

**บทความวิจัย****ความเข้าใจในมิติ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุล จากการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4****อริยา ทิพย์ชัย¹ ชาลี มีวงศ์^{2*} กานต์ตระกูลรัตน์ วุฒิสเลลา^{1,3} และศักดิ์ศรี สุภาธร^{1,3}**¹หลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี²โรงเรียนตูมพิตยานุสรณ์ ตำบลตูม อำเภอปรังค์ภู จังหวัดศรีสะเกษ³ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

*Email: chaasaki@gmail.com

รับบทความ: 6 พฤษภาคม 2562 บทความแก้ไข: 10 มิถุนายน 2562 ยอมรับตีพิมพ์: 10 มิถุนายน 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความเข้าใจในมิติ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพ โดยมีกลุ่มที่ศึกษาเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 29 คน จากโรงเรียนตูมพิตยานุสรณ์ จังหวัดศรีสะเกษ ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการทดลองแบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพ จำนวน 12 ชั่วโมง และเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบวัดความเข้าใจในมิติแบบวินิจัยสองลำดับขั้น จำนวน 20 ข้อ โดยนักเรียนมีคะแนนความเข้าใจในมิติหลังเรียน (mean 23.64, S.D. 4.96) สูงกว่าก่อนเรียน (mean 11.11, S.D. 3.08) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยหลังเรียนมีผลรวมร้อยละของนักเรียนที่ไม่มีมีความเข้าใจในมิติและความเข้าใจในมิติผิด (NU+MU) ลดลงจากก่อนเรียนเป็น 2.93 และมีความเข้าใจในมิติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) ลดลงจากก่อนเรียนเป็น 16.38 ส่วนผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจในมิติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่และถูกต้องสมบูรณ์ (PU+SU) เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนเป็น 34.31 แสดงให้เห็นว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในลักษณะนี้สามารถพัฒนาความเข้าใจในมิติในเรื่องนี้ของนักเรียนได้

คำสำคัญ: พันธะโคเวเลนต์ การเรียนรู้แบบสืบเสาะ แบบจำลองเชิงกายภาพ ความเข้าใจในมิติ**อ้างอิงบทความนี้**

อริยา ทิพย์ชัย ชาลี มีวงศ์ กานต์ตระกูลรัตน์ วุฒิสเลลา และศักดิ์ศรี สุภาธร. (2562). ความเข้าใจในมิติ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุล จากการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 2(1), 43-56.

Research Article

Grade-10 students' conceptual understanding of covalent bonding and molecular shapes from inquiry learning by using physical models

Ariya Tipchai¹, Chalee Meewong^{2*}, Karntarat Wuttisela^{1,3} and Saksri Supasorn^{1,3}

¹Graduate Programs in Science Education, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani

²Toomphittayanusorn School, Toom, Prang Ku, Srisaket

³Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warinchamrab, Ubon Ratchathani

*Email: chaasaki@gmail.com

Received <6 May 2019>; Revised <10 June 2019>; Accepted <10 June 2019>

Abstract

The main purpose of this research was to develop conceptual understanding on covalent bonding and molecular shapes by using 5E inquiry learning by using physical models. The participants were 29 students, purposively selected from the populations of grade 10 students at Toomphittayanusorn School in Srisaket Province. A research tool was the inquiry-based experiment in conjunction with corresponding physical models (12 hours). Data collecting tool was the two-tier diagnostic conceptual test (20 items). The dependent samples t-test analysis of students' conceptual test scores indicated that the post-conceptual test score (mean 23.64, S.D. 4.96) was statistically significantly higher than the pre-conceptual test score (mean 11.11, S.D. 3.08) at the 95% confidence level. After the intervention, the percentages of students in the no and mis-conceptual understanding (NU+MU) and in the partial with mis-conceptual understanding (PMU) were decreased by 2.93 and 16.38 respectively, while the total percentage of students in the partial and sound conceptual understanding (PU+SU) was increased by 34.31. This is verified that this intervention was effectively to develop students' conceptual understanding in the particular topic.

Keywords: Covalent bonding, inquiry-based learning, physical model, conceptual understanding

Cite this article:

Tipchai, A., Meewong, C., Wuttisela, K. and Supasorn, S. (2019). Grade-10 students' conceptual understanding of covalent bonding and molecular shapes from inquiry learning by using physical models (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 2(1), 43-56.

บทนำ

ในโลกปัจจุบันวิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันและอาชีพต่างๆ ตลอดจนเทคโนโลยี เครื่องมือ เครื่องใช้ และผลผลิตต่างๆ ที่มนุษย์ได้ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตและการทำงาน เหล่านี้ล้วนเป็นผลของ ความรู้วิทยาศาสตร์ที่ผสมผสานกับความคิดสร้างสรรค์และศาสตร์อื่นๆ วิทยาศาสตร์ช่วยให้มนุษย์ได้พัฒนาวิธีคิด ทั้ง ความคิด และเป็นเหตุและเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ วิจัย มีทักษะสำคัญในการค้นหาความรู้ มีความสามารถในการทำงานอย่างเป็นระบบ สามารถตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพที่ ตรวจสอบได้ ดังนั้นทุกคนจึงจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อที่จะมีความรู้ความเข้าใจใน ธรรมชาติและเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างขึ้น สามารถนำความรู้ไปใช้อย่างมีเหตุผล สร้างสรรค์และมีคุณธรรม (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) ทั้งนี้ วิชาเคมีก็จัดเป็นวิชาแขนงหนึ่งซึ่งมีความสำคัญเช่นเดียวกับวิชาวิทยาศาสตร์ แขนงอื่นๆ และเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเรามากทีเดียว เช่น อาหาร เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค ที่อยู่อาศัย และอื่นๆ ที่จำเป็นในการดำรงชีวิต เหล่านี้ล้วนเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งเกิดจากความรู้หลักการวิชาเคมี และนำหลักของ วิชาเคมีมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ทำให้ประเทศไทยเรามีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมมากขึ้นและก้าวไป เป็นประเทศอุตสาหกรรมใหม่ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการพัฒนาด้านเศรษฐกิจของประเทศด้วย (เปรมศักดิ์ สิมมาเคน และศักดิ์ศรี สุภาพร, 2557)

กระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มีบทบาทอย่างมากในการเรียนรู้วิชาเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โดยเป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและมโนคติทางวิทยาศาสตร์ ควบคู่ กับการพัฒนาทักษะและเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ มีความเหมาะสมกับนักเรียนที่มีความสามารถทางสติปัญญาทุกระดับ (ศักดิ์ศรี สุภาพร และคณะ, 2559) ซึ่งสอดคล้องกับที่ สุดารัตน์ ดวงเงิน และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์ (2553) ได้กล่าวถึงการ จัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry-based learning) ว่าเป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เน้นกิจกรรมการสำรวจ ตรวจสอบและการปฏิบัติการทดลอง เพื่อให้นักเรียนได้เกิดความเข้าใจในมโนคติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific concept) และได้รับการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Science process skills) นอกจากนี้ กรณิการ์ กวางศิริ (2555) ได้กล่าวถึงการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เช่นกันว่าเป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็น สำคัญ ส่งเสริมให้นักเรียนใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ร่วมกับการคิดวิเคราะห์ในการสืบเสาะแสวงหา ค้นพบความรู้ด้วยตนเอง ผ่านการลงมือปฏิบัติอย่างเป็นระบบเป็นขั้นตอน ส่งผลให้นักเรียนมีความรู้และทักษะ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อตนเองและผู้อื่นได้เป็นอย่างดี

