ชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำเพื่อสนับสนุนความเข้าใจมโนมติ เรื่อง สมดุลเคมี สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

สุภาพ ตาเมือง กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา และศักดิ์ศรี สุภาษร*

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี วารินชำราบ อุบลราชธานี 34190

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

รับบทความ: 14 มิถุนายน 2560 ยอมรับตีพิมพ์: 8 ตุลาคม 2560

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เรื่อง สมดุลเคมี และศึกษาความเข้าใจมโนมติจากการเรียนด้วยชุดการทดลองที่พัฒนาขึ้น กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากโรงเรียนขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 37 คน เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบด้วยแบบวัดความเข้าใจมโนมติแบบวินิจฉัยสองลำดับขั้น และแบบสอบถามเจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมี จากการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองย่อส่วนต้นทุนต่ำผ่านวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น พบว่า (1) นักเรียนมีร้อยละของคะแนนก่อนเรียน หลังเรียน และความคงทนเป็น 20.48, 60.64 และ 59.60 ตามลำดับ และมีความก้าวหน้าปกติอยู่ในระดับปานกลาง ทั้งนี้ จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบค่าทีแบบตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนมติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนแต่ไม่แตกต่างจากคะแนนความคงทนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (2) ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU ร้อยละ 50.81) และกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU ร้อยละ 29.05) ซึ่งเป็นกลุ่มมโนมติที่มีความถูกต้องน้อยมาก อย่างไรก็ตาม หลังการเรียนด้วยชุดการทดลองย่อส่วน นักเรียนส่วนใหญ่สามารถพัฒนามาอยู่ในกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU ร้อยละ 33.78) และกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU ร้อยละ 29.46) ทั้งนี้ หลังเรียนผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติถูกต้องสมบูรณ์และถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (SU+PU) เพิ่มขึ้นมา 51.48 ส่วนผลรวมร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติผิดและไม่มีความเข้าใจมโนมติ (MU+NU) ลดลงไป 51.89 และ (3) นักเรียนมีเจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมีหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนด้วยชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ก็ยังอยู่ในระดับมากทั้งสองกรณี จึงสามารถกล่าวได้ว่า การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองย่อส่วนนี้สามารถทำให้นักเรียนเปลี่ยนแปลงจากความเข้าใจมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติวิทยาศาสตร์น้อยไปสู่ความเข้าใจมโนมติที่สอดคล้องกับมโนมติวิทยาศาสตร์มากขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้นักเรียนมีเจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมีไปในทางบวกมากขึ้น

คำสำคัญ: สมดุลเคมี การทดลองแบบย่อส่วน ความเข้าใจมโนมติ การเปลี่ยนแปลงมโนมติ

Low-Cost Small-Scale Chemistry Experiment to Enhance 11-Grade Students' Conceptual Understanding on Chemical Equilibrium

Suparb Tamuang, Karntarat Wuttisela and Saksri Supasorn*

Master of Science Program in Science Education, and Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

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

Received: 14 June 2017 Accepted: 8 October 2017

Abstract

The main purpose of this research was to develop low-cost small-scale chemistry experimental kit on chemical equilibrium, and then investigate students' conceptual understanding from learning with the developed kit. The samples were 37 of 11-grade students studying in a large-size high school in Ubon Ratchathani. The data collecting tools included a two-tier diagnostic test and a survey of students' attitudes and experiences towards chemistry subject. The implementation of the small-scale experimental kit through 5E-inquiry cycle resulted that students' averaged percentages for each of the pretest, posttest and retention-test were 20.48, 60.64 and 59.60, respectively, in which the normalized gain was in the medium level. The dependent samples *t*-test analysis indicated that their posttest scores were statistically higher than those of pretest scores, but not statistically different from the retention-test scores at the 95% significance level. After the intervention, the total percentage of students in the partial and sound conceptual understanding (PU+SU) categories was increased by 51.48, while the total percentage of students in the mis- and no-conceptual understanding (MU+NU) decreased by 51.89. In addition, their post-attitudes and experiences towards chemistry subject were statistically higher than those before learning using the kit. This verified that the intervention of low-cost small-scale chemistry experimental kit was the effective tool for promoting students to change to the more correct conceptual understanding and to the more positive attitudes and experiences towards chemistry.

Keywords: Chemical equilibrium, Small-scale experiment, Conceptual understanding, Conceptual change

บทนำ

สมดุลเคมีเป็นหัวข้อหนึ่งที่ยากสำหรับการเรียนรู้เคมีของนักเรียนทั้งในระดับมัธยมศึกษาและอุดมศึกษา แต่สมดุลเคมีก็มีความสำคัญในการเรียนวิชาเคมี เนื่องจากเป็นหัวข้อที่เกี่ยวเนื่องในการเรียนวิชาเคมีในหัวข้ออื่นถัด ไป เช่น กรด-เบส ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ไฟฟ้าเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี การละลาย (Aydeniz and Dogan, 2016; Vandriel and Grabber, 2002) การที่นักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในเรื่องสมดุลเคมีอาจส่งผลให้นักเรียนประสบปัญหาการเรียนวิชาเคมีขั้นสูงต่อไป (Chaiyen et al., 2007) จากงานวิจัยเรียนรู้สมดุลเคมีของนักเรียนไทย (Chaiyen et al., 2007; Pachuen and Suwannoi, 2010) มีข้อค้นพบว่า นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายประสบปัญหาด้านการเรียนเรื่องสมดุลเคมีอยู่มาก มีมโนมติเรื่องสมดุลเคมีที่หลากหลาย และมีมโนมติที่คลาดเคลื่อนในทุกมโนมติย่อย ได้แก่ การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล ภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี ค่าคงที่สมดุล ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุล หลักของเลอชาเตอลิเอ และสมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิตและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะเรื่องการดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุล นักเรียนเข้าใจว่า การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเคมีสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟของความเข้มข้นของสารต่าง ๆ จะคงที่และเป็นเส้นตรง แสดงว่า ณ ภาวะสมดุลไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้น มโนมติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่านักเรียนไม่เข้าใจการเปลี่ยนแปลงที่เข้าสู่ภาวะสมดุลของปฏิกิริยาเคมีซึ่งเป็นสมดุลไดนามิก และเรื่องภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี นักเรียนเข้าใจว่า ณ ภาวะสมดุลจะพบสารทุกชนิดในระบบและสารต่าง ๆ จะมีปริมาณเท่ากัน หรือ ณ ภาวะสมดุลจะพบเพียงผลิตภัณฑ์เท่านั้น หรือพบเพียงผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้นที่เหลือบางตัวเท่านั้น

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้สมดุลเคมีจากต่างประเทศซึ่งมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศไทย โดยพบว่า สมดุลเคมีจัดเป็นหัวข้อที่ยากต่อการทำความเข้าใจสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย และก่อให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนในหลายรูปแบบเช่นกัน (Aydeniz and Dogan, 2016; Cheung, 2009) โดยความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่พบบ่อย (Aydeniz and Dogan, 2016; Özmen, 2008) ได้แก่ (1) เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปแล้ว ทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น (2) ณ สมดุล อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและย้อนกลับไม่เท่ากัน (3) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาทั้งแบบคายและดูดความร้อน (4) หลักของเลอชาเตอลิเอ สามารถใช้ได้ทุกระบบรวมทั้งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และ (5) ณ สมดุล ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากัน นอกจากนี้ Cheung (2009) ยังให้ข้อเสนอแนะในการจัดการเรียนรู้เพื่อลดความเข้าใจคลาดเคลื่อนในหัวข้อสมดุลเคมีว่า การที่ผู้สอนเข้ารับการอบรมการสอนหรือการทดลองต่าง ๆ อาจไม่ได้หมายความว่าครูเหล่านั้นสามารถสอนให้นักเรียนเข้าใจเรื่องสมดุลเคมีได้อย่างลึกซึ้ง และถ้าจะสอนเรื่องสมดุลเคมีโดยยึดหลักของเลอชาเตอลิเออาจทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติของค่าคงที่สมดุล (K) ได้ ถ้าตัดสินใจสอนเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อสมดุลเคมีโดยยึดหลักของเลอชาเตอลิเอเพียงอย่างเดียว ครูต้องอธิบายเพิ่มในส่วนข้อยกเว้นของหลักของเลอ-

