรู้ด้วยแบบจำลองเป็นฐานด้วยแบบวัดสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ซึ่งเป็นแบบวัดคำถามปลายเปิดร่วมกับคำถามอุปมาอุปไมย ซึ่งเป็นคำถามคู่ขนานจำนวน 4 ข้อ ผ่านการตรวจสอบและประเมินความถูกต้องจากผู้เชี่ยวชาญได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา จำนวน 4 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ (เคมี) จำนวน 1 ท่าน ในด้านความตรงเชิงเนื้อหาและความตรงเชิงโครงสร้าง (ค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.97) จากนั้นทำการ

จัดการเรียนรู้โดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้าจำนวน 2 แผนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อเซลล์กัลวานิกและเซลล์อิเล็กโทรไลต์ หลังจากทำการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยทำการตรวจสอบสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดด้วยแบบวัดสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า เพื่อทำการศึกษาพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนต่อไป

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพและข้อมูลปริมาณจากแบบวัดสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานผ่านการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) ซึ่งเป็นวิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยผู้วิจัยวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนแบบรายข้อจากแบบวัดข้อคำถามปลายเปิดและข้อคำถามอุปมาอุปไมยเพื่อพิจารณาภาพรวมของคำตอบอย่างละเอียด จากนั้นตีความคำตอบโดยอ้างอิงเกณฑ์การประเมินความก้าวหน้าของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด (Progression of Representational Competence) ตามเกณฑ์ Kozma & Russell (2005) ประกอบด้วย 5 ระดับเป็นกรอบการประเมินหลัก ซึ่งผู้วิจัยได้ปรับปรุงเกณฑ์การประเมินดังกล่าวให้สอดคล้องกับระดับความเข้าใจทางเคมี 3 ระดับตาม Johnstone (2006) ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า แสดงในตารางที่ 1

#### ตารางที่ 1

เกณฑ์การประเมินสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด

สมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด	คำอธิบาย
ระดับที่ 1 การบรรยายตัวแทนความคิดมหภาค (Depiction on Macro Representations)	การสร้าง/นำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของปรากฏการณ์ในระดับมหภาค
ระดับที่ 2 การบรรยายตัวแทนความคิดกึ่งจุลภาค (Depiction on Sub-Micro Representations)	การสร้าง/นำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ขึ้นกับลักษณะที่เกิดขึ้นของปรากฏการณ์ในระดับกึ่งจุลภาค
ระดับที่ 3 การวิเคราะห์รูปแบบตัวแทนความคิด (Syntactic Use of Formal Representations)	การสร้าง/นำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ขึ้นกับลักษณะที่เกิดขึ้นของปรากฏการณ์ในระดับมหภาคและระดับกึ่งจุลภาค โดยผู้สร้างมุ่งเน้นการนำเสนอไปที่แตกต่างจากคุณสมบัติของตัวแทนความคิดโดยไม่ได้คำนึงถึงความหมาย
ระดับที่ 4 การวิเคราะห์ความหมายตัวแทนความคิด (Semantic Use of Formal Representations)	การสร้าง/นำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า อย่างเป็นระบบระบบขึ้นกับลักษณะที่เกิดขึ้นของปรากฏการณ์ในระดับมหภาคและระดับกึ่งจุลภาค ซึ่งผู้สร้างสามารถเชื่อมโยงรวมถึงปรับเปลี่ยนการเป็นตัวแทนหนึ่งสู่ อีกตัวแทนหนึ่ง โดยสอดคล้องกับความหมาย และคุณลักษณะของตัวแทน
ระดับที่ 5 การสะท้อนการใช้ตัวแทนความคิด (Reflective, Rhetorical Use of Representations)	การสร้าง/นำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อ เซลล์เคมีไฟฟ้าที่ผู้ใช้สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นในระดับมหภาคและระดับกึ่งจุลภาค โดยผู้สร้างต้องสามารถเลือกตัวแทนที่เหมาะสม รวมถึงบ่งบอกคุณสมบัติของตัวแทนในการวิพากษ์ สะท้อนโต้แย้งเพื่อระบุตัวแทนที่เหมาะสมกับสถานการณ์

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้พิจารณาเกณฑ์การประเมินย่อยตามรูปแบบของการนำเสนอตัวแทนความคิด (Modes of Representation) ตามเกณฑ์ของ Gilbert & Justi (2016) ซึ่งประกอบด้วยการนำเสนอตัวแทนความคิดในรูปแบบข้อความ (A) ภาพวาด (B) สัญลักษณ์ (C) ข้อความร่วมกับภาพวาด (D) ข้อความร่วมกับสัญลักษณ์ (E) ภาพวาดร่วมกับสัญลักษณ์ (F) และการใช้ตัวแทนความคิดในรูปแบบที่หลากหลายผ่านตัวแทนความคิดมากกว่า 2 รูปแบบตัวแทนความคิดขึ้นไป (G)