จากประสบการณ์ในการสอนของผู้วิจัย การสังเกตการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมี ระดับชั้นมัธยมศึกษาปี ที่ 4 ตลอดระยะเวลา 10 ปี ที่ผ่านมา พบว่า มีหลายหัวข้อที่ครูสอนแบบบรรยายให้ความรู้ตามเนื้อหาในหนังสือเรียน นักเรียนได้เรียนรู้เฉพาะหลักการหรือทฤษฎี โดยที่นักเรียนไม่ได้ทำกิจกรรมเกี่ยวกับการปฏิบัติการทดลอง ซึ่งสาเหตุ อาจมาจากการขาดแคลนอุปกรณ์สารเคมี หรือสื่อการสอนที่เป็นรูปธรรม หรือในบางครั้งทางโรงเรียนมีกิจกรรมมาก เกินไป ทำให้การเรียนรู้ขาดความต่อเนื่องและมีเวลาไม่มากพอที่จะสอนให้ครบตามตัวชี้วัด จึงทำให้ครูจัดการเรียนรู้ แบบบรรยายเป็นส่วนใหญ่ หรือแจกใบความรู้ให้นักเรียนศึกษาด้วยตนเองแล้วให้นักเรียนทำใบงานมาส่ง บางหัวข้อที่ ยาก มโนคติเป็นนามธรรม นักเรียนไม่สามารถเรียนรู้ด้วยตนเองได้หรือเรียนรู้ได้ต้องใช้เวลา ทำให้ในหัวข้อนั้น นักเรียนบางส่วนมีมโนคติที่คลาดเคลื่อนหรือผิด หนึ่งในหัวข้อที่ครูสอนแบบบรรยายโดยเขียนบนกระดาน คือ พันธะ โคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ ซึ่งเป็นเนื้อหาในภาคเรียนที่ 1 จากการตรวจแบบทดสอบปลายภาค พบว่า นักเรียนได้คะแนนค่อนข้างน้อยและมีผลการเรียนอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ ทั้งนี้ สาเหตุของปัญหานี้อาจเกิดจากการจัด กิจกรรมการเรียนรู้ในห้องเรียน ส่วนมากจะเป็นการอธิบายประกอบการเขียนบนกระดาน ทำให้นักเรียนมองไม่เห็น ภาพและไม่ได้เรียนจากสิ่งที่เห็นเป็นรูปธรรม นัยหมายความว่านักเรียนมีมโนคติที่คลาดเคลื่อนและผิดในเรื่องนี้ (กลุ่มงานวิชาการ โรงเรียนตุมพิตยานุสรณ์, 2558) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่กล่าวไว้ว่า การจัดการสอน วิชาเคมีของโรงเรียนมัธยมศึกษาส่วนใหญ่เป็นแบบการเรียนรู้เชิงรับ (Passive Learning) ซึ่งเป็นกระบวนการเรียนรู้ โดยการอ่านหรือฟังบรรยายโดยยึดเนื้อหาจากหนังสือและตำรา เป็นรูปแบบที่ครูคุ้นเคยและใช้กันมาก ครูจะพยายาม บรรยายบอกทุกสิ่งทุกอย่างในตำราหรือหนังสือให้นักเรียนจดบันทึกแล้วนำไปใช้สอบวัดเก็บเป็นคะแนนความรู้

(สถาพร พุทธิพิฏกุล, 2555; กุศลภัส เทียมทิพร, 2559) ผลเสียของการจัดการเรียนรู้ในลักษณะนี้นักเรียนจะขาดความสนใจเมื่อนั่งฟังและจดบันทึกเนื้อหามากเกินไป นักเรียนบางคนตามเนื้อหาไม่ทันทำให้ขาดความเข้าใจในเนื้อหา และเกิดความเบื่อหน่าย ประกอบกับมโนคติในวิชาเคมีซึ่งรวมถึงมโนคติวิชาเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวนมากเกี่ยวข้องกับเรื่องนามธรรมที่มองไม่เห็นและสัมผัสไม่ได้ในระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ ทำให้นักเรียนสร้างมโนคติที่คลาดเคลื่อนหรือผิดจากมโนคติที่ถูกต้อง (สายรุ้ง ชาวสุภา, 2559; ศักดิ์ศรี สุภาธร และคณะ, 2559; Mulford and Robinson, 2002) แบบจำลองเชิงกายภาพที่อาจช่วยลดมโนคติที่คลาดเคลื่อน ได้แก่ หลอดพลาสติก (Moreno, 2018) การสร้างโมเดลโมเลกุลด้วยการพิมพ์ 3 มิติ (Dean, 2016) โฟม (กานต์ตระกูลรัตน์ วุฒิสเลา, 2557) และปากกาไวน์บอร์ด (Dragojlovic, 2015) เป็นต้น

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนากิจกรรมเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพเพื่อสนับสนุนมโนคติที่ถูกต้องและปรับแก้มโนคติที่คลาดเคลื่อน เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ ซึ่งจะเน้นให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการออกแบบกิจกรรม สร้างคำอธิบายและขยายแนวคิดจากการทดลองได้ด้วยตนเอง ทั้งนี้เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้พัฒนาทั้งด้านองค์ความรู้ควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะการสืบเสาะและค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง (ศักดิ์ศรี สุภาธร, 2554) และให้นักเรียนได้เห็นแบบจำลองเชิงกายภาพและสามารถแสดงความคิดเห็น พิสูจน์ และอภิปรายเกี่ยวกับแนวคิดหรือมโนคติทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นมโนคติเป้าหมาย และสร้างมโนคติที่ถูกต้องขึ้น จากนั้นเชื่อมโยงมโนคติที่ถูกต้องเข้ากับสถานการณ์ใหม่ในชั้นสำรวจและค้นหาด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพ

อย่างไรก็ตาม การเรียนรู้ด้วยแบบจำลองนั้นมีหลายรูปแบบ เช่น การเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning: MBL) (Gobert, and Buckley, 2000; Louca and Zacharia, 2012) และการเรียนรู้แบบสืบเสาะโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Inquiry: MBI) (Windschitl, Thompson and Braaten, 2008) เป็นต้น ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่น่าสนใจ แต่เนื่องจากข้อจำกัดในด้านของเวลาในการทำวิจัย ผู้วิจัยจึงได้ตัดสินใจเลือกรูปแบบการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5E inquiry learning) ที่ผู้สอนและนักเรียนคุ้นเคยอยู่แล้ว แต่ปรับขั้นตอนการสำรวจและค้นหามาเป็นการสำรวจและค้นหาผ่านแบบจำลองเชิงกายภาพที่จับต้องได้แทนการสำรวจค้นหาผ่านการทดลอง ซึ่งพันธะโคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ก็เป็นเนื้อหาที่เหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้ด้วยแบบจำลองนั่นเอง