ชาเตอลิเอด้วย เพราะบางครั้งผลการทดลองที่ได้อาจไม่เป็นไปตามหลักเลอชาเตอลิเอ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เรียนอภิปรายและเกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งมากขึ้นนั่นเอง

การทดลองเคมีแบบย่อส่วน (small-scale chemistry experiment) เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยสูง ช่วยให้การทดลองทางเคมีเป็นเรื่องที่เข้าถึงได้ง่าย โดยอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์พลาสติกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและมีราคาถูกเมื่อเทียบกับอุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลองเคมีทั่วไป อีกทั้งยังสามารถนำวัสดุขนาดเล็กอื่น ๆ ที่เป็นของใช้ในชีวิตประจำวันมาดัดแปลงใช้ได้ด้วย การทดลองแบบนี้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในระดับนานาชาติ และนำไปใช้กับโรงเรียนในหลายประเทศ ซึ่งเป็นความมุ่งมั่นที่ต้องการผลักดันให้เกิดนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์ โดยลดข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์ราคาแพงและสารเคมีในปริมาณมาก ค่าใช้จ่ายในการจัดการกับของเสียที่เกิดจากการทดลอง และลดเวลาในการทำปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังเป็นการทดลองเคมีอย่างปลอดภัยมากขึ้น และยังช่วยลดภาระให้ครูในการเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีด้วย (Chemical Society of Thailand, 2015)

ผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนเพื่อเสริมความเข้าใจมโนมติวิทยาศาสตร์และปรับแก้มโนมติของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายให้ถูกต้อง โดยใช้ชื่อว่า “ชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ” (Small-Scale and Low-cost Chemistry Experimental Kit: SLCE) โดยหัวข้อสมดุลเคมีจัดเป็นหัวข้อที่น่าสนใจและมีความสำคัญต่อการเรียนวิชาเคมีในระดับสูงขึ้น เนื่องจากมีการทดลองที่สำคัญและสังเกตเห็นผลการทดลองได้ชัดเจนแม้จะย่อส่วนหรือลดปริมาณของสารที่ใช้ในการทดลอง ทั้งนี้ชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนที่พัฒนาขึ้นต้องมีลักษณะสำคัญ คือ (1) ใช้วิธีการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลายได้ และเหมาะสมกับพัฒนาการของผู้เรียน เพื่อให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการออกแบบวิธีการทดลอง สร้างคำอธิบาย และขยายแนวคิดจากการทดลองได้ด้วยตนเอง ทั้งนี้เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้พัฒนาด้านมโนมติวิทยาศาสตร์ควบคู่ไปกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้นักเรียนสามารถเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ด้วยตนเองต่อไป (Bybee et al., 2006; Supasorn, 2011) (2) เน้นให้เป็นชุดการทดลองแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลอง โดยประยุกต์ใช้สารเคมีที่นักเรียนคุ้นเคยและใช้อุปกรณ์ขนาดย่อส่วนที่หาได้ง่ายและราคาไม่แพง (Khattiyavong et al., 2014) และ (3) เน้นให้เป็นชุดการทดลองที่สอดแทรกความเป็นเคมีรักษ์สิ่งแวดล้อม หรือ green chemistry เพื่อลดปริมาณสารที่ใช้ในการทดลอง ลดปริมาณของเสียจากการทดลอง และประหยัดเวลาในการทดลอง นอกจากนี้ยังปลูกฝังค่านิยมเกี่ยวกับ green chemistry ให้กับนักเรียนด้วย (Poliakoff and Licence, 2007)

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เรื่อง สมดุลเคมี และเปรียบเทียบกับการทดลองเคมีแบบปกติ (2) ศึกษาความเข้าใจมโนมติก่อนเรียน หลังเรียน และความคงทนหลังเรียนด้วยชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำผ่านไปแล้ว 30 วัน (3) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มความ

เข้าใจมโนมติของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ และ (4) ศึกษาเจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมีก่อนและหลังเรียนด้วยชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ

วิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีแบบแผนเป็นแบบกึ่งทดลอง (quasi-experimental design) โดยมีกลุ่มเดียวและทดสอบก่อนเรียนเรียน หลังเรียน และหลังเรียนผ่านไป 30 วัน (one-groups pretest-posttest-delayed posttest design) โดยเลือกกลุ่มศึกษาแบบเจาะจง (purposive selection) รายละเอียดแบบแผนการวิจัยมีดังนี้

กลุ่มเป้าหมาย ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 1 ห้อง รวม 37 คน ได้จากการเลือกแบบเจาะจงจากประชากรนักเรียนระดับชั้นชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์–คณิตศาสตร์ โรงเรียนมัธยม ศึกษาขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี ทั้งหมด 6 ห้อง ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 ซึ่งเป็นห้องเรียนที่ผู้ช่วยวิจัยรับผิดชอบสอน

เครื่องมือที่ใช้ในทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ ซึ่งประกอบด้วย 3 การทดลอง ได้แก่ (1) ค่าคงที่สมดุลและปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีของปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน(III)ไอออนกับไทโอไซยาเนตไอออน (2) ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบเชิงซ้อนของคอปเปอร์(II)ไอออน และ (3) ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีระหว่างแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์กับแก๊สไดไนโตรเจนเตตระออกไซด์ (ภาพที่ 1)

(ก) ชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ

(ข) สมดุลของ $[Fe(SCN)]^{2+}_{(aq)}$

(ค) สมดุลของ $[Cu(NH_3)_4]^{2+}_{(aq)}$

(ง) ความดันกับสมดุลของแก๊ส

(จ) อุณหภูมิกับสมดุลของ NO_2 กับ N_2O_4

ภาพที่ 1 ชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เรื่อง สมดุลเคมี

ต้นทุนของอุปกรณ์และสารเคมีในกล่องชุดทดลองเคมีแบบย่อส่วนนี้ (ตาราง 1) มีราคาต่อชุดประมาณ 315 บาท โดยยังไม่ได้รวมราคาสารเคมี อย่างไรก็ตาม สารเคมีที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นสารเคมีชุดเดียวกับในการทดลองแบบมาตรฐาน แต่ลดปริมาณลงอย่างน้อย 2 – 4 เท่า หรืออาจกล่าวได้ว่า สามารถลดต้นทุนสารเคมีได้อย่างน้อย 2 – 4 เท่า

ตาราง 1 รายละเอียดวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีในกล่องชุดทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เรื่อง สมดุลเคมี

รายการ	จำนวน	ราคา (บาท)	รายการ	จำนวน	ราคา (บาท)
วัสดุและอุปกรณ์					
1. ถาดหลุมแบบ 24 หลุม	2 ถาด	100	5. หลอดฉีดยา 10 มิลลิลิตร	2 หลอด	10
2. ขวดหยดพลาสติก	17 ขวด	51	6. ข้อต่อสามทาง	2 ชิ้น	14
3. ขวดแก้วใสขนาดเล็ก	3 ขวด	66	7. ไม้จิ้มผลไม้แบบพลาสติก	12 ไม้	6
4. หลอดหยดพลาสติก	6 หลอด	18	8. กล่องพลาสติกบรรจุ	1 กล่อง	50
สารละลาย				อย่างละ	
1. เฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) 0.08, 0.032, 0.0128, 0.00512 และ 0.002 โมล/ลิตร				1 ขวด	
2. โพแทสเซียมไทโอไซยาเนต (KSCN) 0.05 และ 0.002 โมล/ลิตร				1 ขวด	
3. โซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4) และซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) 0.05 โมล/ลิตร				1 ขวด	
		รวม			315

นักเรียนกลุ่มที่ศึกษาเรียนด้วยชุดการทดลองเคมีย่อส่วนต้นทุนต่ำแต่ละการทดลองผ่านวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น (5E inquiry learning cycle) ตามที่ Bybee et al., (2006) เสนอไว้โดยเริ่มต้นจากการสร้างความสนใจเข้าสู่คำถามสำคัญของการทดลอง (engagement) แล้วสำรวจโดยทดลองเพื่อหาคำตอบ (exploration) ดังในตัวอย่างแผนผังในการหยดสารสำหรับการทดลองเรื่องสมดุลของสารละลาย $[Fe(SCN)]^{2+}$ ในภาพที่ 2 จากนั้นนักเรียนสร้างคำอธิบายจากผลการทดลอง (explanation) มีการขยายความรู้และเชื่อมโยงความรู้ไปยังหลักการหรือองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์หรือสถานการณ์ใหม่ที่เกี่ยวข้อง (elaboration) และประเมินการเรียนรู้จากทุกขั้นตอนของการทำกิจกรรม (evaluation)

เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1) แบบวัดความเข้าใจมโนมติแบบวินิจฉัยสองลำดับขั้น โดยขั้นแรกเป็นการเลือกคำตอบที่ถูกต้อง (1 คะแนน) และขั้นที่สองเป็นการแสดงเหตุผลประกอบคำตอบ (2 คะแนน) จำนวน 20 ข้อ ประกอบด้วยหัวข้อย่อย (1) นิยามของสมดุลเคมี 4 ข้อ (2) การคำนวณค่าคงที่สมดุล 4 ข้อ และ (3) การรบกวนสมดุลเคมี 12 ข้อ ทั้งนี้ ตัวอย่างของแบบวัดมโนมติและเกณฑ์การให้คะแนนคำอธิบายแสดงในภาพที่ 3

2) แบบสอบถามเจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมีก่อนและหลังเรียนด้วยชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ (แปลและปรับปรุงจาก Coll et al., 2002) ประกอบด้วยรายการคำถาม 18 รายการ จำแนกเป็นด้านกิจกรรม ครูผู้สอน และนักเรียน จำนวน 10 3 และ 5 รายการ

ตามลำดับ

3) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเกี่ยวกับการปรับแก้มโนมติวิทยาศาสตร์ เรื่อง สมดุลเคมี และเปลี่ยนแปลงคำตอบบางข้อในแบบวัดความเข้าใจมโนมติของนักเรียน

	1	2	3	4	5	6
A	○ 0.002 M $FeCl_3$	○ 0.002 M KSCN	○ 0.00512 M $FeCl_3$ + 0.002 M KSCN	○ 0.00128 M $FeCl_3$ + 0.002 M KSCN	○ 0.032 M $FeCl_3$ + 0.002 M KSCN	○ 0.08 M $FeCl_3$ + 0.002 M KSCN
B	○ $FeCl_3$ + KSCN	○ $FeCl_3$ + KSCN ตามด้วย $FeCl_3$	○ $FeCl_3$ + KSCN ตามด้วย KSCN	○ $FeCl_3$ + KSCN ตามด้วย Na_3PO_4	○ $FeCl_3$ + KSCN ตามด้วย $CaCO_3$	
C		○ $FeCl_3$ + KSCN ตามด้วยแช่น้ำแข็ง	○ $FeCl_3$ + KSCN ตามด้วยต้มในน้ำร้อน			

ภาพที่ 2 การหยดสารละลายในการทดลอง เรื่อง สมดุลเคมี

คำถาม: 9) จากสมดุลของปฏิกิริยา $Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) \leftrightarrows [FeSCN]^{2+}(aq)$ + พลังงาน
สีเหลืองอ่อน ไม่มีสี สีแดงเลือดนก

พิจารณาข้อมูลประกอบ $Fe^{3+}(aq) + PO_4^{3-}(aq) \leftrightarrows FePO_4(s)$ และ $SCN^-(aq) + Ag^+(aq) \leftrightarrows Ag(SCN)(s)$

การเปลี่ยนแปลงใดที่จะทำให้สมดุลของปฏิกิริยาระหว่าง $Fe^{3+}(aq)$ กับ $SCN^-(aq)$ มีสีแดงเข้มขึ้น

☐ เพิ่มความเข้มข้นของ $[FeSCN]^{2+}(aq)$ ☑ ลดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ☐ เติม $PO_4^{3-}(aq)$ ลงไป

คำอธิบาย: เพราะ ปฏิกิริยานี้เป็นแบบคายความร้อน การลดอุณหภูมิจะทำให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปข้างหน้าทำให้สารละลายมีสีแดงเข้มขึ้น ส่วนการเพิ่มความเข้มข้นของ $[FeSCN]^{2+}(aq)$ และการเติม $PO_4^{3-}(aq)$ ลงไป จะทำให้สารละลายมีสีจางลง

เกณฑ์การให้คะแนนเหตุผลหรือคำอธิบาย

รหัส	คะแนน	คำอธิบายกลุ่มคำตอบ (มโนมติ)
✓S9A	+0.30	ระบุว่าเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน หรือระบุว่า $PO_4^{3-}(aq)$ เป็นตัวหน่วง
✕M9A	0	ระบุว่าปฏิกิริยาดูดความร้อน / $PO_4^{3-}(aq)$ เป็นตัวเร่ง / ตัวเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น
✓S9B	+0.40	เมื่อลดอุณหภูมิ จะทำให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปข้างหน้า (และการเพิ่ม T เกิดสวนทาง)
✕M9B	0	เมื่อลดอุณหภูมิ จะทำให้สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนย้อนกลับ (และการเพิ่ม T เกิดสวนทาง)
✓S9C	+0.30	สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนไปข้างหน้า สีของสารละลายจะเข้มขึ้น (ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้า)
✕M9C	0	สมดุลของปฏิกิริยาเลื่อนย้อนกลับ สีของสารละลายจะเข้มขึ้น (ปฏิกิริยาเกิดย้อนกลับ)

ภาพที่ 3 ตัวอย่างแบบวัดความเข้าใจมโนมติ เฉลย และเกณฑ์การให้คะแนน โดยรหัส S และ M เป็นรหัสของมโนมติที่ถูกและผิด ตัวเลขแทนลำดับข้อ และ A B และ C แทนลำดับมโมติในข้อนั้น ๆ ในแบบวัด

การเก็บรวบรวมข้อมูล มีขั้นตอนดังนี้

1) นักเรียนกรอกแบบแสดงความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย แล้วทำแบบวัดความเข้าใจมโนมติก่อนเรียน เรื่อง สมดุลเคมี และกรอกแบบสอบถามเจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมีก่อนเรียน

2) นักเรียนทำกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำผ่านวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น รวม 6 ชั่วโมง โดยคณะผู้วิจัยมีการสังเกตบรรยากาศในการจัดการเรียนรู้ขณะทำกิจกรรม (ภาพที่ 4)

3) นักเรียนทำแบบวัดความเข้าใจมโนมติหลังเรียน เรื่อง สมดุลเคมี

4) นักเรียนทำแบบวัดความเข้าใจมโนมติ เรื่อง สมดุลเคมี เพื่อทดสอบความคงทนของมโนมติหลังเรียนผ่านไปแล้ว 30 วัน และกรอกแบบสอบถามเจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมีหลังเรียน

(ก) บันทึกผลการทดลอง

(ข) สมดุลของ $[Fe(SCN)]^{2+}(aq)$

(ค) สมดุลของ NO_2 กับ N_2O_4

ภาพที่ 4 นักเรียนทำการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เรื่อง สมดุลเคมี

5) ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยสุ่มสัมภาษณ์เกี่ยวกับการปรับแก้มโนมติวิทยาศาสตร์ เรื่อง สมดุลเคมี ของนักเรียนหลังเรียนด้วยชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ จำนวน 4 คน (จากกลุ่ม SU PU PMU และ MU โดยไม่สามารถติดต่อนักเรียนในกลุ่ม NU ได้)

การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งด้านคุณภาพและเชิงสถิติ ดังนี้

1) การเปรียบเทียบชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำกับการทดลองเคมีแบบปกติ ด้านของต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดการทดลอง (อุปกรณ์ วัสดุ และสารเคมี) ประสิทธิภาพและความชัดเจนของผลการทดลอง ปริมาณสารเคมีที่ใช้ ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น เวลาที่ใช้ในการทดลอง ความสะดวกในการใช้งาน และความเอื้อต่อการเรียนรู้หรือทำความเข้าใจเนื้อหาที่เกี่ยวข้องจากการทดลอง

2) วิเคราะห์คะแนนความเข้าใจมโนมติจากการทดสอบก่อนเรียน หลังเรียน และความคงทน โดยเปรียบเทียบคะแนนหลังเรียนกับก่อนเรียน และหลังเรียนกับความคงทนหลังเรียนผ่านไปแล้ว 30 วัน ด้วยการทดสอบค่าทีแบบตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (dependent sample *t*-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นอกจากนี้ยังคำนวณความก้าวหน้าทางการเรียนทั้งในกรณีที่เป็นร้อยละความก้าวหน้าจริง (% actual gain) ซึ่งคำนวณ

