



การตรวจสอบเอกสารอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์เชิงอภิมานการใช้มโนภาพ
เพื่อส่งเสริมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

A Systematic Review and Meta-analysis on the Use of Visualization
to Promote Students' Scientific Conception

ณภัทร สุขนฤเศรษฐกุล¹ วรณนิตา พึ่งน้อย² และ พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ³

Naphat Suknarusaitagul¹ Wannanida Puengnoi² and Pongprapan Pongsophon²

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสืบค้นเอกสารอย่างเป็นระบบ และวิเคราะห์อภิมานผลของมโนภาพที่มีต่อการพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน มโนภาพเป็นสิ่งที่ใช้เป็นตัวแทนเพื่อถ่ายทอดหรืออธิบายเนื้อหาสาระทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาอย่างยิ่งแนวคิดที่เป็นนามธรรม เพื่อให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง และลดการเกิดแนวคิดที่คลาดเคลื่อน งานวิจัยนี้ได้สืบค้นและวิเคราะห์อภิมานบทความวิจัยฉบับเต็มบนฐานข้อมูล SCImago ตั้งแต่ควอเตอร์ที่ 1 ถึง 3 จำนวน 14 บทความ ซึ่งเป็นงานวิจัยที่มีรูปแบบงานวิจัยประเภททดลองตีพิมพ์ในวารสารชั้นนำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ผู้วิจัยคำนวณค่าอิทธิพลและความคลาดเคลื่อนมาตรฐานแต่ละงานวิจัย แล้วประมาณค่าอิทธิพลรวม ช่วงการทำนาย และค่าความไม่แน่นอนของผลการวิจัยด้วยโปรแกรม R ผลการวิเคราะห์อภิมาน พบว่า งานวิจัยทั้ง 14 เรื่อง มีค่าอิทธิพลรวมเท่ากับ 0.78 จัดอยู่ในระดับปานกลาง และมีงานวิจัยที่มีค่าอิทธิพลสูงกว่าค่าอิทธิพลรวม จำนวน 9 เรื่อง โดยมโนภาพของกลุ่มงานวิจัยที่มีค่าอิทธิพลสูงมีลักษณะร่วม ได้แก่ ใช้ตัวแทนที่ทำให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงแต่ละระดับและข้ามระดับได้ชัดเจน โดยผู้เรียนสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อมโนภาพได้ เช่น แอปพลิเคชันความเป็นจริงเสริม หรือโปรแกรมปฏิบัติการเสมือนจริง

คำสำคัญ: การตรวจสอบเอกสารอย่างเป็นระบบ, การวิเคราะห์เชิงอภิมาน, มโนภาพ, แนวคิดทางวิทยาศาสตร์

Article Info: Received 15 January, 2020; Received in revised form 18 March, 2020; Accepted 21 March, 2020

¹ นิสิตปริญญาโทสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: naphat.suk@ku.th
Graduate student in Science Education Division, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University
Email: naphat.suk@ku.th

² นิสิตปริญญาโทสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อีเมล: wannanida.pu@ku.th
Graduate student in Science Education Division, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University
Email: wannanida.pu@ku.th

³ รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อีเมล: pongprapan.p@ku.th
Associate Professor of Science Education Division, Department of Education, Faculty of Education, Kasetsart University
Email: pongprapan.p@ku.th

Abstract

This research aims to systematically review and meta-analyze the effect of visualization in teaching on conceptual development in science. Visualization is the representation of an abstract concept in a tangible way through a variety of modes to help us make a connection between three levels of presentation: macro, sub-micro and symbolic. Fourteen research articles from high-quality academic journals in science education indexed in Quartile 1 to 3 of SCImago database were retrieved. The effect size and the standard error of each study was calculated and estimated for the pooled effect, prediction interval, and heterogeneity using R program. The results indicate that the pooled effect was 0.78, which means that the overall effect of visualization in science teaching on the development of scientific conception was at a moderate level. There were nine studies having effect sizes higher than the pooled effect size. Of which, the studies with very high effect sizes shared notable characteristics. The visualizations used representations could well depict the phenomenon of interest at each and across all levels through an interactive, manipulative, and virtual environments such as augmented reality or virtual lab.

Keywords: systematic review, meta-analysis, visualization, scientific conception

บทนำ

หลักสูตรวิทยาศาสตร์มุ่งหวังให้ผู้เรียนเข้าใจการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีต่อการดำรงชีวิต สามารถใช้ความรู้ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ สื่อดิจิทัล เทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสาร เพื่อการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้สร้างความรู้ใหม่ (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2560) การนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้ในทางการศึกษาจึงถือเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาผู้เรียนให้บรรลุตามความมุ่งหวังที่หลักสูตรกำหนด เนื่องจากเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือที่ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ผ่านการใช้เทคโนโลยีในการแสวงหาความรู้ด้วยตัวของผู้เรียน รวมถึงช่วยส่งเสริมการจัดการเรียนการสอนของครูให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (จุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2559) โดยครูต้องเลือกใช้เทคโนโลยีที่มีความเฉพาะเจาะจงกับเนื้อหาสาระที่ตอบสนองต่อกระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียนที่มีความแตกต่างกัน และเทคโนโลยีที่เลือกใช้ต้องมีความเหมาะสมสอดคล้องกับวิธีการสอน รวมถึงลักษณะของเนื้อหาสาระ เพื่อให้การจัดการเรียนการสอนเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวได้ว่า เป็นสมรรถนะการใช้ความรู้เนื้อหาผสมผสานวิธีการสอนและ

เทคโนโลยี (Technological pedagogical content knowledge: TPACK) (นินนาท์ จันทรสุรีย์ และ นวศิษฐ์ รักษาบำรุง, 2561)