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคะแนนความเข้าใจโมเดลและร้อยละของนักเรียนที่มีมโนคติความเข้าใจในระดับต่างๆ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ก่อนและหลังเรียนด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยในครั้งนี้จำแนกรายละเอียดได้ดังนี้

แบบแผนการวิจัย การวิจัยครั้งนี้เป็นแบบกลุ่มตัวอย่างเดียวมีการทดสอบก่อนและหลังการเรียนรู้ด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์

กลุ่มตัวอย่างและประชากร กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 29 คน ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนตุมพิตยานุสรณ์ โดยเลือกแบบเจาะจงจากประชากรทั้งหมด เนื่องจากผู้วิจัยเห็นว่ากลุ่มตัวอย่างที่เลือกเป็นตัวแทนของกลุ่มประชากรได้ เพราะเป็นกลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมกิจกรรมครบทุกขั้นตอน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ ตามหลักการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น และมีการสำรวจและค้นหาคำตอบด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพ จำนวน 4 แผน รวมเวลา 12 ชั่วโมง โดยมีรายละเอียดกิจกรรมการเรียนรู้ (ตารางที่ 1) ซึ่งกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละแผนจะดำเนินการ

คล้ายกับตัวอย่างกิจกรรมในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 การจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1) ขั้นสร้างความสนใจ ครูนำความสนใจของนักเรียนเข้าสู่การจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุ 4 - 5 ชนิด ทั้งธาตุโลหะและธาตุอโลหะ จากนั้น ถามนักเรียนเกี่ยวกับการเกิดพันธะระหว่างธาตุแต่ละชนิดว่าจะเกิดเป็นพันธะชนิดใด เพราะอะไรจึงเป็นเช่นนั้น

1.2) ขั้นสำรวจและค้นหา จะเน้นให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการออกแบบกิจกรรม สร้างคำอธิบายและขยายแนวคิดจากการทดลองได้ด้วยตนเอง โดยให้ใบงานกับนักเรียนทุกกลุ่ม จากนั้นนักเรียนจะได้หาคำตอบโดยการ ใช้แบบจำลองเชิงกายภาพเกี่ยวกับการเกิดพันธะโคเวเลนต์ นักเรียนอาจหาได้หลายรูปแบบตามความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์ และบันทึกข้อมูล (ภาพวาดการจัดเรียงอิเล็กตรอนของแม่เหล็ก หลากสี และการเกิดพันธะโคเวเลนต์)

1.3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป นักเรียนใช้สื่อแล้วได้เรียนรู้อะไรบ้าง นักเรียนสามารถจัดเรียงอิเล็กตรอนได้ทุกธาตุหรือเปล่า และพันธะโคเวเลนต์เกิดขึ้นได้อย่างไร อิเล็กตรอนหรือแม่เหล็กมีความหมายว่าอย่างไร นักเรียนนำเสนอในกลุ่มและปรับแก้ไขของตนเองให้สมบูรณ์ ให้ถูกต้อง

1.4) ขั้นขยายความรู้ ครูอธิบายการจัดเรียงอิเล็กตรอน จุดอิเล็กตรอนของลิวิส เพื่ออธิบายการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของสารต่างๆ ให้นักเรียนได้เรียนรู้และเข้าใจการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของสาร

1.5) ขั้นประเมินผล ตรวจสอบการเขียนบันทึกของนักเรียน พฤติกรรมของนักเรียนขณะทำการทดลอง การวางแผนการทดลอง และการปฏิบัติการทดลอง

ตารางที่ 1 กิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละแผนการเรียนรู้ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุล

แผนการจัดการเรียนรู้	กิจกรรมการเรียนรู้หลัก	กิจกรรมขั้นขยายความรู้
1. การจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์ (3 ชั่วโมง)	แบบจำลองเชิงกายภาพแสดงการเกิดพันธะโคเวเลนต์ (ภาพ 1ก)	การจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์ของสารโคเวเลนต์ในชีวิตประจำวัน
2. การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์ (3 ชั่วโมง)	แบบจำลองเชิงกายภาพแสดงการเขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์	การเขียนสูตรโมเลกุลและการเรียกชื่อสารโคเวเลนต์ในชีวิตประจำวัน
3. ความยาวพันธะ พลังงานพันธะ และสภาพขั้วพันธะโคเวเลนต์ (3 ชั่วโมง)	แบบจำลองเชิงกายภาพแสดงการหาความยาวพันธะ พลังงานพันธะและสภาพขั้วพันธะโคเวเลนต์ (ภาพ 1ข)	ตัวอย่างความยาวพันธะ พลังงานพันธะของสารโคเวเลนต์ต่างๆ ในชีวิตประจำวัน
4. รูปร่างและสภาพขั้วโมเลกุล-โคเวเลนต์ (3 ชั่วโมง)	แบบจำลองเชิงกายภาพแสดงรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ (ภาพ 1ค)	รูปร่างแบบจำลองเชิงกายภาพของสารโคเวเลนต์ในชีวิตประจำวัน

สำหรับภาพตัวอย่างแบบจำลองทางกายภาพที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยนี้ แสดงในภาพที่ 1 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ครูเป็นผู้พัฒนาต้นแบบและมอบหมายให้นักเรียนสร้างสรรค์เป็นชิ้นงานกลุ่มต่อไป

2) แบบทดสอบวัดความเข้าใจโน้มน้าบบัณฑิต 2 ลำดับชั้น เรื่อง พันธะโคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ จำนวน 20 ข้อ โดยชั้นที่ 1 เป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก มีตัวเลือกเดียวที่ถูกต้อง และชั้นที่ 2 เป็นการเขียนตอบแสดงเหตุผลเพื่อแสดงความเข้าใจโน้มน้าบบัณฑิตในเรื่องนั้น หรืออาจจะเป็นการเขียนอธิบายหรือวาดภาพแสดงความเข้าใจเกี่ยวกับพันธะโคเวเลนต์ ดังตัวอย่างแบบทดสอบและเกณฑ์การให้คะแนนในภาพที่ 2

3. แบบบันทึกกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแบบจำลองเชิงกายภาพในขั้นสำรวจและค้นหา เป็นใบกิจกรรมคู่มือการใช้งานและแบบทดสอบจากการแบบจำลองเชิงกายภาพ



ก) การเกิดพันธะโคเวเลนต์



ข) ความยาวพันธะและสภาพขั้วของพันธะโคเวเลนต์



ค) ตัวอย่างรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์แบบต่างๆ

ภาพที่ 1 แบบจำลองเชิงกายภาพ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์

Q1. สารประกอบในข้อใดมีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยมแบนราบ		เกณฑ์การให้คะแนน	
รหัสนักเรียน	คะแนน	มโนคติ	
ก. BCl_3	1	ตัวเลือกถูกต้อง	
ข. NH_3		วาดรูปร่างสามเหลี่ยมแบนราบได้ถูกต้อง	
ค. PCl_3		แสดงอิเล็กตรอนวงนอกของแต่ละอะตอมได้ถูกต้อง	
ง. PH_3		วาดรูปร่างแสดงมุมได้ถูกต้อง	