ผู้วิจัยกำหนดสัญลักษณ์ ST- เพื่อแทนนักเรียนที่เข้าร่วมวิจัยและตามด้วยตัวเลขเพื่อแทนลำดับของนักเรียน ตัวอย่างเช่น ST-01 หมายความว่า นักเรียนลำดับที่ 1 เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลตามเกณฑ์ที่กำหนด จากนั้นทำการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีอุปนัย (Inductive Analysis) เมื่อจัดกลุ่มสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดได้แล้ว ผู้วิจัยทำการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งจากการตรวจคำตอบเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์

## ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

### ผลการวิจัย

การศึกษาพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 2 โดยผลการวิจัยดังกล่าวผู้วิจัยมีข้อค้นพบซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### ตารางที่ 2

แสดงจำนวน (ร้อยละ) ของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

ระดับสมรรถนะ ในการนำเสนอ ตัวแทนความคิด	มโนทัศน์เรื่อง เซลล์เคมีไฟฟ้า						
	ก่อนการจัดการเรียนรู้			หลังการจัดการเรียนรู้			
	คลาดเคลื่อน	ถูกต้องบางส่วน	ถูกต้อง	คลาดเคลื่อน	ถูกต้องบางส่วน	ถูกต้อง	
1	A	4 (17.39)	0	0	0	0	0
	B	5 (21.74)	0	0	0	0	0
	C	1 (4.35)	0	0	0	0	0
	D	6 (26.09)	0	0	0	0	0
2	A	2 (8.70)	1 (4.35)	0	0	0	0
	B	0	0	0	1 (4.35)	0	0
	D	1 (4.35)	1 (4.35)	0	0	3 (13.04)	3 (13.04)

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ระดับสมรรถนะ ในการนำเสนอ ตัวแทนความคิด		มโนทัศน์เรื่อง เซลล์เคมีไฟฟ้า					
		ก่อนการจัดการเรียนรู้			หลังการจัดการเรียนรู้		
		คลาดเคลื่อน	ถูกต้องบางส่วน	ถูกต้อง	คลาดเคลื่อน	ถูกต้องบางส่วน	ถูกต้อง
2 (ต่อ)	F	0	0	0	0	0	2 (8.70)
	G	1 (4.35)	0	0	0	1 (4.35)	3 (13.04)
	D	1 (4.35)	0	0	0	3 (13.04)	1 (4.35)
3	F	0	0	0	0	1 (4.35)	0
	G	0	0	0	0	1 (4.35)	4 (17.39)

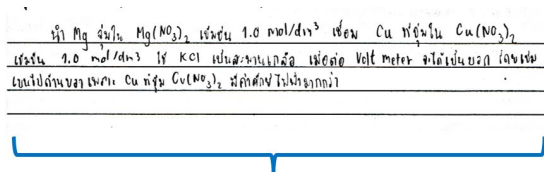
### 1. พัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า

ผู้วิจัยพบจุดแตกต่างและจุดเหมือนของพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน โดยสามารถสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

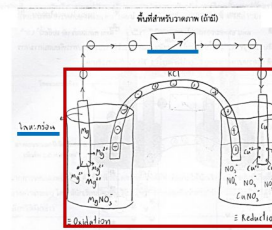
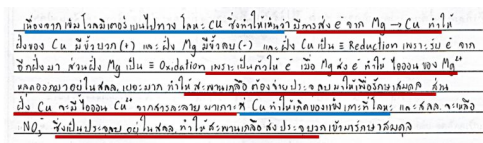
1.1 จุดแตกต่างที่พบของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า กล่าวคือ ก่อนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานพบว่า สมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 69.57) อยู่ในระดับที่ 1 การบรรยายตัวแทนความคิดมหภาค ซึ่งเป็นการนำเสนอตัวแทนความคิดเพื่ออธิบายลักษณะทางกายภาพซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าของปรากฏการณ์ในระดับมหภาคได้เท่านั้น ตัวอย่างเช่น ST-19 บรรยายเหตุการณ์การทดลองที่เกิดขึ้นของเซลล์เคมีไฟฟ้า หรือ ST-06 วาดภาพแสดงลักษณะทางกายภาพทั่วไปของเซลล์เคมีไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้นักเรียนส่วนใหญ่มีสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดอยู่ในระดับที่ 1 ซึ่งเป็นระดับเริ่มต้นของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด แต่อย่างไรก็ตามหลังการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนสามารถพัฒนาสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดไปสู่ระดับที่ 2 การบรรยายตัวแทนความคิดกึ่งจุลภาค ซึ่งเป็นการนำเสนอตัวแทนความคิดเพื่ออธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของอะตอมและโมเลกุลของปรากฏการณ์ในระดับกึ่งจุลภาค (ร้อยละ 56.52) และระดับที่ 3 การวิเคราะห์รูปแบบตัวแทนความคิด (ร้อยละ 43.48) ซึ่งเป็นการนำเสนอตัวแทนความคิดที่เชื่อมโยงระหว่างปรากฏการณ์ในระดับมหภาคและระดับกึ่งจุลภาคผ่านการนำเสนอตามลักษณะทั่วไปของรูปแบบตัวแทนความคิดที่นักเรียนแต่ละคนนำเสนอ ตัวอย่างเช่น ST-19 บรรยายและวาดภาพเหตุการณ์ของการทดลองที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับเซลล์เคมีไฟฟ้าเพื่อสื่อสารสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับมหภาคและระดับกึ่งจุลภาคเชื่อมโยงซึ่งกันและกัน