เป้าหมายสำคัญประการหนึ่งของการเรียนวิทยาศาสตร์ คือ การทำให้ผู้เรียนเข้าใจหลักการ ทฤษฎี และกฎที่เป็นพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2560) เนื่องจากวิทยาศาสตร์เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ต้องอาศัยความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในการอธิบาย (Gillbert, 2005) ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบจากการเรียนวิทยาศาสตร์ คือ ผู้เรียนเกิดแนวคิดที่คลาดเคลื่อน (misconception) ไปจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง (ชาตรี ฝ่ายคำตา, 2551) ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่มาจากความรู้เดิมของผู้เรียน ความพร้อมด้านสติปัญญาแต่ละช่วงวัยของผู้เรียน การถ่ายทอด และการสื่อสารของครู (Osborne & Freyberg, 1985) โดยเฉพาะแนวคิดที่มีความซับซ้อน และเป็นนามธรรมที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้โดยตรง เช่น อะตอม กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมี หรือโครงสร้างสารพันธุกรรม การเข้าใจแนวคิดเหล่านี้ต้องอาศัยการวิเคราะห์ ตีความข้อมูลจากการทดลอง หรือหลักฐานต่าง ๆ ผ่านการเชื่อมโยงความรู้ เพื่อสร้างหรือทดสอบแบบจำลองเพื่อการอธิบาย (explanatory model) แนวคิดนามธรรมแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับมหภาค (macroscopic level) ระดับจุลภาค (microscopic level) และระดับสัญลักษณ์ (symbolic level) ผู้เรียนต้องเข้าใจแต่ละระดับและสามารถเชื่อมโยงข้ามระดับจึงจะเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (scientific concept) (Padilla, 2009) เช่น แนวคิดเรื่องทฤษฎีจลน์ของแก๊สต้องอาศัยการเชื่อมโยงและการตีความสิ่งที่สังเกตเห็นจากการทดลองในระดับมหภาค ไปสู่การเคลื่อนที่ของอนุภาคในระดับจุลภาค และสรุปความเข้าใจออกมาในรูปแบบของสมการหรือความสัมพันธ์ในระดับสัญลักษณ์ (สมศักดิ์ เสนาใหญ่, 2560)

การสอนแนวคิดวิทยาศาสตร์เหล่านี้ต้องอาศัยการใช้ตัวแทน (representation) ความเข้าใจ หรือตัวแทนของแนวคิดที่เรียกว่า มโนภาพ (visualization) ให้ผู้เรียนสามารถมองเห็นหรือจับต้องได้ ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจกระบวนการหรือปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้น และสามารถเชื่อมโยงความเข้าใจในระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ นำไปสู่การพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพขึ้น รูปแบบหรือลักษณะของมโนภาพโดยทั่วไปมีอยู่ 2 ประเภท ประกอบด้วย 1) มโนภาพภายใน (internal visualization) เป็นมโนภาพที่เกิดจากความเข้าใจ โดยถูกแสดงอยู่ภายในใจหรือภายในความคิดของแต่ละ

บุคคล 2) มโนภาพภายนอก (external visualization) เป็นแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของความเข้าใจของมโนภาพภายใน ซึ่งแสดงออกในลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ 2.1) รูปธรรม (concrete mode) เช่น วัตถุหรือภาพจำลองที่สามารถสังเกตเห็น หรือจับต้องได้ในลักษณะที่เป็นสามหรือสี่มิติ 2.2) คำพูด (verbal mode) เป็นการใช้คำพูด หรือถ้อยคำเพื่ออธิบายสิ่งที่ป็นนามธรรมออกมา 2.3) สัญลักษณ์ (symbolic mode) เช่น สูตรทางเคมี สมการทางเคมี 2.4) ภาพ (visual mode) เช่น แผนภูมิ กราฟ ไดอะแกรม รูปภาพซึ่งอยู่ในลักษณะ 2 มิติ 2.5) ท่าทาง (gestural mode) เป็นการใช้ท่าทางและการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Gillbert, 2005)

การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ส่งเสริมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ครูต้องมีความรู้ในเนื้อหาผสมผสานกับวิธีการสอนและเทคโนโลยี โดยเทคโนโลยีต้องมีความเหมาะสม และเป็นตัวแทนของแนวคิดที่ถูกต้อง สามารถนำเสนอแนวคิดออกมาเป็นมโนภาพที่มีความชัดเจนและส่งเสริมความเข้าใจให้กับผู้เรียน สอดคล้องกับงานวิจัยของ เอกรัตน์ ทานาค (2561) กล่าวว่า นิสิตครูวิทยาศาสตร์ใช้เทคโนโลยีผนวกกับกิจกรรมการลงมือปฏิบัติเพื่อกระตุ้นความสนใจของผู้เรียน และการนำเข้าสู่บทเรียนซึ่งมีความหลากหลาย เช่น การใช้ภาพเคลื่อนไหว สื่อภาพลักษณะสี่มิติช่วยให้ผู้เรียนเห็นภาพและเข้าใจแนวคิดที่ซับซ้อนให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น งานวิจัยของ นินนาท์ จันทรสุรีย์ และ นวศิษฐ์ รักษ์บำรุง (2561) ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นำเสนอตัวแทนในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ของแนวคิดเรื่องกรด-เบส ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจในการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ทางเคมีที่เกิดขึ้นทั้ง 3 ระดับ ได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ งานวิจัยของ ศศิเทพ ปิติพรเทพิน และคณะ (2555) ใช้ภาพเคลื่อนไหวแบบการเคลื่อนที่หยุด (animation-stop motion) เป็นตัวแทนที่ช่วยให้ผู้เรียนเห็นภาพของกระบวนการแบ่งเซลล์ที่เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง เห็นได้ว่าการใช้มโนภาพเป็นตัวแทนของแนวคิดในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ช่วยส่งเสริมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้นอกจากนี้ การนำเทคโนโลยีเข้ามาผนวกกับมโนภาพยังช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของมโนภาพให้มีความเสมือนจริง สามารถนำเสนอแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่มีความซับซ้อนและเป็นนามธรรมออกมาเป็นลักษณะเชิงประจักษ์ให้กับผู้เรียน อย่างไรก็ตาม ครูต้องเลือกใช้มโนภาพภายนอกที่เป็นตัวแทนของแนวคิดที่เหมาะสม สอดคล้องกับแนวคิดและบริบทของผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนานำไปสู่การมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง

มโนภาพมีข้อดีต่อการส่งเสริมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ตามที่กล่าวไปข้างต้น ปัจจุบันจึงมีการใช้มโนภาพกันอย่างแพร่หลายในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ นอกจากนี้ มีงานวิจัยที่ศึกษาผลของการใช้มโนภาพต่อแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มากขึ้นทั้งประเทศไทยและต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาความแตกต่างของประเภทและลักษณะของมโนภาพที่ใช้ในการส่งเสริมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ รวมไปถึงผลของการใช้เทคโนโลยีในการนำเสนอมโนภาพ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการตรวจสอบวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ และวิเคราะห์อภิปรายงานวิจัย ที่ใช้มโนภาพเพื่อส่งเสริมแนวทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน เพื่อให้เกิดความชัดเจนเกี่ยวกับรูปแบบ และลักษณะของการใช้มโนภาพแก่ครูในการนำไปสู่การปฏิบัติ ตลอดจนนำไปสู่การกำหนดนโยบายเพื่อให้ครูได้รับการส่งเสริมจากหน่วยงานภาครัฐหรือสถานศึกษาต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อสังเคราะห์งานวิจัยที่ศึกษาประสิทธิผลการวิจัยของมโนภาพที่มีต่อแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนโดยการวิเคราะห์อภิปราย