จากผลต่างของร้อยละของคะแนนหลังเรียนและร้อยละของคะแนนก่อนเรียน และในกรณีที่เป็นความก้าวหน้าแบบปกติ (normalized gain: <*g*>) ซึ่งคำนวณตามสูตรของ Hake (1998) ดังนี้ <*g*> = (%หลังเรียน – %ก่อนเรียน) ÷ (100% – %ก่อนเรียน) โดยที่ค่า <*g*> น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.30 จัดเป็นความก้าวหน้าระดับต่ำ ค่า <*g*> มากกว่า 0.30 แต่น้อยกว่า 0.70 จัดเป็นความก้าวหน้าระดับปานกลาง และค่า <*g*> มากกว่าหรือเท่ากับ 0.70 จัดเป็นความก้าวหน้าระดับสูง

3) กลุ่มความเข้าใจมโนมติ จำแนกตามความเข้าใจมโนมติของนักเรียนโดยพิจารณาคำตอบทั้งในส่วนของตัวเลือกและการแสดงเหตุผลตามเกณฑ์พัฒนาขึ้น (ปรับปรุงจาก Çalik et al., 2009; Mulford and Robinson, 2002; Supasorn et al., 2016) ซึ่งสามารถจำแนกความเข้าใจมโนมติของนักเรียนออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ ความเข้าใจมโนมติถูกต้อง (sound conceptual understanding: SU) ความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนแต่ไม่สมบูรณ์ (partial conceptual understanding: PU) ความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (partial with mis-conceptual understanding: PMU) ความเข้าใจมโนมติผิด (mis-conceptual understanding: MU) และไม่มีความเข้าใจมโนมติ (no conceptual understanding: NU) ดังในตาราง 2

ตาราง 2 แนวทางการจัดกลุ่มความเข้าใจมโนมติของนักเรียนจากแบบวัดมโนมติวิทยาศาสตร์

กลุ่มความเข้าใจมโนมติ	การพิจารณาคำตอบในแต่ละส่วน	
	ตัวเลือก	เหตุผล*
กลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องสมบูรณ์ (SU)	ถูกต้อง	ถูกต้องสมบูรณ์ (มี S ครบ)
กลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU)	ถูกต้อง	ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์และไม่มีส่วนผิด (มี S ไม่ครบ แต่ไม่มี M)
กลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU)	ถูกต้อง	ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (มีทั้ง S และ M)
	ผิด	ถูกต้องอย่างสมบูรณ์ (มี S ครบ)
	ผิด	ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (มี S ไม่ครบ แต่ไม่มี M)
	ผิด	ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (มีทั้ง S และ M)
กลุ่มความเข้าใจมโนมติผิด (MU)	ผิด	ไม่ถูกต้อง แต่ยังเกี่ยวข้องกับโจทย์ (มี M ไม่มี S)
กลุ่มไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU)	ผิด	ไม่เกี่ยวกับโจทย์/ไม่แสดงเหตุผล (ไม่มีทั้ง S และ M)

*S และ M แทนรหัสของมโนมติที่ถูกต้องและผิด (ดูเกณฑ์การให้คะแนนเหตุผลหรือคำอธิบายในภาพที่ 2 ประกอบ)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ (1) ลักษณะของชุดการทดลองแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ (2) คะแนนความเข้าใจมโนมติก่อนเรียน หลังเรียน และความคงทนหลังเรียนด้วยชุดการทดลองแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำผ่านไปแล้ว 30 วัน (3) การเปลี่ยนแปลงกลุ่มความเข้าใจมโนมติก่อนเรียนและหลังเรียน (4) สรุปผลการสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างการปรับแก้มโนมติของนักเรียน และ (5) เจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมี ดังนี้

ลักษณะของชุดการทดลองแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เรื่อง สมดุลเคมี

จากการพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบ

ย่อส่วนต้นทุนต่ำ พบว่า ชุดการทดลองนี้มีความประหยัดกว่าการทดลองแบบปกติในหลายด้าน (ตาราง 3) ได้แก่ (1) ต้นทุนของอุปกรณ์ซึ่งมีราคา 315 บาท และสามารถใช้ซ้ำได้ โดยสามารถใช้ถาดหลุม 1 ถาด แทนหลอดทดลองได้ถึง 18 – 24 หลอด ในขณะที่การทดลองแบบปกติต้องใช้อุปกรณ์และเครื่องแก้วที่มีราคาแพงและมีอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งยังเสี่ยงต่อการแตกชำรุดอีกด้วย (2) ใช้เวลาต่อหนึ่งการทดลองลดลงไปอย่างน้อย 1.5 เท่า และมีเวลาสำหรับการอภิปรายมากขึ้น และ (3) ใช้สารละลายในปริมาตรที่ลดลงประมาณ 2.0 – 4.0 เท่า หรือใช้สารเคมีที่เป็นแก๊สปริมาตรลดลงประมาณ 3.0 เท่า ทำให้ลดค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีและลดปริมาณของของเสียที่เกิดจากการทดลองด้วย การทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำสามารถลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ได้อย่างน้อย 6.0 – 12.0 เท่า และยังสามารถสาธิตหรือแสดงผลการทดลองได้อย่างชัดเจนเหมือนในการทดลองแบบปกติ (Khattiyavong et al., 2014)

ตาราง 3 เปรียบเทียบการทดลองแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เรื่อง สมดุลเคมี กับการทดลองแบบปกติ

รายการ	การทดลอง		ลดลง
	แบบปกติ	แบบย่อส่วน	
ต้นทุนของชุดอุปกรณ์	ไม่มีข้อมูล*	315 บาท	–
เวลาในการทดลอง	60 นาที	40 นาที	1.5 เท่า
เวลาในการอธิบาย	60 นาที	60 – 80 นาที	–
เวลาในการเรียนรวม	100 – 120 นาที	120 นาที	–
ความเข้มข้นของสารละลาย	0.002 – 0.08 โมล/ลิตร	0.002 – 0.08 โมล/ลิตร	–
ปริมาตรของสารละลาย	1.00 – 2.00 มิลลิลิตร	0.50 มิลลิลิตร	2.0 – 4.0 เท่า
ปริมาตรของแก๊ส	30.00 มิลลิลิตร	10.00 มิลลิลิตร	3.0 เท่า

* เป็นการทดลองที่ต้องใช้อุปกรณ์และเครื่องแก้วที่มีอยู่อย่างจำกัดในโรงเรียน ซึ่งมีราคาต่อชิ้นค่อนข้างสูง

คะแนนความเข้าใจมโนมติ เรื่อง สมดุลเคมี

จากการวิเคราะห์คะแนนจากแบบวัดความเข้าใจมโนมติ เรื่อง สมดุลเคมี ของนักเรียนภายในกลุ่มชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ (ตาราง 4) พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจมโนมติก่อนเรียนโดยรวมเป็นร้อยละ 20.48 (เฉลี่ย 8.19 และ SD 3.10) จำแนกเป็นคะแนนส่วนของตัวเลือกร้อยละ 28.38 (เฉลี่ย 5.68 และ SD 2.59) และส่วนของการแสดงเหตุผลร้อยละ 12.58 (เฉลี่ย 2.52 และ SD 0.93) จะเห็นได้ว่า นักเรียนมีคะแนนก่อนเรียนในส่วนของตัวเลือกสูงกว่าส่วนของการแสดงเหตุผลมากกว่าสองเท่า อย่างไรก็ตาม หลังจากการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจมโนมติหลังเรียนโดยรวมเป็นร้อยละ 60.64 (เฉลี่ย 24.25 และ SD 3.92) จำแนกเป็นคะแนนส่วนของตัวเลือกร้อยละ 67.16 (เฉลี่ย 13.43 และ SD 2.67) และส่วนของการแสดงเหตุผลร้อยละ 54.11 (เฉลี่ย 10.82 และ SD 1.83) จะเห็นได้ว่า นักเรียนยังมีคะแนนหลังเรียนในส่วนของตัวเลือกสูงกว่าส่วนของการแสดงเหตุผล แต่มีน้ำหนัก