ตามที่กล่าวไปข้างต้นจะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานนักเรียนเกิดพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดจากระดับที่ 1 ซึ่งเป็นระดับเริ่มต้น (ก่อนการจัดการเรียนรู้) พัฒนาไปสู่ระดับที่สูงขึ้นได้แก่ ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 (หลังการจัดการเรียนรู้) ซึ่งพัฒนาการที่พบเป็นไปตามลักษณะและตัวบ่งชี้ของเกณฑ์การประเมินความก้าวหน้าของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในตารางที่ 1





ตัวแทนความคิดนำเสนอลักษณะทั่วไปของชุดการทดลองตามสถานการณ์ที่กำหนดผ่านกระบวนการ (ระดับที่ 1)



ตัวแทนความคิดแสดงความเชื่อมโยงในระดับมหภาคและระดับจุลภาคผ่านการบรรยายและการวาดภาพ (ระดับที่ 3)

— ระดับมหภาค  
— ระดับจุลภาค

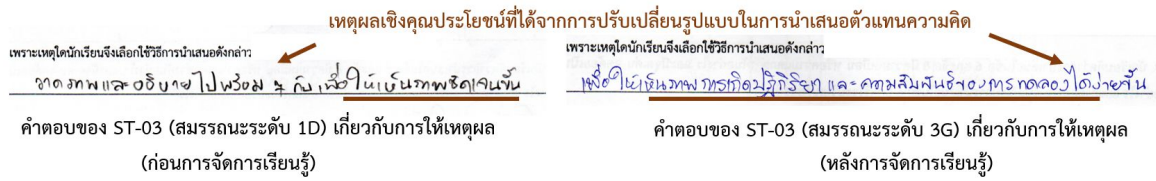
คำตอบจากข้อความปลายเปิดของ ST-19 ก่อนการจัดการเรียนรู้

คำตอบจากข้อความปลายเปิดของ ST-19 หลังการจัดการเรียนรู้

ภาพที่ 2. ตัวอย่างคำตอบจากแบบวัดสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของ ST-19 เปรียบเทียบพัฒนาการระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

1.2 จุดเหมือนที่พบของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า กล่าวคือ ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน นักเรียนไม่สามารถสะท้อน และวิพากษ์คุณสมบัติความหมายของตัวแทนความคิดที่นำเสนอได้ ซึ่งก่อนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเมื่อพิจารณาเหตุผลในการเลือกใช้รูปแบบการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนส่วนใหญ่ที่มีสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่ 1 พบว่า นักเรียนมุ่งเน้นการให้เหตุผลที่อธิบายประโยชน์ที่ได้จากการเลือกใช้รูปแบบตัวแทนความคิด ตัวอย่างเช่น นักเรียนใช้การวาดภาพเพื่อแสดงให้เห็นภาพชัดเจนเข้าใจง่าย และขยายความเข้าใจจากสถานการณ์ (ST-03, ST-20) หรือใช้การเขียน การบรรยายเพื่ออธิบายการทดลองให้เกิดความเข้าใจที่ชัดเจน (ST-04) จะเห็นได้ว่านักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถให้เหตุผลที่สะท้อนถึงคุณสมบัติและความหมายของตัวแทนความคิดที่นักเรียนเลือกใช้ได้ ซึ่งผู้วิจัยพบว่าหลังการจัดการเรียนรู้ให้ผลที่มีความสอดคล้องกันกล่าวคือนักเรียนสามารถพัฒนาสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดไปสู่ระดับที่ 2 และระดับที่ 3 แต่เหตุผลที่นักเรียนเลือกใช้ในรูปแบบการนำเสนอตัวแทนความคิดส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นการให้เหตุผลที่อธิบายประโยชน์ ที่ได้จากการเลือกใช้รูปแบบตัวแทนความคิดถึงแม้จะมีสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่สูงขึ้นก็ตาม ตัวอย่างเช่น ST-03 มีสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับ 3 รวมถึง ST-03 สามารถนำเสนอผ่านการใช้ตัวแทนความคิดในรูปแบบที่หลากหลาย ซึ่งจัดเป็นระดับสูงสุดที่พบหลังการจัดการเรียนรู้ แต่ ST-03 ไม่สามารถให้เหตุผลรูปแบบตัวแทนความคิดในเชิงความหมายและคุณสมบัติของตัวแทนความคิดที่มีความหลากหลายได้ โดย ST-03 ให้เหตุผลในการนำเสนอว่า การเลือกรูปแบบการนำเสนอดังกล่าวเพื่อแสดงให้เห็นภาพปฏิกิริยาและแสดงความสัมพันธ์ของการทดลองให้ชัดเจนและเข้าใจง่ายขึ้น จากที่กล่าวไปข้างต้นแสดงให้เห็นว่าหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน นักเรียนไม่สามารถให้เหตุผลที่สะท้อน และวิพากษ์คุณสมบัติของตัวแทนความคิดที่ตนเองนำเสนอ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจัดเป็นสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่สูงขึ้นกว่าการนำเสนอตัวแทนความคิดเพื่อเชื่อมโยงปรากฏการณ์ในระดับมหภาคและจุลภาคในระดับที่ 3 นั่นคือระดับที่ 4 และระดับที่ 5 ของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนซึ่งไม่พบในงานวิจัยนี้