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์อภิปราย ซึ่งเทียบได้กับงานวิจัยเชิงสำรวจ โดยใช้สถิติในการประมาณค่ามาตรฐานของผลการวิจัย ได้แก่ ค่าอิทธิพล ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน รวมถึงการประมาณค่าอิทธิพลรวม และค่าความไม่เป็นเอกพันธ์ของผลการวิจัย

การคัดเลือกงานวิจัย

เกณฑ์การคัดเลือกงานวิจัยสำหรับตรวจสอบเอกสาร และวิเคราะห์อภิปราย มีดังนี้

1. บทความวิจัยที่นำมาสังเคราะห์ทุกฉบับต้องเป็นบทความงานวิจัยฉบับเต็ม (full-text article) มีวิธีวิจัยเป็นแบบทดลอง ตีพิมพ์ในวารสารวิจัยระดับนานาชาติชั้นนำด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา

2. บทความวิจัยที่นำมาสังเคราะห์ทุกฉบับต้องถูกจัดอันดับคุณภาพวารสารบนฐานข้อมูล SCImago Journal Rank (SJR) ตั้งแต่ควอไทล์ที่ 1 ถึง 3 เช่น Journal of Research in Science Teaching, Science Education, International Journal of Science Education

3. บทความวิจัยที่นำมาสังเคราะห์ทุกฉบับต้องตีพิมพ์ระหว่างปี พ.ศ. 2552 ถึง 2562 เพื่อความทันสมัย

4. บทความวิจัยที่นำมาสังเคราะห์ทุกฉบับต้องเกี่ยวข้องกับการใช้มโนภาพเพื่อพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ บทความต้องมีค่าทางสถิติเพียงพอต่อการคำนวณค่ามาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ อภิमान ได้แก่ ค่าอิทธิพล และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

การเข้าถึงงานวิจัย

ผู้วิจัยสืบค้นงานวิจัยจากฐานข้อมูลวารสารออนไลน์ผ่านเครือข่าย Ezproxy ของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ด้วยฐานข้อมูล full-text finder ผู้วิจัยเลือกใช้คำค้นหา ได้แก่ มโนภาพ (ตัวแปรต้น) และการพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (ตัวแปรตาม) หรือประเภทของมโนภาพ การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยผู้วิจัยระบุขอบเขตการสืบค้นจากแคบไปกว้าง ได้แก่ จากชื่อเรื่องแล้วเป็นคำสำคัญ และเป็นบทคัดย่อ ตามลำดับ ผู้วิจัยสืบค้นบทความวิจัย จำนวน 40 บทความ นำบทความวิจัยฉบับเต็มที่มีความเหมาะสมครบถ้วนตามกระบวนการวิจัย จำนวน 35 บทความ มาคัดเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ข้างต้น พบว่า มีบทความงานวิจัยที่ไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 21 บทความ สาเหตุมาจาก 1) งานวิจัยมีค่าสถิติไม่เพียงพอต่อการคำนวณจำนวน 15 บทความ 2) งานวิจัยใช้มโนภาพแต่ไม่ได้วัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 6 บทความ สำหรับบทความงานวิจัยที่ผ่านเกณฑ์เพื่อนำไปวิเคราะห์อภิमानมีจำนวนทั้งสิ้น 14 บทความ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. จัดทำระเบียบงานวิจัยลงโปรแกรมคอมพิวเตอร์และบันทึกข้อมูลสำคัญเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยต่อไป ได้แก่ ชื่อผู้แต่ง ปีที่พิมพ์ ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการสอน ข้อมูลเกี่ยวกับกลุ่มที่ศึกษา ผลการวิจัยอย่างสังเขป

2. คำนวณค่าอิทธิพล ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของแต่ละงานวิจัยโดยใช้เครื่องมือคำนวณจากเว็บไซต์ (webtool) <http://www.campbellcollaboration.org/escalc/html/EffectSizeCalculator-Home.php> อ้างอิงจากหนังสือ Practical Meta-analysis (Lipsey & Wilson, 2001) โดยสูตรการคำนวณที่ใช้แตกต่างกันตามแบบแผนของงานวิจัยแต่ละประเภท เช่น สูตรการคำนวณเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อน-หลังของ 1 กลุ่มตัวอย่าง หรือสูตรการคำนวณเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม เป็นต้น

2.1 ค่าอิทธิพล (effect size: ES หรือ d) เป็นค่าที่บอกขนาดอิทธิพลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม โดยผลการวิจัยเรื่องหนึ่ง ๆ จะมีค่ามากหรือน้อย สามารถเปรียบเทียบได้กับงานวิจัยอื่นที่ศึกษาในเรื่องเดียวกัน ซึ่งมีการกำหนดเกณฑ์ของค่าอิทธิพลตามเกณฑ์ของ Cohen (1988 as cited in Lipsey & Wilson, 2001) ได้แก่ 1) ถ้าค่าอิทธิพลน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2 อิทธิพลมีค่าน้อย แสดงว่า งานวิจัยที่ศึกษาตัวแปรต้นมีประสิทธิผลต่อตัวแปรตามในระดับน้อย 2) ถ้าค่าอิทธิพลเท่ากับ 0.5 แสดงว่า งานนั้นอิทธิพลมีค่าปานกลาง ตัวแปรต้นมีประสิทธิผลต่อตัวแปรตามในระดับปานกลาง 3) ถ้าค่าอิทธิพลมากกว่าหรือเท่ากับ 0.8 แสดงว่า งานนั้นอิทธิพลมีค่ามาก ตัวแปรต้นมีประสิทธิผลต่อตัวแปรตามในระดับสูง

2.2 ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

3. นำค่ามาตรฐานที่ได้สร้างไฟล์ excel ใหม่กำหนดชื่อเพื่อให้โปรแกรม R สามารถอ่านค่าได้ ได้แก่ ชื่อผู้แต่ง (ปี) ใช้สัญลักษณ์ Author ค่าอิทธิพลใช้สัญลักษณ์ TE ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ใช้สัญลักษณ์ seTE และตัวแปรคุณลักษณะการวิจัย ได้แก่ ด้านการสอน และกลุ่มตัวอย่าง แปลงไฟล์จากนามสกุล .xlsx เป็น .csv เพื่อนำเข้าและสามารถอ่านด้วยโปรแกรม R ได้

4. ประมวลค่าอิทธิพลรวมโดยใช้โปรแกรม R ชุดคำสั่ง meta และ metaphor ประมวลค่าโดยใช้โมเดลอิทธิพลแบบคงที่ (fixed-effects model) ผ่านฟังก์ชัน metagen ได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