ใกล้เคียงกันมากกว่าคะแนนก่อนเรียน เมื่อพิจารณาร้อยละความก้าวหน้าทางการเรียน พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าจริงโดยรวมเป็นร้อยละ 40.16 จำแนกเป็นส่วนของตัวเลือกร้อยละ 38.78 และส่วนของการแสดงเหตุผลร้อยละ 41.53 ในกรณีที่พิจารณาความก้าวหน้าแบบปกติหรือค่า <*g*> พบว่า นักเรียนมีค่า <*g*> โดยรวมเป็น 0.50 จำแนกเป็นค่า <*g*> ส่วนของตัวเลือก 0.54 และค่า <*g*> ส่วนของการแสดงเหตุผล 0.48 ซึ่งจัดอยู่ใน “ความก้าวหน้าปานกลาง” ทั้งสามกรณี โดยมีความก้าวหน้าทางการเรียนในส่วนของตัวเลือกสูงกว่าส่วนของเหตุผลเล็กน้อย จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบค่าทีแบบตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน พบว่า ค่าทีของคะแนนเฉลี่ยมโนมติโดยรวม มโนมติส่วนของตัวเลือก และการแสดงเหตุผล มีค่าเป็น 17.01 11.20 และ 25.08 ตามลำดับ แสดงว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนมติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนทั้ง 3 กรณี

ตาราง 4 คะแนนจากแบบวัดความเข้าใจมโนมติ เรื่อง สมดุลเคมี

สมดุลเคมี	ก่อนเรียน			หลังเรียน			ความก้าวหน้า		$t_{หลัง-ก่อน}$	ความคงทน				$t_{หลัง-คงทน}$
(เต็ม)	เฉลี่ย	SD	%	เฉลี่ย	SD	%	%	<*g*>		เฉลี่ย	SD	%	แปลผล	
นิยาม (8)	1.93	1.32	24.09	4.98	1.18	62.21	38.13	0.50	10.60^{D}	4.88	1.24	61.01	คงทน	1.26^{E}
- ตัวเลือก (4)	1.43	1.17	35.81	2.76	0.86	68.92	33.11	0.52	5.40^{D}	2.70	0.85	67.57	คงทน	0.97^{E}
- เหตุผล (4)	0.49	0.38	12.36	2.22	0.86	55.51	43.14	0.49	11.66^{D}	2.18	0.90	54.46	คงทน	1.00^{E}
ค่าคงที่ (8)	1.46	1.21	18.23	4.79	1.59	59.92	41.69	0.51	8.91^{D}	4.68	1.62	58.46	คงทน	1.88^{E}
- ตัวเลือก (4)	0.89	0.97	22.30	2.68	1.08	66.89	44.59	0.57	6.78^{D}	2.59	1.12	64.86	คงทน	1.20^{E}
- เหตุผล (4)	0.57	0.49	14.16	2.12	0.80	52.94	38.78	0.45	8.84^{D}	2.08	0.82	52.06	คงทน	1.36^{E}
การรบกวน (24)	4.81	1.90	20.03	14.48	2.80	60.35	40.32	0.50	16.04^{D}	14.23	2.82	59.28	คงทน	1.68^{E}
- ตัวเลือก (4)	3.35	1.64	27.93	8.00	1.80	66.67	38.74	0.54	10.47^{D}	7.84	1.83	65.32	คงทน	1.51^{E}
- เหตุผล (4)	1.46	0.60	12.13	6.48	1.29	54.03	41.90	0.48	22.74^{D}	6.39	1.25	53.24	คงทน	1.36^{E}
รวม (40)	8.19	3.01	20.48	24.25	3.92	60.64	40.16	0.50	17.01^{D}	23.84	3.80	59.60	คงทน	1.91^{E}
- ตัวเลือก (4)	5.68	2.59	28.38	13.43	2.67	67.16	38.78	0.54	11.20^{D}	13.19	2.77	65.95	คงทน	1.82^{E}
- เหตุผล (4)	2.52	0.93	12.58	10.82	1.83	54.11	41.53	0.48	25.08^{D}	10.65	1.69	53.25	คงทน	1.43^{E}

^{D} และ ^{E} แทน ‘แตกต่าง’ และ ‘ไม่แตกต่าง’ อย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (p = 0.05)

เมื่อจำแนกมโนมติสมดุลเคมีออกเป็น 3 มโนมติย่อย ได้แก่ (1) นิยามของสมดุลเคมี (2) ค่าคงที่สมดุล และ (3) การรบกวนสมดุลเคมี จะพบว่า นักเรียนมีร้อยละคะแนนก่อนเรียนสูงที่สุดในมโนมตินิยามของสมดุลเคมี (ร้อยละ 24.09) และต่ำที่สุดในมโนมติค่าคงที่สมดุล (ร้อยละ 18.23) ทั้งนี้ ก่อนเรียนนักเรียนมีร้อยละของคะแนนมโนมติในส่วนตัวเลือกสูงกว่ามโนมติในส่วนของเหตุผลมากกว่าสองเท่าในมโนมตินิยามของสมดุลเคมีและการรบกวนสมดุล อย่างไรก็ตาม หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ พบว่า นักเรียนยังคงมีร้อยละของคะแนนหลังเรียนสูงที่สุดในมโนมตินิยามของสมดุลเคมี (ร้อยละ 62.21) ส่วนมโนมติค่าคงที่สมดุลและการรบกวนสมดุลเคมีมีร้อยละของคะแนนหลังเรียนใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 59.92 และ 60.35) ทั้งนี้ หลังเรียนนักเรียนมีคะแนนมโนมติในส่วนตัวเลือกใกล้เคียงกับมโนมติในส่วนของ

เหตุผลมากขึ้นทั้งสามมโนมติย่อย จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบค่าทีแบบตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจมโนมติเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในทุกมโนมติย่อย โดยมีร้อยละความก้าวหน้าจริงของแต่ละหัวข้อเป็น 38.13 41.69 และ 40.32 ตามลำดับ และมีความก้าวหน้าแบบปกติหรือ <*g*> เป็น 0.50 0.51 และ 0.50 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ใน “ความก้าวหน้าปานกลาง” ทุกมโนมติย่อย อย่างไรก็ตาม ค่าคงที่สมดุลเป็นมโนมติที่นักเรียนมีความก้าวหน้าจริง (41.69) และความก้าวหน้าแบบปกติ (0.51) สูงที่สุด ส่วนนิยามของสมดุลเคมีและการรบกวนสมดุลเคมีเป็นมโนมติที่นักเรียนมีความก้าวหน้าแบบปกติเท่ากัน (0.50)

เมื่อพิจารณาคะแนนความคงทนจากการทดสอบหลังเรียนเมื่อเรียนผ่านไปแล้ว 30 วัน (ตาราง 4) พบว่า นักเรียนมีร้อยละของคะแนนความคงทนของมโนมติใกล้เคียงกับร้อยละของคะแนนหลังเรียน โดยมีร้อยละของคะแนนความคงทนของมโนมติในมโนมติ นิยามของสมดุลเคมี ค่าคงที่สมดุล การรบกวนสมดุลเคมี และมโนมติรวมเป็น 61.01 58.46 59.28 และ 59.60 ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบค่าทีแบบตัวอย่างไม่อิสระต่อกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความคงทนของมโนมติต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนมติหลังเรียนเล็กน้อย ซึ่งต่ำกว่าทั้งสามมโนมติย่อยและมโนมติรวม แสดงว่า การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำนี้สามารถทำให้นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติเพิ่มขึ้นและมีความคงทนของมโนมติอย่างมีประสิทธิภาพ (A-waekaji and Supasorn, 2015; Matarat et al., 2016)

การจำแนกนักเรียนตามกลุ่มมโนมติจากแบบวัดความเข้าใจมโนมติ เรื่อง สมดุลเคมี

จากการจัดกลุ่มนักเรียนโดยอาศัยคำตอบแบบวัดความเข้าใจมโนมติในส่วนของตัวเลือกและเหตุผลเป็นเกณฑ์ สามารถจำแนกนักเรียนออกเป็นกลุ่มความเข้าใจโนมติต่าง ๆ (ตาราง 5) จะเห็นได้ว่า ก่อนเรียนมีร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติถูกต้องสมบูรณ์ (SU) ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) ถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) ผิดหรือคลาดเคลื่อน (MU) และไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU) เป็น 0.00 5.54 29.05 14.59 และ 50.81 ตามลำดับ นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU) และกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) ซึ่งเป็นกลุ่มมโนมติที่มีความถูกต้องน้อยมาก เมื่อพิจารณาความเข้าใจโนมติหลังเรียน พบว่า หลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในแต่ละกลุ่มเป็น 23.24 33.78 29.46 9.46 และ 4.05 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) (ร้อยละ 33.78) และกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) (ร้อยละ 29.46) ทั้งนี้ หลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มที่มีมโนมติถูกต้องสมบูรณ์ (SU) และถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) เพิ่มขึ้น 23.24 และ 28.24 ตามลำดับ ส่วนร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติผิดหรือคลาดเคลื่อน (MU) และกลุ่มไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU) ลดลงไป 5.13 และ 46.76 ตามลำดับ สำหรับร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) เพิ่มขึ้น 0.41 จะเห็นได้ว่า ผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติถูกต้องสมบูรณ์และถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (SU+PU) เพิ่มขึ้น 51.48 ส่วนผล