ภาพที่ 2 ตัวอย่างแบบทดสอบวัดมโนคติแบบวินิจฉัย 2 ลำดับชั้น

การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยให้นักเรียนทำแบบวัดความเข้าใจมโนคติ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ จำนวน 20 ข้อ ใช้เวลาในการทำข้อสอบ 60 นาที
- 2) ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการเรียนรู้จำนวน 4 แผน รวม 12 ชั่วโมง
- 3) ทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยให้นักเรียนทำแบบวัดความเข้าใจมโนคติ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ ซึ่งเป็นแบบวัดชุดเดิมแต่มีการสลับข้อคำถามและสลับตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ

การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

- 1) ตั้งเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับแบบวัดความเข้าใจมโนคติแต่ละข้อตามเกณฑ์ของ ศักดิ์ศรี สุภาพร และคณะ (2559) โดยขั้นที่ 1 เป็นแบบปรนัย นักเรียนที่ตอบตัวเลือกถูกต้อง 1 และนักเรียนที่ตอบตัวเลือกผิดได้ 0 และขั้นที่ 2 เป็นการเขียนหรือวาดภาพแสดงเหตุผลสำหรับคำตอบขั้นที่ 1 โดยผู้ตรวจจะพิจารณาการให้คะแนนตามประเด็นที่ตั้งไว้ในแต่ละข้อ ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้ง 0.00 0.25 0.50 หรือ 0.75 คะแนน เมื่อรวมทุกประเด็นคำตอบที่ครอบคลุมแล้วจะได้คะแนนเต็มในขั้นนี้ 1 คะแนน จากนั้นนำคะแนนทั้ง 2 ขั้น มารวมกันและจำแนกกลุ่มความเข้าใจมโนคติของนักเรียนตามเกณฑ์ที่ปรับปรุงจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ (เสนอ ชัยรัมย์ ปุริมา จารุจรัส และมะลิวรรณ อมตธงไชย,

2561; กฤษฎา พันธ์ชัย และคณะ, 2561; สุภาพ ตาเมือง กานต์ตระกูล วุฒิสเลา และศักดิ์ศรี สุภาพร, 2560) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวทางการจัดกลุ่มความเข้าใจโนมิตีของนักเรียนจากแบบวัดมโนมิติวิทยาศาสตร์

กลุ่มความเข้าใจโนมิตี	การพิจารณาคำตอบในแต่ละส่วน	
	ตัวเลือก	เหตุผล*
ถูกต้องสมบูรณ์ (SU)	ถูกต้อง	ถูกต้องสมบูรณ์ (มี S ครบ)
ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU)	ถูกต้อง	ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์และไม่มีส่วนผิด (มี S ไม่ครบ แต่ไม่มี M)
ถูกต้องบางส่วน และผิดบางส่วน (PMU)	ถูกต้อง	ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (มีทั้ง S และ M)
	ผิด	ถูกต้องอย่างสมบูรณ์ (มี S ครบ)
	ผิด	ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (มี S ไม่ครบ แต่ไม่มี M)
ผิด (MU)	ผิด	ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (มีทั้ง S และ M)
	ผิด	ไม่ถูกต้อง แต่ยังเกี่ยวข้องกับโจทย์ (มี M ไม่มี S)
ไม่มีความเข้าใจ (NU)	ผิด	ไม่เกี่ยวกับโจทย์/ไม่แสดงเหตุผล (ไม่มีทั้ง S และ M)
ไม่มีคำตอบ (NR)	ถูกต้องหรือผิด	ไม่แสดงเหตุผล

* S และ M แทนรหัสของมโนมิติที่ถูกต้องและผิด

(2) เปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจโนมิตีของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (dependent samples t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นอกจากนี้ยังมีการคำนวณความก้าวหน้าทางการเรียนทั้งในกรณีที่เป็นร้อยละความก้าวหน้าทางการเรียนจริง (% actual learning gain) ซึ่งคำนวณจากร้อยละของคะแนนหลังเรียนลบด้วยร้อยละของคะแนนก่อนเรียน และในกรณีที่เป็นความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ (normalized learning gain: <g>) ซึ่งคำนวณตามสูตรของ Hake (1998) ได้แก่ $<g> = (\%post-test - \%pre-test) / (100\% - \%pre-test)$ โดยที่ค่า <g> น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30 จัดเป็นความก้าวหน้าระดับต่ำ ค่า <g> มากกว่า 0.30 แต่น้อยกว่า 0.70 จัดเป็นความก้าวหน้าระดับปานกลาง และค่า <g> มากกว่าหรือเท่ากับ 0.70 จัดเป็นความก้าวหน้าระดับสูง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยในครั้งนี้จำแนกเป็นประเด็นได้ดังนี้

คะแนนความเข้าใจโนมิตีของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน

จากการวิเคราะห์คะแนนจากแบบวัดความเข้าใจโนมิตี เรื่อง พันธะโคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์ ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพ ทั้ง 4 เรื่อง (1) การจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์ (2) การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์ (3) ความยาวพันธะ พลังงานพันธะ และสภาพขั้วพันธะโคเวเลนต์ และ (4) รูปร่างและสภาพขั้วโมเลกุลโคเวเลนต์ พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนมีคะแนนความเข้าใจโนมิตีเป็น 11.11 (S.D. 3.08) และหลังเรียนมีคะแนนความเข้าใจโนมิตีเป็น 23.64 (S.D. 4.96) คิดเป็นความก้าวหน้าทางการเรียนจริงร้อยละ 31.33 หรือมีความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ <g> เป็น 0.43 ซึ่งจัดอยู่ในระดับ “ความก้าวหน้าปานกลาง” จากการวิเคราะห์คะแนนความเข้าใจโนมิตีของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มที่ศึกษาไม่อิสระต่อกัน (dependent samples t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจโนมิตีเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3 และภาพที่ 1) อย่างไรก็ตาม คะแนนหลังเรียนของนักเรียนอยู่ที่ร้อยละ 59.11 ซึ่งถือว่าค่อนข้างจะต่ำเมื่อเทียบกับงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับพันธะโคเวเลนต์ก่อนหน้านี้ (เปรมศักดิ์ ลิ้มมาเคน และศักดิ์ศรี สุภาพร, 2557; กานต์ตระกูล วุฒิสเลา, 2557) ทั้งนี้เนื่องจากนักเรียนกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

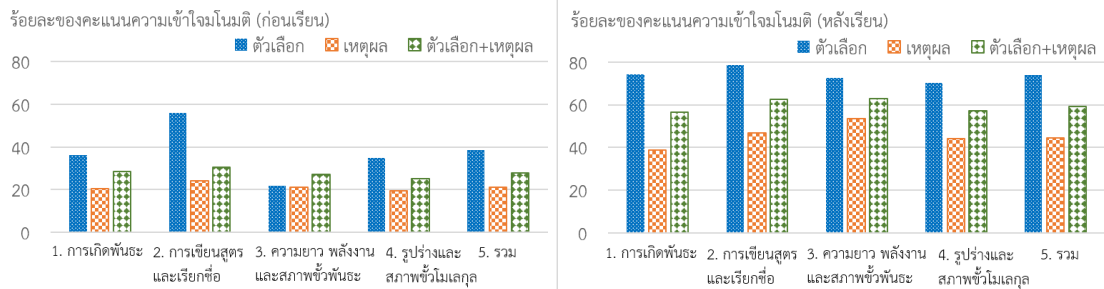
ครั้งนี้พื้นฐานที่ค่อนข้างต่ำ และเป็นนักเรียนที่อยู่ในโรงเรียนระดับตำบลที่เป็นตัวเล็กลำดับท้ายๆ ของนักเรียนเก่งที่มักจะเข้าไปเรียนในโรงเรียนประจำอำเภอ ดังนั้น คะแนนหลังเรียนในครั้งนี้จึงถือว่าอยู่ในระดับที่น่าพอใจสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักเรียนที่มีพื้นฐานทางการเรียนที่ค่อนข้างต่ำนั่นเอง