4.1 ค่าอิทธิพลรวม (pooled effect size หรือ mean effect size) เป็นค่าอิทธิพลของงานวิจัยมากกว่า 1 ขึ้นมาประมวลค่า โดยมีการถ่วงน้ำหนักด้วยค่าความแปรปรวน

4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานรวม (pooled standard error หรือ mean standard error) เป็นค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าอิทธิพลรวมที่ประมวลได้

4.3 ค่าความไม่เป็นเอกพันธ์ของผลการวิจัย (heterogeneity: I²) เป็นค่าร้อยละที่แสดงว่า ค่าอิทธิพลของแต่ละงานวิจัย มีความแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใด กรณีที่ค่าอิทธิพลแตกต่างกันมากสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ขั้นสูงต่อไป การตีความหมายของค่าความไม่เป็นเอกพันธ์ของผลการวิจัย พิจารณาได้จากร้อยละของค่า I² กล่าวคือ ค่าร้อยละของ I² ตั้งแต่ 1) 0 ถึง 30 ความแตกต่างแบบกันที่พบอาจไม่สำคัญ 2) 31 ถึง 60 ความแตกต่าง

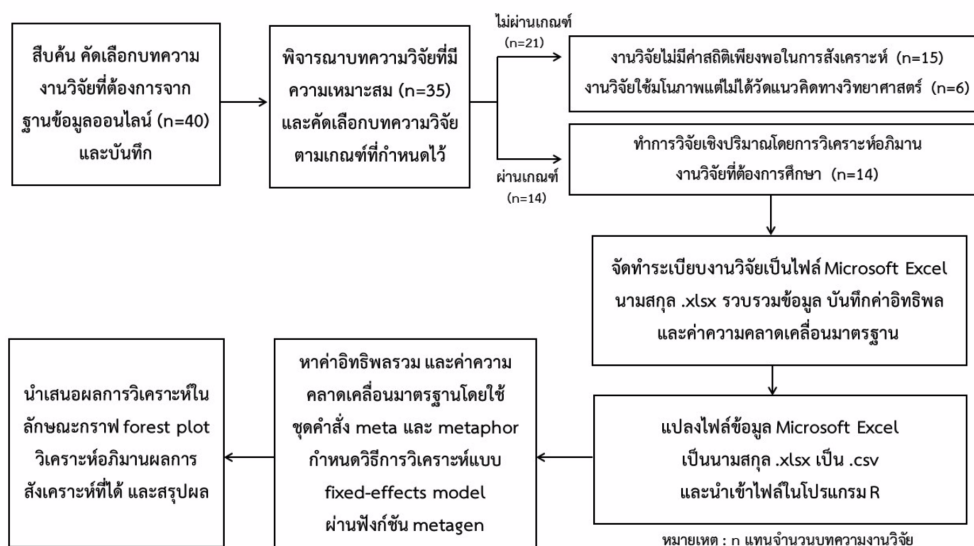
แบบกันที่พบอาจอยู่ในระดับปานกลาง 3) 60 ถึง 75 ความแตกต่างแบบกันที่พบอาจอยู่ในระดับสูง และ 4) มากกว่าร้อยละ 75 ความแตกต่างแบบกันที่พบปรากฏสูงมาก

5. นำเสนอผลการวิเคราะห์ในลักษณะกราฟ forest plot วิเคราะห์ตีความหมายและสรุปผล

กระบวนการวิเคราะห์ห่อภิมาณของงานวิจัย แสดงดังภาพต่อไปนี้

ภาพ 1

กระบวนการสืบค้นข้อมูล การสังเคราะห์ และวิเคราะห์ห่อภิมาณ



ผลการวิจัย

ผลการสำรวจบทความวิจัยที่นำมาสังเคราะห์ จำนวน 14 เรื่อง พบว่า รูปแบบงานวิจัยที่ศึกษาส่วนใหญ่แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ 1) กลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มทดสอบก่อน-หลัง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลของวิธีการสอนวิทยาศาสตร์ที่นำโมโนภาพเข้ามาใช้กับวิธีการสอนรูปแบบปกติ 2) กลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่มทดสอบก่อน-หลัง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลของวิธีการสอนวิทยาศาสตร์ที่นำโมโนภาพเข้ามาใช้ในกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน งานวิจัยที่นำมาสังเคราะห์ครอบคลุมสาระต่าง ๆ ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ทั่วไป เคมี ชีววิทยา และฟิสิกส์ ระดับชั้นของผู้เรียนมีตั้งแต่ระดับประถมศึกษาจนถึงระดับอุดมศึกษา โดยแบ่งออกเป็นระดับชั้นประถมศึกษา จำนวน 4 เรื่อง ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จำนวน 1 เรื่อง

ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 6 เรื่อง และระดับอุดมศึกษา (ปริญญาตรี-โท) จำนวน 3 เรื่อง ผู้วิจัยได้จัดกลุ่มของมโนภาพตามประเภทของมโนภาพภายนอกทั้ง 5 ประเภท พบว่า บทความวิจัย จำนวน 6 เรื่อง ใช้มโนภาพในลักษณะที่เป็นรูปธรรม จำนวน 1 เรื่อง ใช้มโนภาพเป็นลักษณะคำพูด และจำนวน 7 เรื่อง มีลักษณะเป็นแบบภาพ

นอกจากนี้ เมื่อแบ่งมโนภาพตามการนำเสนอโดยใช้เทคโนโลยีเข้ามาเป็นเกณฑ์สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ได้แก่ 1) มโนภาพที่นำเสนอโดยอาศัยเทคโนโลยีจากคอมพิวเตอร์ (computerized representation) จำนวน 13 เรื่อง เช่น โปรแกรมคอมพิวเตอร์เสมือนจริง แอปพลิเคชันความเป็นจริงเสริม แผนภาพไดอะแกรม 2 มิติที่นำเสนอจากคอมพิวเตอร์ เช่น Microsoft PowerPoint และ 2) มโนภาพที่ไม่ได้นำเสนอโดยอาศัยเทคโนโลยีจากคอมพิวเตอร์ (non-computerized representation) จำนวน 1 เรื่อง คือ แผนภาพไดอะแกรมจากหนังสือ จะเห็นได้ว่า มโนภาพของงานวิจัยส่วนใหญ่ที่นำมาวิเคราะห์ล้วนอาศัยเทคโนโลยีจากคอมพิวเตอร์ในการนำเสนอ มโนภาพในลักษณะของชิ้นงานทั้งสองมิติและสามมิติ มโนภาพสองมิติส่วนใหญ่เป็นไดอะแกรมหรือสื่อวีดิทัศน์ต่าง ๆ ในส่วนของมโนภาพสามมิติส่วนใหญ่เป็นโปรแกรมเสมือนจริง หรือแอปพลิเคชันความเป็นจริงเสริมที่แสดงแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ออกมาในลักษณะที่เป็นรูปธรรมอย่างชัดเจนซึ่งผู้เรียนสามารถสังเกต และมีปฏิสัมพันธ์กับมโนภาพได้ ลักษณะของเทคโนโลยีที่กล่าวไปนี้ สอดคล้องกับประเภทของมโนภาพภายนอก กล่าวคือ การนำเสนอมโนภาพที่เป็นภาพ ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเทคโนโลยีสองมิติ ส่วนการนำเสนอมโนภาพที่เป็นรูปทรงส่วนใหญ่มีลักษณะเทคโนโลยีสามมิติ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูล คำนวนค่าอิทธิพล ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของแต่ละงานวิจัย สรุปดังตาราง 1