ตาราง 5 ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติ เรื่อง สมดุลเคมี

มโนมติสมดุลเคมี*	มโนมติก่อนเรียน (ร้อยละ)					มโนมติหลังเรียน (ร้อยละ)					การเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)**		
	SU	PU	PMU	MU	NU	SU	PU	PMU	MU	NU	SU+PU	PMU	MU+NU
1) นิยามสมดุลเคมี	0.00	5.41	35.14	14.86	44.59	18.92	39.86	31.08	3.38	6.76	53.37	– 4.06	– 49.31
2) ค่าคงที่สมดุล	0.00	4.05	27.03	17.57	51.35	22.97	33.11	29.05	7.43	7.43	52.03	2.02	– 54.06
3) การรบกวนสมดุล	0.00	6.08	27.70	13.51	52.70	24.77	36.26	24.77	12.16	2.03	54.95	– 2.93	– 52.02
รวม	0.00	5.54	29.05	14.59	50.81	23.24	33.78	29.46	9.46	4.05	51.48	0.41	– 51.89

* มโนมติหัวข้อ (1), (2), (3) และรวม มีความถี่เป็น (จำนวนข้อ x คน) เท่ากับ (4x37), (4x37), (12x37) และ (20x37) ตามลำดับ

** เครื่องหมาย + และ – แสดงถึง การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นและลดลง ตามลำดับ

รวมร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติผิดและไม่มีความเข้าใจมโนมติ (MU+NU) ลดลง 51.89

เมื่อพิจารณาจำแนกร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติย่อยก่อนเรียน พบว่า ลำดับร้อยละของนักเรียนในกลุ่มไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU) จากมากที่สุดไปน้อยที่สุดเป็นมโนมติการรบกวนสมดุลเคมี (ร้อยละ 52.70) ค่าคงที่สมดุล (ร้อยละ 51.35) และนิยามของสมดุลเคมี (ร้อยละ 44.59) ตามลำดับ แสดงว่า นักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่มีความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับสมดุลเคมี เมื่อพิจารณาร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติย่อยหลังเรียน พบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติต่าง ๆ เป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้น โดยหลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU) ลดลงเป็นอย่างมากในทุกมโนมติย่อย และมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติถูกต้อง (SU) และกลุ่มถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) เพิ่มขึ้นทุกมโนมติ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าทุกมโนมติย่อยยังมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) สูงกว่าในกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) สูงกว่ากลุ่มความเข้าใจมโนมติผิด (MU) และสูงกว่ากลุ่มไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU) แต่ทุกมโนมติย่อยยังคงมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU) อยู่พอสมควร (ร้อยละ 24.77 – 31.08) ซึ่งเป็นความเข้าใจผิดหรือคลาดเคลื่อนที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Aydeniz and Dogan (2016) และ Özmen (2008) เช่น ความดันส่งผลทำให้ปฏิกิริยาที่มีแก๊สเกี่ยวข้องเกิดไปข้างหน้าได้ดีขึ้นเสมอ อุณหภูมิส่งต่อปฏิกิริยาดูดความร้อนและคายความร้อนไม่แตกต่างกัน สมดุลเคมีคือการมีความเข้มข้นของสารตั้งต้นเท่ากับสารผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่โจทย์มีปัจจัยให้พิจารณามากกว่าหนึ่งปัจจัย นักเรียนมักพิจารณาเพียงปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งโดยไม่คำนึงถึงปัจจัยอื่น เช่น โจทย์กำหนดให้เป็นปฏิกิริยาของแก๊สในระบบปิดและเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน นักเรียนจะพิจารณาแค่ผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันของระบบเปรียบเทียบกับโมลของแก๊สโดยไม่คำนึงถึงผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ในทางกลับกันนักเรียนอาจคำนึงถึงผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาแบบคายความร้อนโดยที่ไม่คำนึงถึงผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันของระบบเปรียบเทียบกับโมลของแก๊ส สิ่งเหล่านี้ล้วนทำให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อน

อย่างไรก็ตาม ผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติถูกต้องสมบูรณ์และถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (SU+PU) มีค่าสูงกว่าผลรวม

ร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติผิดและไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU+MU) ทุกมโนมติย่อยอีกด้วย โดยทุกมโนมติย่อยมีผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติถูกต้องสมบูรณ์และถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (SU+PU) สูงกว่าร้อยละ 50 แสดงให้เห็นว่า ชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำในการวิจัยครั้งนี้มีประสิทธิภาพในการพัฒนาความเข้าใจมโนมติของนักเรียน และสนับสนุนให้นักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงความเข้าใจมโนมติจากผิดหรือคลาดเคลื่อนไปทิศทางที่ถูกต้องมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับที่ A-waekaji and Supasorn (2015) และ Matarat et al. (2016) ที่รายงานว่า กิจกรรมการทดลองและการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่สอดคล้องกันจะสามารถสนับสนุนให้นักเรียนปรับเปลี่ยนความเข้าใจมโนมติและพัฒนาจากกลุ่มที่มีความเข้าใจถูกต้องน้อยไปยังกลุ่มที่มีความถูกต้องมากขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปผลการสัมภาษณ์เกี่ยวกับการปรับแก้มโนมติวิทยาศาสตร์ เรื่อง สมดุลเคมี

จากการสุ่มสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างกับนักเรียนในกลุ่มชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เรื่อง สมดุลเคมีจำนวน 4 คน (จากกลุ่ม SU PU PMU และ MU) สามารถสรุปผลการสัมภาษณ์ได้ดังนี้

นักเรียนคนที่ 1 เป็นนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจหลังเรียนถูกต้องสมบูรณ์ (PostSU:sEQ) ซึ่งเคยอยู่ในกลุ่มความเข้าใจก่อนเรียนถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PrePMU:sEQ) จากการสัมภาษณ์พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนมีความเข้าใจถูกต้องบางส่วนว่า “สมดุลเคมี คือ การมีความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์คงที่” แต่ก็มีความเข้าใจผิดบางส่วนว่า “สมดุลเคมีต้องเกิดในระบบปิดเท่านั้น” อย่างไรก็ตาม หลังเรียนนักเรียนมีการปรับเปลี่ยนเป็นความเข้าใจที่ถูกต้องสมบูรณ์ว่า “สมดุลเคมี คือ การมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ หรือความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์คงที่ โดยเกิดได้ทั้งในระบบปิดและระบบเปิด แต่ต้องเป็นระบบเปิดที่ไม่มีแก๊สเกี่ยวข้องจึงจะสามารถเกิดสมดุลเคมีได้” และจากการสัมภาษณ์เกี่ยวกับแบบวัดมโนมติที่ถามว่า “ถ้านักเรียนเป็นเจ้าของโรงงานผลิตแก๊สแอมโมเนียโดยใช้กระบวนการฮาเบอร์ซึ่งเป็นปฏิกิริยาแบบคายพลังงาน นักเรียนจะมีวิธีเพิ่มผลผลิตอย่างไร” โดยก่อนเรียนนักเรียนคนนี้เข้าใจผิดว่า “ต้องเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบ เพราะการเพิ่มอุณหภูมิย่อมทำให้เกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น” ซึ่งสอดคล้องกับความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่ Aydeniz and Dogan (2016) รายงานว่า อุณหภูมิส่งผลต่อปฏิกิริยาแบบดูดหรือคายความร้อนไปในทิศทางเดียวกัน แต่หลังเรียนนักเรียนได้ปรับเปลี่ยนเป็นความเข้าใจที่ถูกต้องสมบูรณ์ว่า “ต้องลดอุณหภูมิ เพราะปฏิกิริยานี้เป็นแบบคายความร้อน การลดอุณหภูมิจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น”

นักเรียนคนที่ 2 เป็นนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจหลังเรียนถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PostPU:sEQ) ซึ่งเคยอยู่ในกลุ่มความเข้าใจก่อนเรียนถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PrePMU:sEQ) จากการสัมภาษณ์พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนมีความเข้าใจผิดว่า “สมดุลเคมี คือ การมีความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์เท่ากัน” อย่างไรก็ตาม หลังเรียนนักเรียนมีการปรับเปลี่ยนเป็นความเข้าใจถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ว่า “สมดุลเคมี คือ การมีความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์คงที่ โดยไม่จำเป็นต้องเท่ากันก็ได้” แต่ยังถูกต้อง