เมื่อวิเคราะห์จากคะแนนเฉลี่ยตัวเลือกและคะแนนเหตุผล พบว่า คะแนนตัวเลือกสูงกว่าเหตุผลในทุกหัวข้อ เนื่องจากการเลือกนั้นนักเรียนมีโอกาสที่จะได้คะแนนหรือไม่ก็ได้ แต่การเขียนเหตุผลในข้อสอบนั้นหากนักเรียนไม่เขียนหรือเขียนข้อความไม่ถูกต้อง ก็จะทำให้นักเรียนจะไม่ได้คะแนนหรือได้คะแนนแค่บางส่วน โดยคะแนนตัวเลือกก่อนเรียน เท่ากับ 7.72 (S.D. 2.34) และคะแนนตัวเลือกหลังเรียน เท่ากับ 14.76 (S.D. 2.68) คิดเป็นความก้าวหน้าทางการเรียนจริงร้อยละ 35.17 หรือมีความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ <g> เป็น 0.57 ซึ่งจัดอยู่ในระดับ “ความก้าวหน้าปานกลาง” และคะแนนเหตุผลก่อนเรียน เท่ากับ 4.25 (S.D. 1.77) และคะแนนเหตุผลหลังเรียน เท่ากับ 8.88 (S.D. 2.17) คิดเป็นความก้าวหน้าทางการเรียนจริงร้อยละ 23.19 หรือมีความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ <g> เป็น 0.29 ซึ่งจัดอยู่ในระดับ “ความก้าวหน้าต่ำ” ซึ่งสอดคล้องกับกับผลการวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้รายงานเอาไว้ว่าความสามารถในการเขียนเหตุผลนักเรียนยังไม่ค่อยดี การที่นักเรียนจะเขียนเหตุผลได้นั้นต้องมาจากการเข้าใจในเรื่องนั้นในระดับหนึ่ง ไม่เช่นนั้นนักเรียนจะไม่เขียนข้อมูลในส่วนของการให้เหตุผล (กฤษฎา พันธ์ชัย และคณะ, 2561; ศักดิ์ศรี สุภาพร และคณะ, 2559)

ตารางที่ 3 คะแนนความเข้าใจโน้มน้าวนักเรียน เรื่อง พันธะโคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุลของสารโคเวเลนต์

เรื่อง (คะแนนเต็ม)	ก่อนเรียน			หลังเรียน			ความก้าวหน้า		T*
	mean	S.D.	%	mean	S.D.	%	%	<g>	
1. การจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์									
ตัวเลือก (6)	2.17	1.49	36.20	4.45	1.18	74.14	37.94	0.59	6.84*
เหตุผล (6)	1.24	0.74	20.60	2.31	0.80	38.62	18.02	0.23	4.96*
รวม (12)	3.40	1.49	28.40	6.77	1.70	56.38	27.98	0.39	7.42*
2. การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์									
ตัวเลือก (5)	2.79	1.18	55.86	3.39	1.03	78.62	22.76	0.52	6.16*
เหตุผล (5)	1.21	0.70	24.28	2.33	1.44	46.62	22.34	0.30	5.96*
รวม (10)	3.04	1.05	30.40	6.26	2.30	62.62	32.22	0.46	8.81*
3. ความยาวพันธะ พลังงานพันธะ และสภาพขั้วพันธะโคเวเลนต์									
ตัวเลือก (3)	0.65	0.48	21.83	2.17	0.80	72.41	50.58	0.65	8.60*
เหตุผล (3)	0.63	0.37	21.09	1.60	0.67	53.39	32.30	0.41	7.10*
รวม (6)	1.63	0.90	27.21	3.71	1.28	62.84	35.63	0.49	7.54*
4. รูปร่างและสภาพขั้วโมเลกุลโคเวเลนต์									
ตัวเลือก (6)	2.10	1.11	35.05	4.20	1.26	70.11	35.06	0.54	7.03*
เหตุผล (6)	1.16	0.53	19.45	2.64	1.94	43.97	24.52	0.30	7.28*
รวม (12)	3.03	1.21	25.24	6.84	2.19	57.04	31.80	0.43	8.38*
รวมทั้ง 4 เนื้อหาย่อย									
ตัวเลือก (20)	7.72	2.34	38.62	14.76	2.68	73.79	35.17	0.57	12.45*
เหตุผล (20)	4.25	1.77	21.25	8.88	2.17	44.44	23.19	0.29	11.45*
รวม (40)	11.11	3.08	27.78	23.64	4.96	59.11	31.33	0.43	12.83*

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)



ภาพที่ 1 ร้อยละของคะแนนความเข้าใจโมติของนักเรียนก่อนเรียน (ซ้าย) และหลังเรียน (ขวา)

เมื่อพิจารณาคะแนนความเข้าใจโมติ จำแนกตามเนื้อหาย่อย ได้แก่ เรื่อง (1) การจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์ (2) การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์ (3) ความยาวพันธะ พลังงานพันธะ และสภาพขั้วพันธะโคเวเลนต์ และ (4) รูปร่างโมเลกุลและสภาพขั้วโมเลกุลโคเวเลนต์ พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนมีคะแนนความเข้าใจโมติเป็น 3.40 3.04 1.63 และ 3.03 หลังเรียนเป็น 6.77 6.26 3.71 และ 6.84 ตามลำดับ และมีความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติ หรือ $<g>$ เป็น 0.39 0.46 0.49 และ 0.43 ซึ่งจัดอยู่ในระดับ “ความก้าวหน้าปานกลาง” ทุกหัวข้อ จากการวิเคราะห์คะแนนความเข้าใจโมติของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มที่ศึกษาไม่อิสระต่อกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจโมติเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้ง 4 เนื้อหา ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเนื้อหาที่ไม่ซับซ้อน เมื่อนักเรียนเข้าใจ ก็สามารถเข้าใจโมติเรื่องนั้นได้ดี (พินดา กันยะกาญจน์ และศักดิ์ศรี สุภาพร, 2557) ยังพบอีกว่า นักเรียนมีร้อยละของคะแนนหลังเรียนและร้อยละความก้าวหน้าต่ำสุดในหัวข้อการจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์คือมีคะแนนร้อยละหลังเรียน เนื่องจากเป็นเนื้อหาที่แรกและต้องเข้าใจการจัดเรียงอิเล็กตรอนของธาตุก่อนจึงสามารถที่จะบอกว่าพันธะโคเวเลนต์เกิดขึ้นได้อย่างไร ด้วยธรรมชาติของวิชาเคมี ประกอบด้วยโมติที่เป็นนามธรรม ทำให้ยากต่อการทำความเข้าใจ ซึ่งต้องใช้จินตนาการในการคิดเชื่อมโยงเนื้อหากับประสบการณ์ (อรรรรณ หอมพรมมา, 2553)