ตาราง 1

ค่าอิทธิพล และค่าความคลาดเคลื่อนของงานวิจัยที่นำมาวิเคราะห์

ที่	ผู้แต่ง (ปีที่พิมพ์)	ระดับ การศึกษา ของกลุ่ม ตัวอย่าง	วิธีการนำ เสนอ มโนภาพ	ลักษณะ มโนภาพ	รูปแบบ การวิจัย	สถิติที่นำมา ใช้สังเคราะห์	ค่า อิทธิพล (TE)	ค่า ความคลาด เคลื่อน (seTE)
1	Barak and Dori (2011)	ประถมศึกษา	สื่อวีดิทัศน์	Visual	2 กลุ่มวัด ก่อน-หลัง	F-test	0.6704	0.0608

ตาราง 1 (ต่อ)

ค่าอิทธิพล และค่าความคลาดเคลื่อนของงานวิจัยที่นำมาวิเคราะห์

ที่	ผู้แต่ง (ปีที่พิมพ์)	ระดับ การศึกษา ของกลุ่ม ตัวอย่าง	วิธีการนำ เสนอ มโนภาพ	ลักษณะ มโนภาพ	รูปแบบ การวิจัย	สถิติที่นำมา ใช้สังเคราะห์	ค่า อิทธิพล (TE)	ค่า ความคลาด เคลื่อน (seTE)
2	Akpinar (2014)	ประถมศึกษา	คอมพิวเตอร์ แอนิเมชัน	Concrete	2 กลุ่มวัด ก่อน-หลัง	t-test	1.1290	0.2857
3	Kocakaya and Gönen (2014)	ปริญญาตรี	ไดอะแกรม คอมพิวเตอร์	Visual	2 กลุ่มวัด ก่อน-หลัง	t-test	1.0314	0.3228
4	Herga et al. (2015)	ประถมศึกษา	โปรแกรม คอมพิวเตอร์ เสมือนจริง	Concrete	2 กลุ่มวัด ก่อน-หลัง	Descriptive statistics	0.7943	0.1440
5	Marshal et al. (2015)	ปริญญา ตรี-โท	โปรแกรม คอมพิวเตอร์	Visual	2 กลุ่ม วัดหลัง	F-test	0.3351	0.5688
6	Savinain- en et al. (2015)	มัธยมศึกษา ตอนปลาย	ไดอะแกรม คอมพิวเตอร์	Verbal	3 กลุ่ม วัดหลัง	Descriptive statistics	1.2129	0.1466
7	Chao et al. (2016)	มัธยมศึกษา ตอนปลาย	โปรแกรม คอมพิวเตอร์	Visual	2 กลุ่มวัด ก่อน-หลัง	F-test	0.4781	0.3711
8	Herga et al. (2016)	ประถมศึกษา	โปรแกรม คอมพิวเตอร์ เสมือนจริง	Concrete	2 กลุ่มวัด ก่อน-หลัง	t-test	1.2480	0.2120
9	Liou et al. (2016)	ปริญญาตรี	3D AR	Concrete	2 กลุ่มวัด ก่อน-หลัง	Descriptive statistics	1.4094	0.2334
10	Al-Balushi et al. (2017)	มัธยมศึกษา ตอนปลาย	แอปพลิเคชัน- ช่องทาง โทรศัพท์	Concrete	2 กลุ่มวัด ก่อน-หลัง	Descriptive statistics	0.5311	0.2632
11	Ge et al. (2017)	มัธยมศึกษา ตอนต้น	ไดอะแกรม จากหนังสือ	Visual	2 กลุ่มวัด ก่อน-หลัง	Descriptive statistics	0.3278	0.1455
12	Hung and Fung (2017)	มัธยมศึกษา ตอนปลาย	ไดอะแกรม คอมพิวเตอร์	Visual	1 กลุ่มวัด ก่อน-หลัง	t-test	1.6468	0.3571

ตาราง 1 (ต่อ)

ค่าอิทธิพล และค่าความคลาดเคลื่อนของงานวิจัยที่นำมาวิเคราะห์

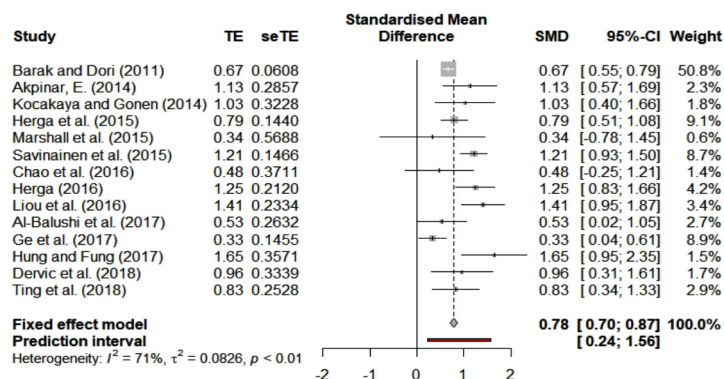
ที่	ผู้แต่ง (ปีที่พิมพ์)	ระดับ การศึกษา ของกลุ่ม ตัวอย่าง	วิธีการนำ เสนอ มโนภาพ	ลักษณะ มโนภาพ	รูปแบบ การวิจัย	สถิติที่นำมา ใช้สังเคราะห์	ค่า อิทธิพล (TE)	ค่า ความคลาด เคลื่อน (seTE)
13	Dervić et al. (2018)	มัธยมศึกษาตอนปลาย	โปรแกรมคอมพิวเตอร์เสมือนจริง	Concrete	2 กลุ่มวัดก่อน-หลัง	F-test	0.9597	0.3339
14	Ting et al. (2018)	มัธยมศึกษาตอนปลาย	สื่อวีดิทัศน์	Visual	1 กลุ่มวัดก่อน-หลัง	t-test	0.8341	0.2528