ตามที่กล่าวไปข้างต้นจะเห็นได้ว่าพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้าของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานให้ข้อค้นพบที่มีจุดร่วมที่เหมือนและแตกต่างกันอย่างน่าสนใจตามที่ผู้วิจัยได้กล่าวไปข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามภาพรวมของผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนส่วนใหญ่สามารถเปลี่ยนแปลงไปในระดับที่สูงขึ้นเมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน



ภาพที่ 3. เปรียบเทียบการให้เหตุผลเกี่ยวกับรูปแบบตัวแทนความคิดก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้

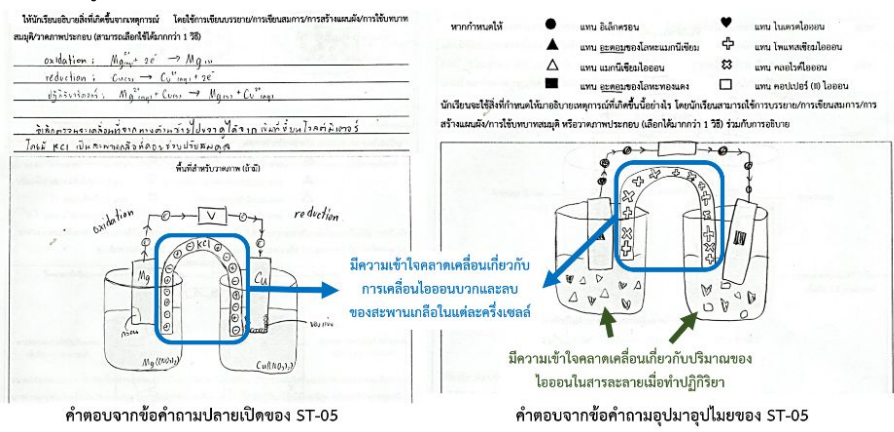
## 2. รูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดที่มีความสัมพันธ์กับระดับความเป็นนามธรรมทางเคมี

เมื่อพิจารณารูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดซึ่งเป็นเกณฑ์การประเมินย่อยพบว่า ก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่ที่มีสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่ 1 เลือกใช้รูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดในรูปแบบของข้อความร่วมกับภาพวาดในระดับ 1D (ร้อยละ 26.09) รูปแบบภาพวาดในระดับ 1B (ร้อยละ 21.74) รูปแบบข้อความในระดับ 1A (ร้อยละ 17.39) ตามลำดับ ซึ่งนักเรียนส่วนใหญ่เลือกการนำเสนอผ่านรูปแบบในการนำเสนอสองและหนึ่งรูปแบบตัวแทนความคิดเท่านั้น โดยรูปแบบในการนำเสนอดังกล่าวยังไม่แสดงถึงความเป็นนามธรรมที่สอดคล้องกับความเข้าใจทางเคมีของนักเรียนได้ เนื่องจากรูปแบบตัวแทนความคิดที่พบเป็นเพียงรูปแบบของข้อความและรูปแบบภาพวาดในระดับมหภาค แต่อย่างไรก็ตามหลังการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยพบว่า รูปแบบของนักเรียนที่มีสมรรถนะในระดับที่ 2 เลือกใช้คือรูปแบบของข้อความร่วมกับภาพวาดในระดับ 2D (ร้อยละ 26.08) และรูปแบบข้อความร่วมกับสัญลักษณ์ในระดับ 2D (ร้อยละ 17.39) ส่วนนักเรียนที่มีสมรรถนะในระดับที่ 3 รูปแบบที่พบส่วนมากคือ รูปแบบตัวแทนความคิดมากกว่า 2 รูปแบบตัวแทนความคิดขึ้นไป (รูปแบบข้อความร่วมกับภาพวาดและสัญลักษณ์) ในระดับ 3G (ร้อยละ 21.74) และรูปแบบข้อความร่วมกับภาพวาดในระดับ 3D (ร้อยละ 17.39) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนสามารถนำเสนอตัวแทนความคิดตั้งแต่สองตัวแทนความคิดขึ้นไปในการนำเสนอปรากฏการณ์ จากผลวิจัยดังกล่าวชี้ให้เห็นว่ารูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดมีการเปลี่ยนแปลงตามสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากหลังการจัดการเรียนรู้ นักเรียนใช้รูปแบบในการนำเสนอที่มีความหลากหลาย รวมถึงรูปแบบในการนำเสนอดังกล่าวมีการใช้รูปแบบของสัญลักษณ์เพิ่มเติมขึ้นมา ซึ่งรูปแบบดังกล่าวแสดงความเป็นนามธรรมที่สอดคล้องกับความเข้าใจทางเคมีของนักเรียนตามกระบวนการที่นักเคมีใช้อธิบายปรากฏการณ์เคมี นอกจากนี้ในการประเมินรูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดซึ่งเป็นเกณฑ์การประเมินย่อยที่ทำให้ผู้วิจัยทราบการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดที่เกิดขึ้นของนักเรียนได้ชัดเจนมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ST-07 และ ST-13 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้มีสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดอยู่ในระดับที่ 2 แต่อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาเกณฑ์การประเมินย่อยจากรูปแบบการนำเสนอตัวแทนความคิดพบว่า ST-07 และ ST-13 มีการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดจากระดับ 2A (รูปแบบข้อความ) เป็น 2G (รูปแบบที่หลากหลาย) แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีการพัฒนาการใช้รูปแบบตัวแทนความคิดจากการนำเสนอผ่านหนึ่งตัวแทนความคิดในรูปแบบข้อความซึ่งจัดเป็นรูปแบบพื้นฐานในเบื้องต้นไปเป็นการนำเสนอผ่านตัวแทนความคิดที่มีความหลากหลาย รวมถึงรูปแบบที่นักเรียนนำเสนอมีความสอดคล้องกับความเป็นนามธรรมต่อความเข้าใจทางเคมีในระดับกึ่งจุลภาคมากขึ้น นอกจากนี้การประเมินรูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยทราบว่านักเรียนที่ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ไม่มีการเปลี่ยนระดับสมรรถนะรวมถึงรูปแบบการนำเสนอนั้นคือ ST-17 (ระดับ 3G)