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละความก้าวหน้าทางการเรียนจริง (%actual learning gain) และความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติของเนื้อหาย่อยทั้ง 4 เรื่อง โดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย พบว่า เรื่องที่ 3 ซึ่งเป็นเรื่องที่นักเรียนมีร้อยละความก้าวหน้าทางการเรียนจริงและความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากก่อนเรียนนักเรียนมีร้อยละคะแนนความเข้าใจโมติในเรื่องนี้น้อยที่สุด แล้วหลังจากที่มีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้การทำซึ่งเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองและเป็นกิจกรรมที่มองเป็นรูปธรรม จึงเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนมีความสนใจเป็นอย่างมากและเกิดการเรียนรู้ได้ดี ส่งผลให้ร้อยละความก้าวหน้าทางการเรียนจริงและความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติสูงที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อนำร้อยละความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติของเนื้อหาย่อยทั้ง 4 เรื่องไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ ก็ถือว่าอยู่ในระดับความก้าวหน้าเดียวกันคือ “ความก้าวหน้าระดับปานกลาง” เมื่อพิจารณาค่าทีแบบกลุ่มที่ศึกษาไม่อิสระต่อกัน (dependent samples t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งเป็นค่าทางสถิติที่ใช้เปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน ของเนื้อหาย่อยทั้ง 4 เรื่อง พบว่าเนื้อหาย่อยทั้ง 4 เรื่องนั้น นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจโมติเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้น การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพในชั้นสำรวจและค้นหา สามารถพัฒนาคะแนนความเข้าใจโมติเรื่องนี้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ให้สูงขึ้นได้

ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจโมติแต่ละระดับก่อนเรียนและหลังเรียน

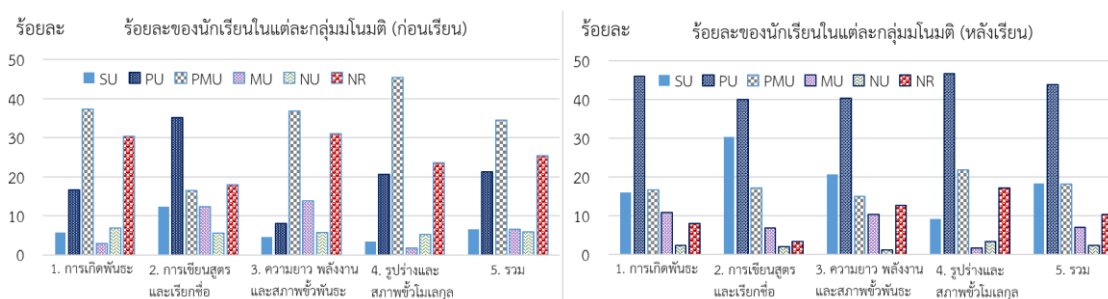
จากการวิเคราะห์ร้อยละความเข้าใจโมติของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน จำแนกตามเนื้อหาย่อย และจำแนกนักเรียนออกเป็นกลุ่มไม่มีคำตอบ (NR) ไม่มีความเข้าใจโมติ (NU) เข้าใจโมติผิด (MU) ความเข้าใจโมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) เข้าใจโมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) และเข้าใจโมติถูกต้องสมบูรณ์ (SU) ก่อนเรียนเป็น 25.34 5.86 6.55 34.48 21.21 และ 6.55 ตามลำดับ และหลังเรียนเป็น 10.34 2.41

7.07 18.10 43.79 และ 18.28 ตามลำดับ (ตารางที่ 4 และภาพที่ 2) ซึ่งจะเห็นว่าก่อนเรียนจะมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มที่ไม่มีคำตอบ (NR = 25.34) ความเข้าใจโน้มนำถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU = 34.48) และถูกบางส่วน (PU = 21.21) เป็นส่วนใหญ่ ภายหลังจากที่ใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ร่วมกับแบบจำลองเชิงกายภาพ พบว่า หลังเรียนจะมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มที่ไม่มีคำตอบ (NR = 10.34) ความเข้าใจโน้มนำถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU = 18.12) และถูกบางส่วน (PU = 43.79) พบว่าหลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนที่ไม่เข้าใจ (NU = 2.41) ซึ่งน้อยที่สุด และมีถูกบางส่วน (PU= 43.79) มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะสามารถพัฒนาโน้มนำที่ถูกต้องและลดมโนคติที่ ผิดนำไปสู่แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้

ตารางที่ 4 ร้อยละความเข้าใจโน้มนำของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจโน้มนำระดับต่างๆ

เรื่อง	ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจโน้มนำ					
	SU	PU	PMU	MU	NU	NR
ก่อนเรียน	6.55	21.21	34.48	6.55	5.86	25.34
1. การจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์	5.75	16.67	37.36	2.87	6.90	30.46
2. การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์	12.41	35.17	16.55	12.41	5.52	17.93
3. ความยาวพันธะ พลังงานพันธะ และสภาพขั้วพันธะ	4.60	8.05	36.78	13.79	5.75	31.03
4. รูปร่างโมเลกุลและสภาพขั้วโมเลกุลโคเวเลนต์	3.45	20.69	45.40	1.72	5.17	23.56
หลังเรียน	18.28	43.79	18.10	7.07	2.41	10.34
1. การจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์	16.09	45.98	16.67	10.92	2.30	8.05
2. การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารโคเวเลนต์	30.34	40.00	17.24	6.90	2.07	3.45
3. ความยาวพันธะ พลังงานพันธะ และสภาพขั้วพันธะ	20.69	40.23	14.94	10.34	1.15	12.64
4. รูปร่างโมเลกุลและสภาพขั้วโมเลกุลโคเวเลนต์	9.20	46.55	21.84	1.72	3.45	17.24
การเปลี่ยนแปลง*	11.73	22.58	-16.38	0.52	-3.45	-15
1. การจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์	10.34	29.31	-20.69	8.05	-4.6	-22.41
2. การเขียนสูตรเรียกชื่อสารโคเวเลนต์	17.93	4.83	0.69	-5.51	-3.45	-14.48
3. ความยาวพันธะ พลังงานพันธะ และสภาพขั้วพันธะ	16.09	32.18	-21.84	-3.45	-4.6	-18.39
4. รูปร่างโมเลกุลและสภาพขั้วโมเลกุลโคเวเลนต์	5.75	25.86	-23.56	0.00	-1.72	-6.32

* เครื่องหมาย + และ - แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามลำดับ



ภาพที่ 2 ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจโน้มนำระดับต่างๆ ก่อนเรียน (ซ้าย) และหลังเรียน (ขวา)