ไม่สมบูรณ์เพราะยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับระบบเปิดและระบบปิด จากการสัมภาษณ์เกี่ยวกับแบบวัดมโนมติที่ถามว่า “นักเรียนจะมีวิธีเพิ่มผลผลิตแก๊สแอมโมเนียอย่างไร” โดยก่อนเรียนนักเรียนคนนี้เข้าใจผิดว่า “ต้องเพิ่มความดันให้กับระบบ เพราะการเพิ่มความดันย่อมบังคับให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น” อย่างไรก็ตาม หลังเรียนนักเรียนได้ปรับเปลี่ยนเป็นความเข้าใจที่ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ว่า “ต้องลดอุณหภูมิ เพราะบางปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิ” โดยที่ไม่ได้ระบุให้สมบูรณ์ว่าเป็นปฏิกิริยาแบบคายพลังงาน ซึ่งสอดคล้องกับความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่ Aydeniz and Dogan (2016) รายงานว่า ความดันส่งผลต่อปฏิกิริยาแบบดูดหรือคายความร้อนไปในทิศทางเดียวกัน

นักเรียนคนที่ 3 เป็นนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจหลังเรียนถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PostPMU:sEQ) ซึ่งเคยอยู่ในกลุ่มไม่มีความเข้าใจก่อนเรียน (PreNU:sEQ) จากการสัมภาษณ์พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนไม่สามารถให้ความหมายของสมดุลเคมีได้ อย่างไรก็ตาม หลังเรียนนักเรียนมีการปรับเปลี่ยนเป็นความเข้าใจถูกต้องบางส่วนว่า “สมดุลเคมี คือ การมีอัตราการเกิดไปข้างหน้าเท่ากับย้อนกลับ” แต่ยังมีความเข้าใจผิดบางส่วนว่า “ต้องเกิดในระบบปิดเท่านั้น” ซึ่งความจริงแล้วถ้าไม่มีแก๊สเกี่ยวข้องก็เกิดสมดุลเคมีในระบบเปิดได้ จากการสัมภาษณ์เกี่ยวกับแบบวัดมโนมติที่ถามว่า “นักเรียนจะมีวิธีเพิ่มผลผลิตแก๊สแอมโมเนียอย่างไร” โดยก่อนเรียนนักเรียนคนนี้เข้าใจผิดว่า “ต้องเพิ่มความดันเพื่อบังคับให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้น” แต่หลังเรียนนักเรียนได้ปรับเปลี่ยนเป็นความเข้าใจผิดบางส่วนว่า “การเพิ่มความดันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น” และสามารถให้เหตุผลได้ถูกบางส่วนว่า “การเพิ่มความดันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไปด้านที่มีโมลของแก๊สน้อยกว่า” แต่ความจริงแล้วปฏิกิริยาที่มีจำนวนโมลของแก๊สสารตั้งต้นและแก๊สผลิตภัณฑ์เท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่ Pachuen and Suwannoi (2010) รายงานว่า การเพิ่มความดันจะทำให้ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับแก๊สเกิดได้ดีขึ้นเสมอ

นักเรียนคนที่ 4 เป็นนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจหลังเรียนผิดหรือคลาดเคลื่อน (Post MU:sEQ) ทั้งนี้ ก่อนเรียนนักเรียนอยู่ในกลุ่มไม่มีความเข้าใจก่อนเรียน (PreNU:sEQ) จากการสัมภาษณ์พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนไม่เข้าใจเลยว่าสมดุลเคมีคืออะไร โดยให้ข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องกับคำถาม แต่หลังเรียนนักเรียนได้มีการปรับเปลี่ยนเป็นความเข้าใจผิดหรือคลาดเคลื่อนว่า “สมดุลเคมี คือ การมีความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์เท่ากันและเกิดย้อนกลับไม่ได้” ซึ่งสอดคล้องกับความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่ Aydeniz and Dogan (2016) และ Pachuen and Suwannoi (2010) รายงานว่า สมดุลเคมีคือภาวะที่มีความเข้มข้นของสารตั้งต้นเท่ากับสารผลิตภัณฑ์ จากการสัมภาษณ์เกี่ยวกับแบบวัดมโนมติที่ถามว่า “นักเรียนจะมีวิธีเพิ่มผลผลิตแก๊สแอมโมเนียอย่างไร” โดยก่อนเรียนนักเรียนคนนี้เข้าใจผิดหรือคลาดเคลื่อนว่า “ต้องเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบ” และไม่มีการระบุเหตุผล แต่หลังเรียนนักเรียนได้ปรับเปลี่ยนเป็นความเข้าใจผิดและคลาดเคลื่อนไปอีกรูปแบบหนึ่งว่า “ต้องเพิ่มอุณหภูมิ เพราะปฏิกิริยาใด ๆ จะเกิดได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ” แต่ความจริงแล้วการเพิ่มอุณหภูมิจะดีต่อปฏิกิริยาแบบดูดความร้อนเท่านั้น

เจตคติและประสบการณ์ต่อวิชาเคมี

จากการสำรวจเจตคติและประสบการณ์

ในการเรียนวิชาเคมีของนักเรียนทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เรื่อง สมดุลเคมี โดย 5 หมายถึง พึงพอใจอย่างยิ่ง และ 1 หมายถึง ไม่พึงพอใจอย่างยิ่ง (ตาราง 6) จะเห็นได้ว่า ก่อนเรียนนักเรียนมีเจตคติและประสบการณ์ในการเรียนวิชาเคมีเฉลี่ย 4.16 (SD 0.39) ซึ่งอยู่ในระดับ “พึงพอใจ” โดยมีลำดับความพึงพอใจมากที่สุดในด้านครูเคมีที่สอนในครั้งนี้ อย่างไรก็ตาม หลังเรียนด้วยชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ พบว่า นักเรียนมีเจตคติและประสบการณ์ในการเรียนวิชาเคมีเพิ่มขึ้นมาอยู่ที่เฉลี่ย 4.44 (SD 0.29) ซึ่งอยู่ในระดับ “พึงพอใจ” โดยมีลำดับความพึงพอใจมากที่สุดในด้านกิจกรรมการทดลอง จากการทดสอบค่าทีแบบตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน พบว่า นักเรียนมีเจตคติและประสบการณ์ในการเรียนวิชาเคมีหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนทุกกรณี ทั้งในด้านกิจกรรมการทดลอง ด้านครูเคมีที่สอนในครั้งนี้ และด้านนักเรียน แสดงว่าชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำนี้สามารถทำให้นักเรียนมีเจตคติและประสบการณ์ในการเรียนวิชาเคมีไปในทางบวกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตาราง 6 เจตคติและประสบการณ์ในการเรียนวิชาเคมีก่อนและหลังเรียนด้วยชุดการทดลองเคมีย่อส่วนต้นทุนต่ำ

เรื่อง	ก่อนเรียน			หลังเรียน			$t_{หลัง-ก่อน}$
	เฉลี่ย	SD	ระดับ	เฉลี่ย	SD	ระดับ	
ก) ด้านกิจกรรมการทดลอง	4.21	0.35	พึงพอใจ	4.48	0.28	พึงพอใจ	6.44[D]
ข) ด้านครูเคมีที่สอนในครั้งนี้	4.30	0.53	พึงพอใจ	4.44	0.48	พึงพอใจ	2.51[D]
ค) ด้านนักเรียน	3.99	0.46	พึงพอใจ	4.38	0.33	พึงพอใจ	4.59[D]
รวม	4.16	0.39	พึงพอใจ	4.44	0.29	พึงพอใจ	5.80[D]