ตามที่กล่าวไปข้างต้นแสดงให้เห็นว่ารูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดมีความสัมพันธ์กับพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด รวมถึงรูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดเป็นอีกตัวแปรสำคัญที่ทำให้ทราบว่านักเรียนที่มีการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในสมรรถนะหลักสามารถเลือกใช้รูปแบบในการนำเสนอที่มีความสัมพันธ์กับระดับความเป็นนามธรรมทางเคมีได้มากขึ้นเพียงใด

### 3. ตัวแทนความคิดมีความสัมพันธ์กับโน้ตสนในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า

ตัวแทนความคิดที่นักเรียนนำเสนอมีความสัมพันธ์และเชื่อมโยงมโนทัศน์ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า โดยผู้วิจัยพบว่านักเรียนที่มีสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับพื้นฐานหรือระดับต้น ส่วนใหญ่นักเรียนมักมีมโนทัศน์ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้าเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ในทางกลับกันพบว่านักเรียนที่มีสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่สูงขึ้นส่วนใหญ่นักเรียนมักมีมโนทัศน์ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้าเป็นมโนทัศน์ที่ถูกต้องเพียงบางส่วน และมโนทัศน์ที่ถูกต้องจากการพิจารณาผลการวิจัยในตารางที่ 2 พบว่า ก่อนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่ 1 เมื่อพิจารณาโน้ตสนในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้าพบว่า นักเรียนที่มีสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่ 1 มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น ST-20 เข้าใจว่าผลการทดลองที่โวลมิเตอร์ชี้ไปที่ครึ่งเซลล์ทองแดง เกิดจากขั้วโลหะแมกนีเซียมสามารถให้พลังงานและนำไฟฟ้าได้ดีกว่าขั้วโลหะทองแดง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานพบว่า นักเรียนมีการพัฒนาของสมรรถนะไปสู่ระดับที่สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตัวแทนความคิดที่นักเรียนนำเสนอ ตัวอย่างเช่น ในระดับ 3D (ร้อยละ 17.39) พบว่า นักเรียนที่อยู่ในระดับ 3D แสดงมโนทัศน์ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ที่แตกต่างกันโดยแบ่งเป็นมโนทัศน์ที่ถูกต้องบางส่วน (ร้อยละ 13.04) และมโนทัศน์ที่ถูกต้อง (ร้อยละ 4.35) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแทนความคิดที่นักเรียนนำเสนอสะท้อนให้เห็นถึงมโนทัศน์ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้าซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นมโนทัศน์ที่ถูกต้องเสมอไป จากการพิจารณาคำตอบจากข้อคำถามปลายเปิดและข้อคำถามอุปมาอุปไมยทำให้พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ที่มีพัฒนาการของระดับสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ส่วนใหญ่มีมโนทัศน์ที่ถูกต้องบางส่วน ตัวอย่างเช่น ST-05 ที่มีพัฒนาการของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดจากระดับ 1D ไปเป็น 3G ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงสูงสุดที่พบ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาคำตอบจากตัวแทนความคิดที่นักเรียนนำเสนอจากแบบวัดสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดหลังการจัดการเรียนรู้แสดงในภาพที่ 2 ชี้ให้เห็นว่าถึงแม้ว่า ST-05 มีพัฒนาการของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ST-05 มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนอยู่บางส่วนในประเด็นของการเคลื่อนที่ของไอออนบวกและไอออนลบของสะพานเกลือ ถึงแม้ว่า ST-05 สามารถอธิบายหน้าที่ของสะพานเกลือได้ถูกต้องก็ตามแต่ ST-05 มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับปริมาณของไอออนของสารละลายในแต่ละครึ่งเซลล์ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าถึงแม้ว่าหลังการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนมีระดับของสมรรถนะการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่สูงขึ้น แต่นักเรียนส่วนใหญ่ยังมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องเพียงบางส่วนในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า