ตัวอย่างการวิเคราะห์กลุ่มความเข้าใจโนมติกของนักเรียน

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนในแบบทดสอบวัดความเข้าใจโนมติกเป็นรายข้อ โดยในที่นี้จะขอยกตัวอย่างผลการวิเคราะห์แบบทดสอบในเรื่อง การจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์ ซึ่งแสดงในตารางที่ 5

ตาราง 5 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความเข้าใจโนมติกของนักเรียนจากแบบทดสอบหลังเรียน เรื่องการจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์

คำตอบของนักเรียน	ผลการวิเคราะห์
การจัดเรียงอิเล็กตรอนและการเกิดพันธะโคเวเลนต์ (6 ข้อ) 1. ธาตุ A B 12C และ 17D ธาตุใดไม่สามารถเกิดพันธะโคเวเลนต์ได้ ก. ธาตุ A ข. ธาตุ B ✓ ค. ธาตุ C ง. ธาตุ D ให้นักเรียนจัดเรียงอิเล็กตรอน พร้อมทั้งบอกค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี พลังงานไอออไนเซชัน ว่าสูงหรือต่ำ ธาตุ C จัดเรียง e⁻ ได้ 2, 8, 1 ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี ค่าต่ำ พลังงานไอออไนเซชัน ค่าต่ำ	นักเรียนตอบตัวเลือกถูกต้องและประเด็นของเหตุผลถูกต้องทั้ง 3 ประเด็น คือ (1) การจัดเรียงอิเล็กตรอนถูกต้อง ค่า EN ถูกต้อง (3) ค่า IE ถูกต้อง จึงจัดอยู่ในกลุ่มเข้าใจโนมติกถูกต้องสมบูรณ์ (SU)
3. สารประกอบโคเวเลนต์ต่อไปนี้จะต่อกลางไม่เป็นไปตามกฎออกเตต ก. PCl₃ ข. CO₂ ค. CH₄ ✓ ง. BF₃ จงแสดงโครงสร้างแบบจุดของลิแกนด์ของสารประกอบที่เลือกข้างต้น $\begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \text{B} \cdot \rightarrow \begin{array}{c} \text{F} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \text{B} \cdot \text{F}$	นักเรียนตอบตัวเลือกถูกต้อง และประเด็นของเหตุผลถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ ได้แก่ (1) ก่อนเกิดพันธะสูตรลิแกนด์ของ B และ F ถูกต้อง (2) หลังเกิดพันธะสูตรลิแกนด์ของ B ถูกต้อง และ (3) หลังเกิดพันธะจุดลิแกนด์ของสูตรลิแกนด์ของ F ไม่สมบูรณ์ ไม่แสดงคู่อิเล็กตรอนที่ไม่ร่วมพันธะ) จึงจัดอยู่ในกลุ่มเข้าใจโนมติกถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU)
6. สารในข้อใดไม่เป็นสารประกอบโคเวเลนต์ทุกตัว ก. CO NO SO₂ ข. CO₂ NO₂ SO₂ ✓ ค. NaCl AlCl₃ KCl ง. CCl₄ CH₄ BeCl₂ เหตุผล เพราะเป็นสารไอออนิก	นักเรียนตอบตัวเลือกถูกต้อง และประเด็นของเหตุผลถูกต้อง ได้แก่ (1) ระบุประเภทของสารที่ 1 ได้ถูกต้อง (2) ระบุประเภทของสารที่ 2 ไม่ชัดเจน (ในที่นี้ถือว่าไม่ถูกแต่ก็นับว่ามีผิด เพราะความจริงแล้ว AlCl₃ จัดเป็นสารโคเวเลนต์ซึ่งต้องมีการอธิบายที่ค่อนข้างซับซ้อน) และ (3) ระบุประเภทของสารที่ 3 ได้ถูกต้อง จึงจัดอยู่ในกลุ่มเข้าใจโนมติกถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU)

จากข้อมูลที่ยกมากล่าวข้างต้น จะพบว่า ก่อนเรียนมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มที่มีความเข้าใจโนมติกกลุ่มที่ไม่ได้คำตอบ (NR = 25.34) ความเข้าใจโนมติกถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU = 34.48) และถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU = 21.21) รวมกันสูงมากและมีความเข้าใจโนมติกที่ถูกต้องต่ำ ภายหลังจากที่มีการใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพเรียบร้อยแล้ว นักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจโนมติกไปในทิศทางดีขึ้น นักเรียนที่มีความเข้าใจโนมติกที่ไม่ได้คำตอบสามารถพัฒนาไปอยู่ในกลุ่มที่มีความเข้าใจโนมติกที่ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน ส่วนนักเรียนที่ความเข้าใจโนมติกถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ ก็พัฒนาไปอยู่ในกลุ่มที่เข้าใจโนมติกที่ถูกต้องสมบูรณ์

ได้ และไม่พบนักเรียนในกลุ่มที่มีความเข้าใจโมเดลที่ถูกต้องสมบูรณ์มีการพัฒนาลดลงเลย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเกี่ยวกับความเข้าใจโมเดลเกี่ยวกับพันธะโคเวเลนต์ที่รายงานเอาไว้ (เปรมศักดิ์ สิมมาเคน และศักดิ์ศรี สุภาพร, 2557; พศยา สันสน และกานต์ตระกูล วุฒิสเลา, 2558)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการจัดการเรียนรู้ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพในชั้นสำรวจและค้นหา พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจโมเดลหลังเรียน (mean 23.64, S.D. 4.96) สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจโมเดลก่อนเรียน (mean 11.11, S.D. 3.08) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และมีความก้าวหน้าทางการเรียนแบบปกติเป็น 0.43 ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง นอกจากนี้ ยังพบว่า สัดส่วนของนักเรียนที่มีความเข้าใจโมเดลที่ถูกต้องในกลุ่มความเข้าใจโมเดลสมบูรณ์และถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (SU+PU) เพิ่มขึ้น ในขณะที่สัดส่วนของนักเรียนที่มีความเข้าใจโมเดลที่ผิดหรือไม่ถูกต้องในกลุ่มความเข้าใจโมเดลถูกบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) ความเข้าใจโมเดลผิดและไม่มีความเข้าใจโมเดล (MU+NU) และไม่มีคำตอบ (NR) ลดลง แสดงให้เห็นว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพในชั้นสำรวจและค้นหาเป็นเครื่องมือในการพัฒนาความเข้าใจโมเดล เรื่อง พันธะโคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเองโดยลงมือปฏิบัติ ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจโมเดลอย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น และส่งผลให้นักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงจากโมเดลที่ถูกต้องน้อยหรือผิดไปเป็นความเข้าใจโมเดลที่ถูกต้องมากขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ อาจจะมีสาเหตุมาจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพซึ่งเป็นสื่อการสอนที่จับต้องได้และเป็นภาพสามมิติและแสดงรูปร่างโมเลกุลได้คล้ายแบบจำลองที่มีจำหน่ายในตลาด ในการจัดการเรียนรู้ด้วยแบบจำลองนั้น ครูผู้สอนจะต้องกระตุ้นให้นักเรียนเกิดคำถามหรือเกิดข้อสงสัย เกิดความคิด และแสวงหาความรู้ เพื่อนำมาประมวลหาคำตอบหรือข้อสรุปด้วยตนเอง (ทิตินา แคมมณี, 2560) ทำให้ผู้เรียนได้คิดค้นคว้า ปฏิบัติและมีปฏิสัมพันธ์กับกลุ่ม เพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริง และสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้ในชีวิตจริง (อาภรณ์ ใจเที่ยง, 2553) อีกทั้งการใช้แบบจำลองเชิงกายภาพ เป็นการศึกษาที่เป็นรูปธรรม ในชั้นสำรวจและค้นหา ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดความรู้สึกรู้สึกหรือความต้องการที่จะสืบค้นหรือแสวงหาความรู้ ทำให้งิจกรรมมีความหมายต่อผู้เรียนและมีความท้าทายเพียงพอที่จะทำให้นักเรียนเกิดความต้องการที่จะแสวงหาคำตอบ (ทิตินา แคมมณี, 2560) พัฒนาแบบจำลองเชิงกายภาพให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้เป็นสื่อการสอนที่หลากหลายมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