ผู้วิจัยวิเคราะห์ห่อถึมาณด้วยโปรแกรม R จากผลการประมาณค่าอิทธิพล โดยใช้วิธีการประมาณค่าโดยใช้โมเดลอิทธิพลแบบคงที่ได้ค่าอิทธิพลรวม ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานรวม และค่าความไม่เป็นเอกพันธ์ของผลการวิจัย โดยนำเสนอออกมาเป็นกราฟ forest plot ดังภาพ 2

กราฟ forest plot แสดงข้อมูลแต่ละงานวิจัย ได้แก่ ค่าอิทธิพล (TE) แทนด้วยจุดดำ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (seTE) แทนด้วยเส้นที่ยื่นออกมาจากค่าอิทธิพลทั้งสองข้าง ค่าความแม่นยำแทนด้วยกล่องสี่เหลี่ยมรอบค่าอิทธิพล ช่วงความเชื่อมั่นของค่าอิทธิพลที่ร้อยละ 95 (95%-CI) ร้อยละน้ำหนัก (weight) ของแต่ละงานวิจัยที่นำมาสังเคราะห์ ช่วงการทำนาย (Prediction interval) (แทนด้วยเส้นหนาที่ด้านล่าง) ค่าอิทธิพลรวม (Pooled size effect) แทนด้วยรูปสี่เหลี่ยมข้าวหลามตัด (diamond) และค่าความไม่เป็นเอกพันธ์ของผลการวิจัย (heterogeneity: I²)

ภาพ 2

กราฟ Forest plot แสดงผลการสังเคราะห์งานวิจัยทั้ง 14 บทความ



ข้อมูลจากกราฟ พบว่า ผลการสังเคราะห์บทความงานวิจัยทั้ง 14 บทความ มีค่าอิทธิพลรวม เท่ากับ 0.78 เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ระดับขนาดอิทธิพลตามมาตรฐานของ Cohen (1988) พบว่า ค่าอิทธิพลรวมที่ได้จัดอยู่ในระดับปานกลาง สามารถตีความหมายได้ว่าการใช้มโนภาพในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์สามารถส่งเสริมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้ในระดับปานกลาง ที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ตั้งแต่ 0.70 ถึง 0.87 แสดงให้เห็นว่า งานวิจัยที่นำมาสังเคราะห์ทั้งหมด ค่า $p\text{-value} < 0.01$ ช่วงการทำนายมีค่าตั้งแต่ 0.24 ถึง 1.56 ซึ่งให้เห็นว่า งานวิจัยทั้งหมดที่นำมาสังเคราะห์มีค่ามากกว่าศูนย์ สามารถทำนายได้ว่างานวิจัยอื่น ๆ ที่ใช้มโนภาพในการจัดการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน มีแนวโน้มที่งานวิจัยจะให้ค่าอิทธิพลเป็นบวกเช่นกัน ผลการวิจัยยังพบว่างานวิจัย จำนวน 9 เรื่อง มีค่าอิทธิพลสูงกว่าค่าอิทธิพลรวม โดย 3 อันดับแรก ได้แก่ งานวิจัยของ Herga et al. (2016), Hung and Fung (2017) และ Liou et al. (2016) งานวิจัยทั้ง 3 เรื่อง ใช้มโนภาพนำเสนอในลักษณะรูปธรรมที่สามารถเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 ระดับเข้าด้วยกัน มีการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการเสริมสร้างประสิทธิภาพของการเป็นตัวแทนได้สมจริง และผู้เรียนสามารถมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกับมโนภาพเหล่านี้ได้อีกด้วย เมื่อพิจารณาค่าความไม่เป็นเอกพันธ์ของผลการวิจัย เท่ากับร้อยละ 71 สามารถตีความได้ว่าผลการสังเคราะห์งานวิจัยทั้งหมดมีความแตกต่างกันในระดับสูง

อภิปรายผล

ผู้วิจัยนำเสนอผลการอภิปราย แบ่งเป็น 3 ประเด็น ดังนี้

1. ผลการสังเคราะห์ที่มีค่าอิทธิพลรวมอยู่ในระดับปานกลาง

ผลการสังเคราะห์ พบว่า ค่าอิทธิพลรวมเท่ากับ 0.78 ถือว่า การใช้มโนภาพสามารถส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดได้ในระดับปานกลาง เพราะผู้เรียนสามารถรับรู้แนวคิดผ่านมโนภาพอย่างเป็นรูปธรรม อย่างไรก็ตาม ในการนำเสนอแนวคิดเรื่องใดเรื่องหนึ่งต้องคำนึงถึงประเภทของมโนภาพที่ใช้ เนื่องจากมโนภาพบางประเภทอาจมีข้อจำกัดต่อแนวคิดที่มีความซับซ้อน หรือแนวคิดเชิงกระบวนการที่มีหลายขั้นตอน งานวิจัยของ Herga (2016) ต้องการพัฒนาแนวคิด เรื่อง สมบัติของสารและสถานะของสาร ของผู้เรียนในรายวิชาปฏิบัติการเคมี แนวคิดเรื่องสมบัติของสารและสถานะของสารต้องอาศัยการเชื่อมโยงสามระดับ

โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงของอะตอม และโมเลกุลในระดับจุลภาคซึ่งไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ผู้วิจัยใช้มโนภาพในรูปแบบของภาพสองมิติ เปรียบเทียบกับมโนภาพในรูปแบบรูปธรรมที่เป็นโปรแกรมสามมิติ ผลการวิจัย พบว่า ผู้เรียนที่ใช้มโนภาพสามมิติ สามารถเข้าใจและเชื่อมโยงระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ นำไปสู่ความเข้าใจทางเคมีที่ถูกต้องกว่าผู้เรียนที่ใช้ภาพสองมิติ จะเห็นได้ว่า มโนภาพที่มีลักษณะเป็นรูปธรรมสามมิติ สามารถส่งเสริมความเข้าใจต่อแนวคิดทางเคมีได้ดีกว่ามโนภาพที่มีลักษณะเป็นภาพสองมิติ เนื่องจากการใช้มโนภาพในลักษณะภาพสองมิติอาจเกิดความไม่ต่อเนื่องของแนวคิดและข้อจำกัดของมิติที่มีต่อการทำความเข้าใจ