[D] แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) จากการทดสอบค่าทีแบบตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ เรื่อง สมดุลเคมี และนำไปจัดการเรียนรู้สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า นักเรียนมีร้อยละของคะแนนก่อนเรียนในกรณีของคะแนนรวม ตัวเลือก และเหตุผล เป็น 20.48 28.38 และ 12.58 ตามลำดับ ร้อยละของคะแนนหลังเรียนเป็น 60.64 67.16 และ 54.11 และร้อยละของคะแนนความคงทนเป็น 59.60 65.95 และ 53.25 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่านักเรียนยังมีคะแนนหลังเรียนในส่วนของตัวเลือกสูงกว่าส่วนของการแสดงเหตุผล แต่มีน้ำหนักใกล้เคียงกันมากกว่าคะแนนก่อนเรียน เมื่อพิจารณาความก้าวหน้าแบบปกติ หรือค่า <*g*> พบว่า นักเรียนมีค่า <*g*> โดยรวม ตัวเลือก และการแสดงเหตุผลเป็น 0.50 0.54 และ 0.48 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ใน “ความก้าวหน้าปานกลาง” ทั้งสามกรณี โดยมีความก้าวหน้าทางการเรียนในส่วนของตัวเลือกสูงกว่าส่วนของเหตุผลเล็กน้อย จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการทดสอบค่าทีแบบตัวอย่างไม่อิสระต่อกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจโมมติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและไม่แตกต่างจากคะแนนความคงทนทั้งสามกรณี แสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองนี้นี้สามารถทำให้นักเรียนมีความเข้าใจโมมติเพิ่มขึ้นและมีความ

คงทนของมโนมติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อพิจารณาร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติต่าง ๆ พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU ร้อยละ 50.81) และกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU ร้อยละ 29.05) ซึ่งเป็นกลุ่มมโนมติที่มีความถูกต้องน้อยมาก อย่างไรก็ตาม หลังการเรียนด้วยชุดการทดลองย่อส่วน นักเรียนส่วนใหญ่สามารถพัฒนามาอยู่ในกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU ร้อยละ 33.78) และกลุ่มความเข้าใจมโนมติถูกต้องบางส่วนและผิดบางส่วน (PMU ร้อยละ 29.46) ทั้งนี้หลังเรียนมีร้อยละของนักเรียนในกลุ่มที่มีมโนมติถูกต้องสมบูรณ์ (SU) และถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (PU) เพิ่มขึ้น 23.24 และ 28.24 ตามลำดับ ส่วนร้อยละของนักเรียนในกลุ่มมโนมติผิดหรือคลาดเคลื่อน (MU) และกลุ่มไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU) ลดลงไป 5.13 และ 46.76 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ผลรวมร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติถูกต้องสมบูรณ์และถูกต้องเป็นส่วนใหญ่ (SU+PU) เพิ่มขึ้น 51.48 ส่วนผลรวมร้อยละของนักเรียนในกลุ่มความเข้าใจมโนมติผิดและไม่มีความเข้าใจมโนมติ (NU+MU) ลดลง 51.89 จึงสามารถกล่าวได้ว่า การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองย่อส่วนนี้สามารถทำให้นักเรียนเปลี่ยนแปลงจากความเข้าใจมโนมติที่ถูกต้องน้อยไปสู่ความเข้าใจมโนมติที่ถูกต้องมากขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้นักเรียนมีเจตคติและประสบการณ์ในการเรียนวิชาเคมีไปในทางบวกมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของกิจกรรมการทดลอง

การวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะในการพัฒนาและวิจัยเกี่ยวกับชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำ ได้แก่ (1) ในการพัฒนาการทดลองเคมีแบบย่อส่วนควรประยุกต์ใช้อุปกรณ์ที่สามารถใช้งานซ้ำได้ และมีราคาไม่แพง เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าจากอุปกรณ์มากที่สุด และควรมีอุปกรณ์ที่จำเป็นครบถ้วน แต่ต้องไม่มากจนเกินไป เพื่อให้สะดวกในการนำไปใช้งาน และการจัดเก็บหลังการใช้งาน (2) ควรออกแบบการทดลองให้ใช้เวลาในการทดลองน้อยลง หรือเป็นการทำปฏิกิริยาหรือศึกษาผลของปัจจัยหลายปัจจัยในคราวเดียวกัน เพื่อให้ประหยัดเวลาในการทดลอง และสามารถสังเกตหรือเปรียบเทียบผลการทดลองได้หลายปฏิกิริยาได้ในคราวเดียวกัน (3) เมื่อมีการลดปริมาณสารเคมีที่ใช้จะต้องมั่นใจว่าผลการทดลองยังชัดเจนเหมือนเดิม และไม่ทำให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนจากการลดปริมาณสารเคมีหรือขนาดของอุปกรณ์ (4) ทุกครั้งที่ใช้อุปกรณ์เสร็จแล้วต้องรีบล้างให้สะอาดและผึ่งให้แห้งสนิทก่อนจัดเก็บลงกล่อง เพื่อให้ใช้งานได้ยาวนานมากขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์บางรายการอาจจะไม่ทนทานต่อการสัมผัสสารเคมีเป็นเวลานานจนเกินไป และ (5) หลักการและวิธีการทดลองในการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้องไม่แตกต่างจากการทดลองแบบมาตรฐานมากเกินไป เช่น ปฏิกิริยาที่ศึกษา ปัจจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการรบกวนสมดุลเคมี เพื่อให้มั่นใจว่าองค์ความรู้หรือหลักการเคมีในชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนนั้นไม่ได้ขาดตกบกพร่องจากการทดลองแบบปกติหรือแบบมาตรฐาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่อง “การพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนต้นทุนต่ำเพื่อสนับสนุนความเข้าใจมโนมติและการปรับแก้มโนมติสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย” ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประ-

มาณตลอดโครงการจากทุนวิจัยมุ่งเป้า กลุ่มเรื่องการศึกษาและสร้างสรรค์การเรียนรู้ โดยสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ร่วมกับเครือข่ายองค์กรบริหารงานวิจัยแห่งชาติ (คอบช.) ประจำปีงบประมาณ 2559 ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คอบช. ที่ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของโครงการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

A-waekaji, H., and Supasorn, S. (2015, July). Development of scientific conceptual understanding of chemical equilibrium by using 5e inquiry learning cycle incorporated with predict-observe-explain technique in the elaboration step for grade 11 students (pp. 388–398). **9th UBU Conference on Local Development to ASEAN Region: Diversities on Border Regions**, Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University. (in Thai)

Aydeniz, M., and Dogan, A. (2016). Exploring the impact of argumentation on pre-ser vice science teachers' conceptual understanding of chemical equilibrium. **Chemistry Education Research and Practice** 17(1): 111–119.

Bybee, R. W., Taylor J. A., Gardner A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A. and Landes, N. (2006). **The BSCS 5E Instructional Model: Origins, Effectiveness, and Applications**. Colorado Springs: BSCS.

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

Chaiyen, Y., Bunsawansong, P., and Yutakom, N. (2007). Thai high school students' conceptions about chemical equilibrium. **Songklanakarin Journal of Social Science and Humanities** 13(4): 541–553. (in Thai)

Chemical Society of Thailand. (2015). **DOW Chemistry Classroom**. Retrieved from http://chemsocthai.org/, August 13, 2015. (in Thai)

Cheung, D. (2009). Using think-aloud protocols to investigate secondary school chemistry teachers' misconceptions about chemical equilibrium. **Chemistry Education Research and Practice** 10(2): 97–108.

Coll, R. K., Dalgety, J., and Salter, D. (2002). The development of the chemistry attitudes and experiences questionnaire (CAEQ). **Chemistry Education Research and Practice** 3(1):19–32.

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.

Khattiyavong, P. Jarujamrus, P., Supasorn, S.

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

Matarat, P., Tamuang, S., and Supasorn, S. (2016, November). Development of Scientific conceptual understanding of chemical equilibrium by using 5e inquiry learning cycle incorporated with predict-observe-explain technique for grade 11 students (pp. 356–366). **The 4th National Conference on Biodiversity, Culture, and Economics**. Sakon Nakhon: Kasetsart University, Sakon Nakhon Campus, November 27, 2016. (in Thai)

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

Özmen, H. (2008). Determination of students' alternative conceptions about chemical equilibrium: a review of research and the case of Turkey. **Chemistry Education Research and Practice** 9(3): 225–233.

Pachuen, W., and Suwannoi, P. (2010). The study of learning outcome using analogy to promote conceptual change in chemical equilibrium for grade 11 students. **Journal of Education Graduate Studies Research Khon Kaen University** 4(special): 1–9. (in Thai)

Poliakoff, M.; and Licence, P. (2007). Sustainable technology (QandA): Green chemistry. **Nature**, 450(6): 810–812.

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

Supasorn, S., Supasorn, N., Athiwaspong, W. and Ponchaiya, S. (2016). Development of conceptual understanding on solutions by using inquiry experiments in conjunction with particulate animations for grade 8 students. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 7(1): 28–47. (in Thai)