- 1) ควรมีการเก็บข้อมูลหลายๆ รูปแบบเพื่อใช้ในการวัดประเมินผล ตรวจสอบ และสรุปผลโมเดลของนักเรียน เช่น เก็บข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์ และแบบสอบถาม เป็นต้น
- 2) ควรมีการศึกษาดูผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะด้วยแบบจำลองเชิงกายภาพไปใช้ในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและปรับแก้โมเดลของนักเรียนในเนื้อหาอื่นๆ
- 3) การสร้างแบบวัดความเข้าใจโมเดลควรจะเหมาะสมกับทั้งเนื้อหาและกลุ่มตัวอย่าง ถ้าแบบวัดยากเกินไปจะส่งผลให้นักเรียนมีคะแนนหลังเรียนต่ำกว่าที่ควรจะเป็น
- 4) ควรมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงกายภาพกับการเรียนรู้รูปแบบอื่นที่เหมาะสมมากขึ้น เช่น การเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (MBL) และการเรียนรู้แบบสืบเสาะโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (MBI) เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) จากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรณีการ กวางศิรี. (2555). การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และความเข้าใจที่คงทนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่จัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้. *Veridian E-Journal*, 5(1), 255-270.
- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). **ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551**. กรุงเทพมหานคร: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กฤษฎา พันธ์ชัย พันธ์ดา มาตรา สุขภาพ ตาเมือง และศักดิ์ศรี สุภาสร. (2561). ความเข้าใจโน้มนำและแบบจำลองทางความคิด เรื่อง สมดุลเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากการเรียนด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับเทคนิคการทำนาย-สังเกต-อธิบาย. *วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา*, 1(1), 49-60.
- กลุ่มงานวิชาการ โรงเรียนตูมพิทยานุสรณ์. (2558). **รายงานผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ปีการศึกษา 2558**. ศรีสะเกษ: โรงเรียนตูมพิทยานุสรณ์.
- กานต์ตะวัน วุฒิสเลา. (2557). แบบจำลองอะตอมโมเลกุลทางเลือกสำหรับการสอนเรื่องทฤษฎีแรงผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*. 5(2): 209-213.
- กุลธิดา เทียมทิพร. (2559). การยอมรับการใช้สื่อเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการเรียนรู้ของนักศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรบัณฑิตสาขาวิชาชีพครู. *วารสารศาสตร์การศึกษาและการพัฒนามนุษย์*, 1(2): 14-23.
- ทิตินา แหมมณี. (2560). **รวมบทความทางวิชาการ กลยุทธ์การยกระดับคุณภาพ โรงเรียน ครู หลักสูตร และการจัดการเรียนรู้**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เปรมศักดิ์ สิมมาเคน และศักดิ์ศรี สุภาสร. (2557). การพัฒนาความเข้าใจโน้มนำวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแบบจำลองเชิงกายภาพ. ในรายงานสืบเนื่องจากการประชุมนำเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติครั้งที่ 8. อุดรธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.
- พินดา กันยะกาญจน์ และศักดิ์ศรี สุภาสร. (2557). การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับแบบเปรียบเทียบเพื่อพัฒนานโนมิติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. ในรายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6 (น. 26-31). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.
- พัศยา สันสน และกานต์ตะวัน วุฒิสเลา. (2558). การพัฒนานโนมิติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง รูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์โดยกลวิธีจำลอง-สังเกต-สะท้อนกลับ-อธิบาย สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, 6(2), 83-97.
- ศักดิ์ศรี สุภาสร นุจรี สุภาสร วรรณวไล อธิวาสนพงศ์ และสนธิพล ชัยยา. (2559). การพัฒนาความเข้าใจโน้มนำเรื่อง สารละลาย ด้วยการทดลองแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับอนุภาค สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 2. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 7(1), 28-47.
- ศักดิ์ศรี สุภาสร. (2554). กระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในการทดลองเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย: ทบทวนงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาจากมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. *วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี*, 22(3), 331-343.
- สถาพร พฤษพิบูล. (2555). คุณภาพผู้เรียน...เกิดจากกระบวนการเรียนรู้. *วารสารการบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา*, 6(2), 1-13.
- สายรุ้ง ชาวสุภา. (2559). ชุดทดลองอย่างง่ายสำหรับหาความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลด้วยค่าหักเหของแสง. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 7(2), 339-349.

- สุดารัตน์ ดวงเงิน และนิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์. (2553). ผลของปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์สืบเสาะแบบเปิดที่มีต่อความสามารถ ในการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง สมบัติ และปฏิกิริยาของสารละลายกรดเบส สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นปีที่ 1. **วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต**: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เสนอ ชัยรัมย์ ปุริม จารุจรัส และมะลิวรรณ อมตงไชย. (2561). การสำรวจความเข้าใจของนักเรียน เรื่อง สารละลาย. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 1(2), 152-161.
- อรรวรรณ หอมพรมมา. (2553). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาเคมีของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใช้การสอนแบบเปรียบเทียบ. **วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต**.ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อาภรณ์ ใจเที่ยง. (2553). **หลักการสอน** (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.
- Dean, N. L., Ewan, C., & McIndoe, J. S. (2016). Applying hand-held 3D printing technology to the teaching of VSEPR theory. **Journal of Chemical Education**, 93(9), 1660-1662.
- Dragojlovic, V. (2015). Improving a lecture-size molecular model set by repurposing used whiteboard markers. **Journal of Chemical Education**, 92(8), 1412-1414.
- Gobert, J.D. and Buckley, B.C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. **International Journal of Science Education**, 22(9), 891-894.
- Hake, R. R. (1998). Interactive engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**, 61(1), 64-74.
- Louca, L. T. and Zacharia, Z. C. (2012). Modeling-based learning in science education: Cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. **Educational Review**, 64(4), 471-492.
- Mulford, D. R. & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. **Journal of Chemical Education**, 79(6), 739-744.
- Moreno, L. F., Alzate, M. V., Meneses, J. A., & Marin, M. L. (2018). Build Your Model! Chemical Language and Building Molecular Models Using Plastic Drinking Straws. **Journal of Chemical Education**, 95(5), 823-827.
- Windschitl, M., Thompson, J. and Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. **Science Education**, 92, 941-967.