2. งานวิจัยที่มีค่าอิทธิพลต่ำกว่าค่าอิทธิพลรวม

งานวิจัยที่มีค่าอิทธิพลต่ำกว่าค่าอิทธิพลรวม มีสาเหตุมาจาก 2 ประการ ได้แก่

- 1) แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาที่มีความลึกซึ้งและซับซ้อนยากต่อการทำความเข้าใจ งานวิจัยของ Marshall et al. (2015) ใช้มโนภาพผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อส่งเสริมแนวคิดเรื่อง อุทกวิทยา ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี แนวคิดเรื่องนี้เป็นแนวคิดในระดับสูงประกอบด้วยแนวคิดย่อย ๆ หลายแนวคิด ได้แก่ การกระจายตัวของน้ำ การเคลื่อนที่ของน้ำ ซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐาน และความเข้าใจเกี่ยวกับสมการ และแบบจำลองของพื้นผิวน้ำที่เกิดขึ้น ความซับซ้อนและความยากของแนวคิดนี้ส่งผลให้งานวิจัยนี้มีค่าอิทธิพล เท่ากับ 0.3351
- 2) ลักษณะของมโนภาพที่ใช้ยังไม่สามารถทำให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดนั้นได้ โดยมโนภาพของงานวิจัยที่มีค่าอิทธิพลต่ำกว่าค่าอิทธิพลรวมส่วนใหญ่นำเสนอโดยใช้มโนภาพรูปแบบภาพผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สื่อวีดิทัศน์ หรือแผนภาพไดอะแกรมสองมิติ ผู้เรียนสามารถสังเกตมโนภาพเพื่อทำความเข้าใจได้เท่านั้น นอกจากนี้ มโนภาพเหล่านี้ยังไม่แสดงถึงความเชื่อมโยงของการเปลี่ยนแปลงในระดับต่าง ๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ge et al. (2017) ที่มีค่าอิทธิพลต่ำที่สุดเท่ากับ 0.3278 ได้ใช้มโนภาพในลักษณะแผนภาพไดอะแกรมสองมิติจากหนังสือ นำเสนอแนวคิด เรื่อง ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต

3. งานวิจัยที่มีค่าอิทธิพลสูงสุด

งานวิจัยที่มีค่าอิทธิพลสูงกว่าค่าอิทธิพลรวม 3 อันดับ เรียงจากน้อยไปมาก ได้แก่

- 1) งานวิจัยของ Herga et al. (2016) ค่าอิทธิพลเท่ากับ 1.2480 พบว่า มีการใช้มโนภาพในลักษณะของมโนภาพพลวัต (dynamic visualization) ที่แสดงและเชื่อมโยงการเปลี่ยน

ทั้งสามระดับในการสอนวิชาปฏิบัติการเคมีในชั้นประถมศึกษา ผ่านมโนภาพรูปธรรมที่เป็นโปรแกรมสำหรับปฏิบัติการเคมีเสมือนจริงสามมิติ โดยผู้เรียนสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับมโนภาพรวมถึงเลือกใช้ ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์และสารเคมีที่มีอยู่ในโปรแกรมได้ตามอัธยาศัย นอกจากนี้โปรแกรมยังแสดงผลการทดลองทั้งในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ที่ทำให้ผู้เรียนสามารถสังเกต และเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มทดลองเมื่อใช้โปรแกรมเสมือนจริงให้ผลสัมฤทธิ์ด้านแนวคิด ความเข้าใจ และการประยุกต์สูงกว่ากลุ่มควบคุมซึ่งใช้วิธีการจัดการเรียนการสอนแบบบรรยาย 2) งานวิจัยของ Liou et al. (2016) ค่าอิทธิพลเท่ากับ 1.4094 ใช้มโนภาพรูปธรรมที่เป็นเทคโนโลยีภาพเสมือนสามมิติ หรือที่เรียกว่าความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality: AR) ในแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือในการสอน เรื่อง โครงสร้างผลึกและเซลล์ไฟฟ้าเชื้อเพลิง ระดับปริญญาตรี มโนภาพที่ใช้ทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจแนวคิด และเชื่อมโยงแต่ละระดับผ่านภาพเคลื่อนไหวสามมิติ ผู้เรียนสามารถโต้ตอบ มีปฏิสัมพันธ์ และปรับเปลี่ยนมโนภาพได้ตลอดเวลา ยิ่งไปกว่านั้นยังแสดงลักษณะของโครงสร้างโมเลกุล และอะตอมของผลึกที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นการเสริมความเข้าใจที่ลึกซึ้งสำหรับแนวคิดนามธรรมในระดับจุลภาค ผลการวิจัย พบว่า ความรู้ ความเข้าใจ และการประยุกต์ของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมซึ่งสอนด้วยวิธีปกติ ทั้ง 3 ด้าน 3) งานวิจัยของ Hung and Fung (2017) มีค่าอิทธิพลสูงสุดเท่ากับ 1.6468 ใช้มโนภาพพลวัตผสมผสาน (hybrid dynamic visualization) สอนเรื่อง พันธุศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มโนภาพที่ใช้เป็นแผนภาพไดอะแกรมพันธุกรรมสองมิติ ที่แสดงกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis) ในกระบวนการการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ นอกจากนี้แผนภาพดังกล่าวยังแสดงรูปแบบพันธุกรรม หรือสัญลักษณ์ทางพันธุกรรม (genotype) แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้ใช้มโนภาพในรูปแบบของภาพสองมิติแต่ให้ค่าอิทธิพลสูงสุดซึ่งปกติแล้วการเรียนการสอนเรื่อง การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส และรูปแบบพันธุกรรมจะสอนแยกเรื่องกัน แต่งานวิจัยนี้มโนภาพพลวัตผสมผสานเพื่อรวมเนื้อหาทั้งสอง ลดความซับซ้อนของเนื้อหา ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้ง สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของเนื้อหา ระหว่างลำดับขั้นการทำงานที่เป็นระบบทางพันธุศาสตร์เชื่อมโยงกับสัญลักษณ์ทางพันธุกรรมที่เป็นนามธรรมของการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ชัดเจน

สำหรับงานวิจัยที่มีค่าอิทธิพลสูงกว่าค่าอิทธิพลรวม ส่วนใหญ่ใช้มโนภาพนำเสนอออกมาในลักษณะที่เป็นรูปธรรม โดยอาศัยเทคโนโลยีที่มีความทันสมัย อย่างไรก็ตาม ผู้เรียนต้องมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ และมีปฏิสัมพันธ์กับมโนภาพนั้น ๆ สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้แบบสรคณนิยม (constructivism) ที่เชื่อว่า ผู้เรียนต้องสร้างองค์ความรู้ด้วยตัวเอง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำงานวิจัยไปใช้

ครูควรเลือกใช้มโนภาพสามมิติ ในการนำเสนอแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากมโนภาพที่เป็นรูปธรรม ทำให้ผู้เรียนเห็นการเปลี่ยนแปลงของมิติต่าง ๆ ได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะแนวคิดในระดับจุลภาคของอะตอม โมเลกุล หรือเซลล์ นอกจากนี้ มโนภาพรูปธรรมสามมิติ สามารถเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ หรือแนวคิดที่ซับซ้อนได้ดีกว่าแบบสองมิติ นอกจากนี้ ควรให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเองผ่านการมีปฏิสัมพันธ์ การโต้ตอบ การออกแบบและปรับเปลี่ยนมโนภาพ อย่างไรก็ตาม ครูสามารถเลือกใช้มโนภาพสองมิติ ในการพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ โดยเลือกมโนภาพที่ผสมระหว่างมโนภาพทั่วไปกับมโนภาพพลวัต เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