ภาพที่ 4. ตัวอย่างคำตอบจากแบบวัดสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของ ST-05

ตามที่กล่าวไปข้างต้นจะเห็นได้ว่าการศึกษาพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดนอกจากพิจารณาในประเด็นของพัฒนาการและรูปแบบการนำเสนอแล้ว สิ่งสำคัญคือควรพิจารณาความเข้าใจเกี่ยวกับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ร่วมด้วย เนื่องจากตัวแทนความคิดที่นักเรียนนำเสนอสามารถสะท้อนและมีความสัมพันธ์กับมโนทัศน์

## อภิปรายผล

ผลการวิจัยพบว่าหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานนักเรียนมีพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้าอยู่ในระดับที่ 2 และระดับที่ 3 ซึ่งแตกต่างจากก่อนการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนส่วนใหญ่มีสมรรถนะอยู่ในระดับที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานสามารถส่งเสริมพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียน เนื่องจากการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวมุ่งเน้นให้นักเรียนเกิดทักษะการสร้างมโนภาพ (Visualization Skills) ที่มีต่อแนวคิดนามธรรมผ่านการพิจารณาตัวแทนความคิดภายในจิตใจและสิ่งที่นำเสนอออกมาในรูปแบบต่าง ๆ (Gilbert & Justi, 2016) ซึ่งรูปแบบในการนำเสนอที่แตกต่างกันนี้จัดเป็นสิ่งสำคัญในการบ่งบอกสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด เนื่องจากนักเรียนต้องสามารถนำเสนอและเชื่อมโยงรูปแบบในการนำเสนอของตัวแทนความคิดที่มีความหลากหลาย (Multi-Modal Representation) (Kozma & Russell, 2005; Prain, Tytler, & Peterson, 2009) ซึ่งผลการวิจัยพบว่าการประเมินรูปแบบในการนำเสนอของตัวแทนความคิดเป็นเกณฑ์การประเมินย่อยทำให้ทราบรายละเอียดเพิ่มเติมของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Hilton & Nichols (2011) รวมถึงอภิวัดน์ ศรีกัณฑ์ และปฐมภรณ์ พิมพ์ทอง (2558) ที่มุ่งเน้นการประเมินสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดจากเกณฑ์การประเมินหลักตามระดับความก้าวหน้าของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดเพียงอย่างเดียว การประเมินรูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดที่เป็นเกณฑ์ย่อยทำให้ทราบว่ารูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดมีความสัมพันธ์กับพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด โดยนักเรียนที่มีสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่สูงขึ้นมักมีการใช้รูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดที่มีความหลากหลาย โดยเฉพาะในรูปแบบสัญลักษณ์ซึ่งไม่พบก่อนการจัดการเรียนรู้ นอกจากนี้รูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดที่นักเรียนเลือกใช้ยังสามารถสะท้อนความเข้าใจทางเคมีของนักเรียนได้ เนื่องจากรูปแบบการนำเสนอของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้มักเป็นรูปแบบสัญลักษณ์ ตัวอย่างเช่น สมการแสดงปฏิกิริยา แผนภาพเซลล์เคมีไฟฟ้า ซึ่งการนำเสนอในลักษณะดังกล่าวเป็นรูปแบบการนำเสนอที่นักเคมีใช้สื่อสารอย่างเป็นสากล รวมถึงรูปแบบดังกล่าวแสดงความเป็นนามธรรมต่อแนวคิดทางเคมีในระดับสูง (Kozma & Russell, 2003; Pande & Chandrasekharan, 2017) ซึ่งมีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของพนิดา กระจ่มนอก และร่มเกล้า จันทราชี (2562) ที่มุ่งเน้นศึกษาความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดในระดับความเข้าใจทางเคมี 3 ระดับเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนยังไม่สามารถสะท้อน ติความ และวิพากษ์ในเชิงคุณลักษณะหรือคุณสมบัติของตัวแทนความคิดที่ตนเองเลือกใช้ได้ ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญที่สามารถพัฒนาให้นักเรียนมีสมรรถนะไปสู่ระดับที่ 4 และระดับที่ 5 เนื่องจากนักเรียนส่วนใหญ่มุ่งเน้นให้เหตุผลในเชิงของคุณประโยชน์ของรูปแบบตัวแทนความคิดที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งยังไม่สามารถให้เหตุผลในเชิงความหมายและคุณสมบัติของตัวแทนความคิด นอกจากนี้ผลการวิจัยพบว่า ตัวแทนความคิดที่นักเรียนนำเสนอนอกจากสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด ตัวแทนความคิดดังกล่าวยังสามารถสะท้อนให้เห็นความเข้าใจและมโนทัศน์ของนักเรียนที่มีต่อปรากฏการณ์เคมีสอดคล้องกับผลการวิจัยที่พบว่า หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานนักเรียนมีสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดไปสู่ระดับที่ 2 และ 3 เมื่อพิจารณามโนทัศน์ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้าพบว่านักเรียนสามารถเปลี่ยนแปลงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้าได้ แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยพบว่าถึงแม้ว่านักเรียนสามารถเปลี่ยนแปลงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แต่มโนทัศน์ที่นักเรียนสามารถเปลี่ยนแปลงได้นั้นส่วนใหญ่เป็นมโนทัศน์ที่ถูกต้องเพียงบางส่วนเท่านั้น ซึ่งให้ผลการวิจัยที่แตกต่างจากงานวิจัยของอภิวัดน์ ศรีกัณฑ์ และปฐมภรณ์ พิมพ์ทอง (2558) ที่พบว่านักเรียนมีแนวโน้มของตัวแทนความคิดและมโนทัศน์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นผลการวิจัยจากงานวิจัยนี้จึงชี้ให้เห็นว่าในการศึกษาการพัฒนาสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดควรมีการพิจารณาและพัฒนาโมทัศน์ควบคู่ไป กับพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดไปด้วย เนื่องจากทิศทางการเปลี่ยนแปลงไม่จำเป็นต้องเป็นไปในทิศทางเดียวกันเมื่อพิจารณาประเด็นของมโนทัศน์เพิ่มเติม

## ■ บทสรุปจากการวิจัย

การศึกษาพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ผลการวิจัยให้ข้อสรุปว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานสามารถส่งเสริมพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้าให้ไปสู่ระดับการบรรยายตัวแทนความคิดถึงจุดภาค และระดับการวิเคราะห์รูปแบบตัวแทนความคิดได้ ผลการวิจัยพบว่าการประเมินรูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดภายนอกเป็นเกณฑ์การประเมินย่อยทำให้ทราบรายละเอียดต่าง ๆ เพิ่มเติมจากการประเมินสมรรถนะหลักในประเด็นของการใช้รูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดที่หลากหลาย รวมถึงการใช้รูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิดที่สอดคล้องกับความเป็นนามธรรมทางเคมี นอกจากนี้การศึกษาพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดควรมีการพิจารณาและพัฒนาโมทัศน์ควบคู่ไปกับพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด เนื่องจากตัวแทนความคิดที่นักเรียนนำเสนอแสดงถึงโมทัศน์ที่ถูกต้องเพียงบางส่วน และโมทัศน์ ที่ถูกต้องที่มีต่อแนวคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า

## ■ ข้อจำกัดหรือข้อเสนอแนะจากการวิจัย

### ข้อจำกัด

สมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในหัวข้อเซลล์เคมีไฟฟ้า งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพิจารณาในด้านความสามารถและทักษะในการนำเสนอตัวแทนความคิด ซึ่งผลการวิจัยมีข้อจำกัดในแง่ของการประเมินด้านเจตคติในการนำเสนอตัวแทนความคิด จึงควรศึกษาในประเด็นของจิตพิสัยเพิ่มเติมให้เห็นมุมมองและปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อพัฒนาการ

### ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด นอกจากการศึกษาระดับของความก้าวหน้าตามสมรรถนะหลักแล้ว ผู้วิจัยควรศึกษาประเด็นย่อยต่าง ๆ เพิ่มเติมที่สอดคล้องกับสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด ตัวอย่างเช่น รูปแบบในการนำเสนอตัวแทนความคิด โมทัศน์ของนักเรียนจากตัวแทนความคิดที่นักเรียนนำเสนอ เนื่องจากประเด็นย่อยต่าง ๆ ทำให้ผู้วิจัยทราบรายละเอียดต่าง ๆ เพิ่มขึ้นมากกว่าระดับสมรรถนะหลักที่มีอยู่
2. เนื่องจากมีนักเรียนบางคนเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิด ตัวอย่างเช่น ST-17 ดังนั้นจึงควรศึกษาพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนเพิ่มเติมในลักษณะของความก้าวหน้าในการเรียนรู้ (Learning Progression) หรือการประเมินระหว่างเรียน (Formative Assessment) เพื่อทราบปัญหาหรือสิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างการพัฒนาสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดของนักเรียนในขณะการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน
3. เนื่องจากนักเรียนไม่สามารถสะท้อนคุณสมบัติและความหมายของตัวแทนความคิดได้ ทำให้ผลการวิจัยในครั้งนี้ไม่พบพัฒนาการด้านสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดในระดับที่ 4 การวิเคราะห์ความหมายตัวแทนความคิด และระดับที่ 5 การสะท้อนการใช้ตัวแทนความคิด ดังนั้นการทบทวนในอนาคตจึงควรออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการให้เหตุผลและการโต้แย้งเกี่ยวกับตัวแทนความคิด (Representational Reasoning and Argumentation) เพิ่มเติมในแต่ละขั้นตอน

ของการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ซึ่งทั้งสององค์ประกอบมีส่วนสำคัญที่จะพัฒนานักเรียนให้มีสมรรถนะในการนำเสนอตัวแทนความคิดไปสู่ระดับดังกล่าวได้