เนื่องจากผลการวิจัย พบว่า งานวิจัยทั้ง 14 เรื่อง มีความแตกต่างกันในระดับสูง จึงควรทำการวิเคราะห์กลุ่มย่อย (subgroup analysis) เพื่อศึกษาอิทธิพลของกลุ่ม ได้แก่ ระดับชั้นกลุ่มตัวอย่าง และเนื้อหาวิชาในสาขาต่าง ๆ ของแต่ละงานวิจัย และวิเคราะห์ถดถอยอยภิมาน (meta-regression) เพื่อศึกษาผลตัวแปรทำนายอื่น ๆ ต่อค่าขนาดอิทธิพลให้เห็นเงื่อนไขความสำเร็จและข้อควรระวังในการใช้มโนภาพเพื่อเป็นแนวปฏิบัติสำหรับครูต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จุฬารัตน์ ธรรมประทีป. (2559). การพัฒนาความรู้ในเนื้อหาผนวกรวมวิธีสอนและเทคโนโลยีในการสอนวิทยาศาสตร์. *วารสารวิจัยและพัฒนาหลักสูตร*, 6(2), 1-13.

- ชาตรี ฝ้ายคำตา. (2551). แนวคิดทางเลือกของนักเรียนในรายวิชาเคมี. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี*, 19(2), 11-28.
- นินนาท์ จันทรสุรีย์ และนวิชญ์ รัชชบำรุง. (2561). ความรู้เนื้อหาพหุสาขาวีธีสอนและเทคโนโลยีในห้องเรียนเคมี โดยใช้สถานการณ์จำลองแบบมีปฏิสัมพันธ์ของ PhET. *วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา*, 1(1), 109-121.
- ศศิเทพ ปิติพรเทพิน, สุรเดช ศรีทา, กฤษณา โภคพันธ์, และ กฤษณา ชินสิญจน์. (2555). การส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง การแบ่งเซลล์ของ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการสร้างภาพเคลื่อนไหว. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 2(1), 115-130.
- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระแกนกลางกลุ่มสาระเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- สมศักดิ์ เสนาใหญ่. (2560, 11 มิถุนายน). *ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส (Kinetic theory of gases)*. คลังความรู้ SciMath. <https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7233-kinetic-theory-of-gases>
- เอกรัตน์ ทานาค. (2561). การนำความรู้เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีพหุการสอนในเนื้อหาวิชาเฉพาะไปใช้ปฏิบัติการสอนในห้องเรียนของนิสิตครูวิทยาศาสตร์ในหลักสูตรผลิตครู 2 ปี. *วารสารวิจัยทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 13(2), 207-220.

ภาษาอังกฤษ

- Akpinar, E. (2014). The use of interactive computer animations based on POE as a presentation tool in primary science teaching. *Journal of Science Education and Technology*, 23(4), 527-537.
- Al-Balushi, S. M., Al-Musawi, A. S., Ambusaidi, A. K., & Al-Hajri, F. H. (2017). The effectiveness of interacting with scientific animations in chemistry using mobile devices on grade 12 students' spatial ability and scientific reasoning skills. *Journal of Science Education and Technology*, 26(1), 70-81

- Barak, M., & Dori, Y. J. (2011). Science education in primary schools: Is an animation worth a thousand pictures? *Journal of Science Education and Technology*, 20(5), 608-602.
- Chao, J., Chiu, J. L., DeJaegher, C. J., & Pan, E. A. (2016). Sensor-augmented virtual labs: Using physical interactions with science simulations to promote understanding of gas behavior. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 16-33.
- Dervić, D., Glamočić, D. S., Gazibegović-Busuladžić, A., & Mešić, V. (2018). Teaching physics with simulations: Teacher-centered versus student-centered approaches. *Journal of Baltic Science Education*, 17(2), 288-299.
- Ge, Y. P., Unsworth, L., & Wang, K. H. (2017). The effects of explicit visual cues in reading biological diagrams. *International Journal of Science Education*, 39(5), 605-626.
- Gillbert, J. K. (2005). *Visualization in science education*. Springer.
- Herga, N. R., Čagran, B., & Dinevski, D. (2016). Virtual laboratory in the role of dynamic visualisation for better understanding of chemistry in primary school. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(3), 593-608.
- Herga, N. R., Glažar, S. A., & Dinevski, D. (2015). Dynamic visualization in the virtual laboratory enhances the fundamental understanding of chemical concepts. *Journal of Baltic Science Education*, 14(3), 351-364.
- Howell, M. E., Booth, C. S., Sikich, S. M., Helikar, T., Roston, R. L., Couch, B. A., & van Dijk, K. (2019). Student understanding of DNA structure–function relationships improves from using 3D learning modules with dynamic 3D printed models. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 47(3), 303-317.

- Hung, V., & Fung, D. (2017). The effectiveness of hybrid dynamic visualisation in learning genetics in a Hong Kong secondary school. *Research in Science & Technological Education*, 35(3), 308-329.
- Kocakaya, F., & Gönen, S. (2014). Influence of computer-assisted roundhouse diagrams on high school 9th grade students' understanding the subjects of “force and motion”. *Science Education International*, 25(3), 283-311.
- Liou, W. K., Bhagat, K. K., & Chang, C. Y. (2016). Beyond the flipped classroom: A highly interactive cloud-classroom (HIC) embedded into basic materials science courses. *Journal of Science Education and Technology*, 25(3), 460-473.
- Lipsey, M., & Wilson, D. (2001). *Practical meta-analysis*. Sage.
- Marshall, J. A., Castillo, A. J., & Cardenas, M. B. (2015). The effect of modeling and visualization resources on student understanding of physical hydrology. *Journal of Geoscience Education*, 63(2), 127-139.
- Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science. The implications of children's science*. Heinemann.
- Padilla, K. (2009). Visualization: Theory and practice in science education. *International Journal of Science Education*, 31(10), 1417-1420.
- Savinainen, A., Mäkynen, A., Nieminen, P., & Viiri, J. (2017). The effect of using a visual representation tool in a teaching-learning sequence for teaching Newton’s third law. *Research in Science Education*, 47(1), 119-135.
- Ting, Y. L., Tai, Y., Tseng, T. H., & Tsai, S. P. (2018). Innovative use of mobile video conferencing in face-to-face collaborative science learning: The case of reflection in optics. *Journal of Educational Technology & Society*, 21(3), 74-85.