## References

- ชาติรี ฝ้ายคำตา. (2563). *กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้เคมี*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พินิตา กระทุ่มนอก และร่มเกล้า จันทราชี. (2562). ความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิด เรื่อง เซลล์กัลวานิก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนรู้ด้วยการสร้างแบบจำลอง. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา) สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*. 7(2), 36-47.
- อภิวัฒน์ ศรีกันหา และปัฐมาภรณ์ พิมพ์ทอง. (2558). การศึกษามโนคติและตัวแทนความคิด เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการสอนเพื่อเปลี่ยนแปลงมโนคติ. *วารสารศึกษาศาสตร์ ฉบับวิจัยบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 9(3), 213-221.
- Aubusson, P. J., Harrison, A. G., & Ritchie, S. M. (2006). Metaphor and Analogy. In *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 1-9). Springer, Dordrecht.
- Briggs, M., & Bodner, G. (2005). A Model of Molecular Visualization. In *Visualization in Science Education* (pp. 61-72). Springer, Dordrecht.
- Dolphin, G., & Benoit, W. (2016). Students' Mental Model Development During Historically Contextualized Inquiry: How the 'Tectonic Plate' Metaphor Impeded the Process. *International Journal of Science Education*, 38(2), 276-297.
- Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A Metacognitive Skill in Science and Science Education. In *Visualization in Science Education* (pp. 9-27). Springer, Dordrecht.
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). Learning Scientific Concepts From Modelling-Based Teaching. In *Modelling-Based Teaching in Science Education* (pp. 81-95). Springer, Cham.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, Submicro and Symbolic Representations and the Relationship Between Them: Key Models in Chemical Education. In *Multiple Representations in Chemical Education* (pp. 1-8). Springer, Dordrecht.
- Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2020). Students' Competence in Translating Between Different Types of Chemical Representations. *Chemistry Education Research and Practice*, 21(1), 307-330.
- Hand, B., Gunel, M., & Ulu, C. (2009). Sequencing Embedded Multimodal Representations in a Writing to Learn Approach to the Teaching of Electricity. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(3), 225-247
- Hilton, A., & Nichols, K. (2011). Representational Classroom Practices That Contribute to Students' Conceptual and Representational Understanding of Chemical Bonding. *International Journal of Science Education*, 33(16), 2215-2246.
- Ibrahim, B., & Rebello, N. S. (2013). Role of Mental Representations in Problem Solving: Students' Approaches to Nondirected Tasks, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 9(2), 1-16.

- Johnstone, A. H. (2006). Chemical Education Research in Glasgow in Perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 49-63.
- Kemmis, S., & McTaggart, R. (2005). Participatory Action Research: Communicative Action and the Public Sphere. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The Sage Handbook of Qualitative Research* (pp. 559- 604). Thousand Oaks: SAGE Publications Ltd.
- Kozma, R. (2003). The Material Features of Multiple Representations and Their Cognitive and Social Affordances for Science Understanding. *Learning and Instruction*, 13(2), 205-226.
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students Becoming Chemists: Developing Representational Competence. In *Visualization in Science Education* (pp. 121-145). Springer, Dordrecht.
- Krell, M., Walzer, C., Hergert, S., & Kr€uger, D. (2017). Development and Application of a Category System to Describe Pre-service Science Teachers' Activities in the Process of Scientific Modelling. *Research in Science Education*, 33(3), 1096–1123
- Minkley, N., Kärner, T., Jojart, A., Nobbe, L., & Krell, M. (2018). Students' Mental Load, Stress, and Performance When Working With Symbolic or Symbolic–Textual Molecular Representations. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(8), 1162-1187.
- Moore, T. J., Miller, R. L., Lesh, R. A., Stohlmann, M. S., & Kim, Y. R. (2013). Modeling in Engineering: The Role of Representational Fluency in Students' Conceptual Understanding. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 141-178.
- Padalkar, S., & Hegarty, M. (2015). Models as Feedback: Developing Representational Competence in Chemistry. *Journal of Educational Psychology*, 107(2), 451.
- Pande, P., & Chandrasekharan, S. (2017). Representational Competence: Towards a Distributed and Embodied Cognition Account. *Studies in Science Education*, 53(1), 1-43.
- Prain, V., Tytler, R., & Peterson, S. (2009). Multiple Representation in Learning About Evaporation. *International Journal of Science Education*, 31(6), 787-808.
- Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (1997). Common Student Misconceptions in Electrochemistry: Galvanic, Electrolytic, and Concentration Cells. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 34(4), 377-398.
- Seel, N. M. (2014). Model-Based Learning and Performance. In *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 465-484). Springer, New York, NY.
- Stieff, M., Hegarty, M., & Deslongchamps, G. (2011). Identifying Representational Competence with Multi-Representational Displays. *Cognition and Instruction*, 29(1), 123-145.
- Supasorn, S. (2015). 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.
- Tien, L. T., & Osman, K. (2017). Misconceptions in Electrochemistry: How Do Pedagogical Agents Help?. In *Overcoming Students' Misconceptions in Science* (pp. 91-110). Springer, Singapore.

Wu, H. K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 38(7), 821-842.